

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



ifremer

Luis LAMPERT

Françoise DAGAULT
Dominique DAVOULT
Nicolas LOQUET
Frank MAHEUX
Jean-Paul DELPECH

mars 2004 – Rapport RST 05/01 LERN

Surveillance écologique et halieutique du site Electronucléaire de Paluel

Année 2004

Rapport scientifique annuel

Commande EDF 5100-CSI-4200032099

| | |
|--|---|
| Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques) | |
| Numéro d'identification du rapport : RST 05.01 LERN | date de publication : mars 2005 |
| Diffusion : libre - restreinte - interdite | nombre de pages : 173 |
| Validé par : L. LAMPERT | bibliographie : Oui |
| Adresse électronique : llampert@ifremer.fr | illustration(s) : Oui |
| - chemin UNIX : | langue du rapport : Français |
| - adresse WWW : | |
| Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom | Organisme / Direction / Service, laboratoire |
| LAMPERT Luis | IFREMER / LERN |
| DAVOULT Dominique | Station marine de Roscoff |
| DELPECH Jean-Paul | IFREMER/ Boulogne / DRV/ RH |
| LOQUET Nicolas | GEMEL Picardie |
| MAHEUX Frank | IFREMER / LERN |
| DAGAULT Françoise | IFREMER / DEL / AR |
| Collaborateur(s) : nom, prénom | Organisme / Direction / Service, laboratoire |
| CRASSOUS Marie-Pierre | IFREMER / DEL / EC-PP |
| d'ELBEE Jean | LAPHY / Biarritz |
| du BOULAY Hervé | IFREMER / LERN |
| JUSTOME Vincent | IFREMER / LERN |
| LE GOFF Ronan | IFREMER / LERN |
| PIERRE-DUPLESSIX Olivier | IFREMER / LERN |
| RAULIN Pascal | IFREMER/ Boulogne / DRV/ RH |
| Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Electricité de France (EDF) - Production Transport - C.N.P.E. de Paluel B.P. 48 – 76450 CANY BARVILLE | |
| Titre du contrat : _____ n° de contrat Ifremer | |
| Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) IFREMER Centre de Boulogne/Mer, 150 quai Gambetta, 62321 BOULOGNE / MER CEDEX IFREMER Station de Port-en-Bessin, Av. du Général de Gaulle, 14 520 Port-en-Bessin IFREMER Station de Saint-Malo, BP 46, 35 402 Saint-Malo Cedex GEMEL PICARDIE, RUE DE LA CHAPELLE, 80410 LE HOURDEL LAPHY - Centre d'études et de recherches halieutiques, B.P. 89, 64 200 Biarritz CEOBM UMR 7127 CNRS-UPMC, BP 74, 29682 Roscoff | |
| Responsable scientifique : Luis LAMPERT - IFREMER / LERN | |
| Cadre de la recherche : | |
| Programme : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin | Convention de marché : EDF n° C4S62C50001 |
| Projet : I.G.A. Impact des Grands Aménagements | Autres (préciser) : |
| Campagne océanographique : IGA 1-2-3, 2004, NO THALIA. | |

| |
|--|
| Résumé : <i>L'étude n°27 du site électronucléaire de Paluel (département de la Seine-Maritime) concerne l'année 2004. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2004 est la 21^{ème} année de fonctionnement de la Centrale.</i> |
| Abstract : <i>Monitoring n°27 of the Paluel nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2004. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for twenty years.</i> |
| Mots-clés : <i>Centrale nucléaire Paluel, Surveillance ; Benthos, Halieutique, Pelagos.</i> |
| Keywords : <i>Paluel, Monitoring, Nuclear power plant ; Benthos, Fisheries, Pelagos.</i> |
| Commentaire : Ce document doit être cité de la manière suivante : <u>Référence générale</u> LAMPERT. L (coordinateur) <i>et al.</i> (2004) - Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel, année 2004 - Rapport scientifique annuel. Rapp. IFREMER RST. 05.01 LERN, mars 2005, 173 pp. <u>Référence particulière</u> |

SOMMAIRE

Résumé

| | |
|------------------------|---|
| Préambule | 1 |
|------------------------|---|

| | |
|---------------------------|---|
| Introduction | 3 |
|---------------------------|---|

1. Généralités

| | |
|--|----|
| 1.1. Introduction | 6 |
| 1.2. Géographie | 6 |
| 1.3. Géologie | 7 |
| 1.4. Hydrographie continentale | 8 |
| 1.5. L'Hydrographie marine | 10 |
| 1.6. Climatologie | 11 |
| 1.7. Fonctionnement de la centrale lors des campagnes pélagiques | 17 |
| 1.6. Travaux réalisés par l'IFREMER | 23 |

2. L'hydrologie

| | |
|---|----|
| 2.1. Méthode | 26 |
| 2.2. Résultats des mesures de la surveillance pour l'année 2003 | 28 |
| 2.2.1. Température | 29 |
| 2.2.2. Salinité | 35 |
| 2.2.3. Ammonium | 40 |
| 2.2.4. Nitrate et nitrite | 43 |
| 2.2.5. Matières en suspension | 46 |
| 2.2.6. Trihalométhanes | 49 |
| 2.2.2. Bore | 51 |
| 2.3. Conclusion | 53 |

3. La microbiologie

| | |
|--|----|
| 3.1. Introduction | 57 |
| 3.2. Matériel, méthodes d'analyses et détermination | 57 |
| 3.3. Résultats | 59 |
| 3.3.1. Dénombrement des germes totaux en épifluorescence | 60 |
| 3.3.2. Dénombrement des germes revivifiables | 63 |
| 3.3.3. Recherche de vibrio-halophiles | 66 |
| 3.4. Conclusion | 70 |

4. Le phytoplancton

| | |
|---|----|
| 4.1. Introduction | 73 |
| 4.2. Matériel et méthode | 73 |
| 4.3. Résultats | 75 |
| 4.3.1. Biomasse chlorophyllienne | 75 |
| 4.3.2. Production primaire | 78 |
| 4.3.3. Microphytoplancton | 81 |
| 4.3.4. Populations observées en 2004 | 83 |
| 4.4. Bilan des résultats entre <i>canal</i> et <i>rejet</i> | 87 |
| 4.5. Conclusion | 88 |

| | |
|--|------------|
| 5. Le zooplancton | 90 |
| 5.1. Introduction..... | 91 |
| 5.1. Matériel et méthodes..... | 91 |
| 5.1. Résultats | 92 |
| 5.3.1. Biomasse zooplanctonique..... | 93 |
| 5.3.2. Abondances zooplanctoniques..... | 95 |
| 5.3.3. Étude faunistique | 98 |
| 5.3.4. Bilan entre <i>canal</i> et <i>rejet</i> | 105 |
| 5.3. Conclusion..... | 106 |
| 6. Le benthos subtidal..... | 107 |
| 6.1. Introduction..... | 108 |
| 6.2. Méthodologie..... | 109 |
| 6.3. Résultats | 112 |
| 6.3.1. Analyse granulométrique | 112 |
| 6.3.2. Analyse faunistique..... | 114 |
| 6.4. Conclusion..... | 119 |
| 7. Benthos intertidal..... | 126 |
| 7.1. Introduction..... | 127 |
| 7.2. Écologie et biologie d' <i>Idotea granulosa</i> | 127 |
| 7.3. Méthodologie..... | 128 |
| 7.4. Résultats | 130 |
| 7.5. Évolution à long terme du benthos..... | 140 |
| 7.4. Conclusions..... | 148 |
| 8. Le phytobenthos intertidal | 149 |
| 8.1. Généralités | 150 |
| 8.2. Matériel et méthodes..... | 150 |
| 8.3. Résultats | 151 |
| 8.4. Analyse des tendances temporelles du Fucus | 156 |
| 8.5. Conclusion..... | 157 |
| 9. Halieutique | 158 |
| 9.1. Situation au 31.12.2003 | 159 |
| 9.2. Production | 160 |
| CONCLUSIONS | 162 |

Résumé

Contrairement à la situation observée en 2003, lors de cette dix-septième année de surveillance écologique et halieutique de la centrale électronucléaire de Paluel, les conditions climatiques n'ont pas été aussi contrastées. Les températures sont restées en dessous des valeurs médianes enregistrées depuis 1988. Les faibles précipitations du début de l'année ont entraîné des faibles apports fluviaux, qui ont eu comme conséquence les faibles salinités du printemps. Le niveau de concentration en azote minéral dissous a été supérieur aux médianes de la série pluriannuelle 1988-2003 sur les trois campagnes de l'année. Les concentrations en matières en suspension (MES) ont dépassé les médianes pluriannuelles en été et en automne, probablement à cause des fortes conditions de mer rencontrées lors de ces deux campagnes. Seule la valeur de la concentration en bromoforme au point *rejet* en septembre a dépassé le seuil analytique de la méthode utilisée. Les concentrations en bore dans l'eau de mer ont été particulièrement élevées au mois de juin.

Les concentrations des germes totaux reste stable, tandis que celle des germes revivifiables est en diminution. Les résultats obtenus en 2004 confirment la dominance du vibron halophile *Vibrio alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale de Paluel et tout particulièrement en été et automne.

Dans le compartiment phytoplanctoniques, les faibles valeurs de biomasse, production primaire et abondances cellulaires du printemps contrastent avec les fortes concentrations nutriments azotés. Les successions phytoplanctoniques ont été celles observées classiquement depuis 1988.

Les biomasses et abondances zooplanctoniques ont été supérieures au printemps, ce qui pourrait expliquer les faibles valeurs des biomasses phytoplanctoniques. L'essentiel de la biomasse est représentée par des cirripèdes et des copépodes. Ces derniers présentent de plus fortes abondances au point *rejet*.

L'étude sédimentaire du benthos subtidal en 2004 confirme la tendance observée depuis 1990, le système semble maintenant ne plus évoluer et n'être soumis qu'à des fluctuations interannuelles assez banales. L'extension de *Crepidula fornicata* à l'ensemble de la zone est la seule évolution récente.

Bien que la biomasse de *Fucus vesiculosus* a été conforme aux moyennes observées depuis 1991, le nombre d'Idotées par unité de biomasse de *Fucus vesiculosus* a été légèrement supérieure en 2004. Leur recrutement a été particulièrement fort au mois de juin. L'évolution des Idotées entre les deux sites étudiés (en amont et en val de la centrale) sont comparables.

En mars et en septembre ont eu lieu les campagnes de prélèvement pour le suivi du phytobenthos intertidal. Les densités algales sur trois points côtiers (Val Martin, Veulettes et Saint Valery-en-Caux) n'ont pas présenté de variations particulières.

Préambule

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

Ces documents sont :

- un **état d'avancement des travaux** réalisés au cours du premier semestre de l'année N, document remis au plus tard le 15 juillet suivant ;
- un **rapport final, version provisoire**, remis au plus tard le 31 janvier de l'année N + 1 ;
- un **rapport final**, version définitive, remis au plus tard le 1^{er} avril de l'année N + 1.

En ce qui concerne la surveillance du CNPE de Paluel au cours de l'année 2004, l'état d'avancement a été adressé à EDF en juin 2004.

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 2004, les études réalisées sur le site de Paluel ont été menées sous la responsabilité de :

Luis LAMPERT- Ifremer/LERN, pour le phytoplancton, l'hydrologie et la microbiologie

Jean Paul DELPECH pour l'halieutique

Dominique DAVOULT, station biologique de Roscoff, pour le benthos subtidal

Frank MAHEUX, Ifremer/LERN, pour l'étude des fucacées

Nicolas LOQUET, Gemel de Picardie, pour le benthos intertidal

Françoise DAGAULT (Ifremer DEL/SM), **Luis LAMPERT** et le **LAPHY** de Biarritz pour le zooplancton

La coordination étant assurée par **Luis LAMPERT**, coordinateur du site de Paluel.

Introduction

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

Les résultats contenus dans ce rapport concernent donc :

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

Les chapitres 1 à 5 rassemblent les résultats des paramètres collectés lors des trois campagnes pélagiques. A cet effet le navire océanographique *NO Thalia* a été présent sur zone les 1 avril, 25 juin et 20 septembre 2004.

1. Généralités

Rédaction Luis Lampert (LERN)

Participation Luc Dreves (DEL/SR),
Hervé du Boullay (LERN).

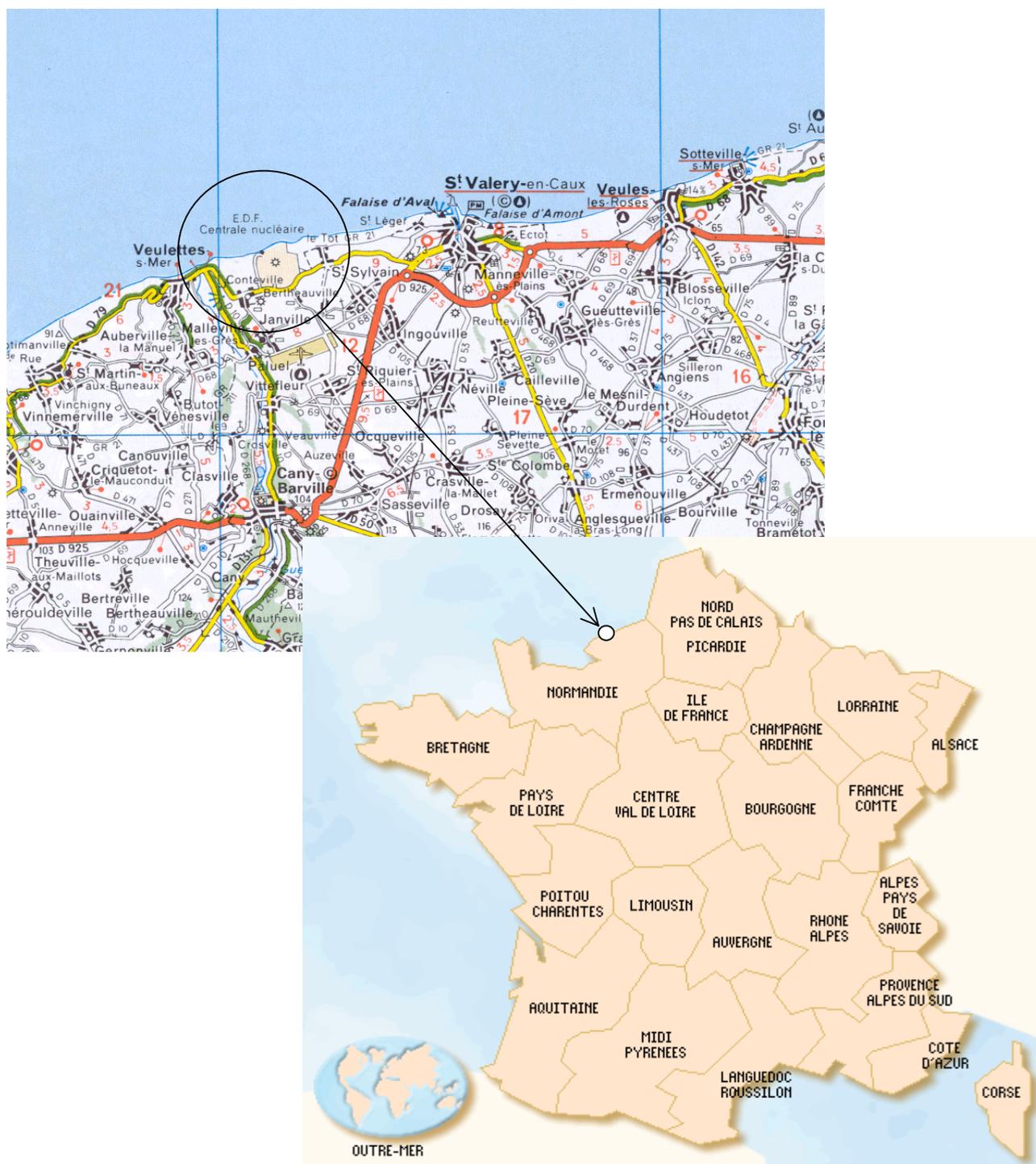


Figure 1.1 : situation géographique du site de Paluel

1.1. Introduction

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

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

Ce rapport présente les résultats concernant la vingt septième année (2004) de surveillance du site de PALUEL, ce qui correspond à la vingt et unième année depuis la mise en service de la Centrale (1984).

1.2. Géographie

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

- **Estran profond** : il ne découvre pratiquement pas ; on le rencontre dans les secteurs de pointes rocheuses (Etretat, Antifer) ;
- **Estran de pied de falaises** : c'est l'estran type du littoral haut-normand et celui qui se trouve à Paluel. Devant la falaise s'étend un platier rocheux (de 200 m à 400 m de large) sur lequel les matériaux meubles ne se rencontrent en général qu'en pied de falaise sous la forme d'un cordon de galets plus ou moins développé mais le plus souvent de 10 m à 20 m de large et de 1 m de haut ;
- **Estran d'accumulation** : on le rencontre au débouché des valleuses. Son développement a souvent été favorisé par l'implantation d'ouvrages portuaires (Le Havre, Fécamp, St-Valery-en-Caux, Dieppe, Le Tréport). Le cordon de galets est bien formé avec une largeur de 40 m à 50 m. Les sables et graviers font suite aux galets.

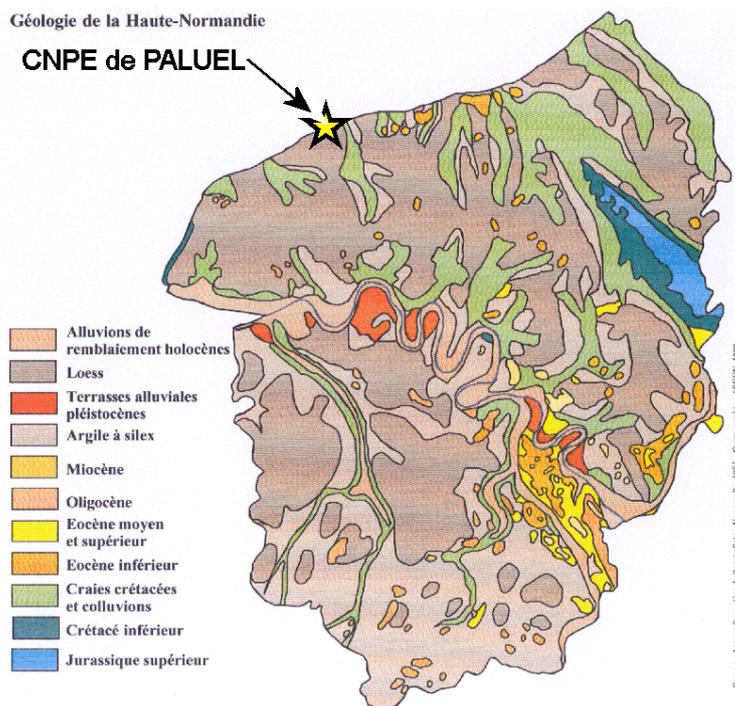


Figure 1.2 : carte géologique de la région 'Haute-Normandie'

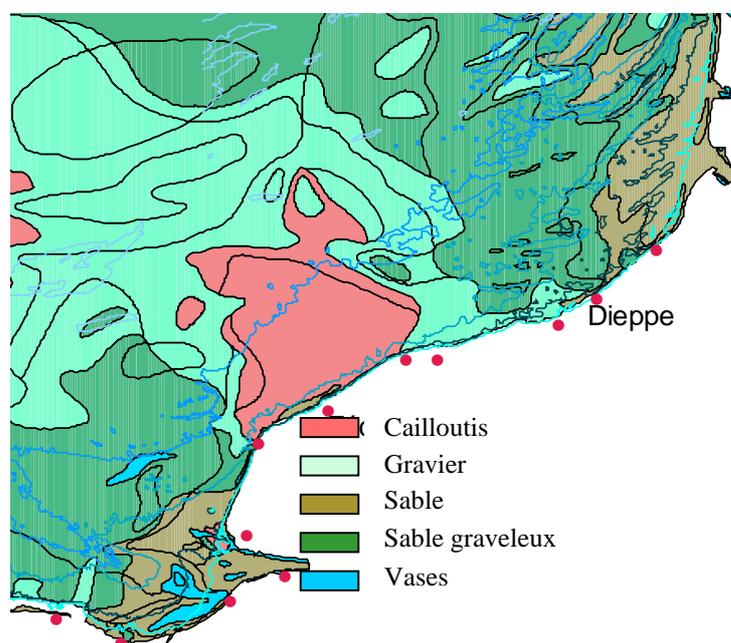


Figure 1.3 : caractéristiques des sédiments marins autour de la centrale de Paluel

1.3. Géologie

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

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

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

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

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

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

1.4. 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 1.4. et 1.5.).

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

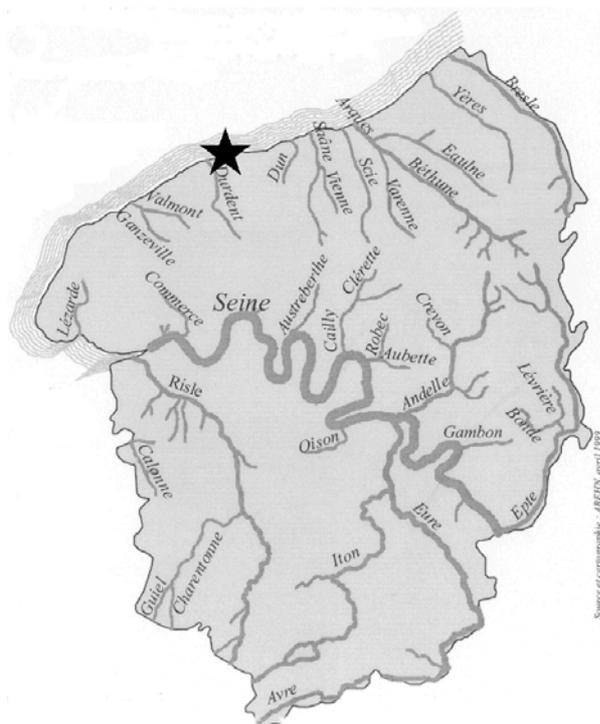


Figure 1.4 : Principaux fleuves de la région Haute-Normandie

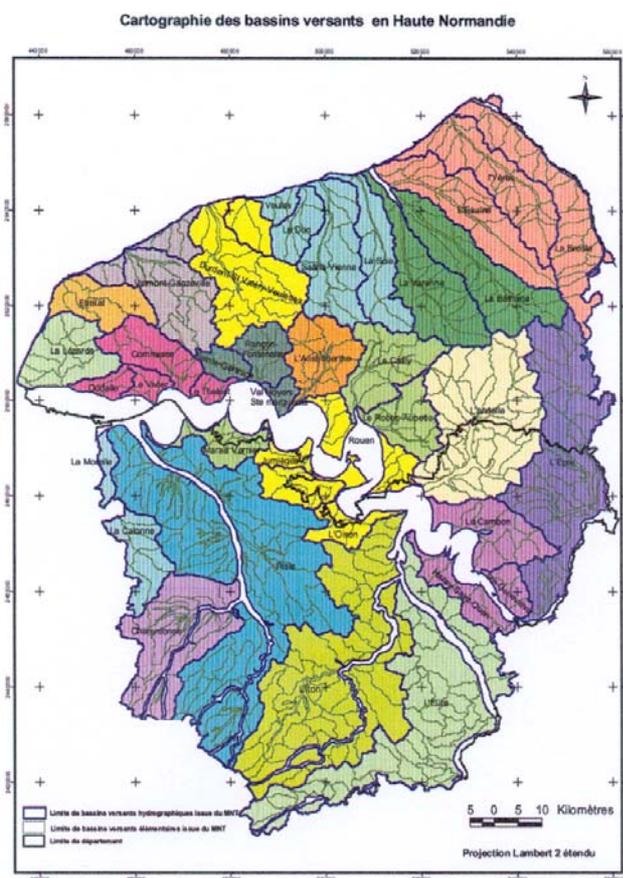


Figure 1.5 : Bassins versants de la région Haute-Normandie

1.5. Hydrographie marine

1.5.1. Marées

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

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

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

1.5.2. 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 1.6.). Le flot, d'une durée moyenne de 5 heures, porte vers le N-NE à une vitesse de 0,5 à 1 m/s (soit 1 à 2 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 -30 min, celle du jusant à PM -5 h 30. De ce fait, le flux net au cours d'un cycle de marée est celui d'un déplacement des masses d'eau vers le N-NE dans le sens du flot. Ce déplacement est dû au courant de marée provenant de l'Atlantique et qui prend une vitesse importante au-delà de Cherbourg. Vers Fécamp, la vitesse du courant augmente et atteint 1,2 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.

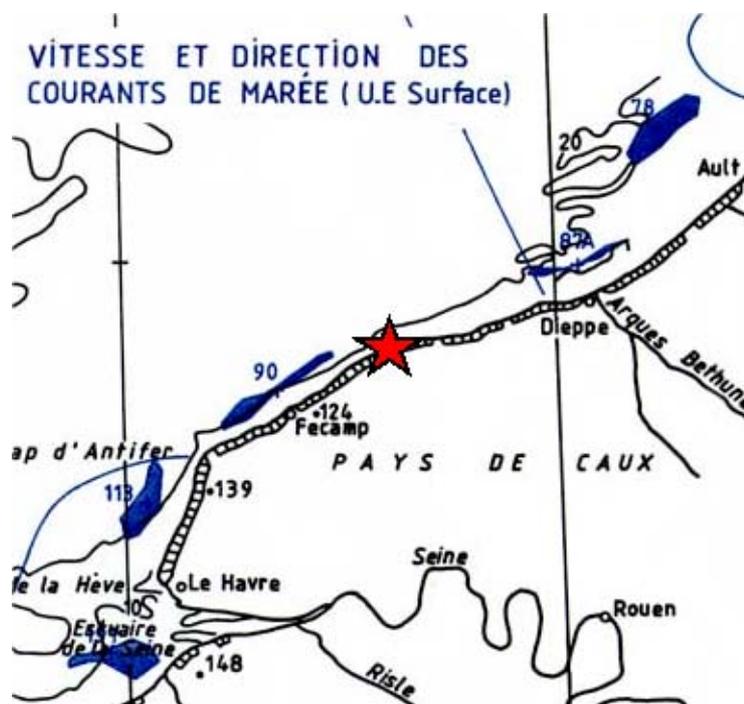


Figure 1.6 : Courants de marée en Haute-Normandie

1.5.3. Apports telluriques

La *Durdent*, petit fleuve côtier de faible débit irrégulier, se jette à l'ouest du site (Figure 1.4). 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.

1.6. Climatologie

1.6.1. Le climat en Haute-Normandie

Trois influences principales peuvent se manifester dans la région 'Haute-Normandie' (figure 1.7.).

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

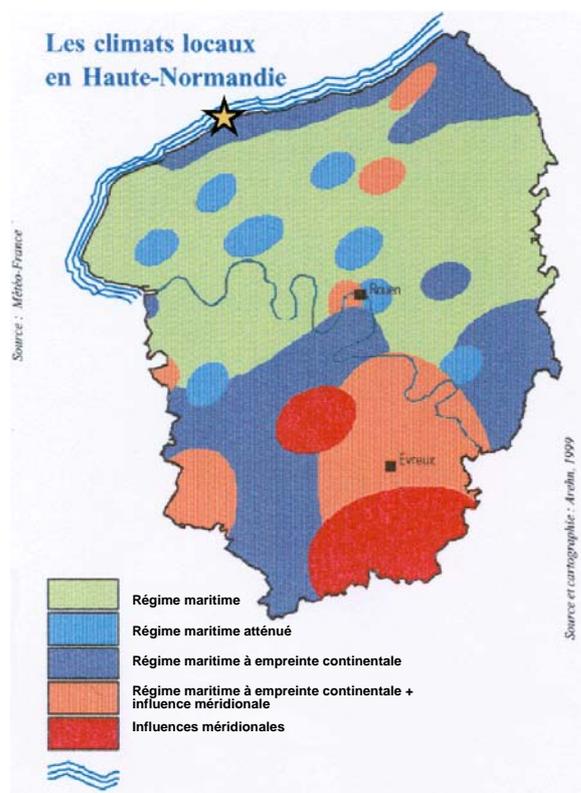


Figure 1.7 : situation climatologique de la région Haute-Normandie

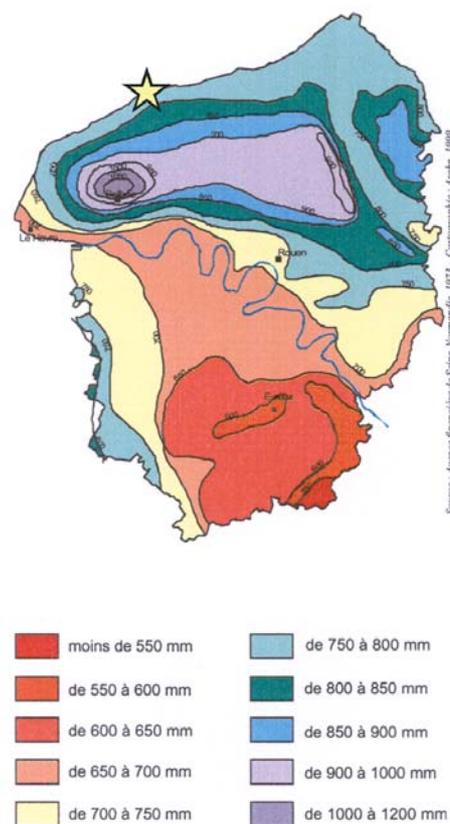


Figure 1.8 : Pluviométrie moyenne annuelle de la région Haute-Normandie sur 30 ans.

Bien que la Haute-Normandie soit considéré comme une région fortement pluvieuse, on peut observer des grandes écarts. Sur le secteur de Bolbec (Seine Maritime) nous constatons en moyenne 1100 mm de précipitations par an, tandis qu'au sud-est de l'Eure, seulement 500 mm par an sont enregistrés (figure 1.8.). Cette dernière valeur est l'une des plus faibles de France, à égalité avec la Côte d'Azur. Les régions les plus fréquemment touchées par des forts événements pluvieux sont le Bec-de-Caux et le Lieuvin.

1.6.2. Pluviométrie

A Dieppe, depuis 1950, la quantité de pluie annuelle cumulée présente des variations avec des cycles de 3 à 5 ans (figure 1.9). Ces cycles, mieux représentés par la moyenne mobile sur 5 ans, semblent mettre en évidence une augmentation de leur fréquence sur les quinze dernières années.

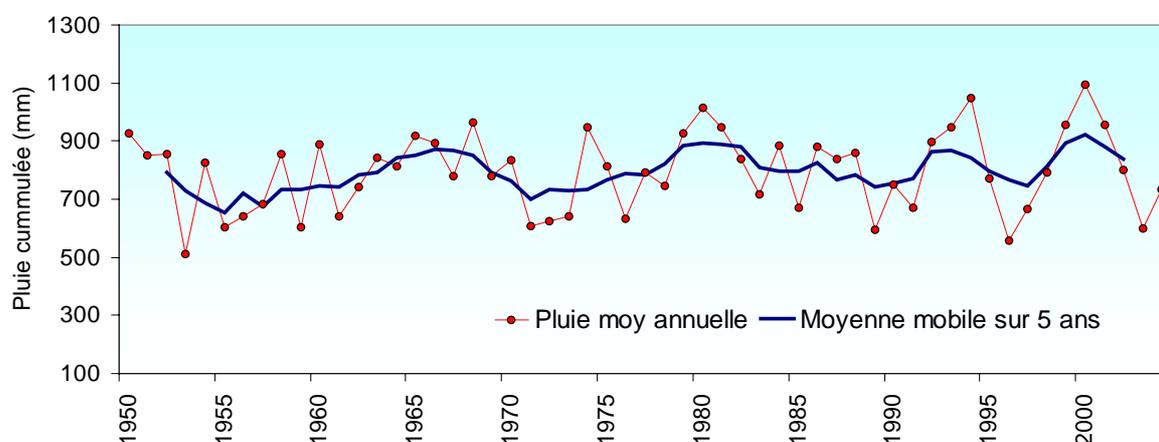


Figure 1.9 : Pluie moyenne annuelle à Dieppe depuis 1950 et moyenne mobile sur cinq ans

La moyenne de précipitations annuelles entre 1950 et 2004 est de 793,3 mm. L'écart des valeurs annuelles à cette moyenne montre que la période 1999-2002 a été excédentaire et que les années 2003 et 2004 présentent un déficit (figure 1.10).

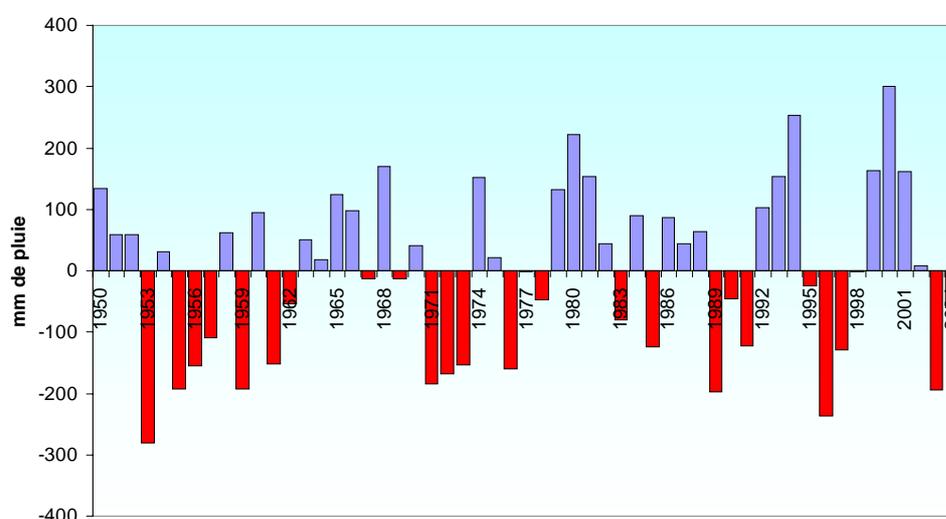


Figure 1.10 : Écarts annuels de pluie à la moyenne 1950-2004

Le découpage des précipitations par périodes quinquennales présente une alternance des cycles qui oscillent autour de la moyenne, suivi d'une augmentation générale des valeurs à partir des années 1975 (figure 1.11) avec une faible décroissance depuis 1980. Les périodes décennales marquent davantage cette tendance.

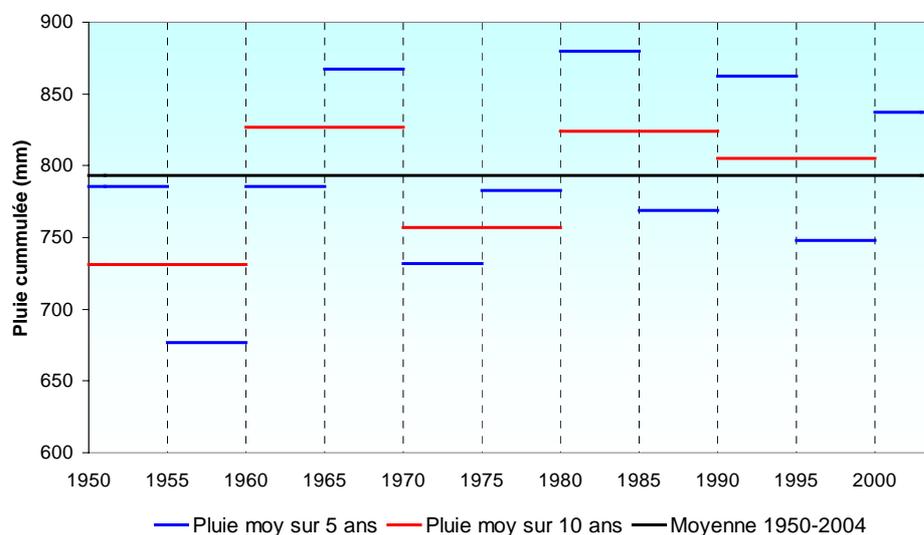


Figure 1.11 : Valeurs moyennes de pluie à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait rouge). Le trait noir représente la moyenne de pluies de la période 1950-2004

La valeur moyenne de précipitations sur la période 1967-2003 présente une augmentation à partir du mois de septembre et jusqu'à décembre (figure 1.12). Le maximum étant situé autour du mois de novembre.

Dans le premier semestre 2004, seuls les mois de janvier et d'avril ont été supérieures à la moyenne pluriannuelle. A titre comparatif, en 2003, le cumul de pluies des six premiers mois a été de 281mm par rapport à 311mm en 2004 pour la même période. En juillet et août les précipitations se situent au dessus des moyennes pour redescendre par la suite en septembre et octobre et novembre. Le mois de décembre retrouve des valeurs proches de la moyenne.

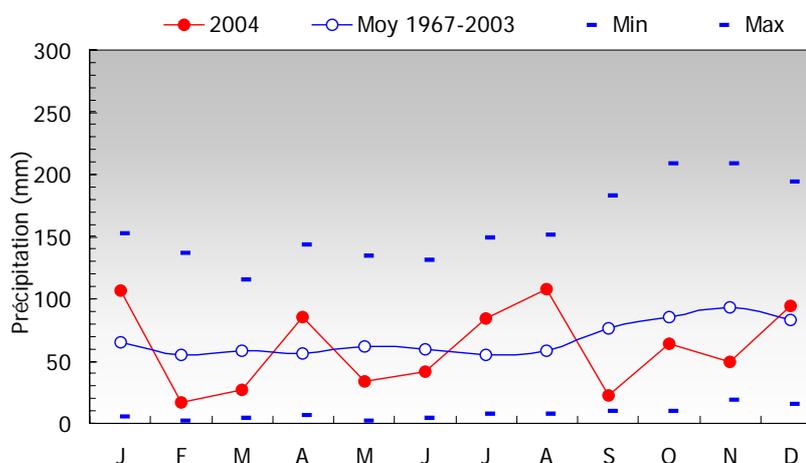


Figure 1.12 : Hauteur de précipitations mensuelles à Dieppe en 2004 et au cours de la période 1967-2003

1.6.3. Température de l'air

Les températures moyennes annuelles enregistrées à Dieppe depuis 1950 présentent des cycles irréguliers avec une nette tendance à la hausse depuis 1988 (figure 1.13). La moyenne mobile sur cinq ans exprime plus clairement la tendance évolutive de ce paramètre lors des vingt dernières années.

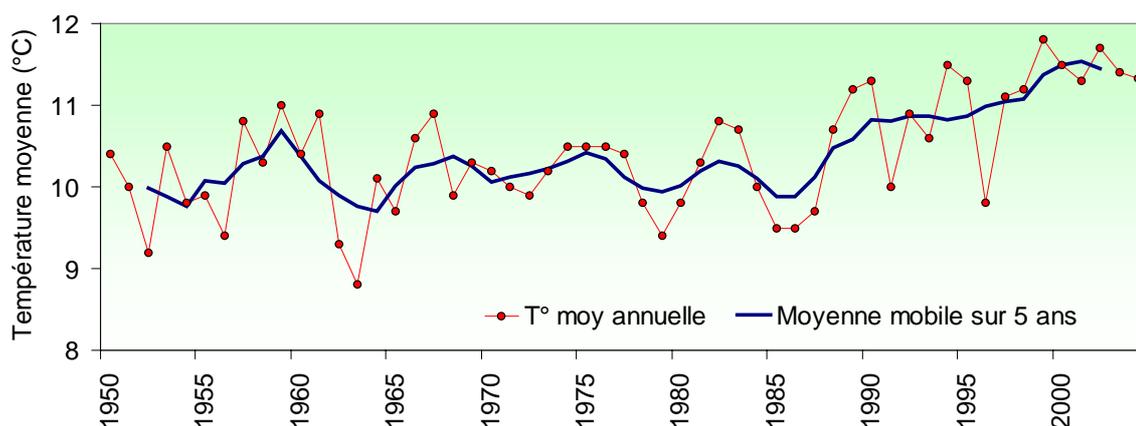


Figure 1.13 : Température moyenne annuelle à Dieppe depuis 1950 et moyenne mobile sur cinq ans

Cette évolution est clairement mise en évidence par les écarts des valeurs annuelles à la moyenne générale de la période 1950-2004 (figure 1.14), où depuis 1988, seule les années 1991 et 1996 ont été en dessous de la moyenne.

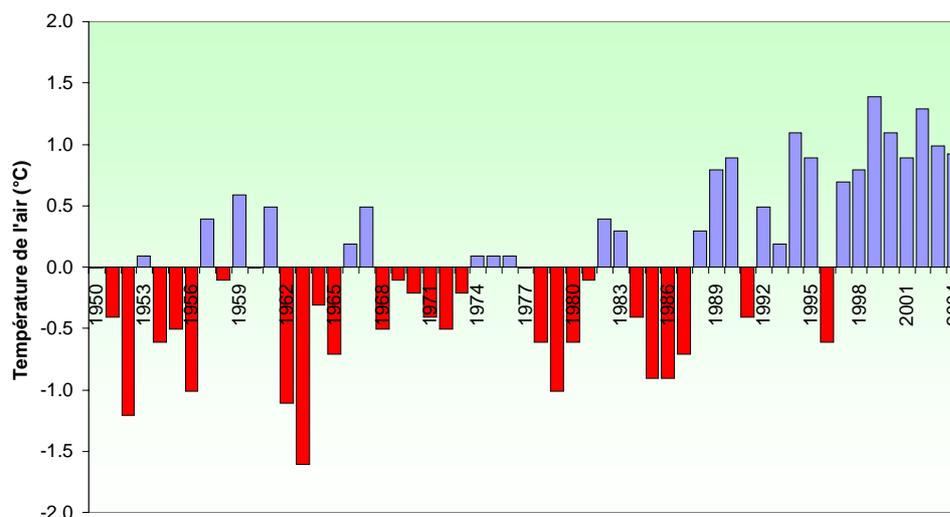


Figure 1.14 : Écarts annuel de température à la moyenne 1950-2004

L'évolution des découpages en périodes quinquennales ou décennales mettent en évidence l'augmentation moyenne de la température à partir des années 1990 (figure 1.15).

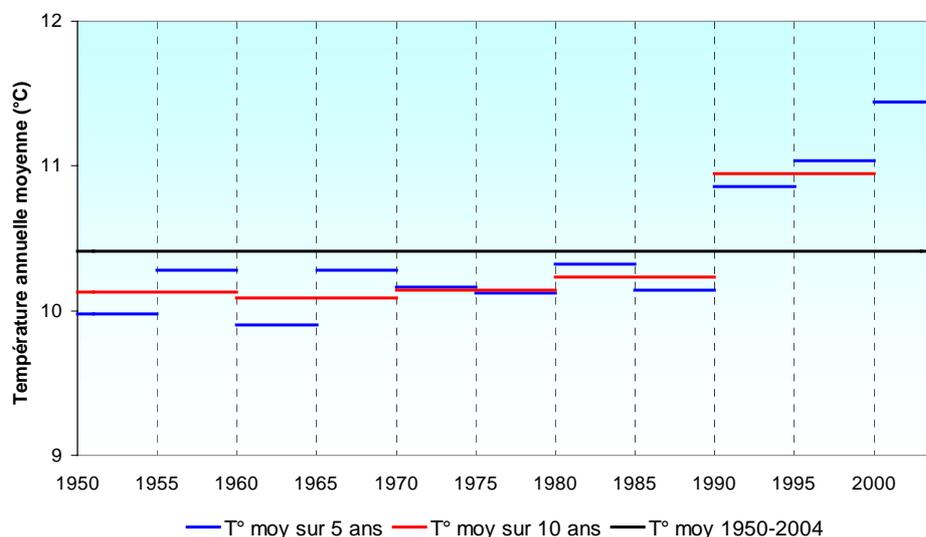


Figure 1.15 : Valeurs moyennes de température de l'air à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait rouge). Le trait noir représente température moyenne de la période 1950-2004

A l'exception de la situation du mois de mai et décembre, la température mensuelle moyenne de l'air enregistrée à Dieppe a été toujours supérieure à celle de la moyenne pluriannuelle de la période 1950-2003 (figure 1.16).

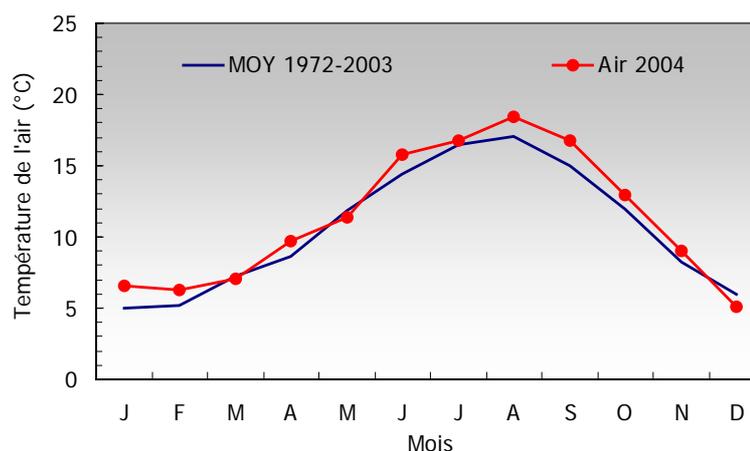


Figure 1.16 : Température moyenne mensuelle de l'air à Dieppe en 2004 et au cours de la période 1972-2003

1.6.4. Débit de la Seine

A l'exception du débit du mois de janvier, le débit mensuel de la Seine dans le premier semestre présente de valeurs inférieures à la moyenne pluriannuelle 1941-2004 (figure 1.17). Les pluies de juillet et d'août ont eu comme conséquence l'augmentation du débit moyen de la Seine. Au mois de décembre le débit moyen est retombé au-dessous de la moyenne pluriannuelle.

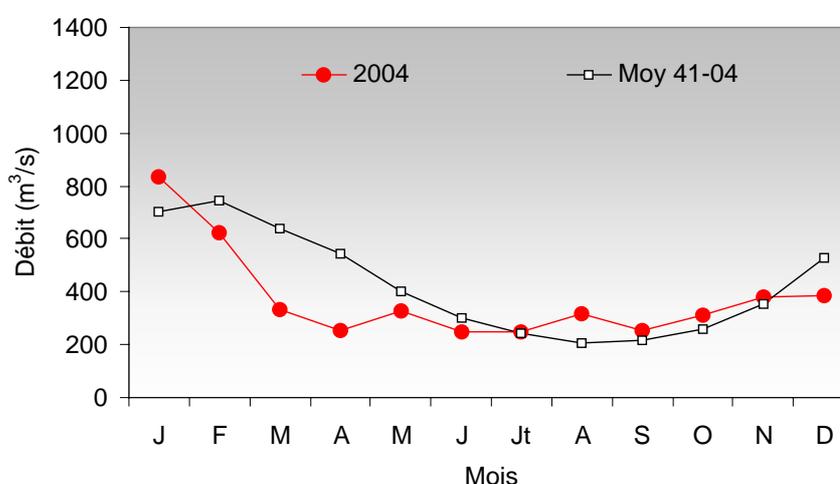


Figure 1.17 : Débit mensuel moyen de la Seine (à Poses) en 2004 et moyenne de la période 1941-2004

1.7. Fonctionnement de la centrale lors des campagnes pélagiques

La centrale de Paluel, situé près de la ville de Saint Valery-en-Caux, produit de l'énergie électronucléaire à l'aide de quatre tranches de 1 300 MW chacune. Le refroidissement du cœur des réacteurs est assuré par la circulation de l'eau de mer, pompée dans le canal d'amenée et rejetée en mer à l'aide de canalisations souterraines. Ces canaux aboutissent à une grille de rejet posée au fond de la mer à environ 800 m du canal d'amenée.

A partir du 10 avril, la tranche 3 a été à l'arrêt jusqu'au début septembre (figure 1.18). Le 24 juin la tranche 4 a été aussi mise à l'arrêt pour 4 mois. La tranche 1 a été arrêtée pendant 2 mois à la fin de l'année.

