

Direction de l'environnement et de l'aménagement littoral
Direction des ressources vivantes

Laboratoire de Port-en-Bessin
Laboratoire de St Malo
Laboratoire de Boulogne-sur-Mer

Luis LAMPERT

Jean-Paul DELPECH
Frank MAHEUX
Myriam RUMEBE
Dominique DAVOULT*
Nicolas LOQUET**

* Station marine de Roscoff

** GEMEL Picardie

mars 2004 – Commande EDF 2003 P8S0348

Surveillance écologique et halieutique du site Electronucléaire de Paluel

Année 2003

Rapport scientifique annuel



Ifremer

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques)	
Numéro d'identification du rapport : RST.DEL/PB/04.01	date de publication : mars 2004
Diffusion : libre - restreinte - interdite	nombre de pages : 163
Validé par : L. LAMPERT	bibliographie : Oui
Adresse électronique : llampert@ifremer.fr	illustration(s) : Oui
- chemin UNIX :	langue du rapport : Français
- adresse WWW :	
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
DAVOULT Dominique	Station marine de Roscoff
DELPECH Jean-Paul	IFREMER/ Boulogne / DRV/ RH
LAMPERT Luis	IFREMER / DEL / PB
LOQUET Nicolas	GEMEL Picardie
MAHEUX Frank	IFREMER / DEL-PB
RUMEBE Myriam	IFREMER / DEL / AR
Collaborateur(s) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
CRASSOUS Marie-Pierre	IFREMER / DEL / EC-PP
d'ELBEE Jean	LAPHY / Biarritz
du BOULAY Hervé	IFREMER / DEL / PB
JUSTOME Vincent	IFREMER / DEL / PB
LE GOFF Ronan	IFREMER / DEL / PB
PIERRE-DUPLESSIX Olivier	IFREMER / DEL / PB
RAULIN Pascal	IFREMER/ Boulogne / DRV/ RH
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Electricité de France (EDF) - Production Transport - C.N.P.E. de Paluel B.P. 48 – 76450 CANY BARVILLE	
Titre du contrat : n° de contrat Ifremer	
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) IFREMER Centre de Boulogne/Mer, 150 quai Gambetta, 62321 BOULOGNE / MER CEDEX 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 GEMEL PICARDIE, RUE DE LA CHAPELLE, 80410 LE HOURDEL LAPHY - Centre d'études et de recherches halieutiques, B.P. 89, 64 200 Biarritz CEOBM UMR 7127 CNRS-UPMC, BP 74, 29682 Roscoff	
Responsable scientifique : Luis LAMPERT - IFREMER / Port-en-Bessin/ DEL	
Cadre de la recherche :	
Programme : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin	Convention de marché : EDF n° S62C50001
Projet : I.G.A. Impact des Grands Aménagements	Autres (préciser) :
Campagne océanographique : IGA 1-2-3, 2003, N/O THALIA.	



Résumé : <i>L'étude de surveillance n°26 du site électronucléaire de Paluel (département de la Seine-Maritime) concerne l'année 2003. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2003 est la 20^{ème} année de fonctionnement de la Centrale.</i>
Abstract : <i>Monitoring n°26 of the Paluel nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2003. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for twenty years.</i>
Mots-clés : <i>Centrale nucléaire Paluel, Surveillance ; Benthos, Halieutique, Pelagos.</i>
Keywords : <i>Paluel, Monitoring, Nuclear power plant ; Benthos, Fisheries, Pelagos.</i>
Commentaire : Ce document doit être cité de la manière suivante : <u>Référence générale</u> LAMPERT. L (coordinateur) <i>et al.</i> (2003) - Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel, année 2003 - Rapport scientifique annuel. Rapp. IFREMER RST.DEL/PB/03.09, mars 2004, 163 pp. <u>Référence particulière</u>

SOMMAIRE

Résumé

Préambule 1

Introduction..... 3

1. Généralités 4

1.1. Introduction..... 6

1.2. Géographie..... 6

1.3. Géologie 8

1.4. Climatologie..... 10

1.5. Hydrographie continentale 12

1.6. L'Hydrographie marine 14

1.7. Fonctionnement de la centrale lors des campagnes pélagiques..... 15

2. L'hydrologie 17

2.1. Méthode 18

2.2. Résultats des mesures de la surveillance pour l'année 2003..... 20

2.2.1. Température..... 21

2.2.2. Salinité 27

2.2.3. Ammonium 32

2.2.4. Nitrate et nitrite..... 35

2.2.5. Matières en suspension 38

2.2.6. Organo-halogénés 41

2.2.2. Bore..... 44

2.3. Conclusion..... 45

2.4. Bibliographie..... 48

3. La microbiologie..... 50

3.1. Introduction..... 51

3.2. Matériel, méthodes d'analyses et détermination..... 51

3.3. Résultats 54

3.3.1. Dénombrement des germes totaux en épifluorescence 55

3.3.2. Dénombrement des germes revivifiables 58

3.3.3. Recherche de vibrio-halophiles 61

3.4. Conclusion..... 64



4. Le phytoplancton.....	65
4.1. Introduction.....	66
4.2. Matériel et méthode.....	66
4.3. Résultats	68
4.3.1. Biomasse chlorophyllienne	69
4.3.2. Production primaire.....	72
4.3.3. Microphytoplancton.....	76
4.3.4. Populations observées en 2003	79
4.4. Bilan des résultats entre <i>canal</i> et <i>rejet</i>	83
4.5. Conclusion.....	84
4.6. Bibliographie.....	85
5. Le zooplancton	86
5.1. Etude de la biomasse globale	87
5.2. Etude des espèces zooplanctoniques	92
5.3. Conclusion.....	104
6. Le benthos subtidal.....	105
6.1. Introduction.....	106
6.2. Méthodologie.....	108
6.3. Résultats	110
6.3.1. Analyse granulométrique	110
6.3.2. Analyse faunistique.....	112
6.4. Conclusion.....	119
6.5. Bibliographie.....	120
7. Benthos intertidal	126
7.1. Introduction.....	127
7.2. Écologie et biologie d' <i>Idotea granulosa</i>	127
7.3. Méthodologie.....	128
7.4. Résultats	130
7.5. Évolution à long terme du benthos.....	142
7.4. Conclusions.....	148
7.4. Bibliographie.....	149
8. Le phytobenthos intertidal	150
8.1. Généralités	151
8.2. Evolution de la biomasse de <i>Fucus</i>	151
8.3. Analyse des tendances temporelles	152
8.4. Taux de fertilité.....	153
8.5. Conclusion.....	154
9. Halieutique	155
9.1. Situation au 31.12.2002	156
9.2. Production	157
CONCLUSIONS	159

Résumé

Lors de cette seizième année de surveillance écologique et halieutique de la centrale électronucléaire de Paluel, les conditions climatiques ont été atypiques du fait de la forte canicule qu'a subi l'Europe. Ces hautes températures ont été accompagnées d'une sécheresse durable tout le long de l'année. Les basses températures de l'eau de mer en hiver contrastent avec les fortes températures enregistrées en septembre. Celles-ci ont été les plus hautes de la série de seize années. Les salinités ont été marquées par la sécheresse, donnant lieu à des valeurs supérieures aux moyennes.

L'effet de la canicule n'est pas perceptible dans les variations de concentrations en sels azotés, mais a fortement influencé les concentrations en matières en suspension, qui ont atteint en été les valeurs les plus basses de la série.

En réponse à l'augmentation de la température de l'eau de mer, les germes revivifiables et les vibrions ont montré une augmentation de leur nombre au mois de septembre.

Dans le compartiment phytoplanctonique, les fortes abondances cellulaires du mois de juin contrastent avec les faibles valeurs en production primaire observées en mars et en septembre. La biomasse chlorophyllienne est cependant restée homogène sur les trois campagnes de 2003.

Les biomasses zooplactoniques, faibles en mars, ont été proches des médianes pluriannuelles en juin et en septembre, tout comme les abondances le long des trois campagnes.

L'étude sédimentaire du benthos subtidal en 2003 confirme la tendance observée depuis 1990, où les point 1, 2 et 6, situés à l'ouest de la centrale et composés des cailloutis, contraste avec les fonds sablonneux des point 16 et HZ, situés à l'est. Le nombre d'espèces benthiques en juin et en septembre s'est révélé supérieur aux médianes pluriannuelles sauf au point 16 (Saint Valery-en-Caux), où les valeurs sont restées proches des médianes. Le nombre total d'individus identifiés a suivi le même schéma.

Les valeurs de la densité algale et de l'abondance du crustacé *Idotea granulosa* sur l'estran en été (Saint Valery-en-Caux et Veulettes) ont été proches des médianes pluriannuelles. Seul une forte mortalité de femelles d'idotées a été remarquée en 2003.

En mars et en septembre ont eu lieu les campagnes de prélèvement pour le suivi du phytobenthos intertidal. Les densités algales sur trois points côtiers (Val Martin, Veulettes et Saint Valery-en-Caux) ne montrent pas d'effet particulier lié à la canicule, bien qu'une forte augmentation de la fertilité de fucales a été observée en septembre.

Préambule

Conformément à la **convention générale** passée entre **EDF** et **IFREMER** (référéncée sous le n° EDF S62C50001), trois documents contractuels sont établis par IFREMER pour chacun des cinq sites électronucléaires littoraux (Gravelines, Penly, Paluel, Flamanville) et estuariens (Le Blayais).

Ces documents sont :

- 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 final, version provisoire**, remis au plus tard le 31 janvier de l'année N + 1 ;
- un **rapport final**, version définitive, remis au plus tard le 1^{er} avril de l'année N + 1.

En ce qui concerne la surveillance du CNPE de Paluel au cours de l'année 2003, l'état d'avancement a été adressé à EDF le 5 juin 2003.

Le rapport final, version provisoire, fait l'objet du présent document.

Dans le cadre de l'implantation de la centrale électronucléaire sur le littoral de la commune de Paluel (département de la Seine-Maritime) et du contexte législatif en vigueur, Electricité de France a confié à l'IFREMER les études écologiques et halieutiques du milieu marin environnant le site (fin 1974 à août 1977).

Auparavant, de juillet 1973 à juillet 1974, une étude écologique permettant d'évaluer la richesse floristique et faunistique du site a été réalisée par l'Université de Picardie, station d'études en baie de Somme.

L'étude de surveillance a débuté en 1977 soit 7 ans avant la mise en service de la centrale (1984).



A compter de 1994, le programme de surveillance a été allégé puisque l'étude du domaine pélagique est réalisée en trois points au lieu de quatre comme précédemment, le point 'contrôle' étant abandonné.

Au cours de l'année 2003, les études réalisées sur le site de Paluel ont été menées sous la responsabilité de :

Luis LAMPERT- DEL.Port-en-Bessin, pour le phytoplancton, l'hydrologie et la microbiologie

Franck COPPIN pour l'halieutique

Dominique DAVOULT, station marine de Wimereux, pour le benthos subtidal

Frank MAHEUX, DEL/Port-en-Bessin, pour l'étude des fucacées

Nicolas LOQUET, Gemel de Picardie, pour le benthos intertidal

Myriam RUMEBE, DEL/Arcachon et le **LAPHY** de Biarritz pour le zooplancton

La coordination étant assurée par **Luis LAMPERT**, coordinateur du site de Paluel et **Herve du BOULAY**, coordinateur national du programme IGA.

Introduction

Pour réaliser l'étude d'environnement du site de Paluel, l'IFREMER a fait appel, comme les années précédentes, aux compétences du laboratoire LAPHY de Biarritz pour l'identification des espèces zooplanctoniques, au laboratoire Municipal et Régional de Rouen pour les analyses en microbiologie et le bore, à la station marine de Roscoff (Université de Paris VI) pour l'étude du benthos subtidal et le GEMEL de Picardie pour le benthos intertidal.

Les résultats contenus dans ce rapport concernent donc :

- 1 – des généralités
- 2 – l'hydrologie
- 3 – la microbiologie
- 4 – le phytoplancton et la production primaire
- 5 – le zooplancton
- 6 – le benthos subtidal
- 7 – le benthos intertidal
- 8 – le phytobenthos intertidal
- 9 – l'halieutique

Les 5 premières parties rassemblent les résultats des paramètres collectés lors des trois campagnes pélagiques. A cet effet le navire océanographique *Thalia* a été présent sur zone les 24 mars, 26 juin et 17 septembre 2003.

1. Généralités

Rédaction

Luis Lampert (DEL/PB).



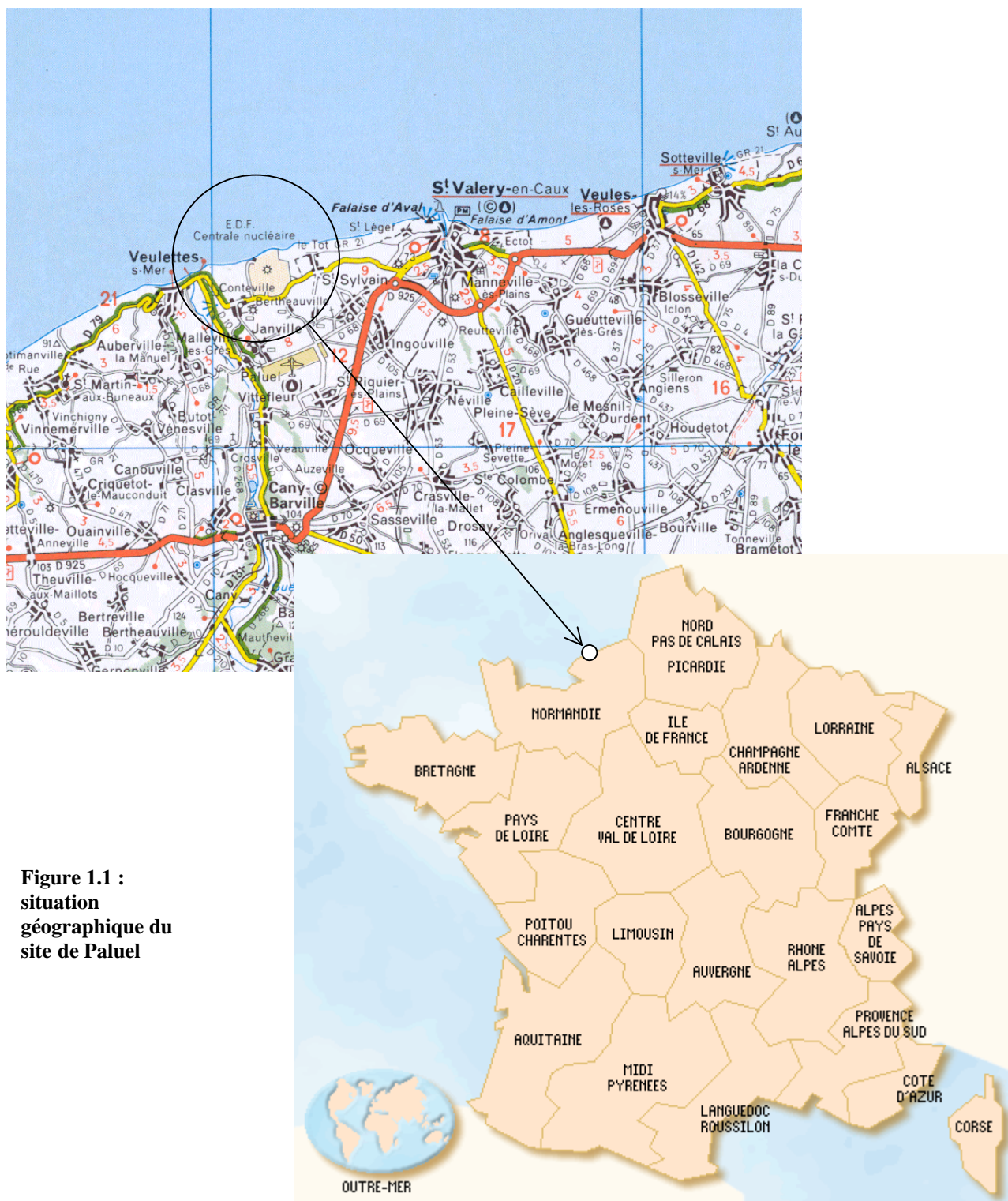


Figure 1.1 :
situation
géographique du
site de Paluel

1.1. Introduction

Les études écologiques sur le site d'une centrale nucléaire se déroulent en plusieurs phases :

- **une étude "d'avant projet"**, de courte durée, qui intervient dans le choix définitif d'un site ; elle a pour but d'évaluer les principales caractéristiques du milieu et d'apprécier sa richesse potentielle ;
- **une étude de "projet"** sur un site retenu qui permet d'établir un bilan écologique (« état de référence ») avant la mise en service de la centrale ;
- **une étude de "complément de projet"** (facultative) visant à apprécier les variations pluriannuelles ;
- **une étude de "surveillance"** qui s'attache aux paramètres jugés les plus significatifs et sensibles sur un site (indicateurs écologiques) afin d'apprécier les fluctuations pluriannuelles et tenter de déceler l'importance des effets du fonctionnement de la centrale et d'apprécier les fluctuations naturelles pluriannuelles, cet aspect devenant prépondérant. La surveillance des paramètres indicateurs doit permettre de déceler les dérives éventuelles de l'écosystème et la part de la centrale dans cette dérive.

Ce rapport présente les résultats concernant la vingt sixième année (2003) de surveillance du site de PALUEL, ce qui correspond à la vingtième année depuis la mise en service de la Centrale (1984).

1.2. Géographie

La centrale de Paluel est située sur le littoral normand, au niveau de la valleuse de Sussette, entre Fécamp et Dieppe, sur le territoire de la commune dont elle porte le nom. Le littoral, orienté ENE/WSW, est bordé de hautes falaises et composé de bancs calcaires alternant avec des lits de silex. Les falaises du littoral Normand sont entaillées de valleuses au débouché desquelles les galets se sont accumulés et forment des cordons littoraux. On peut distinguer trois types fondamentaux d'estran :

- **Estran profond** : il ne découvre pratiquement pas ; on le rencontre dans les secteurs de pointes rocheuses (Etretat, Antifer) ;
- **Estran de pied de falaises** : c'est l'estran type du littoral haut-normand et celui qui se trouve à Paluel. Devant la falaise s'étend un platier rocheux (de 200 m à 400 m de large) sur lequel les matériaux meubles ne se rencontrent en général qu'en pied de falaise sous la forme d'un cordon de galets plus ou moins développé mais le plus souvent de 10 m à 20 m de large et de 1 m de haut ;



- **Estran d'accumulation :** on le rencontre au débouché des valleuses. Son développement a souvent été favorisé par l'implantation d'ouvrages portuaires (Le Havre, Fécamp, St-Valery-en-Caux, Dieppe, Le Tréport). Le cordon de galets est bien formé avec une largeurs de 40 m à 50 m. Les sables et graviers font suite aux galets.

Figure 1.2 :
carte géologique
de la région
'Haute-
Normandie'

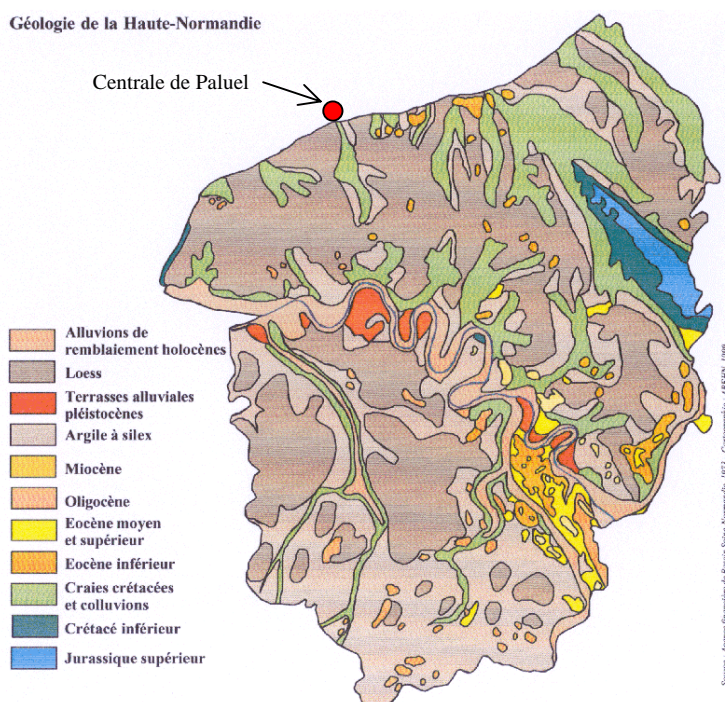
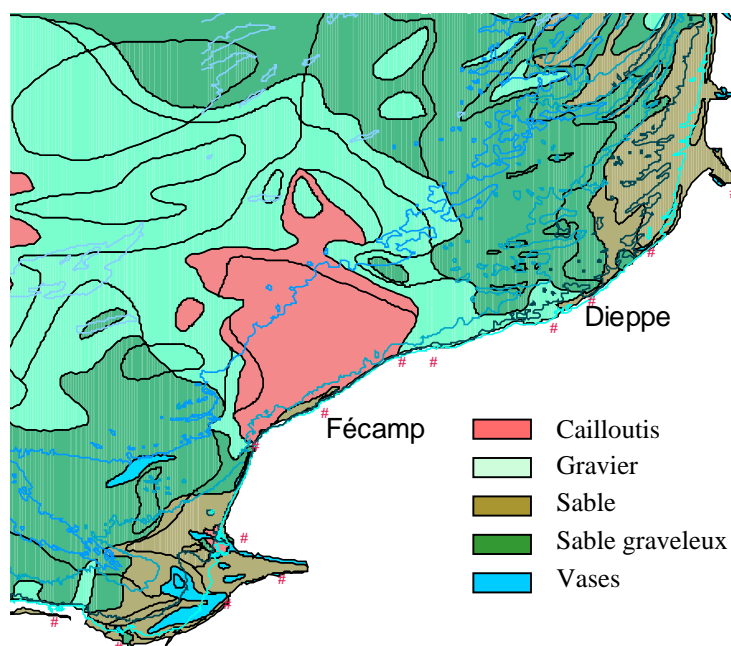


Figure 1.3 :
caractéristiques
des sédiments
marins autour de
la centrale de
Paluel



1.3. Géologie

A la fin de l'Ere Primaire (– 245 millions d'années), pratiquement toute la France est émergée, mais au cours de l'Ere Secondaire (– 245 MA à – 65 MA) plusieurs cycles d'immersion-émersion se succèdent.

Pour la Normandie, le plus important de ces épisodes, c'est la *Mer de Craie* qui recouvre la région de – 97 MA à – 70 MA. Dans cette mer côtière peu profonde, sédimentent d'innombrables micro-organismes à test calcaire. Leur accumulation sera à l'origine d'une roche calcaire tendre : la craie, parfois appelé *Marne* dans la région (figure 1.2.).

Dans cette mer vivent aussi des organismes à test siliceux qui sont à l'origine des rognons de silex enfouis dans la craie, qui reste l'ossature géologique de toute la Haute-Normandie, à l'exception du Pays de Bray, où une importante faille a permis la remontée des sédiments plus anciens et variés.

Plus récemment, à l'Ere Tertiaire (– 65 MA à – 2 MA) le phénomène le plus marquant est l'altération continentale : la craie est dissoute par les eaux de pluie, mais le silex et les argiles, inaltérables, forment un manteau brun ou rouge (argiles à silex) qui peut dépasser les 20 m d'épaisseur.

Lors des deux derniers millions d'années, la calotte glaciaire est descendue à plusieurs reprises jusqu'au niveau de l'actuelle Hollande. Le climat de la Haute-Normandie était alors périglaciaire, avec une végétation de steppe. Les limons entraînés par les vents sont alors à l'origine du Löss, de couleur jaune et d'une épaisseur d'une dizaine de mètres en Pays de Caux. A la fin du Tertiaire les cours d'eau s'enfoncent dans le substrat meuble, creusant des vallées profondes, comme celle de la Seine.

Les sédiments marins aux alentours de la centrale de Paluel sont essentiellement composés de cailloutis et de graviers (figure 1.3.). Entre Etretat et St Valéry-en-Caux se trouve le secteur où les sédiments sont les plus grossiers. De chaque côté, un gradient vers des sédiments plus fins s'établit, pouvant aller jusqu'aux vases dans l'embouchure de la Seine.

Figure 1.4 :
situation
climatologique de
la région Haute-
Normandie

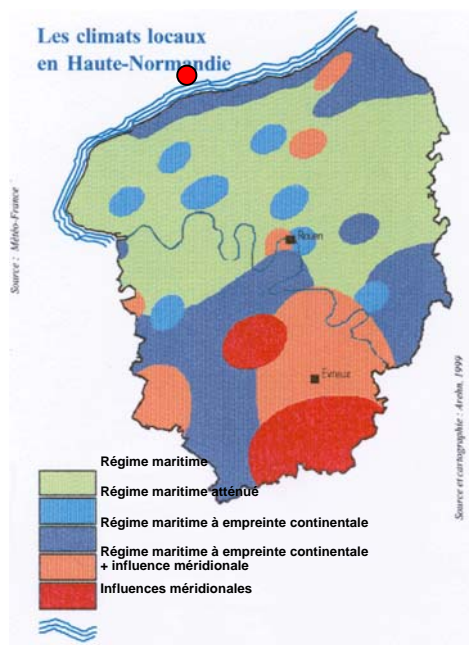
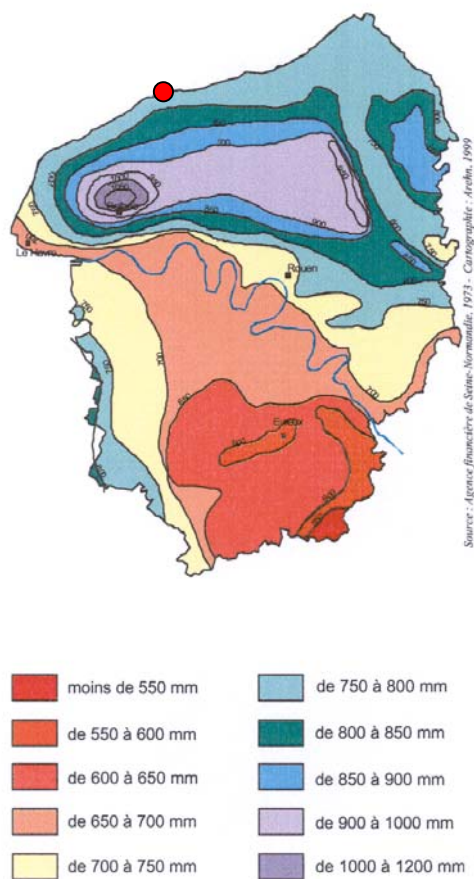


Figure 1.5 :
Pluviométrie moyenne
annuelle de la région
Haute-Normandie sur
30 ans.



1.4. Climatologie

1.4.1. Le climat en Haute-Normandie

Trois influences principales peuvent se manifester dans la région 'Haute-Normandie' (figure 1.4.).

- Influence maritime. Plus marqué dans le Pays de Caux et le nord-ouest de l'Eure, avec un climat doux et humide, des hivers modérément froids et des étés tempérés.
- Influence continentale : essentiellement au nord-est de la Seine et de manière moins classique, sur une frange littorale qui va du Tréport à Fécamp. C'est dans cette zone qui se trouve la centrale de Paluel. L'amplitude thermique est plus importante qu'ailleurs : hivers plus froids et étés plus chauds.
- Influence méridionale : remontant du sud-est de l'Eure jusqu'à Rouen.

1.4.2. Les pluies

Bien que la Haute-Normandie soit considéré comme une région fortement pluvieuse, on peut observer des grandes écarts. Sur le secteur de Bolbec (Seine Maritime) nous constatons en moyenne 1100 mm de précipitations par an, tandis qu'au sud-est de l'Eure, seulement 500mm par an sont enregistrés (figure 1.5.). Cette dernière valeur est l'une des plus faibles de France, à égalité avec la Côte d'Azur. Les régions les plus fréquemment touchées par des forts événements pluvieux sont le Bec-de-Caux et le Lieuvain.

Cartographie des bassins versants en Haute Normandie

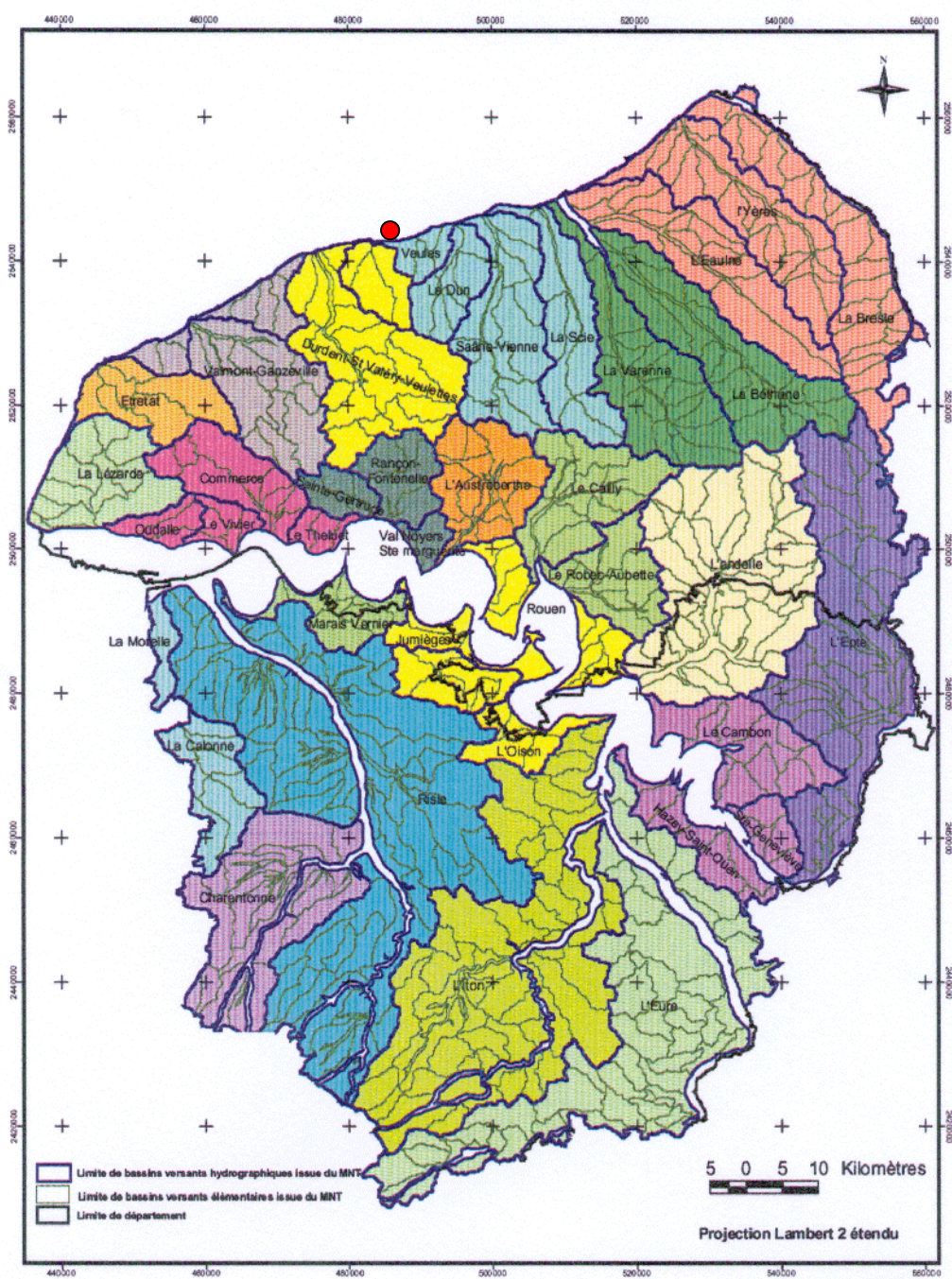


Figure 1.6 : Bassins versants de la région Haute-Normandie



1.5. Hydrographie continentale

Le faible développement du réseau hydrologique continental haut-normand est dû essentiellement à la perméabilité du sol, qui permet l'écoulement souterrain des eaux au lieu du ruissellement de surface. Seul le Pays de Bray possède un important réseau de surface qui se développe sur des assises géologiques imperméables (figures 1.6. et 1.7.).

Le réseau hydrologique de Seine-Maritime est composé de petits effluents de la Seine et de fleuves côtiers de quelques dizaines de kilomètres se jetant dans la Manche. Ces rivières peuvent avoir un parcours de surface si les couches géologiques imperméables le permettent, ou en partie souterraines, si la craie affleure. Ce phénomène donne naissance aux vallées sèches. La *Veule*, avec ses 1700 mètres seulement, constitue le plus petit fleuve de France.

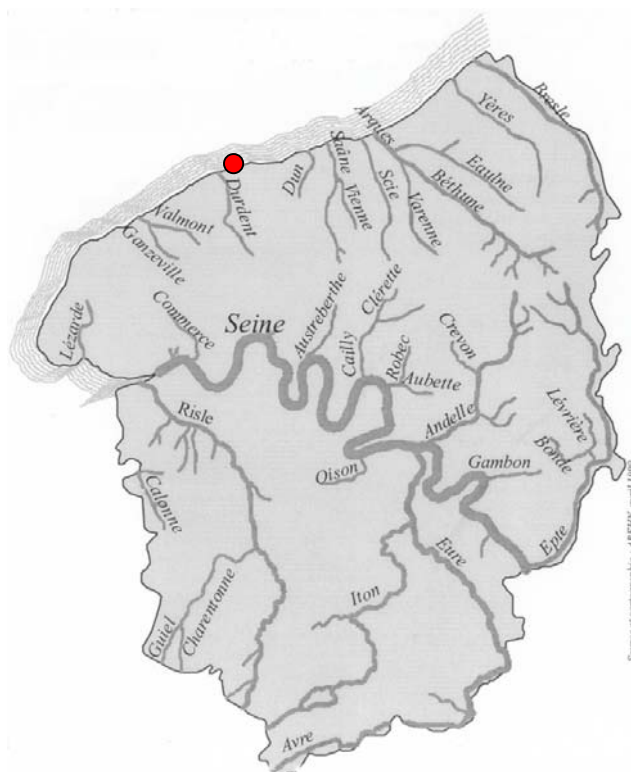


Figure 1.7 :
Principaux fleuves
de la région Haute-
Normandie

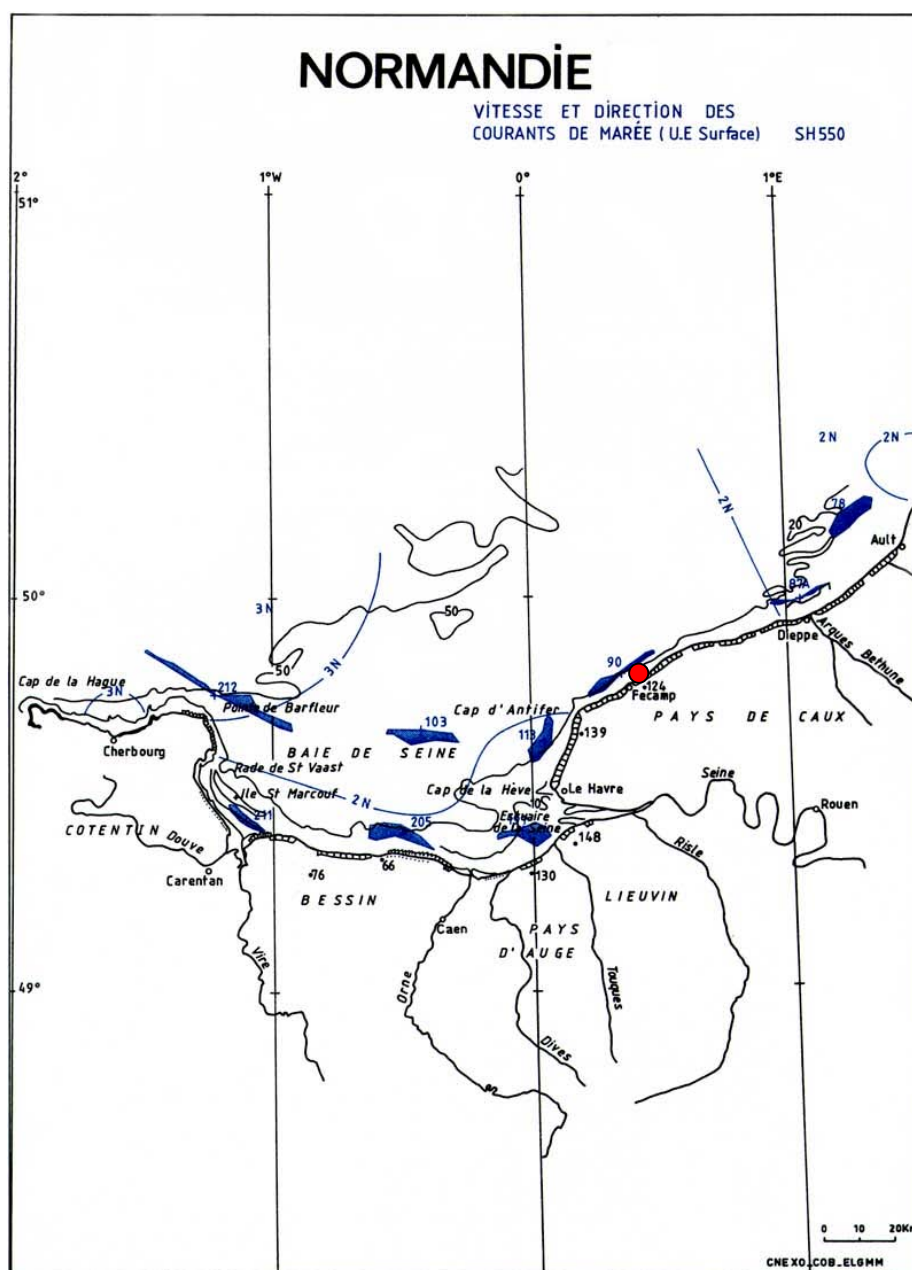


Figure 1.8 :
Courants de
marée en Haute-
Normandie

1.6. Hydrographie marine

1.6.1. Marées

La marée est de type semi-diurne. À Saint-Valéry-en-Caux, ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 1.1 :
Les marées à St-Valéry-en-Caux

Type de marée	Coefficient	Côte de P.M.	Côte de B.M.
Vive-eau moyenne	95	8,6 m	0,7 m
Marée moyenne	70	8,4 m	1,6 m
Morte-eau moyenne	45	7,6 m	2,2 m

1.6.2. Courants

On distingue les courants périodiques et les courants apériodiques. Les courants périodiques sont essentiellement les courants de marée alternatifs et parallèles à la côte (Figure 1.8.). Le flot, d'une durée moyenne de 5 heures, porte vers le N-NE à une vitesse de $0,5$ à $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (soit 1 à 2 nœuds).

Le jusant, d'une durée approximative de 7 heures, porte vers le W-SW avec une vitesse inférieure, de $0,4$ à $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. La renverse de pleine mer a lieu en vive eau à PM -30 min, celle du jusant à PM -5 h 30. De ce fait, le flux net au cours d'un cycle de marée est celui d'un déplacement des masses d'eau vers le N-NE dans le sens du flot. Ce déplacement est dû au courant de marée provenant de l'Atlantique et qui prend une vitesse importante au-delà de Cherbourg. Vers Fécamp, la vitesse du courant augmente et atteint $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pendant le flot et $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pendant le jusant.

Les courants apériodiques sont essentiellement dus à l'action prolongée d'un régime de vents stables entraînant les masses d'eau. Ainsi une période de vent d'ouest durable crée un courant portant à l'est tandis qu'une période de vent de nord-est crée un courant portant au sud-ouest. Ces courants de dérive dus au vent peuvent atteindre 2 à 5 % de la vitesse du vent.

Un des traits majeurs des cycles d'étude précédant l'installation de la centrale était d'avoir mis en évidence l'influence des eaux issues de la baie de Seine. Si cette influence est certaine par l'action du *fleuve côtier* (Brylinski *et al.*, 1991), elle est cependant irrégulière.

1.6.3. Apports telluriques

La *Durdent*, petit fleuve côtier de faible débit irrégulier, se jette à l'ouest du site (Figure 1.7). Les arrivées d'eau douce au niveau de Fécamp sont généralement très faibles, mais il ne faut pas sous-estimer la présence de pollutions urbaines provenant soit du port soit de la station d'épuration de St-Valery-en-Caux.

1.7. Fonctionnement de la centrale lors des campagnes pélagiques

Le fonctionnement de chaque tranche est résumé dans le tableau 1.2. ci-dessous.

Tableau 1.2 :
Fonctionnement
de la centrale
pendant
les campagnes
pélagiques

Date des campagnes pélagiques	Tranche	Pompes ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Puissance en MWh	Electro-chloration ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
24 mars 2003	I	21,5	0	0
	II	43	1338	0
	III	43	0	0
	IV	43	110	0
26 juin 2003	I	43	1331	180
	II	43	1304	40
	III	43	1164	200
	IV	43	1332	110
17 septembre 2003	I	43	1312	205
	II	43	1312	245
	III	43	1333	190
	IV	43	1333	203

Le domaine pélagique

Chapitre 2	:	Hydrologie
Chapitre 3	:	Microbiologie
Chapitre 4	:	Phytoplancton
Chapitre 5	:	Zooplancton

Les trois campagnes ont été réalisées à bord du navire océanographique *Thalia* de l'IFREMER les 24 mars, 26 juin et 17 septembre 2003.

Les conditions de fonctionnement de la centrale au moment des prélèvements sont présentées au paragraphe 1.7 du chapitre 1.



2. Hydrologie

Rapport

Luis Lampert (DEL/PB).

Prélèvements et Analyses

Frank Maheux (DEL/PB),
Olivier Pierre-Duplessix (DEL/PB),
Vincent Justome (DEL/PB),
Laure Lamort (DEL/PB),
Philippe Riou (DEL/PB),
Françoise Dagault (DEL/SM),
Floriane Girard (DEL/PB),
Laurent Cardin (DEL/SM),
Françoise Dagault (DEL/SM),
Laboratoire de Rouen.

Participation

Hervé du Boullay (DEL/PB),
Ronan Le Goff (DEL/PB).



2.1. Méthode

2.1.1. Prélèvements

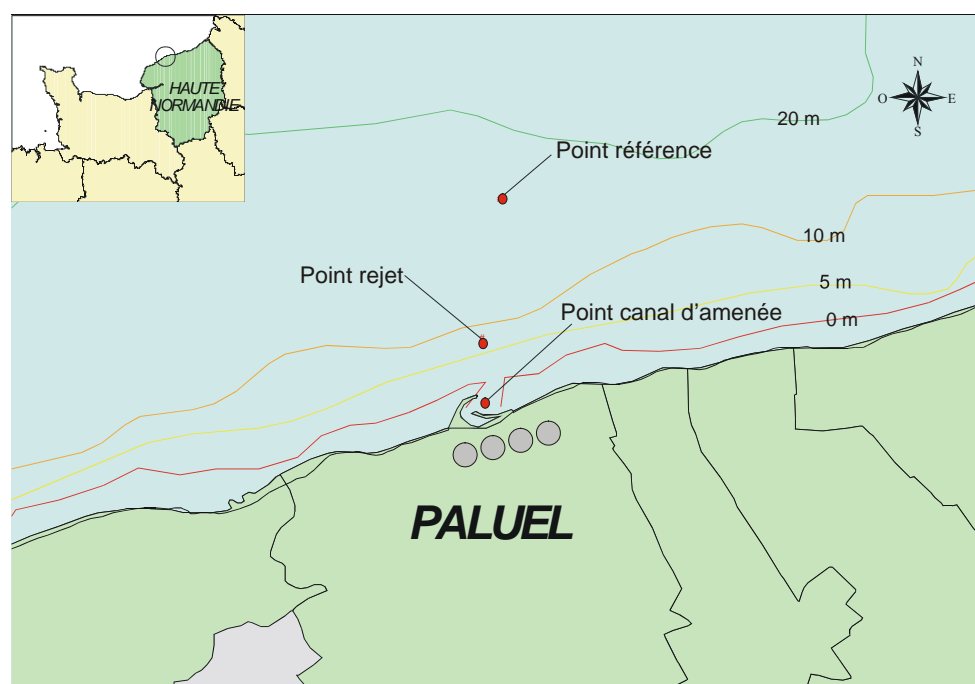
Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Paluel, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer à trois périodes de l'année, les 24 mars, 26 juin et 17 septembre 2003 à bord du navire océanographique *Thalia*.

Les points échantillonnés (figure 2.1) sont :

- 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).

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.

Figure 2.1 :
Situation géographique de la centrale de Paluel et position des points de prélèvements



2.1.2. Paramètres mesurés et précisions

Les paramètres hydrologiques classiques mesurés sont la température, la salinité, les sels nutritifs azotés (ammonium, nitrate et nitrite) et les matières en

suspensions (MES). D'autres paramètres hydrologiques sont également suivis. Il s'agit du bore et des organo-halogénés et plus particulièrement du tribromométhane. La précision de la mesure de ce paramètre est de $1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Les techniques relatives à la mesure de ces paramètres sont présentées dans le *Recueil des techniques*, rapport IFREMER DERO/86.24/EL. La précision de la mesure des différents paramètres est indiquée dans le tableau 2.1 ci-dessous :

Tableau 2.1 :
Précision des analyses

	<i>Temp.</i> (°C)	<i>Salinité</i>	NO_3^- (μM)	NO_2^- (μM)	NH_4^+ (μM)	<i>MES</i> ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)
PRÉCISION	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,01	± 0,05	± 0,1

2.1.3. Présentation graphique

Les valeurs obtenues lors des campagnes hydrologiques sont présentées sous forme de courbes, d'histogrammes et de 'boîtes à moustaches', avec leur variabilité saisonnière et spatiale. Les histogrammes et les boîtes à moustaches reprennent l'ensemble des données acquises depuis 1988. L'utilisation de la médiane permet de minimiser l'influence des valeurs extrêmes par rapport à la moyenne. Les résultats obtenus en 2003 sont présentés avec une couleur différente de celle utilisée pour les années précédentes. Pour chaque paramètre et pour chaque point, les histogrammes sont regroupés par campagne (printemps, été et automne).

2.1.4. Traitement statistique

Un traitement statistique a été réalisé pour les paramètres étudiés au cours de la période 1988-2003. Cette étude permet de comparer les données observées aux points *référence*, *rejet* et *canal* afin de mettre éventuellement en évidence des différences significatives entre les données par point à long terme. Afin d'effectuer des tests statistiques appropriés, il est essentiel de vérifier la normalité de distribution des données.

Cette vérification a été réalisée grâce aux coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution s'avérait normale, le test de Student pour échantillons appariés a été utilisé pour comparer les données. Dans le cas contraire, la comparaison des données a été réalisée par le test de signes.

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

2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2003.

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2003 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 2.2.

