

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
Jean-Paul DELPECH
Luis LAMPERT
Frank MAHEUX
Myriam RUMEBE

Laurence DOROBISZ**

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

* Station marine de Wimereux

** Laboratoire municipal de Rouen

*** LAPHY Biarritz

mars 2003 – Convention de marché EDF n° P8B3375 – Avenant A

Surveillance écologique et halieutique du site Electronucléaire de Paluel

Année 2002

Rapport scientifique annuel

FICHE DOCUMENTAIRE

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques)	
Numéro d'identification du rapport : RST.DEL/PB/01.03 Diffusion : libre - restreinte - interdite Validé par : H.du BOULLAY Adresse électronique : - chemin UNIX : - adresse WWW :	date de publication : mars 2003 nombre de pages : 191 bibliographie : Oui illustration(s) : Oui langue du rapport : Français
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom du BOULLAY Hervé DAVOULT Dominique DELPECH Jean-Paul DOROBISZ Laurence LAMPERT Luis MAHEUX Frank RICHARD Ingrid RUMEBE Myriam	Organisme / Direction / Service, laboratoire 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 CRASSOUS Marie-Pierre DANIEL Anne d'ELBEE Jean JUSTOME Vincent LE GOFF Ronan PIERRE-DUPLESSIX Olivier RAULIN Pascal RIOU Philippe	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER / DEL / PB IFREMER / DEL / PB LAPHY / Biarritz IFREMER / DEL / PB IFREMER / DEL / PB IFREMER / DEL / PB IFREMER/ Boulogne / DRV/ RH IFREMER / DEL / PB
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Electricité de France (EDF) - Production Transport - C.N.P.E. de Paluel B.P. 48 – 76450 CANY BARVILLE	
Titre du contrat : _____ n° de contrat Ifremer _____	
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) IFREMER Centre de Boulogne/Mer, 150 quai Gambetta, 62321 BOULOGNE / MER CEDEX IFREMER Station de Port-en-Bessin, Av. du Général de Gaulle, 14 520 Port-en-Bessin IFREMER Station de Saint-Malo, BP 46, 35 402 Saint-Malo Cedex 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	
Responsable scientifique : Hervé du BOULLAY - IFREMER / Port-en-Bessin/ DEL /	
Cadre de la recherche :	
Programme : <i>Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin</i> Projet : <i>I.G.A. Impact des Grands Aménagements</i>	Convention de marché : EDF n° S62C50001 Autres (préciser) :
Campagne océanographique : IGA 1-2-3, 2002, N/O THALIA.	

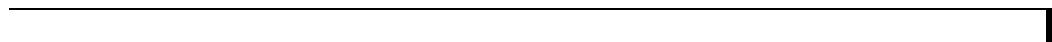


<p>Résumé : <i>L'étude de surveillance n°25 du site électronucléaire de Paluel (département de la Seine-Maritime) concerne l'année 2002. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2002 est la 19^{ème} année de fonctionnement de la Centrale.</i></p>
<p>Abstract : <i>Monitoring n°25 of the Paluel nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2002. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for nineteen years.</i></p>
<p>Mots-clés : <i>Centrale nucléaire Paluel, Surveillance ; Benthos, Halieutique, Pelagos.</i></p>
<p>Keywords : <i>Paluel, Monitoring, Nuclear power plant ; Benthos, Fisheries, Pelagos.</i></p>
<p>Commentaire :</p> <p>Ce document doit être cité de la manière suivante :</p> <p><u>Référence générale</u></p> <p>du BOULLAY.H (coordinateur) et al. (2002) - Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel, année 2002 - Rapport scientifique annuel. Rapp. IFREMER RST.DEL/PB/01.04, mars 2003, 128 p.</p> <p><u>Référence particulière</u></p>

Surveillance Ecologique et Halieutique du site de Paluel

Année 2002 – Rapport final





SOMMAIRE

Résumé	1
Préambule	1
Introduction.....	3
1. Généralités.....	5
1.1. Introduction	7
1.2. Géographie	7
1.3. Géologie	9
1.4. Climatologie.....	11
1.5. Hydrographie continentale.....	13
1.6. L'Hydrographie marine	15
1.7. Fonctionnement de la centrale lors des campagnes pélagiques	16
2. L'hydrologie.....	19
2.1. Méthode.....	21
2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2002	
2.3. Conclusion	52
2.4. Bibliographie	54
3. La microbiologie	57
3.1. Introduction	58
3.2. Matériel, méthodes d'analyses et détermination	58
3.3. Résultats et commentaires	61
3.3.1. Dénombrement des germes totaux en épifluorescence	61
3.3.2. Dénombrement des germes aérobies viables sur milieu de Zobell.....	63
3.3.3. Recherche de vibrio halophiles.....	64
3.3.4. Dosage des organo-halogénés volatils.....	65
3.3.5. Dosage du Bore	67
3.4. Conclusion.....	69



4. Le Phytoplancton	71
4.1. Introduction	72
4.2. Matériel et méthode.....	72
4.3. Résultats	74
4.4. Comparaison des résultats « canal » et « rejet ».....	88
4.5. Conclusion.....	89
4.6. Bibliographie	91
5. Le Zooplancton	93
5.1. Etude de la biomasse globale.....	95
5.2. Etude des espèces.....	103
Conclusion	117
6. Le benthos subtidal	119
6.1. Introduction	120
6.2. Méthodologie.....	121
6.3. Résultats	125
6.4. Conclusion.....	132
7. Benthos intertidal.....	143
7.1. Introduction	144
7.2. Etude de la population d' <i>Idotea granulosa</i>	144
7.3. Conclusion.....	167
8. Le phytobenthos intertidal	171
8.1. Généralités.....	173
8.2. Evolution de la biomasse de <i>Fucus</i>	173
8.3. Analyse des tendances temporelles	175
8.4. Taux de fertilité.....	176
8.5. Conclusion.....	177
9. Halieutique	179
9.1. Situation au 31.12.2001.....	181
9.2. Production	183
CONCLUSIONS	185

Résumé

L'étude de surveillance n° 25 du site électronucléaire de PALUEL (département de la Seine-Maritime) concerne l'année 2002. Sont étudiés les domaines pélagique, benthique et halieutique. Cette année 2002 est la 19^{ème} année de fonctionnement de la centrale.

The ecological survey n°25 covering PALUEL nuclear power station took place between March and September 2002. The following areas were monitored : pélagique, benthique and halieutique. Paluel power station has now been operationnel for nineteen 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 2002, l'état d'avancement a été adressé à EDF le 10 juillet 2002.

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 2002, les études réalisées sur le site de Paluel ont été menées sous la responsabilité de :

Hervé du BOULLAY et **Luis LAMPERT**- 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

Luis LAMPERT, 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 20 mars, 2 juillet et 20 septembre 2002.





1. Généralités



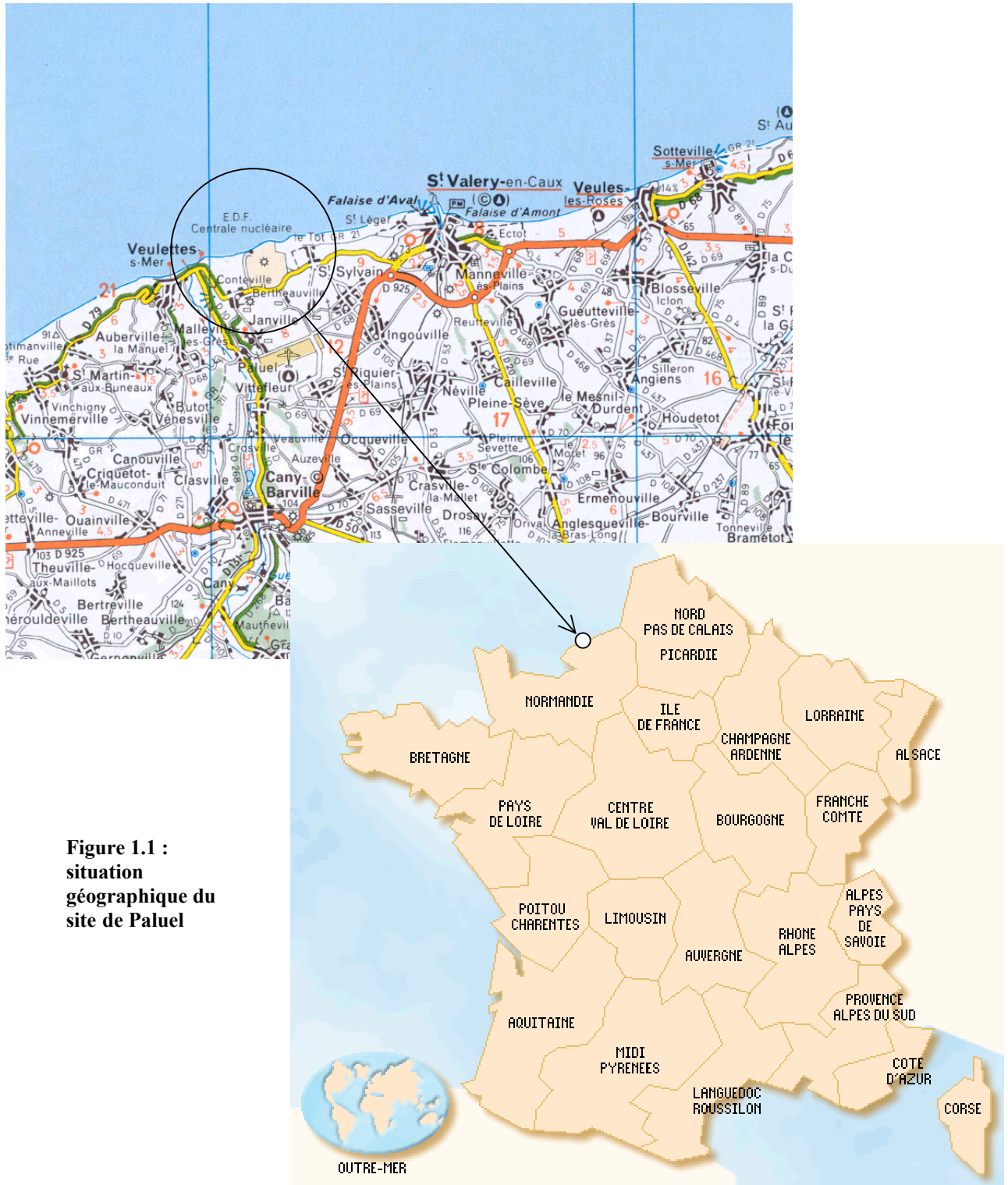


Figure 1.1 :
situation
géographique du
site de Paluel

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.

Ce rapport présente les résultats concernant la vingt cinquième année (2002) de surveillance du site de PALUEL, ce qui correspond à la dix neuvième 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. 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 plateau 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.



Figure 1.2 :
situation
géologique de la
région Haute-
Normandie

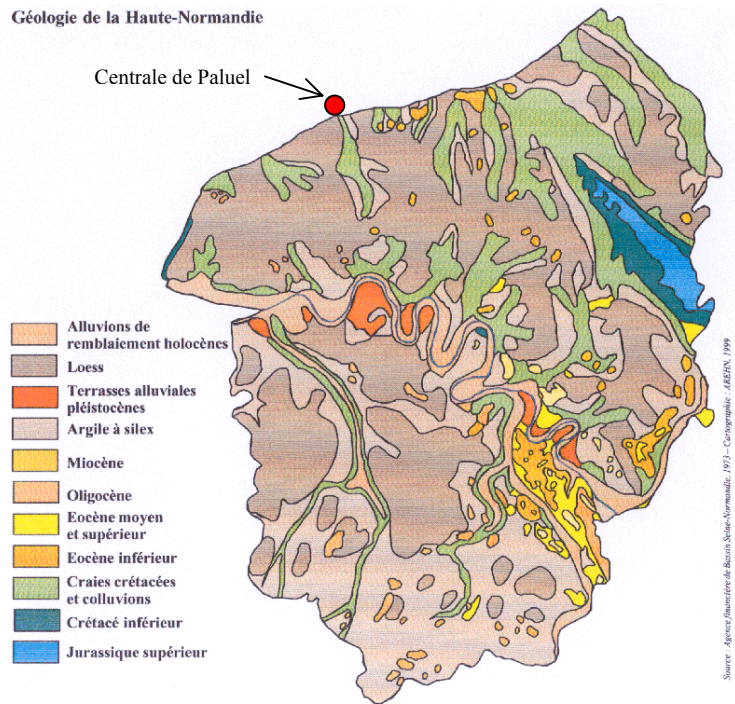
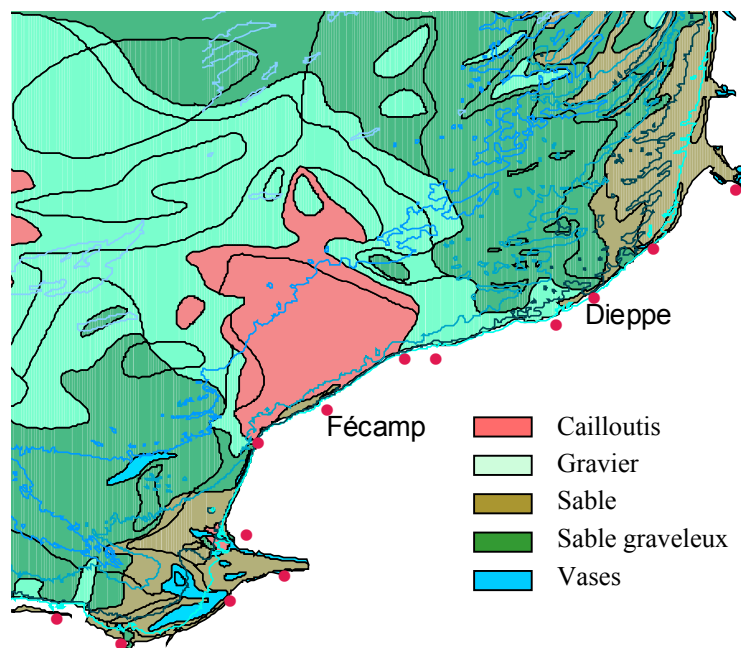


Figure 1.3 :
caractéristiques
des sédiments
marins autour de
la centrale de
Paluel



1.3. Géologie

A la fin de l'Ere Primaire (-245 Million d'Années), pratiquement toute la France est émergée, mais au cours de l'Ere Secondaire (entre -245 MA et -65 MA) se succèdent plusieurs cycles. La mer envahit nos régions, se retire, revient... Ce cycle se reproduit plusieurs fois.

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

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

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

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

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



Figure 1.4 :
situation
climatologique de
la région Haute-
Normandie

- Régime maritime
- Régime maritime atténué
- Régime maritime à empreinte continentale
- Régime maritime à empreinte continentale + influence méridionale
- Influences méridionales

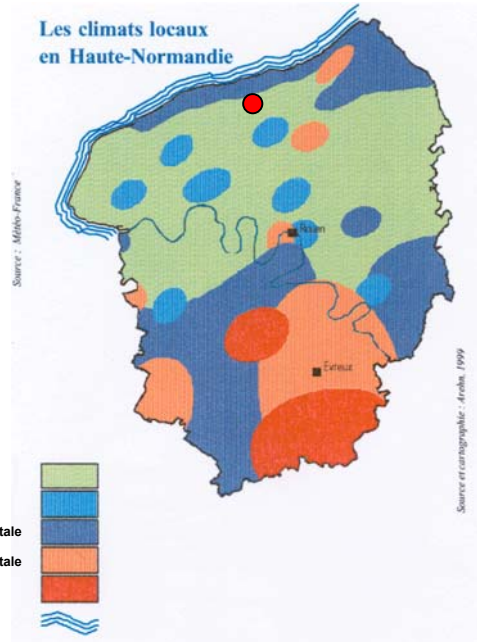
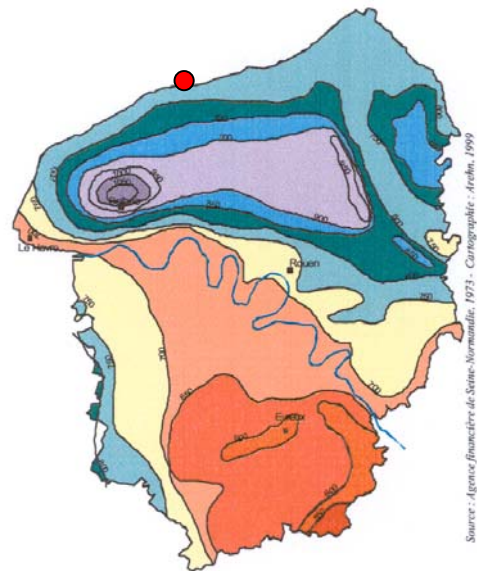


Figure 1.5 :
Pluviométrie moyenne
annuelle de la région
Haute-Normandie sur
30 ans.



- | | |
|-----------------|-------------------|
| moins de 550 mm | de 750 à 800 mm |
| de 550 à 600 mm | de 800 à 850 mm |
| de 600 à 650 mm | de 850 à 900 mm |
| de 650 à 700 mm | de 900 à 1000 mm |
| de 700 à 750 mm | de 1000 à 1200 mm |

1.4. Climatologie

1.4.1. *Le climat en Haute-Normandie*

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

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

1.4.2. *Les pluies*

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

Cartographie des bassins versants en Haute Normandie

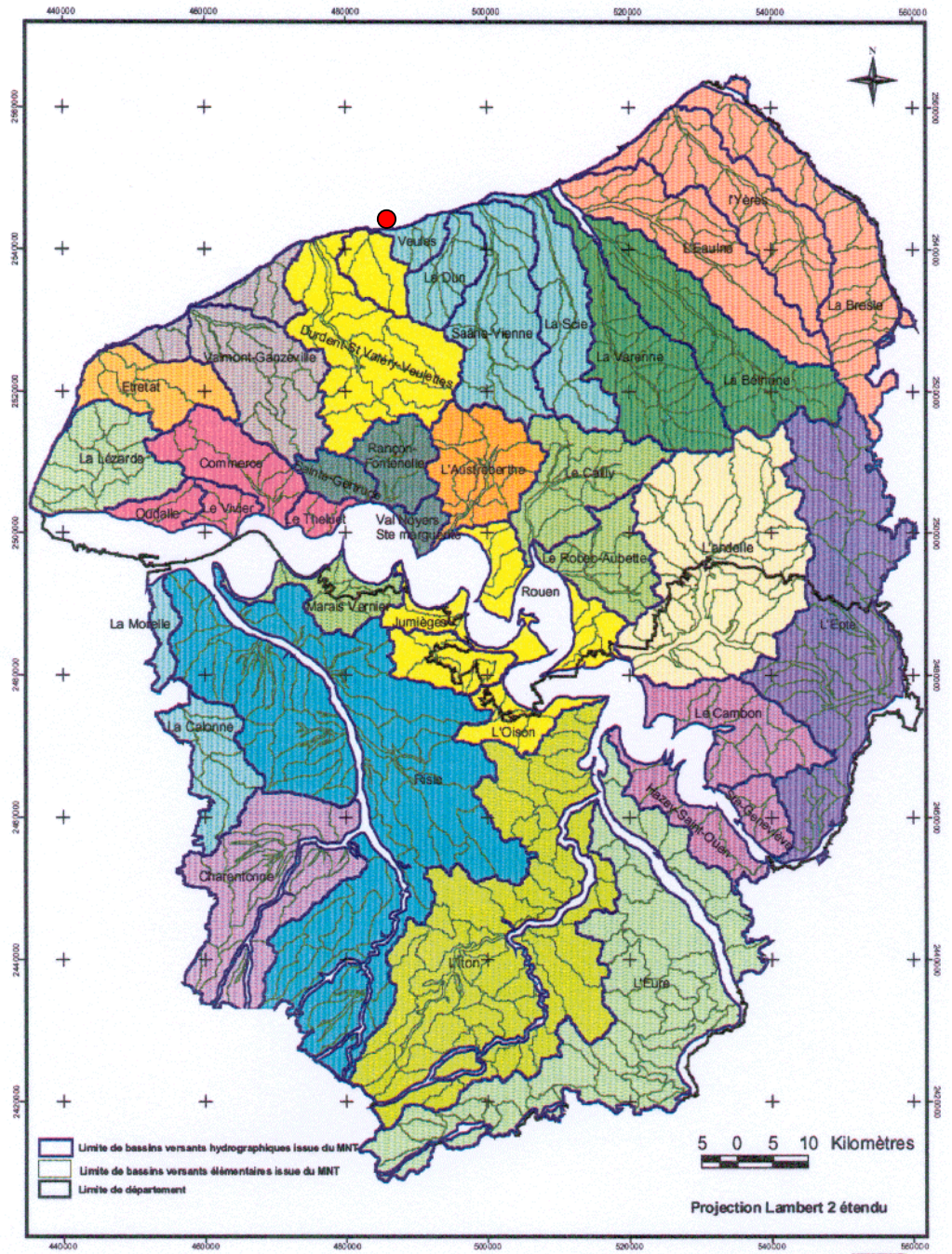


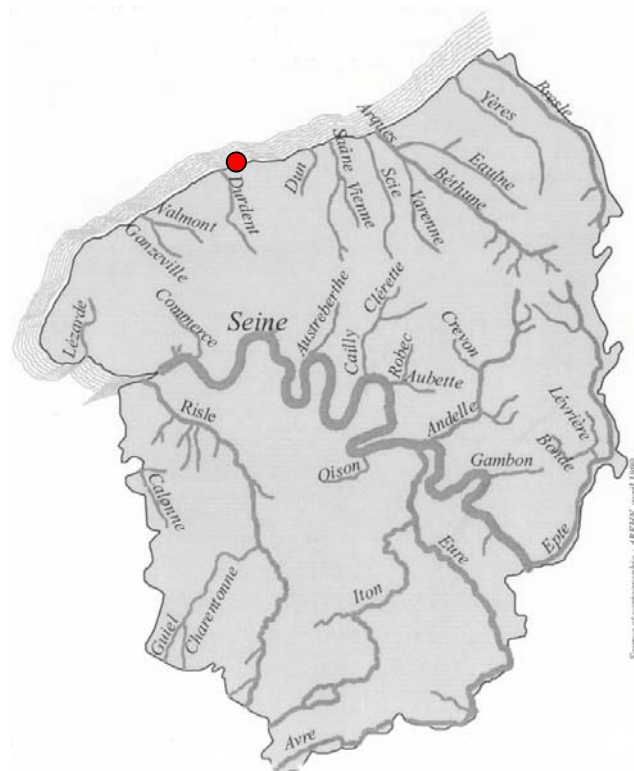
Figure 1.6 : Bassins versants de la région Haute-Normandie

1.5. Hydrographie continentale

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

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

Figure 1.7 :
Principaux fleuves
de la région Haute-
Normandie



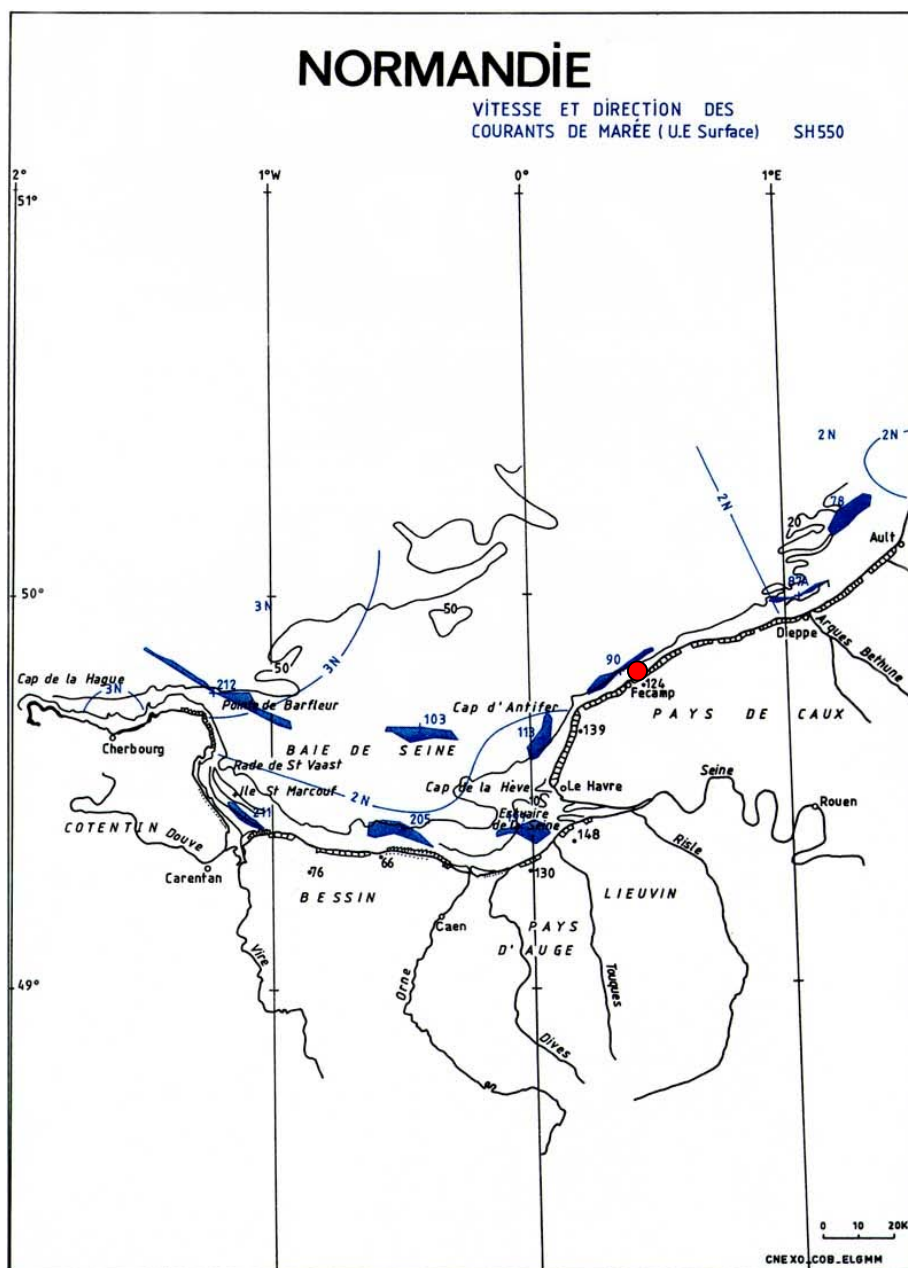


Figure 1.8 : Courants de marée en Haute-Normandie

1.6. L'hydrographie marine

1.6.1. Marées

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

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

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

1.6.2. Courants

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

Le jusant, d'une durée approximative de 7 heures, porte vers le W-SW avec une vitesse inférieure de 0,4 à 0,6 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 précédant l'installation de la centrale était d'avoir mis en évidence l'influence des eaux issues de la baie de Seine. Si cette influence est certaine par l'action du « fleuve côtier » (Brylinski *et al.*, 1991), elle est cependant irrégulière.

1.6.3. Apports telluriques

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

1.7. Fonctionnement de la centrale lors des campagnes pélagiques

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

Tableau 1.2 :
Fonctionnement
de la centrale
pendant
les campagnes
pélagiques

Date des campagnes pélagiques	Tranche	Pompes	Puissance MW	Electro-chloration
20 mars 2002	I	0	0	0
	II	43	1350	$<1 \times 10^{-2}$
	III	43	1347	$<1 \times 10^{-2}$
	IV	43	1321	$<1 \times 10^{-2}$
2 juillet 2002	I	43	1322	0,23
	II	0	0	0
	III	43	1342	5×10^{-2}
	IV	43	1331	0,30
20 septembre 2002	I	43	1295	0,38
	II	43	1312	6×10^{-2}
	III	0	0	0
	IV	43	1342	0,31

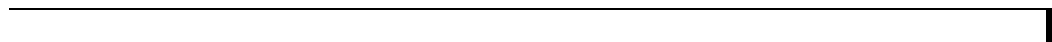
Le domaine pélagique

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 20 mars, 2 juillet et 20 septembre 2002.

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





2. Hydrologie

Rapport

Luis Lampert (DEL/PB).

Prélèvements et Analyses

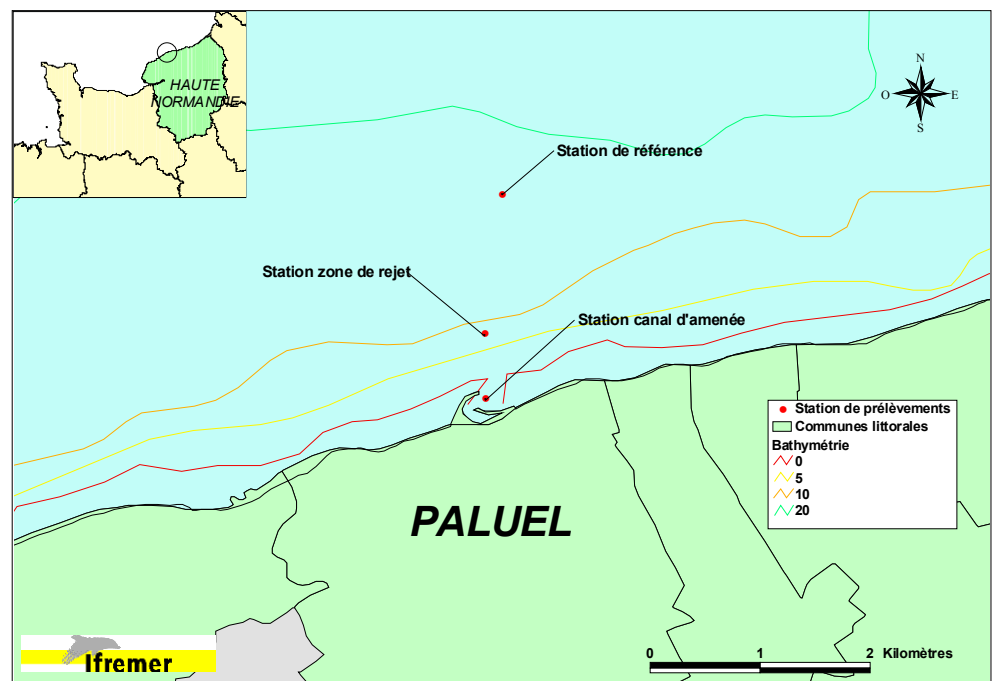
Frank Maheux (DEL/PB),
Olivier Pierre-Duplessix (DEL/PB),
Vincent Justome (DEL/PB),
Laure Lamort (DEL/PB),
Myriam Rumèbe (DEL/SM),
Françoise Dagault (DEL/SM),
Floriane Girard (DEL/PB).

Participation

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



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



2.1. Méthode

2.1.1. Prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Paluel, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer le 20 mars, le 2 juillet et le 20 septembre 2002. 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.

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.

Tableau 1 :
Précision des
analyses.

	<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)
<i>PRECISION</i>	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,01	± 0,05	± 0,1



2.1.3. Présentation graphique

Les résultats des campagnes hydrologiques sont présentés sous forme de courbes, d'histogrammes et de boîtes à moustaches. Les courbes présentent les valeurs obtenues lors de l'année 2002 avec leur variabilité saisonnière et spatiale. Les histogrammes et les boîtes à moustaches présentent l'ensemble des données acquises depuis 1988. L'utilisation de la médiane dans les boîtes à moustaches permet de minimiser l'influence des valeurs extrêmes par rapport à la moyenne. Les résultats 2002 sont présentés avec une couleur différente par rapport aux années précédentes. 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* 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 l'état de la biomasse phytoplanctonique au moment des prélèvements.

2.1.4. Traitement statistique

Un traitement statistique a été réalisé pour les paramètres étudiés sur la période 1988-2002. 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 sur l'ensemble de données par station à long terme. 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 aux coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution s'avérait normale, le test de Student pour échantillons appariés a été utilisé pour comparer les données. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données a été réalisée par le test de signes. Les tests permettent de déterminer la valeur « p-value ».

Si la « p-value » est inférieure à 0,05, il existe une différence significative entre les deux séries de données. A l'inverse, si la « p-value » est supérieure à 0,05, nous ne pouvons pas conclure à une différence significative au seuil de 95%.



<i>(Valeurs moyennes ± écart type)</i>	CANAL D'AMENEE (n=4)	REJET (n=4)	REFERENCE		
			SURFACE (n=2)	-10 M (n=2)	
20 MARS	<i>Température (°C)</i>	9,7 ± 0,1	11,2 ± 0,3	9,8 ± 0,0	8,6 ± 0,1
	<i>Salinité</i>	30,9 ± 0,1	31,2 ± 0,1	31,3 ± 0,1	31,6 ± 0,0
	<i>MES (mg L⁻¹)</i>	44,8	29,3	19,6	14,9
	<i>Nitrate (µM)</i>	54,7 ± 0,6	49,6 ± 0,2	46,9 ± 0,4	44,4 ± 0,3
	<i>Nitrite (µM)</i>	0,50 ± 0,01	0,50 ± 0,01	0,49 ± 0,03	0,48 ± 0,01
	<i>Ammonium (µM)</i>	1,36 ± 0,13	1,39 ± 0,24	1,27 ± 0,04	1,14 ± 0,01
2 JUILLET	<i>Température (°C)</i>	16,8 ± 0,1	19,0 ± 0,2	17,1 ± 0,1	17,1 ± 0,0
	<i>Salinité</i>	31,5 ± 0,1	31,8 ± 0,1	32,1 ± 0,0	30,6 ± 0,1
	<i>MES (mg L⁻¹)</i>	65,6	43,7	26,4	27,7
	<i>Nitrate (µM)</i>	26,9 ± 0,8	20,6 ± 1,6	18,2 ± 0,2	18,5 ± 0,1
	<i>Nitrite (µM)</i>	0,62 ± 0,07	0,50 ± 0,02	0,53 ± 0,05	0,51 ± 0,10
	<i>Ammonium (µM)</i>	2,08 ± 0,19	1,89 ± 0,07	1,81 ± 0,11	2,25 ± 0,01
20 SEPTEMBRE	<i>Température (°C)</i>	18,8 ± 0,0	21,2 ± 0,1	18,5 ± 0,0	18,4 ± 0,0
	<i>Salinité</i>	33,3 ± 0,1	33,3 ± 0,1	33,6 ± 0,0	32,3 ± 0,1
	<i>MES (mg L⁻¹)</i>	10,7	18,1	6,8	7,3
	<i>Nitrate (µM)</i>	21,6 ± 2,8	20,2 ± 0,8	16,5 ± 0,3	16,7 ± 0,4
	<i>Nitrite (µM)</i>	0,59 ± 0,08	0,69 ± 0,06	0,57 ± 0,02	0,49 ± 0,0
	<i>Ammonium (µM)</i>	1,72 ± 0,05	2,10 ± 0,07	2,08 ± 0,13	2,08 ± 0,01

Tableau 2 :
Récapitulatif
des résultats
de surveillance
pour l'année
2002.

2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2002

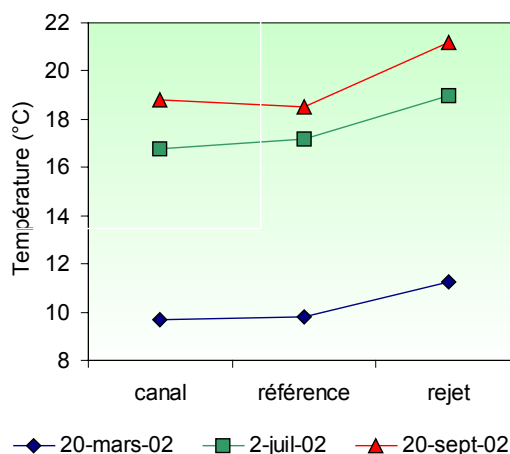
Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2002 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 2.

2.2.1. Température

2.2.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la température

Au cours des campagnes de surveillance 2002, la température de l'eau de mer a varié de 9,7°C à 18,8°C à la station « canal », de 11,2°C à 21,2°C à la station « rejet » et de 9,8°C à 18,5°C à la station « référence » (Figure 2). Sur l'ensemble des stations, la température augmente de mars jusqu'en septembre.

Figure 2 :
Température de l'eau
(surface) en 2002.

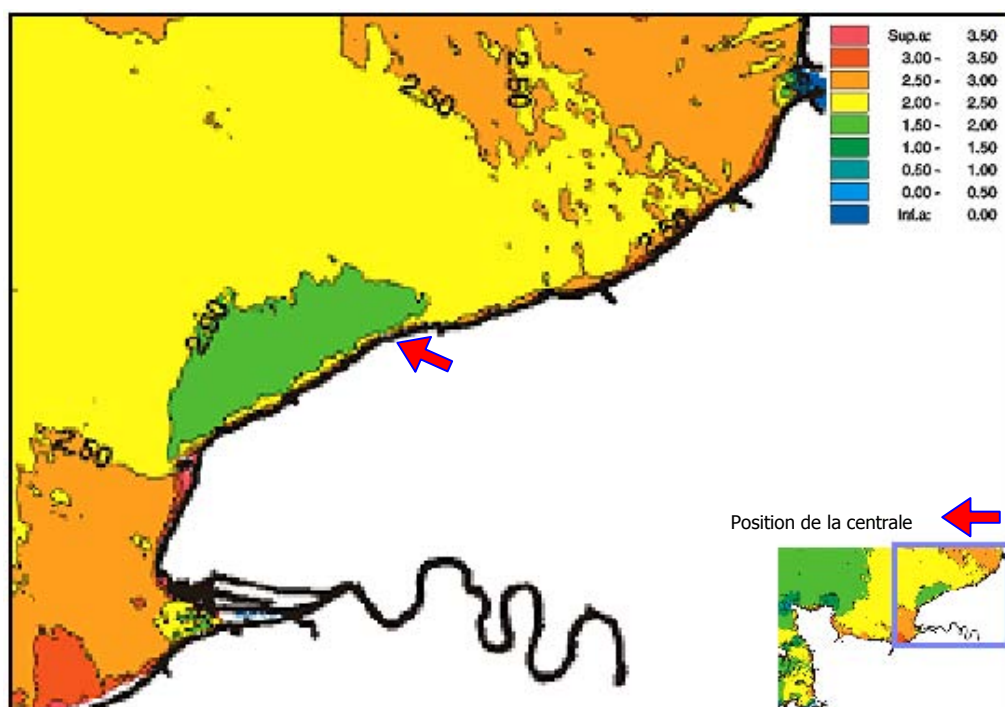


Au printemps et en été, le point « référence » présente une température légèrement supérieure à celle observée au point « canal ». Ce schéma s'inverse en septembre, où la température moyenne de la station « référence » est 0,3°C plus faible que celle observée à la station « canal ».