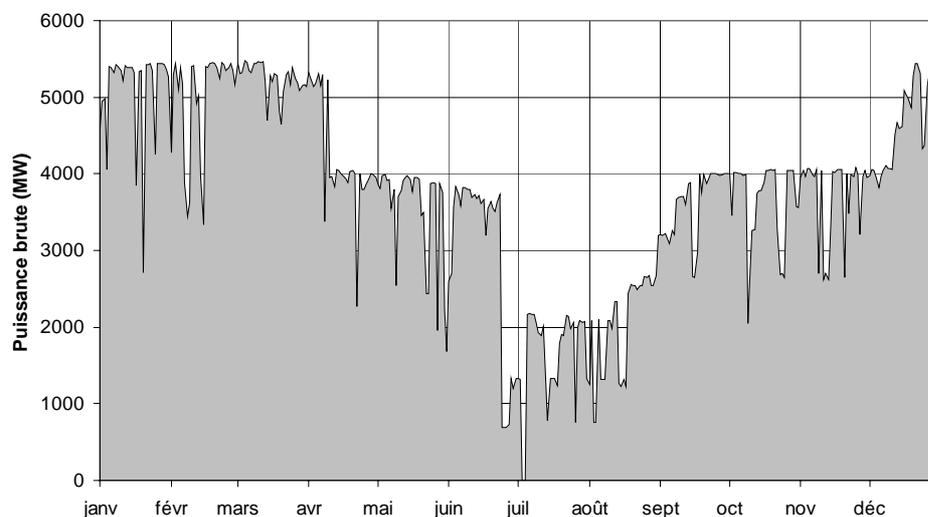


Figure 1.18 : Puissance brute de l'ensemble des quatre tranches de la CNPE de Paluel au cours de l'année 2004

L'EDF effectue un relevé quotidien de la température de l'eau de mer pompée aux canaux d'amenée et à la sortie de chacun des quatre échangeurs. Les températures retenues chaque mois pour les figures correspondent à celle de la canalisation qui présente la moyenne la plus faible. Cependant, très peu d'écarts sont constatés entre les températures de deux canalisation (figure 1.19).

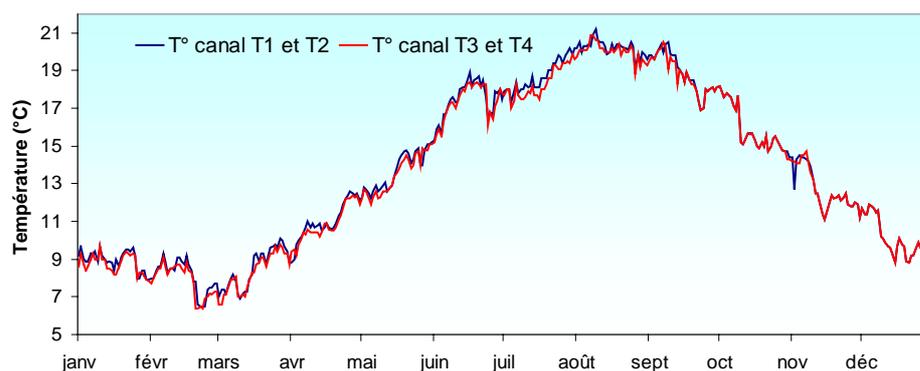


Figure 1.19 : Températures relevées par l'EDF quotidiennement sur chacun des deux canaux d'amenée

La figure 1.20 présente la température journalière enregistrée au canal d'amenée, comparée à la moyenne des températures journalières enregistrées depuis 1991. Les températures maximales et minimales sont présentées par un trait noir.

Dans la première moitié de l'année, seule une période d'environ 15 jours au début du mois de mars présente des valeurs en dessous de la moyenne pluriannuelle. En janvier, en avril et principalement en juin, les températures enregistrées dans le canal d'amenée ont été les plus élevées depuis 1991. La période hivernale, couvrant janvier, février, novembre et décembre montre des températures supérieures à la moyenne, ce qui suggère de plus forts écarts en hiver par rapport à l'été.

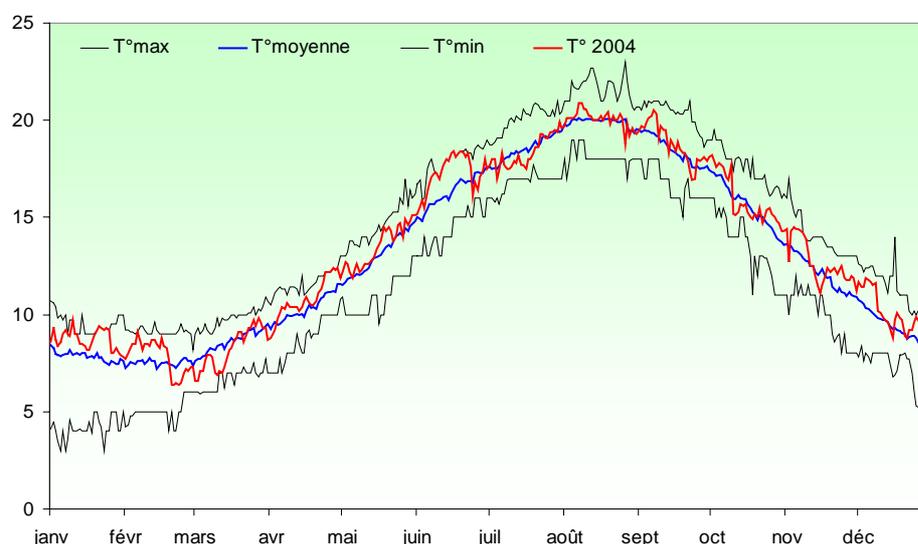


Figure 1.20 : Évolution de la température journalière (à 16 h) de l'eau de mer dans le canal d'amenée du CNPE de Paluel au cours de l'année 2004 et moyenne journalière sur la période 1991-2004

Les valeurs des températures de l'air mesurées à Dieppe (fournies par Météo France pour la période de janvier à décembre 2004) et celles de l'eau de mer fournies par EDF (pour la même période) montrent une évolution similaire (figure 1.21). Cette évolution est mise également en évidence par le bon ajustement de la régression linéaire obtenue entre les températures de l'air et de l'eau de mer (figure 1.22).

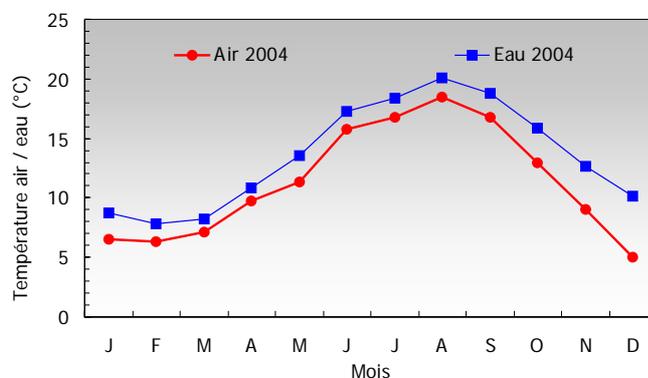


Figure 1.21 : Évolution des températures moyennes mensuelles de l'air à Dieppe et de l'eau de mer au canal d'amenée en 2004 au CNPE de Paluel

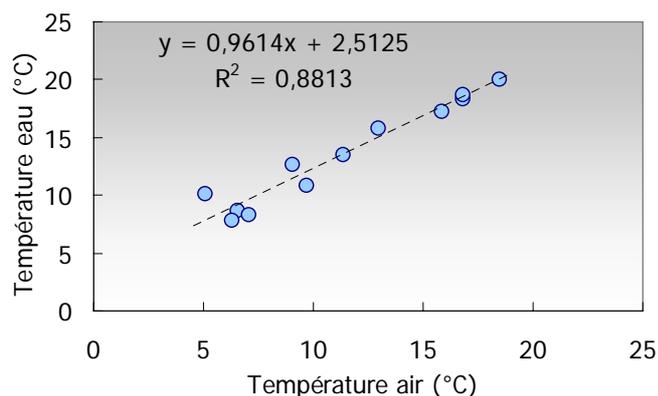


Figure 1.22 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau du canal d'amenée (données EDF) en fonction de celle de l'air à Dieppe (données Météo France).

Le passage de l'eau du canal d'amenée dans le circuit secondaire des condenseurs produit une augmentation de la température de cette eau, qui est ensuite rejetée dans la canalisation de rejet.

L'augmentation de la température à la sortie de chaque condenseur est présentée dans la figure 1.23. Chaque descente du trait rouge représente une diminution de la puissance produite par le réacteur ou de son arrêt total si les deux traits coïncident.

Ainsi nous observons l'arrêt de la tranche 3 depuis le début du mois d'avril jusqu'à septembre et de la tranche 4 depuis la fin juin et jusqu'au mois d'octobre.

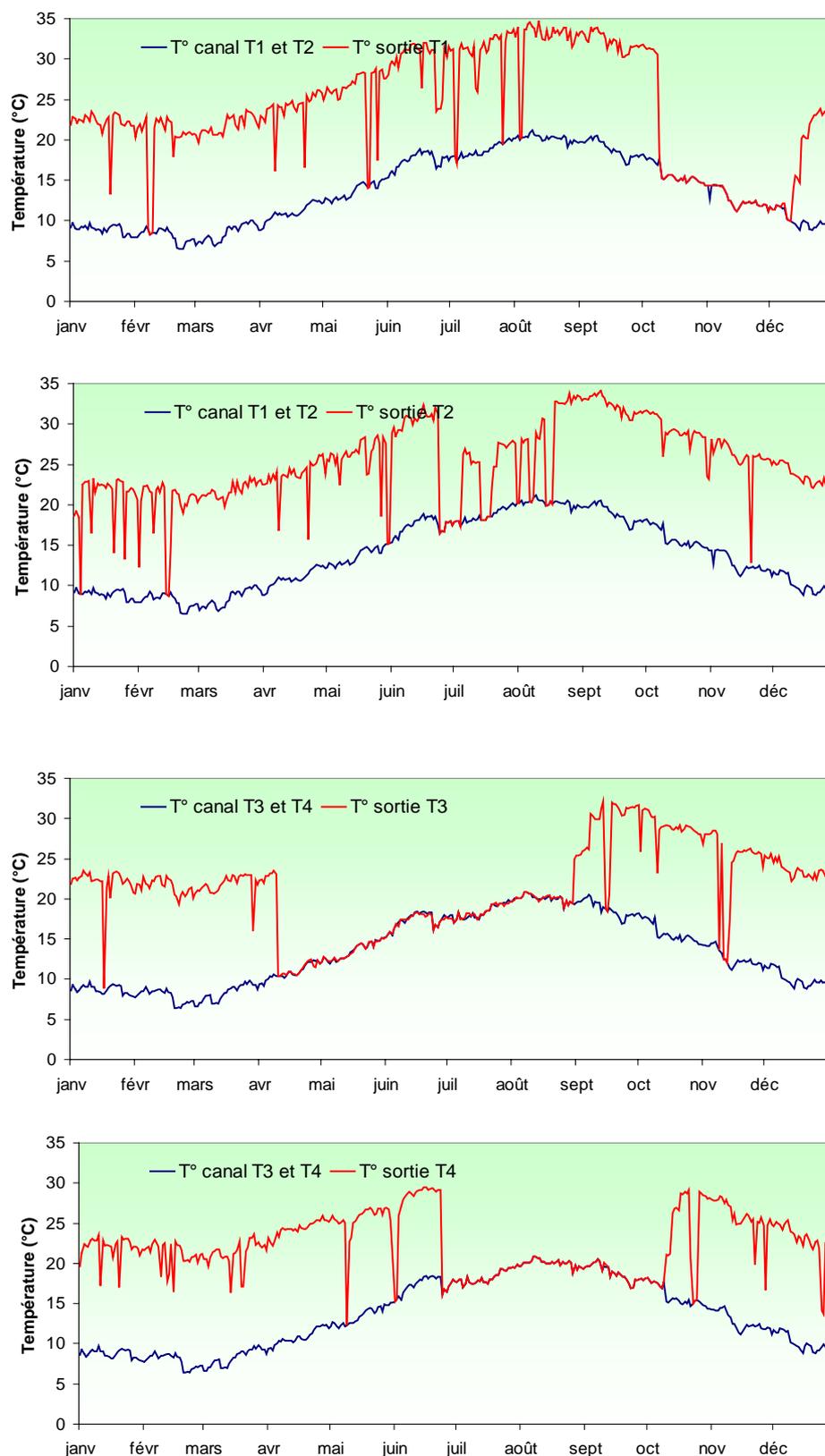


Figure 1.23 : Températures journalières de l'eau de mer à l'entrée du canal d'amenée et à la sortie des condenseurs pour chacune des quatre tranches du CNPE de Paluel en 2004

Nous pouvons alors calculer l'écart de température journalier moyen existant entre la sortie de chaque condenseur et celle de l'eau du canal d'aménée (figure 1.24). L'allure de cette figure est très proche de celle qui présente la puissance brute produite (figure 1.18).

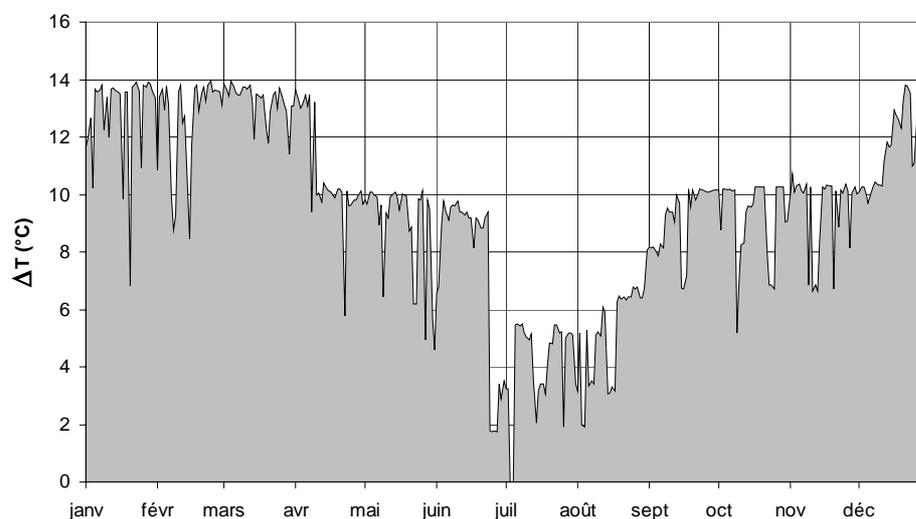


Figure 1.24 : Écart journalier moyen de température entre la sortie des quatre condenseurs et les canaux d'aménée au cours de l'année 2004

Afin d'éviter le *fouling* dans les canalisations du rejet en mer, des injections de chlore sont effectuées régulièrement par pompage dès que la température de l'eau de mer dépasse les 10 °C. Le tableau 1.2 présente les quantités injectées par mois et par tranche au cours de l'année 2004.

| Mois | T1 | T2 | T3 | T4 | Sous Total |
|---------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| Janvier | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Février | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mars | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Avril | 34,3 | 15,3 | 0 | 0 | 49,6 |
| Mai | 70,3 | 57,7 | 0 | 57,8 | 185,8 |
| Juin | 68,6 | 75,9 | 0 | 28,7 | 173,2 |
| Juillet | 70,2 | 11,2 | 0 | 0 | 81,4 |
| Août | 63,0 | 49,4 | 35,8 | 0 | 148,2 |
| Septembre | 113,2 | 133,3 | 57,9 | 0 | 304,4 |
| Octobre | 21,8 | 117,2 | 78,7 | 66,4 | 284,1 |
| Novembre | 0 | 112,7 | 56,2 | 60,9 | 229,9 |
| Décembre | 0 | 29,9 | 16,3 | 21 | 67,2 |
| TOTAUX | 441,4 | 602,6 | 244,9 | 234,8 | 1523,7 |

Tableau 1.2 : Tonnages mensuels de chlore injecté dans le circuit d'eau de refroidissement du CNPE de Paluel au cours de l'année 2004

1.8. Travaux réalisés par l'IFREMER

La liste de l'ensemble de travaux réalisés pour la surveillance écologique et halieutique en 2004 est présentée dans le tableau 1.3. La position géographique des points de prélèvement sont présentées dans le chapitre matériel et méthodes de chaque compartiment étudié.

| 2004 | Points de prélèvement | Paramètres étudiés | Réplicats par point | Dates missions |
|--------------------------|--|---|--|----------------|
| DOMAINE PELAGIQUE | | | | |
| Hydrologie | Canal d'amenée (CA) surface | Température Salinité NH ₄ , NO ₃ +NO ₂ | 4xCA surf 4xRJ surf 2x REF surf 2x REF 1/2Z | 01 avril |
| | | MES | 1xCA surf 1xRJ surf 1x REF surf 1x REF 1/2Z | |
| | | Bromoforme | 2xCA surf 2xRJ surf 2x REF surf | |
| | | Bore | 2xCA surf 2xRJ surf 4x REF surf | |
| Phytoplancton | Rejet (RJ) surface | Chlorophylle <i>a</i> | 4xCA surf 4xRJ surf 2x REF surf 2x REF 1/2Z | 25 juin |
| | | Abondance | 1xCA surf 1xRJ surf 1x REF surf 1x REF 1/2Z | |
| | | Production primaire | 9xCA surf 9xRJ surf 5x REF surf 5x REF 1/2Z | |
| Microbiologie | Référence (REF) Surface et mi profondeur | Germes totaux Germes revivifiables Vibriens halophiles 1 Vibriens halophiles 2 | 2xCA surf 2xRJ surf 4x REF surf | 20 septembre |
| Zooplancton | | Biomasse poids sec Biomasse carbone Biomasse azote | 6xCA surf 6xRJ surf 6x REF surf | |
| | | Abondance | 2xCA surf 2xRJ surf 2x REF surf | |

Tableau 1.3 : Ensemble de travaux réalisés lors des campagnes de surveillance en 2004

| 2004 | Points de prélèvement | Paramètres étudiés | Réplicats par point | Dates missions |
|----------------------------|---|---|---|--|
| DOMAINE BENTHIQUE | | | | |
| Benthos subtidal | Point 1 (4 fois/an) Point 2 (2 fois/an) Point 6 (4 fois/an) Point 16 (2 fois/an) Point HZ (2 fois/an) | Granulométrie Abondance benthos | 30 L/point | 11 février 13 mai 13 juillet 3 novembre |
| Benthos intertidal | St Valery-en-Caux Veulettes-sur-mer | Abondance Idotées Abondance benthos Biomasse <i>Fucus vesiculosus</i> | 16x St Valerie 16x Veulettes | 1 juin 5 juillet 3 août |
| | | Biométrie Idotées | 4x St Valerie 4x Veulettes | |
| Phytobenthos intertidal | St Valery-en-Caux Veulettes-sur-mer Val Marin | Biomasse <i>Fucus sp.</i> Fertilité <i>Fucus sp.</i> | 10x St Valerie 10x Veulettes 10x Val Martin | 8/9 mars 15/16 septembre |
| DOMAINE HALIEUTIQUE | | | | |
| Halieutique | Criée Fécamp Affaires Maritimes | Nbre bateaux Fécamp Tonnage débarqué Mois/métier bateaux | Étude sur l'année n-1 (2003) | |

Tableau 1.3 suite : Ensemble de travaux réalisés lors des campagnes de surveillance en 2004

2. Hydrologie

Rapport

Luis Lampert (LERN).

Prélèvements et Analyses

Vincent Justome (LERN),
Liliane Fiant (LERN),
Laure Lamort (LERN),
Frank Maheux (LERN),
Olivier Pierre-Duplessix (LERN),
Floriane Girard (LERN),
Françoise Dagault (DEL/SM),
Audrey Duval (DEL/SM).

Participation

Hervé du Boullay (LERN).

2.1. Méthode

2.1.1. Prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Paluel, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer à trois périodes de l'année, les 1 avril, 25 juin et 20 septembre 2004 à bord du navire océanographique *NO THALIA*.

Les points échantillonnés (figure 2.1) sont :

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

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

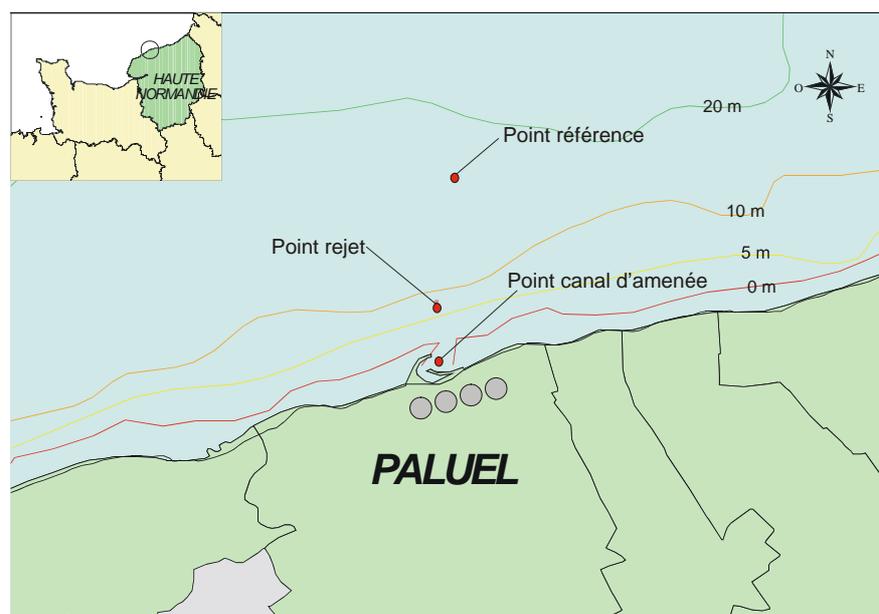


Figure 2.1 : Situation géographique de la centrale de Paluel et position des points de prélèvements

2.1.2. Paramètres mesurés et précisions

Les paramètres hydrologiques classiques mesurés sont la température, la salinité, les sels nutritifs azotés (ammonium, nitrate et nitrite) et les matières en suspensions (MES). D'autres paramètres sont également suivis. Il s'agit du bore et des trihalométhanes et plus particulièrement du tribromométhane. Les techniques relatives à la mesure de ces paramètres sont présentées dans *Manuel des analyses chimiques en milieu marin* (Aminot et Chaussepied, 1983).

La méthode suivie pour les analyses des trihalométhanes est celle préconisée par la norme NF ISO 10301 (chromatographie en phase gazeuse). Deux prélèvements en surface sont effectués en

chaque point d'échantillonnage et stockés au frais et à l'ombre jusqu'à leur analyse au laboratoire. La précision de la mesure du bore est de 1 µg/L.

Pour le bore, les prélèvements sont réalisés dans des flacons en polyéthylène de 250 mL. Ils sont conservés en glacière jusqu'au laboratoire. Les analyses sont réalisées par ICP-AES à la longueur d'onde de 249,773 nm. Les résultats sont exprimés en mg B/L d'eau de mer.

La précision de la mesure des différents paramètres est indiquée dans le tableau 2.1 ci-dessous :

| | <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) |
|------------------|----------------------|-----------------|---|---|---|-------------------------------------|
| PRÉCISION | ± 0,1 | ± 0,1 | ± 0,1 | ± 0,01 | ± 0,05 | ± 0,1 |

Tableau 2.1 : Précision des analyses

Le thermosalinomètre SeaBird SBE 21 installé sur le circuit d'eau de mer du *NO THALIA* a été utilisé lors des deux dernières campagnes d'échantillonnage. Il permet notamment d'enregistrer toutes les variations de température et de salinité pendant le transit et lors de l'échantillonnage. La fréquence d'acquisition des valeurs est de 6 secondes et l'immersion de la prise d'eau de mer est de 2,5 m en dessous du niveau de flottaison. La conversion des données hexadécimales en valeurs physiques est assurée par la chaîne de traitement de SeaBird avec les coefficients du dernier étalonnage (SHOM - mars 2004). La cartographie est réalisée par le programme Ocean Data View, développé par l'université de Bremerhaven pour le compte de la communauté océanographique internationale. Les précisions des capteurs est de 0,01 °C pour la température et de 0,001 S/m pour la conductivité.

2.1.3. Présentation graphique

Les valeurs obtenues lors des campagnes hydrologiques sont présentées sous forme de courbes, d'histogrammes et de 'boîtes à moustaches', avec leur variabilité spatio-temporelle. Les histogrammes et les boîtes à moustaches reprennent l'ensemble des données acquises depuis 1988. L'utilisation de la médiane permet de minimiser l'influence des valeurs extrêmes par rapport à la moyenne. Les résultats obtenus en 2004 sont présentés avec une couleur différente de celle utilisée pour les années précédentes. Pour chaque paramètre et pour chaque point, les histogrammes sont regroupés par campagne (printemps, été et automne).

2.1.4. Traitement statistique

Un traitement statistique a été réalisé pour les paramètres étudiés au cours de la période 1988-2004. Cette étude permet de comparer les données observées aux points *référence*, *rejet* et *canal* afin de mettre éventuellement en évidence des différences significatives entre les données par point à long terme. Afin d'effectuer des tests statistiques appropriés, il est essentiel de vérifier la normalité de distribution des données. Cette vérification a été réalisée grâce aux coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution s'avérait normale, le test de Student pour échantillons appariés a été utilisé pour comparer les données. Dans le cas contraire, la comparaison des données a été réalisée par le test de signes.

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

2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2004.

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2004 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 2.2.

| (Valeurs moyennes \pm écart type) | CANAL (n=4) | REJET (n=4) | RÉFÉRENCE | | |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | | | SURFACE (n=2) | -10 M (n=2) | |
| 1 AVRIL | Température (°C) | 8,7 \pm 0,1 | 11,8 \pm 0,1 | 9,1 \pm 0,1 | 8,3 \pm 0,0 |
| | Salinité | 33,1 \pm 0,1 | 33,3 \pm 0,1 | 33,3 \pm 0,0 | 33,4 \pm 0,1 |
| | MES (mg/L) | 3,6 | 3,9 | 3,8 | 2,4 |
| | Nitrate + Nitrite (μ M) | 38,4 \pm 0,3 | 36,0 \pm 0,9 | 35,9 \pm 0,4 | 35,4 \pm 0,4 |
| | Ammonium (μ M) | 0,73 \pm 0,16 | 0,68 \pm 0,07 | 0,58 \pm 0,01 | 0,51 \pm 0,00 |
| | Bromoforme (μ g/L) | <1 | <1 | <1 | ** |
| | Bore (mg/L) | 4,45 | 4,4 | 4,5 | ** |
| 25 JUIN | Température (°C) | 17,0 \pm 0,2 | 19,9 \pm 0,1 | 16,6 \pm 0,1 | 15,4 \pm 0,1 |
| | Salinité | 32,6 * | 32,8 * | 33,4 * | ** |
| | MES (mg/L) | 19,9 | 20,2 | 10,9 | 10,75 |
| | Nitrate + Nitrite (μ M) | 23,6 \pm 1,9 | 15,1 \pm 0,3 | 10,4 \pm 0,6 | 10,2 \pm 0,1 |
| | Ammonium (μ M) | 2,10 \pm 0,24 | 2,29 \pm 0,15 | 1,07 \pm 0,06 | 1,12 \pm 0,04 |
| | Bromoforme (μ g/L) | <1 | <1 | <1 | ** |
| | Bore (mg/L) | 5,8 | 5,6 | 5,55 | ** |
| 20 SEPTEMBRE | Température (°C) | 18,0 \pm 0,0 | 20,2 \pm 0,05 | 18,8 \pm 0,0 | 18,6 \pm 0,0 |
| | Salinité | 33,15 * | 33,35 * | 33,4 * | ** |
| | MES (mg/L) | 45,2 | 34,5 | 22,6 | 19,0 |
| | Nitrate + Nitrite (μ M) | 23,1 \pm 0,3 | 18,6 \pm 0,1 | 17,1 \pm 0,1 | 16,7 \pm 0,3 |
| | Ammonium (μ M) | 2,23 \pm 0,11 | 2,20 \pm 0,15 | 2,19 \pm 0,03 | 2,22 \pm 0,02 |
| | Bromoforme (μ g/L) | <1 | 3,9 | <1 | ** |
| | Bore (mg/L) | 4,2 | 4,25 | 4,05 | ** |

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

** Pas de données disponibles

Tableau 2.2 : Récapitulatif des résultats du volet hydrologie de l'étude de surveillance pour l'année 2004

2.2.1. Température

2.2.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la température

Au cours des campagnes de surveillance 2004, la température de l'eau de mer en surface a varié de 8,7 °C à 18,0 °C au point *canal*, de 11,8 °C à 20,2 °C au point *rejet* et de 9,1 °C à 18,8 °C au point *référence* (figure 2.2). Sur l'ensemble des points, la température augmente de mars jusqu'en septembre.

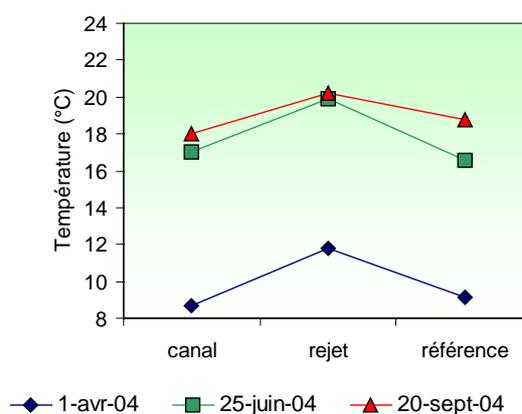


Figure 2.2 : Température de l'eau (surface) en 2004

En été, le point *référence* présente une température légèrement inférieure à celle observée au point *canal*. Ce schéma s'inverse en avril et en septembre, où les températures moyennes du point *référence* sont de 0,4 °C et de 0,8 °C respectivement plus fortes à celles du point *canal*. Les différences de température entre la surface et la mi profondeur au point *référence* (environ 10 m) ont été comprises entre 0,2 °C et 1,2 °C.

L'écart thermique annuel est en moyenne de 9,1 °C entre le printemps et l'automne, contre 11,6 °C en 2003. Ce faible écart thermique peut être lié au brassage important de la colonne d'eau suite aux mauvaises conditions de mer rencontrées en juin et septembre dans ce secteur. Dans les secteurs où l'énergie dissipée par la marée ou la houle est suffisante pour contrecarrer l'effet de stratification induit par le réchauffement en été, la colonne d'eau peut devenir homogène. La figure 2.3 est une représentation du potentiel de stratification des eaux (Lazure, *comm. pers.*) réalisée en utilisant le paramètre de stratification H/u^3 défini par Simpson et Hunter (1974) où H représente la hauteur de la colonne d'eau et u le module de la vitesse moyenne du courant au cours d'un cycle de marée.

Des faibles valeurs du paramètre de stratification ($< 2,0$) indiquent que la colonne d'eau est brassée et les fortes valeurs ($> 3,0$) définissent les zones où la colonne d'eau peut présenter une stratification en été. La figure 2.3 montre ainsi que la centrale est située dans une zone présentant des valeurs inférieures à 3, donc peu propice aux stratifications estivales.

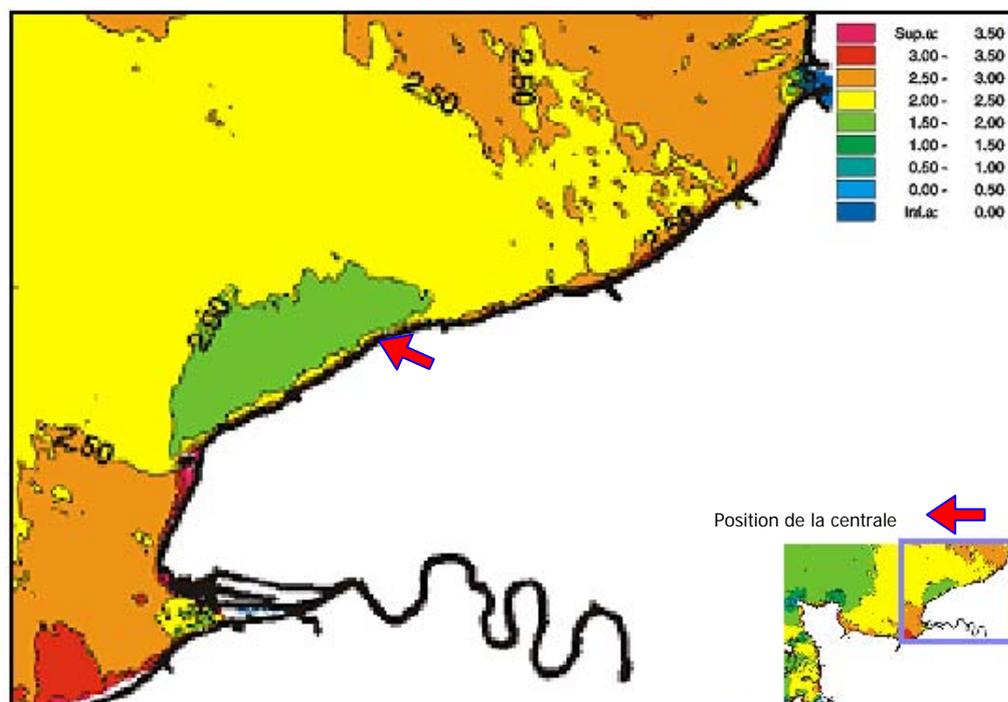


Figure 2.3 : Évolution spatiale du paramètre de stratification (H/u^3) en Manche évalué à l'aide du modèle hydrodynamique Mars 2D d'Ifremer (Lazure, *comm. pers.*)

2.2.1.2. Variations inter-annuelles

La figure 2.4 montre que les températures de l'eau de surface enregistrées au cours des 3 campagnes réalisées en 2004 s'inscrivent globalement dans la plage de variation des températures mesurées depuis 1988. Les températures sont du même ordre de grandeur que celles observées dans l'étude écologique de projet (Dewarumez *et al.*, 1973), ainsi que celles enregistrées dans les études de surveillance (Grossel *et al.*, 1981 et 1983). Elles sont également en accord avec les travaux d'Agoumi *et al.* (1983), Taylor et Stephens (1983), Bentley et Maillard-Quisthoudt (1990) qui indiquent des valeurs similaires dans ce secteur de la Manche. Par rapport à 2003, les valeurs printanières 2004 sont légèrement supérieures, sauf au point *canal*, tandis que celles observées en été et en automne sont inférieures sur l'ensemble de points.

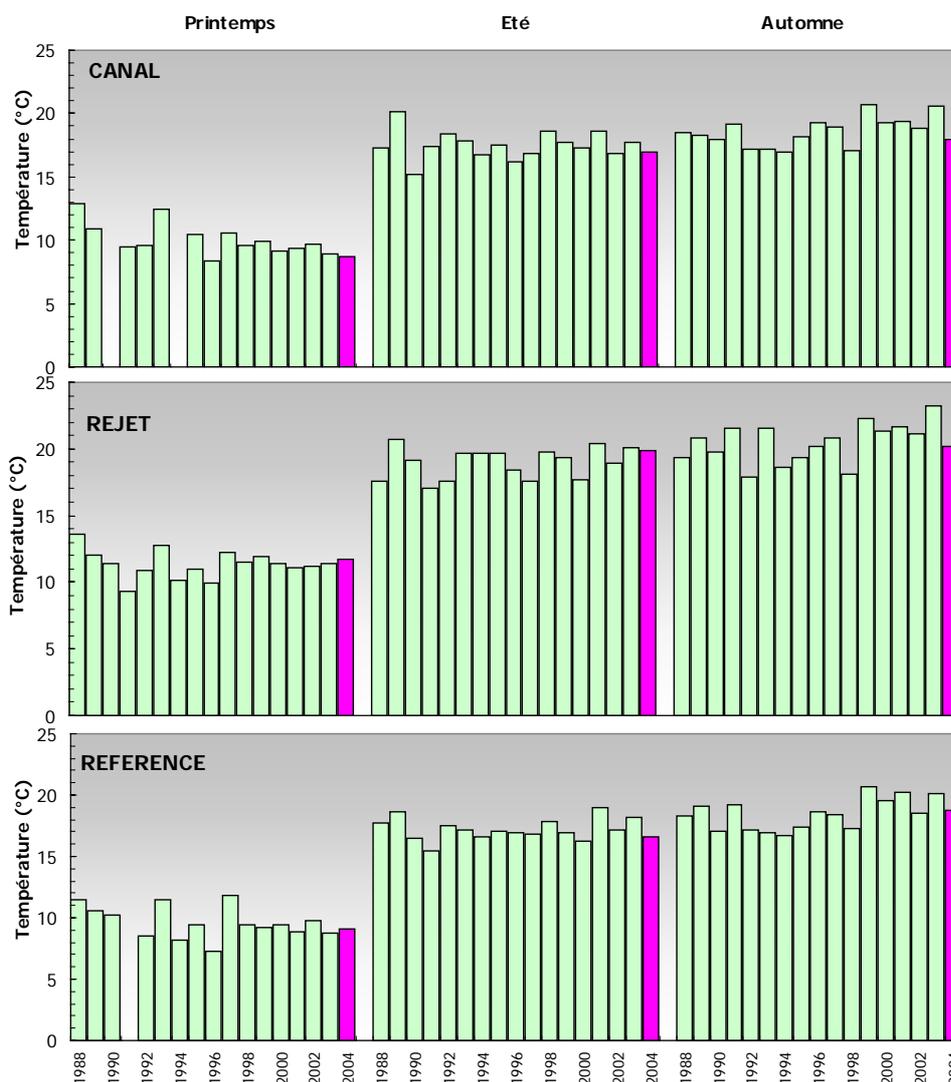


Figure 2.4 : Température de l'eau (surface) lors des campagnes de 1988 à 2004

La figure 2.5 compare les distributions de température obtenues depuis 17 ans par saison et par point. La valeur médiane pour le point *rejet* est toujours supérieure à celles des points *référence* et *canal*. La température médiane du point *canal* est légèrement supérieure à celle du point *référence*. Les dispersions restent homogènes sur les trois saisons et sur l'ensemble des points. En avril et en juin les valeurs de température des points *canal* et *référence* ont été inférieures aux médianes pluriannuelles, mettant en évidence la présence des eaux froides. En septembre 2004, la température du point *canal* a été inférieure à sa médiane, tandis qu'au point *référence* elle a été légèrement supérieure. Les températures du *rejet* ont été supérieures en avril et en juin par rapport aux médianes, et inférieure en septembre.

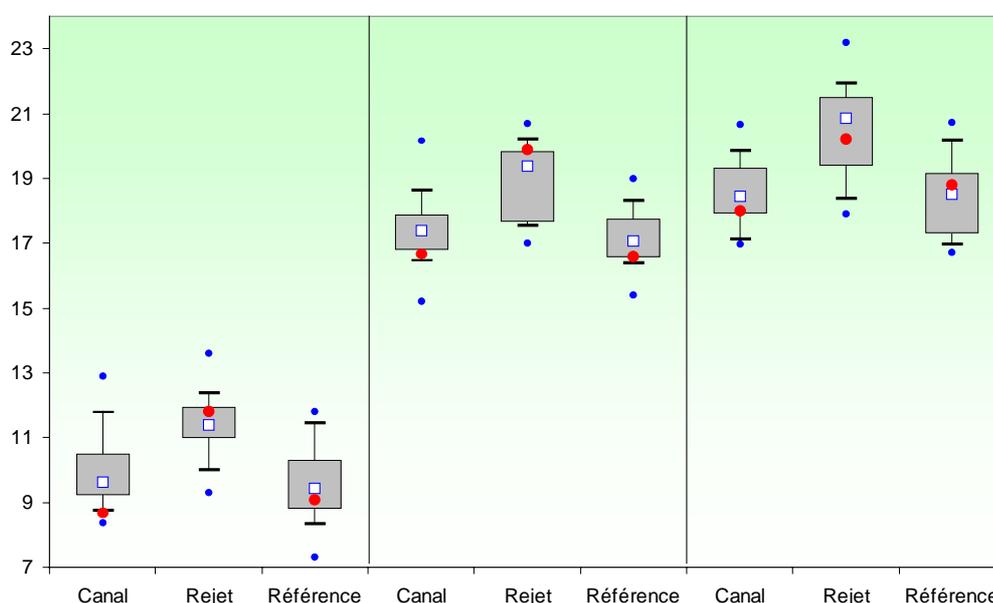


Figure 2.5 : Distributions de la température par saison et par station depuis 1989. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (—). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2004 (●)

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

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

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

En effet, les rejets de la centrale de Paluel sont situés à 700 m des digues du canal d'aménée et distants l'un de l'autre de 150 m. Janin et Marcos (1994) ont modélisé le panache thermique de la centrale de Paluel à l'aide du modèle TELEMAC-3D pour une marée de morte-eau et de vive-eau moyennes. Les résultats confirment, à pleine mer, une légère recirculation des eaux de rejet entraînant une élévation de 0,3 °C dans le canal d'aménée par la reprise partielle du panache de rejet et montrent que cet impact thermique dépend fortement des courants de marée. Le panache thermique s'affine et s'allonge alternativement vers l'est (au flot) et vers l'ouest (au jusant). Cette étude montre également que le panache du *rejet* peut atteindre le point *référence* entre 1 h et 2 h après la pleine mer. Toutefois, quel que soit le moment de la marée, l'impact thermique du

rejet reste très localisé, ce que semblent confirmer les mesures effectuées lors des campagnes de surveillance.

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

Les valeurs de la température de l'eau de mer sont à rapprocher des températures de l'air (mesurées à Dieppe) au cours de la même période (figure 1.16). Il existe une corrélation significative entre la température de l'air et celle de l'eau mesurée (données EDF) au niveau du canal d'amenée (figure 1.22). Les températures de l'eau enregistrées en 2004 peuvent donc s'expliquer par les températures de l'air enregistrées pendant l'année.

2.2.1.3. Écarts thermiques du rejet et taux de dilution

En 2004, les différences de température entre les points *rejet* et *canal* ainsi qu'entre les points *rejet* et *référence* ont été en moyenne entre 1,4 et 3,3 °C sur l'ensemble de trois campagnes de l'année.

Les différences de température mesurées entre les points *rejet* et *référence* sur les trois campagnes sont présentées dans la figure 2.6. Elles mettent en évidence des écarts de température mesurés par rapport à l'eau de mer à quelques dizaines de mètres de la grille du rejet. L'écart thermique observée en juin a été le plus fort de la série pluriannuelle 1988-2004. Les médianes restent relativement stables sur les trois périodes de l'année avec des valeurs de 2 °C.

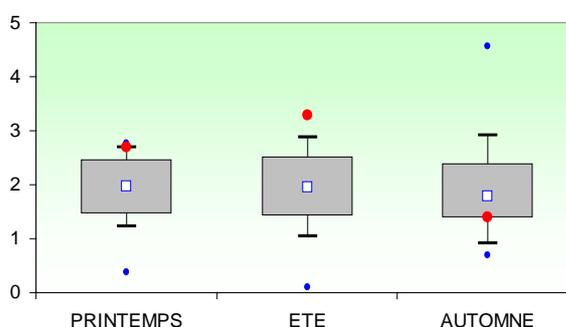


Figure 2.6 : Distributions par campagne des différences de température entre les points *rejet* et *référence* depuis 1988.

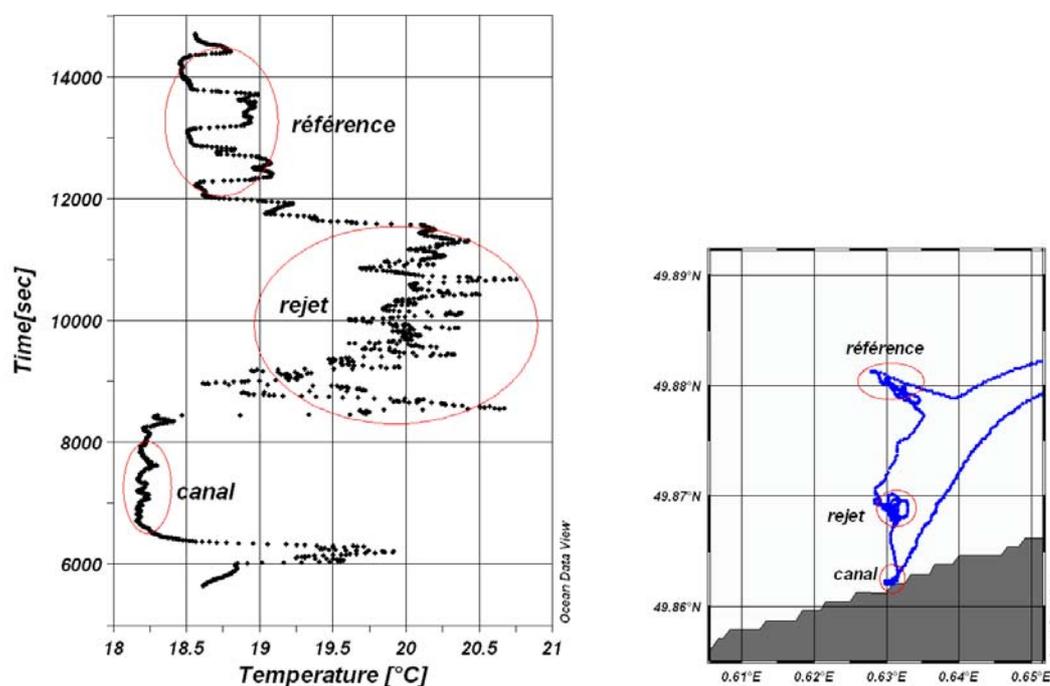


Figure 2.7 : Positionnement du NO THALIA lors de l'échantillonnage de septembre 2004 et évolution de la température de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre

Les variations de température liées aux rejets, présentées dans la figure 2.7 sont très localisées autour du point *rejet*. Celles-ci ont été enregistrées par le thermosalinomètre lors de la campagne d'échantillonnage de septembre. La figure 2.7 montre clairement l'influence thermique de la centrale au point *rejet*. La température mesurée au point *rejet* dépend en grande partie de la proportion d'eau échauffée au point *rejet*. Cette proportion peut être calculée d'après la formule :

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

où π (en %) représente la proportion d'eau réchauffée, et T_{rejet} , T_{canal} et $T_{condenseur}$ respectivement les températures aux point *rejet*, *canal* et à la sortie du condenseur (données EDF). Le dénominateur de l'équation (1) représente la différence de température entre les eaux réchauffées et celles du milieu récepteur (ΔT). Cette différence n'excède théoriquement pas 15 °C (Malherbe et Manoha, 1977). Les quantités d'eau réchauffée, ainsi que les taux de dilution théoriques sont indiquées dans le tableau 2.3 ci-après.

| EN % | AVRIL | JUIN | SEPTEMBRE |
|----------------------------------|-------|------|-----------|
| PROPORTION D'EAU ÉCHAUFFÉE π | 20 | 20 | 15 |
| TAUX DE DILUTION ($100-\pi$) | 80 | 80 | 85 |

Tableau 2.3 : Proportion (en %) d'eau réchauffée et taux de dilution théorique dans les prélèvements réalisés au point *rejet*

La proportion d'eau échauffée au point *rejet* est de 20 % en avril, 20 % en juillet et 15 % en septembre. Ceci correspond à des taux de dilution de 80 % lors de la campagne de printemps, 80 % en été et 85 % en automne. Les taux moyens de dilution observés depuis 1988 sont respectivement de 89 %, 88 % et 87 % pour les campagnes de printemps, d'été et d'automne.

2.2.1.4. Approche statistique

Le tableau 2.4 présente les résultats des tests statistiques relatifs aux variations spatiales de la température entre 1988 et 2004. L'étude indique que la température de l'eau de mer au point *rejet* a été significativement différente (au seuil de 5 %) de celles des autres points. Ce résultat confirme l'existence d'un effet thermique permanent au point *rejet*, ce qui est attendu.

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| CANAL / REJET | 1·10⁻⁵ | 1·10⁻⁴ | 1·10⁻⁷ |
| RÉFÉRENCE / REJET | 6·10⁻⁹ | 7·10⁻⁷ | 1·10⁻⁴ |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,075 | 0,171 | 0,522 |

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

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

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

2.2.2. Salinité

2.2.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la salinité

Les salinités moyennes ont été comprises entre 32,8 et 33,4 au point *rejet*, entre 32,6 et 33,2 au point *canal* et entre 33,3 et 33,4 au point *référence* (figure 2.8).

En 2004, les salinités les plus faibles ont été enregistrées en été au point *canal* avec une valeur moyenne de 32,6. Les salinités les plus élevées ont été observées au point *référence* en juin et septembre (maximum de 33,4).

Pour l'ensemble de campagnes, le gradient croissant de salinité s'établit de la façon suivante : *canal*, *rejet*, *référence*, ce qui suggère que la salinité observée au point *rejet* résulte du mélange des eaux du point *canal* (après passage par la centrale) et du point *référence*.