<i>(Valeurs moyennes ± écart type)</i>	CANAL <i>(n=4)</i>	REJET <i>(n=4)</i>	RÉFÉRENCE		
			SURFACE <i>(n=2)</i>	-10 M <i>(n=2)</i>	
24 MARS	Température (°C)	8,9 ± 0,1	11,4 ± 0,4	8,7 ± 0,0	8,4 ± 0,0
	Salinité	33,0 ± 0,1	33,2 ± 0,1	33,2 ± 0,0	33,5 ± 0,0
	MES (mg l ⁻¹)	14,9	21,8	6,3	6,9
	Nitrate (µM)	36,6 ± 0,1	32,7 ± 0,2	33,3 ± 0,0	32,4 ± 0,2
	Nitrite (µM)	0,31 ± 0,04	0,25 ± 0,00	0,28 ± 0,02	0,28 ± 0,05
	Ammonium (µM)	0,46 ± 0,05	0,43 ± 0,11	0,32 ± 0,00	0,31 ± 0,01
26 JUIN	Température (°C)	17,7 ± 0,1	20,1 ± 0,3	18,1 ± 0,1	17,1 ± 0,0
	Salinité	33,3 ± 0,0	33,5 ± 0,1	33,5 ± 0,0	33,9 ± 0,0
	MES (mg l ⁻¹)	2,9	1,9	3,3	1,4
	Nitrate (µM)	10,7 ± 0,1	9,1 ± 0,1	9,0 ± 0,2	7,8 ± 0,1
	Nitrite (µM)	0,40 ± 0,02	0,38 ± 0,02	0,37 ± 0,01	0,35 ± 0,01
	Ammonium (µM)	1,14 ± 0,08	0,95 ± 0,09	0,86 ± 0,06	0,78 ± 0,04
17 SEPTEMBRE	Température (°C)	20,6 ± 0,1	23,2 ± 0,2	20,1 ± 0,1	19,7 ± 0,0
	Salinité	33,2 ± 0,1	33,8 ± 0,1	33,6 ± 0,1	33,8 ± 0,1
	MES (mg l ⁻¹)	12,6	12,5	4,9	ND
	Nitrate (µM)	21,6 ± 2,8	20,2 ± 0,8	16,5 ± 0,3	16,7 ± 0,4
	Nitrite (µM)	0,59 ± 0,08	0,69 ± 0,06	0,57 ± 0,02	0,49 ± 0,0
	Ammonium (µM)	1,72 ± 0,05	2,10 ± 0,07	2,08 ± 0,13	2,08 ± 0,01

ND : Données non disponibles

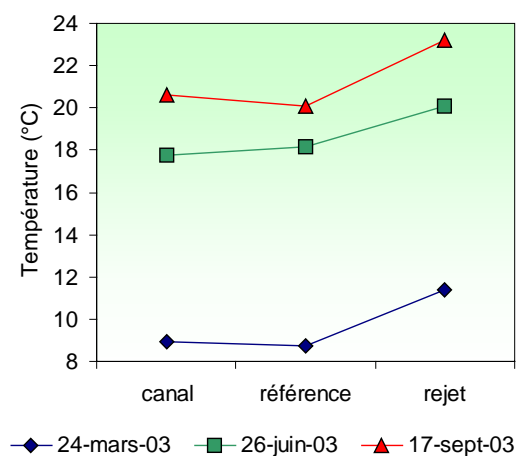
Tableau 1.2 :
Récapitulatif
des résultats
du volet
hydrologie de
l'étude de
surveillance
pour l'année
2003

2.2.1. Température

2.2.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la température

Au cours des campagnes de surveillance 2003, la température de l'eau de mer en surface a varié de 8,9 °C à 20,6 °C au point *canal*, de 11,4 °C à 23,2 °C au point *rejet* et de 8,7 °C à 20,1 °C au point *référence* (Figure 2.2). Sur l'ensemble des points, la température augmente de mars jusqu'en septembre.

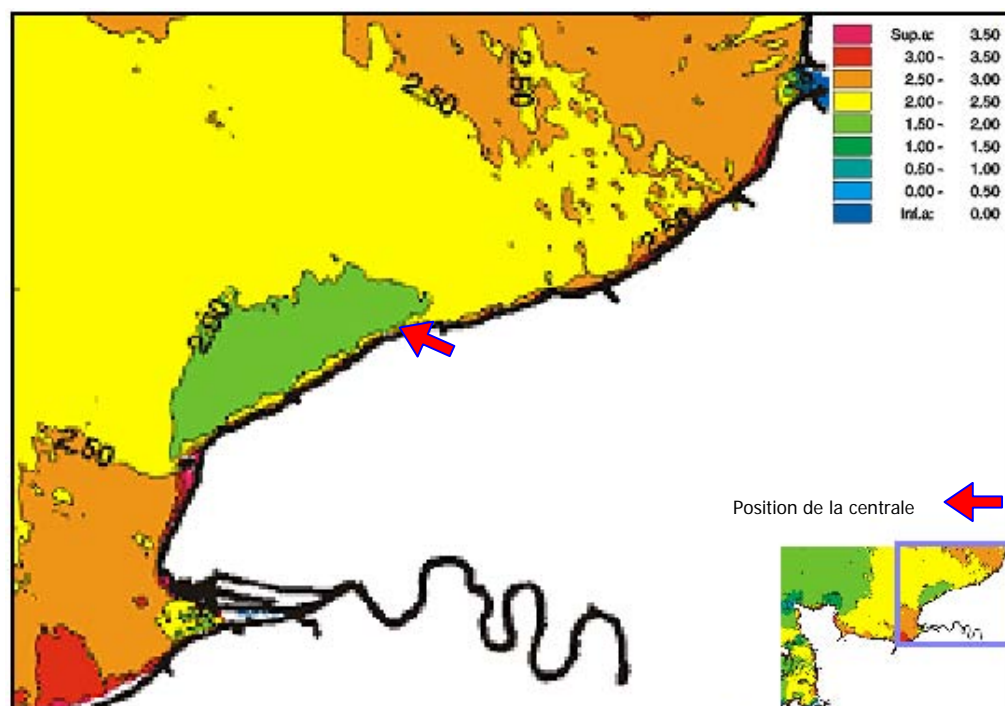
Figure 2.2 :
Température de l'eau
(surface) en 2003



En été, le point *référence* présente une température légèrement supérieure à celle observée au point *canal*. Ce schéma s'inverse en mars et en septembre, où les températures moyennes du point *référence* sont respectivement plus faibles de 0,2 °C et de 0,5 °C plus faibles respectivement à celles du point *canal*.

La figure 2.3 est une représentation du potentiel de stratification des eaux (Lazure, *comm. pers.*) réalisée en utilisant 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 du courant au cours d'un cycle de marée.

Figure 2.3 :
Evolution spatiale
du paramètre de
stratification
(H/u^3) en Manche
évalué à l'aide du
modèle
hydrodynamique
Mars 2D
d'Ifremer
(Lazure, *comm.*
pers.)



Des 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 2.3 montre ainsi que la centrale est située dans une zone présentant des valeurs inférieures à 3, donc peu propice aux stratifications estivales.

2.2.1.2. Variations inter-annuelles

La figure 2.4 montre que les températures de l'eau de surface enregistrées au cours des 3 campagnes réalisées en 2003 s'inscrivent globalement dans la plage de variation des températures mesurées depuis 1988. Les températures sont du même ordre de grandeur que celles observées dans l'étude écologique de projet (Dewarumez *et al.*, 1973), ainsi que celles enregistrées dans les études de surveillance (Grossel *et al.*, 1981 et 1983). Elles sont également en accord avec les travaux d'Agoumi *et al.* (1983), Taylor et Stephens (1983), Bentley et Maillard-Quisthoudt (1990) qui indiquent des valeurs similaires dans ce secteur de la Manche. Par rapport à 2002, les valeurs printanières 2003 sont légèrement inférieures, tandis que celles d'été et d'automne sont supérieures.

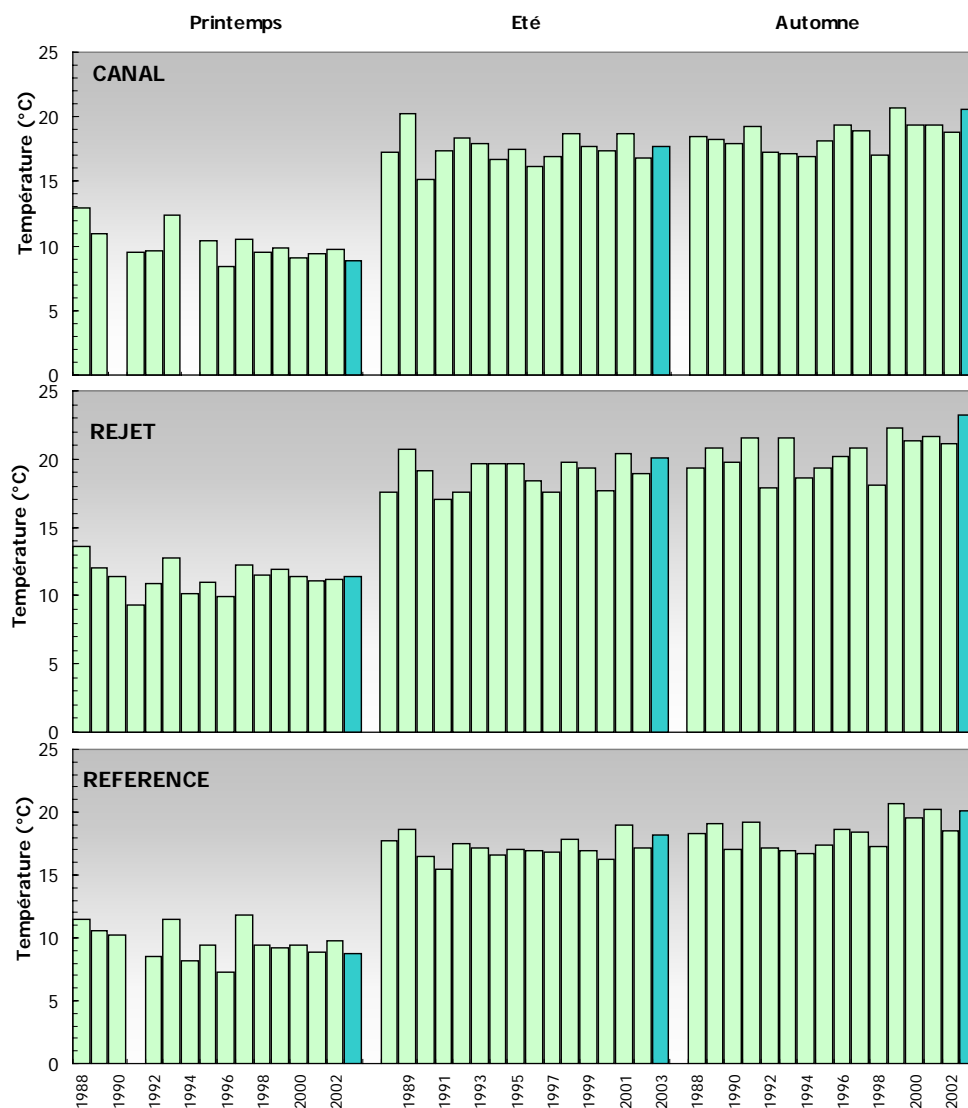


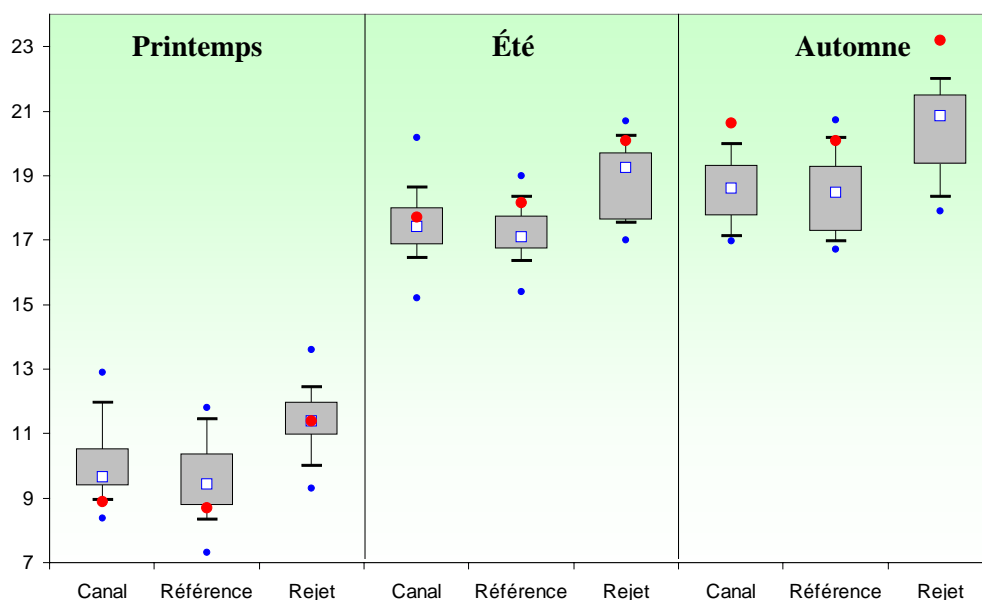
Figure 2.4 :
Température de
l'eau (surface) lors
des campagnes de
1988 à 2003

La figure 2.5 compare les distributions de température obtenues depuis 16 ans par saison et par point. La valeur médiane pour le point *rejet* est toujours supérieure à celles des points *référence* et *canal*. La température du point *canal* est légèrement supérieure à celle du point *référence*. Les dispersions restent homogènes sur les trois saisons et sur l'ensemble des points. En mars les valeurs de température ont été inférieures aux médianes pluriannuelles, mettant en évidence un hiver particulièrement froid. En juin et en septembre 2003, les températures observées ont toutes été supérieures aux médianes, atteignant des valeurs maximales en septembre.

Figure 2.5 :
Distributions de la température
par saison et par point depuis
1988.

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 2003 (●)



Pour expliquer l'écart thermique entre le point *référence* et le point *canal*, les hypothèses suivantes peuvent être avancées :

- En raison de leur caractère alternatif, les courants de marée peuvent ramener de l'eau réchauffée devant la centrale. Les travaux de Malherbe et Manoha (1977) sur un autre site EDF à Flamanville ont montré que ce phénomène pouvait conduire à une élévation de la température au droit de la centrale.

Les vents de secteur nord peuvent aussi avoir une influence dans l'advection des masses d'eau réchauffées vers le point *canal*. En septembre 2002 et 2003, l'arrêt total de la centrale de Flamanville a permis de lever le doute sur ce point : l'absence de différence significative de température entre les trois point d'échantillonnage a suggéré que les différences de température constatées tous les ans entre les points *canal* et *référence* sont indubitablement attribuables aux eaux réchauffées du *rejet*. Il pourrait en être de même pour la centrale de Paluel.

En effet, les rejets de la centrale de Paluel sont situés à 700 m des digues du canal d'aménée et distants l'un de l'autre de 150 m. Janin et Marcos (1994) ont modélisé le panache thermique de la centrale de Paluel à l'aide du modèle TELEMAC-3D pour une marée de morte-eau et de vive-eau moyennes. Les résultats confirment, à pleine mer, une légère recirculation des eaux de rejet entraînant une élévation de 0,3 °C dans le canal d'aménée par la reprise partielle du panache de rejet et montrent que cet impact thermique dépend fortement des courants de marée. Le panache thermique s'affine et s'allonge

alternativement vers l'est (au flot) et vers l'ouest (au jusant). Cette étude montre également que le panache du *rejet* peut atteindre le point *référence* entre 1 h et 2 h après la pleine mer. Toutefois, quel que soit le moment de la marée, l'impact thermique du *rejet* reste très localisé, ce que semblent confirmer les mesures effectuées lors des campagnes de surveillance.

- Une deuxième explication de l'écart de température entre les points *référence* et *canal* peut être donnée : en effet, le point *référence*, situé plus au large que le point *canal* pourrait se trouver dans la masse d'eau de la Manche, plus chaude en hiver et au printemps que le 'fleuve côtier' (Brylinski *et al.*, 1991). Les deux hypothèses sont plausibles et la réalité pourrait être une combinaison des deux hypothèses.

Les valeurs des températures de l'air mesurées à Dieppe (fournies par Météo France au cours de la période janvier à décembre 2003) et celles de l'eau de mer fournies par EDF (pour la même période) sont données par la figure 2.6. La température de l'eau de mer a été toujours supérieure ou égale (mars et avril) à celle de l'air. A partir du mois de mars, la température de l'air est restée supérieure à la moyenne pluriannuelle 1972-2002. Les fortes températures observées dans l'eau de mer en été suivent la même évolution que celles de l'air (données Météo France). En outre, il existe une corrélation significative entre la température de l'air précitée et celle de l'eau mesurée par EDF au niveau du canal d'amenée (figure 2.7).

Figure 2.6 :
Température moyenne mensuelle de l'air à Dieppe en 2003 et pendant la période 1972-2002 (données Météo France).
Température moyenne mensuelle de l'eau de mer au canal d'amenée de la centrale (EDF)

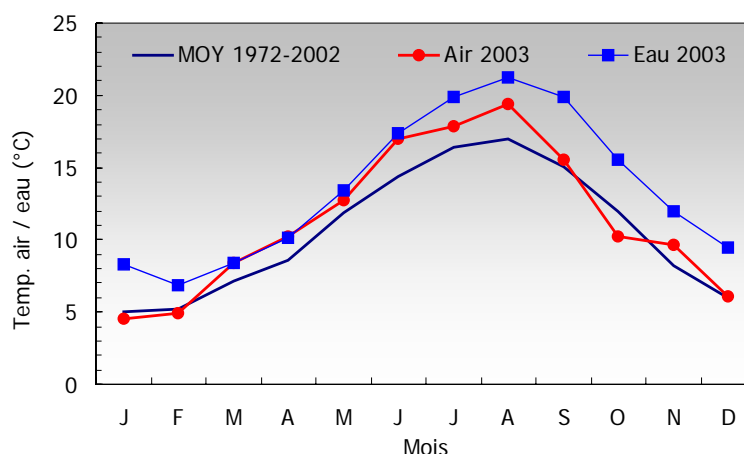
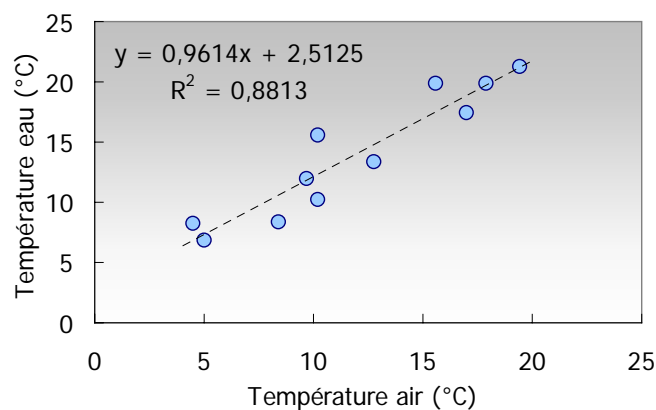


Figure 2.7 :
Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau du canal d'amenée (données EDF) en fonction de celle de l'air (données Météo France)



2.2.1.3. Taux de dilution

L'écart thermique entre le point *rejet* et le point *canal* est variable. Cet écart dépend de la quantité d'eau réchauffée arrivant au point *rejet*. Cette proportion peut être calculée à l'aide la formule :

$$\pi = \frac{T_{rejet} - T_{canal}}{T_{condenseur} - T_{canal}} \times 100 \quad (1)$$

où π (en %) représente la proportion d'eau réchauffée, et T_{rejet} , T_{canal} et $T_{condenseur}$ respectivement les températures aux point *rejet*, *canal* et à la sortie du condenseur (données EDF). Le dénominateur de l'équation (1) représente la différence de température entre les eaux réchauffées et celles du milieu récepteur (ΔT). Cette différence n'excède théoriquement pas 15° C (Malherbe et Manoha, 1977).

Les quantités d'eau réchauffée, ainsi que les taux de dilution sont indiquées dans le tableau 2.3 ci-après.

Tableau 2.2 :
Proportion (en %) d'eau réchauffée et taux de dilution dans les prélèvements réalisés au point *rejet*

EN %	MARS	JUIN	SEPTEMBRE
PROP. D'EAU ÉCHAUFFÉE π	17	16	17
TAUX DE DILUTION (100- π)	83	84	83

La proportion d'eau échauffée au point *rejet* sont de 17 % en mars, 16 % en juillet et 17 % en septembre. Ceci correspond à des taux de dilution de 83 % lors de la campagne de printemps, 84 % en été et 83 % en automne. Les taux de dilution moyens observés depuis 1988 étant respectivement de 90 %, 89 % et 87 % pour les campagnes de printemps, d'été et d'automne.

2.2.1.4. Approche statistique

Le tableau 2.4 présente les résultats des tests statistiques relatifs aux variations spatiales de la température entre 1988 et 2003. L'étude indique que la température de l'eau de mer au point *rejet* a été significativement différente (au seuil de 5 %) de celles des autres points. Ce résultat confirme l'existence d'un impact thermique significatif et permanent au point *rejet*.

Tableau 2.3 :
Probabilité associée p des tests statistiques sur la température

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,00002	0,006	6·10⁻⁷
RÉFÉRENCE / REJET	2·10⁻⁸	1·10⁻⁶	5·10⁻⁷
CANAL / RÉFÉRENCE	0,052	0,453	0,288

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

En revanche, la différence entre les points *canal* et *référence* n'est pas significative tout au long de l'année.

2.2.2. Salinité

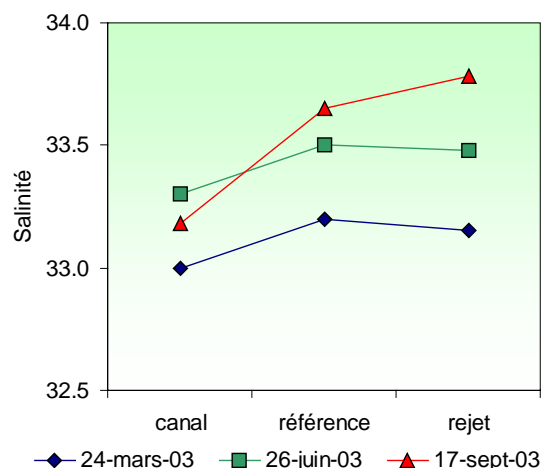
2.2.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la salinité

Les salinités moyennes ont été comprises entre 33,2 et 33,8 au point *rejet*, entre 33,0 et 33,3 au point *canal* et entre 33,2 et 33,7 au point *référence* (figure 2.8).

En 2003, les salinités les plus faibles ont été enregistrées au printemps au point *canal* avec une valeur moyenne de 33,0. Les salinités les plus élevées ont été observées en septembre (maximum de 33,8) au point *rejet*.

Pour les campagnes de mars et de juin, le gradient croissant de salinité s'établit de la façon suivante : *canal*, *rejet*, *référence*. En septembre le point *rejet* présente une salinité supérieure à celle du point *référence*.

Figure 2.8 :
Salinité de l'eau de surface lors des campagnes de 2003



Les salinités observées pendant les campagnes de 2003 peuvent être considérées comme élevées : elles sont légèrement supérieures à celles observées par Brylinski *et al.* (1991) qui constataient une accumulation d'eaux dessalées (salinité comprise entre 32 et 33) au large du pays de Caux. Dupont *et al.* (1991) relèvent des salinités comprises entre 31,5 et 33,0 autour de Dieppe à pleine mer. Cependant, ce schéma peut être rapidement modifié à terme par de fortes pluies ou dépendre de la réalisation des prélèvements à basse mer plutôt qu'à pleine mer.

Des salinités encore plus fortes ont été observées au même moment devant la centrale de Penly, située à environ 50 km à l'est de Paluel.

2.2.2.2. Variations inter-annuelles

La figure 2.9 présente les valeurs de salinité aux différents points au cours de la période 1988-2003. Les salinités enregistrées en mars et en juin 2003 présentent en général des valeurs supérieures d'une unité par rapport aux mêmes périodes de 2002. Les valeurs automnales se trouvent dans la moyenne générale et très proches de celles observées l'année dernière.

En mars et en juin, les campagnes de surveillance se sont déroulées après une période de faibles pluies (respectivement 0,2 et 6,2 mm de hauteur d'eau pendant les sept jours précédant chaque campagne). En septembre, la campagne a été précédée de pluies plus importantes (17,4 mm).

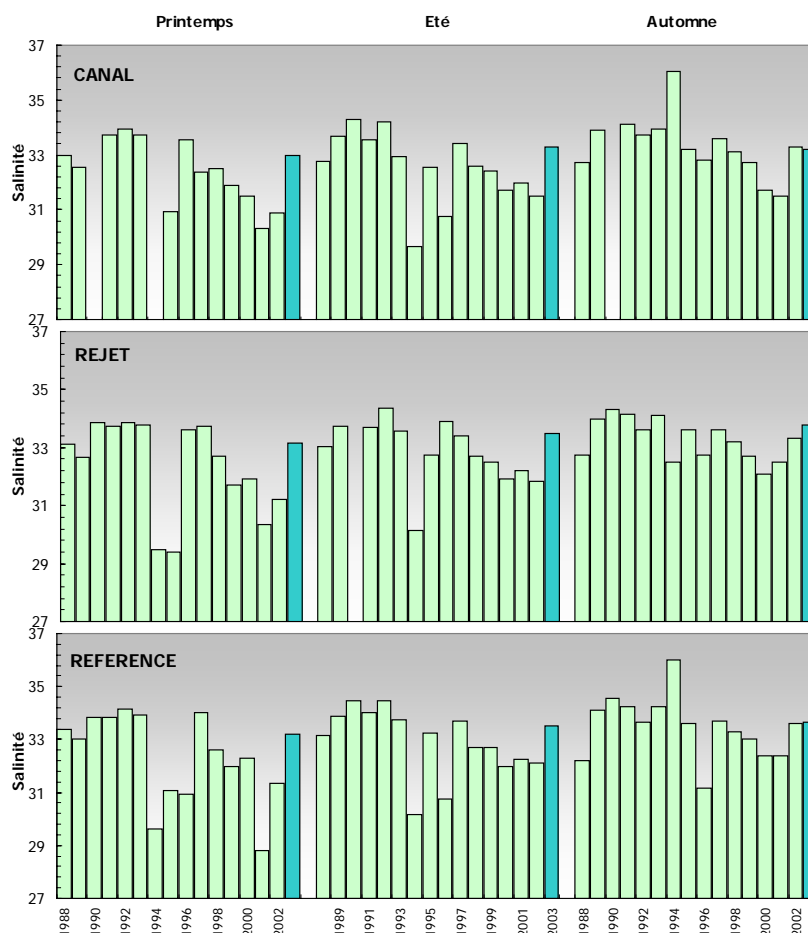


Figure 2.9 :
Salinité de l'eau (en surface) lors des campagnes de 1988 à 2003

Les mois de janvier et février 2003 ont été marqués par un fort débit de la Seine, bien supérieur à la moyenne enregistrée entre 1941 et 2002 (figure 2.10). En revanche les mois de mars à décembre, ont présenté des valeurs nettement inférieures à cette moyenne. Ce phénomène explique probablement les fortes salinités observées en mars et en juin.

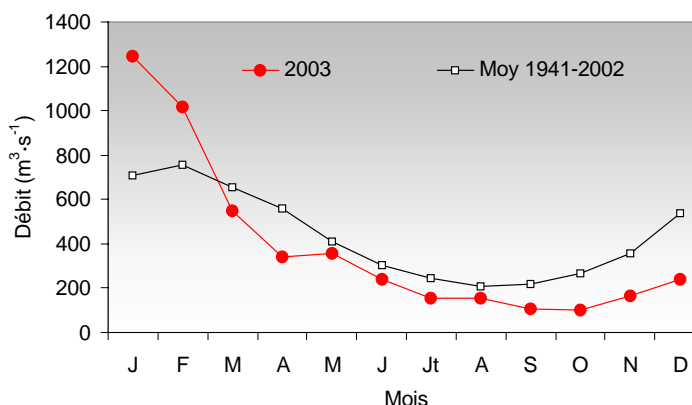


Figure 2.10 :
Débit mensuel moyen de la Seine à Poses en 2003 et moyenne mensuelle au cours de la période 1941-2002

L'influence de la pluviométrie sur la salinité dans ce secteur est en effet importante. Elle est accentuée par un hydrodynamisme local particulier : les courants de marée sont parallèles à la côte et constituent une entrave au mélange des eaux d'origine continentale avec les eaux océaniques. Cela crée une masse d'eau côtière permanente, appelée '*fleuve côtier*' dont la dessalure est sans cesse entretenue par les apports fluviaux qui s'échelonnent de la baie de Seine au Pas de Calais (Brylinski *et al.*, 1991).

Les 'boîte à moustaches' permettent d'apprécier les fortes salinités observées au printemps et en été 2003 (figure 2.11), au contraire des valeurs automnales positionnées sur la médiane (à l'exception de la valeur du point *rejet* plus élevée).

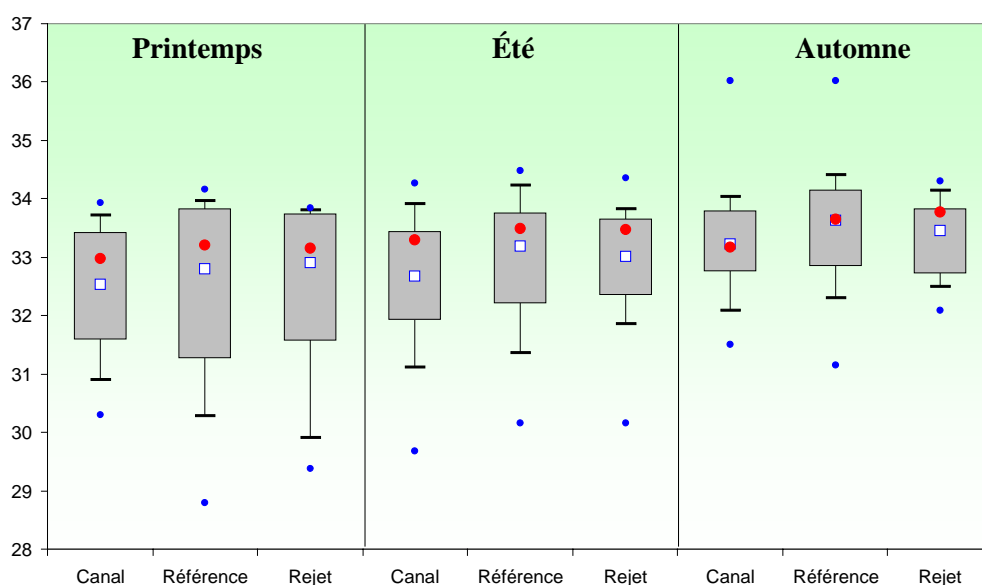


Figure 2.11 :
Comparaison des
distributions de la
salinité par saison
et par point entre
1988 et 2003

La dispersion des valeurs est plus forte au printemps. Le gradient côte-large croissant *canal-rejet-référence*, observé pour l'ensemble des données obtenues depuis 16 ans, se confirme en 2003 pour les situations observées en mars et en juin. La présence de ce gradient pourrait s'expliquer par l'existence du fleuve côtier qui draine, près de la côte, des eaux dessalées se dirigeant vers le nord.

2.2.2.3. Approche statistique

Le tableau 2.5 présente les résultats des tests statistiques relatifs aux variations spatiales de la salinité depuis 1988 jusqu'en 2003.



Tableau 2.4 :
Probabilité associée p
des tests statistiques
sur la salinité

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,149	0,0005	0,227
RÉFÉRENCE / REJET	0,024	0,005	0,429
CANAL / RÉFÉRENCE	0,016	$6 \cdot 10^{-6}$	0,026

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

L'été présente des différences significatives entre tous les points de prélèvement. Au printemps et en automne des valeurs de p supérieures ou proches du seuil de 0,05 sont observées, indiquant des différences non significatives entre le point *rejet* et les autres points.

Les tests statistiques indiquent des différences significatives entre tous les points en été, et entre les points *canal* et *référence* pour les trois campagnes. Ce résultat et la distribution observée dans la figure 2.11 suggèrent l'influence en terme d'apport d'eau douce au niveau du *canal* par le fleuve côtier.

En raison du courant résiduel portant au nord-est, la zone est affectée par une dérive des eaux issues de la baie de Seine. L'influence des cours d'eau côtiers, la *Durdent* et la *Valmont*, caractérisés par un débit faible et irrégulier et qui se jettent à l'ouest du site, est bien inférieure à l'influence que subit par exemple le site de Penly qui reçoit l'apport de la *Saône* et de l'*Arques*. En 2003, les faibles pluies du printemps et de l'été ont eu comme conséquence la disparition de ce phénomène, bien visible en 2002. Le seul effet perceptible restait le 'fleuve côtier' drainant les apports de la *Seine*, qui deviennent moins perceptibles au fur et à mesure de l'éloignement de son embouchure.

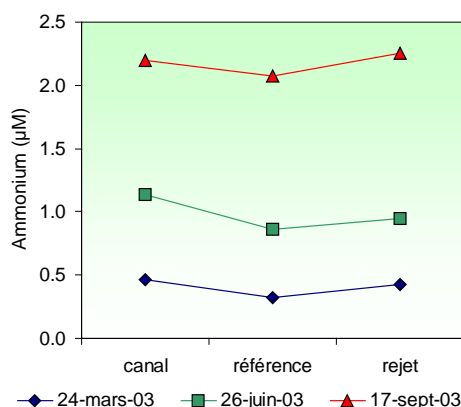
La centrale peut représenter une source d'eau douce via les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, des circuits secondaires ainsi que des circuits annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire. Ces rejets représentent un volume d'environ 100 000 m³ d'eau douce par an et par tranche (EDF : Rapport annuel de surveillance de l'environnement 2000). Par ailleurs, un calcul simple montre que le volume annuel d'eau de mer utilisé pour le circuit refroidissement de la centrale, et dans lequel les rejets sont dilués, est d'environ 5,6 milliards de m³. Le facteur de dilution des effluents d'eau douce est donc très important, de l'ordre de 10 000.

2.2.3. Ammonium

2.2.3.1. Variations spatiales et saisonnières en Ammonium

Les teneurs en ammonium ont varié au cours des campagnes 2003 de 0,46 à 2,20 μM au point *canal*, de 0,43 à 2,25 μM au point *rejet* et de 0,32 à 2,07 μM au point *référence* (figure 2.12).

Figure 2.12 :
Concentrations en ammonium (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2003



Une augmentation des concentrations moyennes en ammonium est observée du printemps vers l'automne, ce qui est cohérent avec l'augmentation de l'activité hétérotrophe. Les trois courbes de concentration en ammonium présentent la même allure, avec la valeur la plus faible située au niveau du point *référence*.

Si l'on tient compte des incertitudes liées à la méthode analytique, les valeurs en ammonium aux points *canal* et *rejet* sont comparables.

Les variations en ammonium résultent des processus d'assimilation, de dégradation et d'excrétion lors de l'activité biologique des niveaux trophiques supérieurs dans la colonne d'eau, ainsi que des processus de reminéralisation en fin d'été et en automne (Ragueneau *et al.* 1994).

2.2.3.2. Variations inter-annuelles

Les variations de concentration en ammonium aux différents points depuis 1988 sont présentées sur les figures 2.13 et 2.14. Il est difficile d'observer une tendance à long terme de ce paramètre, qui présente une forte variabilité inter-annuelle.

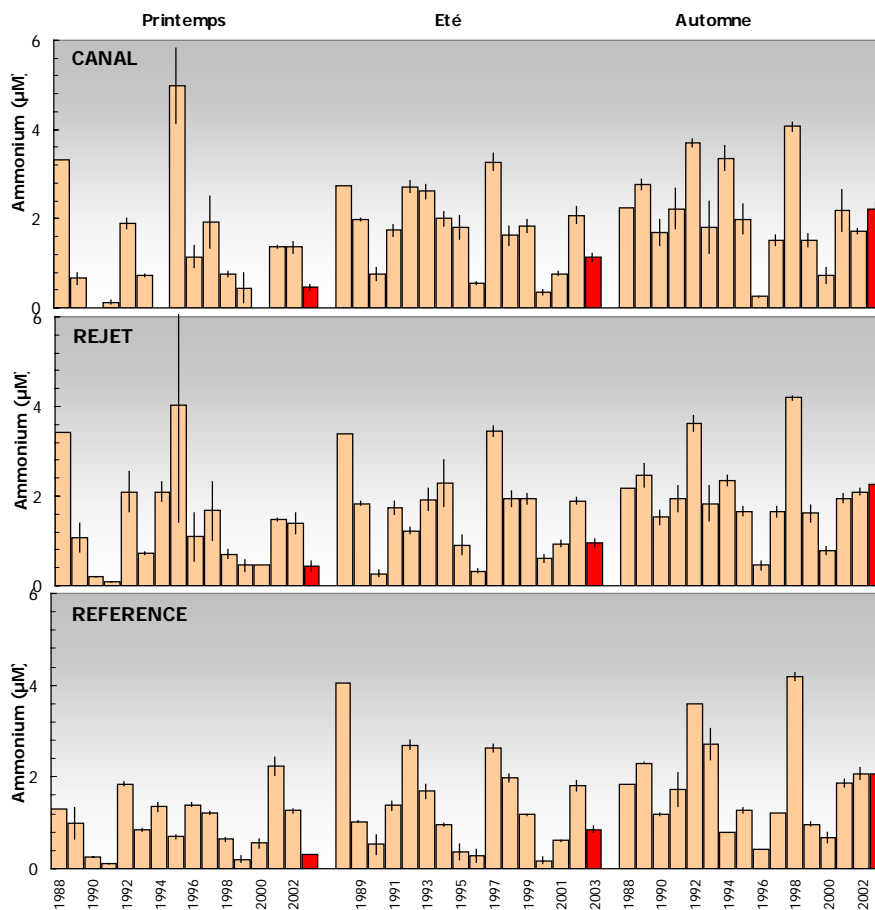


Figure 2.13 :
Concentration en
ammonium dans
l'eau de surface lors
des campagnes de
1988 à 2002

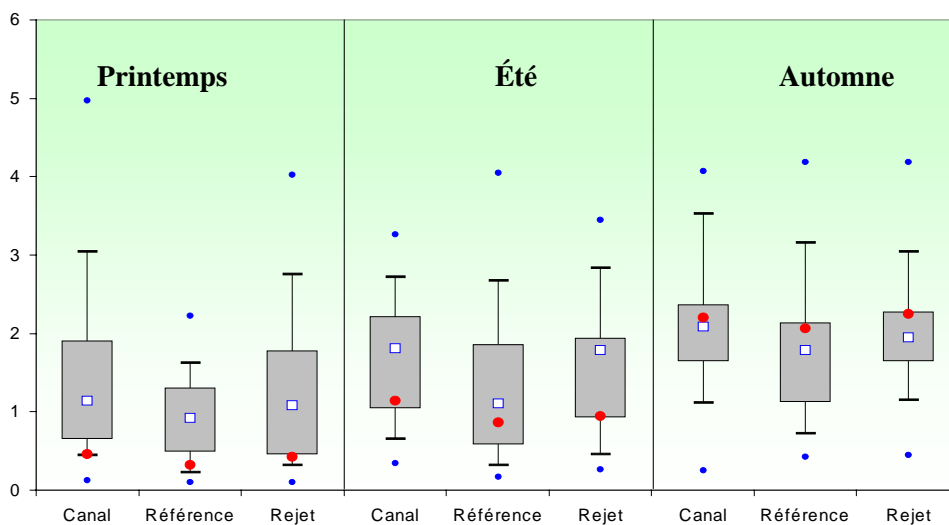


Figure 2.14 :
Comparaison des
distributions de
l'ammonium par
saison et par point
entre 1988 et 2003

Au printemps et en été, les valeurs sont nettement inférieures à celles observées en 2002, contrairement à l'automne, où elles sont en légère augmentation, sauf au point *référence*. Les écarts observés entre les situations de 2002 et de 2003 sont plus marqués sur les trois points échantillonnés en mars, où les valeurs enregistrées en 2003 n'ont représenté que la moitié ou le tiers de celles observées en 2002.

La dispersion des valeurs mesurées au cours de l'ensemble des campagnes printanières est légèrement plus forte que celles observées en été et en automne. Cependant, les médianes sont plus homogènes au printemps et montrent moins de variabilité entre les points (figure 2.14). Le gradient côte-large est bien mis en évidence sur la figure 2.14, où sont intégrées les 16 dernières années. Les valeurs en ammonium observées en mars et en juin ont été toutes très en dessous des médianes respectives, tandis qu'en septembre les valeurs de 2003 se trouvaient au dessus des médianes pluriannuelles.

2.2.3.3. Approche statistique

Les tests statistiques relatifs à la teneur en ammonium depuis 1988 à Paluel sont présentés dans le tableau 2.6.

Tableau 2.5 :
Probabilité associé
 p des tests
statistiques sur
l'ammonium

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,999	0,297	1,000
RÉFÉRENCE / REJET	0,302	0,216	0,002
CANAL / RÉFÉRENCE	0,267	0,006	0,080

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

Les résultats montrent que les teneurs en ammonium ne sont pas significativement différentes entre les points tout au long de l'année, excepté entre les points *référence* et *rejet* en automne et *canal* et *référence* en été. Ceci peut s'expliquer par la forte variabilité temporelle de ce paramètre.

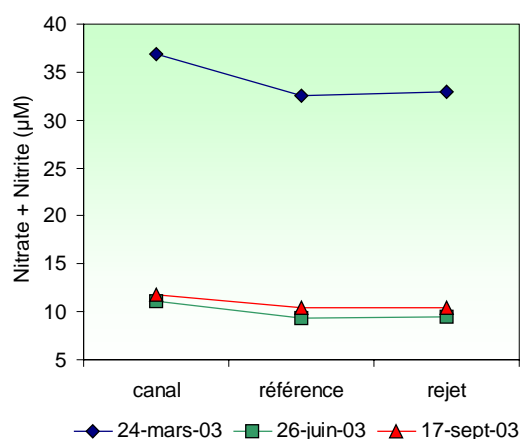
La centrale peut représenter une source potentielle d'ammonium via des rejets d'ammoniaque. Le conditionnement du circuit secondaire nécessite en effet l'utilisation de ce produit chimique. Les vidanges de ce circuit occasionnent des rejets d'environ $6,3 \text{ t}\cdot\text{an}^{-1}$ (en 2001 ; données EDF). L'absence de différence systématiquement significative de la teneur en ammonium entre les points indique que ces rejets sont en dessous du seuil de détection des test. Les teneurs en ammonium présentent des variations saisonnières classiques, ce qui suggère que la centrale n'engendre pas de perturbation notable du cycle naturel de ce paramètre.

2.2.4. Nitrate et nitrite

2.2.4.1. Variations spatiales et saisonnières de l'azote

Les teneurs en azote (nitrate + nitrite) mesurées au cours des campagnes de surveillance 2003 ont été comprises entre 11,1 et 36,9 μM au point *canal*, entre 9,5 et 32,9 μM au point *rejet* et entre 9,3 et 32,6 μM au point *référence* (figure 2.15).

Figure 2.15 :
Concentrations
en azote (μM) dans
les eaux de surface
lors des campagnes
de 2003



Les concentrations en azote diminuent entre le printemps et l'été. Les valeurs automnales sont sensiblement similaires à celles observées pendant l'été.

Les plus faibles valeurs observées en mars et en juin 2003 peuvent être mises en relation avec les fortes salinités ($> 33,0$) provoquées par les faibles précipitations (voir § 2.2.2.2). Un gradient décroissant côte-large est clairement mis en évidence par la distribution spatiale de l'azote observée en 2003.

La forte diminution de l'azote en été est vraisemblablement causée par le développement printanier du phytoplancton. Bien qu'on enregistre en été une forte chute des teneurs en nitrate et nitrite, les concentrations restent supérieures à celles rapportées dans le même secteur à la fin du printemps par Brylinski *et al.* (1996). En automne, les teneurs restent au même niveau.

2.2.4.2. Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en azote sur la période 1988-2003 sont respectivement présentées sur les figures 2.16 et 2.17.

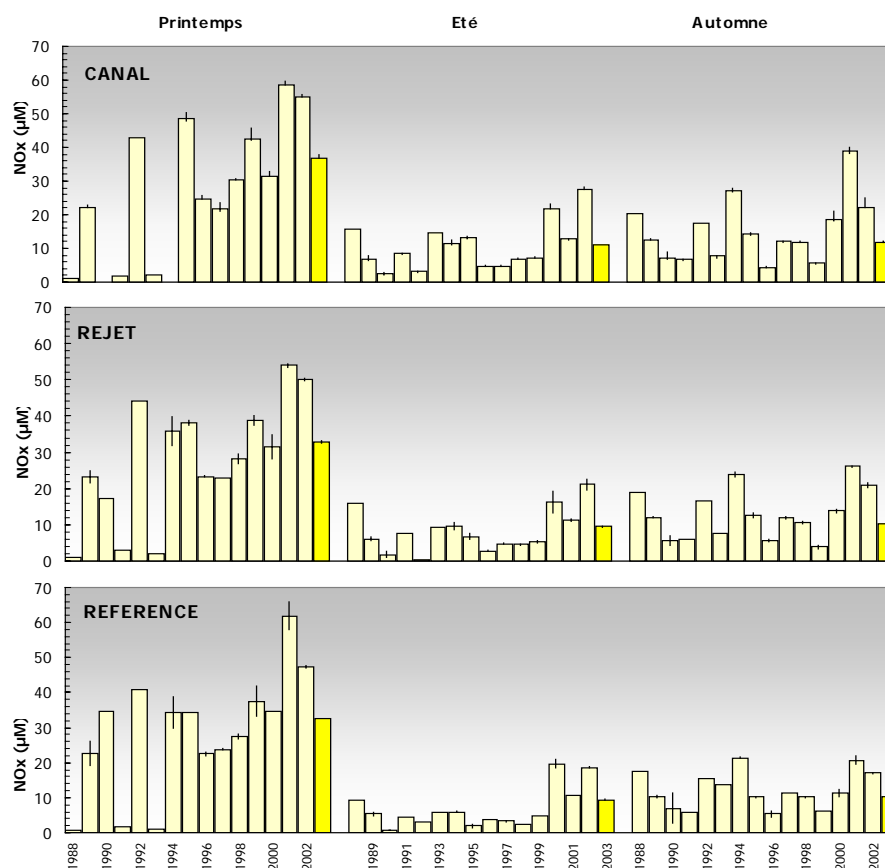
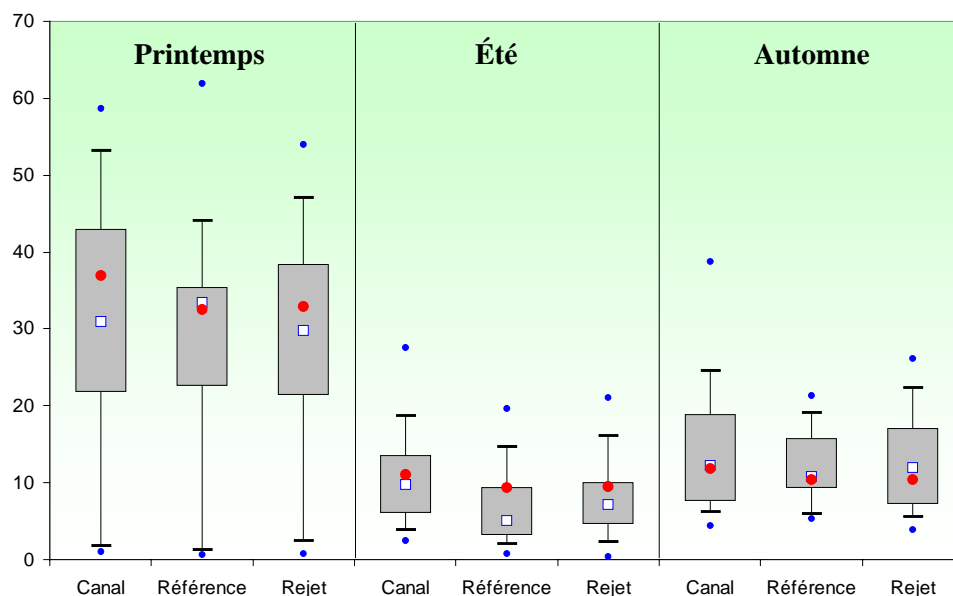


Figure 2.16 :
Concentrations en azote (μM) dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2003

En raison des importantes précipitations lors des hivers 2000/2001 et 2001/2002, les valeurs d'azote observées en 2001 et 2002 ont été les plus fortes de ces dernières années. Les valeurs observées en 2003 sur l'ensemble des points sont revenues à des niveaux plus proches des moyennes pluriannuelles.

Les 'boîtes à moustaches' de la figure 2.17 présentent les valeurs d'azote de 1988 à 2003. Bien qu'en diminution par rapport aux deux années précédentes, les valeurs en azote du printemps et de l'été 2003 restent au dessus des médianes. Cependant cette information est à prendre avec précaution, car les très faibles valeurs d'azote observées en 1988, 1991 et 1993 sont probablement dues au caractère tardif des campagnes (effectuées en mai) qui a fait diminuer la valeur des médianes printanières. Bien que ces dernières aient présenté les plus fortes dispersions, la tendance saisonnière met en évidence une diminution des concentrations en été et une régénération en automne. Ce schéma n'apparaît pas clairement en 2003.

