

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

Hervé du BOULLAY
Philippe MOMBET
Frank MAHEUX
Myriam RUMEBE
Jean-Paul DELPECH

Laurence DOROBISZ**
Dominique DAVOULT*
Ingrid RICHARD*
Jean d'ELBEE ***

* Station marine de Wimereux

** Laboratoire municipal de Rouen

*** LAPHY Biarritz

mars 2002 – Convention de marché EDF n° P8B3375 – Avenant A

Surveillance écologique et halieutique du site Electronucléaire de Paluel

Année 2001

Rapport scientifique annuel

IFREMER Bibliothèque de BREST



OEL09489

Surveillance Ecologique et Halieutique du site de Paluel

Année 2001 – Rapport final

FICHE DOCUMENTAIRE

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques)	
Número d'identification du rapport : RST.DEL/PB/01.04 Diffusion : libre - restreinte - interdite Validé par : G. de KERGARIOU Adresse électronique : - chemin UNIX : - adresse WWW :	date de publication : mars 2002 nombre de pages : 159 bibliographie : Oui illustration(s) : Oui * langue du rapport : Français
Titre et sous-titre du rapport :	
<i>Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel année 2001 - Rapport scientifique annuel</i>	
Titre traduit :	
<i>Ecological and fisheries monitoring of the Paluel nuclear power plant - 2001</i>	
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom du BOULLAY Hervé CRASSOUS Marie-Pierre DAVOULT Dominique DELPECH Jean-Paul DOROBISZ Laurence MAHEUX Frank MOMBET Philippe RICHARD Ingrid RUMEBE Myriam	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER / DEL / PB IFREMER / Boulogne / DRV / RH IFREMER / DEL-EC Station marine de Wimereux* Laboratoire municipal de Rouen IFREMER / DEL / PB IFREMER / DEL / PB Station marine de Wimereux IFREMER / DEL / SM
Collaborateur(s) : nom, prénom BOISSEAUX Anne DANIEL Anne d'ELBEE Jean FLOCH Corinne JUSTOME Vincent LE GOFF Ronan LESAULNIER Nadine PIERRE-DUPLESSIX Olivier RAULIN Pascal RIOU Philippe	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER / Boulogne / SAF-PB IFREMER / DEL / PB LAPHY / Biarritz IFREMER / Boulogne / SAF-PB IFREMER / DEL / PB IFREMER / DEL / PB IFREMER / Boulogne / SAF-PB IFREMER / DEL / PB IFREMER / Boulogne / DRV / RH IFREMER / DEL / PB
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse	
<i>Electricité de France (EDF) - Production Transport - C.N.P.E. de Paluel B.P. 48 - 76450 CANY BARVILLE</i>	
Titre du contrat : n° de contrat Ifremer	
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s)	
<i>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 LABORATOIRE MUNICIPAL ET REGIONAL DE Rouen, BP 4063, 76 022 Rouen Cedex LAPHY - Centre d'études et de recherches halieutiques, B.P. 89, 64 200 Biarritz</i>	
Responsable scientifique : Hervé du BOULLAY - IFREMER / Port-en-Bessin/ DEL /	
Cadre de la recherche :	
Programme :	Convention de marché
<i>Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin</i>	EDF
Projet : I.G.A.	Autres (préciser) :
<i>Impact des Grands Aménagements</i>	
Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire)	
<i>IGA 1-2-3, 2001, N/O THALIA.</i>	

FICHE DOCUMENTAIRE

Résumé :

L'étude de surveillance n°24 du site électronucléaire de Paluel (département de la Seine-Maritime) concerne l'année 2001. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2001 est la 18^{ème} année de fonctionnement de la Centrale. ...

Abstract :

Monitoring n°24 of the Paluel nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2001. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for eighteen years.

Mots-clés :

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

Keywords :

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

Commentaire :

Ce document doit être cité de la manière suivante :

Référence générale

du BOULLAY.L (coordinateur) *et al.* (2002) - Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel, année 2001 - Rapport scientifique annuel.
Rapp. IFREMER RST.DEL/PB/01.04, mars 2002, 128 p.

Référence particulière

Résumé	1
Préambule	1
Introduction	5
1. Généralités	7
1.1. Introduction	9
1.2. Géographie	9
1.3. Climatologie	11
1.3.1. Les pluies	11
1.3.2. La température de l'air	11
1.4. L'hydrographie	13
1.4.1. Les marées	13
1.4.2. Les courants	13
1.4.3. Les apports telluriques	15
1.5. Fonctionnement de la centrale lors des campagnes pélagiques	15
2. Hydrologie	19
2.1. Méthode	21
2.1.1. Prélèvements	21
2.1.2. Paramètres mesurés et précisions	22
2.1.3. Présentation graphique	22
2.1.4. Traitement statistique	22
2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2001	25
2.2.1. Température	27
2.2.2. Salinité	41
2.2.3. Ammonium	49
2.2.4. Nitrate et nitrite	55
2.2.5. Matières En Suspensions (MES)	63
2.3. Conclusion	69
Bibliographie	73



3. La microbiologie	75
3.1. Introduction	77
3.2. Matériel, méthodes d'analyses et détermination	77
3.3. Résultats	81
3.3.1. Dénombrement des germes totaux en épifluorescence	81
3.3.2. Dénombrement des germes aérobies viables sur milieu de Zobell	83
3.3.3. Recherche de vibrio halophiles	85
3.3.4. Dosage des organo-halogénés volatils	87
3.4. Conclusion	89
4. Le phytoplancton et la production primaire	91
4.1. Introduction	93
4.2. Matériel et méthode	93
4.2.1. Mesure de la chlorophylle	93
4.2.2. Mesure de la production primaire	95
4.2.3. Etude systémique du phytoplancton	97
4.3. Résultats	97
4.3.1. Biomasse chlorophyllienne	101
4.3.2. Résultats de la production primaire	103
4.3.3. Evolution des populations phytoplanctoniques	105
5. Le zooplancton	119
5.1. Introduction	121
5.2. Etude de la biomasse zooplanctonique globale	122
5.3. Etude des espèces zooplanctoniques	129
5.4. Conclusion	143
6. Le domaine benthique subtidal	145
6.1. Introduction	147
6.2. Méthodologie	149
6.2.1. Travail à la mer	149
6.2.2. Travail au laboratoire	149
6.2.3. Traitement des données	151
6.3. Résultats.....	153
6.3.1. Analyse granulométrique	153
6.3.2. Analyse faunistique	155
6.4. Conclusion	161
Bibliographie	165



7. Domaine benthique intertidal	179
7.1. Introduction	181
7.2. Etude de la population d'<i>Idotea granulosa</i>	181
7.2.1. Methodologie.....	181
7.2.2. Rappels sur l'écologie et la biologie d' <i>Idotea granulosa</i>	185
7.2.3. Variation de la densité d'algues et d' <i>Idotea granulosa</i>	187
7.2.4. Variation des tailles d' <i>Idotea granulosa</i>	205
7.2.5. Variation des sexes et du sexe-ratio chez <i>Idotea granulosa</i>	213
7.3. Conclusion	217
8. Le phytobenthos intertidal	223
8.1. Généralités	225
8.2. Evolution des biomasses de <i>Fucus serratus</i> et <i>vesiculosus</i>	225
8.3. Analyse des tendances des séries temporelles de biomasse de <i>Fucus sp</i>	225
8.4. Taux de fertilité	227
8.5. Conclusion	227
9. L'halieutique	229
9.1. Actualisation des données sur les flottilles de pêche artisanales et leurs activités	231
9.2. Production	231

Conclusion générale

Résumé

L'étude de surveillance n° 24 du site électronucléaire de PALUEL (département de la Seine-Maritime) concerne l'année 2001. Sont étudiés les domaines pélagique, benthique et halieutique. Cette année 2001 est la 18^{ème} année de fonctionnement de la centrale.

The ecological survey n°24 covering PALUEL nuclear power station took place between March and September 2001. The following areas were monitored : pélagique, benthique and halieutique. Paluel power station has now been operationnel for eightenn years

Préambule

Conformément à la **convention générale** passée entre **EDF** et **IFREMER** (référéncée sous le n°), 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 2001, l'état d'avancement a été adressé à EDF le 16 juillet 2001.

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 2000, les études réalisées sur le site de Paluel ont été menées sous la responsabilité de :

Hervé du BOULLAY, DEL/Port-en-Bessin, pour le phytoplancton

Franck COPPIN pour l'halieutique

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

Laurence DOROBISZ, laboratoire de Rouen pour la microbiologie

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

Philippe MOMBET, DEL/Port-en-Bessin pour l'Hydrologie

Ingrid RICHARD, station marine de Wimereux, pour le benthos intertidal

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

La coordination étant assurée par Hervé du BOULLAY



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 la microbiologie et le bore et à la station marine de Wimereux (SMW/Université de Lille) pour l'étude du benthos.

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 N/O THALIA a été présent sur zone les 4 avril, 4 juillet et 8 septembre 2001.



1. Généralités



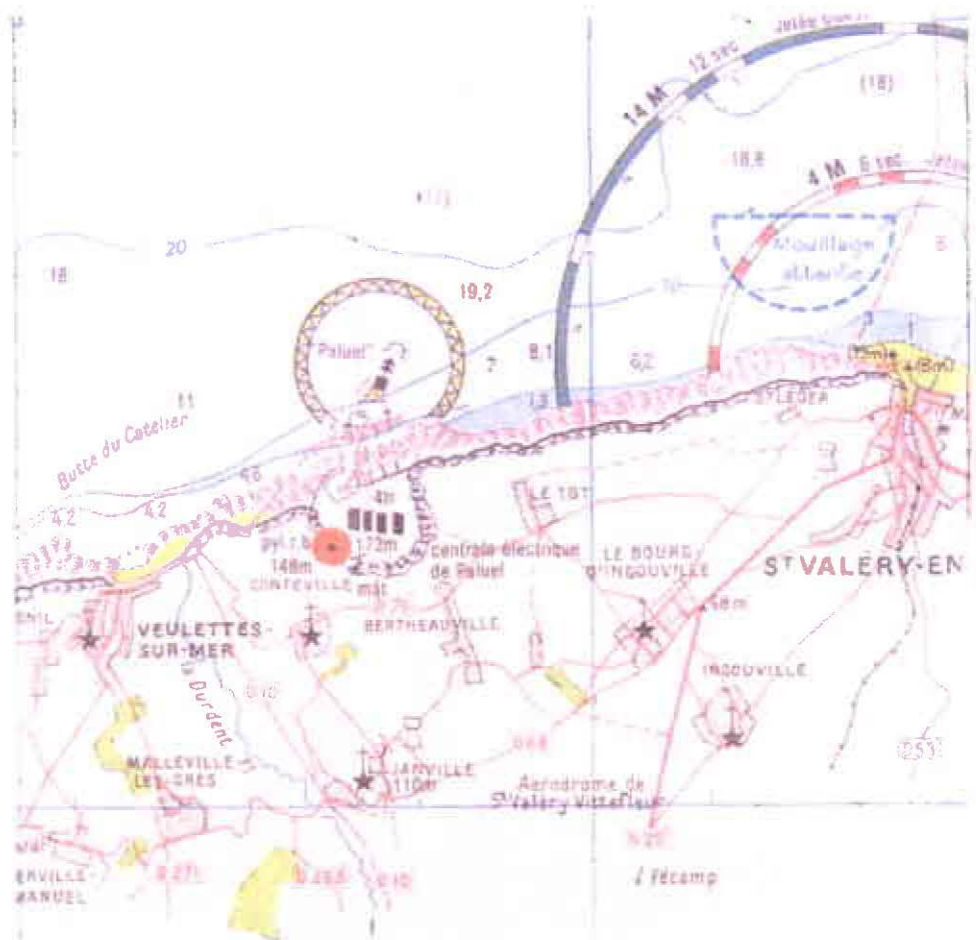


Figure 1.1 : situation géographique du site de Paluel

1.1. Introduction

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

- ☞ **une étude "d'avant projet"**, de courte durée, qui a pour but d'évaluer les principales caractéristiques du milieu et d'apprécier la richesse potentielle d'un site parmi d'autres.
- ☞ **une étude de "projet"** sur un site retenu qui permet d'établir un bilan écologique avant la mise en service de la centrale.
- ☞ **une étude de "complément de projet"** visant à apprécier les variations pluriannuelles.
- ☞ **une étude de "surveillance"** qui s'attache aux paramètres jugés les plus significatifs et sensibles sur un site 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.

[1977, 2001] => 2001

Ce rapport présente les résultats concernant la vingt quatrième année (2001) de surveillance du site de PALUEL, ce qui correspond à la dix huitième année depuis la mise en service de la Centrale (1984)

1.2. Géographie

La centrale de Paluel est située sur le littoral haut-normand, au niveau de la vailleuse de Sussette, entre Fécamp et Dieppe sur la commune dont elle a emprunté le nom. Le littoral, orienté ENE/WSW, est bordé de hautes falaises composées de bancs calcaire alternant avec des lits de silex. Les falaises du littoral Haut-Normand sont entaillées par des vailleuses et des vallées aux débouchés desquelles les galets se sont accumulés sous formes de cordons littoraux. C'est le cas pour Veulettes commune littorale située à quelques kilomètres au sud-ouest de Paluel et baignée par la Durdent. Devant le littoral haut-normand, 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 l'ordre de 200m à 400m) 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 10m à 20m de large et 1m de haut;

Estran d'accumulation : on le rencontre aux débouchés des vallées et vailleuses. 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 et a des largeurs de l'ordre de 40m à 50m. Les sables et graviers font suite aux galets.



1.3. Climatologie

1.3.1. Les pluies

Les résultats enregistrés à Fécamp depuis 1990, montrent que 2001, en l'absence de la donnée du mois de décembre, sera comparable aux années 1992, 1997, 1998 et 1999. La courbe mensuelle nous indique que ce sont les mois de janvier et mars qui ont été les plus pluvieux en 2001 et depuis 1995. Nous verrons dans le chapitre traitant de l'hydrologie comment ces précipitations peuvent influencer certains paramètres.

histogrammes

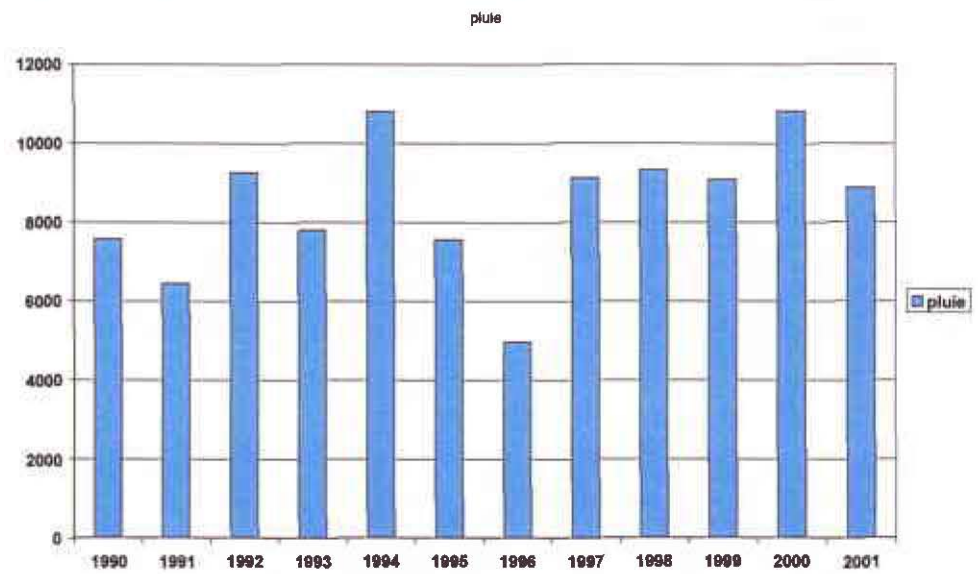


Figure 1.2 : Pluviométrie annuelle – Fécamp de 1990 à 2001

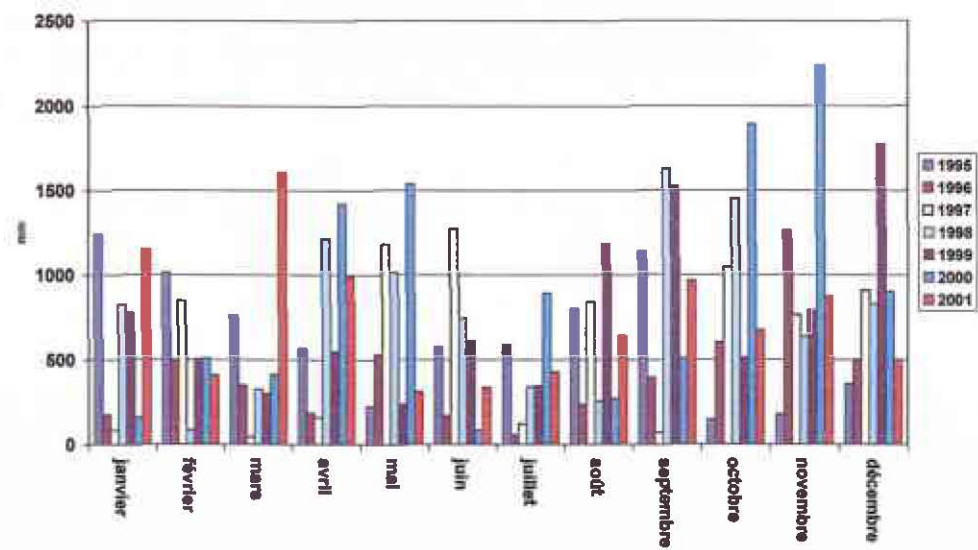


Figure 1.3 : Pluviométrie mensuelle – Fécamp de 1995 à 2001



1.3.2. La température de l'air

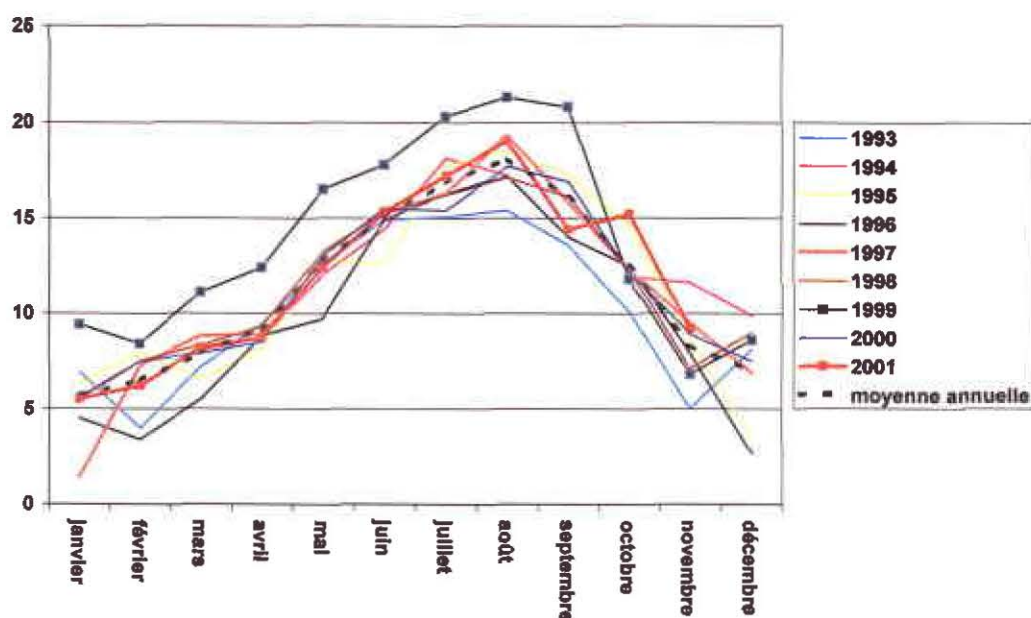


Figure 1.4 : Température moyenne mensuelle de l'air Fécamp de 1993 à 2001

Les températures de l'année 2001 sont dans la moyenne annuelle jusqu'en juillet. Puis on observe un décalage positif pour les mois d'août, octobre et novembre, et négatif pour septembre.

1.4. L'hydrographie

1.4.1. Marées

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

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

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

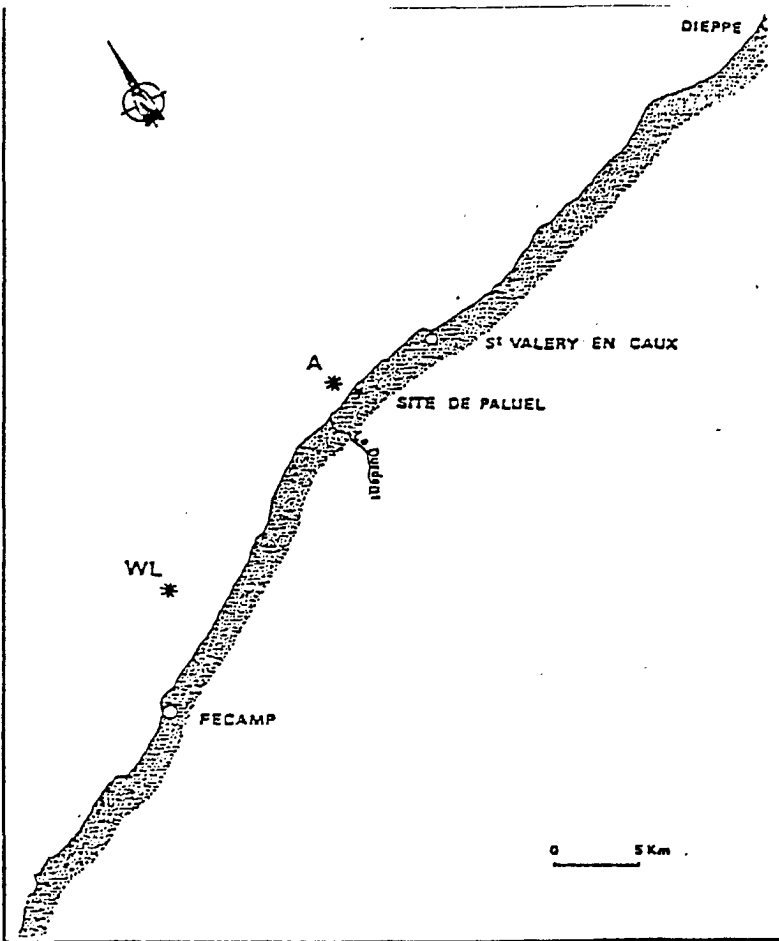


Fig 1.6 : situation des points de mesure de courantologie

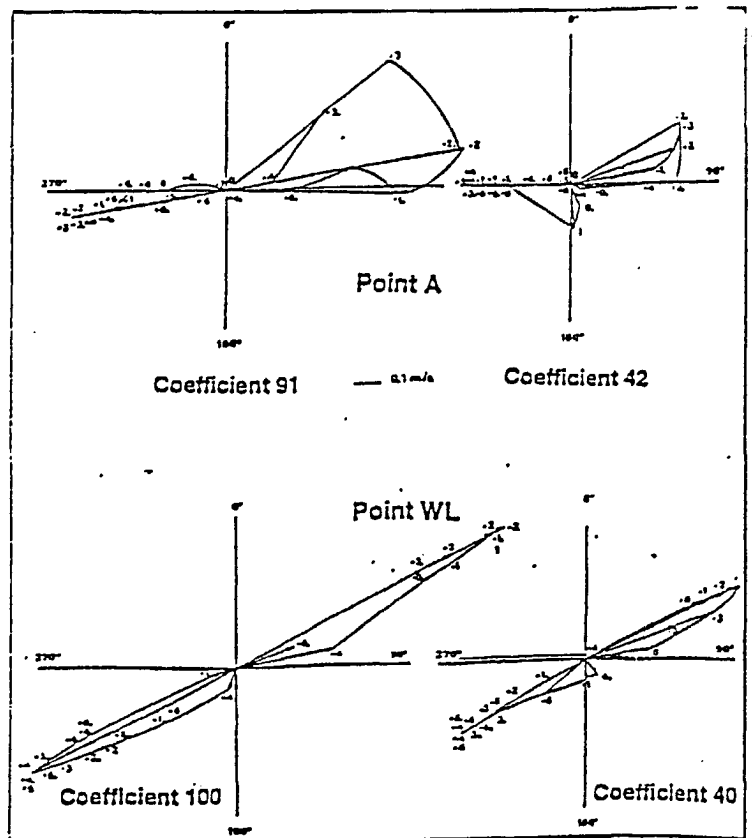


Fig 1.5 : rose des courants à Paluel

1.4.2. 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 1.5: rose des courants aux points A et WL étudiées par EDF en 1973-1975; la position de ces points est indiquée dans la figure 1.6). Le flot, d'une durée moyenne de 5 heures, porte vers le N-NE à une vitesse de 0,5 à 1 m/s (soit 1 à 2 noeuds). Le jusant, d'une durée approximative de 7 heures, porte vers le W-SW avec une vitesse inférieure de 0,4 à 0,6 m/s. La renverse de pleine mer a lieu en vive eau à PM -1/2h, celle du jusant à PM - 05h30. On constate ainsi que le bilan global au cours d'un cycle de marée montre le déplacement des masses d'eau vers le N-NE, dans le sens du flot. Ce déplacement est dû au courant de dérive 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 m/s pendant le flot et 0,9 m/s 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 précédents était d'avoir mis en évidence l'influence des eaux issues de la baie de Seine. Si cette influence est certaine, elle est cependant irrégulière.

L'échantillonnage actuel, 3 campagnes par an pour le domaine pélagique, ne permet plus de cerner cette influence.

1.4.3. Apports telluriques

La Durdent, petit fleuve côtier de faible débit irrégulier, se jette à l'ouest du site (Figure 1.5). 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.



Un des traits majeurs des cycles d'étude précédents était d'avoir mis en évidence l'influence des eaux issues de la baie de Seine. Si cette influence est certaine, elle est cependant irrégulière.

L'échantillonnage actuel, 3 campagnes par an pour le domaine pélagique, ne permet plus de cerner cette influence.

1.4.3. Apports telluriques

La Durdent, petit fleuve côtier de faible débit irrégulier, se jette à l'ouest du site (Figure 1.5). 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.

1.5. Fonctionnement de la centrale lors des campagnes pélagiques

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

Date des campagnes pélagiques	Tranche	Pompes	Puissance MW	Electro-chloration
4 avril 2001	I	43	1365	0
	II	43	1362	0
	III	0	0	0
	IV	43	1280	0
4 juillet 2001	I	43	1332	1
	II	43	1252	1
	III	43	1350	1
	IV	0	0	0
8 septembre 2001	I	43	1270	1
	II	43	1250	1
	III	43	1340	1
	IV	43	1233	1

Tableau 1.2 : Fonctionnement de la centrale pendant les campagnes pélagiques



Le domaine pélagique

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

Les trois campagnes ont été réalisées à bord du N/O THALIA de l'IFREMER les 4 avril, 4 juillet et 8 septembre 2001.

Les conditions de fonctionnement de la centrale au moment des prélèvements sont présentées au paragraphe 5 du chapitre 1.



2. Hydrologie

Rapport

Philippe Monbet (DEL/PB).

Prélèvements et Analyses

Frank Maheux (DEL/PB),
Olivier Pierre-Duplessix (DEL/PB),
Vincent Justome (DEL/PB),
Myriam Rumède (DEL/SM).

Participation

Anne Daniel (DEL/PB),
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 le 4 avril, le 4 juillet et le 8 septembre 2001. Ils ont été menés à bord du N/O THALIA. Les stations échantillonnées (cf. figure 1) sont :

- le canal d'amenée (station située à l'entrée du canal d'amenée de la centrale),
- le rejet (station située dans les turbulences du rejet),
- la référence (station située au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

Aux stations « canal » et « rejet », 4 prélèvements successifs sont effectués en surface. A la station « référence », les échantillons sont prélevés en surface et à mi-profondeur deux fois successivement.

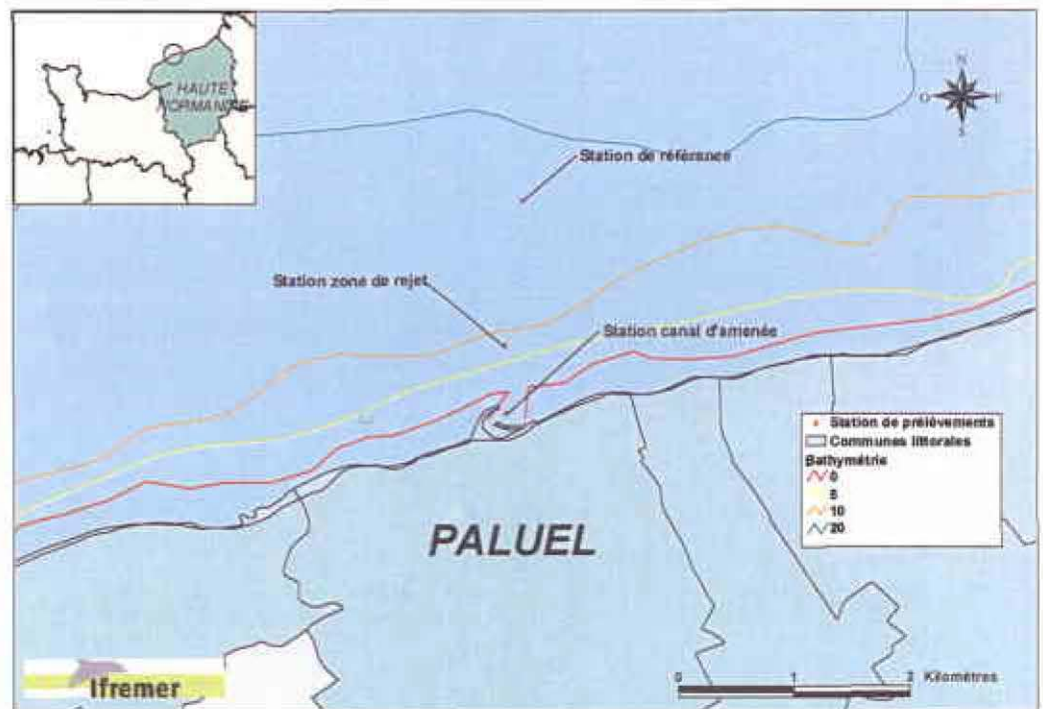


Figure 1 : Situation géographique de la centrale et position des stations de prélèvements

2.1.2. Paramètres mesurés et précisions

Les paramètres hydrologiques mesurés sont la température, la salinité, les sels nutritifs (ammonium, nitrate et nitrite) et les matières en suspensions (MES). Les techniques appliquées à l'échantillonnage et à la mesure de ces différents paramètres sont présentées dans « Recueil des techniques », rapport IFREMER DERO/86.24/EL. La précision sur la mesure des différents paramètres est indiquée dans le tableau 1.

	<i>Temp.</i> (°C)	<i>Salinité</i>	<i>NO₃⁻</i> (µM)	<i>NO₂⁻</i> (µM)	<i>NH₄⁺</i> (µM)	<i>MES</i> (mg L ⁻¹)
PRECISION	± 0,01	± 0,1	± 0,1	± 0,01	± 0,05	± 0,1

Tableau 1 : Précision des analyses

2.1.3. Présentation graphique

Les résultats des campagnes hydrologiques sont présentés sous forme d'histogrammes. Ces histogrammes présentent également les données acquises depuis 1988. Les résultats 2001 sont présentés avec une couleur différente par rapport aux années précédentes. Les barres d'erreurs représentent l'écart type sur les mesures. Pour chaque paramètre et pour chaque station, les histogrammes sont regroupés par campagne (printemps, été et automne).

Il faut souligner que la teneur en chlorophylle a été ajoutée à titre indicatif sur les figures des éléments nutritifs. En effet, l'activité biologique joue un rôle majeur sur la distribution des éléments nutritifs, elle permet de préciser à quel stade du développement phytoplanctonique les prélèvements ont été effectués.

2.1.4. Traitement statistique

Un traitement statistique a été réalisé pour les paramètres étudiés sur la période 1988-2001. Cette étude consiste à comparer les données observées aux stations « référence », « rejet » et « canal » afin d'établir s'il existe ou non des différences significatives liées à la présence de la centrale et de ses rejets. Avant de choisir et d'effectuer des tests statistiques appropriés, il est essentiel de vérifier la normalité de distribution des données. Cette vérification a été réalisée grâce à la méthode de la droite d'Henry appuyée du test de Kolmogorov-Smirnov. Lorsque la distribution s'avérait normale, le test de Student a été utilisé pour comparer les données. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données a été réalisée par le test de Wilcoxon. Les tests permettent de déterminer la valeur « p-value ». Si la « p-value » est inférieure à 0,05, il existe alors une différence significative entre les deux séries de données. A l'inverse, si la « p-value » est supérieure à 0,05 il n'y a pas de différence significative.

2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2001

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2001 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 2.

	<i>(Valeurs moyennes ± écart type)</i>	REFERENCE			
		CANAL D'AMENÉE <i>(n=4)</i>	REJET <i>(n=4)</i>	SURFACE <i>(n=2)</i>	-10 M <i>(n=2)</i>
04 AVRIL	Température (°C)	9,38 ± 0,05	11,04 ± 0,16	8,87 ± 0,59	9,28 ± 0,05
	Salinité	30,3 ± 0,0	30,4 ± 0,1	28,8 ± 0,0	29,8 ± 0,0
	MES (mg L ⁻¹)	7,2	7,1	13,6	12,2
	Nitrate (µM)	57,9 ± 1,1	53,3 ± 0,5	60,9 ± 4,0	62,0 ± 2,4
	Nitrite (µM)	0,72 ± 0,02	0,68 ± 0,02	0,99 ± 0,02	0,84 ± 0,01
	Ammonium (µM)	1,37 ± 0,03	1,48 ± 0,03	2,23 ± 0,19	1,86 ± 0,07
04 JUILLET	Température (°C)	18,66 ± 0,03	20,37 ± 0,13	19,01 ± 0,25	17,79 ± 0,01
	Salinité	32,0 ± 0,0	32,2 ± 0,0	32,3 ± 0,1	32,3 ± 0,1
	MES (mg L ⁻¹)	19,2	16,0	25,2	9,7
	Nitrate (µM)	12,2 ± 0,3	10,8 ± 0,3	10,2 ± 0,1	8,5 ± 0,1
	Nitrite (µM)	0,52 ± 0,02	0,49 ± 0,01	0,47 ± 0,00	0,47 ± 0,02
	Ammonium (µM)	0,76 ± 0,05	0,94 ± 0,08	0,61 ± 0,02	0,73 ± 0,18
08 SEPTEMBRE	Température (°C)	19,35 ± 0,07	21,68 ± 0,38	20,27 ± 0,06	19,60 ± 0,02
	Salinité	31,5 ± 0,0	32,5 ± 0,0	32,4 ± 0,0	32,9 ± 0,0
	MES (mg L ⁻¹)	35,8	27,9	16,9	9,2
	Nitrate (µM)	38,1 ± 1,2	25,5 ± 0,2	20,2 ± 1,3	19,2 ± 0,4
	Nitrite (µM)	0,64 ± 0,01	0,58 ± 0,01	0,51 ± 0,03	0,50 ± 0,01
	Ammonium (µM)	2,18 ± 0,47	1,95 ± 0,10	1,87 ± 0,09	1,69 ± 0,00

Tableau 2 : Récapitulatif des résultats de surveillance pour l'année 2001

2.2.1. Température

Les variations de température de l'eau aux stations « canal », « rejet » et « référence » (en surface) sont présentées sur la figure 2 sur la période 1988-2001.

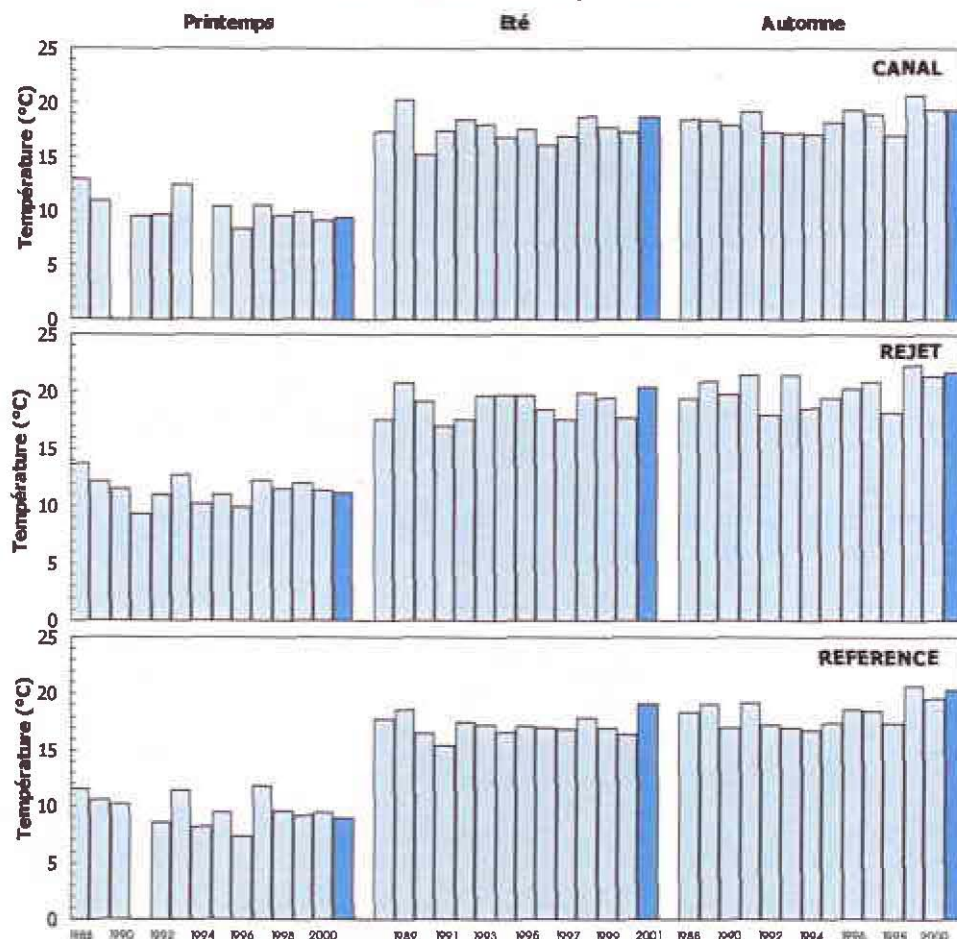


Figure 2 : Température (surface) sur la période 1988-2001

2.2.1.1. Variations inter-annuelles

Au cours des campagnes de surveillance 2001, la température de l'eau de mer a varié de 9,38 à 19,35°C à la station « canal », de 11,04 à 21,68°C à la station « rejet » et de 8,87 à 20,27°C à la station « référence ». Aux différentes stations, la température augmente classiquement d'avril jusqu'en septembre. L'écart thermique (δT) est relativement important puisqu'il représente en moyenne 10,7°C entre le printemps et l'automne. La figure 3 présente une caractérisation du renouvellement de mélange en Manche à travers le paramètre de stratification 'H/u³' 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.

Les faibles valeurs du paramètre de stratification ($< 2,0$) indiquent que la colonne d'eau est brassée et les fortes valeurs ($> 3,0$) définissent les zones où la colonne d'eau est stratifiée en été. La figure 3 montre que la centrale est située au niveau d'une zone où la colonne d'eau est susceptible d'être stratifiée en été. Ceci engendre alors un réchauffement estival de l'eau relativement important en surface et explique la gamme de variation de température observée.