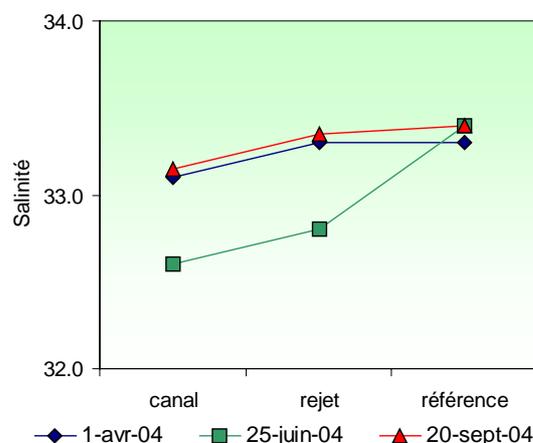


Figure 2.8 : Salinité de l'eau de surface lors des campagnes de 2004

Les salinités observées pendant les campagnes de 2004 peuvent être considérées comme élevées, particulièrement au printemps : elles sont légèrement supérieures à celles observées par Brylinski *et al.* (1991) qui constataient une accumulation d'eaux dessalées (salinité comprise entre 32 et 33) au large du pays de Caux. Dupont *et al.* (1991) relèvent des salinités comprises entre 31,5 et 33,0 autour de Dieppe à pleine mer. Lors de l'étude écologique de projet du site de Paluel (Dewarumez *et al.*, 1980) les salinités enregistrées aux mois de mars et d'avril 1979 se trouvaient elles aussi en dessous de 33. Cependant, ce schéma peut être rapidement modifié par de fortes pluies ou dépendre de l'heure d'exécution des prélèvements par rapport à la marée.

La salinité autour du point *rejet* peut présenter de rapides variations dues au caractère turbulent du mélange près de la grille de rejets (figure 2.9). Ces variations peuvent être négatives, ce qui met en évidence un apport des eaux dessalées ou positives si des produits ou des composés mélangés aux eaux de refroidissement changent la conductivité de l'eau. Ces variations restent cependant très limitées géographiquement autour de la grille de rejets. Les variations de salinité observées au point *canal* reflètent parfaitement le caractère hétérogène des eaux côtières, où les apports des fleuves se font sentir plus fortement.

Le diagramme T-S (température-salinité) de la figure 2.9 met en évidence les différentes masses d'eau lors de la campagne de septembre, avec un point *canal* qui présente des faibles valeurs de salinité et de température, et un point *référence* bien distinct, plus chaud et plus salé. L'ensemble de points concernant la masse d'eau du *rejet* est plus étalé en température et en salinité. Les écarts de salinité sont le produit du mélange des eaux du point *canal* et du point *référence*, tandis que les écarts de température observés sont le produit des rejets chauds de la centrale.

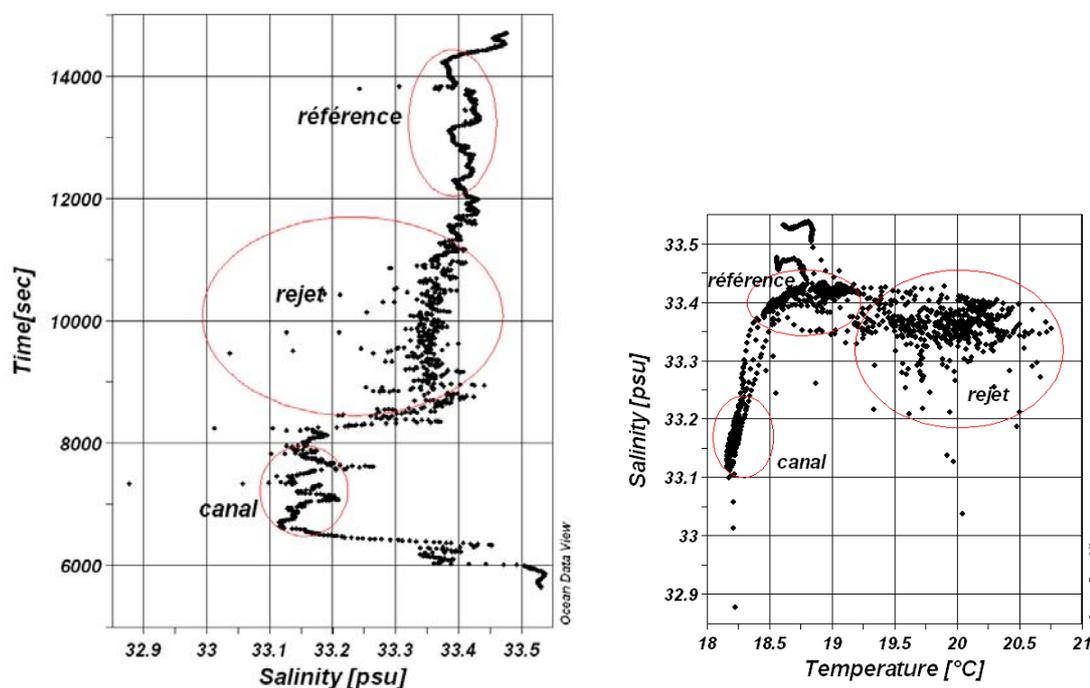


Figure 2.9 : Évolution de la salinité de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre lors de la campagne de septembre 2004 et son diagramme T-S lors de la même campagne

2.2.2.2. Variations inter-annuelles

La figure 2.10 présente les valeurs de salinité aux différents points au cours de la période 1988-2004. Les salinités enregistrées en avril 2004 présentent des valeurs légèrement supérieures par rapport à celles observées en 2003. Entre 1997 et 2001 les valeurs printanières de la salinité ont été en diminution. A partir de 2001 nous observons une augmentation progressive de ces valeurs. Les valeurs enregistrées en juin et en septembre ont été toutes en dessous de celles observées en 2003 et plus particulièrement au mois de juin aux point *canal* et *rejet* où un écart de 0,7 °C est constaté.

Les trois campagnes de surveillance se sont déroulées après une période de faibles pluies, ce qui peut expliquer les fortes salinités observées.

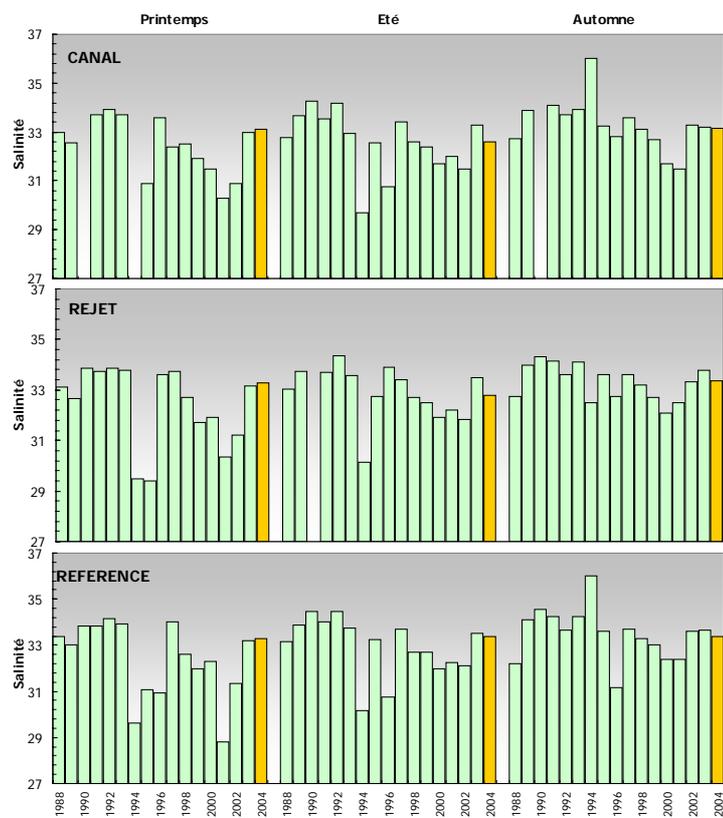


Figure 2.10 : Salinité de l'eau (en surface) lors des campagnes de 1988 à 2004

La pluviométrie est le facteur principal qui régule la salinité côtière en Manche par l'apport d'eau douce des nombreux fleuves. L'effet de la pluviosité régionale est perceptible au niveau du débit de la Seine, qui présente de faibles débits printaniers (figure 1.12). Le mois de janvier 2004 a été marqué par un fort débit de la Seine, bien supérieur à la moyenne enregistrée entre 1941 et 2003. En revanche dès le mois de février il présente des valeurs nettement inférieures à cette moyenne.

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

Les boîte à moustaches permettent d'apprécier les salinités observées en 2004 par rapport à l'ensemble de valeurs enregistrées depuis 1988 (figure 2.11). Toutes les valeurs de salinité en avril se situent au dessus des valeurs médianes. En juin et septembre les valeurs restent proches des valeurs médianes.

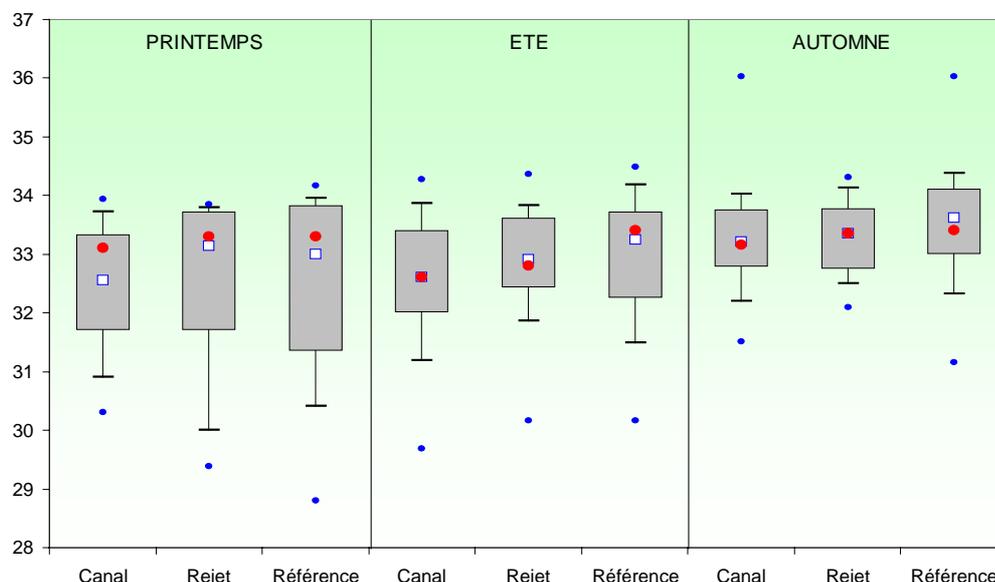


Figure 2.11 : Comparaison des distributions de la salinité par saison et par point entre 1988 et 2004

La dispersion des valeurs est plus forte au printemps. Un gradient côte-large croissant *canal-rejet-référence* est observé pour les données obtenues depuis 17 ans en été et en automne. Au printemps le point *rejet* présente une médiane supérieure aux autres points. Cependant compte tenu des incertitudes de mesure nous ne pouvons pas conclure à une différence de valeurs entre les points *canal* et *rejet* au printemps.

2.2.2.3. Approche statistique

Le tableau 2.5 présente les résultats des tests statistiques relatifs aux variations spatiales de la salinité depuis 1988 jusqu'en 2004.

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|-------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|
| CANAL / REJET | 0,096 | $3 \cdot 10^{-4}$ | 0,149 |
| RÉFÉRENCE / REJET | 0,024 | 0,005 | 0,061 |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,010 | $2 \cdot 10^{-4}$ | 0,016 |

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

Tableau 2.5 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la salinité

L'été présente des différences significatives entre tous les points de prélèvement. Au printemps et en automne nous observons de différences entre les points *canal* et *référence*. Cependant, des trois valeurs de p supérieures au seuil de 0,05, deux d'entre elles sont proches de ce seuil. Ces résultats et la distribution observée dans la figure 2.11 suggèrent l'influence en terme d'apport d'eau douce au niveau du *canal* par le fleuve côtier.

En raison du courant résiduel portant au nord-est, la zone est affectée par une dérive des eaux issues de la baie de Seine. L'influence des cours d'eau côtiers, la *Durdent* et la *Valmont*, caractérisés par un débit faible et irrégulier se jettant à l'ouest du site, est bien inférieure à l'influence que subit par exemple le site de Penly qui reçoit l'apport de la *Saône* et de l'*Arques*. En 2004, les faibles pluies du printemps et de l'été ont eu comme conséquence la disparition de ce phénomène, bien visible en 2002. Le seul effet perceptible reste le fleuve côtier drainant les apports de la *Seine*, qui deviennent moins perceptibles au fur et à mesure de l'éloignement de son embouchure.

La centrale peut représenter une source d'eau douce via les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, des circuits secondaires ainsi que des circuits annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire. Cependant ces apports, qui peuvent être ponctuels, restent minimales vis-à-vis des volumes d'eau de mer pompés et rejetés en mer pour les circuits de refroidissement.

2.2.3. Ammonium

2.2.3.1. Variations spatiales et saisonnières en ammonium

Les teneurs en ammonium ont varié au cours des campagnes 2004 de 0,73 à 2,23 μM au point *canal*, de 0,68 à 2,29 μM au point *rejet* et de 0,58 à 2,19 μM au point *référence* (figure 2.12).

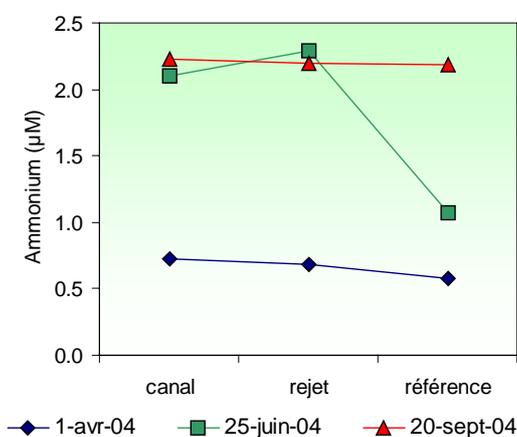


Figure 2.12 : Concentrations en ammonium dans les eaux de surface lors des campagnes 2004

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

Si l'on tient compte des incertitudes liées à la méthode analytique, les valeurs en ammonium aux points *canal* et *rejet* sont comparables (tableau 2.2). Les variations en ammonium résultent des processus d'assimilation, de dégradation et d'excrétion lors de l'activité biologique des niveaux

trophiques supérieurs dans la colonne d'eau, ainsi que des processus de reminéralisation en fin d'été et en automne (Ragueneau *et al.* 1994). Des apports externes peuvent être véhiculés par les fleuves côtiers et les éventuels rejets de la centrale.

2.2.3.2. Variations inter-annuelles

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

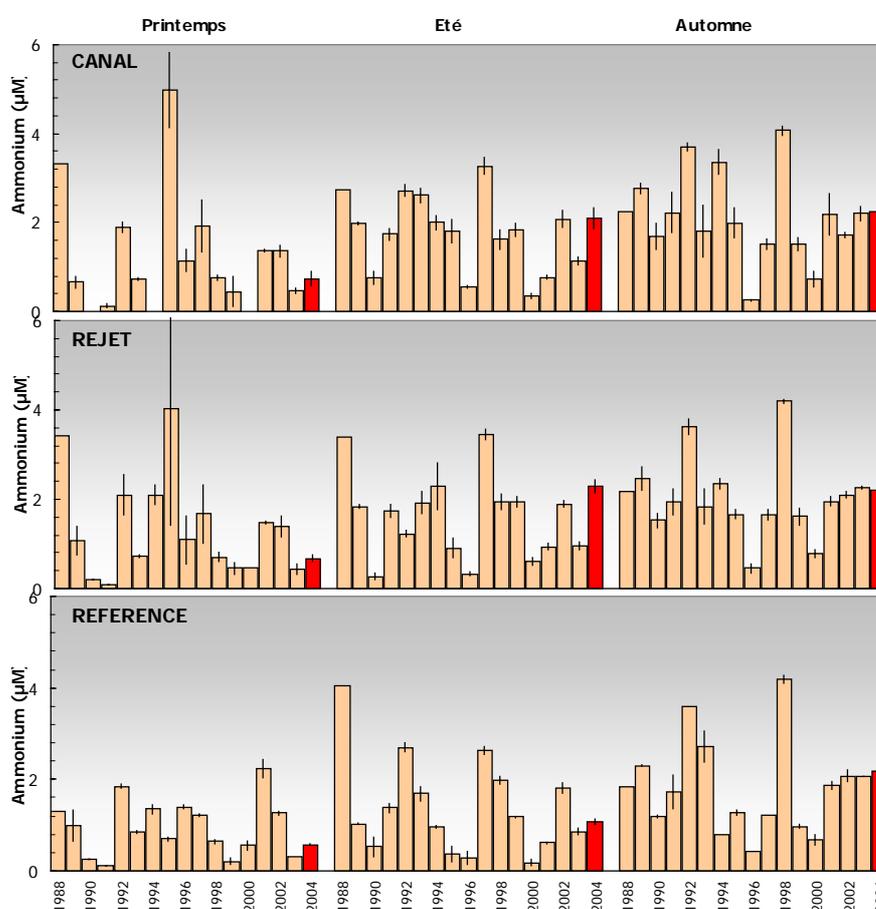


Figure 2.13 : Concentration en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2004

Au printemps et en été, les valeurs sont nettement supérieures à celles observées en 2003, contrairement à l'automne, où elles présentent des concentrations similaires. En été et en automne nous observons une augmentation des valeurs depuis 2000, tandis qu'au printemps cette tendance est à la diminution.

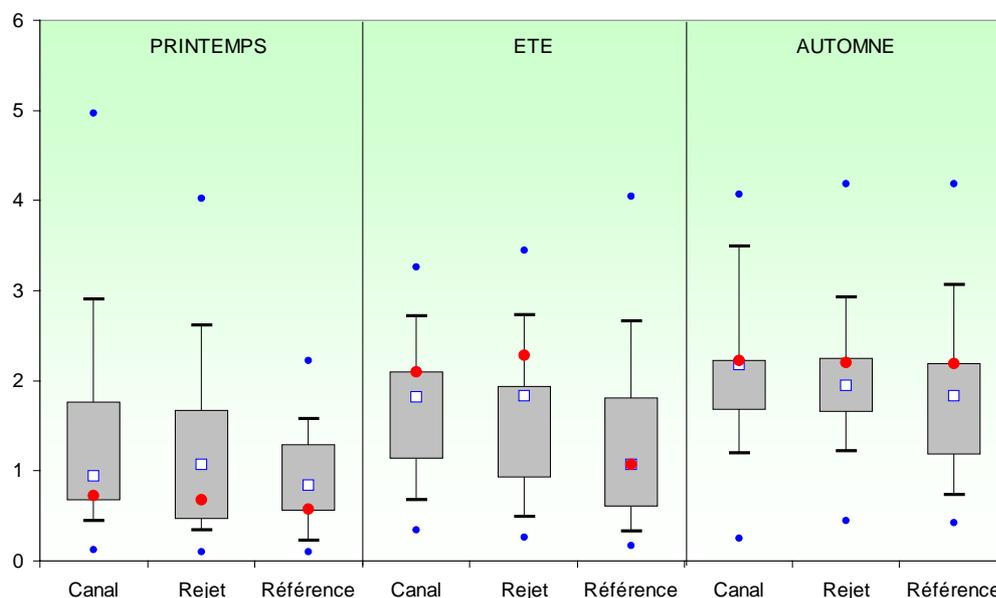


Figure 2.14 : Comparaison des distributions de l'ammonium par saison et par point entre 1988 et 2004

La dispersion des valeurs mesurées au cours de l'ensemble des campagnes printanières est légèrement plus forte que celles observées en été et en automne. Cependant, les médianes sont plus homogènes au printemps et montrent moins de variabilité spatiale (figure 2.14). Le gradient décroissant côte-large est bien mis en évidence en été et en automne, où sont intégrées les 17 dernières années. Les valeurs en ammonium observées en avril ont été toutes en dessous des médianes respectives, tandis qu'en juin et en septembre les valeurs de 2004 se trouvaient au dessus des médianes pluriannuelles.

2.2.3.3. Approche statistique

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

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|-------------------|-----------|--------------|--------------|
| CANAL / REJET | 0,772 | 0,340 | 0,999 |
| RÉFÉRENCE / REJET | 0,211 | 0,119 | 0,001 |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,181 | 0,020 | 0,052 |

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

Tableau 2.6 : Probabilité associée p des tests statistiques sur l'ammonium

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

La centrale peut représenter une source potentielle d'ammonium via des rejets d'ammoniaque. Le conditionnement du circuit secondaire nécessite en effet l'utilisation de ce produit chimique. Les vidanges de ce circuit ont rejeté environ 6,6 t en 2003 (EDF, 2003). L'absence de différence systématiquement significative de la teneur en ammonium entre les points d'échantillonnage indique que ces rejets sont en dessous du seuil de détection des tests. Les teneurs en ammonium présentent des variations saisonnières classiques, tout comme les concentrations observées, ce qui suggère que la centrale n'engendre pas de perturbation notable du cycle naturel de ce paramètre.

2.2.4. Nitrate et nitrite

2.2.4.1. Variations spatiales et saisonnières du nitrate plus nitrite

Les teneurs en azote (nitrate + nitrite) mesurées au cours des campagnes de surveillance 2004 ont été comprises entre 23,1 et 38,4 μM au point *canal*, entre 15,1 et 35,9 μM au point *rejet* et entre 10,4 et 35,9 μM au point *référence* (figure 2.15).

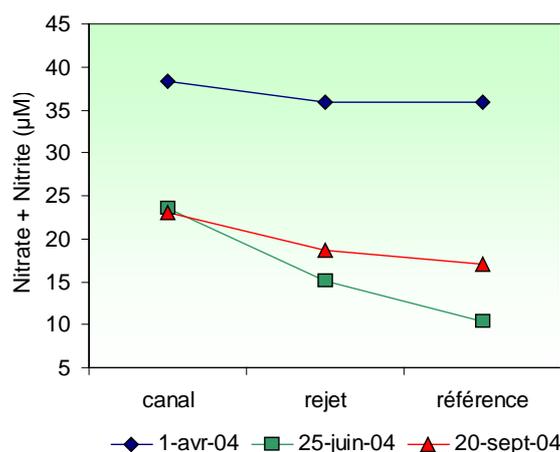


Figure 2.15 : Concentrations en azote dans les eaux de surface lors des campagnes de 2004

Les concentrations en azote diminuent entre le printemps et l'été. Les valeurs automnales sont légèrement supérieures à celles observées pendant l'été. Sur l'ensemble de campagnes de 2004 nous observons un gradient décroissant côte-large, plus prononcé lors des campagnes d'été et d'automne.

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

2.2.4.2. Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en azote sur la période 1988-2004 sont respectivement présentées sur les figures 2.16 et 2.17.

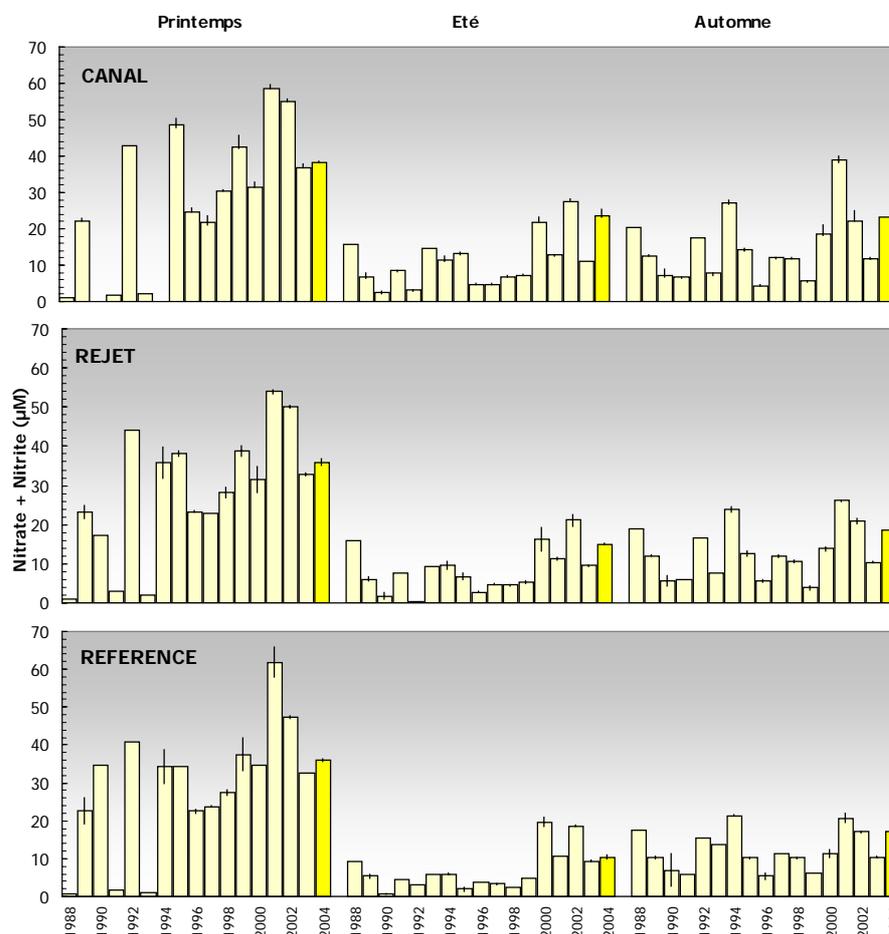


Figure 2.16 : Concentrations en azote dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2004

En raison des importantes précipitations lors des hivers 2000/2001 et 2001/2002, les valeurs d'azote observées en 2001 et 2002 ont été les plus fortes enregistrées ces dernières années. Les valeurs observées en 2004 sur l'ensemble des points, bien que supérieures à celles de 2003, sont revenues à des niveaux plus proches des moyennes pluriannuelles.

Les boîtes à moustaches de la figure 2.17 présentent les valeurs d'azote de 1988 à 2004. Bien qu'inférieures aux valeurs des années 2001 et 2002, les concentrations en azote de 2004 restent au dessus des médianes pluriannuelles. La distribution de médianes en été et en automne présentent un gradient décroissant côte-large, ce qui est cohérent avec l'existence du fleuve côtier. Au printemps, le point *canal* présente une médiane inférieure à celle du point *référence*, cependant cette information est à prendre avec précaution, car les très faibles valeurs d'azote observées en 1988, 1991 et 1993 dues au caractère tardif des campagnes (effectuées en mai) fait diminuer la valeur des médianes printanières. Le gradient décroissant côte-large observé dans les campagnes d'été et d'automne est rétabli en enlevant ces trois séries de mesures. Les campagnes de printemps présentent les plus fortes dispersions de valeurs autour de la médiane. La tendance

saisonniers met en évidence une diminution des concentrations en été et une régénération en automne. Ce schéma apparaît clairement dans les mesures 2004.

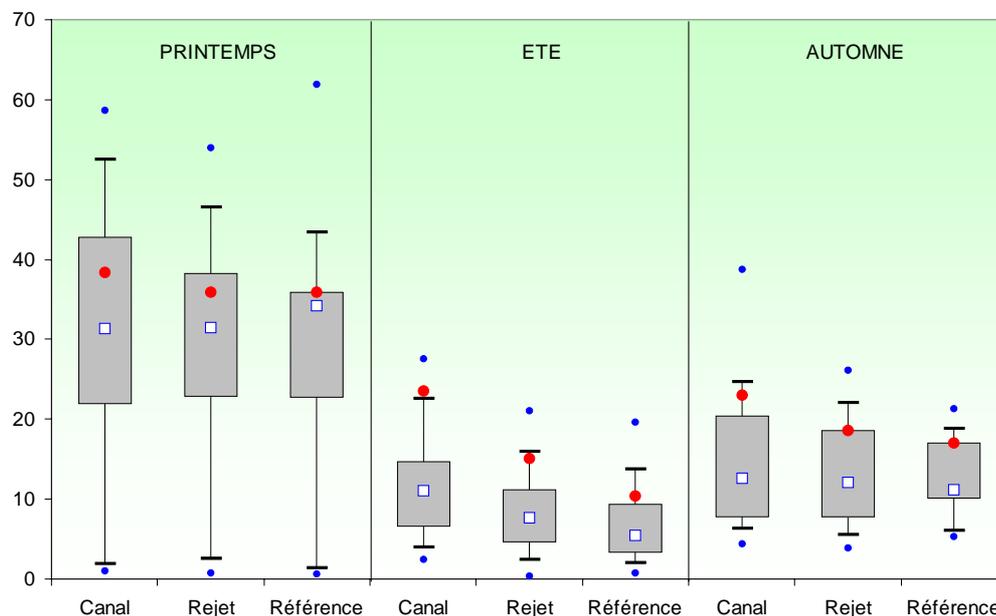


Figure 2.17 : Comparaison des distributions des concentrations en azote (μM) par saison et par point depuis 1988

2.2.4.3. Approche statistique

Le tableau 2.7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour l'azote entre 1988 et 2004.

| | COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|---------|-------------------|-----------|-------------------------------------|--------------|
| NITRATE | CANAL / REJET | 0,301 | $4 \cdot 10^{-4}$ | 0,003 |
| | RÉFÉRENCE / REJET | 0,052 | 0,018 | 0,052 |
| | CANAL / RÉFÉRENCE | 0,121 | $2 \cdot 10^{-4}$ | 0,015 |

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

Tableau 2.7 : Probabilité associée p des tests statistiques sur les l'azote

Cette étude statistique met en évidence une différence significative entre les trois points en été et en automne (en automne, valeur de p proches du seuil). Le stock hivernal d'azote est donc *quasi* identique de la côte au large.

Les variations des concentrations observées en 2004 sont *a priori* caractéristiques d'un cycle saisonnier classique pour l'azote. Les valeurs en azote observées au point *rejet* se situent entre celles enregistrées aux points *canal* et *référence*, ce qui suggère que les valeurs du point *rejet* sont la conséquence du mélange de ces deux masses d'eau. La centrale semble donc n'avoir d'impact ni sur le cycle annuel, ni sur les teneurs de ces sels nutritifs.

2.2.5. Matières en suspensions (MES)

2.2.5.1. Variations spatiales et saisonnières des MES

En 2004, les teneurs en MES (figure 2.18) ont varié au cours des campagnes de 3,6 à 45,2 mg/L au point *canal*, de 3,9 à 34,5 mg/L au point *rejet* et de 3,8 à 22,6 mg/L au point *référence*.

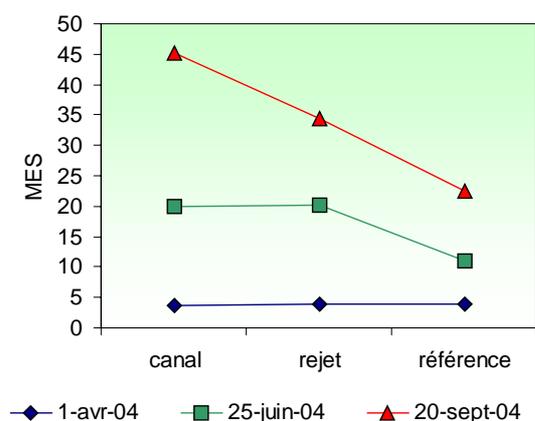


Figure 2.18 : Concentrations en MES (mg/L) dans les eaux de surface lors des campagnes de 2004

Contrairement à la situation observée en 2003, où les plus fortes valeurs en MES sont observées lors des campagnes de printemps, en 2004, les concentrations en MES présentent une augmentation régulière de ses valeurs du printemps vers l'automne. Les campagnes de juin et de septembre ont été réalisées avec de fortes conditions de mer, ce qui ajoute un biais à ce paramètre qui n'est plus représentatif de la masse d'eau étudiée.

Hormis les valeurs du mois d'avril qui présentent une très faible variabilité spatiale, les résultats obtenus en juin et septembre présentent un gradient décroissant côte-large. Ce gradient s'explique par les fortes conditions de mer qui favorisent la remise en suspension des sédiments aux faible profondeurs.

2.2.5.2. Variations inter-annuelles

Les variations en MES au cours de la période 1988-2004 sont présentées dans la figure 2.19. Lors des campagnes de juin et de septembre, les valeurs de concentrations en MES ont été toutes très au dessus des valeurs observées en 2003. Ce phénomène, plus particulièrement marqué lors de la campagne automnale est la conséquence des mauvaises conditions de mer rencontrées lors de ces deux dernières campagnes de 2004. A l'opposé de ces conditions estivales et automnales, les valeurs observées en avril sont très inférieures à celles observées en 2003.

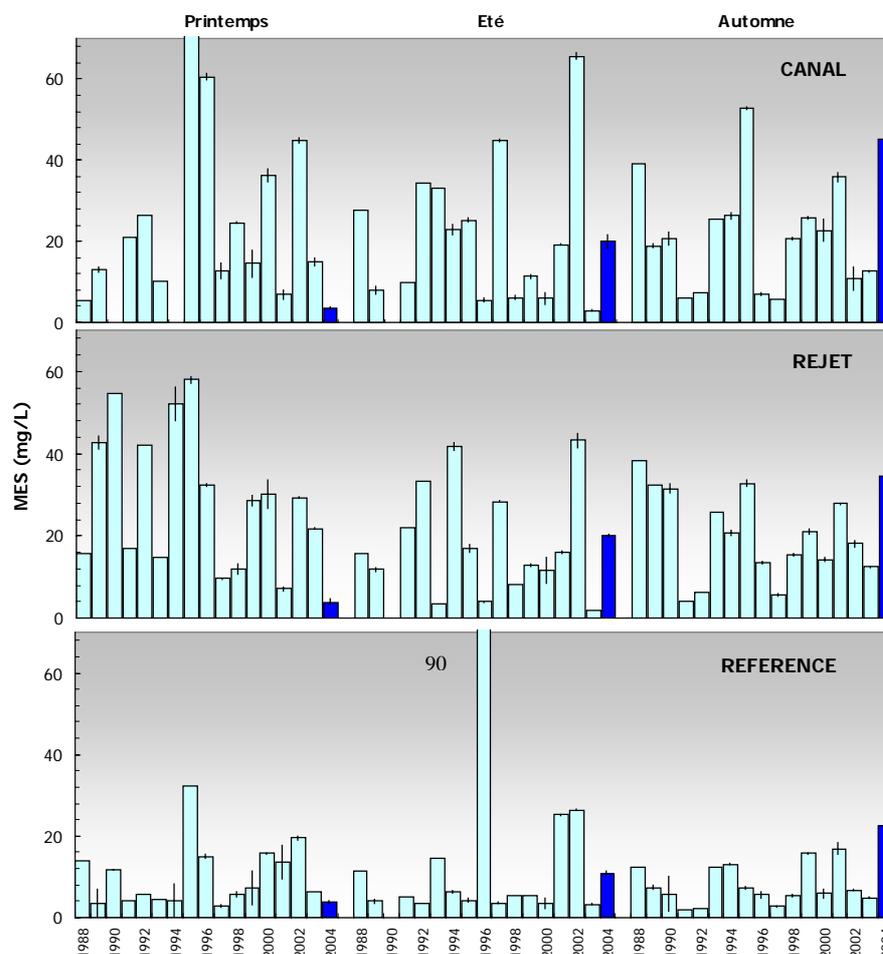


Figure 2.19 : Concentrations en MES dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2004

La figure 2.20 montre que les plus fortes dispersions de valeurs sont observées pendant les campagnes de printemps et d'été, au moment où les pluies provoquent les plus forts débits des fleuves. Les boîtes contenant 50 % des valeurs sont plus réduites au point *référence* pendant toute l'année, ce qui est conforme à une plus faible variabilité des MES dans la masse d'eau du large. Comme pour l'ammonium, les mesures de MES obtenues depuis 1988 présentent une très forte variabilité.

Toutes les valeurs de MES observées en avril 2004 ont été en dessous des médianes pluriannuelles et représentent les minima absolus pour la série observée depuis 1988 à cette période. Les médianes présentent un gradient décroissant côte-large pour les trois campagnes annuelles ce qui suggère des mélanges complexes entre les apports d'eau fluviale et le *fleuve côtier* (Brylinski *et al.*, 1991), d'autant plus que le point *référence* se situe davantage dans le panache de la *Durdent*.

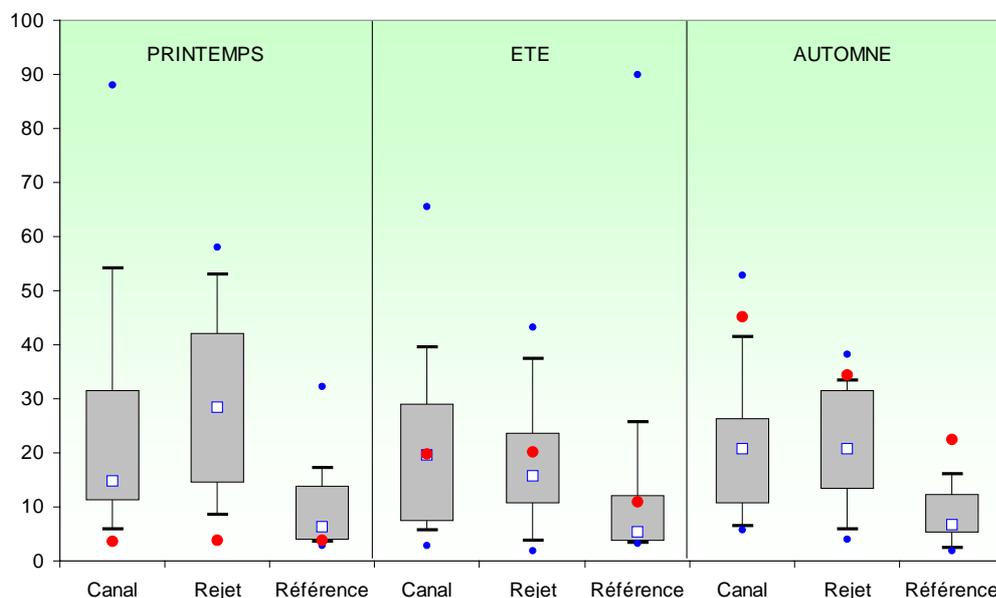


Figure 2.20 : Comparaison des distributions des concentrations en MES par saison et par point depuis 1988

2.2.5.3. Approche statistique

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

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|-------------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------------|
| CANAL / REJET | 0,779 | 0,317 | 0,415 |
| RÉFÉRENCE / REJET | $2 \cdot 10^{-4}$ | 0,080 | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,004 | 0,024 | $1 \cdot 10^{-4}$ |

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

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

Les résultats indiquent qu'il existe des différences significatives entre le point *référence* et les points *canal* et *rejet* tout au long de l'année (à l'exception d'une probabilité p égale à 0,080 obtenue en été).

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

En été et en automne, les concentrations en MES du point *rejet* sont sensiblement similaires à celles observées au point *canal*, ce qui suggère que la centrale n'engendre pas de perturbation sur les teneurs en MES. Au printemps, les plus fortes valeurs observées au point *rejet* peuvent s'expliquer par le fort hydrodynamisme engendré autour des grilles par le pompage.

2.2.6. Trihalométhanes

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

Les quatre formes organo-halogénées recherchées sont :

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

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

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

2.2.6.1. Variations spatiales et saisonnières du tribromométhane

Seule la campagne de septembre a présenté des concentrations supérieures au seuil de détection analytique de 1 µg/L. Cette valeur a été de 3,9 µg/L au point *rejet* (figure 2.21).

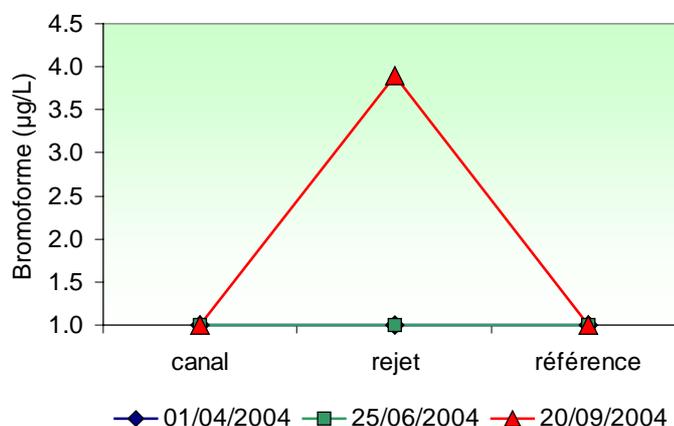


Figure 2.21 : Concentrations en tribromométhane dans les eaux de surface lors des campagnes de 2004

2.2.6.2. Variations inter-annuelles du tribromométhane

L'étude de l'évolution spatio-temporelle du tribromométhane (figure 2.22) montre que les plus faibles valeurs sont enregistrées pendant la période printanière : tous les résultats sont inférieures au seuil de détection, hormis deux valeurs ne dépassant pas $3 \mu\text{g/L}$ au point *rejet* en 1997 et 2000. En été et en automne, davantage de mesures ont dépassé le seuil de détection. La seule valeur significative enregistrée en 2004 a été observée au point *rejet* en septembre.

Les *boîtes à moustaches* de la figure 2.23 montrent les faibles concentrations en bromoforme au printemps. L'été et l'automne présentent des allures tout à fait comparables. La variabilité temporelle au point *rejet* est plus marquée que pour les deux autres points (boîte contenant 50 % des valeurs). Les médianes du point *référence* présentent les valeurs les plus faibles. La valeur de concentration en bromoforme observée en septembre 2004 a été au dessus de la médiane pluriannuelle, restant toutefois inférieure à $10 \mu\text{g/L}$, valeur tout à fait acceptable pour le milieu marin (Abarnou *et al.*, 1990).

La faible quantité de données significatives ne permet pas, dans le cas des trihalométhanes, de réaliser des tests statistiques. 2004 a été marqué par de faibles concentrations en trihalométhanes, dont seul le bromoforme a dépassé la valeur du seuil analytique au point *rejet* en septembre. Ni la fréquence, ni les valeurs observées ne nous permettent de conclure à un impact des rejets chlorés de la centrale de Paluel sur le milieu marin.

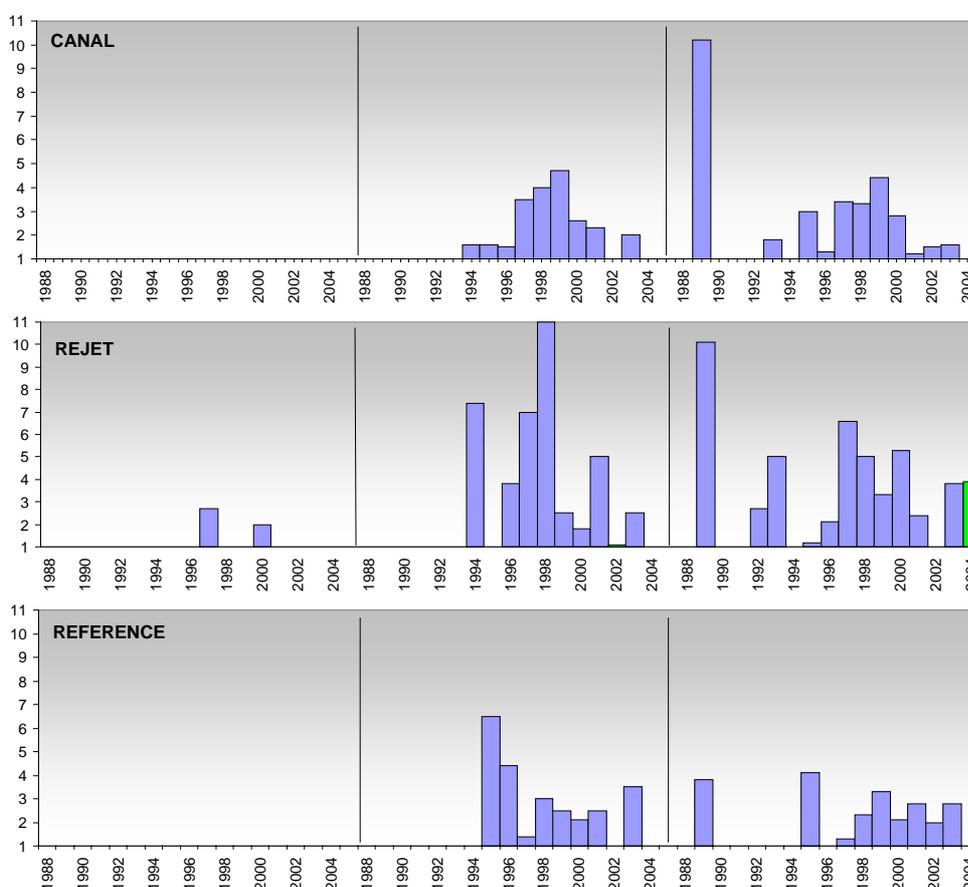


Figure 2.22 : Concentrations en tribromométhane ($\mu\text{g/L}$) dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2004

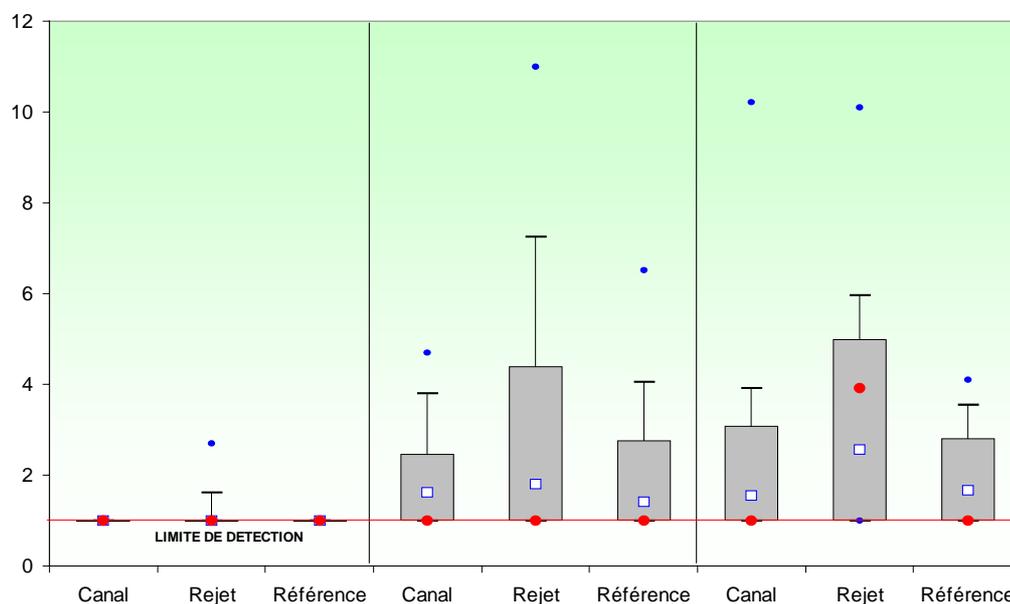


Figure 2.23 : Comparaison des distributions des concentrations en tribromométhane ($\mu\text{g/L}$) par saison et par point depuis 1988

2.2.7. Dosage du Bore

L'acide borique (H_3BO_3) fait partie des produits de conditionnement qui, ajoutés à l'eau déminéralisée, sont introduits dans les circuits d'eau de la centrale. Ce produit est utilisé dans l'eau du circuit primaire en tant qu'absorbeur neutronique pour compenser les lentes variations de réactivité. Le rejet dans le milieu marin (22 tonnes en 2003 ; données EDF) se fait par l'intermédiaire des effluents radioactifs liquides qui sont eux mêmes rejetés en conformité avec les normes fixées par la réglementation. Dans le cadre des nouvelles dispositions prises par l'arrêté ministériel du 17 juin 2000, les premières mesures de bore dans le milieu marin ont été réalisées le 6 septembre 2000.

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

2.2.7.1. Variations spatiales et saisonnières du bore

Les valeurs de la concentration en bore dans l'eau de mer lors des campagnes de 2004 sont présentées dans la figure 2.24 avec leurs intervalles de confiance. Étant donné que les concentrations en bore des campagnes d'avril et septembre superposent leurs intervalles de confiance, nous ne pouvons pas conclure à une différence entre les trois points d'échantillonnage de deux campagnes. Les valeurs enregistrées lors de la campagne de juin se situent nettement au

dessus de celles observées en avril et septembre. D'une façon générale et tenant compte des incertitudes liées à la méthode analytique, les variations entre les trois points d'échantillonnage par campagne ne semblent pas présenter de différences significatives.