Figure 2.17 :
Comparaison des
distributions des
concentrations en
azote par saison et
par point depuis
1988



Le gradient côte-large est bien marqué au printemps (figure 2.17), moins en été et en automne. Au printemps, la tendance pluriannuelle est à un gradient inversé où les plus fortes concentrations se trouvent au point *référence* à environ 2 km de la côte, dans la masse d'eau du large. La campagne printanière n'est cependant pas toujours réalisée avant le premier bloom phytoplanctonique, ce qui peut masquer un gradient côte-large décroissant.

2.2.4.3. Approche statistique

Le tableau 2.7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour l'azote entre 1988 et 2003.

Tableau 2.6 :
Probabilité associé
 p des tests
statistiques sur les
l'azote

	COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
NITRATE	CANAL / REJET	0,048	0,0006	0,006
	RÉFÉRENCE / REJET	0,080	0,036	0,238
	CANAL / RÉFÉRENCE	0,181	0,0002	0,024

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

Cette étude statistique ne met pas en évidence de différence significative entre les trois points au printemps (valeur de $p = 0,048$, valeur proche du seuil). Le stock hivernal d'azote est donc *quasi* identique de la côte au large.

En été nous observons des différences significatives entre toutes les points. En septembre, seul le couple *référence-rejet* présente des différences non significatives. Ceci suggère que l'ensemble des points ne se trouvaient pas à l'intérieur du fleuve côtier au moment des deux dernières campagnes 2003 mais étaient réparties au long d'un gradient côte-large décroissant. Ceci est confirmé par l'étude statistique de la salinité (voir 2.2.2.3.).

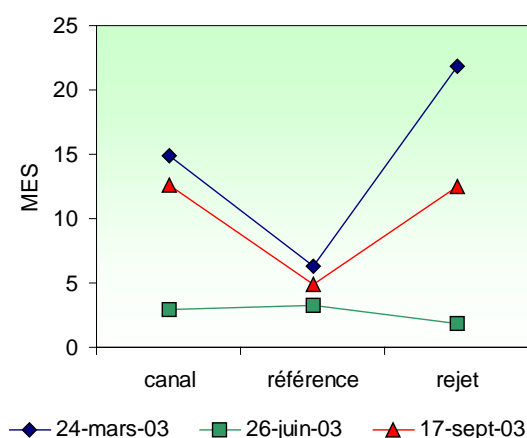
Les variations des concentrations observées en 2003 sont *a priori* caractéristiques d'un cycle saisonnier classique pour l'azote. Cependant, ce dernier a été marqué par des concentrations corrélées à de fortes salinités, elles mêmes induites par les faibles précipitations. La centrale semble donc n'avoir d'impact ni sur le cycle annuel, ni sur les teneurs de ces sels nutritifs.

2.2.5. Matières En Suspensions (MES)

2.2.5.1. Variations spatiales et saisonnières des MES

En 2003, les teneurs en MES (figure 2.18) ont varié au cours des campagnes de 2,9 à 14,9 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ au point *canal*, de 1,9 à 21,8 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ au point *rejet* et de 3,3 à 6,3 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ au point *référence*.

Figure 2.18 :
Concentrations
en MES ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)
dans les eaux de
surface lors des
campagnes de
2003



Les périodes printanières et automnales présentent des concentrations en MES plus fortes que celles observées en été. Leur distribution spatiale est similaire, avec un minima prononcé sur le point *référence* au printemps et en automne. La faible variabilité de résultats obtenus en été met en évidence l'homogénéité de la masse d'eau à cette période.

Le 'fleuve côtier' (Brylinski *et al.*, 1991) peut expliquer les plus fortes concentrations en MES près des côtes. En mars, les concentrations en MES

suggèrent davantage l'activité phytoplanctonique que les apports des fleuves. En automne c'est probablement le cas inverse qui a eu lieu.

2.2.5.2. Variations inter-annuelles

Les variations en MES au cours de la période 1988-2003 sont présentées sur la figure 2.19.

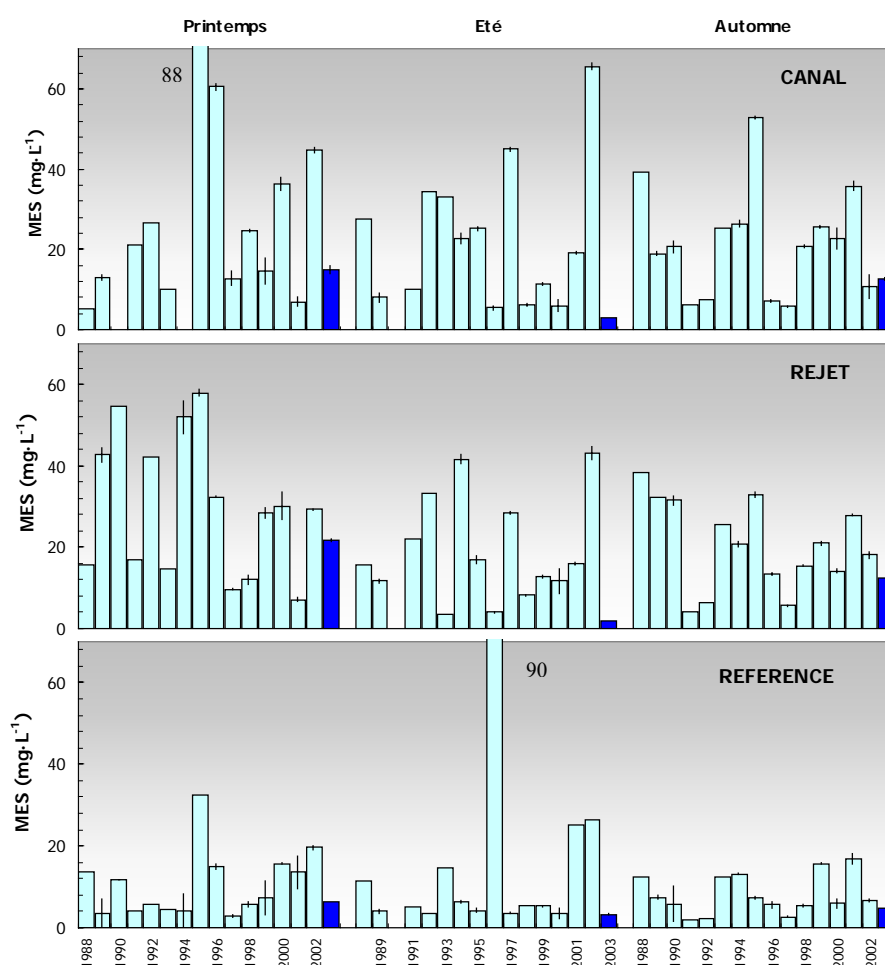


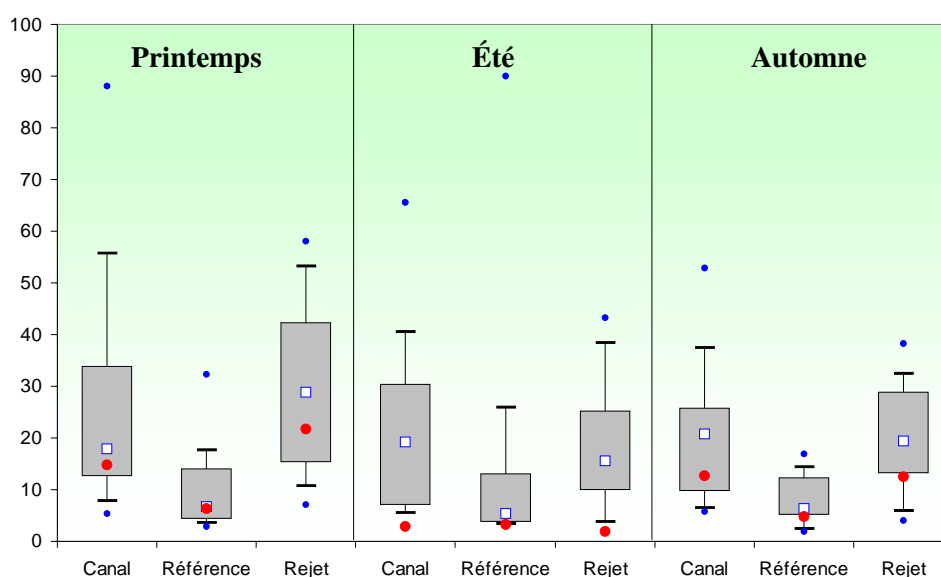
Figure 2.19 :
Concentrations en
MES dans l'eau de
surface lors des
campagnes de 1988
à 2003

Bien qu'elles s'inscrivent dans la plage de variations des MES depuis 1988, les concentrations en MES observées au printemps et en été sont inférieures à celles observées en 2002. En automne, toutes les valeurs mesurées en MES ont été du même ordre que celles enregistrées en 2002.

La figure 2.20 montre que les plus fortes dispersions de valeurs sont observées pendant les campagnes de printemps et d'été, au moment où les pluies provoquent les plus forts débits des fleuves. Les boîtes contenant 50 % des

valeurs sont plus réduites au point *référence* pendant toute l'année, ce qui est conforme à une plus faible variabilité des MES dans la masse d'eau du large. Comme pour l'ammonium, les mesures de MES obtenues depuis 1988 présentent une très forte variabilité.

Figure 2.20 :
Comparaison des
distributions des
concentrations en
MES par saison
et par point
depuis 1988



Toutes les valeurs de MES observées en 2003 ont été en dessous des médianes pluriannuelles. Ce phénomène est particulièrement marqué en été, où des minima absolus ont été enregistrés sur les trois points. Les gradients de MES observés en 2003 suivent la tendance pluriannuelle des seize dernières années lors des campagnes de mars et de septembre, avec un gradient décroissant côte-large.

2.2.5.3. Approche statistique

Les tests statistiques relatifs aux concentrations en MES depuis 1988 à Paluel sont présentés dans le tableau 2.8.

Tableau 2.8 :
Probabilité
associé p des
tests statistiques
sur les MES

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,776	0,315	0,596
RÉFÉRENCE / REJET	0,0002	0,121	0,00004
CANAL / RÉFÉRENCE	0,004	0,039	0,0002

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

Les résultats indiquent qu'il existe des différences significatives entre le point *référence* et les points *canal* et *rejet* tout au long de l'année (à l'exception d'une probabilité p égale à 0,061 obtenue aux point *référence* et *rejet* en été).

Comme cela a été déjà mentionné, le point *référence* présente une concentration en MES inférieure aux deux autres points, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que ce point est le plus éloigné de la côte et se trouve donc vraisemblablement moins soumis aux apports telluriques du fleuve côtier.

Les concentrations en MES du point *rejet* sont sensiblement similaires à celles observées au point *canal* tout le long de l'année, ce qui suggère que la centrale n'engendre pas de perturbation sur les teneurs en MES.

2.2.6. Organo-halogénés

Pour éviter le 'fouling' dans les canalisations de rejet, les centrales électriques utilisent la chloration comme méthode préventive. Les composés dérivés pouvant se retrouver dans les eaux des rejets sont essentiellement les trihalométhanes. Il s'agit des composés volatils les plus 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 les quantités de matière organique et d'ammoniaque dissous.

Les quatre formes organo-halogénées recherchées sont :

- Tribromométhane = 'bromoforme' (CH Br_3),
- Dibromomonochloro-méthane ($\text{CH Br}_2 \text{Cl}$),
- Dichloromonobromo-méthane (CH Br Cl_2),
- Trichlorométhane = 'chloroforme' (CH Cl_3).

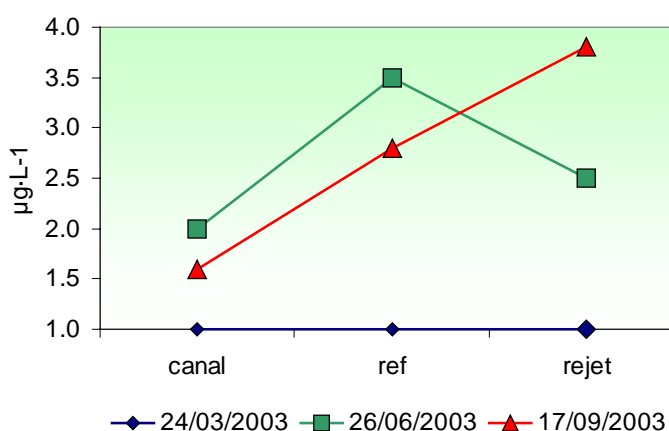
Au cours des dix dernières années, seules les valeurs en tribromométhane ont été supérieures aux limites de détection des appareils de mesure. Dans cette étude, nous nous focaliserons donc sur ce composé.

La méthode suivie est celle préconisée par la norme NF ISO 10301 (chromatographie en phase gazeuse). Deux prélèvements en surface sont effectués en chaque point d'échantillonnage et stockés au frais et à l'ombre jusqu'à leur analyse au laboratoire.

2.2.6.1. Variations spatiales et saisonnières du tribromométhane

Seules les campagnes de juin et de septembre ont présenté des concentrations supérieures au seuil de détection analytique de $1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. La valeur maximale a été observée au point *rejet* avec $3,8 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ en automne (figure 2.21). En été la valeur maximale est observée au point *référence*.

Figure 2.21 :
Concentrations
en tribromométhane
($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) dans les eaux
de surface lors des
campagnes de 2003

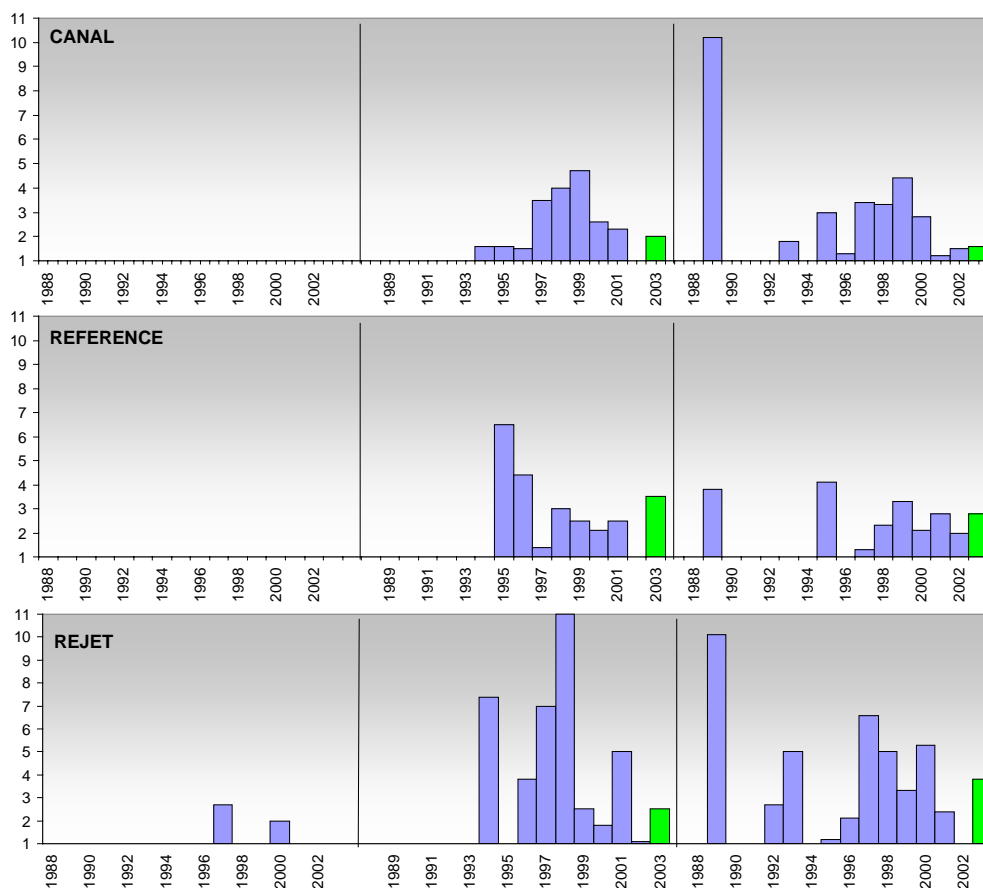


2.2.6.2. Variations inter-annuelles du tribromométhane

L'étude de l'évolution spatio-temporelle du tribromométhane (figure 2.22) montre que les plus faibles valeurs sont enregistrées pendant la période printanière : tous les résultats sont inférieures au seuil de détection, hormis deux valeurs ne dépassant pas $3 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ au point *rejet* en 1997 et 2000. En été et en automne, davantage de mesures ont dépassé le seuil de détection, les valeurs enregistrées en 2003 ayant toujours été supérieures à celles observées en 2002.

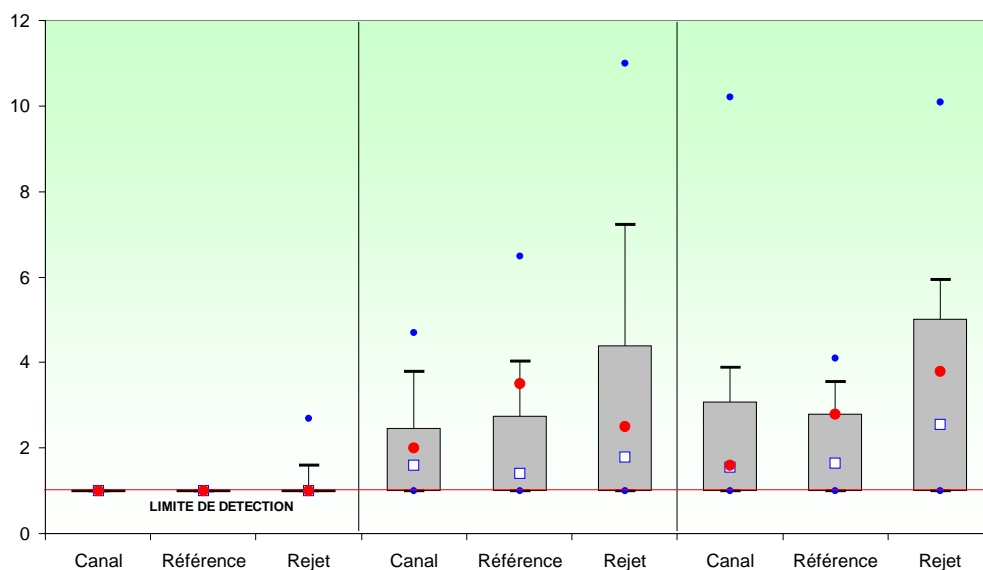
Les 'boîtes à moustaches' de la figure 2.23 montrent les faibles concentrations en tribromométhane au printemps. L'été et l'automne présentent des allures tout à fait comparables. La variabilité au point *rejet* est plus marquée que pour les deux autres points (boîte contenant 50 % des valeurs). Les médianes du point *référence* présentent les valeurs les plus faibles. Les concentrations en tribromométhane observées en juin et en septembre 2003 ont toutes été au dessus des médianes pluriannuelles, restant toutefois inférieures à $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, valeur tout à fait acceptable pour le milieu marin (Abarnou *et al*, 1990).

Figure 2.22 :
Concentrations en
tribromométhane
($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) dans l'eau
de surface lors des
campagnes de 1988
à 2003



La faible quantité de données significatives ne permet pas, dans le cas du tribromométhane, de réaliser des tests statistiques.

Figure 2.23 :
comparaison des
distributions des
concentrations en
tribromométhane
($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) par saison
et par point depuis 1988



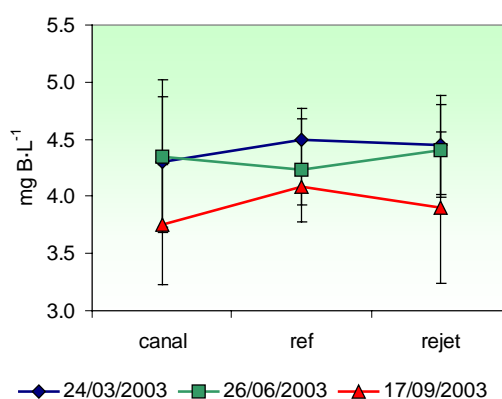
2.2.7. Dosage du Bore

L'acide borique (H_3BO_3) fait partie des produits de conditionnement qui, ajoutés à l'eau déminéralisée, sont introduits dans les circuits d'eau de la centrale. Ce produit est utilisé dans l'eau du circuit primaire en tant qu'absorbeur neutronique pour compenser les lentes variations de réactivité. Le rejet dans le milieu marin (22 tonnes en 1999 et 16 tonnes en 2000 ; données EDF) se fait par l'intermédiaire des effluents radioactifs liquides qui sont eux mêmes rejetés en conformité avec les normes fixées par la réglementation. Dans le cadre des nouvelles dispositions prises par l'arrêté ministériel du 17 juin 2000, les premières mesures de bore dans le milieu marin ont été réalisées le 6 septembre 2000.

Les prélèvements sont réalisés dans des flacons en polyéthylène de 250 ml. Ils sont conservés en glacière jusqu'au laboratoire. Les analyses sont réalisées par ICP – AES à la longueur d'onde de 249,773 nm. Les résultats sont exprimés en $mg \cdot l^{-1}$ de bore (B).

La concentration normale d'acide borique dans l'eau de mer est de $25,6 mg \cdot l^{-1}$, ce qui correspond, à environ $4 mg \cdot l^{-1}$ de bore. Un essai inter laboratoire national a été réalisé en janvier 1987 afin de comparer la répétabilité et la reproductibilité des méthodes sur un même échantillon. L'écart-type obtenu est de $0,06 mg \cdot l^{-1}$ pour la répétabilité, et $0,18 mg \cdot l^{-1}$ pour la reproductibilité.

Figure 2.24 :
Concentrations
en bore ($mg \cdot l^{-1}$)
dans les eaux de
surface pour les
campagnes de 2003.



Les variations des valeurs moyennes de concentration en bore dans les eaux de surface sont comparables en mars et en septembre, avec une valeur minimale au point *canal* et une valeur maximale au point *référence*. En juin 2003, la valeur maximale a été mesurée au point *rejet*. Cependant, compte tenu des incertitudes liées à la mesure et mises en évidence par les intervalles de confiance de la figure 2.24, aucune différence significative n'est observée sur l'ensemble des mesures en 2003.

Compte tenu de ces résultats, nous ne pouvons pas conclure à une influence des rejets de la centrale sur les concentrations mesurées en bore dans les eaux de surface lors des trois campagnes d'échantillonnage en 2003.

2.3. Conclusion

Les résultats du programme de surveillance pour l'année 2003 sur le site de Paluel indiquent que les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau ont été très influencées par les faibles pluies ainsi que par le fort ensoleillement de printemps.

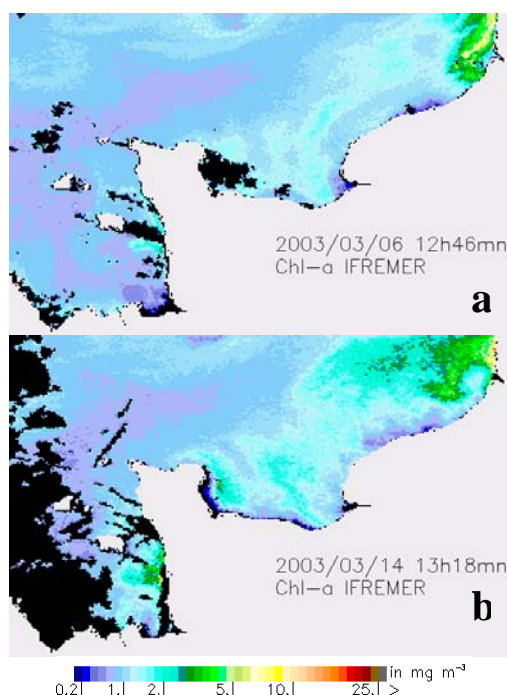
Ce phénomène a engendré une diminution des débits des fleuves côtiers et donc de fortes valeurs de salinité en mars et juin ainsi qu'une diminution des concentrations en sels nutritifs dissous et en MES. En outre, dans ce secteur de la Manche orientale, les courants de marée parallèles à la côte créent une masse d'eau côtière permanente ('fleuve côtier') dont la dessalure est sans cesse entretenue par les apports fluviaux qui s'échelonnent de la Baie de Seine au Pas de Calais. En 2003, l'apport de la Seine a joué un rôle plus marqué sur les caractéristiques du fleuve côtier.

Les paramètres hydrologiques mesurés lors des campagnes de 2003 semblent avoir suivi un cycle saisonnier que l'on peut qualifier de classique : consommation par le phytoplancton des sels nutritifs entre le printemps et l'été à la suite de l'augmentation de l'ensoleillement, suivie en automne par le processus de régénération. Notons que ce dernier phénomène n'est pas apparu de façon marqué en septembre de cette année.

Etant donné le fort ensoleillement de la fin de l'hiver et du début de printemps, le cycle phytoplanctonique a pu démarrer plus tôt dans la saison (Labry *et al.*, 2001 ; Gohin *et al.*, 2003). Ceci semble être confirmé par les images satellitales de la caméra SeaWiFS, qui donnent une estimation de la valeur de la chlorophylle *a* en surface (Gohin *et al.*, 2002). Dans les images du 6 mars 2003, une amorce de l'activité phytoplanctonique est déjà perceptible. L'image du 14 mars confirme l'évolution de cette activité (figures 2.25 a et 2.25 b).



Figure 2.25 :
Chlorophylle *a* estimée
par la caméra satellite
SeaWiFS sur la Manche
le : a) 6 mars 2003 et b)
14 mars 2003



Le tribromométhane et le bore, n'ont pas présenté des valeurs permettant de mettre en cause l'activité de la centrale dans les concentrations observées.

Un récapitulatif des paramètres présentant des différences significatives identifiées à partir de l'étude statistique réalisée sur les données acquises depuis 1988 est présenté dans le tableau 2.9 ci-dessous.

Tableau 2.9 :
Récapitulatif des
paramètres présentant
des différences
significatives

<i>COMPARAISON</i>	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	Température --- Nitrate+Nitrite	Température Salinité Nitrate+Nitrite	Température --- Nitrate+Nitrite
RÉFÉRENCE / REJET	Température Salinité --- --- MES	Température Salinité --- Nitrate+Nitrite ---	Température --- Ammonium --- MES
CANAL / RÉFÉRENCE	Salinité --- --- MES	Salinité Ammonium Nitrate+Nitrite MES	Salinité --- Nitrate+Nitrite MES

Cette étude a révélé que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au point *rejet* qu'aux autres points. Cependant, les mesures indiquent que l'impact thermique est relativement réduit. En effet, les échantillons prélevés aux abords du *rejet* (environ 20 m) présentent des taux de dilution importants (près de 90% en moyenne depuis 1988). Par ailleurs, la modélisation du rejet montre que la tache thermique reste localisée près de la centrale.

La différence de salinité observée entre les points *canal* et *référence* met en évidence l'impact du 'fleuve côtier' dans cette partie de la côte de la Seine Maritime. Ce phénomène est aussi caractérisé par les différences en MES observées entre le point *référence*, situé plus au large, et les deux autres points, plus côtiers.

Finalement, hormis l'échauffement de l'eau aux abords proches du site qui représente le principal impact sur l'écosystème, la centrale via ses rejets ne semble pas modifier les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu (teneurs et variations saisonnières).

2.4. Bibliographie

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.

ARZUL, G., ERARD-LE DENN, E., QUINIOU, F., HALGAND, D., TÉTARD, A. 1990

« Surveillance écologique et halieutique, site de Penly » :rapport définitif
/.Nantes:IFREMER,1990.-96 p. : fig., tabl. ; 30 cm.-

AGOUMI, A., ENDERLE, M.J. & GRAS, R.A. 1983

« Modélisation du régime thermique de la Manche ». *Oceanologica Acta*, **6**, (4) 393-406

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

BRYLINSKI, J.M., LAGADEUC, Y., GENTILHOMME, V., DUPONT, J.-P., LAFITTE, R., DUPEUBLE, P.-A., HUAULT, M.-F., AUGER, Y., PUSKARIC, E., WARTEL, M. & CABIOCH, L. 1991

« Le fleuve côtier, un phénomène hydrologique important en Manche Orientale. Exemple du Pas-de-Calais ». *Oceanologica Acta*, **11**, 197-203

BRYLINSKI, J.M., BRUNET, C., BENTLEY, D., THOUMELIN, G. & HILDE, D. 1996

« Hydrography and phytoplakton biomass in the Eastern English Channel in spring 1992 ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **43**, 507-519

DEWARUMEZ, J.M., ARNAL, O., DEWARUMEZ, N., LE FEVRE-LEHOERFF, G., RYCKAERT, M., TOULARASTEL, F., SOUPLLET, A. 1973.

« Etude écologique de projet, (première année), site de Paluel ». Rapport Final : Juillet 1973 – juillet 1974-1976. Rapport Contrat, CNEXO/EDF [3 Vols]:395 +191 +50p.,Glossaire [23p.]-

DUPONT, J-P., LAFITE, R., HUAULT, M-F., DUPEUBLE, P-A., BRYLINSKI, J-M., GUEGUENIAT, P., LAMBOY, M., CABIOCH, L. 1991

« La dynamique des masses d'eau et des matières en suspension en Manche orientale » *Oceanologica Acta*, Vol. sp. N°11, 177-186.

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*. In press.



GROSSEL, H., DEWARUMEZ, N. , LE FEVRE-LEHOERFF, G., ARNAL, O., DEWARUMEZ, J.M. 1981

« Etude de surveillance écologique du site de Paluel. (Seine- Maritime) ». 1979 1981.- Rapport Contrat, CNEXO/EDF 78/1911 [2 Vols.]:85P.,Fig.

GROSSEL, H., DEWARUMEZ, N. , LE FEVRE-LEHOERFF, G., QUINTIN, J-Y., ARNAL, O., DEWARUMEZ, J.M., MENU, D. 1983.

« Etude de surveillance écologique [sur le] site de Paluel ». Années 1980- 1981 1983. Rapport Contrat, Stat.Mar.Wimereux/Lab.Microbiol.Rouen/CNEXO-COB/EDF 78/1911/BF:[185p.]

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.

JANIN, J.M., MARCOS, D. 1994

« Centrale de Paluel, calcul 3D d'impact thermique». Note technique EDF, Département Laboratoire National d'Hydraulique. 48 pp.

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

RAGUENEAU, O., DE BLAS VARELA, E., TRÉGUER, P., QUÉGUINER, 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.

SIMPSON, J.H. & HUNTER, J.R. 1974

« Fronts in the Irish Sea ». *Nature*, **1250**, 404-406

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

3. La Microbiologie

Rapport et prélèvements Luis Lampert (DEL/PB).

Analyses Laboratoire de ROUEN.

Participation Hervé du Boullay (DEL/PB),
Ronan Le Goff (DEL/PB).



3.1. Introduction

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 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, (31 % des cas), *Vibrio parahaemolyticus* et *V. alginolyticus* (24 % des cas), *V. vulnificus* (17 %) et *V. hollisae* (4 %) (Geneste, 1999 ; Miossec, 2002).

Les travaux sur la centrale ont pu créer des conditions plus favorables pour le développement bactérien (augmentation des matières en suspension). Il est à ajouter qu'un cas de contamination par le vibron halophile *V. vulnificus* d'un baigneur, ayant une plaie au pied, a été détecté en 2003 sur les plages proches du Havre.

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Paluel, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes eaux les 24 mars, 26 juin et 17 septembre 2003. Ils ont été menés à bord du navire océanographique *Thalia*. Les points échantillonnés sont les suivants :

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

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



Les prélèvements sont effectués au moyen de flacons stériles par l'IFREMER. Les échantillons sont maintenus au froid pendant le transport jusqu'au laboratoire.

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

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

Dénombrement des germes aérobies revivifiables sur milieu de Zobell.

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

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

Recherche de vibrions halophiles

Ces vibrions ont la particularité de pouvoir subsister longtemps dans le milieu marin. Leur présence est décelée par la méthode suivante :

- filtration de 1 l d'eau de mer sur une membrane de 0,45 μm ;
- enrichissement pendant 24 h sur milieu Akyama à 37 °C ;
- isolement sur gélose TCBS pendant 18 h à 37 °C ;
- repiquage sur milieu Kligler pendant 18 h à 37 °C ;
- identification par tests biochimiques (galerie API 20 NE) et vibriostatiques (test O129).



Dénombrement des vibrions halophiles

Méthode NPP en 3 tubes :

- 3 dilutions : 10 *ml*, 1 *ml* et 0,1 *ml*
- milieu Akyama double et simple concentration, 24 h à 37 °C ;
- isolement sur gélose TCBS pendant 18 h à 37 °C ;
- repiquage sur milieu Kligler pendant 18 h à 37 °C ;
- test vibrio-statiques (tests O129);
- identification par tests biochimiques (galerie API 20 NE).



3.3. Résultats

3.3.1. Récapitulatif des résultats des mesures microbiologiques pour l'année 2003.

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2003 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 3.1 :

	(Valeurs moyennes)	CANAL (n=2)	REJET (n=2)	RÉFÉRENCE (n=4)
24 MARS	<i>Germes totaux (g.ml⁻¹)</i>	133 000	137 000	107 000
	<i>Germes revivifiables (g.ml⁻¹)</i>	960	650	150
	<i>Vibrions halophiles-100 ml⁻¹</i>	<3	<3	<3
	<i>Identification de vibrions halophiles</i>	Absence	Absence	Absence
26 JUIN	<i>Germes totaux (g.ml⁻¹)</i>	122 000	136 000	117 000
	<i>Germes revivifiables (g.ml⁻¹)</i>	1750	645	745
	<i>Vibrions halophiles-100 ml⁻¹</i>	<3	<3	<3
	<i>Identification de vibrions halophiles</i>	V.alg. + V.vul.	V.alg. + V.vul.	V.alg.
17 SEPTEMBRE	<i>Germes totaux (g.ml⁻¹)</i>	117 000	144 000	119 000
	<i>Germes revivifiables (g.ml⁻¹)</i>	16 500	10 500	35 800
	<i>Vibrions halophiles-100 ml⁻¹</i>	43	23	93
	<i>Identification de vibrions halophiles</i>	V.alg. + V.vul.	V.vul.	V.alg.

Tableau 3.1 :
Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2003 dans les eaux de surface

V.alg. = *Vibrio alginolyticus* ; **V.vul.** = *Vibrio vulnificus*

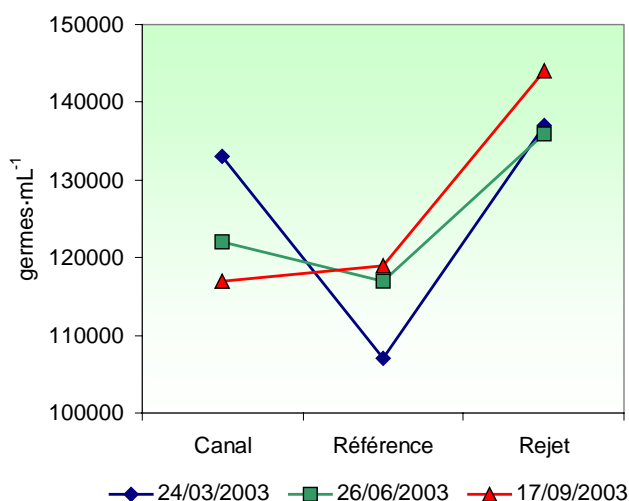


3.3.2. Résultats en germes totaux en épifluorescence

3.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières des germes totaux en 2003

Les valeurs de dénombrement en 2003 ont été comprises entre 107 000 germes· ml^{-1} en mars au point *référence* et 144 000 germes· ml^{-1} en septembre au point *rejet*, ce qui représente une faible variabilité des abondances de germes (figure 3.1). Au cours de l'année, le nombre total de germes ('germes totaux') dénombrés par épifluorescence est resté toujours du même ordre de grandeur, quelle que soit la saison.

Figure 3.1 :
Germes totaux par ml
dénombrés par
épifluorescence en 2003.



En été et en automne, le nombre des germes aux points *référence* et *canal* est similaire et inférieur à celui observé au point *rejet*. Les valeurs dénombrées au point *rejet* tout au long de l'année présentent la plus faible variabilité saisonnière.

3.3.2.2. Variations inter-annuelles des germes totaux en épifluorescence

Le nombre total de germes dénombrés par épifluorescence en 2003 présente moins de variations qu'en 2002 (figure 3.2). Depuis 1996, les valeurs restent d'ailleurs très stables, et ne dépassent pas les 200 000 germes· ml^{-1} quels que soient la saison ou le point d'échantillonnage. Ceci montre qu'en l'absence de perturbation, le système est arrivé à une stabilité de fonctionnement qui ne favorise plus le développement des germes.

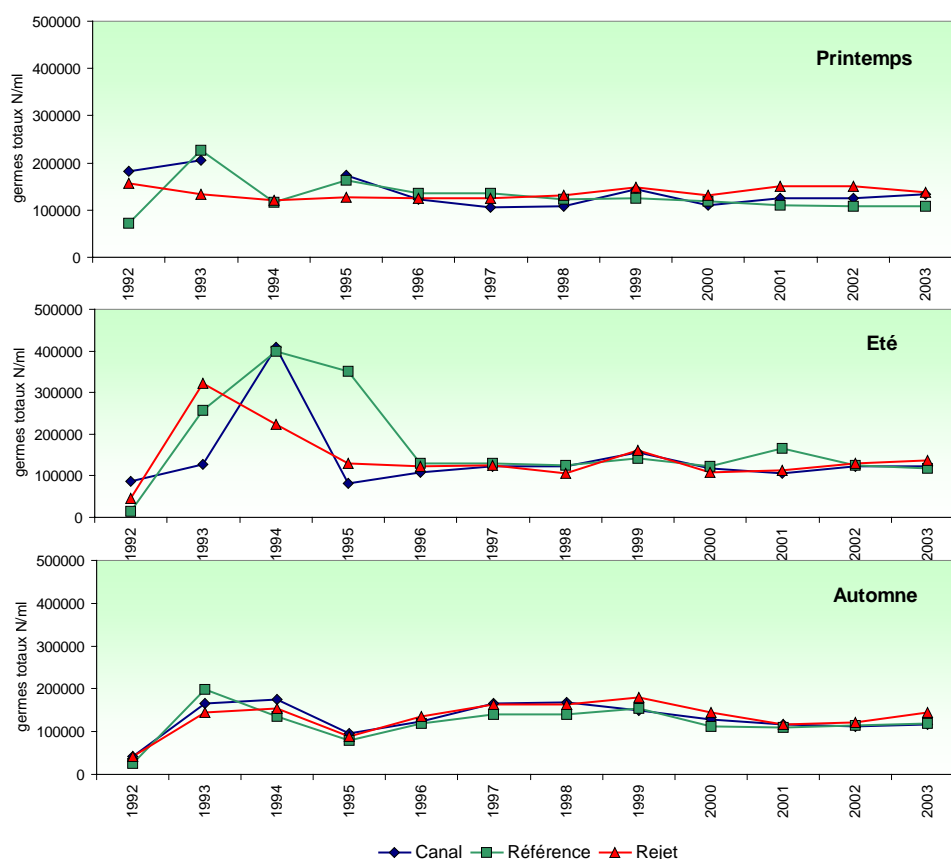
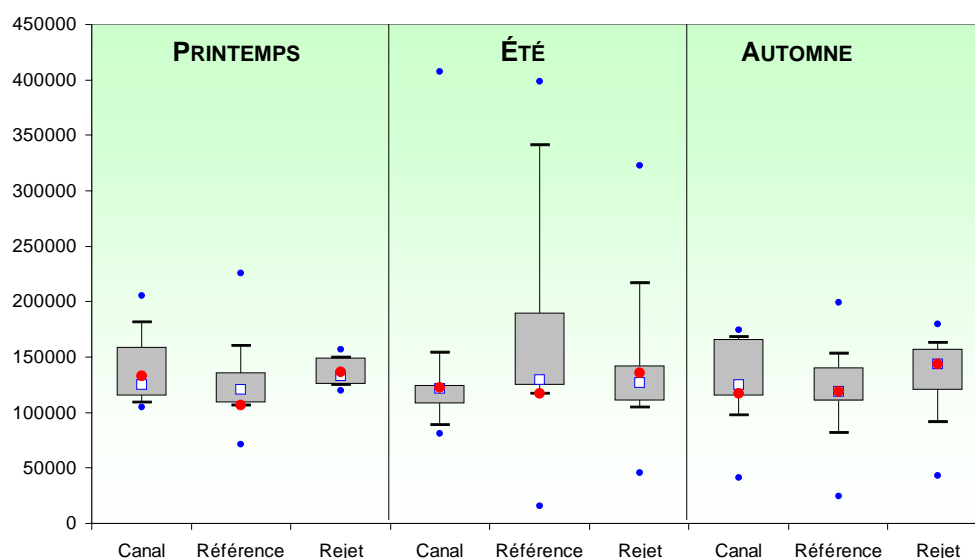


Figure 3.2 :
Germes totaux par ml
dénombrés par
épifluorescence depuis
1992

Les 'boîtes à moustaches' de la figure 3.3 suggèrent une remarquable stabilité de la valeur des médianes saisonnières. Il convient de rappeler qu'en bactériologie, deux échantillons ne sont considérés comme différents que si leurs effectifs sont séparés d'un facteur 10 au moins. Une plus forte variabilité des valeurs est observée en été, ce qui est cohérent avec le cycle de développement bactérien sous l'influence des températures élevées.

Au printemps et en automne, les plus fortes médianes sont observées aux points *canal* et *rejet*. En été elle se trouve au point *référence*, cependant les écarts des valeurs médianes entre les points et les saisons étant extrêmement réduits, il est difficile de conclure à une tendance significative.

Figure 3.3 :
Germes totaux
(nombre par *ml*)
depuis 1992 dénombrés
par épifluorescence et
valeurs 2003 en rouge



3.3.2.3. Approche statistique

Le tableau 3.2 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur le nombre de germes totaux dénombrés par épifluorescence depuis 1992.

Tableau 3.2 :
Probabilité associée
p des tests
statistiques sur les
germes totaux

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,874	0,386	0,509
RÉFÉRENCE / REJET	0,538	0,772	0,009
CANAL / RÉFÉRENCE	0,999	0,386	0,120

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

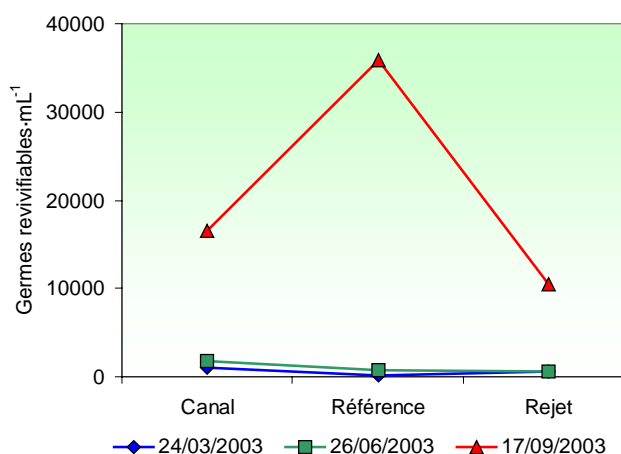
La seule différence statistiquement significative est observée lors des campagnes de septembre entre les points *rejet* et *référence*. Lors des premières campagnes de surveillance sur le site de Paluel, le nombre total de germes est supérieur d'un facteur 100 à celui observé après 1992. Celui-ci est resté remarquablement stable depuis 1996 et les faibles différences observées peuvent facilement être expliquées par la variabilité naturelle de ce paramètre dans le milieu marin. Ces résultats ne permettent pas de conclure à une influence de l'activité de la centrale sur l'environnement marin proche.

3.3.3. Résultats en germes aérobies viables sur milieu de Zobell

3.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières des germes aérobies viables.

Le nombre de germes revivifiables a varié entre un minimum de $150 \cdot ml^{-1}$ en mars au point *référence* et un maximum de $35\,800 \cdot ml^{-1}$ en septembre au même point (figure 3.4). Les valeurs de germes revivifiables obtenues lors des campagnes de mars et de juin sont nettement inférieures à celles observées en septembre. En dehors des forts écarts de valeurs observées, le nombre de germes revivifiables augmente du printemps vers l'automne. En mars et en juin les valeurs les plus fortes sont observées au point *canal*. La situation s'inverse en septembre. Les plus faibles valeurs en septembre ont été observées au point *rejet*.

Figure 3.4 :
Germes revivifiables
(nombre par *ml*)
dénombrés sur milieu de
Zobell en 2003



3.3.3.2. Variations inter-annuelles des germes revivifiables

Nous pouvons observer en septembre 2003 une augmentation générale des valeurs par rapport à celles de 2002 (figure 3.5). Les campagnes de printemps et d'été relèvent une faible diminution de germes revivifiables par rapport à 2002. Depuis 1992, des valeurs aussi élevées ont déjà été enregistrées au printemps 1996, pendant l'été 1994 et en automne en 1993 et 1994.

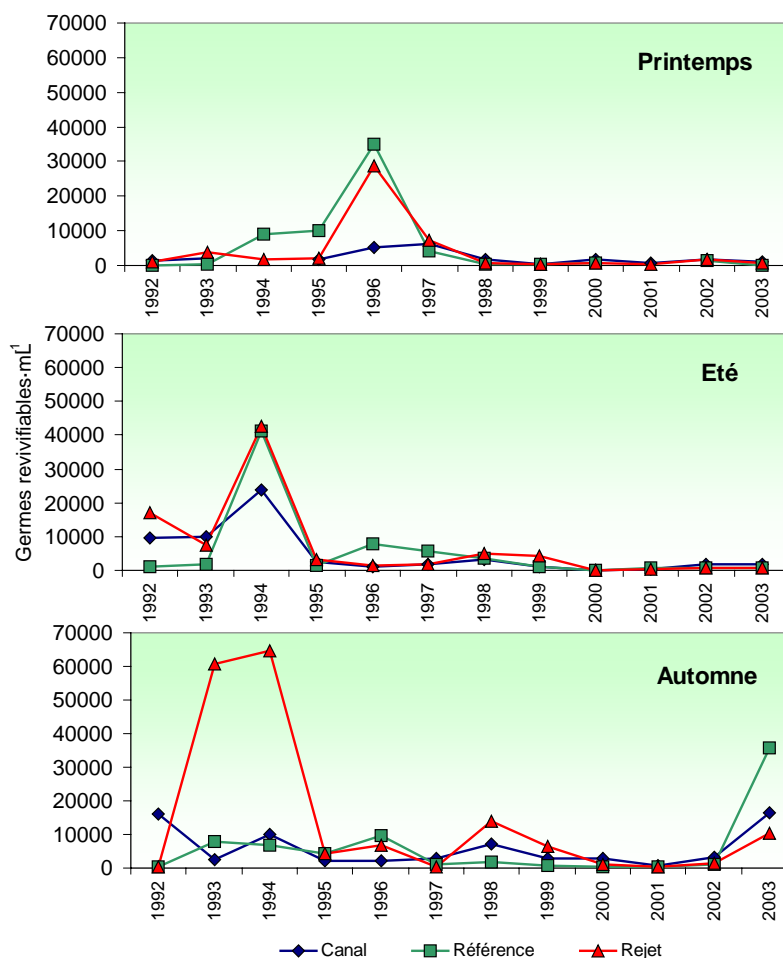
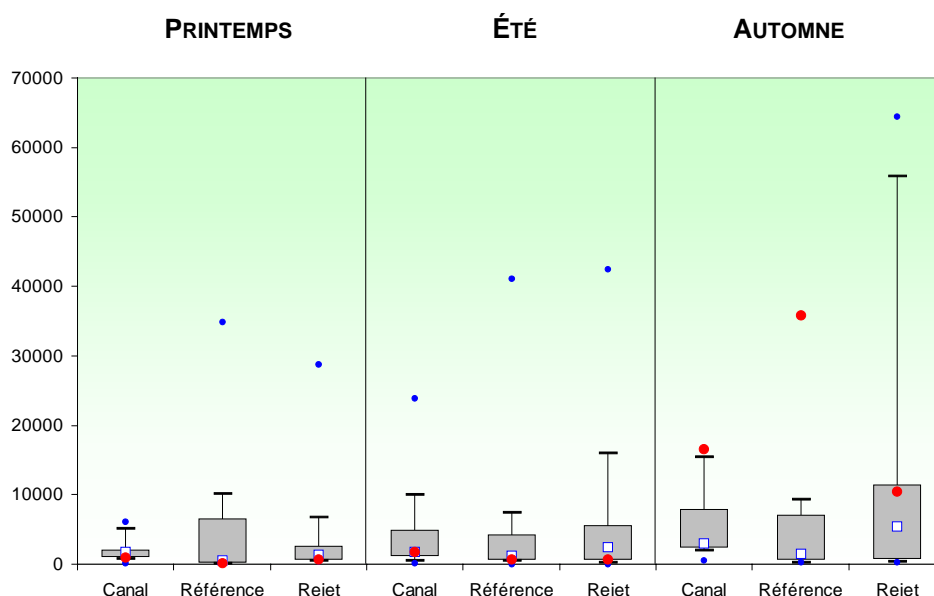


Figure 3.5 :
Germs revivifiables
(nombre par *ml* d'eau
de mer) dénombrés sur
milieu de Zobell depuis
1992

Dans la figure 3.6, les 'boîtes à moustaches' de printemps et d'été présentent une plus faible dispersion des valeurs qu'en automne. Les plus faibles dispersions sont observées au printemps pour les points *canal* et *référence*. Les plus fortes dispersions sont enregistrées en période automnale, essentiellement au point *rejet*.