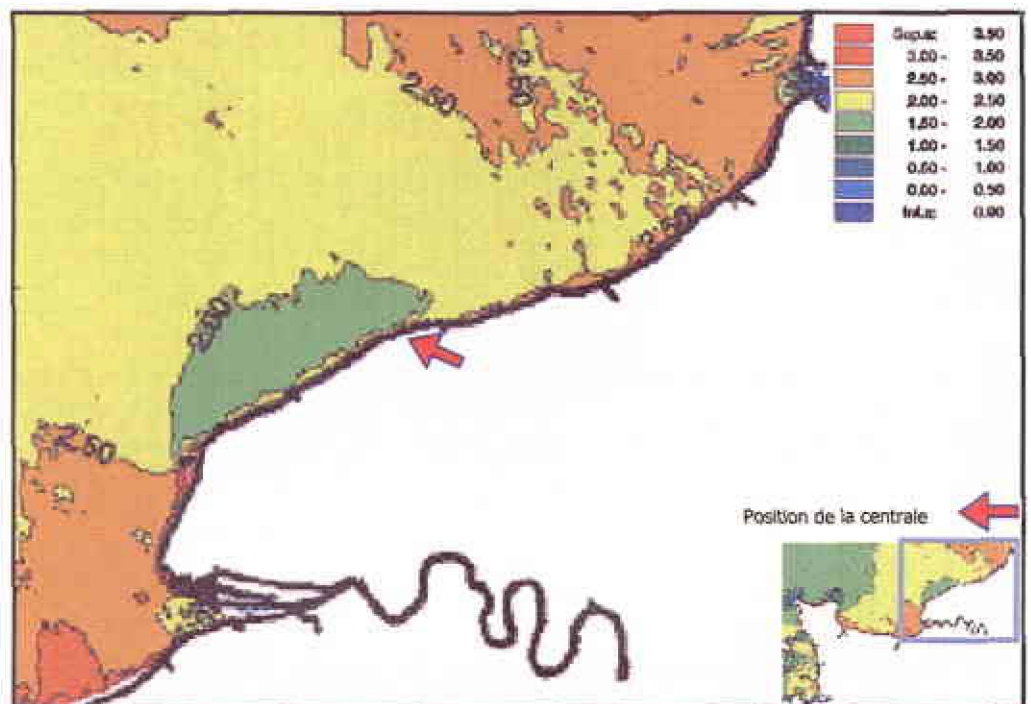


Figure 3 : Paramètre de stratification en Manche (H/u^3)

La figure 2 montre que les températures de l'eau enregistrées au cours des 3 campagnes réalisées en 2001 s'inscrivent globalement dans la plage de variation des températures mesurées depuis 1988. Pour les stations « canal » et « référence », les températures sont du même ordre de grandeur que celles observées dans l'étude écologique de projet réalisée en 1978 et 1979. Toutefois, il faut souligner que les mesures réalisées en 2001 semblent être légèrement supérieures en automne. Les valeurs estivales et automnales de cette année font partie des plus fortes enregistrées depuis 1988. Ces valeurs sont à rapprocher des températures élevées de l'air (mesurées à Fécamp) au cours de la même période (cf. figure 4).

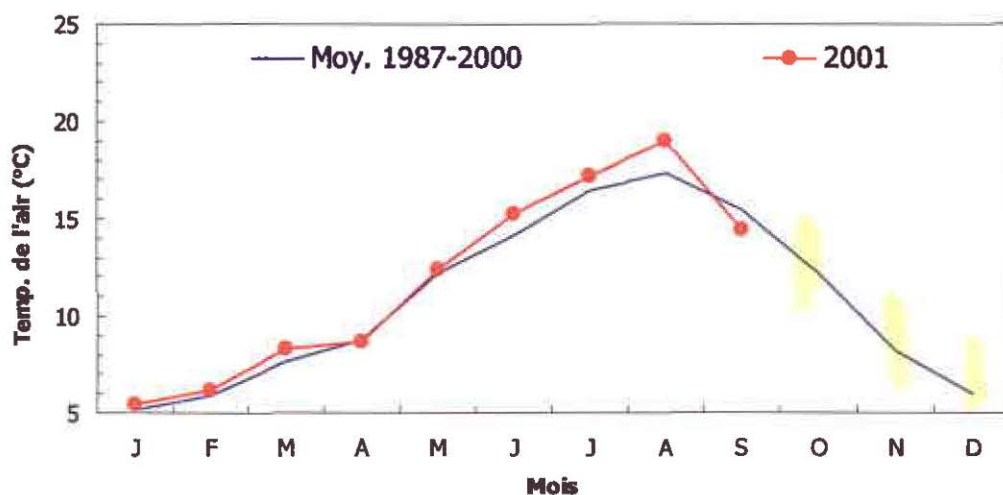


Figure 4 : Température moyenne mensuelle de l'air à Fécamp en 2001 et sur la période 1987-2000 (données Météo France)

La figure 4 montre que durant les huit premiers mois de l'année 2001, la température de l'air était déjà en moyenne de 0,60°C supérieure à la moyenne annuelle établie sur les 14 dernières années (données Météo France). En outre, il existe une corrélation significative entre la température de l'air précitée et celle de l'eau mesurée (données EDF) au niveau du canal d'amenée (cf. figure 5).

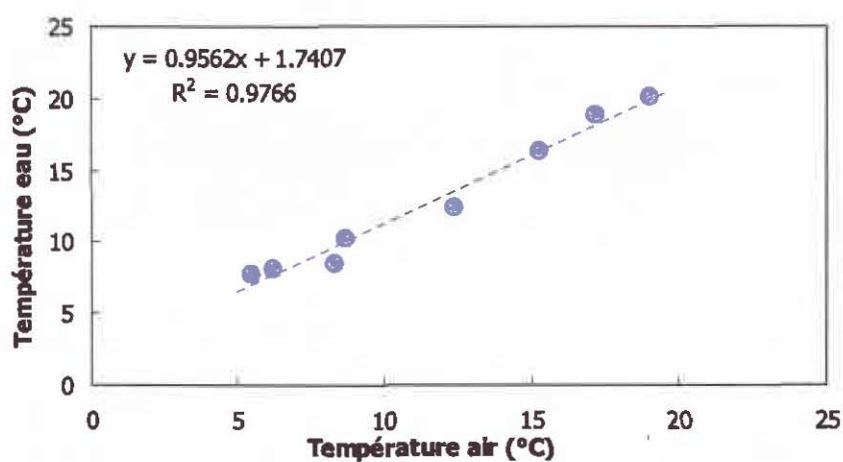


Figure 5 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau du canal d'amenée (données EDF) en fonction de celle de l'air (données Météo France)

Les températures élevées de l'eau mesurées en été et au début de l'automne s'expliquent donc par des températures élevées dans l'air enregistrées cette année. L'augmentation relativement importante de la température de l'eau en 2001 ne semble donc pas imputable à la centrale via ses rejets d'eau échauffée.

2.2.1.2. Variations spatiales et taux de dilution

En 2001 les températures sont similaires au printemps en surface à la station « canal » et sur l'ensemble de la colonne d'eau à la station « référence ». En été et en automne, elles sont sensiblement plus faibles en surface à la station « canal » qu'à la station « référence ». En outre à cette dernière station, la température de l'eau à mi-profondeur est également plus faible qu'en surface. Ceci peut s'expliquer par la mise en place d'une légère stratification de la colonne d'eau.

Au point « rejet », la température est supérieure à celles observées aux autres stations. Les différences entre les points « rejet » et « canal » ainsi qu'entre « rejet » et « référence » ont été en moyenne de 1,90 et 1,64°C respectivement. La figure 6 présente une superposition des variations de température aux différentes stations sur les 13 dernières années.

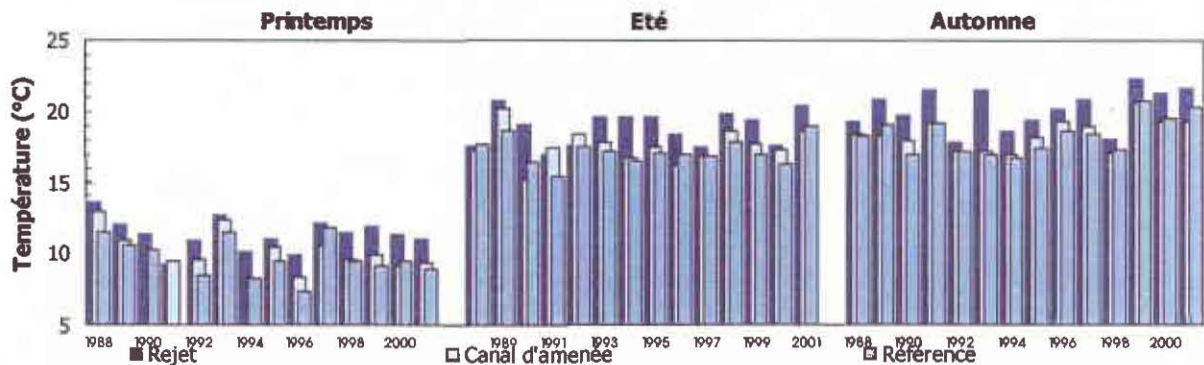


Figure 6 : Comparaison des températures aux différentes stations

Cette figure montre clairement l'influence thermique de la centrale au point « rejet ». L'écart de température entre le point « rejet » et le point « canal » est variable. Cette variabilité dépend en grande partie de la proportion d'eau échauffée constituant le prélèvement au point « rejet ». Cette proportion peut être calculée d'après la formule suivante :

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

π représente la proportion d'eau échauffée. $t^{\circ}\text{Rejet}$, $t^{\circ}\text{Canal}$ et $t^{\circ}\text{SC}$ représentent respectivement les températures au point « rejet », au point « canal » et à la sortie du condensateur (données EDF).



Le dénominateur de l'équation (1) représente la différence de température entre l'eau échauffée et l'eau du milieu récepteur. Cette différence n'excède théoriquement pas plus de 15°C (Malherbe et Manoha, 1977). Les proportions d'eau échauffée, ainsi que les taux de dilution qui en découlent sont répertoriés dans le tableau 3.

%	AVRIL	JUILLET	SEPTEMBRE
PROP. D'EAU ECHAUFFEE π	11	11	16
TAUX DE DILUTION ($1-\pi$)	89	89	84

Tableau 3 : Proportion d'eau échauffée et taux de dilution dans les prélèvements réalisés au point « rejet »

Les proportions d'eau échauffée dans les prélèvements réalisés au point « rejet » sont de 11% en avril, 11% en juillet et de 16% en septembre. Ceci correspond à des taux de dilution de 89% lors de la campagne de printemps et d'été ainsi que de 84% lors de celle d'automne. Les taux de dilution pour l'année 2001 sont du même ordre de grandeur que ceux observés depuis 13 ans (88% en moyenne). Le taux de dilution plus faible observé en automne s'explique sans doute par un échantillonnage réalisé plus proche du rejet en raison de conditions de mer plus clémentes.

2.2.1.3. Approche statistique et impact du rejet

Le tableau 4 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur la température. L'étude statistique indique clairement que la température de l'eau de mer à la station « rejet » a été significativement différente (au seuil de 5%) de celles des autres stations entre 1988 et 2001. Ce résultat confirme l'existence d'un impact thermique significatif permanent au « rejet ».

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,0001	0,0023	0,0001
REFERENCE / REJET	0,0001	0,0001	0,0001
CANAL / REFERENCE	0,0520	0,1236	0,5447

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

Tableau 4 : « $p\text{-value}$ » des tests statistiques sur la température

En outre, l'étude statistique montre aussi qu'il n'existe pas de différence significative de température entre les points « canal » et « référence » tout au long de l'année.



2.2.2. Salinité

La figure 9 présente les variations de salinité depuis 1988 aux différentes stations « canal », « rejet » et « référence ».

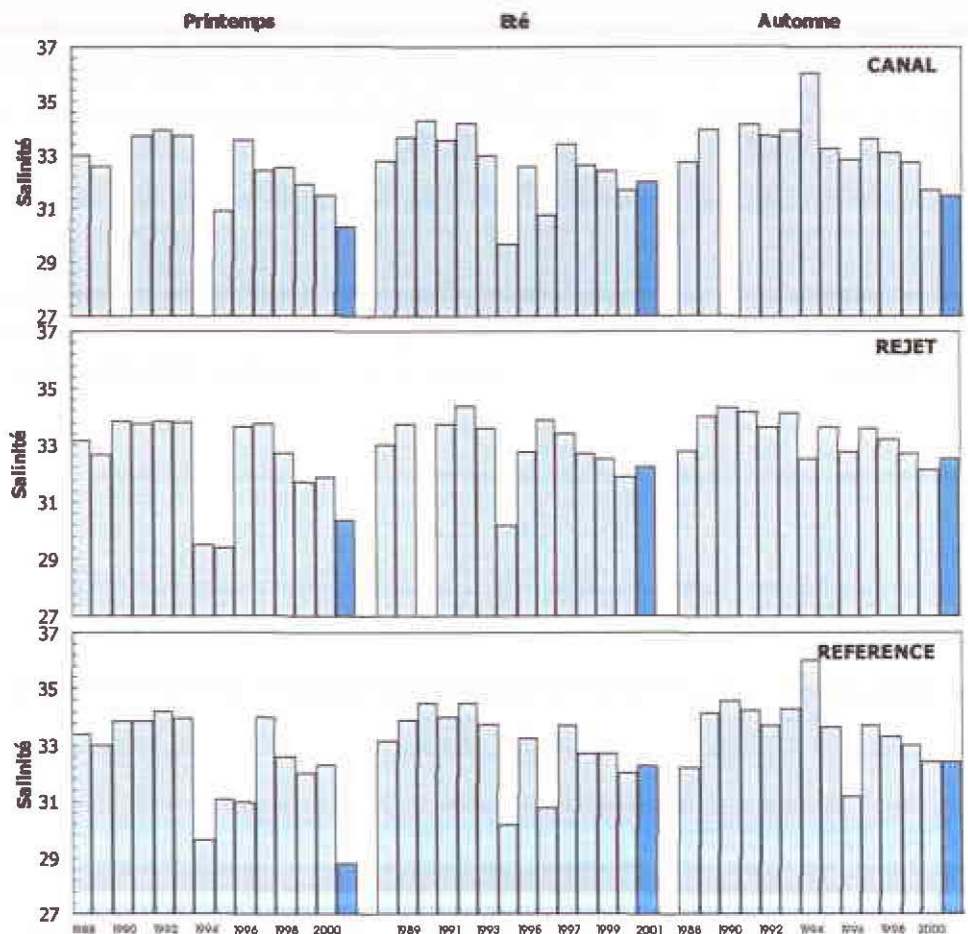


Figure 7 : Salinité (surface) sur la période 1988-2001

2.2.2.1. Variations inter-annuelles

Les salinités mesurées en 2001 aux différentes stations ont été comprises entre 30,3 et 32,0 au « canal », entre 30,4 et 32,5 au « rejet » et entre 28,8 et 32,9 à la « référence ». Au printemps, en été et en automne, elles sont relativement faibles par rapport à celles observées lors de campagnes précédentes. Néanmoins, des salinités du même ordre ont déjà été observées dans ce secteur par Brylinski *et al.* (1991) qui constataient une apparente accumulation d'eaux déssalées au large du pays de Caux. Les faibles salinités tout au moins au printemps et en automne s'expliquent par des précipitations importantes (cf. figure 10, données Météo France). En particulier au mois de mars 2001, les précipitations ont été les plus fortes enregistrées depuis 1972. Au début de l'automne, elles sont supérieures à la moyenne établie sur la période 1972-2000.



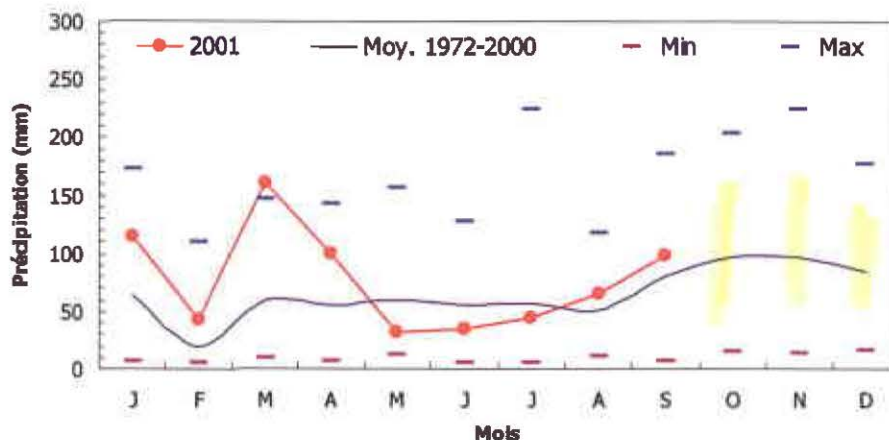


Figure 8 : Précipitations moyennes mensuelles à Fécamp en 2001 et sur la période 1972-2000

En été, les précipitations ont été faibles, mais les débits des rivières sont restés élevés expliquant ainsi les faibles salinités observées en période estivale. A titre d'exemple, le débit journalier de la Seine (à Poses) est présenté sur la figure 11. Le débit journalier en été est nettement supérieur à la moyenne calculée sur la période 1941-1999.

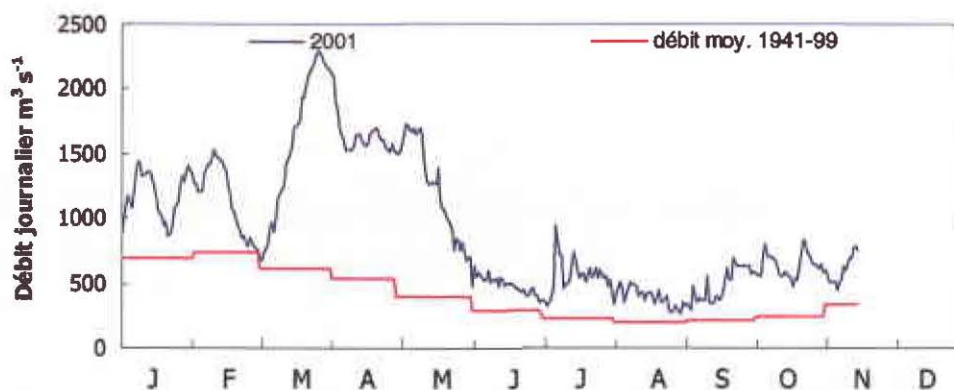


Figure 9 : Débit de la Seine à Poses en 2001 et moyenne mensuelle sur la période 1941-1999

L'influence de la pluviométrie sur la salinité est donc importante. Par ailleurs, elle est accentuée par un hydrodynamisme particulier dans ce secteur de la Manche Orientale. 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.



2.2.2.2. Variations spatiales

En 2001 au printemps, le point « référence » présente des salinités plus faibles qu'aux deux autres stations. En été et en automne, les stations sont caractérisées par un gradient de salinité croissant côte large. Durant toute l'année, les salinités sont similaires en surface et à mi-profondeur de la colonne d'eau. La figure 12 présente une superposition des variations de salinité aux stations « canal », « rejet » et « référence » sur la période 1988-2001. Malgré quelques exceptions en 1996 et en 2001 au printemps, la figure montre bien que les salinités sont proches aux différentes stations.

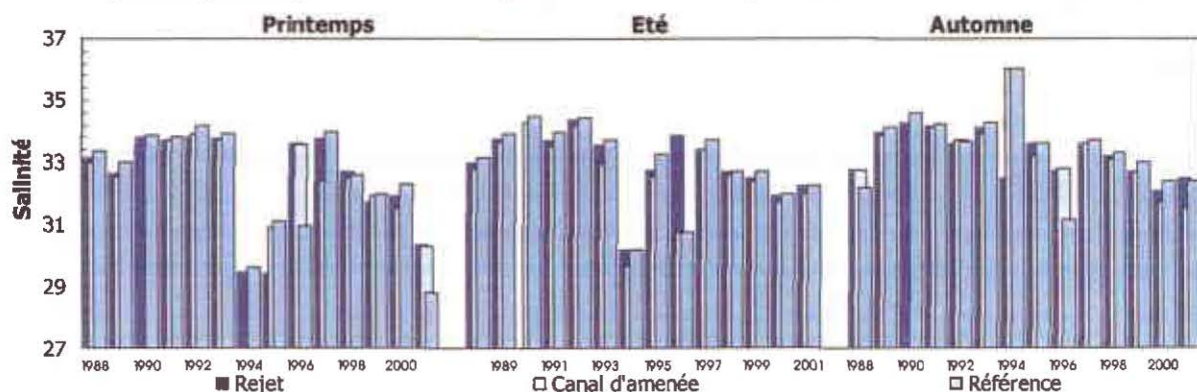


Figure 10 : Comparaison des salinités aux différentes stations

2.2.2.3. Approche statistique et impact de la centrale

Le tableau 5 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur les salinités observées depuis 1988 aux différentes stations.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,7892	0,0783	0,7104
REFERENCE / REJET	0,9221	0,7221	0,5007
CANAL / REFERENCE	0,9937	0,0000	0,6492

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

Tableau 5 : « $p\text{-value}$ » des tests statistiques sur la salinité

Si l'on fait exception de la comparaison « canal / référence » en été, les tests statistiques indiquent qu'il n'existe pas de différence significative de salinité entre les stations tout au long de l'année. Ceci suggère que la centrale n'est soumise qu'à une influence majeure en terme d'apport d'eau douce. En effet, en raison de courant résiduel portant au nord-est, la zone est affectée par une dérive des eaux issues de la baie de Seine. L'influence des eaux issues du petit fleuve côtier « Le Durdent » caractérisé par un faible débit irrégulier et qui se jette à l'ouest du site ainsi que l'influence des apports d'eau douce au niveau de Fécamp semble très limitée.

L'absence de différence entre les stations écarte alors l'hypothèse d'un impact de la centrale en terme de dessalure. Il faut toutefois rappeler que la centrale représente une source d'eau douce via les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, des circuits secondaires ainsi que des circuits annexes pour le refroidissement des



auxiliaires de l'îlot nucléaire. Les rejets représentent un volume d'environ 100000 m³ par an et par tranche (cf. Rapport annuel de surveillance de l'environnement ; EDF). 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 15 10³. Toutefois, ce facteur de dilution est probablement minoré, puisque les effluents d'eau douce ne sont pas diffus, mais font l'objet de rejets ponctuels au cours de l'année fonction des vidanges et des opérations de maintenance.

2.2.3. Ammonium

Les variations de concentration en ammonium aux différentes stations depuis 1988 sont présentées sur la figure 13.

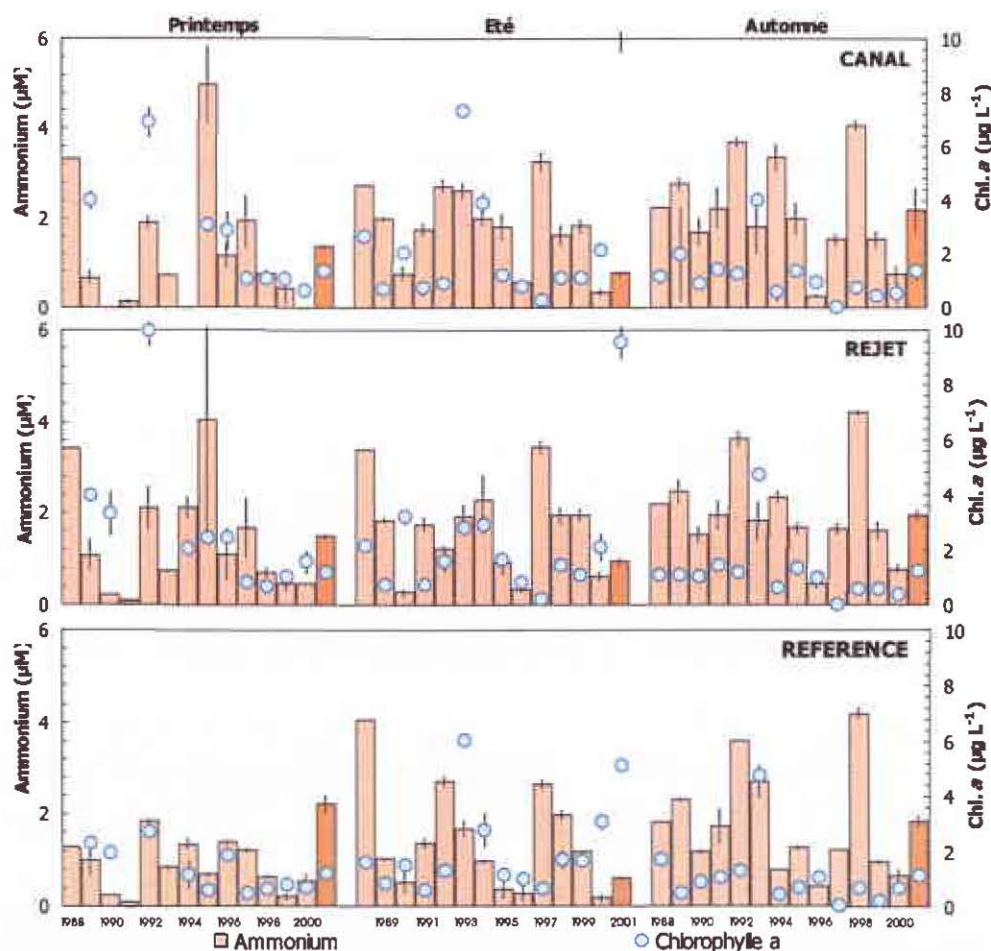


Figure 11 : Ammonium et chlorophylle a (en surface) sur la période 1988-2001

2.2.3.1. Variations inter-annuelles

En 2001, les teneurs en ammonium ont varié au cours des campagnes de 0,76 à 2,18 μM au point « canal », de 0,94 à 1,95 μM au point « rejet » et de 0,61 à 2,23 μM au point « référence ». Les variations des teneurs sont similaires aux différentes stations. Au printemps, les teneurs sont relativement élevées. En été, les concentrations diminuent et deviennent minimales. Au vu des teneurs en chlorophylle *a*, cette diminution résulte vraisemblablement de processus d'assimilation. Enfin en automne, les teneurs en ammonium sont à nouveau élevées. L'accumulation dans la colonne d'eau est vraisemblablement liée à l'existence de processus de reminéralisation et d'excrétion des niveaux trophiques supérieurs.

2.2.3.2. Variations spatiales

En 2001, quelques différences spatiales existent entre les quatre stations. En particulier au printemps, les concentrations en ammonium sont légèrement plus faibles à la station « référence » en raison d'une dessalure sensiblement plus marquée. Par ailleurs à cette station, les teneurs sont similaires en surface et à mi-profondeur toute l'année. Finalement, les différences spatiales sont relativement minimes, puisque les concentrations restent toujours du même ordre de grandeur. La comparaison des concentrations entre les points « rejet », « canal » et « référence » est présentée sur la figure 14.

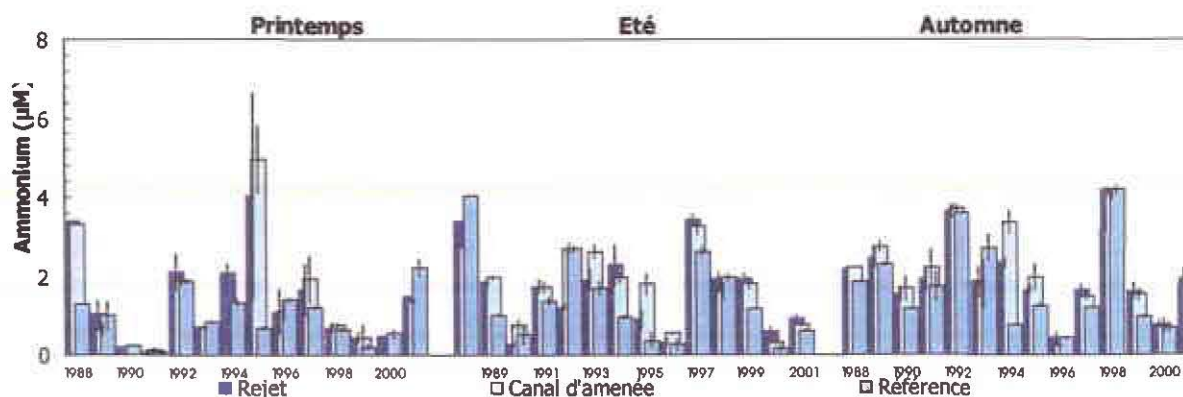


Figure 12 : Comparaison des teneurs en ammonium aux différentes stations

2.2.3.3. Approche statistique et impact de la centrale

Les tests relatifs à l'étude statistique des teneurs en ammonium depuis 1988 à Paluel sont présentés dans le tableau 6.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,6446	0,0385	0,1479
REFERENCE / REJET	0,1584	0,2424	0,0993
CANAL / REFERENCE	0,2483	0,0643	0,0886

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

Tableau 6 : « $p\text{-value}$ » des tests statistiques sur l'ammonium

Les résultats montrent que les teneurs en ammonium ne sont significativement pas différentes entre les stations toute au long de l'année excepté entre le « canal » et le « rejet » en été. Ceci s'explique simplement par le fait les stations échantillonnées semblent subir l'influence d'une seule et même masse d'eau (cf. tests statistiques relatifs à la salinité). De ce fait, les teneurs sont similaires aux différentes stations.

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 T an⁻¹ (en 2001 ; données EDF). L'absence de différence significative de la teneur en ammonium entre les stations indique que ces rejets ne sont pas détectables. Aucun impact de la centrale sur les concentrations en ammonium dans le milieu récepteur ne peut donc être mis en évidence.

Toutefois, il faut souligner que les vidanges occasionnant les rejets sont ponctuelles. La stratégie d'étude peut donc ne pas les détecter. En outre, bien que le nombre de campagnes dont nous disposons soit peu adapté à l'étude des cycles annuels, il semble que les teneurs en ammonium présentent des variations saisonnières classiques. Ce constat suggère également que la centrale n'engendre pas de perturbation notable sur le cycle de ce nutriment.



2.2.4. Nitrate et nitrite

2.2.4.1. Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en composé azoté (nitrate + nitrite) sur la période 1988-2001 sont présentées sur la figure 15.

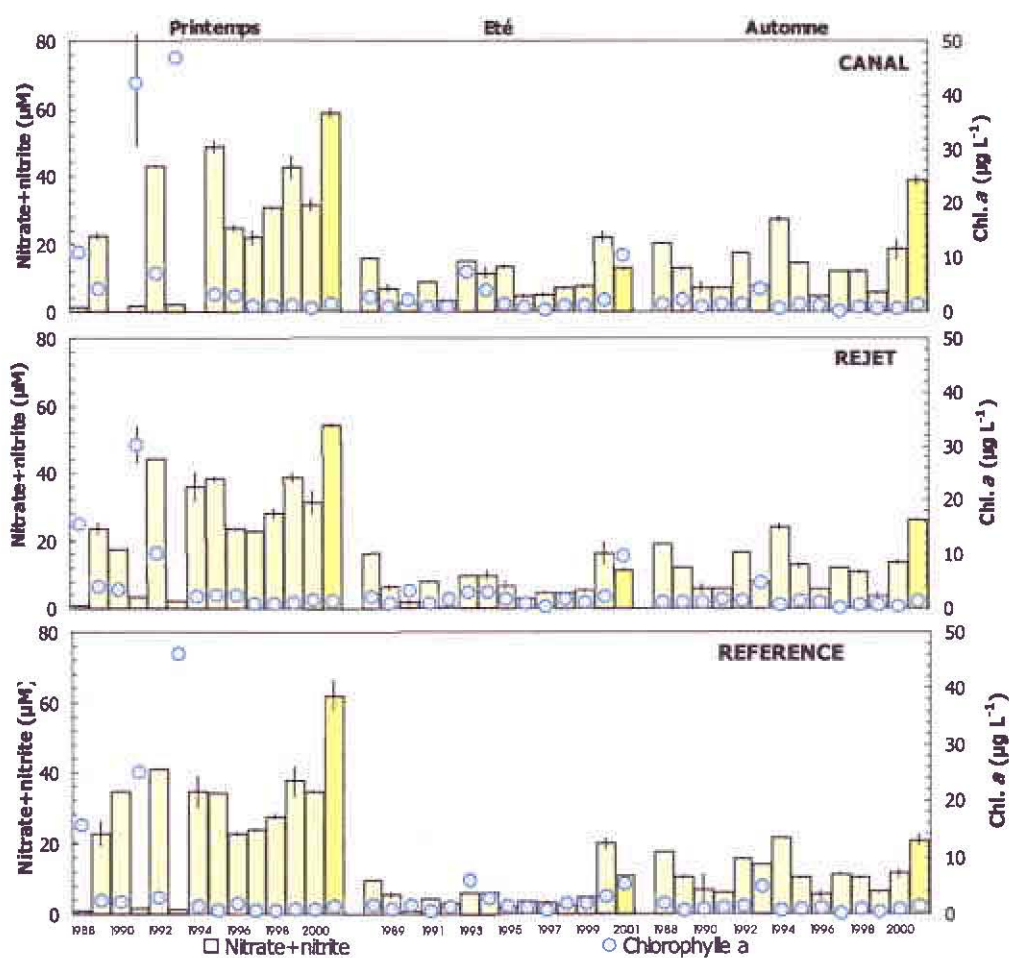


Figure 13: Nitrate et chlorophylle a (surface) sur la période 1988-2001

Les teneurs en nitrate mesurées au cours des campagne de surveillance 2001 ont été comprises entre 12,2 et 57,9 μM au « canal », entre 10,8 et 53,3 μM au « rejet » et entre 8,5 et 62,0 μM à la « référence ». Les concentrations en nitrite ont varié de 0,52 à 0,72 μM au « canal », de 0,49 à 0,68 μM au « rejet » et de 0,47 à 0,99 μM à la « référence ». Les teneurs en nitrite représentent en moyenne moins de 3% des teneurs en nitrate. En outre, les concentrations en nitrate et en nitrite présentent des variations similaires lors des campagne 2001. Au printemps, les teneurs sont élevées. Les teneurs observées en 2001 sont les plus fortes depuis 1988. Elles coïncident avec les plus faibles salinités (≈ 30) mesurées sur la même période, traduisant ainsi l'influence des apports telluriques.

L'été est caractérisé par une forte chute des concentrations. Cependant, celles-ci restent nettement supérieures à $10 \mu\text{M}$ pour des salinités inférieures à 33.

La diminution rapide de ces nutriments est vraisemblablement causée par le développement printanier du phytoplancton. En automne, les teneurs augmentent traduisant le renouvellement du stock hivernal probablement sous l'effet des processus de nitrification et mais peut être aussi sous l'effet des apports liés au fleuve côtier.

2.2.4.2. Variations spatiales

En 2001, les teneurs présentent certaines différences entre les stations. Au printemps, les concentrations sont plus élevées à la station « référence » par rapport aux deux autres stations. Ce résultat est lié à la dessalure plus importante observée à cette station. Durant le reste de l'année, les teneurs sont caractérisées par un gradient côte large particulièrement marqué en automne. Ce type de résultat est généralement observé lors des campagnes de surveillance des années précédentes.

Au point « référence », les teneurs sont similaires à la surface et à mi-profondeur toute l'année. Une comparaison des concentrations en nitrate+nitrite aux différentes stations est présentée sur la figure 16 pour la période 1988-2001.

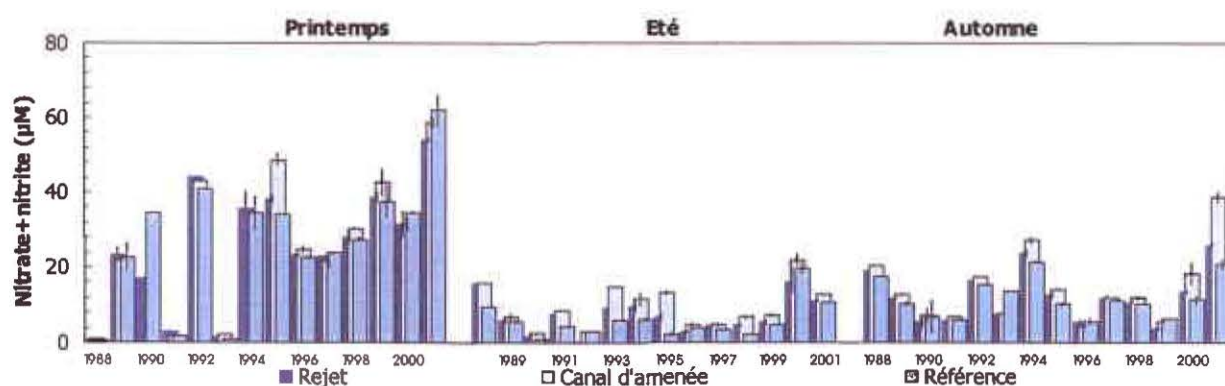


Figure 14 : Comparaison des teneurs en nitrate et nitrite aux différentes stations

L'examen de la figure indique que les principales différences de teneurs entre les stations se produisent plutôt en été et en automne. En outre, lorsqu'il y a des différences, le gradient de concentration côte large est généralement observé.

2.2.4.3. Approche statistique et impact de la centrale

Le tableau 7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour les nitrate et nitrite entre 1988 et 2001.

		COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
NITRATE + NITRITE		CANAL / REJET	0,1519	0,0001	0,0080
		REFERENCE / REJET	0,4905	0,0004	0,6883
		CANAL / REFERENCE	0,2611	0,0590	0,0815

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

Tableau 7 : « $p\text{-value}$ » des tests statistiques réalisés sur les nitrate et nitrite

L'ensemble des résultats statistiques indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois stations au printemps. En été, des différences significatives de concentrations ont été mises en évidence entre les stations « canal », « rejet » et « référence ». En automne, les différences significatives concernent les stations « canal » et « rejet ». Ces différences pourraient être liées au gradient côte large relativement marqué en été et en automne.

Finalement, les variations de teneurs en 2001 sont a priori caractéristiques d'un cycle saisonnier classique pour les nitrate + nitrite. En outre, les tests statistiques montrent qu'il n'y a des différences significatives de concentrations qu'en été et en automne aux différentes stations. Ces différences sont vraisemblablement associées au gradient côte large généré par le régime marégraphique particulier de la Manche Orientale qui freine la dispersion vers le large des apports continentaux.

La centrale semble n'avoir d'impact ni sur le cycle annuel, ni sur les teneurs de ces sels nutritifs.

2.2.5. Matières En Suspensions (MES)

Les variations des teneurs en MES aux différentes stations depuis 1988 sont présentées sur la figure 17.



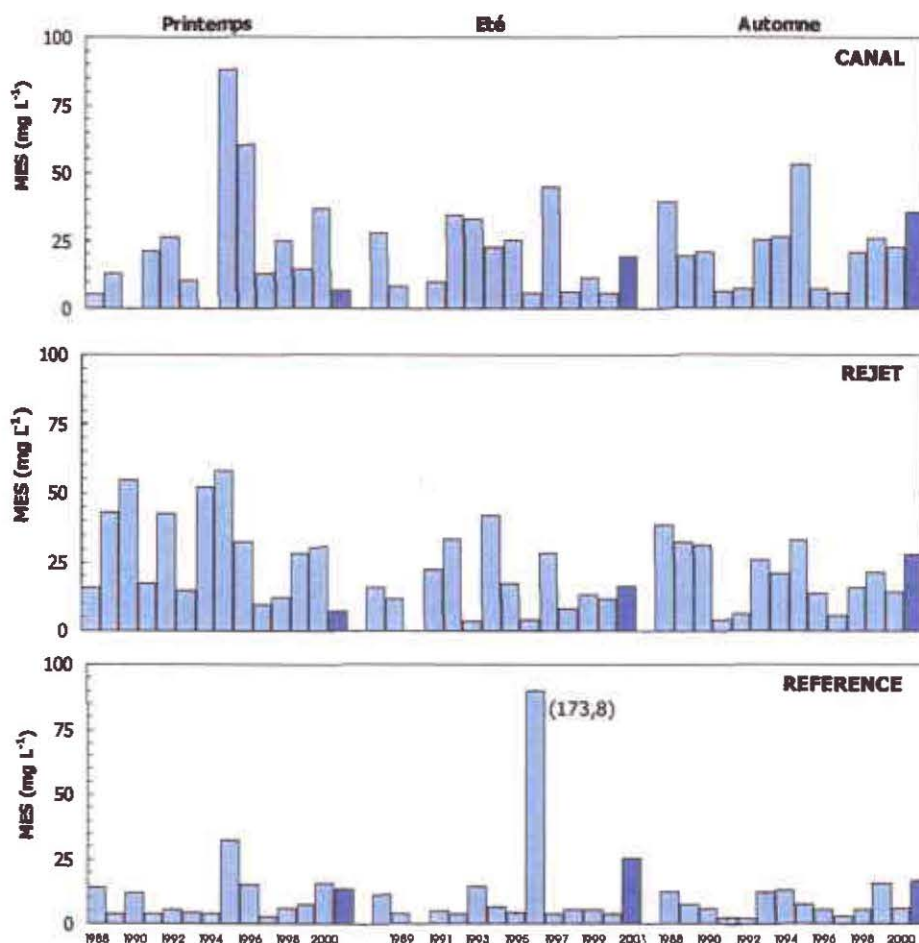


Figure 15 : MES (en surface) sur la période 1988-2001

2.2.5.1. Variations inter-annuelles

En 2001, les teneurs en MES ont varié au cours des campagnes de 7,2 à 31,5 mg L⁻¹ au point « canal », de 7,1 à 27,9 mg L⁻¹ au point « rejet » et de 9,2 à 25,2 mg L⁻¹ au point « référence ».