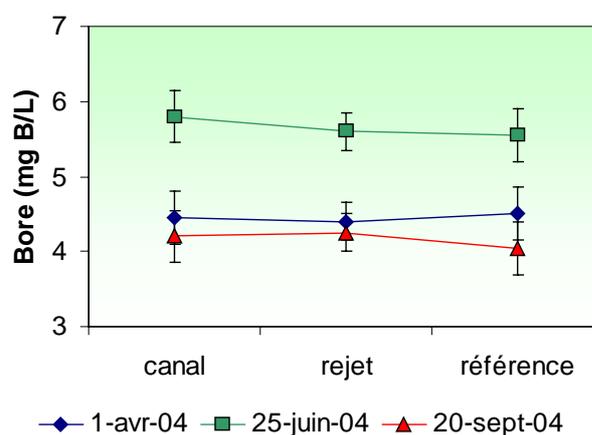


Figure 2.24 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2004 avec les intervalles de confiance ($\alpha = 0,05$)

2.2.7.2. Variations inter-annuelles

Les variations inter-annuelles en bore sont présentées dans la figure 2.25. Les premières mesures en bore, qui ont eu lieu en septembre 2000, font suite au nouvel arrêté d'autorisation de rejet du 17 juin 2000.

Les concentrations de bore dans l'eau de mer observées en 2004 sont similaires ou supérieures à celles enregistrées en 2003, et plus particulièrement celles du mois de juin qui ont été proches de 6 mg/L.

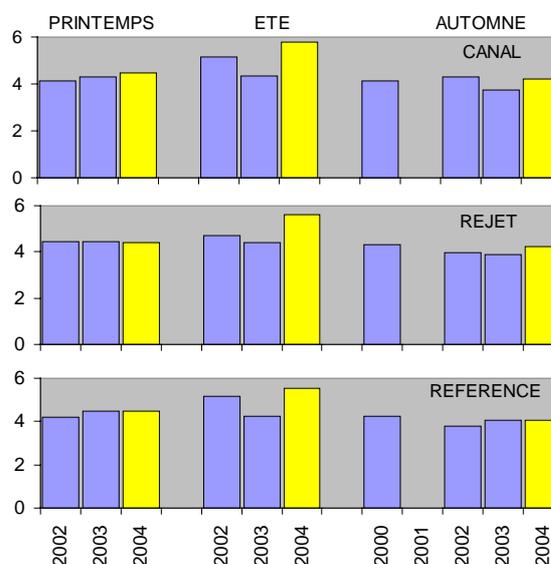


Figure 2.25 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2004

Nous remarquons une augmentation significative des valeurs dans la concentration de bore au mois de juin, bien que il n'y ait pas eu des rejets de ce produit les jours précédant la campagne. De plus, ce lors de cette campagne estivale que nous observons les plus faibles salinités, qui marquent un apport d'eau douce fluvial et en principe plus pauvres en bore que les eaux marines. Il reste donc difficile à expliquer cette augmentation de la concentration de bore, où l'erreur analytiques pourrait en être la cause la plus probable.

Cependant, compte tenu des résultats, qui ne présentent pas des concentrations au point *rejet* supérieures aux autres points, nous ne pouvons pas conclure à une influence des rejets de la centrale sur les concentrations mesurées en bore dans les eaux de surface lors des trois campagnes d'échantillonnage en 2004.

2.3. Conclusion

Les résultats du programme de surveillance pour l'année 2004 sur le site de Paluel montrent l'influence des conditions météorologiques sur les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau. Lors des campagnes de juin et de septembre la mauvaise météo a conduit à des valeurs similaires sur les mesures effectuées en surface et à mi profondeur, et plus particulièrement à des valeurs très élevées de la concentration en matières en suspension en septembre.

L'année 2004, contrairement à l'année 2003, a été caractérisée par des températures d'eau plus faibles que les médianes observées depuis 1988. Les différences de température enregistrées entre les points *référence* et *rejet* ont varié entre 1,4 et 3,3 °C.

La salinité observée en avril présente des valeurs élevées pour cette période de l'année, ce qui peut s'expliquer par la faible pluviométrie enregistré sur les premiers mois de l'année. Ce phénomène a engendré une diminution des débits des fleuves côtiers et donc des salinités élevées ainsi qu'une diminution de la concentration en MES. Cette dernière a été particulièrement élevée en septembre suite aux mauvaises conditions de mer lors des campagnes de juin et septembre.

La plus forte valeur d'ammonium observée au point *rejet* en juin suggère un apport par la centrale, mais compte tenu des incertitudes liées à la méthode analytique, cette valeur ne peut pas être considérée significativement différente de celle obtenue au point *canal*.

Le nitrate mesuré lors des campagnes 2004 semble avoir suivi un cycle saisonnier classique : consommation par le phytoplancton des sels nutritifs entre le printemps et l'été à la suite de l'augmentation de l'ensoleillement, suivie en automne du processus de régénération.

Les concentrations en trihalométhanes ont été faibles lors des campagnes 2004. La seule valeur dépassant le seuil analytique a été observée en septembre au point *rejet* pour le bromoforme. Cette valeur a été inférieure à 4 µg/L.

Les concentrations en bore présentent des valeurs plus élevées que les années passées. Au mois de juin les concentrations proches de 6 mg/L restent inexpliquées et pourraient être la conséquence des problèmes analytiques.

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

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

Tableau 2.9 : Récapitulatif des paramètres présentant des différences significatives

Cette étude a révélé que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au point *rejet* qu'aux autres points. Cependant, les mesures indiquent que l'impact thermique est relativement réduit. En effet, les échantillons prélevés aux abords du *rejet* (quelques dizaines de mètres) présentent des taux de dilution théoriques importants (> 80 % en 2004 et près de 90 % en moyenne depuis 1988).

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

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).

3. La Microbiologie

Rapport

Luis Lampert (LERN).

Analyses

Laboratoire de ROUEN.

Participation

Hervé du Boullay (LERN).

3.1. Introduction

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

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

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

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Paluel, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes eaux les 1^{er} avril, 25 juin et 20 septembre 2004. Ils ont été menés à bord du navire océanographique *NO THALIA*. Les points échantillonnés sont les suivants :

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

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

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

3.2.2. Analyses microbiologiques

Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

Le protocole analytique est le suivant :

- stabilisation de l'échantillon au moment du prélèvement par du formol dépoussiéré afin de limiter la multiplication des bactéries,
- filtration sur membrane en polycarbonate 0,2 µm teintée au laboratoire avec de l'Irgalan black,
- coloration à l'acridine orange au 1/30.000^e,
- observation au microscope de la membrane sous lumière UV réfléchie.

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

Dénombrement des germes aérobies revivifiables sur milieu de Zobell.

Le protocole analytique est le suivant :

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

Recherche de vibrions halophiles

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

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

Dénombrement des vibrions halophiles

Méthode MPN en 3 tubes :

- 3 dilutions : 10 mL, 1 mL et 0,1 mL ;
- milieu Akyama double et simple concentration, 24 h-48 h à 37 °C ;
- isolement sur gélose TCBS pendant 24 h à 37°C ;
- repiquage sur milieu Kligler ;
- test vibrio-statiques (tests O129);
- identification par tests biochimiques (galerie API 20 NE).

Dénombrement des vibrions halophiles (méthode EDF)

- Filtration de 10 mL à 1000 mL sur membrane en acétate de cellulose de porosité 0,45 µm ;
- placer le filtre dans milieu TCBS à 37 ± 1°C pendant 18 à 24 h ;
- lecture des boîtes ;
- incuber pendant 24 h à 20 ± 2 °C ;
- nouvelle lecture des boîtes;
- repiquage et isolement sur gélose TCBS à 37 ± 1°C pendant 24 h ;
- repiquage colonies en milieu Zobell et incubation à 37 ± 1°C pendant 24 h ;
- tests divers et recherche de pathogènes.

3.3. Résultats

3.3.1. Récapitulatif des résultats des mesures microbiologiques pour l'année 2004.

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2004 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 3.1 :

| | | (Valeurs moyennes) | CANAL (n=2) | REJET (n=2) | RÉFÉRENCE (n=4) |
|--------------|-----|--|----------------|----------------|--------------------|
| 01 AVRIL | | <i>Germes totaux (g./mL)</i> | 136 000 | 141 000 | 106 000 |
| | | <i>Germes revivifiables (g./mL)</i> | 345 | 201 | 65 |
| | | <i>V. halophiles/100 mL</i> | <3 | <3 | <3 |
| | | <i>Identification de v. halophiles</i> | Absence | Absence | Absence |
| | EDF | <i>V. halophiles/100 mL</i> | 2 | 11 | 15 |
| | | <i>Identif. de v. halophiles</i> | Va | Va | Va |
| <hr/> | | | | | |
| 25 JUIN | | <i>Germes totaux (g./mL)</i> | 105 500 | 120 000 | 113 250 |
| | | <i>Germes revivifiables (g./mL)</i> | 3 275 | 4 900 | 278 |
| | | <i>V. halophiles/100 mL</i> | <3 | <3 | <3 |
| | | <i>Identification de v. halophiles</i> | Absence | Absence | Absence |
| | EDF | <i>V. halophiles/100 mL</i> | 22 | 48 | 3 |
| | | <i>Identif. de v. halophiles</i> | Va | Va | Va |
| <hr/> | | | | | |
| 20 SEPTEMBRE | | <i>Germes totaux (g./mL)</i> | 110 000 | 124 000 | 110 250 |
| | | <i>Germes revivifiables (g./mL)</i> | 3 625 | 6 250 | 370 |
| | | <i>V. halophiles/100 mL</i> | 9,2 | 93 | 23 |
| | | <i>Identification de v. halophiles</i> | Va | Va+Vv | Va+Vv |
| | EDF | <i>V. halophiles/100 mL</i> | 8 | 16 | 28 |
| | | <i>Identif. de v. halophiles</i> | Va | Vv | Va |

Va = *Vibrio alginolyticus* ; Vv = *Vibrio vulnificus*

Tableau 3.1 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2004 dans les eaux de surface

3.3.2. Résultats en germes totaux en épifluorescence

3.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières des germes totaux en 2004

Les valeurs de dénombrement en 2004 ont été comprises entre 105 500 germes/mL en juin au point *canal* et 141 000 germes/mL en avril au point *rejet*, ce qui représente une faible variabilité des abondances de germes (figure 3.1). Au cours de l'année, le nombre de germes totaux dénombrés par épifluorescence est resté toujours du même ordre de grandeur, quelle que soit la saison.

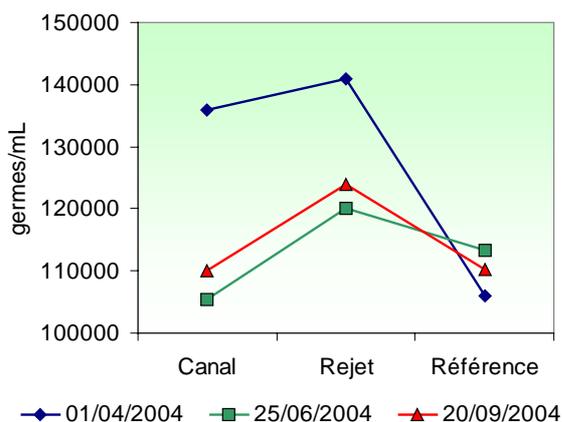


Figure 3.1 : Germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence en 2004

En été et en automne, le nombre des germes au point *référence* est supérieure à celui du point *canal*. Les valeurs dénombrées au point *rejet* tout au long de l'année présentent la plus fortes valeurs par saison.

3.3.2.2. Variations inter-annuelles des germes totaux en épifluorescence

Le nombre total de germes dénombrés par épifluorescence en 2004 présente peu de variations par rapport aux valeurs observées en 2003 (figure 3.2). Depuis 1996, les valeurs restent d'ailleurs très stables, et ne dépassent pas les 200 000 germes/mL quels que soient la saison ou le point d'échantillonnage. Ceci montre qu'en l'absence de perturbation, le système est arrivé à une stabilité de fonctionnement qui ne favorise plus le développement des germes.

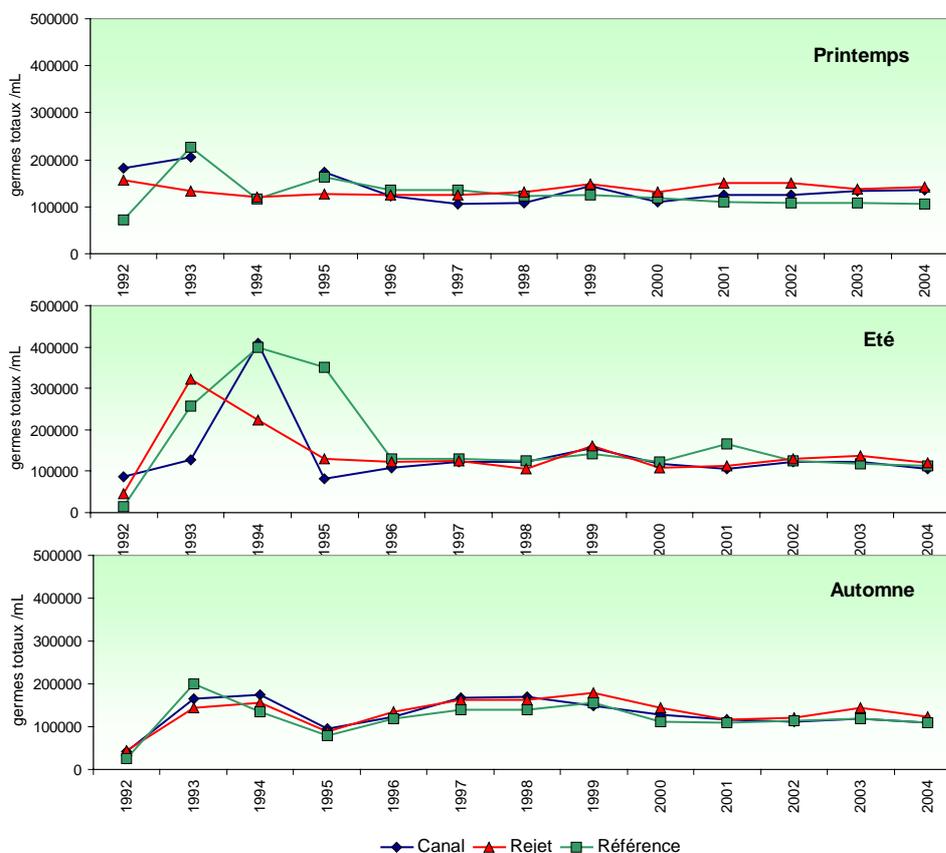


Figure 3.2 : Germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence depuis 1992

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

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

A l'exception des valeurs des points *canal* et *rejet* au printemps, qui se trouvent légèrement au dessus des médianes, l'ensemble de valeurs observées en 2004 se trouvent en dessous des médianes pluriannuelles.

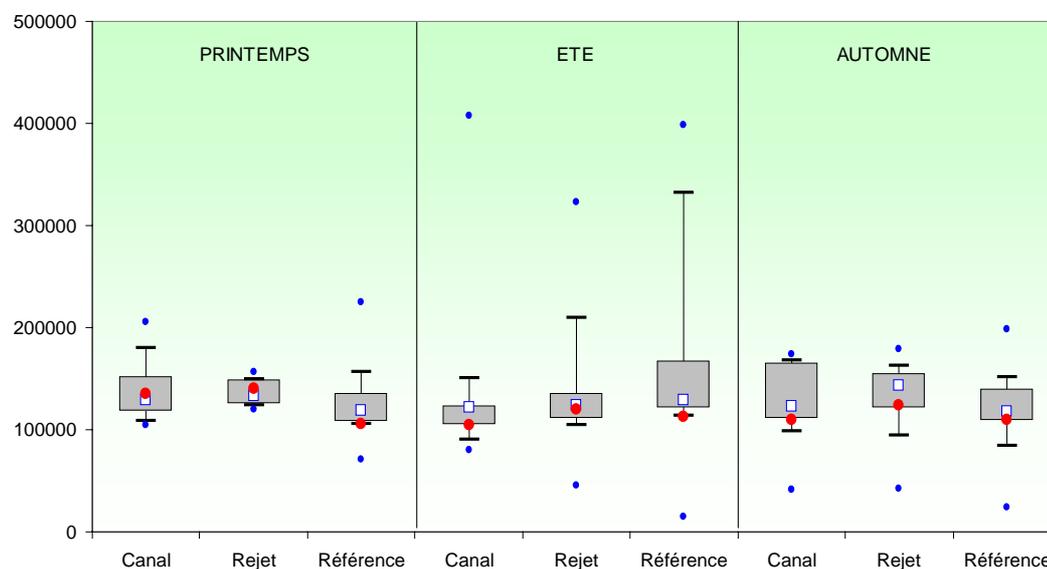


Figure 3.3 : Germes totaux (nombre par mL) depuis 1992 dénombrés par épifluorescence et valeurs 2004 en rouge

3.3.2.3. Approche statistique

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

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|-------------------|-----------|-------|--------------|
| CANAL / REJET | 0,909 | 0,267 | 0,378 |
| RÉFÉRENCE / REJET | 0,410 | 0,999 | 0,005 |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,772 | 0,267 | 0,121 |

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

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

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

3.3.3. Résultats en germes aérobies viables sur milieu de Zobell

3.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières des germes aérobies viables.

Le nombre de germes revivifiables a varié entre un minimum de 65 germes/mL en avril au point *référence* et un maximum de 6 250 germes/mL en septembre au point *rejet* (figure 3.4). Les valeurs de germes revivifiables obtenues lors de la campagne d'avril sont nettement inférieures à celles observées en juin et septembre. En dehors des forts écarts de valeurs observées, le nombre de germes revivifiables augmente du printemps vers l'automne. En avril la plus forte valeur est observée au point *canal*. En juin et septembre nous observons un gradient décroissant côte-large avec les valeurs maximum au point *rejet*.

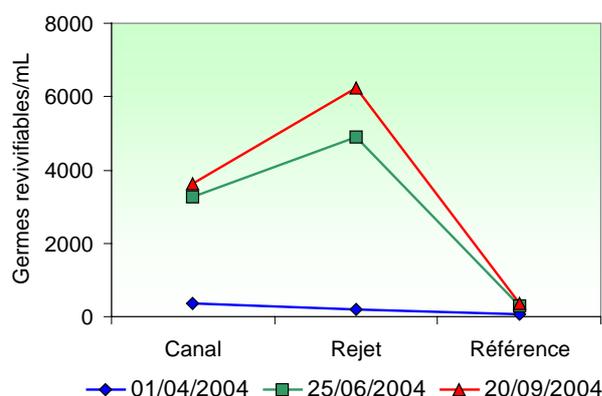


Figure 3.4 : Germes revivifiables (nombre par mL) dénombrés sur milieu de Zobell en 2004

3.3.3.2. Variations inter-annuelles des germes revivifiables

Nous pouvons observer en juin 2004 une augmentation des valeurs des germes revivifiables aux points *canal* et *rejet* par rapport à celles de 2003 (figure 3.5). Au mois d'avril la situation est restée stationnaire tandis qu'au mois de septembre elles ont été en diminution par rapport aux fortes valeurs observées en 2003. A l'exception des valeurs observées à l'automne 2003, l'ensemble de valeurs de ce paramètre est resté stable depuis 1997.

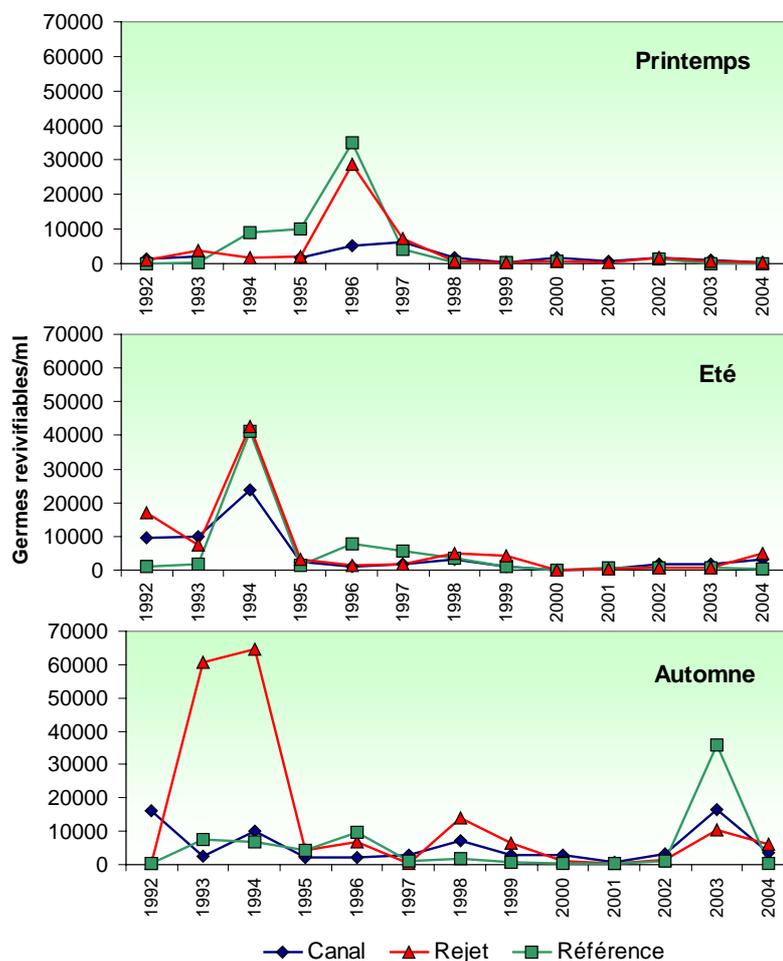


Figure 3.5 : Germes revivifiables (nombre par mL d'eau de mer) dénombrés sur milieu de Zobell depuis 1992

Dans la figure 3.6, les *boîtes à moustaches* de printemps et d'été présentent une plus faible dispersion des valeurs qu'en automne. La plus faible dispersion est observée au printemps pour le point *canal*. Les plus fortes dispersions sont enregistrées en période automnale, particulièrement au point *rejet*.

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

En avril le nombre de germes revivifiables a été en dessous des valeurs médianes. Lors des campagnes de juin et de septembre seule la valeur du point *référence* a été en dessous de la médiane. Les valeurs des points *rejet* et *référence* en avril constituent les minima absolus de la série 1992-2004.

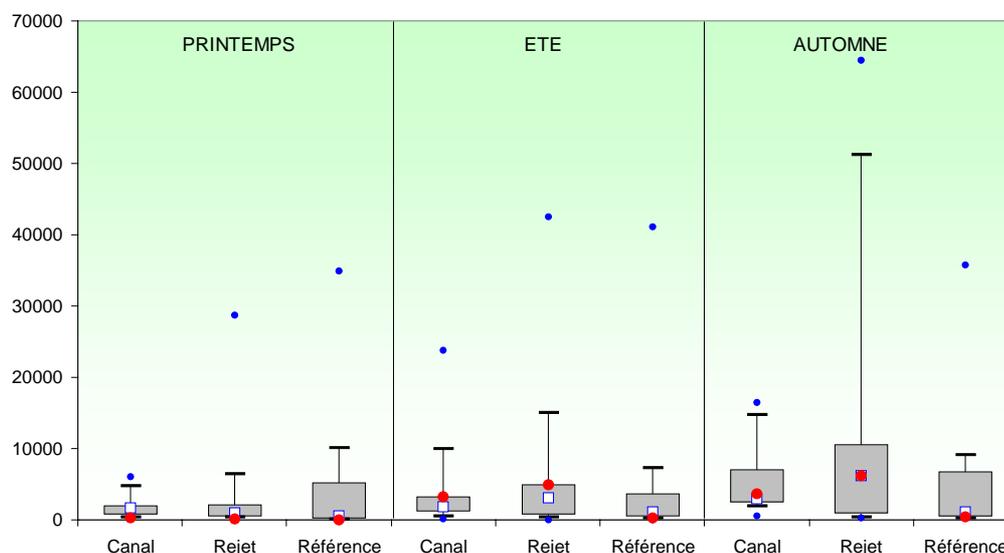


Figure 3.6 : Germes revivifiabiles (nombre par mL) dénombrés depuis 1992 et valeurs 2004 en rouge

3.3.3.3. Approche statistique

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

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

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|-------------------|-----------|-------|---------|
| CANAL / REJET | 0,773 | 0,579 | 0,999 |
| RÉFÉRENCE / REJET | 0,380 | 0,267 | 0,267 |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,228 | 0,579 | 0,267 |

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

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

Les fortes valeurs observées en septembre 2003 ont diminuée à des niveaux plus proches de celles observées depuis 1997. Les températures élevées enregistrées lors de l'été 2003 peuvent avoir contribué à ce développement peu habituel de germes revivifiabiles. Leurs plus fortes abondances au point *rejet*, où les températures de l'eau sont supérieures de quelques degrés, sont en accord avec le développement bactérien qui est fortement influencé par l'augmentation de la température.

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

Les résultats de l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles des eaux proches de la centrale de Paluel en 2004 sont présentés dans le tableau 3.4 pour chacune des méthodes utilisées.

METHODE ANCIENNE

| POINTS | ÉCHANTILLONS DU 01 AVRIL 2004 | | | |
|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Échant. 1 | Échant. 2 | Échant. 3 | Échant. 4 |
| Canal | Abs. | Abs. | --- | --- |
| Rejet | Abs. | Abs. | --- | --- |
| Référence | Abs. | Abs. | Abs. | Abs. |
| POINTS | ÉCHANTILLONS DU 25 JUIN 2004 | | | |
| | Échant. 1 | Échant. 2 | Échant. 3 | Échant. 4 |
| Canal | Abs. | Abs. | --- | --- |
| Rejet | Abs. | Abs. | --- | --- |
| Référence | Abs. | Abs. | Abs. | Abs. |
| POINTS | ÉCHANTILLONS DU 20 SEPTEMBRE 2004 | | | |
| | Échant. 1 | Échant. 2 | Échant. 3 | Échant. 4 |
| Canal | 3,6 Va | 9,2 Va | --- | --- |
| Rejet | 43 Va+Vv | 93 Va+Vv | --- | --- |
| Référence | 23 Va | 23 Va+Vv | 9,2 Va+Vv | 3,6 Va |

METHODE EDF

| POINTS | ÉCHANTILLONS DU 01 AVRIL 2004 | | | |
|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Échant. 1 | Échant. 2 | Échant. 3 | Échant. 4 |
| Canal | 1 Va | 2 Va | --- | --- |
| Rejet | 11 Va | 10 Va | --- | --- |
| Référence | 15 Va | 4 Va | 5 Va | 3 Va |
| POINTS | ÉCHANTILLONS DU 25 JUIN 2004 | | | |
| | Échant. 1 | Échant. 2 | Échant. 3 | Échant. 4 |
| Canal | 16 Va | 22 Va | --- | --- |
| Rejet | 48 Va | 37 Va | --- | --- |
| Référence | <1 | 3 Va | <1 | 2 Va |
| POINTS | ÉCHANTILLONS DU 20 SEPTEMBRE 2004 | | | |
| | Échant. 1 | Échant. 2 | Échant. 3 | Échant. 4 |
| Canal | <1 Va | 8 Va | --- | --- |
| Rejet | 12 Vv | 16 Vv | --- | --- |
| Référence | 28 Va | 25 Va | <1 Va | 17 Va |

Tableau 3.4 : Identification de vibrions halophiles sur l'ensemble des échantillons de Paluel en 2004

3.3.4.1. Identification de vibrions halophiles

La recherche de vibrions halophiles montre la présence des souches de *Vibrio vulnificus* et *Vibrio alginolyticus*.

En avril et juin, l'ancienne méthode ne mettait pas en évidence la présence de vibrions halophiles sur l'ensemble de points d'échantillonnage. Avec la méthode EDF tous les points ont présenté des souches de *V. alginolyticus*, à l'exception de deux réplicats du point référence en juin. Lors de la campagne de septembre, les deux méthodes font état de la présence de la souche de *V. alginolyticus* au point canal. Aux points rejet et référence l'ancienne méthode identifie des

également été observées en 2001, 2002 et 2003 lors des campagnes estivales et automnales, essentiellement sur les points *canal* et *rejet*. Depuis 2001 *V. parahemolyticus* n'a pas été observée dans les eaux proches de la centrale de Paluel.

3.3.4.2. Dénombrement des vibrions halophiles.

Ancienne méthode :

Les valeurs de dénombrement pour l'ancienne méthode sont comprises entre le seuil de détection (< 3 vibrions /100 mL) pour l'ensemble des points d'échantillonnage aux mois d'avril et de juin, et 93 vibrions/100 mL en septembre au point *rejet* (figure 3.7). Les valeurs d'abondance de vibrions aux points *canal* et *référence*, respectivement de 9 et 23 vibrions/100 mL, sont très en dessous de la valeur observée au point *rejet*.

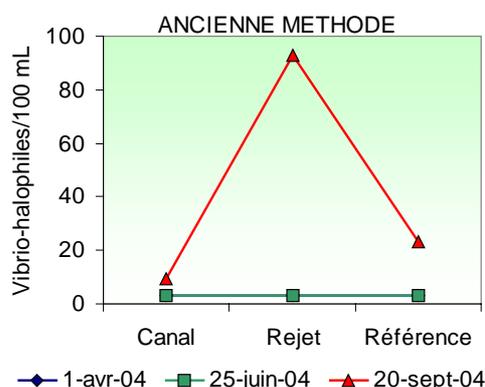


Figure 3.7 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2004 avec l'ancienne méthode

Le dénombrement des vibrions halophiles montre une augmentation sensible depuis 2000 au mois de septembre (figure 3.8). Les valeurs présentées correspondent à la valeur la plus élevée des répliquats. Les concentrations inférieures au seuil de détection de 3 vibrions pour 100 mL n'ont pas été représentées. Les valeurs observées au point *référence* en septembre 2002 et 2003 sont du même ordre que celle observée au point *rejet* en 2004. La faible quantité de valeurs significatives ne permet pas de réaliser des comparaisons pluriannuelles à l'aide de boîtes à moustaches ni d'effectuer des tests statistiques fiables.

Le dénombrement de vibrions halophiles, méthode complémentaire de celle de l'identification des souches, nous permet de confirmer l'augmentation de *V. alginolyticus* en été et plus particulièrement en automne.

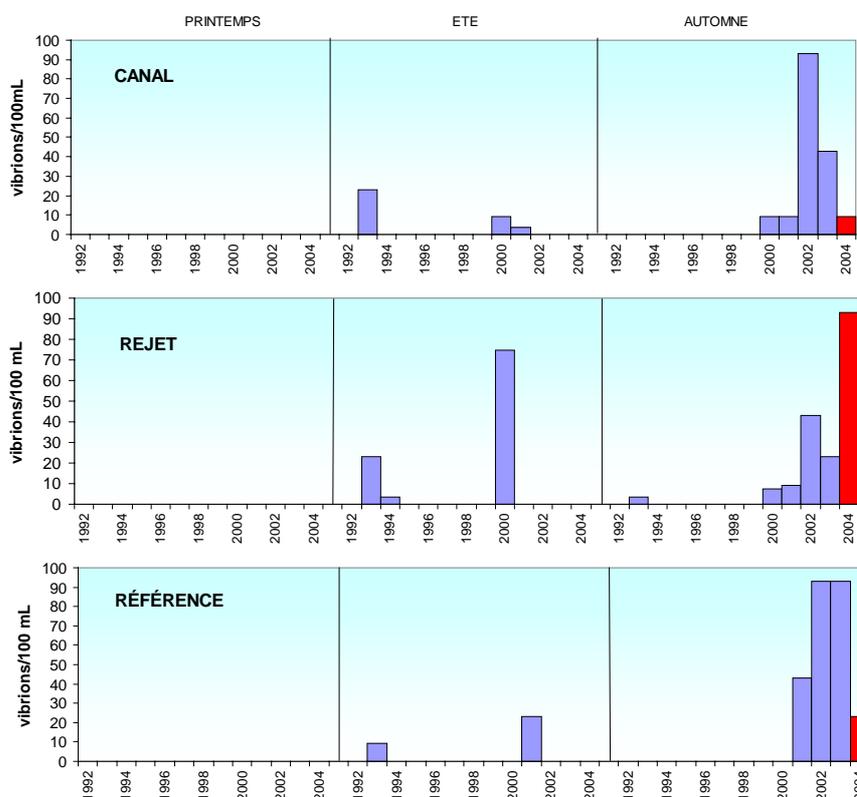


Figure 3.8 : Dénombrement des vibrions halophiles par saison et par point de 1992 à 2004

Méthode EDF :

Les valeurs mis en évidence par la nouvelle méthode analytique de l'EDF présentent un minimum égal au seuil analytique (<1 vibrion/100 mL) au point *référence* au mois de juin et un maximum de 48 vibrions/100 mL au point *rejet* à la même période (figure 3.9). Contrairement aux résultats issus de l'ancienne méthode, nous observons, avec la méthode EDF, les plus fortes valeurs lors de la campagne de juin.

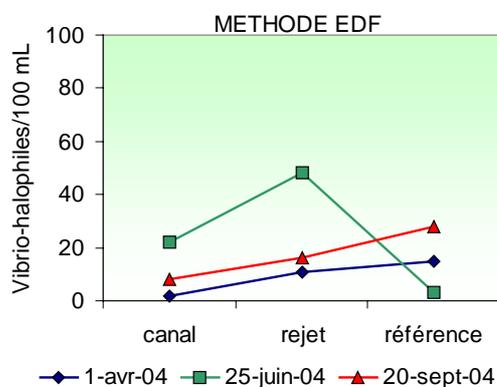


Figure 3.9 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2004 avec la méthode EDF

Aux mois d'avril et de septembre, les plus fortes valeurs sont observées au point *référence*, et les plus faibles valeurs au point *canal*. Ceci suggère que les valeurs observées au point *rejet*

peuvent résulter du mélange des eaux des points *canal* et *référence*. La comparaison des résultats issus de ces deux méthodes ne semble pas aisée, ni par les abondances obtenues, ni par la distribution temporelle des souches identifiées.

Quantitativement, les souches de *V. alginolyticus* et *V. vulnificus* dominent les peuplements de vibrions halophiles en 2004. *V. alginolyticus* reste majoritaire le long de l'année, et c'est au mois de juin et particulièrement en septembre que nous observons le maximum d'abondance et de diversité. La distribution spatiale de ces deux souches de vibrions en septembre présentent une allure opposée, avec un maximum de *V. alginolyticus* aux points *canal* et *référence*, et un minimum d'abondance de *V. vulnificus* (figure 3.10).

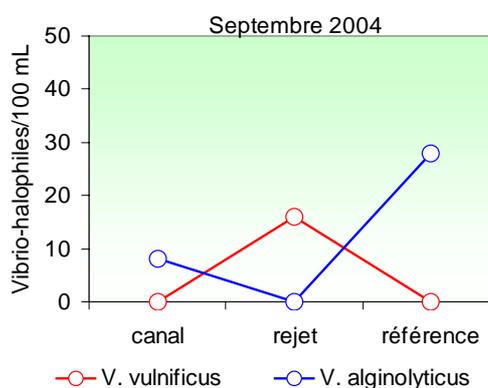


Figure 3.10 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles en septembre 2004

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

3.4. Conclusions

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

La quantité de germes revivifiabiles reste stable au cours de la période printanière. En été une légère augmentation de leur abondance est observée aux points *canal* et *rejet*. Une diminution sensible est cependant notée en automne sur l'ensemble des points d'échantillonnage, valeurs qui deviennent plus proches de celles observées depuis 1997.

L'identification de vibrions halophiles confirme la dominance depuis 1999 de la souche de *Vibrio alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale de Paluel, avec des apparitions régulières de *Vibrio vulnificus* et plus exceptionnellement de *Vibrio parahaemolyticus*.

Bien que les méthodes d'identifications de vibrions halophiles par les deux méthodes sont proches, et que les différences observées peuvent être dues aux méthodologies et aux milieux de culture utilisés, la méthode EDF semble présenter une plus forte sensibilité pour identifier et dénombrer les vibrions quand les quantités présentes dans l'eau de mer sont faibles. Cependant,

elle est moins sensible à l'identification de la souche de *V. alginolyticus* dans les eaux chaudes du *rejet* et à l'identification de *V. vulnificus* dans les eaux plus froides du point *référence*.

Les dénombrements de vibrions avec l'ancienne méthode n'ont donné de résultats que pour le mois de septembre, tandis que la méthode EDF a pu mettre en évidence la présence de vibrions dans l'eau de mer dès le mois d'avril. La comparaison entre les deux méthodes pour les dénombrements est moins aisée faute d'une plus longue série de valeurs.

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

4 - Le Phytoplancton

Rapport

Luis Lampert (LERN).

Prélèvements et Analyses

Vincent Justome (LERN),
Liliane Fiant (LERN),
Laure Lamort (LERN),
Frank Maheux (LERN),
Olivier Pierre-Duplessix (LERN),
Floriane Girard (LERN),
Françoise Dagault (DEL/SM),
Audrey Duval (DEL/SM).

Participation

Hervé du Boullay (LERN).

4.1. Introduction

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

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

C'est au moyen de tels descripteurs que seront traités les résultats quantitatifs et qualitatifs obtenus sur les peuplements phytoplanctoniques lors des trois campagnes de surveillance réalisées en 2004.

4.2. Matériel et méthode

Les prélèvements d'eau en vue de l'étude du phytoplancton ont été réalisés aux mêmes points et niveaux que pour les paramètres physico-chimiques et avec le même matériel (§ 2.1.). Les prélèvements sont effectués pour chaque point en surface avec deux bouteilles NISKIN. A chaque point de prélèvement, deux répliqués par bouteille ont été réalisés pour les analyses de chlorophylle *a*. Pour la mesure de la production primaire, le nombre d'échantillons a été doublé.

4.2.1. Mesure de la chlorophylle

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

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

4.2.2. Mesure de la production primaire

La méthode de mesure de la production primaire a été conçue par Steeman Nielsen (1951, 1952) et décrite en détail par Brouardel et Rink (1963). Elle consiste à mesurer la quantité de carbone 14 (^{14}C) proposée sous forme de carbonate de sodium ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$) retenue par les organismes d'un échantillon d'eau de mer pendant un laps de temps donné. Une quantité connue

de carbonate de sodium marquée au carbone radioactif est introduite dans un échantillon d'eau de mer. Grâce à la photosynthèse, les organismes autotrophes contenus dans l'échantillon assimilent le carbone pour élaborer leur matière organique (croissance, reproduction). Après un temps donné d'exposition à la lumière (incubation), l'échantillon est filtré. L'activité du ^{14}C contenu dans les organismes retenus par le filtre est mesurée et comparée à l'activité du $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ introduit.

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

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

4.2.3. Etude systématique du phytoplancton

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

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

4.3 Résultats

Les résultats obtenus en 2004 sont donnés dans le tableau 4.1 ci-dessous.

| (Valeurs moyennes \pm écart type) | | CANAL (n=4) | REJET (n=4) | RÉFÉRENCE | |
|-------------------------------------|---|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | | | | SURFACE (n=2) | -10 M (n=2) |
| 01 AVRIL | Chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$) | 0,51 \pm 0,06 | 0,56 \pm 0,07 | 0,59 \pm 0,01 | 0,92 \pm 0,01 |
| | Phéopigments ($\mu\text{g/L}$) | 0,20 \pm 0,02 | 0,24 \pm 0,01 | 0,22 \pm 0,01 | 0,27 \pm 0,01 |
| | Prod. Primaire (mg C/m ³ /h) | 2,17 \pm 0,26 | 2,45 \pm 0,36 | 2,77 \pm 0,59 | 3,28 \pm 0,27 |
| | microphytoplancton (cel/L) | 11 900 | 21 800 | 18 200 | 56 800 |
| 25 JUIN | Chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$) | 1,70 \pm 0,67 | 1,64 \pm 0,17 | 1,65 \pm 0,01 | 1,78 \pm 0,01 |
| | Phéopigments ($\mu\text{g/L}$) | 1,36 \pm 0,25 | 1,88 \pm 0,09 | 1,08 \pm 0,01 | 0,98 \pm 0,05 |
| | Prod. Primaire (mg C/m ³ /h) | 5,83 \pm 2,14 | 5,72 \pm 1,03 | 8,09 \pm 0,79 | 8,01 \pm 2,14 |
| | microphytoplancton (cel/L) | 22 400 | 70 400 | 55 600 | 54 800 |
| 20 SEPTEMBRE | Chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$) | 1,64 \pm 0,40 | 1,26 \pm 0,55 | 0,97 \pm 0,10 | 0,85 \pm 0,00 |
| | Phéopigments ($\mu\text{g/L}$) | 2,13 \pm 0,68 | 1,93 \pm 0,59 | 1,09 \pm 0,42 | 1,26 \pm 0,16 |
| | Prod. Primaire (mg C/m ³ /h) | 4,00 \pm 0,61 | 2,94 \pm 0,24 | 2,93 \pm 0,48 | 3,10 \pm 0,48 |
| | microphytoplancton (cel/L) | 21 400 | 30 400 | 20 000 | 17 600 |

Tableau 4.1 : Moyenne et écart type des paramètres phytoplanctoniques au droit de la centrale de Paluel en 2004

4.3.1 Biomasse chlorophyllienne

4.3.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle

Au cours de l'année 2004, les valeurs de chlorophylle s'échelonnent entre 0,51 $\mu\text{g/L}$ au point *canal* en avril et 1,70 $\mu\text{g/L}$ au même point en juin (figure 4.1). Ces valeurs mettent en évidence la très faible biomasse phytoplanctonique de la zone d'étude lors des trois campagnes en 2004. La campagne d'avril présente les plus faibles valeurs de l'année et celle de juin les plus fortes, ce qui est inhabituel car c'est au printemps qu'ont lieu les plus fortes efflorescences.

Une faible variabilité spatiale est mise en évidence en avril et juin. Au cours de la campagne d'automne, un gradient décroissant côte-large est observé. Lors des trois campagnes, les valeurs de concentration en chlorophylle du point *rejet* se situent entre les valeurs des points *canal* et *référence*, suggérant que les valeurs du point *rejet* résultent du mélange de ces deux masses d'eau.

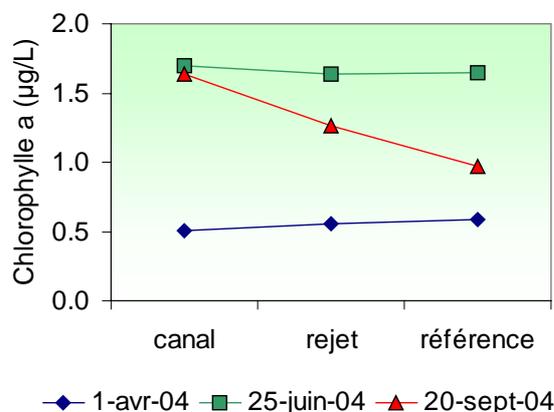


Figure 4.1 : Évolution de la concentration en chlorophylle au cours des trois campagnes de surveillance 2004

4.3.1.2. Variations inter-annuelles

En avril, les concentrations en chlorophylle présentent des valeurs inférieures à celles de 2003 (figure 4.2), tandis qu'en juin elles sont similaires, oscillant autour des valeurs de 2003. En septembre, les valeurs des points *canal* et *rejet* ont été supérieures à celles de 2003, tandis que celle du point *référence* est restée inférieure. Depuis 2002 nous remarquons une relative stabilité de valeurs sur l'ensemble des points.

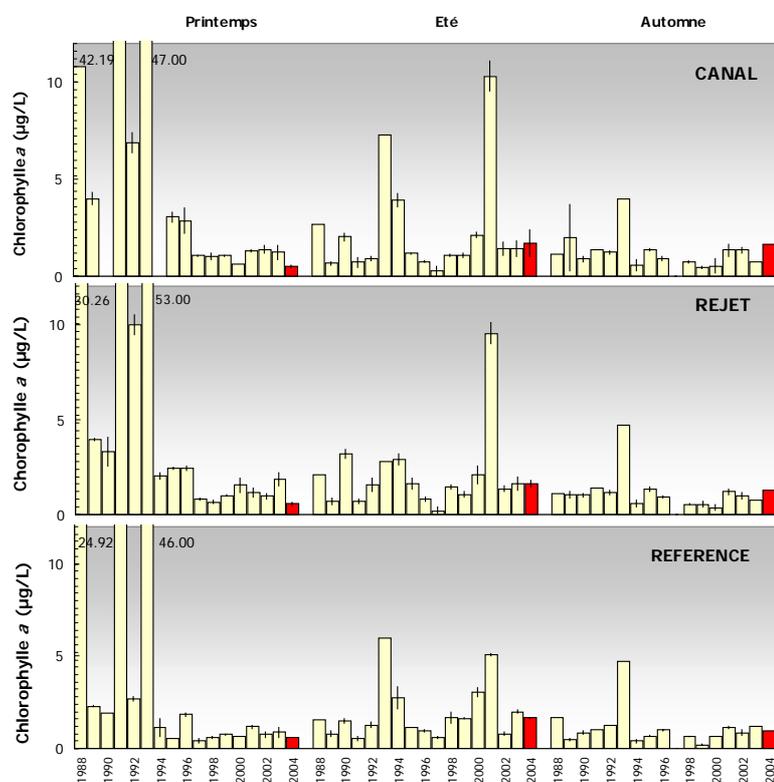


Figure 4.2 : Évolution de la chlorophylle de 1988 à 2004

Il est à remarquer que 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, période où à lieu couramment a lieu l'efflorescence printanière.

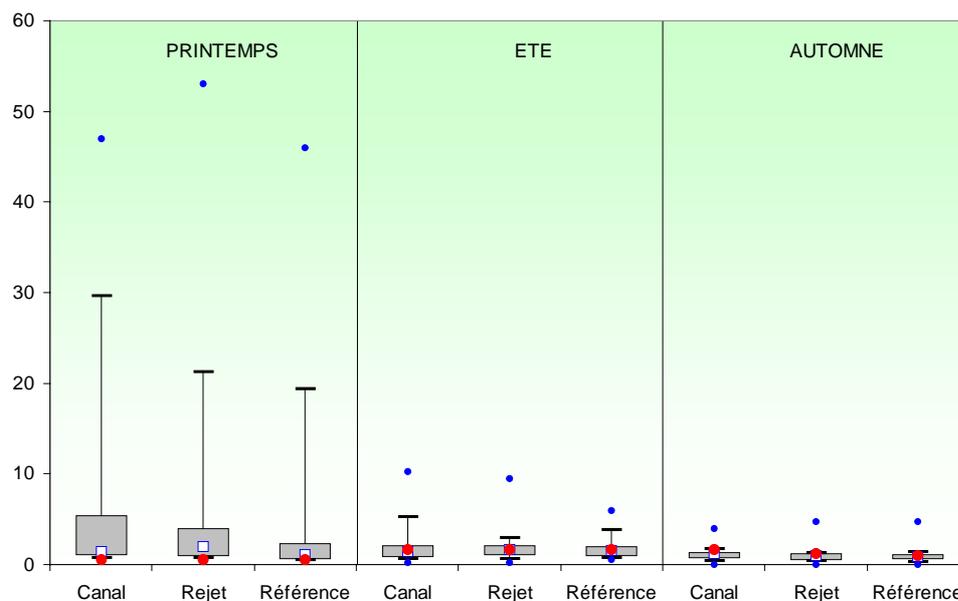


Figure 4.3 : Évolution de la chlorophylle de 1988 à 2004

La figure 4.3 montre qu'il existe au printemps une plus forte dispersion des valeurs qu'aux deux autres périodes. Ceci est la conséquence du caractère tardif des campagnes menées avant 1994. En été et en automne, les *boîtes* (50 % des valeurs) restent similaires entre elles, avec une faible variabilité entre les trois points. On note en été une plus forte dispersion de valeurs qu'en automne. La série de valeurs enregistrées depuis 1988 lors des campagnes automnales présentent une très grande stabilité.