Au point « référence », les températures observées en surface et à 10 mètres de profondeur ont été sensiblement les mêmes en juillet et en septembre. Au printemps, la température mesurée à 10 mètres de profondeur est 1,2°C plus faible que celle de la surface.

L'écart thermique (δT) est relativement important puisqu'il est en moyenne de 9,3°C entre le printemps et l'automne. La figure 3 est une représentation du potentiel de stratification des eaux (Lazure, *comm.pers.*) réalisée en utilisant le paramètre de stratification ' H/u^3 ' défini par Simpson et Hunter (1974) où « H » représente la hauteur de la colonne d'eau et « u » le module de la vitesse moyenne du courant au cours d'un cycle de marée.

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



Les faibles valeurs du paramètre de stratification ($< 2,0$) indiquent que la colonne d'eau est brassée et les fortes valeurs ($> 3,0$) définissent les zones où la colonne d'eau peut présenter une stratification en été. La figure 3 montre que la centrale est située dans une zone présentant des valeurs inférieures à 3, donc peu propices aux stratifications estivales.

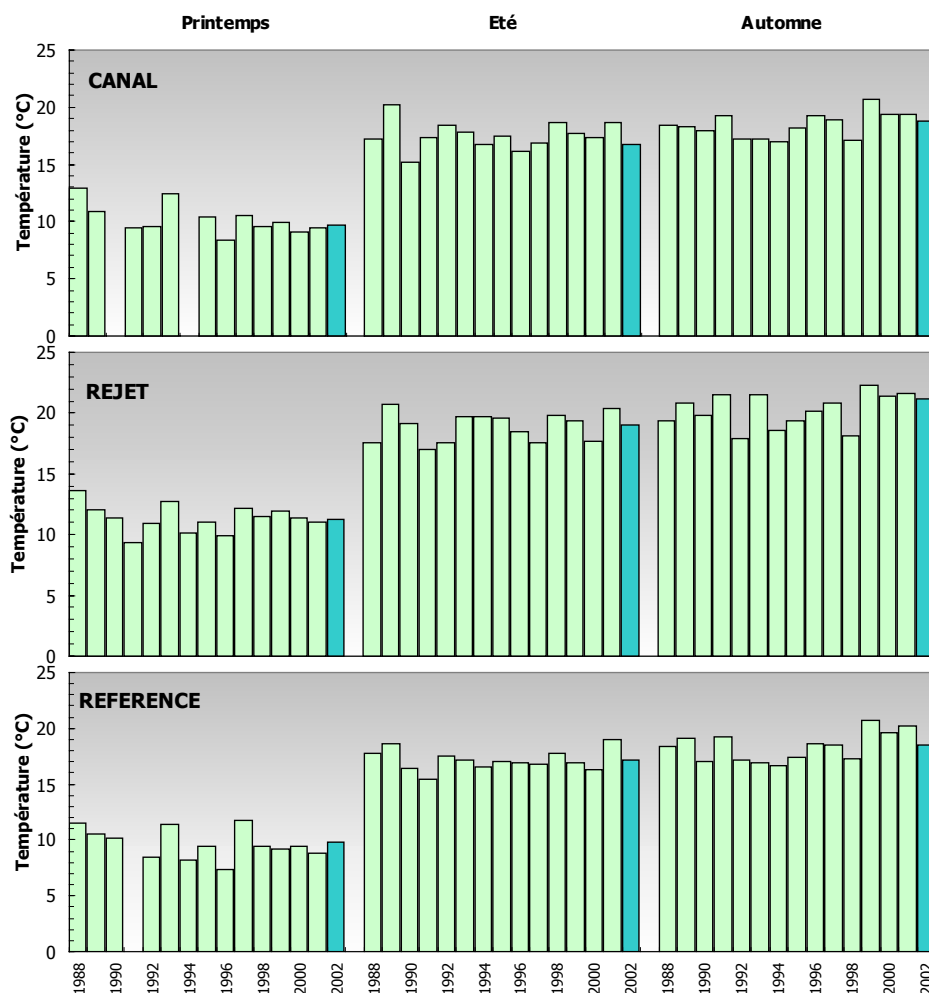


Figure 4 :
Température de
l'eau (surface) pour
les campagnes 1988
à 2002.

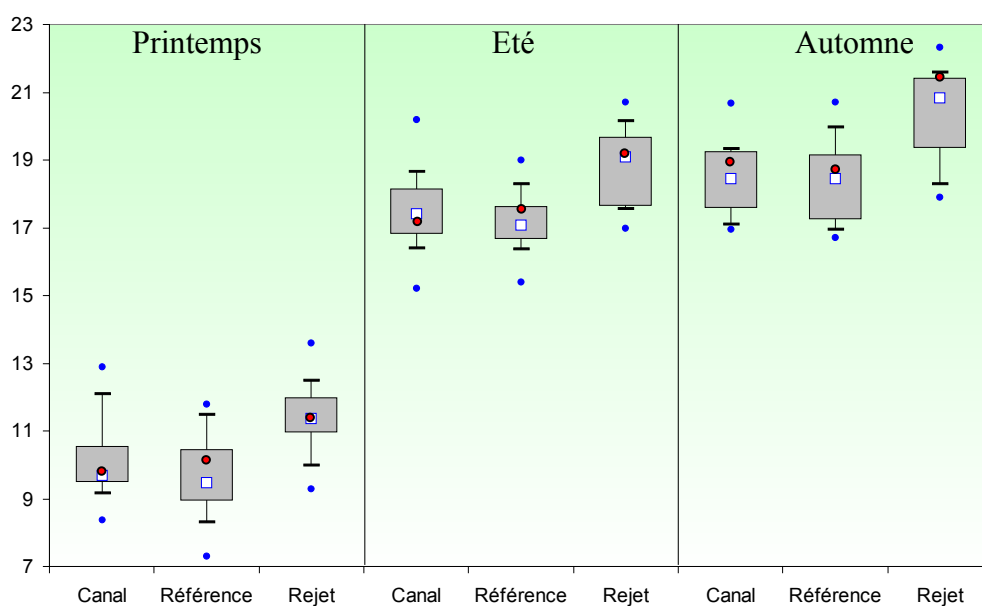
2.2.1.2. Variations inter-annuelles

La figure 4 montre que les températures de l'eau de surface enregistrées au cours des 3 campagnes réalisées en 2002 s'inscrivent globalement dans la plage de variation des températures mesurées depuis 1988. Les températures sont du même ordre de grandeur que celles observées dans « étude écologique de projet » (Dewarumez *et al.*, 1973), ainsi que celles enregistrées dans les études de surveillance (Grossel *et al.*, 1981 et 1983). Elles sont également en accord avec les travaux de Agoumi *et al.* (1983), Taylor et Stephens (1983), Bentley et Maillard-Quisthoudt (1990) qui indiquent des valeurs similaires dans ce secteur de la Manche. Les valeurs printanières 2002 sont légèrement supérieures à celles observées en 2001, tandis que celles d'été et d'automne sont inférieures à celles enregistrées en 2001.

Figure 5 :
Distributions de la température
par saison et par station entre
1988 et 2002.

Le point central représente la
médiane (■) ; la boîte englobe
50% des valeurs (□) ; les
moustaches, 80% des valeurs
(┆). Les point extrêmes,
présentent les valeurs
maximales et minimales (●).

Le point rouge représente la
valeur obtenue en 2002 (●).



La figure 5 compare les distributions de température obtenues depuis 15 ans par saison et par station. La valeur médiane pour le « rejet » est toujours supérieure à celles des stations « référence » et « canal ». La température au « canal » est légèrement supérieure à celle de la « référence ». Les dispersions restent homogènes sur les trois saisons et sur l'ensemble de stations. Toutes les valeurs de température en 2002 se situent à l'intérieur des boîtes contenant le 50% de valeurs.

Pour expliquer l'écart thermique entre la station « référence » et la station « canal », les hypothèses suivantes peuvent être avancées :

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

Les vents de secteur nord peuvent aussi avoir une influence dans l'advection des masses d'eau réchauffées sur le canal d'amenée. En septembre 2002, l'arrêt total de la centrale de Flamanville a permis de lever le doute sur ce point: l'absence de différence significative de température entre les trois points d'échantillonnage a suggéré que les différences en moyenne de 0.4°C constatées tous les ans entre le « canal » et la « référence » sont indubitablement attribuables aux eaux réchauffées du « rejet ». Il pourrait en être de même pour la centrale de Paluel.

En effet, les rejets de la centrale de Paluel sont situés à 700 mètres des digues du canal d'amenée et distants l'un de l'autre de 150 mètres. Janin et Marcos (1994) ont modélisé le panache thermique de la centrale de Paluel à l'aide du modèle TELEMAC-3D pour une morte-eau moyenne et une vive-eau moyenne. Les résultats de cette modélisation confirment, à pleine mer, une élévation de 0,3°C de la température du canal d'amenée par la reprise partielle du panache de rejet. Les résultats montrent que cet impact thermique dépend fortement des courants de marée. Selon le flot ou le jusant, le panache thermique s'affine et s'allonge alternativement vers l'est et vers l'ouest. Cette étude montre également que le panache du rejet peut atteindre le point « référence » à pleine mer +1h et pleine mer +2h. Toutefois, quelle que soit la marée, les résultats issus de la modélisation montrent que l'impact thermique lié au rejet d'eau échauffée par la centrale reste très localisé autour de la centrale et confirment les mesures *in situ* issues des campagnes de surveillance.

- Une deuxième hypothèse, tenant compte de la position des points « référence » et « contrôle », peut aussi expliquer l'écart de température observé. En effet, le point « référence », situé plus au large que le point « canal » pourrait se trouver dans la masse d'eau de la Manche, plus chaude en hiver et au printemps que le « fleuve côtier » (Brylinski *et al.*, 1991). Les deux hypothèses sont plausibles et la réalité pourrait être constituée d'un mélange de deux hypothèses.

Les valeurs des températures de l'air mesurées à Fécamp et fournies par Météo France au cours de la période janvier à octobre 2002 (cf. figure 6) montrent que de janvier à juin 2002, la température moyenne par mois de l'air était supérieure à la moyenne annuelle établie sur les 15 dernières années (données Météo France). En juillet et août 2002, ces mêmes températures se trouvaient en-dessous de la moyenne, puis se calaient sur cette dernière en septembre et en octobre 2002. 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 7).

Figure 6 :
Température moyenne mensuelle de l'air à Fécamp en 2002 et sur la période 1987-2002. Données Météo France

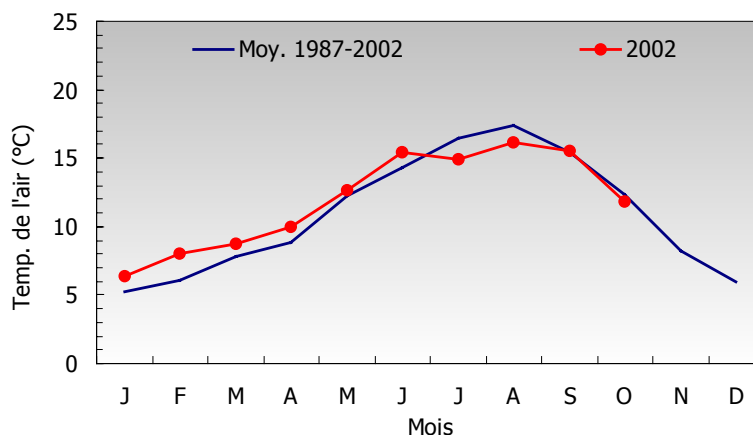
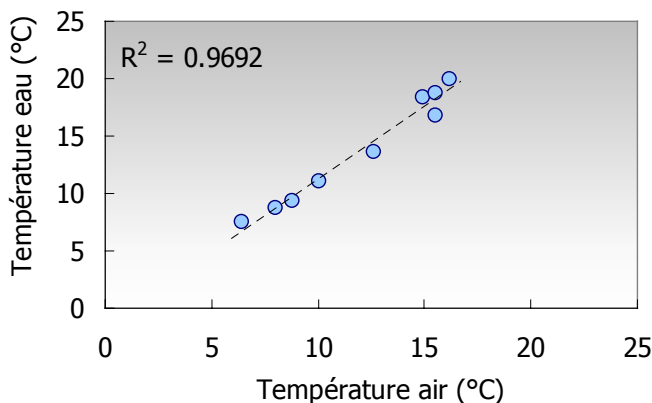


Figure 7 :
Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau du canal d'amenée (données EDF) en fonction de celle de l'air (données Météo France).



2.2.1.3. Taux de dilution

L'écart 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 :

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

π représente la proportion d'eau échauffée. $t^{\circ}Rejet$, $t^{\circ}Canal$ et $t^{\circ}SC$ 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 les eaux échauffées par rapport au 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.

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

%	MARS	JUILLET	SEPTEMBRE
PROP. D'EAU ECHAUFFEE π	9	11	12
TAUX DE DILUTION ($1-\pi$)	91	89	88

Les proportions d'eau échauffée dans les prélèvements réalisés à la station « rejet » sont de 9% en mars, 11% en juillet et de 12% en septembre. Ceci correspond à des taux de dilution de 91% lors de la campagne de printemps, 89% lors de celle d'été et 88% lors de celle d'automne. Les taux de dilution pour l'année 2002 se situent dans la moyenne de ceux observés depuis 1988 (89% en moyenne).



2.2.1.4. Approche statistique

Le tableau 4 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur les mesures de température entre 1988 et 2002. 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. Ce résultat confirme l'existence d'un impact thermique significatif et permanent au « rejet ».

Tableau 4 :
« *p-value* » des tests
statistiques sur la
température.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,00004	0,001	0,0003
REFERENCE / REJET	$6 \cdot 10^{-8}$	0,000005	0,0003
CANAL / REFERENCE	0,061	0,156	0,397

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

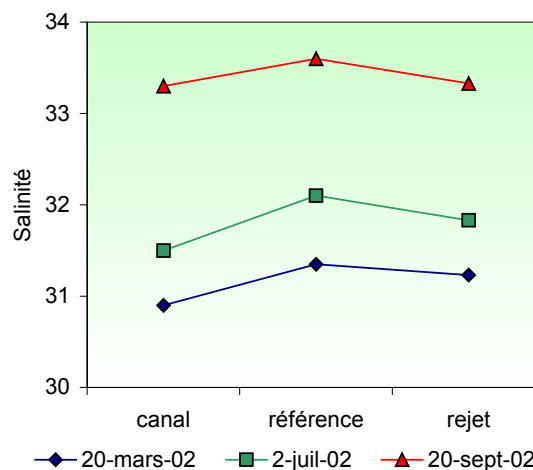
En outre, l'étude statistique montre aussi qu'il n'existe pas de différence significative de température entre les points « canal » et « référence » tout au long de l'année.

2.2.2. Salinité

2.2.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la salinité

Les salinités moyennes ont été comprises entre 31,2 et 33,3 au point « rejet », entre 30,9 et 33,3 au point « canal » et entre 31,4 et 33,6 au point « référence » (figure 8).

Figure 8 :
Salinité de l'eau de surface
pour les campagnes 2002.



En 2002, les salinités les plus faibles ont été enregistrées au printemps au point « canal » avec une valeur moyenne de 30,9. Les salinités les plus élevées ont été observées en septembre (maximum de 33,6 au point « référence »).

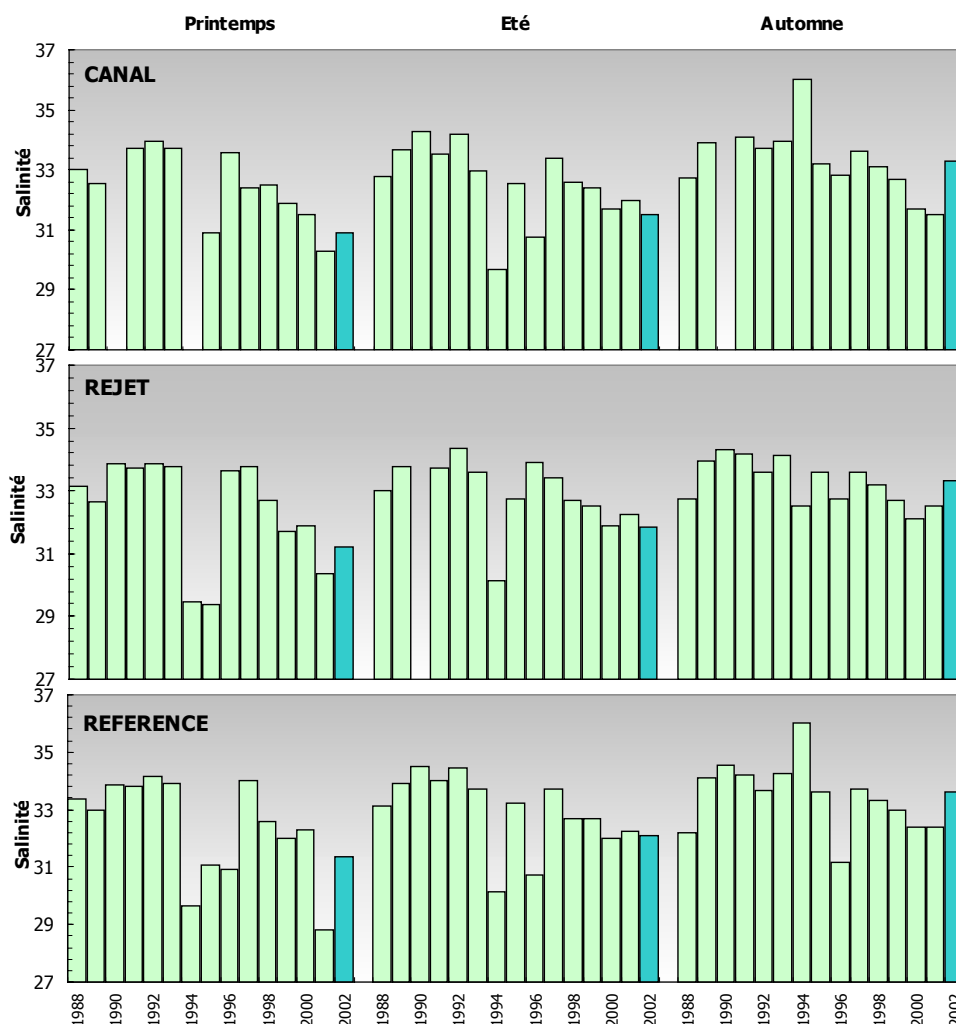


Figure 9 :
Salinité de l'eau
(surface) pour les
campagnes 1988 à
2002.

Pour les trois campagnes 2002, le gradient croissant de salinité s'établit de la façon suivante : « canal », « rejet », « référence ». Des valeurs égales de salinité ont été observées aux points « canal » et « rejet » en automne.

Les salinités printanières et estivales en 2002 peuvent être considérées comme faibles, mais en accord avec celles observées par Brylinski *et al.* (1991) qui constatait une accumulation d'eaux dessalées ($32 < S < 33$) au large du pays de Caux. Dupont *et al.* (1991) montrent des salinités entre 31,5 et 33 autour de Dieppe à pleine mer de vive-eau et morte-eau. Cependant, ce schéma peut être rapidement modifié dans le court terme par des fortes pluies ou par des prélèvements à basse mer.

Bien que faibles, ces salinités ont été supérieures à celles observées au même moment sur la centrale de Penly située à environ 50 km à l'est de Paluel.

2.2.2.2. Variations inter-annuelles

La figure 9 présente les valeurs de salinité aux différentes stations sur la période 1988-2002. Au printemps et en automne 2002, les valeurs de salinité ont été supérieures de celles observées en 2001. Pour la campagne estivale, les salinités en 2002 ont été légèrement inférieures aux valeurs enregistrées en 2001. Les valeurs automnales se trouvent dans la moyenne générale.

En mars et en juillet, les campagnes se sont déroulées après une période de fortes pluies (40,2 mm et 16,3 mm de précipitations sur les sept jours précédant respectivement chaque campagne). En septembre, les sept jours qui ont précédé la campagne ont au contraire été secs (0,2 mm de précipitations).

L'hiver 2002 a été marqué par un fort débit de la Seine, bien supérieur à la moyenne enregistrée entre 1941 et 2001 (figure 10). Ce phénomène explique aussi les faibles salinités observées en mars.

Figure 10 :
Débit mensuel moyen de la Seine à Poses en 2002 et moyenne mensuelle sur la période 1941-2001.

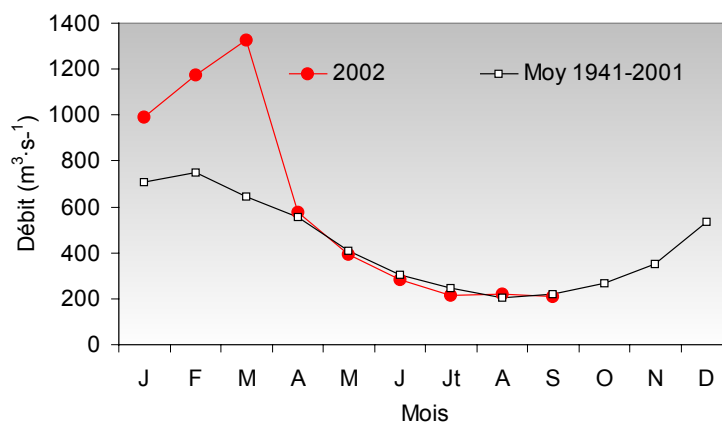
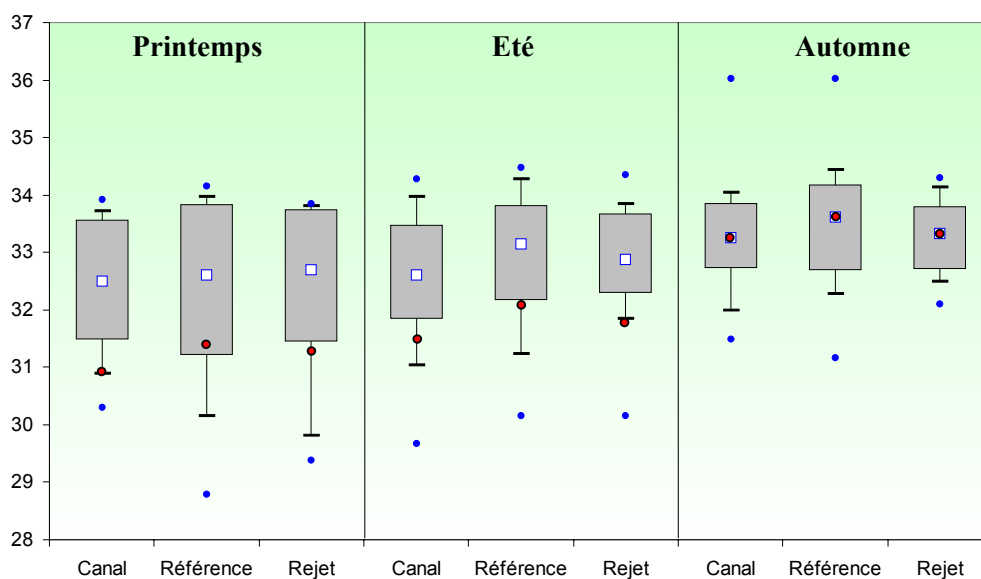


Figure 11 :
Comparaison des distributions de la salinité par saison et par station entre 1988 et 2002.



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

La « boîte à moustaches » permet d'apprécier les faibles salinités observées au printemps et en été 2002 (figure 11). Elles se trouvent à la limite ou en-dehors de la boîte contenant le 50% de valeurs. Les valeurs automnales sont toutes positionnées sur la médiane.

La dispersion des valeurs est plus forte au printemps. Le gradient côte-large croissant « canal »-« rejet »-« référence » observé sur l'ensemble des données obtenues depuis 14 ans se confirme en 2002. La présence de ce gradient pourrait s'expliquer par l'existence du fleuve côtier qui draine, près de la côte, des eaux plus dessalées se dirigeant vers le nord.

2.2.2.3. Approche statistique

Le tableau 5 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur les salinités depuis 1988 jusqu'à 2002.

Tableau 5 :
« *p-value* » des tests
statistiques sur la
salinité

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,228	0,0008	0,342
REFERENCE / REJET	0,039	0,009	0,096
CANAL / REFERENCE	0,026	0,00001	0,043

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

L'été présente des différences sur tous les points de prélèvement. Au printemps et en automne des valeurs de *p-values* supérieures ou proches du seuil de 0.05 sont observées, indiquant des différences non significatives sur l'ensemble des points. Sur les 15 années de données, la tendance met en évidence une forte homogénéité des valeurs au printemps et en automne par rapport à l'Eté qui présente une variabilité plus marquée.

Les tests statistiques indiquent que les plus fortes différences en salinité sont observées davantage au printemps et en été. entre les stations tout au long de l'année. Ceci suggère que la centrale est soumise à une influence en terme d'apport d'eau douce pendant ces deux saisons.



En raison du courant résiduel portant au nord-est, la zone est affectée par une dérive des eaux issues de la baie de Seine. L'influence des petits fleuves côtiers « Le Durdent » et la « Valmont », caractérisés par un faible débit irrégulier (environ $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en moyenne en 2001) se jetant à l'ouest du site, est bien inférieure à l'influence que subi par exemple le site de Penly qui reçoit l'apport de la « Saône » et de « l'Arques » (environ $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en moyenne en 2001).

La centrale peut représenter une source d'eau douce via les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, des circuits secondaires ainsi que des circuits annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire. Les rejets représentent un volume d'environ 100000 m^3 par an et par tranche (cf. Rapport annuel de surveillance de l'environnement 2000; 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 m^3 . Le facteur de dilution des effluents d'eau douce est donc très important, de l'ordre de $56 \cdot 10^3$. 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

2.2.3.1. Variations spatiales et saisonnières en Ammonium

Les teneurs en ammonium ont varié au cours des campagnes 2002 de 1,36 à 2,08 μM au point « canal », de 1,39 à 2,10 μM au point « rejet » et de 2,08 à 1,06 μM à la « référence » (figure 12).

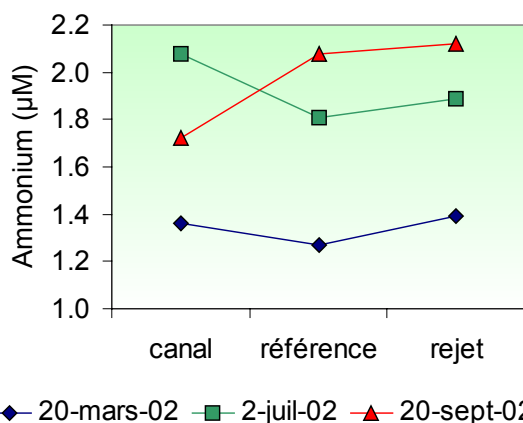


Figure 12 :
Concentrations en ammonium (μM) dans les eaux de surface pour les campagnes 2002.

Une augmentation des concentrations moyennes d'ammonium est observée du printemps vers l'automne, ce qui est cohérent avec l'augmentation de l'activité hétérotrophe. La courbe des concentration en ammonium du mois de septembre présente une allure différente de celles de mars et de juillet à cause de la faible valeur mesurée au point « canal ».

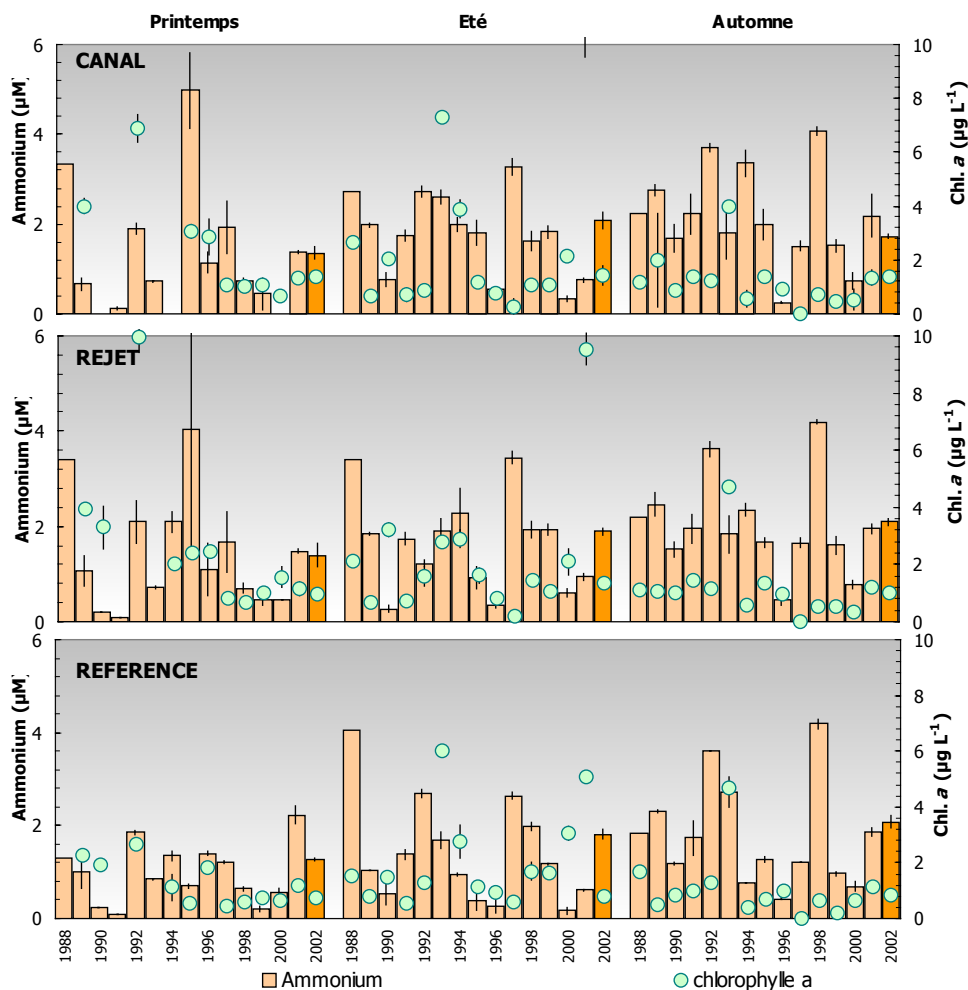


Figure 13 : Concentrations en ammonium dans l'eau de surface pour les campagnes de 1988 à 2002.

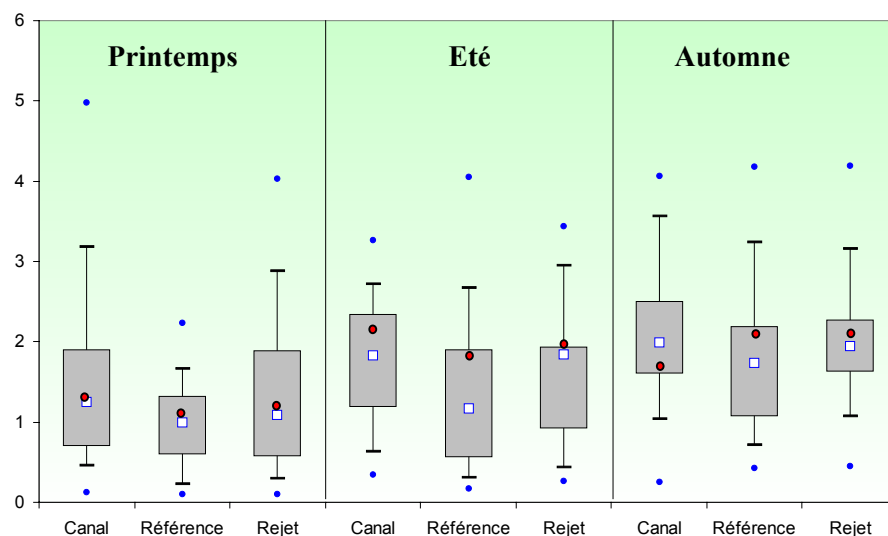


Figure 14 : Comparaison des distributions des concentrations de l'ammonium par saison et par station entre 1988 et 2002.

Les valeurs en ammonium au point « référence » sont inférieures à celles des points « rejet » et « canal », sauf en septembre.

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

2.2.3.2. Variations inter-annuelles

Les variations de concentration en ammonium aux différentes stations depuis 1988 sont présentées sur les figures 13 et 14. Il est difficile d'observer une tendance évolutive de ce paramètre, qui présente une forte variabilité inter-annuelle.

Au printemps, les valeurs sont inférieures à celles observées en 2001, contrairement aux situations d'été et d'automne, où celles-ci sont en augmentation (à l'exception du point « canal » en septembre). Les écarts observés entre les situations de 2001 et de 2002 sont plus marqués sur les trois stations échantillonnées en été, où les valeurs ont doublé et triplé par rapport à l'année précédente.

La dispersion des valeurs mesurées au cours de l'ensemble des campagnes printanières est légèrement plus forte que celle observée en été et en automne. Cependant, les médianes sont plus homogènes au printemps et montrent peu de variabilité entre les stations (figure 14).

Le gradient côte-large est bien mis en évidence sur la figure 14, où sont intégrés les 15 dernières années. La différence entre les médianes des points « canal » et « rejet » est faiblement marquée par rapport à celle observée entre ces deux derniers points et le point « référence », plus au large.

2.2.3.3. Approche statistique

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

Tableau 6 :
« *p-value* » des tests
statistiques sur
l'ammonium.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	1,000	0,338	0,999
REFERENCE / REJET	0,422	0,229	0,003
CANAL / REFERENCE	0,386	0,051	0,121

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



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 « référence » et le « rejet » en automne.

Ceci peut s'expliquer par la forte variabilité intrinsèque de ce paramètre et par la faible variabilité des masses d'eau (cf. tests statistiques relatifs à la salinité). De ce fait, les teneurs sont similaires aux différentes stations.

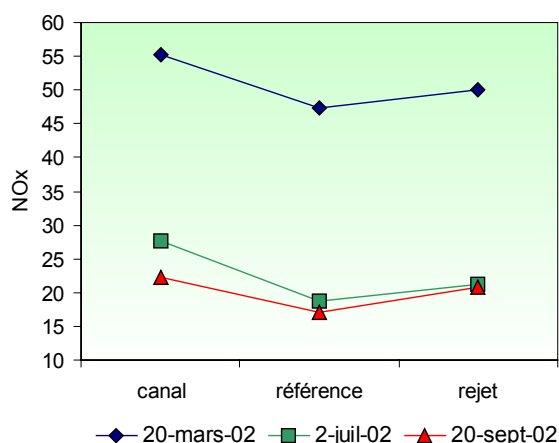
La centrale utilise de l'ammonium pour le conditionnement du circuit secondaire et rejette de façon ponctuelle environ $6,3 \text{ T}\cdot\text{an}^{-1}$ (donnée EDF 2001). L'absence de différence entre les stations indique que ces rejets ne sont pas détectés. Les teneurs en ammonium présentent des variations saisonnières classiques, ce qui suggère que la centrale n'engendre pas de perturbation notable sur le cycle de ce nutriment.

2.2.4. Nitrate plus nitrite

2.2.4.1. Variations spatiales et saisonnières de l'azote

Les teneurs en azote (nitrate + nitrite) mesurées au cours des campagnes de surveillance 2002 ont été comprises entre 22,2 et 55,1 μM au « canal », entre 20,9 et 50,1 μM au « rejet » et entre 17,0 et 47,4 μM au point « référence » (figure 15).

Figure 15 :
Concentrations
en azote (μM) dans
les eaux de surface
pour les campagnes
2002.



Les concentrations en azote présentent une diminution du printemps vers l'automne, période où sont enregistrées les plus faibles valeurs de l'année.

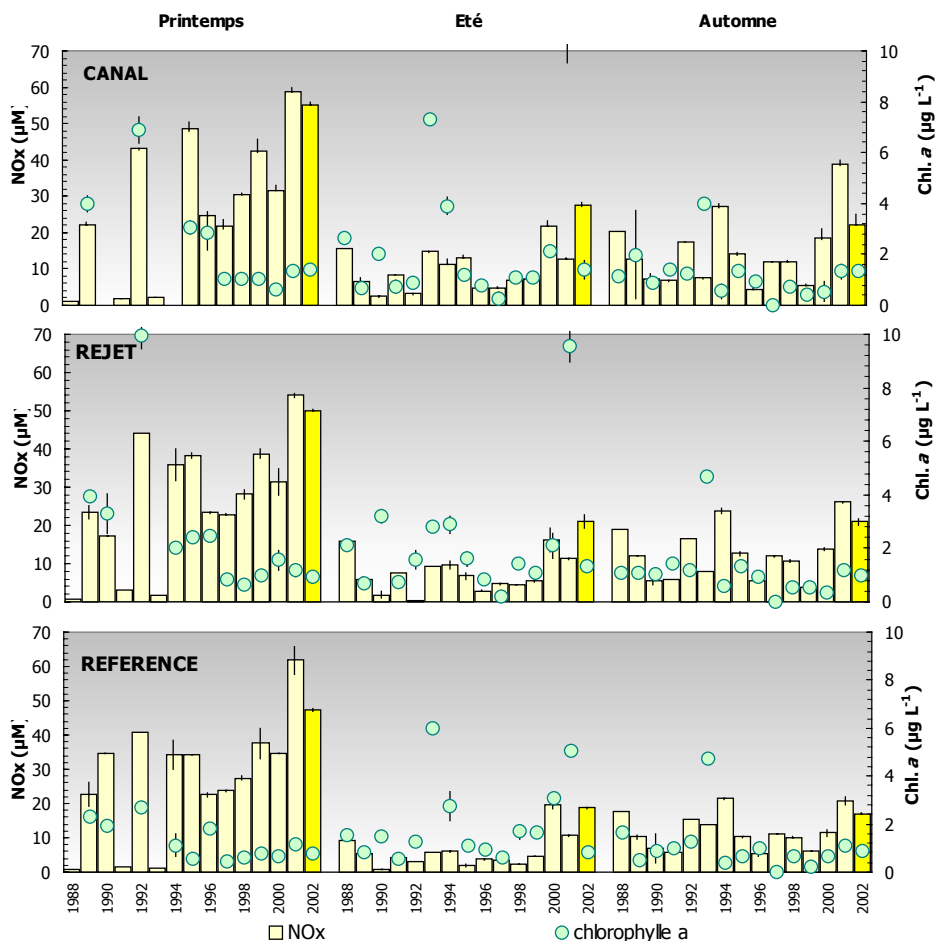


Figure 16 : Concentrations en azote (μM) dans l'eau de surface pour les campagnes de 1988 à 2002.