Les plus faibles médianes pluriannuelles du nombre de germs revivifiables sont enregistrées, pour l'ensemble des saisons, au point *référence*, tandis que les plus fortes médianes sont observées au point *rejet*.

Figure 3.6 :
Germes revivifiabiles
(nombre par ml)
dénombrés depuis
1992 et valeurs 2003
en rouge



En mars et en juin 2003 le nombre de germes revivifiabiles a toujours été en dessous des valeurs médianes. En automne, les valeurs observées en 2003 ont toutes été supérieures aux médianes pluriannuelles. Celles des points *référence* et *canal* étaient les valeurs maximales dans la série 1992-2003.

3.3.3.3. Approche statistique

Le tableau 3.3 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur les nombres de germes revivifiabiles depuis 1992.

Aucune différence significative n'a été trouvée sur la série de valeurs des germes revivifiabiles sur milieu de Zobell enregistrées depuis 1992.

Tableau 3.3 :
Probabilité associée
 p des tests
statistiques pour les
germes revivifiabiles
sur milieu de Zobell

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,999	0,773	1,000
RÉFÉRENCE / REJET	0,377	0,386	0,243
CANAL / RÉFÉRENCE	0,343	0,773	0,962

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

Bien que la série temporelle ne présente pas de différences significatives, les valeurs observées en septembre 2003 sur l'ensemble des points montrent un potentiel bactériologique rarement observé au cours des cinq dernières années.



La valeur observée sur le point *référence*, supérieure à celles enregistrées aux points *canal* et *rejet*, pourrait trouver son origine dans des apports externes venant du large ou par l'action de la dérive côtière.

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

3.3.4.1. Identification de vibrions halophiles.

La recherche de vibrions halophiles montre la présence des souches de *Vibrio vulnificus* et *V. alginolyticus* (tableau 3.4).

En mars, les recherches n'ont pas mis en évidence de souches de vibrions halophiles sur l'ensemble des points échantillonnés.

En juin, tous les points échantillonnés ont mis en évidence la présence de *V. alginolyticus*. Des souches de *V. vulnificus* ont été détectées sur les points *canal* et *rejet*.

En septembre, *V. alginolyticus* est présent sur les quatre échantillons réalisés au point *référence* et *V. vulnificus* sur les deux échantillons réalisés au point *rejet*. Au point *canal* ont été identifiés *V. vulnificus* et *V. alginolyticus*.

Tableau 3.4 :
Identification de
vibrions halophiles
sur l'ensemble des
échantillons de
Paluel en 2003

POINTS	ÉCHANTILLONS DU 24 MARS 2003			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Référence	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.
Canal	Abs.	Abs.	---	---
Rejet	Abs.	Abs.	---	---
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 26 JUIN 2003			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Référence	V.alg.	V.alg.	V.alg.	V.alg.
Canal	V.alg.+ V.vul.	V.alg.+ V.vul.	---	---
Rejet	V.vul.	V.alg.	---	---
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 17 SEPTEMBRE 2003			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Référence	V.alg.	V.alg.	V.alg.	V.alg.
Canal	V.vul.	V.alg.	---	---
Rejet	V.vul.	V.vul.	---	---

La série pluriannuelle présentée dans le tableau 3.5 met en évidence un plus grand nombre de cas d'identification de vibrions halophiles dans les cinq dernières années. Entre 1995 et 1998 les souches de vibrions halophiles ont été relativement absentes. A partir de 1999, la présence de *V. alginolyticus* est de



plus en plus fréquente lors des campagnes d'été et d'automne, étant observée systématiquement en automne au point *canal*. Des souches de *V. vulnificus* ont également été observées en 2001, 2002 et 2003 lors des campagnes estivales et automnales, essentiellement sur les points *canal* et *rejet*.

Tableau 3.5 : Identification des souches de vibrions halophiles par saison et par point de 1992 à 2003

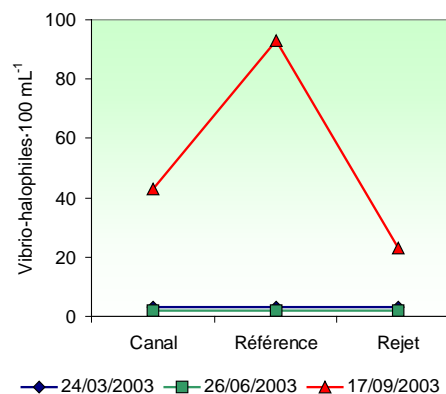
V. vulnificus	canal																																													
	référence																																													
V. alginolyticu	canal																																													
	référence																																													
V. parahemol.	canal																																													
	référence																																													
V. cholerae	canal																																													
	référence																																													
		P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A
		1992	1993			1994			1995			1996			1997			1998			1999			2000			2001			2002			2003													

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

3.3.4.2. Dénombrement des vibrions halophiles.

Les valeurs de dénombrement en 2003 sont comprises entre le seuil de détection (< 3 vibrions halophiles·100 ml⁻¹) pour l'ensemble des points d'échantillonnage aux mois de mars et de juin, et 93 vibrions halophiles·100 ml⁻¹ en septembre au point *référence* (figure 3.7).

Figure 3.7 : Dénombrement des vibrions halophiles en 2003



Le dénombrement des vibrions halophiles montre une augmentation sensible depuis 2000 (figure 3.8). Les valeurs présentées correspondent à la valeur la plus élevée des répliquats. Les concentrations inférieures au seuil de détection de 3 vibrions pour 100 ml n'ont pas été représentées. Les valeurs observées au point *référence* en septembre 2003 ont été parmi les plus élevées de la série pluriannuelle. La faible quantité de valeurs significatives ne permet pas de

réaliser des comparaisons pluriannuelles à l'aide de 'boîtes à moustaches' ni d'effectuer des tests statistiques fiables.

Le dénombrement de vibrions halophiles, méthode complémentaire de celle de l'identification des souches, nous permet de confirmer l'augmentation de leurs apparitions et en particulier de *V. alginolyticus* en été et en automne. Cependant nous devons prendre avec prudence ces résultats, car la méthodologie utilisé jusqu'à présent pour les vibrions a été exploratoire et en phase de validation. A partir de l'année 2004, une nouvelle méthodologie, plus fiable, sera appliquée sur l'ensemble des cinq centrales littorales.

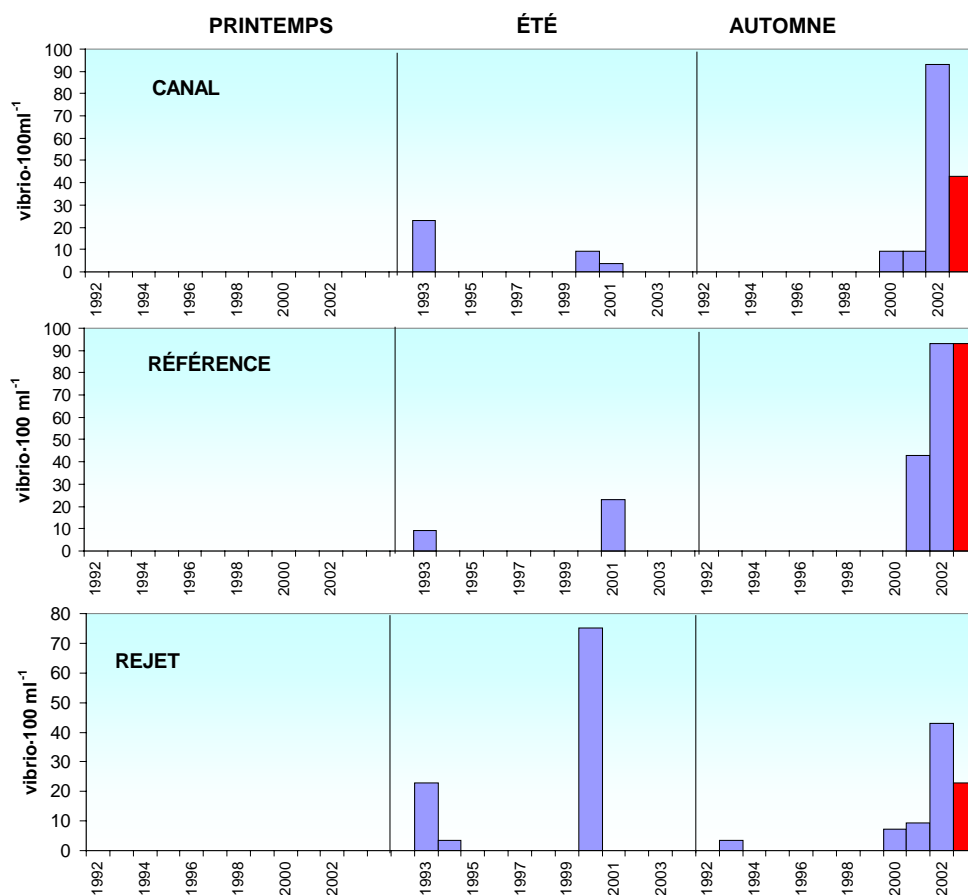


Figure 3.8 :
Dénombrement des
vibrions halophiles par
saison et par point de
1992 à 2003

3.4. Conclusions

Les concentrations de germes totaux présentent une remarquable stabilité sur les sept dernières années sur l'ensemble des points échantillonnés, mettant en évidence la stabilité du système en comparaison des premières années de fonctionnement de la centrale.

La quantité de germes revivifiables reste stable au cours des périodes printanière et estivale. Une augmentation sensible est cependant notée en automne sur l'ensemble des points d'échantillonnage, avec un maximum de 35 800 germes revivifiables par *ml* au point *référence*. Le point *rejet* présente cependant la plus faible valeur.

L'évolution dans l'identification et le dénombrement de vibrions halophiles depuis 1992 met en évidence les limites et la fiabilité de la méthode utilisée (de 1995 à 1998 aucune souche n'est identifiée, ce qui semble peu probable). Dès 2004, une nouvelle méthode, plus fiable, sera mise en application sur l'ensemble de cinq centrales littorales.

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 Paluel à partir de l'étude des paramètres suivis, mais l'augmentation des identifications de vibrions halophiles incite à poursuivre les suivis dans ce domaine.

3.5. Bibliographie

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.

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.



4 - Le Phytoplancton

Rapport

Luis Lampert (DEL/PB).

Prélèvements et Analyses

Vincent Justome (DEL/PB),
Laure Lamort (DEL/PB),
Frank Maheux (DEL/PB),
Olivier Pierre-Duplessix (DEL/PB),
Philippe Riou (DEL/PB),
Marie-Pierre Crassous (DEL/EC),
Françoise Dagault (DEL/SM),
Floriane Girard (DEL/PB),
Laurent Cardin (DEL/SM).

Participation

Hervé du Boullay (DEL/PB),
Ronan Le Goff (DEL/PB).



4.1. Introduction

L'étude de l'activité photosynthétique des peuplements phytoplanctonique complétée par la mesure de la biomasse ainsi que par l'identification et le dénombrement des cellules phytoplanctoniques, permet de suivre l'évolution des peuplements 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 tels descripteurs que seront traités les résultats quantitatifs et qualitatifs acquises sur les peuplements phytoplanctoniques lors des trois campagnes de surveillance réalisées en 2003.

4.2. 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 (§ 2.1.). Les prélèvements sont effectués en surface pour chaque point avec deux bouteilles NISKIN. A chaque point de prélèvement, deux réplicats par bouteille ont été réalisés pour les analyses de chlorophylle *a*. Pour la mesure de la production primaire, le nombre d'échantillons a été doublé.

4.2.1. Mesure de la chlorophylle

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 3000 tours·min⁻¹ pendant 15 minutes, le surnageant est placé dans une cuve de 10 cm de trajet optique. L'absorption est alors mesurée à différentes longueurs d'onde, dans un premier temps sans acidification, puis après acidification (Aminot et Chaussepied, 1983).

4.2.2. Mesure de la production primaire

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) proposée sous forme de carbonate de sodium ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$) retenue par les organismes d'un échantillon d'eau de mer pendant un laps de temps donné. Une quantité connue de carbonate de sodium marquée au 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 donné 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. À 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 dans deux flacons : un à parois transparentes et l'autre à parois obscures. L'inoculation et l'incubation des deux sous-échantillons s'effectuent dans les mêmes conditions. Les résultats présentés correspondent aux incubations des flacons clairs sans corrections.

4.2.3. Etude systématique du phytoplancton

Des échantillons de 100 ml sont fixés au Lugol acide à bord du bateau immédiatement après le prélèvement. Au laboratoire, des fractions de 10 ml sont mises à décanter dans des cuves pendant 4 heures selon la technique d'Utermöhl (Utermöhl, 1958). L'identification et le comptage des espèces s'effectuent au microscope inversé OLYMPUS à contraste de phase. Un minimum de 100 cellules est dénombré afin d'obtenir une précision de $\pm 20\%$ (Lund, 1958).

Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre et par espèce.

4.3 Résultats

Les résultats obtenus en 2003 sont donnés par le tableau 4.1 ci-dessous.

(Valeurs moyennes \pm écart type)		CANAL (n=4)	REJET (n=4)	RÉFÉRENCE	
				SURFACE (n=2)	-10 M (n=2)
24 MARS	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	1,23 \pm 0,38	1,87 \pm 0,36	0,88 \pm 0,27	1,18 \pm 0,08
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$)	2,80 \pm 0,69	4,21 \pm 0,93	2,81 \pm 0,55	2,95 \pm 0,29
	<i>microphytoplancton</i> ($\text{cel}\cdot\text{l}^{-1}$)	50 400	74 000	28 800	30 800
26 JUN	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	1,42 \pm 0,38	1,62 \pm 0,35	1,98 \pm 0,08	2,51 \pm 0,07
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$)	8,21 \pm 1,78	7,23 \pm 1,48	9,34 \pm 1,58	10,09 \pm 1,78
	<i>microphytoplancton</i> ($\text{cel}\cdot\text{l}^{-1}$)	186 800	223 800	211 000	188 000
17 SEPTEMBRE	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,73 \pm 0,15	0,77 \pm 0,19	1,21 \pm 0,42	0,69 \pm 0,15
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$)	2,63 \pm 0,33	2,73 \pm 0,37	3,24 \pm 0,61	3,36 \pm 0,22
	<i>microphytoplancton</i> ($\text{cel}\cdot\text{l}^{-1}$)	35 300	28 900	6 800	24 500

Tableau 4.1 :
Moyenne et écart
type des paramètres
phytoplanctoniques
au droit de la
centrale de Paluel en
2003

La valeur d'abondance phytoplanctonique observée en surface sur le point *référence* en septembre n'a pas été validée en raison d'une mauvaise fixation de l'échantillon d'eau de mer. Par conséquent, la valeur de 6 800 $\text{cel}\cdot\text{l}^{-1}$ ne sera pas prise en compte dans l'étude. Nous utiliserons la valeur d'abondance obtenue sur le même point à mi profondeur (24 500 $\text{cel}\cdot\text{l}^{-1}$)

Dans cette étude, l'évolution des paramètres phytoplanctoniques est observée en parallèle avec celles des facteurs abiotiques qui déterminent leur développement.

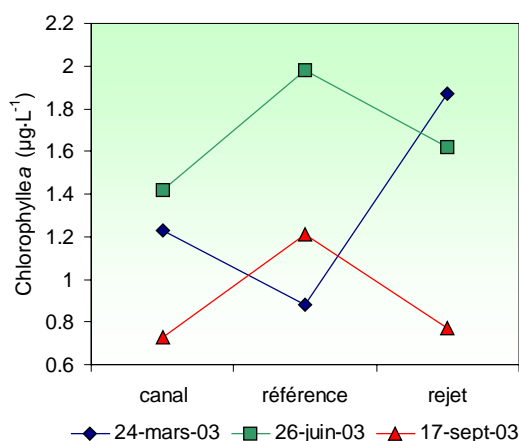
4.3.1 Biomasse chlorophyllienne

4.3.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle

Au cours de l'année 2003, les valeurs de chlorophylle s'échelonnent entre $0,73 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ au point *canal* en septembre et $1,98 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ au point *référence* en juin (figure 4.1). Ces valeurs mettent en évidence la très faible biomasse phytoplanctonique de la zone d'étude lors des trois campagnes en 2003.

Une faible variabilité saisonnière est mise en évidence aux trois points. Au cours des campagnes d'été et d'automne, un gradient croissant côte-large est observé. Au printemps, un gradient inverse de biomasse est observé, avec une valeur maximale de chlorophylle au point *rejet*, égale au double de celle enregistrée au point *référence*.

Figure 4.1 :
Évolution de la quantité de chlorophylle au cours des trois campagnes de surveillance 2003



4.3.1.2. Variations inter-annuelles

Les valeurs saisonnières de concentration en chlorophylle présentent peu de variations par rapport à celles observées pendant l'année 2002 (figure 4.2).

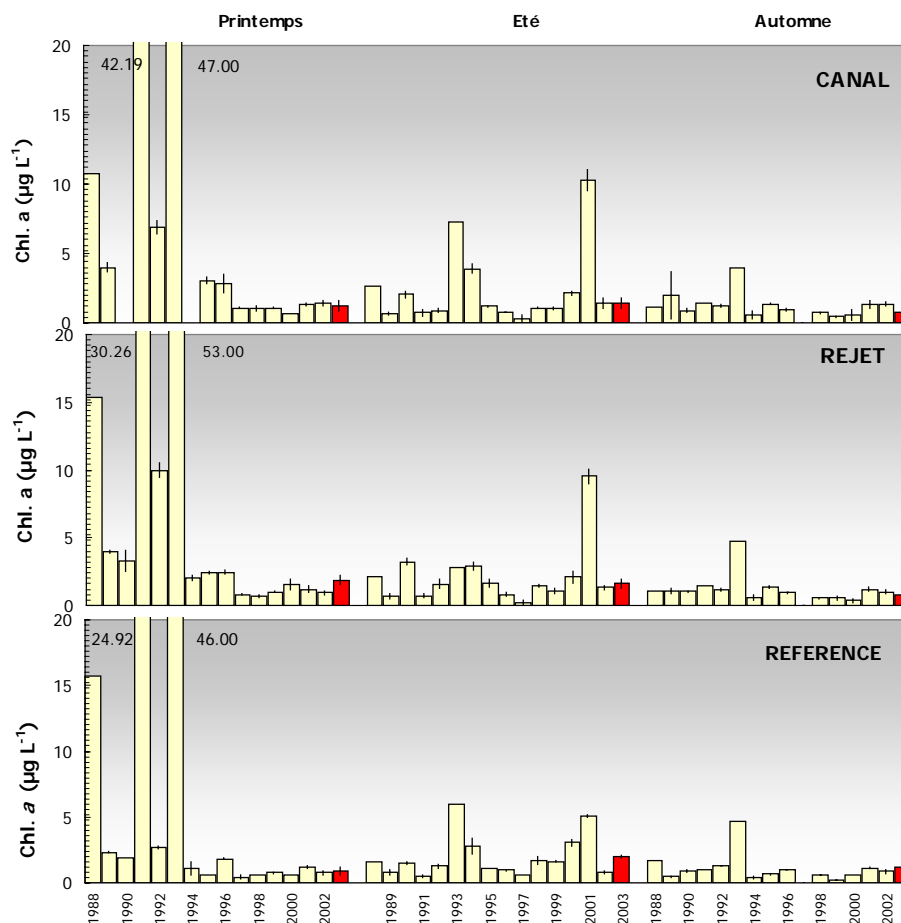


Figure 4.2 :
Évolution de la
chlorophylle de
1988 à 2003

Nota : les fortes valeurs printanières observées en 1988, 1991 et 1993 correspondent aux campagnes qui ont été menés au début du mois de mai et non en mars-avril, au moment du bloom printanier.

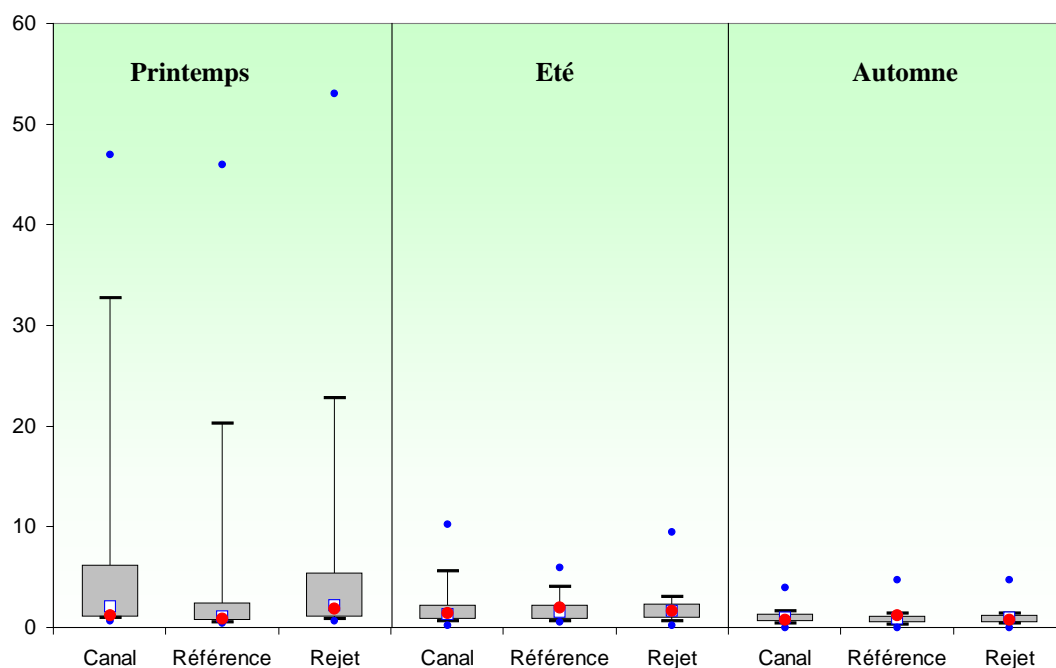


Figure 3 :
Évolution de la
chlorophylle de
1988 à 2003

La figure 4.3 montre qu'au printemps, il existe une plus forte dispersion des valeurs qu'aux deux autres saisons. Ceci est dû essentiellement au caractère tardif des campagnes menées avant 1994. Les 'boîtes', (50 % des valeurs), restent homogènes entre elles avec peu de variabilité entre les trois points en été et en automne. En été on note une plus forte dispersion qu'en automne, où nous trouvons au contraire une très grande stabilité de valeurs.

La tendance saisonnière représentée par la distribution des médianes montre qu'un gradient décroissant côte-large s'installe au printemps et en automne. Les valeurs de chlorophylle mesurées en 2003 sont légèrement inférieures aux médianes printanières et comparables pour les deux autres saisons, à l'exception des valeurs du point *référence* qui ont été supérieures aux médianes en été et en automne respectives.

4.3.1.3. Approche statistique

Les tests statistiques présentés dans le tableau 4.2 confirment les tendances pluriannuelles déjà mises en évidence à l'aide de la figure 4.3. Il faut noter essentiellement la différence significative observée au printemps entre le point *référé*nce et les points *canal* et *rejet* (avec des valeurs en chlorophylle supérieures au *rejet*).

En été et en automne, aucune différence significative n'est observée entre les stations.

Tableau 4.2 :
probabilité associée
 p des test
statistiques sur la
chlorophylle

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,422	0,999	0,999
RÉFÉRENCE / REJET	0,002	1,000	0,454
CANAL / RÉFÉRENCE	0,006	1,000	0,605

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

4.3.2 Production primaire

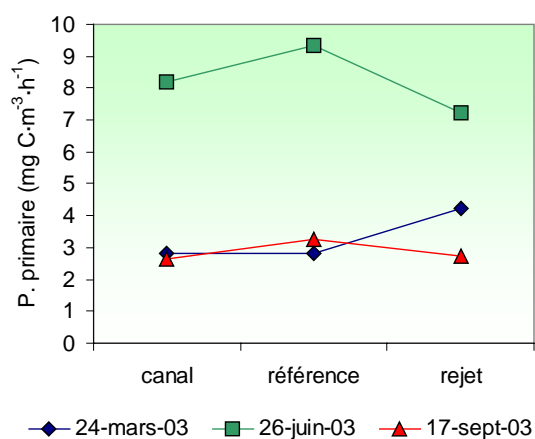
4.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la production primaire

Les valeurs mesurées en 2003 sont comprises entre $2,63 \text{ mg C}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ en septembre au point *canal* et $9,34 \text{ mg C}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ en juin au point *référé*nce (figure 4.4).

Comme pour la chlorophylle, une faible variabilité saisonnière est observée sur les trois stations. Sur les campagnes d'été et d'automne, un gradient croissant côte-large de production primaire est observé. Au printemps, on note un gradient inverse, avec une valeur maximale de $4,21 \text{ mg C}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ au point *rejet*.



Figure 4.4 :
Évolution de la
production primaire lors
des trois campagnes de
surveillance de 2003



Les valeurs de production primaire doublent du printemps vers l'été, pour redescendre en automne aux niveaux atteints au printemps. Les différences observées entre les valeurs de surface et celles enregistrées à 10 mètres de profondeur restent faibles (voir tableau 4.1).

4.3.2.2. Variations inter-annuelles

Au printemps et en été, toutes les valeurs observées en 2003 sont supérieures à celles enregistrées en 2002 (figure 4.5). Les écarts les plus marqués sont observés en été. En automne, toutes les valeurs obtenues en 2003 sont inférieures à celles observées en 2002. Le plus fort écart a été enregistré au point *référence* en été : la valeur mesurée en 2003 est égale à quatre fois celle mesurée en 2002.

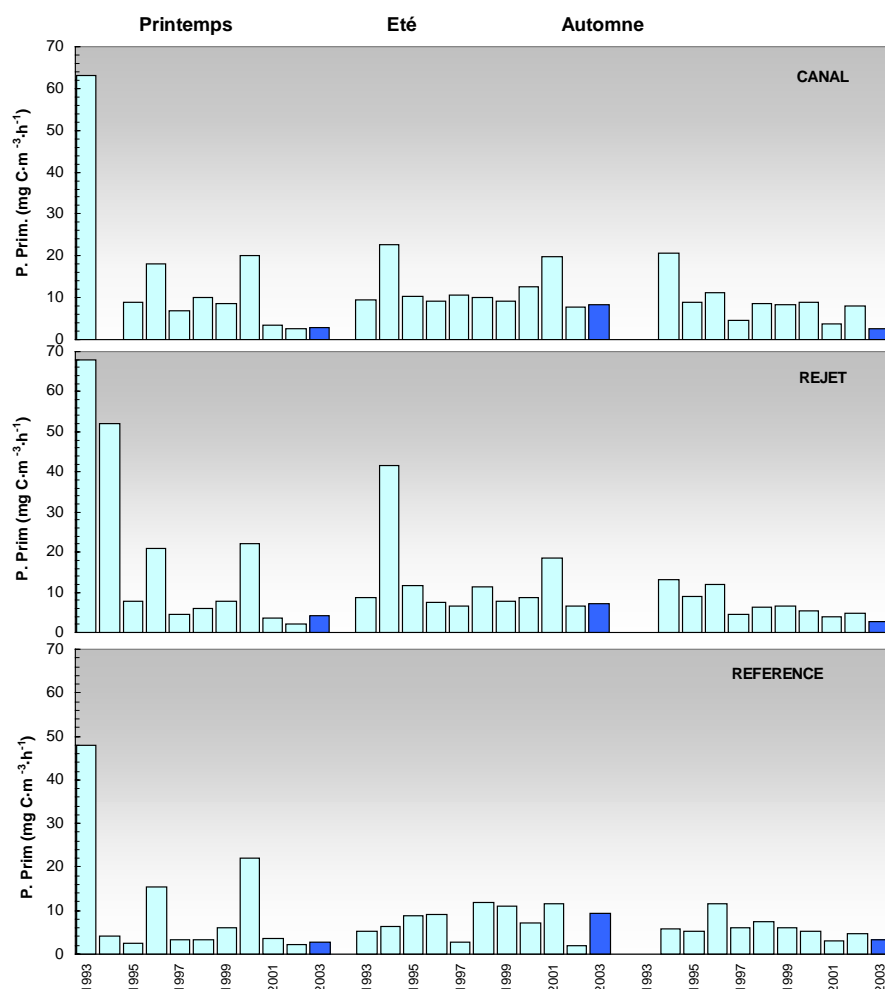
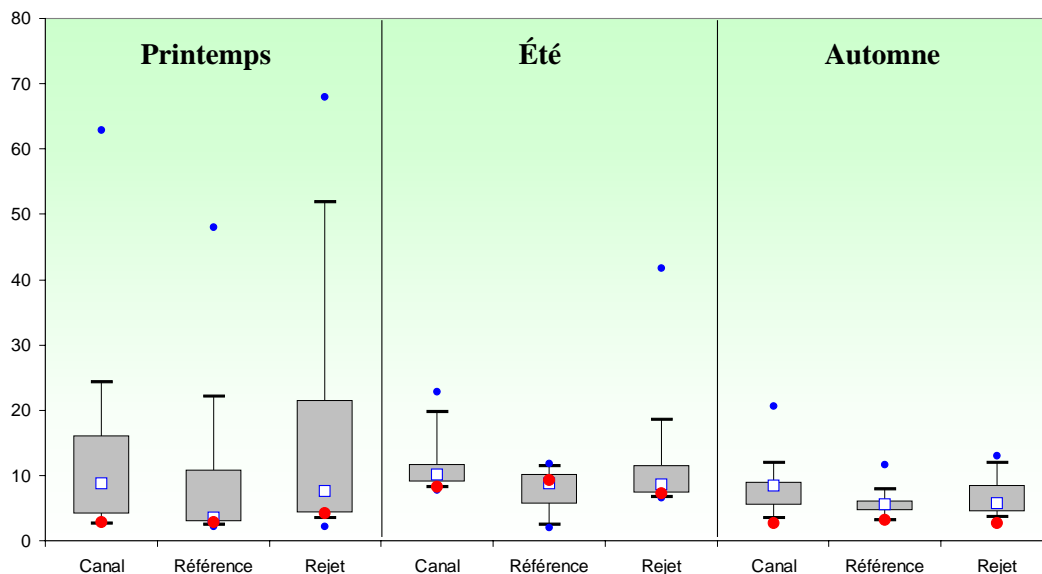


Figure 4.5 :
Évolution de la
production
primaire de 1993
à 2003

Tout comme pour la biomasse chlorophyllienne, la dispersion des valeurs observées aux trois points en mars est supérieure à celle observée en juin et septembre (figure 4.6). Les valeurs des médianes de juin sont supérieures à celles enregistrées en mars et en septembre. Les valeurs de production primaire obtenues au printemps et en automne 2003 se trouvent en dessous des médianes respectives. La série automnale présente les minima absolus enregistrés depuis 1993. Un gradient décroissant côte-large est observé pour la production primaire en toutes saisons.

Figure 4.6 :
Évolution de la
production
primaire de 1993
à 2003



La faible productivité des eaux de Paluel au printemps peut sembler paradoxale dans le contexte de la Manche. La concentration en azote n'a pas pu jouer le rôle de facteur limitant pour la croissance phytoplanctonique, bien au contraire, car c'est dans les eaux de Paluel que nous trouvons les plus fortes concentrations en nitrate ; malgré cela, le niveau de production primaire est resté faible. Ce paradoxe ne peut donc s'expliquer que par l'influence d'une autre facteur.

Les valeurs de production primaire mesurées à la sortie du point rejet sont comprises entre celles observées aux points *canal* et *référence*. Aucune influence du fonctionnement de la centrale sur ce paramètre n'est observée.

4.3.2.3. Approche statistique

A l'exception de la situation estivale pour le couple *canal* - *référence* (probabilité associée p proche du seuil de signification), tous les tests ont présenté des différences non significatives (tableau 4.3).

Tableau 4.3 :
probabilité
associée p des tests
statistiques sur la
production
primaire

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,810	0,227	0,061
RÉFÉRENCE / REJET	0,113	0,546	0,291
CANAL / RÉFÉRENCE	0,051	0,033	0,342

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



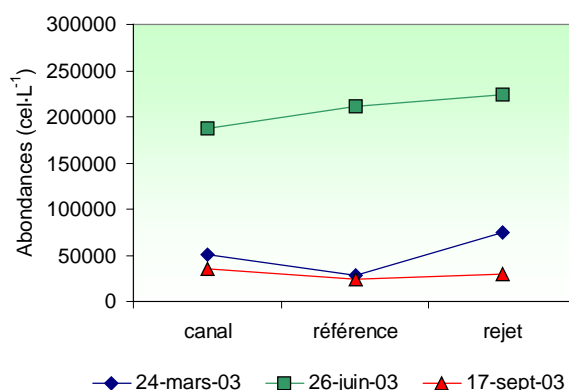
4.3.3 Microphytoplancton

4.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières du microphytoplancton

Les dénombrements de microphytoplancton effectués en 2003 sont présentés sur la figure 4.7 ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre de cellules par litre. Les plus fortes abondances sont observées au point *rejet* en juin avec 223 800 cel. \cdot L⁻¹ et les plus faibles sur le point *référence* en septembre, avec 24 500 cel. \cdot L⁻¹.

Les variations spatiales et saisonnières restent faibles en 2003. Les plus faibles valeurs de l'année sont observées en septembre ; elles sont légèrement inférieures à celles du mois de mars. Les plus fortes valeurs ont été observées en juin. Au printemps et en automne, le point *canal* présentait des abondances supérieures à celles observées sur le point *référence*. En été, la situation est inversée.

Figure 4.7 :
Abondances du
microphytoplancton
au cours de l'année
2003



Il reste difficile de comparer l'abondance avec les autres paramètres, car ce paramètre ne caractérise pas entièrement la biomasse phytoplanctonique. En effet, une efflorescence composée de petites cellules peut se traduire par de faibles biomasses.

Les variations entre les valeurs observées en surface et à 10 mètres de profondeur au point *référence* sont inférieures aux erreurs dues au comptage et à l'échantillonnage. Nous ne pouvons donc pas conclure, et la colonne d'eau peut donc être considérée comme homogène.

4.3.3.2. Variations inter-annuelles

Les abondances cellulaires enregistrées depuis 1993 sont présentées sur la figure 4.8. Les valeurs obtenues au printemps et en été en 2003 sont toutes supérieures à celles

observées en 2002. En septembre 2003, les abondances enregistrées sur l'ensemble des points ont été inférieures à celles de 2002.

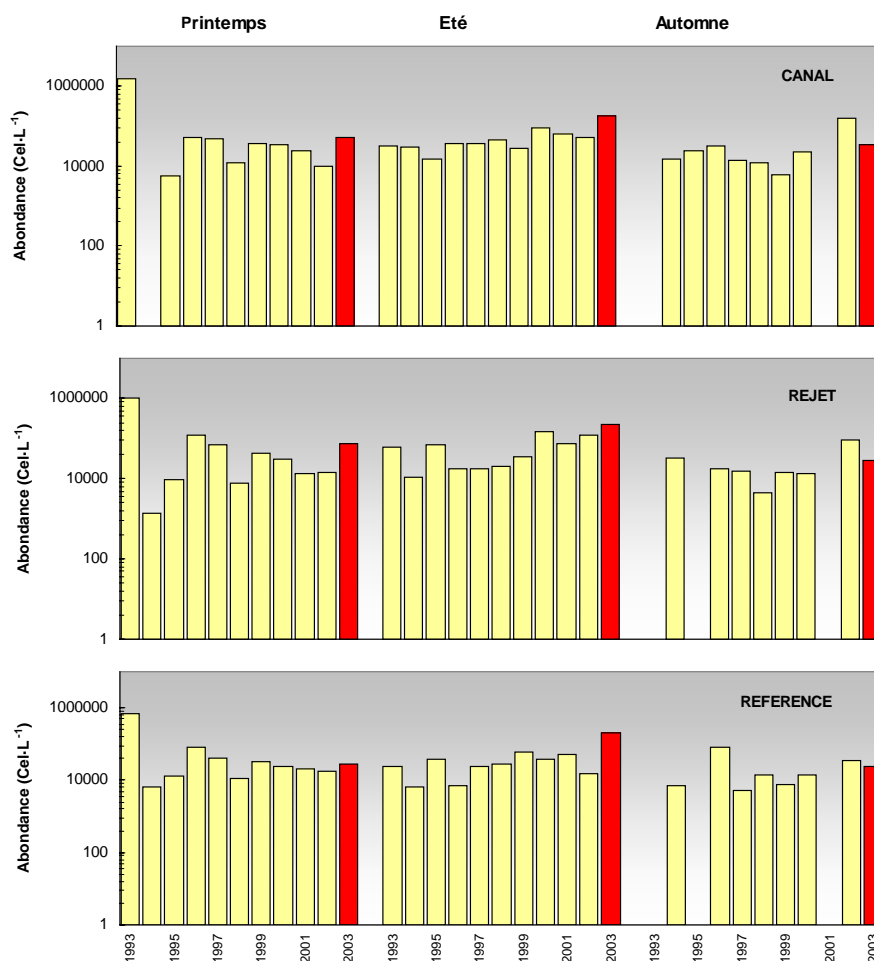


Figure 4.8 :
Évolution de
l'abondance
phytoplanctonique
de 1993 à 2003

Suivant le schéma déjà mis en évidence pour la chlorophylle et la production primaire, l'abondance phytoplanctonique présente les plus fortes dispersions au printemps (figure 4.9).

Sur l'ensemble des points, les valeurs du printemps 2003 se trouvent au dessus de la médiane générale. En été, ce phénomène est encore plus marqué, car aux trois points d'échantillonnage, les valeurs observées en 2003 s'avèrent être les maxima absolus de la série pluriannuelle.

La tendance pluriannuelle montre un gradient décroissant côte-large pour les campagnes printanières et automnales. En 2003, seule la situation automnale suit

cette tendance. Au printemps et en été, les valeurs maximales ont été observées au point *rejet*.

Ces résultats peuvent être fortement influencés par la variabilité spatiale. En effet, en raison du passage de la masse d'eau à l'intérieur de la centrale durant quelques heures, les mesures au point *rejet* ne sont pas réalisées dans la même masse d'eau que celles des points *canal* et *référence*.

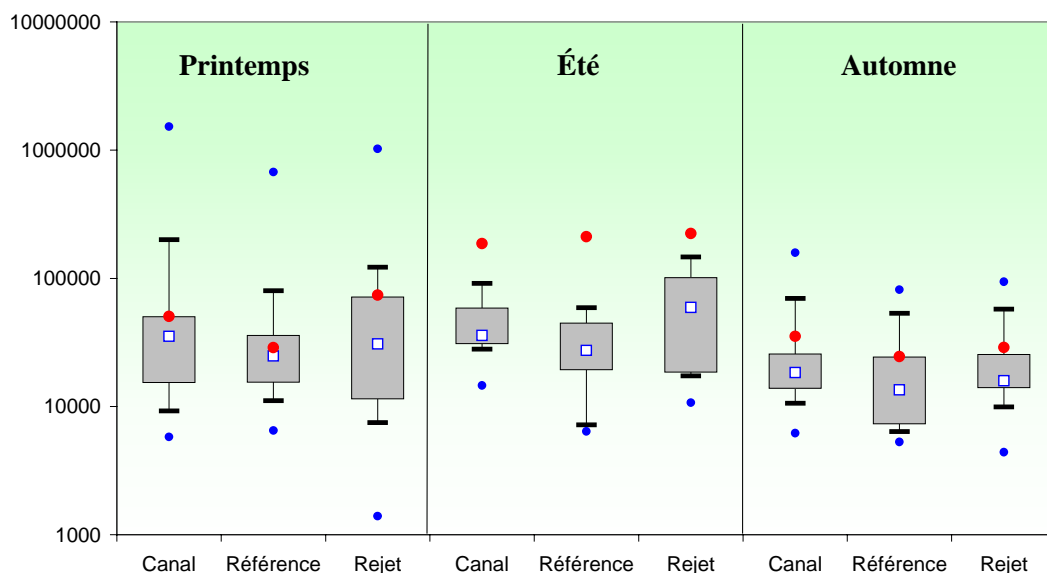


Figure 4.9 :
Évolution de
l'abondance
phytoplanctonique
de 1993 à 2003

4.3.3.3. Approche statistique

Les résultats des tests statistiques présentés dans le tableau 4.4 confirment nos observations concernant la chlorophylle et la production primaire : aucune différence significative n'est mise en évidence entre les différents points d'échantillonnage.

Tableau 4.4 :
probabilité associée
 p des tests
statistiques sur
l'abondance
phytoplanctonique

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,751	0,152	0,723
RÉFÉRENCE / REJET	0,999	0,068	0,738
CANAL / RÉFÉRENCE	0,343	0,217	0,723

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



4.3.4. Populations phytoplanctoniques observées en 2003

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

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANCTON				TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés			
IGA 2003-1	canal	46200	1800	200	200	48400	4	92
IGA 2003-1	rejet	66000	2600	5400	0	74000	4	89
IGA 2003-1	ref surf	25800	2400	200	200	28600	8	90
IGA 2003-1	ref 1/2 prof.	30100	700	0	0	30800	2	98
IGA 2003-2	canal	179000	4400	3400	0	186800	2	96
IGA 2003-2	rejet	218000	3600	2200	0	223800	2	97
IGA 2003-2	ref surf	206800	2400	1800	0	211000	1	98
IGA 2003-2	ref 1/2 prof.	183200	1000	3000	0	187200	1	97
IGA 2003-3	canal	30400	4100	800	0	35300	12	86
IGA 2003-3	rejet	28400	300	200	0	28900	1	98
IGA 2003-3	ref surf	6300	500	0	0	6800	7	93
IGA 2003-3	ref 1/2 prof.	24000	200	300	0	24500	1	98

Tableau 4.5:
Abondances des
principales
classes algales
pour l'année
2003.

Il faut noter que certaines espèces ont été groupées car difficilement identifiables au microscope optique. Pour d'autres, l'identification a été arrêtée au niveau du genre ou du groupe algal (classes algales). La fraction microphytoplanctonique en 2003 a été répartie en 4 grands groupes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2003, environ 60 taxons (taxons et 'classes algales') ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 86 % de la communauté microphytoplanctonique, et peuvent atteindre un proportion de 98 % (tableau 4.5).

Dans les zones côtières de l'Atlantique nord-est et de la Manche, l'essentiel du microphytoplancton est composé de diatomées. Cependant, il faut garder à l'esprit que bien souvent la fraction nanophytoplanctonique (espèces algales dont la taille est comprise entre $2 \mu\text{m}$ et $20 \mu\text{m}$), difficilement accessible au microscope optique, peut devenir majoritaire tant par son abondance que par sa biomasse (Lampert, 2001). Les Cryptophycées, représentantes du nanophytoplancton, ont été dénombrées avec des abondances comprises entre $4\ 100 \text{ cel}\cdot\text{l}^{-1}$ et $214\ 000 \text{ cel}\cdot\text{l}^{-1}$. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nanophytoplanctonique.

Tableau 4.6 :
Abondances des
principaux genres
de diatomées pour
l'année 2003

Campagne	Station	DIATOMÉES								Cumul %
		Rhizosolenia	Melosira	Nitzschia	Chaetoceros	Thalassiossira	Skeletonema	Leptocylinthus	Synedra	
IGA 2003-1	canal	0	16	18	6	15	10	0	4	69
IGA 2003-1	rejet	1	23	13	2	29	5	0	8	81
IGA 2003-1	ref surf	5	5	9	19	25	9	0	0	72
IGA 2003-1	ref 1/2 prof	6	11	8	5	48	7	0	4	89
IGA 2003-2	canal	81	2	0	4	2	0	0	4	93
IGA 2003-2	rejet	84	1	0	3	2	0	0	5	95
IGA 2003-2	ref surf	86	0	0	4	1	0	1	3	95
IGA 2003-2	ref 1/2 prof	88	0	0	2	1	0	0	5	96
IGA 2003-3	canal	5	6	1	13	15	0	48	0	88
IGA 2003-3	rejet	2	16	0	13	18	0	39	1	89
IGA 2003-3	ref surf	0	28	0	0	11	10	20	0	69
IGA 2003-3	ref 1/2 prof	2	18	0	18	22	1	26	0	87

Les principales espèces dénombrées en 2003 sont les suivantes :

Mars 2003 : les genres dominants au printemps sont *Thalassiossira*, *Melosira*, *Nitzschia*, *Skeletonema* et *Chaetoceros* (tableau 6 et figure 4.10). Les espèces plus fréquemment observées ont été *Thalassiossira rotula* et *Thalassiossira levanderii*. *Synedra* est présente avec des dominances allant jusqu'à 8 %. Il s'agit d'espèces d'eau douce ou saumâtre qui peuvent se trouver plus facilement en hiver ou au printemps en eau de mer, quand les rivières sont en crue. Les dinoflagellés ont été observés pendant cette campagne printanière avec des dominances comprises entre 2 % et 8 % ; les genres le mieux représentés sont *Gyrodinium* et *Gymnodinium*. Au point *rejet*, on a dénombré jusqu'à 5 400 $cel \cdot l^{-1}$ d'euglènes, alors que leurs abondances sont inférieures ou égales à 200 $cel \cdot l^{-1}$ aux autres points d'échantillonnage.

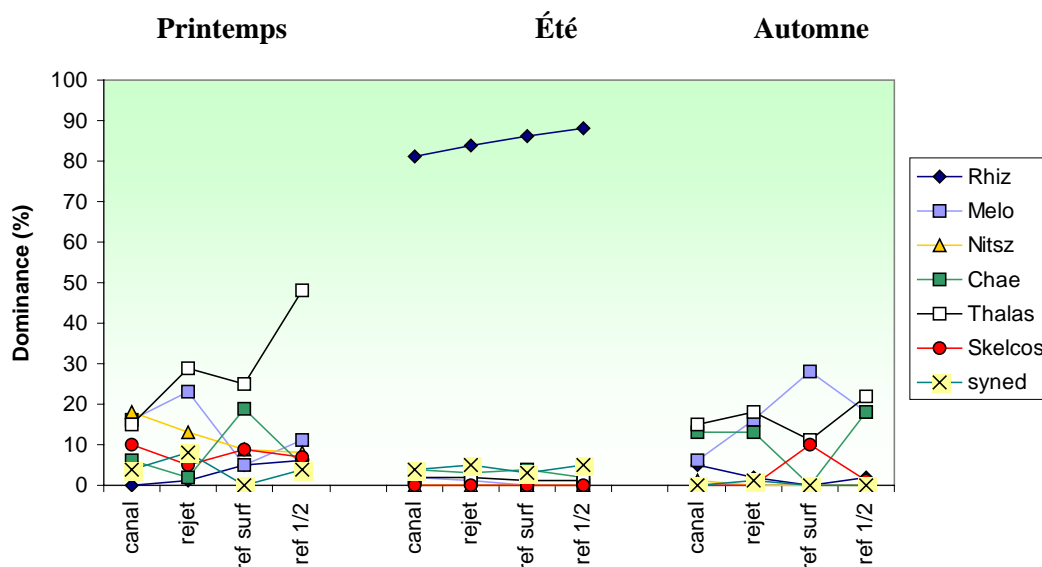


Figure 4.10 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2003

Juin 2003 : le genre le plus représenté parmi les diatomées a été sans conteste le genre *Rhizosolenia*, avec des dominances comprises entre 81 % et 88 %. Les espèces les plus fréquemment observées ont été *Rhizosolenia delicatula* et *R. fragilissima*. La forte abondance de *R. delicatula* est confirmée par la littérature qui signale de fortes abondances de cette espèce tous les ans sur les côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche (Klein et Sournia, 1987). Les genres *Thalassiosira*, *Synedra* et *Chaetoceros* sont aussi représentés, mais avec des dominances inférieures à 5 %. Les dinoflagellés ont représenté au maximum 2 % de l'abondance microphytoplanctonique. L'espèce plus abondante en juin 2003 a été *Scrippsella trochoïdea*. Les plus fortes abondances d'euglènes observées en juin ont atteint des valeurs de 3 400 $cel \cdot l^{-1}$.