La tendance saisonnière, représentée par la distribution des médianes, montre qu'un gradient décroissant côte-large s'installe au printemps et en automne. Les valeurs de chlorophylle mesurées en avril 2004 sont légèrement inférieures aux médianes printanières. Si en juin elles sont similaires, par contre au mois de septembre elles se situent au dessus des médianes pluriannuelles.

4.3.1.3. Approche statistique

Les tests statistiques présentés dans le tableau 4.2 confirment les tendances pluriannuelles déjà mises en évidence à l'aide de la figure 4.3. En été et en automne, aucune différence significative n'est observée entre les points. Il faut noter la différence significative observée au printemps entre le point *référence* et les points *canal* et *rejet*.

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|-------------------|--------------|-------|---------|
| CANAL / REJET | 0,605 | 0,802 | 0,802 |
| RÉFÉRENCE / REJET | 0,006 | 0,999 | 0,345 |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,016 | 0,999 | 0,256 |

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

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

4.3.2 Production primaire

4.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la production primaire

Les valeurs mesurées en 2004 sont comprises entre 2,17 mg C/m³/h en avril au point *canal* et 8,09 mg C/m³/h en juin au point *référence* (figure 4.4).

Comme pour la chlorophylle, une faible variabilité spatiale est observée sur les trois points en avril. Sur les campagnes de printemps et d'été, un gradient croissant côte-large de production primaire est observé. En automne, on note un gradient inverse, avec une valeur de 4 mg C/m³/h au point *canal*.

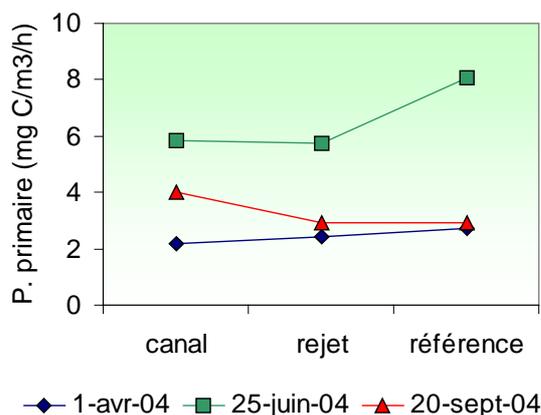


Figure 4.4 : Évolution de la production primaire lors des trois campagnes de surveillance de 2004

Les valeurs de production primaire doublent du printemps vers l'été, pour redescendre en automne aux niveaux légèrement supérieures de celles atteintes au printemps. Compte tenu des incertitudes liées à la mesure de ce paramètre, les différences observées entre les valeurs de surface et celles enregistrées à 10 mètres de profondeur ne sont pas significatives.

4.3.2.2. Variations inter-annuelles

Au printemps et en été, toutes les valeurs observées en 2004 sont inférieures à celles enregistrées en 2003 (figure 4.5). Les écarts les plus marqués sont observés en été. En automne, les valeurs obtenues aux points *canal* et *rejet* sont supérieures à celles observées en 2003. Le plus fort écart a été enregistré au point *canal* en été. Depuis 1988 les valeurs enregistrées lors des campagnes automnales tendent à diminuer légèrement.

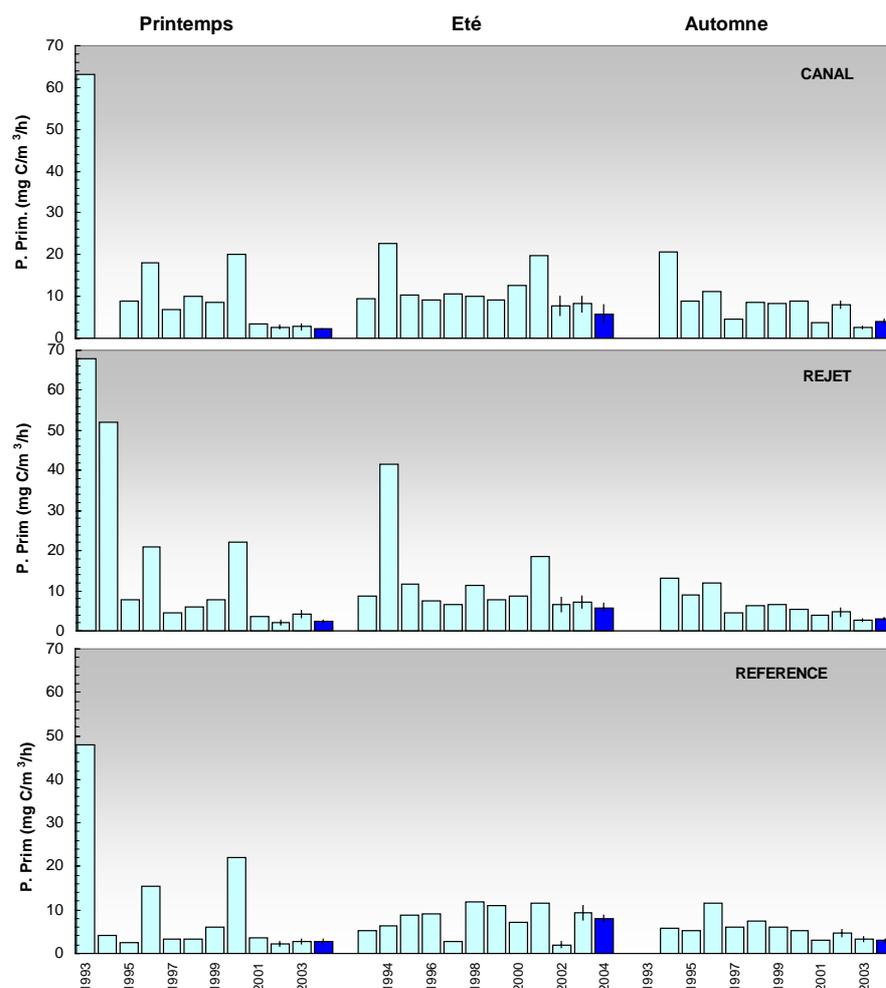


Figure 4.5 : Évolution de la production primaire de 1993 à 2004

Tout comme pour la biomasse chlorophyllienne, la dispersion des valeurs observées en avril est supérieure à celle observée en juin et septembre (figure 4.6). L'ensemble de valeurs de production primaire de 2004 se trouvent en dessous des valeurs des médianes pluriannuelles, représentant le plus souvent les valeurs minimales de la série 1988-2004. Les valeurs des médianes de juin sont supérieures à celles enregistrées en avril et en septembre. Un gradient décroissant côte-large est observé pour les médianes de production primaire sur les trois campagnes.

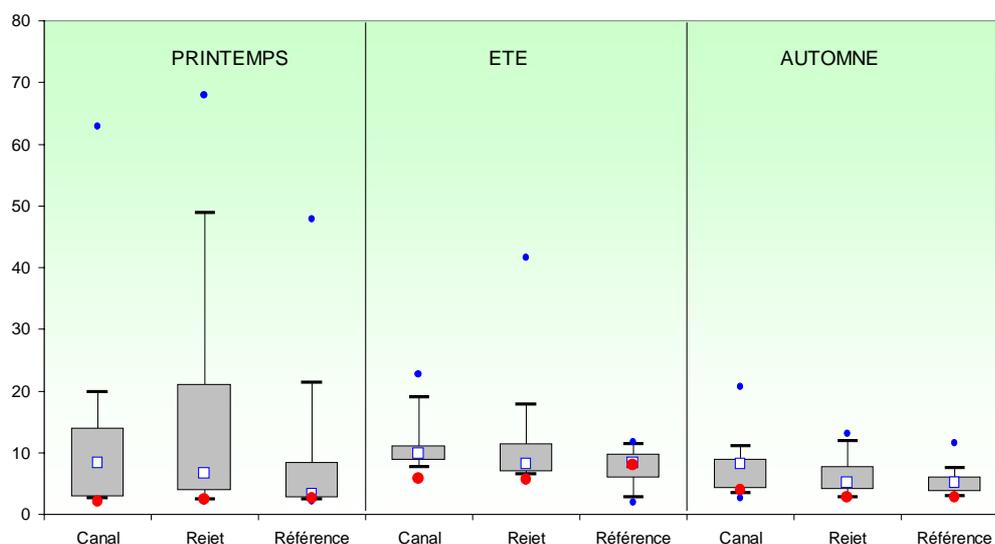


Figure 4.6 : Évolution de la production primaire de 1993 à 2004

La faible productivité des eaux de Paluel au printemps peut sembler paradoxale dans le contexte de la Manche. La concentration en azote n'a pas pu jouer le rôle de facteur limitant pour la croissance phytoplanktonique (chapitre 2.2.4.) ; malgré cela, le niveau de production primaire est resté faible. Ce paradoxe ne peut donc s'expliquer que par l'influence d'un autre facteur.

Les valeurs de production primaire mesurées au point *rejet* sont comprises entre celles observées aux points *canal* et *référence*, ce qui suggère un mélange de ces deux masses d'eau.

4.3.2.3. Approche statistique

A l'exception de la situation estivale pour le couple *canal* - *référence* (probabilité associée p proche du seuil de signification) et de celle observée en automne pour le couple *canal* - *rejet*, encore proche du seuil de signification, tous les tests n'ont pas présenté des différences significatives (tableau 4.3).

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|-------------------|-----------|--------------|--------------|
| CANAL / REJET | 0,784 | 0,149 | 0,047 |
| RÉFÉRENCE / REJET | 0,228 | 0,772 | 0,227 |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,546 | 0,048 | 0,546 |

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

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

4.3.3 Microphytoplankton

4.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières du microphytoplankton

Les dénombrements microphytoplanktoniques effectués en 2004 sont présentés sur la figure 4.7 ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre de cellules par litre. Les plus fortes abondances sont observées au point *rejet* en juin avec 70 400 cellules/L et les plus faibles sur le point *canal* en avril, avec 11 900 cellules/L.

Les variations spatio-temporelles restent faibles en avril et septembre. Les plus faibles valeurs de l'année sont observées en avril ; elles sont légèrement inférieures à celles du mois de septembre tout en présentant la même allure. Les plus fortes valeurs ont été observées en juin avec un gradient croissant côte-large bien établi. En juin et septembre les plus fortes valeurs des abondances ont été observées au point *rejet*.

Au point *référence* les différences d'abondance entre la surface et la mi profondeur ont été significatives au mois d'avril. En juin et septembre les variations observées en surface et à 10 mètres de profondeur sont inférieures aux erreurs dues aux dénombrements et à l'échantillonnage.

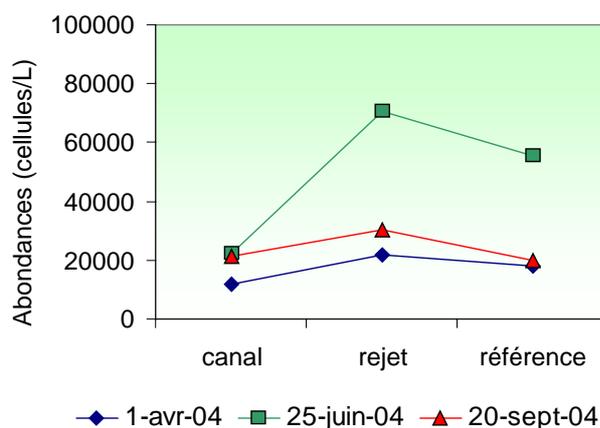


Figure 4.7 : Abondances du microphytoplankton au cours de l'année 2004

Il reste difficile de comparer l'abondance avec les autres paramètres, car celui-ci ne caractérise pas entièrement la biomasse phytoplanktonique. En effet, un peuplement composé de nombreuses petites cellules peut représenter de fortes biomasses.

4.3.3.2. Variations inter-annuelles

Les abondances cellulaires enregistrées depuis 1993 sont présentées sur la figure 4.8. Les valeurs obtenues au printemps et en été en 2004 sont toutes inférieures à celles observées en 2003. En septembre 2004, les abondances enregistrées sur l'ensemble des points ont oscillé autour des valeurs de septembre 2003.

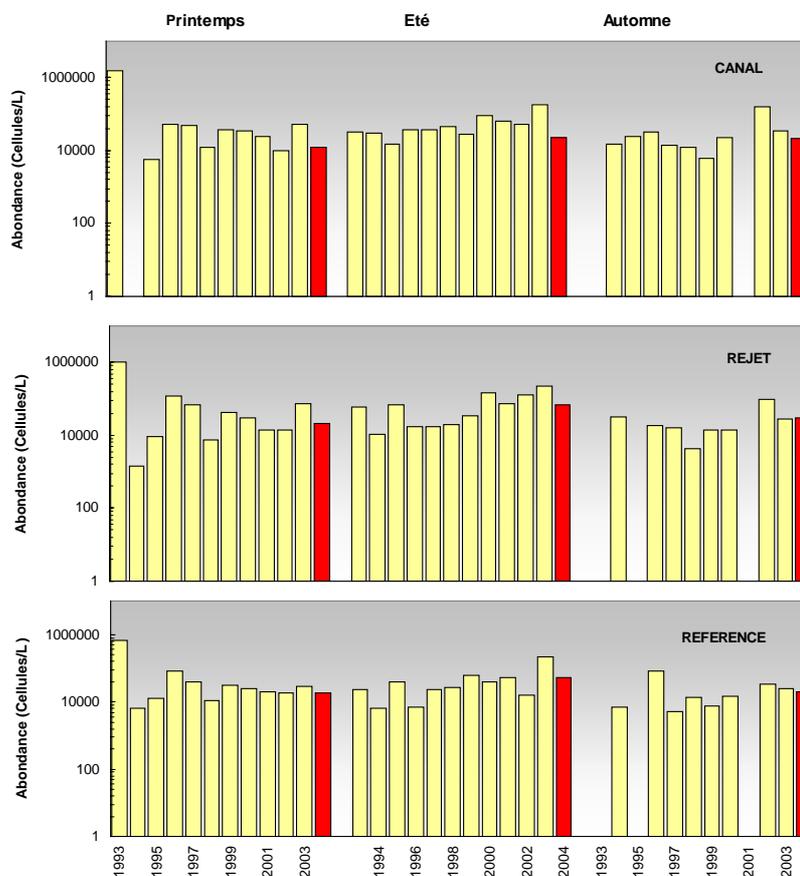


Figure 4.8 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1993 à 2004

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

Sur l'ensemble de points, les valeurs du printemps 2004 se trouvent en dessous des médianes. En été et en automne, toutes les valeurs sont supérieures ou similaires aux médianes, sauf pour le point *canal* en juin qui se situe au niveau de la moustache basse.

La tendance pluriannuelle montre un gradient décroissant côte-large pour l'ensemble de campagnes. En été, le point *rejet* présente la plus forte médiane. Les tendances observées en 2004 ne suivent pas celles des médianes de la série 1993-2004. Les plus fortes valeurs d'abondance observées depuis 1993 sont celles des campagnes estivales.

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

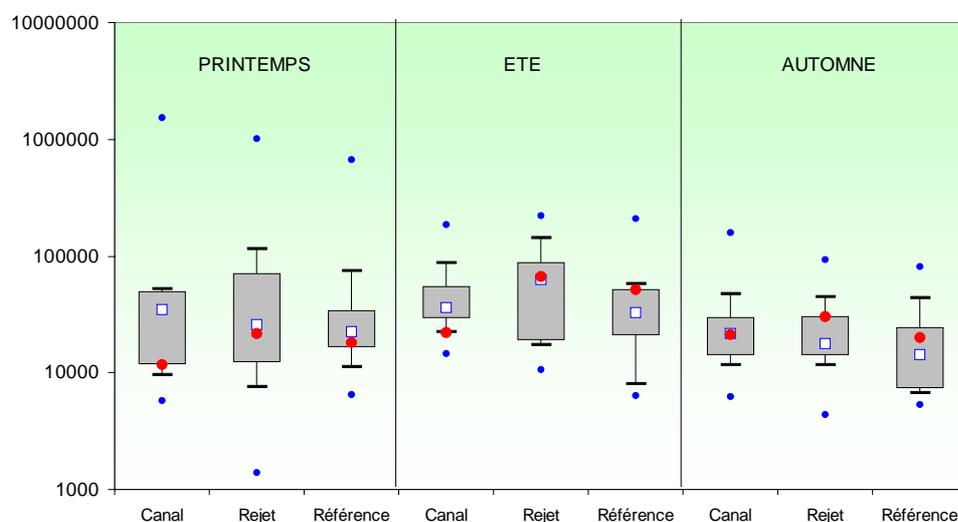


Figure 4.9 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1993 à 2004

4.3.3.3. Approche statistique

Les résultats des tests statistiques présentés dans le tableau 4.4 confirment nos observations concernant la chlorophylle et la production primaire : aucune différence significative n'est mise en évidence entre les différents points d'échantillonnage pour la série de valeurs 1993-2004.

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|--------------------------|-----------|-------|---------|
| CANAL / REJET | 0,546 | 0,086 | 0,999 |
| RÉFÉRENCE / REJET | 0,772 | 0,054 | 0,661 |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,546 | 0,385 | 0,505 |

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

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

4.3.4. Populations phytoplanctoniques observées en 2004

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

| Campagne | Station | MICROPHYTOPLANCTON | | | | TOTAL | Dinoflagellés % | Diatomées % |
|------------|---------------|--------------------|---------------|----------|-----------------|-------|--------------------|----------------|
| | | diatomées | dinoflagellés | euglènes | silicoflagellés | | | |
| IGA 2004-1 | canal | 11800 | 100 | 0 | 0 | 11900 | 1 | 99 |
| IGA 2004-1 | rejet | 21500 | 300 | 0 | 0 | 21800 | 1 | 99 |
| IGA 2004-1 | ref surf | 18000 | 100 | 0 | 100 | 18200 | 1 | 99 |
| IGA 2004-1 | ref 1/2 prof. | 56600 | 200 | 0 | 0 | 56800 | 0 | 100 |
| IGA 2004-2 | canal | 22000 | 0 | 400 | 0 | 22400 | 0 | 98 |
| IGA 2004-2 | rejet | 66600 | 2200 | 1600 | 0 | 70400 | 3 | 95 |
| IGA 2004-2 | ref surf | 51200 | 1600 | 2800 | 0 | 55600 | 3 | 92 |
| IGA 2004-2 | ref 1/2 prof. | 51200 | 800 | 2800 | 0 | 54800 | 1 | 93 |
| IGA 2004-3 | canal | 21400 | 0 | 0 | 0 | 21400 | 0 | 100 |
| IGA 2004-3 | rejet | 30400 | 0 | 0 | 0 | 30400 | 0 | 100 |
| IGA 2004-3 | ref surf | 19600 | 400 | 0 | 0 | 20000 | 2 | 98 |
| IGA 2004-3 | ref 1/2 prof. | 17600 | 0 | 0 | 0 | 17600 | 0 | 100 |

Tableau 4.5: Abondances des principales classes algales pour l'année 2004

Il faut noter que certaines espèces ont été groupées car difficilement identifiables au microscope optique. Pour d'autres, l'identification a été arrêtée au niveau du genre ou du groupe algal (classes algales). La fraction microphytoplanctonique en 2004 a été répartie en 4 grands groupes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2004, environ 60 taxons (taxons et 'classes algales') ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 92 % de la communauté microphytoplanctonique, et peuvent atteindre un proportion de 100 % (tableau 4.5).

Dans les zones côtières de l'Atlantique nord-est et de la Manche, l'essentiel du microphytoplancton est composé de diatomées. Cependant, il faut garder à l'esprit que bien souvent la fraction nanophytoplanctonique (espèces algales dont la taille est comprise entre 2 µm et 20 µm), difficilement accessible au microscope optique, peut devenir majoritaire tant par son abondance que par sa biomasse (Lampert, 2001). Les Cryptophycées, représentantes du nanophytoplancton, ont été dénombrées avec des abondances comprises entre 2 900 cellules/L et 132 000 cellules/L. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nanophytoplanctonique. Lors des campagnes de juin et de septembre, le mauvais état de la mer a remis en suspension de nombreuses particules du sédiment, ce qui a rendu les dénombrements du microphytoplancton peu aisé, voir impossible pour la fraction nanophytoplanctonique en septembre.

| Campagne | Station | DIATOMÉES | | | | | | | | Cumul % |
|------------|---------------|--------------|----------|-----------|-------------|---------------|-------------|----------------|---------------|------------|
| | | Rhizosolenia | Melosira | Nitzschia | Chaetoceros | Thalassiosira | Skeletonema | Leptocylindrus | Thalassionema | |
| IGA 2004-1 | canal | 1 | 12 | 4 | 11 | 52 | 9 | 0 | 9 | 98 |
| IGA 2004-1 | rejet | 4 | 4 | 6 | 8 | 27 | 32 | 0 | 15 | 96 |
| IGA 2004-1 | ref surf | 8 | 0 | 9 | 2 | 50 | 10 | 0 | 17 | 96 |
| IGA 2004-1 | ref 1/2 prof. | 2 | 0 | 3 | 5 | 42 | 35 | 0 | 11 | 98 |
| IGA 2004-2 | canal | 14 | 55 | 0 | 0 | 4 | 7 | 4 | 6 | 90 |
| IGA 2004-2 | rejet | 24 | 7 | 1 | 5 | 35 | 7 | 5 | 1 | 85 |
| IGA 2004-2 | ref surf | 50 | 6 | 0 | 3 | 30 | 2 | 2 | 0 | 93 |
| IGA 2004-2 | ref 1/2 prof. | 45 | 6 | 1 | 1 | 29 | 5 | 2 | 4 | 93 |
| IGA 2004-3 | canal | 2 | 35 | 0 | 0 | 28 | 9 | 11 | 7 | 92 |
| IGA 2004-3 | rejet | 4 | 33 | 2 | 1 | 16 | 3 | 14 | 11 | 84 |
| IGA 2004-3 | ref surf | 6 | 10 | 4 | 8 | 26 | 3 | 9 | 8 | 74 |
| IGA 2004-3 | ref 1/2 prof. | 12 | 17 | 2 | 0 | 22 | 0 | 31 | 0 | 84 |

Tableau 4.6 : Abondances des principaux genres de diatomées pour l'année 2004

Les principales espèces dénombrées en 2004 sont les suivantes :

Avril 2004 : les genres dominants au printemps sont *Thalassiosira* (27 % à 52 %), *Skeletonema* (9 % à 35 %), *Melosira* (inclue les genres *Melosira* et *Paralia*, jusqu'à 12 %), *Chaetoceros* (2 % à 11 %) et *Thalasionema* avec des abondances comprises entre 9 % et 17 % (tableau 4.6 et figure 4.10). Les espèces de *Thalassiosira* les plus fréquemment observées ont été *Thalassiosira gravida* et *Thalassiosira levanderii*.

Les dinoflagellés ont été observés pendant cette campagne printanière avec des dominances ne dépassant 1 %. Les genres le mieux représentés sont *Gymnodinium*, *Gyrodinium* et *Amphidinium*. Leur plus forte abondance est observée au point *rejet* avec 300 cellules/L.

Les autres classes algales n'ont été que peu représentées avec 100 cellules/L du silicoflagellé *Dichtyocha sp.* au point *référence*.

Dans la fraction nanophytoplanctonique, les cryptophycées ont été plus particulièrement représentées aux points *rejet* et *référence* (mi-profondeur) avec respectivement 23 000 et 102 000 cellules/L. Quelques chlorophycées ont été aussi observées aux mêmes points.

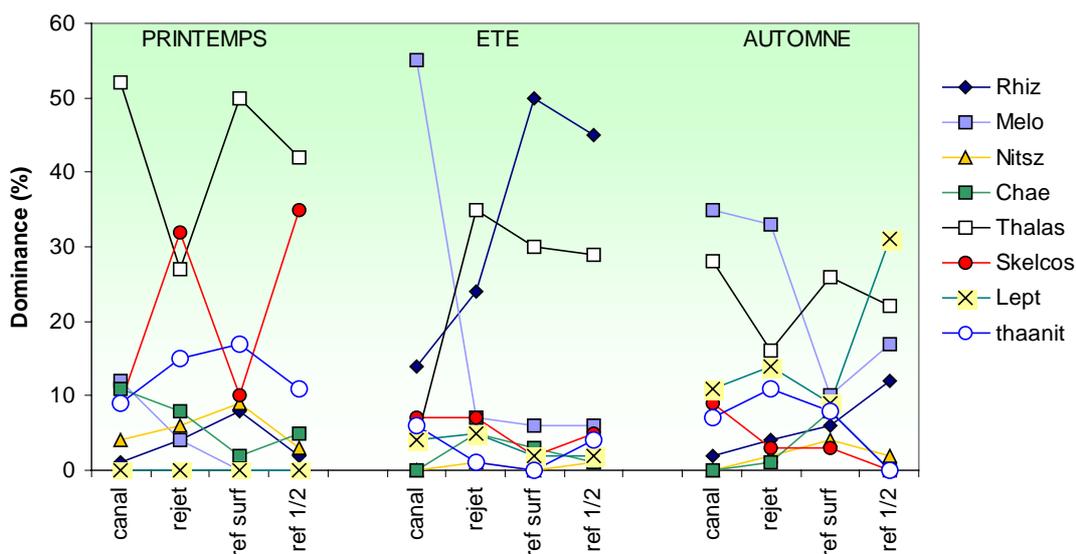


Figure 4.10 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2004

Juin 2004 : les genres le plus représentés parmi les diatomées sont, *Rhizosolenia* avec des dominances comprises entre 14 % et 50 %, *Melosira* (6 % à 55 %) et *Thalassiosira* (4 % à 35 %). L'espèce la plus fréquemment observée est *Rhizosolenia delicatula*. La forte abondance de *R. delicatula* est confirmée par la littérature qui signale l'apparition de cette espèce tous les ans sur les côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche (Klein et Sournia, 1987). Les genres *Thalasionema*, *Leptocylindrus*, *Skeletonema* et *Chaetoceros* sont aussi représentés, mais avec des dominances inférieures à 10 %.

Les dinoflagellés ont représenté au maximum 3 % de l'abondance microphytoplanctonique avec 2 200 cellules/L au point *rejet*. Les espèces les plus observées en juin 2004 sont *Scrippsiella trochoidea* et *Prorocentrum micans*.

Les euglènes sont observées sur tous les points d'échantillonnage avec des abondances de 400 cellules/L au point *canal* et jusqu'à 2 800 cellules/L au point *référence*.

La fraction nanophytoplanktonique est bien représentée en ce mois de juin avec des abondances de cryptophycées qui atteignent respectivement 132 000 et 126 000 cellules/L aux points *rejet* et *référence* (mi-profondeur).

Septembre 2004 : Les résultats obtenus lors de cette campagne automnale sont à prendre avec précaution en raison des difficultés rencontrées lors des dénombrements. Les nombreuses particules remises en suspension par le mauvais état de la mer rendent l'identification des cellules difficile. Les genres les plus observés en septembre sont *Melosira* (10 % à 35 %), *Thalassiosira* (16 % à 28 %), *Leptocylindrus* (9 % à 31 %) et *Thalasionema* avec des dominances allant jusqu'à 11 %.

Le seul point d'échantillonnage où les dinoflagellés ont été observés en septembre a été le point *référence* en surface, avec une valeur d'abondance de 400 cellules/L. Les deux espèces observées sont *Heterocapsa niei* et *Prorocentrum gracile*.

L'indice de diversité H' de Shannon (Scherrer, 1984) permet d'obtenir une caractérisation de la diversité du peuplement phytoplanktonique. Plus sa valeur est faible, plus la diversité l'est également et le peuplement est pauvre. La figure 4.11 représente l'évolution de cet indice pour l'ensemble des campagnes menées en 2004.

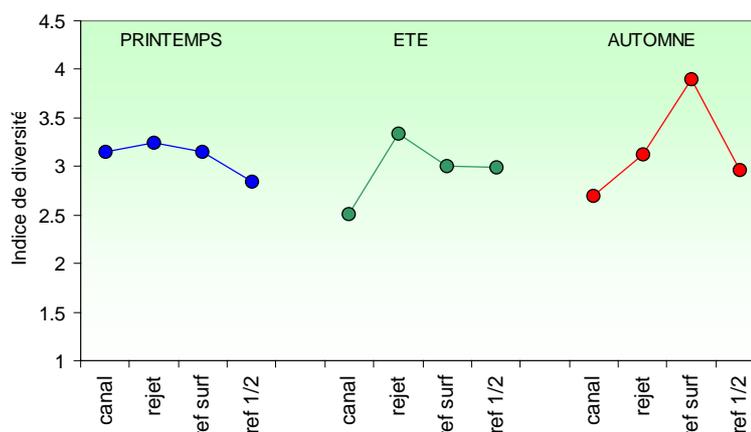


Figure 4.11 : Distribution de l'indice de diversité de Shannon pour l'année 2004

La diversité microphytoplanktonique évolue peu au cours de l'année. Ceci montre qu'aucune des campagnes effectuées en 2004 n'a eu lieu lors des efflorescences.

En été, les peuplements adoptant une stratégie du type 'k' (Kilham et Kilham, 1980) avec des taux de croissance bas et une meilleure adaptation à l'utilisation des faibles concentrations en nutriments. C'est le cas des petites cellules de dinoflagellés, représentées en juin par les genres *Prorocentrum* et *Scrippsiella*.

Les plus fortes abondances observées en juin sont corrélées avec les plus fortes biomasses phytoplanktoniques ainsi qu'avec la production primaire qui a été maximale lors de cette campagne estivale.

Cependant, les valeurs relativement modestes en biomasse et production primaire qui contrastent avec les fortes concentrations en nutriments observées, suggèrent un apport de nutriments par le mélange de la colonne d'eau suite aux fortes conditions de mer favorisant le démarrage d'une

poussée phytoplanctonique. Le phénomène de régénération peut aussi contribuer significativement aux poussés automnales (Ragueneau *et al.*, 1994 ; Lampert, 2001).

La situation observée en avril est plus complexe, car les valeurs de biomasse et production primaire sont extrêmement basses et les concentrations en nutriments élevés pour une situation printanière. L'étude des peuplements phytoplanctoniques à la centrale de Penly, situé à quelques dizaines de kilomètres plus à l'est, met en évidence des espèces hivernales, suggérant que l'efflorescence printanière majeure n'a pas encore eue lieu. Les causes probables de ce retard des poussées printanières peuvent être le manque de lumière et le fort hydrodynamisme dû à un régime de vents soutenus.

Ceci semble être confirmé par les images satellitales de la caméra MODIS qui donnent une estimation de la valeur de la chlorophylle *a* en surface (Gohin *et al.*, 2002 et 2003). Dans l'image du 30 mars, deux jours avant la campagne printanière, les seuls développements phytoplanctoniques observés en Manche se situent près des estuaires (figure 4.12). Dans l'image du 7 avril, nous observons un plus grand développement spatial avec une remontée de la zone productive de l'estuaire de la Seine vers le nord-est.

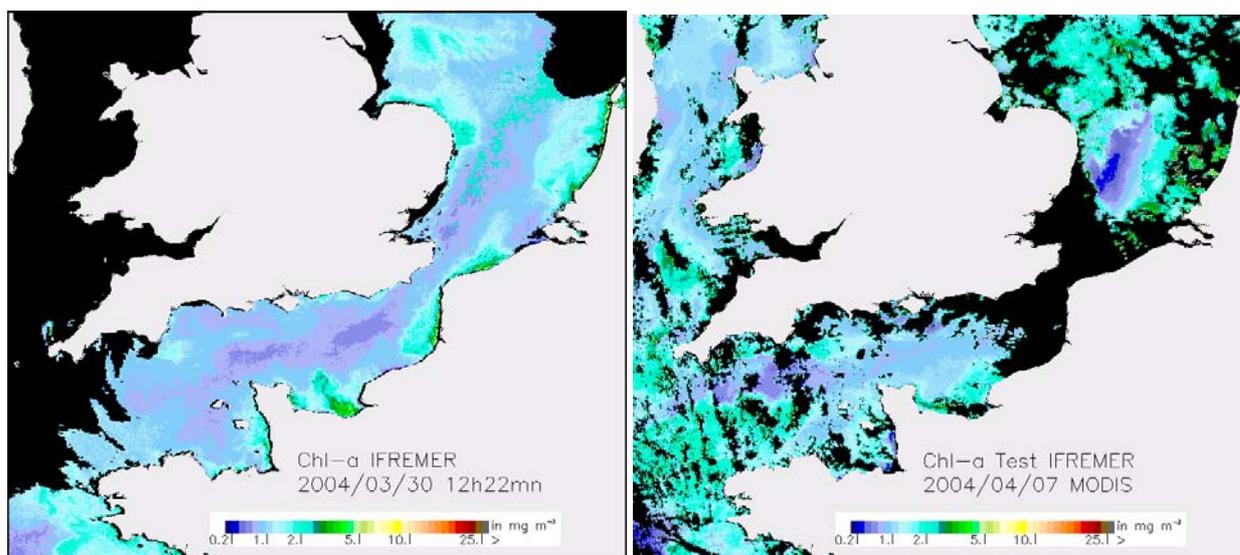


Figure 4.12 : Images satellite de la distribution de la chlorophylle en Manche le 30 mars et le 7 avril 2004

4.3.5. Bilan des résultats obtenus aux points canal et rejet

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

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

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

En utilisant les valeurs mesurées en 2004 pour les paramètres chlorophylle, production primaire et abondance phytoplanktonique, les valeurs obtenues sont présentées au tableau 4.7. Une valeur positive exprime un déficit au point *rejet* par rapport au point *canal*.

| (%) | <i>Chlorophylle a</i> | <i>Production primaire</i> | <i>microphytoplankton</i> |
|--------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|
| 01 AVRIL | - 10 | - 13 | - 83 |
| 25 JUIN | 4 | 2 | - 214 |
| 20 SEPTEMBRE | 23 | 26 | - 42 |

Tableau 4.7 : Bilan entre les points *canal* et *rejet* pour les trois paramètres étudiés

Les valeurs négatives des abondances phytoplanktoniques mettent en évidence des abondances toujours supérieures au point *rejet* par rapport au point *canal*. Pour les deux autres paramètres, c'est au seul mois d'avril que nous observons des valeurs négatives relativement modérées.

Ces différences peuvent s'expliquer par deux phénomènes, l'un de caractère spatial et l'autre temporel : premièrement, les caractéristiques de la masse d'eau du *rejet* peuvent résulter du mélange des eaux des points *canal* et *référence*. Deuxièmement, le temps de transit de l'eau de mer entre le point *canal* et le point *rejet* est de quelques heures, alors que les prélèvements sont faits à 30 minutes d'intervalle. Les valeurs ainsi obtenues peuvent donc s'expliquer aisément par la variabilité spatiale du milieu marin. Ce dernier point peut en être le facteur principal pour les phénomènes biologiques, souvent sujets aux agrégations (phénomène de *patchiness* - Lampert, 2001).

4.4. Conclusion

La biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances cellulaires montrent une évolution annuelle similaire. Le cycle phytoplanktonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Manche, avec des biomasses comprise entre 0,51 et 1,70 µg/L de chlorophylle. Ces valeurs, du même ordre que celles observées en juin et septembre dans la série pluriannuelle, sont faibles pour la situation printanière. Les valeurs de la biomasse, de la production primaire et de l'abondance présentent les plus faibles écarts au printemps.

Les concentration en azote inorganique ont été au dessus des médianes pluriannuelles sur les trois campagnes 2004. Cette situation a néanmoins conduit à des valeurs de production primaire inférieures aux médianes pluriannuelles sur toute l'année et à des biomasses et des abondances inférieures aux médianes en avril.

Les dénombrements microphytoplanktoniques sur le site de Paluel montrent bien le phénomène au cours duquel la population de la période 'hivernale' (peu abondante, mais bien diversifiée), dominé par les genres *Thalassiosira* et *Skeletonema* et avec des faibles abondances en dinoflagellés, est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia* (*Rhizosolenia delicatula*). Les dinoflagellés atteignent leur maximum d'abondance et partagent leur niche écologique avec des euglènes, plus

caractéristiques des apports continentaux. Les cryptophycées, représentantes de la fraction nanophytoplanctonique sont aussi à leur maximum. Les mauvaises conditions de mer lors de la campagne de septembre rendent difficiles l'interprétation des résultats phytoplanctoniques.

Ni l'évolutions des paramètres de biomasse ou production primaire, ni les abondances par espèce et par point ne présentent de variations pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution temporelle ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de la Manche. De plus, comme les valeurs des paramètres suivis ne sont pas systématiquement différentes au point *rejet*, nous ne pouvons pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu par l'activité de la centrale de Paluel à partir de l'étude du compartiment phytoplanctonique en 2004.

5. Le Zooplancton

Rédaction

Luis Lampert (LERN),
Françoise Dagault (DEL/SM).

Prélèvements et Analyses

Vincent Justome (LERN),
Liliane Fiant (LERN),
Laure Lamort (LERN),
Frank Maheux (LERN),
Olivier Pierre-Duplessix (LERN),
Floriane Girard (LERN),
Françoise Dagault (DEL/SM),
Audrey Duval (DEL/SM),
Hervé du Boullay (LERN),
Luis Lampert (LERN).

5.1. Introduction

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

5.2. Matériel et méthodes

En 2004, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 1^{er} avril, 25 juin et 20 septembre. A chaque campagne, trois points sont étudiés. Ces points sont les suivants :

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

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

Les traitements statistiques et leur représentation graphique est similaire à celle décrite dans le chapitre 2. La figure représentant la biomasse zooplanctonique en 2004 est enrichie des intervalles de confiance (n=6 ; $\alpha=0,05$).

5.2.1. Mesure de la biomasse

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

5.2.2. Systématique

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

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

5.3. Résultats

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2004 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 5.1 :

| | Valeurs moyennes ± écart type | CANAL | REJET | RÉFÉRENCE |
|--------------|--|------------|------------|------------|
| 01 AVRIL | <i>Poids sec (mg/m³)</i> | 13,1 ± 5,8 | 19,9 ± 9,9 | 26,0 ± 5,4 |
| | <i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i> | 6 624 | 7 186 | 37 934 |
| | <i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i> | 348 | 628 | 3 241 |
| | <i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i> | 6 972 | 7 814 | 41 174 |
| | <i>Poids de carbone (mg/m³)</i> | 2,9 ± 2,1 | 3,2 ± 1,0 | 9,3 ± 2,0 |
| | <i>Poids d'azote (mg/m³)</i> | 0,7 ± 0,5 | 0,6 ± 0,1 | 2,2 ± 0,5 |
| 25 JUIN | <i>Poids sec (mg/m³)</i> | 21,2 ± 7,4 | 58,5 ± 2,6 | 22,5 ± 4,0 |
| | <i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i> | 995 | 556 | 2 244 |
| | <i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i> | 23 320 | 26 459 | 11 794 |
| | <i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i> | 24 315 | 27 015 | 14 038 |
| | <i>Poids de carbone (mg/m³)</i> | 6,2 ± 2,9 | 19,0 ± 1,8 | 8,1 ± 1,5 |
| | <i>Poids d'azote (mg/m³)</i> | 1,5 ± 0,7 | 4,4 ± 0,4 | 2,1 ± 0,4 |
| 20 SEPTEMBRE | <i>Poids sec (mg/m³)</i> | 30,5 ± 8,1 | 19,8 ± 5,6 | 9,8 ± 2,8 |
| | <i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i> | 218 | 372 | 58 |
| | <i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i> | 5 036 | 9 706 | 3 597 |
| | <i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i> | 5 254 | 10 078 | 3 655 |
| | <i>Poids de carbone (mg/m³)</i> | 6,4 ± 1,2 | 4,7 ± 1,5 | 2,8 ± 0,5 |
| | <i>Poids d'azote (mg/m³)</i> | 1,1 ± 0,1 | 0,9 ± 0,3 | 0,7 ± 0,1 |

Tableau 5.1 : Récapitulatif des résultats pour 2004 dans les eaux de surface

5.3.1. Biomasse zooplanctonique

La biomasse zooplanctonique est estimée à partir de leur poids sec exprimé en mg/m^3 .

5.3.1.1. Variations spatiales et temporelles en 2004

Au cours de l'année 2004, les valeurs de la biomasse zooplanctonique s'échelonnent entre $9,8 \text{ mg}/\text{m}^3$ au point *référence* en septembre et $58,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ au point *rejet* en juin (figure 5.1). La valeur de $28,4 \text{ mg}/\text{m}^3$ observée au point *canal* en juin risque d'être surévaluée à cause des très nombreuses particules de sable présentes dans l'échantillon.

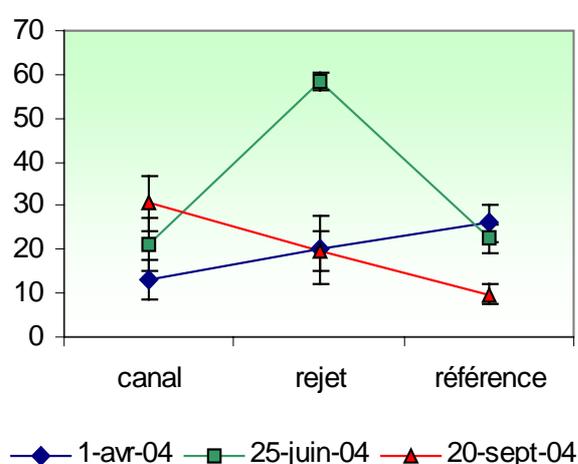


Figure 5.1 : Évolution de la biomasse (poids sec en mg/m^3) au cours des trois campagnes de surveillance 2004 avec leur intervalle de confiance ($\alpha=0,05$)

Les valeurs observées lors des campagnes d'avril et de septembre se situent dans la même gamme mais avec des gradients différents. Au printemps le gradient est croissant vers le large et inversement, il est décroissant en septembre. Dans les deux cas, la valeur du point *rejet* se situe entre celles des points *canal* et *référence*. En juin, les biomasses aux points *canal* et *référence* sont égales, tandis que la valeur enregistrée au même moment au point *rejet* est trois fois supérieure.

Les fortes conditions de mer observées lors des campagnes de juin et septembre risquent d'apporter un biais significatif aux valeurs de biomasse zooplanctonique, par la filtration des nombreuses particules de sable fin et des débris végétaux remis en suspension dans la colonne d'eau.

5.3.1.2. Variations inter-annuelles

Les valeurs de biomasse observées aux points *canal* et *référence* en avril et septembre 2004 ont été supérieures à celles de 2003 (figure 5.2). La situation s'inverse en juin, où la seule valeur au dessus de celle observée en 2003 a été au point *rejet*. Les plus forts écarts par rapport aux valeurs de 2003 ont été observées au point *canal* en septembre et au point *référence* en avril.

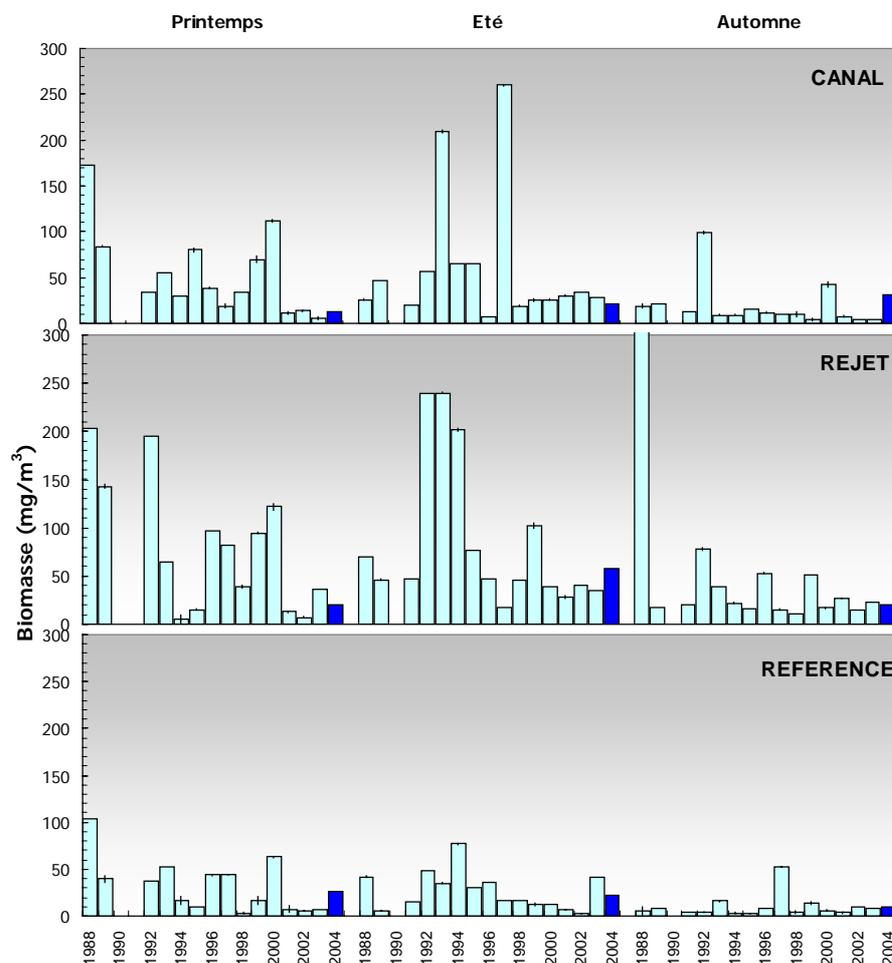


Figure 5.2 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1988 à 2004

Les plus fortes dispersions de valeurs sont observées au printemps et en été. En automne, sauf la valeur maximum observée au point *rejet*, la dispersion est moindre que pour les autres périodes.

Les médianes mettent en évidence un gradient décroissant *canal-référence* pour les trois campagnes, avec une valeur maximum au point *rejet*, ce qui pourrait être expliqué par le fort hydrodynamisme engendré par le flux sortant des grilles de rejet.

Les valeurs de biomasse observées en avril 2004 ont été inférieures aux médianes pluriannuelles aux points *canal* et *rejet* (figure 5.3). La valeur du point *référence* a été sensiblement similaire à la valeur de la médiane. En juin les valeurs ont oscillé autour des médianes, tout comme en septembre, à l'exception de la valeur du point *canal* qui a été nettement supérieure.

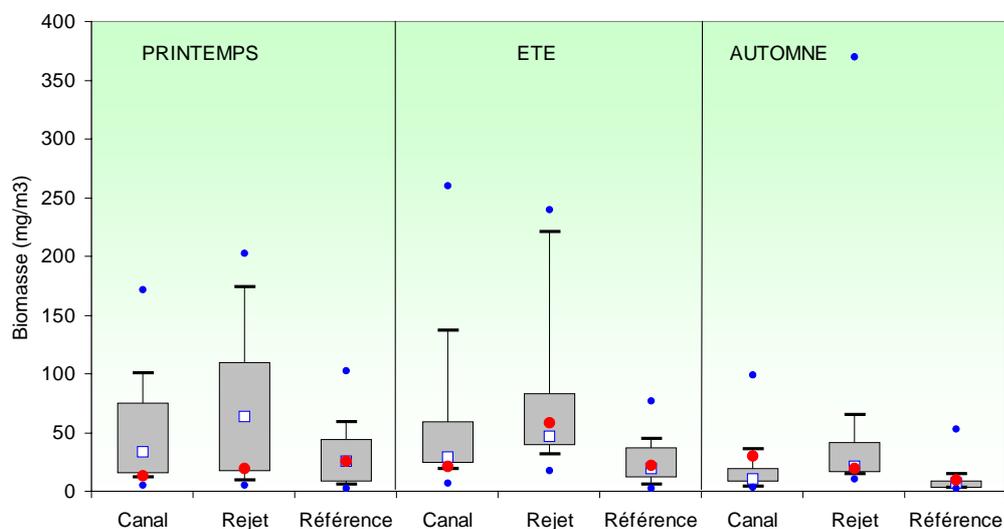


Figure 5.3 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1988 à 2004

5.3.1.3. Approche statistique

Les tests effectués sur les valeurs printanières montrent l'existence de différences entre les trois points d'échantillonnage avec des probabilités associées p proches du seuil de signification. En été, seul le couple de points *canal-référence* ne présente pas de différence. Finalement, en automne, la seule différence significative observée est celle du couple de points *référence - rejet*.