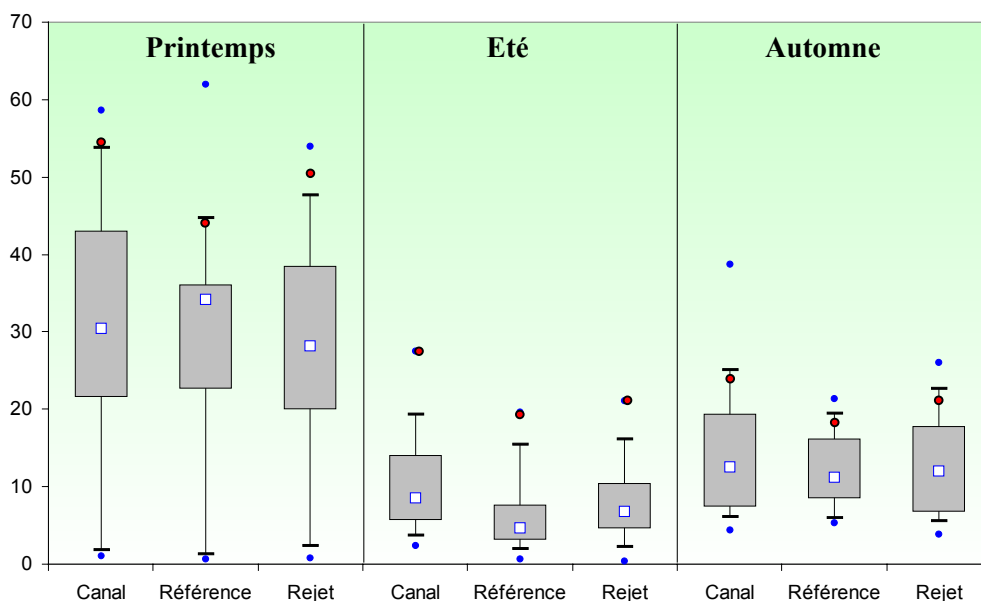


Figure 17 : Comparaison des distributions des concentrations en azote par saison et par station depuis 1988.

Ces valeurs sont remarquablement élevées au printemps et peuvent être mises en relation avec les faibles salinités ($< 31,5$) provoquées par les fortes précipitations (cf § 2.2.2.2). Le gradient côte-large remarqué sur la distribution de l'ammonium est clairement mis en évidence avec la distribution spatiale de l'azote observée en 2002.

L'été est caractérisé par une forte chute de la teneur en azote, mais les concentrations restent nettement supérieures à celles reportées dans le même secteur à la fin du printemps par Brylinski *et al.* (1996). La forte diminution de l'azote minéral dissous est vraisemblablement causée par le développement printanier du phytoplancton. En automne, les teneurs diminuent encore, mettant en évidence la continuité de l'activité phytoplanctonique à la mi-septembre.

2.2.4.2. Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en azote sur la période 1988-2002 sont respectivement présentées sur les figures 16 et 17.

Les valeurs d'azote observées aux printemps 2001 et 2002 sont les plus fortes des 15 dernières années. Les valeurs de juillet 2002 pour les stations « canal » et « rejet » présentent les plus fortes concentrations jamais enregistrées en été, tandis qu'en automne les concentrations sont plus proches de la moyenne générale.

Les « boîtes à moustaches » de la figure 17 présentent les valeurs d'azote de 1988 à 2002, toutes situées au-dessus de la médiane et représentant parfois les maxima observées sur 15 ans. Bien que les valeurs du printemps aient présenté les plus fortes dispersions, la tendance saisonnière met en évidence une diminution des concentrations en été et une régénération en automne. Ce schéma ne s'applique pas à la situation de 2002 (figure 15). Ceci est probablement dû à une activité phytoplanctonique encore intense en automne, ayant comme conséquence des concentrations supérieures en été par rapport à celles de l'automne.

La figure 17 montre que le gradient côte-large est bien marqué en été, mais plus faiblement en automne. Au printemps, la tendance pluriannuelle présente un gradient inversé où les plus fortes concentrations se trouvent au point « référence » à environ 2 km de la côte, dans la masse d'eau du large. La campagne printanière n'est cependant pas toujours réalisée avant le premier bloom phytoplanctonique.



2.2.4.3. Approche statistique

Le tableau 7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour l'azote entre 1988 et 2002.

Tableau 7 :
« *p-value* » des tests statistiques sur les l'azote.

	<i>COMPARAISON</i>	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
NITRATE +NITRITE	CANAL / REJET	0,579	0,0009	0,009
	REFERENCE / REJET	0,121	0,037	0,039
	CANAL / REFERENCE	0,267	0,0003	0,0815

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

L'ensemble des résultats statistiques indiquent qu'il n'y a pas de différence entre les trois stations au printemps.

En été et en automne nous observons des différences mises en évidence entre toutes les stations, à l'exception de la situation observée entre les points « canal » et « référence » de septembre. Ceci suggère que l'ensemble de stations se trouvaient à l'intérieur du fleuve côtier au moment des campagnes.

Les variations des concentrations observées en 2002 sont *a priori* caractéristiques d'un cycle saisonnier classique pour l'azote. Cependant, il a été marqué par de fortes concentrations corrélées à de faibles salinités, elles mêmes induites par les précipitations printanières. Les tests statistiques montrent que les différences sont liées à des différences de salinité. La centrale n'a donc pas d'impact ni sur le cycle annuel, ni sur les teneurs de ces sels nutritifs.

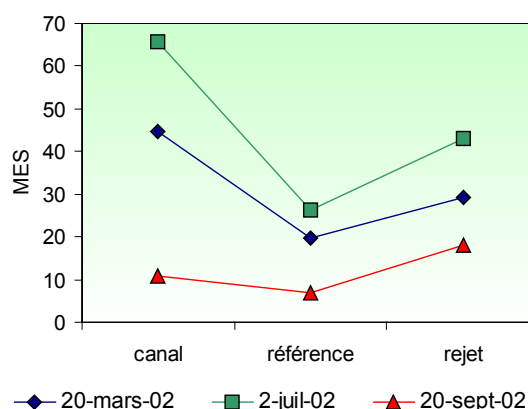


2.2.5. Matières En Suspensions (MES)

2.2.5.1. Variations spatiales et saisonnières des MES

En 2002, les teneurs en MES (figure 18) ont varié au cours des campagnes de 10,7 à 65,6 mg·L⁻¹ au point « canal », de 18,1 à 43,2 mg·L⁻¹ au point « rejet » et de 6,8 à 26,4 mg·L⁻¹ au point « référence ».

Figure 18 :
Concentrations
en MES (mg·L⁻¹)
dans les eaux de
surface pour les
campagnes 2002.



La période printemps-été présente des concentrations en MES plus fortes que celles observées en automne. Les plus fortes valeurs sont enregistrées en été. Au printemps et en été, le gradient décroissant côte-large se transforme en septembre en un gradient décroissant à partir du point « rejet ».

Le fleuve côtier (Brylinski *et al*, 1991), plus marqué en 2002 au printemps et en été à cause des pluies, peut expliquer les plus fortes concentrations en MES près des côtes. En automne, où les pluies sont minimales et les débits des fleuves se trouvent à l'étiage, les plus fortes concentrations en MES se trouvent au point « rejet ».

Une plus forte vitesse de l'eau près des tuyères de rejet remettant en suspension les particules sédimentées pourrait expliquer cette situation.

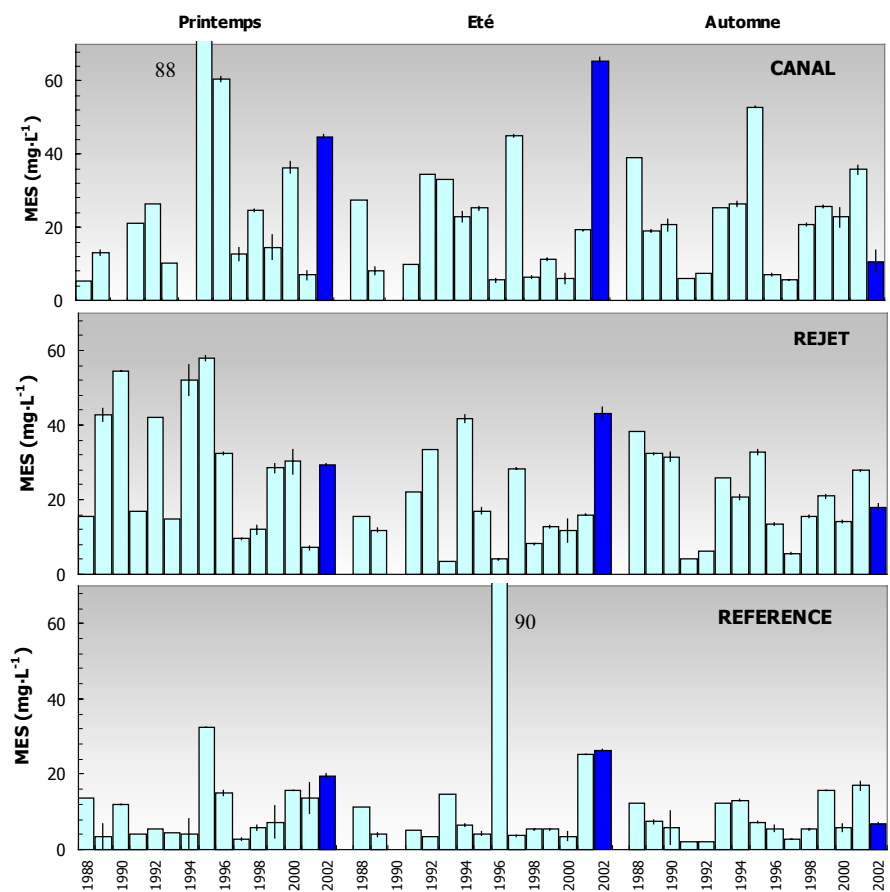


Figure 19 : Concentrations en MES dans l'eau de surface pour les campagnes de 1988 à 2002.

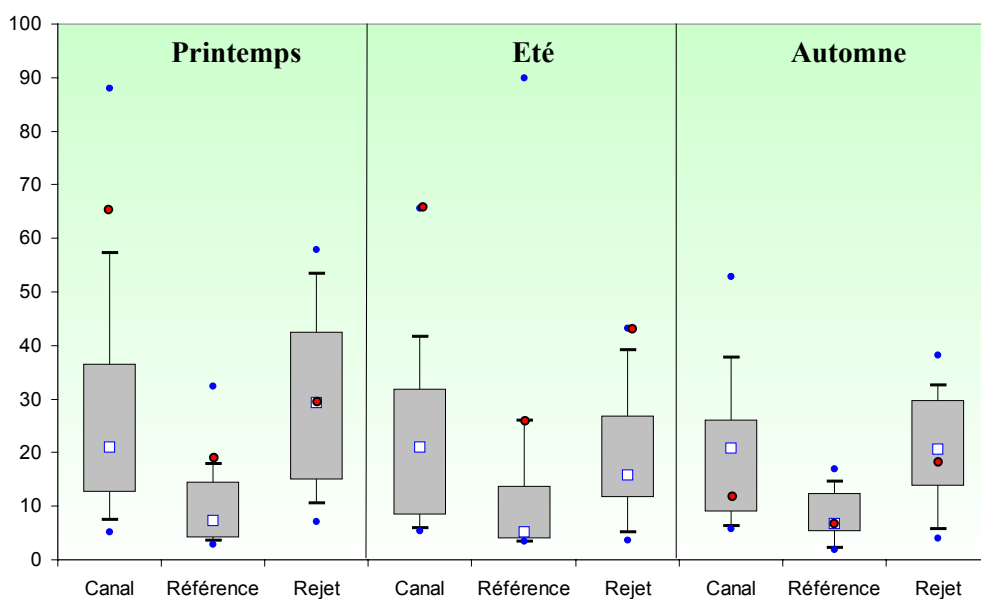


Figure 20 : Comparaison des distributions des concentrations en MES par saison et par station depuis 1988.

2.2.5.2. Variations inter-annuelles

Les variations en MES sur la période 1988-2002 sont présentées sur la figure 19.

Les concentrations en MES observées au printemps et en été sont supérieures à celles observées en 2001, tandis qu'en automne, toutes les valeurs mesurées en MES ont été inférieures à celles enregistrées en 2001. Comme pour l'ammonium, les mesures de MES obtenues depuis 1988 présentent une très forte variabilité.

La figure 20 montre que les plus fortes dispersions de valeurs se déroulent pendant les campagnes de printemps et d'été, au moment où les pluies provoquent les plus forts débits des fleuves. Les boîtes contenant le 50% de valeurs, sont plus réduites pour le point « référence » sur toute l'année, ce qui suggère une plus faible variabilité des MES dans la masse d'eau du large.

Les valeurs des médianes observées au printemps sont légèrement supérieures à celles de l'été et de l'automne. Les gradients de MES observés en 2002 suivent la tendance pluriannuelle des quinze dernières années, avec un gradient décroissant côte-large en été et en automne et un gradient « rejet-canal-référence » au printemps.

2.2.5.3. Approche statistique

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

Tableau 8 :
« *p-value* » des tests statistiques sur les MES.

<i>COMPARAISON</i>	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,694	0,326	0,599
REFERENCE / REJET	0,0004	0,061	0,0003
CANAL / REFERENCE	0,005	0,016	0,0003

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

Les résultats des concentration en MES indiquent des différences entre les points « référence », « canal » et « rejet » tout au long de l'année, à l'exception d'un *p-value* proche du seuil (0.061) obtenue entre les point « référence » et « rejet » en été.

Le point « référence » présente une concentration en MES inférieure aux deux autres stations. Situé le plus loin de la côte, il est donc vraisemblablement moins soumis aux apports du fleuve côtier.

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

2.3. Conclusion

Les résultats du programme de surveillance 2002 du site de Paluel indiquent que les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau ont été très influencées par les pluies de printemps et d'été.

Ce phénomène a engendré une augmentation des débits des fleuves côtiers qui ont provoqué des faibles valeurs salinités en mars et juillet parallèlement à l'augmentation des concentrations en sels minéraux dissous et en MES. 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.

Les paramètres hydrologiques mesurés lors des campagnes 2002 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 l'ensoleillement, suivi durant l'automne de processus de régénération. Ce dernier phénomène n'a pas été observé sur l'ensemble des sels minéraux, ce qui met en évidence une activité phytoplanctonique encore active à la mi-septembre.

Un récapitulatif des paramètres présentant des différences identifiées à partir de l'étude statistique réalisée sur les données acquises depuis 1988 est présenté dans le tableau 9.

Tableau 9 :
Récapitulatif des
paramètres présentant
des différences
significatives.

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

Cette étude a révélé que la température présente toujours des valeurs 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 du rejet (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 la tâche thermique reste localisée près de la centrale.

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

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

2.4. Bibliographie

- ARZUL, G., ERARD-LE DENN, E., QUINIOU, F., HALGAND, D., TETARD, A. 1990**
 « Surveillance écologique et halieutique, site de Penly » : rapport définitif
 /.Nantes:IFREMER, 1990.-96 p. : fig., tabl. ; 30 cm.-
- AGOUMI, A., ENDERLE, M.J. & GRAS, R.A. 1983**
 « Modélisation du régime thermique de la Manche ». *Oceanologica Acta*, **6**, (4) 393-406
- BENTLEY, D. & MAILLARD-QUISTHOUDT, C. 1990**
 « Hydrographic and nutrient surveys in the western English Channel during 1963 and 1964 ». *Journal pour la Recherche Océanographique*, **15**, (3/4) 135-141
- BRYLINSKI, J.M., LAGADEUC, Y., GENTILHOMME, V., DUPONT, J.-P., LAFITTE, R., DUPEUBLE, P.-A., HUAULT, M.-F., AUGER, Y., PUSKARIC, E., WARTEL, M. & CABIOCH, L. 1991**
 « Le fleuve côtier, un phénomène hydrologique important en Manche Orientale. Exemple du Pas-de-Calais ». *Oceanologica Acta*, **11**, 197-203
- BRYLINSKI, J.M., BRUNET, C., BENTLEY, D., THOUMELIN, G. & HILDE, D. 1996**
 « Hydrography and phytoplakton biomass in the Eastern English Channel in spring 1992 ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **43**, 507-519
- DEWARUMEZ, J.M., ARNAL, O., DEWARUMEZ, N., LE FEVRE-LEHOERFF, G., RYCKAERT, M., TOULARASTEL, F., SOUPLLET, A. 1973.**
 « Etude écologique de projet, (première année), site de Paluel ». Rapport Final : Juillet 1973 – juillet 1974-1976. Rapport Contrat, CNEXO/EDF [3 Vols]:395 +191 +50p., Glossaire [23p].-
- DUPONT, J-P., LAFITE, R., HUAULT, M-F., DUPEUBLE, P-A., BRYLINSKI, J-M., GUEGUENIAT, P., LAMBOY, M., CABIOCH, L. 1991**
 « La dynamique des masses d'eau et des matières en suspension en Manche orientale »
Oceanologica Acta, Vol. sp. N°11, 177-186.
- GROSSEL, H., DEWARUMEZ, N., LE FEVRE-LEHOERFF, G., ARNAL, O., DEWARUMEZ, J.M. 1981**
 « Etude de surveillance écologique du site de Paluel. (Seine- Maritime) ». 1979 1981.-
 Rapport Contrat, CNEXO/EDF 78/1911 [2 Vols.]:85P., Fig.
- GROSSEL, H., DEWARUMEZ, N., LE FEVRE-LEHOERFF, G., QUINTIN, J-Y., ARNAL, O., DEWARUMEZ, J.M., MENU, D. 1983.**
 « Etude de surveillance écologique [sur le] site de Paluel ». Années 1980- 1981 1983. Rapport Contrat, Stat.Mar.Wimereux/Lab.Microbiol.Rouen/CNEXO-COB/EDF 78/1911/BF:[185p.]
- JANIN, J.M., MARCOS, D. 1994**
 « Centrale de Paluel, calcul 3D d'impact thermique ». Note technique EDF, Département Laboratoire National d'Hydraulique. 48 pp.



MALHERBE, J.F. & MANOHA, B. 1977

« Centrale de Flamanville-Avis C ; Influence courantologique et thermique ». *Electricité De France, Direction des études et recherches*, HE041/77.013

RAGUENEAU, O., DE BLAS VARELA, E., TREGUER, P., QUEGUINER, B., DEL AMO, Y. 1994.

« Phytoplankton dynamics in relation to the biogeochemical cycle of silicon in a coastal ecosystem of western Europe ». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **72**, 106-157.

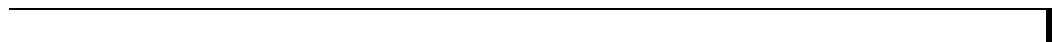
SIMPSON, J.H. & HUNTER, J.R. 1974

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

TAYLOR, A.H. & STEPHENS, J.A. 1983

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





3 – La Microbiologie

Laurence DOROBISZ
Laboratoire Municipal de Rouen



3.1. Introduction

La surveillance microbiologique du site de **PALUEL** a été effectuée en **2002** à partir des prélèvements réalisés lors des 3 sorties du 20 mars, 2 juillet et 20 septembre 2002. (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 revivifiable sur milieu de 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 vibrios 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.



	Prélèvements PRINTEMPS	Prélèvements ETE	Prélèvements AUTOMNE
AMENEE (moyenne de 2 prélèvements)	1,24 . 10 ⁵	1,22 . 10 ⁵	1,12 . 10 ⁵
REJET (moyenne de 2 prélèvements)	1,50 . 10 ⁵	1,31 . 10 ⁵	1,22 . 10 ⁵
REFERENCE (moyenne de 4 prélèvements)	1,09 . 10 ⁵	1,26 . 10 ⁵	1,15 . 10 ⁵

Tableau 3.1 : Site de Paluel – Campagne 2002
Germes totaux en épifluorescence/ml



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 d'analyses.

Les analyses sont réalisées par ICP – AES à la longueur d'onde de 249,773 nm.

Les résultats sont exprimés en mg/l de Bore (B).

3.3. Résultats et commentaires

3.3.1. Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

Le nombre de germes totaux par ml (tableau 3.1) comptés en épifluorescence varie de $1,09.10^5$ (référence au printemps 2002) à $1,50.10^5$ (rejet au printemps 2002).

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 significatives entre le canal d'amenée et le rejet des eaux de refroidissement.

Au cours de l'année 2002, 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 2002 est du même ordre de grandeur que celui de l'année 2001.





3.3.2. Dénombrement des germes aérobies viables sur Milieu Zobell

Les comptages varient de **603 germes / ml** (référence en été) à **3140 germes / ml** (amenée en automne).

	Prélèvement PRINTEMPS	Prélèvements ETE	Prélèvements AUTOMNE
AMENEE (moyenne de 2 prélèvements)	1763	1900	3140
REJET (moyenne de 2 prélèvements)	1683	775	1350
REFERENCE (moyenne de 4 prélèvements)	1331	603	1176

Tableau 3.2 : Site de PALUEL – Campagne 2002
Germes aérobies sur milieu Zobell / ml

➤ Le nombre de germes revivifiables contenus dans les eaux du canal d'amenée de la centrale de PALUEL est cette année plus important que celui des points référence et rejet.

➤ Par rapport à l'année 2001 , le nombre de germes dénombrés est beaucoup plus élevé quelle que soit la saison.



3.3.3. Recherche de vibrio-halophiles

- ➔ Présence de **Vibrio Halophile du genre *Vibrio alginolyticus* et *Vibrio vulnificus*** en automne, *Vibrio alginolyticus* au printemps.
- ➔ 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 prélèvement.
- ➔ Par rapport à l'année 2001, il faut noter l'absence cette année en été de Vibrio halophiles.

	PRINTEMPS		DEBUT D'ETE		FIN D'ETE	
	Recherche sur 1 l	Nb /100ml	Recherche sur 1 l	Nb /100ml	Recherche sur 1 l	Nb /100ml
AMENEE	Présence <i>V.alginolyticus</i>	< 3	Absence	< 3	Présence <i>V.vulnificus</i>	93
	Absence	< 3	Absence	< 3	Présence <i>V.alginolyticus</i>	3,6
REJET	Absence	< 3	Absence	< 3	Présence <i>V.vulnificus</i>	3,6
	Absence	< 3	Absence	< 3	Présence <i>V.vulnificus</i>	43
REF	Absence	< 3	Absence	< 3	Présence <i>V.alginolyticus</i>	43
	Absence	< 3	Absence	< 3	Présence <i>V.alginolyticus</i>	43
	Absence	< 3	Absence	< 3	Présence <i>V.alginolyticus</i>	93
	Absence	< 3	Absence	< 3	Présence <i>V.alginolyticus</i>	43



Tableau 3.3 : Site de PALUEL – Campagne 2002 Vibrio-halophiles

3.3.4. Dosage des organo-halogénés volatils (tableau 3.4 ci-dessous)

- ➔ En 2002 le seul organo-halogéné volatil retrouvé aux abords de la centrale de Paluel est le **tribromométhane** qui est retrouvé en automne aux points aménée et rejet, en été au point de prélèvement référence.

Les valeurs de tribromométhane des eaux de rejet de la centrale de PALUEL sont sensiblement les mêmes que celles obtenues en 2001.

		CH Br 3	CH Br 2 Cl	CH Br Cl 2	CH Cl 3
AMENEE	printemps	< 1	< 1	< 1	< 1
	été	< 1	< 1	< 1	< 1
	automne	1,5	< 1	< 1	< 1
REJET	printemps	< 1	< 1	< 1	< 1
	été	< 1	< 1	< 1	< 1
	automne	2,0	< 1	< 1	< 1
REFERENCE	printemps	< 1	< 1	< 1	< 1
	été	1,1	< 1	< 1	< 1
	automne	< 1	< 1	< 1	< 1

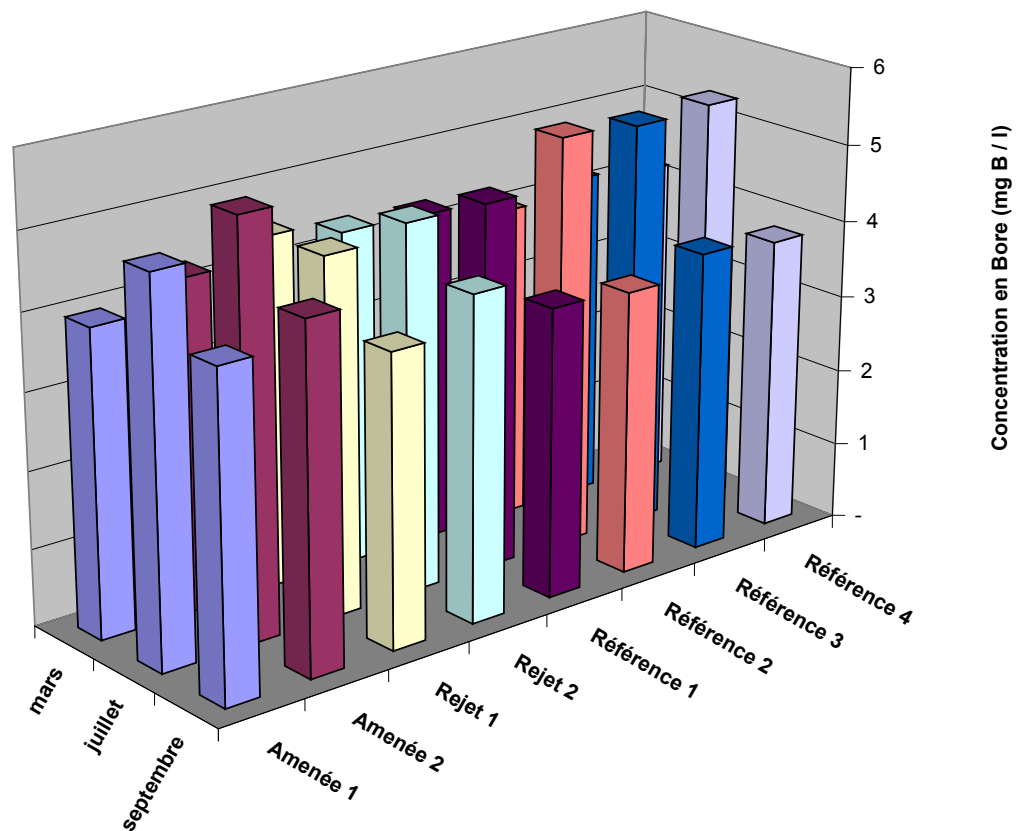
**Tableau 3.4 : Site de PALUEL – Campagne 2002
Dosages des organo-halogénés volatils en µg/l**



**Tableau des valeurs obtenues pour le dosage du Bore
au cours de la campagne 2002.**

Références	mars	juillet	septembre	Moyenne sur l'année
Amenée 1	3,96	4,95	4,17	4,36
Amenée 2	4,28	5,37	4,45	4,70
Rejet 1	4,54	4,62	3,77	4,31
Rejet 2	4,35	4,77	4,20	4,44
Référence 1	4,31	4,76	3,75	4,27
Référence 2	4,10	5,36	3,68	4,38
Référence 3	4,28	5,28	3,91	4,49
Référence 4	4,17	5,33	3,81	4,44

**Site de PALUEL, campagne d'analyses 2002
Evolution annuelle de la teneur en Bore**



3.3.5. Dosage du Bore (graphe ci-contre).

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

	CANAL	REJET	REFERENCE
Mesure n°1	4,11	4,30	4,25
n°2	4,17	4,34	4,25
n°3	4,06	4,27	4,25
n°4	4,17	4,30	4,29
Moyenne	4,13	4,30	4,26

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 en septembre 2000. 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 2002 donne les résultats suivants :

➤ Le nombre de germes totaux retrouvés dans l'eau de mer est le même au large et aux points d'amenée et de rejet des eaux de refroidissement de la centrale. Ce résultat est identique à celui de la campagne 2001.

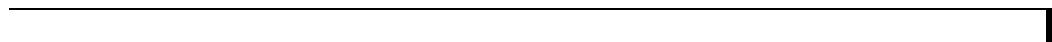
➤ Le nombre de germes revivifiables contenus dans les eaux du canal d'amenée de la centrale de PALUEL est cette année plus important que celui des points de référence et de rejet. Ceci est particulièrement vrai en été et en automne. Par rapport à l'année 2001, on note une nette augmentation du nombre de germes quelle que soit la saison.

➤ Il y a présence cette année en été et en automne de vibrios halophiles du genre *Vibrio alginolyticus* et *Vibrio vulnificus* aux trois points de contrôle de l'environnement marin de la centrale de PALUEL.

En 2001, des vibrios halophiles avaient été retrouvés en été également.

➤ Le dosage des organo-halogénés volatils montre la présence de tribromométhane aux trois points de surveillance des environs marins de la centrale de PALUEL en été (point de référence) et en automne (points d'amenée et de rejet). Les valeurs de tribromométhane des eaux de rejet de la centrale sont sensiblement les mêmes que celles obtenues en 2001.





4 - Le Phytoplancton

Rapport Luis Lampert (DEL/PB).

Prélèvements et Analyses Vincent Justome (DEL/PB),
Laure Lamort (DEL/PB),
Frank Maheux (DEL/PB),
Olivier Pierre-Duplessix (DEL/PB),
Myriam Rumède (DEL/SM),
Floriane Girard (DEL/PB),

Participation Hervé du Boullay (DEL/PB),
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 de la biomasse ainsi que l'identification et le dénombrement des cellules, permet de suivre l'évolution des populations et d'évaluer l'influence des facteurs abiotiques.

L'activité photosynthétique d'une population phytoplanctonique dépend de la quantité et de la qualité des pigments contenus dans leurs chloroplastes ainsi que de la quantité d'énergie lumineuse reçue. La biomasse du phytoplancton est souvent exprimée par la concentration de la chlorophylle *a*, présente dans tous les organismes autotrophes.

Une population jeune en voie de développement produira une quantité importante de chlorophylle *a* et à l'inverse, une population vieillissante verra son taux de pigments dégradés (phéopigments) augmenter.

C'est au moyen des descripteurs précités que seront traités les résultats quantitatifs et qualitatifs des populations phytoplanctoniques présentes lors de trois campagnes de surveillance réalisées en 2002.

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

4.2.1. Mesure de la chlorophylle

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

Les filtres sont ensuite congelés à l'obscurité jusqu'au dosage. L'extraction se fait par addition de 10 ml d'acétone à 90% (90/10, acétone/eau) pendant 18 heures à l'obscurité. Après centrifugation à 3000 tours pendant 15mn, le surnageant est placé dans une cuve de trajet optique de 10 cm. L'absorption est alors mesurée à différentes longueurs d'onde dans un premier temps sans acidification, puis après acidification (Aminot et Chaussepied, 1983).

4.2.2. Mesure de la production primaire

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

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

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

4.2.3. Etude systématique du phytoplancton

100 ml d'échantillon sont fixés par du Lugol acide à bord du bateau immédiatement après le prélèvement. Au laboratoire, 10 ml d'échantillon sont mis à décanter dans des cuves pendant 4 heures selon la technique d'Utermöhl (Utermöhl, 1958). La détermination et le comptage des espèces s'effectue avec un microscope inversé Olympus à contraste de phase. Pour obtenir une précision d'au moins $\pm 20\%$ (Lund, 1958), il faut dénombrer au moins 100 cellules.

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

4.3 Résultats

Les résultats obtenus en 2002 sont donnés par le tableau 1 ci-dessous.

<i>(Valeurs moyennes ± écart type)</i>		CANAL D'AMENÉE (n=4)	REJET (n=4)	REFERENCE	
				SURFACE (n=2)	-10 M (n=2)
20 MARS	<i>Chlorophylle a (µg·L⁻¹)</i>	1,39 ± 0,20	0,96 ± 0,15	0,75 ± 0,15	0,75 ± 0,15
	<i>Prod. Primaire (mg C·m⁻³·h⁻¹)</i>	2,70 ± 0,29	2,18 ± 0,65	2,25 ± 0,63	2,84 ± 0,03
	<i>microphytoplancton (cel·L⁻¹)</i>	9600	14100	18100	17300
02 JUILLET	<i>Chlorophylle a (µg·L⁻¹)</i>	1,42 ± 0,36	1,34 ± 0,14	0,80 ± 0,07	0,75 ± 0,15
	<i>Prod. Primaire (mg C·m⁻³·h⁻¹)</i>	7,80 ± 2,29	6,64 ± 1,82	2,01 ± 0,69	2,80 ± 0,60
	<i>microphytoplancton (cel·L⁻¹)</i>	50800	126000	15400	21000
20 SEPTEMBRE	<i>Chlorophylle a (µg·L⁻¹)</i>	1,36 ± 0,14	0,99 ± 0,16	0,86 ± 0,15	0,91 ± 0,08
	<i>Prod. Primaire (mg C·m⁻³·h⁻¹)</i>	7,94 ± 0,84	4,65 ± 0,95	4,68 ± 0,90	4,60 ± 0,75
	<i>microphytoplancton (cel·L⁻¹)</i>	158600	94000	34400	30800

Tableau 1 :
Moyenne et écart
type des paramètres
phytoplanctoniques
au droit du CNPE de
Paluel en 2002

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

4.3.1 Biomasse chlorophyllienne

4.3.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle

Au cours de l'année 2002, les valeurs de chlorophylle *a* s'échelonnent entre $0,75 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ au point « référence » en mars et $1,42 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ au point « canal » en juillet (Figure 1). Ces valeurs mettent en évidence la très faible biomasse phytoplanctonique de la zone d'étude lors des trois campagnes 2002 par rapport aux valeurs observées au même moment à la centrale de Penly, située 50 km plus à l'est.

Une faible variabilité saisonnière est observée sur les trois stations. Le plus grand écart est observée en juillet sur la station « rejet » : $1,34 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ par rapport aux valeurs de $0,96$ et $0,99 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ mesurées en mars et septembre respectivement. C'est au point « référence » que les plus faibles valeurs de chlorophylle et d'azote nitrique sont mesurées. Sur l'ensemble des campagnes, un gradient décroissant côte-large est observée.

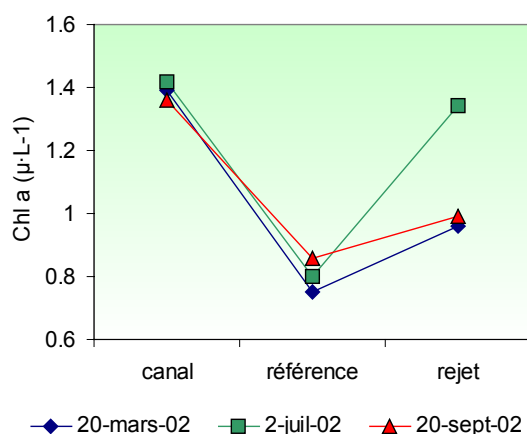


Figure 1 :
Evolution de la chlorophylle
sur les trois campagnes de
surveillance 2002.

4.3.1.2. Variations inter-annuelles

Les valeurs de concentration en chlorophylle au printemps et en automne présentent peu de variations par rapport à celles observées pendant l'été 2001 (fig. 2).

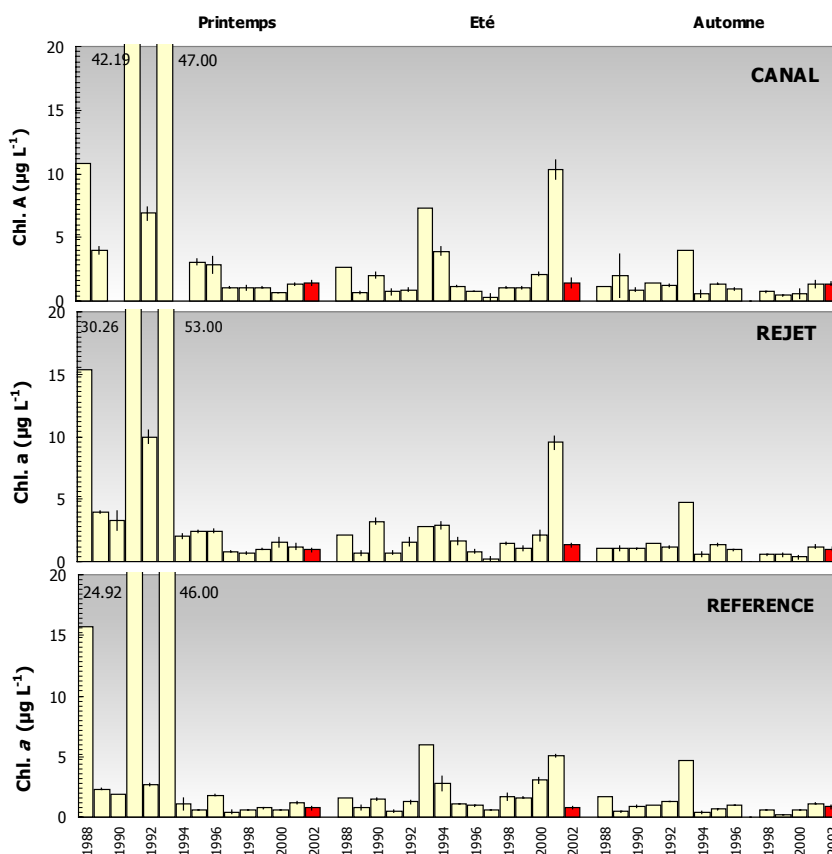


Figure 2 :
Evolution de la
chlorophylle de
1988 à 2002.

Les fortes valeurs printanières observées en 1988, 1991 et 1993 correspondent aux campagnes qui ont été menées au début du mois de mai et non en mars-avril. Compte tenu de ceci, nous constatons que les plus fortes variabilités se trouvent en été.