Septembre 2003 : la distribution des dominances en septembre 2003 ne présente pas de valeurs aussi fortes que celles observées en juin. Les genres les plus observés sont *Leptocylindrus*, *Melosira*, *Thalassiosira*, et *Chaetoceros* en moindre quantité. *Leptocylindrus* a représenté jusqu'à 48 % de l'abondance totale du microphytoplancton au point *canal*.

La plus forte dominance de dinoflagellés (12 %) a été observée au point *canal*. Les genres *Gyrodinium* et *Prorocentrum* ont été les plus abondants à la fin de l'été.

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 plus le peuplement est pauvre. La figure 4.11 représente l'évolution de cet indice pour l'ensemble des campagnes menées en 2003.

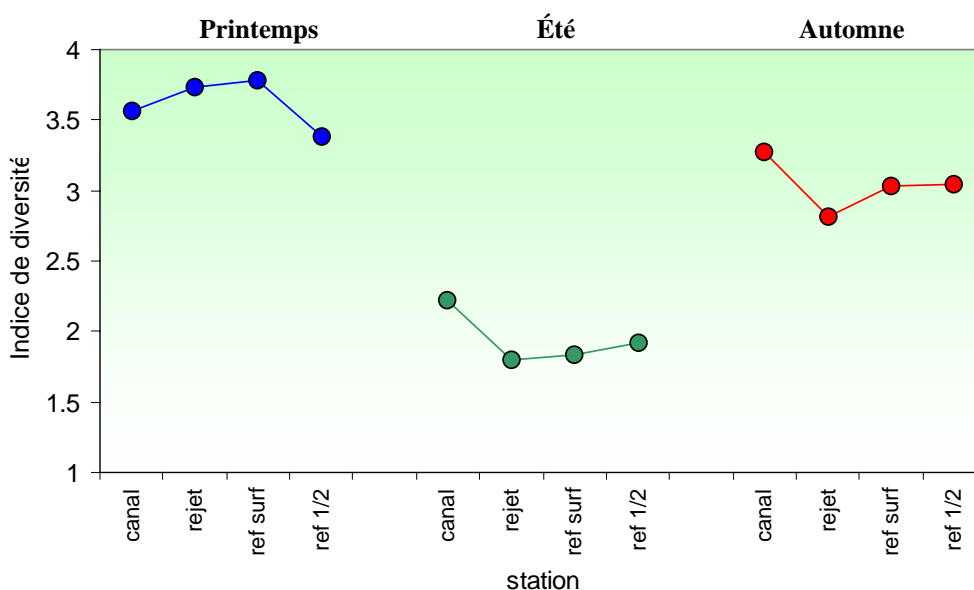


Figure 4.11 :
Distribution de
l'indice de diversité
de Shannon pour
l'année 2003

La diversité microphytoplanctonique évolue au cours de l'année. L'été présente les plus faibles valeurs. Les peuplements de diatomées, qui constituent majoritairement les 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). Au printemps, nous observons une meilleure diversité spécifique, sans espèces fortement dominantes, la disponibilité des nutriments permettant le développement d'un plus grand nombre d'espèces. En été, les peuplements sont moins 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 des petites cellules de diatomées et de dinoflagellés, représentées en juin par *Chaetoceros* et *Scrippsella*. En septembre l'indice de diversité remonte à un niveau intermédiaire entre ceux déjà observés en mars et en juin. La régénération des nutriments permet ainsi d'entretenir une biomasse phytoplanctonique bien diversifiée.

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.

4.4. Bilan des résultats obtenus aux points canal et rejet

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

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

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

En utilisant les données acquises en 2003 pour les trois paramètres précités, les valeurs obtenues sont les suivantes (tableau 4.7) :

(%)	<i>Chlorophylle a</i>	<i>Production primaire</i>	<i>microphytoplancton</i>
24 MARS	52	- 33	47
26 JUIN	14	- 12	20
17 SEPTEMBRE	5	4	- 17

Tableau 4.7 :
Déficits des trois
paramètres
étudiés entre les
points *canal* et
rejet

Aucun bilan négatif en chlorophylle n'est observé au point *rejet* tout le long de l'année 2003. La production primaire, en revanche, en présente deux : l'une en mars et l'autre en juin. L'abondance microphytoplanctonique présente un déficit de 17 % en septembre et des bilans positifs en mars et juin.

Ces différences peuvent s'expliquer par le temps de transit de l'eau de mer entre le point *canal* et le point *rejet* qui est de quelques heures, alors que les prélèvements sont faits à 30 minutes d'intervalle. La variabilité spatiale de ces paramètres, étant très forte dans le milieu marin, peut donc expliquer ces résultats.

4.5. Conclusion

La biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances cellulaires montrent une évolution inter-annuelle et saisonnière similaire. Le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Manche, avec des biomasses comprise entre 0,7 et 2 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Les plus faibles variabilités spatiales de la biomasse, de la production primaire et de l'abondance sont observées au printemps. Le point *référence* présente la plus faible variabilité saisonnière, essentiellement au printemps et en automne.

Malgré les fortes salinités printanières et estivales, dues aux faibles pluies, les concentration en azote inorganique ont été au dessus des médianes pluriannuelles en mars et en juin 2003. Cette situation a néanmoins conduit à des valeurs de production primaire inférieures aux médianes pluriannuelles au printemps, à des biomasses proches des moyennes pluriannuelles et à des abondances microphytoplanctoniques supérieures aux médianes.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Paluel montrent bien le phénomène au cours duquel la population de la période 'hivernale' (peu abondante, mais bien diversifiée), dominé par les genres *Thalassiosira* et *Melosira*, est remplacée en été par une population moins diversifiée, constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia* (*Rhizosolenia delicatula*). Les abondances par espèce et par station ne présentent pas de variations pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution temporelle ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de la Manche.

De plus, comme les valeurs des paramètres suivis ne sont pas systématiquement différentes au point *rejet*, nous ne pouvons pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu par l'activité de la centrale de Paluel à partir de l'étude du compartiment phytoplanctonique en 2003.

4.6. Bibliographie

AMINOT, A., CHAUSSEPIED, M. 1983

« Manuel des analyses chimiques en milieu marin » *Centre National pour l'Exploitation des Océans* (CNEXO), Brest, 395 pp.

BROUARDEL, J., RINCK, E. 1963

« Mesure de la production organique en Méditerranée, dans les parages de Monaco, à l'aide du ^{14}C » *Ann. Inst. Océanogr. Monaco*, n. Sér., 40 (2) : 109-164.

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.

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.

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. 1967

« 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

SCHERRER, B. 1984

« Biostatistique ». *Gaëtan Morin* (ed.) Québec. 850 pp.

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 (^{14}C) for measuring organic production in the sea » *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 18 : 117-140.

UTERMOHL, H. 1958

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

5. Le Zooplancton

Rédaction

Rumèbe Myriam. (DEL/AR)

Prélèvements et Analyses

Frank Maheux (DEL/PB),

Olivier Pierre-Duplessix (DEL/PB),

Vincent Justome (DEL/PB),

Laure Lamort (DEL/PB),

Françoise Dagault (DEL/SM),

Floriane Girard (DEL/PB),

Laurent Cardin (DEL/SM),

Jean D'Elbée LAPHY (Biarritz).

En 2003, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 24 mars, 26 juin et 16 septembre. A chaque campagne, trois points sont étudiés. Ces points sont les suivants :

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

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

5.1. Etude de la biomasse zooplanctonique globale

Les biomasses zooplanctoniques varient sur un même site, en fonction des points et de la saison (tableau 1). Elles évoluent également selon les années en fonction des conditions climatiques et hydrologiques générales.

5.1.1. Poids sec

Durant les trois campagnes, les valeurs du poids sec les plus faibles sont systématiquement mesurées au point *canal*. En juin, le poids sec obtenu ($28,4 \pm 5,7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) n'est pas représentatif de la biomasse zooplanctonique, mais plutôt à un échantillon contenant du sable.

Les valeurs des poids secs les plus élevées des trois campagnes sont mesurées au point *rejet* en mars avec $36,4 \pm 8,4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ et au point *référence* en juin avec $41,1 \pm 1,9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, ce qui est proportionnel à leur abondance zooplanctonique (respectivement $13\,800 \text{ ind}\cdot 10\text{m}^{-3}$ et $15\,100 \text{ ind}\cdot 10\text{m}^{-3}$). En septembre, le poids sec le plus élevé est obtenu au point *rejet* avec $23,4 \pm 3,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

	CANAL	REJET	RÉFÉRENCE
Poids sec en mg/m³			
Mars	5,5 ± 2,8	36,4 ± 8,4	6,8 ± 3,5
Juin	28,4 ± 5,7	35,6 ± 10,0	41,1 ± 1,9
Septembre	3,8 ± 1,2	23,4 ± 3,5	8,4 ± 2,7
Poids de carbone en mg/m³			
Mars	1,3 ± 1,0	11,2 ± 2,9	2,5 ± 0,8
Juin	7,1 ± 1,3	10,6 ± 2,8	14,0 ± 1,2
Septembre	0,3 ± 0,2	4,2 ± 1,0	1,9 ± 0,6
Poids d'azote en mg/m³			
Mars	0,2 ± 0,0	2,6 ± 0,7	0,6 ± 0,2
Juin	1,6 ± 0,2	2,7 ± 0,7	3,9 ± 0,3
Septembre	0,1 ± 0,0	0,8 ± 0,2	0,4 ± 0,1
Rapport C/N			
Mars	7,0 ± 2,0	4,3 ± 0,1	4,3 ± 0,0
Juin	4,5 ± 0,2	3,9 ± 0,1	3,6 ± 0,1
Septembre	2,8 ± 0,5	5,2 ± 0,3	4,4 ± 0,3

Tableau 1 :
Bilan global
zooplanctonique ;
poids sec, carbone,
azote (moyenne ± écart
type)

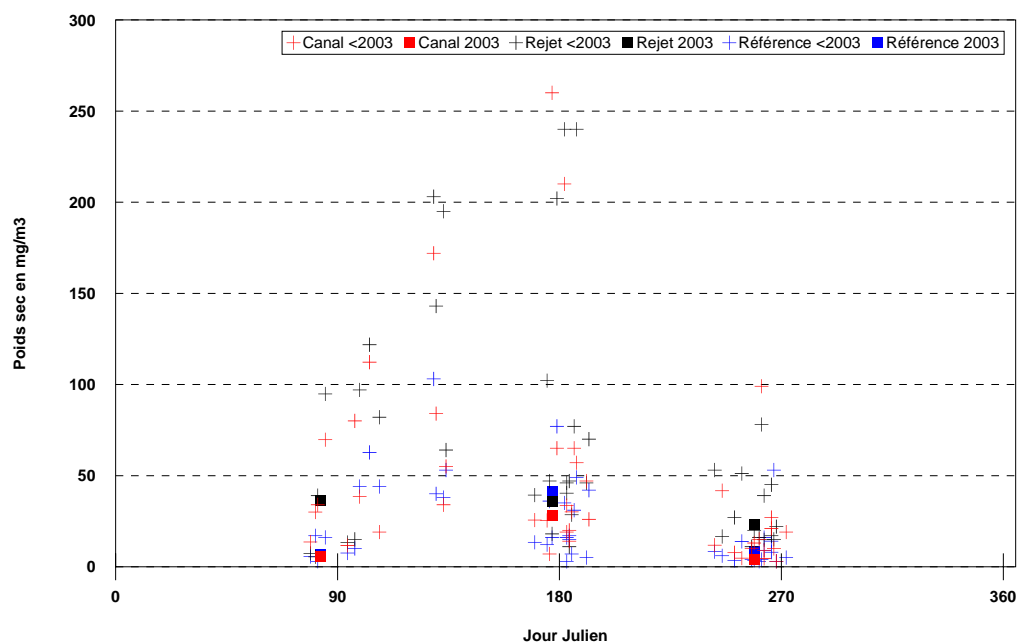


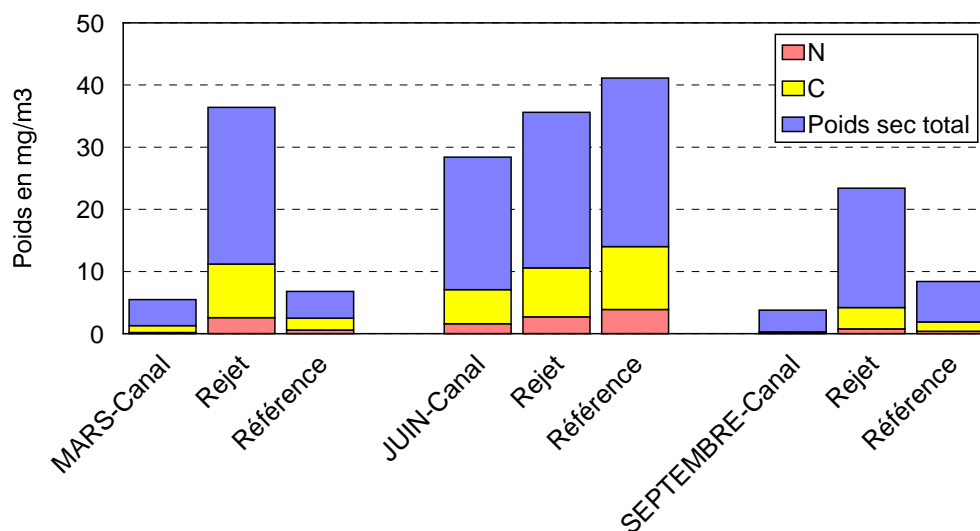
Figure 1 :
Poids sec en mg·m⁻³.
Comparaison de
l'année 2003 avec les
années antérieures.
En mars, les valeurs
des points *canal* et
référence sont
confondues

Les valeurs de poids sec observées cette année sont comprises dans la fourchette de celles rencontrées depuis que s'effectue la surveillance sur ce site (figure 1).

5.1.2. Poids de carbone et d'azote dans la biomasse sèche

L'analyse du carbone et de l'azote organique permet de s'affranchir de l'influence des matières en suspension dans l'eau, et de calculer le rapport C/N, qui est un indicateur de l'état physiologique des peuplements.

Figure 2 :
Poids de carbone
et d'azote dans la
biomasse sèche



Les tendances des poids de carbone et d'azote sont identiques à celles des poids sec. A savoir :

Durant les trois campagnes, les valeurs des poids de carbone et d'azote les plus faibles sont systématiquement mesurées au point *canal*.

Les valeurs des poids de carbone et d'azote les plus élevées des trois campagnes sont obtenues au point *rejet* en mars avec respectivement $11,2 \pm 2,9$ mg C par m^3 et $2,6 \pm 0,7$ mg N par m^3 et au point *référence* en juin avec respectivement $14,0 \pm 1,2$ mg C par m^3 et $3,9 \pm 0,3$ mg de N par m^3 . En septembre, les poids de carbone et d'azote les plus élevés de cette campagne se situent au point *rejet* avec respectivement $4,2 \pm 1,0$ mg/ m^3 et $0,8 \pm 0,2$ mg/ m^3 .

Figure 3 :
Poids de carbone en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ dans la biomasse sèche. Comparaison de l'année 2003 avec les années antérieures

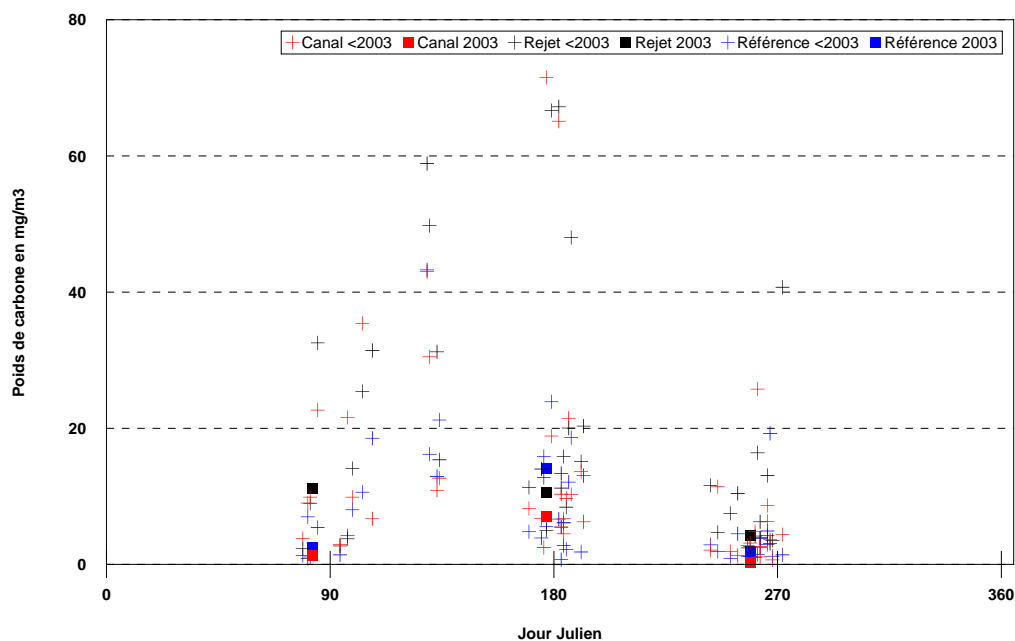
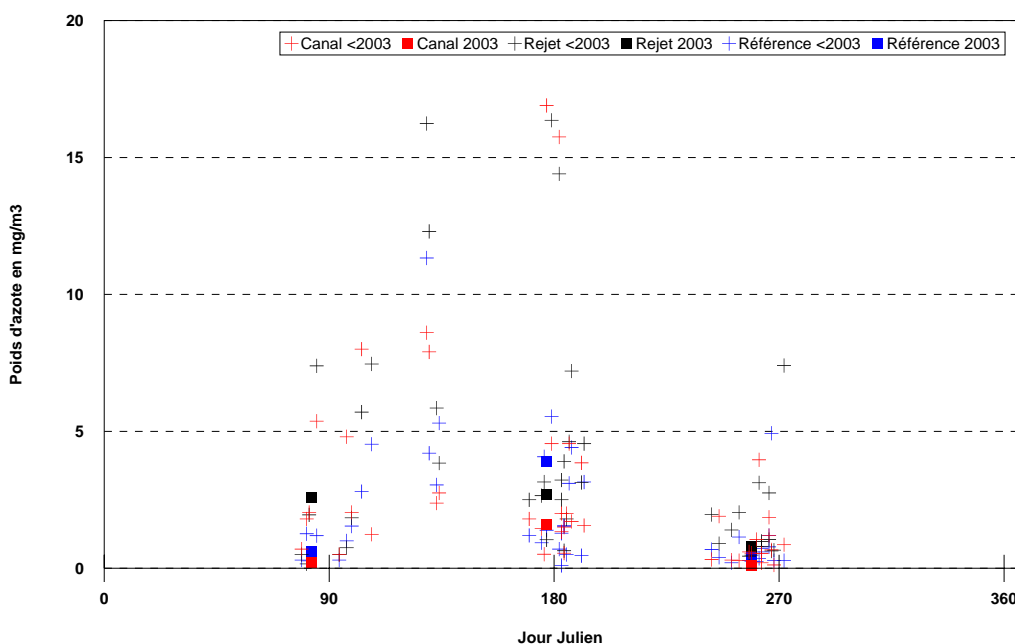


Figure 4 :
Poids d'azote en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ dans la biomasse sèche. Comparaison de l'année 2003 avec les années antérieures



Les poids de carbone et d'azote observés en 2003 sont comparables à ceux obtenus les années précédentes (figure 3 et figure 4).

5.1.3. Mesure du rapport carbone / azote

Ce rapport est un paramètre suivi avec intérêt, puisqu'il traduit un état du métabolisme animal en un site, à une saison donnée.

Figure 5 :
Rapport
carbone / azote
dans le zooplancton
à Paluel en 2003.

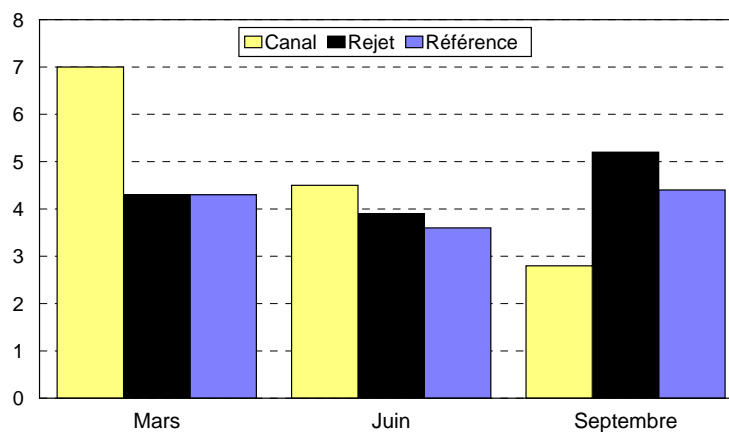
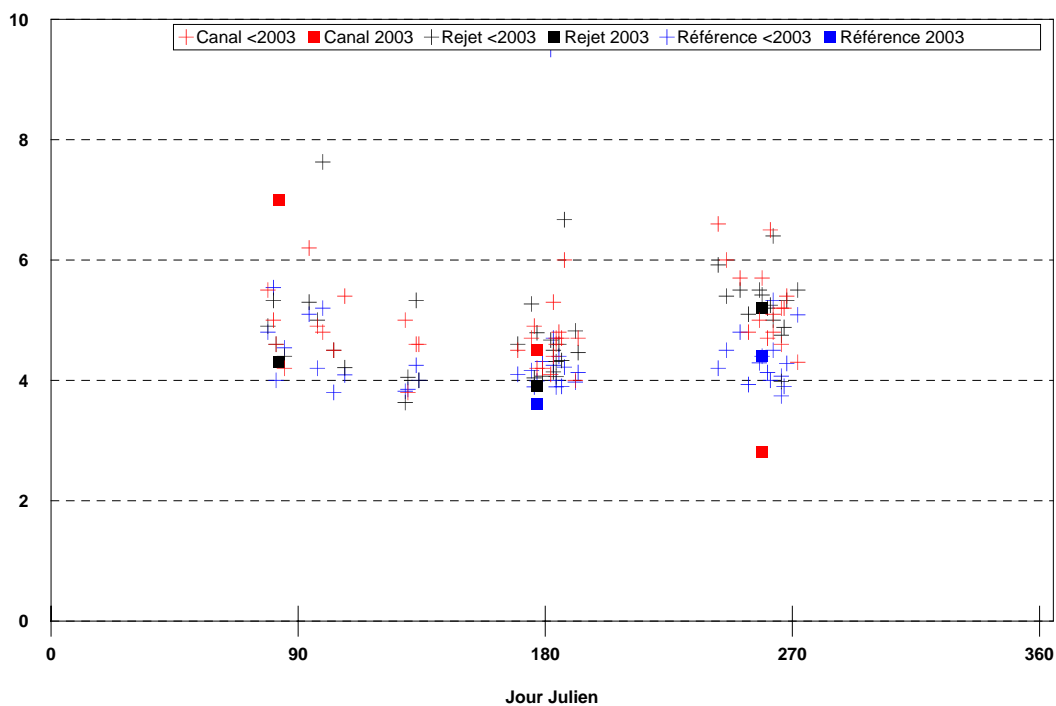


Figure 6 :
Rapport
carbone / azote.
Comparaison de
l'année 2003 avec les
années antérieures.
En mars, les points
rejet et *référence* et en
septembre les points
canal et *référence* sont
confondus



La valeur du rapport carbone / azote (figure 5) la plus faible des trois campagnes réalisées en 2003 est obtenue en septembre au point *canal*, avec $2,8 \pm 0,5$. La valeur la plus élevée est obtenue en mars au même point, avec $7,0 \pm 0,2$.

En juin, il se dessine un gradient décroissant de la côte vers le large, avec $4,4 \pm 0,2$ au point *canal* et $3,6 \pm 0,1$ au point *référence*.

En septembre, la valeur la plus élevée est mesurée au point *rejet* avec $5,2 \pm 0,3$.

Ce rapport reste dans les limites des observations habituelles (voir figure 6) avec un gradient côte-large décroissant en mars et en juin.

5.2. Étude des espèces zooplanctoniques

À chaque campagne, pour chaque point, l'abondance zooplanctonique totale a été calculée, ainsi que la moyenne de chaque campagne, tous points confondus *canal*, *rejet* et *référence* (tableau 2).

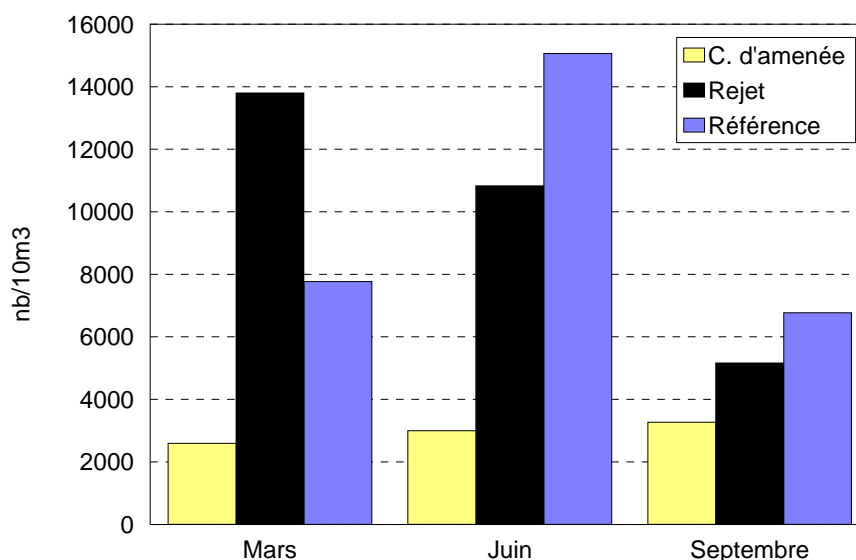


Figure 4 :
Abondance du
zooplancton 'total'
à Paluel en 2003.

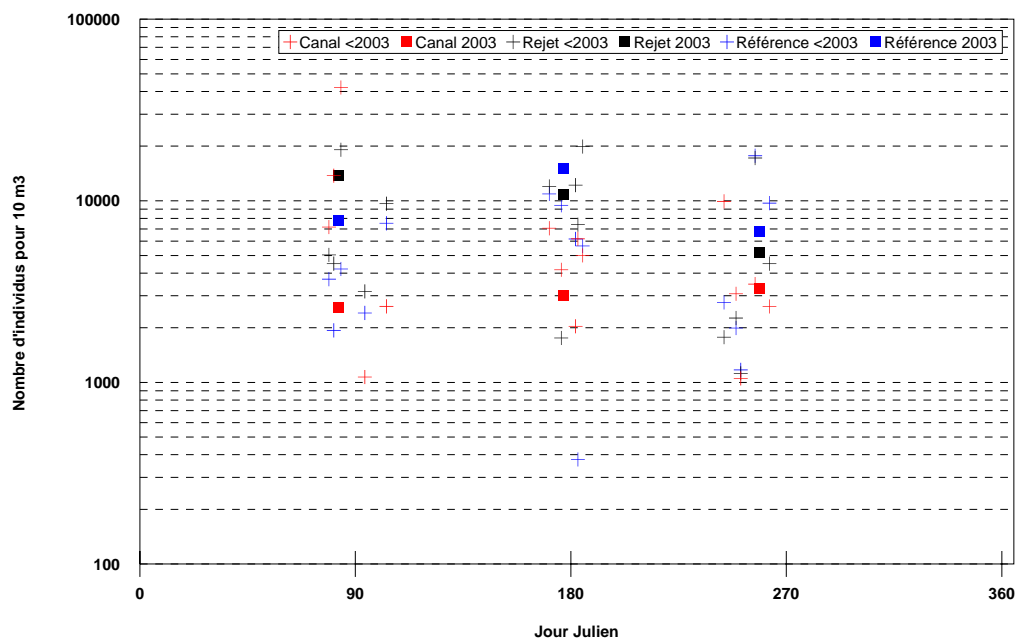
Les tendances de l'année 2003 sont les suivantes : les abondances zooplanctoniques (figure 7) sont maximales en juin ($9\,630 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$) et minimales en septembre ($5\,070 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$). En mars, une moyenne de $8\,050 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ est dénombrée.

Le nombre total d'individus récoltés en chaque point est conforme aux observations habituelles (figure 8).

Tableau 2 :
Abondance
(nombre
d'individus pour
10m³) des taxons
zooplanctoniques à
Paluel en 2003

Taxons	24/03/2003			26/06/2003			16/09/2003		
	N / 10 m ³			N / 10 m ³			N / 10 m ³		
	Canal	Rejet	Référence	Canal	Rejet	Référence	Canal	Rejet	Référence
TOTAL CNIDAIRES				5	10	2			
TOTAL CTENAIRES		3	2	51					
TOTAL CHAETOGNATHES							5	76	148
TOTAL ANNELIDES	19	696	152	102	63	35	10	27	43
TOTAL CLADOCERES									
TOTAL L. CIRRIPEDES	2 230	728	4 500	71	24		137	55	43
AMPHIPODES									2
ISOPODES	6				16	35			17
CUMACES			2		8			10	3
TOTAL MYSIDACES		98			2			10	2
TOTAL COPEODES	318	12 200	3 100	1 980	9 320	8 250	3 020	4 450	5 940
EUPHAUSIACES									
LARVES NATANTIA			2	10	2	21			7
LARVES THALASSINIDEAE				10	33	75			3
TOT L. ANOMOURES	6		2	41	39	135	5	7	10
TOT L. BRACHYOURES	6	3	13	71	18	37	15	10	5
TOTAL L. MOLLUSQUES		16	4	426	784	4 970	15	192	284
Cyphonautes BRYOZOAIREs								27	26
TOT L. ECHINODERMES									
TOTAL APPENDICULAIRES		16	5	223	510	1 490	69	289	241
Larves et œufs de poissons	6	9	9	10	2	24			
TOTAL ZOOPLANCTON	2 590	13 800	7 770	3 000	10 800	15 100	3 270	5 160	6 770
MOYENNE ZOOPLANCTON	8 050			9 630			5 070		

Figure 8 :
Abondance du
zooplancton à Paluel
en 2003.
Comparaison avec les
années antérieures.
Échelle
logarithmique.



5.2.1. Composition faunistique du zooplancton

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. Parmi celles-ci, les copépodes représentent généralement une part importante de la population de la Manche. Ceci est vérifié cette année où les copépodes représentent 94 % de la fraction holoplanctonique. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements : appendiculaires, mysidacés, cténares, cladocères et chaetognathes.

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

Afin de mieux définir la composition du zooplancton, le pourcentage de dominance, c'est à dire, le pourcentage d'un groupe faunistique par rapport au nombre total d'individus est calculé (tableau 3), ainsi que la dominance des différentes espèces au sein du méroplancton et de l'holoplancton (tableau 4).

	Canal	Rejet	Référence	Moyenne
Total zooplancton N/10m³				
Mars	2 590	13 800	7 770	8 050
Juin	3 000	10 800	15 100	9 630
Septembre	3 270	5 160	6 770	5 070
Total holoplancton N/10m³				
Mars	318	12 300	3 110	5 240
Juin	2 250	9 830	9 740	7 270
Septembre	3 100	4 830	6 330	4 750
% holoplancton / zooplancton				
Mars	12%	89%	40%	65%
Juin	75%	91%	65%	75%
Septembre	94%	94%	93%	94%
Total copépodes N/10m³				
Mars	318	12 200	3 100	5 210
Juin	1 980	9 320	8 250	6 520
Septembre	3 020	4 450	5 940	4 470
% copépodes / zooplancton				
Mars	12%	88%	40%	65%
Juin	66%	86%	55%	68%
Septembre	92%	86%	88%	88%
Total méroplancton N/10m³				
Mars	2 270	1 450	4 680	2 800
Juin	746	999	5 330	2 360
Septembre	182	331	443	319
% méroplancton / zooplancton				
Mars	88%	11%	60%	35%
Juin	25%	9%	35%	25%
Septembre	6%	6%	7%	6%

Tableau 3 :
Dominance des principaux groupes zooplanctoniques à Paluel en 2003.

Tableau 4 :
Dominance des
différentes espèces
du méroplancton et
de l'holoplancton.

Nature des résultats	24/03/2003		26/06/2003		16/09/2003	
	ind./10m ³	Pourcentage	ind./10m ³	Pourcentage	ind./10m ³	Pourcentage
Méroplancton						
Total Cnidaires			6			
Total Annélides	289	11%	67	3%	27	9%
Larves de Cirripèdes	2 490	89%	32	1%	78	24%
Amphipodes					1	
Isopodes	2		17	1%	6	2%
Cumacés	1		3		4	1%
Euphausiacés						
Larves Natantia	1		11		2	1%
Larves Thalassinideae			39	2%	2	1%
Larves d'Anomoures	3		72	3%	7	2%
Larves de Brachyoures	7		42	2%	10	3%
Larves de Mollusques	7		2 060	87%	164	51%
Cyphonautes Bryozoaires					18	6%
Téléostéens	8		12	1%		
Total méroplancton	2 810	100%	2 360	100%	319	100%
Holoplancton						
Total Cténaires	2		17			
Total Chaetognathes					76	2%
Total Mysidacés	33	1%	1		4	
Total Cladocères						
Total Copépodes	5 210	99%	6 520	90%	4 470	94%
Total Appendiculaires	7		741	10%	200	4%
Total holoplancton	5 250	100%	7 280	100%	4 750	100%

- Campagne du 24 mars 2003 :

L'holoplancton représente 65 % du zooplancton total. Il est dominant au point *rejet*, où il constitue 89 % du zooplancton total. Il est composé de 99 % de copépodes, et plus précisément de l'espèce *Temora longicornis*, et de 1 % de mysidacés.

Le méroplancton représente 35 % du zooplancton total, et est dominant aux points *canal* et *référence* (respectivement 88 % et 60 %). Il s'agit à 89 % de larves de cirripèdes. Les deux stades nauplius (largement dominant) et cypris sont rencontrés. 11 % d'annélides composent également la fraction méroplanctonique.

- Campagne du 26 juin 2003 :

Le zooplancton total est composé de 75 % d'holoplancton, et de 25 % de méroplancton.

L'holoplancton est dominant en chaque point. Il est constitué pour 90 % de copépodes (en particulier, les espèces *Acartia clausi*, *Temora longicornis* et *Centropages hamatus*), et pour 10 % d'appendiculaires *Oikopleura*. Le maximum

d'abondance des espèces holoplanctoniques est observé au point *rejet*, où elles représentent 91 % du zooplancton total.

Le méroplancton est quant à lui représenté par 87 % de larves de mollusques gastéropodes, par 3 % d'annélides et de larves d'anomoures, par 2 % de larves de thalassinidés et de larves de brachyours (stades zoé et mégalope), par 1 % de larves de cirripèdes (stades nauplius et cypris), et par d'isopodes et de larves et œufs de téléostéens.

- Campagne du 16 septembre 2003 :

L'holoplancton est largement dominant sur tous les points, et constitue 94 % du zooplancton total. Il s'agit essentiellement de copépodes (espèces *Acartia clausi* et *Euterpina acutifrons*) constituant la principale richesse du zooplancton total de cette campagne. L'holoplancton est également composé de 4 % d'appendiculaires *Oikopleura*, et de 2 % de chaetognathes.

Le méroplancton ne représente que 6 % du zooplancton total. Il est constitué pour 51 % de larves de mollusques gastéropodes, pour 24 % de larves de cirripèdes (stades nauplius et cypris), pour 9 % d'annélides, pour 6 % de larves *cyphonautes* de bryozoaires, pour 3 % de zoés de brachyours, pour 2 % d'isopodes et de larves d'anomoures et pour 1 % de cumacés, de larves de 'natantia' (crevettes) et de larves de thalassinidés.

5.2.2. Variation saisonnière des principaux taxons

5.2.2.1 L'holoplancton

- Les copépodes (figure 9)

Le zooplancton de la Manche est essentiellement constitué de crustacés copépodes dont le cycle de vie est entièrement pélagique. Cette dominance a été vérifiée cette année où les copépodes représentent en fonction de la campagne, 65 % (en mars) à 88 % (en septembre) du zooplancton total moyen. La succession des diverses espèces est conforme au schéma habituel, en fonction de leur préférendum biologique.

Globalement, au cours de l'année 2003, le maximum d'abondance des copépodes est observé en juin avec en moyenne, $6\,520 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$. Le pourcentage le plus élevé de copépodes est obtenu au point *canal* en septembre (92 % du zooplancton total).

Temora longicornis

Cette espèce est présente lors des trois campagnes.

En mars et juin, c'est le copépode dominant. Un maximum de 10 063 ind. \cdot 10m⁻³ est observé au point *rejet* en mars. En juin, il se dessine un gradient croissant d'abondance de la côte vers le large, et au point *référence*, un pic de 6 503 ind. \cdot 10m⁻³ est observé.

En septembre, quelques dizaines d'individus pour 10 m³ sont obtenus aux points *rejet* et *référence*.

Acartia clausi

Cette espèce est présente et abondante lors des trois campagnes, en chaque point. En mars et juin, il est le deuxième copépode dominant (avec *Temora longicornis*).

En mars, plusieurs centaines d'individus pour 10m³ sont observés sur chaque point, avec un maximum de 459 ind. \cdot 10m⁻³ au point *rejet*.

En juin, un maximum de 3 961 ind. \cdot 10m⁻³ est constaté au point *rejet*. Aux deux autres points, une moyenne d'environ 1 000 ind. \cdot 10m⁻³ est recensée.

En septembre, *Acartia clausi* atteint son maximum d'abondance ce qui fait de cette espèce le copépode dominant de cette campagne. Il se dessine un gradient croissant de la côte vers le large, avec un pic de 4 708 ind. \cdot 10m⁻³ au point *référence*.

Centropages hamatus

Cette espèce est présente lors des trois campagnes.

En mars et septembre, seulement quelques dizaines d'individus pour 10 m³ sont rencontrées aux points *rejet* et *référence*. Elle est absente au point *canal*, pour chacune de ces deux campagnes

En juin, ce copépode atteint son maximum d'abondance, et présente un pic de 1 039 ind. \cdot 10m⁻³ au point *rejet*.

Euterpina acutifrons, Paracalanus parvus

Ces copépodes à tendance estivale, sont présents lors des trois campagnes.

Sensibles aux faibles températures, ces espèces sont présentes en quantité faible, voire nulle lors des campagnes de mars et de juin.

En septembre, ces deux espèces atteignent leur maximum d'abondance et sont représentées par plusieurs centaines d'individus pour 10 m^3 en chaque point. Le maximum est obtenu au point *rejet* pour *Euterpina acutifrons* ($1\,155\text{ ind}\cdot 10\text{ m}^{-3}$), et au point *référence* pour *Paracalanus parvus* ($318\text{ ind}\cdot 10\text{ m}^{-3}$). Ces deux espèces sont, avec *Acartia clausi*, les copépodes dominants de cette campagne.

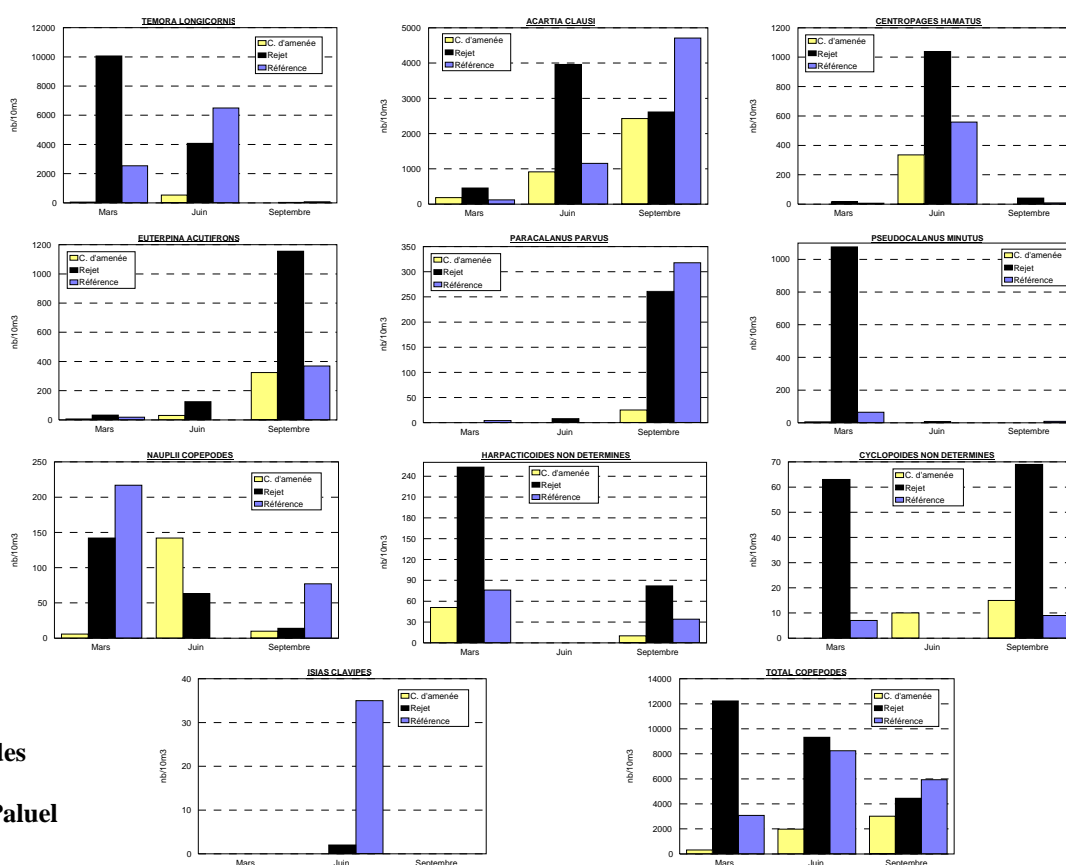


Figure 9 :
Abondances des
principaux
copépodes à Paluel
en 2003.

Pseudocalanus minutus

Cette espèce surtout hivernale est présente lors des trois campagnes.

En mars, un maximum de $1\,076\text{ ind}\cdot 10\text{ m}^{-3}$ est constaté au point *rejet*, ce qui représente l'abondance maximale de ce copépode, des trois campagnes. Recensé en faible quantité aux deux autres points, un maximum de $65\text{ ind}\cdot 10\text{ m}^{-3}$ est obtenu au point *référence*.

En juin et septembre, il est en nette régression, mais reste présent au point *rejet* en juin (8 ind. \cdot 10m⁻³) et au point *référence* en septembre (9 ind. \cdot 10m⁻³).

Nauplii de copépodes

Des larves de copépodes au stade nauplius ont été observées lors des trois campagnes, ce qui correspond au cycle de reproduction des différents copépodes rencontrés.

Le maximum d'abondance de ces nauplii se situe en mars, avec un pic de 217 ind. \cdot 10m⁻³ au point *référence*.

Harpacticoïdes non déterminés

Présents lors des campagnes de mars et de septembre aux trois points, les harpacticoïdes atteignent leur maximum d'abondance à chacune de ces deux campagnes au point *rejet*, avec respectivement 253 ind. \cdot 10m⁻³ et 82 ind. \cdot 10m⁻³.

- Les autres espèces holoplanctoniques (figure 10)

Les appendiculaires, représentées par *Oikopleura*, sont présents lors des campagnes de juin et de septembre aux trois points. En mars, une quantité négligeable voire nulle a été observée. Le maximum d'abondance est obtenu en juin, selon un gradient d'abondance croissant de la côte vers le large. Il a été dénombré 1 490 ind. \cdot 10m⁻³ au point *référence*. Aux deux autres points, plusieurs centaines d'individus pour 10m³ sont présents.

Le chaetognathe *Sagitta setosa* est une espèce prédatrice de grande taille. Totalement absent lors des campagnes de mars et de juin, il n'est rencontré qu'en septembre aux trois points, selon un gradient d'abondance croissant de la côte vers le large. Son maximum d'abondance est atteint au point *référence*, avec 148 ind. \cdot 10m⁻³.

Les mysidacés sont des crustacés benthopélagiques qui constituent une nourriture importante pour les juvéniles et adultes de poissons (poissons plats des fonds sableux - plies, turbots - et poissons pélagiques -harengs, sardines-). Ils se nourrissent essentiellement de fines particules, de détritiques et de petits copépodes, aussi forment-elles un groupe qui présente un intérêt majeur de par la forte réduction de la chaîne trophique qu'elles occasionnent. Elles sont rencontrées en mars et juin au point *rejet* (respectivement 98 ind. \cdot 10m⁻³ et 2 ind. \cdot 10m⁻³) et aux points *rejet* et *référence* en septembre (respectivement 10 ind. \cdot 10m⁻³ et 2 ind. \cdot 10m⁻³).