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| CANAL / REJET | 0,039 | 0,024 | 0,080 |
| RÉFÉRENCE / REJET | 0,038 | 0,001 | 0,001 |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,026 | 0,211 | 0,211 |

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

Tableau 5.2 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la biomasse

5.3.2. Abondances zooplanctoniques

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

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

5.3.2.1. Variations spatiales et temporelles en 2004

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2004 sont présentés sur la figure 5.4. ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre d'individus par 10 m^3 d'eau de mer. La plus forte abondance est observée au point *référence* en avril, avec $41\,174\text{ ind}/10\text{m}^3$ et la plus faible au même point en septembre avec $3\,655\text{ ind}/10\text{m}^3$.

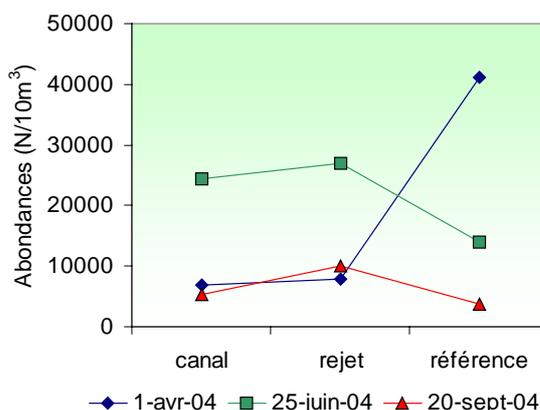


Figure 5.4 : Évolution de l'abondance totale zooplanctonique au cours des trois campagnes de surveillance 2004

Malgré la forte valeur enregistrée en avril au point *référence*, c'est bien au printemps et au début de l'automne que nous observons les plus faibles abondances. En juin, l'ensemble de valeurs augmente d'environ un facteur trois par rapport à celles du mois de septembre.

Un gradient décroissant côte large est observée pour les situations des mois de juin et septembre, tandis que la tendance s'inverse en avril.

5.3.2.2. Variations inter-annuelles

Sur les trois périodes d'échantillonnage, les valeurs des abondances zooplanctoniques de 2004 au point *canal* ont été supérieures à celles de l'année 2003 (figure 5.5). Il en est de même pour les points *rejet* en juin et septembre et le point *référence* en avril. Une très forte valeur, similaire au maximum de l'année 1994, est observée au point *canal* en été. Au point *rejet* à la même période et finalement au point *référence* au printemps.

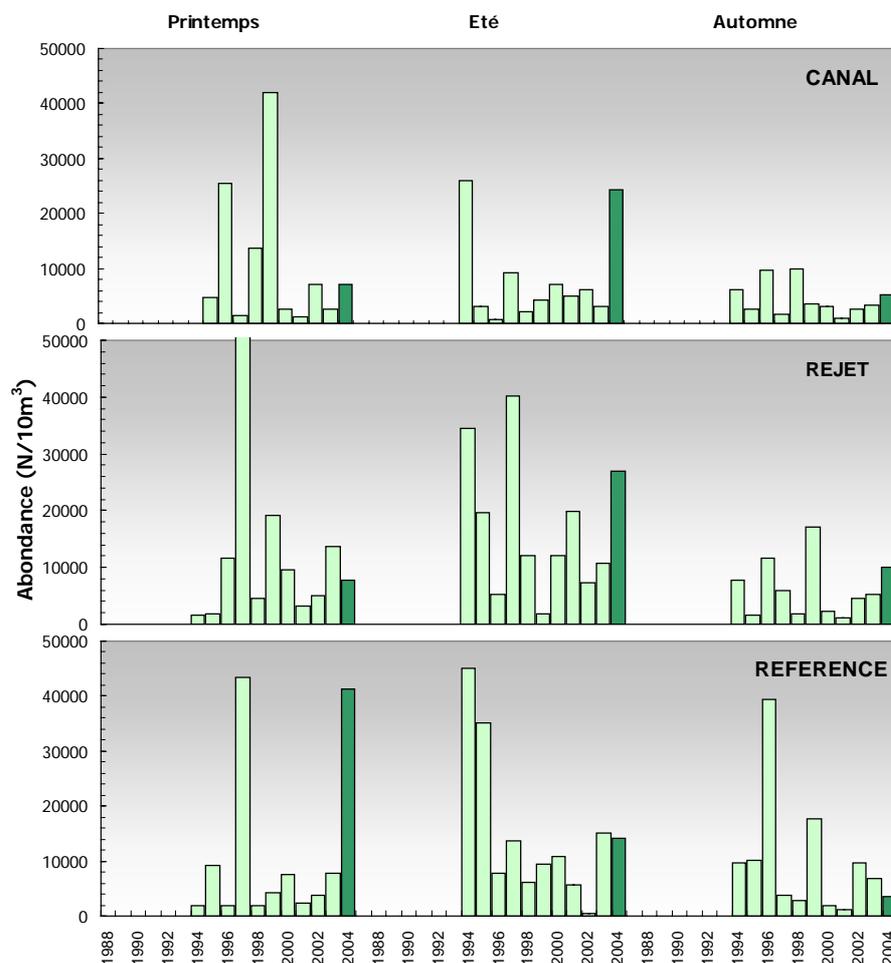


Figure 5.5 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1994 à 2004

Les plus fortes dispersions de valeurs de la série 1994-2004 sont observées lors des campagnes printanières et estivales, et les plus faibles dispersions en automne (figure 5.6). Les médianes pluriannuelles présentent un gradient croissant côte-large en été et en automne et un faible gradient décroissant au printemps.

Les valeurs d'abondance en 2004 se situent au dessus des valeurs médianes pour l'ensemble des campagnes effectuées, à l'exception de la valeur observée au point *référence* en septembre, qui se situe à la limite basse de la boîte contenant 50 % de valeurs.

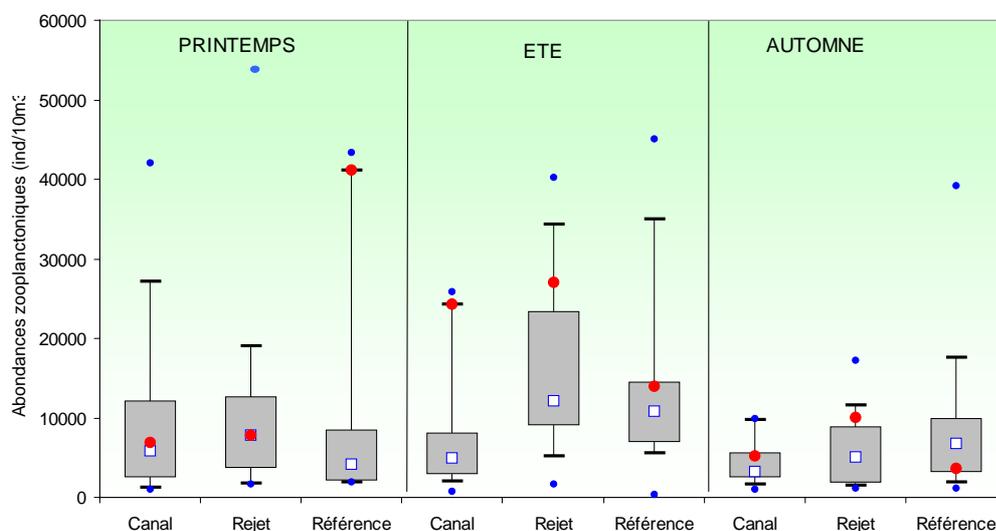


Figure 5.6 : Évolution de l'abondance zooplanctonique 1994 à 2004

5.3.3.3. Approche statistique

Les tests statistiques du tableau 5.3 montrent une période printanière et automnale où il n'y a pas de différences entre les points d'échantillonnage. En été, seul le couple *canal-rejet* présente de différences significatives.

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTÉ | AUTOMNE |
|-------------------|-----------|--------------|---------|
| CANAL / REJET | 1,000 | 0,008 | 0,228 |
| RÉFÉRENCE / REJET | 0,228 | 0,524 | 0,228 |
| CANAL / RÉFÉRENCE | 0,842 | 0,086 | 0,228 |

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

Tableau 5.3 : Probabilité associée p des tests statistiques sur l'abondance zooplanctonique

5.3.3. Étude faunistique

5.3.3.1. Variations spatio-temporelles du holoplancton et du méroplancton

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

| Abondance zooplancton (N/10m ³) | | 01-avr | | | | | | 25-juin | | | | | | 20-sept | | | | | |
|--|---------------------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------|--------------------|-------------|--------------------|-----|
| | | Canal | | Rejet | | Référence | | Canal | | Rejet | | Référence | | Canal | | Rejet | | Référence | |
| | | N/10m ³ | % | N/10m ³ | % | N/10m ³ | % | N/10m ³ | % | N/10m ³ | % | N/10m ³ | % | N/10m ³ | % | N/10m ³ | % | N/10m ³ | % |
| holoplancton | total Ctenaires | | | | | | | 20 | | 29 | | 32 | | 10 | | | | | |
| | total Chaetognathes | | | | | | | | | 19 | | | | 20 | | 27 | | 17 | |
| | total Mysidacés | 348 | 100 | 628 | 100 | 3241 | 100 | 23107 | 99 | 26177 | 99 | 11143 | 94 | 5005 | 99 | 9662 | 100 | 3580 | 100 |
| | total Copépodes | | | | | | | 193 | 1 | 233 | 1 | 619 | 5 | | | | | | |
| | total Appendiculaires | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| total holoplancton | 348 | 5 | 628 | 8 | 3241 | 8 | 23320 | 96 | 26459 | 98 | 11794 | 84 | 5036 | 96 | 9706 | 96 | 3597 | 98 | |
| méroplancton | total Cnidaires | 3837 | 58 | 671 | 9 | 380 | 1 | 51 | 5 | 39 | 7 | 63 | 3 | 56 | 26 | 5 | 1 | 175 | 47 |
| | total larves de Cirripèdes | 2640 | 40 | 6486 | 90 | 37491 | 99 | 162 | 16 | 78 | 14 | 32 | 1 | 41 | 19 | 22 | 6 | 12 | 21 |
| | Amphipodes | | | | | | | 10 | 1 | 10 | 2 | | | | | 11 | 3 | | |
| | Isopodes | | | 2 | | | | 41 | 4 | 39 | 7 | 32 | 1 | 20 | 9 | 11 | 3 | | |
| | Cumacés | | | | | | | 10 | 1 | 0 | | | | 10 | 5 | | | | |
| | Euphausiacés | | | | | | | 0 | | 10 | 2 | | | | | | | | |
| | larves Natantia | | | | | | | 20 | 2 | 10 | 2 | 79 | 4 | | | | | | |
| | larves Thalassinidae | | | | | | | 0 | | 29 | 5 | 16 | 1 | | | 5 | 1 | | |
| | larves d'Anomoures | | | 2 | | 6 | | 71 | 7 | 5 | 1 | 730 | 33 | 15 | 7 | 5 | 1 | 8 | 15 |
| | larves Brachyours | 129 | 2 | 14 | | 51 | | 61 | 6 | 49 | 9 | 619 | 28 | 15 | 7 | 55 | 15 | 7 | 13 |
| | larves de Mollusques | 11 | | | | 6 | | 528 | 53 | 233 | 42 | 651 | 29 | 61 | 28 | 82 | 22 | 24 | 42 |
| | Cyphonautes Bryozoaires | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Têtards d'Ascidies | | | | | | | 10 | 1 | 39 | 7 | 16 | 1 | | | | | | |
| | Téléostéens (Œufs) | 6 | | 5 | | | | 0 | | 7 | 1 | 2 | | | | | | | |
| | Téléostéens (Alevins et larves) | 0 | | 2 | | | | 30 | 3 | 10 | 2 | 5 | | | | | | | |
| total méroplancton | 6624 | 95 | 7186 | 92 | 37934 | 92 | 995 | 4 | 556 | 2 | 2244 | 16 | 218 | 4 | 372 | 4 | 58 | 2 | |
| total zooplancton | 6972 | | 7814 | | 41174 | | 24315 | | 27015 | | 14038 | | 5254 | | 10078 | | 3655 | | |

Tableau 5.4 : Dominance des principaux groupes zooplanctoniques à Paluel en 2004

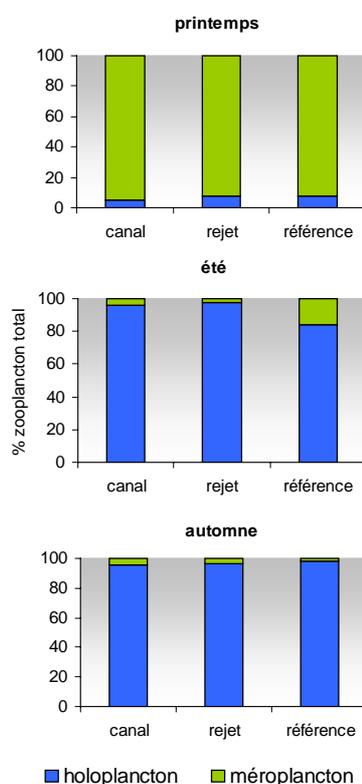


Figure 5.7 : Répartition des dominances de l'holoplancton et du méroplancton dans le zooplancton total en 2004

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

Pour définir la composition du zooplancton, la dominance (%), pourcentage d'un groupe faunistique par rapport au nombre total d'individus, est calculé par compartiment et par embranchement (tableau 5.5) au sein du méroplancton et de l'holoplancton. Cette année les copépodes représentent en moyenne 93 % de l'abondance des mois de juin et de septembre et 7 % pour le mois d'avril.

5.3.3.2. Variations spatio-temporelles des principaux taxons en 2004

L'holoplancton

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

- Les copépodes :

Au cours de l'année 2004, le minimum d'abondance est observé en avril au point *canal* avec 348 ind/10m³, et le maximum en juin au point *rejet* avec 26 177 ind/10m³ (figure 5.8). Le nombre de copépodes augmente du printemps vers l'été, pour ensuite redescendre à de valeurs intermédiaires au mois de septembre.

Le gradient côte-large, mis en évidence lors de la campagne du mois d'avril, s'inverse en été et en automne. Les valeurs maximum d'abondance de copépodes aux mois de juin et septembre sont observées au point *rejet*.

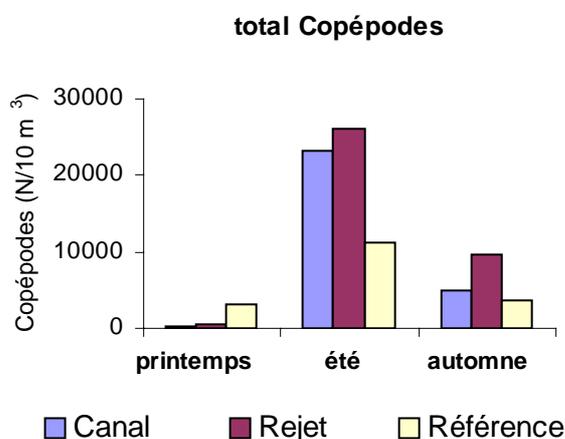


Figure 5.8 : Abondance des copépodes en 2004 au CNPE de Paluel

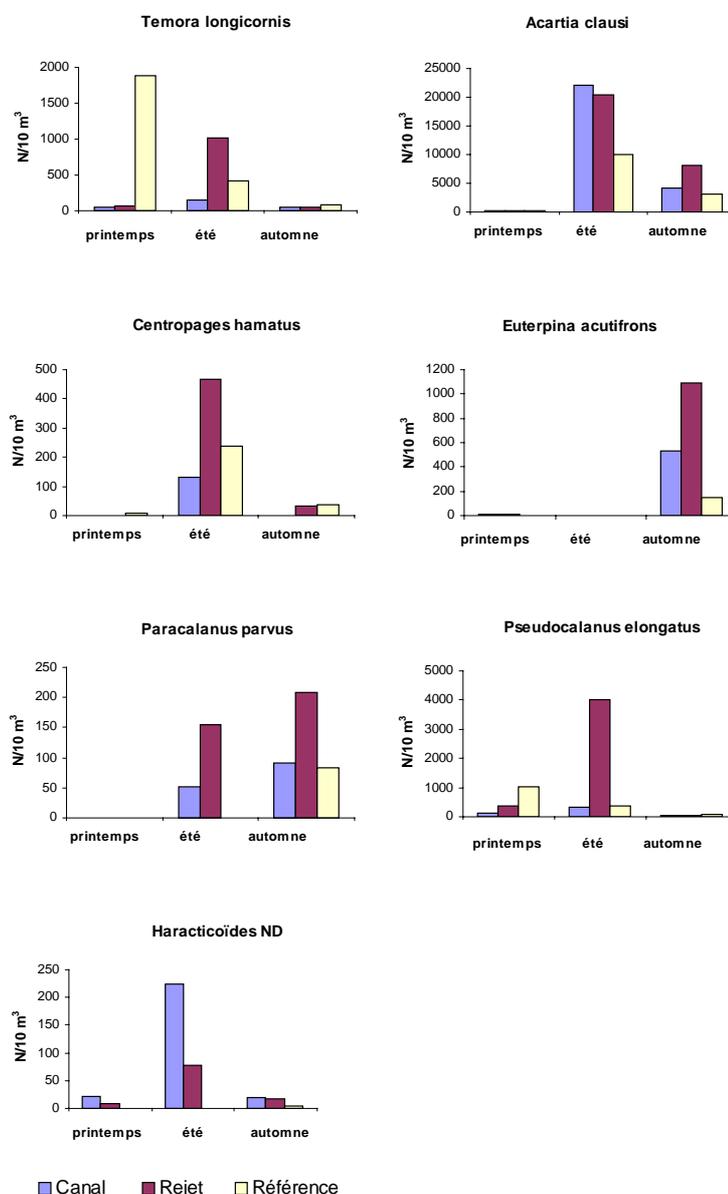


Figure 5.9 : Distribution des principales espèces de copépodes en 2004

Temora longicornis

Sa plus forte valeur d'abondance est observée au point *référence* lors de la campagne du mois d'avril avec $1\,883\text{ ind}/10\text{ m}^3$. Les valeurs observées aux points *canal* et *rejet* restant nettement inférieures. Sur l'ensemble de campagnes nous observons un gradient croissant côte-large bien marqué en avril et en juin. Les abondances obtenues en septembre présentent une plus faible variabilité spatiale.

Acartia clausi

Aux faibles abondances de cette espèce en avril, s'ensuit une forte augmentation sur les trois points d'échantillonnage en juin, avec un maximum de $22\,132\text{ ind}/10\text{ m}^3$ au point *canal*. Au mois de septembre, nous observons une diminution générale des abondances. En été et en automne, les

plus fortes abondances se situent au point *canal*. Il s'agit de l'espèce de copépodes la plus abondante dans les eaux proches de la centrale de Paluel.

Centropages hamatus

Cette espèce, faiblement représentée au printemps, atteint son maximum au mois de juin au point *rejet*, avec 466 ind/10m³. Elle est absente des points *canal* et *rejet* au printemps et du point *canal* en septembre.

Euterpina acutifrons

Complètement absente dans les eaux des échantillons du mois de juin, elle atteint son maximum au point *rejet* au mois de septembre avec 1 095 ind/10m³.

Paracalanus parvus

Aucun individu n'a été identifié ni dans les échantillons du mois d'avril, ni dans celui du point *référence* en juin. Nous observons son maximum au mois de septembre au point *rejet*, avec 208 ind/10m³. Le point *rejet* présente, dans les deux campagnes où elle a été observée, le maximum de la série échantillonnée.

Pseudocalanus elongatus

Il s'agit de l'espèce la plus abondante dans les eaux étudiées après *Acartia clausi*. Les valeurs observées en avril et juin sont similaires, à l'exception de sa valeur maximum de l'année, enregistrée au point *rejet* en juin avec 4 000 ind/10m³. Un gradient croissant côte-large est bien établi au mois d'avril.

Harpacticoïdes non déterminés

Les harpactocoïdes non déterminés sont présents lors des trois campagnes de l'année, et plus particulièrement aux points *canal* et *rejet* ; seul au mois de septembre nous avons observée une abondance égale à 5 ind/10 m³ de ce copépode au point *référence*.

- Les autres espèces holoplanctoniques (figure 5.10)

Les appendiculaires, représentées par *Oikopleura*, sont présents sur l'ensemble de points lors de la seule campagne estivale. Nous observons un gradient croissant côte-large avec un maximum d'abondance au point *référence* de 619 ind/10m³.

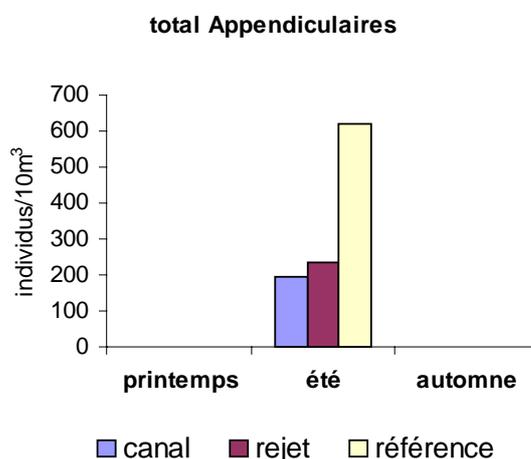


Figure 5.10 : Abondances des appendiculaires dans les eaux de la CNPE de Paluel en 2004

Le méroplancton

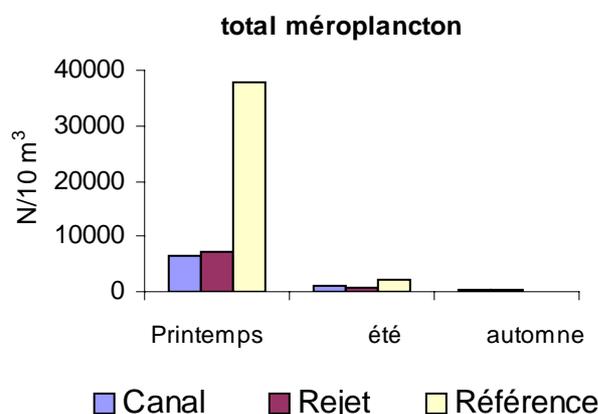


Figure 5.11 : Abondance du méroplancton en 2004 dans les eaux de la CNPE de Paluel

Le méroplancton est essentiellement présent au cours de la campagne printanière avec un maximum de 37 934 ind/10m³ au point *référence*. Au cours des deux autres campagnes, cette catégorie du zooplancton est présente en faible quantité au point *référence* avec un minimum de 58 ind/10 m³ en septembre. Lors des campagnes d'avril et de juin, un gradient côte-large est mis en évidence. Cette tendance s'inverse au mois de septembre avec une plus forte abondance du méroplancton au point *canal*.

Les stades larvaires des espèces appartenant à différents embranchements ou classes ont été dénombrés au cours des trois campagnes (figure 5.12).

- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés

- Les cirripèdes

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

Cette année, les larves de cirripèdes (stade *nauplii* essentiellement) représentent 40 % à 99 % du méroplancton total du mois d'avril ; jusqu'à 16 % au mois de juin et 6 % à 19 % au mois de septembre. Elles constituent l'essentiel de la biomasse du méroplancton du printemps.

Le maximum d'abondance est atteint au point *référence* en avril avec 37 491 ind/10 m³ et le minimum lors de la campagne de juin, au même point, où aucune larve n'a été identifiée. Lors des trois campagnes annuelles les plus fortes abondances sont observées au point *canal*.

- Larves d'Anomoures (porcelaines, galathées, Bernard l'ermite)

De faibles abondances sont observées en avril et en septembre. Leur maximum est atteint lors de la campagne de juin avec 730 ind/m³ au point *référence*, où elles représentent 33 % du méroplancton.

- Larves de Brachyours (crabes et araignées)

Elles sont présentes lors des trois campagnes de l'année, avec un maximum de 619 ind/m³ observée au point *référence* en juin, ce qui représente 28 % du méroplancton.

- Isopodes

Les isopodes, bien que présents lors des trois campagnes, ont été mieux représentés en été. Leur maximum est atteint au point *canal* en juin, avec 41 ind/m³. Au printemps, seul le point *rejet* présente une valeur significative. En septembre, ils sont absents au point *référence*.

• Embranchement des annélides

Ces larves sont émises par diverses espèces dont les adultes constituent une bonne partie de la nourriture de nombreux crustacés et poissons de fond. Elles sont représentées principalement par la famille de *Spionidae*, rencontrées lors des trois campagnes. L'abondance maximale des annélides est atteinte en avril au point *canal* avec 3 837 ind/10m³ soit 58 % du méroplancton. L'abondance minimale est observée en juin au point *rejet* où elles sont absentes.

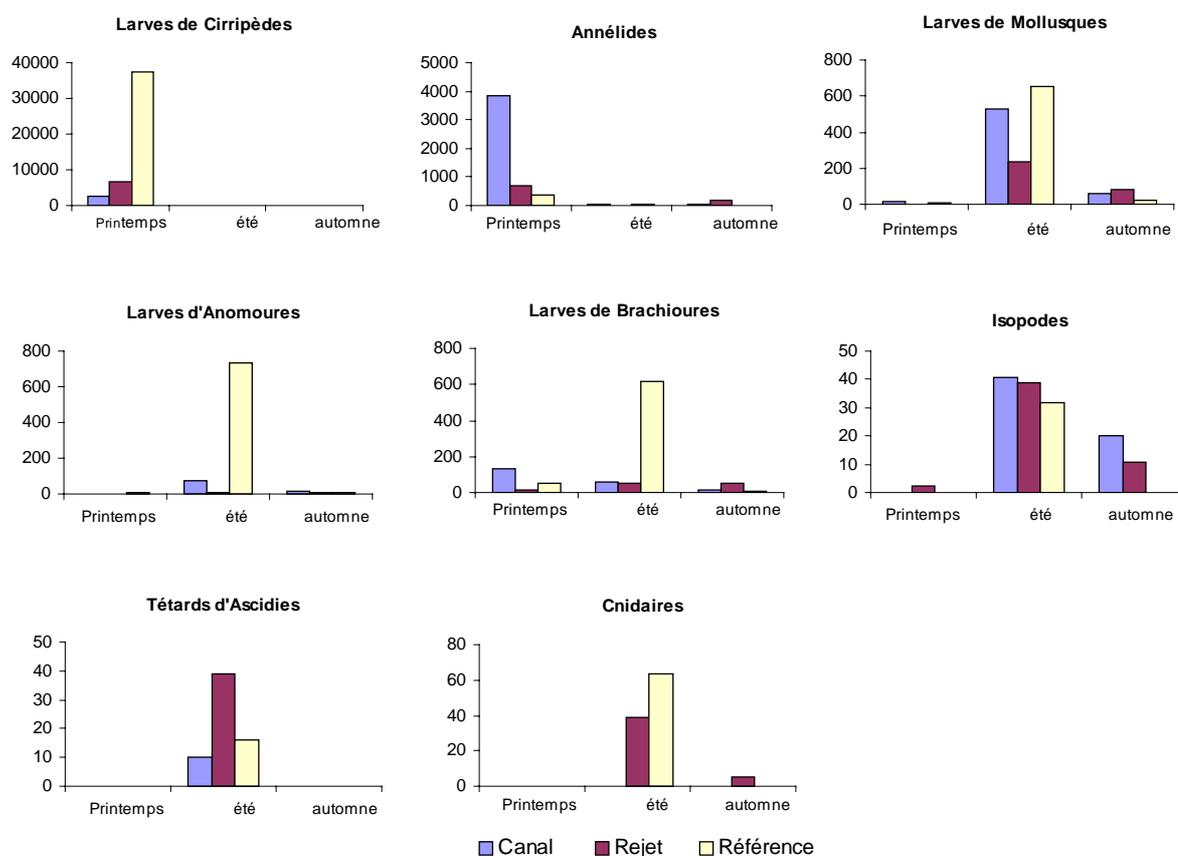


Figure 5.12 : Abondances méroplanctoniques en 2004 dans les eaux du CNPE de Paluel

- Embranchement de mollusques

Essentiellement représentés par les larves de gastéropodes, leur maximum est atteint lors de la campagne du mois de juin avec 651 ind/m³ au point *référence*. Lors de cette campagne estivale, leurs dominances ont été de 53 % au point *canal*, 42 % au point *rejet* et 29 % au point *référence*.

- Embranchement des cnidaires (hydrozoaires, actinies, méduses)

Faiblement représentés en septembre et absents au mois d'avril, ils n'ont compté que pour 7 % maximum de l'abondance méroplanctonique lors de la campagne de juin.

5.4. Bilan entre *canal* et *rejet*

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

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

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

En utilisant les données acquises en 2004 pour les deux paramètres précités, les valeurs obtenues sont les suivantes (tableau 5.6) :

| (%) | <i>Biomasse</i> | <i>Abondance</i> |
|--------------|-----------------|------------------|
| 1 AVRIL | - 51 | - 13 |
| 25 JUIN | - 265 | - 13 |
| 20 SEPTEMBRE | 35 | - 94 |

Tableau 5.6 : Bilan des deux paramètres étudiés entre les points *canal* et *rejet*

A l'exception du bilan de biomasse positif observé en septembre, nous trouvons des excédents de biomasse et d'abondance au point *rejet* sur les trois campagnes réalisés en 2004.

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

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

5.5. Conclusions

L'étude du compartiment zooplanctonique en 2004 met en évidence de fortes biomasses en avril et des valeurs plus proches des médianes en été et en automne. Les médianes pluriannuelles observées au point *rejet* s'avèrent les plus élevées sur l'ensemble des campagnes. L'étude statistique confirme ce phénomène au printemps et en été, pour les séries de valeurs obtenues depuis 1988. En automne les seules différences ont été observées entre les points *référence* et *rejet*.

Les plus fortes abondances zooplanctoniques ont été enregistrées en avril au point *référence*. En juin, toutes les abondances obtenues en 2004 se situent au-dessus du nuage contenant 50 % des valeurs. Au printemps et en été, la médiane pluriannuelle du point *rejet* est supérieure à celles des autres points d'échantillonnage. Elle se situe entre les valeurs des points *canal* et *référence* en septembre. La seule différence statistique observée lors des tests est celle du couple de points *canal-rejet* en été.

Au printemps, la faune zooplanctonique a été dominée par le méroplancton à plus de 90 % (essentiellement des cirripèdes et des annélides), où les seules larves de cirripèdes ont compté pour 40 à 84 % de cette abondance. Les plus fortes dominances d'annélides ont été observées au point *canal* avec 58 %. Lors de la campagne de juin l'essentiel de la biomasse méroplanctonique a été partagé entre les larves de gastéropodes, de brachyours et de cirripèdes. Au mois de septembre, ce sont les annélides, les larves de mollusques et en moindre mesure les cirripèdes qui ont présenté les plus fortes dominances.

L'holoplancton, bien que très faiblement mis en évidence en avril, domine la biomasse zooplanctonique totale en juin et septembre à plus de 84 %. Les copépodes dominent l'holoplancton entre 94 % et 100 % sur l'ensemble de campagnes effectuées. Les espèces les plus représentatives ont été : *Acartia clausi*, *Pseudocalanus elongatus*, *Temora longicornis* et *Euterpina acutifrons*.

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

Seule la fréquence élevée des valeurs d'abondance maximums des différentes espèces de copépodes au point *rejet* pourrait suggérer une influence de la température sur ces espèces, plus mobiles que les reste des individus composant la faune zooplanctonique.

6. Le Benthos Subtidal

Rapport

Dominique Davout (Université Paris VI)
Station Biologique de Roscoff – UMR 7127

Aline Migné (Université Paris VI)
UMR 5178

Participation

Luis Lampert (LERN).

6.1. Introduction

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

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

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

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

- Le point 1, autrefois représentative des fluctuations de la moulière (49°52'10 N, 0°35'20 E),
- Le point 2, situé 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),
- Le point 6, qui constituait une transition entre la moulière et les sables hétérogènes situés plus à l'est (49°52'60 N, 0°37'50 E),
- Le point 16, caractéristique des sables hétérogènes et située à proximité de la centrale (49°52'60 N, 0°41'20 E),
- Le point H.Z. (hors zone), considéré 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 points 1 et 6 afin de mieux cerner d'éventuelles fluctuations importantes du recrutement des espèces dominantes dans le passé (*Mytilus edulis*) ou actuellement (Tuniciers).

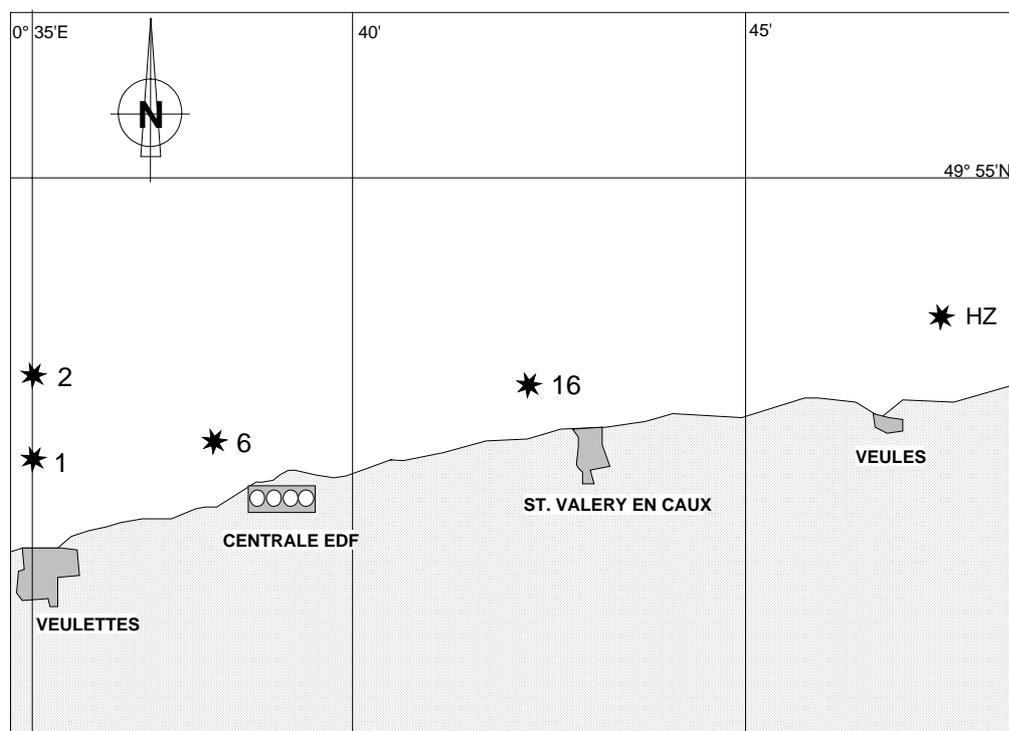


Figure 6.1 : points échantillonnées en 2004

Cette année, les campagnes se sont déroulées comme prévu (Tableau 6.1).

| Dates | Points échantillonnés |
|-----------------|-----------------------|
| 11 février 2004 | 1 et 6 |
| 13 mai 2004 | 1, 2, 6, 16 et H.Z. |
| 13 juillet 2004 | 1 et 6 |
| 3 novembre 2004 | 1, 2, 6, 16 et H.Z. |

Tableau 6.1 : Calendrier des campagnes en 2004

6.2 . Méthodologie

6.2.1. Travail à la mer

Les prélèvements sont réalisés à partir du *NO SEPIA II* à la drague Rallier du Baty et donnent donc *a priori* lieu à des échantillons qualitatifs. L'efficacité de ce type d'engin permet néanmoins de comparer les abondances relatives. Les abondances absolues, données à titre indicatif en annexe, sont rapportées à un volume prélevé d'environ 30 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 (dilué à 10 %).

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

6.2.2. Travail au laboratoire

6.2.2.1. Analyse granulométrique

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

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

Chaque refus de tamis est pesé avec une précision de 0,01 g. Les résultats sont ensuite 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. Étude de la macrofaune

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

L'identification des animaux s'effectue à la loupe binoculaire et au microscope. Les principaux ouvrages utilisés sont les suivants:

- P. Fauvel, Faune de France, 5 : *Annélides Polychètes errantes*
- P. Fauvel, Faune de France, 16 : *Annélides Polychètes sédentaires*
- N. Tebble : *Mollusques Bivalves*
- R.J. Lincoln, British Museum : *Amphipodes*
- E.L. Bouvier, Faune de France, 37 : *Décapodes*
- P. Koehler, Faune de France, 1 : *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 selon la formule :

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

6.2.3.2. Diagrammes Rang-Fréquence

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

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

6.3. Résultats

6.3.1. Analyse granulométrique (Fig 6.2)

Dans l'ensemble, les résultats des analyses sont proches de ceux des années précédentes (Tableaux 6.2 et 6.3 - figure 6.2).

| | P | SF | SM | SG | GF | GG | C |
|-------------------|------|------|-------|-------|------|------|-------|
| Point 1 | 0.01 | 0.06 | 0.21 | 1.55 | 1.74 | 5.76 | 90.67 |
| Point 2 | 0.01 | 1.53 | 4.00 | 8.43 | 3.75 | 7.37 | 76.27 |
| Point 6 | 0.03 | 0.10 | 0.50 | 1.23 | 1.20 | 3.97 | 92.96 |
| point 16 | 0.08 | 2.55 | 56.08 | 15.88 | 0.99 | 0.33 | 24.10 |
| Point H.Z. | 0.09 | 7.88 | 84.37 | 7.00 | 1.37 | 0.66 | 0.00 |

Tableau 6.2 : Analyse granulométrique et fréquences pondérales (%) au printemps

| | P | SF | SM | SG | GF | GG | C |
|-------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Point 1 | 0.01 | 0.08 | 0.13 | 0.28 | 0.18 | 15.12 | 84.19 |
| Point 2 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 12.74 | 87.20 |
| Point 6 | 0.00 | 0.02 | 0.12 | 0.22 | 0.18 | 17.42 | 82.04 |
| point 16 | 0.08 | 10.67 | 77.10 | 11.69 | 0.43 | 0.03 | 0.00 |
| Point H.Z. | 0.08 | 4.84 | 36.01 | 19.27 | 12.22 | 26.86 | 0.72 |

Tableau 6.3 : Analyse granulométrique et fréquences pondérales (%) en automne

Aux points 1 et 2 (peuplement des cailloutis), comme les années précédentes (Davoult, 1992 & 1993, Davoult & Migné, 1994 à 2003), le sédiment est dominé par les cailloutis (de 76 à 93 % du poids du sédiment). Au point 1, depuis 1990, l'absence de moules ne favorise pas une importante biodéposition, phénomène qui enrichit habituellement le sédiment en particules fines (sables et pérites).

Le sédiment du point 6 était dominé jusqu'en 1990 par les sables moyens (Bourgain *et al.*, 1988 ; Davoult, 1990). En 1992, le point 6 était caractérisé par un sédiment typique des fonds caillouteux (> 80 % du poids du sédiment) et de 1993 à 1998 par un sédiment variable, allant de l'hétérogène au grossier. Depuis 1999, le sédiment était largement dominé par les cailloutis (de 75 à plus de 90 % du poids du sédiment) : ce point ne constituait donc plus un élément intermédiaire au sein d'un gradient sédimentaire côtier mais appartenait avec les points 1 et 2 à une zone de cailloutis. En 2002, cette tendance avait été partiellement remise en cause au printemps puisque le sédiment était de nouveau dominé par les sables (dont 34 % de sables grossiers) et ne contenait plus que 14 % de cailloutis. En automne, le sédiment était de nouveau dominé par les cailloutis (52 % du poids total du sédiment) mais plus faiblement que les années précédentes. L'année dernière, les cailloutis représentaient de nouveau plus de 90 % du poids total du sédiment. En 2004, les cailloutis sont également dominants (> 80 % du poids total du sédiment) et le point 6 appartient donc de nouveau à la zone des cailloutis.

Au point 16, de 1995 à 1998, la proportion de graviers et cailloutis tendait à augmenter. Depuis 1999, celle-ci tend à diminuer de nouveau, quelquefois de façon assez importante. En 2003, le sédiment était fortement dominé par les sables moyens (82 %). Cette année, les sables moyens dominent (56 à 77 % du poids total du sédiment) même si les cailloutis représentent au printemps une proportion non négligeable (24 %). Le point 16 reste donc bien représentatif des sables hétérogènes de la zone.

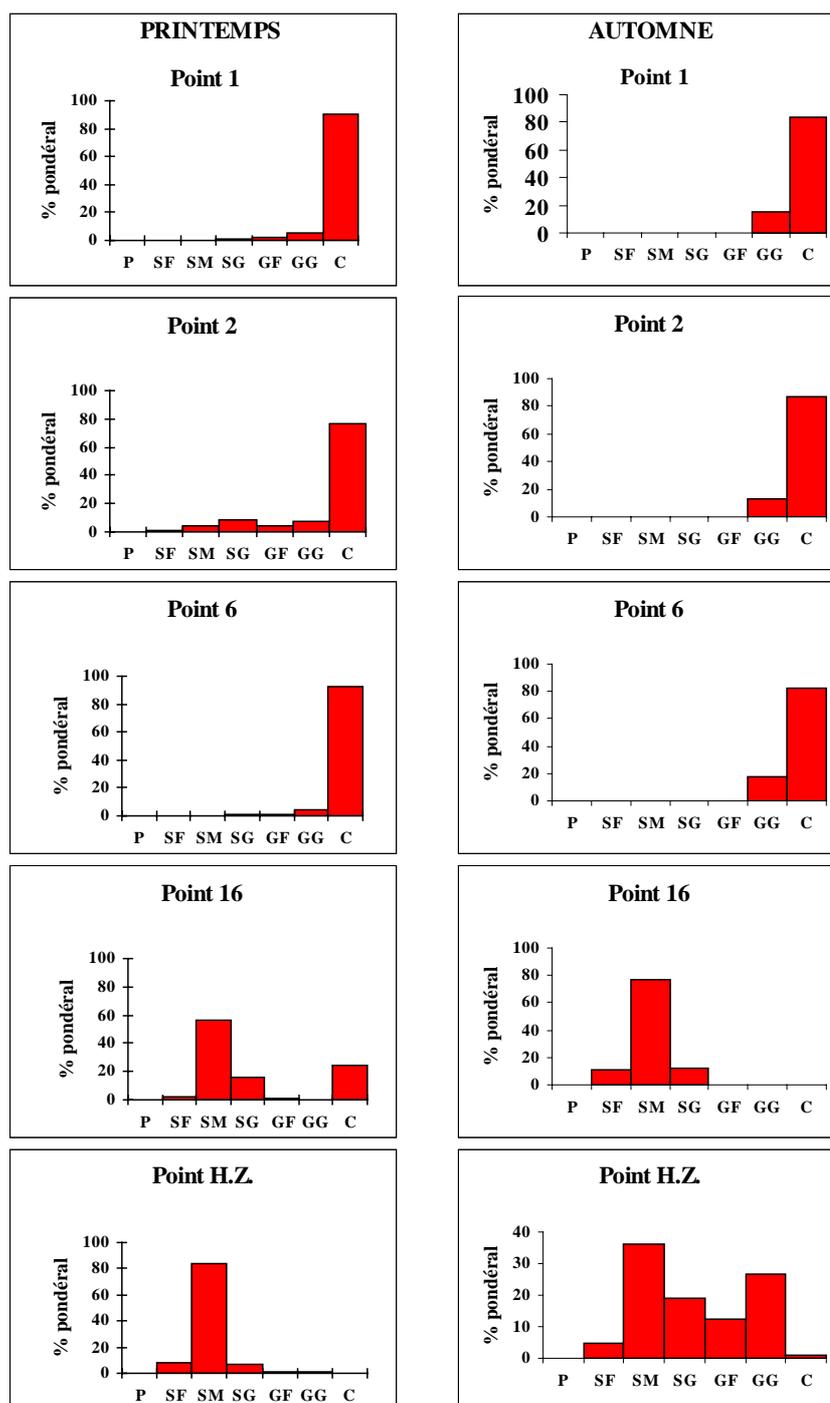


Figure 6.2 : Analyse granulométrique

Le point H.Z. est caractérisé par un sédiment hétérogène généralement dominé par les sables moyens et grossiers. Cette année, les sables moyens sont toujours dominants (84 et 36 %, respectivement au printemps et en automne) mais les graviers grossiers (essentiellement constitués de débris coquilliers) représentent une part importante du sédiment récolté en automne (27 %).

L'évolution de la couverture sédimentaire du domaine côtier observée pendant plusieurs années a donc fait place à une situation 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 (figure 6.1), la présence d'un gradient sédimentaire des cailloux du point 1 à l'ouest, aux sables moyens du point H.Z. à l'est, s'est mis en place depuis 1992. Actuellement, plus qu'un gradient, c'est une opposition entre cailloutis à l'ouest (points 1 et 6) et sables hétérogènes à l'est (points 16 et H.Z.) qui caractérise la zone côtière.

6.3.2. Analyse faunistique

6.3.2.1. Résultats globaux

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

| | |
|---------------|--------------|
| Spongiaires | : 6 espèces |
| Cnidaires | : 9 espèces |
| Annélides | : 24 espèces |
| Sipunculiens | : 1 espèce |
| Mollusques | : 18 espèces |
| Bryozoaires | : 19 espèces |
| Cirripèdes | : 4 espèces |
| Isopodes | : 3 espèces |
| Amphipodes | : 13 espèces |
| Mysidacés | : 1 espèce |
| Décapodes | : 14 espèces |
| Échinodermes | : 3 espèces |
| Tuniciers | : 6 espèces |
| Céphalocordés | : 1 espèce |

Le nombre d'espèces récoltées est proche de celui des années précédentes (111 espèces en 2001, 118 en 2002 et 2003) 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 (tableau 6.4). 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 enregistrée depuis 1992 est due à la fois à la suppression du point 29 (diminution de la diversité spécifique mesurée dans le peuplement des cailloutis, en particulier de celle des Amphipodes) et à la disparition de la moulière du point 1, ce qui a provoqué une diminution de la diversité spécifique par modification du milieu, au détriment notamment de la petite endofaune à annélides.

Depuis 1993, la dominance des différents groupes zoologiques s'est modifiée quelque peu au profit des espèces de substrat dur (Cnidaires et Bryozoaires) abondants notamment au point 1 depuis la disparition de la moulière : toutefois, les Annélides dominent toujours (19,7 %), suivis

des Bryozoaires (15,6 %), des Mollusques (14,8 %), des Crustacés décapodes (11,5 %), puis des Amphipodes (10,7 %) et des Cnidaires (7,4 %). Les Tuniciens (4,9 %) restent minoritaires en nombre d'espèces mais sont néanmoins bien représentés et dominants en nombre d'individus en certains points (voir plus loin).

| Points | Nombre d'espèces | Nombre d'individus | H | E |
|-----------------------|------------------|--------------------|-----|------|
| Hiver 2004 | | | | |
| 1 | 38 | 209 | 3,5 | 0,78 |
| 6 | 43 | 2064 | 2,0 | 0,42 |
| Printemps 2004 | | | | |
| 1 | 43 | 711 | 3,0 | 0,61 |
| 2 | 51 | 1900 | 1,6 | 0,33 |
| 6 | 43 | 784 | 2,9 | 0,6 |
| 16 | 9 | 30 | 2,6 | 0,81 |
| H.Z. | 8 | 53 | 2,3 | 0,75 |
| Été 2004 | | | | |
| 1 | 43 | 1140 | 2,7 | 0,55 |
| 6 | 42 | 906 | 2,6 | 0,55 |
| Automne 2004 | | | | |
| 1 | 51 | 566 | 3,2 | 0,63 |
| 2 | 51 | 1342 | 1,7 | 0,32 |
| 6 | 49 | 1110 | 3,0 | 0,58 |
| 16 | 12 | 48 | 2,8 | 0,82 |
| H.Z. | 10 | 41 | 2,7 | 0,83 |

Tableau 6.4. : Nombre d'espèces et d'individus. Diversité (H) et régularité (E) des prélèvements

Une nouvelle espèce a été identifiée : il s'agit du Mollusque bivalve *Modiolula phaseolina*, espèce déjà signalée en Manche mais jamais récoltée sur le site de Paluel.

6.3.2.2. Peuplement des cailloutis

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

Deux faciès sont toutefois présents :

- **Un faciès du large visible au point 2**, caractérisé notamment par la forte dominance de l'ophiure *Ophiothrix fragilis* : cette année encore, l'espèce est dominante (1^{er} rang, 68 et 76 % des individus récoltés respectivement au printemps et en automne). Ce faciès apparaît très stable, les quatre espèces dominantes représentent plus de 80 % des individus récoltés (l'ophiure *O. fragilis*, le crabe *Pisidia longicornis*, les annélides tubicoles *Pomatoceros triqueter* et *Thelepus setosus*) et sont caractéristiques du faciès. Les DRF sont typiquement sigmoïdes et séparent les espèces dominantes des autres espèces (figure 6.3). L'indice de diversité de Shannon (tableau 6.4) est assez faible (H = 1,6 et 1,7) pour un aussi grand nombre d'espèces récoltées (51), en raison d'une très grande irrégularité de la distribution des abondances relatives (E = 0,33 et 0,32).