Aux stations « canal » et « rejet », les teneurs en MES ont plutôt tendance à augmenter au cours de l'année. Au point « référence », la teneur en MES augmente sensiblement en été et elle diminue ensuite en automne. Comparées aux autres années, les teneurs s'inscrivent généralement dans les gammes de variations observées.

Les variations de la teneur en MES sont principalement causées par :

- une activité phytoplanctonique importante,
- l'action des courants sur le fond (courant de marée alternatif) entraînant des remises en suspensions plus ou moins importantes en fonction de la nature du sédiment,
- une nette diminution du mélange en raison de la structure hydrologique particulière de la colonne d'eau (présence du « fleuve côtier »),



De fait, les mesures en MES sont généralement caractérisées par une grande variabilité au cours du temps comme en témoigne la figure 17. La fréquence de mesures pour la surveillance du site nucléaire de Paluel n'est pas assez élevée pour permettre une interprétation de ces variations.

2.2.5.2. Variations spatiales

Compte tenu de la forte variabilité de ce paramètre, des variations spatiales existent entre les trois stations et particulièrement durant les saisons printanière et automnale. Au printemps en surface de la colonne d'eau, les teneurs en MES sont environ deux fois plus élevées à la « référence » qu'aux deux autres stations. En automne, les stations sont caractérisées par des teneurs décroissantes de la côte (« canal ») vers le large (« référence »). A cette dernière station, la concentration en MES est toujours plus forte en surface qu'au fond. La comparaison des teneurs en MES entre les stations « rejet », « canal » et « référence » est présentée sur la figure 18.

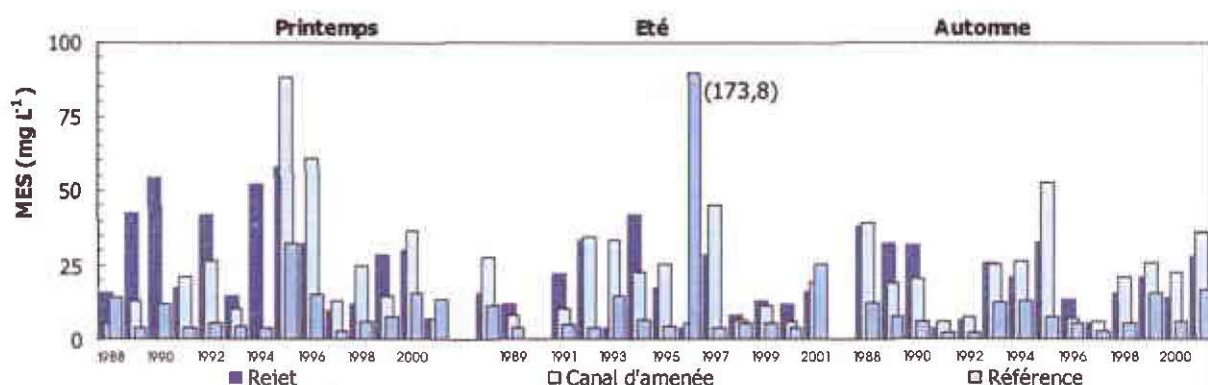


Figure 16 : Comparaison des teneurs en MES aux différentes stations

2.2.5.3. Approche statistique et impact de la centrale

Les tests relatifs à l'étude statistique des teneurs en MES depuis 1988 à Paluel sont présentés dans le tableau 8.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,9697	0,5483	0,4414
REFERENCE / REJET	0,0006	0,1909	0,0002
CANAL / REFERENCE	0,0068	0,0574	0,0004

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

Tableau 8 : « p -value » des tests statistiques relatif au MES

Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence significative de concentration en MES entre les stations « canal » et « rejet » tout au long de l'année. Ils indiquent également que lors de la période estivale, il n'existe pas de différence significative entre les stations.



Compte tenu de la variabilité très importante de ce paramètre et du faible nombre de données, il est difficile d'expliquer précisément l'existence ou l'absence des différences observées. Toutefois deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces résultats. Les stations « canal » et « rejet » sont relativement proches l'une de l'autre et peuvent donc être caractérisées par des teneurs en MES similaires. En été, la relative stabilité des eaux en raison des conditions climatiques clémentes pourrait également engendrer des concentrations du même ordre de grandeur aux différentes stations.

Finalement, les résultats de surveillance 2001 et l'étude statistique réalisée sur les années précédentes peuvent simplement établir le constat selon lequel aucune teneur anormale en MES n'a été observée. Ce constat suggère que la centrale n'engendre pas de perturbation notable sur les teneurs en MES. Cependant, compte tenu de la variabilité très importante de ce paramètre, des mesures supplémentaires seraient nécessaires pour appréhender la gamme de variation de la concentration en MES au cours du cycle saisonnier.

2.3. Conclusion

Les résultats du programme de surveillance 2001 du site de Paluel indiquent que les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau étaient atypiques cette année sur deux points en raison des conditions climatiques.

Premièrement en raison de précipitations élevées qui ont engendré des débits de rivières exceptionnels, les plus faibles salinités ont été observées depuis 1988. Il en a résulté des teneurs en sels nutritifs relativement élevées par rapport aux données acquises précédemment dans le cadre du programme IGA. En outre dans ce secteur de la Manche orientale, les courants de marée parallèles à la côte constituent une entrave au mélange de ces eaux douces avec les eaux océaniques. Cela crée 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.

Deuxièmement, le réchauffement estival de la colonne d'eau a été important, conduisant à des températures parmi les plus fortes enregistrées depuis 1988. Malgré ces conditions climatiques exceptionnelles, les paramètres hydrologiques mesurés lors des campagnes 2001 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 suite à l'augmentation de la température de l'eau et de l'insolation, suivi durant l'automne de processus de régénération.



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 10.

<i>COMPARAISON</i>	<i>PRINTEMPS</i>	<i>ETE</i>	<i>AUTOMNE</i>
CANAL / REJET	Température	Température Nitrate+Nitrite	Température Nitrate+Nitrite
REFERENCE / REJET	Température --- MES	Température Nitrate+Nitrite	Température --- MES
CANAL / REFERENCE	--- MES	Salinité ---	--- MES

Tableau 9 : Récapitulatif des paramètres présentant des différences significatives

Cette étude a révélé que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au « rejet » qu'aux autres stations. Cependant, les mesures indiquent que l'impact thermique est relativement réduit. En effet, les échantillons prélevés aux abords des rejets (environ 20 m) présentent des taux de dilution importants (près de 90% en moyenne depuis 1988).

Par ailleurs, la modélisation du rejet d'eau échauffée montre que d'une part l'évolution de la tâche thermique dépend faiblement des courants de marée et que d'autre part cette tâche reste localisée autour de la centrale.

Les autres paramètres (salinité, sels nutritifs et MES) présentent très peu de différences significatives entre les stations. Les données de surveillance n'ont pas permis de déceler d'anomalie dans le cycle saisonnier de ces paramètres hydrologiques.

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). Cependant, la stratégie d'échantillonnage mise en place est inadéquate pour conclure précisément. La détection d'éventuels dysfonctionnements au niveau du cycle saisonnier nécessiterait certainement un nombre de campagnes plus important au cours de l'année dans ce secteur où les apports continentaux peuvent parfois masquer l'empreinte des processus biologiques. Par ailleurs, les rejets de substances chimiques (ammoniaque en particulier) inhérentes au bon fonctionnement de la centrale sont probablement ponctuels et peuvent donc aussi ne pas être détectés en raison de la fréquence des prélèvements de surveillance.



Bibliographie

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

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

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

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



3. La microbiologie

Rapport Laurence DOROBISZ
Laboratoire Départemental de Rouen.



3.1. Introduction

La surveillance microbiologique du site de PALUEL a été effectuée en 2001 à partir des prélèvements réalisés lors des 3 sorties du **3 avril 2001, 4 juillet 2001 et 8 Septembre 2001. (24 prélèvements pour les déterminations microbiologiques et 12 prélèvements pour le dosage des bromoformes et du chloroforme).**

3.2. Matériel - Méthodes d'analyses - Déterminations

Le matériel de prélèvements et les méthodes d'analyses restent inchangés.

3.2.1. Prélèvements

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

3.2.2. Analyses microbiologiques

3.2.2.1. Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

- stabilisation de l'échantillon au moment du prélèvement par du formol dépoussiéré afin de limiter la multiplication des bactéries.
- filtration sur membrane en polycarbonate 0,2 µm teintée au laboratoire avec de l'Irgalan black.
- coloration à l'acridine orange 1/30 000ème.
- observation de la membrane sous UV en lumière réfléchie

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

3.2.2.2. Dénombrement des germes aérobies revivifiables sur milieu Zobell

- après étalement au râteau sur milieu de Zobell, le dénombrement s'effectue après incubation à 20° C pendant 11 jours.

3.2.2.3. Recherche de vibrio-halophiles

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

- filtration de 1l d'eau de mer sur une membrane 0,45µm
- enrichissement 24H sur milieu Akyama à 37 °C
- isolement sur gélose TCBS 18H à 37°C
- repiquage sur milieu kligler 18H à 37°C
- identification par tests biochimiques (galerie API 20 NE) et vibrio-statiques (test 0129)



3.2.2.4. Dénombrement des vibrio-halophiles

Méthode NPP en 3 tubes

- milieu Akyama double et simple concentration, incubation 24H à 37°C
- isolement sur gélose TCBS 18H à 37°C
- repiquage sur milieu Kligler 18H à 37°C
- test vibrio-statiques (tests O129)
- identification par tests biochimiques (galerie API 20 NE)

3.2.3. Dosage des organo-halogénés volatils

- Bromoforme
- Dibromomonochlorométhane
- Dichloromonobromométhane
- Chloroforme

3.2.4. Dosage du Bore

L'acide borique (H_3BO_3) fait partie des produits de conditionnement qui, ajouté à l'eau déminéralisée, permet aux circuits d'eau de la Centrale de répondre aux spécifications chimiques.

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) se fait par l'intermédiaire des effluents radioactifs liquides en conformité aux normes fixées par la réglementation.

Dans le cadre des nouvelles dispositions prises par l'arrêté ministériel, 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 250ml. Ils sont conservés en glacière jusqu'au laboratoire.

Les analyses sont réalisées par ICP - optique à 249,773nm de longueur d'onde. Les résultats sont exprimés en mg/l de Bore (B).



	Prélèvements PRINTEMPS	Prélèvements ETE	Prélèvements AUTOMNE
AMENEE (moyenne de 2 prélèvements)	1,25 . 10 ⁵	1,06 . 10 ⁵	1,17 . 10 ⁵
REJET (moyenne de 2 prélèvements)	1,50 . 10 ⁵	1,12 . 10 ⁵	1,16 . 10 ⁵
REFERENCE (moyenne de 4 prélèvements)	1,10 . 10 ⁵	1,67 . 10 ⁵	1,10 . 10 ⁵

Tableau 3.1 : Site de PALUEL - Campagne 2001
Germes totaux en épifluorescence / ml

	Prélèvements PRINTEMPS	Prélèvements ETE	Prélèvements AUTOMNE
AMENEE (moyenne de 2 prélèvements)	780	423	563
REJET (moyenne de 2 prélèvements)	345	300	283
REFERENCE (moyenne de 4 prélèvements)	Pas d'eau	561	241

Tableau 3.2 : Site de PALUEL - Campagne 2001
Germes revivifiables sur milieu Zobell / ml



3.3. Résultats et commentaires

3.3.1. Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

Le nombre de germes totaux par ml comptés en épifluorescence varie de $1,06.10^5$ (amenée en été 2001) à $1,67.10^5$ (référence en été 2001).

Le nombre de germes totaux contenus dans l'eau de mer est le même au large et aux abords immédiats de la centrale de Paluel.

Il n'y a pas de différence significative entre le canal d'amenée et le canal de rejet des eaux de refroidissement de la centrale.

Au cours de l'année 2001, le nombre de germes totaux dénombrés par épifluorescence reste toujours du même ordre de grandeur, quelle que soit la saison.

Le nombre de germes totaux dénombrés par épifluorescence en 2001 est du même ordre de grandeur que celui de l'année 2000.

3.3.2. Dénombrement des germes aérobies viables sur Milieu Zobell

Les comptages varient de **241 germes/ml** (référence en automne) à **780 germes/ml** (Amenée au printemps).

- ✓ Le nombre de **germes revivifiables** contenus dans les **eaux d'amenée** de la centrale de PALUEL est cette année **plus important** que celui des points référence et rejet sauf en été.
- ✓ Par rapport à l'année 2000 , le **nombre de germes dénombrés est du même ordre de grandeur quelle que soit la saison.**



	PRINTEMPS		ETE		AUTOMNE	
	Recherche/L	Nb/100ml	Recherche / L	Nb/100ml	Recherche / L	Nb/100ml
AMENÉE	Absence	< 3	Présence <i>V. vulnificus</i>	3,6	Présence <i>V.alginolyticus</i> <i>V.parahaemolyticus</i>	9,2
	Absence	< 3	Présence <i>V. vulnificus</i>	<3	Présence <i>V. alginolyticus</i> <i>V.parahaemolyticus</i>	9,2
REJET	Absence	< 3	Présence <i>V.alginolyticus</i>	<3	Absence	< 3
	Absence	< 3	Absence	<3	Présence <i>V.alginolyticus</i> <i>V.parahaemolyticus</i>	9,2
REFERENCE	Pas d'eau	Pas d'eau	Présence <i>V.alginolyticus</i>	23	Présence <i>V.alginolyticus</i>	< 3
	Pas d'eau	Pas d'eau	Présence <i>V.vulnificus</i>	23	Absence	<3
	Pas d'eau	Pas d'eau	Présence <i>V.alginolyticus</i>	23	Présence <i>V.alginolyticus</i> <i>V.parahaemolyticus</i>	< 3
	Pas d'eau	Pas d'eau	Présence <i>V.parahaemoly-ticus</i>	21	Présence <i>V.alginolyticus</i>	43

Tableau 3.3 : Site de PALUEL - Campagne 2001 Vibrio-halophiles



3.3.3. Recherche de vibrio-halophiles

- ✓ Présence de *Vibrio Halophile* du genre *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio vulnificus* et *Vibrio parahaemolyticus* en été et en automne.
- ✓ Il n'y a pas d'incidence de la centrale sur la présence de *Vibrio halophile* dans les eaux marines de proximité car ils sont retrouvés sur les trois points de prélèvements.
- ✓ Par rapport à l'année 2000 il faut noter l'absence cette année au printemps de *Vibrio halophiles*.

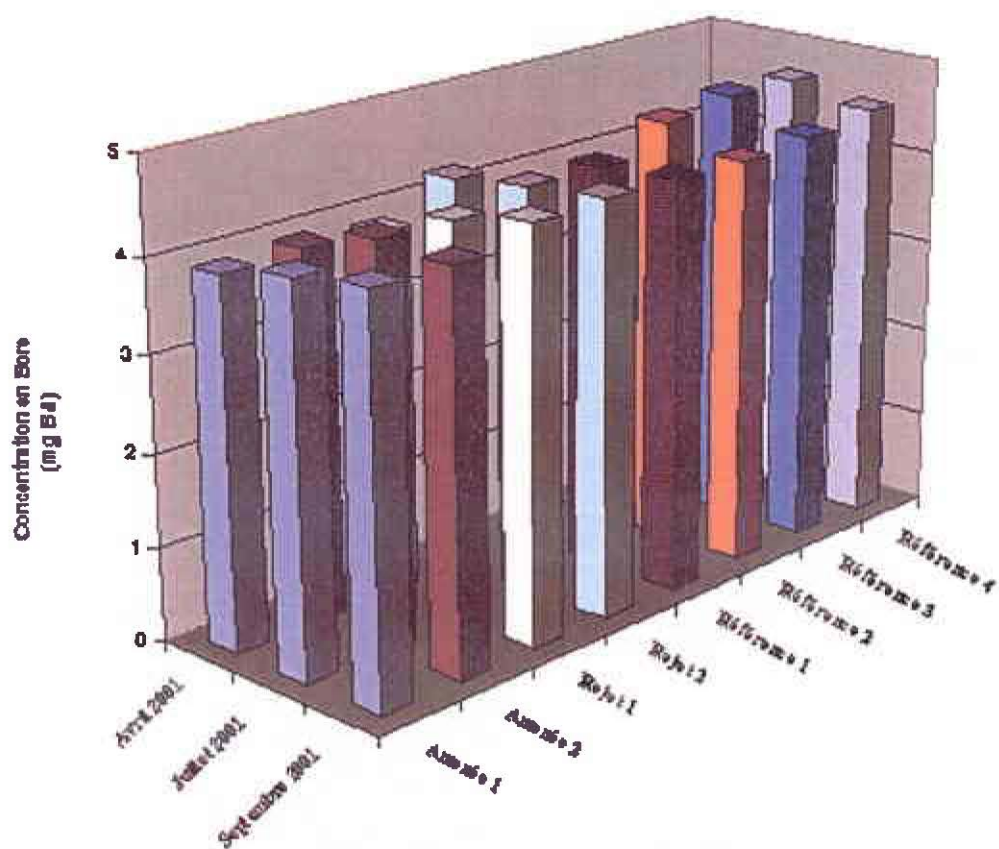
3.3.4. Dosage des organo-halogénés volatils

- ✓ En 2001 le seul organo-halogéné volatil retrouvé aux abords de la centrale de Paluel est le tribromométhane qui est retrouvé en été et en automne aux trois points de prélèvements.
- ✓ Les valeurs de tribromométhane des eaux de rejet de la centrale de PALUEL sont sensiblement les mêmes que celles obtenues en 2000.

		CH BR 3	CH BR 2 CL	CH BR CL 2	CH CL 3
AMENEE	Printemps	< 1	< 1	< 1	< 1
	Eté	2,3	< 1	< 1	< 1
	Automne	1,2	< 1	< 1	< 1
REJET	Printemps	< 1	< 1	< 1	< 1
	Eté	5	< 1	< 1	< 1
	Automne	2,4	< 1	< 1	< 1
REFERENCE	Printemps	<1	< 1	< 1	< 1
	Eté	2,5	< 1	< 1	< 1
	Automne	2,8	< 1	< 1	< 1

Tableau 3.4 : Site de PALUEL - Campagne 2001
Dosage des organo-halogénés volatils en µg/l





Graph. 3.1 : Résultats des analyses de brome

3.3.5. Dosage du bore (Graph. 3.1)

La composition normale d'acide borique dans l'eau de mer est de 25,6 mg/l, soit pour le bore d'environ 4mg/l.

Un essai interlaboratoire 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 g/l pour la répétabilité, et 0,18 g/l pour la reproductibilité.

Compte tenu de l'incertitude propre à la mesure, il n'y a pas de différence significative entre les valeurs observées aux 3 points de mesure quelle que soit la saison.

Ces valeurs correspondent à la teneur normale du bore dans l'eau de mer.

En l'absence d'une série à long terme sur ce paramètre, nous ne pouvons faire d'autres commentaires.

3.4. Conclusion

La surveillance microbiologique du site de la **centrale de Paluel** pendant **l'année 2001** donne les résultats suivants :

- ✓ Le **nombre de germes totaux** retrouvés dans l'eau de mer est le même au large et aux point amenée et rejet des eaux de refroidissement de la centrale. Ce résultat est identique à celui de la campagne 2000.
- ✓ Le **nombre de germes revivifiables** contenus dans les **eaux d'amenée de la centrale de PALUEL** est cette année **plus important** que celui des points référence et rejet. Ceci est particulièrement vrai au printemps et en automne. Par rapport à l'année 2000 , **le nombre de germes dénombrés reste du même ordre de grandeur.**
- ✓ Il y a présence cette année en été et en automne de **vibrio-halophiles du genre *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio vulnificus* et *Vibrio parahaemolyticus*** aux trois points de contrôle de l'environnement marin de la Centrale de PALUEL. En 2000 des vibrio halophiles du genre *Vibrio alginolyticus* avaient été retrouvés au printemps.
- ✓ Le dosage des **organo-halogénés volatils** montre la **présence de tribromométhane** aux trois points de contrôle des environs marins de la centrale de Paluel en été et en automne. Les valeurs de tribromométhane des eaux de rejet de la centrale de PALUEL sont sensiblement les mêmes que celles obtenues en 2000.



4. Le phytoplancton et la production primaire

Rapport

Hervé du BOULLAY (DEL/PB).

Prélèvements et Analyses

Frank MAHEUX (DEL/PB),
Olivier PIERRE-DUPLESSIX (DEL/PB),
Vincent Justome (DEL/PB),
Myriam Rumebe (DEL/SM).

Participation

Anne Daniel (DEL/PB),
Ronan Le Goff (DEL/PB),



4.1. Introduction

L'étude quantitative de l'activité photosynthétique de la population phytoplanctonique complétée par la détermination et le comptage des cellules, permet de suivre l'évolution des populations ainsi que l'influence de certains facteurs.

L'activité photosynthétique d'une population phytoplanctonique dépend de la quantité et de la qualité des pigments contenus dans les algues ainsi que de la quantité d'énergie lumineuse reçue. La biomasse du phytoplancton est souvent représentée par son taux de pigment actif qu'est la chlorophylle *a*.

Une population jeune en voie de développement produira une quantité importante de chlorophylle et à l'inverse, une population vieillissante verra son taux de pigment actif (phéopigment) augmenté du fait de la dégradation de la chlorophylle.

C'est ainsi que ce chapitre traitera des résultats quantitatifs et qualitatifs de l'étude de la population phytoplanctonique.

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.

4.2.1. Mesure de la chlorophylle

La quantité de chlorophylle est mesurée par la méthode de RICHARDS et THOMSON (1952) et normalisée par l'UNESCO (1966).

L'échantillon d'un litre est filtré à $0,45\mu$ aussitôt après le prélèvement sur membrane en fibre de verre type GF/C Whatman.

Les filtres sont ensuite congelés à l'obscurité jusqu'au dosage. L'extraction se fait par addition de 5ml d'acétone à 90% pendant 18 heures à l'obscurité. Après centrifugation à 7000 tours pendant 10mn, le surnageant est placé dans une cuve de trajet optique 1cm en vue de l'étude au spectrophotomètre. L'absorption est mesurée à différentes longueurs d'onde.



4.2.2. Mesure de la production primaire

La méthode de mesure de la production primaire a été conçue par STEEMAN NIELSEN et décrite en détail par BROUARDEL et RINK (1963). Elle consiste à mesurer la quantité de carbone 14 retenue par les organismes d'un échantillon d'eau de mer, pendant un laps de temps donné : une quantité connue de carbonate de sodium à atome de carbone radio-actif est introduite dans un échantillon d'eau de mer. Grâce à l'énergie lumineuse, les organismes photosynthétiques contenus dans l'échantillon assimilent le carbone pour élaborer leur matière organique (croissance, reproduction). Après un temps déterminé d'exposition à la lumière (incubation), l'échantillon est filtré. L'activité du C^{14} contenu dans les organismes retenus par le filtre est mesurée et comparée à l'activité du $NaH^{14}CO_3$ 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 C^{14} mesuré sur le filtre, ne correspond pas entièrement au carbone assimilé par photosynthèse. A ce dernier s'ajoute le carbone absorbé par processus physique ou par les bactéries. Pour estimer l'absorption du carbone par des phénomènes autres que la photosynthèse, un double échantillonnage est pratiqué : un échantillon est placé dans un flacon à parois claires et un autre, correspondant à des mêmes conditions de prélèvement, est placé dans un flacon à parois obscurcies. L'inoculation et l'incubation des deux sous-échantillons s'effectuent dans les mêmes conditions.

L'activité mesurée à partir du flacon obscur, est parfois retranchée de l'activité mesurée à partir du flacon clair pour apprécier la quantité nette de carbone incorporée par assimilation photosynthétique. Cependant, l'obscurité peut favoriser certains phénomènes comme par exemple le développement de bactéries sciaphiles ; il semble donc préférable de ne donner qu'à titre indicatif la quantité de carbone assimilée dans le flacon obscur, sans la soustraire de celle assimilée dans le flacon clair.

A Paluel, comme à Flamanville et Penly, les prélèvements sont effectués en surface et pour chaque station, deux flacons clairs sont remplis pour estimer la variabilité des mesures.



<i>(Valeurs moyennes ± écart type)</i>		CANAL D'AMENEE (n=4)	REJET (n=4)	REFERENCE	
				SURFACE (n=2)	-10 M (n=2)
4 Avril	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,34 ± 0,06	1,18 ± 0,27	1,18 ± 0,15	1,18 ± 0,15
	<i>Phaéopigments</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,98 ± 0,18	0,72 ± 0,12	0,32 ± 0,04	0,47 ± 0,04
	<i>Prod. Prim</i> ($\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$)	3,4 ± 0,8	3,5 ± 0,9	3,5 ± 0,1	3,6 ± 0,8
	<i>P / B</i>	2,53	2,96	2,96	3,05
	<i>μphytoplancton</i> (nbre L^{-1})	24600	13700	20300	illisible
4 Juillet	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	10,31 ± 0,89	9,53 ± 0,63	5,07 ± 0,07	9,99 ± 3,54
	<i>Phaéopigments</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	5,32 ± 0,75	5,36 ± 0,67	1,73 ± 0,55	7,51 ± 5,87
	<i>Prod. Prim</i> ($\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$)	19,8 ± 2,5	18,6 ± 3,2	11,5 ± 2,4	20,8 ± 5,5
	<i>P / B</i>	1,92	1,95	2,27	2,08
	<i>μphytoplancton</i> (nbre L^{-1})	66100	76000	51300	139200
8 Septembre	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,34 ± 0,33	1,20 ± 0,18	1,12 ± 0,07	0,96 ± 0,00
	<i>Phaéopigments</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	2,37 ± 0,99	1,55 ± 0,60	1,27 ± 0,18	1,10 ± 0,05
	<i>Prod. Prim</i> ($\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$)	3,6 ± 0,8	3,8 ± 0,6	3,0 ± 1,7	3,9 ± 0,8
	<i>P / B</i>	2,68	3,16	2,68	4,06
	<i>μphytoplancton</i> (nbre L^{-1})	illisible	illisible	illisible	illisible

Tableau 4.1 : Moyennes et écart type des paramètres phytoplanctoniques au droit du CNPE de Paluel en 2001

4.2.3. Etude systématique du phytoplancton

Les échantillons sont fixés au lugol à bord du bateau immédiatement après le prélèvement. Au laboratoire, 10ml de l'échantillon sont mis à décanter dans des cuves pendant 4 heures selon la technique d'UTERMOHL. La détermination et le comptage des espèces s'effectue avec un microscope inversé Olympus.

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

4.3. Phytoplancton

En 2001, les paramètres tels que la chlorophylle *a*, la production primaire et le microphytoplancton ont été mesurés pour estimer si les rejets de la centrale induisent des modifications du milieu.

Les résultats obtenus lors des 3 campagnes sur les 3 points de prélèvements figurent dans le tableau 4.1. La comparaison des résultats 2001 avec ceux obtenus depuis 1993 est présentée sur les figures 4.1, 4.2 et 4.3.

Le déficit en biomasse microalgale au point rejet par rapport au canal d'amenée se calcule au moyen de la formule suivante :

$$\frac{(V_a - V_r) \times 100}{V_a} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} V_a : \text{valeur observée au canal d'amenée} \\ V_r : \text{valeur observée au canal rejet} \end{array}$$

En utilisant les valeurs mesurées en 2001 dans la formule ci-dessus des différences de biomasses algales sont observées au point rejet. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.2.

(%)	<i>Chlorophylle a</i>	<i>Production primaire</i>	<i>μphytoplancton</i>
01 AVRIL	+ 11,9	- 2,9	+ 44,3
06-JUILLET	+ 7,6	+ 6,1	- 14,9
10 SEPTEMBRE	+ 10,4	- 5,5	néant

Tableau 4.2 : Différences en biomasse algale

Sur l'ensemble de l'année, 3 " déficits " sont mis en évidence :

- 2 pour la production primaire,
- 1 pour le microphytoplancton.



Ces différences, positives ou négatives, s'équilibrent en nombre et trouvent leur origine dans la variabilité naturelle des paramètres mesurés au sein des différentes masses d'eau.

Il est également à noter que les taux de dilution enregistrés lors des prélèvements au point rejet en 2001 ont été compris entre 85 et 89 %. Ces taux de dilution élevés expliquent également qu'on ne puisse mettre en évidence un déficit de biomasse algale.

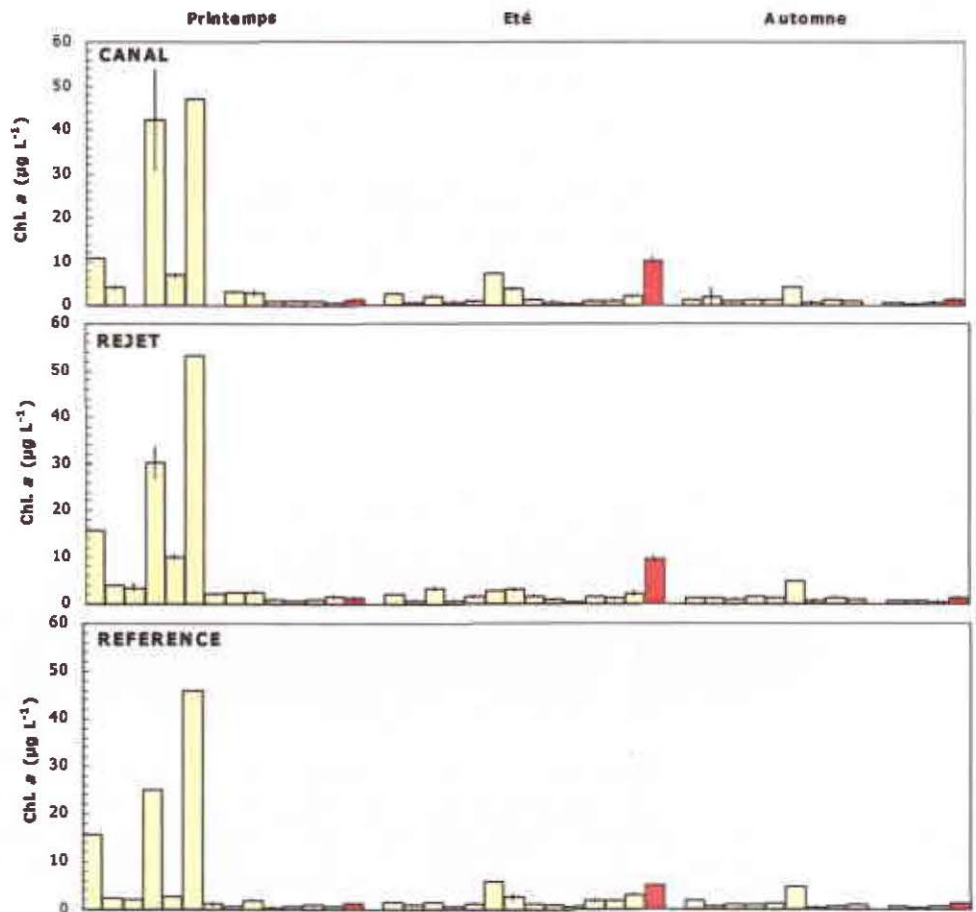


Figure 4.1 : biomasse chlorophyllienne

4.3.1. Biomasse chlorophyllienne (fig. 4.1)

Au cours de l'année 2001, les valeurs de chlorophylle *a* s'échelonnent entre $0,96 \pm 0,0 \mu\text{g L}^{-1}$ au point référence (mi-profondeur) en septembre et $10,31 \pm 0,89 \mu\text{g L}^{-1}$ au point canal en juillet. Dans l'ensemble et tous points confondus, les valeurs enregistrées en 2001 sont comparables à ce que nous avons pu observer ces dernières années. Ceci est confirmé par les numérations phytoplanctoniques.

Si les valeurs printanières sont comparables à celles des années précédentes, par contre en été, et notamment au printemps et au début de l'été, ce sont les plus forte depuis 1989.

Aucun gradient côte/large n'est mis en évidence cette année.

4.3.2. Phaéopigments : pourcentage de chlorophylle active

Le pourcentage de chlorophylle active peut être déterminé à partir des teneurs en chlorophylle *a* et des teneurs en phaéopigments d'après la formule ci dessous :

$$(\%) \text{ de chlorophylle active} = \frac{\text{Chlorophylle } a \times 100}{(\text{Chlorophylle } a + \text{phaéopigment})}$$

Le tableau 4.3 présente les résultats obtenus aux différentes stations pour les campagnes 2001.

(%)	<i>Canal d'amenée</i>	<i>Rejet</i>	<i>Référence</i>
03 AVRIL	+ 57,7	+ 62,1	+ 78,6
03 JUILLET	+ 65,9	+ 64,0	+ 74,5
07 SEPTEMBRE	+ 36,1	+ 43,6	+ 46,6

Tableau 4.3 :Pourcentages de chlorophylle active

Sur l'ensemble de l'année les valeurs relevées aux différents points indiquent un état physiologique moyen des populations dont le pourcentage de chlorophylle active s'échelonne entre 36,1 % au point canal en septembre et 78,6 % au point référence en avril.



4.3.3. Production primaire (fig. 4.2)

Les valeurs mesurées en 2001 sont comprises entre $1,05 \pm 0,70 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ en avril au point référence et $5,35 \pm 1,92 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ en septembre au canal d'aménée. A titre indicatif, la biomasse a également été représentée sur la figure 4.2 par la chlorophylle. On peut noter la très bonne corrélation entre ces deux paramètres.

En été ce sont les points les plus côtiers (canal et rejet) qui sont les plus productifs, et ce depuis 1993.

Au printemps et à l'automne les valeurs de 2001 sont les plus faibles depuis 1993 excepté pour le point référence au printemps.

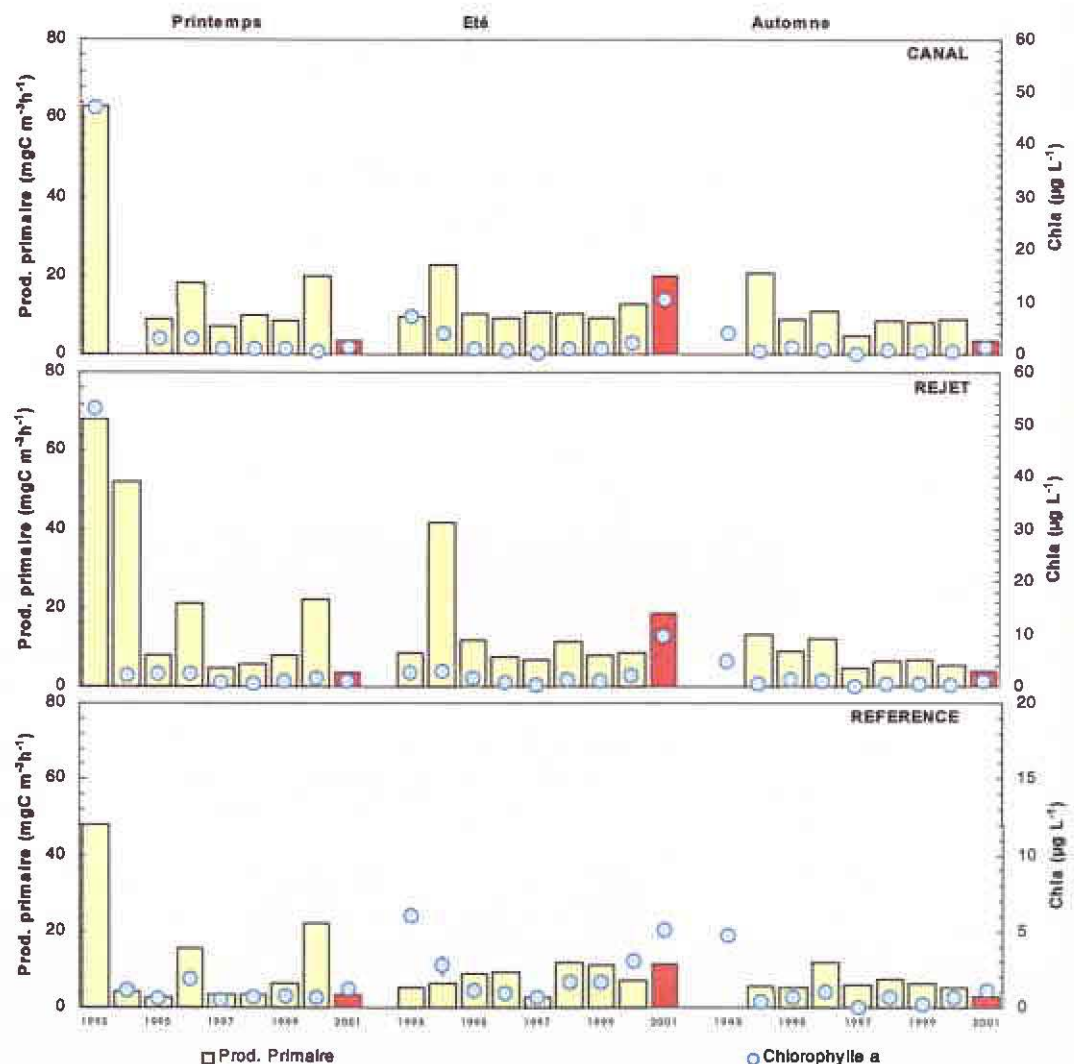


Figure 4.2 : Evolution de la production primaire de 1993 à 2001 au droit du CNPE de Paluel dans les eaux de surface

4.3.4. Microphytoplancton (fig. 4.3)

Les numérations microphytoplanctoniques sont présentées depuis 1993 sur la figure 3.12. Elles sont exprimées en nombre de cellules par litre en échelle logarithmique. A titre informatif, la biomasse a également été représentée sur la figure par la teneur en chlorophylle *a*.

La campagne de septembre a été réalisée dans des conditions météorologiques très défavorables, avec une mer très forte.

Les prélèvements pour l'identification et la numération des espèces phytoplanctoniques ont été très chargés en MES ce qui a rendu leur analyse impossible sur les trois points.

Les résultats des campagnes printanière et estivale sont tout à fait dans les écarts de ce qui a pu être observé depuis 1993.