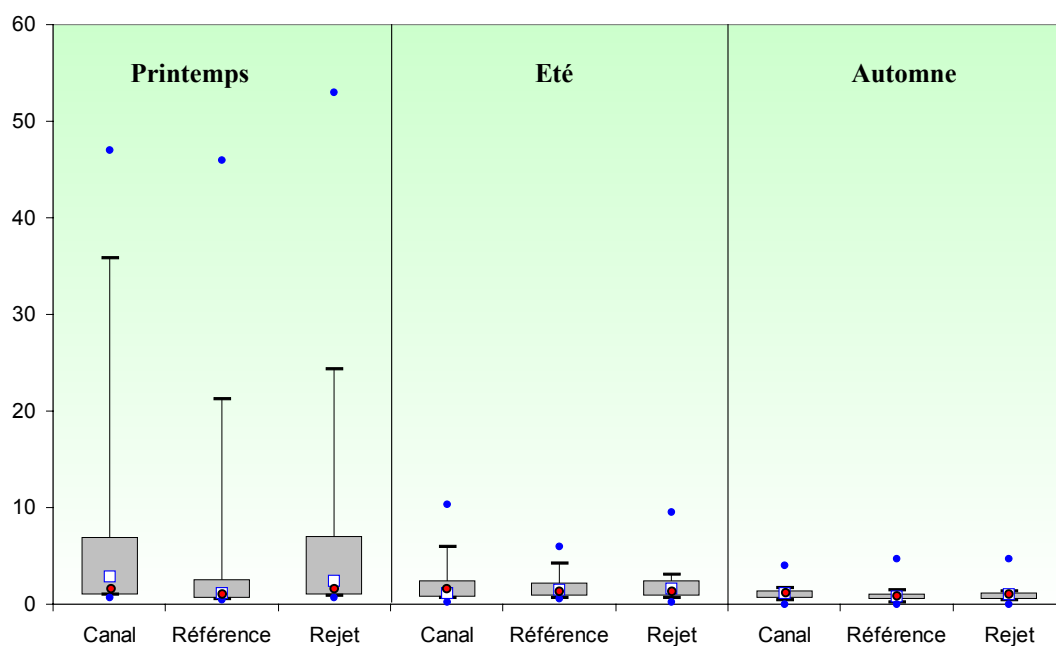


Figure 3 :
Evolution de la
chlorophylle de
1988 à 2002.

La figure 3 montre qu'au printemps, il existe une plus forte dispersion des valeurs par rapport aux deux autres saisons. Ceci est dû essentiellement à l'effet des campagnes tardives qui ont pu être menées avant 1994. Les boîtes, (50% des valeurs), restent homogènes entre elles avec peu de variabilité sur les trois stations en été et en automne. L'été présente une plus forte dispersion qu'en automne, où nous trouvons une très grande stabilité de valeurs.

La tendance saisonnière marquée par la distribution des médianes montre qu'un gradient décroissant côte-large s'installe au printemps et en automne. Les valeurs de chlorophylle mesurées en 2002 sont comparables aux médianes en été et en automne. Au printemps toutes les valeurs se trouvent en-dessous de la médiane, mais à l'intérieur des boîtes contenant le 50% des valeurs.

4.3.1.3. Approche statistique

Les test statistiques présentés dans le tableau 2 confirment les tendances pluriannuelles déjà mises en évidence par la figure 3. Il faut noter essentiellement la différence significative observée au printemps entre le point « référence » et les points « canal » et « rejet ».

Tableau 2 :
« *p-value* » des test
statistiques sur la
chlorophylle

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,267	0,789	0,789
REFERENCE / REJET	0,004	0,999	0,254
CANAL / REFERENCE	0,009	0,999	0,258

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

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

4.3.2 Production primaire

4.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la production primaire

Les valeurs mesurées en 2002 sont comprises entre 1,99 mg C·m⁻³·h⁻¹ en mars au point « canal » et 7,94 mg C·m⁻³·h⁻¹ en septembre, au même point (Figure 4).

Comme la chlorophylle, toutes les valeurs de production primaire présentent un gradient décroissant côte-large. En automne, des valeurs similaires sont mesurées aux points « référence » et « rejet ». Les écarts les plus marqués sont observés en été, où cet écart atteint 5.8 mg C·m⁻³·h⁻¹.

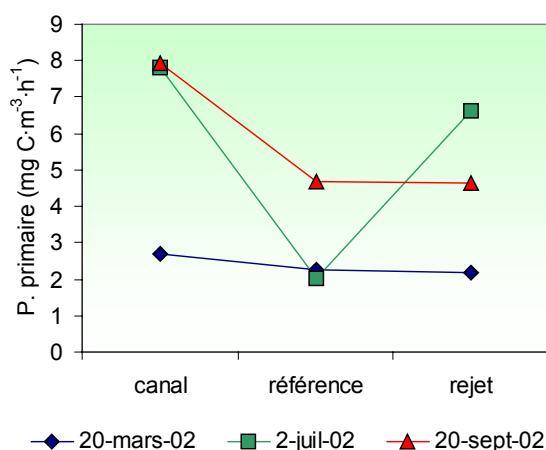


Figure 4 :
Evolution de la
production primaire lors
des trois campagnes de
surveillance 2002.



A l'exception de la forte valeur mesurée au point « rejet » en été, les valeurs de la production primaire ont tendance à augmenter du printemps à l'automne. Au point « référence », la différence entre les valeurs entre la surface et de 10 mètres de profondeur sont très faibles (cf. tableau 1).

4.3.2.2. Variations inter-annuelles

Au printemps et en été, toutes les valeurs observées en 2002 sont inférieures à celles enregistrées en 2001 (figure 5). Les écarts les plus marqués sont observés en été. Les valeurs de 2002 sont inférieures d'un tiers ou de la moitié à celles observées en 2001. En automne, toutes les valeurs obtenues en 2002 sont supérieures à celles observées en 2001. Le plus fort écart a été enregistré au point « canal »: La valeur mesurée en 2002 correspond au double de celle mesurée en 2001.

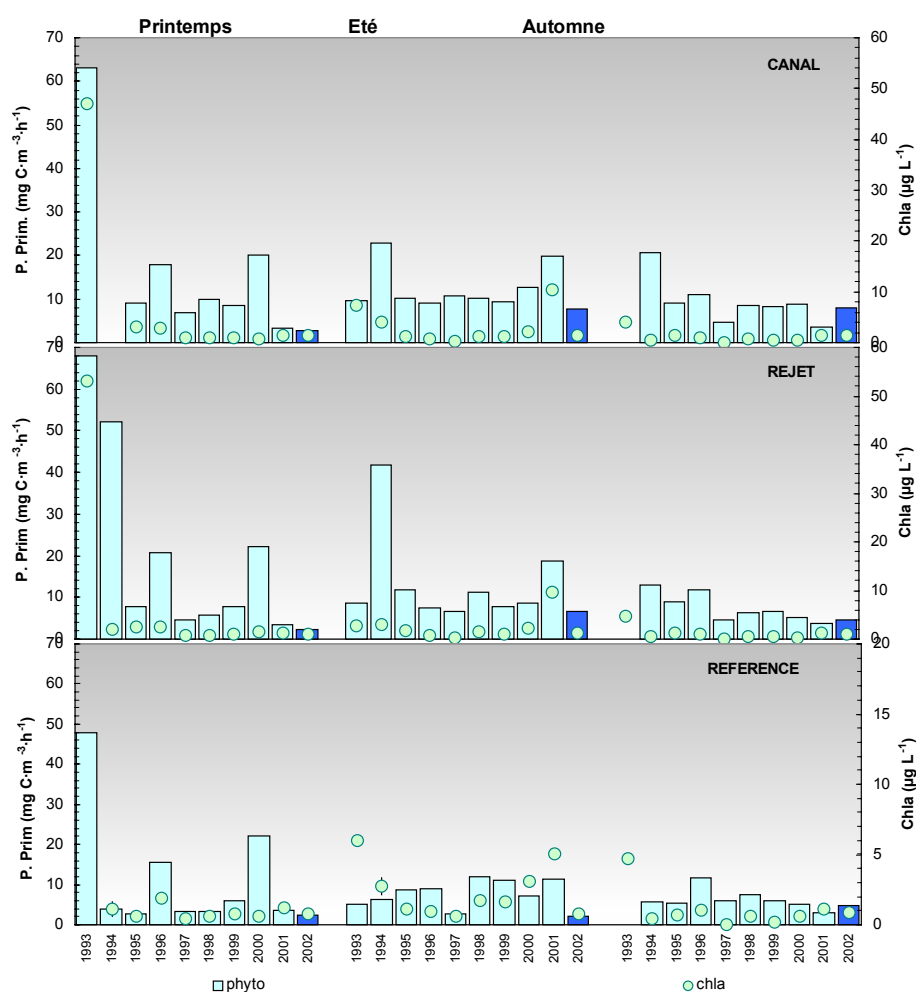


Figure 5 :
Evolution de la
Production
primaire de 1993
à 2002.

Tout comme la biomasse chlorophyllienne, la dispersion des valeurs observées sur les trois stations en mars est supérieure à celle observée en juillet et septembre (Figure 6). Les valeurs des médianes de juillet sont supérieures à celles enregistrées au printemps et en automne. Les valeurs de production primaire obtenues au printemps et en été représentent les minima absolus de la série enregistrée depuis 1993. En automne, toutes les valeurs se trouvent en-dessous de la médiane. Le gradient décroissant côte-large observé pour la chlorophylle est aussi clairement marqué pour la production primaire.

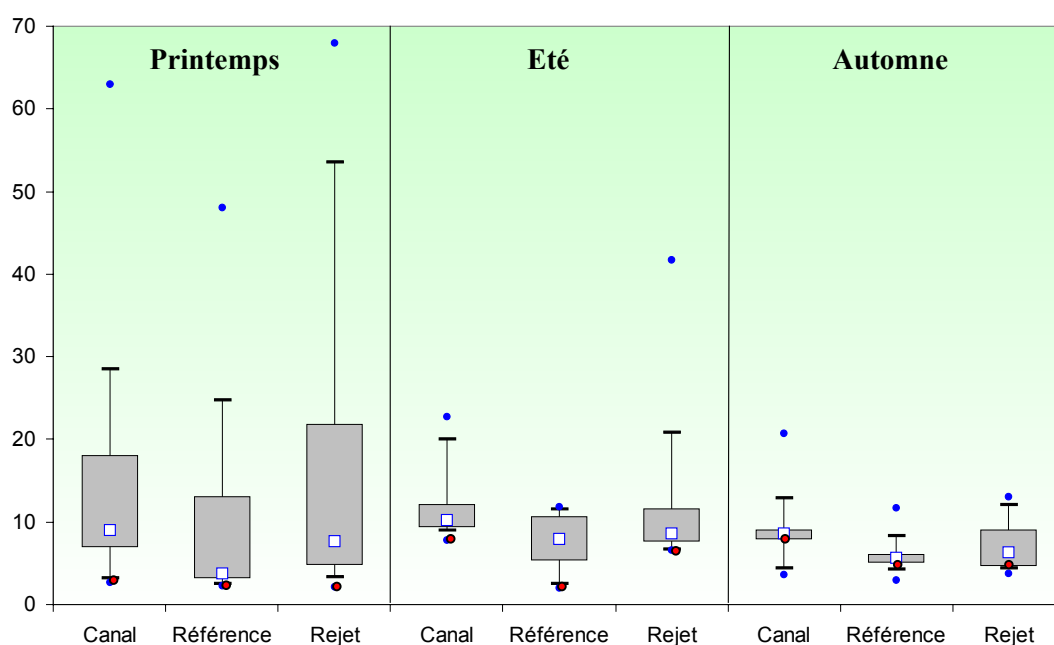


Figure 6 :
Evolution de la
Production
primaire de 1993
à 2002.

La faible productivité des eaux de Paluel au printemps et en été peut sembler un paradoxe dans le contexte de la Manche. Les faibles salinités printanières et estivales ont eu comme conséquence une forte concentration en nitrate qui ne s'est pas traduit par de fortes biomasses et productions phytoplanctoniques au moment des campagnes. Il est probable que les populations algales n'ont pas pu profiter des nutriments dissous dans le milieu à cause des fortes turbidités induites par les matières en suspension (cf. chapitre 2). Les valeurs de production primaire mesurées à la sortie du point « rejet » sont comprises entre celles observées aux points « canal » et « référence ». Aucune influence du fonctionnement de la centrale n'est observée sur ce paramètre.

4.3.2.3. Approche statistique

A l'exception de la situation estivale pour le couple « canal - référence », tous les tests ont présenté des différences non significatives (Tableau 3).

Tableau 3 :
« *p-value* » des
test statistiques
sur la production
primaire

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,872	0,343	0,058
REFERENCE / REJET	0,182	0,343	0,505
CANAL / REFERENCE	0,056	0,026	0,182

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

4.3.3 Microphytoplancton

4.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières du microphytoplancton

Les dénombrements microphytoplanctoniques effectués en 2002 sont présentés sur la figure 7 ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre de cellules par litre. Les plus fortes abondances sont observées au point « canal » en septembre avec $158.600 \text{ cel.}\cdot\text{L}^{-1}$ et les plus faibles sur le même point en mars, avec $9.600 \text{ cel.}\cdot\text{L}^{-1}$.

Au printemps, la variation entre les trois points reste faible. Les plus faibles valeurs de l'année sont observées en mars. En automne, un gradient décroissant côte-large apparaît. Il est similaire à celui mis en évidence pour la chlorophylle et pour la production primaire.

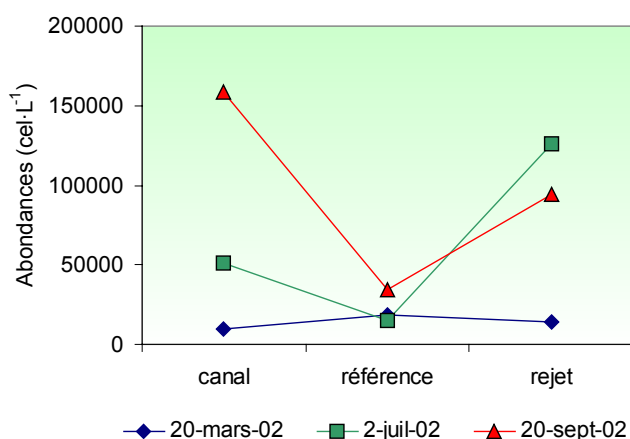


Figure 7 :
Abondances
microphytoplancto-
niques pour l'année
2002.

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

Les variations entre les valeurs de surface et à 10 mètres de profondeur au point « référence » sont inférieures à l'erreur due au comptage et à l'échantillonnage. Nous ne pouvons donc pas conclure à une différence significative et la colonne d'eau est considérée comme homogène.

4.3.3.2. Variations inter-annuelles

Les abondances cellulaires enregistrées depuis 1993 sont présentées sur la figure 8. Les valeurs obtenues en 2002 sont du même ordre de grandeur que celles observées les années précédentes.

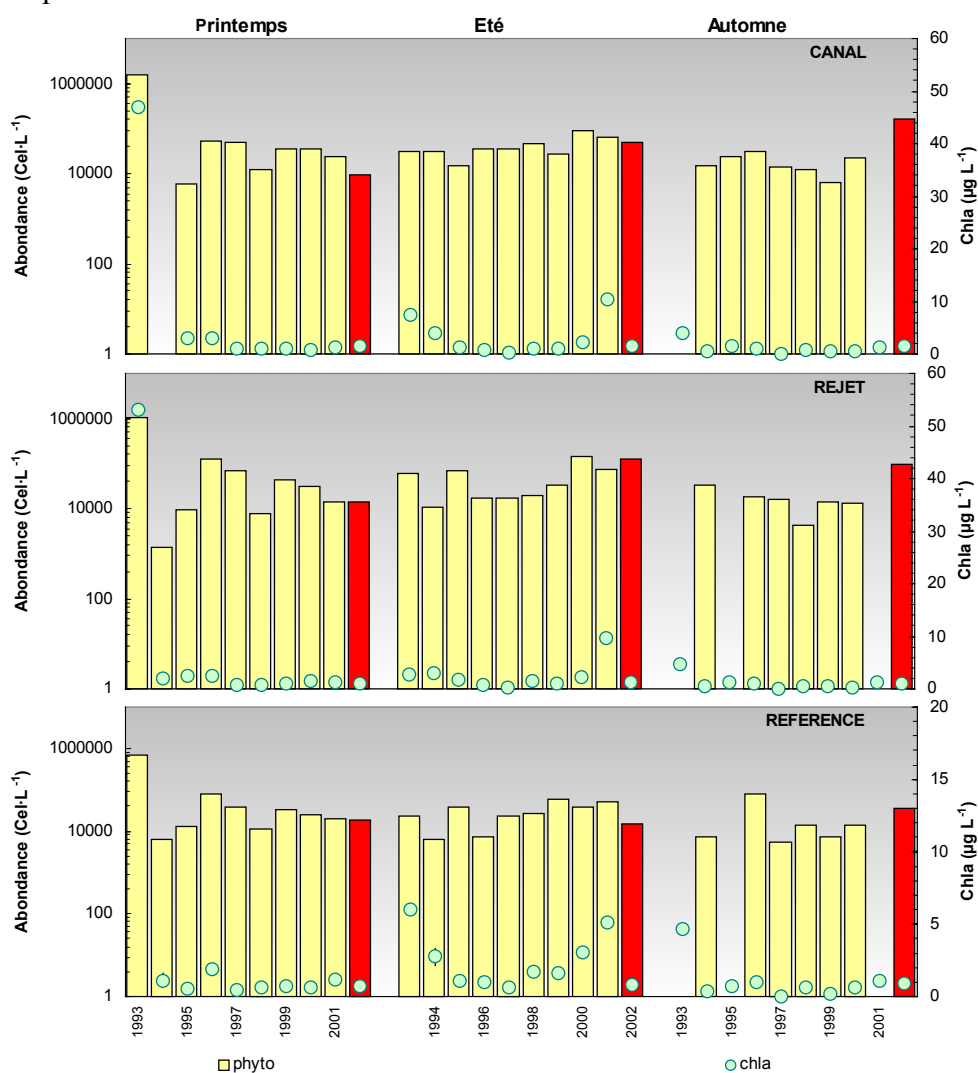


Figure 8 :
Evolution de
l'abondance
phytoplanctonique
de 1993 à 2002.

Suivant le schéma déjà mis en évidence pour la chlorophylle *a* et la production primaire, l'abondance phytoplanctonique présente les plus fortes dispersions au printemps (figure 9). Au printemps, les valeurs se trouvent en-dessous de la médiane générale. En été, les abondances observées en 2002 se situent près des boîtes contenant 50% de valeurs, à l'exception du point « rejet », où la valeur de 2002 approche la valeur maximale. En automne, les valeurs les plus fortes de la série temporelle sont observées aux points « canal » et « rejet ».

La tendance pluriannuelle montre un gradient décroissant côte-large pour les campagnes printanières et automnales. En été, nous observons le même schéma qu'en 2002, avec une plus forte valeur d'abondance au point « rejet », suivi des points « canal » et « référence ».

Ces résultats peuvent être fortement influencés par la variabilité spatiale. En effet, le passage de la masse d'eau à l'intérieur de la centrale étant de quelques heures, les mesures au point « rejet » ne sont pas réalisées sur la même masse d'eau que les points « canal » et « référence ».

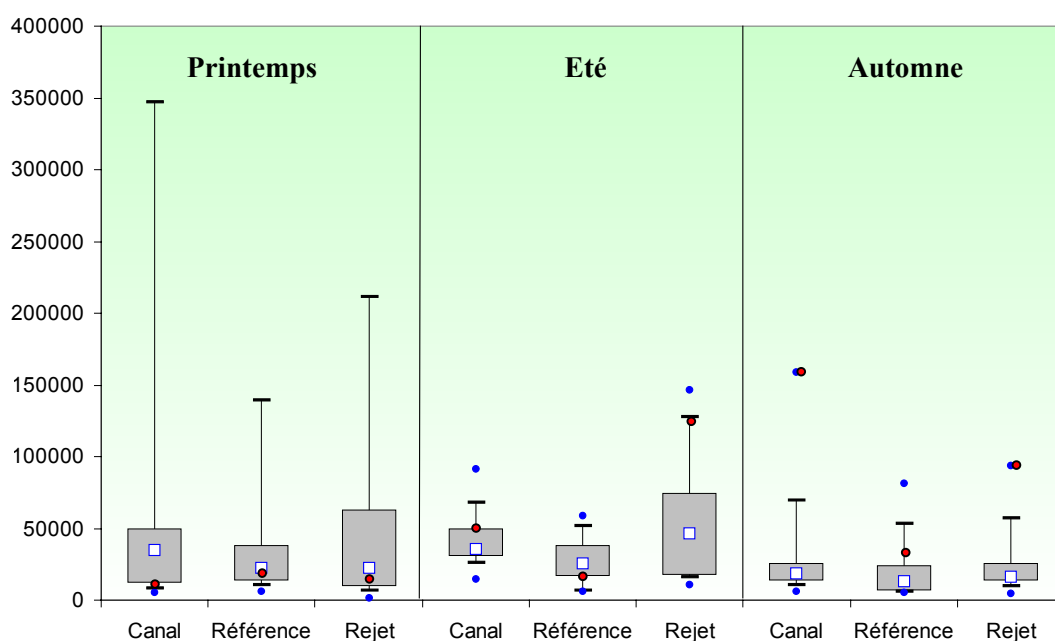


Figure 9 :
Evolution de
l'abondance
phytoplanctonique
de 1993 à 2002.

4.3.3.3. Approche statistique

Les tests statistiques du tableau 4 mettent en évidence la même tendance déjà observée pour la chlorophylle et la production primaire : aucune différence significative n'est observée entre les différents points d'échantillonnage.

Tableau 4 :
« *p-value* » des tests statistiques sur l'abondance phytoplanctonique.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,999	0,240	0,999
REFERENCE / REJET	1,000	0,081	0,775
CANAL / REFERENCE	0,505	0,112	0,999

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

4.3.4 Populations phytoplanctoniques observées en 2002

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

Tableau 5 :
Abondances des principales classes algales pour l'année 2002.

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANCTON				TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés			
IGA 2002-1	canal	9400	100	0	100	9600	2	98
IGA 2002-1	rejet	13800	300	0	0	14100	2	98
IGA 2002-1	ref surf	17900	100	0	100	18100	1	99
IGA 2002-1	ref 1/2 prof.	17300	0	0	0	17300	0	100
IGA 2002-2	canal	49000	1800	0	0	50800	4	96
IGA 2002-2	rejet	119800	3700	2500	0	126000	3	95
IGA 2002-2	ref surf	14900	300	200	0	15400	2	97
IGA 2002-2	ref 1/2 prof.	20700	300	0	0	21000	1	99
IGA 2002-3	canal	156000	2400	200	0	158600	2	98
IGA 2002-3	rejet	90800	2800	400	0	94000	3	97
IGA 2002-3	ref surf	29000	4400	1000	0	34400	13	84
IGA 2002-3	ref 1/2 prof.	27500	2900	400	0	30800	9	89

Il faut noter que certaines espèces ont été regroupées car difficilement identifiables par microscopie optique. D'autres ont été identifiées au niveau du genre ou de la classe algale. La fraction microphytoplanctonique en 2002 a été synthétisée en 4 grandes classes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2002, 51 taxons (taxons plus classes algales) ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 84 % de la communauté microphytoplanctonique, et peuvent atteindre 100% au printemps (tableau 5).

L'essentiel du microphytoplancton est composé par des diatomées sur les zones côtières de l'Atlantique nord-est et de la Manche. Cependant, il faut garder à l'esprit que bien souvent la fraction nanophytoplanctonique (espèces algales dont la taille est comprise entre 2 μm et 20 μm), difficilement accessible par le microscope optique, peut devenir majoritaire tant par son abondance que par sa biomasse (Lampert, 2001).

Les Cryptophycées, représentantes du nanophytoplancton, ont été dénombrées en juillet et en septembre avec des abondances comprises entre 60.000 $\text{cel}\cdot\text{L}^{-1}$ et 227.000 $\text{cel}\cdot\text{L}^{-1}$. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nanophytoplanctonique.

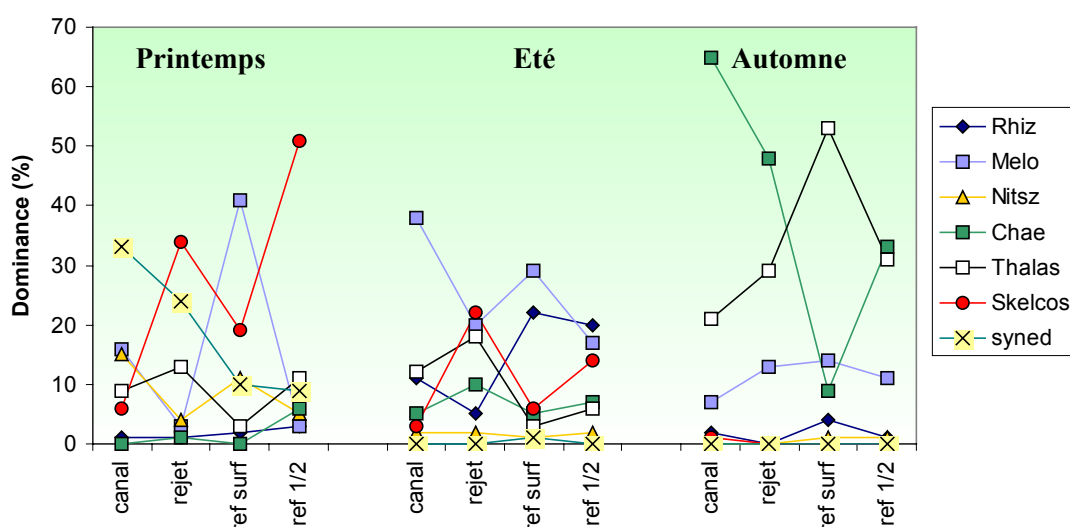
Tableau 6 :
Abondances des
principaux genres
de diatomées pour
l'année 2002.

Campagne	Station	DIATOMÉES							Cumul %
		Rhizosolenia	Melosira	Nitzschia	Chaetoceros	Thalassiosira	Skeletonema	Synedra	
IGA 2002-1	canal	1	16	15	0	9	6	33	80
IGA 2002-1	rejet	1	3	4	1	13	34	24	80
IGA 2002-1	ref surf	2	41	11	0	3	19	10	86
IGA 2002-1	ref 1/2 prof	3	3	5	6	11	51	9	88
IGA 2002-2	canal	11	38	2	5	12	3	0	71
IGA 2002-2	rejet	5	20	2	10	18	22	0	77
IGA 2002-2	ref surf	22	29	1	5	3	6	1	67
IGA 2002-2	ref 1/2 prof	20	17	2	7	6	14	0	66
IGA 2002-3	canal	2	7	0	65	21	1	0	96
IGA 2002-3	rejet	0	13	0	48	29	0	0	90
IGA 2002-3	ref surf	4	14	1	9	53	0	0	81
IGA 2002-3	ref 1/2 prof	1	11	1	33	31	0	0	77

Les principales espèces dénombrées en 2002 sont les suivantes :

Mars 2002 : Les espèces dominantes au printemps sont les colonies des diatomées *Skeletonema costatum*, *Melosira*, et *Synedra* essentiellement (tableau 6 et figure 10). *Synedra* est une espèce d'eau douce ou saumâtre qui peut se trouver plus facilement en hiver ou au printemps en eau de mer, quand les rivières sont en crue. Peu de Dinoflagellés ont été observés pendant cette campagne printanière, le genre dominant étant *Protoperidinium*..

Figure 10 :
Distribution des
abondances en
diatomées pour
l'année 2002.



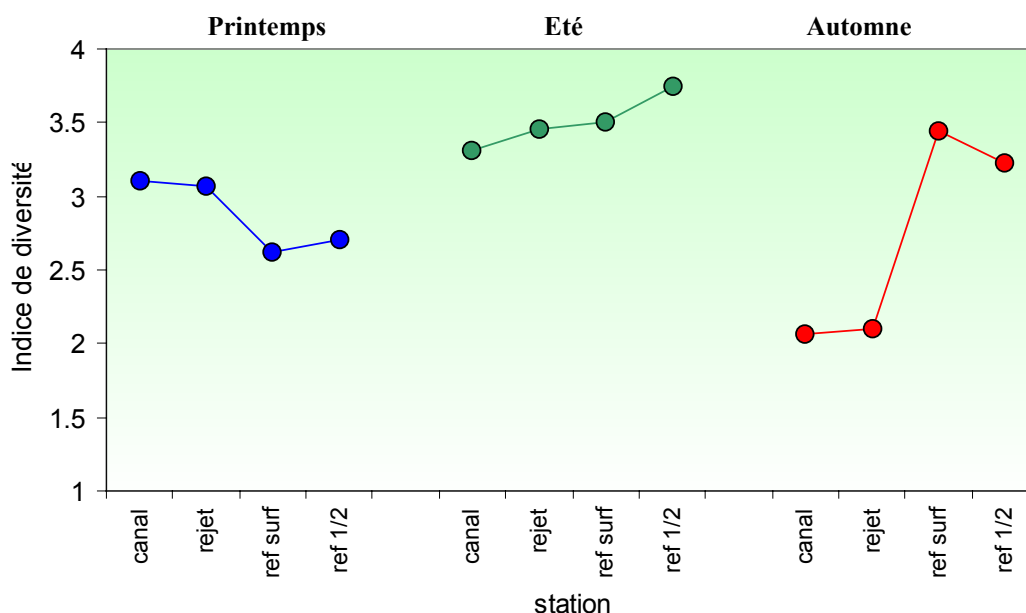
Juillet 2002 : Les genres les plus représentés parmi les diatomées sont les genres *Melosira*, *Skeletonema* et *Rhizosolenia*. L'espèce coloniale *Rhizosolenia delicatula* étant la plus abondante. Ceci est confirmé par la littérature qui signale que des fortes abondances de cette espèce sont observées tous les ans sur les côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche (Klein et Sournia, 1987). Les genres *Thalassiosira* et *Chaetoceros* sont aussi représentés, mais avec des valeurs de dominance inférieures à 20%. Les dinoflagellés ont représenté au maximum 4% de l'abondance microphytoplanctonique. Les genres rencontrés ont été *Gymnodinium*, *Scrippssiella*, *Gyrodinium* et *Protoperidinium*.

Septembre 2002 : Les genres les plus observés en septembre sont *Chaetoceros*, *Thalassiosira* et *Melosira* en moindre quantité. *Chaetoceros* a représenté jusqu'à 65% de l'abondance totale du microphytoplancton au point « canal ».

La plus forte dominance de dinoflagellés (13%) a été observée au point « référence ». Les genres *Katodinium* et *Gymnodinium* sont été les plus nombreux dans cette fin d'été.

L'indice de diversité H' de Shannon (Scherrer, 1984) permet d'obtenir une caractérisation de la diversité du peuplement phytoplanctonique. Plus sa valeur est faible, plus la diversité l'est également, et plus le peuplement est pauvre. La figure 11 représente l'évolution de cet indice pour l'ensemble des campagnes menées en 2002.

Figure 11 :
Distribution de
l'indice de diversité
de Shannon pour
l'année 2002.



La diversité microphytoplanctonique évolue au cours de l'année. Le printemps présente les plus faibles valeurs, à l'exception des points « canal » et « rejet » en automne. Les peuplements étant tous majoritairement composés de Diatomées. Ces dernières, qui constituent majoritairement les efflorescences de printemps, ont une stratégie du type « r », caractérisée par des taux de croissance élevés et un comportement écologique « opportuniste » (Kilham et Kilham, 1980). En été et en début d'automne, les peuplements sont plus diversifiés, avec des populations adoptant une stratégie du type « k » avec des taux de croissance bas et une meilleure adaptation à l'utilisation des faibles concentrations en nutriments. C'est le cas particulièrement des petites cellules de Diatomées et de Dinoflagellés.

Les indices de Shannon par saison sont tout à fait comparables sur les différents points de suivi et ne permettent donc pas de mettre en évidence un impact de la centrale sur la diversité des peuplements phytoplanctoniques. Les faibles indices observés au printemps aux points « canal » et « rejet » resteraient difficiles à expliquer sans l'existence d'un fort gradient côte-large déjà signalé (cf. § 4.3.3.1.)

4.4. Comparaison des résultats obtenus aux points « canal » et « rejet »

Le calcul du déficit en biomasse phytoplanctonique au point « rejet » par rapport au « canal » d'amenée se calcule au moyen de la formule ci-dessous :

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

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

En utilisant les valeurs mesurées en 2002 pour les paramètres chlorophylle, production primaire et abondance phytoplanctonique, les déficits obtenus sont les suivants (Tableau 7) :

Tableau 7 :
Déficits des
trois paramètres
étudiés entre les
points « canal »
et « rejet ».

(%)	<i>Chlorophylle a</i>	<i>Production primaire</i>	<i>microphytoplancton</i>
20 MARS	+ 31	+ 19	- 47
2 JUILLET	+ 6	+ 15	- 148
20 SEPTEMBRE	+ 27	+ 41	+ 41

Un déficit en chlorophylle et en production primaire est observée au point « rejet » tout le long de l'année. Ce déficit atteint un maximum de 31% pour la chlorophylle en mars et de 41% pour la production primaire en septembre. L'abondance microphytoplanctonique présente un déficit de 41% en septembre et des augmentations en mars et juillet (valeurs négatives).

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



4.5. Conclusion

La biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances cellulaires montrent une évolution inter-annuelle et saisonnière similaire. Le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Manche, avec des biomasses comprise entre 0,8 et 1,4 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Les plus faibles variabilités spatiales de la biomasse, de la production primaire et de l'abondance sont observées au printemps. Le point « référence » présente la plus faible variabilité saisonnière, essentiellement au printemps et en automne.

Les faibles salinités printanières et estivales ont eu comme conséquence une forte concentration en nitrate qui ne s'est pas traduit par de fortes biomasses et production phytoplanctoniques au moment des campagnes. L'explication de ce paradoxe sont probablement les fortes concentrations en MES qui ont empêché les développements algaux.

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

De plus, comme les valeurs des paramètres et descripteurs utilisées ne sont pas systématiquement supérieures au point « rejet », nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu par l'activité de la centrale de Paluel à partir de l'étude du compartiment phytoplanctonique en 2002.





4.6. Bibliographie

AMINOT, A., CHAUSSEPIED, M. 1983

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

BROUARDEL, J., RINCK, E. 1963

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

GENTILHOMME, V., LIZON, F. 1998

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

KILHAM, P., KILHAM, S.S. 1980

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

KLEIN, B. ET SOURNIA, A. 1987

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

LAMPERT, L. 2001

« Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanctoniques dans l'Atlantique Nord (Golfe de Gascogne) ». Thèse de troisième cycle, *Université de Bretagne Occidentale*. 328 pp.

LORENZEN, C.J. 1967

« A method for the continuous measurements of *in vivo* chlorophyll concentrations ». *Deep-Sea Res.* 13: 223-227.

LUND, J.W.G., KIPLING, C., LE CREN, E.D. 1958

« The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting ». *Hydrobiologia* 11 : 143-178

SCHERRER, B. 1984

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

STEEMANN NIELSEN, E. 1951

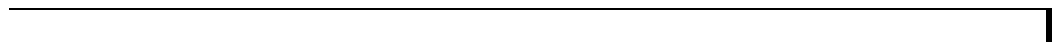
« Measurement of the production of organic matter in the sea » *Nature*, 167 : 684.

STEEMANN NIELSEN, E. 1952

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

UTERMOHL, H. 1958

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



5. Le zooplancton

Myriam RUMEBE.
IFREMER/DEL/SAINT MALO



	CANAL	REJET	REFERENCE
Poids sec en mg/m³			
Mars	13.6 ± 6.0	7.3 ± 1.9	5.6 ± 2.5
Juillet	33.6 ± 9.9	40.4 ± 4.8	2.9 ± 0.9
Septembre	4.6 ± 1.1	14.8 ± 2.7	9.0 ± 1.1
Poids de carbone en mg/m³			
Mars	3.8 ± 1.7	2.3 ± 0.6	1.3 ± 0.5
Juillet	10.3 ± 3.2	11.2 ± 1.0	0.7 ± 0.2
Septembre	1.1 ± 0.4	3.9 ± 0.5	2.5 ± 0.3
Poids d'azote en mg/m³			
Mars	0.7 ± 0.3	0.5 ± 0.1	0.3 ± 0.1
Juillet	2.0 ± 0.7	2.5 ± 0.2	0.1 ± 0.0
Septembre	0.2 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.6 ± 0.1
Rapport C/N			
Mars	5.5 ± 0.2	4.9 ± 0.3	4.8 ± 0.1
Juillet	5.3 ± 0.2	4.5 ± 0.2	4.7 ± 0.3
Septembre	5.1 ± 0.3	5.0 ± 0.2	4.5 ± 0.0

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

INTRODUCTION

En 2002, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 20 mars, 2 juillet et 20 septembre. A chaque campagne, trois points sont étudiés :

- Canal d'amenée,
- Rejet,
- Référence.

Pour chaque point, sept répliqués de pêche 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 congelés afin d'évaluer la biomasse (mesure du poids sec et des poids de carbone et d'azote) ; le septième est formolé en vue de l'étude qualitative et quantitative des espèces animales.

5.1. Etude de la biomasse zooplanctonique globale

(Tableau 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.

5.1.1. Poids sec

Durant les campagnes de mars et juillet, les valeurs du poids sec les plus basses sont observées au point Référence (respectivement $5,6 \pm 2,5$ mg/m³ et $2,9 \pm 0,9$ mg/m³). En septembre, la valeur la plus basse est observée au point Canal d'amenée avec $4,6 \pm 1,1$ mg/m³.

Les valeurs du poids sec les plus élevées sont observées au point Canal d'amenée en mars ($13,6 \pm 6,0$ mg/m³), et au point Rejet en juillet et septembre (respectivement $40,4 \pm 4,8$ mg/m³, et $14,8 \pm 2,7$ mg/m³).





En mars, il se dessine un gradient décroissant de la côte vers le large.

En juillet, les poids secs obtenus aux points Canal d'amenée ($33,6 \pm 9,9 \text{ mg/m}^3$) et Rejet ($40,4 \pm 4,8 \text{ mg/m}^3$) sont les plus élevés des trois campagnes, ce qui correspond à une richesse et à une abondance zooplanctonique.