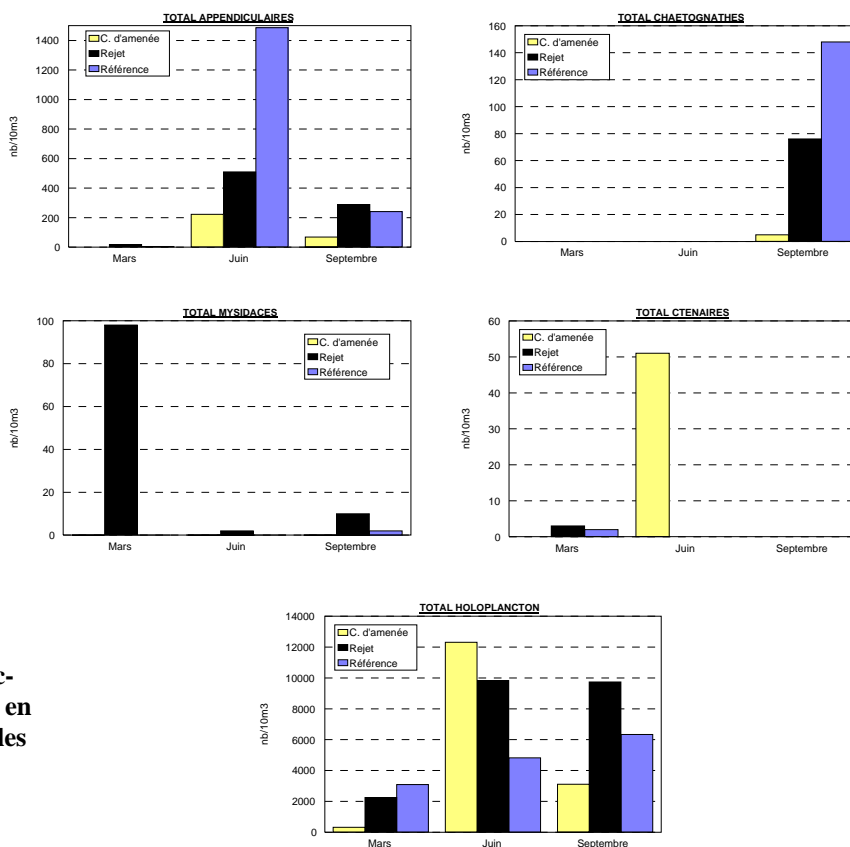
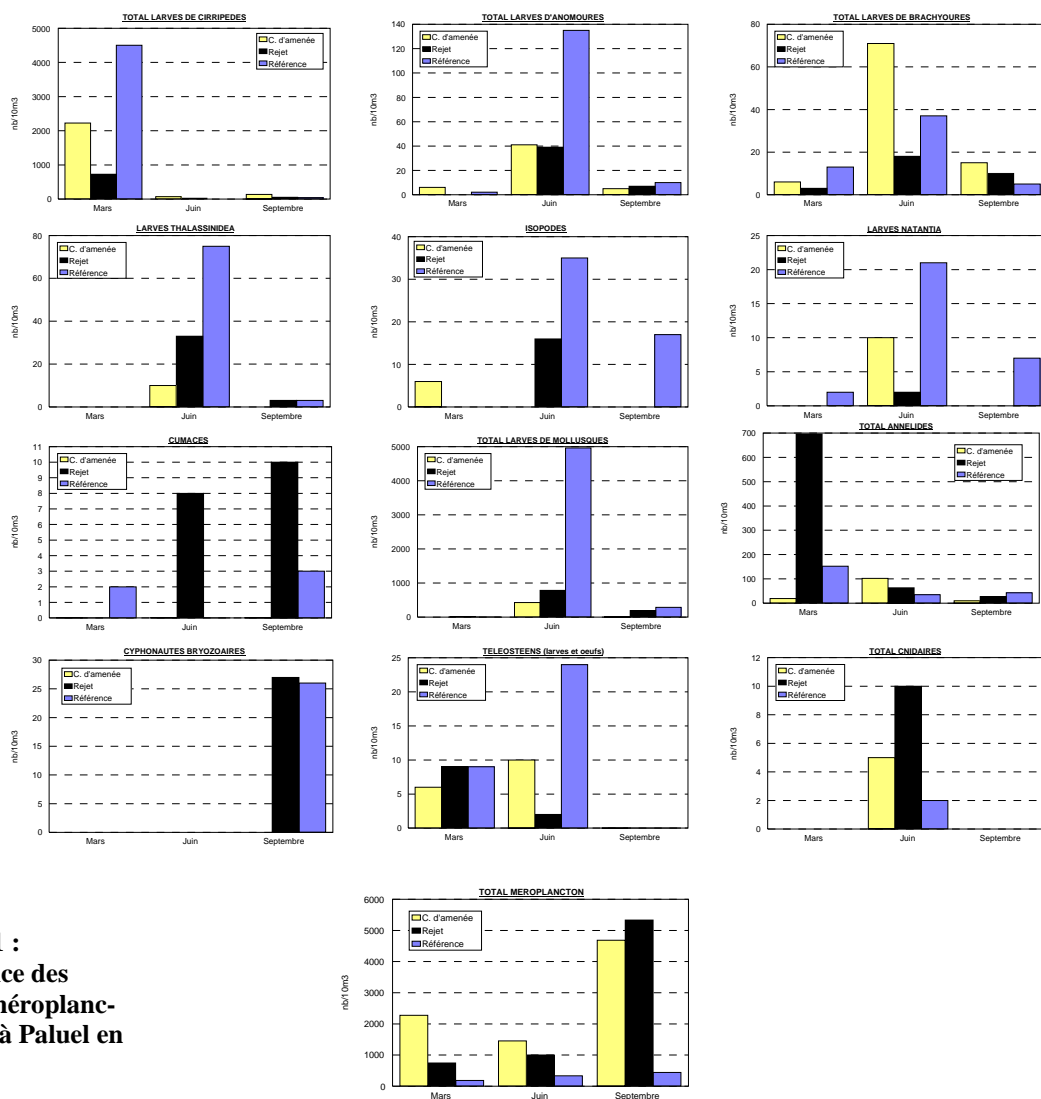


Figure 10 :
Abondances des
espèces holoplanc-
toniques à Paluel en
2003 autres que les
copépodes

Les cténaires, représentés par l'espèce *Pleurobrachia pileus* ('groseille de mer') sont des espèces carnivores importantes de par leur forte consommation de proies. La technique employée permet de récolter surtout des stades juvéniles. Ils ont été recensés aux points *rejet* et *référence* en mars (respectivement $3 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ et $2 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$) et au point *canal* en juin, où le maximum d'abondance est atteint ($51 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$).



5.2.2.2. Le méroplancton

Les stades larvaires d'espèces appartenant à différents embranchements ou classes ont été dénombrés au cours des trois campagnes (figure 11) :

- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés
 - Les cirripèdes sont des crustacés qui, à l'état adulte, vivent fixés et constituent une part importante des salissures (*'fouling'*). Les larves, émises en grande quantité, constituent un maillon intéressant de la chaîne alimentaire. Ces larves de très petite taille ne constituent pas une biomasse élevée. Elles représentent, en dehors de la période estivale, une part importante du zooplancton ; 31 % du zooplancton total en mars. L'émission des larves de cirripèdes est constatée en mars, et représente 89 % du méroplancton. Le maximum d'abondance est atteint au point *référence*, avec $4\,500 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$. Les deux stades larvaires nauplius et cypris sont présents, avec une dominance pour le stade nauplius. En juin, les larves de cirripèdes sont en nette régression (1 % de la fraction méroplanctonique), et sont même absentes au point *référence*. En septembre, ces larves réapparaissent, et atteignent 24 % du méroplancton. L'abondance maximale est obtenue au point *canal*, avec $137 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$.
 - Les larves d'anomoures (porcellanes, galathées, Bernards l'hermite) sont rencontrées lors des trois campagnes. En juin, elles atteignent leur maximum d'abondance. Aux points *canal* et *rejet*, $40 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ en moyenne sont recensés, et un maximum de $135 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ est observé au point *référence*. En mars et septembre, seulement quelques individus pour 10m^3 sont dénombrés en chaque point.
 - Les larves de brachyoures (crabes et araignées) sont rencontrées lors des trois campagnes, en chaque point. En mars et septembre, quelques individus pour 10m^3 sont recensés. Lors de ces deux campagnes, seul le stade zoé (larve) est représenté. Le maximum d'abondance des larves de brachyoures est observé en juin, au point *canal*, avec $71 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$. Il s'agit du stade zoé. Le stade mégaloïde (juvénile) est présent aux points *rejet* et *référence*.
 - Totalement absentes en mars, les larves de thalassinidés apparaissent en juin, où elles atteignent leur abondance maximale. Il se dessine lors de cette campagne un gradient côte-large croissant, avec la densité maximale au point *référence* ($75 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$). En septembre, seulement $3 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ sont observées aux points *rejet* et *référence*.

- Les larves de microniscus (isopodes) sont présentes lors des trois campagnes, en faible quantité. L'abondance maximale est obtenue en juin au point *référence*, avec $35 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$.
- Les larves de natantia sont présentes lors des trois campagnes. En mars et en septembre, elles ne sont rencontrées qu'au point *référence*, avec respectivement $2 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ et $7 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$. En juin, elles sont retrouvées aux trois points, et le maximum se situe au point *référence* avec $21 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$.
- L'abondance maximale des cumacés est constatée au point *rejet* en juin et en septembre, avec respectivement $8 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ et $10 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$.

- Embranchement des mollusques

Des larves de mollusques gastéropodes sont rencontrées lors des trois campagnes. En mars, leur quantité est négligeable. En juin, elles atteignent leur maximum d'abondance, et représentent 87 % du méroplankton, soit 21 % du zooplancton total. Il se dessine lors de cette campagne un gradient côte-large croissant. L'abondance maximale se situe au point *référence* avec $4\,970 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$. En septembre, les larves véligères de gastéropodes sont en nette régression, mais restent abondantes (un maximum de $284 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ au point *référence*), et représentent 51 % de la fraction méroplanctonique.

- Embranchement des annélides

Ces larves sont émises par diverses espèces dont les adultes constituent une bonne partie de la nourriture de nombreux crustacés et poissons de fond. Elles sont représentées principalement par les *Spionidae*. Elles sont rencontrées lors des trois campagnes, en chaque point. L'abondance maximale des annélides est atteinte en mars. Un pic de $696 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ est obtenu au point *rejet*. Lors de cette campagne, ces larves représentent 11 % de la fraction méroplanctonique. En juin, il se dessine un gradient décroissant de la côte vers le large (de $102 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ au point *canal* à $35 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ au point *référence*). En septembre, le gradient côte-large est inversé (un maximum de $43 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ est dénombré au point *référence*).

- Embranchement des bryozoaires

Totalement absents lors des campagnes de mars et de juin, les larves *cyphonautes* de bryozoaires sont observées en septembre aux points *rejet* ($27 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$) et *référence* ($26 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$).

- Embranchement des vertébrés

Des œufs et larves de téléostéens sont rencontrés lors des campagnes de mars et de juin aux trois points. En mars, quelques individus pour 10 m^3 sont observés en

chaque point. En juin, la densité maximale est atteinte au point *référence*, avec $24 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$. Par la suite, le nombre d'œufs et de larves de poissons régresse, pour être nul en septembre, car la ponte des poissons a surtout lieu au printemps.

- Embranchement des cnidaires (hydrozoaires, actinies, méduses)

Les cnidaires n'ont été observées qu'en juin. L'espèce *Eucheilota maculata* est présente aux points *canal* et *rejet* (respectivement $5 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ et $10 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$). Quant à l'espèce *Hybocodon prolifer* (méduse), elle est représentée par $2 \text{ ind.} \cdot 10\text{m}^{-3}$ au point *référence*.

5.3. Conclusions

En 2003, l'examen des populations zooplanctoniques ne permet pas de conclure à un impact sur le milieu proche des eaux chaudes rejetées par la centrale de Paluel. Les valeurs des différents paramètres sont comprises dans les limites habituelles de variations observées depuis la mise en place de la surveillance du site.

6 . Le Benthos Subtidal

Rapport

D. Davoult – Université Paris VI. Station biologique de Roscoff – UMR 7127.

A. Migné – Université Paris VI – UMR 5178.





6.1. Introduction

L'étude biosédimentaire des fonds marins situés à proximité du site de la centrale nucléaire de Paluel est menée depuis 1977. Cette étude a mis en évidence la présence de trois peuplements macrobenthiques (Dewarumez & Menu, 1985) :

- Le peuplement des cailloutis à épibiose sessile,
- Le peuplement des sables hétérogènes,
- La moulière à *Mytilus edulis*.

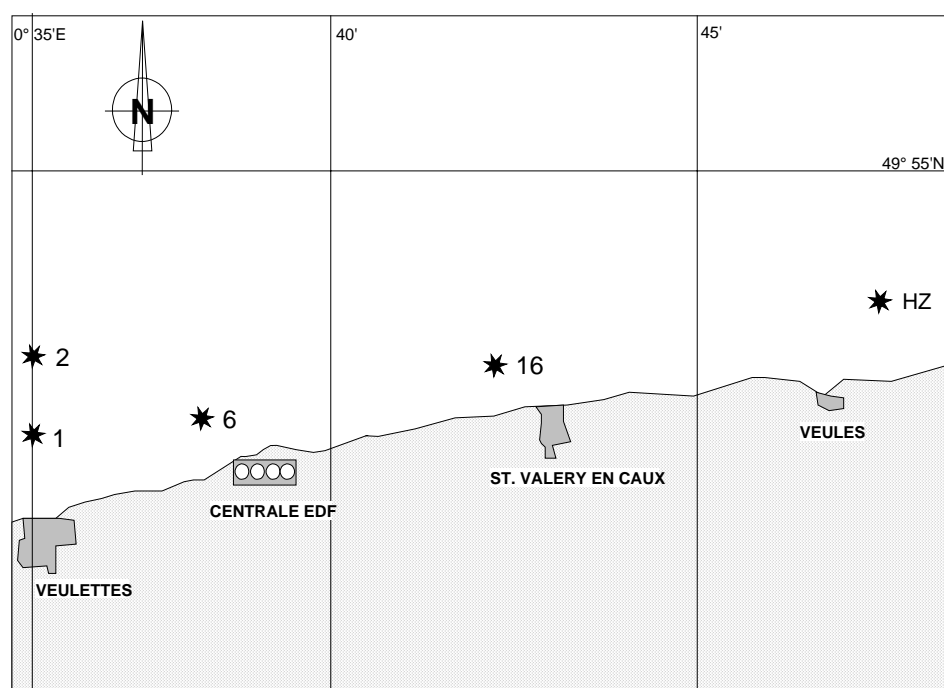
Au début du suivi, ces peuplements ont montré une grande stabilité spatio-temporelle. De 1977 à 1983, 30 points ont été échantillonnés chaque année. En 1984, une nouvelle stratégie a vu le jour, limitant le nombre de points échantillonnés à 7, des répliqués (4) effectués à certains de ces points permettant de vérifier la stabilité et l'homogénéité de ces peuplements. Cette stratégie a été mise en œuvre en 1984, 1985, 1986, 1988 et 1990.

En 1992, à notre demande, le protocole de prélèvement a été modifié compte tenu de la forte homogénéité des répliqués depuis 1984, de la stabilité de la zone du large (cailloutis au point 29, Davout, 1990) et des fortes variations constatées à certains points côtiers (moulière). Le suivi a maintenant lieu chaque année, ceci afin de mieux comprendre les fluctuations quelquefois importantes observées en certains points ; les répliqués ont été supprimés ; le point du large (29) a également été supprimé, de même que le point côtier 27, intermédiaire entre le point 16 et le point témoin H.Z. (hors zone). Cinq points (Fig. 6.1) sont donc échantillonnés au printemps et en automne :

- le point 1, autrefois représentatif des fluctuations de la moulière (49°52'10 N, 0°35'20 E),
- le point 2, situé sur les cailloutis du large et quelquefois soumis par le passé aux importants recrutements de *Mytilus edulis* (49°53'10 N, 0°35'10 E),
- le point 6, qui constituait une transition entre la moulière et les sables hétérogènes situés plus à l'est (49°52'60 N, 0°37'50 E),
- le point 16, caractéristique des sables hétérogènes et situé à proximité de la centrale (49°52'60 N, 0°41'20 E),
- le point H.Z. (hors zone), considéré comme témoin de la zone côtière (49°53'70 N, 0°46'80 E).

Des prélèvements supplémentaires sont effectués en hiver et en été aux points 1 et 6 afin de mieux cerner d'éventuelles fluctuations importantes du recrutement des espèces dominantes dans le passé (*Mytilus edulis*) ou actuellement (Tuniciers).

Figure 6.1. :
Points
échantillonnés
en 2003



Cette année, seules les campagnes d'été et de printemps ont eu lieu (Tableau 6.1).

Tableau 6.1. :
Calendrier des
campagnes en
2003

Dates	Points échantillonnés
26 juin 2003	1 et 6
2 octobre 2003	1, 2, 6, 16 et H.Z.

6.2 . Méthodologie

6.2.1. Travail à la mer

Les prélèvements sont réalisés à partir du navire océanographique *Sepia II* à la drague Rallier du Baty et donnent donc *a priori* lieu à des échantillons qualitatifs. L'efficacité de ce type d'engin permet néanmoins de comparer les abondances relatives. Les abondances absolues, données à titre indicatif en annexe, sont rapportées à un volume prélevé d'environ 30 l, considéré en Manche comme nécessaire et suffisant pour obtenir un échantillon représentatif du peuplement étudié.

Le sédiment prélevé est tamisé successivement sur des mailles de 10 et 1 mm de diamètre et les refus de tamis sont fixés au formol salé (dilué à 10 %).

Un échantillon de sédiment a été conservé afin de réaliser une analyse granulométrique en automne.

6.2.2. Travail au laboratoire

6.2.2.1. Analyse granulométrique

Le sédiment est d'abord rincé à l'eau douce afin d'éliminer le sel qui provoque l'agrégation des particules les plus fines. Les pélites sont séparées en milieu liquide lorsqu'elles sont abondantes.

Le sédiment est ensuite séché à l'étuve à 110 °C pendant 24 à 48 heures, puis tamisé sur une colonne vibrante équipée de tamis en acier à mailles carrées de type AFNOR.

Chaque refus de tamis est pesé avec une précision de 0,01 g. Les résultats sont ensuite groupés en suivant la classification granulométrique suivante :

> 20 mm	Cailloutis (C)
de 5 à 20 mm	Graviers grossiers (GG)
de 2 à 5 mm	Graviers fins (GF)
de 0,5 à 2 mm	Sables grossiers (SG)
de 0,2 à 0,5 mm	Sables moyens (SM)
de 0,05 à 0,2 mm	Sables fins (SF)
< 0,05 mm	Pélites (P)

Les résultats sont présentés sous forme d'histogrammes de fréquences pondérales.



6.2.2.2. Etude de la macrofaune

Les refus de tamis sont triés à vue par la méthode d'agitation-flottation, les organismes ayant été préalablement colorés au rose bengale.

L'identification des animaux s'effectue à la loupe binoculaire et au microscope.

Les principaux ouvrages utilisés sont les suivants :

- P. Fauvel, Faune de France, 5 : *Annélides Polychètes errantes* ;
- P. Fauvel, Faune de France, 16 : *Annélides Polychètes sédentaires* ;
- N. Tebble : *Mollusques Bivalves* ;
- R.J. Lincoln, British Museum : *Amphipodes* ;
- E.L. Bouvier, Faune de France, 37 : *Décapodes* ;
- P. Koehler, Faune de France, 1 : *Échinodermes* ;
- Synopses of the British Fauna : *groupes divers* ;
- Hayward P. & J. Ryland, Oxford Univ. Press : *The marine fauna of the British Isles and North-West Europe*.

Des articles et tirés à part complètent ces ouvrages de systématique.

6.2.3. Traitement des données

6.2.3.1 Diversité, Régularité

Notre analyse s'effectue sur les fréquences relatives des espèces récoltées. L'indice de diversité de Shannon varie avec le nombre d'espèces et l'abondance relative de chacune d'elles :

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \text{Log}_2 P_i$$

- n = nombre d'espèces
- P_i = fréquence relative de l'espèce i dans le prélèvement
- P_i = N_i/N
- N_i = nombre d'individus de l'espèce i
- N = Nombre total d'individus dans le prélèvement

Cet indice donne une information synthétique sur la richesse spécifique et l'équilibre du peuplement considéré. Toutefois, parce qu'il dépend à la fois du nombre d'espèces et de leurs abondances relatives, une faible valeur peut traduire deux situations différentes :

- soit le nombre d'espèces est faible ;
- soit le nombre d'espèces est élevé mais quelques espèces dominent fortement le peuplement.



Afin de nuancer l'information donnée par H, la régularité (ou 'Evenness') E, rapport de la diversité observée sur la diversité maximum, est calculée selon la formule :

$$E = H / \text{Log}_2 N$$

6.2.3.2. Diagrammes Rang-Fréquence

Les diagrammes Rang-Fréquence (D.R.F.) donnent une représentation plus analytique des prélèvements que l'indice de diversité et accordent peu d'importance aux espèces rares qui interviennent peu dans la structure et la dynamique d'un peuplement. Ils permettent davantage d'interpréter l'évolution temporelle des peuplements (Frontier, 1976, 1985).

Le diagramme se construit en portant en abscisse les rangs des espèces par abondance décroissante et en ordonnées la fréquence relative des espèces dans le prélèvement, le tout en métrique logarithmique décimale.

6.3. Résultats

6.3.1. Analyse granulométrique

Dans l'ensemble, les résultats des analyses sont proches de ceux des années précédentes (Tableau 6.2 et figure 6.2.).

Tableau 6.2. :
Analyse
granulométrique
– Fréquences
pondérales (%).

	P	SF	SM	SG	GF	GG	C
Point 1	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	2,91	97,07
Point 2	0,00	0,01	0,03	0,03	0,01	2,89	97,03
Point 6	0,00	0,01	0,04	0,04	0,01	6,69	93,21
Point 16	0,09	5,22	81,62	10,56	1,25	1,26	0,00
Point H.Z	0,01	1,94	59,62	33,42	2,77	2,25	0,00

Aux points 1 et 2 (peuplement des cailloutis), les résultats confirment ceux des années précédentes (Davoult, 1992 & 1993, Davoult & Migné, 1994 à 2002). Le sédiment est fortement dominé par les cailloutis (> 90 % du poids du sédiment). Au point 1, depuis 1990, l'absence de moules ne favorise pas une importante biodéposition, phénomène qui enrichit habituellement le sédiment en particules fines (sables et pélites).



Le sédiment du point 6 était dominé jusqu'en 1990 par les sables moyens (Bourgain *et al.*, 1988 ; Davoult, 1990). En 1992, le point 6 était caractérisé par un sédiment typique des fonds caillouteux (> 80 % du poids du sédiment) et de 1993 à 1998 par un sédiment variable, allant de l'hétérogène au grossier. Depuis 1999, le sédiment était largement dominé par les cailloutis (de 75 à plus de 90 % du poids du sédiment) : ce point ne constituait donc plus un élément intermédiaire au sein d'un gradient sédimentaire côtier mais appartenait avec les point 1 et 2 à une zone de cailloutis.

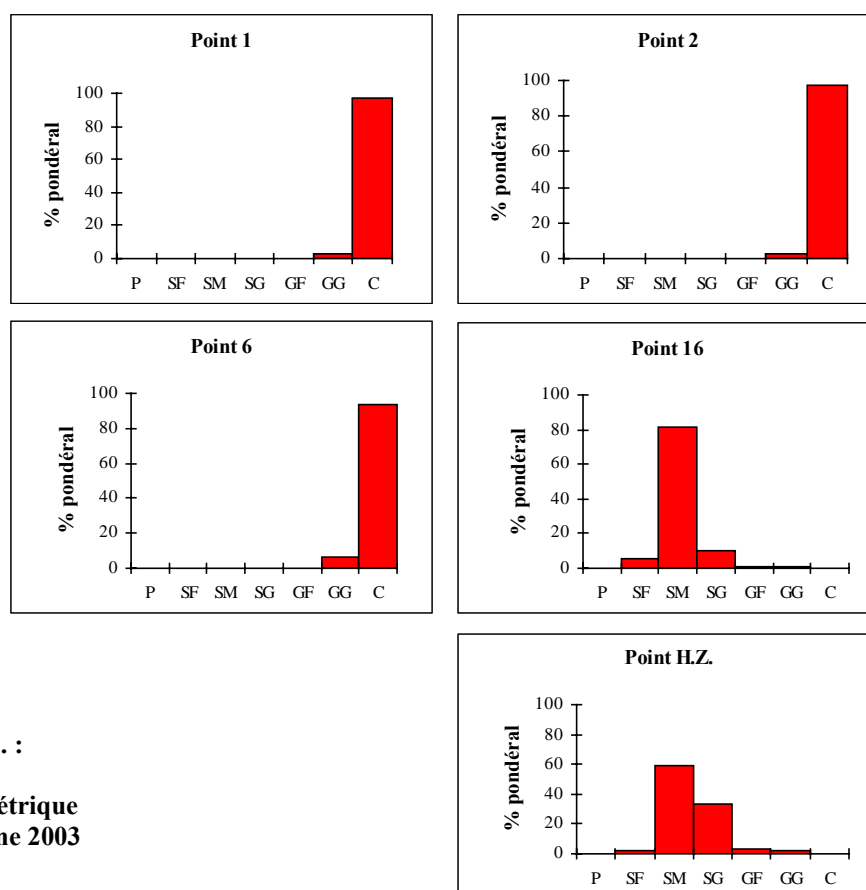


Figure 6.2. :
Analyse
granulométrique
à l'automne 2003

En 2002, cette tendance avait été partiellement remise en cause au printemps puisque le sédiment était de nouveau dominé par les sables (dont 34 % de sables grossiers) et ne contenait plus que 14 % de cailloutis. En automne, le sédiment était de nouveau dominé par les cailloutis (52 % du poids total du sédiment) mais plus faiblement que les années précédentes. Cette année, les cailloutis représentent plus de 90 % du poids total du sédiment : le point 6 fait donc de nouveau transition à la zone des cailloutis.

Au point 16, de 1995 à 1998, la proportion de graviers et cailloutis tendait à augmenter. Depuis 1999, celle-ci tend à diminuer à nouveau, quelquefois de façon assez importante. Cette année, le sédiment est fortement dominé par les sables moyens (82 %).

Le point H.Z. présente un sédiment assez proche de celui des années précédentes, dominé par les sables moyens (60 %) et grossiers (33 %).

L'évolution de la couverture sédimentaire du domaine côtier observée au cours des années précédentes a donc fait place à une situation qui paraît maintenant relativement stable depuis quelques années : alors que le domaine des sables hétérogènes occupait jusqu'en 1990 toute la zone côtière à l'exception de la moulière située devant Veulettes (Fig. 6.1), la présence d'un gradient sédimentaire des cailloux du point 1 à l'ouest aux sables moyens du point H.Z. à l'est s'est mis en place depuis 1992.

Cette année, plus qu'un gradient, c'est une opposition entre cailloutis à l'ouest (points 1 et 6) et sables hétérogènes à l'est (points 16 et H.Z.) qui caractérise la zone côtière.

6.3.2. Analyse faunistique

6.3.2.1. Résultats globaux

118 taxons appartenant à l'épifaune sessile et vagile et à l'endofaune ont été identifiés ; ils se répartissant comme suit :

Spongiaires: 5 espèces
Cnidaires: 11 espèces
Annélides: 29 espèces
Sipunculien: 1 espèce
Mollusques: 13 espèces
Bryozoaires: 14 espèces
Cirripèdes: 4 espèces
Isopodes: 2 espèces
Amphipodes: 14 espèces
Mysidacés: 1 espèce
Décapodes: 13 espèces
Echinodermes: 3 espèces
Tuniciers: 8 espèces

Le nombre d'espèces récoltées est proche de celui de l'année précédente (111 espèces en 2001, 118 en 2002) et légèrement plus élevé que celui des années antérieures : 97 espèces en 1995, 1997 et 2000, 100 en 1996, 94 en 1998 et 91 en 1999. Il y a donc une forte stabilité du nombre d'espèces récoltées depuis la mise en place de la nouvelle stratégie de surveillance. La diminution importante enregistrée depuis 1992 est due à la fois à la suppression du point 29 (diminution de la diversité spécifique mesurée dans le peuplement des cailloutis, en particulier de celle des Amphipodes) et à la disparition de la moulière du point 1, ce qui a provoqué une diminution de la diversité spécifique par modification du milieu, au détriment notamment de la petite endofaune à annélides.

Depuis 1993, la dominance des différents groupes zoologiques s'est modifiée quelque peu au profit des espèces de substrat dur (Cnidaires et Bryozoaires) abondants notamment au point 1 depuis la disparition de la moulière : toutefois, les Annélides dominent toujours (24,6 %), suivis des Bryozoaires et des Amphipodes (11,9 %), puis les Mollusques, Crustacés décapodes (11,0 %) et Cnidaires (9,3 %). Les Tuniciers (6,8 %) restent minoritaires mais sont néanmoins bien représentés et dominants en nombre d'individus en certains points (voir plus loin).

Figure 6.3. :
Nombre d'espèces
et d'individus.
Diversité (H) et
régularité (E) des
prélèvements

Points	Nb d'espèces	Nb d'individus	H	E
ÉTÉ 2003				
1	59	934	3,2	0,61
6	49	1179	2,6	0,51
AUTOMNE 2003				
1	44	488	2,6	0,55
2	58	1320	2,7	0,52
6	56	1499	3,0	0,57
16	13	44	2,9	0,82
H.Z.	16	91	3,0	0,77

Une nouvelle espèce a été identifiée : il s'agit du Cnidaire *Sertularella gaudichaudi*, espèce déjà signalée en Manche orientale mais jamais récoltée sur le site de Paluel.

6.3.2.2. Peuplement des cailloutis

Depuis 1992, les points 1, 2 et 6 appartiennent à ce peuplement. Deux faciès sont toutefois présents :

- **Un faciès du large visible au point 2**, généralement caractérisé par la forte dominance de l'ophiure *Ophiothrix fragilis* : cette année encore, l'espèce est dominante (1^{er} rang, 54,5 % des individus récoltés). Ce faciès apparaît très stable, les quatre espèces dominantes représentant plus de 75 % des individus récoltés (*O. fragilis*, le crabe *Pisidia longicornis longicornis*, les annélides tubicoles *Pomatoceros triqueter* et *Thelepus setosus*) et sont caractéristiques du faciès. Le DRF est typiquement sigmoïde et sépare les espèces dominantes des autres espèces (Figure 6.3). L'indice de diversité de Shannon (Tableau 6.3) est moyen ($H = 2,7$) pour un aussi grand nombre d'espèces récoltées (58), en raison d'une très grande irrégularité de la distribution des abondances relatives ($E = 0,52$).

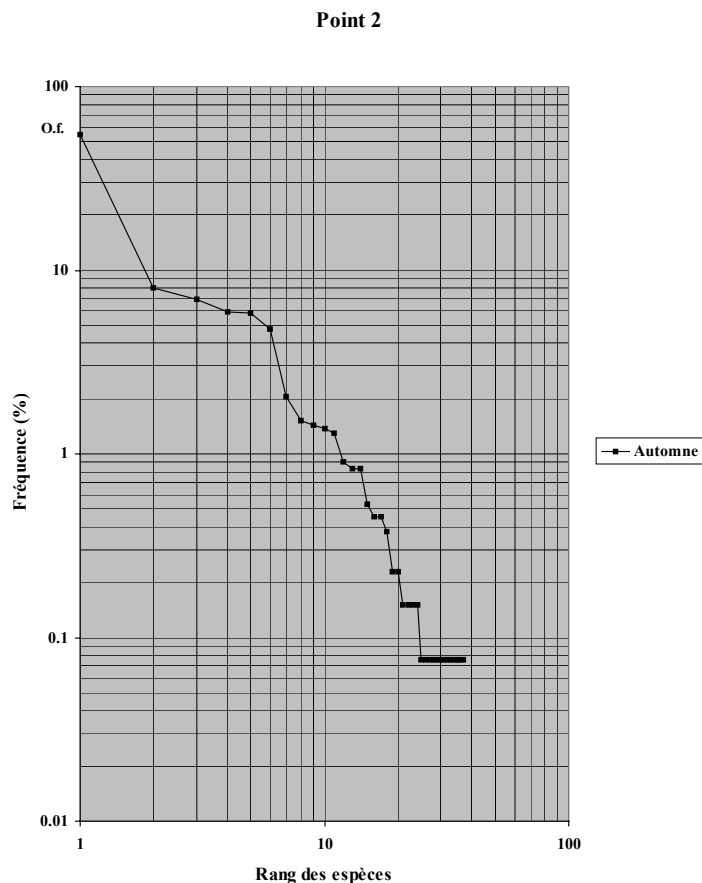


Figure 6.3. :
Diagramme rang-
fréquence (DRF)
des peuplements
du point 2

- **Un faciès côtier (points 1 et 6)** dominé comme les années précédentes par les Annélides tubicoles *Sabellaria spinulosa*, *Thelepus setosus* et *Pomatoceros triqueter* et par les Tuniciers *Styela coriacea* et *Molgula manhattensis*. Les DRF du point 1 (Figure 6.4) sont légèrement sigmoïdes voire rectilignes, ceux du point 6 (Figure 6.5) légèrement convexes mais ils montrent néanmoins la dominance d'un faible nombre d'espèces (4 à 6). Le nombre d'espèces récoltées est élevé (44 à 59) et l'indice de Shannon varie de 2,6 à 3,2 selon le nombre d'espèces en co-dominance (régularité de 0,51 à 0,61), tous ces résultats étant proches de ceux de l'année précédente.

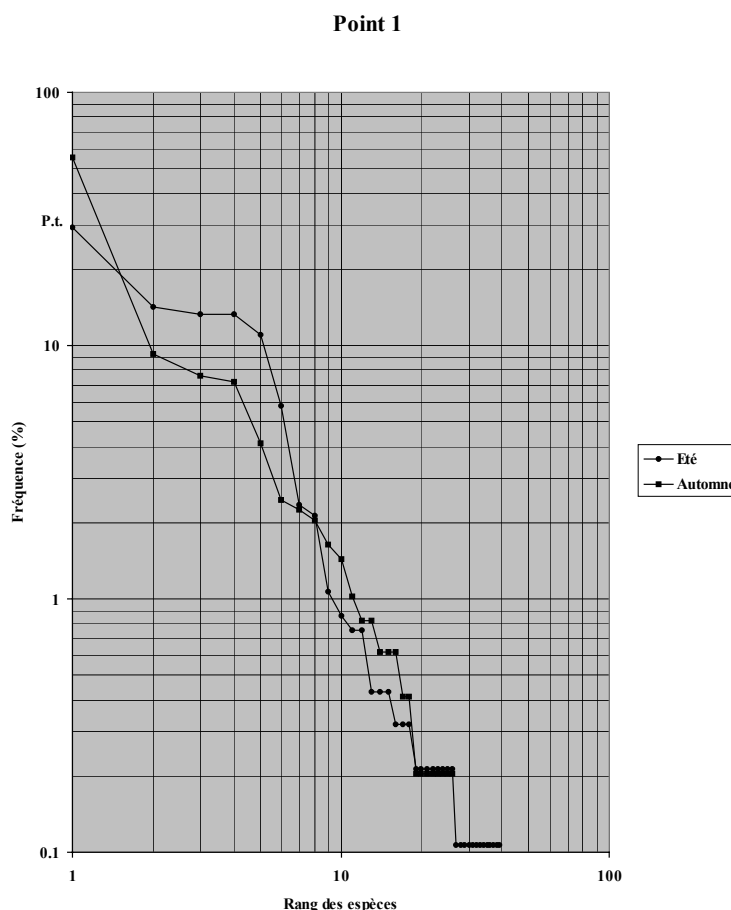


Figure 6.4. :
Diagramme rang-
fréquence (DRF)
des peuplements
du point 1

Depuis 1992, les Tuniciers ont partiellement investi la niche écologique de *Mytilus edulis* dans le peuplement, tant du point de vue de l'occupation de l'espace que du point de vue trophique (espèces filtreuses) ; ils peuvent représenter certaines années plus de 50 % des individus récoltés (49,4 % au point 6 en automne cette année). Ce basculement de structure est maintenant établi et stable depuis plus de 10 ans. Cependant, la dominance des Tuniciers

dans le peuplement reste très inférieure à ce qu'était celle des moules il y a quelques années, ce qui a permis à des espèces déjà communes dans le peuplement de devenir également dominantes (les 3 Annélides citées plus haut). Leur impact sur le milieu est également différent : la moulière induisait une forte biodéposition qui rendait le sédiment plus hétérogène et favorisait la présence d'une endofaune, notamment annélide, non négligeable, ce qui n'est plus le cas comme le montrent à la fois l'analyse granulométrique (Figure 6.2) et le cortège faunistique (annexe).

Point 6

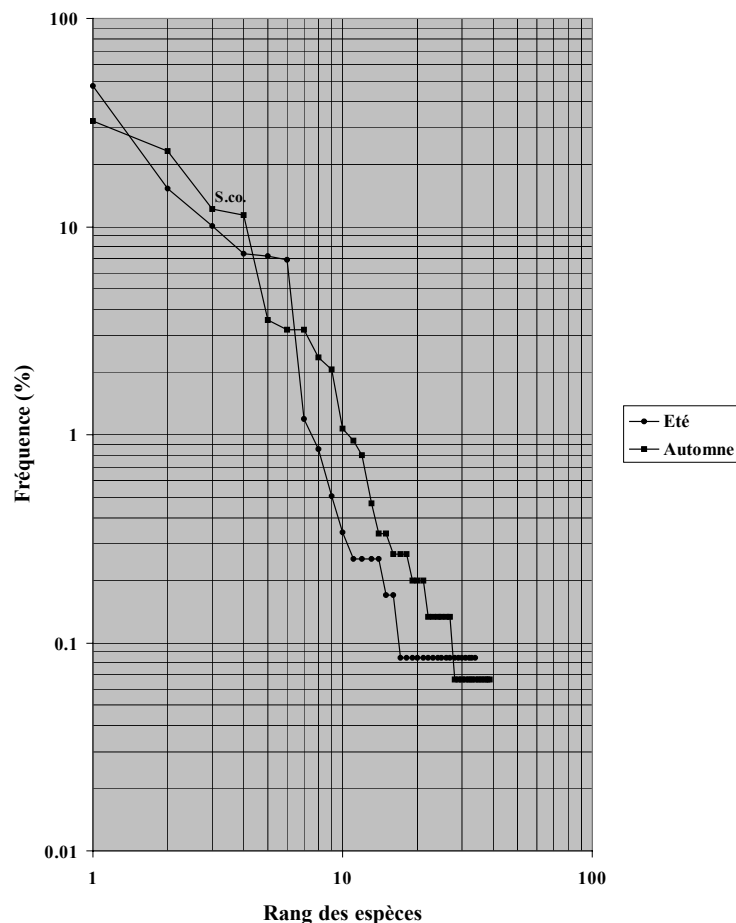


Figure 6.5. :
Diagramme rang-
fréquence (DRF)
des peuplements
du point 6

6.3.2.3. Peuplement des sables hétérogènes

L'analyse faunistique des points 16 et H.Z. mettait habituellement en évidence un faible nombre d'espèces au printemps : par exemple, respectivement 3 et

1 espèce récoltées en 1999 au printemps et 4 et 3 espèces récoltées en automne.

Depuis, la situation est apparue beaucoup plus variable. En 2000, au point 16, le sédiment grossier hétérogène avait favorisé la présence d'un plus grand nombre d'espèces (26 au printemps et 24 en automne). Toutefois, cette augmentation de la diversité s'était accompagnée d'une très forte dominance du Gastéropode invasif *Crepidula fornicata* (plus de 1000 individus dans 30 l de sédiment), présent en ce point depuis 1997.

En 2001, le nombre d'espèces récoltées était de nouveau très faible (de 0 à 4), ce qui avait été attribué à des déplacements sédimentaires qui peuvent être importants sur ces milieux (Davoult *et al.*, 1998). Le point H.Z. est, quant à lui, resté oligospécifique en 2000 et 2001 (de 0 à 6 espèces récoltées).

En 2002, au point 16, une seule espèce a été récoltée au printemps (*Crepidula fornicata*) et 14 espèces en automne, dont 8 espèces caractéristiques de fonds grossiers, 2 espèces caractéristiques de milieux sableux (l'Annélide *Ophelia borealis* et le Mysidacé *Gastrosaccus spinifer*) et *Crepidula fornicata* qui dominait à nouveau fortement le prélèvement (219 individus, soit 95,6 % des individus récoltés). Au point H.Z., 10 espèces avaient été récoltées au printemps, toutes caractéristiques des milieux sableux côtiers et seulement 2 espèces en automne : le Gastéropode *C. fornicata* (45 individus, soit 83,3 % des individus récoltés) et le procordé *Amphioxus lanceolatus*, souvent trouvé à ce point et caractéristique des sables grossiers et des graviers (gravelle à *Amphioxus*).

Cette année, le nombre d'espèces récoltées est assez important pour ce type de fond (13 au point 16, 16 au point H.Z.) et les cortèges spécifiques sont dominés par des espèces typiquement sabulicoles (l'Annélide *Nephtys cirrosa*, l'Amphipode *Urothoe brevicornis* et le Mysidacé *Gastrosaccus spinifer*), à l'exception de *Crepidula fornicata*, encore dominante. Il est à noter que cette espèce est moins abondante que les années précédentes à certains points mais qu'elle est présente dans tous les prélèvements effectués, sur tous les types de sédiment.

Les DRF sont convexes, aucune espèce n'étant particulièrement dominante (figure 6.6.). La diversité est donc moyenne (2,9 et 3,0) et la régularité plus élevée qu'aux autres points (de 0,77 à 0,82).

Depuis son apparition sur le site, *Crepidula fornicata* montre des fluctuations importantes, sans doute liées à son type de distribution très contagieux, mais

elle constitue maintenant une espèce dominante dans la partie sableuse à sablo-graveleuse du domaine côtier.

Points 16 et H.Z.

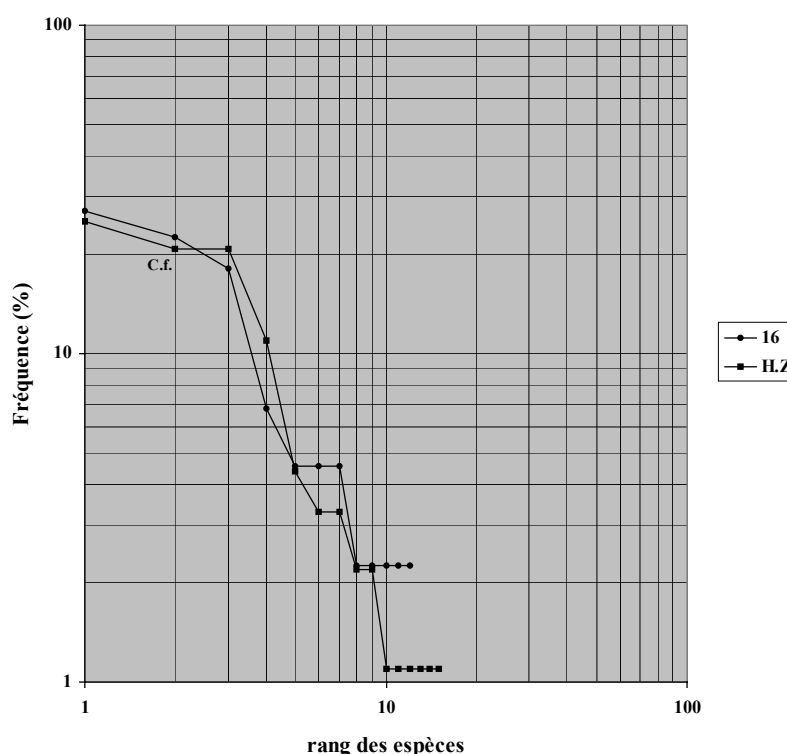


Figure 6.6. :
Diagramme rang-
fréquence (DRF)
des peuplements
des points 16 et
HZ

Les résultats confirment cette année encore l'évolution de la zone côtière depuis la disparition de la moulière, à savoir la présence de deux domaines fortement différenciés : les cailloutis de l'ouest (points 1 et 6) et les sables hétérogènes de l'est (points 16 et H.Z.) ; le point 16 continue à fluctuer selon les années d'un sédiment de sables hétérogènes à un sédiment plus grossier. Cette variation, à la fois saisonnière et inter-annuelle, est peut-être due à l'action des tempêtes d'hiver et de début de printemps en milieu peu profond (Davoult *et al.*, 1998).

La disparition de la moulière peut expliquer en partie la variation granulométrique observée à ces points dans la mesure où celle-ci devait fortement diminuer les courants de marée de fond pendant les périodes de flot au profit d'un ensablement de la partie est de la zone côtière. De tels effets ont déjà été observés au sonar latéral qui a permis de mettre en évidence des traînées sableuses d'environ 2 milles de long dans le prolongement d'une épave, à l'abri du courant de flot (Augris *et al.*, 1987).

6.4. Conclusion

Le peuplement des cailloutis, représenté au large par le point 2 et à la côte par les points 1 et 6, semble toujours relativement stable.

Au large, il est dominé comme les années précédentes par les mêmes espèces (*Ophiothrix fragilis*, *Thelepus setosus*, *Pisidia longicornis* et *Pomatoceros triqueter*).

Dans sa partie côtière, la disparition de la moulière à *Mytilus edulis* perdure ainsi que son remplacement par des Tuniciers, en particulier *Styela clava*, *Styela coriacea*, *Molgula manhattensis* et *Dendrodoa grossularia*.

Le sédiment grossier de cette partie (points 1 et 6) abrite de façon stable depuis 1990 un faciès côtier typique du peuplement de cailloutis à épibiose sessile, un peu moins diversifié que ne l'était la moulière : il y a donc eu, à l'échelle de quelques années, basculement brutal d'une situation stable (la moulière, présente pendant la première partie de l'étude, de 1977 à 1988) à une autre situation stable, le faciès côtier de cailloutis dominé par les Tuniciers et les Annélides tubicoles de substrat dur (depuis 1990).

La transition avec les sables hétérogènes s'effectue depuis 1993 au niveau du point 16, qui est depuis cette période le point dont les caractéristiques sédimentaires sont les plus fluctuantes.

L'abondance de *Crepidula fornicata* y est confirmée depuis 1998 : l'espèce est connue pour s'installer durablement et modifier éventuellement le substrat ; sa très forte augmentation d'abondance définit un phénomène de type invasif, sans doute facilité par les variations du substrat. On constate maintenant qu'elle est présente en chaque point, peu importe le substrat.

L'évolution de la couverture sédimentaire de la zone côtière a suivi la disparition de la moulière à *Mytilus edulis*. La stabilité de structure observée maintenant depuis plusieurs années risque donc de se poursuivre si aucune sédentarisation massive de moules ne se produit sur la zone des points 1 et 6. L'évolution encore sensible en 1995 vers des sédiments plus grossiers est maintenant stabilisée. Elle semble, d'une part confirmer le rôle des courants de marée susceptibles, en l'absence de moulière, de provoquer un granuloclassement plus marqué, d'autre part être influencée au point 16 par l'action des tempêtes hivernales et de début de printemps (Davoult *et al.*, 1998).

La répartition spatio-temporelle des points de prélèvement est bien adaptée à la variabilité observée sur le site : une campagne au printemps et une autre en automne, complétées de prélèvements intermédiaires aux points 1 et 6, qui



constituaient au début du suivi la partie la plus variable de la zone, recentrées sur la zone côtière proche de la centrale, et qui permettent le cas échéant de lier d'éventuelles fluctuations globales des peuplements benthiques à la variabilité spatio-temporelle du recrutement de certaines espèces (*Mytilus edulis*, Tuniciers). Le suivi du point 2 paraît suffisant pour vérifier la stabilité interannuelle de la zone située plus au large. Malgré l'absence de prélèvements en hiver et au printemps cette année, l'image obtenue permet de conclure à une relative stabilité des structures étudiées.

6.5. Bibliographie

AUGRIS C., CLABAUT P., DEWEZ S. & J.P. AUFFRET, 1987. Carte des sédiments superficiels au large de Boulogne-sur-Mer. Ifremer-U.S.T.Lille-Région Nord/Pas de Calais (Eds), 32p. + 2 cartes couleur.

BOURGAIN J.L., DAVOULT D. & J.M. DEWARUMEZ, 1988. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieutique, site de Paluel, année 1988. Rapport Ifremer: 57-87.

DAVOULT D., 1990. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieuthique, site de Paluel, année 1990. Rapport Ifremer: 59-81.

DAVOULT D., 1992. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieutique, site de Paluel, année 1992. Rapport Ifremer.

DAVOULT D., 1993. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieutique, site de Paluel, année 1993. Rapport Ifremer.

DAVOULT D., DEWARUMEZ J.M. & A. MIGNÉ, 1998. Long-term changes (1979-1994) in two coastal benthic communities (English Channel): analysis of structural developments. *Oceanol. Acta*, 21 (4): 609-617.

DAVOULT D. & A. MIGNÉ, 1994 à 2002. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieutique, site de Paluel. Rapport Ifremer.

DEWARUMEZ J.M. & D. MENU, 1985. Etude de surveillance écologique du site de Paluel, rapport de synthèse, 1978 à 1981. Rapport Ifremer.

FRONTIER S., 1976. Utilisation des diagrammes Rang-Fréquence dans l'analyse des écosystèmes. *J.Rech.Océanogr.*, 1 (3): 36-48.

FRONTIER S., 1985. Diversity and structure in aquatic ecosystems. *Oceanogr. Mar. Ann. Rev.*, 23: 253-312.