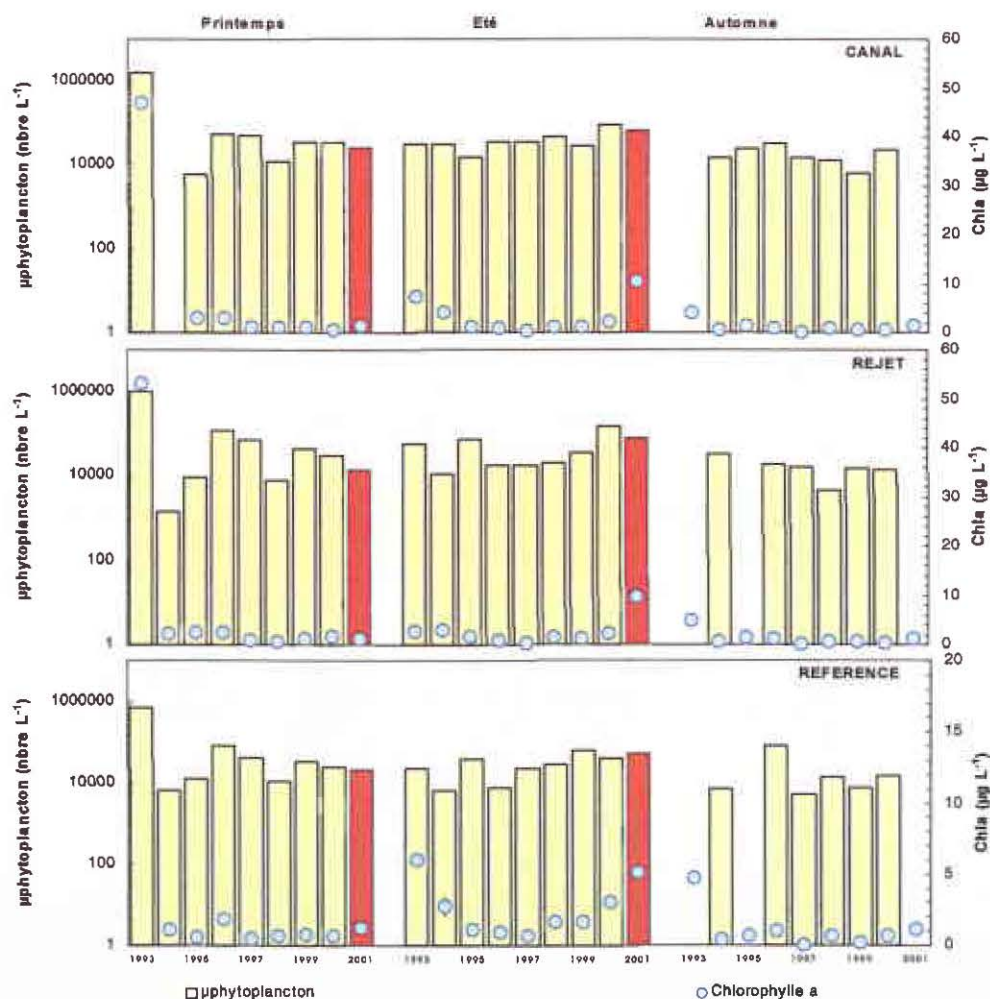


Figure 4.3. :Evolution du µphytoplancton de 1993 à 2001 au droit du CNPE de Paluel dans les eaux de surface (échelle log.)



4.3.5. Populations phytoplanctoniques observées en 2001

Le but de ce suivi n'est pas d'étudier l'évolution saisonnière de chaque population (caractéristiques connues depuis 1976) mais de détecter depuis la mise en service de la centrale, un éventuel déséquilibre dans le cortège phytoplanctonique. Les tableaux 4.4 et 4.5 présentent l'ensemble des espèces recensées au cours des 3 campagnes. Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre et en % de dominance par rapport à la population phytoplanctonique totale.

	04 AVRIL					
	Canal		Rejet		Référence	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%
Actinoptychus sp						
Asterionella glacialis (=A.japonica)						
Biddulphia sp						
Cerataulina sp						
Chaetoceros sp	2000	8,1	100	0,7	2400	11,8
Coscinodiscus sp	300	1,2	100	0,7		
Dictyoca sp						
Ditylum sp						
Eucampia zodiacus						
Guinardia flacida						
Heterosigma carterae						
Melosira sp	1000	4,1	2100	15,3		
Navicula sp						
Nitzschia sp. + Hantzschia sp.			100	0,7		
Nitzschia longissima	500	2,03	700	5,1	700	3,4
Plagiogramma sp						
Pleurosigma sp. + Gyrosigma sp.						
Proocentrum Micans + P.arcuratum + P.gibbosum			100	0,7	100	0,5
Protoperidinium sp. + Peridinium sp						
Rhizosolenia delicatula	400	1,6				
Rhizosolenia fragilissima						
Rhizosolenia imbricata (=R.shrubsolei) + R.styliiformis						
Rhizosolenia setigera + R.pungens						
Rhizosolenia sp						
Rhizosolenia stolterfothii						
Skeletonema costatum	3100	12,6	1000	7,3	3100	15,3
Synedra sp						
Thalassionema nitzschioides						
Thalassiosira gravida	400	1,6	200	1,4		
Thalassiosira rotula	13900	56,5	7900	57,6	12700	62,6
Thalassiosira+Coscinosira+coscinodiscus eccentricus	3000	12,2	1400	10,2	1300	6,4
TOTAL	24600	100	13700	100	20300	100

Tableau 4.4. : Nombre (L^{-1}) et % de dominance des espèces phytoplanctoniques recensées en avril 2001



	06 JUILLET					
	Canal		Rejet		Référence	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%
Actinoptychus sp						
Asterionella glacialis (=A.japonica)						
Biddulphia sp	100	0,15				
Cerataulina sp	7000	10,6	6700	8,8	17600	34,3
Chaetoceros diadema					200	0,4
Chaetoceros sp	100	0,15				
Coscinodiscus sp	200	0,3			100	0,2
Dictyoca sp						
Ditylum sp						
Eucampia zodiacus						
Guinardia flacida	5000	7,6	8800	11,6	1200	2,3
Grammatophora sp	200	0,3				
Gymnodinium sp						
Gyrodinium sp						
Heterosigma carterae	100	0,15				
Lauderia sp. + Schroderella sp.						
Leptocylindrus sp						
Melosira sp	8400	12,7	6900	9,1	2200	4,3
Navicula sp	2000	3	800	1	200	0,4
Nitzschia sp. + Hantzschia sp.						
Nitzschia longissima	1300	1,9	1100	1,4	200	0,4
Plagiogramma sp						
Pleurosigma sp. + Gyrosigma sp.			200	0,3	100	0,2
Porosira sp						
Prorocentrum Micans + P.arcuatum + P.gibbosum	1600	2,4	1300	1,7	500	0,9
Prorocentrum minimum	100	0,15				
Protoperdinium sp. + Peridinium sp	5700	8,6	5000	6,6	4200	8,2
Rhizosolenia delicatula	14000	21,2	26900	35,4	9000	17,5
Rhizosolenia fragilissima						
Rhizosolenia imbricata (=R.shrubsolei) + R.styliformis	8000	12,1	12700	16,7	11500	22,4
Rhizosolenia setigera + R.pungens						
Rhizosolenia sp						
Rhizosolenia stolterfothii	200	0,3	1800	2,4	1200	2,3
Schroderella sp						
Skeletonema costatum	5000	7,6				
Synedra sp	600	0,9	1700	2,2		
Thalassionema nitzschioides	400	0,6			800	1,5
Thalassiosira gravida						
Thalassiosira rotula	1200	1,8	200	0,3	500	0,9
Thalassiosira+Coscinosira+coscinodiscus eccentricus	4900	7,4	1900	2,5	1800	3,5
Triceratium favus						
TOTAL	66100	100	76000	100	51300	100

Tableau 4.5. : Nombre (L⁻¹) et % de dominance des espèces phytoplanctoniques recensées en juillet 2001



Il faut noter que certaines espèces ont été regroupées car difficilement identifiables par microscopie optique. Les anciens libellés ont alors été reportés entre parenthèse par souci d'harmonisation avec les études antérieures. En 2001, 28 taxons ont été dénombrés. Les diatomées représentent environ 90 % de la communauté. Seuls 3 taxons de dinoflagellés ont été recensés : *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum minimum* et *Protooperidinium sp.*

Dans un souci de clarté le tableau 4.6 regroupe les taxons dominants (fréquence supérieure à 10 %).

	01-avril			06-Juillet		
	canal	rejet	réf	canal	rejet	réf
<i>Cerataulina sp</i>				10,6		34,3
<i>Chaetoceros sp</i>			11,8			
<i>Guinardia flacida</i>					11,6	
<i>Melosira sp</i>		15,3		12,7		
<i>Rhizosolenia delicatula</i>				21,2	35,4	17,5
<i>Rhizosolenia imbricata</i> (R. shrubsolei) + <i>R. styliiformis</i>				12,1	16,7	22,4
<i>Skeletonema costatum</i>	12,6		15,3			
<i>Thalassiosira rotula</i>	56,5	57,6	62,6			
<i>Thalassiosira</i> + <i>Coscinosira</i> + <i>Coscinodiscus eccentricus</i>	12,2					

Tableau 4.6 : % des taxons dominants en 2001

En avril, la population est diversifiée aux 3 points. Les espèces les plus représentées sont *Thalassiosira rotula* (56,5, 57,6 et 62,6 %), *Melosira sp* (15,3 %), *Skeletonema costatum* (de 12,6 à 15,3 %), *Chaetoceros sp* (11,8 %).

En juillet, la population est toujours bien diversifiée mais ce sont les genres estivaux *Rhizosolenia* qui représentent 50 % de la population (*R. styliiformis*=12,1 à 22,4 % et *R. delicatula* de 17,5 à 35,4 %). Le reste de la population est principalement représentée par *Cerataulina sp* (de 10,6 à 34,3 %), *Guinardia flacida* (11,6 %).

Dans l'ensemble, les taxons dénombrés en 2001 correspondent à la succession saisonnière classique du phytoplancton en Manche et les abondances des différentes espèces correspondent aux valeurs mesurées en chlorophylle *a* et en production primaire. Les diatomées, *Cerataulina sp*, *Chaetoceros sp*, *Guinardia flacida*, *Melosira sp*, *Rhizosolenia delicatula*, *Rhizosolenia styliiformis*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira rotula*, *Thalassiosira sp* représentent au cours de l'année entre 56,6 et 89,7 % de la population totale.



4.4. Conclusion

Les dénombrements microphytoplanctoniques du site de Paluel, mise à part la campagne de septembre, montrent la régularité du phénomène au cours duquel la population de la période "hivernale", peu développée, est remplacée en été par une population dense monospécifique constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia*. C'est en général la multiplication active des espèces de ce genre qui représente les poussées phytoplanctoniques du site. Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre dans la composition floristique du site de Paluel en 2001.



5. Le Zooplancton

Rapport

Myriam RUMEBE (DEL/SM).

Prélèvements et Analyses

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

Participation

Gabriel de KERGARIOU (DEL/SR)
Geneviève LEHOERFF (DEL/EC)
Daniel WOERLING (DRV-RH)



5.1. Introduction

En 2001, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 4 avril, 4 juillet et 8 septembre. A chaque campagne, trois points sont étudiés :

- canal d'amenée,
- rejet,
- référence.

Pour chaque point, sept répliquats de zooplancton sont effectués à l'aide d'un filet à plancton triple de type WP₂, de maillage 200 µm et de surface d'ouverture 0,25 m², remonté verticalement sur toute la hauteur de la colonne d'eau. Six de ces échantillons sont filtrés sur des soies de 100 µm prépesées, 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.

5.2. Etude de la biomasse zooplanctonique globale (Tableau 5.1)

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

	Canal	Rejet	Référence
Poids sec en mg/m³			
Avril	11.7 ± 3.8	13.3 ± 5.0	7.5 ± 1.9
Juillet	30.1 ± 7.2	28.5 ± 5.6	7.0 ± 1.9
Septembre	7.7 ± 3.4	27.0 ± 7.7	3.5 ± 1.9
Poids de carbone en mg/m³			
Avril	2.9 ± 0.8	2.7 ± 1.1	1.4 ± 0.3
Juillet	9.7 ± 2.2	8.4 ± 1.7	2.2 ± 0.4
Septembre	1.9 ± 1.1	7.5 ± 1.1	0.9 ± 0.5
Poids d'azote en mg/m³			
Avril	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.2	0.3 ± 0.1
Juillet	2.0 ± 0.4	1.8 ± 0.3	0.5 ± 0.1
Septembre	0.3 ± 0.2	1.4 ± 0.2	0.2 ± 0.1
Rapport C/N			
Avril	6.2 ± 0.9	5.3 ± 0.3	5.1 ± 0.2
Juillet	4.8 ± 0.3	4.6 ± 0.3	4.4 ± 0.3
Septembre	5.7 ± 0.9	5.5 ± 0.3	4.8 ± 0.4

Tableau 5.1 : Bilan global zooplanctonique ; poids sec, carbone, azote (moyenne ± écart type).



5.2.1. Poids sec

Durant les trois campagnes, les valeurs du poids sec les plus basses sont observées au point référence ($7,5 \pm 1,9 \text{ mg/m}^3$ en avril, $7,0 \pm 1,9 \text{ mg/m}^3$ en juillet et $3,5 \pm 1,9 \text{ mg/m}^3$ en septembre).

En avril et septembre, les valeurs les plus élevées sont obtenues au point rejet (avec respectivement $13,3 \pm 5,0 \text{ mg/m}^3$ et $27,0 \pm 7,7 \text{ mg/m}^3$).

En juillet, il se dessine un gradient décroissant de la côte vers le large. Les poids secs des points canal d'amenée ($30,1 \pm 7,2 \text{ mg/m}^3$) et rejet ($28,5 \pm 5,6 \text{ mg/m}^3$) sont les plus élevés des trois campagnes. Sur le point canal d'amenée, le poids sec élevé n'est pas dû à l'abondance du zooplancton ; il est directement lié à la présence de sable dans le prélèvement.

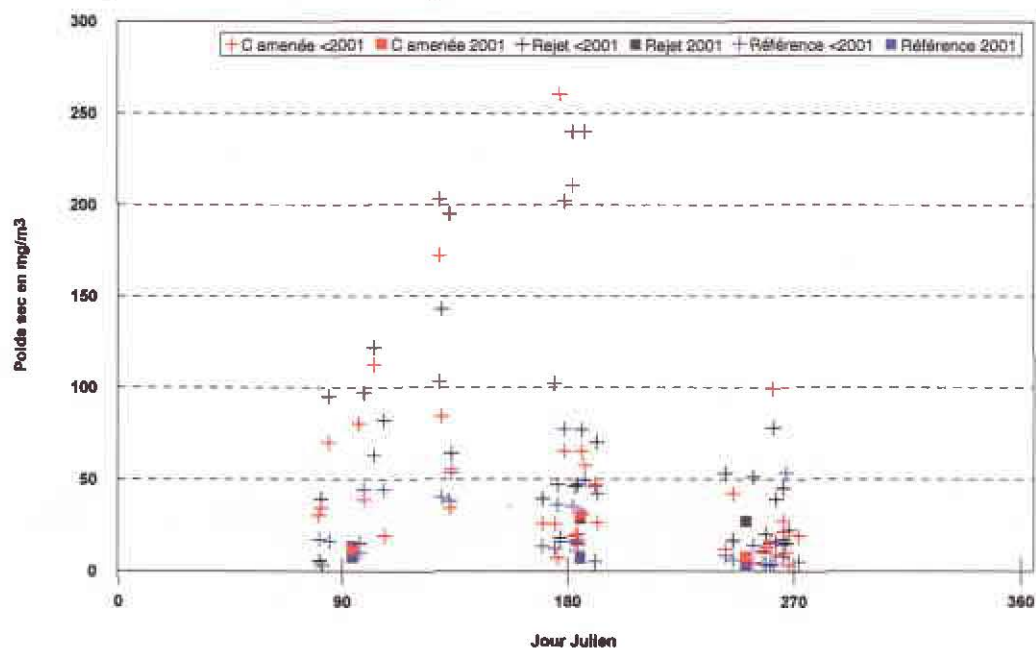


Figure 5.1 : Poids sec en mg/m^3 . Comparaison de l'année 2001 avec les années antérieures.

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 5.1).

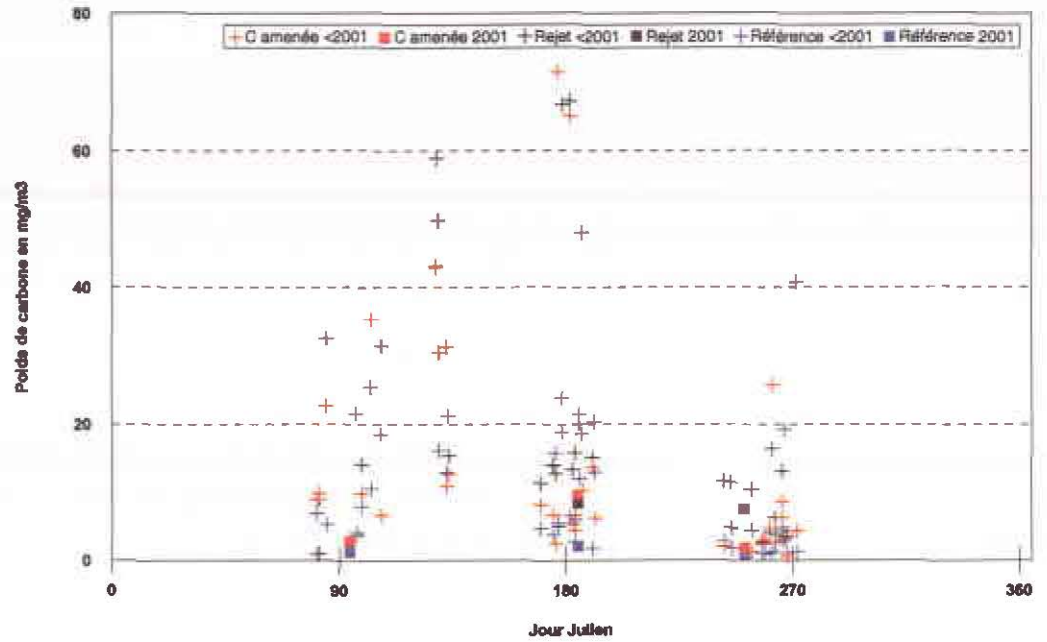


Figure 5.3 : Poids de carbone en mg/m^3 dans la biomasse sèche. Comparaison de l'année 2001 avec les années antérieures.

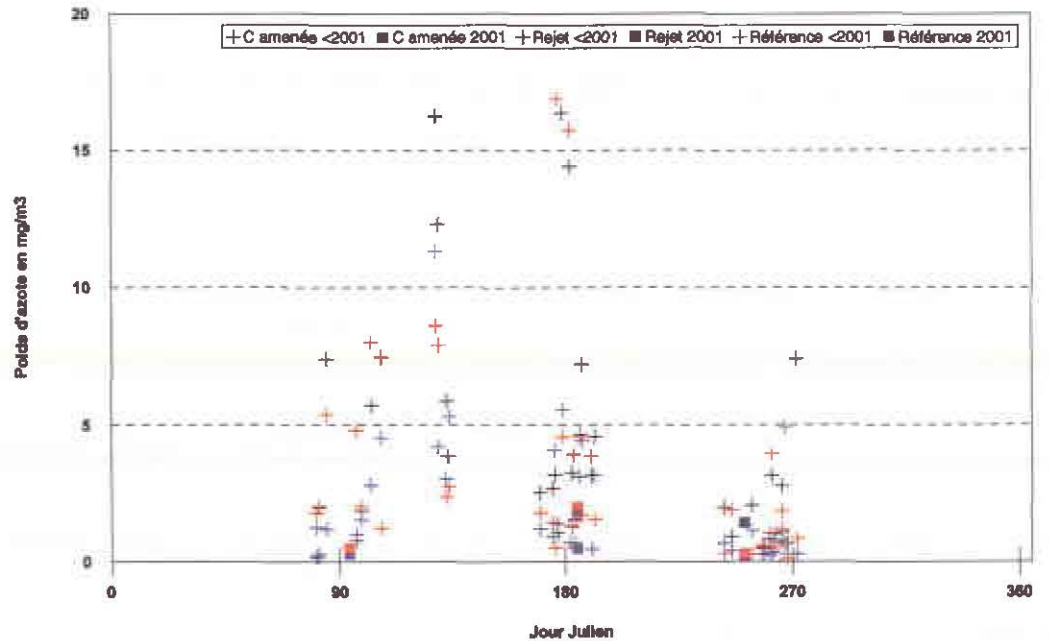


Figure 5.4 : Poids d'azote en mg/m^3 dans la biomasse sèche. Comparaison de l'année 2001 avec les années antérieures.

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

L'analyse directe 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 du cheptel.

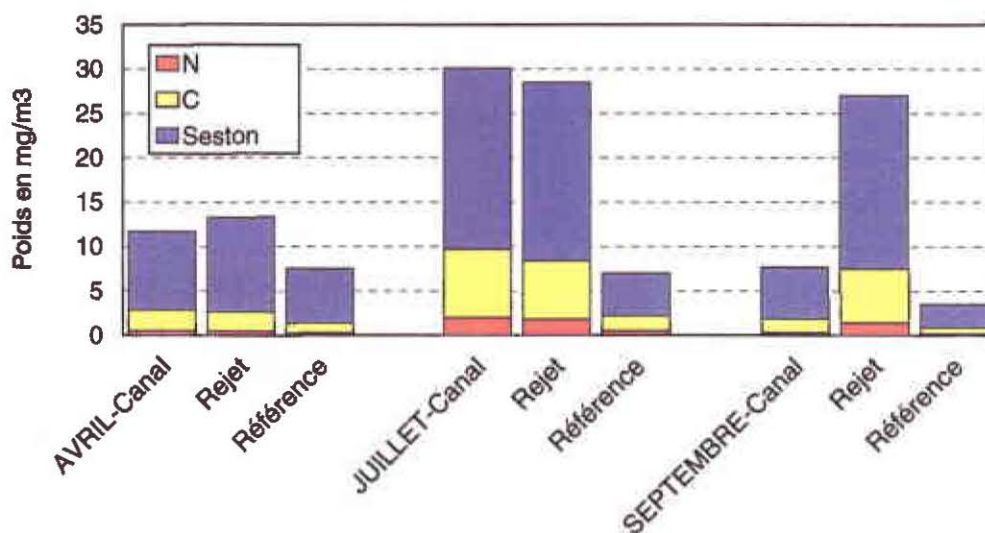


Figure 5.2 : Poids de carbone et d'azote dans la biomasse sèche

Lors des trois campagnes, les poids de carbone et d'azote les plus bas sont observés sur le point référence.

En avril et juillet, pour le poids de carbone, il se dessine un gradient décroissant de la côte vers le large. En septembre, le poids de carbone le plus élevé est obtenu sur le point rejet ($7,5 \pm 1,1 \text{ mg/m}^3$).

En avril, pour le poids d'azote, il n'y a pas de différence significative entre les valeurs obtenues sur les trois points. En juillet, il se dessine un gradient côte-large décroissant, et en septembre, le poids d'azote le plus élevé est obtenu sur le point rejet ($1,4 \pm 0,2 \text{ mg/m}^3$).

Les poids de carbone et d'azote observés en 2001 sont comparables à ceux obtenus les années précédentes (Figure 5.3 et Figure 5.4).

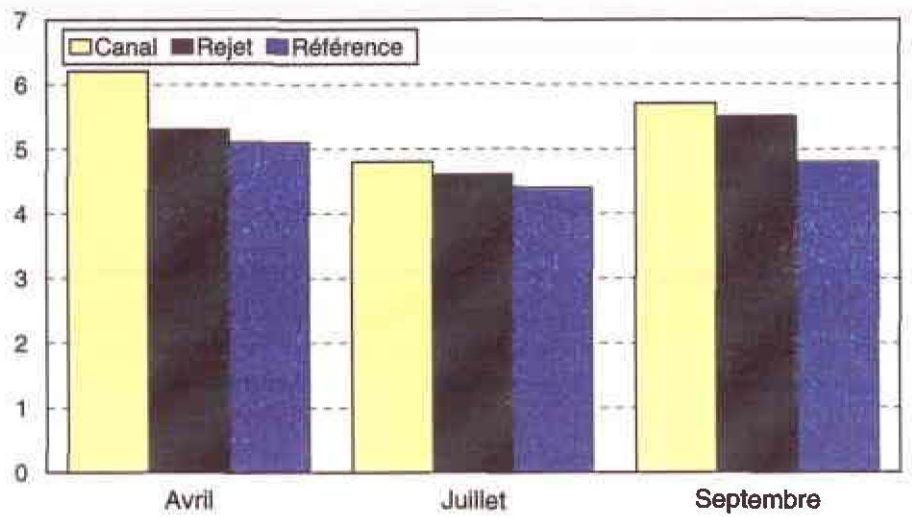


Figure 5.5 : Rapport C/N

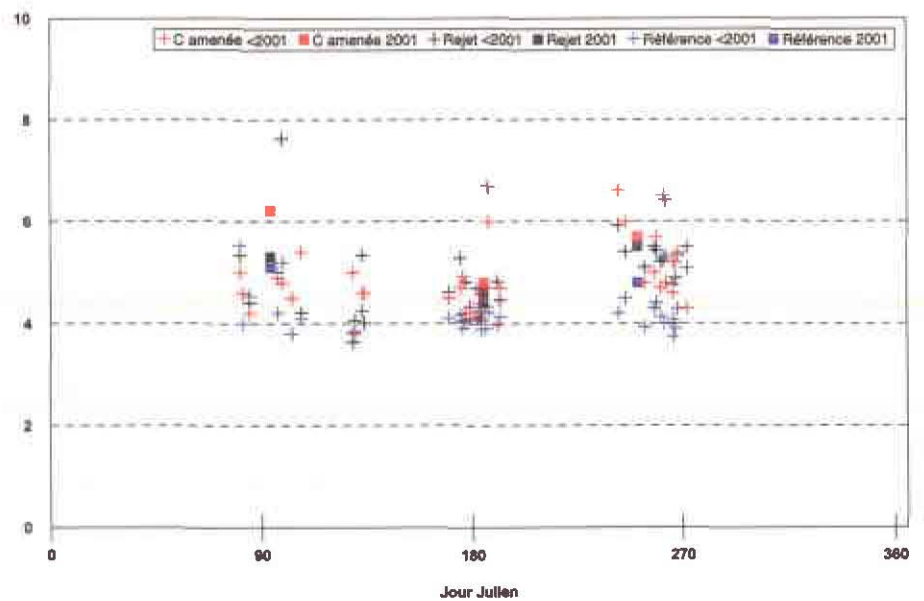


Figure 5.6 : Rapport carbone/azote. Comparaison de l'année 2001 avec les années antérieures.

5.2.3. Evaluation du rapport carbone/azote (Figure 5.5)

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

Lors des trois campagnes réalisées en 2001, il se dessine un gradient décroissant de la côte vers le large. Les valeurs les plus élevées sont systématiquement observées sur le point canal d'amenée, et les plus basses sur le point référence. Ce rapport varie de $4,4 \pm 0,3$ en juillet, à $6,2 \pm 0,9$ en avril. Le rapport carbone / azote obtenu en 2001 reste dans les limites des observations habituelles (Figure 5.6).

5.3. Etude des espèces zooplanctoniques

A chaque campagne, pour chaque station, la somme de toutes les espèces confondues a été calculée, ainsi que la moyenne zooplanctonique globale de chaque campagne, regroupant les résultats des trois stations canal d'amenée, rejet et référence (Tableau 5.2).

Nature des résultats	04/04/2001			04/07/2001			08/09/2001		
	N / 10 m ³			N / 10 m ³			N / 10 m ³		
	Canal	Rejet	Référence	Canal	Rejet	Référence	Canal	Rejet	Référence
TOTAL CNIDAIRE				16	8	116			1
TOTAL CTENAIRES				5	4				
TOTAL CHAETOGNATHES						2	59	7	9
TOTAL ANNELIDES	60	318	20	159	195	85	24	22	3
TOTAL CLADOCERES		19	258						
TOTAL L. CIRRIPEDES	717	1 670	793	190	260	49	82	36	1
AMPHIPODES					65			10	
ISOPODES			2		130				3
CUMACES					65		6	2	
TOTAL MYSIDACES								24	1
TOTAL COPEPODES	268	1 120	1 290	4 100	17 000	4 880	788	873	1 080
EUPHAUSIACES									
LARVES NATANTIA					4	16	6	7	3
LARVES THALASSINIDEAE							12	2	3
TOT L. ANOMOURES		2			20	72		22	35
TOT L. BRACHYOURES	19	11	7	53	8	18	65	10	16
TOTAL L. MOLLUSQUES		12	13	127	1 890	325	12	94	7
Cyphonautes BRYOZOAIRES			13	349	130	49		7	
TOT L. ECHYNODERMES									
TOTAL APPENDICULAIRES		6	8		130	28			6
TELEOSTEENS (larves+oeufs)	4	13	5	5		2			
TOTAL ZOOPLANCTON	1 070	3 170	2 410	5 000	19 900	5 640	1 050	1 120	1 170
		2220			10200			1110	

Tableau 5.2 : Récapitulatif des taxons rencontrés (valeurs arrondies).



Les tendances de l'année 2001 sont les suivantes : les densités zooplanctoniques sont maximales en juillet ($10\,200 \text{ ind./10m}^3$) et minimales en septembre ($1\,110 \text{ ind./10m}^3$). En avril, une moyenne de $2\,220 \text{ ind./10m}^3$ est dénombrée.

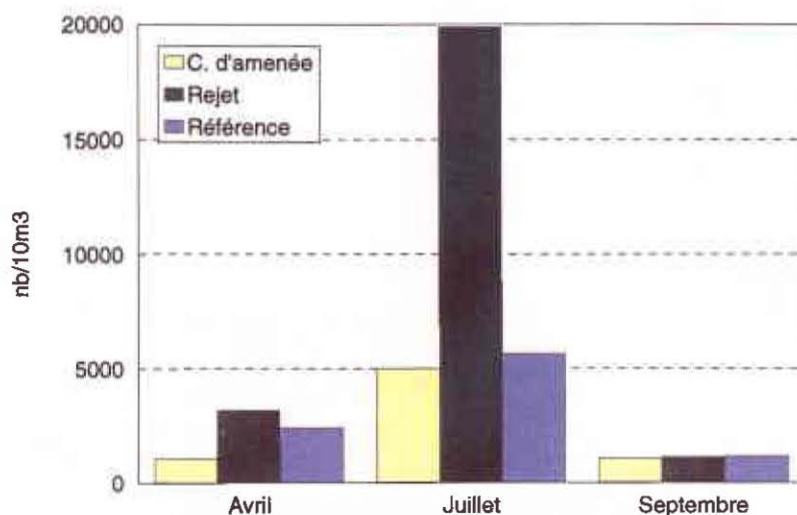


Figure 5.7 : Le zooplancton total.

Les valeurs globales du nombre total d'individus rencontrés en chaque point est conforme aux observations habituelles (Figure 5.8).

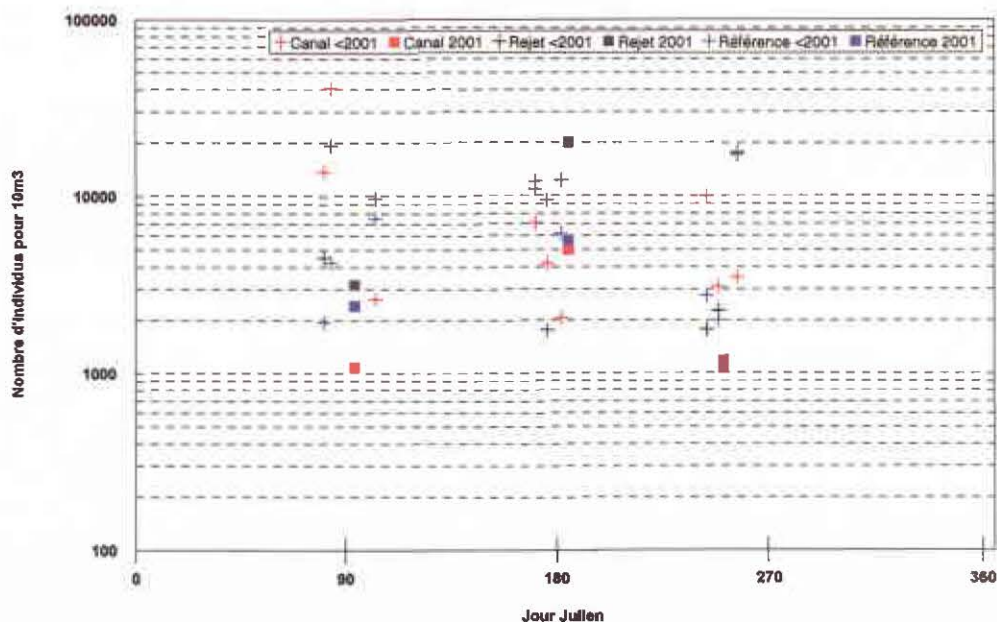


Figure 5.8 : Le zooplancton total. Comparaison de l'année 2001 avec les années antérieures. Echelle logarithmique.



5.3.1. 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 de 60 % à 80 % de la population de la Manche. Selon la saison, s'y rajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à divers embranchements, appendiculaires, mysidacés, cténaïres 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).

Afin de mieux définir la composition du zooplancton, le pourcentage de dominance, c'est à dire, le pourcentage d'un taxon par rapport au nombre total d'individu est calculé (Tableau 5.3), ainsi que le pourcentage de dominance des différentes espèces au sein du méroplancton et de l'holoplancton (Tableau 5.4).

	C. d'aménée	Rejet	Référence	Moyenne
Total zooplancton				
Avril	1070	3170	2410	2220
Juillet	5000	19900	5640	10200
Septembre	1050	1120	1170	1110
Total copépodes				
Avril	268	1120	1290	893
Juillet	4100	17000	4880	8660
Septembre	788	873	1080	914
% copépodes				
Avril	25%	35%	54%	40%
Juillet	82%	85%	87%	85%
Septembre	75%	78%	92%	82%
Total holoplancton				
Avril	268	1150	1560	993
Juillet	4110	17100	4910	8710
Septembre	847	904	1100	950
% holoplancton				
Avril	25%	36%	65%	45%
Juillet	82%	86%	87%	85%
Septembre	80%	81%	94%	86%
Total méroplancton				
Avril	800	2030	853	1230
Juillet	899	2780	732	1470
Septembre	207	212	72	164
% méroplancton				
Avril	75%	64%	35%	55%
Juillet	18%	14%	13%	15%
Septembre	20%	19%	6%	14%

Tableau 5.3 : Pourcentage de dominance



	Nature des résultats	01/04/2001		06/07/2001		10/09/2001	
		ind./10m ³	Pourcentage	ind./10m ³	Pourcentage	ind./10m ³	Pourcentage
Méroplancton	Total Cnidaires			47	3%		
	Total Annélides	133	11%	146	10%	16	10%
	Larves de Cirripèdes	1 060	86%	166	11%	40	24%
	Amphipodes			22	1%	3	2%
	Isopodes			43	3%		
	Cumacés			22	1%	3	2%
	Larves Natantia					5	3%
	Larves Thalassinideae					6	4%
	Larves d'Anomoures	1		31	2%	19	12%
	Larves de Brachyours	12	1%	26	2%	30	19%
	Larves de Mollusques	8	1%	781	53%	38	23%
	Cyphonautes Bryozoaires	4		176	12%	2	1%
Total méroplancton	1 226	100%	1 469	100%	164	100%	
Holoplancton	Total Cténaïres			3			
	Total Chaetognathes			1		25	3%
	Total Cladocères	92	9%				
	Total Copépodes	893	90%	8 660	99%	914	96%
	Total Appendiculaires	5	1%	53	1%	2	
Total holoplancton	990	100%	8 716	100%	949	100%	

Tableau 5.4 : Pourcentage de dominance des différentes espèces du méroplancton et de l'holoplancton.

- Campagne du 04 avril 2001 :

L'holoplancton et le méroplancton sont en proportion à peu près identique. Le méroplancton domine légèrement ; il représente 55 % du zooplancton total. Il est composé de 86 % de larves de cirripèdes (les deux stades nauplius et cypris sont rencontrés), et de 11% d'annélides. Le méroplancton est dominant sur les points canal d'amenée et rejet, et il se dessine un gradient décroissant de la côte vers le large.

L'holoplancton représente 45 % du zooplancton total, et est dominant sur le point référence. Il est constitué de 90 % de copépodes (en majorité, *Acartia clausi* et *Temora longicornis*), et de 9 % de cladocères (espèce *Podon sp.*).

- Campagne du 04 juillet 2001 :

L'holoplancton est dominant sur tous les points, et représente en moyenne 85 % du zooplancton total. Ce sont à 99 % des copépodes qui le composent, et plus précisément les espèces *Acartia clausi* et *Euterpina acutifrons*.

Le méroplancton constitue 15 % du zooplancton total. Il est composé de 53 % de véligères de mollusques gastéropodes, de 12 % de cyphonautes de bryozoaires, de 11 % de larves de cirripèdes (le stade nauplius est dominant) et de 10 % d'annélides (*Spionidae*).



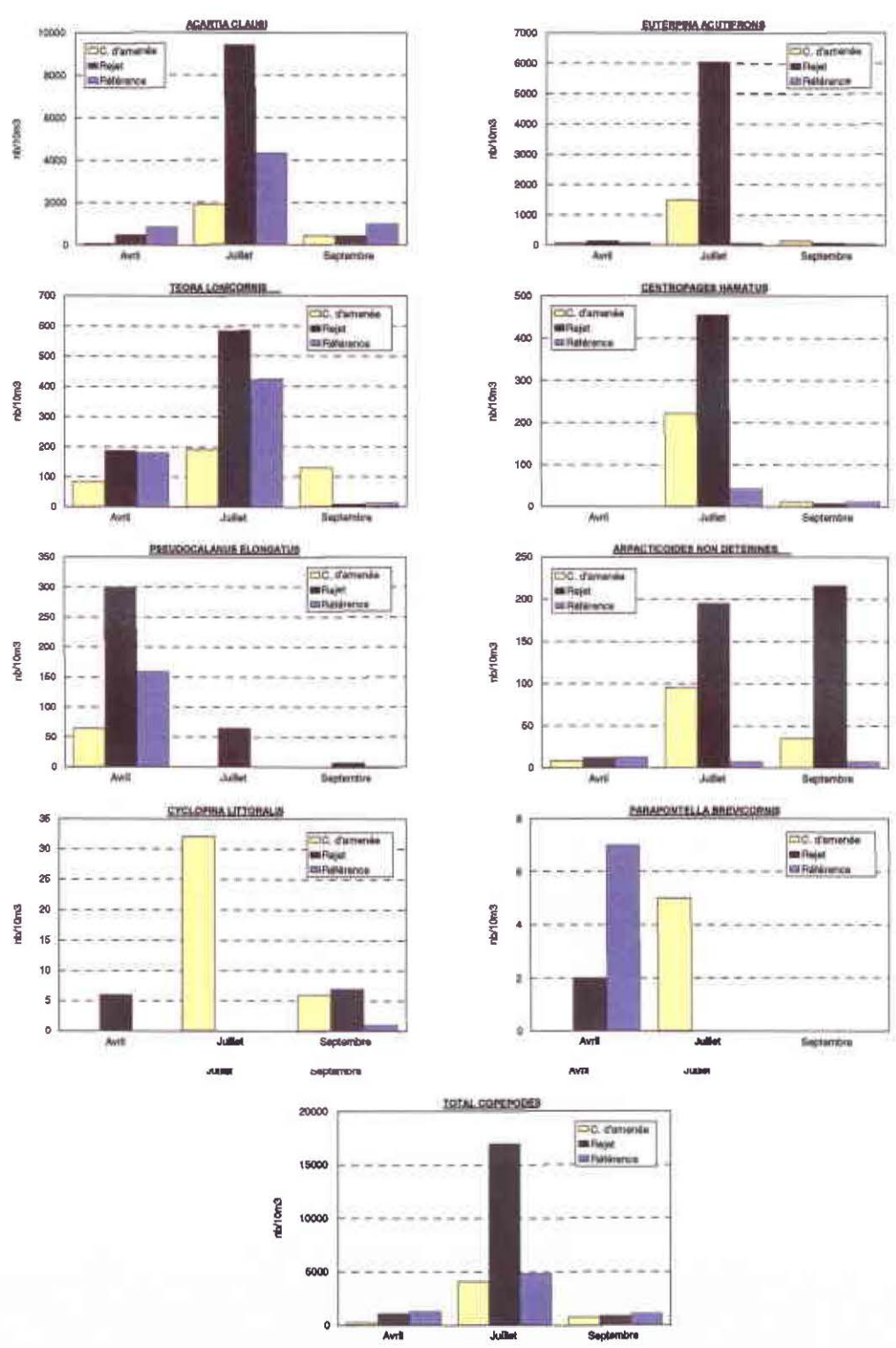


Figure 5.9 : Les principaux copépodes

- Campagne du 08 septembre 2001 :

L'holoplancton est dominant sur tous les points, et constitue 86 % du zooplancton total. Il est composé de 96 % de copépodes (espèce *Acartia clausi*), et de 3 % de chaetognathes.