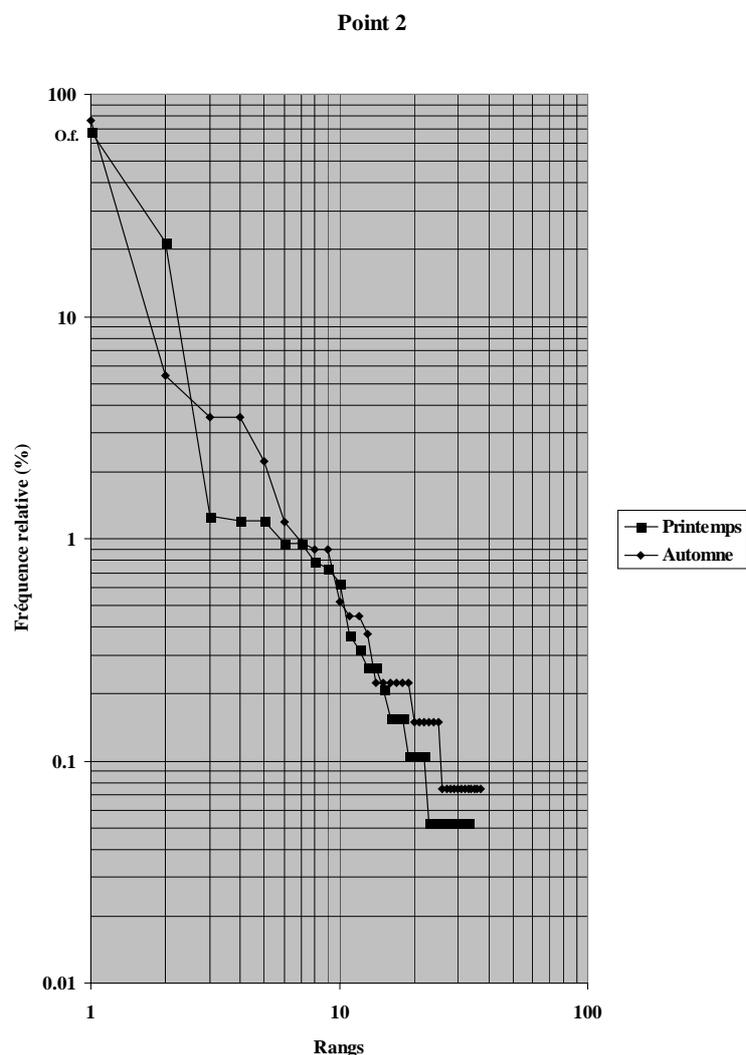


Figure 6.3. : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements du point 2

- **Un faciès côtier (points 1 et 6)** dominé comme les années précédentes par les Annélides tubicoles *Sabellaria spinulosa*, *Thelepus setosus* et *Pomatoceros triqueter* et par les Tuniciers *Styela coriacea* et *Molgula manhattensis*. Les DRF (figure 6.4) sont à peu près rectilignes à légèrement convexes mais ils montrent néanmoins la dominance d'un faible nombre d'espèces (4 à 6). Le nombre d'espèces récoltées est élevé (38 à 51) et l'indice de Shannon, plus important qu'au point 2, varie de 2,0 à 3,5 selon le nombre d'espèces en co-dominance (régularité de 0,42 à 0,78), tous ces résultats étant proches de ceux de l'année précédente.

Depuis 1992, les Tuniciers ont partiellement investi 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 certaines années plus de 50 % des individus récoltés aux points 1 et 6. Ce basculement de structure est maintenant établi et stable depuis plus de 10 ans bien que, cette année, l'espèce *Mytilus edulis* ait fait une timide réapparition (1 individu au point 1 en automne, 2 individus au point 6 en hiver).

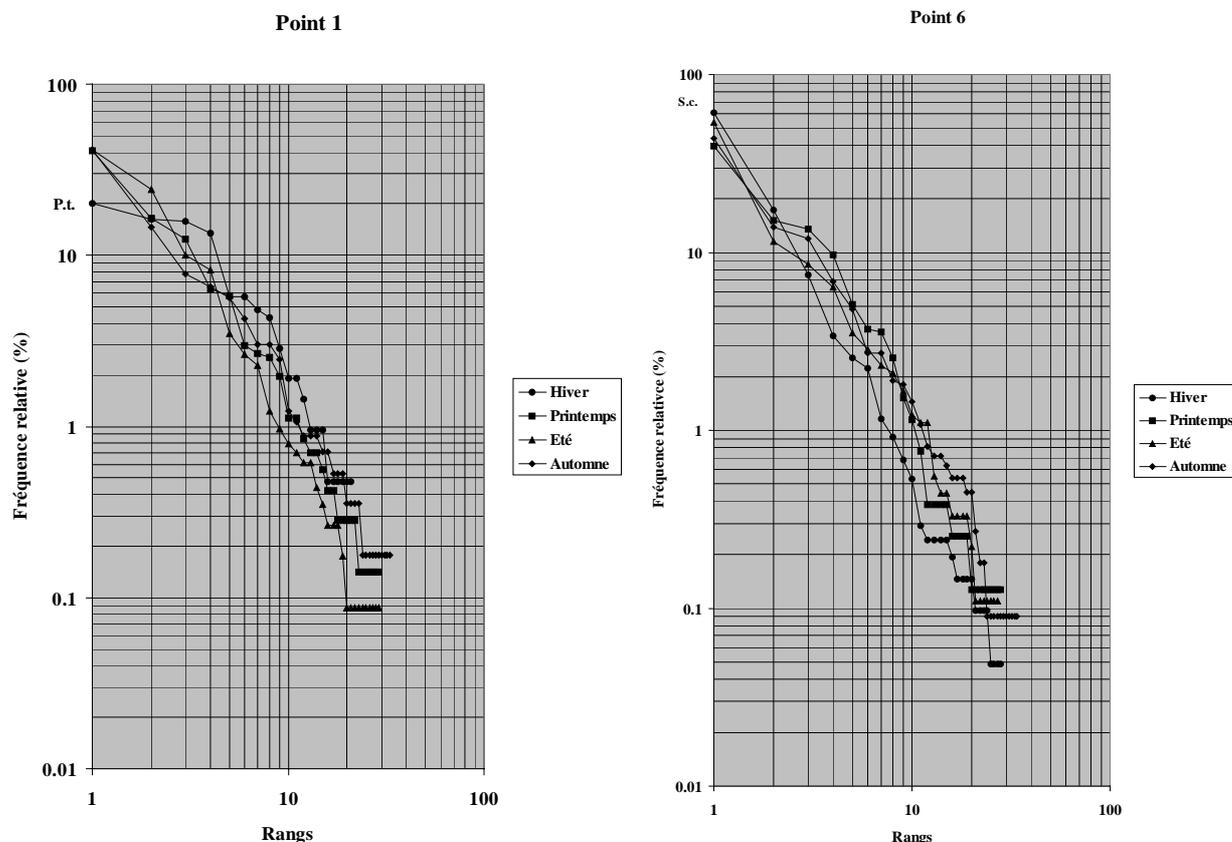


Figure 6.4 : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements aux point 1 et 6

La dominance des Tuniciers dans le peuplement reste toutefois 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 annélidienne, non négligeable, ce qui n'est plus le cas comme le montrent à la fois l'analyse granulométrique (figure 6.2) et le cortège faunistique (annexe).

6.3.2.3. Peuplement des sables hétérogènes

L'analyse faunistique des points 16 et H.Z. mettait souvent 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, au point 16, le sédiment grossier hétérogène avait favorisé la présence d'un plus grand nombre d'espèces (26 au printemps et 24 en automne). Cette augmentation de la diversité s'était accompagnée d'une très forte dominance du Mollusque gastéropode invasif *Crepidula fornicata* (plus de 1000 individus dans 30 litres de sédiment !), présent en ce point depuis 1997.

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

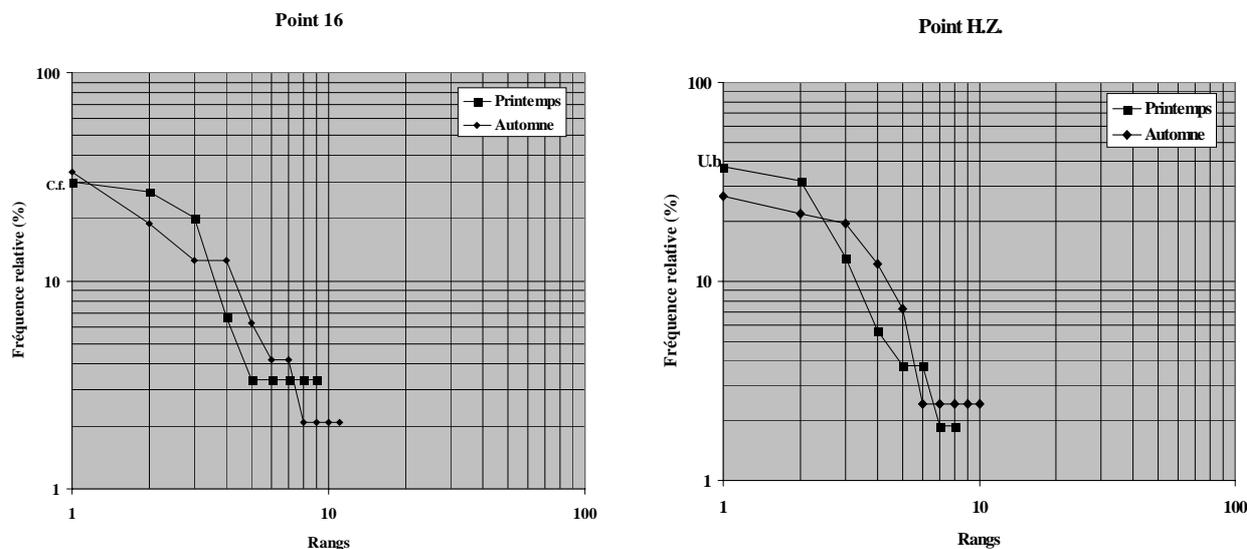


Figure 6.5 : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements aux point 16 et HZ

En 2002, au point 16, une seule espèce a été récoltée au printemps (*Crepidula fornicata*) et 14 espèces en automne, dont 8 espèces caractéristiques de fonds grossiers, 2 espèces caractéristiques de milieux sableux (l'annélide *Ophelia borealis* et le Mysidacé *Gastrosaccus spinifer*) et *C. fornicata* qui dominait de nouveau fortement le prélèvement (219 individus, soit 95,6 % des individus récoltés). Au point H.Z., 10 espèces avaient été récoltées au printemps, toutes caractéristiques des milieux sableux côtiers et seulement 2 espèces en automne, le Gastéropode *C. fornicata* (45 individus, soit 83,3 % des individus récoltés) et le procordé *Amphioxus lanceolatus*, souvent trouvé en ce point et caractéristique des sables grossiers et des graviers (gravelle à *Amphioxus*). L'année dernière, le nombre d'espèces récoltées était assez important pour ce type de fond (13 au point 16, 16 au point H.Z.) et les cortèges spécifiques étaient dominés par des espèces typiquement sabulicoles (l'Annélide *Nephtys cirrosa*, l'Amphipode *Urothoe brevicornis* et le Mysidacé *Gastrosaccus spinifer*), à l'exception de *Crepidula fornicata*, encore dominante. Il est à noter que cette espèce était moins abondante que les années précédentes en certains points mais qu'elle est présente dans tous les prélèvements effectués, sur tous les types de sédiment.

Cette année, le nombre d'espèces récoltées se situe entre 8 et 12 et les espèces dominantes, conformément au sédiment récolté, sont sabulicoles (*Ophelia borealis*, *Nephtys cirrosa*, *Urothoe brevicornis*, *Bathyporeia elegans* et *Amphioxus lanceolatus*) même si *Crepidula fornicata* domine les prélèvements effectués au point 16.

Les DRF sont convexes, aucune espèce n'étant particulièrement dominante (figure 6.5). La diversité est donc moyenne (2,3 et 2,8) et la régularité plus élevée qu'aux autres stations (de 0,75 à 0,83).

Depuis son apparition sur le site, *Crepidula fornicata* montre des fluctuations importantes, sans doute liées à son type de distribution très contagieux, mais elle constitue une espèce dominante dans la partie sableuse à sablo-graveleuse du domaine côtier.

Les résultats confirment cette année encore l'évolution de la zone côtière depuis la disparition de la moulière, à savoir la présence de deux domaines fortement différenciés : les cailloutis de l'ouest (points 1 et 6) et les sables hétérogènes de l'est (points 16 et H.Z.).

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 l'intensité des courants de marée de fond pendant les périodes de flot au profit d'un ensablement de la partie est de la zone côtière. De tels effets ont déjà été observés au sonar latéral qui a permis de mettre en évidence des traînées sableuses d'environ 2 milles de long dans le prolongement d'une épave, à l'abri du courant de flot (Augris *et al.*, 1987).

6.4. Conclusion

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

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

Dans sa partie côtière, la disparition de la moulière à *Mytilus edulis* perdure ainsi que son remplacement par des Tuniciers, en particulier *Styela clava*, *Styela coriacea*, *Molgula manhattensis* et *Dendrodoa grossularia*. Les quelques individus de *M.edulis* récoltés cette année montrent qu'un recrutement de l'espèce est toujours possible.

Le sédiment grossier de cette partie (points 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 des Tuniciers et des Annélides tubicoles de substrat dur (depuis 1990).

La transition avec les sables hétérogènes s'effectue depuis 1993 au niveau du point 16, qui est depuis cette période la station dont les variations sédimentaires interannuelles sont les plus marquées.

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

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

La répartition spatio-temporelle des stations de prélèvement est bien adaptée à la variabilité observée sur le site : une campagne au printemps et une autre en automne, complétées de prélèvements intermédiaires aux points 1 et 6, qui constituaient au début du suivi la partie la plus variable de la zone, recentrées sur la zone côtière proche de la centrale, et qui permettent le cas échéant de lier d'éventuelles fluctuations globales des peuplements benthiques à la variabilité spatio-temporelle du recrutement de certaines espèces (*Mytilus edulis*, Tuniciers). Le suivi du point 2 paraît suffisant pour vérifier la stabilité interannuelle de la zone située plus au large. Le système semble maintenant ne plus évoluer et n'être soumis qu'à des fluctuations interannuelles assez banales. L'extension de *Crepidula fornicata* à l'ensemble de la zone est la seule évolution récente.

ANNEXES

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

| | |
|--------------|--------------------------------|
| <i>A.l.</i> | : <i>Amphioxus lanceolatus</i> |
| <i>U.b.</i> | : <i>Urothoe brevicornis</i> |
| <i>C.f.</i> | : <i>Crepidula fornicate</i> |
| <i>G.m.</i> | : <i>Golfingia minuta</i> |
| <i>L.s.</i> | : <i>Lepidonotus squamatus</i> |
| <i>M.m.</i> | : <i>Molgula manhattensis</i> |
| <i>N.c.</i> | : <i>Nephtys cirrosa</i> |
| <i>O.b.</i> | : <i>Ophelia borealis</i> |
| <i>O.f.</i> | : <i>Ophiothrix fragilis</i> |
| <i>P.l.</i> | : <i>Pisidia longicornis</i> |
| <i>P.s.</i> | : <i>Polynoe scolopendrina</i> |
| <i>P.t.</i> | : <i>Pomatoceros triqueter</i> |
| <i>S.c.</i> | : <i>Styela coriacea</i> |
| <i>S.cl.</i> | : <i>Styela clava</i> |
| <i>S.s.</i> | : <i>Sabellaria spinulosa</i> |
| <i>T.s.</i> | : <i>Thelepus setosus</i> |
| <i>U.b.</i> | : <i>Urothoe brevicornis</i> |

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

| Espèces | Points | Hiver 2004 | | Printemps 2004 | | | | | Eté 2004 | | Automne 2004 | | | | |
|---------------------------------|--------|------------|-----|----------------|----|-----|----|----|----------|-----|--------------|----|-----|----|----|
| | | 1 | 6 | 1 | 2 | 6 | 16 | HZ | 1 | 6 | 1 | 2 | 6 | 16 | HZ |
| Spongiaires | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Sycon ciliatum</i> | | | | | 2 | | | | 1 | | | 2 | | | |
| <i>Leucosolenia botryoides</i> | | + | | | | | | | | + | | | | | |
| <i>Dysidea fragilis</i> | | | | | | | | | | | + | 1 | + | | |
| <i>Haliclona oculata</i> | | | | | 1 | | | | | | | 2 | | | |
| <i>Tethya aurantium</i> | | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| <i>Spongiaire sp.</i> | | + | + | + | + | + | | | + | + | + | + | + | | |
| Cnidaires | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tubularia indivisa</i> | | + | + | + | + | + | | | + | + | + | + | + | | |
| <i>Sertularella gaudichaudi</i> | | | | | | | | | + | | | | | | |
| <i>Abietinaria abietina</i> | | | | | | | | | | | | + | | | |
| <i>Sertularia cupressina</i> | | | | + | + | + | | | + | | + | + | + | | |
| <i>Hydrallmania falcata</i> | | | + | | | | | | | | | | + | | |
| <i>Kirchenpaueria pinnata</i> | | | + | + | + | + | | | + | | | | | | |
| <i>Alcyonium digitatum</i> | | | | | + | + | | | | + | | + | | | |
| <i>Urticina felina</i> | | | | | | | | | | | 4 | 6 | | | |
| Actiniaires spp. | | 6 | 3 | 5 | 3 | 6 | | | 8 | 3 | 3 | 2 | 6 | | |
| Annélides | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Laonice cirrata</i> | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| <i>Magelona mirabilis</i> | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| <i>Ophelia borealis</i> | | | | | | 6 | 3 | | | | | | | 3 | |
| <i>Nephtys cirrosa</i> | | | | | | 8 | 7 | | | | | | | 9 | 8 |
| <i>Nephtys caeca</i> | | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| <i>Cirratulidae sp.</i> | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| <i>Notomastus latericeus</i> | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| <i>Kefersteinia cirrata</i> | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Glycera lapidum</i> | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | |
| <i>Glycera gigantea</i> | | | | | | | | | | | | | | 2 | |
| <i>Lumbrineris sp.</i> | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| <i>Syllidae sp.</i> | | 2 | 3 | | | 3 | | | | 4 | | | | 1 | |
| <i>Lepidonotus squamatus</i> | | 4 | 19 | 8 | 23 | 1 | | | 7 | 11 | 3 | 6 | 2 | | |
| <i>Polynoe scolopendrina</i> | | 12 | 53 | 14 | 12 | 29 | | | 26 | 15 | 17 | 12 | 76 | | |
| <i>Marphysa sanguinea</i> | | 1 | 3 | | | | | | 1 | | | | 1 | | |
| <i>Sabellaria spinulosa</i> | | 10 | 358 | 19 | | 106 | | | 115 | 32 | 17 | | 154 | | |
| <i>Amphicteis gunneri</i> | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| <i>Thelepus setosus</i> | | 34 | 154 | 45 | 24 | 76 | | | 93 | 58 | 44 | 47 | 133 | | |
| <i>Eupolymnia nebulosa</i> | | 1 | | | | | | | 1 | | | | 1 | | |
| <i>Jasmineira elegans</i> | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| <i>Potamilla reniformis</i> | | | | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | | |
| <i>Serpulidae sp.</i> | | | 6 | | 1 | | | | | | 1 | 1 | | | |
| <i>Sabella pavonina</i> | | | 2 | 4 | 4 | 3 | | | 1 | 1 | | 3 | | | |
| <i>Pomatoceros triqueter</i> | | 42 | 24 | 289 | 15 | 20 | | | 11 | 487 | 235 | 73 | 9 | | |
| Sipunculiens | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Golfingia minuta</i> | | | 70 | 6 | | 12 | | | 14 | 1 | | | 21 | | |

| Espèces | Points | Hiver 2004 | | Printemps 2004 | | | | | Été 2004 | | Automne 2004 | | | | |
|---------------------------------|--------|------------|----|----------------|----|---|----|----|----------|----|--------------|----|----|----|----|
| | | 1 | 6 | 1 | 2 | 6 | 16 | HZ | 1 | 6 | 1 | 2 | 6 | 16 | HZ |
| Mollusques | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acanthochitona crinita</i> | | | | 2 | 5 | 1 | | | | 1 | | 2 | 3 | | |
| <i>Buccinum undatum</i> | 9 | 3 | 1 | 2 | | | | | 1 | 3 | 5 | 2 | 1 | | |
| <i>Trivia arctica</i> | | | | 1 | 1 | | | | | | | 1 | | | |
| <i>Ocenebra erinacea</i> | | | | | | | | | 2 | 10 | | | 1 | | |
| <i>Hinia reticulata</i> | | 1 | | | | | | | 1 | | | | 1 | | |
| <i>Emarginula fissura</i> | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>Diodora graeca</i> | | | 2 | 3 | 1 | 1 | | | | 4 | 7 | 3 | | | |
| <i>Calliostoma zizyphinum</i> | 2 | 5 | 18 | 3 | | | | | 1 | 5 | 1 | 3 | 8 | | |
| <i>Crepidula fornicata</i> | 4 | 14 | 3 | 1 | 28 | 9 | 17 | 30 | 3 | 4 | 1 | 53 | 16 | 3 | |
| <i>Chlamys varia</i> | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | |
| <i>Nucula hanleyi</i> | | | | | | 2 | | | | | | | | | |
| <i>Tellina fabula</i> | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| <i>Hiatella arctica</i> | | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| <i>Paphia rhomboïdes</i> | | | 1 | 3 | | | | | | | | 1 | | | |
| <i>Anomia ephippium</i> | | | | | | | | | 1 | | | | | | |
| <i>Mytilus edulis</i> | | 2 | | | | | | | | | 1 | | | | |
| <i>Modiolus modiolus</i> | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>Modiolula phaseolina</i> | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| Bryozoaires | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Conopeum reticulum</i> | | + | + | | | + | | | + | | | | | | |
| <i>Electra pilosa</i> | | + | + | + | + | + | | | | + | + | | | | |
| <i>Bicellariella ciliata</i> | | | | | + | | | | + | | | | | | |
| <i>Flustra foliacea</i> | | | | | + | | | | | | | + | + | | |
| <i>Disporella hispida</i> | | + | | + | + | | | | | | + | + | | | |
| <i>Cellepora pumicosa</i> | | + | + | + | + | + | | | + | + | + | + | + | | |
| <i>Tubulipora sp.</i> | | + | + | + | + | + | | | + | + | + | + | + | | |
| <i>Crisia aculeata</i> | | | | | + | | | | | | | | | | |
| <i>Plagioecia patina</i> | | + | | | | + | | | | | + | + | + | | |
| <i>Callopora dumerilii</i> | | + | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Porella concinna</i> | | | | | + | | | | | | | | | | |
| <i>Escharella immersa</i> | | + | + | + | + | + | | | | + | + | + | + | | |
| <i>Schizomavella linearis</i> | | | | | | | | | + | | + | | | | |
| <i>Schizomavella auriculata</i> | | + | + | + | + | + | | | + | + | + | + | + | | |
| <i>Chorizopora brongniartii</i> | | + | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Amphiblestrum flemingii</i> | | + | + | + | + | + | | | + | + | + | | + | | |
| <i>Smittina crystallina</i> | | | + | | | | | | | | | | | | |
| <i>Alcyonidium gelatinosum</i> | | | | + | | | | | + | + | + | + | + | | |
| <i>Alcyonidium diaphanum</i> | | | | | + | | | | | + | | | | | |
| Cirripèdes | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Balanus crenatus</i> | | + | + | + | | + | | | + | + | + | | + | + | |
| <i>Balanus perforatus</i> | | + | | | | + | | | | + | + | | | | |
| <i>Elminius modestus</i> | | + | | | | | | | | | + | | | | |
| <i>Verruca stroemia</i> | | + | + | + | + | | | | | + | + | + | + | | |
| Isopodes | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurydice spinigera</i> | | | | | | | | 2 | | | | | | | |
| <i>Janira maculosa</i> | 2 | | | | | | | | 1 | | | 1 | 1 | | |
| <i>Anthura gracilis</i> | | | 1 | | | | | | | 1 | | | | | |

| Espèces | Points | Hiver 2004 | | Printemps 2004 | | | | | Été 2004 | | Automne 2004 | | | | |
|----------------------------------|--------|------------|-----|----------------|-----|---|----|-----|----------|----|--------------|-----|---|----|----|
| | | 1 | 6 | 1 | 2 | 6 | 16 | HZ | 1 | 6 | 1 | 2 | 6 | 16 | HZ |
| Amphipodes | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Ampelisca spinipes</i> | | 1 | | 1 | 1 | 2 | | | 3 | | | | 5 | 1 | |
| <i>Perrierella audouiniana</i> | | | | | | | | | 2 | | | | 8 | | |
| <i>Urothoe brevicornis</i> | | | | | | 2 | 20 | | | | | | | 6 | 11 |
| <i>Bathyporeia elegans</i> | | | | | | | | | | | | | | 6 | 5 |
| <i>Synchelidium maculatum</i> | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| <i>Maera othonis</i> | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| <i>Melita obtusata</i> | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| <i>Corophium sextonae</i> | | | | | | | | | 26 | 14 | 3 | 5 | | | |
| <i>Erichthonius brasiliensis</i> | | | 2 | 2 | 3 | | | 1 | | 2 | 1 | | | | |
| <i>Gammaropsis maculata</i> | | 5 | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Perioculodes longimanus</i> | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| <i>Jassa pusilla</i> | | | | 1 | 2 | | | 1 | | 1 | | | | | |
| <i>Pseudoprotelle phasma</i> | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| Mysidacés | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Gastrosaccus spinifer</i> | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | 2 | 1 |
| Décapodes | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eualus pusiolus</i> | | | | | | | | | | | | | 6 | | |
| <i>Pandalus montagui</i> | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| <i>Galathea intermedia</i> | | | | | | | | | | 2 | 1 | | | | |
| <i>Pisidia longicornis</i> | 28 | 46 | 117 | 409 | 40 | | | 3 | 10 | 24 | 30 | 20 | | | |
| <i>Pagurus cuanensis</i> | 1 | | | | | | | 9 | | | | | | | |
| <i>Pagurus bernhardus</i> | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| <i>Anapagurus hyndmanni</i> | | 5 | 21 | 23 | 9 | | | 4 | 3 | 5 | 5 | 7 | | | |
| <i>Pilumnus hirtellus</i> | | 1 | 2 | | 3 | | | | | 1 | 2 | 3 | | | |
| <i>Ebalia tumefacta</i> | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| <i>Liocarcinus puber</i> | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | |
| <i>Liocarcinus holsatus</i> | | | | 2 | | | | | | | | | | | |
| <i>Liocarcinus pusillus</i> | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| <i>Maja squinado</i> | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| <i>Macropodiarostrata</i> | | | | 5 | | | | | | 1 | 1 | | | | |
| Echinodermes | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Asterias rubens</i> | | | | | | | | | | 2 | 3 | 2 | | | |
| <i>Ophiothrix fragilis</i> | | | | 1289 | | | | | | | 1026 | | | | |
| <i>Psammechinus miliaris</i> | 1 | | 2 | 6 | | | | 3 | | 1 | 13 | | | | |
| Tuniciers | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Ascidia mentula</i> | 1 | 5 | 2 | 7 | 1 | | | 5 | 1 | 6 | 2 | 12 | | | |
| <i>Ascidiella conchilega</i> | | | | | | | | | | 3 | 12 | 6 | | | |
| <i>Styela clava</i> | 3 | 2 | 5 | | 2 | | | 7 | 19 | 37 | 7 | 30 | | | |
| <i>Styela coriacea</i> | 33 | 1261 | 88 | 14 | 311 | | | 276 | 78 | 83 | 47 | 487 | | | |
| <i>Dendrodoa grossularia</i> | | 4 | 8 | 18 | | | | 40 | 21 | 32 | 16 | 16 | | | |
| <i>Molgula manhattensis</i> | 12 | 11 | 41 | 18 | 118 | | | 474 | 105 | 5 | | 30 | | | |
| CEPHALOCORDES | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Amphioxus lanceolatus</i> | | | | | | | | | | | | | | | 9 |

7 - Le Benthos intertidal

Rapport

Nicolas Loquet (GEMEL Picardie),

Jean-Denis Talleux (GEMEL Picardie),

Brigitte Ferté (GEMEL Picardie).

7.1. Introduction

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

Depuis 1984, une seconde zone située en amont de la centrale par rapport au sens du courant résiduel et à 1 km au Nord-Est de Veulettes sur Mer est échantillonnée. Ce site étant, selon le modèle du LCHF, hors d'impact du panache thermique de la centrale, son suivi a pour objectif d'appréhender les fluctuations de la population d'*Idotea granulosa* en condition non perturbée.

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

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

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

Grâce à l'élevage d'*Idotea granulosa*, le cycle biologique de cette espèce est connu avec précision (Dewarumez, 1979).

Les mâles et les femelles ont une durée de vie respectivement de 18 et 15 mois.

La mue affecte les adultes selon une périodicité de 26 à 28 jours tandis que chez les juvéniles la durée d'inter mue varie de 5 à 20 jours.

La gestation des femelles dure 13 à 15 jours et comporte 4 stades :

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

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

7.3. Méthodologie

7.3.1. Prélèvements

En 2004, les prélèvements ont été réalisés le 2 juin, le 5 juillet et le 3 août.

Les prélèvements ont été réalisés au niveau de la ceinture algale à *Fucus vesiculosus* (Linné) où l'on trouve préférentiellement l'espèce *I. granulosa* (figure 7.1).

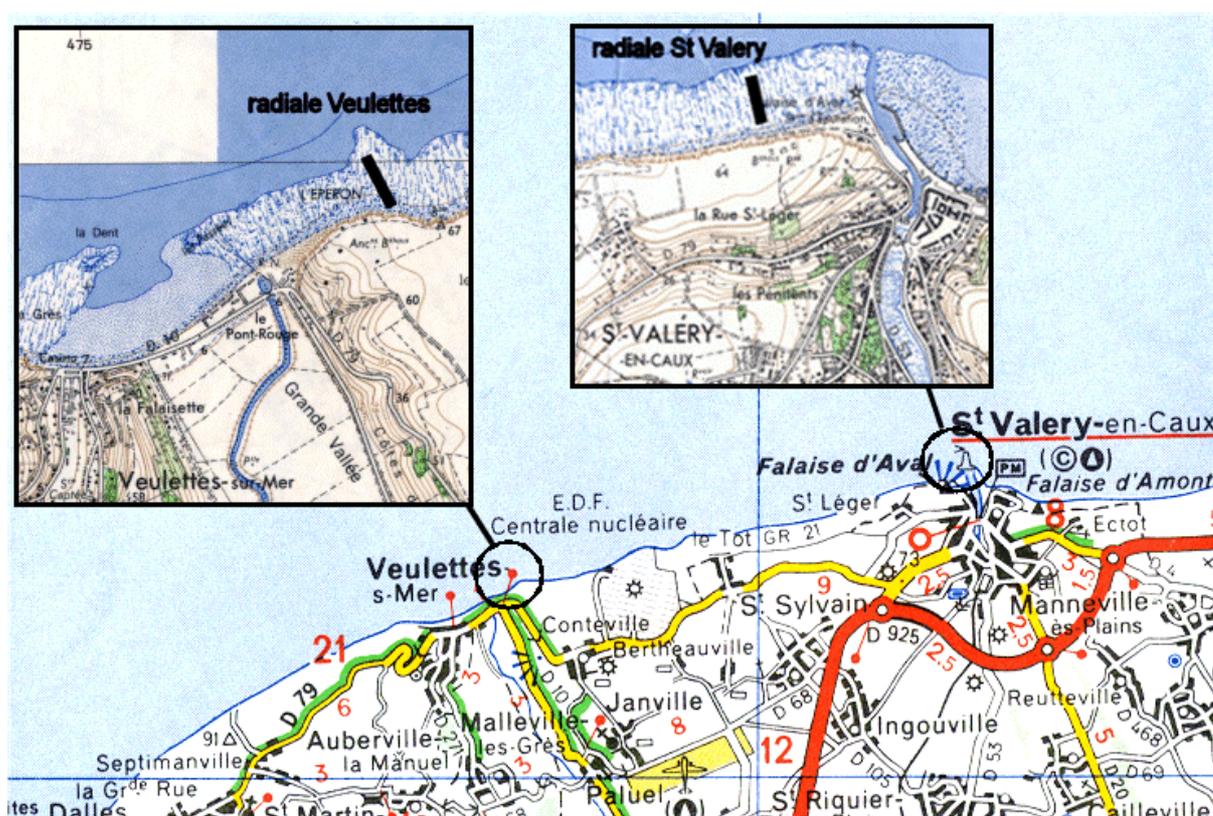


Figure 7.1 : Positionnement des radiales de prélèvement

La surface échantillonnée de 0,25 m² est délimitée à l'aide d'un quadrat souple de 0,5 m de côté formé de quatre équerres métalliques reliées par des cordes de Nylon.

Au niveau du point témoin de Veulettes sur Mer comme au niveau du point de St Valéry en Caux, 16 prélèvements de 0,25 m² ont été réalisés par campagne dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* suffisamment développée en 2004. Nous avons réalisé sur chaque site 4 prélèvements dans le niveau supérieur de la ceinture, 8 prélèvements dans la partie médiane et 4 prélèvements dans le niveau inférieur en limite de la ceinture à *Fucus serratus*.

7.3.2. Dénombrement des Idotés

Au laboratoire, les idotés sont séparés des algues par brassage et flottaison puis récupérés sur un tamis de 0,5 mm de maille carrée pour être finalement fixés au formol salé à 10%. Chaque échantillon fait l'objet d'un tri et d'un dénombrement des *Idotea granulosa*.

Par point et par campagne, les quatre échantillons (correspondant à une surface échantillonnée de 1 m²) les plus abondants en *I. granulosa* sont réservés pour l'étude des paramètres de la population (taille, sexe et stade de maturation).

7.3.3. Poids des algues

Pour chaque échantillon de 0,25 m² les échantillons de *Fucus vesiculosus* sont pesés à 0,01 g près après une dessiccation à l'étuve à 56 °C pendant 48 heures. La biomasse algale est alors exprimée en gramme de poids sec étuvé (PSE) par unité de surface.

7.3.4. Mesure de la longueur des *Idotea granulosa*

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

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

Mâles

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

Stade I : mâles juvéniles,

Stade II : mâles adultes dont le deuxième péréopode est couvert d'un duvet abondant.

Femelles

Chez la femelle adulte, le marsupium est formé par la différenciation en oostégites de la base des 5 premières paires de pléopodes qui se recouvrent pour former une enveloppe, le marsupium, en position sternale.

Les femelles sont classées en 7 catégories :

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

7.4. Résultats

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

Le tableau 7.1 récapitule les valeurs de biomasses de *Fucus vesiculosus* et de densités d'*Idotea granulosa* pour chacun des échantillons de 0,25 m² récoltés en 2004 sur les stations de St Valéry en Caux et de Veulettes sur Mer.

Durant cette campagne d'échantillonnage, les spécimens de *Fucus vesiculosus* en place présentent des thalles larges et bien vésiculeux ; les morphotypes arborescents de fin d'hiver sont rares et les jeunes thalles relativement abondants dès juin.

On note également dès le mois de juin la présence d'ulves (*U. lactuca*) dans la partie haute de la ceinture en particulier à St Valery en Caux. Le développement des ulves reste limité durant l'été.

7.4.2. Biomasse des *Fucus vesiculosus*

Concernant la biomasse algale (indice du recouvrement dans la ceinture à *Fucus vesiculosus*), la variabilité sur un site dans les 16 échantillons est nettement supérieure à 20% ce qui nécessite de tester les différences entre les moyennes calculées.

De façon surprenante, la couverture algale est, au mois de juin, plus dense sur le site de St Valery (780,1 g/m² PSE) que sur celui de Veulettes (480,7 g/m² PSE), l'inverse étant classiquement observé (Tableau 7.2).

A St Valery la biomasse diminue cependant significativement entre le 2 juin et le 5 juillet 2004 et se stabilise jusqu'en août à une valeur proche de 520 g/m² PSE.

| Prélèvements (0,25 m ²) | 2 juin 2004 | | | | 5 juillet 2004 | | | | 3 août 2004 | | | |
|--|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | St Valéry | | Veulettes | | St Valéry | | Veulettes | | St Valéry | | Veulettes | |
| | Poids sec algues (g) | Nb. /g. | Poids sec algues (g) | Nb. /g. | Poids sec algues (g) | Nb. /g. | Poids sec algues (g) | Nb. /g. | Poids sec algues (g) | Nb. /g. | Poids sec algues (g) | Nb. /g. |
| 1 | 199,5 | 7 | 60,4 | 10 | 105,1 | 52 | 219,2 | 74 | 116,5 | 32 | 243,6 | 82 |
| 2 | 283,7 | 27 | 144,4 | 20 | 134,6 | 70 | 134,8 | 56 | 152,9 | 60 | 181,9 | 44 |
| 3 | 93,6 | 18 | 59,9 | 4 | 43,5 | 18 | 159,0 | 84 | 57,0 | 44 | 66,1 | 32 |
| 4 | 255,3 | 15 | 158,6 | 27 | 225,9 | 42 | 153,4 | 73 | 114,0 | 23 | 170,7 | 31 |
| 5 | 154,1 | 17 | 94,1 | 21 | 108,2 | 59 | 96,0 | 28 | 163,5 | 36 | 167,1 | 56 |
| 6 | 177,4 | 29 | 134,0 | 13 | 74,6 | 43 | 182,9 | 59 | 276,0 | 45 | 243,4 | 43 |
| 7 | 193,5 | 20 | 151,5 | 13 | 45,6 | 8 | 205,0 | 102 | 191,7 | 28 | 162,1 | 29 |
| 8 | 221,5 | 20 | 117,5 | 21 | 157,2 | 53 | 178,5 | 52 | 162,4 | 33 | 151,9 | 28 |
| 9 | 144,5 | 14 | 95,1 | 15 | 74,3 | 29 | 365,0 | 119 | 95,7 | 39 | 242,3 | 42 |
| 10 | 243,1 | 29 | 109,2 | 25 | 78,4 | 20 | 216,7 | 57 | 107,5 | 24 | 181,3 | 61 |
| 11 | 210,0 | 10 | 115,7 | 25 | 68,8 | 65 | 365,8 | 78 | 132,6 | 40 | 216,9 | 50 |
| 12 | 156,0 | 19 | 126,5 | 14 | 147,5 | 85 | 178,4 | 59 | 175,5 | 43 | 270,6 | 29 |
| 13 | 164,7 | 8 | 156,8 | 33 | 168,4 | 173 | 135,0 | 65 | 87,5 | 27 | 199,6 | 30 |
| 14 | 161,4 | 24 | 101,8 | 17 | 101,5 | 63 | 92,7 | 34 | 197,2 | 55 | 136,3 | 28 |
| 15 | 300,9 | 27 | 148,8 | 23 | 152,2 | 53 | 260,2 | 119 | 85,7 | 25 | 134,1 | 33 |
| 16 | 161,3 | 6 | 148,3 | 37 | 182,0 | 96 | 71,4 | 54 | 136,8 | 37 | 282,7 | 42 |
| Moyenne/m² | 780,1 | 72,5 | 480,7 | 79,5 | 467,0 | 232,3 | 753,5 | 278,3 | 563,1 | 147,8 | 762,7 | 165,0 |
| Ecart-Type/m ² | 220,3 | 31,0 | 127,4 | 34,1 | 209,7 | 155,2 | 341,4 | 105,2 | 216,2 | 43,2 | 228,6 | 60,2 |

Tableau 7.1 : Valeurs des biomasses algales (poids sec en grammes ; uniquement *Fucus vesiculosus*) et nombre d'*Idotea granulosa* dans les prélèvements de 0,25 m² de St Valéry en Caux et Veulettes sur mer lors des 3 campagnes estivales de 2004

| Cas testé | | ddl | t _{obs} | t _{th} | Résultat du test |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----|------------------|-----------------|-----------------------|
| Inter-sites par campagne | Juin 2004 : St Valéry / Veulettes | 24* | 4,71 | 1,71 | St Valéry > Veulettes |
| | Juillet 2004 : St Valéry / Veulettes | 25* | 2,86 | 1,71 | Veulettes > St Valéry |
| | Août 2004 : St Valéry / Veulettes | 30 | 2,54 | 1,70 | Veulettes > St Valéry |
| Inter-campagnes par site | St Valéry : juin / juillet | 30 | 4,12 | 1,70 | juillet < juin |
| | St Valéry : juillet / août | 30 | 1,28 | 1,70 | juillet = août |
| | St Valéry : juin / août | 30 | 2,81 | 1,70 | juin > août |
| | Veulettes : juin / juillet | 19* | 2,99 | 1,73 | juin < juillet |
| | Veulettes : juillet / août | 30 | 0,09 | 1,70 | juillet = août |
| | Veulettes : juin / août | 24* | 4,31 | 1,71 | juin < août |

Tableau 7.2 : Comparaison inter-sites par campagne et inter-campagnes par site des valeurs de biomasses moyennes de *Fucus vesiculosus*, (ddl : = degré de liberté ; t_{obs} = valeur calculée du t de Student ; t_{th} valeur critique du t de Student ; * indique un test sur les moyennes entre échantillons de variances inégales ; niveau de confiance à 95%)

A l'inverse, à Veulettes, l'évolution est plus classique : la biomasse augmente entre juin et juillet et se stabilise jusqu'en août à une valeur proche de 760 g/m² PSE, valeur significativement plus élevée que celle de la station de St Valéry à cette période.

La biomasse moyenne des *Fucus vesiculosus* au cours de l'été 2004 est de 603,4 g/m² PSE à Saint Valéry en Caux et de 665,6 g/m² PSE à Veulettes sur Mer, soit des valeurs tout à fait conformes à celles observées depuis 1996, année de la reconstitution de la ceinture de *Fucus vesiculosus* à Saint Valéry (valeurs non significativement différentes $-p < 0,05-$ des moyennes sur la période 1996-2003, respectivement de 565,2 g/m² PSE et 675,7 g/m² PSE).

7.4.3. Densité des *Idotea granulosa*

Considérant le nombre total d'individus et compte tenu de la variabilité des résultats, les densités d'*Idotea granulosa* sont comparables tout au long de l'été 2004 à Veulettes et St Valéry (Tableau 7.3).

Sur les deux sites, on observe un maximum en juillet tandis que les densités en août demeurent significativement supérieures à celle de juin. On observe donc un recrutement relativement important (densités multipliées par 4) entre le 2 juin et le 5 juillet 2004.

La densité moyenne d'*Idotea granulosa* au cours de l'été 2004 est de 150,8 ind./m² à Saint Valéry en Caux et de 174,3 ind./m² à Veulettes sur Mer. Ces valeurs sont significativement ($p < 0,05$) supérieures aux valeurs moyennes estivales depuis 1996, respectivement de 86,0 ind./m² et 127,0 ind./m².

Le taux de colonisation des *Fucus vesiculosus* par *Idotea granulosa* est donc supérieur à la moyenne au cours de l'été 2004.

| Cas testé | | ddl | t _{obs} | t _{th} | Résultat du test |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----|------------------|-----------------|-----------------------|
| Inter-sites par campagne | Juin 2004 : St Valéry / Veulettes | 30 | 0,61 | 1,70 | Veulettes = St Valéry |
| | Juillet 2004 : St Valéry / Veulettes | 30 | 0,98 | 1,70 | Veulettes = St Valéry |
| | Août 2004 : St Valéry / Veulettes | 30 | 0,93 | 1,70 | Veulettes = St Valéry |
| Inter-campagnes par site | St Valéry : juin / juillet | 16* | 4,04 | 1,75 | juin < juillet |
| | St Valéry : juillet / août | 16* | 2,09 | 1,74 | juillet > août |
| | St Valéry : juin / août | 30 | 2,19 | 1,70 | août > juin |
| | Veulettes : juin / juillet | 18* | 7,19 | 1,73 | juin < juillet |
| | Veulettes : juillet / août | 24* | 3,74 | 1,71 | juillet > août |
| | Veulettes : juin / août | 24* | 4,95 | 1,71 | juin < août |

Tableau 7.3 : Comparaison inter-sites par campagne et inter-campagnes par site des valeurs de densités moyennes d'*Idotea granulosa*, (ddl : = degré de liberté ; t_{obs} = valeur calculée du t de Student ; t_{th} valeur critique du t de Student ; * indique un test sur les moyennes entre échantillons de variances inégales ; niveau de confiance à 95%)

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

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

L'ensemble des données de 2004 permettent de mettre en évidence un lien significatif (niveau de confiance 95%) de dépendance de la densité de l'Idoté à la biomasse de fucus mais qui n'explique qu'une faible partie de la variance totale ($r^2=0,106$; 94 ddl).

L'analyse en détail des corrélations permet de montrer que cette part de variance expliquée est due pour grande partie aux couples de données provenant du site de Veulettes ($r^2=0,411$; 46 ddl) tandis que pour l'ensemble des couples de données provenant du site de St Valery, la relation de dépendance n'est pas significative ($r^2=0,001$; 46 ddl).

Par campagne, les corrélations sont significatives en juillet y compris pour le site de Saint Valery ($r^2=0,30$; 14 ddl pour Saint Valery et $r^2=0,50$; 14 ddl pour Veulettes) : le recrutement est bien proportionnel à la surface offerte par les thalles des fucus.

Si l'on teste les valeurs du rapport Nombre d'Idoté / Biomasse de *Fucus vesiculosus* par campagne entre les deux sites et par site entre les différentes campagnes on montre (Tableau 7.4) que :

1. Le rapport est maximal en juillet et qu'il reste en août significativement supérieur à celui de juin et ce, pour les deux sites : le recrutement est maximum en juillet et se poursuit jusqu'en août.
2. A l'exception de ce qui est observé au mois de juin, période à laquelle on observe déjà des juvéniles, il n'apparaît pas de différence significative entre les deux sites en juillet et août.
3. En juin, la densité relative est significativement plus importante à Veulettes, mais puisque la couverture algale est significativement plus importante, les densités par m² des Idotés sont comparables.

| Cas testé | | ddl | t _{obs} | t _{th} | Résultat du test |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----|------------------|-----------------|-----------------------|
| Inter-sites par campagne | Juin 2004 : St Valéry / Veulettes | 30 | 3,75 | 1,70 | Veulettes > St Valéry |
| | Juillet 2004 : St Valéry / Veulettes | 24* | 1,46 | 1,71 | Veulettes = St Valéry |
| | Août 2004 : St Valéry / Veulettes | 30 | 1,40 | 1,70 | Veulettes = St Valéry |
| Inter-campagnes par site | St Valéry : juin / juillet | 16* | 6,63 | 1,76 | juin < juillet |
| | St Valéry : juillet / août | 25* | 2,91 | 1,71 | juillet > août |
| | St Valéry : juin / août | 18* | 5,12 | 1,73 | août > juin |
| | Veulettes : juin / juillet | 20* | 6,48 | 1,72 | juin < juillet |
| | Veulettes : juillet / août | 30 | 4,00 | 1,70 | juillet > août |
| | Veulettes : juin / août | 24* | 2,47 | 1,71 | juin < août |

Tableau 7.4 : Comparaison inter-sites par campagne et inter-campagnes par site des valeurs du rapport moyen d'Idoté sur la biomasse de *Fucus*, (ddl : = degré de liberté ; t_{obs} = valeur calculée du t de Student ; t_{th} valeur critique du t de Student ; * indique un test sur les moyennes entre échantillons de variances inégales ; niveau de confiance à 95%)

La moyenne estivale du taux de colonisation des *Fucus vesiculosus* par les *Idotea granulosa*, avec des valeurs de 29,6 ind./100 g PSE et 26,4 ind./100g PSE pour les sites de Saint Valery et Veulettes respectivement, est bien supérieur en 2004 ($p < 0,05$) à la moyenne sur la période 1996-2003 (respectivement 17,6 ind./100g PSE et 19,3 ind./100g PSE).