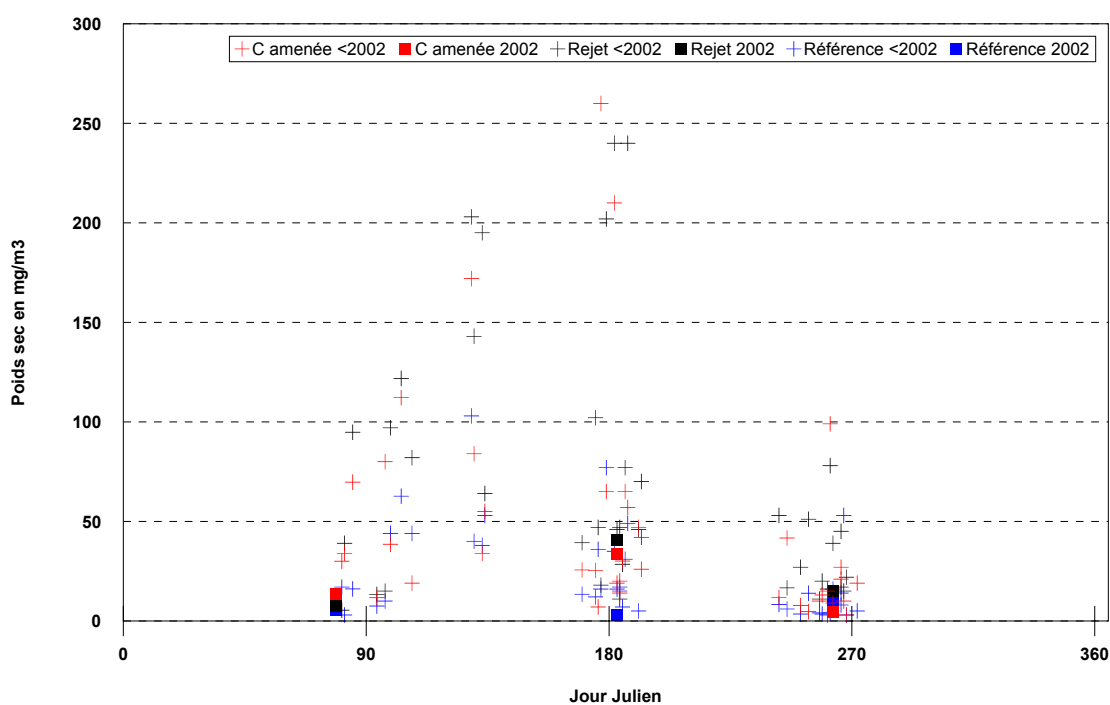


Figure 1 : Poids sec en mg/m^3 . Comparaison de l'année 2002 avec les années antérieures. N.B. : En mars, les valeurs des points Rejet et Référence sont confondues.

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

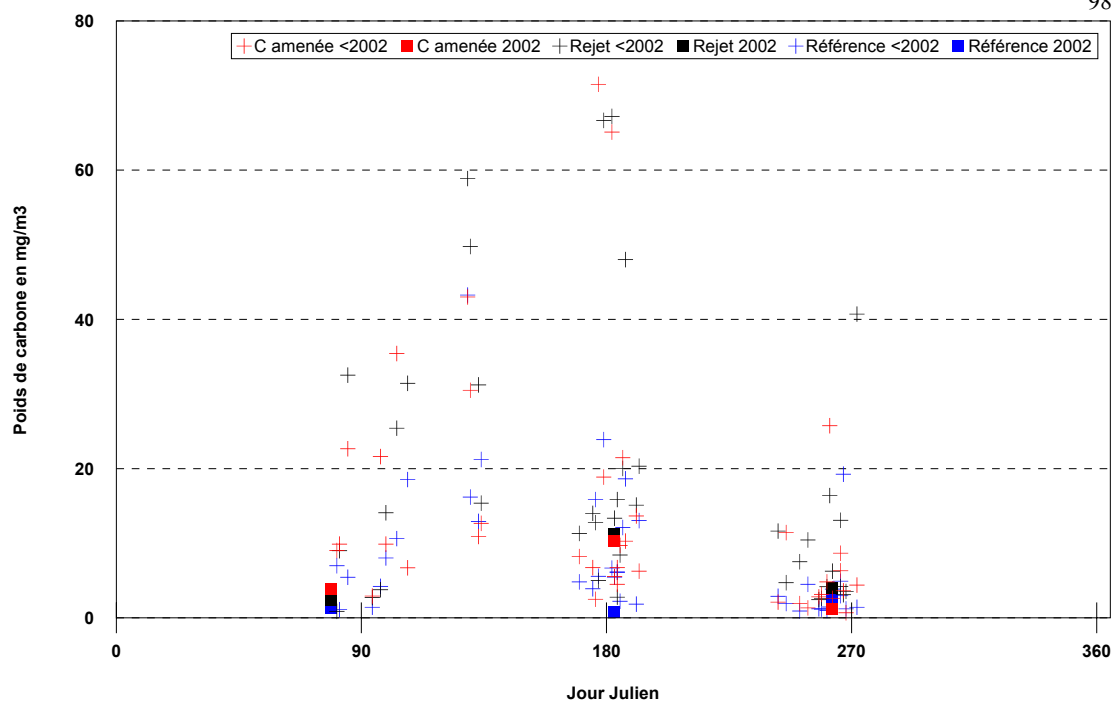


Figure 2 : Poids de carbone en mg/m³ dans la biomasse sèche. Comparaison de l'année 2002 avec les années antérieures.

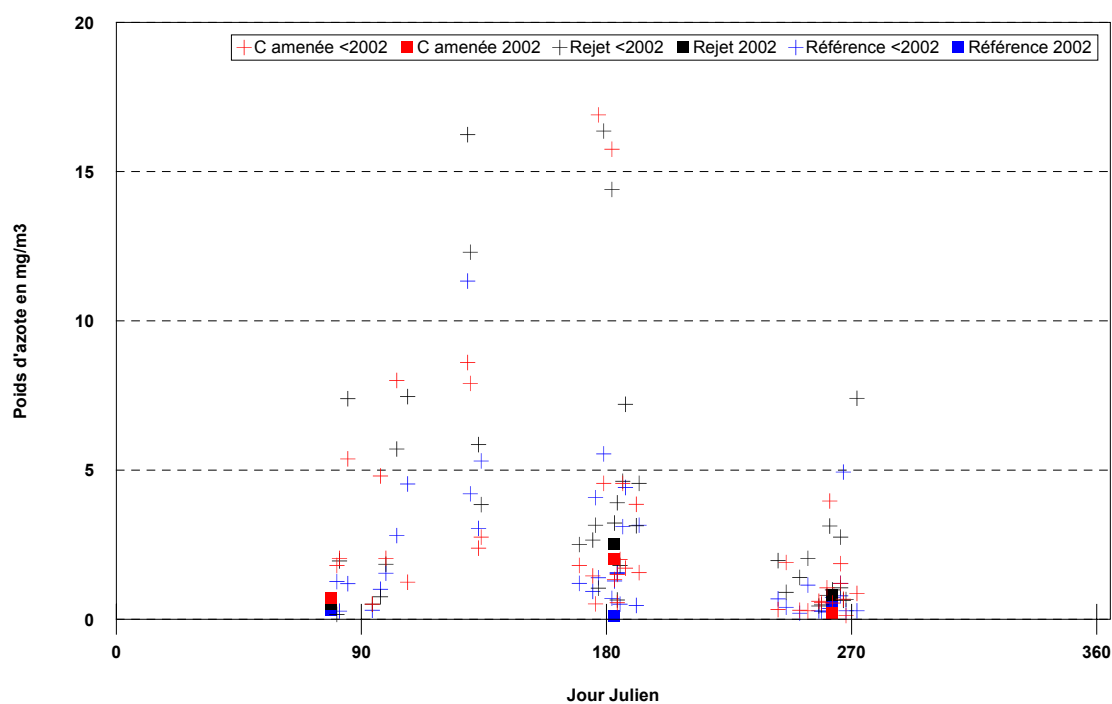


Figure 3 : Poids d'azote en mg/m³ dans la biomasse sèche. Comparaison de l'année 2002 avec les années antérieures.

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

Les poids de carbone et d'azote observés en 2002 sont comparables à ceux obtenus les années précédentes (Figure 2 et Figure 3).

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.

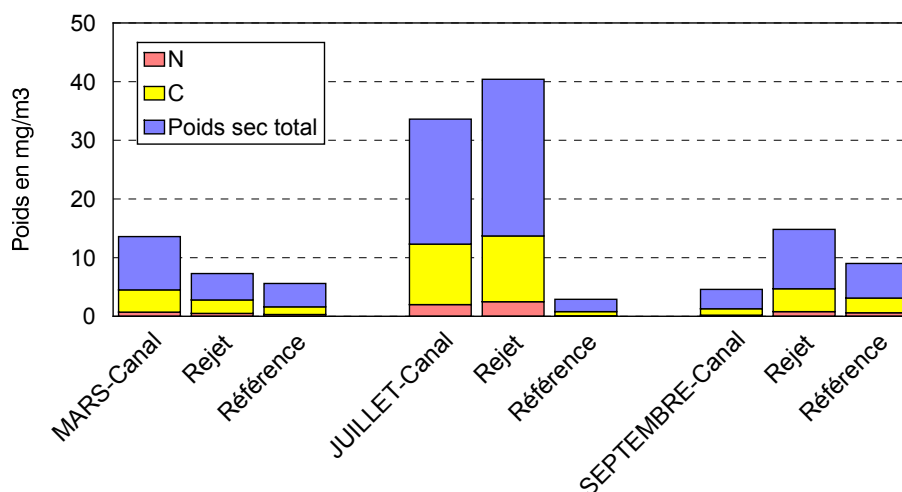


Figure 4 : Poids de carbone et d'azote dans la biomasse sèche

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

Lors des campagnes de mars et de juillet, les poids de carbone et d'azote les plus bas sont observés au point Référence (respectivement $1,3 \pm 0,5$ et $0,7 \pm 0,2$ mg de carbone par m^3 et $0,3 \pm 0,1$ et $0,1$ mg d'azote par m^3). En septembre, les valeurs les plus basses sont obtenues au point Canal d'amenée, avec $1,1 \pm 0,4$ mg de carbone par m^3 et $0,2 \pm 0,1$ mg d'azote par m^3 .

Les valeurs des poids de carbone et d'azote les plus élevées sont observées au point Canal d'amenée en mars ($3,8 \pm 1,7$ mg/ m^3 et $0,7 \pm 0,3$ mg/ m^3) et au point Rejet en juillet et septembre. En mars, il se dessine un gradient décroissant de la côte vers le large.

En juillet, les poids obtenus aux points Canal d'amenée et Rejet sont les plus élevés des trois campagnes.

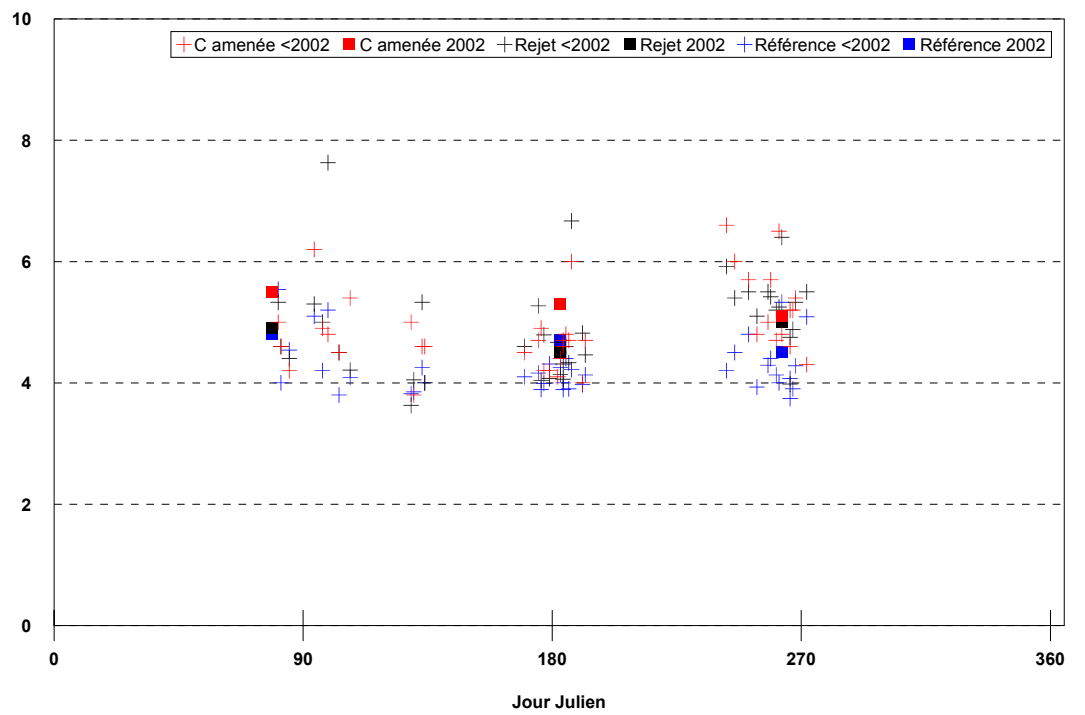


Figure 5 : Rapport carbone / azote. Comparaison de l'année 2002 avec les années antérieures.

5.1.3. Evaluation du rapport carbone / azote (Figure 6)

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

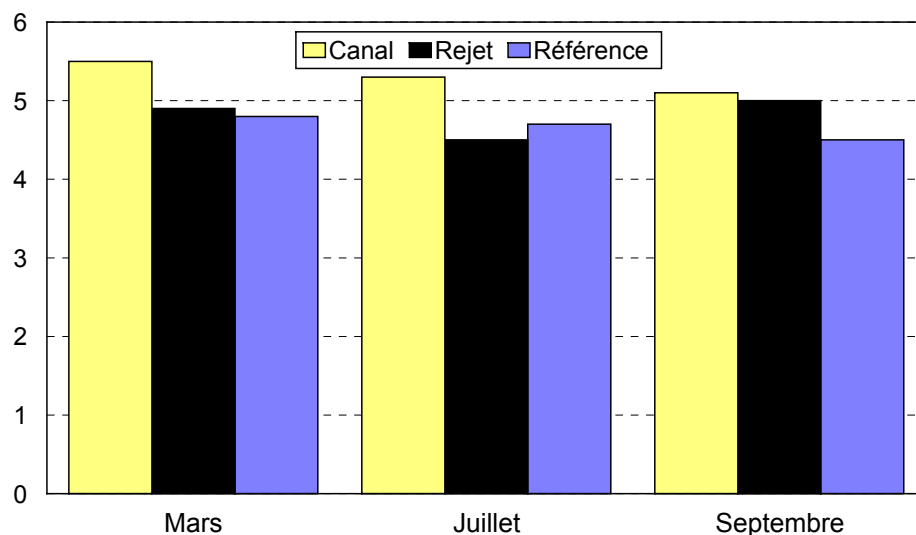


Figure 6 : Rapport C/N

Lors des trois campagnes réalisées en 2002, il se dessine un gradient décroissant de la côte vers le large. Les valeurs les plus élevées sont systématiquement observées au point Canal d'amenée, et les plus basses au point Référence. Ce rapport varie de 4,5 en septembre, à $5,5 \pm 0,2$ en mars.

Le rapport carbone / azote obtenu en 2002 reste dans les limites des observations habituelles (Figure 5).

Taxons	20/03/2002			02/07/2002			20/09/2002		
	N / 10 m ³			N / 10 m ³			N / 10 m ³		
	Canal	Rejet	Référence	Canal	Rejet	Référence	Canal	Rejet	Référence
TOTAL CNIDAIRES				32	8	4			
TOTAL CTENAIRES		3	2	121	16	3			
TOTAL CHAETOGNATHES		5		3	37		28	110	389
TOTAL ANNELIDES	166	64	13	51		5	18	24	7
TOTAL CLADOCERES			2						
TOTAL L. CIRRIPEDES	6 382	1 543	2 940	25	98	2	55	63	37
AMPHIPODES		3			39			8	7
ISOPODES		3	2			2	9	8	7
CUMACES			2					8	
TOTAL MYSIDACES					6	2		4	
TOTAL COPEODES	516	3 398	708	5 350	6 536	315	2 498	4 188	8 894
EUPHAUSIACES									
LARVES NATANTIA				13	20	2	9		7
LARVES THALASSINIDEAE				3	39	1			
TOT L. ANOMOURES	6		9	29	137	5		8	30
TOT L. BRACHYOURES	83	10	11	19	39			16	52
TOTAL L. MOLLUSQUES				522	333	32		39	217
Cyphonautes BRYOZOAIRES			2						7
TOT L. ECHYNODERMES									
TOTAL APPENDICULAIRES			5		59			31	45
TELEOSTEENS (larves+oeufs)	13	3	7	3	14	1			
TOTAL ZOOPLANCTON	7 166	5 031	3 702	6 172	7 380	376	2 618	4 506	9 701
MOYENNE ZOOPLANCTON		5300			4643			5608	

Tableau 2 : Récapitulatif des taxons rencontrés.

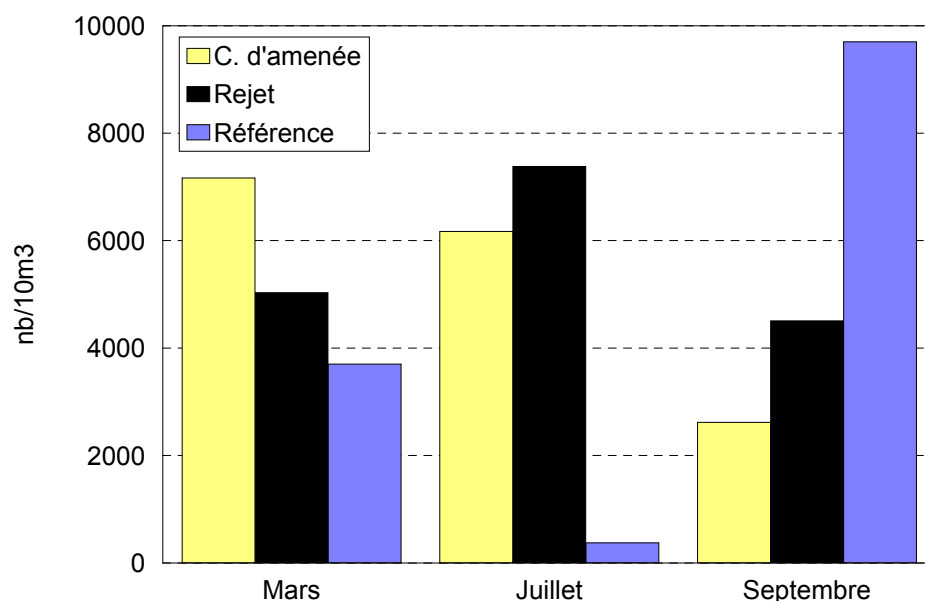


Figure 7 : Le zooplancton total.

5.2. Etude des espèces zooplanctoniques

A chaque campagne, pour chaque station, l'abondance zooplanctonique totale 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 2).

Les tendances de l'année 2002 sont les suivantes : les densités zooplanctoniques sont maximales en septembre (5 608 ind./10m³) et minimales en juillet (4 643 ind./10m³). En mars, une moyenne de 5 300 ind./10m³ est dénombrée.

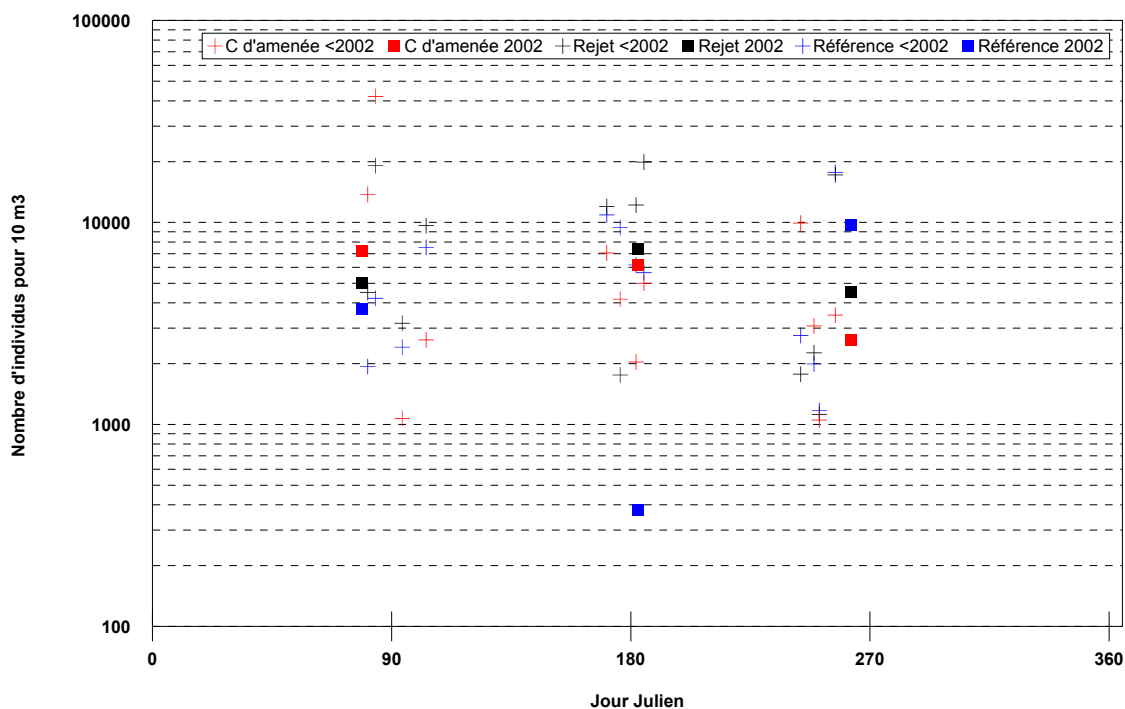


Figure 8 : Le zooplancton total. Comparaison de l'année 2002 avec les années antérieures. Echelle logarithmique.

Les valeurs globales du nombre total d'individus rencontrés en chaque point est conforme aux observations habituelles (Figure 8).

	C. d'amenée	Rejet	Référence	Moyenne
Total zooplancton N/10m³				
Mars	7166	5031	3702	5300
Juillet	6172	7380	376	4643
Septembre	2618	4506	9701	5608
Total holoplancton N/10m³				
Mars	516	3406	717	1546
Juillet	5474	6654	320	4149
Septembre	2526	4333	9328	5396
% holoplancton / zooplancton				
Mars	7%	68%	19%	29%
Juillet	89%	90%	85%	89%
Septembre	96%	96%	96%	96%
Total copépodes N/10m³				
Mars	516	3398	708	1541
Juillet	5350	6536	315	4067
Septembre	2498	4188	8894	5193
% copépodes / zooplancton				
Mars	7%	68%	19%	29%
Juillet	87%	89%	84%	88%
Septembre	95%	93%	92%	93%
Total méroplancton N/10m³				
Mars	6650	1626	2986	3754
Juillet	697	727	54	493
Septembre	91	174	371	212
% méroplancton / zooplancton				
Mars	93%	32%	81%	71%
Juillet	11%	10%	14%	11%
Septembre	3%	4%	4%	4%

Tableau 3 : Pourcentage de dominance

Taxons	20/03/2002		02/07/2002		20/09/2002	
	ind./10m ³	Pourcentage	ind./10m ³	Pourcentage	ind./10m ³	Pourcentage
Méropplancton						
Total Cnidaires			15	3%		
Total Annélides	81	2%	19	4%	16	8%
Larves de Cirripèdes	3 622	97%	42	8%	52	24%
Amphipodes	1	0%	13	3%	5	2%
Isopodes	2	0%	1	0%	8	4%
Cumacés	1	0%			3	1%
Larves Natantia			12	2%	5	3%
Euphausiacés						
Larves Thalassinideae			14	3%		
Larves d'Anomoures	5	0%	57	12%	13	6%
Larves d'Echinodermes						
Larves de Brachyoures	35	1%	19	4%	23	11%
Larves de Mollusques			296	60%	85	40%
Cyphonautes Bryozoaires	1	0%			2	1%
Téléostéens	8	0%	6	1%		
Total méroplancton	3 754	100%	493	100%	212	100%
Holoplancton						
Total Cténares	2	0%	47	1%		
Total Chaetognathes	2	0%	13	0%	176	3%
Total Mysidacés			3	0%	1	0%
Total Cladocères	1	0%				
Total Copépodes	1 541	99%	4 067	98%	5 193	96%
Total Appendiculaires	2	0%	20	0%	25	0%
Total holoplancton	1 546	100%	4 149	100%	5 396	100%

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



5.2.1. Composition faunistique du zooplancton

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. Parmi celles-ci, les copépodes représentent généralement 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 groupe faunistique par rapport au nombre total d'individu est calculé (**Tableau 4 : Pourcentage de dominance des différentes espèces du méroplancton et de l'holoplancton.**), ainsi que le pourcentage de dominance des différentes espèces au sein du méroplancton et de l'holoplancton (**Tableau 4**).



- Campagne du 20 mars 2002 :

Le méroplancton représente 71 % du zooplancton total, et est dominant sur les points Canal d'aménée et Référence (respectivement 93 % et 81 %). Il s'agit à 97 % de larves de Cirripèdes. Les deux stades nauplius (largement dominant) et cypris sont rencontrés.

L'holoplancton représente 29 % du zooplancton total. Il est dominant sur le point Rejet, où il constitue 68 % du zooplancton total. Il est composé exclusivement de copépodes, et plus précisément de l'espèce *Pseudocalanus elongatus*.

- Campagne du 02 juillet 2002 :

L'holoplancton représente 89 % du zooplancton total, et est dominant sur tous les points. Ce sont à 98 % des copépodes qui le composent, et plus précisément les espèces *Acartia clausi* et *Temora longicornis*.

Le méroplancton constitue 11 % du zooplancton total. Il est composé de 60 % de véligères de mollusques gastéropodes, de 12 % de larves d'Anomoures (Porcellanes, Paguridés et Galathées), de 8 % de larves de cirripèdes (le stade nauplius et cypris), de 4 % de larves d'Annélides et de zoés de Brachyours, de 3 % de Cnidaires, d'Amphipodes et de larves de crustacés Thalassinideae et de 2 % de larves de Natantia.

- Campagne du 20 septembre 2002 :

L'holoplancton est largement dominant sur tous les points, et constitue 96 % du zooplancton total. Il s'agit essentiellement de copépodes (espèces *Acartia clausi* et *Euterpina acutifrons*) qui représentent eux mêmes 93 % du zooplancton total constituant la principale richesse du zooplancton total de cette campagne. L'holoplancton est également composé de 3 % de Chaetognathes.

Le méroplancton ne représente que 4 % du zooplancton total. Il est principalement constitué de 40 % de larves de mollusques (gastéropodes et bivalves), de 24 % de larves de Cirripèdes (stades nauplius et cypris), de 11 % de zoés de brachyours, de 8 % d'Annélides *Spionidae* et de 6 % larves d'Anomoures Porcellanes.



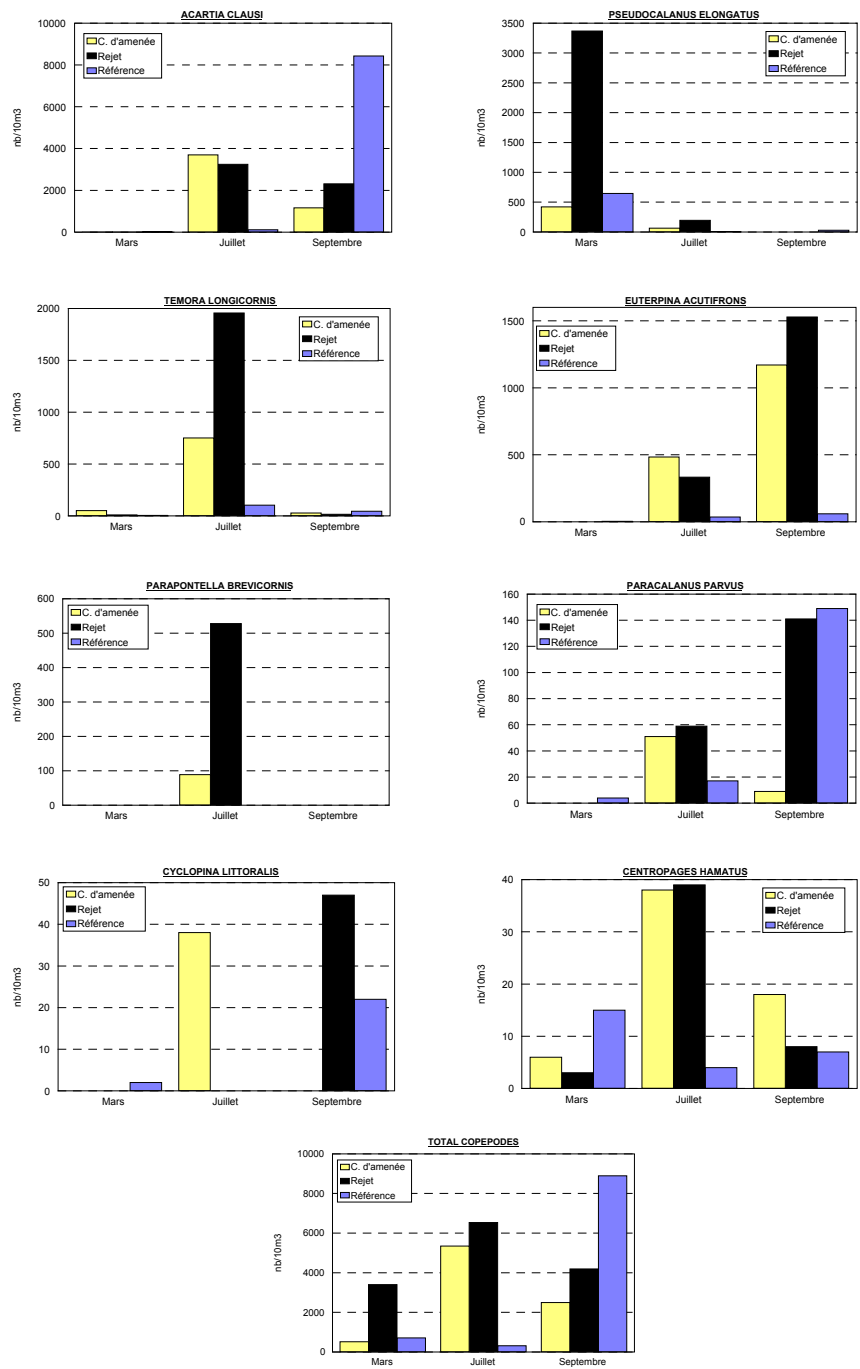


Figure 9 : Les principaux copépodes.

5.2.2. Variation saisonnière des principaux taxons

5.2.2.1. L'holoplancton

- Les copépodes (**Figure 9**).

Le zooplancton de la Manche est essentiellement constitué de crustacés copépodes dont le cycle de vie est entièrement pélagique. Cette dominance a été vérifiée cette année où, sur les trois campagnes, les copépodes représentent en moyenne 70 % 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 2002, le maximum d'abondance des copépodes est observé en septembre avec en moyenne, 5 193 ind./10m³. Le pourcentage le plus élevé de copépodes est obtenu sur le point Canal d'amenée (95 % du zooplancton total).

Acartia clausi

Cette espèce est présente aux trois campagnes, sur tous les points. En mars, une quantité faible voire négligeable a été dénombrée.

En juillet, il est le copépode dominant sur les trois points, et atteint en moyenne 3 472 ind./10m³ sur les points Canal d'amenée et Rejet. Sur le point Référence, 117 ind./10m³ ont été rencontrés.

En septembre, il reste le copépode dominant (avec *Euterpina acutifrons*), et atteint son maximum d'abondance sur le point Référence, avec 8 430 ind./10m³.

Pseudocalanus elongatus

Cette espèce hivernale est présente aux trois campagnes. En mars, il est le copépode dominant avec un maximum d'abondance de 3 367 ind./10m³ sur le point Rejet, et une moyenne de 533 ind./10m³ sur les deux autres points.

En juillet, il est en nette régression, mais reste présent.

En septembre, seulement 30 ind./10m³ ont été dénombrés sur le point Référence.





Temora longicornis

Cette espèce est présente aux trois campagnes sur tous les points. Sensible aux faibles températures de mars et septembre, seulement quelques dizaines d'individus ont été dénombrés sur chaque points.

En juillet, il atteint son maximum d'abondance et est, avec *Acartia clausi*, le deuxième copépode dominant. Le pic maximum est obtenu sur le point Rejet avec 1 957 ind./10m³.

Euterpina acutifrons, Paracalanus parvus

Ces copépodes à tendance estivale, sont présents aux trois campagnes. En mars, seulement 4 ind./10m³ pour chaque espèce ont été dénombrés sur le point Référence.

En juillet, leur nombre est en nette augmentation, et en septembre, ils atteignent leur maximum d'abondance. En septembre, ils sont avec *Acartia clausi*, les copépodes dominants. Sur les points Canal d'amenée et Rejet, *Euterpina acutifrons* atteint en moyenne, 1 350 ind./10m³.

Parapontella brevicornis

Cette espèce n'a été rencontrée que lors de la campagne de juillet sur les points Canal d'amenée (89 ind./10m³) et Rejet (528 ind./10m³).

Centropages hamatus

Cette espèce est présente aux trois campagnes, sur tous les points. Quelques dizaines d'individus pour 10m³ sont dénombrés sur chaque point. Le maximum d'abondance est observé en juillet sur les points Canal d'amenée et Rejet (respectivement 38 et 39 ind./10m³).

Cyclopina littoralis

Cette espèce est présente aux trois campagnes. En mars, elle n'est retrouvée que sur le point Référence, en juillet, que sur le point Canal d'amenée, et en septembre, elle a été rencontrée sur les points Rejet et Référence avec respectivement 47 et 22 ind./10m³.



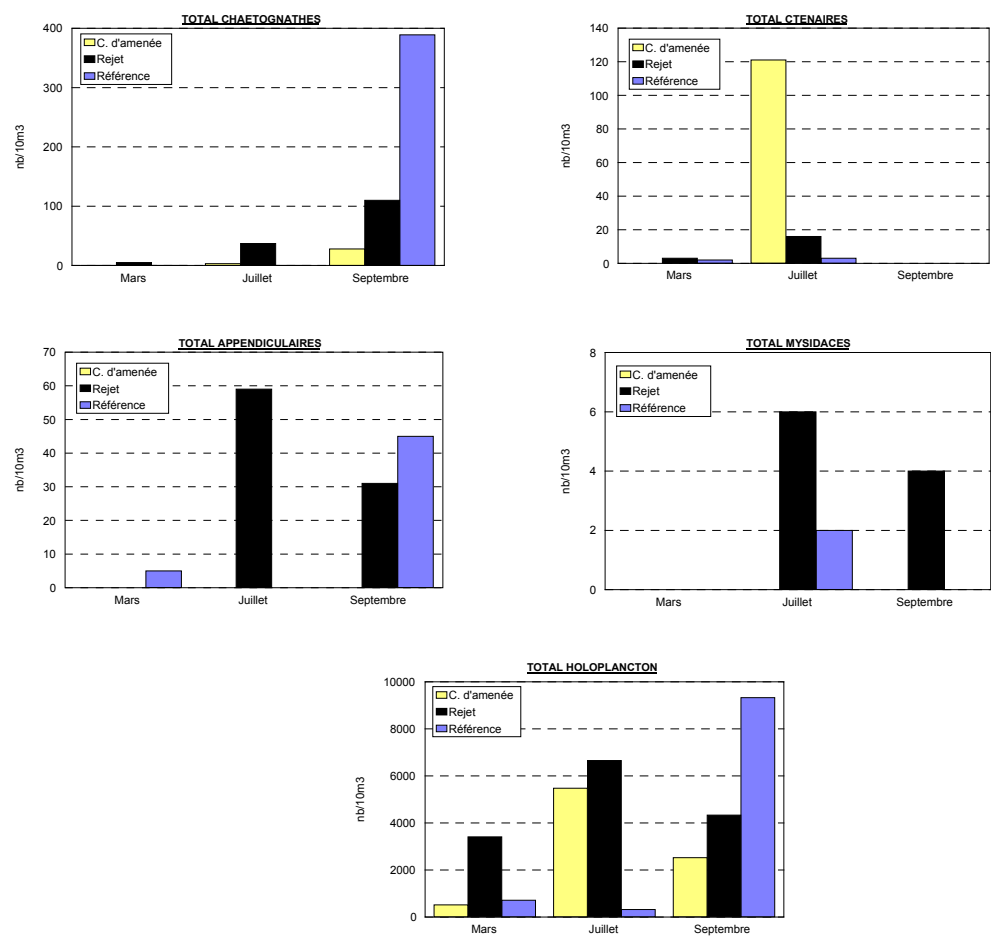


Figure 10 : Les autres espèces holoplanctoniques.

Les autres espèces holoplanctoniques (Figure 10)

Le Chaetognathe *Sagitta setosa* est une espèce carnivore de grande taille. Il est rencontré aux trois campagnes. Son maximum d'abondance est atteint en septembre, où il est présent sur les trois points, selon un gradient côte – large croissant. Le pic maximum est obtenu sur le point Référence avec 389 ind./10m³.

Des Cténaïres ont été rencontrés aux campagnes de mars et juillet. En mars, ils sont représentés par les espèces *Pleurobrachia pileus* sur le point Rejet (3 ind./10m³) et *Beroe sp.* sur le point Référence (2 ind./10m³). En juillet, seule l'espèce *Pleurobrachia pileus* est retrouvée, selon un gradient décroissant de la côte vers le large. Le pic maximum d'abondance est obtenu sur le point Canal d'amenée, avec 121 ind./10m³.

Les Appendiculaires, représentées par *Oikopleura sp.*, sont présents aux trois campagnes. Cette espèce privilégie les points au large (elle n'a pas été rencontrée sur le point côtier). Le maximum d'abondance se situe en juillet sur le point Rejet, avec 59 ind./10m³.

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 -). Ils se nourrissent essentiellement de fines particules, de détritiques et de petits copépodes, aussi forment ils un groupe qui présente un intérêt par la forte réduction de la chaîne alimentaire. Ils sont rencontrés en juillet sur les points Rejet (6 ind./10m³) et Référence (2 ind./10m³) et en septembre sur le point Rejet (4 ind./10m³).