Le méroplancton représente 14 % du zooplancton total. Il se dessine un gradient décroissant de la côte vers le large. Il est constitué de 24 % de larves de cirripèdes (stade cypris), de 23 % de larves de mollusques (dominance de gastéropodes), de 19 % de larves de brachyours (stade zoé), de 12 % de larves d'anomoures porcellanes et de 10 % d'annélides.

5.3.2. Variation saisonnière des principaux taxons

5.3.2.1. L'holoplancton

- Les copépodes (Figure 5.9).

Le zooplancton de la Manche comprend essentiellement des crustacés copépodes dont le cycle de vie est entièrement pélagique. Cette dominance a été vérifiée cette année où, sur les trois campagnes, les copépodes représentent en moyenne 77 % 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 2001, le maximum d'abondance des copépodes est observé en juillet avec, en moyenne, 8 660 ind./10m³.

Acartia clausi, *Temora longicornis*

Ces espèces cosmopolites sont présentes et bien représentées aux trois campagnes. Elles atteignent leur maximum d'abondance en juillet, sur le point rejet avec 9 431 ind./10m³ pour *Acartia clausi* et 585 ind./10m³ pour *Temora longicornis*.

Elles sont en nette régression les mois les plus froids. Cependant, *Acartia clausi* reste le copépode dominant lors des trois campagnes réalisées.

Euterpina acutifrons

Cette espèce cosmopolite est présente aux trois campagnes. En avril et en septembre, plusieurs dizaines d'individus sont dénombrés (jusqu'à environ 130 ind./10m³ sur le point rejet en avril et sur le point canal d'amenée en septembre). En juillet il est, après *Acartia clausi*, le second copépode dominant, avec un pic de 6 049 ind./10m³ sur le point rejet.



Centropages hamatus

Cette espèce est présente sur tous les points en juillet et en septembre. Elle n'a pas été rencontrée en avril. En juillet, un pic de 455 ind./10m³ est obtenu sur le point rejet. En septembre, quelques dizaines d'individus seulement ont été dénombrés.

Pseudocalanus elongatus

Cette espèce est présente en avril sur les trois points. A cette période, elle est le troisième copépode dominant, et présente un maximum de 299 ind./10m³ sur le point rejet. En juillet et septembre, il n'a été dénombré que quelques dizaines d'individus sur le point rejet.

Harpacticoïdes

Des Harpacticoïdes ont été rencontrés sur tous les points, aux trois campagnes. Les maxima sont observés sur le point rejet en juillet (195 ind./10m³) et septembre (216 ind./10m³).

Cyclopina littoralis

Cette espèce est présente sur les trois points en septembre (en faible quantité). En juillet, elle n'a été rencontrée que sur le point canal d'amenée, où elle atteint son maximum d'abondance avec 32 ind./10m³. En avril, seulement 6 ind./10m³ ont été dénombrés sur le point rejet.



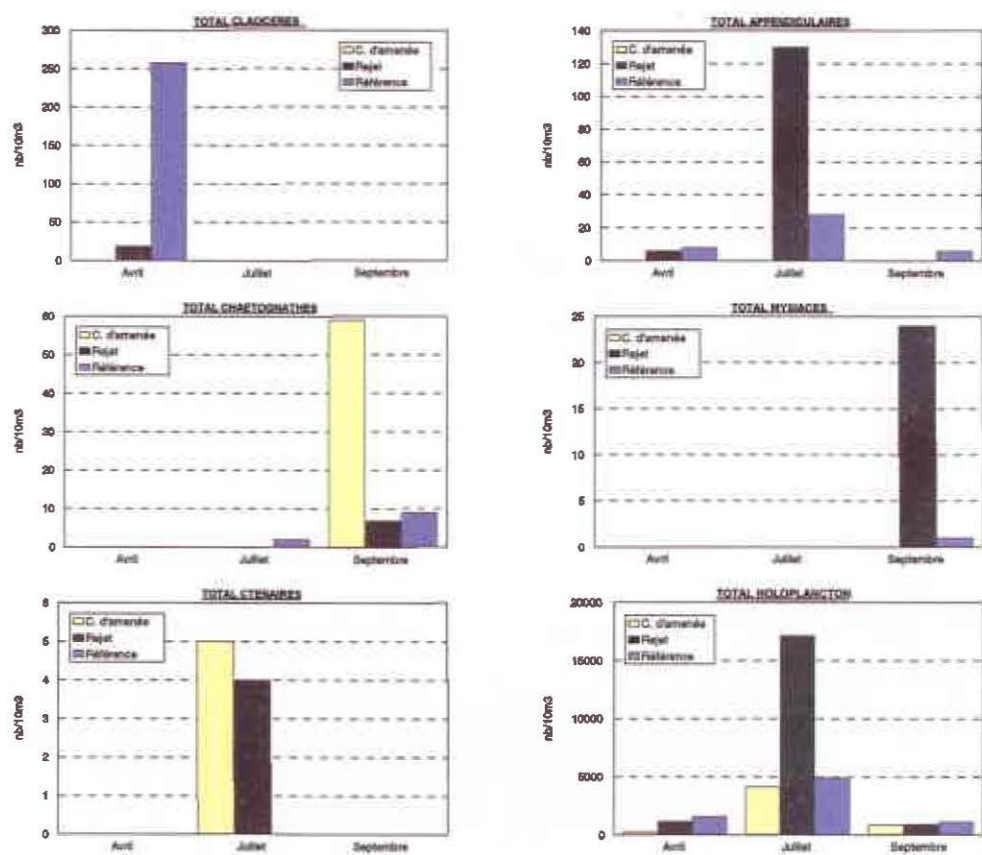


Figure 5.10 : Les autres espèces holoplanktoniques.



- Les autres espèces holoplanctoniques (Figure 5.10)

Le cladocère *Podon sp.* est rencontré lors de la campagne d'avril. Il a été dénombré 19 ind./10m³ sur le point rejet et 258 ind./10m³ sur le point référence. A cette période, il représente, en moyenne, 4 % du zooplancton total moyen.

Les appendiculaires, représentées par *Oikopleura sp.*, sont présentes aux trois campagnes. Elles n'ont pas été rencontrées sur le point côtier. Le maximum d'abondance se situe en juillet sur le point rejet, avec 130 ind./10m³. En avril et septembre, leur quantité est négligeable.

Le chaetognathe *Sagitta setosa* est une espèce carnivore de grande taille. Il est rencontré en septembre sur tous les points. Le maximum d'abondance est atteint sur le point canal d'amenée, avec 59 ind./10m³. Sur les deux autres points, et sur le point référence en juillet, seulement quelques individus sont dénombrés.

Les mysidacés sont des crustacés qui constituent sur le fond, une nourriture importante pour les poissons (poissons plats des fonds sableux -plies, turbots - et poissons pélagiques - harengs -). Elles se nourrissent essentiellement de fines particules, de détritus et de petits copépodes, aussi forment elles un groupe qui présente un intérêt par la forte réduction de la chaîne alimentaire. Elles sont rencontrées en septembre sur les points rejet (24 ind./10m³) et référence (1 ind./10m³).

Le cténaire *Pleurobrachia pileus* est une espèce carnivore importante. Etant donné l'échantillonnage, nous récoltons surtout des stades juvéniles. Il n'a été dénombré que quelques individus sur les points canal d'amenée et rejet en juillet.



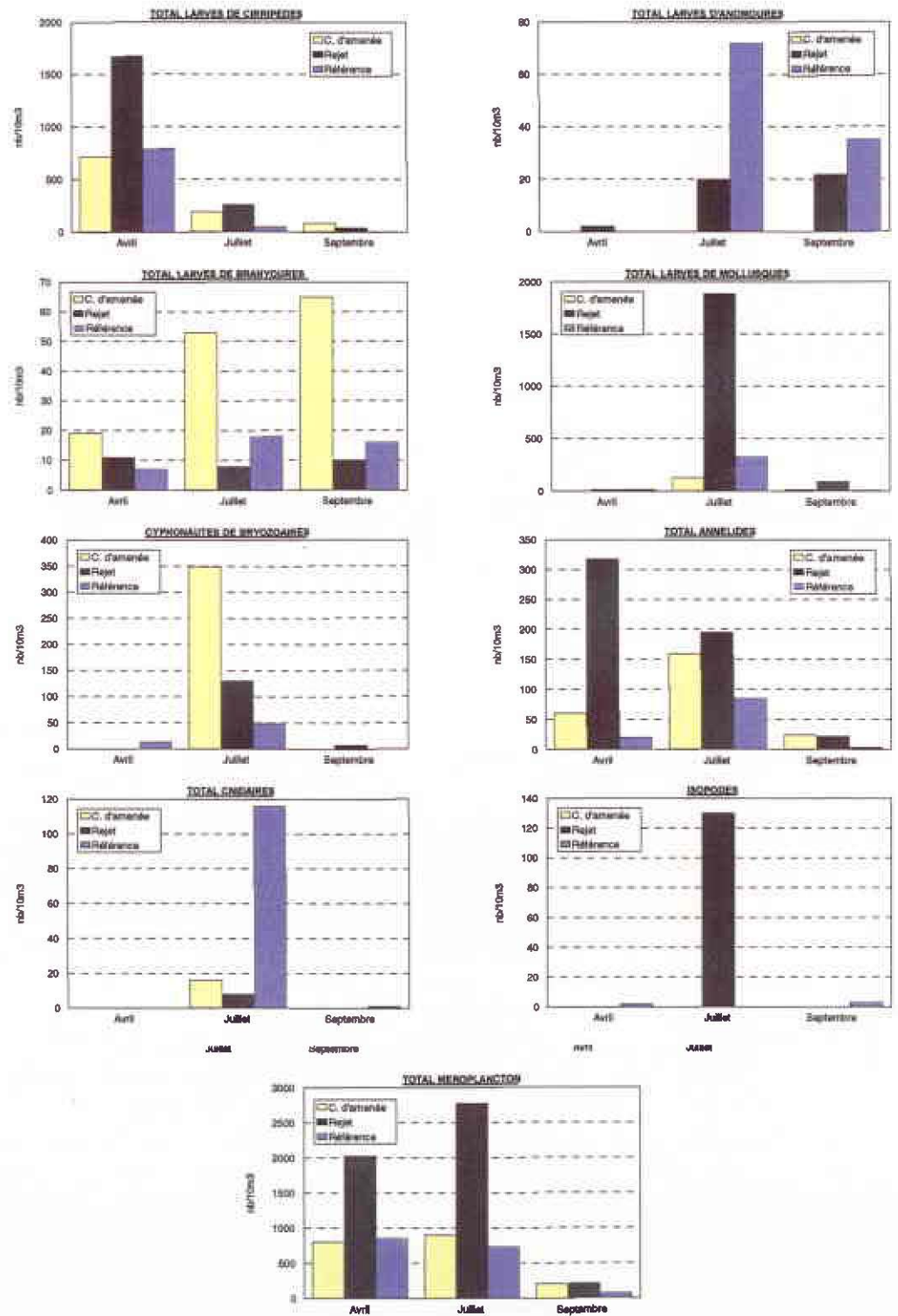


Figure 5.11 : Le méroplancton.

5.3.2.2. Le méroplancton (Figure 5.11)

Les stades larvaires d'espèces appartenant à différentes classes ou embranchement ont été dénombrés au cours des trois campagnes :

- Les 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 représentent pas une biomasse élevée. L'émission des larves de cirripèdes est constatée en avril, avec un maximum de 1 636 ind./10m³ sur le point rejet. Ce pic est constitué à 98 % du stade cypris. A cette période, ces larves représentent en moyenne 47 % du zooplancton total moyen. En juillet, quelques centaines sont retrouvées sur les trois points, et en septembre, quelques dizaines.

Les larves d'anomoures (porcellanes, galathées, Bernard l'hermite) sont rencontrées lors des trois campagnes sur les points au large. En juillet, elles atteignent leur maximum d'abondance sur le point référence, avec 72 ind./10m³. En septembre, environ 30 ind./10m³ sont dénombrés sur ces deux points.

Les larves de brachyours sont présentes lors des trois campagnes, sur les trois points. Pour chaque campagne, le maximum d'abondance est systématiquement obtenu sur le point canal d'amenée. Sur les autres points, quelques dizaines de larves sont rencontrées. Le pic le plus élevé se situe en septembre, avec 65 ind./10m³. A cette période, ces larves représentent 3 % du zooplancton total.

- Embranchement des mollusques

Des véligères de gastéropodes sont observées en juillet. Le maximum d'abondance se situe sur le point rejet avec 1 886 ind./10m³. A cette période, ces larves représentent en moyenne 8 % du zooplancton total moyen. En avril, quelques dizaines d'individus sont dénombrés. En septembre, s'y ajoutent quelques véligères de bivalves.

- Embranchement des bryozoaires

Des cyphonautes de bryozoaires sont observés lors de la campagne de juillet. Le maximum d'abondance est obtenu sur le point canal d'amenée, avec 349 ind./10m³. Il se dessine un gradient côte large décroissant.

- Embranchement des cnidaires (hydrozoaires, actinies, méduses)

Des cnidaires (espèces *Clytia hemispherica*) ont été dénombrées en juillet, sur les trois points. Sur les points canal d'amenée et rejet, en moyenne 12 ind./10m³ ont été rencontrés. Le maximum d'abondance est obtenu sur le point référence, avec 116 ind./10m³.



5.4. Conclusion

En 2001, les valeurs obtenues pour les paramètres globaux (poids sec, carbone et azote) varient de manière aléatoire. L'examen détaillé du zooplancton présent permet cependant de faire le lien entre ces variations et la distribution hétérogène de la population. Tous les paramètres pris en compte se situent dans les limites habituelles de variations observées depuis la mise en place de la surveillance sur ce site, et rien ne permet de conclure à un impact sur le milieu proche des eaux chaudes rejetées par la centrale de Paluel.



6. Le domaine benthique subtidal

D. Davoult
Université du Littoral
Laboratoire Biogéochimie et Environnement du littoral (LABEL)
UPRES-A 8013 du CNRS
M.R.E.N., 32 avenue Foch
62930 Wimereux

&

A. Migné
Université Paris VI
Laboratoire d'Hydrobiologie
12 rue Cuvier
75005 Paris



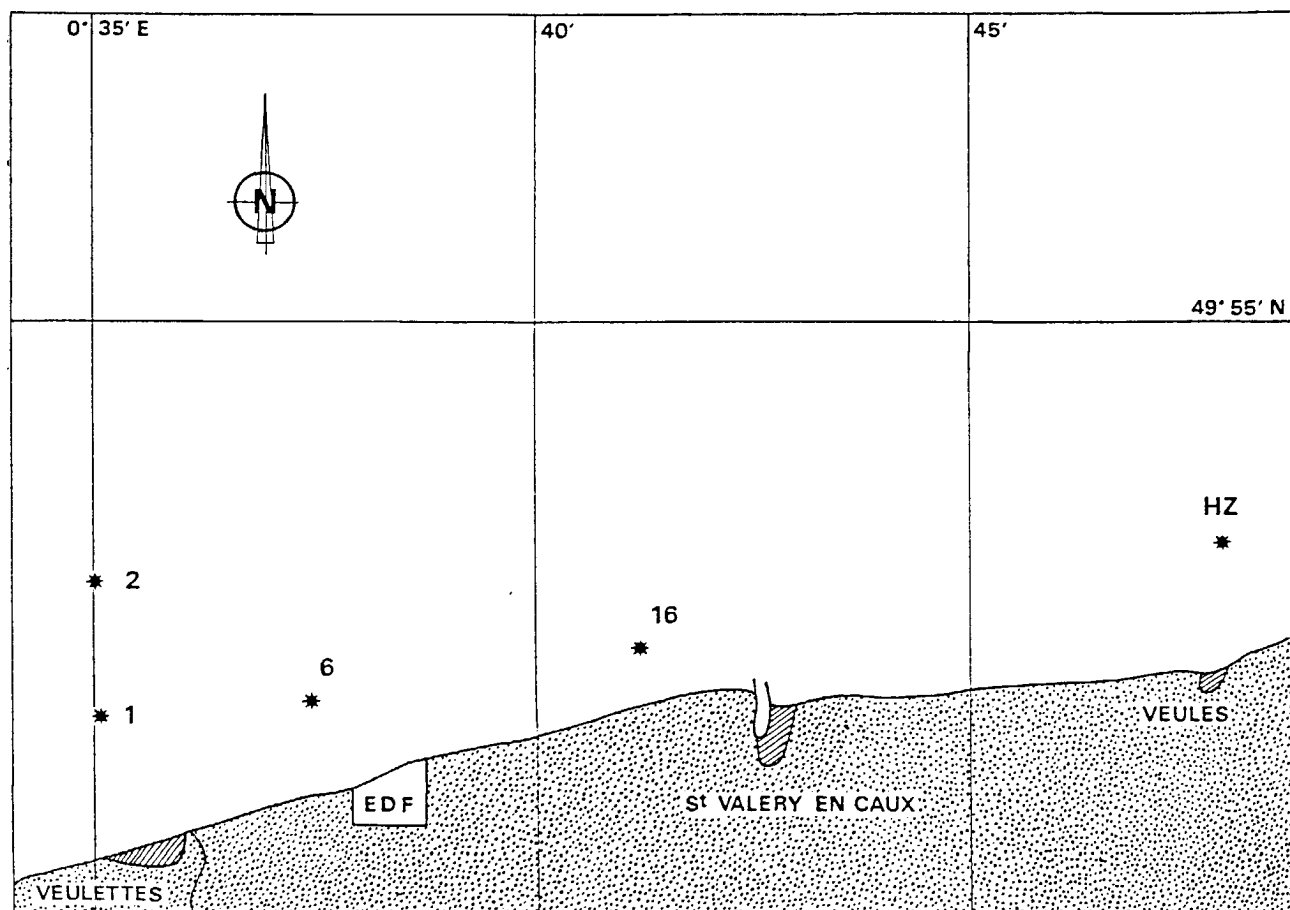


Figure 6.1 : Cadre de répartition des stations d'échantillonnage

Dates	Stations échantillonnées
16 janvier 2001	1 et 6
3 avril 2001	1, 2, 6, 16 et H.Z.
25 juillet 2001	1 et 6
17 octobre 2001	1, 2, 6, 16 et H.Z.

Tableau 6.1 : Calendrier des campagnes 2001

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 stations ont été échantillonnées chaque année. En 1984, une nouvelle stratégie a vu le jour, limitant le nombre de stations échantillonnées à 7, des réplicats (4) effectués à certaines de ces stations permettant de vérifier la stabilité et l'homogénéité de ces peuplements. Cette stratégie a été mise en oeuvre en 1984, 1985, 1986, 1988 et 1990.

En 1992, à notre demande, compte-tenu de la forte homogénéité des réplicats depuis 1984, de la stabilité de la zone du large (cailloutis de la station 29, cf. Davoult, 1990) et des fortes variations constatées à certaines stations côtières (moulière), le protocole de prélèvement a été modifié. Le suivi a maintenant lieu chaque année, ceci afin de mieux comprendre les fluctuations quelquefois importantes observées à certaines stations ; les réplicats ont été supprimés ; la station du large (29) a également été supprimée, de même que la station côtière 27, intermédiaire entre la station 16 et la station témoin H.Z. (hors zone). Cinq stations (Fig. 6.1) sont donc échantillonnées au printemps et en automne:

- la station 1, autrefois représentative des fluctuations de la moulière (49°52'10 N, 0°35'20 E),
- la station 2, située sur les cailloutis du large et quelquefois soumise par le passé aux importants recrutements de *Mytilus edulis* (49°53'10 N, 0°35'10 E),
- la station 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),
- la station 16, caractéristique des sables hétérogènes et située à proximité de la centrale (49°52'60 N, 0°41'20 E),
- la station H.Z. (hors zone), enfin, considérée comme station témoin de la zone côtière (49°53'70 N, 0°46'80 E).

Des prélèvements supplémentaires sont effectués en hiver et en été aux stations 1 et 6 afin de mieux cerner d'éventuelles fluctuations importantes du recrutement des espèces dominantes passées (*Mytilus edulis*) et actuelles (Tuniciers).

En 2001, le déroulement des opérations s'est effectué selon la procédure prévue (Tableau 6.1). Depuis 1998, les données sont présentées par année civile, de l'hiver à l'automne.



6.2. Methodologie

6.2.1. Travail à la mer

Les prélèvements sont réalisés à partir du N/O Sepia II à la drague Rallier du Baty et sont donc a priori qualitatifs. Toutefois, l'efficacité de ce type d'engin permet de comparer les abondances relatives obtenues. Les abondances absolues données à titre indicatif en annexe sont rapportées à un volume prélevé d'environ 30 litres, 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 (dilution à 10 %).

Un échantillon de sédiment est conservé afin de réaliser une analyse granulométrique au printemps et 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 à 0,01 gramme près. les résultats sont ensuite regroupés 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.

La détermination 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: Echinodermes
- 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:

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



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 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 (Fig 6.2)

Dans l'ensemble, comme les années précédentes, les résultats des analyses sont assez proches au printemps et en automne (Tableau 6.2 et Tableau 6.3).

	P	SF	SM	SG	GF	GG	C
Station 1	0.03	0.08	0.30	3.25	1.00	1.09	94.3
Station 2	1.94	0.50	8.83	19.83	7.12	6.96	54.81
Station 6	2.06	0.32	0.84	2.00	0.88	3.62	90.3
Station 16	0.44	3.11	55.38	39.30	1.58	0.18	0.00
Station H.Z.	1.72	0.64	21.51	62.68	10.86	2.59	0.00

Tableau 6.2 : Analyse granulométrique - Fréquences pondérales (%)(Printemps 2001)

	P	SF	SM	SG	GF	GG	C
Station 1	0.01	0.06	0.15	2.09	0.91	1.17	95.6
Station 2	0.01	0.08	0.61	3.11	0.83	2.89	92.5
Station 6	0.02	0.16	0.32	1.57	1.01	1.05	95.9
Station 16	0.13	1.32	19.32	56.22	15.74	4.20	3.07
Station H.Z.	0.05	3.69	41.80	42.53	5.68	5.76	0.50

Tableau 6.3 : Analyse granulométrique - Fréquences pondérales (%)(Automne 2001)

Aux stations 1 et 2 (peuplement des cailloutis), les résultats confirment ceux des années précédentes (Davoult, 1992 & 1993, Davoult & Migné, 1994 à 2000). Le sédiment est fortement dominé par les cailloutis, avec généralement plus de 90 % du poids du sédiment, sauf au printemps à la station 2 où les cailloutis ne représentent que 55 % du poids du sédiment et les sables grossiers et graviers plus de 30 %. A la station 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 de la station 6 était dominé jusqu'en 1990 par les sables moyens (Bourgain *et al.*, 1988 ; Davoult, 1990). En 1992, la station 6 était caractérisée par un sédiment typique des fonds caillouteux (> 80 % du poids du sédiment) et de 1993 à 1998 par un sédiment variable de l'hétérogène au grossier. En 1999, le sédiment était pratiquement entièrement caillouteux au printemps (> 90 % de cailloutis) et grossier en automne (75 % de cailloutis, 12 % de graviers et 12 % de sables) ; cette station ne constituait donc plus un élément intermédiaire au sein d'un gradient sédimentaire côtier mais appartenait avec les stations 1 et 2 à une zone de cailloutis. Cette tendance était confirmée en 2000 puisque le sédiment est largement dominé par les cailloutis (83 % au printemps et 94 % en automne). Cette année, les cailloutis représentent plus de 90 % du poids du sédiment lors des deux campagnes.

A la station 16, de 1995 à 1998, la proportion de graviers et cailloutis tendait à augmenter. En 1999, celle-ci a rediminué de façon assez importante: le sédiment hétérogène était dominé par les sables grossiers. En 2000, le sédiment était hétérogène au printemps, constitué à la fois d'une part importante de sables moyens et grossiers (37 % du poids du sédiment) et de graviers et cailloutis (61 %) mais il était dominé par les cailloutis en automne (61 %). Cette année, le sédiment est redevenu hétérogène et dominé aux deux saisons par les sables moyens et grossiers.

La station H.Z. présente un sédiment assez proche de celui des années précédentes, légèrement plus grossier, et dominé par les sables moyens et grossiers (plus de 80 % du poids du sédiment au printemps et en automne, Tableau 6.3).

L'évolution de la couverture sédimentaire du domaine côtier observée au cours des années précédentes a donc fait place à une situation qui paraît de nouveau relativement stable: 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 de la station 1 à l'ouest aux sables moyens de la station H.Z. à l'est s'est mis en place depuis 1992. Depuis quelques années, la zone côtière n'est plus structurée en gradient mais constituée d'une part d'un secteur caillouteux à l'ouest (stations 1 à 6) et d'autre part d'un secteur de sables hétérogènes à l'est (station H.Z.). Seule la station 16 montre des fluctuations saisonnières et interannuelles assez importantes et elle appartient cette année au secteur des sables hétérogènes.



6.3.2. Analyse faunistique

6.3.2.1. Résultats globaux

111 taxons différents d'épifaune sessile et vagile et d'endofaune ont été identifiés, se répartissant comme suit:

Spongiaires :	7 espèces
Cnidaires :	9 espèces
Plathelminthes :	1 espèce
Annélides :	19 espèces
Sipunculien :	1 espèce
Mollusques :	18 espèces
Bryozoaires :	15 espèces
Cirripèdes :	2 espèces
Isopodes :	1 espèce
Amphipodes :	8 espèces
Décapodes :	18 espèces
Echinodermes :	3 espèces
Tuniciers :	6 espèces
Poissons :	3 espèces

Le nombre d'espèces récoltées est légèrement supérieur à celui des années précédentes: 97 espèces en 1995, 1997 et 2000, 100 espèces en 1996, 94 espèces en 1998 et 91 espèces en 1999. Il n'en reste pas moins une assez forte stabilité du nombre d'espèces récoltées depuis la mise en place de la nouvelle stratégie de surveillance.

Stations	Nombre d'espèces	Nombre d'individus	H	E
Hiver 2001				
1	37	139	3.5	0.77
6	56	585	2.8	0.62
Printemps 2001				
1	38	198	3.4	0.75
2	39	317	2.7	0.66
6	31	695	2.9	0.61
16	5	1130	0.4	0.10
H.Z.	0	0	0.0	0.00
Été 2001				
1	43	166	3.9	0.85
6	56	737	2.9	0.59
Automne 2001				
1	44	73	3.9	0.89
2	48	389	2.7	0.55
6	39	289	3.6	0.73
16	0	0	0.0	0.00
H.Z.	0	0	0.0	0.00

Tableau 6.4 : Nombre d'espèces, d'individus, diversité et régularité des prélèvements



La diminution enregistrée depuis 1992 est due à la fois à la suppression de la station 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 à la station 1, ce qui a provoqué une diminution de la diversité spécifique par modification du milieu au détriment de la petite endofaune annélide, notamment.

Depuis 1993, la dominance des différents groupes zoologiques s'est modifiée quelque peu au profit des espèces de substrat dur (Cnidaires et Bryozoaires) abondantes notamment à la station 1 depuis la disparition de la moulière: toutefois, les Annélides dominent toujours (17,1 %), suivies par les Mollusques et les Crustacés décapodes (16,2 %), les Bryozoaires (13,5 %), les Cnidaires (8,1 %). Les Tuniciers (5,4 %) restent minoritaires mais sont néanmoins toujours bien représentés et sont un des groupes majoritaires de certaines stations (stations 1 et 6) en nombre d'individus (voir plus loin).

2 espèces nouvelles pour la zone ont été identifiées:

Bryzoaire: Fenestrulina malusii
Mollusque: Crenella prideauxi

Ce Bryzoaire n'a encore jamais été signalé sur les côtes françaises de la Manche orientale alors que le Mollusque bivalve est connu à d'autres stations de Manche orientale.

6.3.2.2. Peuplement des cailloutis

Depuis 1992, date de disparition de la moulière à *Mytilus edulis*, les stations 1, 2 et 6 appartiennent à ce peuplement. Deux faciès sont toutefois présents:

- un faciès du large visible à la station 2, caractérisé notamment par la forte dominance de l'ophiure *Ophiothrix fragilis* (> 45 % au printemps et > 60 % en automne). Ce faciès apparaît généralement très stable, les quatre espèces dominantes représentent au printemps plus de 70 % des individus récoltés (*O. fragilis*, *Dendrodoa grossularia*, *Pomatoceros triqueter* et *Lepidonotus squamatus*) et en automne plus de 85 % des individus récoltés (*O. fragilis*, *Dendrodoa grossularia*, *Pisidia longicornis* et *Styela coriacea*). Les DRF sont typiquement rectilignes à sigmoïdes et séparent les espèces dominantes des autres espèces (Fig. 6.4 en annexe). L'indice de diversité de Shannon (Tableau 6.4) assez moyen ($H = 2,8$ et $2,2$) reflète à la fois la dominance d'une espèce et le grand nombre d'espèces récoltées, de même que la régularité ($E = 0,63$ et $0,44$).
- un faciès côtier (stations 1 et 6) dominé comme les années précédentes par les Annélides tubicoles *Thelepus setosus*, *Sabellaria spinulosa* et *Pomatoceros triqueter* ainsi que par les Tuniciers *Styela clava*, *Styela coriacea* et *Molgula manhattensis*.



Deux autres espèces sont également bien représentées à la station 6: le Sipunculien *Golfingia minuta* et le Mollusque *Crepidula fornicata*, cette dernière espèce étant abondante depuis quelques années sur le site.

Les DRF (Fig. 6.3 & 6.5 en annexe) sont dans l'ensemble légèrement convexes, mais ils montrent néanmoins la dominance d'un faible nombre d'espèces (6 à 10). Malgré le nombre élevé d'espèces récoltées (31 à 56), l'indice de Shannon, relativement élevé, ne dépasse pas 3,9 en raison de la co-dominance de quelques espèces (régularité de 0,57 à 0,83): ces résultats sont très proches de ceux des deux années précédentes.

Depuis 1992, les Tuniciers ont partiellement pris la niche 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 plus de 40 % des individus récoltés (Station 1 en été et en automne). Ce basculement de structure est maintenant établi et stable depuis 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 (Fig. 6.2) et le cortège faunistique (annexe).

6.3.2.3. Peuplement des sables hétérogènes

L'analyse faunistique des stations 16 et H.Z. met habituellement en évidence un faible nombre d'espèces : par exemple, en 1999, respectivement 3 et 1 espèces avaient été récoltées au printemps et 4 et 3 espèces en automne.

En 2000, à la station 16, le sédiment grossier hétérogène avait favorisé la présence d'un beaucoup plus grand nombre d'espèces (26 au printemps et 24 en automne). le Gastéropode *Crepidula fornicata*, présent depuis 1997, était fortement dominant (plus de 1000 individus récoltés dans 30 litres de sédiment !) et représentait plus de 90 % des individus récoltés ; il affectionne les fonds hétérogènes plutôt graveleux et n'est pas considéré comme caractéristique du peuplement des sables hétérogènes. Les autres espèces récoltées étaient également caractéristiques des fonds grossiers. A la station H.Z., toujours très pauvre en espèces récoltées (6 au printemps, 0 en automne !), on retrouvait un cortège spécifique caractéristique des sables moyens de Manche orientale: *Nephtys cirrosa*, *Aonides oxycephala*, *Bathyporeia elegans*, *Gastrosaccus spinifer*.



Cette année, 4 espèces ont été récoltées à la station 16 au printemps, aucune à la station H.Z. et les prélèvements d'automne de ces deux stations ne contenaient aucune espèce.

Les 4 espèces récoltées sont pour partie caractéristiques de sédiments hétérogènes (*Crepidula fornicata*, qui représente plus de 90 % des individus récoltés, et l'éponge *Ciocalypta penicillus*, caractéristique de fonds grossiers ensablés) et pour partie caractéristiques des milieux sableux côtiers (l'Annélide *Ophelia borealis* et la crevette *Crangon crangon*). La pauvreté habituelle de ces sables hétérogènes côtiers est peut-être amplifiée par l'instabilité sédimentaire observée et certainement liée à des mouvements importants de sables lors des tempêtes d'hiver, en particulier, sur ces milieux peu profonds (Davoult *et al.*, 1998).

Comme les années précédentes, ces résultats confirment la structure de la zone côtière telle qu'elle s'est mise en place depuis la disparition de la moulière, à savoir la présence de deux domaines fortement différenciés: les cailloutis de l'ouest (stations 1 et 6) et les sables hétérogènes de l'est (stations 16 et H.Z.). Le sédiment de la station 16 continue à fluctuer des sables hétérogènes aux graviers et cailloutis. Cette variation, à la fois saisonnière et interannuelle, est peut-être due à l'action des tempêtes hivernales et de début de printemps (Davoult *et al.*, 1998). La disparition de la moulière peut expliquer en partie la variation granulométrique observée à ces stations dans la mesure où celle-ci devait fortement diminuer les courants de marée de fond pendant les périodes de flot au profit 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 trainées sableuses d'environ 2 milles de long dans le prolongement d'une épave, à l'abri du courant de flot (Augris *et al.*, 1987). Les fonds côtiers évoluent vers une structure constituée d'un soubassement dur (calcaire et lit de silex) recouvert d'une faible épaisseur de sédiment grossier.

6.4. Conclusion

Le peuplement des cailloutis, représenté dans l'étude au large par la station 2 et à la côte par les stations 1 et 6, semble toujours relativement stable:

- Il est dominé, au large, comme les années précédentes par les mêmes espèces (*Ophiothrix fragilis*, *Pisidia longicornis*, *Thelepus setosus*, *Pomatoceros triquetus*, *Styela coriacea*, *Molgula manhattensis*),
 - 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 (stations 1 et 6) abrite de façon stable depuis 1990 un faciès côtier du peuplement des cailloutis à épibiose sessile, un peu moins diversifié que ne l'était la moulière: il y a donc eu basculement brutal d'une situation



stable à l'échelle de quelques années (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 depuis 1990 par les Tuniciers et des Annélides tubicoles de substrat dur (Davoult *et al.*, 1998).

La transition avec les sables hétérogènes s'effectue maintenant environ au niveau de la station 16, comme cela était déjà apparu depuis 1993, qui est la station dont le sédiment est le plus fluctuant. L'abondance de *Crepidula fornicata* à la station 16 depuis 1998 est un autre évènement important, l'espèce étant connue pour s'installer durablement et modifier éventuellement le substrat: en 2000, sa très forte augmentation d'abondance correspondait à un phénomène de type invasif, sans doute facilité par les variations du substrat. Sa dominance est confirmée en 2001.

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 plus de 10 ans risque donc de se poursuivre si aucune sédentarisation massive de moules ne se produit sur la zone des stations 1 et 6. L'évolution encore sensible en 1995 vers des sédiments plus grossiers est maintenant stabilisée, elle semble confirmer le rôle des courants de marée susceptibles, en l'absence de moulière, de provoquer un granulo-classement plus marqué. On note toutefois une variation saisonnière à la station 16 attribuée à l'action des tempêtes hivernales et de début de printemps (Davoult *et al.*, 1998).

L'actuelle répartition spatio-temporelle des stations de prélèvement paraît toujours bien adaptée: une campagne au printemps et une en automne, complétées de prélèvements intermédiaires aux stations 1 et 6, jusque là les plus variables, recentrées sur la zone côtière proche de la centrale, 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*, les Tuniciers). Le suivi de la station 2 paraît suffisant pour vérifier la stabilité interannuelle de la zone située plus au large.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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 halieutique, 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 2000. 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.