ANNEXES

- **Signification des abreviations des diagrammes Rang-Fréquence**
- **Dénombrements faunistiques**



<i>A.o.</i> :	<i>Aonides oxycephala</i>
<i>C.f.</i> :	<i>Crepidula fornicata</i>
<i>D.g.</i> :	<i>Dendrodoa grossularia</i>
<i>G.s.</i> :	<i>Gastrosaccus spinifer</i>
<i>M.m.</i> :	<i>Molgula manhattensis</i>
<i>N.c.</i> :	<i>Nephtys cirrosa</i>
<i>O.f.</i> :	<i>Ophiothrix fragilis</i>
<i>P.l.</i> :	<i>Pisidia longicornis longicornis</i>
<i>P.t.</i> :	<i>Pomatoceros triqueter</i>
<i>S.co.</i> :	<i>Styela coriacea</i>
<i>S.s.</i> :	<i>Sabellaria spinulosa</i>
<i>T.s.</i> :	<i>Thelepus setosus</i>
<i>U.b.</i> :	<i>Urothoe brevicornis</i>

**Signification des abréviations d'espèces employées
dans les diagrammes Rang-Fréquence**

Espèces	Point	Eté 2003		Automne 2003				
		1	6	1	2	6	16	HZ
Spongiaires								
<i>Sycon ciliatum</i>		+			+	+		
<i>Dysidea fragilis</i>					+			
<i>Haliclona oculata</i>					+			
<i>Raspailia pumila</i>		+						
<i>Spongiaire sp.</i>			+	+	+	+		
Cnidaires								
<i>Tubularia indivisa</i>		+	+	+	+	+		
<i>Sertularella gaudichaudi</i>		+	+		+	+		
<i>Abietinaria abietina</i>			+					
<i>Sertularia cupressina</i>		+		+	+			
<i>Hydrallmania falcata</i>					+			
<i>Kirchenpaueria pinnata</i>		+		+		+		
<i>Dyphasia attenuata</i>					+			
<i>Alcyonium digitatum</i>					11			
<i>Urticina felina</i>		1						
<i>Sagartia elegans</i>		1						
Actiniaires spp.		2	1	3	12	3		
Annélides								
<i>Aonides oxycephala</i>							3	
<i>Pygospio elegans</i>								1
<i>Magelona mirabilis</i>								2
<i>Ophelia borealis</i>							1	1
<i>Nephtys cirrosa</i>							10	10
<i>Nephtys caeca</i>								1
<i>Phyllodoce sp.</i>		1		1				
<i>Anaitides mucosa</i>							1	
<i>Eulalia bilineata</i>			1					
<i>Kefersteinia cirrata</i>		20	6			1		
<i>Glycera lapidum</i>							1	3
<i>Lumbrineris sp.</i>		1				3	1	
<i>Syllidae sp.</i>		7	1			2		
<i>Lepidonotus squamatus</i>		7	1	7	27	5		
<i>Polynoe scolopendrina</i>		8	10	11	18	48		
<i>Sthenelais boa</i>		3	4					
<i>Pholoe minuta</i>						1		
<i>Harmothoe glabra</i>			1					
<i>Marphysa sanguinea</i>		1	1			3		
<i>Sabellaria spinulosa</i>		103	560	8	5	347		
<i>Amphicteis gunneri</i>		1	1					
<i>Dasychone bombyx</i>		4						
<i>Thelepus setosus</i>		124	118	45	78	170		
<i>Eupolymnia nebulosa</i>		1	1		1			
<i>Branchiomma vesiculosum</i>			1					
<i>Jasmineira elegans</i>		1	1					
<i>Serpulidae sp.</i>		2			2	1		
<i>Sabella pavonina</i>		3	1	2	7	2		
<i>Pomatoceros triqueter</i>		273	82	269	91	31		

Espèces	Point	Eté 2003		Automne 2003				
		1	6	1	2	6	16	HZ
Sipunculiens								
<i>Golfingia minuta</i>		10	85	4	1	53		
Mollusques								
<i>Acanthochitona crinita</i>				1				
<i>Buccinum undatum</i>		4	1	4	6	1		
<i>Ocenebra erinacea</i>			3					
<i>Nassarius incrassatus</i>			1					
<i>Diodora graeca</i>		4	1	5		1		
<i>Calliostoma zizyphinum</i>			3	1	1	5		
<i>Crepidula fornicata</i>		1	1	3	3	14	12	19
<i>Chlamys varia</i>				1				
<i>Tellina fabula</i>								3
<i>Abra alba</i>								1
<i>Astarte triangularis</i>								1
<i>Musculus discors</i>					1			
<i>Hiatella arctica</i>					1	1		
Bryozoaires								
<i>Conopeum reticulum</i>		+	+	+		+		
<i>Electra pilosa</i>		+	+	+		+		
<i>Bicellariella ciliata</i>		+			+	+		
<i>Flustra foliacea</i>					+			
<i>Disporella hispida</i>		+	+	+	+			
<i>Cellepora pumicosa</i>		+	+	+	+	+		
<i>Tubulipora sp.</i>		+	+	+	+	+		
<i>Crisia aculeata</i>					+			
<i>Plagioecia patina</i>		+		+	+	+		
<i>Escharella immersa</i>		+	+	+	+	+		
<i>Schizomavella auriculata</i>		+	+	+	+	+		
<i>Chorizopora brongniartii</i>		+			+			
<i>Amphiblestrum flemingii</i>		+	+	+	+	+		
<i>Alcyonidium diaphanum</i>		+	+	+		+		
Cirripèdes								
<i>Balanus crenatus</i>		+	+	+		+	+	+
<i>Balanus perforatus</i>				+				
<i>Elminius modestus</i>				+				
<i>Verruca stroemia</i>		+	+	+	+	+		
Isopodes								
<i>Eurydice spinigera</i>							2	2
<i>Anthura gracilis</i>		2		1	1			
Amphipodes								
<i>Ampelisca spinipes</i>					2	7		
<i>Perrierella audouiniana</i>					1			
<i>Urothoe brevicornis</i>							1	23
<i>Bathyporeia elegans</i>							2	
<i>Bathyporeia guillamsoniana</i>							2	
<i>Sthenothoe marina</i>		3	3			1		
<i>Melita obtusata</i>			2					
<i>Melita gladiosa</i>					1			

Espèces	Point	Eté 2003		Automne 2003				
		1	6	1	2	6	16	HZ
<i>Corophium sextonae</i>		2			1	4		
<i>Erichtonius brasiliensis</i>			1		3	2		
<i>Photis longicaudata</i>						2		
<i>Perioculodes longimanus</i>					1			
<i>Jassa falcata</i>			1					
<i>Phtysica marina</i>						1		
Mysidacés								
<i>Gastrosaccus spinifer</i>							8	19
Décapodes								
<i>Eualus pusiolus</i>		1		1	2	4		
<i>Crangon crangon</i>								4
<i>Galathea intermedia</i>								1
<i>Pisidia longicornis</i>		1		12	106	35		
<i>Pagurus pubescens</i>		2	3					
<i>Pagurus bernhardus</i>			2					
<i>Anapagurus hyndmanni</i>					2	4		
<i>Pilumnus hirtellus</i>					1	1		
<i>Ebalia tuberosa</i>		1						
<i>Liocarcinus puber</i>						1		
<i>Portunidae sp.</i>					1			
<i>Maja squinado</i>						1		
<i>Macropodia rostrata</i>				1	1			
Echinodermes								
<i>Asterias rubens</i>		2		1		2		
<i>Ophiothrix fragilis</i>					719	1		
<i>Psammechinus miliaris</i>		2		2	11			
Tuniciers								
<i>Ascidia mentula</i>		1		3	20	16		
<i>Ascidiella conchilega</i>					19			
<i>Ascidiella scabra</i>						2		
<i>Styela clava</i>		54	1	10	6	12		
<i>Styela coriacea</i>		124	87	37	63	181		
<i>Dendrodoa grossularia</i>		132	179	20	77	482		
<i>Molgula manhattensis</i>		22	14	35	17	48		
<i>Botrylloides leachi</i>		2						

7. Le Benthos intertidal

Rédaction

Nicolas LOQUET (Gemel Picardie)



7.1. Introduction

Depuis 1973, la zone intertidale située à Saint Valéry-en-Caux à proximité de la centrale nucléaire de Paluel est l'objet d'un suivi écologique qui porte plus particulièrement sur la dynamique de population de l'isopode *Idotea granulosa* Rathke (Crustacea, Malacostraca, Peracarida, Isopoda, Idoteidae). Cet animal se trouvant sur les côtes normandes dans sa limite méridionale de répartition est en effet considéré comme un bon indicateur d'un éventuel impact thermique.

Depuis 1984, une seconde zone située en amont de la centrale par rapport au sens du courant résiduel et à 1 km au nord-est de Veulettes-sur-Mer est échantillonnée ; situées *a priori* hors de la zone d'impact du panache thermique de la centrale, les études réalisées sur cet emplacement doivent permettre d'appréhender les fluctuations naturelles de la population d'*Idotea granulosa*.

De 1973 à 1987, le nombre annuel de campagnes d'échantillonnage a été réduit de 6 à 3 et depuis 1988, le suivi porte uniquement sur la période estivale, période de reproduction d'*Idotea granulosa*.

7.2. Rappels sur l'écologie et la biologie d'*Idotea granulosa*

La répartition de cette espèce sur les estrans et son comportement ont été étudiés par de nombreux auteurs (Sars, 1899 ; King & Russell, 1909 ; Naylor, 1955 ; Sywala, 1964 ; Horlyck, 1973). *Idotea granulosa* est présente de la Normandie jusqu'à la Mer Blanche (Arctique). Elle se rencontre à tous les niveaux de l'estran et en particulier dans les ceintures à fucacées, mais sa présence est maximale dans le peuplement à *Fucus vesiculosus*. Les périodes de reproduction sont au nombre de deux : une période estivale (juin à août) qui est le fait des individus adultes nés au cours de l'année précédente et une période automnale (septembre à octobre) qui concerne les individus adultes nés au cours de l'été ainsi que les précédents.

Grâce à l'élevage d'*Idotea granulosa*, le cycle biologique de cette espèce est connu avec précision (Dewarumez, 1979). Les mâles et les femelles ont une durée de vie respectivement de 18 et 15 mois. La mue affecte les adultes selon une périodicité de 26 à 28 jours tandis que chez les juvéniles la durée d'intermue varie de 5 à 20 jours. La gestation des femelles dure 13 à 15 jours et comporte 4 stades :



- Stade I: embryons sphériques dans le marsupium ; durée : 6-7 jours,
- Stade II : embryons allongés, enveloppes intactes ; durée : 3-4 jours,
- Stade III: embryons segmentés, enveloppes rompues ; durée : 2 jours,
- Stade IV: yeux des embryons bien différenciés ; durée : 2 jours.

La libération des juvéniles hors du marsupium est suivie d'une phase de repos, de 2 semaines environ, durant laquelle la femelle n'est pas fécondable. La gestation n'interrompt pas le cycle des mues et la femelle est de nouveau fécondable après la mue suivante.

7.3. Méthodologie

7.3.1. Prélèvements

En 2003, les prélèvements ont été réalisés le 17 juin, le 16 juillet et le 11 août. Les prélèvements sont réalisés au niveau de la ceinture algale à *Fucus vesiculosus* Linné où l'on trouve préférentiellement l'espèce *I. granulosa*. La surface échantillonnée est de 0,25 m², délimitée à l'aide d'un quadrat souple de 0,5 m de côté formé de quatre équerres métalliques reliées par des cordes de Nylon. Une inspection minutieuse de la surface mise à nu permet de prélever manuellement les invertébrés à la surface du substrat. Il ne s'agit pas d'un décapage et les espèces encroûtantes (spongiaires, ascidies, balanes, *Pomatoceros triqueter* (annélide tubicole), ...) ou liées aux espèces encroûtantes (nématodes, némerter...) ne sont pas échantillonnées.

Au niveau du point témoin de Veulettes-sur-Mer comme au niveau du point de St Valéry-en-Caux, 16 prélèvements de 0,25 m² ont été réalisés par campagne dans la ceinture à *Fucus vesiculosus*, suffisamment développée en 2003. Nous avons réalisé sur chaque site 4 prélèvements au niveau supérieur de la ceinture, 8 prélèvements dans la partie médiane et 4 prélèvements au niveau inférieur, en limite de la ceinture à *Fucus serratus*.

7.3.2. Macrofaune benthique

Au laboratoire, la macrofaune est séparée des algues par brassage et flottaison, puis récupérée sur un tamis de 0,5 mm de maille carrée pour être finalement fixée au formol à 10 %, salé. Chaque échantillon fait l'objet d'un tri et d'un



dénombrement par espèce. Par point et par campagne, les quatre échantillons les plus abondants en *I. granulosa*, totalisant une surface de 1 m², sont réservés pour l'étude de la population de cet isopode.

7.3.3. Poids des algues

Pour chaque quadrat de 0,25 m² les échantillons de *Fucus vesiculosus* sont pesés après dessiccation à l'étuve pendant 48 heures à 56 °C. La biomasse algale est alors exprimée en gramme de poids sec étuvé (PSE) par unité de surface.

7.3.4. Mesure de la longueur des *Idotea granulosa*

Les individus sont mesurés à 0,1 mm près, au micromètre oculaire à l'aide d'une loupe binoculaire. La longueur de l'idotée est prise de la base des antennes à l'extrémité du telson.

Les individus mesurés sont classés en 9 catégories suivant leur sexe et leur degré de différenciation sexuelle.

Mâles

Les mâles sont caractérisés par la présence sur la face sternale du premier segment abdominal d'un pénis bifide parfaitement visible chez les individus de grande taille. Chez les individus de petite taille, l'observation est facilitée par la présence d'un *appendix masculina* situé à la face interne du deuxième pléopode (le sujet juvénile pouvant être mal conservé, lorsque l'*appendix masculina* est *a priori* absent il convient de vérifier systématiquement l'absence d'un pénis avant de le ranger parmi les femelles). On classe les mâles selon leur degré de maturation sexuelle en deux stades :

Stade I : juvéniles

Stade II : adultes (deuxième péréopode couvert d'un duvet abondant).

Femelles

Chez la femelle adulte, le marsupium est formé par la différenciation en oostégites de la base des 5 premières paires de pléopodes qui se recouvrent pour former une enveloppe en position sternale. Les femelles sont alors classées en 7 catégories :

- juvéniles (sans oostégites) ;
- avec oostégites en cours de différenciation ;
- gravides de stade I ;
- gravides de stade II ;
- gravides de stade III ;
- gravides de stade IV ;
- dont le marsupium est vide.

7.4. Résultats

7.4.1. Biomasse algale et densité d'*Idotea granulosa*

En juin et particulièrement à St Valéry-en-Caux, les fucus présentent encore assez fréquemment des morphotypes arborescents avec peu de vésicules ; nous avons noté également la présence de l'algue verte *Ulva lactuca* ('ulve' ou 'laitue de mer') en faible quantité.

En juillet, nous avons observé la présence de nombreuses jeunes frondes de *Fucus vesiculosus* et un élargissement des thalles anciens avec de nombreuses vésicules ; nous avons également noté la présence d'un léger dépôt vaseux. En août, les fucus présentaient des thalles bien larges ; nous avons noté également la présence d'ulves fixées assez abondantes dans l'étage supérieur.

Le tableau 7.1 présente les biomasses de *Fucus vesiculosus* et les densités d'*Idotea granulosa* pour chacun des échantillons de 0,25 m² récoltés en 2003 au niveau des points de St Valéry-en-Caux et de Veulettes-sur-Mer.

7.4.2. Biomasse de *Fucus vesiculosus*

Concernant la biomasse algale (indice du recouvrement) la variabilité sur un site dans les 16 échantillons est supérieure à 20 %, ce qui nécessite de tester les différences entre les moyennes calculées. Tout d'abord, une comparaison inter-site montre que, sur le site de Veulettes, la ceinture à *Fucus vesiculosus* est plus abondamment fournie qu'à St Valéry-en-Caux lors de chaque campagne (Tableau 7.2).

Prélèvements	17 juin 2003						16 juillet 2003						11 août 2003					
	St Valéry			Veulettes			St Valéry			Veulettes			St Valéry			Veulettes		
	Poids sec algues (g)	Nb. /g.		Poids sec algues (g)	Nb. /g.		Poids sec algues (g)	Nb. /g.		Poids sec algues (g)	Nb. /g.		Poids sec algues (g)	Nb. /g.		Poids sec algues (g)	Nb. /g.	
1	85,8	4	308,5	47	160,8	14	296,7*	32	107,6	3	112,4	8						
2	94,3	17	144,1	16	121,1	7	158,7	17	85,6	12	177,1	26						
3	108,3	27	191,6	53	105,4	10	137,3	23	103,2	12	174,9	17						
4	117,8	20	154,8	39	65,0	8	216,0	32	205,8	8	154,4	29						
5	173,8	15	297,2	28	118,7	36	169,5	28	89,2	14	191,2	21						
6	93,4	18	176,4	4	112,0	10	171,7	18	129,2	4	178,9	13						
7	113,3	19	178,3	11	186,8	20	230,0	29	128,2	12	268,5	37						
8	86,7	24	99,4	24	171,2	18	140,0	33	166,3	15	219,1	16						
9	168,0	29	218,8	13	140,0	6	243,4	40	106,7	16	163,6	32						
10	70,8	12	219,4	29	161,0	11	193,7	35	185,9	20	175,3	34						
11	151,5	27	105,3	25	120,3	22	169,2	43	127,7	13	158,0	16						
12	138,8	34	147,9	20	161,0	16	134,7	32	136,6	11	218,1	42						
13	129,7	37	174,2	51	134,3	31	191,2	17	98,4	10	226,2	12						
14	91,3	24	145,7	28	137,3	66	288,3	23	113,8	5	258,3	28						
15	50,7	12	258,3	12	191,0	28	151,0	35	177,6	14	217,9	19						
16	82,5	10	194,2	24	217,2	19	152,4	25	216,9	45	131,6	7						
Moyenne/m²	439,2	82,3	753,5	106,0	575,8	80,5	732,6**	115,5	544,7	53,5	756,4	89,3						
Ecart-Type/m ²	139,6	36,0	242,0	58,4	151,9	60,3	177,4**	31,5	166,9	38,3	171,9	42,3						

Tableau 7.1 : Valeurs des biomasses algales (poides ec en grammes ; uniquement *Fucus vesiculosus* sauf * *F. serratus*) et nombre d'*Idotea granulosa* dans les prélèvements de 0,25 m² de St Valéry en Caux et Veulettes sur mer lors des 3 campagnes estivales de suivi en 2003.

(** : moyenne et écart type calculé uniquement pour *F. vesiculosus*)

Tableau 7.2 :
Comparaison inter-
sites par campagne et
inter-campagnes par
site des valeurs de
biomasses moyennes
de *Fucus vesiculosus*

Cas testé		ddl	t _{obs}	t _{th}	Résultat du test
Inter-sites par campagne	Juin 2003 : St Valéry / Veulettes	24*	4,50	1,71	Veulettes > St Valéry
	Juillet 2003 : St Valéry / Veulettes	29	2,65	1,70	Veulettes > St Valéry
	Août 2003 : St Valéry / Veulettes	30	3,53	1,70	Veulettes > St Valéry
Inter-campagnes par site	St Valéry : juin / juillet	30	2,65	1,70	juin < juillet
	St Valéry : juillet / août	30	0,55	1,70	juillet = août
	St Valéry : juin / août	30	1,93	1,70	août > juin
	Veulettes : juin / juillet	29	0,27	1,70	juin = juillet
	Veulettes : juillet / août	29	0,38	1,70	juillet = août
	Veulettes : juin / août	30	0,04	1,70	juin = août

(ddl = degré de liberté ; t_{obs} = valeur calculée du t de Student ; t_{th} valeur critique du t de Student ; * indique un test sur les moyennes entre échantillons de variances inégales ; niveau de confiance à 95%).

Un examen par site de l'évolution de la valeur moyenne montre que sur le site de St Valéry, la biomasse augmente de façon significative entre juin et juillet avec un maximum en juillet et en août. Sur le site de Veulettes, en revanche, il n'y a aucune différence significative de recouvrement en *F. vesiculosus* entre les campagnes.

7.4.3. Densité d'*Idotea granulosa*

Considérant le nombre total d'individus on montre, compte tenu de la variabilité des résultats, que les densités d'*Idotea granulosa* sont supérieures à Veulettes par rapport à St Valéry en juillet et en août (Tableau 7.3).

Sur le site de St Valéry, on observe globalement une décroissance entre juin et août ; sur le site de Veulettes on observe un maximum en juillet.

Tableau 7.3 :
Comparaison inter-
sites par campagne et
inter-campagnes par
site des valeurs de
densités moyennes
d'*Idotea granulosa*

Cas testé		ddl	t _{obs}	t _{th}	Résultat du test
Inter-sites par campagne	Juin 2003 : St Valéry / Veulettes	25*	1,39	1,71	Veulettes = St Valéry
	Juillet 2003 : St Valéry / Veulettes	23*	2,05	1,71	Veulettes > St Valéry
	Août 2003 : St Valéry / Veulettes	30	2,50	1,70	Veulettes > St Valéry
Inter-campagnes par site	St Valéry : juin / juillet	24*	0,10	1,71	juin = juillet
	St Valéry : juillet / août	25*	1,51	1,71	juillet = août
	St Valéry : juin / août	30	2,19	1,70	juin > août
	Veulettes : juin / juillet	23*	0,57	1,71	juin = juillet
	Veulettes : juillet / août	30	1,99	1,70	juillet > août
	Veulettes : juin / août	30	0,93	1,70	juin = août

(ddl = degré de liberté ; t_{obs} = valeur calculée du t de Student ; t_{th} valeur critique du t de Student ; * indique un test sur les moyennes entre échantillons de variances inégales ; niveau de confiance à 95%).



7.4.4. Rapport entre densité d'*Idotea granulosa* et biomasse algale

Les variables ne sont pas indépendantes puisque les fucus constituent l'abri de l'idotée. L'examen des corrélations permet d'évaluer quantitativement ce lien.

Les données de 2003 ne permettent pas de montrer un lien significatif (au niveau de confiance de 95 %) de dépendance de la densité d'idotées à la biomasse de fucus, sauf sur le site de St Valéry en juin ($r^2=0,3005$; $ddl^1=15$) et en août ($r^2=0,3006$; $ddl=15$). Dans ces cas, la variance de la densité d'idotées expliquée par la régression est donc voisine de 30 %. À St Valéry, en juillet, tandis que la biomasse des fucus passe par un maximum, le nombre d'idotées continue de décroître et le lien n'est plus significatif.

Le recouvrement par les *Fucus vesiculosus* étant systématiquement plus élevé à Veulettes, il en ressort qu'au delà du niveau de recouvrement observé en juillet 2003 à St Valéry ($575 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ PSE) les variations de densité des idotées deviennent probablement indépendantes des variations de biomasse de fucus.

7.4.5. Structure de la population d'*Idotea granulosa* au cours de l'été 2003

Parmi les 16 échantillons récoltés sur chaque site à chacune des trois campagnes nous avons sélectionné les 4 échantillons les plus abondants en *Idotea granulosa* pour analyser la répartition des sexes et la structure de taille de la population (Figures 7.1 à 7.4 et Tableau 7.4).

Tableau 7.4 :
Répartition par sexe et degré de maturation sexuelle de la population d'*Idotea granulosa* à St Valéry en Caux et Veulettes sur Mer entre juin et août 2003

	17 juin 2003		16 juillet 2003		11 août 2003	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
%Juvéniles	67,52	79,89	73,24	53,57	58,62	64,52
%Mâles juvéniles	19,66	27,37	21,83	17,14	21,84	25,81
%Femelles juvéniles	47,86	52,51	51,41	36,43	36,78	38,71
%Femelles gravides	11,97	11,17	10,56	12,86	12,64	7,26
%Femelles vides	0,85	0,56	2,11	1,43	0,00	3,23
%Mâles adultes	19,66	8,38	14,08	32,14	28,74	25,00
Sex-ratio	0,65	0,56	0,56	0,97	1,02	1,03

(Pourcentages de l'effectif des 4 échantillons de $0,25 \text{ m}^2$ les plus abondants).

A St Valéry-en-Caux, la structure de population est globalement stable au cours de l'été ce qui implique des recrutements successifs pendant cette période. En août la diminution de l'abondance d'*Idotea granulosa* constatée

¹ ddl = 'degrés de liberté'



précédemment semble davantage liée à une diminution de l'effectif des femelles. Le sex-ratio augmente donc de juin à août (0,65 à 1,02).

A Veulettes-sur-Mer, si des recrutements successifs conduisent à une certaine constance de la structure de population, le recrutement de juin 2003 apparaît plus important chez les mâles comme chez les femelles. Les individus mâles et femelles issus de ce recrutement semblent passer d'une taille modale voisine de 4 mm en juin à 7 mm en juillet. Le sex-ratio augmente entre juin et juillet (0,56 à 1,03) surtout du fait de la contribution des mâles adultes.

Il convient de préciser que l'observation du sexe chez les juvéniles est d'autant plus délicate que l'échantillon a été mal conservé ou très manipulé et les femelles ont ainsi tendance à être surévaluées.

Concernant les adultes il n'y a aucune ambiguïté ; à St Valéry comme à Veulettes, même si les femelles sont les plus abondantes dans le recrutement, elles ont apparemment un taux de survie plus faible que les mâles. Est-ce une donnée naturelle ou une conséquence de la canicule de l'été 2003 ?

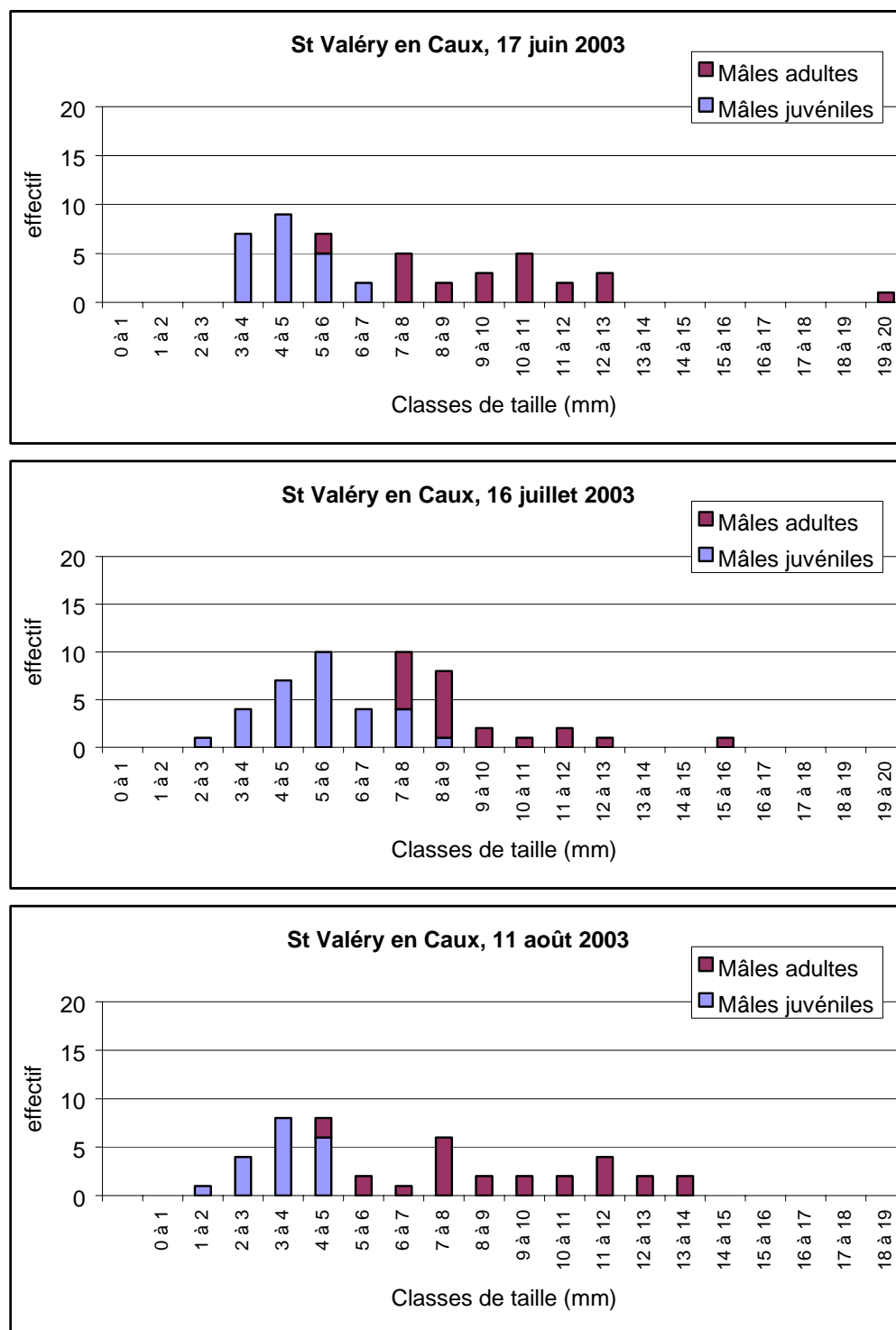


Figure 7.1 :
Histogrammes des
tailles chez les mâles
d'*Idotea granulosa* à
Saint Valéry en Caux
au cours de l'été 2003

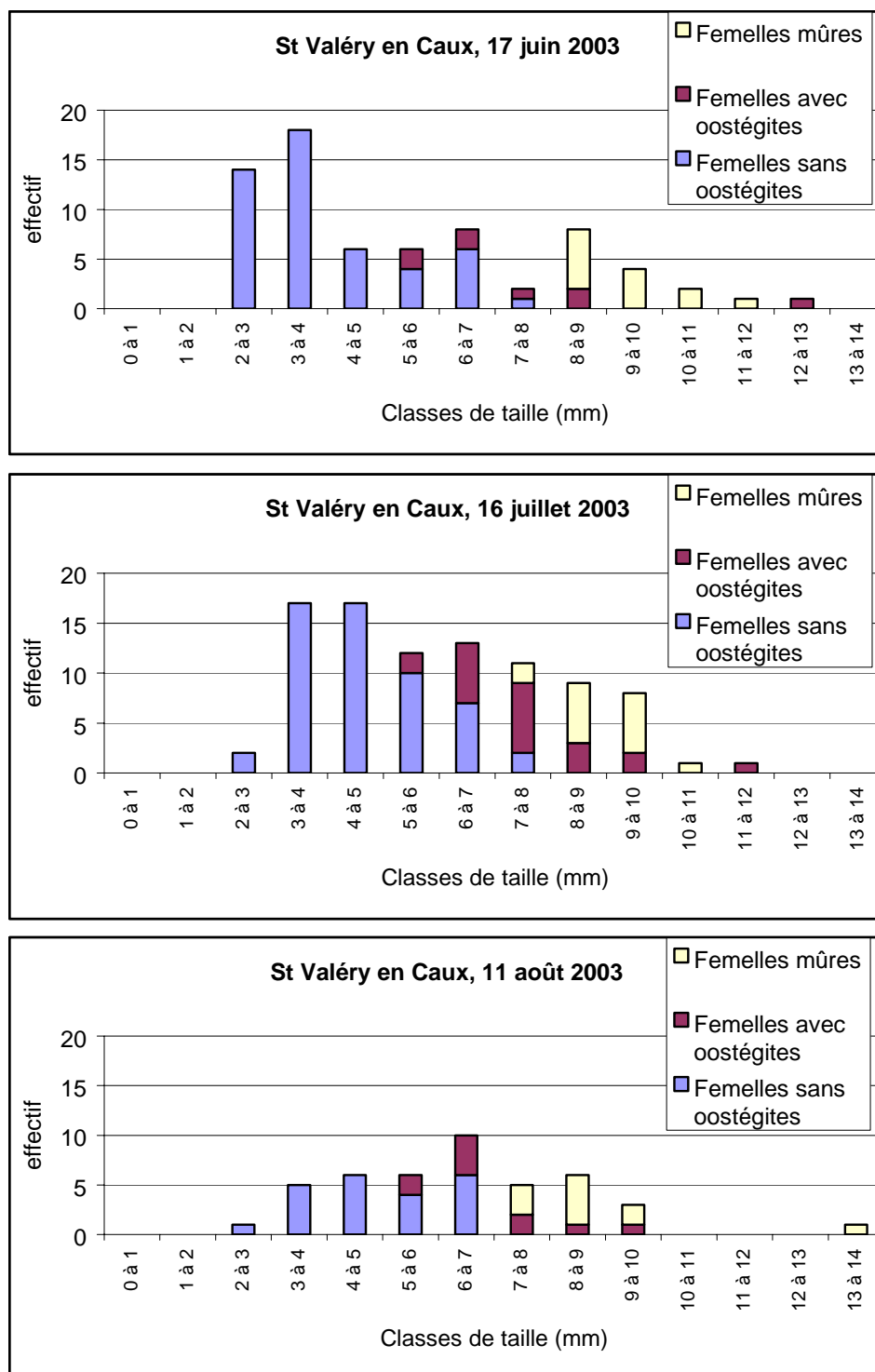


Figure 7.2 :
Histogrammes des
tailles chez les femelles
d'*Idotea granulosa* à
St Valéry-en-Caux au
cours de l'été 2003

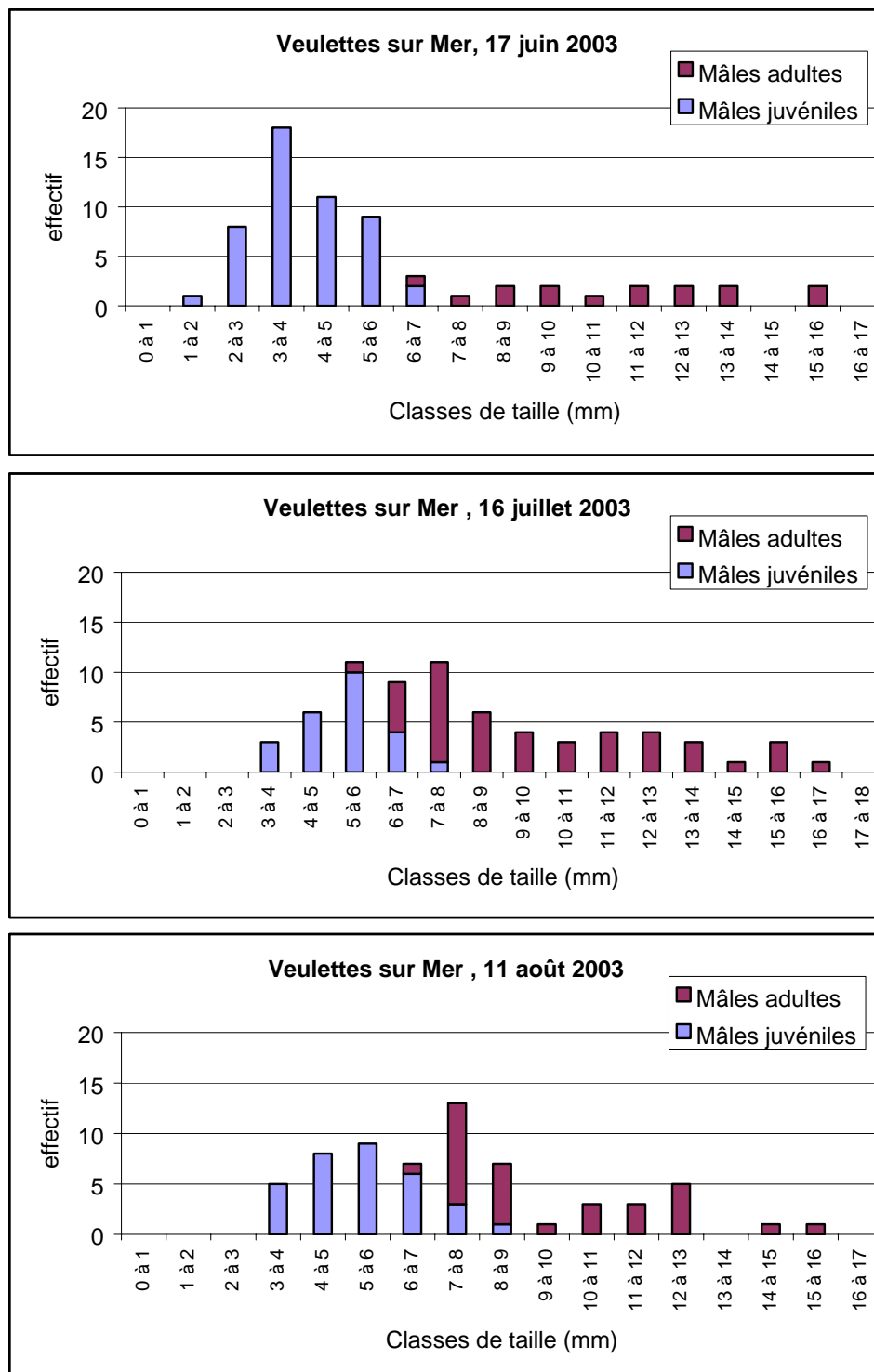


Figure 7.3 :
Histogrammes des
tailles chez les mâles
d'*Idotea granulosa* à
Veulettes-sur-Mer au
cours de l'été 2003

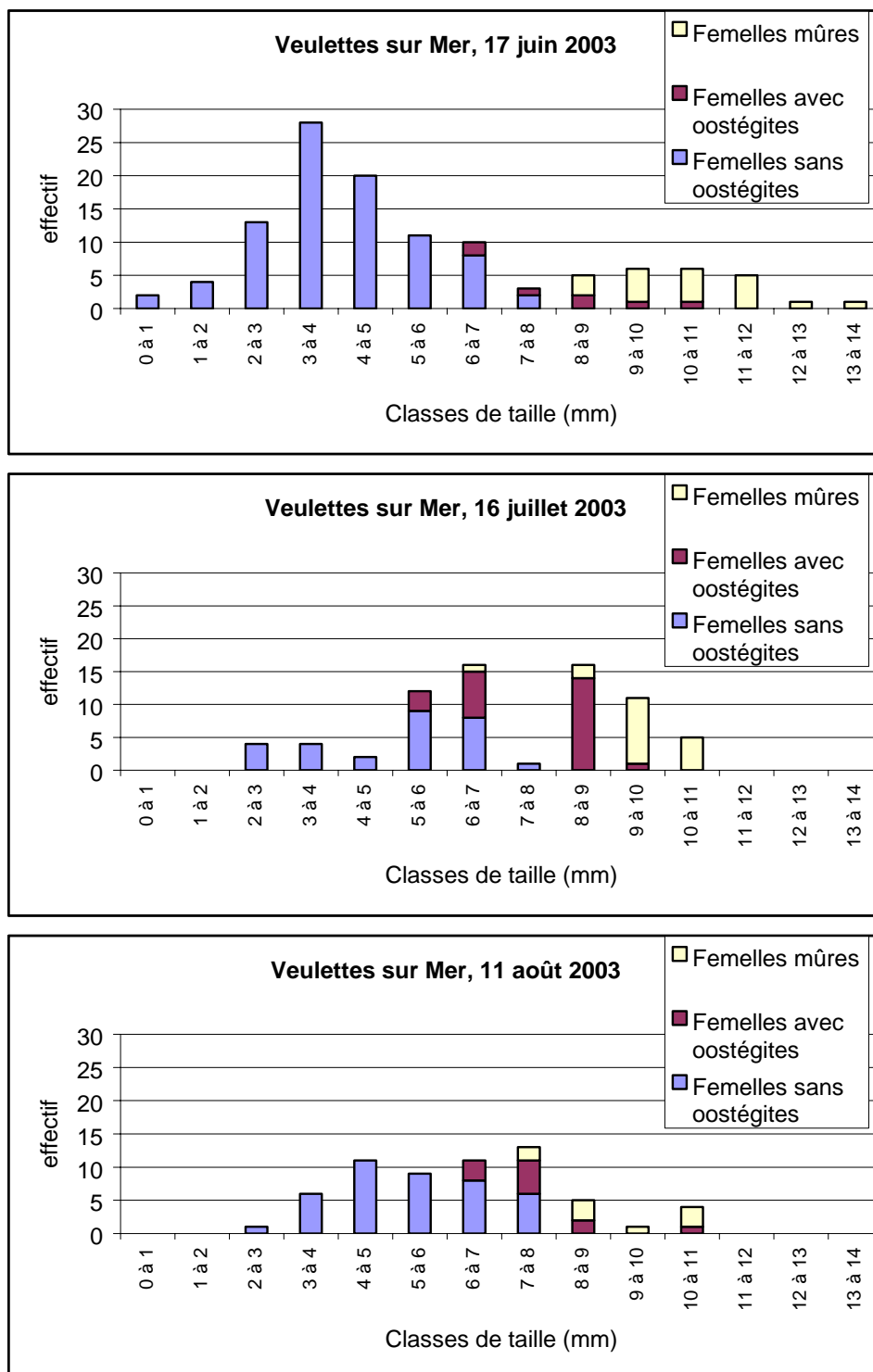


Figure 7.4 :
Histogrammes des
tailles chez les femelles
d'*Idotea granulosa* à
Veulettes-sur-Mer au
cours de l'été 2003

7.4.6. Macrofaune benthique

Les observations sont résumées dans le tableau 7.5.

Entre 17 et 31 espèces différentes sont observées suivant le site et la date d'échantillonnage et au total 51 taxons ont été identifiés. Parmi ceux-ci 18 n'ont fait l'objet que d'une seule observation (sur 6) ; au contraire, les dix espèces suivantes sont systématiquement observées : l'isopode *Idotea granulosa*, l'amphipode *Hyale nilssoni*, le crustacé décapode *Carcinus maenas*, le mollusque polyplacophore *Acanthochitona crinitus* et les gastéropodes *Gibbula umbilicalis*, *Littorina littorea*, *Littorina mariae*, *Littorina obtusata*, *Nucella lapillus*, *Patella vulgata*.

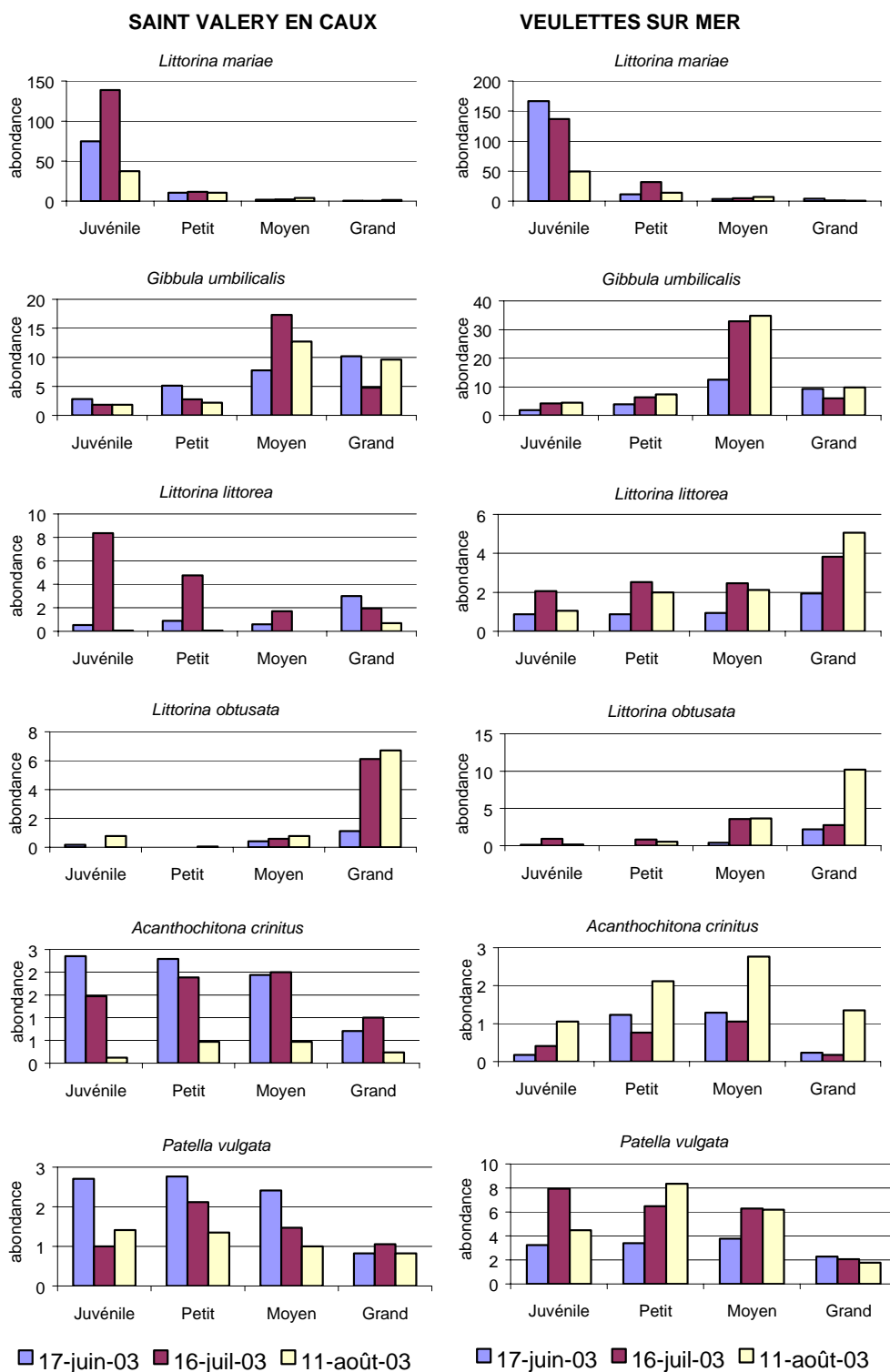
Pour certaines d'entre-elles nous disposons de précisions (semi-quantitatives) quant à la structure de la population avec une distinction basée sur le critère de taille : juvénile, petit, moyen, grand (Figure 7.5).

Il n'existe pas de différence fondamentale dans la structure des peuplements d'invertébrés marins de St Valéry et de Veulettes si ce n'est une plus grande abondance de *Gibbula umbilicalis*, *Littorina obtusata* et *Patella vulgata* en relation avec la couverture algale plus fournie à Veulettes. Par ailleurs, au cours de l'été les populations de *Patella vulgata* (excepté les gros individus), d'*Acanthochitona crinitus* et de *Littorina littorea* tendent à s'accroître au niveau de Veulettes et à diminuer au niveau de St Valéry, ce qui peut également s'expliquer par la couverture algale plus importante eu égard aux fortes températures de l'été.

Littorina mariae dont on ne trouve pas d'indication dans les rapports précédents est abondamment présente, essentiellement au stade juvénile, dans les frondes de fucus au mois de juin et tend à disparaître au cours de l'été sur les deux sites. À St Valéry comme à Veulettes, *Gibbula umbilicalis* voit sa population s'accroître au cours de l'été.