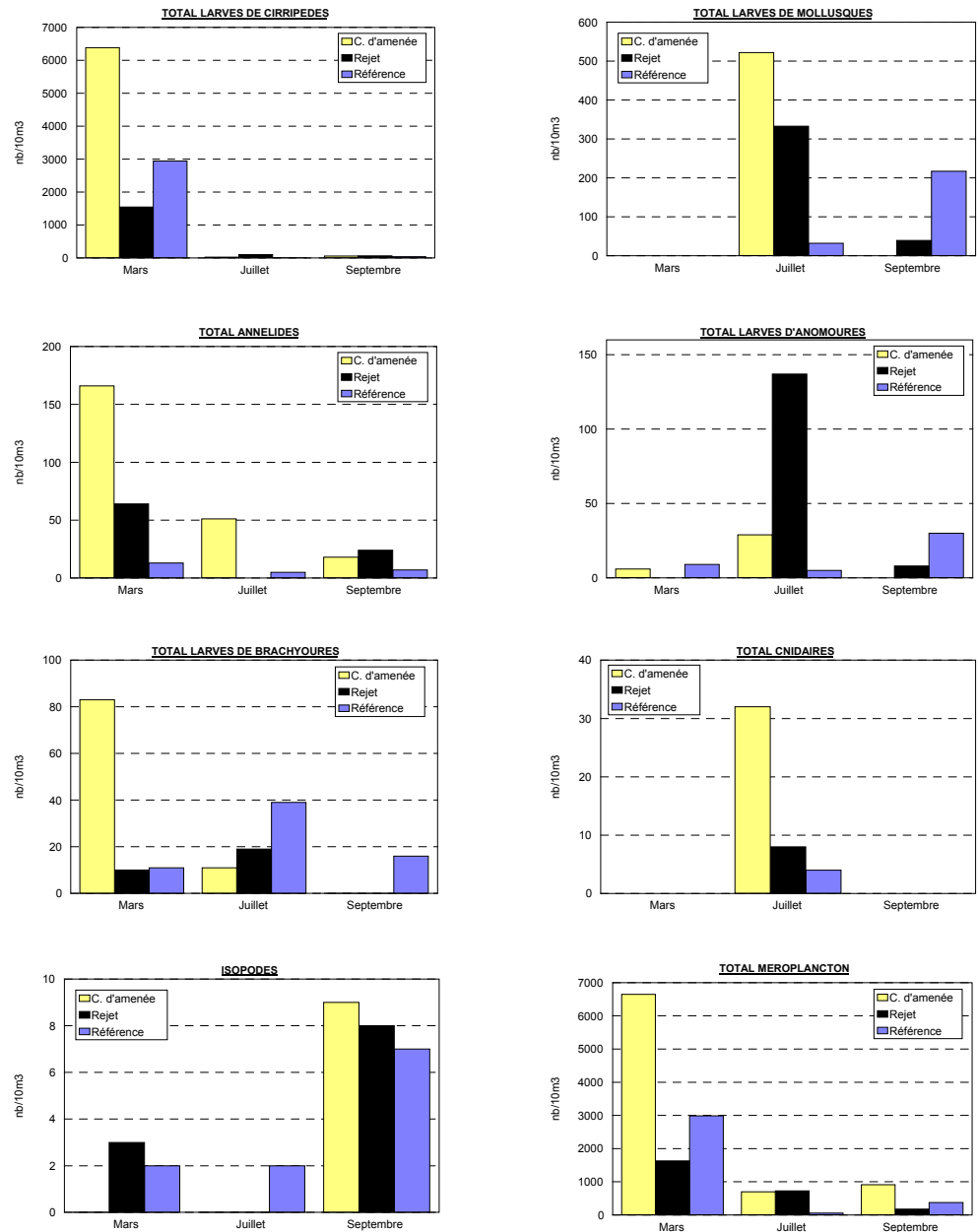


Figure 11 : Le méroplancton.

5.2.2.2. Le méroplancton (Figure 11)

Les stades larvaires d'espèces appartenant à différents embranchements ou classes 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 constituent pas une biomasse élevée. Elles représentent, en dehors de la période estivale (1 % du zooplancton total en juillet et septembre), une part importante du zooplancton ; 68 % du zooplancton total en mars. L'émission des larves de cirripèdes est constatée en mars, avec un maximum de 6 382 ind./10m³ sur le point Canal d'amenée. Ce pic est constitué à 99 % du stade nauplius. En juillet et septembre, une moyenne respective de 125 et 155 ind./10m³ est dénombrée.

Les larves d'Anomoures (porcellanes, galathées, Bernard l'hermite) sont rencontrées lors des trois campagnes. En juillet, elles atteignent leur maximum d'abondance sur le point Rejet, avec 137 ind./10m³. En septembre, une moyenne de 38 ind./10m³ sont dénombrés sur les points Rejet et Référence.

Les zoés de Brachyours sont présentes lors des trois campagnes. En mars et juillet, elles sont rencontrées sur les trois points, et présentent un pic maximum d'abondance sur le point Canal d'amenée en mars, avec 83 ind./10m³.

- Embranchement des Mollusques

Des larves de Mollusques sont observées aux campagnes de juillet et de septembre. Leur maximum d'abondance se situe en juillet avec deux pics distincts de 522 ind./10m³ sur le point Canal d'amenée et 333 ind./10m³ sur le point Rejet. Il s'agit de véligères de gastéropodes. A cette période, ces larves représentent en moyenne 6 % du zooplancton total moyen. En septembre, des véligères de gastéropodes et de bivalves sont rencontrées sur les points Référence (217 ind./10m³) et Rejet (39 ind./10m³).



- Embranchement des Annélides

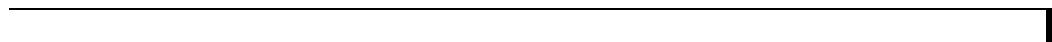
Ces larves sont émises par diverses espèces dont les adultes constituent une bonne partie de la nourriture de nombreux crustacés et poissons de fond. Elles sont représentées par les *Spionidae*. Elles sont rencontrées lors des trois campagnes. Leur abondance maximale se situe en mars, avec un pic de 166 ind./10m³. En juillet et septembre, plusieurs dizaines d'individus pour 10m³ ont été dénombrés.

- Embranchement des Cnidaires (hydrozoaires, actinies, méduses)

Des Cnidaires ont été dénombrés en juillet, sur les trois points, selon un gradient décroissant de la côte vers le large. Le maximum d'abondance est obtenu sur le point Canal d'amenée, avec 32 ind./10m³.

CONCLUSION

En 2002, l'examen des populations zooplanctoniques ne permet pas de conclure à un impact sur le milieu proche des eaux chaudes rejetées par la centrale de Paluel. Les valeurs des différents paramètres sont comprises dans les limites habituelles de variations observées depuis la mise en place de la surveillance du site.



6 . Le benthos subtidal

D. DAVOULT
Université Paris VI
Station Biologique de Roscoff

et

A. MIGNE
Université Paris VI
Laboratoire d'Hydrobiologie



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 répliqués (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 répliqués 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 répliqués 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:

Dates	Stations échantillonnées
16 janvier 2002	1 et 6
23 avril 2002	1, 2, 6, 16 et H.Z.
16 juillet 2002	1 et 6
18 novembre 2002	1, 2, 6, 16 et H.Z.

Tableau 6.1 : Calendrier des campagnes 2002



- 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).

Cette année, 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 . Méthodologie

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:

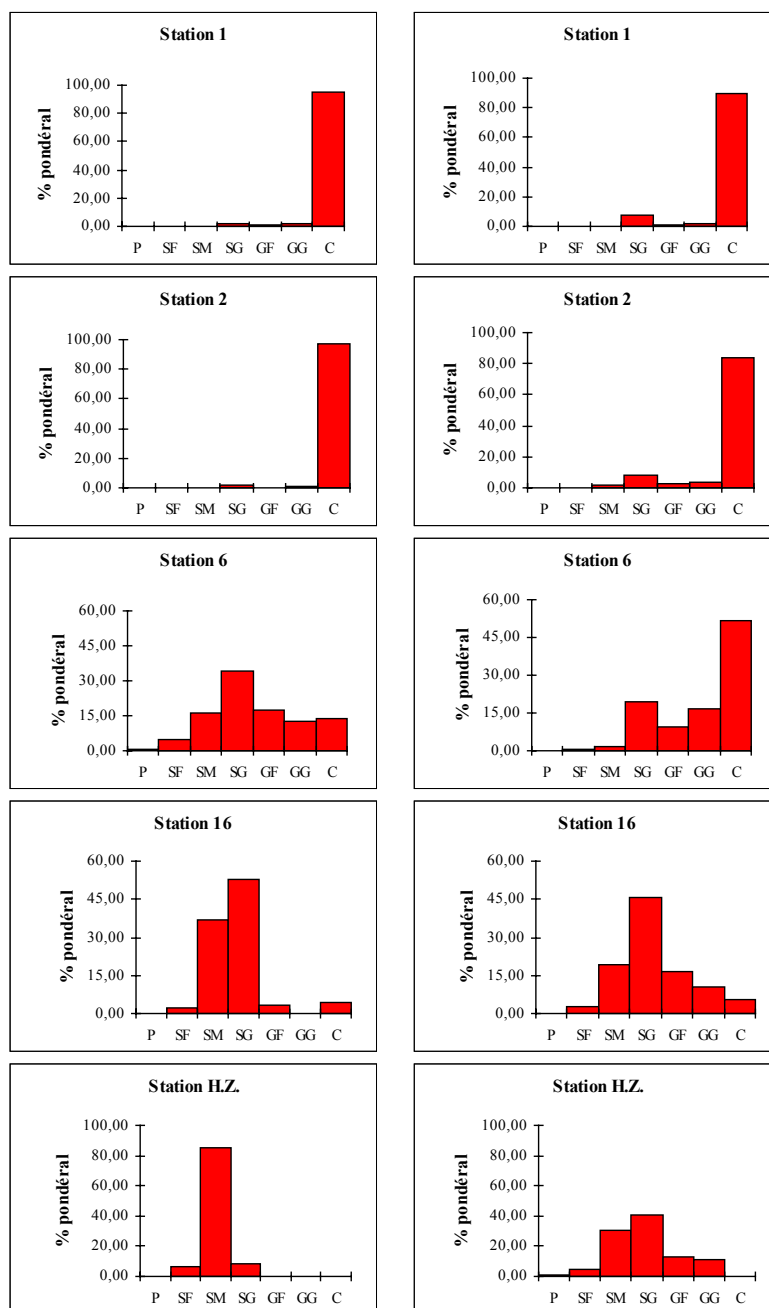
$$E = H / \text{Log}_2 N$$

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.





Printemps 2002

Automne 2002

Fig 6.2 : analyse granulométrique

6.3. Résultats

6.3.1. Analyse granulométrique (Fig 6.2)

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

Aux stations 1 et 2 (peuplement des cailloutis), les résultats confirment ceux des années précédentes (Davoult, 1992 & 1993, Davoult & Migné, 1994 à 2001). Le sédiment est fortement dominé par les cailloutis (> 90 % du poids du sédiment au printemps, > 80 % en automne). 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. Depuis 1999, le sédiment était largement dominé par les cailloutis (de 75 à plus de 90 % du poids du sédiment) : 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 année, cette tendance est remise en cause au printemps puisque le sédiment est dominé par les sables (dont 34 % de sables grossiers) et ne contient plus que 14 % de cailloutis. En automne, le sédiment est de nouveau, mais plus faiblement que les années précédentes, dominé par les cailloutis (52 % du poids total du sédiment).

	P	SF	SM	SG	GF	GG	C
Station 1	0,01	0,09	0,32	2,28	0,70	1,83	94,78
Station 2	0,02	0,05	0,28	1,51	0,47	0,92	96,75
Station 6	0,65	4,59	16,25	34,31	17,61	12,83	13,77
Station 16	0,21	2,20	37,08	52,89	3,21	0,13	4,28
Station H.Z	0,15	6,05	84,89	8,73	0,08	0,10	0,00

**Tableau 6.2 : Analyse granulométrique – Fréquences pondérales (%)
Printemps 2002**

	P	SF	SM	SG	GF	GG	C
Station 1	0,02	0,13	0,16	7,61	0,50	1,76	89,81
Station 2	0,03	0,20	1,42	8,04	2,65	3,62	84,04
Station 6	0,24	0,57	1,78	19,42	9,66	16,69	51,64
Station 16	0,12	2,56	19,28	45,43	16,54	10,43	5,65
Station H.Z	0,58	4,3	30,71	40,54	13,12	10,75	0,00

**Tableau 6.3 : : Analyse granulométrique – Fréquences pondérales (%)
Automne 2002**



La station 6 constitue donc de nouveau une transition au sein d'un gradient sédimentaire côtier

A la station 16, de 1995 à 1998, la proportion de graviers et cailloutis tendait à augmenter. Depuis 1999, celle-ci tend à rediminuer, quelquefois de façon assez importante. Cette année, le sédiment est dominé par les sables moyens (37 %) et grossiers (53 %) au printemps, et par les sables grossiers (45 %) en automne. La station H.Z. présente un sédiment assez proche de celui des années précédentes, dominé par les sables moyens (85 % du poids du sédiment au printemps) et grossiers (41 % en automne), le sédiment apparaissant plus homogène qu'habituellement au printemps (Tableau 6.2).

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

Cette année, la zone côtière semble de nouveau structurée en gradient des cailloutis à l'ouest (stations 1 et 6) aux sables hétérogènes à l'est (station H.Z.).

6.3.2. Analyse faunistique

6.3.2.1. Résultats globaux

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

- Spongiaires: 7 espèces
- Cnidaires: 10 espèces
- Annélides: 23 espèces
- Sipunculien: 1 espèce
- Mollusques: 16 espèces
- Bryozoaires: 12 espèces
- Cirripèdes: 4 espèces
- Isopodes: 1 espèce
- Amphipodes: 9 espèces
- Mysidacés: 1 espèce
- Décapodes: 18 espèces
- Echinodermes: 4 espèces
- Tuniciers: 6 espèces
- Céphalocordé: 1 espèce
- Poissons: 3 espèces

Stations	Nb d'espèces	Nb d'individus	H	E
HIVER 2000				
1	34	115	3,9	0,87
6	33	443	2,6	0,58
PRINTEMPS 2000				
1	36	107	3,7	0,82
2	41	230	3,2	0,69
6	44	364	3,5	0,67
16	1	5	0,0	0,00
H.Z.	10	15	3,1	0,95
ETE 2000				
1	50	566	3,1	0,61
6	55	740	3,4	0,63
AUTOMNE 2000				
1	38	277	3,4	0,73
2	48	331	3,7	0,76
6	28	177	3,3	0,77
16	14	229	0,4	0,13
H.Z.	2	54	0,7	0,65

**Tableau 6.4 : Nombre d'espèces et d'individus
Diversité et régularité des prélèvements**

Le nombre d'espèces récoltées est proche de celui de l'année précédente (111 espèces en 2001) et légèrement plus élevé que celui des années antérieures: 97 espèces en 1995, 1997 et 2000, 100 espèces en 1996, 94 espèces en 1998 et 91 espèces en 1999. Il y a donc une forte stabilité du nombre d'espèces récoltées depuis la mise en place de la nouvelle stratégie de surveillance. La diminution importante enregistrée depuis 1992 est due à la fois à la suppression 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 annélidienne, notamment.

Depuis 1993, la dominance des différents groupes zoologiques s'est modifiée quelque peu au profit des espèces de substrat dur (Cnidaires et Bryozoaires) abondants notamment à la station 1 depuis la disparition de la moulière: toutefois, les Annélides dominent toujours (19,8 %), suivis par les Crustacés décapodes (15,5 %), les Mollusques (13,8 %), les Bryozoaires (10,3 %) et les Cnidaires (8,6 %). Les Tuniciers (5,2 %) restent minoritaires mais sont néanmoins bien représentés, voire dominants à certaines stations, en nombre d'individus (voir plus loin).

3 espèces nouvelles pour la zone ont été identifiées:

Mollusque:	<i>Nassarius reticulatus</i>
Crustacé décapode:	<i>Callinassa tyrrhena</i>
Poisson:	<i>Syngnathus acus</i>

Il s'agit d'espèces déjà signalées en Manche orientale mais jamais récoltées sur le site de Paluel. *Nassarius reticulatus*, en particulier, est une espèce commune, qu'on rencontre notamment en bas niveau intertidal et à quelques mètres de profondeur ; elle est ici récoltée à 13 m de profondeur, c'est à dire plutôt en limite inférieure de distribution.



6.3.2.2. Peuplement des cailloutis

Depuis 1992, les stations 1, 2 et 6 appartiennent à ce peuplement.

Deux faciès sont toutefois présents:

- **Un faciès du large visible à la station 2**, généralement caractérisé notamment par la forte dominance de l'ophiure *Ophiothrix fragilis* : cette année, toutefois, l'espèce est dominante au printemps (1^{er} rang, 41,3 % des individus récoltés) mais occupe seulement le 4^{ème} rang en automne (10,3 % des individus récoltés). A l'exception de cette "anomalie" qui peut être attribuée à la distribution très fortement contagieuse de l'espèce ainsi qu'à l'hétérogénéité du sédiment, ce faciès apparaît très stable, les cinq espèces dominantes représentent plus de 70 % des individus récoltés au printemps (*O. fragilis*, *Styela coriacea*, *Dendrodia grossularia*, *Pisidia longicornis* et *Pomatoceros triqueter*) et en automne (*Styela coriacea*, *Thelepus setosus*, *Pomatoceros triqueter*, *Ophiothrix fragilis* et *Styela clava*) et sont caractéristiques du faciès. Le DRF du printemps est typiquement sigmoïde et sépare les espèces dominantes des autres espèces (Fig. 6.4) ; en revanche, notamment du fait de la relativement faible abondance d'*Ophiothrix fragilis* dans le prélèvement, le DRF d'automne est plus convexe qu'à l'habitude. L'indice de diversité de Shannon (Tableau 6.4) est d'ailleurs un peu plus élevé qu'à l'habitude ($H = 3,7$ en automne), de même que la régularité ($E = 0,76$).

- **Un faciès côtier (stations 1 et 6)** dominé comme les années précédentes par les Annélides tubicoles *Sabellaria spinulosa*, *Thelepus setosus* et *Pomatoceros triqueter* et par les Tuniciers *Styela coriacea*, *Styela clava* et *Molgula manhattensis*. Les DRF (Fig. 6.3 & 6.5) sont dans l'ensemble légèrement convexes, mais ils montrent néanmoins la dominance d'un faible nombre d'espèces (6 à 10). Le nombre d'espèces récoltées est élevé (28 à 55) et l'indice de Shannon varie de 2,6 à 3,9 selon le nombre d'espèces en co-dominance (régularité de 0,58 à 0,87), tous ces résultats étant proches de ceux de l'année précédente.

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 50 % des individus récoltés (64,7 % à la station 1 en été). 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. mettait habituellement en évidence un faible nombre d'espèces au printemps : par exemple, respectivement 3 et 1 espèces récoltées en 1999 au printemps et 4 et 3 espèces récoltées en automne.

Depuis la situation est apparue beaucoup plus variable. En 2000, à la station 16, le sédiment grossier hétérogène avait favorisé la présence d'un plus grand nombre d'espèces (26 au printemps et 24 en automne). Toutefois, cette augmentation de la diversité s'était accompagnée d'une très forte dominance du Gastéropode invasif *Crepidula fornicata* (plus de 1000 individus dans 30 litre de sédiment!), présent à cette station depuis 1997. En 2001, le nombre d'espèces récolté était de nouveau très faible (de 0 à 4 espèces récoltées) et avait été attribué à des déplacements sédimentaires qui peuvent être importants sur ces milieux (Davout *et al.*, 1998). La station H.Z. est, quant à elle, restée oligospécifique en 2000 et 2001 (0 à 6 espèces récoltées).

Cette année, à la station 16, une seule espèce a été récoltée au printemps (5 individus de *Crepidula fornicata*) et 14 espèces en automne, dont 6 Bryozoaires, 1 Cirripède et 1 Tunicien caractéristiques de fonds grossiers, 2 espèces caractéristiques de milieux sableux (l'Annélide *Ophelia borealis* et le Mysidacé *Gastrosaccus spinifer*) et *C. fornicata* qui domine de nouveau fortement le prélèvement (219 individus, soit 95,6 % des individus récoltés). Cette hétérogénéité est conforme à celle du sédiment récolté (Fig. 6.2).

A la station H.Z., 10 espèces ont été récoltées au printemps qui sont toutes caractéristiques des milieux sableux côtiers, notamment du peuplement des sables moyens à *Ophelia borealis*, de la région: les Annélides *Scolelepis foliosa*, *Ophelia borealis* et *Nephtys cirrosa*, l'Amphipode *Urothoe brevicornis* et le Mysidacé *Gastrosaccus spinifer*. En automne, seulement 2 espèces ont été récoltées, le Gastéropode *C. fornicata* (45 individus, soit 83,3 % des individus récoltés) et le procordé *Amphioxus lanceolatus*, souvent trouvé à cette station et caractéristique des sables grossiers et des graviers (gravelle à *Amphioxus*). Ces résultats sont cohérents avec l'analyse granulométrique (Fig. 6.2) qui montre un sédiment plus grossier et hétérogène en automne.

Le DRF n'a pas été construit pour la station 16 au printemps (1 seule espèce récoltée). Ceux de la station 16 et de la station H.Z. en automne sont marqués par la dominance de *C. fornicata*, celui de la station H.Z. au printemps est convexe, aucune espèce n'étant particulièrement dominante. La diversité fluctue au gré de ces variations, de 0 à 3,1, de même que la régularité (de 0 à 0,95), faible lorsque *C. fornicata* est présente, forte autrement.

Au delà des fluctuations observées, tant pour le sédiment que pour les cortèges faunistiques, c'est l'abondance de *C. fornicata* qui constitue le résultat le plus saillant. Depuis son apparition sur le site, l'espèce montre des fluctuations importantes, sans doute liées à son type de distribution très contagieux, mais elle constitue maintenant une espèce dominante dans la partie sableuse à sablo-graveleuse du domaine côtier.

Les résultats confirment l'évolution de la zone côtière depuis la disparition de la moulière, à savoir la présence de deux domaines fortement différenciés: les cailloutis de l'ouest (stations 1 et 6) et les sables hétérogènes de l'est (station H.Z.) ; la station 16, quant à elle, continue à fluctuer d'un sédiment de sables hétérogènes à un sédiment plus grossier, même si c'est de façon moins importante que certaines années.

Cette variation, à la fois saisonnière et interannuelle, est peut-être due à l'action des tempêtes hivernales et de début de printemps en milieu peu profond (Davoult *et al.*, 1998).

La disparition de la moulière peut expliquer en partie la variation granulométrique observée à ces 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 traînées sableuses d'environ 2 milles de long dans le prolongement d'une épave, à l'abri du courant de flot (Augris *et al.*, 1987).

6.4. Conclusion

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

Au large, il est dominé comme les années précédentes par les mêmes espèces (*Ophiothrix fragilis*, *Styela coriacea*, *Thelepus setosus*, *Pisidia longicornis*, *Pomatoceros triqueter*, *Styela clava* et *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 typique 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 par les Tuniciers et des Annélides tubicoles de substrat dur (depuis 1990).

La transition avec les sables hétérogènes s'effectue depuis 1993 au niveau de la station 16, qui est depuis cette période la station dans laquelle le sédiment est le plus fluctuant.

L'abondance de *Crepidula fornicata* à la station 16 est confirmée depuis 1998 : l'espèce est connue pour s'installer durablement et modifier éventuellement le substrat ; sa très forte augmentation d'abondance correspond à un phénomène de type invasif, sans doute facilité par les variations du substrat.

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

La nouvelle répartition spatio-temporelle des stations de prélèvement paraît toujours bien adaptée à la variabilité observée sur le site: une campagne au printemps et une en automne, complétées de prélèvements intermédiaires aux stations 1 et 6, qui constituaient au début du suivi la partie la plus variable de la zone, recentrées sur la zone côtière proche de la centrale, et qui permettent le cas échéant de lier d'éventuelles fluctuations globales des peuplements benthiques à la variabilité spatio-temporelle du recrutement de certaines espèces (*Mytilus edulis*, les Tuniciers). Le suivi de la station 2 paraît suffisant pour vérifier la stabilité interannuelle de la zone située plus au large.

BIBLIOGRAPHIE

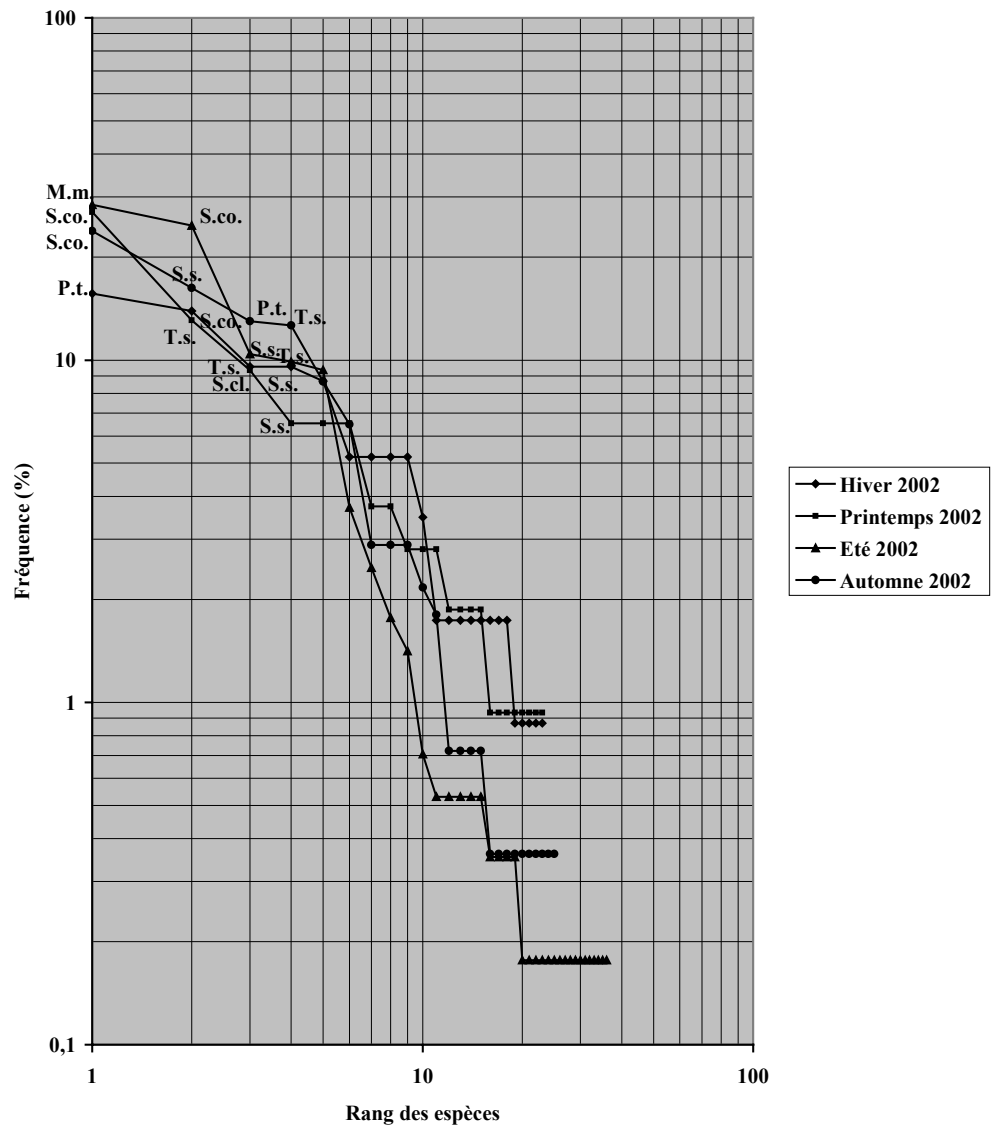
- AUGRIS C., CLABAUT P., DEWEZ S. & J.P. AUFFRET, 1987. Carte des sédiments superficiels au large de Boulogne-sur-Mer. Ifremer-U.S.T.Lille-Région Nord/Pas de Calais (Eds), 32p. + 2 cartes couleur.
- BOURGAIN J.L., DAVOULT D. & J.M. DEWARUMEZ, 1988. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieutique, site de Paluel, année 1988. Rapport Ifremer: 57-87.
- DAVOULT D., 1990. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieuthique, site de Paluel, année 1990. Rapport Ifremer: 59-81.
- DAVOULT D., 1992. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieutique, site de Paluel, année 1992. Rapport Ifremer.
- DAVOULT D., 1993. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieutique, site de Paluel, année 1993. Rapport Ifremer.
- DAVOULT D., DEWARUMEZ J.M. & A. MIGNÉ, 1998. Long-term changes (1979-1994) in two coastal benthic communities (English Channel): analysis of structural developments. *Oceanol. Acta*, 21 (4): 609-617.
- DAVOULT D. & A. MIGNÉ, 1994 à 2001. 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.



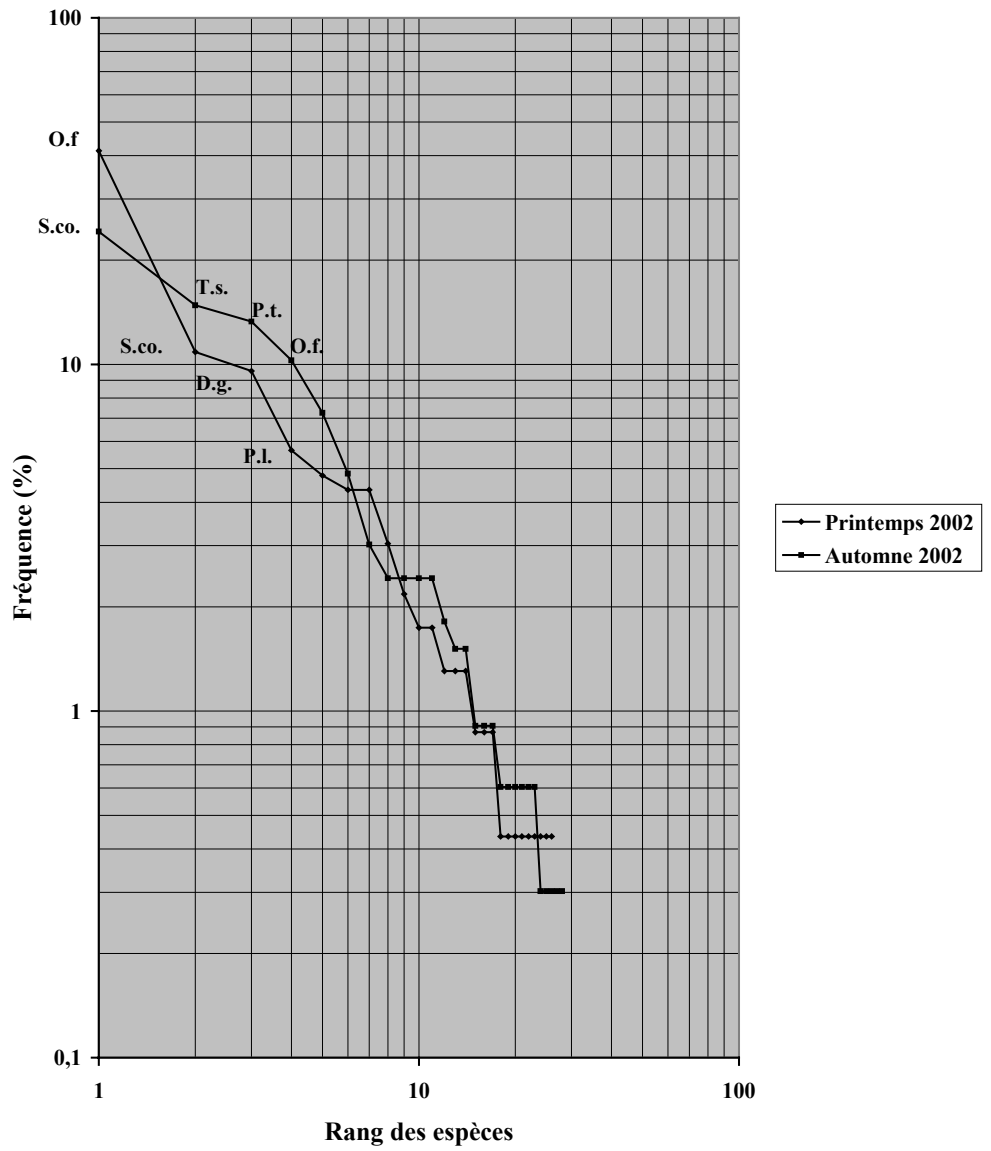
<i>A.l.</i> :	<i>Amphioxus lanceolatus</i>
<i>C.f.</i> :	<i>Crepidula fornicata</i>
<i>D.g.</i> :	<i>Dendrodoa grossularia</i>
<i>G.s.</i> :	<i>Gastrosaccus spinifer</i>
<i>G.m.</i> :	<i>Golfingia minuta</i>
<i>M.m.</i> :	<i>Molgula manhattensis</i>
<i>N.c.</i> :	<i>Nephtys cirrosa</i>
<i>O.f.</i> :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

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

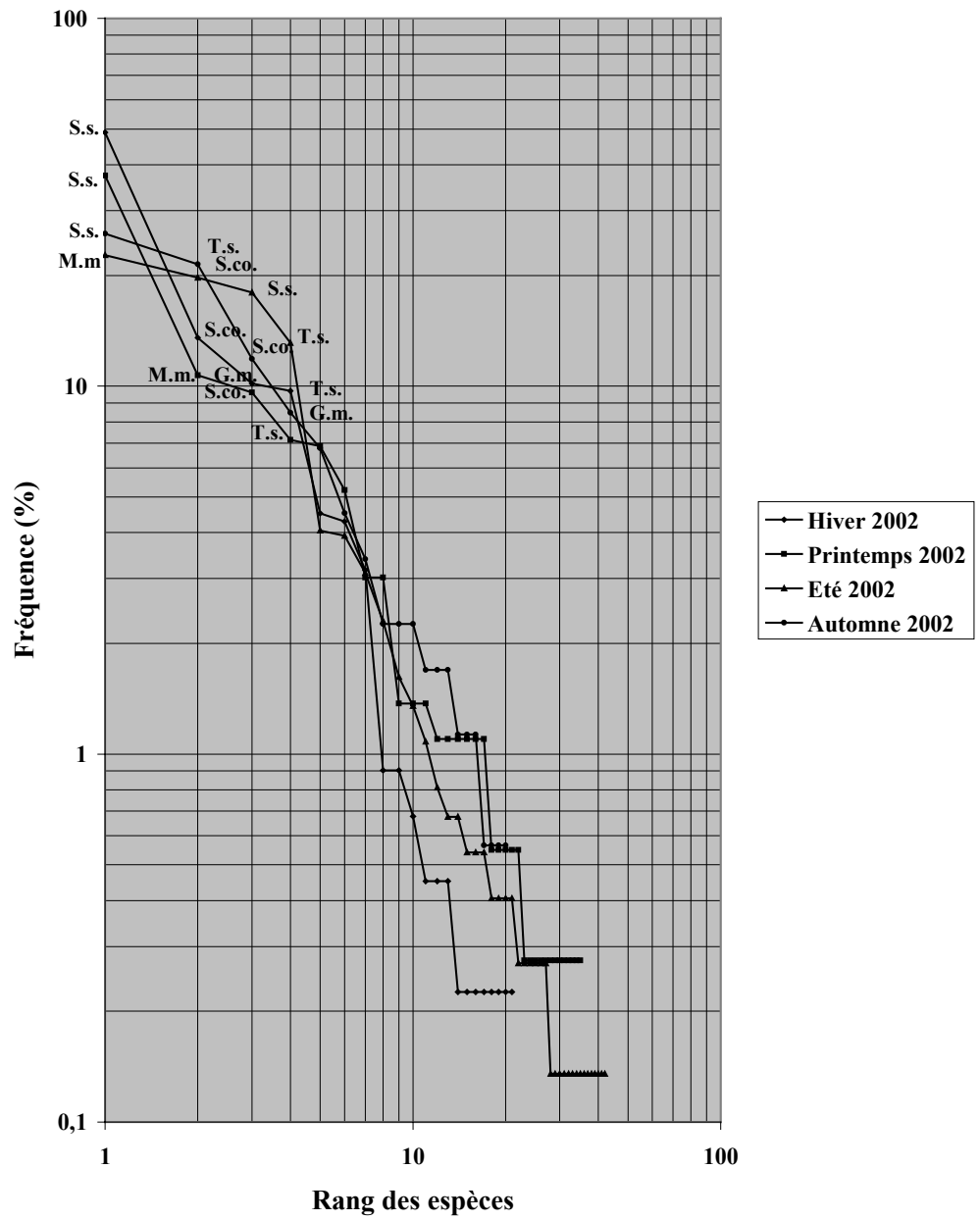
Station 1



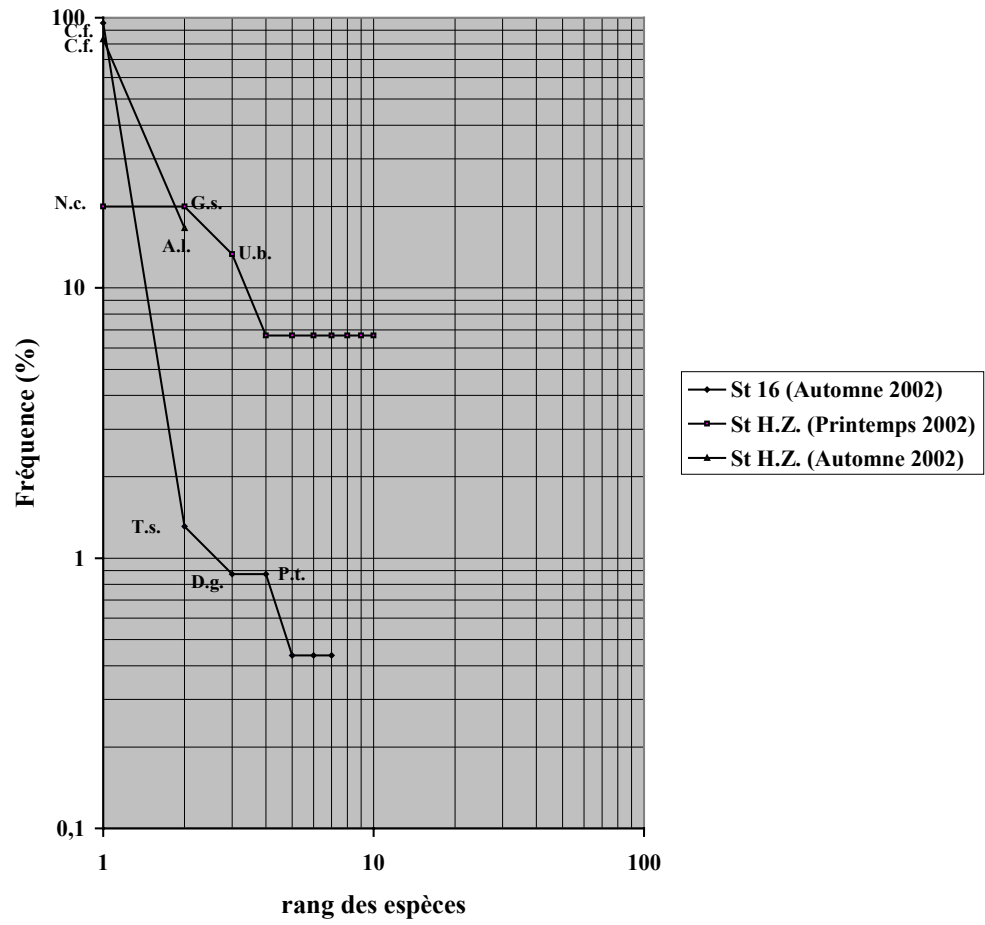
Station 2



Station 6



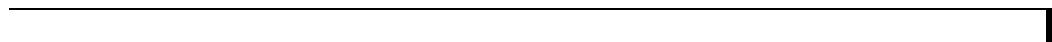
Stations 16 et H.Z.