**Signification des abréviations d'espèces employées
dans les diagrammes rang-fréquence**

A.t.: Ammodytes tobianus
C.c.: Crangon crangon
C.f.: Crepidula fornicata
D.g.: Dendrodoa grossularia
G.m.: Golfingia minuta
L.s.: Lepidonotus squamatus
M.m.: Molgula manhattensis
O.b.: Ophelia borealis
O.f.: Ophiothrix fragilis
P.l.: Pisidia longicornis
P.s.: Polynoe scolopendrina
P.t.: Pomatoceros triqueter
S.c.: Styela clava
S.co.: Styela coriacea
S.s.: Sabellaria spinulosa
T.s.: Thelepus setosus



Annexe



Station 1

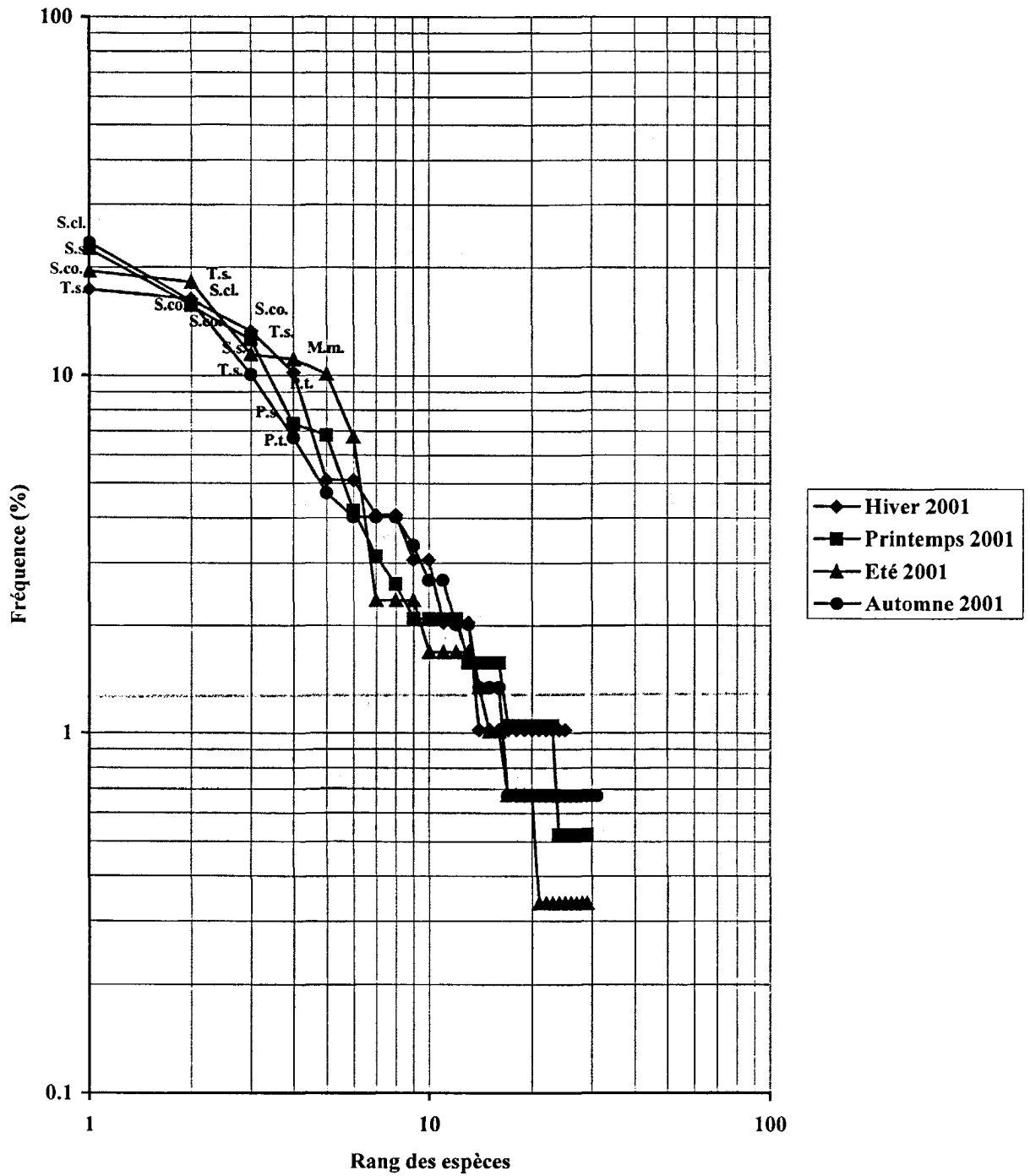


Figure 6.3 : D.R.F. de la station 1

Station 2

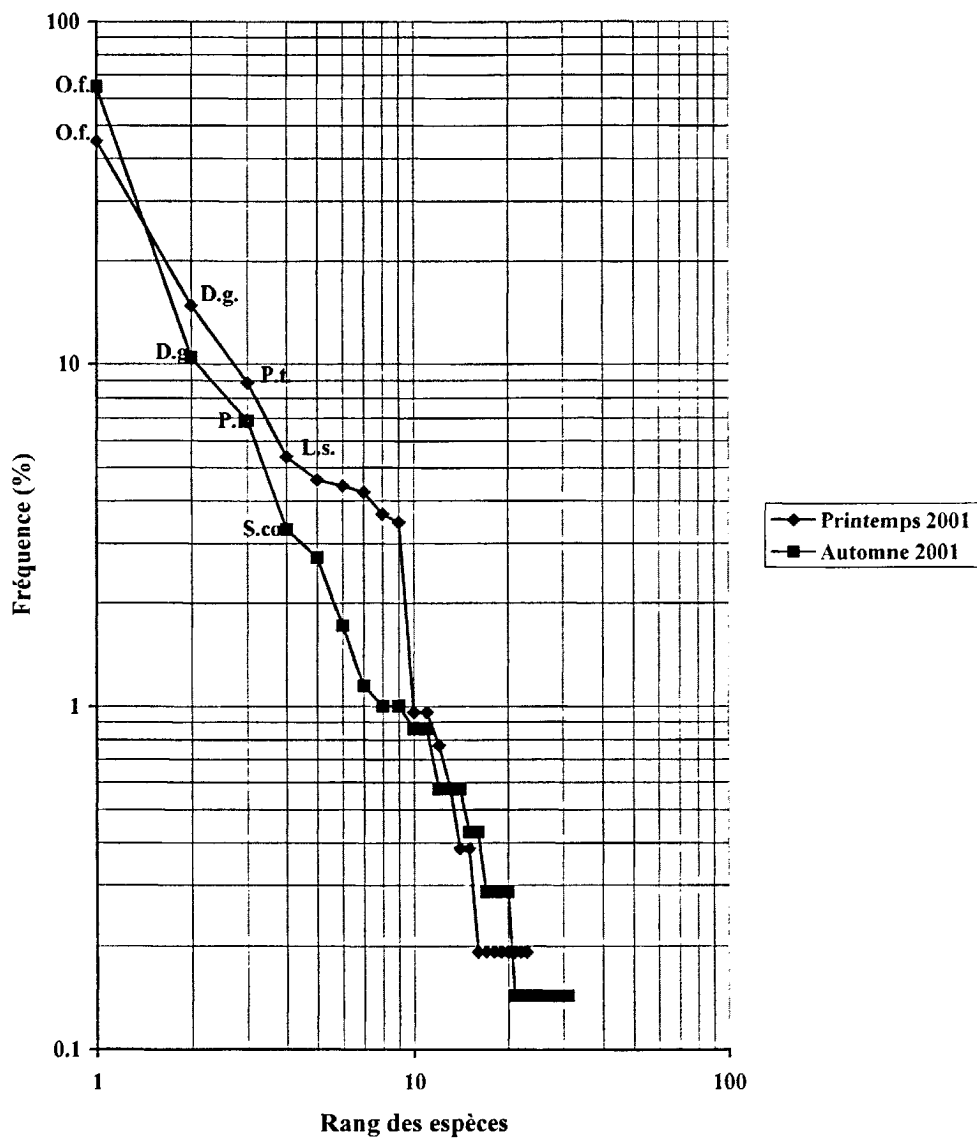


Figure 6.4 : D.R.F de la station 2

Station 6

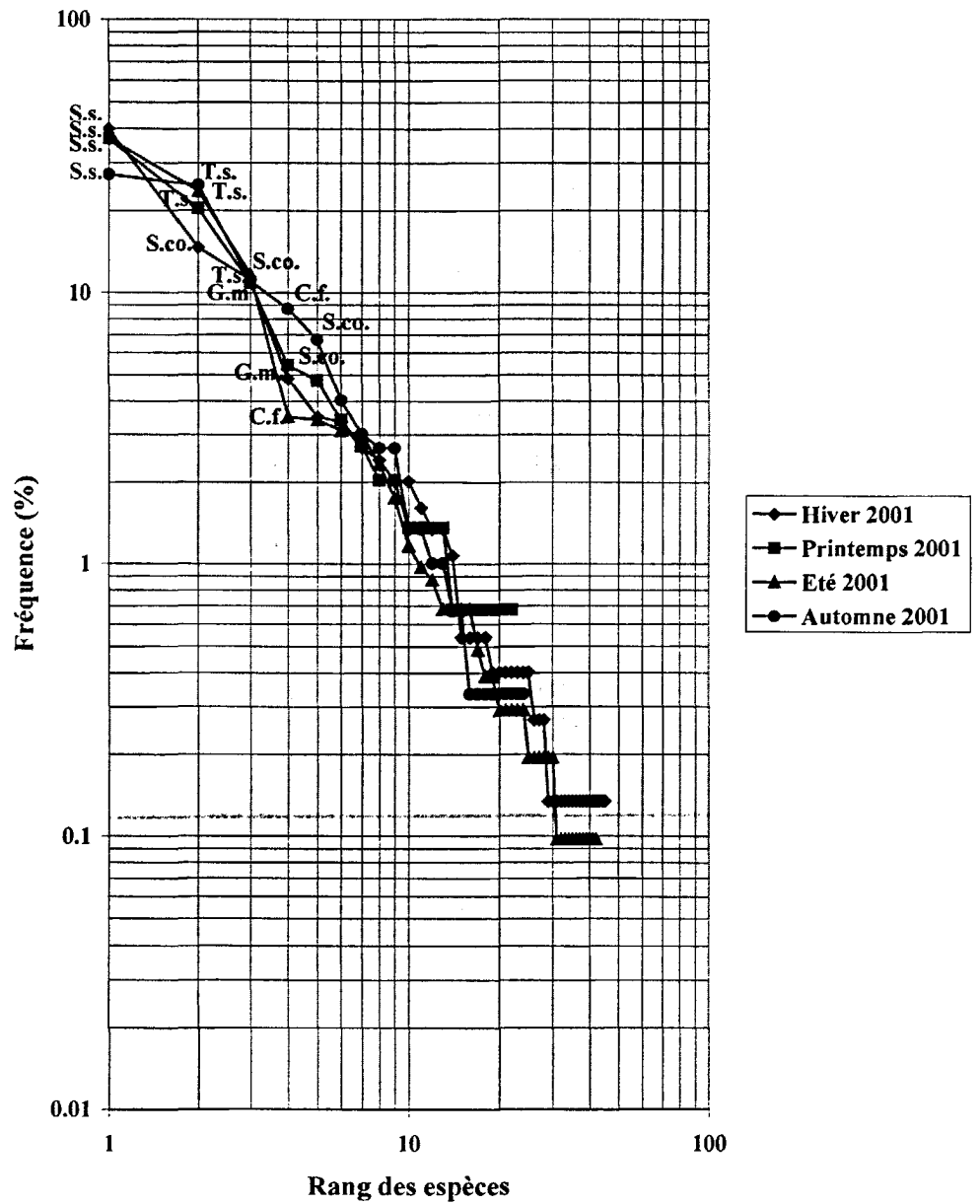


Figure 6.5 : D.R.F de la station 6



Station 16

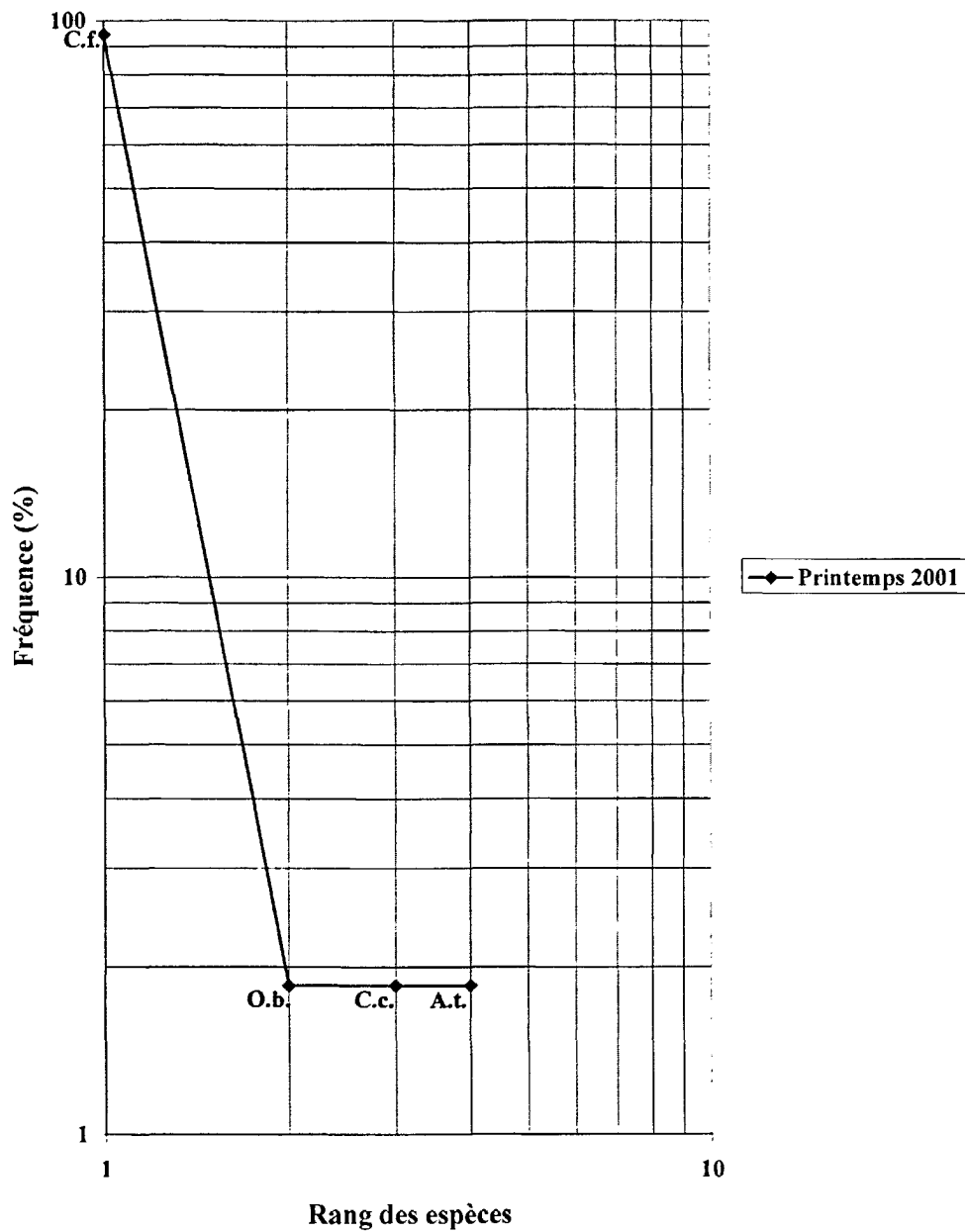


Figure 6.6 : D.R.F de la station 16

Espèces	Stations	Hiver 2001		Printemps 2001				Été 2001		Automne 2001		
		1	6	1	2	6	16	1	6	1	2	6
Spongiaires												
<i>Sycon ciliatum</i>			1			5						
<i>Leucosolenia botryoides</i>								+				
<i>Ciocalyptra penicillus</i>												++
<i>Dysidea fragilis</i>		+					+		+		+	+
<i>Tethya aurantium</i>											+	
<i>Haliclona oculata</i>									+			
<i>Spongiaire spp.</i>		+	+		+	+		+	+	+	+	+
Cnidaires												
<i>Tubularia indivisa</i>		+	++	+	+	+		+	++	+	+	
<i>Halecium halecinum</i>			+									
<i>Abietinaria abietina</i>												+
<i>Sertularia cupressina</i>										+	+	
<i>Kirchenpaueria pinnata</i>									+			
<i>Alcyonium digitatum</i>						+			+			
<i>Urticina felina</i>		1	4	2	1					1	4	
<i>Sagartia elegans</i>												1
<i>Actiniaires spp.</i>		1	1	6	3	3		7	1	1	4	
Platyhelminthes												
<i>Prostheceraeus vittatus</i>												1
Annélides												
<i>Anaitides mucosa</i>		2										
<i>Capitella capitata</i>		1										
<i>Ophelia borealis</i>							1					
<i>Nephtys caeca</i>					1					1		
<i>Kefersteinia cirrata</i>			1									
<i>Syllidae sp.</i>					1				1			
<i>Lepidonotus squamatus</i>			8	3	28	2		5	10	2	8	4
<i>Polynoe scolopendrina</i>		4	18	14	2	7		7	35	1	3	12
<i>Sthenelais boa</i>		5	3	2		1			2		1	1
<i>Pholoe minuta</i>			1									
<i>Marphysa sanguinea</i>			1	1		1			1	1		1
<i>Sabellaria spinulosa</i>		3	297	43	2	54		34	378	6	1	81
<i>Amphicteis gunneri</i>			10			2			12			3
<i>Thelepus setosus</i>		17	83	24	23	30		54	243	15	6	74
<i>Eupolymnia nebulosa</i>			1					2	4	1		
<i>Branchiomma vesiculosum</i>			1			1						
<i>Jasmineira elegans</i>			1									
<i>Sabella pavonina</i>		1	1					1	7			
<i>Pomatoceros triqueter</i>		10	15	13	46	5		20	24	10	7	9
Sipunculiens												
<i>Golfingia minuta</i>			36	4		16		5	31	1		8
Mollusques												
<i>Acanthochitona crinita</i>						1		1				1



Espèces	Stations	Hiver 2001		Printemps 2001				Eté 2001		Automne 2001		
		1	6	1	2	6	16	1	6	1	2	6
<i>Lepidochiton asellus</i>		1										
<i>Buccinum undatum</i>				5				1			2	
<i>Ocenebra erinacea</i>		1	3	3				1	2			2
<i>Nassarius incrassatus</i>			2			1						
<i>Diodora graeca</i>			1	2	1			1		2	3	1
<i>Emarginula fissura</i>											1	
<i>Calliostoma zizyphinum</i>			3	3				5				
<i>Crepidula fornicata</i>			26	2		2	51	3	36	4		33
<i>Trivia monacha</i>			1									
<i>Onchidoris bilamellata</i>				4				1				
<i>Nudibranche sp.</i>			1									
<i>Chlamys varia</i>		1	15	1		1			7			
<i>Crenella prideauxi</i>					1							
<i>Musculus discors</i>			1		5				3	3	6	
<i>Mya truncata</i>								1				
<i>Gari tellinella</i>									1			
<i>Venerupis pullastra</i>			1									
Bryozoaires												
<i>Conopeum reticulum</i>		+	+		+	+		+	+	+	+	+
<i>Electra pilosa</i>		+			+			+		+	+	+
<i>Bicellariella ciliata</i>					+				+			
<i>Crisia aculeata</i>					+							
<i>Disporella hispida</i>		+	+	+	+					+	+	
<i>Flustra foliacea</i>								+			+	
<i>Cellepora pumicosa</i>		+	+	+	+			+	+	+	+	+
<i>Tubulipora sp.</i>					+					+	+	
<i>Plagioecia patina</i>		+			+	+		+	+	+		+
<i>Chorizopora brongniartii</i>											+	
<i>Escharella immersa</i>		+	+	+	+			+		+	+	+
<i>Schizomavella auriculata</i>			+	+	+	+		+	+		+	+
<i>Fenestrulina malusii</i>					+							
<i>Amphiblestrum flemingii</i>		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Alcyonidium diaphanum</i>					+			+		+	+	
Cirripèdes												
<i>Balanus crenatus</i>		+	+	+		+		+	+	+		+
<i>Verruca stroemia</i>		+	+	+	+	+		+	+	+		
Isopodes												
<i>Anthura gracilis</i>											1	
Amphipodes												
<i>Orchomone nana</i>									1			
<i>Sthenothoe marina</i>									1			
<i>Melita gladiosa</i>						1			4			
<i>Corophium sextonae</i>									2			
<i>Jassa pusilla</i>									1			



Espèces	Stations	Hiver 2001		Printemps 2001				Été 2001		Automne 2001		
		1	6	1	2	6	16	1	6	1	2	6
<i>Erichtonius brasiliensis</i>		2							7			
<i>Gammaropsis maculata</i>			1									
<i>Pseudoprotella phasma</i>									1			
Décapodes												
<i>Eualus pusiolus</i>			4			1			1		1	1
<i>Pandalus montagui</i>			12					2	3	1		
<i>Pandalina brevirostris</i>		3		2		3		2	2	6	2	8
<i>Crangon crangon</i>							1			1		
<i>Galathea squamifera</i>				2								
<i>Galathea intermedia</i>		5	2	1				1	2	1	2	2
<i>Pisidia longicornis</i>		4	1	4	18			2	9	5	48	1
<i>Porcellana platycheles</i>						1						
<i>Pagurus pubescens</i>			10									
<i>Pagurus bernhardus</i>			3	1					3	1		1
<i>Anapagurus hyndmanni</i>		1	2					7	3	6	1	1
<i>Pilumnus hirtellus</i>		1	4					3	5	4	2	1
<i>Ebalia tuberosa</i>			3						1			
<i>Liocarcinus puber</i>			3		1	2						
<i>Liocarcinus pusillus</i>								1	3		1	
<i>Hyas coarctatus</i>					1				2		1	
<i>Inachus phalangium</i>				1								
<i>Macropodia rostrata</i>									1		1	
Echinodermes												
<i>Asterias rubens</i>		1	1	2						1		
<i>Ophiothrix fragilis</i>					234						452	
<i>Psammechinus miliaris</i>				4				4		2	7	
Tuniciers												
<i>Ascidia mentula</i>		1	3		22			5	7	7	23	3
<i>Asciella aspersa</i>									1			
<i>Styela clava</i>		16	20	8	4			30	18	35	4	4
<i>Styela coriacea</i>		13	109	30	24	8		58	120	24	19	26
<i>Dendrodoa grossularia</i>		1	4		77						73	
<i>Molgula manhattensis</i>		2	25	3	19	4		33	32	3	12	20
Poissons												
<i>Ammodytes tobianus</i>							1					
<i>Agonus cataphractus</i>											1	
<i>Lepadogaster bimaculatus</i>				1	1						1	

7. Le benthos intertidal

Rapport

Ingrid RICHARD
Station Marine de Wimereux



7.1. Introduction

Depuis 1973, la zone intertidale située à proximité de la Centrale Nucléaire de PALUEL fait l'objet d'un suivi écologique.

La dynamique de la population d'*Idotea granulosa* est étudiée, chaque année, au niveau de deux stations jouxtant la Centrale :

- l'une est située au Nord-Est de la centrale, à l'Ouest de St Valéry-en-Caux,
- l'autre est en amont de la centrale par rapport au sens de la dérive des masses d'eau, à environ un kilomètre au Nord-Est de Veulettes. Elle a été choisie, en accord avec EDF, comme station " témoin " car située dans une zone " hors impact ".

Au cours de cette année 2001, trois campagnes de prélèvements ont été effectuées pendant la période estivale qui correspond à la période de recrutement maximal de l'espèce *Idotea granulosa* : le 27 juin, le 24 juillet et le 20 août 2001.

7.2. Etude de la population d'*Idotea Granulosa*

7.2.1. Methodologie

7.2.1.1. Prélèvements

Le prélèvement consiste en un grattage de substrat au niveau de la ceinture algale constituée par des *Fucus* (zone d'abondance maximale de l'espèce *Idotea granulosa*) sur une surface de 50 cm x 50 cm, délimitée à l'aide d'un quadrat souple formé de quatre équerres métalliques, reliées par des cordes de nylon.

Les échantillons prélevés sont ensuite fixés au formol salé à 10%. La séparation des algues et des *Idotea granulosa* est effectuée par brassage et flottaison.

Au niveau de la station "témoin", à Veulettes, nous avons réalisé 16 prélèvements de 0,25 mètre carré dans la couverture de *Fucus vesiculosus* où l'on trouve préférentiellement l'espèce *Idotea granulosa*, afin d'établir une comparaison avec le site de St Valéry.

Au niveau de la radiale de "référence" de St Valéry, prospectée depuis 1973, nous avons également effectué 16 prélèvements dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* puisque le recouvrement des rochers par ces algues le permet de nouveau depuis 1996.



7.2.1.2. Poids des algues

Pour chaque échantillon, les algues sont pesées après dessiccation à l'étuve à 50° C. Nous nous référons donc à un poids sec par mètre carré.

7.2.1.3. Mesures des *Idotea granulosa*

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

7.2.1.4. Etude de la population d'*Idotea granulosa*

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

• Mâles

Les mâles sont aisément reconnaissables grâce à la présence d'un pénis bifide. Chez les individus de petite taille, la détermination est rendue plus aisée par la présence de l'appendix masculina situé à la face interne du deuxième pléopode. On distingue chez les mâles selon le degré de maturation sexuelle :

- les mâles juvéniles : stade I
- les mâles adultes : stade II, dont le deuxième périopode est couvert d'un duvet abondant.

• Femelles

Les femelles sont classées en 7 catégories :

- femelles juvéniles ou sans oostégite,
- femelles avec oostégites en cours de différenciation,
- femelles gravides - Stade I embryons sphériques,
- femelles gravides - Stade II : embryons allongés, enveloppes intactes,
- femelles gravides - Stade III : embryons segmentés, enveloppes rompues
- femelles gravides - Stade IV : yeux des embryons bien différenciés,
- femelles vides : marsupium vide.

7.2.2. 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 et RUSSEL, 1909 ; NAYLOR, 1955 ; SYWALA, 1964 ; HORLYCK, 1973).

Sa répartition géographique s'étend de la Normandie jusqu'à la Mer Blanche. Cette espèce est à sa limite méridionale dans la région de Paluel et peut donc constituer un bon test pour un éventuel impact thermique.

Idotea granulosa se rencontre à tous les niveaux de l'estran mais sa présence est maximale dans le peuplement à *Fucus vesiculosus*.



Les périodes de reproduction sont au nombre de deux : une période estivale (juillet-août) qui concerne les animaux nés l'année précédente et une période automnale (septembre-octobre) qui affecte des individus nés pendant l'été. Il est néanmoins possible de trouver des femelles gravides toute l'année.

L'élevage d'*Idotea granulosa* nous a permis de connaître avec plus de précision le cycle de vie de cette espèce (DEWARUMEZ, 1979).

La mue affecte les adultes selon une périodicité de 26 à 28 jours tandis que chez les juvéniles, la durée d'intermue varie, selon l'âge, de 5 à 20 jours. La gestation des femelles dure 13 à 15 jours. La "ponte" est suivie d'une phase de repos de deux semaines environ, durant laquelle la femelle n'est pas fécondable. Il faut attendre la mue suivante pour que la femelle soit à nouveau fécondable. La gestation n'interrompt donc pas le cycle des mues. La gestation se déroule en quatre phases (DEWARUMEZ, 1979).

Stade	Durée en jours
I	6 - 7
II	3 - 4
III	2
IV	2

La longévité des mâles est de 18 mois, ils atteignent une taille maximale théorique de 16,4 mm.

Le plus grand individu mâle a été récolté le 21 mai 1986 à Veulettes ; il mesurait 20,5 mm. Cette année le plus grand mâle récolté mesurait 15,1 mm (prélèvement du 27 juin à St Valéry). A Veulettes, le plus grand mâle récolté en juin 2001 mesurait 13,6 mm.

La longévité des femelles est de 15 mois ; elles atteignent une taille maximale théorique de 13,0 mm .

La plus grande femelle récoltée mesurait 15,3 mm (mars 1980).

En 2001, la plus grande femelle atteignait 11,4 mm (prélèvement du 24 juillet à St-Valéry - femelle vide).

A Veulettes, la plus grande femelle récoltée en juillet 2001 mesurait 9,1 mm (femelle gravide de stade 1).

7.2.3. Variation de la densité d'algues et d'*Idotea granulosa*

Pour chaque échantillon de 0,25 m², nous avons reporté dans le tableau 7.1, le poids sec algal en grammes et le nombre d'*Idotea granulosa* récoltées au niveau de la radiale de " référence " de St Valéry et au niveau de la radiale " témoin " de Veulettes.

Ces données nous ont permis de calculer une moyenne de poids d'algues et de nombre d'Idotées au mètre carré pour chacun des deux sites.



Prélèvements	27 juin 2001				24 juillet 2001				20 août 2001			
	St Valéry		Veulettes		St Valéry		Veulettes		St Valéry		Veulettes	
	Poids algues (g)	Nb. I.g.	Poids algues (g)	Nb. I.g.	Poids algues (g)	Nb. I.g.	Poids algues (g)	Nb. I.g.	Poids algues (g)	Nb. I.g.	Poids algues (g)	Nb. I.g.
1	125	14	197	29	154	28	116	21	108	14	124	27
2	210	18	130	23	117	7	121	38	92	18	95	19
3	128	27	75	8	102	8	131	49	104	4	96	15
4	148	22	99	16	155	10	139	43	101	16	167	29
5	104	13	188	35	118	19	102	19	138	19	105	7
6	143	29	144	24	123	22	187	18	111	10	153	18
7	178	20	132	34	171	15	94	34	73	14	154	18
8	127	31	182	39	177	15	104	43	144	13	148	11
9	82	16	182	56	93	12	157	37	107	4	118	24
10	125	13	155	47	151	23	170	54	125	6	150	39
11	130	36	76	22	155	18	133	14	136	11	147	24
12	153	39	166	47	124	11	111	24	114	14	112	14
13	97	18	164	67	119	8	140	29	104	8	109	18
14	117	17	92	35	164	31	107	23	134	18	83	20
15	129	52	229	84	148	20	117	22	105	7	143	29
16	125	14	162	80	105	15	127	23	159	5	107	19
Moyenne au m ²	530,3	94,75	593,3	161,50	544	65,50	514	122,75	463,8	45,25	502,8	82,75

Tableau 7.1 : Relation entre poids d'algues (poids sec en grammes) et nombre d'*Idotea granulosa* (I.g.) dans les prélèvements de 0,25 m² de St-Valéry-en-Caux et Veulettes-sur-mer

7.2.3.1. Densité d'algues

- Densité d'algues à St Valéry-en-Caux

Lors des campagnes de prélèvements 2001, on a pu constater que les *Fucus vesiculosus* étaient bien réinstallés sur le site de St Valéry (photo 1).



Photo 1 : zone de prélèvement sur le site de St Valéry (août 2001).
Les *Fucus vesiculosus* recolonisent l'estran.

Par contre les chiffres de densité algale (densité moyenne calculée en g/m^2 à partir des 16 prélèvements du tableau 7.1) sont plus faibles que ceux de l'année dernière (tableau 7.2). Les chiffres sont du même ordre de grandeur que ceux de 1999 sauf fin juillet, où la densité algale atteignait un maximum de 544 g/m^2 : les frondes de *Fucus* étaient d'ailleurs très longues et à maturation (en 99, maximum observé fin juin : $533,4 \text{ g/m}^2$).

On constate (figure 7.1) , par rapport à l'abondance des *Fucus* en 1996, 97, 98 et 2000, une légère chute de la densité algale en 2001.

Cette diminution de la densité est cependant moindre que celle de juillet 99. Dans les prélèvements on remarquait, fin août 2001, des pieds de *Fucus* encore en reproduction.

	1ère campagne		2ème campagne		3ème campagne	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
1988	101,6	489,2	87,6	530	32,8	429,2
1989	45	573,2	109,3	590,5	74,5	603,3
1990	38,7	354	31,1	714,9	19	595,6
1991	18,5	903	0	980,9	0	855
1992	24,4	896,9	35,4	867,8	12,2	917,8
1993	0	787,4	0	929,5	12,1	771,3
1994	46,1	823,5	41,3	782,9	27,1	598,7
1995	346,9	704,8	450,4	827,2	490	715,7
1996	628,1	716,3	650,3	682,3	619,6	679,6
1997	604,7	655,1	636,6	735,9	599,0	793,6
1998	590,0	794,1	617,6	669,6	674,8	868,1
1999	533,4	549,9	382,1	461,4	472,6	570,6
2000	583	774,3	671	764,3	599,3	747,3
2001	530,3	593,3	544	514	463,8	502,8

Tableau 7.2 : Densités estimées des *Fucus* (en g/m²) à St Valéry-en-Caux et à Veulettes entre 1988 et 2001 pendant la période estivale

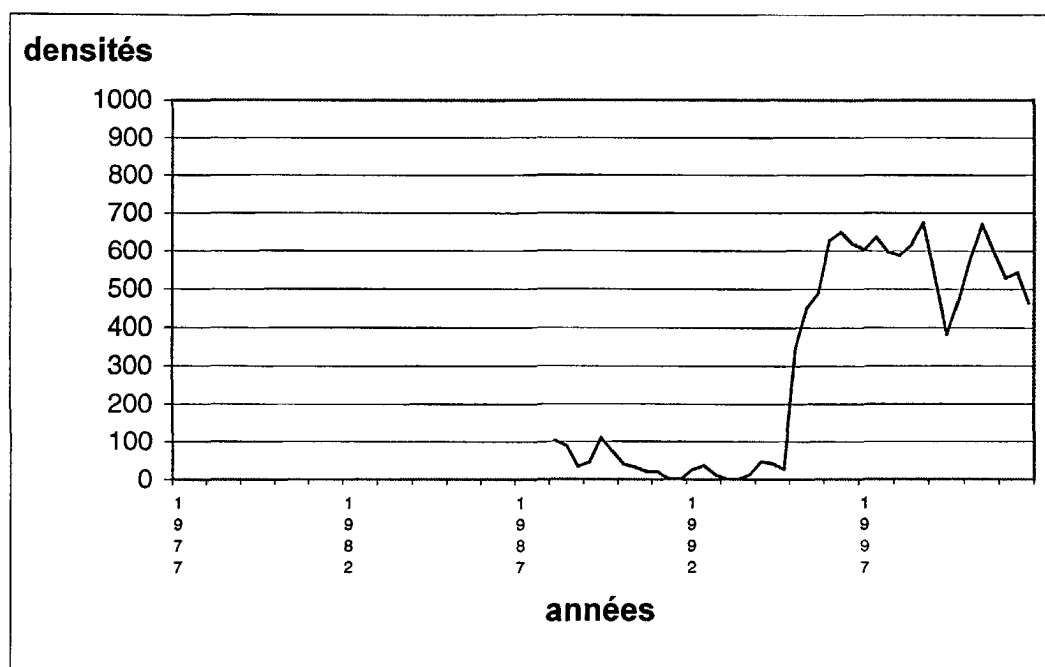


Figure 7.1 : Evolution des densités de *Fucus* (en g/m²) entre 1988 et 2001 à St Valéry

Nous avons constaté en août 1999 la présence de nombreuses *Littorina littoralis*, encore dénommée *Littorina obtusata* (Linné, 1758) qui est un gastéropode brouteur de Fucus.

De ce fait, nous avons procédé cette année, comme en 2000, à des prélèvements systématiques sur 1 m² de Mollusques sur les sites de St Valéry et Veulettes, au cours des campagnes de juin, juillet et août (tableau 7.3 ci-dessous)

	27 juin 2001		24 juillet 2001		20 août 2001	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
<i>Littorina littoralis</i>	58	82 + pontes	30 + 2 petits individus	41	31 + 6 petits individus	31 + 26 petits individus
<i>Littorina littorea</i>	5	1	2	36	8	44 + 4 petits individus
Gibbule	37	8	60	146	54	48 + 14 petits individus
Patelle	22	27	31	51 (nombreux petits individus)	34	42
Chiton	1	3	5	6	3	9
Pourpre	0	0	0	0	1	1

Tableau 7.3 : Paluel 2001 - Densité des mollusques au sein des ceintures de *Fucus vesiculosus* (nb d'individus au m²)

On constate des densités comparables, en 1999, 2000 et 2001 en Gibbules et Patelles lors des trois campagnes de prélèvements.

Mais on note que les *Littorina littoralis* présentent une très forte densité (58 individus/m² en juin 2001) tandis qu'en 2000, lors des 2 premières campagnes estivales, cette densité de *Littorina littoralis* ne dépassait pas 9 individus au m².

La diminution de densité algale en 1999 et en 2001 pourrait être imputable à un broutage des Fucus par ce gastéropode. On a noté toutefois, lors de ces campagnes, que les frondes de *Fucus vesiculosus* étaient bien développées et intactes alors qu'en 1999, les thalles étaient de petite taille et érodés.



Photo 2 : Site de St Valéry - 20 août 2001 -
Les Fucus ont été prélevés ; on voit les Mollusques sur la roche laissée à nue

- Densité d'algues à Veulettes
Depuis 1996, les prélèvements à Veulettes sont effectués uniquement dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* (photo 3).



Photo 3 : Zone de prélèvement des *Fucus vesiculosus* à Veulettes

On constate que les chiffres de densité algale (calculée à partir des valeurs pondérales en gramme des 16 prélèvements, rapportées au m^2 - tableau 7.1) sont beaucoup plus faibles que ceux de l'année dernière (tableau 7.2).

Ces valeurs restent légèrement plus élevées que celles observées en 1999 sauf fin août 2001 où la densité est faible, $502,8 \text{ g/m}^2$. Ce chiffre est en corrélation avec ce que l'on observait sur le terrain : les pieds de Fucus dans les prélèvements d'août étaient de petite taille (photo 4).



Photo 4 : Veulettes août 2001- quadrat en place ($0,25 \text{ m}^2$) : les frondes de Fucus sont de petite taille

On remarque (tableau 7.2) que les densités algales à Veulettes et à St Valéry sont du même ordre de grandeur en restant légèrement plus importantes à Veulettes sauf lors de la campagne de fin juillet: 514 g/m^2 à Veulettes et 544 g/m^2 à St Valéry.

On a pu également constater, pendant toute la saison estivale, une étendue de Fucus moindre à Veulettes qu'à St Valéry. Les hauts niveaux étaient totalement dénudés (photo 5) en comparaison avec les années antérieures.





Photo 5 : Veulettes - août 2001 - Hauts niveaux de l'estran dénudés de Fucus

L'analyse de la figure 7.2, de l'évolution des densités d'algues, montre une tendance à la diminution des densités de Fucus depuis 1992.

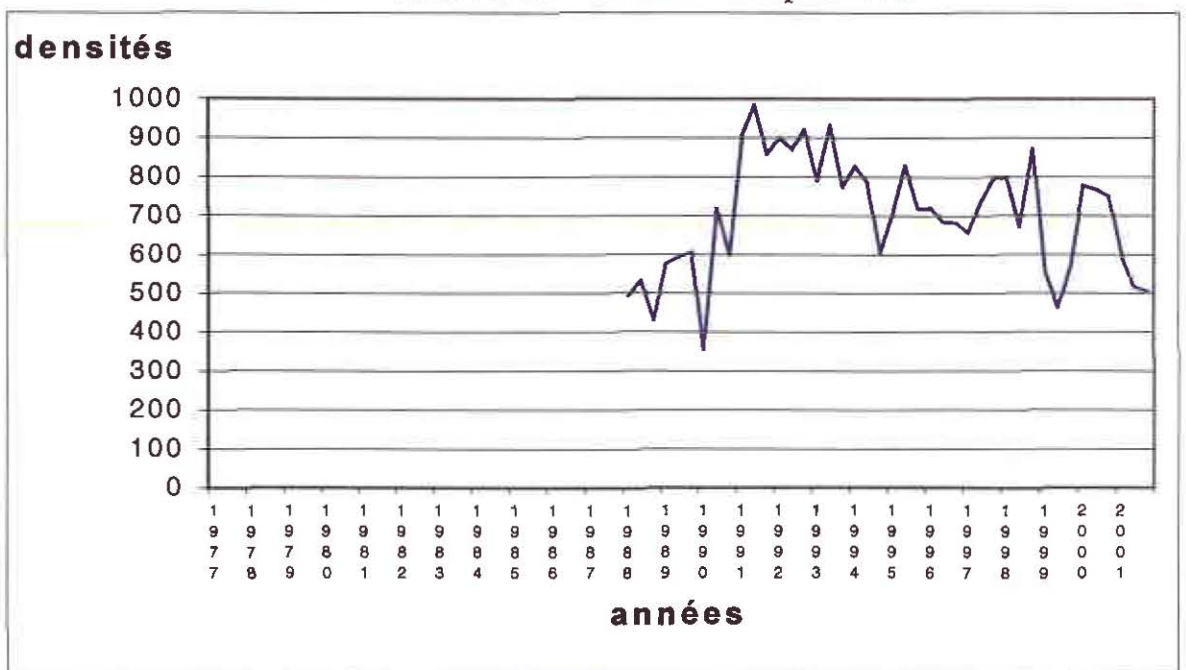


Figure 7.2 : Evolution des densités de Fucus (en g/m²) entre 1988 et 2001 à Veulettes

Comme à St Valéry, on a pu trouver (tableau 7.3) un nombre important de Gastéropodes dans les prélèvements : de gros individus et de nombreuses pontes de *Littorina littoralis* ont été observés fin juin 2001 à Veulettes.

Cette espèce *Littorina littoralis*, brouteuse de Fucus est particulièrement abondante (82 individus/m² fin juin 2001) comme elle l'était en 1999 (50 à 55 individus/m²) alors qu'en 2000, elle était de 5 à 7 individus/m² lors des deux premières campagnes de prélèvement.

7.2.3.2. Densité d'*Idotea granulosa*

- Densité d'*Idotea granulosa* à St Valéry-en-Caux

Les densités d'*Idotea granulosa* (tableau 7.1) sont nettement inférieures à celles de l'année dernière (tableau 7.4).

Le maximum de densité est observé fin juin avec 94,75 individus/m². Ensuite, les chiffres ne cessent de décroître pendant la saison estivale (65,50 individus/m² fin juillet et 45,25 individus/m² fin août).

	1ère campagne		2ième campagne		3ième campagne	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
1988	6,75	33	1,5	83	0,25	40,75
1989	3,75	23	18,25	83,75	0,5	17,5
1990	3,75	70,25	3	113,75	3,75	35
1991	3,5	117,5	0	145,25	0	142,75
1992	8,25	106,5	0,75	159	0,5	85,5
1993	0	74,75	0	102,75	4,75	54,25
1994	3	134,5	4,5	86,5	1,75	58,75
1995	57	103	118,5	181,3	53	49
1996	89	45	195	173,5	86	172,75
1997	79	180	66,25	71,25	39	38
1998	75,75	162,75	162,75	188,25	56,25	155,25
1999	67,75	123,50	69	75,50	36	36
2000	133	155	251,25	209,25	61,25	154,25
2001	94,75	161,50	65,50	122,75	45,25	82,75

Tableau 7.4 : Densités d'*Idotea granulosa* (nombres d'individus par m²) lors des trois campagnes estivales de prélèvements réalisées à St Valéry-en-Caux et à Veulettes entre 1988 et 2001



On ne retrouve pas les pics estivaux observés en 1996, 1998 et 2000 (figure 7.3).