Groupes faunistiques	Espèces	17-juin-03				16-juil-03				11-août-03			
		St Valéry		Veulettes		St Valéry		Veulettes		St Valéry		Veulettes	
		moy.	s.d.	moy.	s.d.	moy.	s.d.	moy.	s.d.	moy.	s.d.	moy.	s.d.
Anthozoaires	<i>Actinia equina</i>	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,6	0,1	0,3	0,1	0,3	-	-
	<i>Polydora sp</i>	5,2	4,2	2,0	2,9	0,9	2,1	-	-	0,1	0,3	-	-
Polychètes	<i>Eulalia viridis</i>	0,1	0,3	0,1	0,3	-	-	-	-	0,1	0,3	-	-
	<i>Fabricia sabella</i>	6,8	10,9	0,6	0,9	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-
	<i>Harmothoe sp</i>	-	-	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Kefersteinia cirrata</i>	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Nereis diversicolor</i>	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,3
	<i>Odontosyllis ctenostoma</i>	0,3	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Odontosyllis gibba</i>	0,1	0,3	-	-	0,3	0,6	-	-	-	-	0,1	0,3
	Phyllodocidae	0,4	0,7	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	Syllidae	0,1	0,3	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Syllis gracillis</i>	-	-	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Syllis hyalina</i>	0,4	0,6	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oligochètes	nd	0,1	0,3	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	
Sipunculien	nd	0,2	0,4	0,2	0,4	-	-	-	-	0,1	0,3	-	-
Leptostracés	<i>Nebalia bipes</i>	-	-	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Cumacés	<i>Bodotria scorpioïdes</i>	-	-	0,3	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Tanaidacés	<i>Apseudes latreilli</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,3	-	-
Isopodes	<i>Idotea granulosa</i>	20,6	9,0	26,5	14,6	20,1	15,1	28,9	7,9	13,4	9,6	22,3	10,6
	<i>Jaera sp</i>	15,9	11,1	0,4	0,8	0,7	1,4	-	-	0,1	0,5	0,2	0,8
	<i>Sphaeroma rugicauda</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,3	-	-
Amphipodes	<i>Abludomelita obtusata</i>	0,1	0,3	-	-	-	-	0,3	0,6	0,1	0,3	-	-
	<i>Allomelita pellucida</i>	0,3	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Amphilocus neapolitanus</i>	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Apherusa jurinei</i>	-	-	6,0	5,1	-	-	3,3	5,4	0,1	0,3	3,1	3,7
	<i>Corophium sextonae</i>	-	-	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2	0,8	-	-	-	-
	<i>Guernea coalita</i>	-	-	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Décapodes	<i>Hyale nilssoni</i>	0,2	0,4	9,3	5,8	0,3	0,8	36,5	29,2	0,4	1,8	13,6	7,4
	<i>Carcinus maenas</i>	3,5	3,1	1,2	1,0	1,2	1,2	0,6	1,0	1,4	1,4	1,3	1,2
	<i>Pagurus bernhardus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,3	-	-
Pycnogonides	<i>Anoplodactylus</i>	0,3	0,4	-	-	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-
	<i>Nymphon gracile</i>	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polyplacophores	<i>Acanthochitona crinitus</i>	6,6	5,0	3,1	4,5	5,7	4,5	2,4	3,2	1,4	1,8	6,6	5,4
	<i>Lepidopleurus cinereus</i>	0,1	0,3	0,4	0,8	-	-	0,1	0,3	-	-	0,2	0,4
Gastéropodes	<i>Crepidula fornicata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,8	0,1	0,3
	<i>Gibbula cineraria</i>	-	-	-	-	-	-	0,1	0,3	-	-	-	-
	<i>Gibbula umbilicalis</i>	23,7	9,9	27,1	11,7	26,9	13,5	45,6	22,2	24,9	10,8	52,3	14,9
	<i>Littorina littorea</i>	4,9	4,0	4,4	7,3	8,3	18,5	9,4	8,5	0,8	0,8	10,8	11,0
	<i>Littorina mariae</i>	80,4	43,9	184,9	66,1	162,6	96,3	150,3	69,2	55,6	33,9	72,1	33,2
	<i>Littorina obtusata</i>	1,5	1,7	2,7	2,7	7,1	6,8	7,3	6,1	7,5	5,8	15,1	8,8
	<i>Nucella lapillus</i>	0,1	0,5	0,1	0,3	1,1	4,0	0,6	1,8	0,1	0,3	0,9	1,5
<i>Patella vulgata</i>	7,7	5,5	12,4	5,9	5,8	4,4	17,9	13,1	4,6	3,2	21,1	14,3	
Bivalves	<i>Lutraria angustior</i>	-	-	-	-	-	-	0,1	0,3	-	-	-	-
	<i>Modiolula phaseolina</i>	-	-	0,1	0,5	0,1	0,5	-	-	0,1	0,3	-	-
	<i>Musculus discor</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,4
	<i>Rissoa parva</i>	-	-	-	-	0,2	0,4	-	-	-	-	0,4	0,9
Echinodermes	<i>Amphipholis squamata</i>	0,4	0,8	0,3	0,4	0,6	2,5	-	-	0,4	1,5	-	-
Ascidies	Ascidie	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,3	-	-
Poissons	Lipophrys pholis	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,3	-	-
Nombre d'espèces		31		30		20		17		25		18	
(moy. = moyenne des 16 échantillons ; s.d. = écart type des 16 échantillons ; n.d. = non identifié).													

Tableau 7.5 :
abondances
(ind.·0,25 m⁻²) des
espèces de la
macrofaune sur les
sites de St Valéry et de
Veulettes au cours de
l'été 2003



7.5. Évolution à long terme du benthos intertidal de Saint Valéry-en-Caux et de Veulettes-sur-mer.

7.5.1. Problèmes soulevés lors de l'analyse

Comme il a été rappelé en introduction, le suivi entrepris en 1973 portait d'abord uniquement sur les estrans de St Valéry-en-Caux. L'échantillonnage était bimestriel ce qui permettait d'envisager de pouvoir extraire les composantes saisonnières des différents signaux et nécessitait une fréquence d'échantillonnage au moins trimestrielle. En 1984 un point témoin située à Veulettes-sur-Mer était ajouté et une réduction de la fréquence d'échantillonnage est adoptée en 1988.

Depuis 1988, les deux points sont suivis uniquement pendant la période estivale au cours de laquelle sont réalisées trois campagnes d'échantillonnage de façon non standard ; la période échantillonnée s'étend de juin à octobre et aucun mois n'a été échantillonné de façon systématique depuis 1988.

Le problème suivant soulevé lors de l'analyse porte sur les objectifs mêmes du suivi. L'idée initiale était de mesurer l'impact du rejet thermique de la centrale sur la population d'une espèce thermosensible, *Idotea granulosa*. Or, cette espèce est également et même principalement sensible à l'étendue et à la densité de la ceinture algale à *Fucus vesiculosus* qui constitue son habitat principal. Le suivi a montré que ces paramètres étaient très fluctuants, particulièrement à St Valéry-en-Caux où la ceinture algale à *Fucus* est passée par des périodes de disparition complète (de 1988 à 1993) puis de restauration (depuis 1994) ; ces fluctuations génèrent donc un bruit très important dans le signal "densité d'idotées" et probablement supérieur au signal lui-même.

On a ainsi observé depuis 1988 des fluctuations importantes de la population d'*Idotea granulosa* en relation avec les fluctuations de la population de *Fucus vesiculosus* sans que l'on puisse incriminer un quelconque impact thermique (anthropique – panache de la centrale – ou climatique). Il est donc nécessaire de filtrer autant que possible le lien de dépendance entre la biomasse algale et la densité d'*Idotea granulosa* si l'on veut analyser l'évolution de la seule population d'idotées.

Un autre problème est le déficit en matériel échantillonnable (*Fucus vesiculosus*) en 1988 qui a contraint les opérateurs à échantillonner temporairement dans les ceintures à *Fucus serratus* ; or les différentes données de densités d'*Idotea granulosa* provenant des deux types de ceintures algales ne sont sans doute pas comparables et ne peuvent pas faire l'objet d'un traitement global.

L'absence de prélèvements dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* à St Valéry de 1988 à 1993 est la conséquence du manque de matériel biologique (étendue et densité de la ceinture nulles) ; en 1991 et 1993 il n'était même pas possible d'échantillonner correctement la ceinture à *F. serratus*. En revanche, bien que montrant des fluctuations importantes en terme de recouvrement, les ceintures à fucus de Veulettes ont toujours été suffisamment fournies pour permettre l'échantillonnage (sauf en 1990 pour *F. vesiculosus*).

On notera qu'en cas d'absence de matériel (pas d'échantillonnage) une valeur nulle a été également attribuée par défaut à la densité d'idotées. Comme le 'zéro idotée' peut être également rencontré lorsque la biomasse algale n'est pas nulle, nous avons pris le parti de ne pas considérer les valeurs nulles de biomasse algales dans le calcul des valeurs moyennes (seul l'importance du recouvrement lorsque l'algue est présente est considérée).

Les tableaux 7.6 et 7.7 illustrent le problème de la discontinuité de l'échantillonnage depuis 1988 qui rend difficile l'analyse des évolutions à long terme.

Tableau 7.6 :
Dates des prélèvements
réalisés sur le site de
St Valéry-en-Caux
depuis 1988

St Valéry	juin	juillet	août	septembre	octobre
1988		04/07	26/08		24/10
1989	05/06	24/07		20/09	
1990	26/06		07/08	18/09	
1991		01/07			
1992		01/07	03/08	10/09	
1993				01/09	
1994		12/07	09/08	07/09	
1995		05/07	01/08	13/09	
1996		04/07 04/07	03/08 03/08	03/09 03/09	
1997		07/07	07/08	01/09	
1998		02/07	03/08	01/09	
1999	29/06	26/07	31/08		
2000		06/07	01/08	01/09	
2001	27/06	24/07	20/08		
2002	26/06	29/07	25/08		
2003	17/06	16/07	11/08		

(Nature des échantillons récoltés : bleue = *Fucus vesiculosus* ; jaune = *Fucus serratus*).

Tableau 7.7 :
Dates des prélèvements
réalisés sur le site de
Veulettes-sur-Mer
depuis 1988

Veulettes	juin		juillet		août		septembre		octobre	
1988			04/07	04/07	26/08	26/08			24/10	24/10
1989	05/06	05/06	24/07	24/07			20/09	20/09		
1990	26/06				07/08	07/08	18/09	18/09		
1991			01/07	01/07	30/08	30/08	23/09	23/09		
1992			01/07	01/07	03/08	03/08	10/09	10/09		
1993			06/07	06/07			01/09	01/09		
			28/07	28/07						
1994			12/07	12/07	09/08	09/08	07/09	07/09		
1995			05/07	05/07	01/08	01/08	13/09	13/09		
1996			04/07	04/07	03/08	03/08	03/09	03/09		
1997			07/07		07/08		01/09			
1998			02/07		03/08		01/09			
1999	29/06		26/07		31/08					
2000			06/07		01/08		01/09			
2001	27/06		24/07		20/08					
2002	26/06		29/07		25/08					
2003	17/06		16/07		11/08					

(Nature des échantillons récoltés : bleue = *Fucus vesiculosus* ; jaune = *Fucus serratus*).

7.5.2. Effet du type ceinture algale

Le site de Veulettes, pour lequel les deux types de ceintures ont fait l'objet d'observations concomittantes de 1988 à 1996, permet d'étudier cet effet. Le rapport 'densité d'*Idotea granulosa*' sur 'biomasse algale' est calculé pour 228 prélèvements de *Fucus vesiculosus* et 188 prélèvements de *Fucus serratus* dont les valeurs figurent dans des rapports antérieurs. Le nombre moyen d'idotées pour 100 g de poids sec étuvé d'algue est de 16,5 pour *F. vesiculosus* et de 10,8 pour *F. serratus* (la différence est significative au seuil de 0,001 ; $t=5,68$; $ddl=414$).

Nous trouvons en moyenne 1,5 fois plus d'*Idotea granulosa* dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* que dans la ceinture à *Fucus serratus*. Ceci ne fait que confirmer que la ceinture à *F. vesiculosus* est bien l'habitat de prédilection d'*Idotea granulosa* mais implique également que l'on ne puisse pas comparer des densités d'idotées échantillonnées dans des ceintures différentes.

7.5.3. Effet du site

Considérons à présent les données portant sur *Fucus serratus* acquises de façon simultanée à St Valéry-en-Caux et à Veulettes-sur-Mer (1988, 1989, 1990, juillet 1991, 1993, septembre 1993, 1996 : 117 observations à St Valéry et 116 à Veulettes). Le rapport moyen de la densité d'*Idotea granulosa* sur la biomasse de *Fucus serratus* n'est pas significativement différent (95 % ;



$t=1,41$; $ddl=192$) entre les deux sites (11,6 et 9,3 *I. granulosa* pour 100 g PSE de *Fucus serratus* respectivement à St Valéry et à Veulettes).

Le même traitement est effectué pour les données relatives à *Fucus vesiculosus* (3 campagnes depuis 1994 ; 311 observations à Veulettes et 300 à St Valéry – pas de données transmises pour 1999 et 2001). Le rapport moyen de la densité d'*Idotea granulosa* sur la biomasse de *Fucus vesiculosus* est significativement différent (95 % ; $t=3,01$; $ddl=604$) entre les deux sites (15,7 et 18,5 *I. granulosa* pour 100 g PSE de *Fucus vesiculosus* respectivement à St Valéry et Veulettes).

Il y aurait donc, en moyenne, une meilleure colonisation (+20 % ind./100 g biomasse) des *Fucus vesiculosus* par *Idotea granulosa* sur le site de Veulettes-sur-Mer que sur le site de St Valéry indépendamment de la quantité de biomasse observée.

7.5.4. Evolution des densités d'*Idotea granulosa*

7.5.4.1. Analyse des corrélations

On ne considère que les idotées échantillonnées dans les *Fucus vesiculosus*. Les corrélations entre abondances d'idotées et biomasses algales doivent être étudiées séparément par site (Figure 7.6).

A St Valéry-en-Caux, le lien entre biomasse algale et densité d'idotées explique 13,5 % de la variance de la densité des idotées (probabilité associée $p < 0,001$). À Veulettes, le lien entre la biomasse algale et la densité d'idotées explique 12,8 % de la variance de la densité des idotées ($p < 0,001$).

Les relations sont donc sensiblement du même ordre de grandeur à St Valéry et à Veulettes. Les densités d'idotées varient donc de la même façon en fonction de l'importance de la couverture algale, mais le site de Veulettes est caractérisé dans la régression par une ordonnée à l'origine plus importante qui explique le pourcentage d'idotées en moyenne plus important à Veulettes.

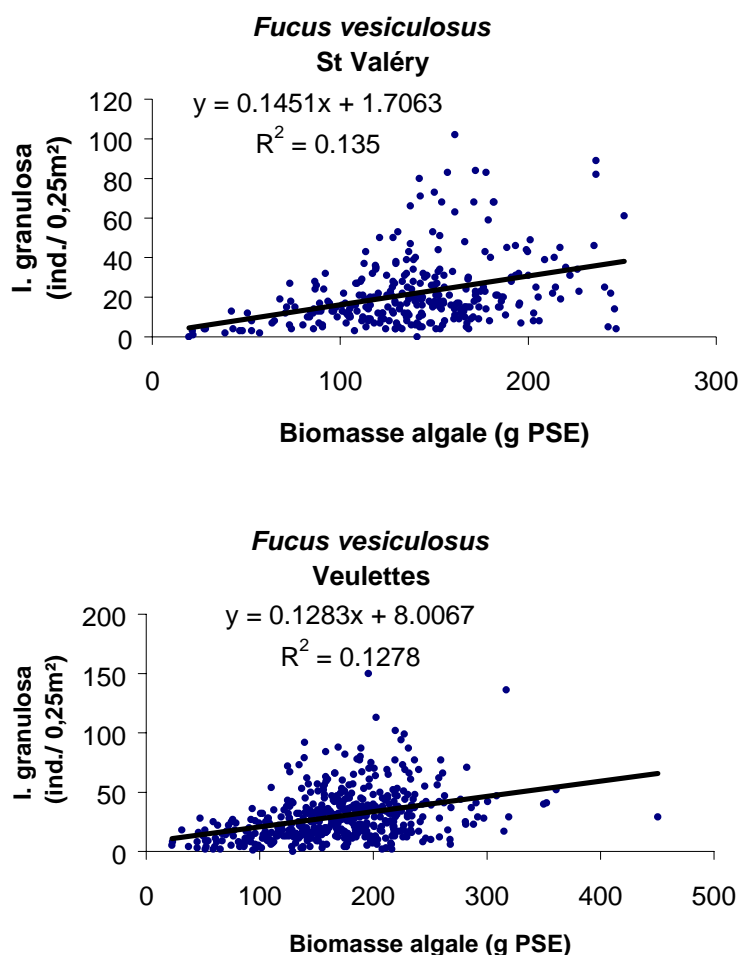


Figure 7.6 :
densité d'*Idotea granulosa* en fonction de la biomasse de *Fucus vesiculosus* pour les sites de St Valéry et de Veulettes

7.5.4.2. Évolution de la biomasse de *Fucus vesiculosus*.

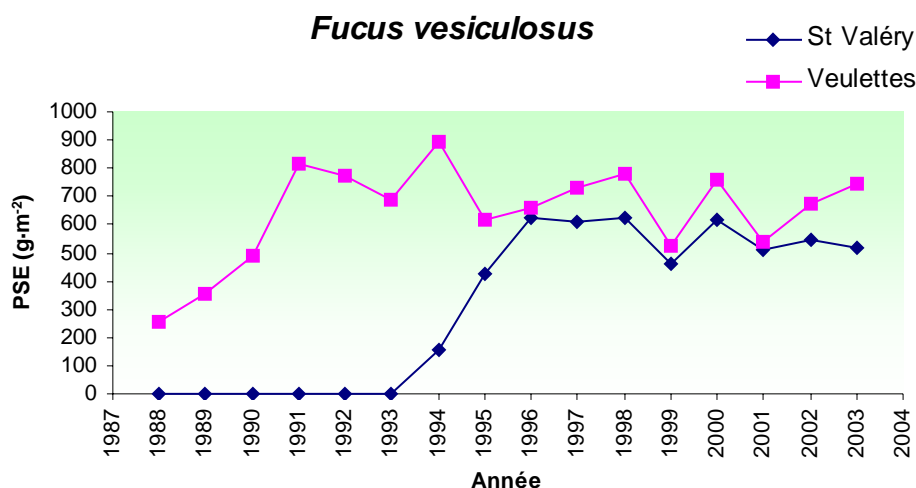
Les séries n'étant pas complètes ni régularisées, nous considérons les données moyennes estivales (moyenne par site des données des trois campagnes) pour envisager l'étude des variations interannuelles.

Cette évolution sur les sites de St Valéry-en-Caux et Veulettes-sur-Mer est illustrée par la figure 7.7. Sur les deux sites il a pu être observé à la fin des années 1980 une forte diminution de la biomasse (et de l'extension) de la ceinture à *Fucus vesiculosus* l'espèce a même complètement disparu à St Valéry entre 1988 et 1993. La restauration de la ceinture à *Fucus vesiculosus* a été plus précoce à Veulette mais pas plus rapide qu'à St Valéry (trois années ont été nécessaires dans les deux cas). Depuis 1991 à Veulettes et 1996 à St Valéry, la biomasse algale est stable ; la diminution apparente n'est pas significative au niveau de confiance de 95 %.

La biomasse est surtout caractérisée par des fluctuations dont la période est approximativement de 2 à 4 ans ; celles-ci, au regard du temps nécessaire pour la restauration de la ceinture, sont très probablement d'origine biologique et relèvent de la dynamique propre de *Fucus vesiculosus*.

La figure 7.7 illustre également une précédente conclusion à savoir que la biomasse à Veulettes est systématiquement supérieure à celle de St Valéry.

Figure 7.7. :
Évolution de 1988 à 2003 de la biomasse moyenne estivale de *Fucus vesiculosus* sur les sites de St Valéry-en-Caux et Veulettes-sur-Mer



7.5.4.3. Évolution des densités d'idotées

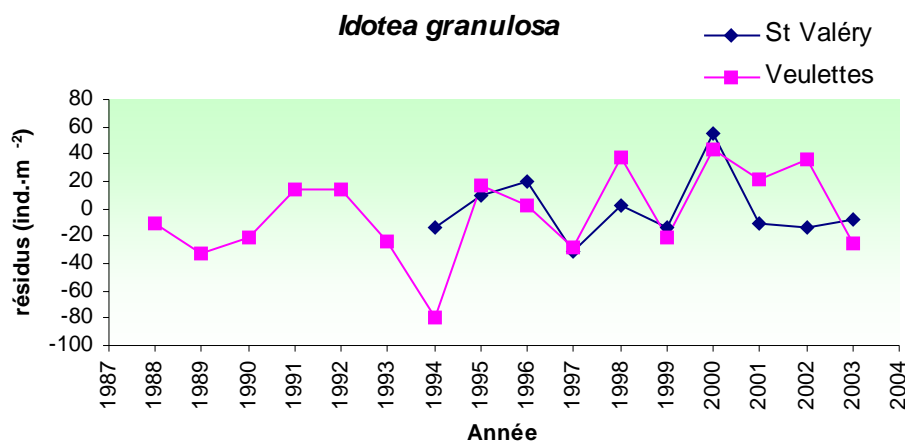
Pour filtrer l'effet de dépendance de la densité d'idotées à la biomasse algale, on travaille sur les résidus de la régression en utilisant les équations des droites de régression de la figure 7.6.

La figure 7.8 montre qu'il n'y a pas de tendance (au niveau de confiance de 95 %) dans les résidus entre 1988 et 2003 à Veulettes, et entre 1994 et 2003 à St Valéry. Les densités fluctuent avec une période voisine de 2 à 4 ans.

Le fait le plus remarquable est que les densités d'*Idotea granulosa* fluctuent de la même façon à St Valéry et à Veulettes et que les valeurs sont pratiquement identiques (sauf peut être en 2002) dans la mesure où nous avons utilisé deux équations différentes : la dynamique de population n'est donc pas différente d'un site à l'autre ; il s'agit très probablement de la même population.

La seule différence est que l'estran de Veulettes est globalement plus "attractif" pour *Idotea granulosa* indépendamment de la couverture en *Fucus vesiculosus*.

Figure 7.8 :
Évolution de 1988 à 2003 des résidus de régression de la biomasse alagale en densité d'*Idotea granulosa* sur les sites de St Valéry-en-Caux et Veulettes-sur-Mer



7.6. Conclusions

Au moyen des traitements utilisés il nous est possible de mettre en évidence un certain nombre de conclusions :

- A l'échelle d'une campagne ou à l'échelle pluriannuelle, le site de Veulettes-sur-Mer présente des biomasses en *Fucus vesiculosus* systématiquement plus élevées que le site de St Valéry-en-Caux ;
- Indépendamment de la biomasse algale présente, le site de Veulettes-sur-Mer présente des densités en *Idotea granulosa* légèrement supérieures (20 %) à celles du site de St Valéry en Caux ;
- Les populations d'*Idotea granulosa* montrent des fluctuations rigoureusement identiques sur les deux sites ;
- Bien que de structure identique, le peuplement de macroinvertébrés marins de Veulettes-sur-Mer est plus riche que celui de St Valéry-en-Caux.

La population d'*Idotea granulosa* de St Valéry ne montre donc pas de perturbation particulière dans sa dynamique de population mais subit évidemment l'évolution de son habitat. De ce point de vue il est exclu de montrer un effet des rejets de chaleur sur le peuplement de *Fucus vesiculosus* de St Valéry-en-Caux puisque le site témoin a également été affecté à la fin des années 1980.

Il apparaît que, naturellement, le site de Veulettes possède des potentialités supérieures à celui de St Valéry en matière de développement des ceintures algales et d'attractivité pour les autres espèces animales qui composent le peuplement.

Des facteurs d'origine abiotiques sont sans doute à rechercher : différence de qualité du substrat (beaucoup plus siliceux à Veulettes), différence de niveau.

7.7. Bibliographie

DEWARUMEZ, J.M., 1979. Le domaine benthique. In Etude écologique du site de Paluel – Suivi 1^{ère} année – *C.N.E.X.O. – I.B.M.R.W.*

HORLYCK, V., 1973. Seasonal and diel variation in the rhythmicity of *Idotea balthica* (Pallas) and *Idotea granulosa* Rathke. *Ophelia* 12 : 117-127.

KING, L.A.L. & RUSSEL, E.S., 1909. A method for the study of animal ecology of the shore. *Proc. R. Phyt. Soc. Edimb.* 17 (6), 225-253.

NAYLOR, E., 1955. The ecological distribution of British species of *Idotea* (Isopoda). *J. Anim. Ecol.* 24 (2) : 255-269.

SARS, G.O., 1899. An account of Crustacea of Norway, II. *Isopoda. Alb. Cammer. Meyers Forlag Cristiana* 270 p, 100 pl.

SYWALA, T., 1964. A study of the taxonomy ecology and geographical distribution of species of genus *Idotea fabricius* (Isopoda – Crustacea) in Polish Baltic. II. Ecological and zoogeographical part. *Bull; Soc. Sci. Lettre. Poznam, Ser. D*, 4, 173-200.

8 . Le Phytobenthos Intertidal

Rapport

Frank Maheux (DEL/PB).

Prélèvements

Frank Maheux (DEL/PB),
Olivier Pierre-Duplessix (DEL/PB).

Participation

Philippe Riou (DEL/PB).



8.1. Généralités

Depuis 1994, le peuplement de *Fucus sp.* du platier situé à l'est et l'ouest de la centrale électronucléaire de Paluel fait l'objet d'un suivi semestriel.

Sur ce site, trois radiales ont été choisies d'est en ouest :

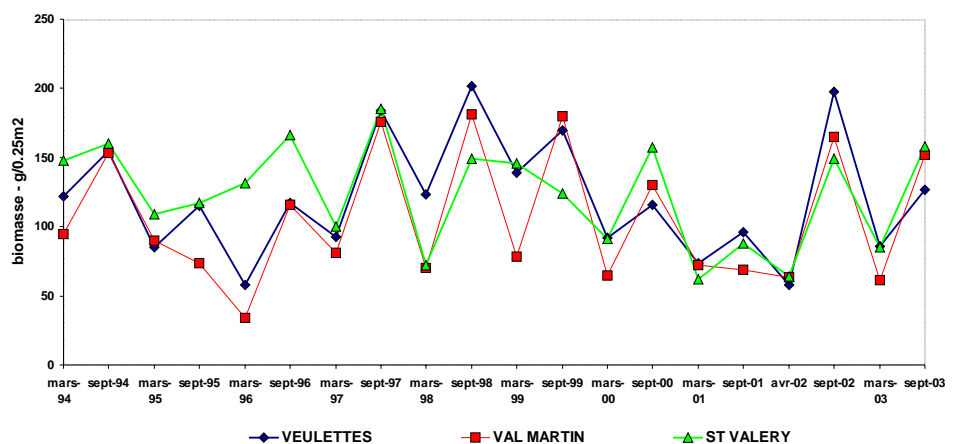
- Val Martin ;
- Veulettes-sur-Mer ;
- St Valéry-en-Caux.

La méthodologie employée au cours de l'année 2003 (comme c'est le cas depuis l'année 1998) ne comporte qu'un seul niveau : une estimation de la biomasse et de la fertilité par échantillonnage aléatoire sur 10 carrés ('quadrats') de 0,25 m².

8.2. Évolution des biomasses de *Fucus serratus* et *F. vesiculosus*

Les biomasses automnales et printanières de *Fucus sp.* entre 1994 et 2003 sont exprimées en grammes de poids sec par 0,25 m², elles sont représentées sur la figure 8.1.

Figure 8.1. :
Évolution du
stock de *Fucus sp.*
depuis 1994.
Printemps et
automne



La situation des différents peuplements de *Fucus sp.* est la suivante :



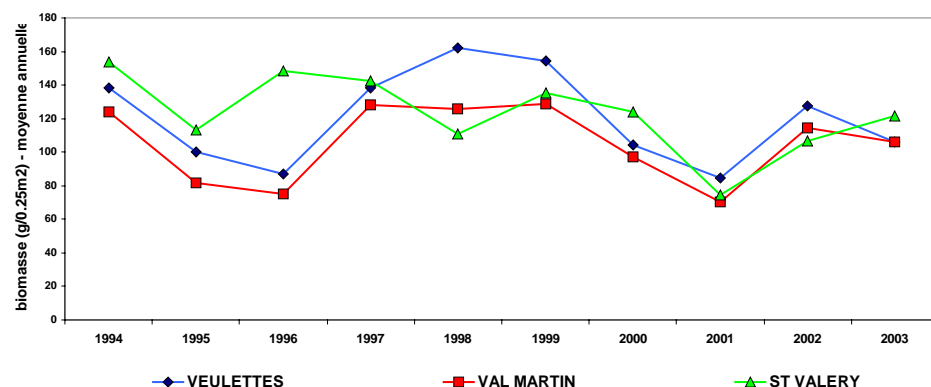
- sur le site de Veulettes, nous observons une forte différence saisonnière : $85,78 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ en mars et $126,77 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ en septembre ;
- sur le site de Val Martin, la différence saisonnière est également très marquée : $61,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ en mars et $151,65 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ en septembre ;
- en ce qui concerne le site de St Valéry-en-Caux, la remarque précédente est valable, avec $85,17 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ en mars et $158,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ en septembre.

Les valeurs des biomasses printanières de Veulettes et St Valery sont très proches (respectivement $85,78 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ et $85,17 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). Cette remarque est valable également pour les situations automnales de St Valery et Val Martin (respectivement $158,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ et $151,65 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$).

8.3. Analyse des tendances des séries temporelles de biomasses de *Fucus sp.*

Au cours des neuf ans de suivi, un cycle saisonnier du stock de fucacées a été mis en évidence tant au niveau de la biomasse que de la fertilité (l'algue est très fertile en automne, faible à peu fertile au printemps). Ces variations saisonnières sont visibles sur la figure 8.2.

Figure 8.2. :
Évolution moyenne de la biomasse annuelle de *Fucus sp.* depuis 1994



Afin de dégager une éventuelle tendance de la biomasse de *Fucus sp.* sur les différents sites, nous avons 'filtré' le cycle saisonnier. Ce filtrage est réalisé en calculant une biomasse moyenne annuelle. Une régression linéaire est ensuite appliquée à ces données moyennées. Les coefficients de détermination (r^2) ainsi que leur niveau de signification sont rassemblés dans le tableau 8.1.



Tableau 8.1 :
coefficient de
détermination et niveau
de significativité
statistique
des analyses de
tendances

	Coefficient de détermination : r²	Niveau de signification
Veulettes	0,0212	Non significatif
St Valery	0,3295	Non significatif
Val Martin	0,0013	Non significatif

Comme lors des années précédentes, l'examen des résultats nous montre qu'il n'existe pas de tendance linéaire sur l'ensemble de valeurs enregistrées depuis 1994.

Les résultats de 2003, après les très faibles valeurs mesurées en 2001, confirment la tendance cyclique de la variation de la biomasse moyenne des *Fucus sp.*

L'observation de la figure 8.2. révèle aisément cette tendance : La période de ce cycle naturel est d'environ 3 ans.

8.4. Taux de fertilité

Le suivi de l'étude de fertilité est basé sur la présence ou l'absence de conceptacles à l'extrémité des thalles de *Fucus sp.* prélevés dans les quadrats de 0,25 m⁻².

Les taux de fertilité relevés en 2003 sur les trois sites d'étude sont les suivants :

- nous observons une fertilité moyenne faible (entre 12 et 30 %) au printemps, mais relativement élevée en automne (entre 85 et 92 %) ;
- il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les trois sites étudiés.



8.5. Conclusion

Les relevés effectués au cours de l'année 2003 ont montré :

- la confirmation de la recolonisation des différents platiers étudiés depuis 1994, après avoir connu de très faibles valeurs en 2001 ;
- l'analyse statistique des résultats que nous cumulons maintenant depuis dix ans nous suggère qu'il n'y a pas d'évolution notable de la biomasse des *Fucus sp* ;
- les résultats de l'année 2003 confortent l'hypothèse que nous avançons déjà l'an dernier selon laquelle il existerait un cycle naturel saisonnier de trois ans ;
- une fertilité printanière des pieds de *Fucus sp.* globalement comparable à celle observée depuis plusieurs années avec logiquement un minimum printanier (entre 10 et 17 %), et un maximum automnal (entre 85 et 92 %). Ces derniers taux, sans atteindre de valeurs exceptionnelles, n'ont jamais été rencontrés depuis le début de ce suivi. L'explication de cette observation pourrait être recherchée dans les conditions climatiques rencontrées en cette année 2003 (fort ensoleillement hivernal et printanier et fortes températures de l'air en été).

9. halieutique

Rapport Jean-Paul DELPECH (DRV/B)

Participation Pascal RAULIN (DRV/B)



9.1. Situation au 31.12.2002 des effectifs et des caractéristiques des flottilles artisanales du quartier maritime de Fécamp.

Les 40 bateaux artisans immatriculés au quartier maritime de Fécamp au 31 décembre 2002 et rangés selon 3 classes de longueur, présentent les caractéristiques moyennes figurant dans le tableau 9.1. (source : CRTS de Boulogne-sur-mer):

Tableau 9.1. :
Classement des bateaux au quartier maritime de Fécamp au 31/12/2002

	Long (mètres)	Jauge (tx)	Puissance (kw)	Age moyen	nombre
longueur L < 10 m	8	4	77	15	10
10m < L < 17m	13	17	180	19	19
L > 17m	22	89	428	20	11
					40

Si le nombre total de bateaux est en très légère hausse, en fait quelques uns sont souvent exploités dans des ports voisins du quartier, comme Dieppe, Le Havre ou même Boulogne.

L'âge moyen montre que l'ensemble de la flottille est très âgée et souffre donc, comme la plupart des flottilles, d'un taux de renouvellement très faible ; on peut noter que les bateaux les plus récents sont les plus petits, ce qui traduit une évolution récente de la structure de la flotte.

La répartition des navires par port d'exploitation est globalement très stable dans le temps comme le montre le tableau 9.2.

Tableau 9.2. :
Répartition du nombre de navires par port au quartier maritime de Fécamp depuis 1995

année	Fécamp Est	Fécamp	Fécamp Ouest	total
1995	17	17	2	36
1996	17	17	2	36
1997	17	16	2	35
1998	15	23	2	40
1999	14	22	2	38
2000				41
2001	13	23	2	38
2002	14	24	2	40

Si les métiers pratiqués sont ceux classiquement observés les années précédentes avec une prédominance des métiers du filet, on observe cette année une augmentation de la rubrique 'divers métiers' indiquant une plus grande polyvalence. Le tableau 9.3. détaille le nombre de 'mois par bateau' déclaré (source : Ifremer Dieppe) :

Tableau 9.3. :
Répartition du
nombre de mois par
bateau selon leur
métier en 2002

	J	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Total
Metiers du chalut	6	6	6	6	8	11	12	13	13	6	6	6	99
Métiers du filet	22	21	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	283
Divers métiers	12	12	11	14	13	8	11	10	6	12	12	12	133
Total:	40	39	41	44	45	43	47	47	43	42	42	42	515

9.2. Production

En 2002, 10381 tonnes de produits de la mer ont été vendues en criée de Fécamp, soit une hausse d'environ 10 % par rapport à 2001 (source : Coopérative maritime de Fécamp ; voir le tableau 9.4.).

Comme chaque année, ce sont les trois espèces pélagiques (sardine, hareng et maquereau) qui représentent les plus forts tonnages, réalisés essentiellement par les plus grosses unités de la flotte locale. Les débarquements de chinchard ont en revanche été divisés par plus de deux par rapport à 2001 ; cette espèce, toujours très régulièrement présente en Manche, est cependant tributaire des conditions de marché, à l'export notamment.

La coquille St-Jacques montre une progression spectaculaire de 60 %, ce qui reflète sans doute en partie une augmentation des ventes enregistrées en criée, notamment de la part de navires basés à Dieppe. Elle est toujours la deuxième espèce en valeur. Quant aux débarquements de cabillaud (115 tonnes), ils sont encore en recul très net par rapport à l'année 2001 (180 tonnes), donc en baisse très sensible d'un point de vue historique.

Il s'agit d'un phénomène général puisque observé dans toute la Manche et la mer du Nord, confirmant nos observations des années précédentes. Cette chute des captures est un révélateur de l'état de santé général du stock de ce secteur géographique et justifie la mise en place au niveau communautaire d'un plan de restauration du stock. Ce plan est en cours d'application et doit s'étaler sur une période de cinq ans. Ce plan comprend tout un ensemble de mesures : diminution des quotas, réduction de l'effort de pêche, fermeture de zones, etc...

Le rouget-barbet montre une progression importante (29 tonnes contre 18 t en 2001). Parmi les espèces à forte valeur marchande, la sole, le bar, la seiche et le turbot représentent une part significative du chiffre d'affaires global.



Espèce	Qté Kg	Valeur en €	Px Moy en €
SARDINE	3978643	1216897	0.31
MAQUEREAU	1372723	690011	0.50
COQUILLES ST JACQUES	1263673	3677021	2.91
HARENG	1255671	380941	0.30
SEICHE	436019	678210	1.56
SOLE	391426	3901652	9.97
ROUSSETTE	247372	116716	0.47
GRONDIN ROUGE	158538	143767	0.91
TACAUD	141367	57304	0.41
PLIE	139075	196476	1.41
ENCORNET	131836	518470	3.93
CABILLAUD	114578	442105	3.86
GRISET	98659	172884	1.75
RAIE	95632	247935	2.59
LIEU JAUNE	93626	294272	3.14
MERLAN	76889	90807	1.18
GRONDIN PERLON	54052	76060	1.41
EMISSOLE	50183	43251	0.86
BAR DE CHALUT	34411	305370	8.87
TURBOT	30738	358326	11.66
BAR DE FILET	30674	213721	6.97
ROUGET BARBET	28817	148961	5.17
LIMANDE	26995	17764	0.66
CONGRE	25796	54287	2.10
MULET	19399	9234	0.48
ROUGET CAMARD	18216	4921	0.27
CHINCHARD	10464	1801	0.17
BARBUE	7854	60302	7.68
PETONCLE	7832	5149	0.66
DIVERS COQUILLAGES	7167	18202	2.54
SAINT PIERRE	5196	40975	7.89
SOLE PERDRIX	5136	23068	4.49
ROGUE	4433	8576	1.93
ORPHIE	4268	863	0.20
JULIENNE	2513	7597	3.02
VIEILLE	2341	636	0.27
LIMANDE SOLE	1404	5767	4.11
LOTTE	1205	13920	11.55
VIVE	1178	3027	2.57
HOMARD	1007	17346	17.23
BUCCIN	989	698	0.71
SOLE BLONDE	696	1102	1.58
CREVETTE ROSE	479	8175	17.08
FLET	356	61	0.17
MERLU	338	1419	4.20
DIVERS HUITRES	257	288	1.12
EGLEFIN	228	275	1.20
TAUPE	226	590	2.62
DIVERS CRABES	164	451	2.74
ANGUILLE	149	395	2.65
EPERLAN	62	33	0.53
TOURTEAU	44	67	1.54
ARAIGNEE	35	79	2.29
ALOSE	30	4	0.15
LIEU NOIR	19	28	1.50
POCHETEAUX	15	0	0.00
LANGOUSTINE	11	34	3.20
POULPE	6	7	1.19
DORADE ROSE	3	10	3.10
ETRILLE CHALUT	2	2	0.75
CETEAU	1	2	1.50
SAUMON	0	1	3.05
TOTAL	10381115	14278313	1.38

Tableau 9.4. :
Ventes à la criée de
Fécamp en 2002

Conclusions

Hydrologie

Les résultats du programme de surveillance pour l'année 2003 sur le site de Paluel indiquent que les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau ont été très influencées par les faibles pluies ainsi que par le fort ensoleillement de printemps.

Ce phénomène a engendré une diminution des débits des fleuves côtiers et donc de fortes valeurs de salinité en mars et juin ainsi qu'une diminution des concentrations en sels nutritifs dissous et en MES. En outre, dans ce secteur de la Manche orientale, les courants de marée parallèles à la côte créent une masse d'eau côtière permanente ('fleuve côtier') dont la dessalure est sans cesse entretenue par les apports fluviaux qui s'échelonnent de la Baie de Seine au Pas de Calais. En 2003, l'apport de la Seine a joué un rôle plus marqué sur les caractéristiques du fleuve côtier.

Les paramètres hydrologiques mesurés lors des campagnes de 2003 semblent avoir suivi un cycle saisonnier que l'on peut qualifier de classique : consommation par le phytoplancton des sels nutritifs entre le printemps et l'été à la suite de l'augmentation de l'ensoleillement, suivie en automne par le processus de régénération. Notons que ce dernier phénomène n'est pas apparu de façon marquée en septembre de cette année.

Le tribromométhane et le bore, n'ont pas présenté des valeurs permettant de mettre en cause l'activité de la centrale dans les concentrations observées.

Cette étude a révélé que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au point *rejet* qu'aux autres points. Cependant, les mesures indiquent que l'impact thermique est relativement réduit. En effet, les échantillons prélevés aux abords du *rejet* (environ 20 m) présentent des taux de dilution importants (près de 90% en moyenne depuis 1988). Par ailleurs, la modélisation du rejet montre que la tache thermique reste localisée près de la centrale.

La différence de salinité observée entre les points *canal* et *référence* met en évidence l'impact du 'fleuve côtier' dans cette partie de la côte de la Seine Maritime. Ce phénomène est aussi caractérisé par les différences en MES observées entre le point *référence*, situé plus au large, et les deux autres points, plus côtiers.



Finalement, hormis l'échauffement de l'eau aux abords proches du site qui représente le principal impact sur l'écosystème, la centrale via ses rejets ne semble pas modifier les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu (teneurs et variations saisonnières).

Microbiologie

Les concentrations de germes totaux présentent une remarquable stabilité sur les sept dernières années sur l'ensemble des points échantillonnés, mettant en évidence la stabilité du système en comparaison des premières années de fonctionnement de la centrale.

La quantité de germes revivifiables reste stable au cours des périodes printanière et estivale. Une augmentation sensible est cependant notée en automne sur l'ensemble des points d'échantillonnage, avec un maximum de 35 800 germes revivifiables par *ml* au point *référence*. Le point *rejet* présente cependant la plus faible valeur.

L'évolution dans l'identification et le dénombrement de vibrions halophiles depuis 1992 met en évidence les limites et la fiabilité de la méthode utilisée (de 1995 à 1998 aucune souche n'est identifiée, ce qui semble peu probable). Dès 2004, une nouvelle méthode, plus fiable, sera mise en application sur l'ensemble de cinq centrales littorales.

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 Paluel à partir de l'étude des paramètres suivis, mais l'augmentation des identifications de vibrions halophiles incite à poursuivre les suivis dans ce domaine.

Phytoplancton

La biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances cellulaires montrent une évolution inter-annuelle et saisonnière similaire. Le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Manche, avec des biomasses comprise entre 0,7 et 2 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Les plus faibles variabilités spatiales de la biomasse, de la production primaire et de l'abondance sont observées au printemps. Le point *référence* présente la plus faible variabilité saisonnière, essentiellement au printemps et en automne.

Malgré les fortes salinités printanières et estivales, dues aux faibles pluies, les concentration en azote inorganique ont été au dessus des médianes pluriannuelles en mars et en juin 2003. Cette situation a néanmoins conduit à des valeurs de production primaire inférieures aux médianes pluriannuelles au printemps, à des biomasses proches des moyennes pluriannuelles et à des abondances microphytoplanctoniques supérieures aux médianes.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Paluel montrent bien le phénomène au cours duquel la population de la période 'hivernale' (peu abondante, mais bien diversifiée), dominé par les genres *Thalassiosira* et *Melosira*, est remplacée en été par une population moins diversifiée, constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia* (*Rhizosolenia delicatula*). Les abondances par espèce et par station ne présentent pas de variations pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution temporelle ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de la Manche.

De plus, comme les valeurs des paramètres suivis ne sont pas systématiquement différentes au point *rejet*, nous ne pouvons pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu par l'activité de la centrale de Paluel à partir de l'étude du compartiment phytoplanctonique en 2003.

Zooplancton

En 2003, l'examen des populations zooplanctoniques ne permet pas de conclure à un impact sur le milieu proche des eaux chaudes rejetées par la centrale de Paluel. Les valeurs des différents paramètres sont comprises dans les limites habituelles de variations observées depuis la mise en place de la surveillance du site.

Benthos subtidal

Le peuplement des cailloutis, représenté au large par le point 2 et à la côte par les points 1 et 6, semble toujours relativement stable.

Au large, il est dominé comme les années précédentes par les mêmes espèces (*Ophiothrix fragilis*, *Thelepus setosus*, *Pisidia longicornis* et *Pomatoceros triqueter*).

Dans sa partie côtière, la disparition de la moulière à *Mytilus edulis* perdue ainsi que son remplacement par des Tuniciers, en particulier *Styela clava*, *Styela coriacea*, *Molgula manhattensis* et *Dendrodoa grossularia*.

Le sédiment grossier de cette partie (points 1 et 6) abrite de façon stable depuis 1990 un faciès côtier typique du peuplement de cailloutis à épibiose sessile, un peu moins diversifié que ne l'était la moulière : il y a donc eu, à l'échelle de quelques années, basculement brutal d'une situation stable (la moulière, présente pendant la première partie de l'étude, de 1977 à 1988) à une autre situation stable, le faciès côtier de cailloutis dominé par les Tuniciers et les Annélides tubicoles de substrat dur (depuis 1990).

La transition avec les sables hétérogènes s'effectue depuis 1993 au niveau du point 16, qui est depuis cette période le point dont les caractéristiques sédimentaires sont les plus fluctuantes.



L'abondance de *Crepidula fornicata* y est confirmée depuis 1998 : l'espèce est connue pour s'installer durablement et modifier éventuellement le substrat ; sa très forte augmentation d'abondance définit un phénomène de type invasif, sans doute facilité par les variations du substrat. On constate maintenant qu'elle est présente en chaque point, peu importe le substrat.

L'évolution de la couverture sédimentaire de la zone côtière a suivi la disparition de la moulière à *Mytilus edulis*. La stabilité de structure observée maintenant depuis plusieurs années risque donc de se poursuivre si aucune sédentarisation massive de moules ne se produit sur la zone des points 1 et 6. L'évolution encore sensible en 1995 vers des sédiments plus grossiers est maintenant stabilisée. Elle semble, d'une part confirmer le rôle des courants de marée susceptibles, en l'absence de moulière, de provoquer un granuloclassement plus marqué, d'autre part être influencée au point 16 par l'action des tempêtes hivernales et de début de printemps (Davoult *et al.*, 1998).

La répartition spatio-temporelle des points de prélèvement est bien adaptée à la variabilité observée sur le site : une campagne au printemps et une autre en automne, complétées de prélèvements intermédiaires aux points 1 et 6, qui constituaient au début du suivi la partie la plus variable de la zone, recentrées sur la zone côtière proche de la centrale, et qui permettent le cas échéant de lier d'éventuelles fluctuations globales des peuplements benthiques à la variabilité spatio-temporelle du recrutement de certaines espèces (*Mytilus edulis*, Tuniciers). Le suivi du point 2 paraît suffisant pour vérifier la stabilité interannuelle de la zone située plus au large. Malgré l'absence de prélèvements en hiver et au printemps cette année, l'image obtenue permet de conclure à une relative stabilité des structures étudiées.

Benthos intertidal

Au moyen des traitements utilisés il nous est possible de mettre en évidence un certain nombre de conclusions :

- A l'échelle d'une campagne ou à l'échelle pluriannuelle, le site de Veulettes-sur-Mer présente des biomasses en *Fucus vesiculosus* systématiquement plus élevées que le site de St Valéry-en-Caux ;
- Indépendamment de la biomasse algale présente, le site de Veulettes-sur-Mer présente des densités en *Idotea granulosa* légèrement supérieures (20 %) à celles du site de St Valéry en Caux ;
- Les populations d'*Idotea granulosa* montrent des fluctuations rigoureusement identiques sur les deux sites ;
- Bien que de structure identique, le peuplement de macroinvertébrés marins de Veulettes-sur-Mer est plus riche que celui de St Valéry-en-Caux.



La population d'*Idotea granulosa* de St Valéry ne montre donc pas de perturbation particulière dans sa dynamique de population mais subit évidemment l'évolution de son habitat. De ce point de vue il est exclu de montrer un effet des rejets de chaleur sur le peuplement de *Fucus vesiculosus* de St Valéry-en-Caux puisque le site témoin a également été affecté à la fin des années 1980.

Il apparaît que, naturellement, le site de Veulettes possède des potentialités supérieures à celui de St Valéry en matière de développement des ceintures algales et d'attractivité pour les autres espèces animales qui composent le peuplement.

Des facteurs d'origine abiotiques sont sans doute à rechercher : différence de qualité du substrat (beaucoup plus siliceux à Veulettes), différence de niveau.

Phytobenthos intertidal

Les relevés effectués au cours de l'année 2003 ont montré :

- la confirmation de la recolonisation des différents platiers étudiés depuis 1994, après avoir connu de très faibles valeurs en 2001 ;
- l'analyse statistique des résultats que nous cumulons maintenant depuis dix ans nous suggère qu'il n'y a pas d'évolution notable de la biomasse des *Fucus sp* ;
- les résultats de l'année 2003 confortent l'hypothèse que nous avançons déjà l'an dernier selon laquelle il existerait un cycle naturel saisonnier de trois ans ;
- une fertilité printanière des pieds de *Fucus sp.* globalement comparable à celle observée depuis plusieurs années avec logiquement un minimum printanier (entre 10 et 17 %), et un maximum automnal (entre 85 et 92 %). Ces derniers taux, sans atteindre de valeurs exceptionnelles, n'ont jamais été rencontrés depuis le début de ce suivi. L'explication de cette observation pourrait être recherchée dans les conditions climatiques rencontrées en cette année 2003 (fort ensoleillement hivernal et printanier et fortes températures de l'air en été).