		Hiver 2002		Printemps 2002					Eté 2002		Automne 2002				
Espèces	Stations	1	6	1	2	6	16	HZ	1	6	1	2	6	16	HZ
Spongiaires															
<i>Sycon ciliatum</i>		2				1									
<i>Suberites ficus</i>					++										
<i>Halichondria panicea</i>			+												
<i>Dysidea fragilis</i>			++		++	+				+		+			
<i>Haliclona oculata</i>													+		
<i>Raspailia pumila</i>					+							+			
<i>Spongiaire spp.</i>		+	+			+			+	+	+	+	+	+	
Cnidaires															
<i>Tubularia indivisa</i>		+	+	+	+				+	+	+		+		
<i>Laomedea sp.</i>										+					
<i>Abietinaria abietina</i>				+	+							+			
<i>Sertularia cupressina</i>												+			
<i>Hydrallmania falcata</i>												+			
<i>Dyphasia attenuata</i>												+			
<i>Alcyonium digitatum</i>													1		
<i>Urticina felina</i>			1	2		2						1	4		
<i>Sagartia elegans</i>			2												
Actiniaires spp.			2	3	2				3	2		2	3		
Annélides															
<i>Scolelepis foliosa</i>								1							
<i>Ophelia borealis</i>								1						1	
<i>Nephtys cirrosa</i>								3							
<i>Nephtys hombergii</i>													1		
<i>Nephtys caeca</i>								1	1	1					
<i>Kefersteinia cirrata</i>					1					1					
<i>Glycera lapidum</i>						1									
<i>Glycera gigantea</i>					1										
<i>Syllidae sp.</i>													1		
<i>Lepidonotus squamatus</i>		6	1		4	1			3	5	8	5	3		
<i>Polynoe scolopendrina</i>		2	20	7	5	11			14	12	8	16	12		
<i>Sthenelais boa</i>			2			4			2	1			1		
<i>Pholoe minuta</i>									1						
<i>Harmothoe glabra</i>										3					
<i>Marphysa sanguinea</i>			1			4						2			
<i>Sabellaria spinulosa</i>		11	217	7	2	##			59	133	45	8	46		
<i>Amphicteis gunneri</i>			1			4			1	4			2		
<i>Amphitrite johnstoni</i>		1													
<i>Thelepus setosus</i>		11	43	14	10	26			56	97	35	49	38	3	
<i>Eupolymnia nebulosa</i>				1					1	1					
<i>Jasmineira elegans</i>									1						
<i>Sabella pavonina</i>		1				1				1	2	2			
<i>Pomatoceros triqueter</i>		18	4	++	11	19			21	17	36	44	4	2	
Sipunculien															
<i>Golfingia minuta</i>			45			25			8	30	2	1	15	1	

		Hiver 2002		Printemps 2002					Eté 2002		Automne 2002				
Espèces	Stations	1	6	1	2	6	16	HZ	1	6	1	2	6	16	HZ
Mollusques															
<i>Acanthochitona crinita</i>		1									1				
<i>Buccinum undatum</i>		2		2	1	1			3	2		2			
<i>Ocenebra erinacea</i>				3	1	5				1					
<i>Nucella lapillus</i>						2			1						
<i>Nassarius reticulatus</i>						1									
<i>Diodora graeca</i>	4			3	2				2	1	1	3			
<i>Calliostoma zizyphinum</i>				1		4			3	2					
<i>Crepidula fornicata</i>	2	19		1		11	5		1	29	6		6	##	45
<i>Onchidoris bilamellata</i>					1	1									
<i>Chlamys opercularis</i>						1				4					
<i>Chlamys varia</i>	1			3	4				1	1					
<i>Ostrea edulis</i>										1					
<i>Modiolus barbatus</i>	2					1									
<i>Modiolus modiolus</i>						2									
<i>Musculus discors</i>					1					1					
<i>Mya truncata</i>						2									
Bryozoaires															
<i>Conopeum reticulum</i>		+	+			+			+	+		+	+	+	
<i>Electra pilosa</i>		+		+	+				+	+	+	+			
<i>Bicellariella ciliata</i>					+				+						
<i>Disporella hispida</i>				+	+				+	+	+	+			
<i>Cellepora pumicosa</i>		+	+	+	+	+			+		+	+		+	
<i>Tubulipora sp.</i>		+	+	+	+	+				+	+	+	+		
<i>Plagioecia patina</i>		+	+	+	+	+			+	+	+	+	+		
<i>Escharella immersa</i>		+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	
<i>Schizomavella auriculata</i>			+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	
<i>Smittina crystallina</i>												+			
<i>Amphiblestrum flemingii</i>		+	+	+	+				+	+	+	+		+	
<i>Alcyonidium diaphanum</i>									+						+
Cirripèdes															
<i>Balanus crenatus</i>		+	+	+		+			+	+	+	+	+	+	
<i>Balanus perforatus</i>											1				
<i>Acasta spongites</i>					1					1					
<i>Verruca stroemia</i>		+		+	+				+		+	+			
Isopodes															
<i>Eurydice spinigera</i>								1							
Amphipodes															
<i>Ampelisca spinipes</i>						1									
<i>Urothoe brevicornis</i>								2							
<i>Sthenothoe marina</i>										3					
<i>Melita obtusata</i>										1					
<i>Melita gladiosa</i>									1						
<i>Corophium sextonae</i>				1		1					1				
<i>Erichthonius brasiliensis</i>									1	1					
<i>Gammaropsis nitida</i>											2		1		
<i>Aora typica</i>										2					
Mysidacés															
<i>Gastrosaccus spinifer</i>								3						1	

		Hiver 2002		Printemps 2002					Eté 2002		Automne 2002				
Espèces	Stations	1	6	1	2	6	16	HZ	1	6	1	2	6	16	HZ
Décapodes															
<i>Eualus pusiolus</i>									1		1		4		
<i>Pandalus montagui</i>				1		1									
<i>Pandalina brevisrostris</i>		1	1	4	1				2		8	8	8		
<i>Crangon crangon</i>								1			1		2		
<i>Galathea squamifera</i>											1				
<i>Galathea intermedia</i>		2							1			2			
<i>Callianassa tyrrhena</i>			1												
<i>Pisidia longicornis</i>		6		4	13				4	8	24	10	1		
<i>Pagurus pubescens</i>						4			1	2					
<i>Pagurus bernhardus</i>			1						1	5		1			
<i>Anapagurus hyndmanni</i>				1					1	3		2			
<i>Pilumnus hirtellus</i>			1	1	3				2	4	1	3			
<i>Ebalia tuberosa</i>										1		3			
<i>Liocarcinus puber</i>						1					1		2		
<i>Liocarcinus depurator</i>						2				3					
<i>Maja squinado</i>				1											
<i>Hyas coarctatus</i>									1						
<i>Macropodia rostrata</i>												1			
Echinodermes															
<i>Asterias rubens</i>				2	1				1						
<i>Henricia sanguinolenta</i>												1			
<i>Ophiothrix fragilis</i>					95				3			34			
<i>Psammechinus miliaris</i>		2		7	10							6			
Tuniciers															
<i>Ascidia mentula</i>		6	4		7	5			2	6	2	5			
<i>Ascidiella conchilega</i>										1					
<i>Styela clava</i>		6	3	10	4	5			53	10	18	24	3		
<i>Styela coriacea</i>		16	60	29	25	35			##	146	66	80	21		
<i>Dendrodoa grossularia</i>		2			22				10	23	5	8		2	
<i>Molgula manhattensis</i>		10	14	2	3	39			##	168		8			
Céphalocordé															
<i>Amphioxus lanceolatus</i>															9
Poissons															
<i>Syngnathus acus</i>								1							
<i>Solea solea</i>								1							
<i>Lepadogaster bimaculatus</i>											1				



7 . Le benthos intertidal

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 2002, 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 26 juin, le 29 juillet et le 25 août 2002.

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

7.2.1. Méthodologie

7.2.1.1. Prélèvement

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 exprimé en grammes 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.

Prélèvements	26 juin 2002						29 juillet 2002						25 août 2002					
	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.	Poids algues (g)	Nb. I.g.	Poids algues (g)	Nb. I.g.		
1	135,7	25	166,2	66	73,6	18	141,1	20	246,8	4	183,6	21						
2	146,1	31	172,3	53	101,2	13	177,3	45	143,2	12	184,3	18						
3	75,9	15	158,3	59	101,8	22	205,8	50	242,5	5	186,3	15						
4	150,3	18	151,3	51	155,2	31	137,8	17	153,1	4	125,5	13						
5	129,2	17	219,3	102	89,1	17	105,9	23	243,9	22	203,2	6						
6	118,8	34	172,8	60	80,2	6	180,3	28	196,2	7	291,8	29						
7	130,6	53	171,2	49	98,0	15	75,2	25	169,5	9	211,9	24						
8	110,9	28	145,9	32	126,7	23	197,8	36	170,7	10	200,8	21						
9	129,6	38	202,3	113	151,2	17	205,9	36	154,6	6	98,9	5						
10	116,0	16	157,0	45	89,7	13	102,6	32	137,8	6	174,8	14						
11	188,7	45	175,1	82	88,2	13	118,8	29	131,1	5	168,8	12						
12	150,3	26	124,6	72	105,0	14	194,3	23	148,6	7	197,1	12						
13	138,9	28	134,6	73	104,9	10	92,5	12	129,9	7	135,2	22						
14	67,9	19	195,6	150	172,0	21	159,6	17	124,2	4	157,6	20						
15	133,0	28	139,4	92	143,8	20	168,6	16	168,4	4	226,8	22						
16	150,5	30	196,4	61	119,9	20	126,8	15	132,8	4	229,6	16						
Moyenne au m ²	518,1	112,7	670,6	290	450,1	68,25	597,6	106	673,3	29	744,1	67,5						

Tableau 7.1 : Relations 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 et Veulettes

Cette année le plus grand mâle récolté mesurait 15,3 mm (prélèvement du 29 juillet à Veulettes).

A St Valéry, le plus grand mâle récolté en août 2002, mesurait 14,2 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 2002, la plus grande femelle atteignait 11,3 mm (prélèvement du 25 août à St Valéry - femelle vide).

A Veulettes, la plus grande femelle, récoltée en juillet 2002, mesurait 10,5 mm (femelle vide).

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 des radiales « référence » de St Valéry et « 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.

Cette année, le déroulement des opérations s'est effectué selon la procédure prévue (Tableau 7.1).

Depuis 1998, les données sont présentées par année civile, de l'hiver à l'automne.



	1 ère campagne		2 ième campagne		3 ième 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
2002	518,1	670,6	450,1	597,6	673,3	744,1

Tableau 7.2 : Densités estimées des *Fucus* (en g/m²) à St Valéry-en-Caux et à Veulettes entre 1988 et 2002 pendant la période estivale

7.2.3.1. Densité d'algues

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

Les densités de *Fucus vesiculosus* sont plus faibles cette année durant les mois de juin et de juillet (Tableau 7.2) que lors des six années précédentes. Lors de ces deux campagnes de prélèvements, on a pu constater que la zone d'estran était envasée et que les pieds de *Fucus* étaient bien développés en longueur de fronde mais peu fournis en « branche ».

La pousse des algues semble plus tardive avec un maximum de densité observé fin août : 673,3 g/m². L'observation sur le terrain permettait d'ailleurs, avant cette récolte estivale, de constater que les rochers de l'estran étaient bien dégagés de l'envasement et que les pieds de *Fucus* étaient nombreux et bien développés.

La densité moyenne des *Fucus* sur l'année est de l'ordre de 550 g/m² (Figure 7.1), ce qui correspond à un bon recouvrement algal de l'estran retrouvé depuis 1996 .

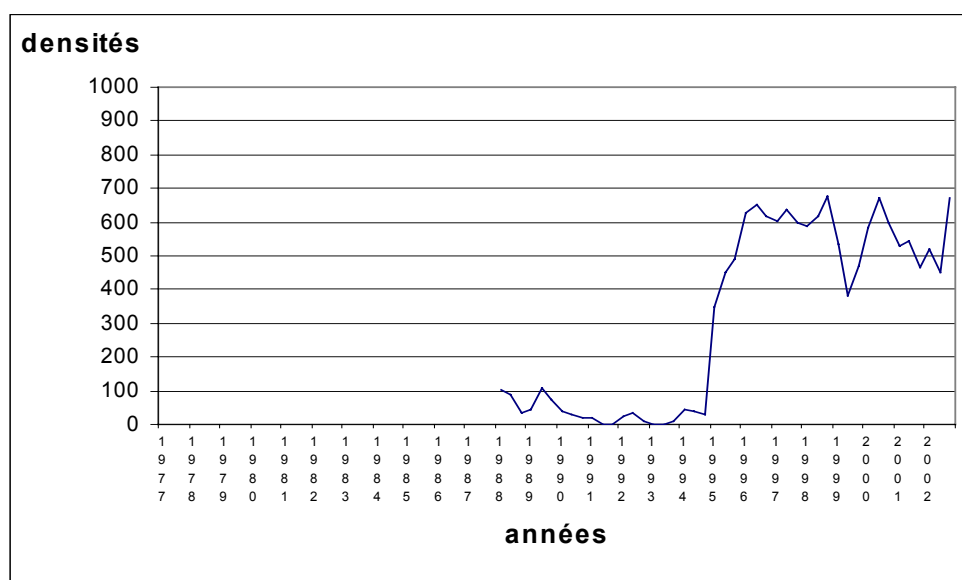


Figure 7.1 : Evolution des densités de *Fucus* (en g/m²) entre 1988 et 2002 à St Valéry

	26 juin 2002		29 juillet 2002		25 août 2002	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
<i>Littorina littoralis</i>	31 + 8 juvéniles	30 + 15 juvéniles	28 + 13 juvéniles + pontes sur algues	15 + 4 juvéniles	28 + 28 juvéniles	29 + 20 juvéniles
<i>Littorina littorea</i>	1	6	15 + 1 juvéniles	4	7 + 1 juvéniles	17
Gibbule	23	46 + 3 juvéniles	75 + 7 juvéniles	133	50	92 + 23 juvéniles
Patelle	13	27	40	25 + 2 juvéniles	19	29 + 4 juvéniles
1. Chiton	1	18	1	4	4	8
2. Pourpre	Pontes	6	2	1	0	2

Tableau 7.3 : Paluel 2002 - Densité des Mollusques au sein des ceintures de *Fucus vesiculosus* (nombre d'individus au m²)

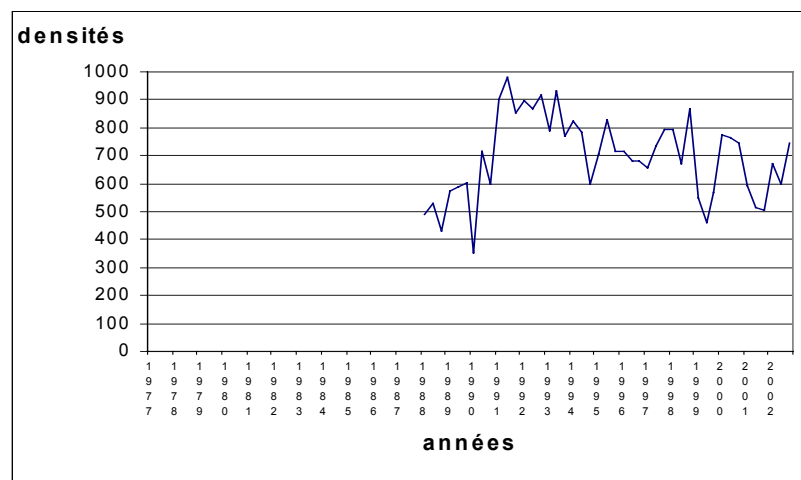


Figure 7.2 : Evolution des densités de *Fucus* (en g/m²) entre 1988 et 2002 à Veulettes

Depuis 1999, où nous avons tenté de corréliser la chute de densité algale à l'importance du broutage par les *Littorina littoralis*, nous procédons à des prélèvements des Mollusques sur un mètre carré, au cours des trois campagnes et sur les deux sites de St Valéry et de Veulettes (Tableau 7.3).

Par rapport à l'année 2001, les abondances de *Littorina littoralis* sont moins élevées : en juin 2001, on dénombrait 58 *Littorina littoralis* au m² et en juin 2002, on ne compte que 31 adultes et 8 juvéniles.

La diminution de densité algale en juin et juillet 2002, ne semble pas être imputable à un broutage des Fucus par le Gastéropode *Littorina littoralis* puisque les chiffres de densité de ce Mollusque sont pratiquement identiques sur les trois campagnes de prélèvements.

7.2.3.1.2. Densité d'algues à Veulettes

Depuis 1996, les prélèvements à Veulettes sont effectués uniquement dans la ceinture à *Fucus vesiculosus*.

Les chiffres de densité algale sont calculés à partir des valeurs pondérales en gramme des 16 prélèvements, rapportées au mètre carré (Tableau 7.1)

Les valeurs de densité algale sont beaucoup plus élevées que celles de l'année dernière (Tableau 7.2).

Fin juin 2002, on observait une couverture algale très étendue, couvrant l'estran jusqu'à la Centrale. Par endroits, on constatait beaucoup de jeunes pieds de *Fucus*, et à d'autres endroits, de grands pieds, bien fournis, en début de maturation.

En juillet 2002, lors des prélèvements de *Fucus*, on pouvait remarquer l'abondance de l'algue *Laurencia*, sous les pieds de Fucus : ceci explique peut-être la valeur de densité de *Fucus* moindre par rapport à celles de juin et d'août.

Le maximum de densité algale est observé cette année en août aussi bien à Veulettes qu'à St Valéry (respectivement 744,1 g/m² et 673,3 g/m²). Peut-être est ce en relation avec l'absence de tempête en août.

A Veulettes, en août, les hauts niveaux de l'estran étaient couverts d'Ulves et d'Entéromorphes.

La densité algale à Veulettes reste toujours plus élevée qu'à St Valéry

La figure 7.2 montre l'évolution des densités de Fucus à Veulettes depuis 1988. On note que les densités sont meilleures en 2002 qu'en 2001. Mais, on constate, en « lissant » la courbe, une lente diminution des densités algales depuis 1992.



	1 ère campagne		2 ème campagne		3 ème 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
2002	112,75	290	68,25	106	29	67,5

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 2002

2.3.2. Densité d'*Idotea granulosa*

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

Les densités d'*Idotea granulosa* (tableau 7.4) sont un peu plus élevées qu'en 2001 lors des deux premières campagnes : 112,75 individus/m² en juin et 68,25 individus/m² en juillet.

En août 2002 on constate une faible densité d'Idotées (29 individus/m²) malgré la forte densité algale relevée à cette époque. Les températures d'eau assez élevées notées sur tout le littoral en août, en sont peut-être la cause.

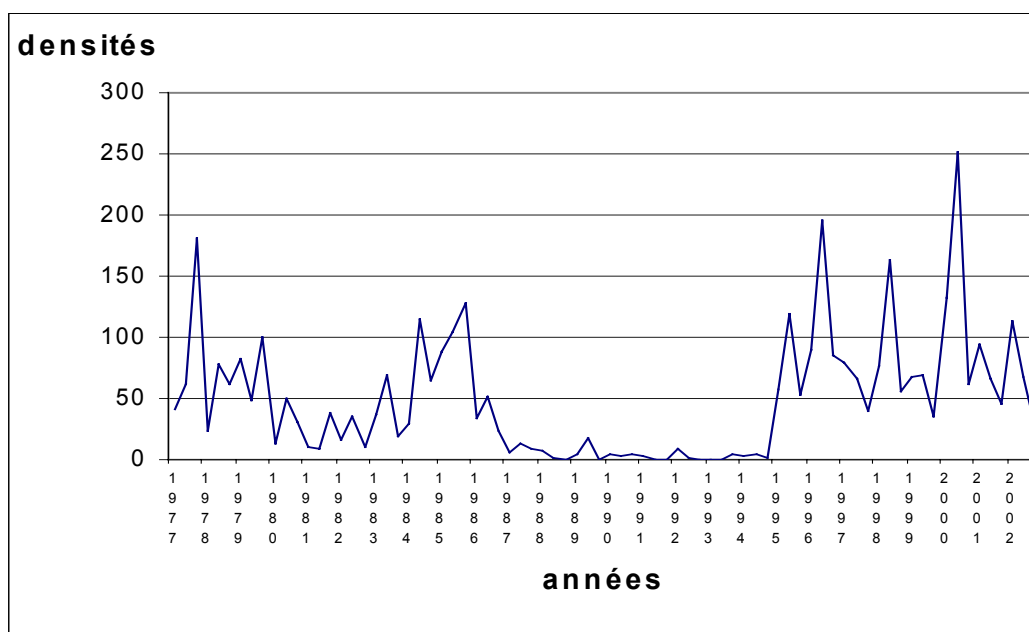


Figure 7.3 : Evolution des densités d'Idotées au m² entre 1977 et 2002 à St Valéry

Nous avons reporté sur la figure 7.3, l'évolution des densités d'Idotées depuis 1997 à St Valéry.

Le pic estival observé en 2002 est moindre qu'en 1996, 98 et 2000.



7.2.3.2.2. Densité d'*Idotea granulosa* à Veulettes

On observe (Tableau 7.4) une forte densité d'*Idotea granulosa* lors des prélèvements du 26 juin : 290 individus au m².

Par contre, lors des deux autres campagnes, en juillet et août, les densités sont plus faibles que l'année dernière. Les températures de l'eau de mer élevées cet été ont sans doute freiné le développement de cette espèce thermosensible.

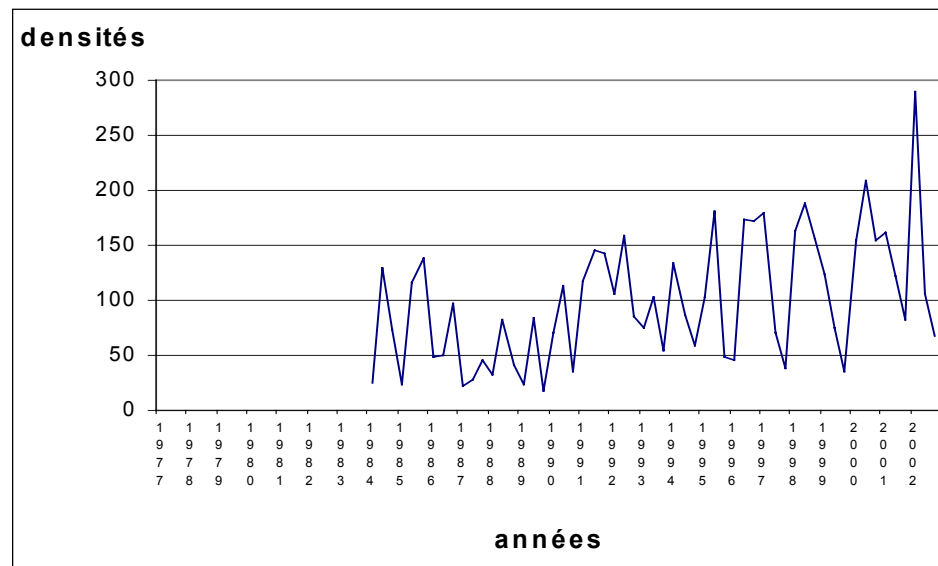


Figure 7.4 : Evolution des densités d'Idotées au m² entre 1984 et 2002 à Veulettes

Depuis 1988, on observe une augmentation régulière du maximum de densité d'Idotées (Figure 7.4) avec une accentuation cette année au mois de juin : la densité atteint 290 individus/m².

On constate également, que les écarts entre maxima et minima de densités s'accroissent.

	1 ère campagne		2 ième campagne		3 ième 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
2002	21,76	43,24	15,16	17,74	4,31	9,07

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.

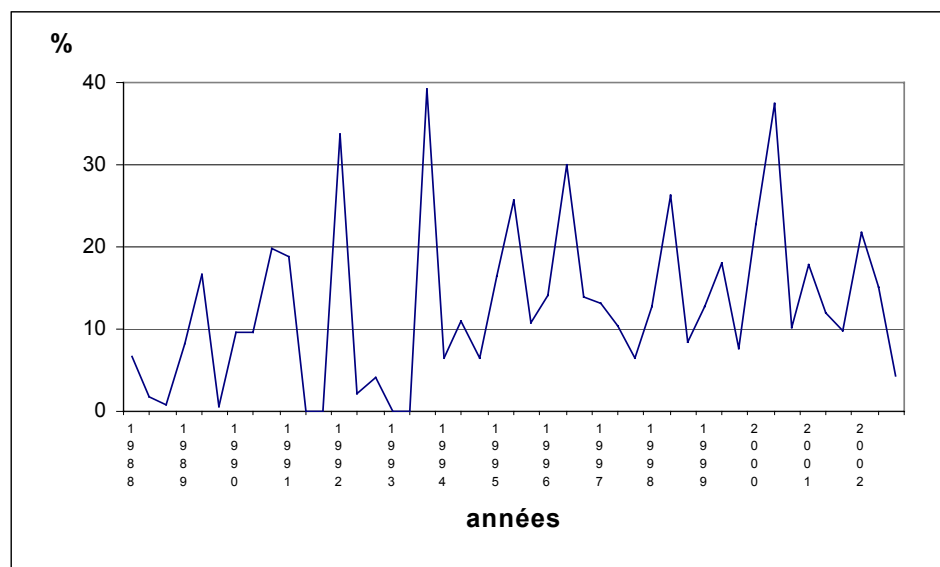


Figure 7.5 : Evolution du rapport densités d'Idotées / 100 g de Fucus depuis 1988 à St Valéry

La représentation graphique de l'évolution du rapport entre la densité des Idotées pour 100g d'algues (Figure 7.5) montre la fluctuation très marquée des valeurs maximales.

On note également cette année, une densité minimale très basse (4,31) que l'on n'avait pas relevée depuis 1992.

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

7.2.3.3.1. 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 en juin et juillet : 15 à 20 Idotées pour 100 g d'algues.

Par contre fin août, on observe une chute du nombre d'Idotées par rapport à la forte quantité d'algues récoltées : 4 individus pour 100g.



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

Comme à St Valéry, on observe à Veulettes (Figure 7.6) une très forte colonisation des algues par *Idotea granulosa*, en juin : pic à 43,24 individus pour 100 g de *Fucus* .

Cette colonisation diminue rapidement au cours de la saison estivale avec un minimum très bas fin août : 9,07 individus pour 100 g d'algues.

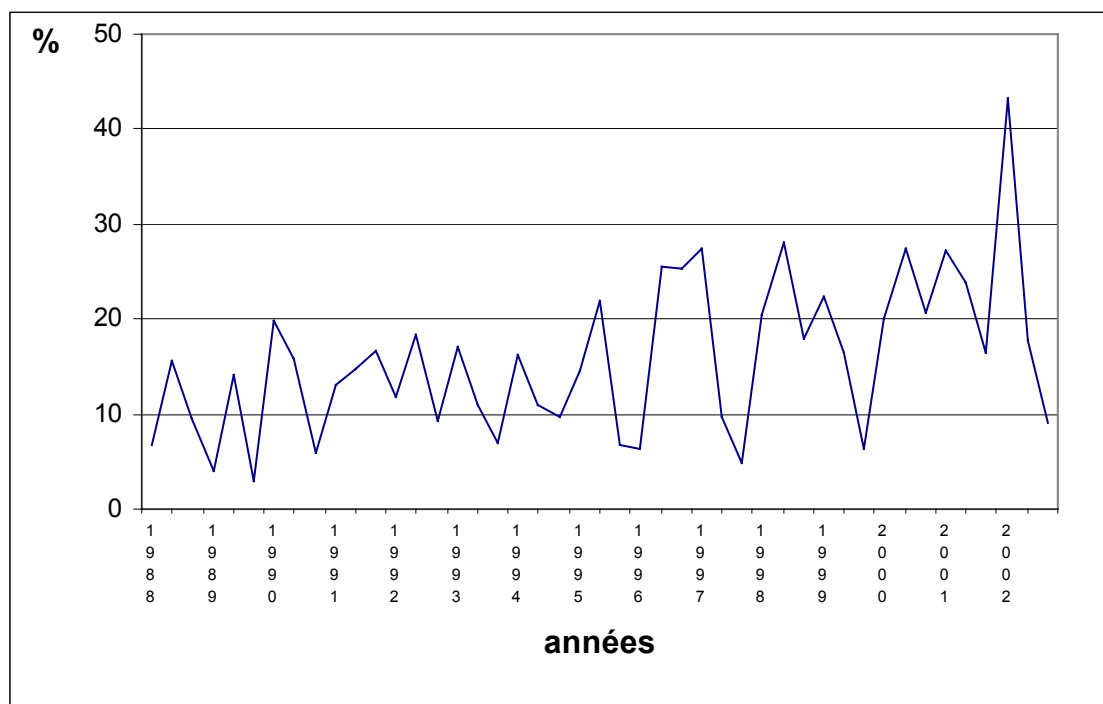


Figure 7.6 : Evolution des densités d'Idotées / 100 g de Fucus depuis 1988 à Veulettes

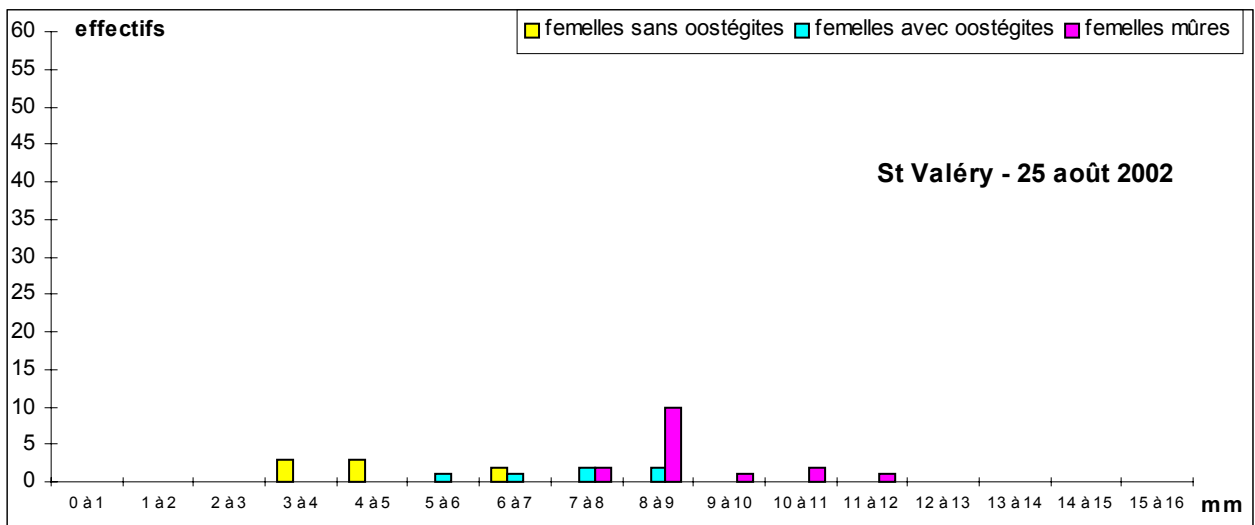
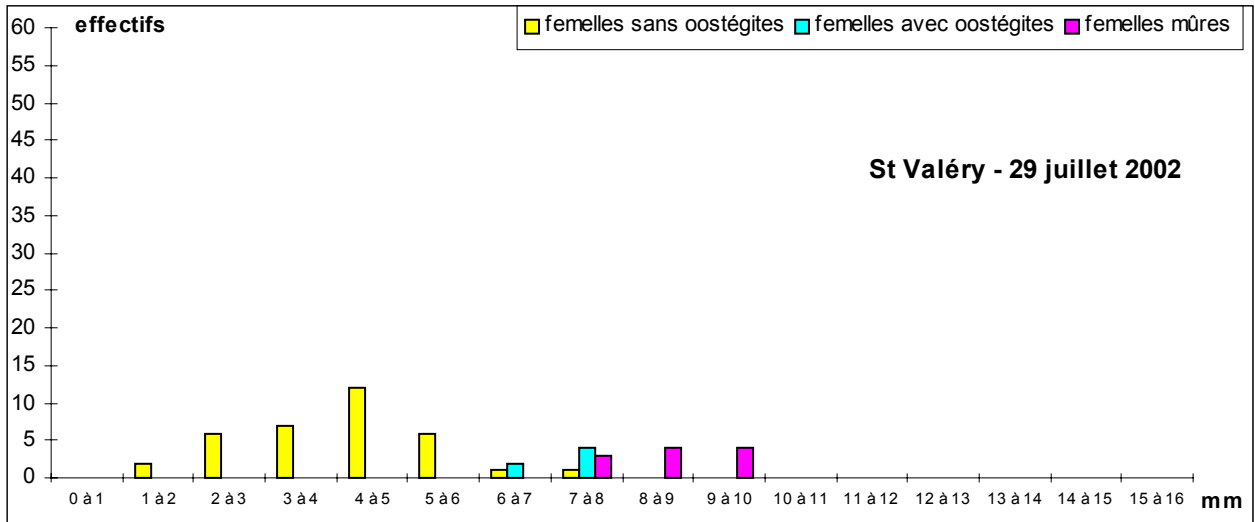
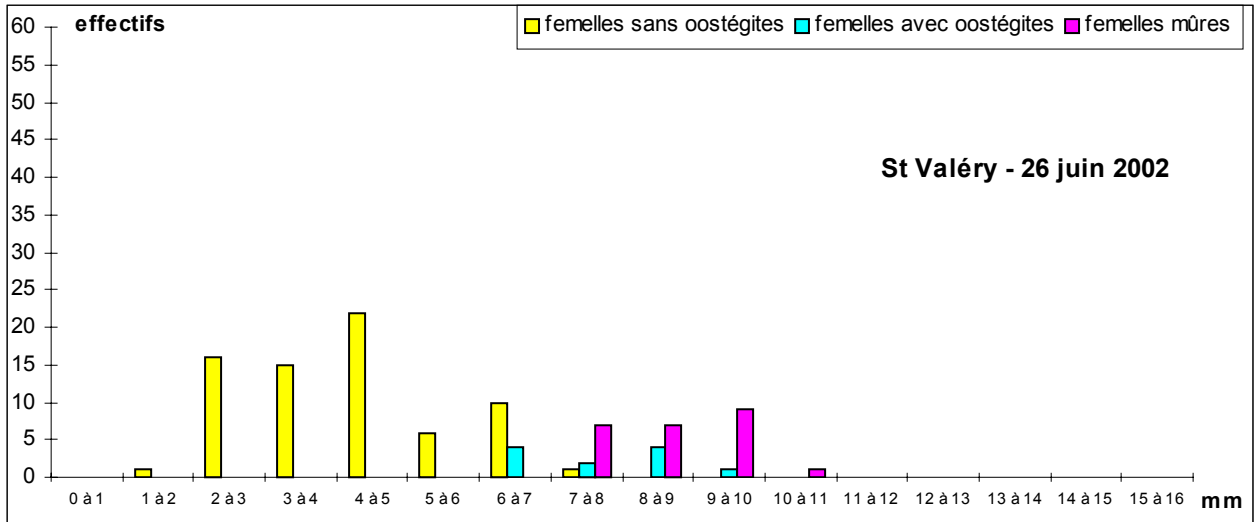


Figure 7.7 : Histogramme de fréquence de taille chez *Idotea granulosa* femelles – St Valéry 2002

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.

Les résultats sont retranscrits dans le tableau 7.6.

	26 juin 2002		29 juillet 2002		25 août 2002	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
% juvéniles	65,88	72,21	67,37	65,27	37,74	61,46
% mâles juvéniles	17,65	28,23	24,21	22,75	11,32	25
% femelles juvéniles	48,23	43,98	43,16	42,52	26,42	36,46
% femelles gravides	5,30	4,81	5,26	16,17	16,98	9,38
% femelles vides	8,82	8,32	6,32	2,99	13,21	3,12
% mâles adultes	20	14,66	21,05	15,57	32,07	26,04
sex-ratio	0,604	0,751	0,827	0,621	0,767	1,043

Tableau 7.6 : Paluel 2002 - Répartition des sexes chez *Idotea granulosa*

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 (48,23 %) et fin juillet (43,16 %) (Tableau 7.6 et figure 7.7).

Chez les femelles juvéniles, c'est la classe des 4 à 5 millimètres qui domine (Figure 7.7).

Chez les juvéniles mâles, la classe des 3 à 4 millimètres prédomine (Figure 7.8).

Fin août, on observe une forte proportion d'adultes : 16,98 % de femelles gravides, 13,21 % de femelles vides et 32,07 % de mâles adultes (Tableau 7.6).