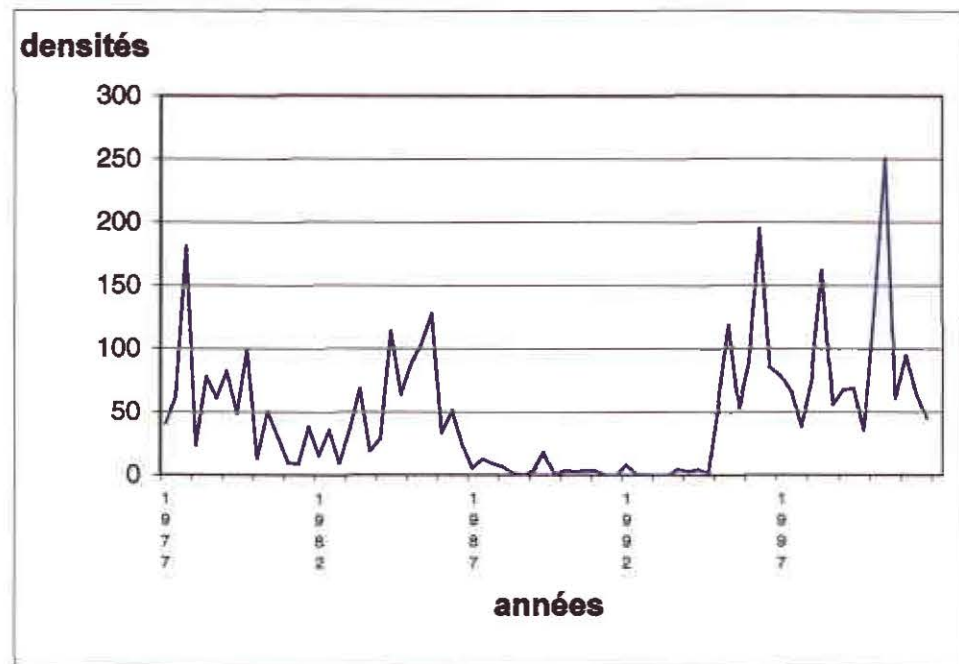


Figure 7.3 : Evolution des densités d'*Idotea* au m² entre 1977 et 2001 à St Valéry

- Densité d'*Idotea granulosa* à Veulettes

Comme à St Valéry, on observe une chute des densités d'*Idotea granulosa* (tableau 7.1) tout au long de la période estivale (tableau 7.4 et figure 7.4).

La densité maximale est observée fin juin 2001 : 161,50 individus/m² ; ce chiffre est légèrement supérieur à celui de 2000 à la même époque (155 individus/m²).

Par contre en juillet et août 2001, les densités sont nettement inférieures à celles enregistrées en 2000, mais elles sont supérieures à celles de 1999.

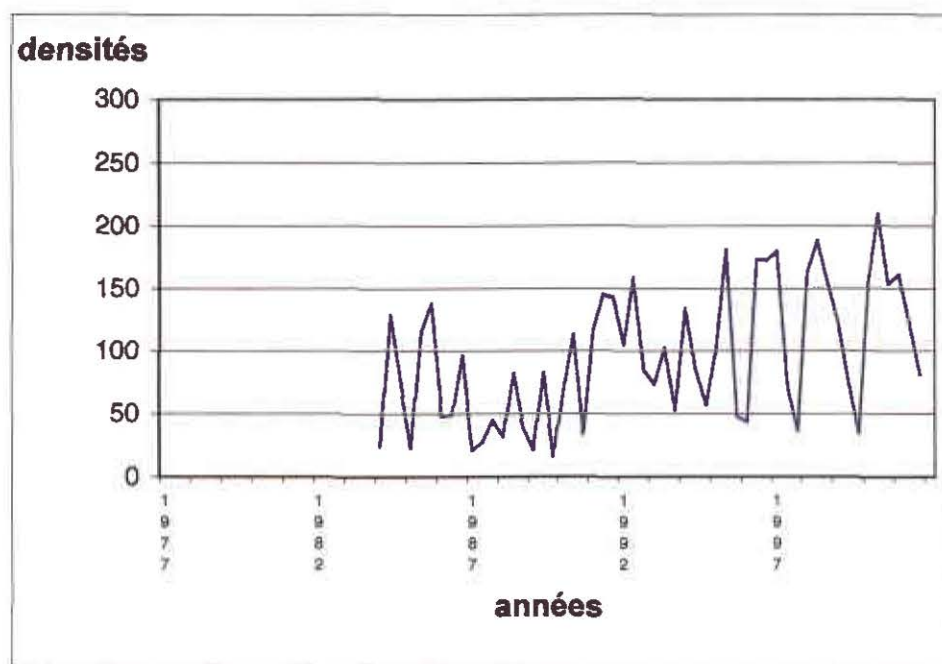


Figure 7. 4 : Evolution des densités d'Idotées au m² ntre 1984 et 2001 à VEULETTES

7.2.3.3. Rapport entre les densités d'Idotées et d'algues

- Rapport entre les densités d'Idotées et d'algues à St Valéry

Le rapport (en %) entre les densités d'*Idotea granulosa* et les quantités d'algues (exprimées en poids sec/m²) (tableau 7.5) montre une colonisation correcte des Fucus par les Idotées.

Il y a bien une corrélation entre la densité algale et la densité des *Idotea granulosa*.

La densité d'Idotées décroît au cours de l'été, comme en 1997, alors qu'on constate normalement une densité plus forte en juillet (deuxième campagne).

La représentation graphique de l'évolution de cette densité depuis 1988 (figure 7. 5) montre bien une fluctuation d'abondance très marquée des valeurs maximales. Par contre, les densités minimales semblent se stabiliser depuis 1994 à des valeurs comprises entre 6 et 10 Idotées pour 100 grammes d'algues, au m².

	1ère campagne		2ième campagne		3ième campagne	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
1988	6,64	6,74	1,71	15,66	0,76	9,49
1989	8,33	4,01	16,70	14,18	0,67	2,90
1990	9,69	19,84	9,65	15,91	19,74	5,88
1991	18,92	13,01	0	14,81	0	16,70
1992	33,81	11,87	2,12	18,32	4,10	9,32
1993	0	17,08	0	11,05	39,26	6,98
1994	6,51	16,33	10,90	11,04	6,46	9,81
1995	16,43	14,61	25,64	21,92	10,82	6,85
1996	14,17	6,28	30,00	25,43	13,88	25,38
1997	13,06	27,48	10,41	9,68	6,51	4,79
1998	12,84	20,49	26,35	28,11	8,34	17,89
1999	12,70	22,46	18,06	16,36	7,62	6,31
2000	22,81	20,02	37,44	27,38	10,22	20,64
2001	17,87	27,22	12,04	23,88	9,76	16,46

Tableau 7.5 : Rapport (%) entre les densités d'*Idotea granulosa* et les poids secs d'algues par mètre carré sur les sites de St Valéry et de Veulettes depuis 1988.

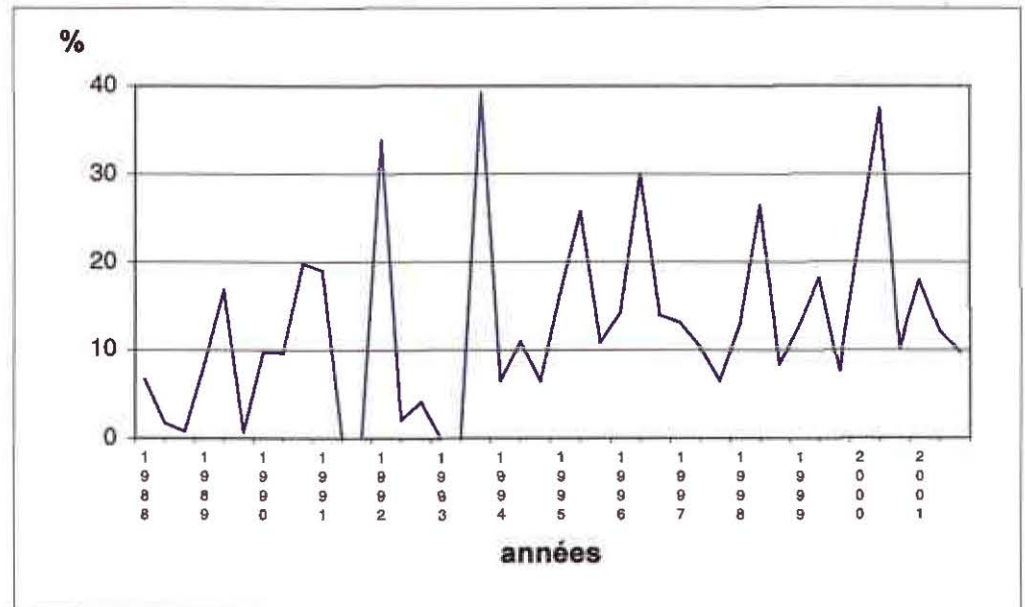


Figure 7.5 : Evolution du rapport densités d'*Idotées* / 100 g de Fucus depuis 1988 à St Valéry



- Rapport entre les densités d'Idotées et d'algues à Veulettes

La variation du rapport des densités Idotées/poids d'algues (100 g), au cours de l'été est assez aléatoire

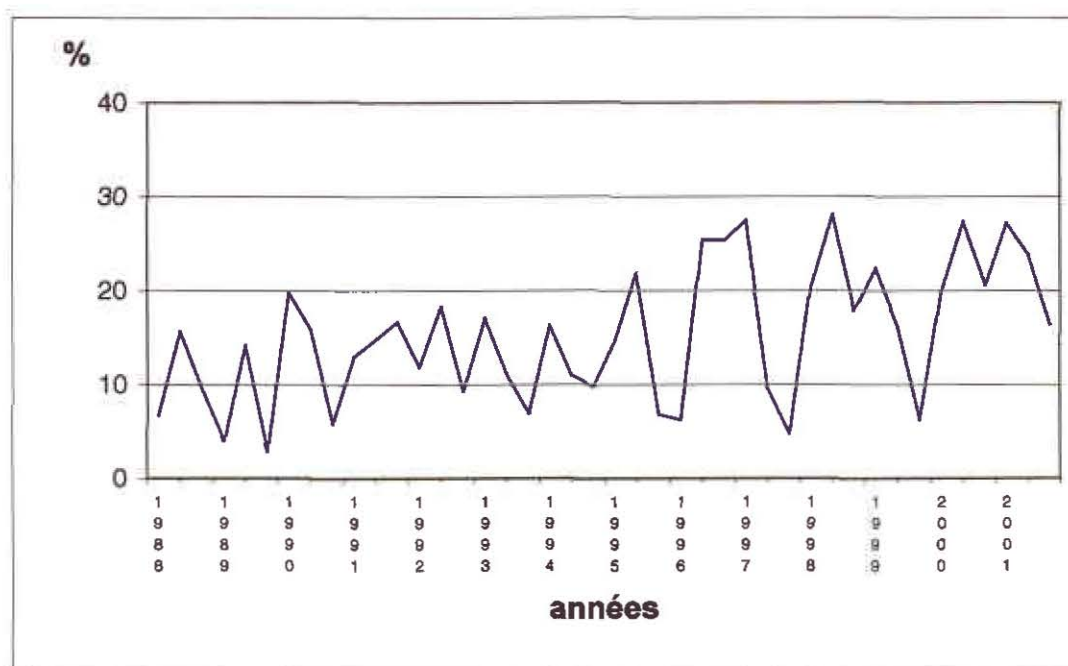


Figure 7.6 : Evolution des densités d'Idotées/100 g de Fucus depuis 1988 à Veulettes

7.2.4. Variation des tailles et répartition des sexes chez *Idotea granulosa*

L'analyse de la répartition des sexes chez *Idotea granulosa* et la mesure des tailles ont été réalisées sur un échantillonnage portant sur un mètre carré de *Fucus vesiculosus* à Veulettes et à St Valéry.

7.2.4.1. Variation des tailles et répartition des sexes chez *Idotea granulosa* à St-Valéry

A St Valéry, on note des cohortes importantes de femelles juvéniles fin juin (42,4 %) et fin juillet (39,4 %) (tableau 7.6 - figure 7.7).

Comme en 2000, c'est la classe des 5 à 6 millimètres qui domine fin juin et la classe des 4 à 5 millimètres fin juillet.

La répartition de la population est déséquilibrée avec une trop faible quantité d'adultes (inférieure à 20 % : femelles gravides et vides).

La taille maximale des femelles est très faible (cf. paragraphe 2.2).

	27 juin 2001		24 juillet 2001		20 août 2001	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
% juvéniles	60,1	82,6	65,4	68,8	52,1	61,3
% mâles juvéniles	17,7	24	26	30,2	18,3	28,2
% femelles juvéniles	42,4	58,6	39,4	38,6	33,8	33,1
% femelles gravides	11,4	4,2	10,6	12,2	12,7	9,7
% femelles vides	8,2	1,7	3,8	1,6	1,4	3,2
% mâles adultes	20,3	11,5	20,2	17,4	33,8	25,8
sex-ratio	0,612	0,551	0,857	0,909	1,088	1,175

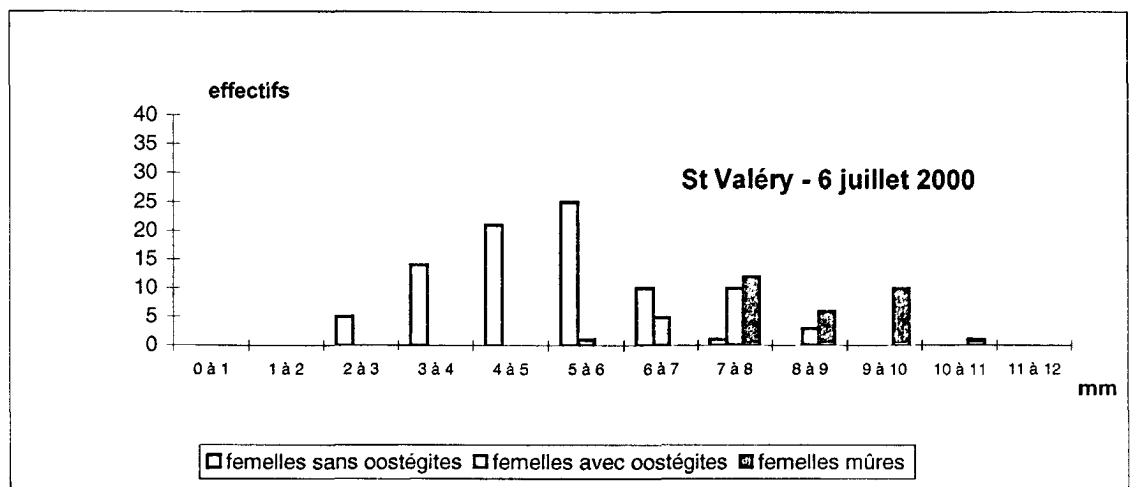
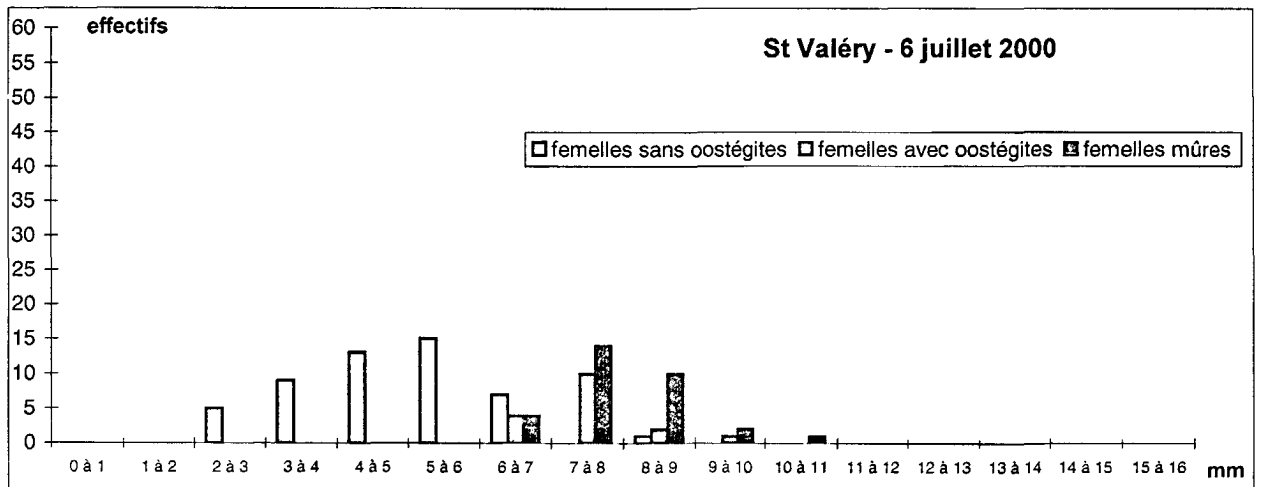
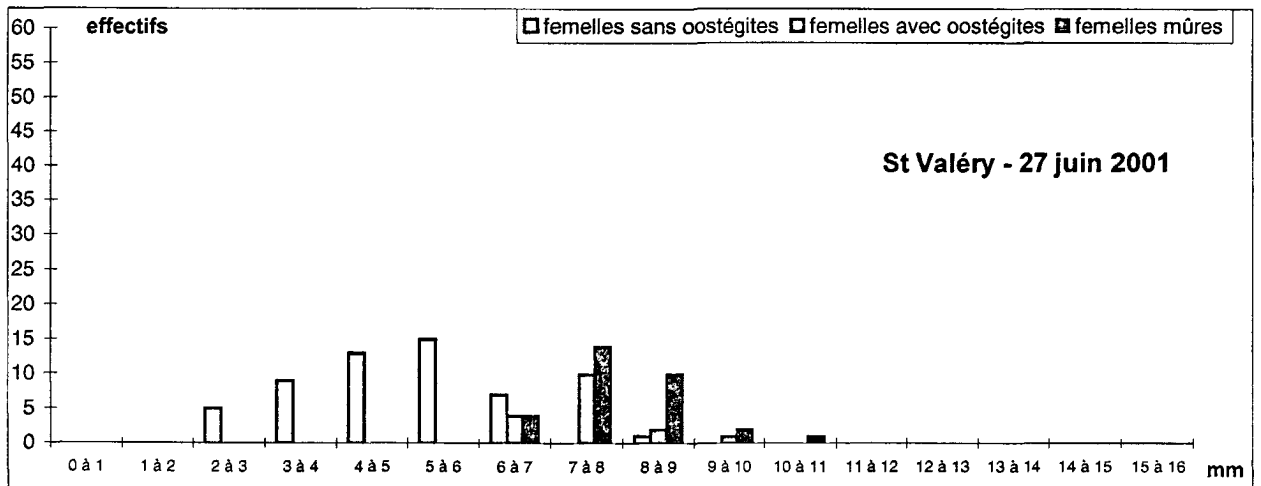
Tableau 7.6 : PALUEL 2001 - Répartition des sexes chez *Idotea granulosa*

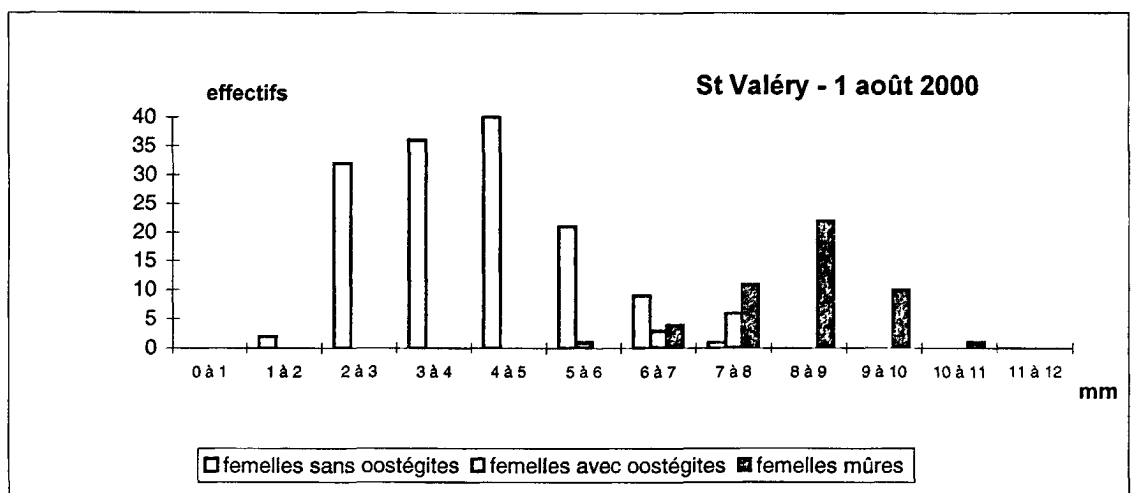
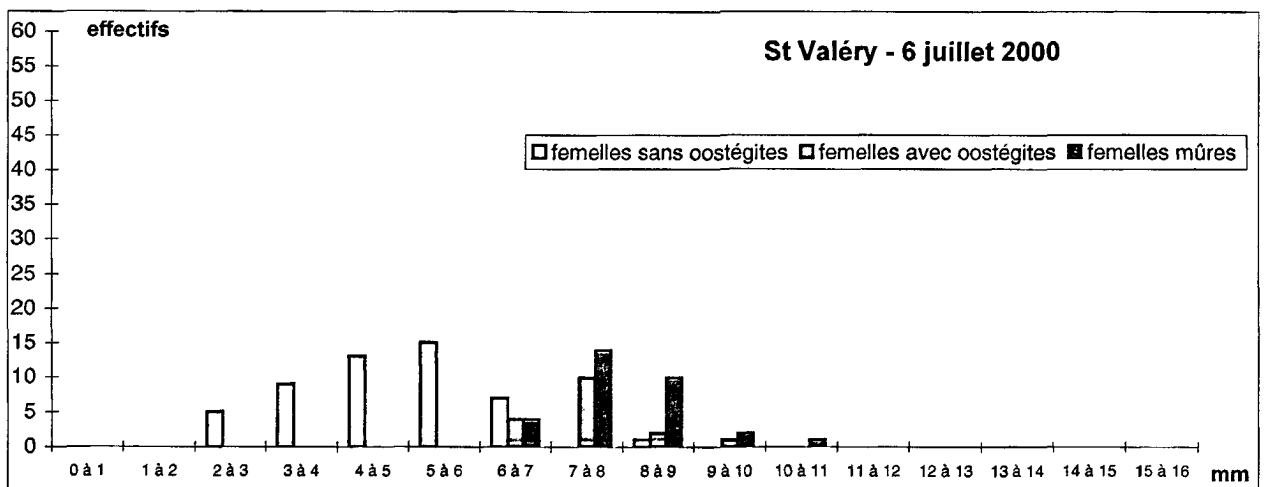
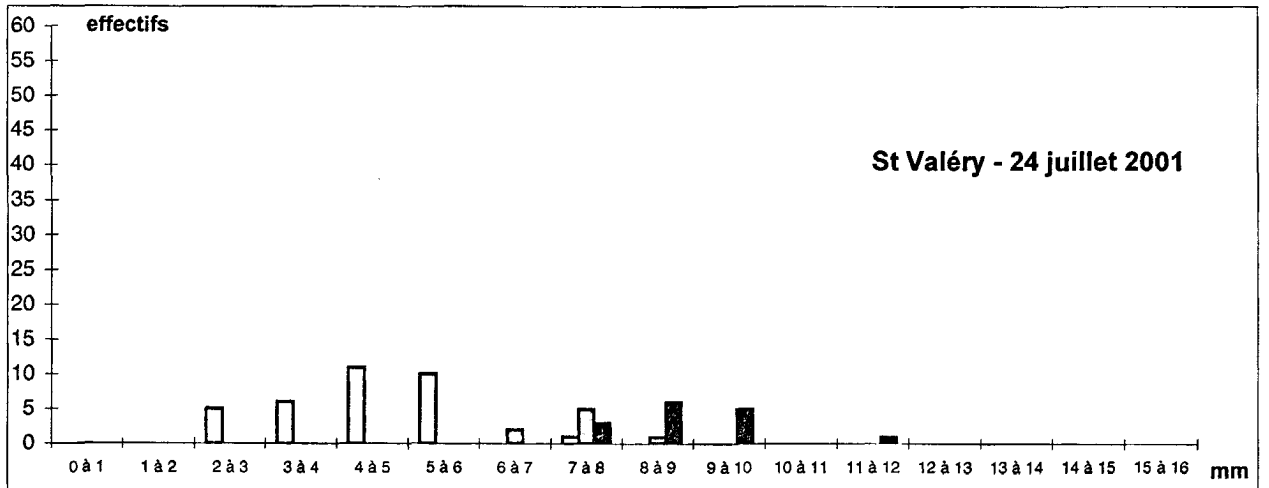
Les femelles en cours de maturation (femelles avec oostégites différenciés) ne sont abondantes que fin juin à St Valéry.

Fin juin, on observe des mâles de très petite taille : 1 à 2 mm. Les mâles juvéniles (17,7 %) et les adultes (20,3 %) forment des cohortes à peu près équivalentes.

Fin juillet, les mâles juvéniles prédominent (26 %) alors que fin août, ce sont les adultes qui sont en effectif plus important (33,8 %) (tableau 7.6 - figure 7.8).







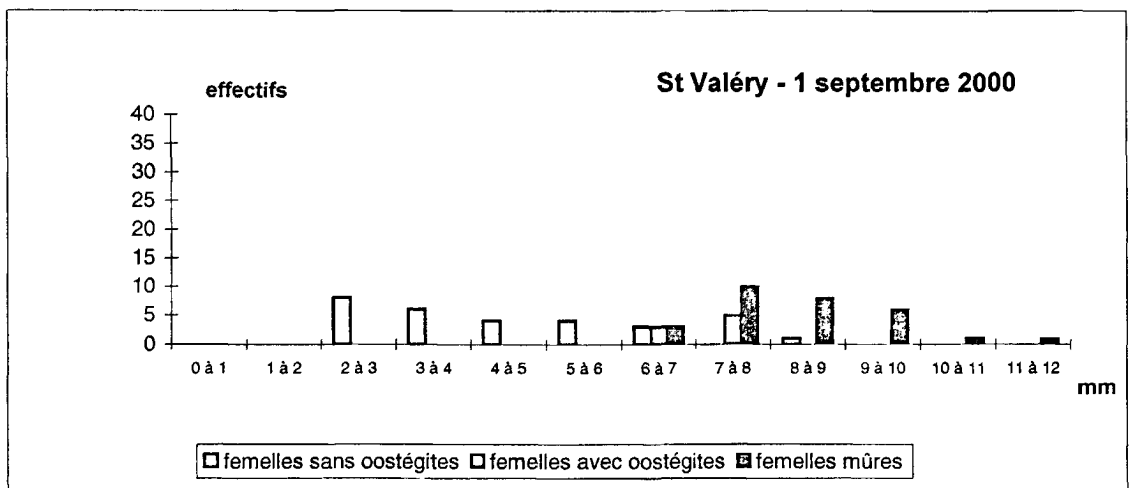
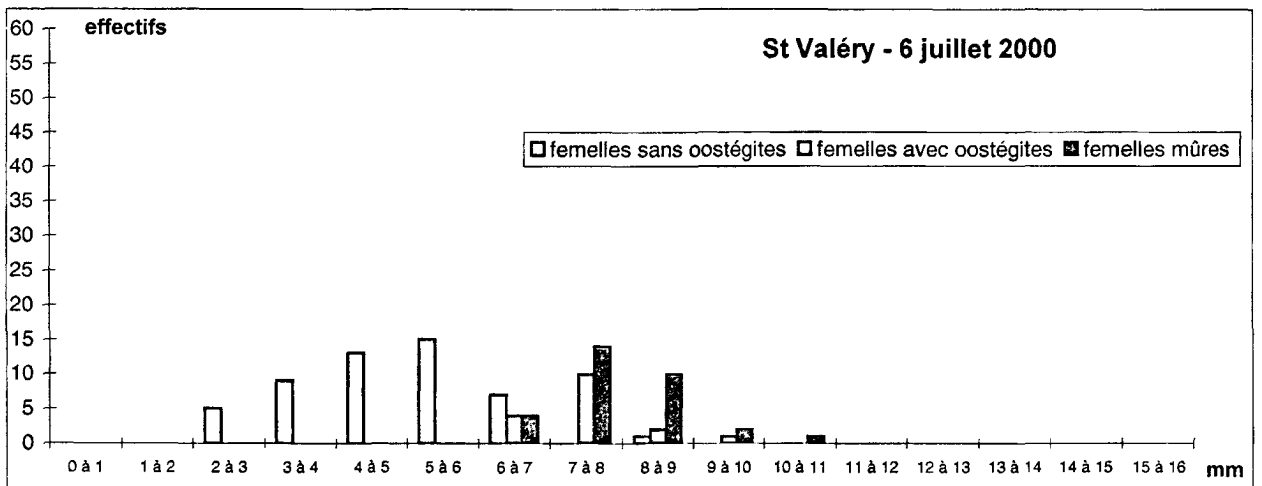
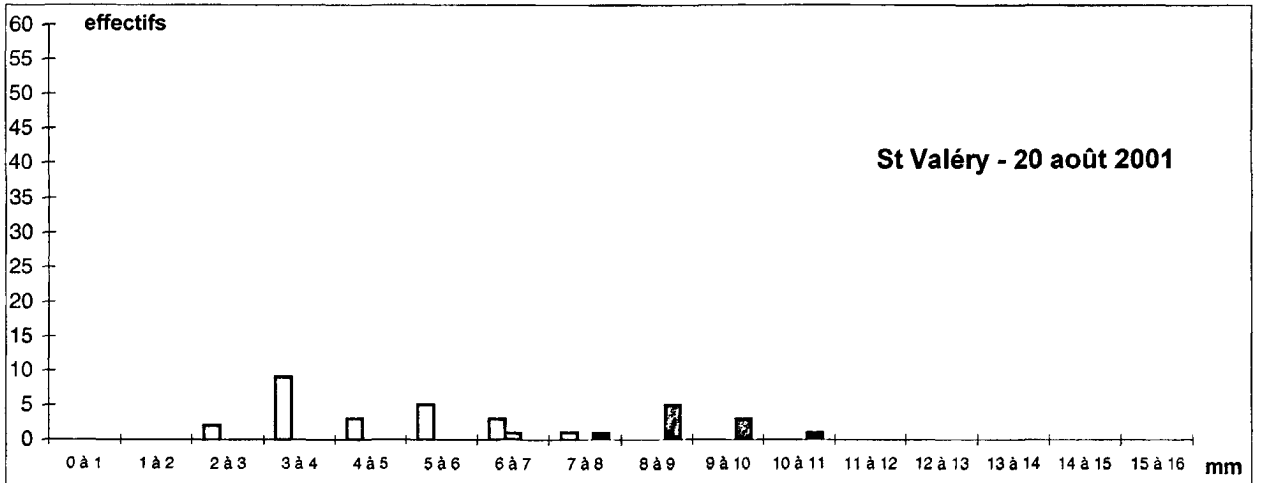


Figure 7.7 : HISTOGRAMMES DE FREQUENCE DE TAILLE CHEZ LES *IDOTEA GRANULOSA* FEMELLES - ST VALERY 2001

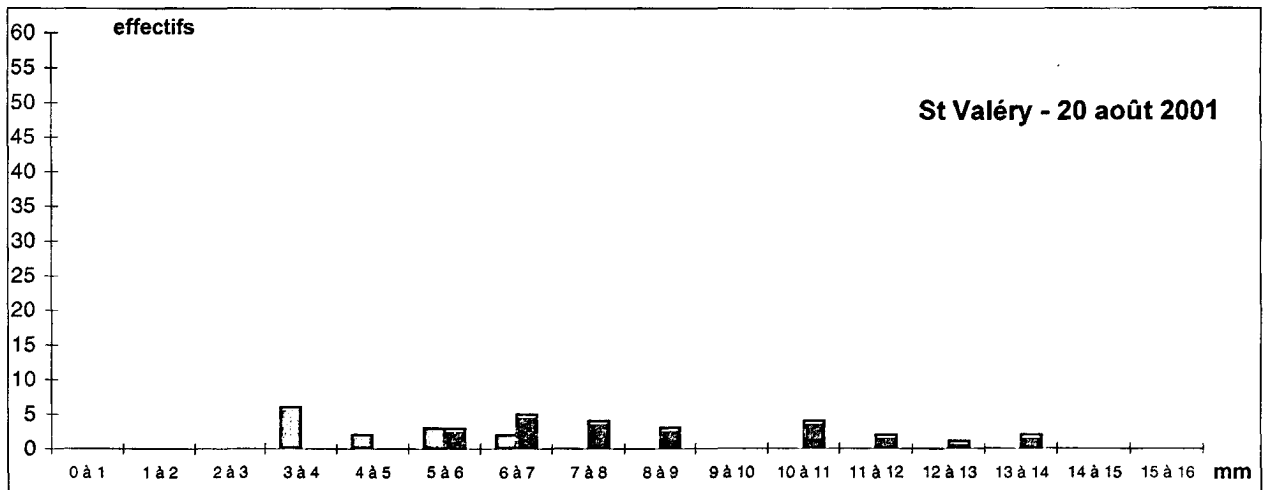
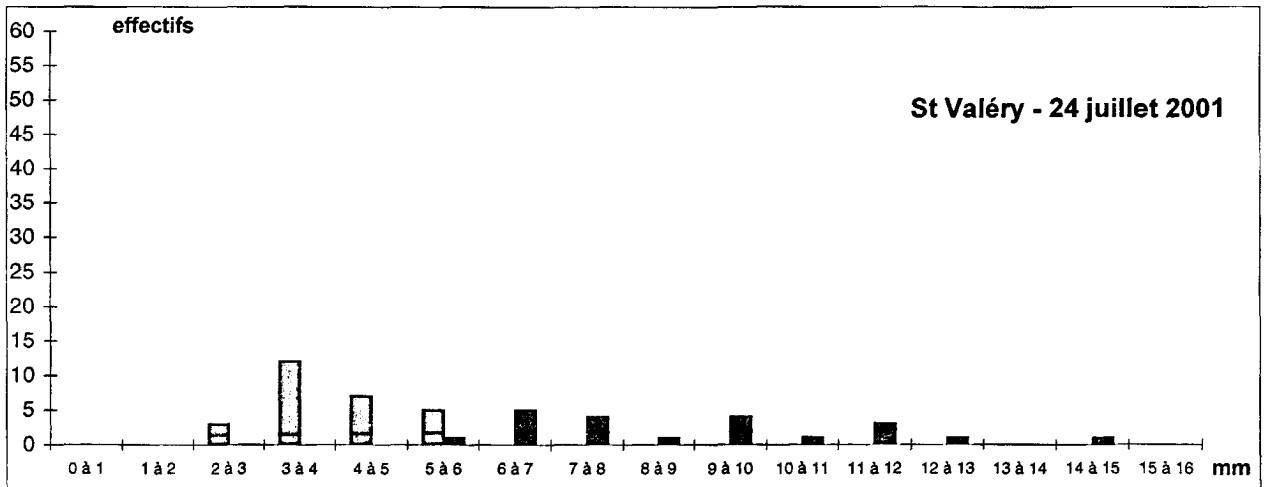
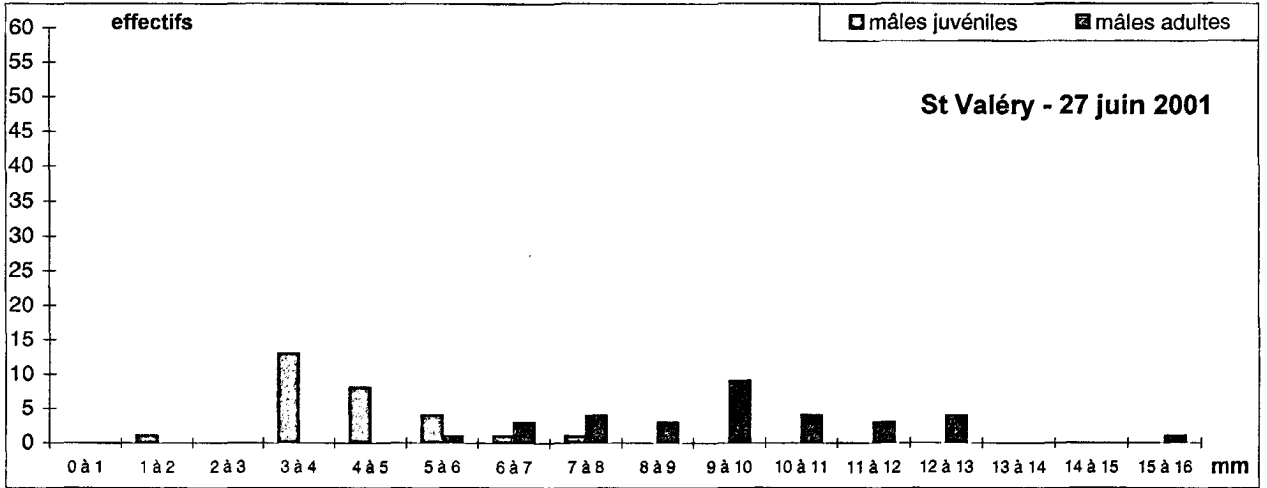


Figure 7. 8 : HISTOGRAMMES DE FREQUENCE DE TAILLE CHEZ LES *IDOTEA GRANULOSA* MALES- ST VALERY 2001

7.2.4.2. Variation des tailles et répartition des sexes chez *Idotea granulosa* à Veulettes

Fin juin, à Veulettes, on observe (figure 7.9 - tableau 7.6) d'importantes cohortes de femelles juvéniles (58,6 %). L'effectif de juvéniles le plus élevé (60 individus dénombrés) se situe dans la classe des 4 à 5 mm.

La proportion de femelles juvéniles est notablement plus élevée à Veulettes qu'elle ne l'est à St Valéry.

Les femelles en cours de maturation et mâtures sont en proportion plus forte fin juillet.

En août, la répartition des femelles juvéniles et adultes à Veulettes, est plus homogène qu'elle ne l'est à St Valéry mais les femelles adultes font défaut.

Comme à St Valéry, les femelles de grande taille sont en faible nombre. La taille maximale constatée cette année, n'excédait pas 9,1 mm !

A Veulettes, les histogrammes de fréquence de taille des mâles sont à peu près semblables tant en effectif qu'en classe de taille en juin et juillet (figure 7.10).

7.2.5. Variation du sex-ratio chez *Idotea granulosa*

L'analyse de la répartition des sexes chez *Idotea granulosa* a été réalisée sur un échantillonnage portant sur 1 mètre carré de *Fucus vesiculosus* à Veulettes et à St Valéry .

Les résultats sont retranscrits dans le tableau 7.6 .

Fin juin et fin juillet, les femelles prédominent aussi bien à St Valéry qu'à Veulettes : le sex-ratio (rapport entre le nombre de mâles / nombre de femelles) est inférieur à l'unité.

Par contre fin août, ce sont les mâles qui sont les plus nombreux (sex-ratio de 1,08 et 1,17 respectivement à St Valéry et Veulettes : tableau 7.6). Les femelles ont disparu.

Comme la longévité des femelles est plus faible que celle des mâles (cf. paragraphe 2.2) , il est naturel qu'en fin de saison, les mâles soient les plus abondants.

Cependant les femelles adultes semblent, ces dernières années, moins abondantes : leur survie serait plus limitée, l'absence de grande femelle constatée dans nos échantillons (cf. 2.4) est donc logique.