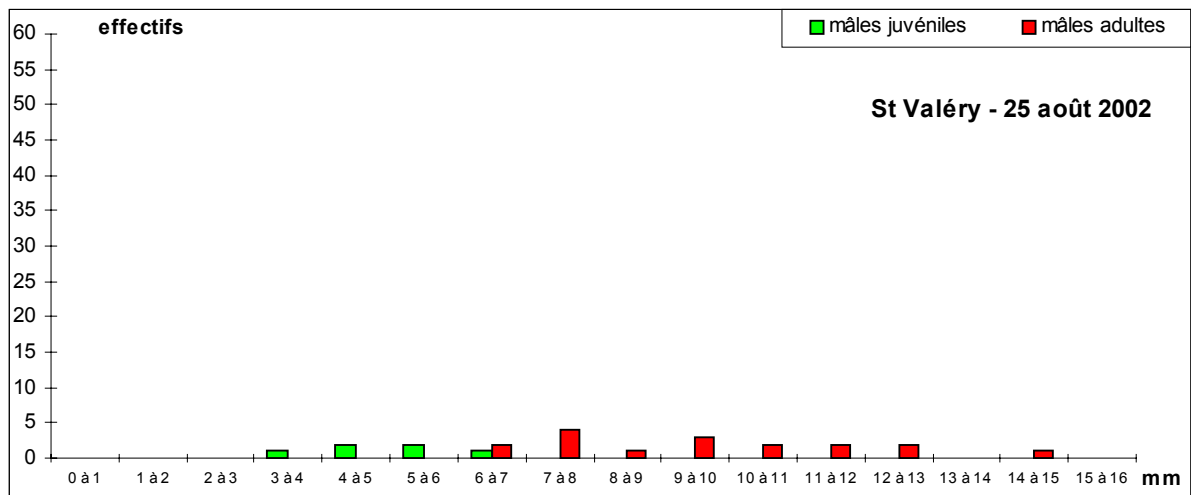
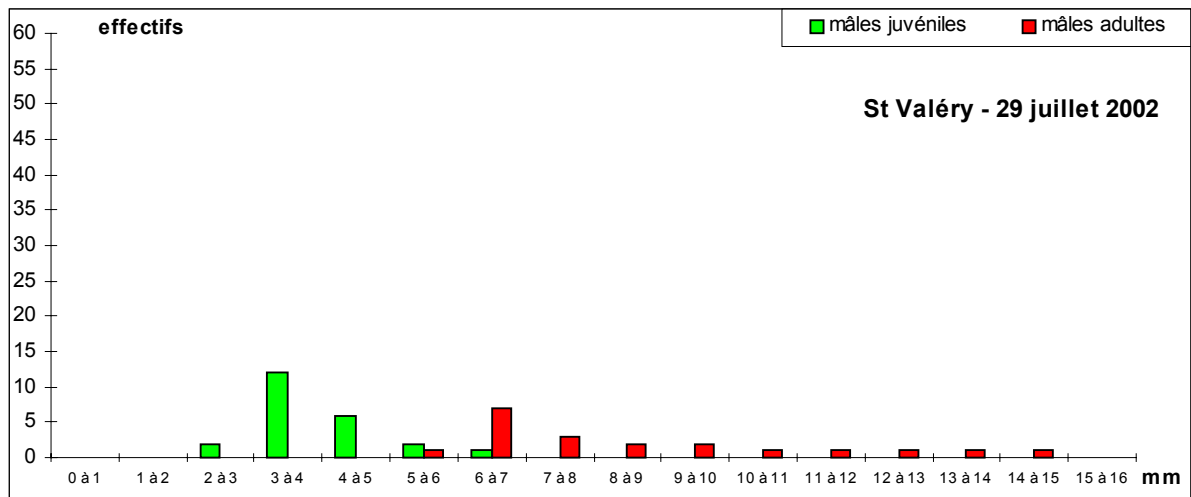
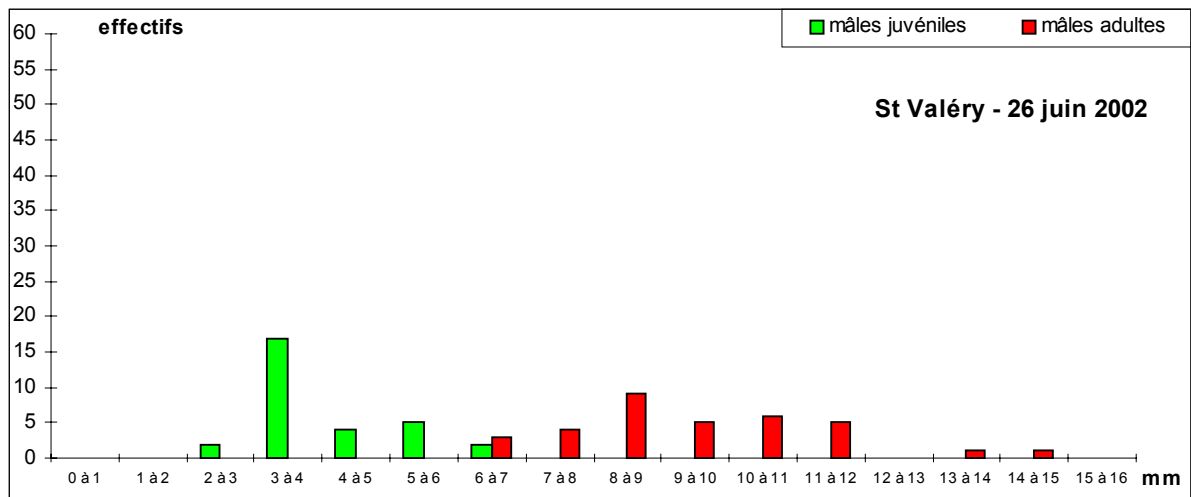


Figure 7.8 : Histogramme de fréquence de taille chez *Idotea granulosa* mâles – St Valéry 2002

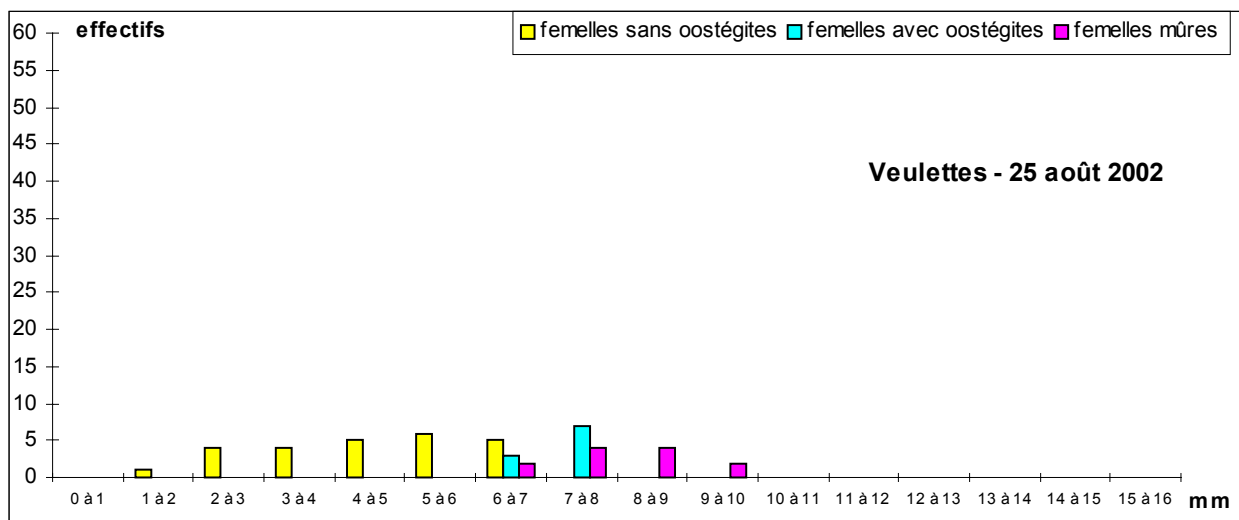
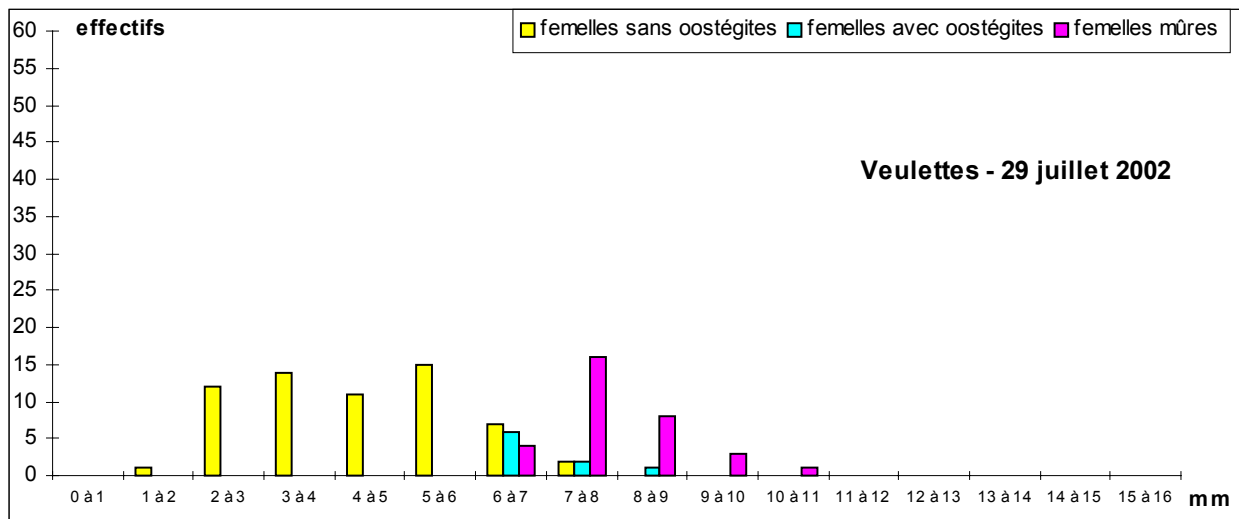
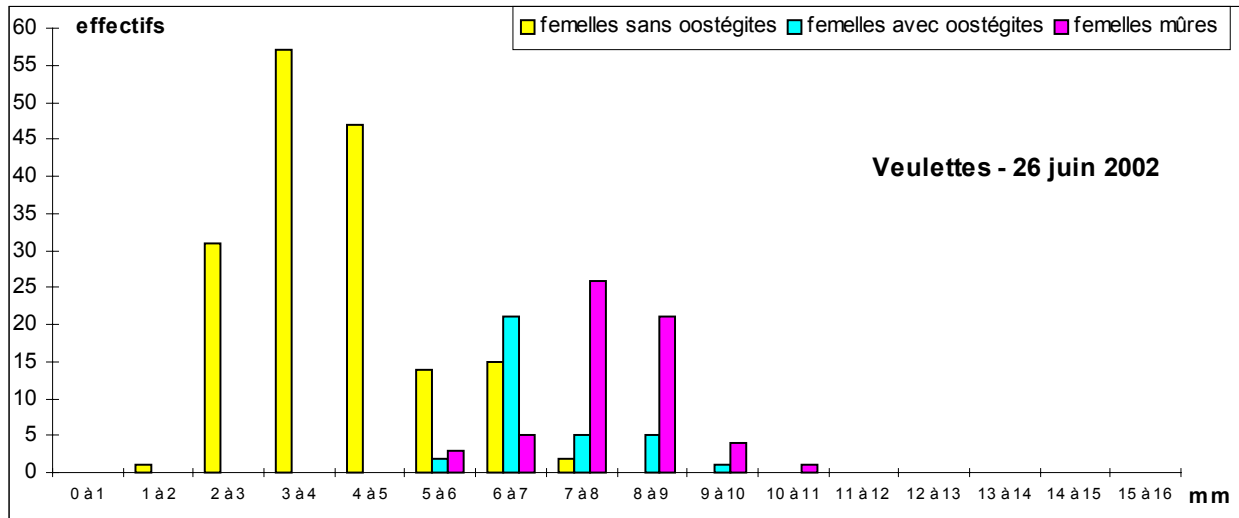


Figure 7.9 : Histogramme de fréquence de taille chez *Idotea granulosa* femelles – Veulettes 2002

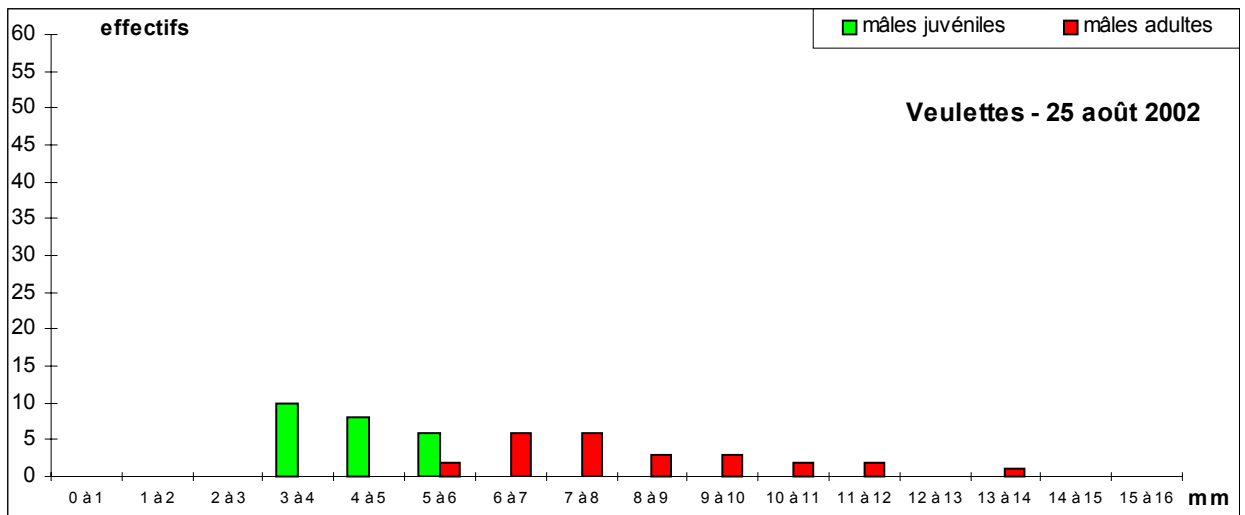
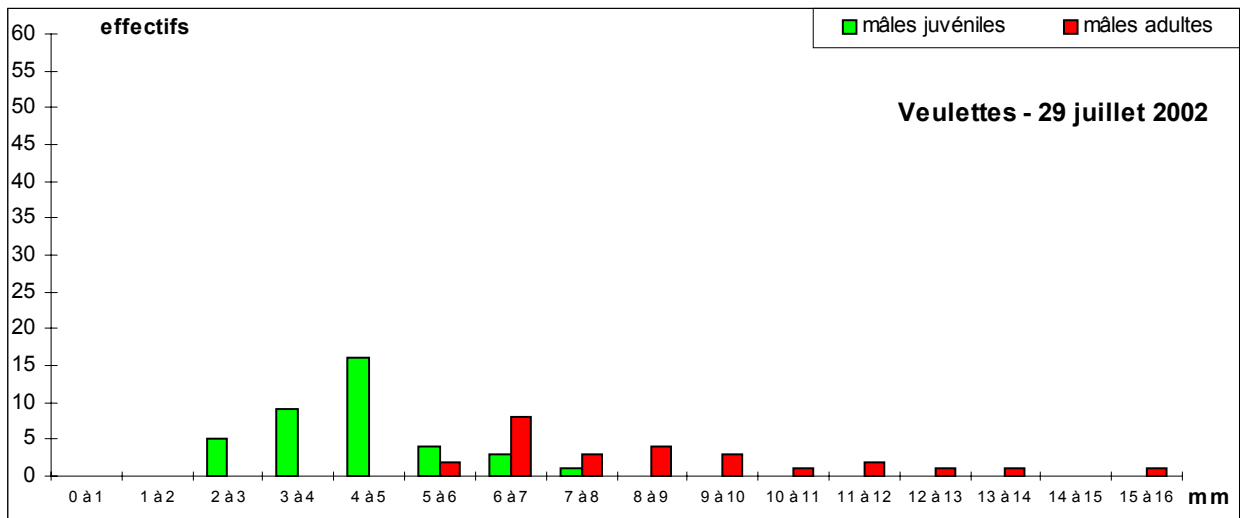
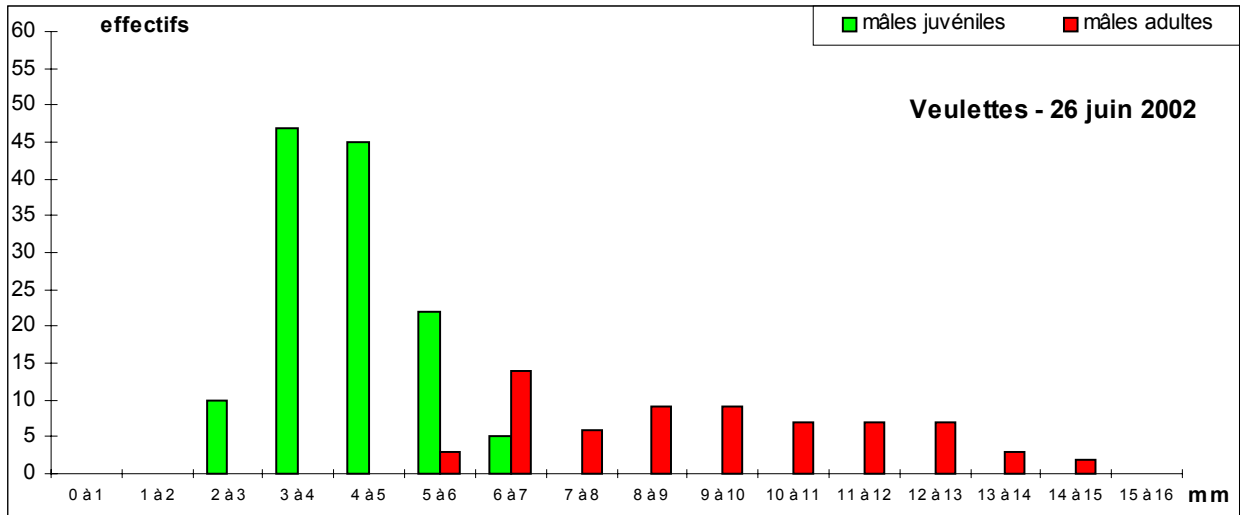


Figure 7.10 : Histogramme de fréquence de taille chez *Idotea granulosa* mâles – Veulettes 2002

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.

A St Valéry, les femelles prédominent pendant toute la saison estivale. Le sex-ratio (rapport entre le nombre de mâles / nombre de femelles) est inférieur à 1.

A Veulettes, il n'y a qu'en août que le nombre de mâles prédominent sur le nombre de femelles (sex-ratio supérieur à 1).

7.3. Conclusion

En 2002, on observe sur l'étage médio-littoral de l'estran de St-Valéry-en-Caux, des densités de *Fucus vesiculosus* plus faibles en ce début d'été que ces dernières années.

On ne peut, cette année, imputer ce phénomène au broutage des frondes par des Gastéropodes *Littorina littoralis*, mais l'estran lors des premières campagnes était très envasé ce qui a peut-être nuit à la pousse des Fucacées.

Par contre en août, on notait un retour à une densité correcte avec de nombreux pieds bien développés.

A Veulettes, les densités de Fucus sont, cette année encore, plus élevées qu'à St Valéry, mais on note sur cet estran « témoin » une diminution régulière de la densité algale au cours des dix dernières années.

Cette année, les campagne de juin et juillet à St-Valéry-en-Caux, montre des densités d'*Idotea granulosa* plus élevées qu'en 2001 à la même période.

Elles sont par contre plus faibles en août 2002. On ne relève que 29 individus au mètre carré alors que la couverture algale est bien développée et doit leur procurer un bon abri.

A Veulettes, on constate des écarts importants entre les campagnes avec un maximum de 290 Idotées au mètre carré en juin et inférieures à 100 durant l'été.



En rapportant la densité des Idotées au poids d'algues (densité d'Idotées / pour 100 g de poids sec de Fucus) on peut constater qu'à St Valéry, en début de saison, les rapports sont corrects de 15 à 20 Idotées/100g de Fucus. Par contre, en août, les valeurs ne sont plus que de 4 Idotées/100g de Fucus. L'analyse des classes d'âge montre une population en déséquilibre.

Ces très faibles densités d'Idotées sont comparables aux résultats enregistrés il y a une dizaine d'années.

La même analyse à Veulettes donne des valeurs élevées lors des premières campagnes.

Le chiffre de 43 Idotées/100g de Fucus en juin correspond à un maximum !

Dans l'état actuel de l'étude il est impossible de mettre en évidence un éventuel impact de la centrale sur la population des fucacées et des Idotées qu'elle abrite.

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

Frank MAHEUX

IFREMER/PORT-EN-BESSIN



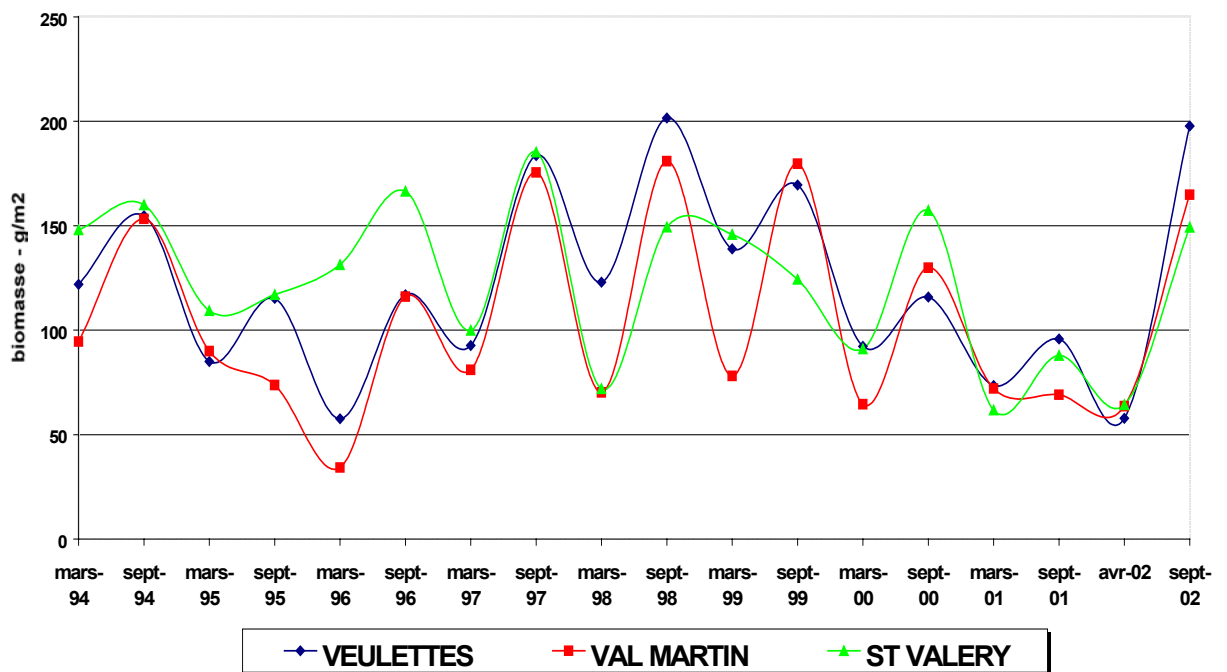


Fig 8.1 : Evolution du stock de *fucus* sp depuis 1994 – Printemps / Automne

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 2002 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 2002 sont exprimées en gramme de poids sec par 0,25m² et sont représentées sur la figure 8,1.

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

- sur le site de Veulettes, nous observons une importante différence saisonnière : 57,8 en avril et 197,8 en septembre. Cette dernière valeur est la plus importante des trois sites.
- sur le site de Val Martin, la différence saisonnière est également très marquée : 63,6 en avril et 164,9 en septembre.
- en ce qui concerne le site de St Valéry en Caux, même remarque que précédemment avec 64,3 en avril et 149,3 en septembre.

Note : les valeurs des biomasses printanières sont très proches les unes des autres : 57,8 ; 63,6 et 64,3.



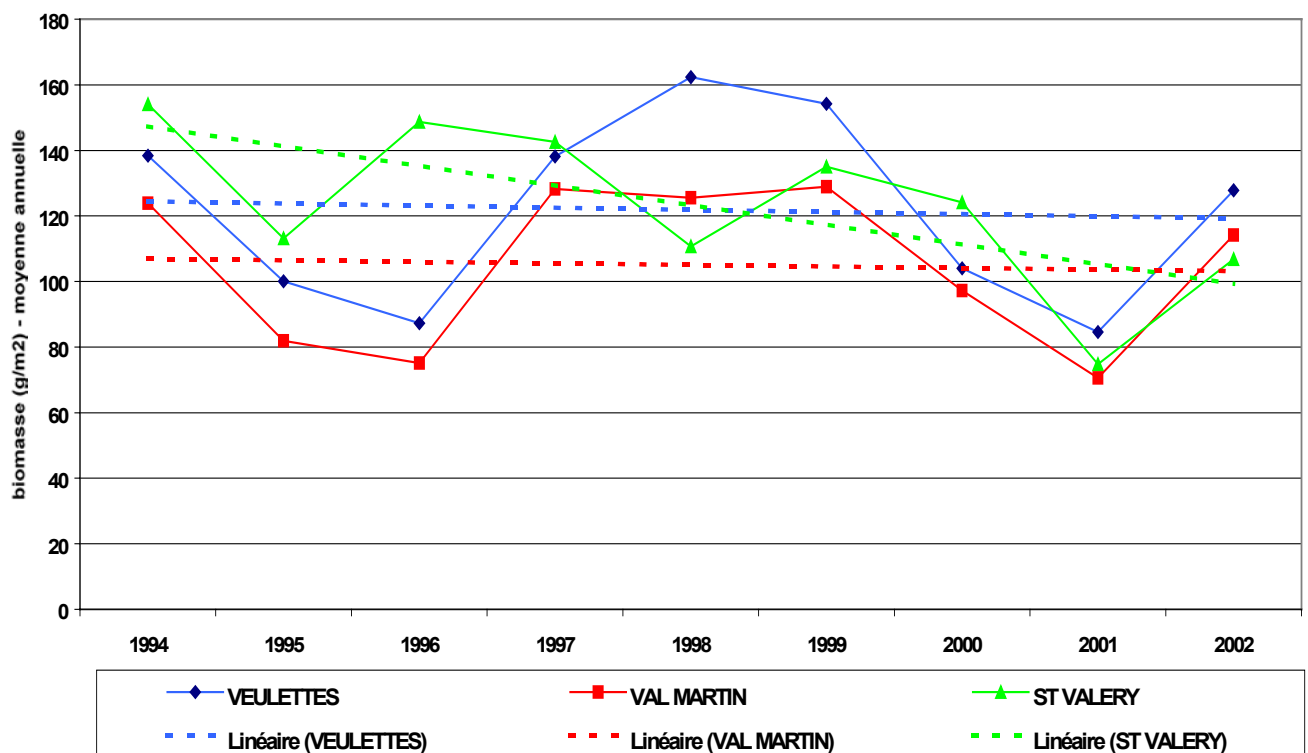


Fig 8.2 : Evolution moyenne de la biomasse annuelle de *Fucus* sp depuis 1994

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

Au cours des neuf ans de suivi, un cycle saisonnier du stock de fucacées a été mis en évidence tant au niveau de la biomasse que de la fertilité (très fertile en automne, faible et peu fertile au printemps). Ces variations saisonnières sont par ailleurs visibles sur la figure 8.1

Comme effectué depuis maintenant 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 8.2). 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	0,0039	Non significatif
St Valery	0,43	Non significatif
Val Martin	0,0028	Non significatif

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

L'examen de ces coefficients non-significatifs nous montre à l'évidence qu'il n'existe pas depuis 1994 de tendance linéaire.

Les résultats de cette année 2002, après les très faibles valeurs mesurées en 2001 confirme la tendance cyclique de la variation de cette biomasse moyenne de *Fucus sp.*

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

8.4. Taux de fertilité

Le suivi de l'étude de fertilité est basé sur la présence ou non de conceptacles à l'extrémité des thalles de *Fucus sp* prélevés dans les quadrats de 0,25 m².

Les taux de fertilité mesurés en 2002 sur les trois sites d'étude sont les suivants :

- Une fertilité moyenne plutôt faible (entre 10% et 20%) au printemps, mais habituelle en septembre (autour de 80%)
- pas de différence significative entre les trois sites étudiés.

8.5. Conclusion

Les relevés effectués au cours de l'année 2002 ont montré :

- une très nette recolonisation des différents platiers étudiés depuis 1994, après avoir mesuré de très faibles valeurs en 2001.
- L'analyse statistique des résultats que nous cumulons maintenant depuis neuf ans nous permet de penser qu'il n'y a pas d'évolution notable de la biomasse de *fucus sp.* Toutefois nous commençons à discerner un cycle naturel saisonnier qui est de l'ordre de trois ans.
- Une fertilité des pieds de *Fucus sp* globalement comparable à celle observée depuis plusieurs années avec logiquement un minimum printanier (entre 10% et 17%), et un maximum automnal (entre 70% et 90%). Cependant les taux printaniers sont plus faibles qu'en 2001 (entre 20% et 27%).





9 . Halieutique

Rapport

Jean-Paul DELPECH

Participation

Pascal RAULIN





9.1 Situation au 31.12.2001 des effectifs et des caractéristiques des flottilles artisanales du quartier maritime de Fécamp.

Les 38 bateaux artisans (les bateaux de pêche industriels ne sont pas pris en compte dans la présente analyse puisque ne travaillant pas dans les eaux côtières du quartier maritime) immatriculés au quartier maritime de Fécamp au 31 décembre 2001 et rangés selon 3 classes de longueur, présentent les caractéristiques moyennes suivantes (source : CRTS de Boulogne-sur-mer):

	Long (mètres)	Jauge (tx)	Puiss (kw)	Année construction	nombre
longueur L < 10 m	8.33	4.11	75.88	1987	9
10m < L < 17m	12.65	16.75	176.35	1984	20
L > 17m	21.77	92.66	451.33	1980	9
					38

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

L'année de construction moyenne montre que l'ensemble de la flottille est très âgée et souffre donc, comme la plupart des flottilles, d'un taux de renouvellement très faible.

La répartition des navires par port d'exploitation est globalement très stable dans le temps comme le montre le tableau ci-dessous :

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

Les métiers pratiqués sont ceux classiquement observés les années précédentes. Le tableau ci-dessous en détaille le nombre de mois*bateau déclaré (source : Ifremer Dieppe):

	JV	FV	MS	AV	MI	JN	JL	AT	ST	OT	NV	DC	Total
Metiers du chalut	7	7	7	7	7	12	12	12	12	5	5	5	98
Métiers du filet	22	22	22	22	22	23	22	23	23	22	22	22	267
Divers métiers	6	6	6	7	9	5	3	3	4	13	12	11	85
Total:	35	35	35	36	38	40	37	38	39	40	39	38	450

9.2. Production

En 2001, 9400 tonnes de produits de la mer ont été vendues en criée de Fécamp, soit une hausse d'environ 35 % par rapport à 2000 (source : Coopérative maritime de Fécamp ; voir le tableau ci-joint).

Comme chaque année, ce sont les trois espèces pélagiques (sardine, hareng et maquereau) qui représentent les plus forts tonnages ; les débarquements de chincharde sont quasiment doublés, sans doute en raison de meilleures possibilités de commercialisation en 2001.

Les débarquements de **cabillaud** (180 tonnes) sont en recul très net par rapport à l'année 2000 (305 tonnes), donc en baisse très sensible d'un point de vue historique.

Il s'agit d'un phénomène général puisque observé dans toute la Manche et la mer du Nord, confirmant nos observations des années précédentes. Cette chute des captures est un révélateur de l'état de santé général du stock de ce secteur géographique et justifie la mise en place au niveau communautaire d'un plan de restauration du stock. Ce plan est en cours d'application et 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, la seiche et le turbot représentent une part significative du chiffre d'affaires global.



Conclusion



1 – L'Hydrologie

Les résultats du programme de surveillance 2002 du site de Paluel indiquent que les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau ont été très influencées par les pluies de printemps et d'été.

Ce phénomène a engendré une augmentation des débits des fleuves côtiers qui ont provoqué des faibles valeurs salinités en mars et juillet parallèlement à l'augmentation des concentrations en sels minéraux dissous et en MES. 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.

Les paramètres hydrologiques mesurés lors des campagnes 2002 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 l'ensoleillement, suivi durant l'automne de processus de régénération. Ce dernier phénomène n'a pas été observé sur l'ensemble des sels minéraux, ce qui met en évidence une activité phytoplanctonique encore active à la mi-septembre.

Un récapitulatif des paramètres présentant des différences identifiées à partir de l'étude statistique réalisée sur les données acquises depuis 1988 est présenté dans le tableau 9.

Tableau 9 :
Récapitulatif des paramètres présentant des différences significatives.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	Température	Température Salinité Nitrate+Nitrite	Température --- Nitrate+Nitrite
REFERENCE / REJET	Température Salinité --- --- MES	Température Salinité --- Nitrate+Nitrite ---	Température --- Ammonium Nitrate+Nitrite MES
CANAL / REFERENCE	Salinité --- MES	Salinité Nitrate+Nitrite MES	Salinité --- MES

Cette étude a révélé que la température présente toujours des valeurs 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 du rejet (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 la tâche thermique reste localisée près de la centrale.

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

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

2 – La Microbiologie

La surveillance microbiologique du site de la centrale de Paluel pendant l'année 2002 donne les résultats suivants :

- Le nombre de germes totaux retrouvés dans l'eau de mer est le même au large et aux points aménageés et rejet des eaux de refroidissement de la centrale. Ce résultat est identique à celui de la campagne 2001.

- Le nombre de germes revivifiables contenus dans les eaux du canal d'aménageé de la centrale de PALUEL est cette année plus important que celui des points référence et rejet. Ceci est particulièrement vrai en été et en automne. Par rapport à l'année 2001, on note une nette augmentation du nombre de germes quelle que soit la saison.

- Il y a présence cette année en été et en automne de vibrio-halophiles du genre *Vibrio alginolyticus* et *vibrio vulnificus* aux trois points de contrôle de l'environnement marin de la centrale de PALUEL.

En 2001, des vibrio halophiles avaient été retrouvés en été également.

➤ Le dosage des organo-halogénés volatils montre la présence de tribromométhane aux trois points de surveillance des environs marins de la centrale de PALUEL en été (point référence) et en automne (points amenée et rejet). Les valeurs de tribromométhane des eaux de rejet de la centrale sont sensiblement les mêmes que celles obtenues en 2001.

3 – Le Phytoplancton

La biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances cellulaires montrent une évolution inter-annuelle et saisonnière similaire. Le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Manche, avec des biomasses comprise entre 0,8 et 1,4 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Les plus faibles variabilités spatiales de la biomasse, de la production primaire et de l'abondance sont observées au printemps. Le point « référence » présente la plus faible variabilité saisonnière, essentiellement au printemps et en automne.

Les faibles salinités printanières et estivales ont eu comme conséquence une forte concentration en nitrate qui ne s'est pas traduit par de fortes biomasses et production phytoplanctoniques au moment des campagnes. L'explication de ce paradoxe résulte probablement des fortes concentrations en MES qui ont empêché les développements algaux.

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

De plus, comme les valeurs des paramètres et descripteurs utilisées ne sont pas systématiquement supérieures au point « rejet », nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu par l'activité de la centrale de Paluel à partir de l'étude du compartiment phytoplanctonique en 2002.

4 – Le Zooplancton

En 2002, l'examen des populations zooplanctoniques ne permet pas de conclure à un impact sur le milieu proche des eaux chaudes rejetées par la centrale de Paluel. Les valeurs des différents paramètres sont comprises dans les limites habituelles de variations observées depuis la mise en place de la surveillance du site.

5 – 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.

Au large, il est dominé comme les années précédentes par les mêmes espèces (*Ophiothrix fragilis*, *Styela coriacea*, *Thelepus setosus*, *Pisidia longicornis*, *Pomatoceros triqueter*, , *Styela clava* et *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 typique 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 par les Tuniciers et des Annélides tubicoles de substrat dur (depuis 1990).

La transition avec les sables hétérogènes s'effectue depuis 1993 au niveau de la station 16, qui est depuis cette période la station dans laquelle le sédiment est le plus fluctuant.

L'abondance de *Crepidula fornicata* à la station 16 est confirmée depuis 1998 : l'espèce est connue pour s'installer durablement et modifier éventuellement le substrat ; sa très forte augmentation d'abondance correspond à un phénomène de type invasif, sans doute facilité par les variations du substrat.

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

La nouvelle répartition spatio-temporelle des stations de prélèvement paraît toujours bien adaptée à la variabilité observée sur le site: une campagne au printemps et une en automne, complétées de prélèvements intermédiaires aux stations 1 et 6, qui constituaient au début du suivi la partie la plus variable de la zone, recentrées sur la zone côtière proche de la centrale, et qui permettent le cas échéant de lier d'éventuelles fluctuations globales des peuplements benthiques à la variabilité spatio-temporelle du recrutement de certaines espèces (*Mytilus edulis*, les Tuniciers). Le suivi de la station 2 paraît suffisant pour vérifier la stabilité interannuelle de la zone située plus au large.

6 – Le Benthos intertidal

En 2002, on observe sur l'étage médio-littoral de l'estran de St-Valéry-en-Caux, des densités de *Fucus vesiculosus* plus faibles en ce début d'été que ces dernières années.

On ne peut, cette année, imputer ce phénomène au broutage des frondes par des Gastéropodes *Littorina littoralis*, mais l'estran lors des premières campagnes était très envasé ce qui a peut-être nuit à la pousse des Fucacées.

Par contre en août, on notait un retour à une densité correcte avec de nombreux pieds bien développés.

A Veulettes, les densités de *Fucus* sont, cette année encore, plus élevées qu'à St Valéry, mais on note sur cet estran « témoin » une diminution régulière de la densité algale au cours des dix dernières années.

Cette année, les campagnes de juin et juillet à St-Valéry-en-Caux, montre des densités d'*Idotea granulosa* plus élevées qu'en 2001 à la même période.

Elles sont par contre plus faibles en août 2002. On ne relève que 29 individus au mètre carré alors que la couverture algale est bien développée et doit leur procurer un bon abri.

A Veulettes, on constate des écarts importants entre les campagnes avec un maximum de 290 Idotées au mètre carré en juin et inférieures à 100 durant l'été.

En rapportant la densité des Idotées au poids d'algues (densité d'Idotées / pour 100 g de poids sec de *Fucus*) on peut constater qu'à St Valéry, en début de saison, les rapports sont corrects de 15 à 20 Idotées/100g de *Fucus*. Par contre, en août, les valeurs ne sont plus que de 4 Idotées/100g de *Fucus*.

L'analyse des classes d'âge montre une population en déséquilibre.

Ces très faibles densités d'Idotées sont comparables aux résultats enregistrés il y a une dizaine d'années.

La même analyse à Veulettes donne des valeurs élevées lors des premières campagnes.



Le chiffre de 43 Idotées/100g de Fucus en juin correspond à un maximum !

Dans l'état actuel de l'étude il est impossible de mettre en évidence un éventuel impact de la centrale sur la population des fucacées et des Idotées qu'elle abrite.

7 – Le Phytobenthos intertidal

Les relevés effectués au cours de l'année 2002 ont montré :

* une très nette recolonisation des différents platiers étudiés depuis 1994, après avoir mesuré de très faibles valeurs en 2001.

* L'analyse statistique des résultats que nous cumulons maintenant depuis neuf ans nous permet de penser qu'il n'y a pas d'évolution notable de la biomasse de *fucus sp*.

Toutefois nous commençons à discerner un cycle naturel saisonnier qui est de l'ordre de trois ans.

* Une fertilité des pieds de *Fucus sp* globalement comparable à celle observée depuis plusieurs années avec logiquement un minimum printanier (entre 10 et 17%), et un maximum automnal (entre 70 et 90%). Cependant les taux printaniers sont plus faibles qu'en 2001(entre 20 et 27%).