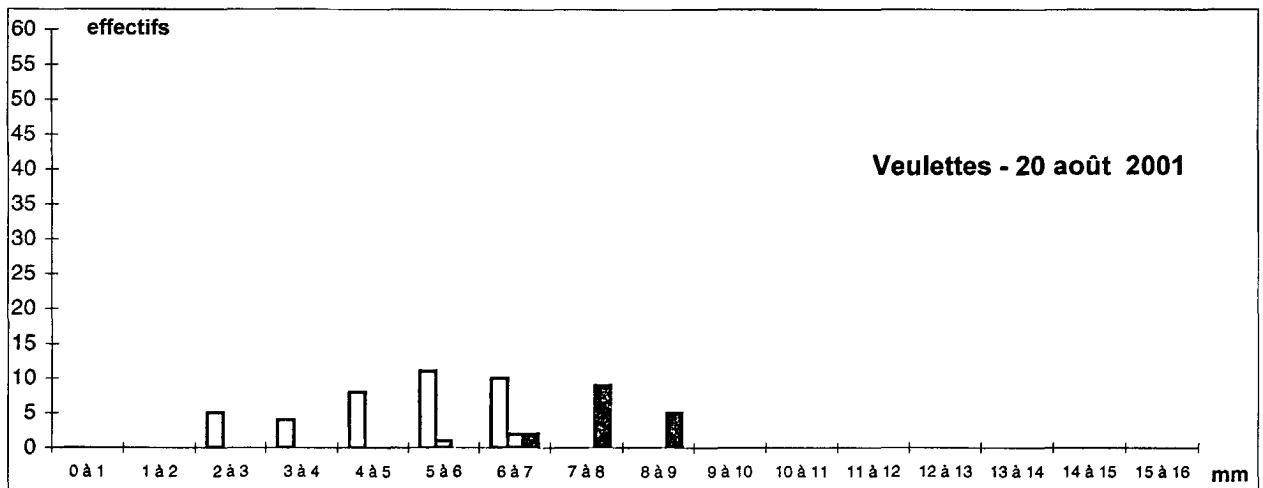
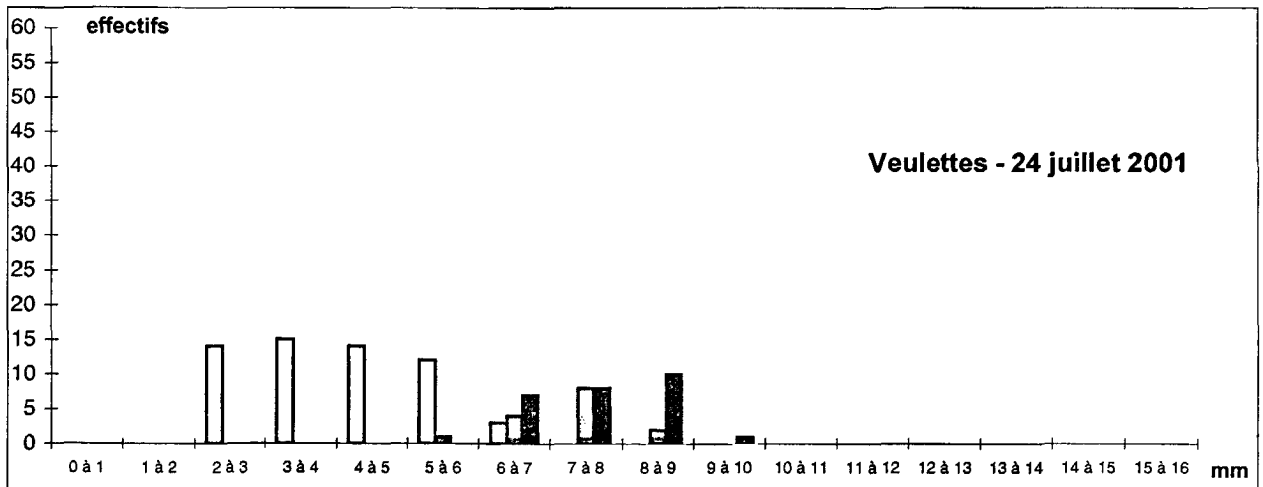
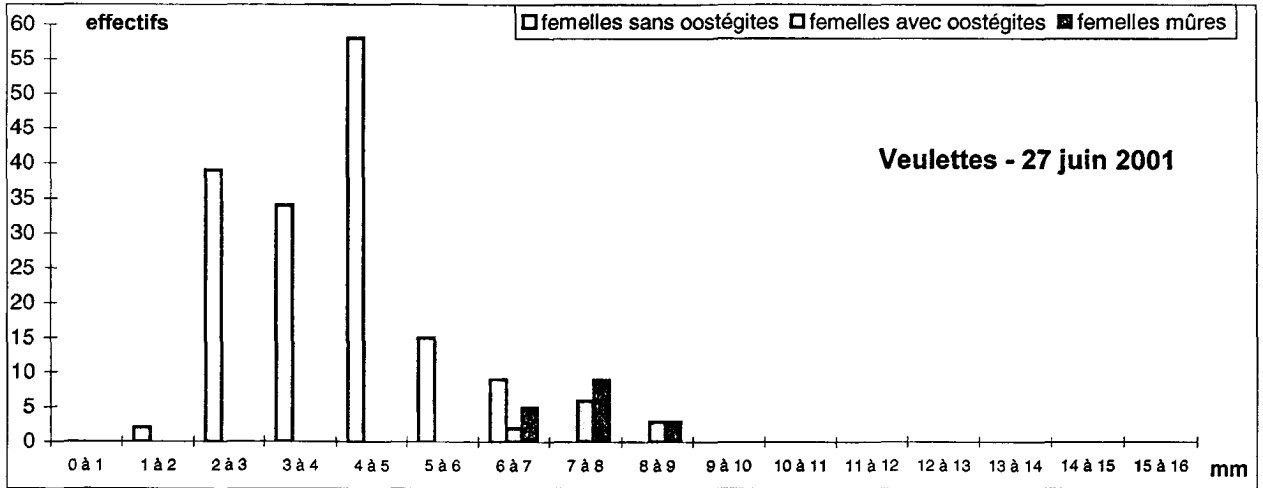


Figure 7. 9 : HISTOGRAMMES DE FREQUENCE DE TAILLE CHEZ LES *IDOTEA GRANULOSA* FEMELLES - VEULETTES 2001

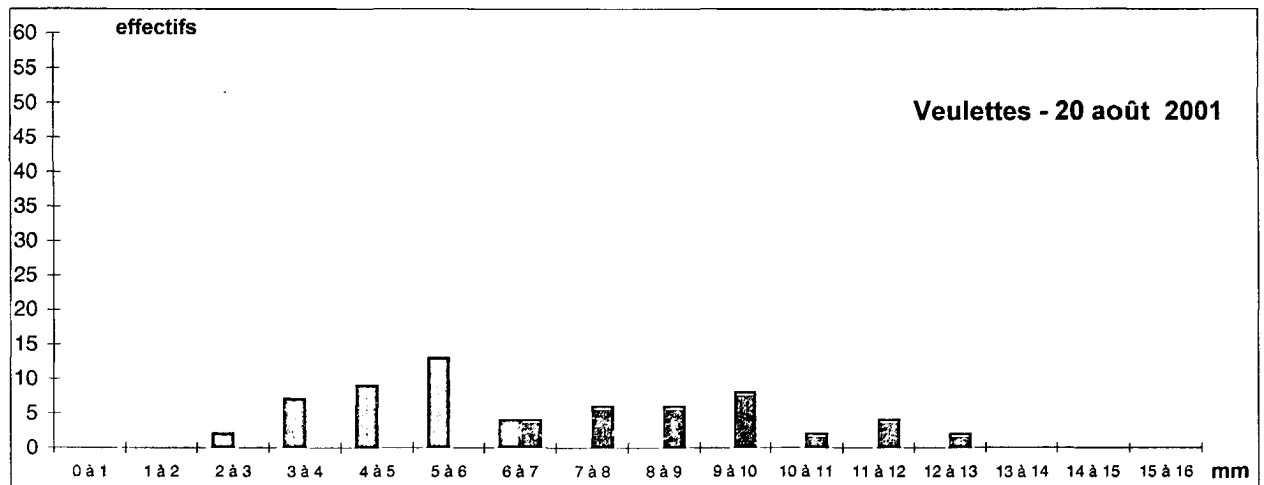
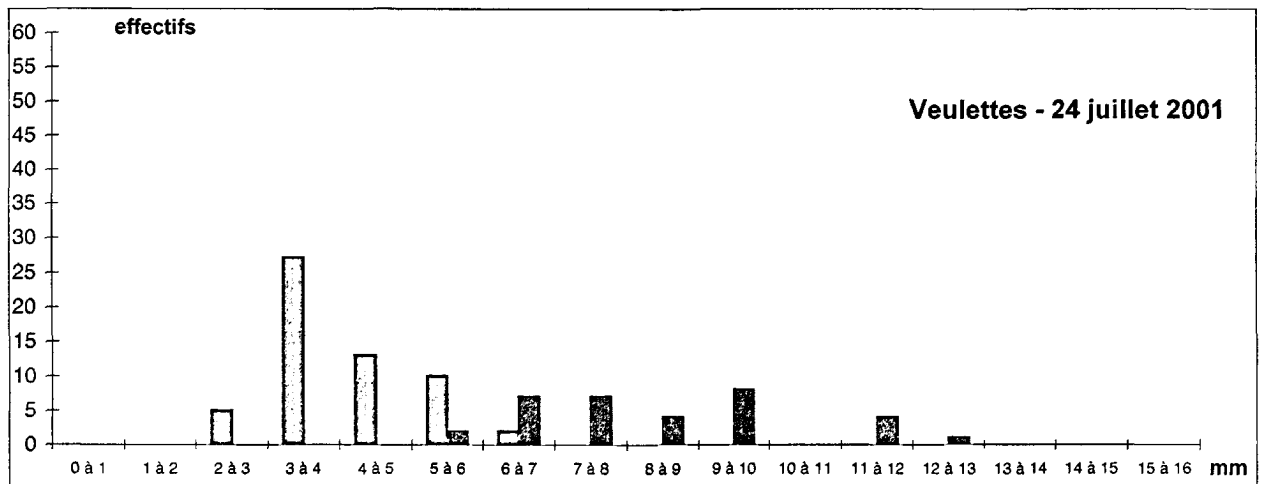
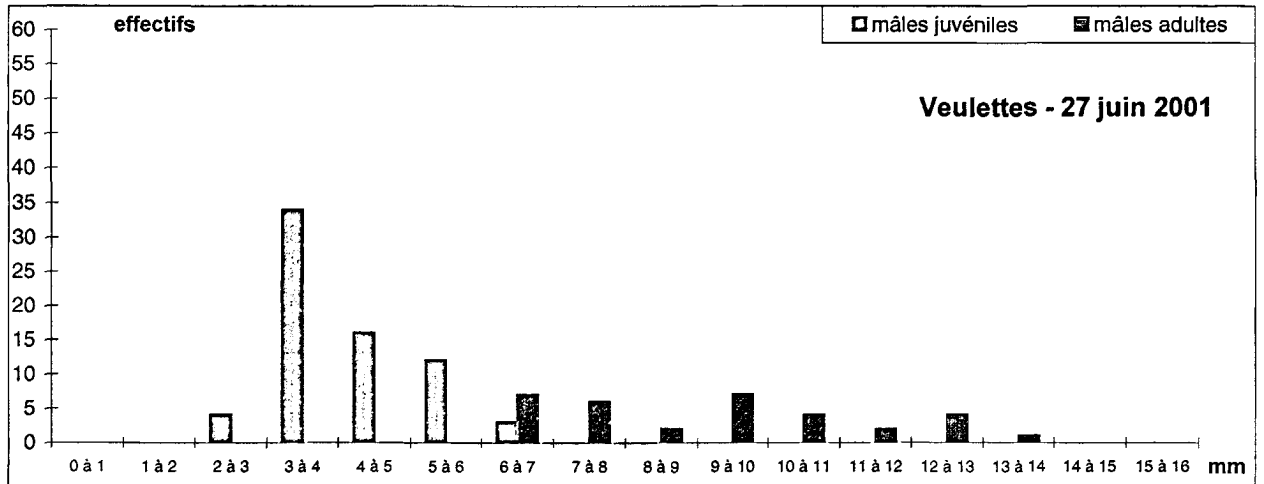


Figure 7. 10 : HISTOGRAMMES DE FREQUENCE DE TAILLE CHEZ LES *IDOTEA GRANULOSA* MALES - VEULETTES 2001

7.3. Conclusion

En 2001, on constate que le repeuplement de *Fucus vesiculosus* de l'estran de St Valéry-en-Caux qui avait débuté en 1994, se maintient.

Les densités d'algues sont plus faibles qu'en 2000 : on constate que ce peuplement est constitué essentiellement par des thalles de grande taille et que certains *Fucus* sont encore en reproduction.

A Veulettes, on note également des densités d'algues plus faibles qu'en 2000 : mais le peuplement de *Fucus* y est constitué par de nombreux pieds de petite taille. Le site de Veulettes, au mode battu, a semble-t-il souffert des fortes tempêtes hivernales. Les hauts niveaux du médiolittoral restent dénudés et c'est une population de jeunes *Fucus* vésiculeux qui se réinstalle.

On note cependant que sur ce site témoin de Veulettes, les populations algales sont en constante diminution depuis 1992 !

Comme en 1999, on a relevé en 2001, tant à St Valéry qu'à Veulettes, une abondante population du Gastéropode *Littorina littoralis* (brouteur de *Fucus*). Ces Gastéropodes, par contre, étaient peu abondants en 2000 où les densités d'algues étaient plus fortes.

Ces relations de cause à effet permettraient de donner une interprétation des fluctuations d'abondance des *Fucus* entre 1999-2000 et 2001.

Nous poursuivrons ces prélèvements de Mollusques au cours des campagnes futures pour apprécier cet impact biologique prédateur-proie qui, en modifiant l'abondance des algues qui servent d'abri aux Idotées, risque de fausser l'appréciation de l'impact thermique sur l'abondance des Isopodes.

On peut confirmer en effet, en 2001, que l'abondance des Idotées est bien corrélée à celle des algues sur les deux sites de St Valéry et de Veulettes .

Les valeurs maximales de densité d'Idotées à St Valéry sont variables d'une année à l'autre.

La fluctuation de l'abondance des Idotées au cours de l'année 2001 correspond sensiblement à celle de 1997 et 1999. On ne note pas en 2001 les fortes densités estivales relevées en 1998 et 2000.

Les densités minimales d'Idotées se maintiennent sensiblement à une valeur de 10 Idotées pour 100 grammes d'algues ce qui semble assurer la pérennité de l'espèce (à vérifier en 2002 !).

A Veulettes, les fluctuations des densités d'Idotées semblent beaucoup plus aléatoires. Cela est-il en relation avec une plus grande exposition de l'estran aux mauvaises conditions météorologiques ? (mode plus battu).

Les densités d'Idotées à Veulettes lors de cette année 2001, sont pourtant assez comparables à celles de 2000.



On relève, à Veulettes, un minimum automnal de 20 Idotées pour 100 grammes d'algues soit sensiblement le double des valeurs relevées à St Valéry !

En fin d'été 2001, cette espèce paraît donc moins affectée à Veulettes qu'elle ne l'est à St Valéry.

On verra, en 2002, si la population d'Idotées est effectivement plus abondante à Veulettes qu'à St Valéry.

Il conviendrait, pour mieux apprécier l'éventuel impact thermique du CNPE et l'action estivale sur les populations d'Idotées, de pouvoir effectuer des relevés lors d'une campagne printanière. On pourrait alors mieux cerner l'impact météorologique sur les Fucus (arrachage, lacération des frondes par les tempêtes de fin d'année) et effectuer un relevé de la population d'Idotées ayant passé l'hiver qui pourrait être comparé à nos relevés d'automne.



BIBLIOGRAPHIE

DEWARUMEZ J.M., 1979. Le domaine benthique. In Etude écologique du site de Paluel - Suivi 1ère 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. Lettr. Poznam, Ser. D*, 4, 173-200.



8. Le phytobenthos intertidal

Rapport

Frank MAHEUX (DEL/PB).

Prélèvements et Analyses

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

Participation

Philippe RIOU
Hervé du Boullay (DEL/PB),



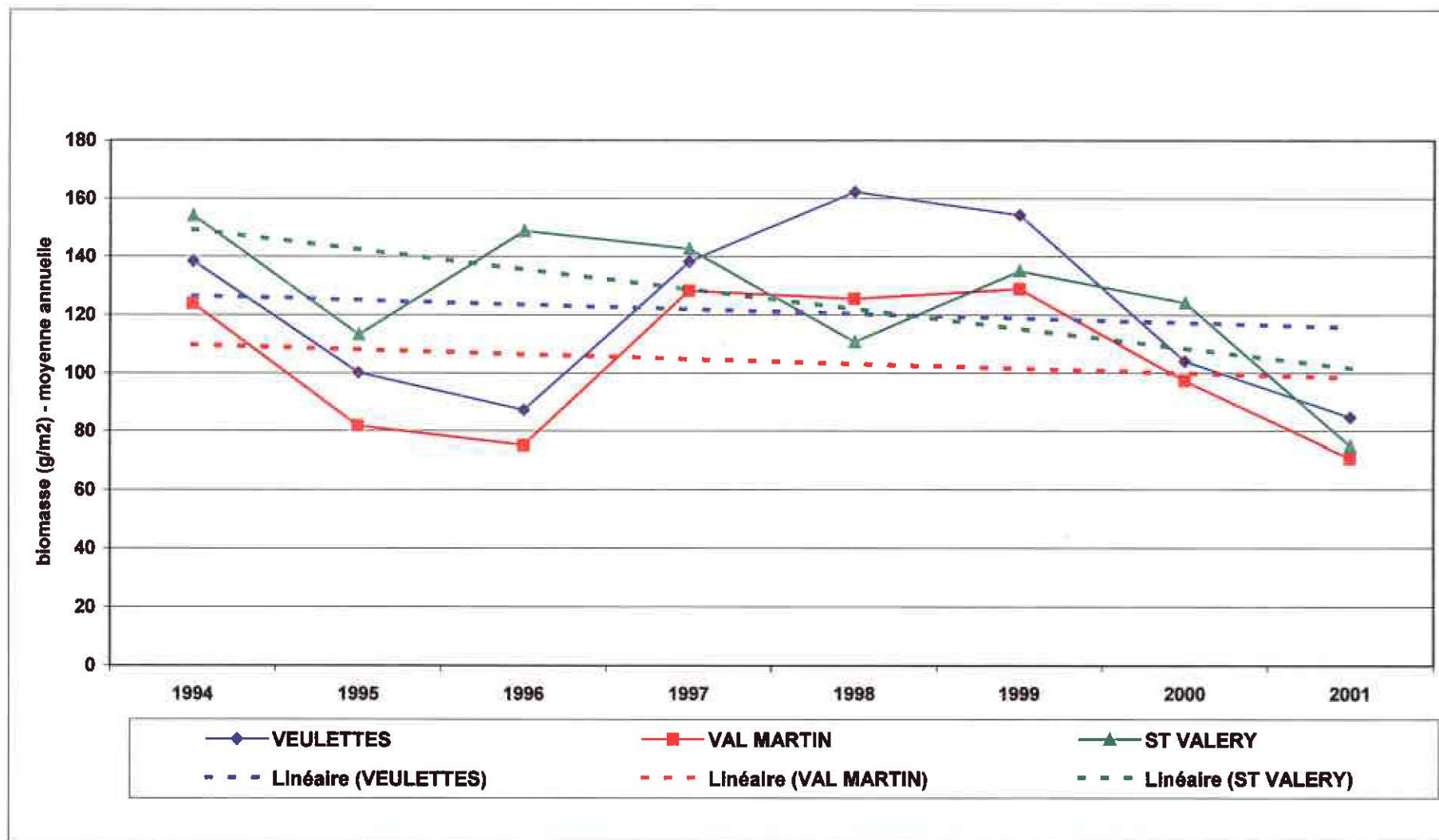


Fig 8.1 : Evolution moyenne de la biomasse annuelle de *fucus sp* depuis 1994

8.1. Généralités

Dans le cadre de la dernière convention en 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

Comme depuis l'année 1998 la méthodologie employée au cours de l'année 2001 ne comporte, qu'un seul niveau : une estimation de la biomasse et de la fertilité par échantillonnage au hasard de 10 carrés de 0.25 m².

8.2. Evolution des biomasses de *Fucus serratus* et *vesiculosus*

Les biomasses automnales et printanières de *Fucus sp.* entre 1994 et 2001 sont exprimées en gramme de poids sec par 0.25m² et sont représentées sur la figure 8-2.

Un première remarque générale s'impose d'emblée : sur les trois sites les valeurs de cette année 2001 (moyenne de mars et septembre) sont les plus basses que nous ayons relevé depuis le début de cette étude c'est à dire en 1994.

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

- sur le site de Veulettes, nous observons que la biomasse annuelle de 2001 (84.6g) est très légèrement inférieure au minimum (87.3) jusqu'alors relevé, en 1996. La différence saisonnière est marquée, sans être excessive : 73.5 en mars et 95.8 en septembre.
- sur le site de Val Martin, en ce qui concerne la biomasse annuelle la situation est comparable, à savoir 70.6 en 2001 et 75.15 en 1996. Par contre l'absence de réelle différence saisonnière est remarquable : 72.1 en mars et 69.1 en septembre.
- en ce qui concerne le site de St Valéry en Caux, la biomasse annuelle de 2001 (74.8) est très inférieure au minimum jusqu'alors observé : 110.7 en 1998. La différence saisonnière est proche de celle relevée sur le site de Veulettes.



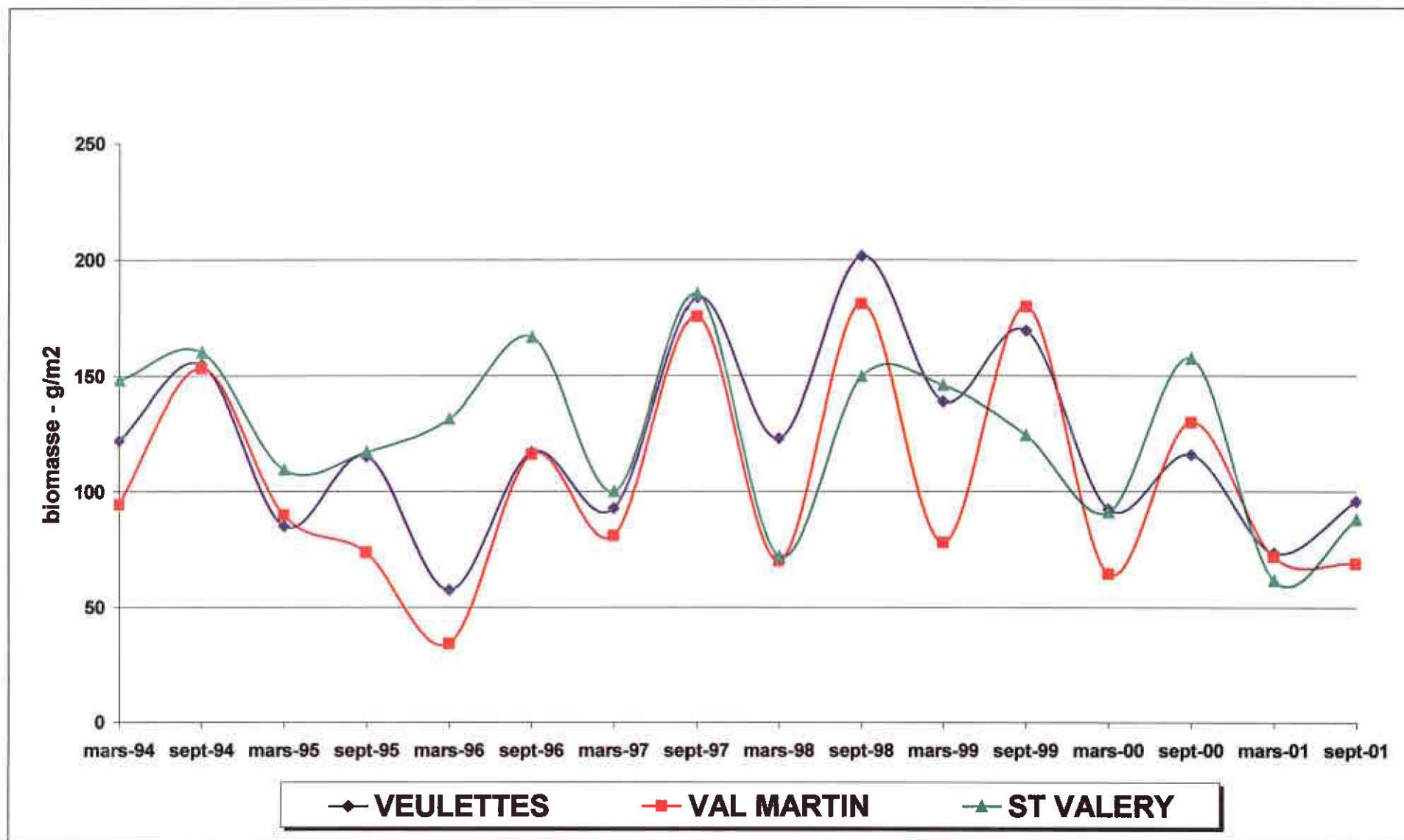


Fig8-2 : Evolution du stock de *fucus sp* depuis 1994 – Printemps / Automne

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

Au cours des huit ans de suivi, un cycle saisonnier du stock de fucacées a été mis en évidence (très fertile en automne, faible et peu fertile au printemps). Ces variations saisonnières sont par ailleurs visibles sur la figure 8.2

Comme effectué l'an dernier et afin de dégager une éventuelle tendance linéaire de la biomasse de *Fucus sp*. sur les différents sites, il faut avant tout "filtrer" ce cycle saisonnier. Ce filtrage est réalisé en calculant une biomasse moyenne annuelle (figure 8-1). Une régression linéaire est ensuite appliquée à ces données moyennées. Les coefficients de détermination (r^2) ainsi que leur niveau de significativité sont rassemblés dans le tableau 8-1

	Coefficient de détermination : r^2	Significativité
Veulettes	0.015	Non significatif
St Valery	0.416	Non significatif
Val Martin	0.024	Non significatif

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

L'examen de ces coefficients nous montre à l'évidence qu'il n'existe pas depuis 1994 d'évolution statistiquement significative des différentes biomasses de *Fucus sp* sur les différents sites d'étude.

Toutefois les prochains résultats de l'année 2002 seront très intéressants pour confirmer ou non la baisse de ces biomasses observée en 2001 ainsi que de permettre éventuellement de mieux connaître le cycle naturel de *Fucus sp* sur ce secteur géographique.

8.5. Taux de fertilité

Le suivi de l'étude de fertilité est basé sur la présence ou non de conceptacles à l'extrémité des thalles de *fucus sp* prélevés dans les quadrats de 0.25 m².

Les observations que l'on peut faire quant aux taux moyens de fertilité relevés en 2001 sur les trois sites sont très proches de celles des années précédentes à savoir :

- une fertilité moyenne en mars 2001 entre 20 et 27 % suivant les sites et en septembre, entre 79 et 86 %
- pas de différence significative entre les trois sites étudiés.



8.6. Conclusion

Les relevés effectués au cours de l'année 2001 ont montré :

- une nette tendance à la baisse des peuplements de *fucus sp* sur les différents platiers depuis 1999 pour atteindre les valeurs les plus faibles enregistrées depuis le début de cette étude en 1994. En revanche, il n'est pas démontré de baisse statistiquement significative de ces mêmes peuplements depuis 1994.
- une fertilité des pieds de *Fucus sp* comparable à celle observée depuis plusieurs années avec logiquement un minimum printanier (entre 20 et 27%), et un maximum automnal (entre 77 et 86%).



9. Halieutique

Rapport *Jean-Paul DELPECH*
Ifremer – Boulogne DRV/RH



9.1. Actualisation des données sur les flottilles de pêche artisanales et leurs activités

Les 41 bateaux immatriculés au quartier maritime de Fécamp au 31 décembre 2000 et rangés selon 3 classes de longueur, présentent les caractéristiques moyennes suivantes (source : CRTS de Boulogne-sur-mer):

	L (mètres)	Jauge (tx)	P (kw)	Année constr	nombre
longueur L < 10 m	8.2	4	77	1987	10
10m < L < 17m	12.8	18	182	1983	20
L > 17m	21.1	84	422	1980	11
					41

Situation au 31.12.2000 des effectifs et des caractéristiques des flottilles artisanales du quartier maritime de Fécamp.

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

Le nombre de bateaux de petite taille (moins de 10 mètres) est en baisse.

L'année de construction moyenne montre que l'ensemble de la flottille est très âgée.

Les métiers pratiqués demeurent les mêmes que ceux des années précédentes.

Remarque : le système des statistiques de pêche françaises, qui est placé sous la responsabilité de la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture, est depuis le début de l'année 1999 en pleine réorganisation. C'est ainsi qu'une nouvelle chaîne de traitement des informations de production et effort de pêche a été livrée aux Centres Régionaux de Traitement des Statistiques. La base de données Ifremer, qui regroupe les informations relatives aux navires et à leur production, est elle aussi en pleine refonte et toutes ses fonctionnalités d'interrogation ne sont pas encore pleinement accessibles de façon décentralisée. De ce fait, nous ne pouvons fournir à ce jour que des informations globales.

9.2. Production

En 2000, 6853 tonnes de produits de la mer ont été vendues en criée de Fécamp, soit autant qu'en 1999 (source : Coopérative maritime de Fécamp).

Comme chaque année, ce sont les trois espèces pélagiques (sardine, hareng et maquereau) qui représentent les plus forts tonnages ; le chinchard demeure à un niveau de débarquement moyen (15 tonnes).



Les débarquements de cabillaud sont du même ordre de grandeur qu'en 1999, soit 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, à tel point qu'un plan de restauration du stock a été mis en place au niveau communautaire et devrait 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...

Parmi les espèces à forte valeur marchande, la sole et la coquille St-Jacques sont toujours les deux premières espèces en valeur à Fécamp ; le bar et le turbot représentent une part significative du chiffre d'affaires global.



Conclusion générale



L'Hydrologie

Les résultats du programme de surveillance 2001 du site de Paluel indiquent que les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau étaient atypiques cette année sur deux points en raison des conditions climatiques.

Premièrement en raison de précipitations élevées qui ont engendré des débits de rivières exceptionnels, les plus faibles salinités ont été observées depuis 1988. Il en a résulté des teneurs en sels nutritifs relativement élevées par rapport aux données acquises précédemment dans le cadre du programme IGA. En outre dans ce secteur de la Manche orientale, les courants de marée parallèles à la côte constituent une entrave au mélange de ces eaux douces avec les eaux océaniques. Cela crée 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.

Deuxièmement, le réchauffement estival de la colonne d'eau a été important, conduisant à des températures parmi les plus fortes enregistrées depuis 1988. Malgré ces conditions climatiques exceptionnelles, les paramètres hydrologiques mesurés lors des campagnes 2001 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 suite à l'augmentation de la température de l'eau et de l'insolation, suivi durant l'automne de processus de régénération.

L'étude statistique a révélé que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au « rejet » qu'aux autres stations. Cependant, les mesures indiquent que l'impact thermique est relativement réduit. En effet, les échantillons prélevés aux abords des rejets (environ 20 m) présentent des taux de dilution importants (près de 90% en moyenne depuis 1988).

Par ailleurs, la modélisation du rejet d'eau échauffée montre que d'une part l'évolution de la tâche thermique dépend faiblement des courants de marée et que d'autre part cette tâche reste localisée autour de la centrale.

Les autres paramètres (salinité, sels nutritifs et MES) présentent très peu de différences significatives entre les stations. Les données de surveillance n'ont pas permis de déceler d'anomalie dans le cycle saisonnier de ces paramètres hydrologiques.

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). Cependant, la stratégie d'échantillonnage mise en place est inadéquate pour conclure précisément. La détection d'éventuels dysfonctionnements au niveau du cycle saisonnier nécessiterait certainement un nombre de campagnes plus important au cours de l'année dans ce secteur où les apports continentaux peuvent parfois masquer l'empreinte des processus biologiques. Par ailleurs, les rejets de substances chimiques (ammoniacale en particulier) inhérentes au bon fonctionnement de la centrale sont probablement ponctuels et peuvent donc aussi ne pas être détectés en raison de la fréquence des prélèvements de surveillance.



La Microbiologie

La surveillance microbiologique du site de la **centrale de Paluel** pendant **l'année 2001** donne les résultats suivants :

- ✓ Le **nombre de germes totaux** retrouvés dans l'eau de mer est le même au large et aux point amenée et rejet des eaux de refroidissement de la centrale. Ce résultat est identique à celui de la campagne 2000.
- ✓ Le **nombre de germes revivifiables** contenus dans les **eaux d'amenée de la centrale de PALUEL** est cette année **plus important** que celui des points référence et rejet. Ceci est particulièrement vrai au printemps et en automne. Par rapport à l'année 2000 , **le nombre de germes dénombrés reste du même ordre de grandeur.**
- ✓ Il y a présence cette année en été et en automne de **vibrio-halophiles du genre *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio vulnificus* et *Vibrio parahaemolyticus*** aux trois points de contrôle de l'environnement marin de la Centrale de PALUEL. En 2000 des vibrio halophiles du genre *Vibrio alginolyticus* avaient été retrouvés au printemps.
- ✓ Le dosage des **organo-halogénés volatils** montre la **présence de tribromométhane** aux trois points de contrôle des environs marins de la centrale de Paluel en été et en automne. Les valeurs de tribromométhane des eaux de rejet de la centrale de PALUEL sont sensiblement les mêmes que celles obtenues en 2000.

Le Phytoplancton

Les dénombrements microphytoplanctoniques du site de Paluel, mise à part la campagne de septembre, montrent la régularité du phénomène au cours duquel la population de la période "hivernale", peu développée, est remplacée en été par une population dense monospécifique constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia*. C'est en général la multiplication active des espèces de ce genre qui représente les poussées phytoplanctoniques du site. Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre dans la composition floristique du site de Paluel en 2001.



Le Zooplancton

En 2001, les valeurs obtenues pour les paramètres globaux (poids sec, carbone et azote) varient de manière aléatoire. L'examen détaillé du zooplancton présent permet cependant de faire le lien entre ces variations et la distribution hétérogène de la population.

Tous les paramètres pris en compte se situent dans les limites habituelles de variations observées depuis la mise en place de la surveillance sur ce site, et rien ne permet de conclure à un impact sur le milieu proche des eaux chaudes rejetées par la centrale de Paluel.

Le Benthos subtidal

Le peuplement des cailloutis, représenté dans l'étude au large par la station 2 et à la côte par les stations 1 et 6, semble toujours relativement stable:

- Il est dominé, au large, comme les années précédentes par les mêmes espèces (Ophiothrix fragilis, Pisidia longicornis, Thelepus setosus, Pomatoceros triqueter, Styela coriacea, Molgula manhattensis),
- 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 (stations 1 et 6) abrite de façon stable depuis 1990 un faciès côtier du peuplement des cailloutis à épibiose sessile, un peu moins diversifié que ne l'était la moulière: il y a donc eu basculement brutal d'une situation stable à l'échelle de quelques années (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 depuis 1990 par les Tuniciers et des Annélides tubicoles de substrat dur (Davoult *et al.*, 1998).

La transition avec les sables hétérogènes s'effectue maintenant environ au niveau de la station 16, comme cela était déjà apparu depuis 1993, qui est la station dont le sédiment est le plus fluctuant. L'abondance de *Crepidula fornicata* à la station 16 depuis 1998 est un autre événement important, l'espèce étant connue pour s'installer durablement et modifier éventuellement le substrat: en 2000, sa très forte augmentation d'abondance correspondait à un phénomène de type invasif, sans doute facilité par les variations du substrat. Sa dominance est confirmée en 2001.



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 plus de 10 ans risque donc de se poursuivre si aucune sédentarisation massive de moules ne se produit sur la zone des stations 1 et 6. L'évolution encore sensible en 1995 vers des sédiments plus grossiers est maintenant stabilisée, elle semble confirmer le rôle des courants de marée susceptibles, en l'absence de moulière, de provoquer un granulo-classement plus marqué. On note toutefois une variation saisonnière à la station 16 attribuée à l'action des tempêtes hivernales et de début de printemps (Davoult *et al.*, 1998).

L'actuelle répartition spatio-temporelle des stations de prélèvement paraît toujours bien adaptée: une campagne au printemps et une en automne, complétées de prélèvements intermédiaires aux stations 1 et 6, jusque là les plus variables, recentrées sur la zone côtière proche de la centrale, 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*, les Tuniciers). Le suivi de la station 2 paraît suffisant pour vérifier la stabilité interannuelle de la zone située plus au large.

Le Benthos intertidal

En 2001, on constate que le repeuplement de *Fucus vesiculosus* de l'estran de St Valéry-en-Caux qui avait débuté en 1994, se maintient.

Les densités d'algues sont plus faibles qu'en 2000 : on constate que ce peuplement est constitué essentiellement par des thalles de grande taille et que certains *Fucus* sont encore en reproduction.

A Veulettes, on note également des densités d'algues plus faibles qu'en 2000 : mais le peuplement de *Fucus* y est constitué par de nombreux pieds de petite taille. Le site de Veulettes, au mode battu, a semble-t-il souffert des fortes tempêtes hivernales. Les hauts niveaux du médiolittoral restent dénudés et c'est une population de jeunes *Fucus* vésiculeux qui se réinstalle.

On note cependant que sur ce site témoin de Veulettes, les populations algales sont en constante diminution depuis 1992 !

Comme en 1999, on a relevé en 2001, tant à St Valéry qu'à Veulettes, une abondante population du Gastéropode *Littorina littoralis* (brouteur de *Fucus*). Ces Gastéropodes, par contre, étaient peu abondants en 2000 où les densités d'algues étaient plus fortes.



Ces relations de cause à effet permettraient de donner une interprétation des fluctuations d'abondance des Fucus entre 1999-2000 et 2001.

Nous poursuivrons ces prélèvements de Mollusques au cours des campagnes futures pour apprécier cet impact biologique prédateur-proie qui, en modifiant l'abondance des algues qui servent d'abri aux Idotées, risque de fausser l'appréciation de l'impact thermique sur l'abondance des Isopodes.

On peut confirmer en effet, en 2001, que l'abondance des Idotées est bien corrélée à celle des algues sur les deux sites de St Valéry et de Veulettes .

Les valeurs maximales de densité d'Idotées à St Valéry sont variables d'une année à l'autre.

La fluctuation de l'abondance des Idotées au cours de l'année 2001 correspond sensiblement à celle de 1997 et 1999. On ne note pas en 2001 les fortes densités estivales relevées en 1998 et 2000.

Les densités minimales d'Idotées se maintiennent sensiblement à une valeur de 10 Idotées pour 100 grammes d'algues ce qui semble assurer la pérennité de l'espèce (à vérifier en 2002 !).

A Veulettes, les fluctuations des densités d'Idotées semblent beaucoup plus aléatoires. Cela est-il en relation avec une plus grande exposition de l'estran aux mauvaises conditions météorologiques ? (mode plus battu).

Les densités d'Idotées à Veulettes lors de cette année 2001, sont pourtant assez comparables à celles de 2000.

On relève, à Veulettes, un minimum automnal de 20 Idotées pour 100 grammes d'algues soit sensiblement le double des valeurs relevées à St Valéry !

En fin d'été 2001, cette espèce paraît donc moins affectée à Veulettes qu'elle ne l'est à St Valéry.

On verra, en 2002, si la population d'Idotées est effectivement plus abondante à Veulettes qu'à St Valéry.

La réalisation d'une campagne printanière permettrait

Il conviendrait, pour mieux apprécier l'action estivale sur les populations d'Idotées, de pouvoir effectuer des relevés lors d'une campagne printanière. On pourrait alors mieux cerner l'impact météorologique sur les Fucus (arrachage, lacération des frondes par les tempêtes de fin d'année) et effectuer un relevé de la population d'Idotées ayant passé l'hiver qui pourrait être comparé à nos relevés d'automne.



Le Phytobenthos intertidal

Les relevés effectués au cours de l'année 2001 ont montré :

- une nette tendance à la baisse des peuplements de *fucus sp* sur les différents platiers depuis 1999 pour atteindre les valeurs les plus faibles enregistrées depuis le début de cette étude en 1994. En revanche, il n'est pas démontré de baisse statistiquement significative de ces mêmes peuplements depuis 1994.
- une fertilité des pieds de *Fucus sp* comparable à celle observée depuis plusieurs années avec logiquement un minimum printanier (entre 20 et 27%), et un maximum automnal (entre 77 et 86%).