Nous n'avons pas trouvé d'explication évidente aux résultats un peu atypiques concernant les prélèvements de juin sur le site de Saint Valery en Caux.

La réduction de la couverture algale sur ce site entre juin et juillet est peut être à relier aux caractéristiques différentes du substrat entre les deux sites notamment en terme de dureté et résistance à l'érosion. Lorsqu'ils sont très développés (comme ils l'étaient en juin à St Valery en Caux) les thalles de fucus sont peut-être plus sensibles à l'arrachement à St Valery en Caux qu'à Veulettes lors des épisodes de forte houle. En effet, à l'occasion des prélèvements en 2003 et 2004 il nous a semblé que les algues avaient davantage tendance à être arrachées, en emportant la partie du substrat liée au disque basal, sur les estrans de St Valery ; par ailleurs la craie du platier est nettement plus riche en silex à Veulettes.

7.4.5. Structure de la population d'*Idotea granulosa* au cours de l'été 2004

Parmi les 16 échantillons récoltés sur chaque site lors de chacune des trois campagnes, 4 échantillons parmi les plus abondants en *Idotea granulosa* ont été sélectionnés pour analyser la répartition des sexes et la structure de taille de la population (figures 7.2 à 7.5 et tableau 7.5).

Au niveau des deux sites, le pourcentage de juvéniles augmente sensiblement en juillet et la persistance d'individus de taille de 2 à 5 mm tout au long de l'été confirme qu'il existe plusieurs recrutements consécutifs de mai à août mais que celui se produisant dans le courant du mois de juin est le plus efficace.

| | 2 juin 2004 | | 5 juillet 2004 | | 3 août 2004 | |
|---------------------|-------------|-----------|----------------|-----------|-------------|-----------|
| | St Valéry | Veulettes | St Valéry | Veulettes | St Valéry | Veulettes |
| %Juvéniles | 69,52 | 64,41 | 87,37 | 81,68 | 76,29 | 83,54 |
| %Mâles juvéniles | 23,81 | 24,58 | 26,01 | 27,23 | 23,20 | 31,28 |
| %Femelles juvéniles | 45,71 | 39,83 | 61,36 | 54,46 | 53,09 | 52,26 |
| %Femelles gravides | 8,57 | 12,71 | 4,04 | 6,19 | 8,76 | 7,82 |
| %Femelles vides | 1,90 | 0,85 | 0,51 | 0,50 | 1,03 | 0,41 |
| %Mâles adultes | 20,00 | 22,03 | 8,08 | 11,63 | 13,92 | 8,23 |
| Sex-ratio | 0,78 | 0,87 | 0,52 | 0,64 | 0,59 | 0,65 |

Tableau 7.5 : Répartition par sexe et degré de maturation sexuelle des individus dans la population d'*Idotea granulosa* à St Valéry en Caux et Veulettes sur Mer entre juin et août 2004

Plus le pourcentage de juvéniles augmente plus la proportion de femelles est importante. Même s'il est clair que dans les petites tailles les femelles sont probablement surévaluées, compte tenu de l'examen minutieux pratiqué (vérification de la présence de l'*appendix masculina* et du pénis), la répartition des sexes obtenue doit être considérée comme fidèle à la réalité du terrain. Les anciennes données confirment par ailleurs que la nette dominance des femelles chez les juvéniles constitue une caractéristique normale de la population d'*Idotea granulosa* en cette saison.

Il y a en outre une certaine logique à ce que la proportion de femelles soit nettement supérieure à celle des mâles chez les juvéniles dans la mesure où à l'état adulte le ratio inverse est généralement observé : les femelles plus petites (la longueur de la plus grande femelle observée en 2004 est de 12,2 mm en juillet à Veulettes et St Valéry) que les mâles (la longueur du plus grand mâle observé en 2004 est de 19,4 mm en juin à Veulettes et en juillet à St Valéry) ont une durée de vie moins longue que les mâles et sont probablement beaucoup plus fragiles.

Entre le 2 juin et le 5 juillet 2004 nous observons un renforcement sensible des effectifs de mâles dans les classes 5 à 8 mm pour le site de St Valéry, et dans les classes 6 à 9 mm pour le site de Veulettes, ce qui implique une croissance de 2 à 3 mm en un mois. Cette croissance permet le renforcement des effectifs des jeunes mâles adultes tandis que par ailleurs les mâles de grande taille (plus de 12 mm) ont tendance à se raréfier au cours de l'été. La combinaison de l'accroissement de l'effectif des jeunes mâles et la disparition des mâles les plus âgés conduit à une quasi stabilité voire une légère baisse des effectifs de mâles adultes entre le 2 juin et le 3 août 2004.

En dépit d'un important recrutement de femelles en juillet sur les deux sites, les effectifs de femelles adultes ne sont pas sensiblement modifiés à la fin de l'été : l'effet de la reproduction est davantage un renouvellement des individus reproducteurs qu'un accroissement de la population. Il y a une importante mortalité des recrues mâles et, surtout, femelles.

La période de reproduction se solde par une diminution du sex-ratio chez les adultes de 1,6 – 1,9 en juin 2004 à 1,0 – 1,4 en août 2004, tandis que chez les juvéniles, le sex-ratio évolue peu autour d'une valeur de 0,5.

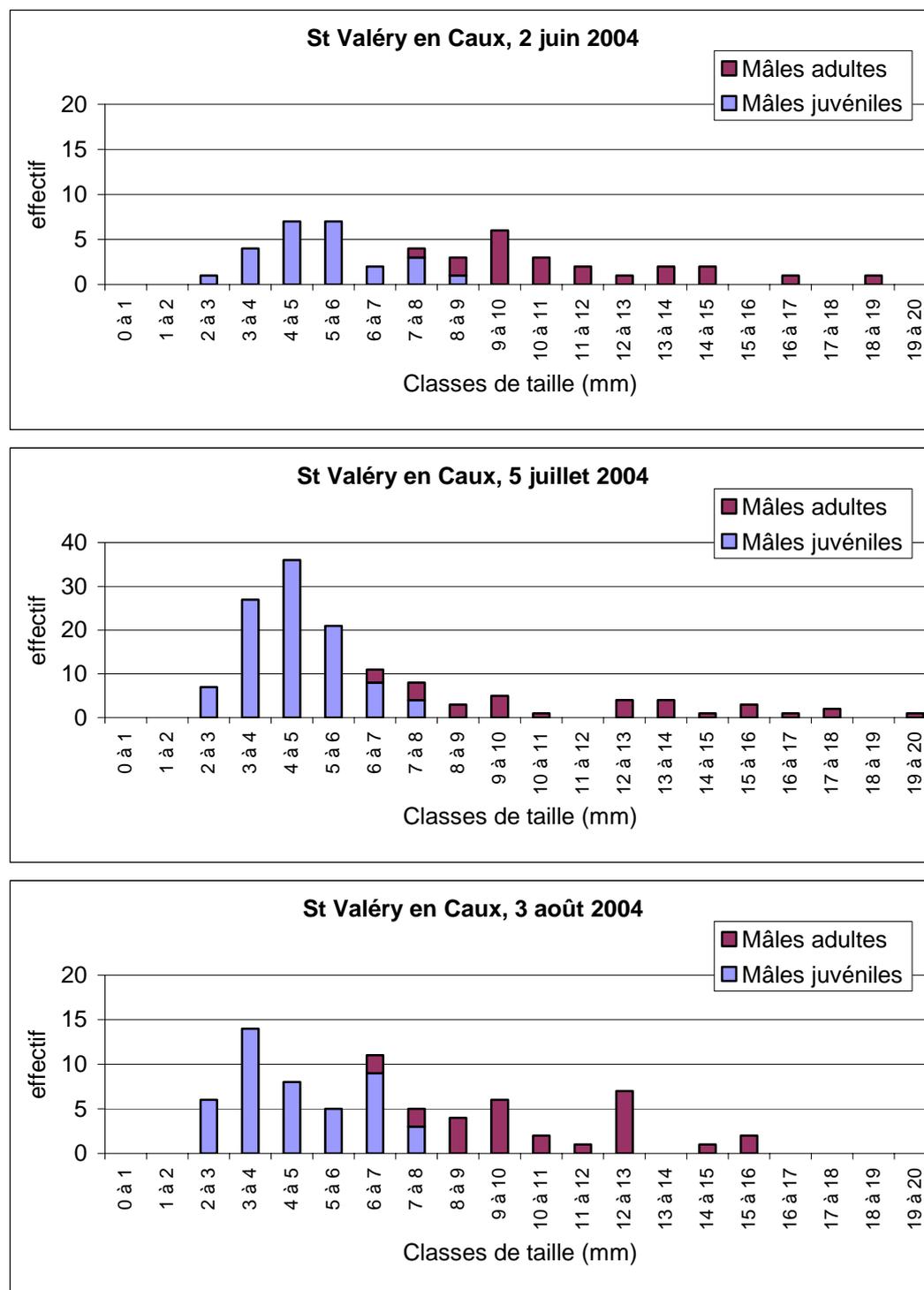


Figure 7.2 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –mâles– à Saint Valéry en Caux au cours de l'été 2004

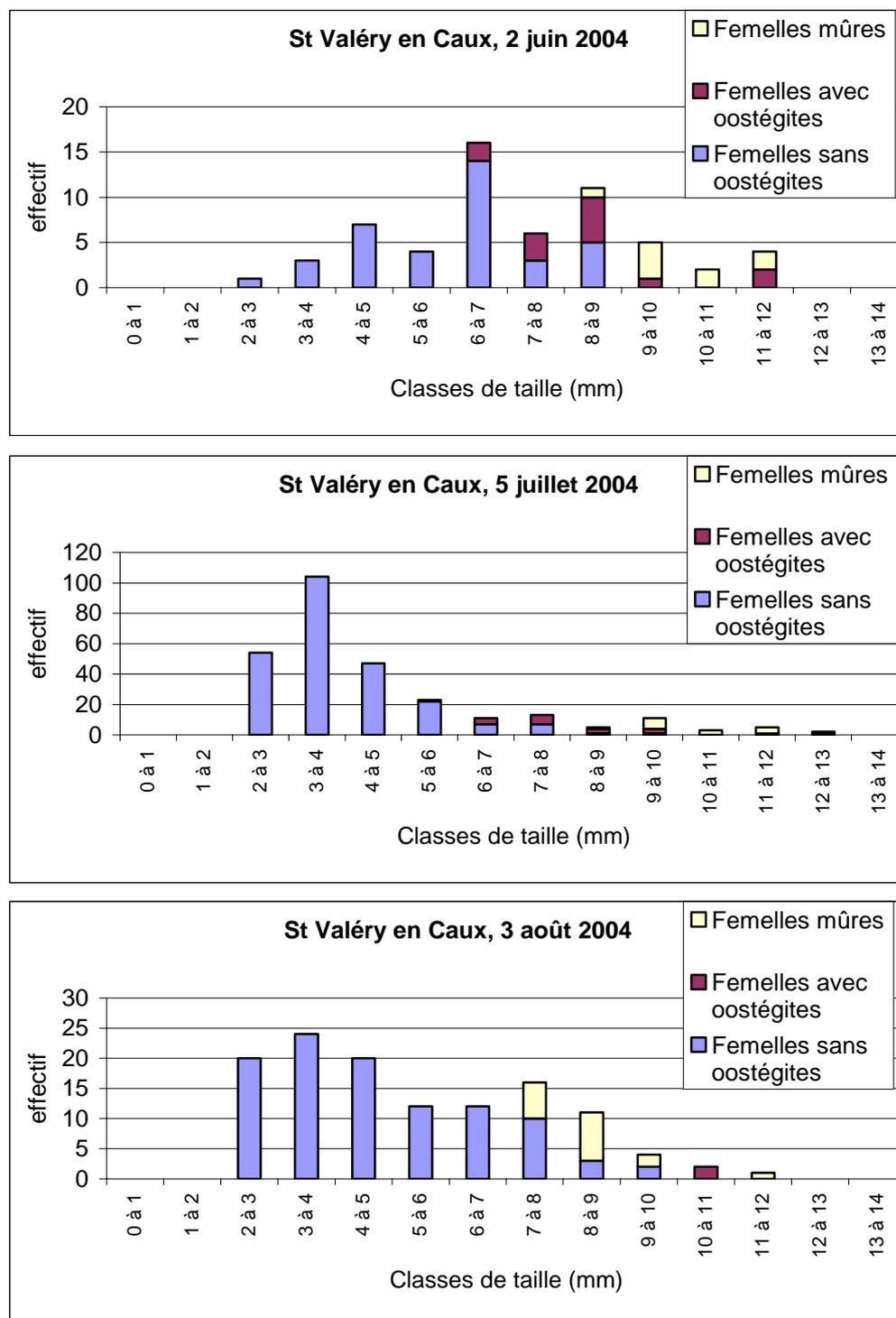


Figure 7.3 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –femelles– à Saint Valéry en Caux au cours de l'été 2004

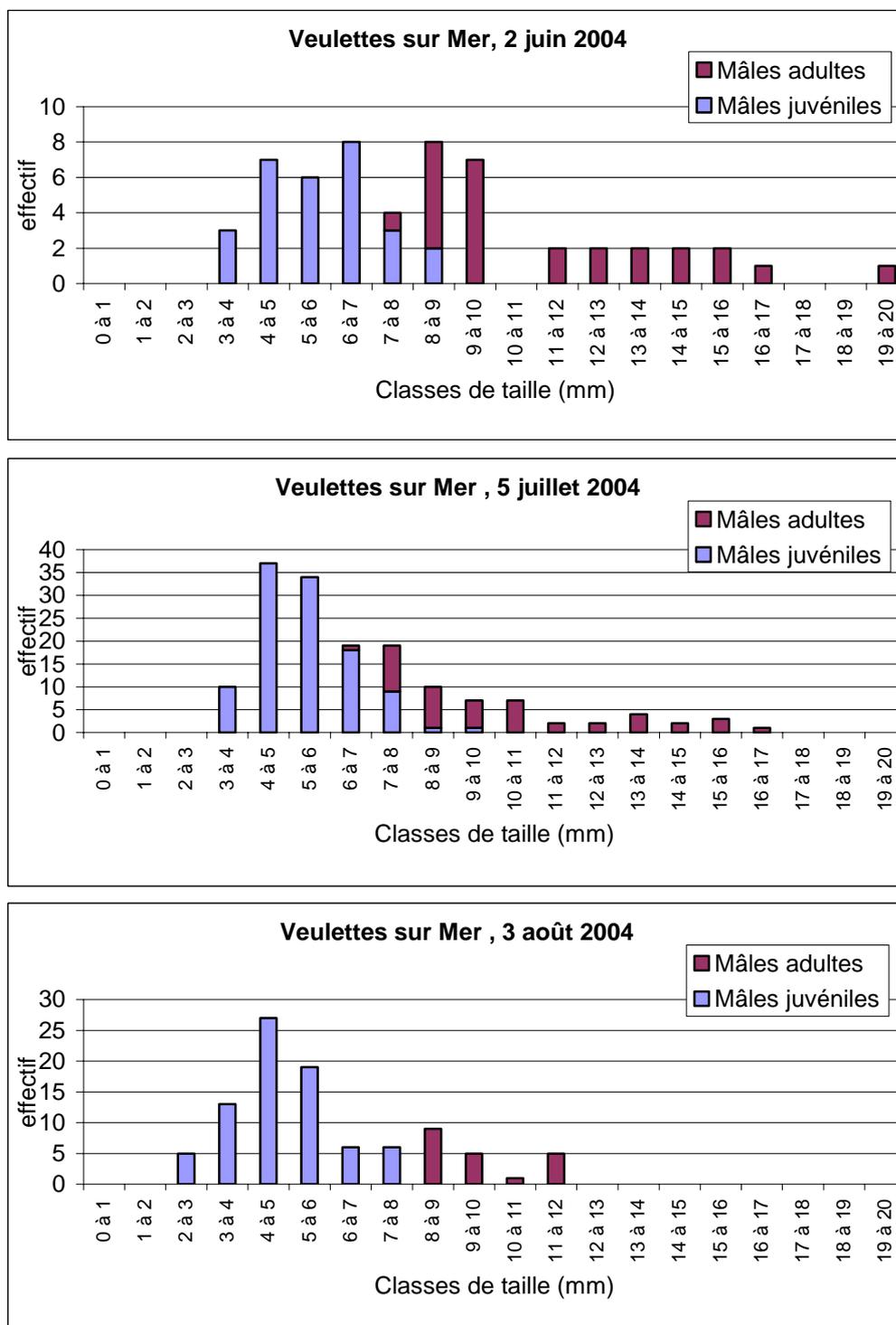


Figure 7.4 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –mâles– à Veulettes sur Mer au cours de l'été 2004

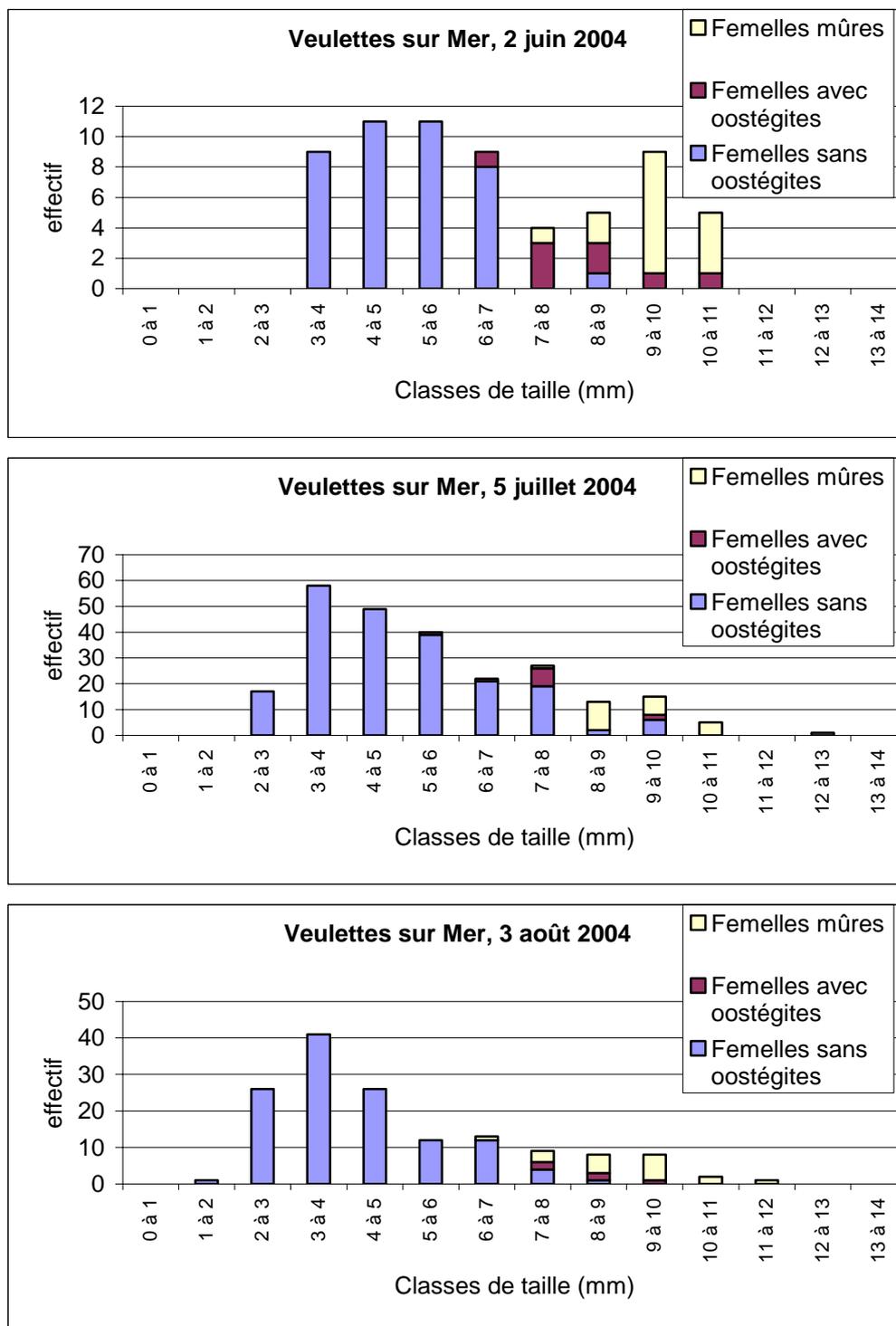


Figure 7.5 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –femelles– à Veulettes sur Mer au cours de l'été 2004

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

7.5.1. Rappels

Le suivi qui a démarré en 1973 portait initialement sur le seul site de St Valéry en Caux. L'échantillonnage était bimestriel et permettait d'étudier les variations saisonnières de la population d'*Idotea granulosa*.

En 1984, une station témoin a été ajoutée à Veulettes sur Mer au prix d'une réduction de la fréquence d'échantillonnage dès 1988.

Depuis 1988, les deux stations sont suivies uniquement pendant la période estivale, au cours de laquelle sont réalisées trois campagnes d'échantillonnage entre juin et octobre. Ce n'est que depuis 2001 que les prélèvements sont systématiquement réalisées en juin, juillet et août.

L'absence de standardisation en matière de fréquence d'échantillonnage implique que toute l'information recueillie depuis le début du suivi ne pourra pas être complètement valorisée dans le cadre d'une étude des évolutions à long terme.

Par ailleurs, en raison d'un déficit en matériel échantillonnable (*Fucus vesiculosus*) sur certaines années, les opérateurs ont été amenés à échantillonner temporairement les ceintures à *Fucus serratus* lesquelles servent également d'habitat à *Idotea granulosa*.

Pour les années où les deux types de ceintures ont été échantillonnées simultanément, il a été vérifié que les deux types de ceintures constituaient bien deux habitats différents : on trouve en moyenne 1,5 fois plus d'*Idotea granulosa* dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* que dans la ceinture à *Fucus serratus*. Ainsi, l'échantillonnage des ceintures à *Fucus serratus* a davantage constitué une source supplémentaire de variabilité qu'un moyen d'assurer la continuité des séries de données.

Cela ne retire rien à l'intérêt d'une telle acquisition qui a permis de vérifier le rôle d'habitat refuge pour la population d'*Idotea granulosa* de la ceinture à *Fucus serratus* en absence de ceinture à *Fucus vesiculosus*, mais nécessite de considérer à part les données d'*Idotea granulosa* acquises dans ce type de ceinture.

Les tableaux 7.6 et 7.7 illustrent le problème de la discontinuité de l'échantillonnage qui depuis 1987 rend difficile l'analyse des évolutions à long terme.

| St Valéry | mai | juin | juillet | août | septembre | octobre |
|-----------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|---------|
| 1985 | 06/05 | | 05/07 | 21/08 | 19/09 | 15/10 |
| 1986 | 21/05 | | | | 19/09 | |
| 1987 | | 16/06 | | 10/08 10/08 | 23/09 23/09 | |
| 1988 | | | 04/07 | 26/08 | | 24/10 |
| 1989 | | 05/06 | 24/07 | | 20/09 | |
| 1990 | | 26/06 | | 07/08 | 18/09 | |
| 1991 | | | 01/07 | | | |
| 1992 | | | 01/07 | 03/08 | 10/09 | |
| 1993 | | | | 01/09 | 03/09 03/09 | |
| 1994 | | | 12/07 | 09/08 | 07/09 | |
| 1995 | | | 05/07 | 01/08 | 13/09 | |
| 1996 | | | 04/07 04/07 | 03/08 03/08 | 03/09 03/09 | |
| 1997 | | | 07/07 | 07/08 | 01/09 | |
| 1998 | | | 02/07 | 03/08 | 01/09 | |
| 1999 | | 29/06 | 26/07 | 31/08 | | |
| 2000 | | | 06/07 | 01/08 | 01/09 | |
| 2001 | | 27/06 | 24/07 | 20/08 | | |
| 2002 | | 26/06 | 29/07 | 25/08 | | |
| 2003 | | 17/06 | 16/07 | 11/08 | | |
| 2004 | | 02/06 | 05/07 | 03/08 | | |

Tableau 7.6 : Dates des prélèvements réalisés sur le site de St Valéry en Caux depuis 1985 et type de la ceinture algale échantillonnée : vert = *Fucus vesiculosus* ; jaune = *Fucus serratus*

| Veulettes | mai | juin | juillet | août | septembre | octobre |
|-----------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1985 | 06/05 | | 05/07 | | 19/09 | |
| 1986 | 21/05 | | | | 19/09 | |
| 1987 | | | | 10/08 10/08 | 23/09 23/09 | |
| 1988 | | | 04/07 04/07 | 26/08 26/08 | | 24/10 24/10 |
| 1989 | | 05/06 05/06 | 24/07 24/07 | | 20/09 20/09 | |
| 1990 | | 26/06 | | 07/08 07/08 | 18/09 18/09 | |
| 1991 | | | 01/07 01/07 | 30/08 30/08 | 23/09 23/09 | |
| 1992 | | | 01/07 01/07 | 03/08 03/08 | 10/09 10/09 | |
| 1993 | | | 06/07 28/07 | 06/07 28/07 | 01/09 01/09 | |
| 1994 | | | 12/07 12/07 | 09/08 09/08 | 07/09 07/09 | |
| 1995 | | | 05/07 05/07 | 01/08 01/08 | 13/09 13/09 | |
| 1996 | | | 04/07 04/07 | 03/08 03/08 | 03/09 03/09 | |
| 1997 | | | 07/07 | 07/08 | 01/09 | |
| 1998 | | | 02/07 | 03/08 | 01/09 | |
| 1999 | | 29/06 | 26/07 | 31/08 | | |
| 2000 | | | 06/07 | 01/08 | 01/09 | |
| 2001 | | 27/06 | 24/07 | 20/08 | | |
| 2002 | | 26/06 | 29/07 | 25/08 | | |
| 2003 | | 17/06 | 16/07 | 11/08 | | |
| 2004 | | 02/06 | 05/07 | 03/08 | | |

Tableau 7.7 : Dates des prélèvements réalisés sur le site de Veulettes sur Mer depuis 1985 et type de la ceinture algale échantillonnée : vert = *Fucus vesiculosus* ; jaune = *Fucus serratus*

On rappelle également que l'objet initial du suivi est l'étude de l'évolution de la population d'*Idotea granulosa*, espèce boréale considérée comme en limite de répartition méridionale, dans l'hypothèse d'un possible impact thermique du refroidissement du CNPE de Paluel. Comme le prélèvement des *Fucus vesiculosus*, qui en constituent l'habitat de prédilection, est indispensable à l'échantillonnage des Idotés, il est nécessaire, si l'on veut analyser la seule évolution de la population de l'Idoté, de filtrer autant que possible le lien de dépendance entre la biomasse algale et la densité d'*Idotea granulosa*.

7.5.2. Evolution de la biomasse des *Fucus vesiculosus* de 1985 à 2004

Les séries n'étant pas complètes ni régularisées, on considérera les données moyennes estivales (moyenne par site des données des 2 à 4 campagnes entre mai et octobre) pour envisager l'étude des variations interannuelles. On obtient ainsi une série continue de 1985.

On notera qu'en cas d'absence de matériel algal à échantillonner une valeur nulle est généralement affectée à la densité d'Idoté. Comme le zéro Idoté peut également être rencontré, en théorie, lorsque la biomasse algale n'est pas nulle, nous avons pris le parti de ne pas considérer les valeurs nulles de biomasse algales dans le calcul des valeurs moyennes. De ce fait c'est l'importance du recouvrement algal qui est principalement considéré.

L'évolution de la biomasse moyenne estivale de *Fucus vesiculosus* montre (figure 7.6) :

- une période de déclin à partir de 1985 et qui se prolonge jusqu'en 1988 à Veulettes sur Mer et jusqu'en 1993 à Saint Valery en Caux. On observe une réduction de la couverture algale d'un facteur 3 à Veulettes et une disparition complète à Saint Valery ;
- une période de reconstitution à partir de 1989 à Veulettes et à partir de 1994 à St Valery ; dans les deux cas, trois années sont nécessaires pour que les ceintures retrouvent leur densité de recouvrement originelle (entre 400 et 600 g/m² avant 1984 à St Valery en Caux) ;
- Une période de stabilité depuis 1991 à Veulettes (718 ± 93 g/m²) et depuis 1996 à St Valery (583 ± 48 g/m²) qui révèle le site de Veulettes comme ayant un potentiel supérieur en matière de recouvrement algal.

Il est intéressant de constater que le déclin se produit simultanément sur les deux sites, vraisemblablement en réponse à un même stress dont les conséquences sont beaucoup plus limitées en amplitude et dans le temps à Veulettes sur Mer qu'à St Valery en Caux. La reconstitution de la ceinture à St Valery ne démarre réellement qu'après la restauration complète de la ceinture de Veulettes.

Ainsi le site de Veulettes apparaît à la fois plus densément couvert et plus résistant.

La cause de la raréfaction des *Fucus vesiculosus* dans la deuxième moitié des années 1980 demeure non déterminée bien que ce déclin coïncide avec la montée en puissance du CNPE au cours de l'hiver 1984. Le fait que le site témoin de Veulettes, considéré par les modèles de dispersion comme hors d'impact des rejets d'eau chaude du CNPE, soit également touché et le caractère transitoire du phénomène laissent à penser qu'il n'y a pas de lien de causalité direct sauf à envisager une adaptation de l'écosystème ce que ne semble pas confirmer le suivi des

peuplements benthiques de l'estran qui apparaissent relativement stables (hors ceinture de *F. vesiculosus*). Pour cette dernière raison il est également peu probable que cette raréfaction soit d'origine biologique même si le broutage par les gastéropodes (littorines) a parfois été proposé comme une cause possible.

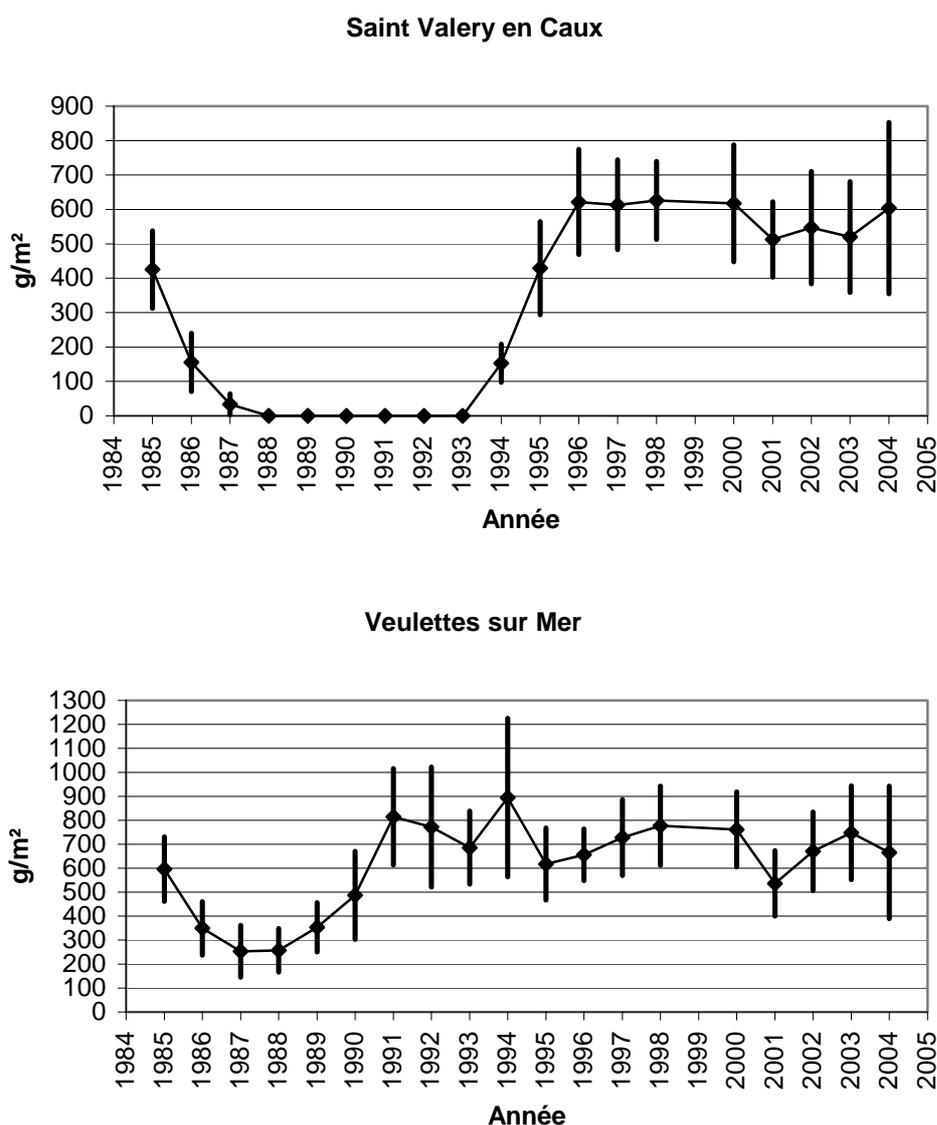


Figure 7.6 : Evolution de la moyenne estivale de la biomasse algale (g/m² PSE) dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2004 aux sites de Saint Valéry en Caux et Veulettes sur Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types)

7.5.3. Evolution de la densité des Idotés de 1985 à 2004

La moyenne estivale de la densité des Idotés (figure 7.7) suit évidemment l'évolution de la biomasse algale moyenne ; les corrélations entre moyennes annuelles (densité d'Idoté et biomasse algale) sont logiquement significatives ($p < 0,01$; $r^2 = 0,44$, 17 ddl pour Veulettes et $r^2 = 0,66$, 11 ddl pour St Valéry).

L'évolution de la moyenne estivale de la densité des idotés montre :

- une période de déclin à partir de 1985 et qui se prolonge jusqu'en 1988 à Veulettes sur Mer et jusqu'en 1993 à Saint Valery en Caux : on observe une réduction des densités d'un facteur 2 à 3 à Veulettes et une disparition complète à Saint Valery faute de matériel algal ;
- une période de reconstitution de la ceinture à *Fucus vesiculosus* à partir de 1989 à Veulettes et à partir de 1994 à St Valery ; dans les deux cas la densité des Idotés retrouve son niveau initial (entre 75 et 175 Ind./m² suivant efficacité du recrutement avant 1984 à St Valery en Caux) ;
- Une période de stabilité depuis 1991 à Veulettes (131 ± 34 Ind./m²) et depuis 1996 à St Valery (98 ± 36 Ind./m²) qui révèle le site de Veulettes comme ayant un potentiel supérieur en matière de d'accueil des Idotés.

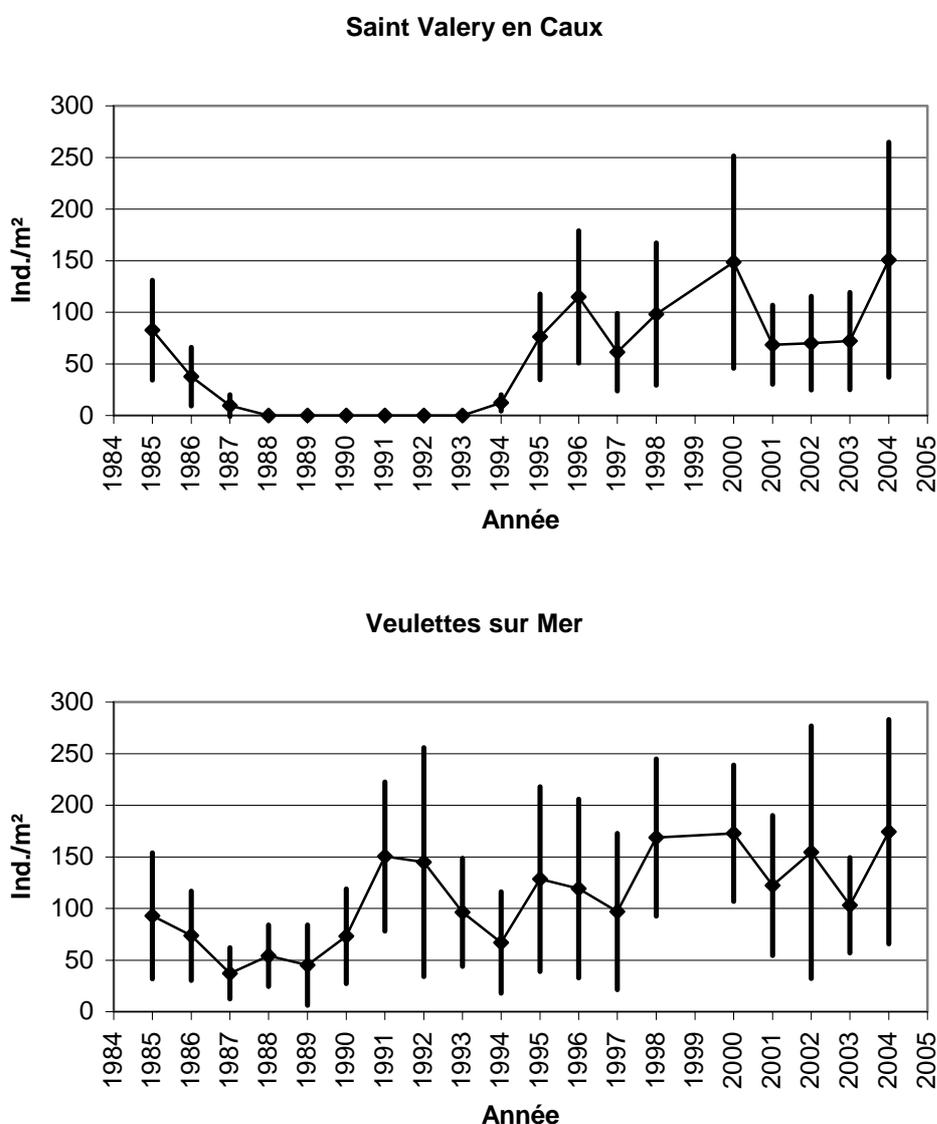


Figure 7.7 : Evolution de la moyenne estivale de la densité d'*Idotea granulosa* (Ind./m²) dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2004 aux stations de Saint Valéry en Caux et Veulettes sur Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types).

Le rapport Idoté/Biomasse de *Fucus* permet d'éliminer ce lien de dépendance ; on montre alors que les moyennes estivales de ce paramètre, lorsque son calcul est possible, ne mettent en évidence aucune tendance significative sur la période 1985-2004 (figure 7.8). Les valeurs moyennes à Saint Valéry en Caux et Veulettes sur Mer, respectivement 19 ± 8 Ind./100 g F.v. et 18 ± 5 Ind./100 g F.v., sont tout à fait comparables.

Finalement, le meilleur potentiel en matière d'accueil des Idotés du site de Veulettes n'est lié qu'à une densité de couverture algale sensiblement plus élevée.

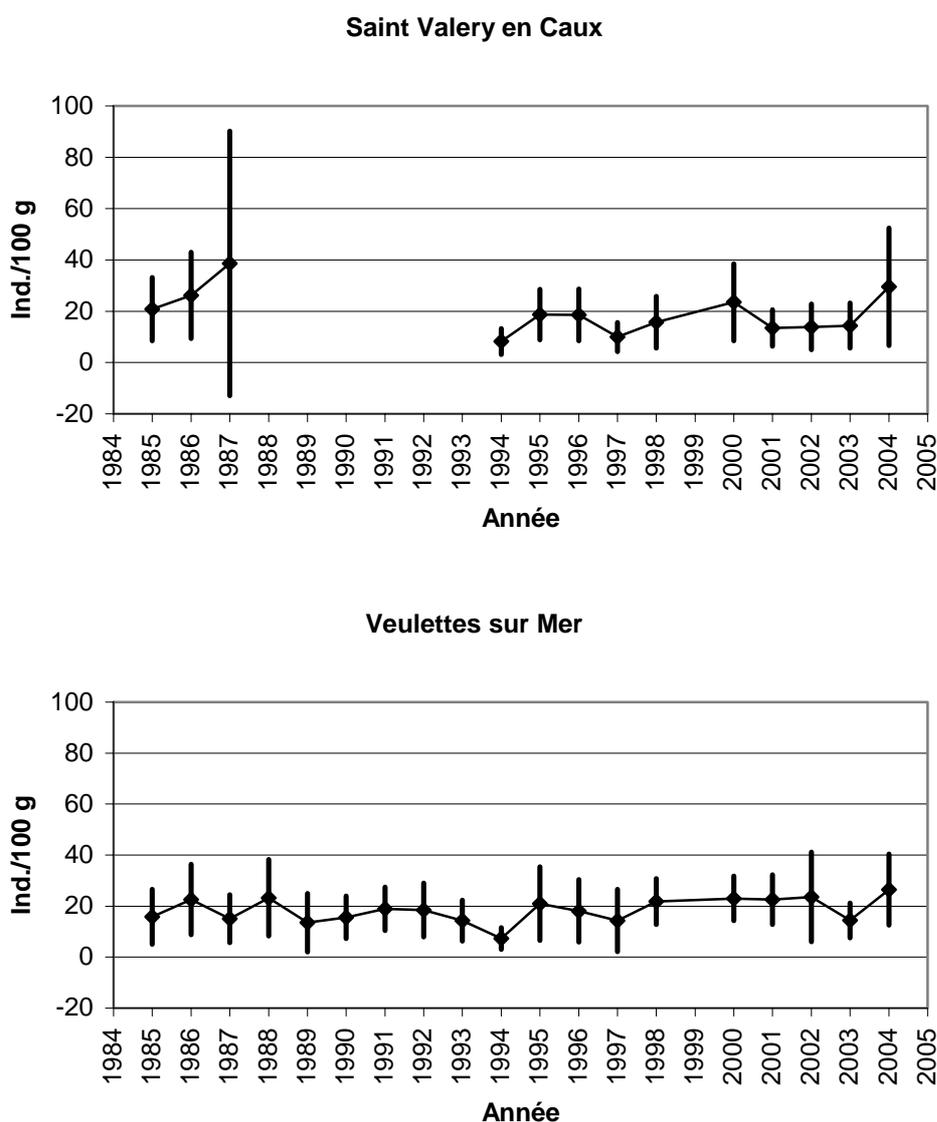


Figure 7.8 : Evolution de la moyenne estivale du nombre d'*Idotea granulosa* / 100 g de *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2004 aux stations de Saint Valéry en Caux et Veulettes sur Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types)

La variabilité assez importante de ce paramètre s'explique d'une part, par les pics de recrutement (cas général) et d'autre part, par un nombre insuffisant de répliqués d'échantillonnage (cas de

l'année 1987 à St Valery). La valeur maximale observée à Saint Valery en Caux au cours de l'été 1987 (40 Ind./100 g de *Fucus vesiculosus* et 25 Ind./100 g de *F. vesiculosus* + *F. serratus* en moyenne) rend compte de la concentration de la population des Idotés dans un habitat en cours de disparition.

Reprenant pour chaque site l'ensemble des couples de données (biomasse de *Fucus vesiculosus* ; densité d'*Idotea granulosa*), les valeurs de biomasses étant regroupées en classes de 10 unités, la valeur moyenne de la densité des Idotés est calculée pour chaque classe de biomasse algale.

On observe une augmentation de la dispersion de la densité d'idotés pour une valeur de biomasse algale supérieure à 720 g/m² PSE ; cette valeur constitue un seuil au delà duquel la densité d'Idotés tend à devenir complètement indépendante de la biomasse algale. Pour les classes de biomasse inférieures à ce seuil, on détermine un modèle de régression linéaire qui extrait plus de 95% de la variance (figure 7.9).

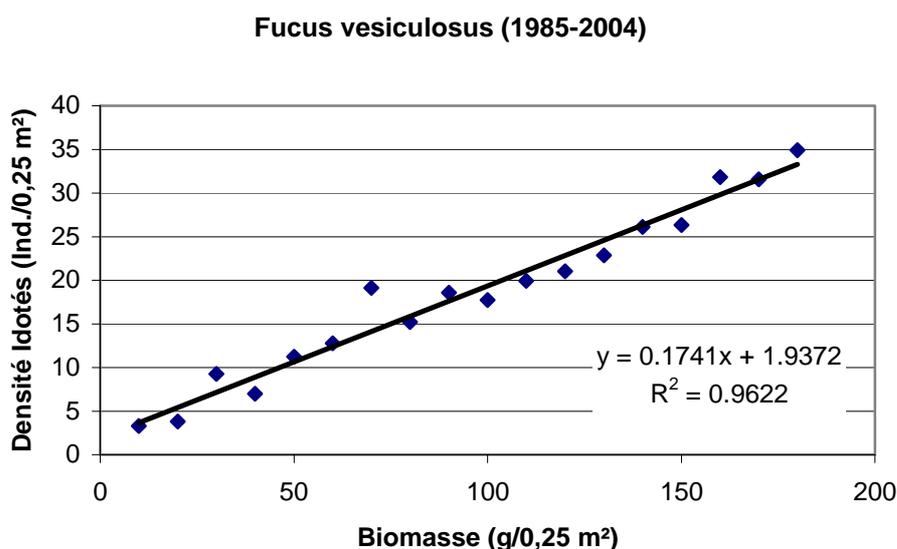


Figure 7.9 : Modèle de régression linéaire de la densité d'Idotés en biomasse de *Fucus vesiculosus*. Valeurs moyennes de la densité d'*Idotea granulosa* par classes de biomasses algales de 10 unités (données 1985 à 2004)

Ce modèle est utilisé pour filtrer le signal "densité d'Idotés". La représentation de l'évolution des résidus moyens montre (Figure 7.10):

- l'existence d'une périodicité dans l'évolution de l'effectif total avec des cycles de 2-3 ans ; cela est tout à fait visible pour le site de Veulettes pour lequel l'on dispose d'une série "continue" de 1985 à 2004, mais le schéma est probablement identique pour le site de Saint Valery ;
- une amplitude de ces cycles qui paraît augmenter à partir des années 1990 en s'accompagnant d'une tendance à la hausse des effectifs ;

- de nombreux points de coïncidence sur les deux sites (années 1986, 1996, 2000, 2003, 2004). Compte tenu de la forte variabilité résiduelle on ne peut réellement parler de concordance, mais celle-ci est tout à fait plausible et indiquerait que pour les deux sites :
 1. les populations d'*Idotés* sont probablement identiques avec une dynamique comparable ;
 2. les variations, autres que cycliques qui sont vraisemblablement propres à la biologie de l'espèce, ont une origine commune sur les deux sites et n'est donc pas forcément localisée.

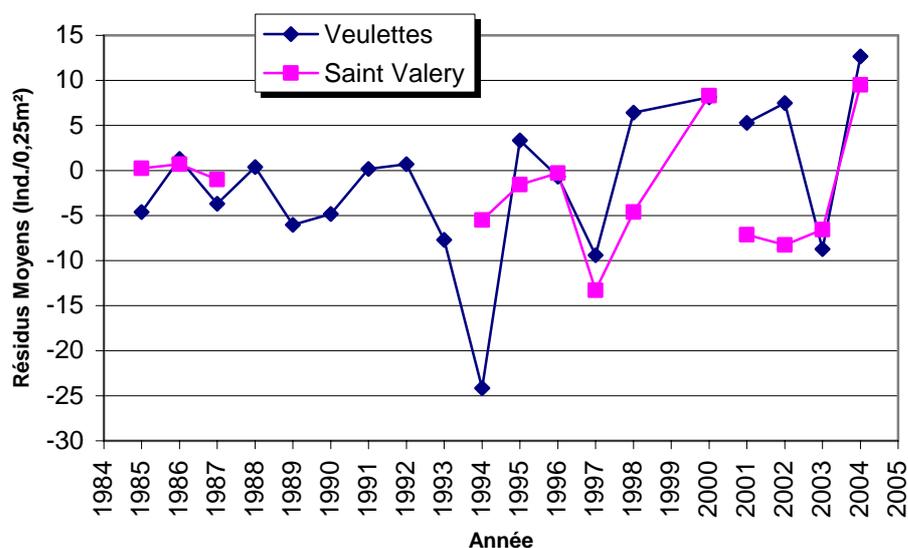


Figure 7.10 : Evolution de la moyenne estivale de la densité résiduelle (après filtrage de "l'effet biomasse algale") des *Idotea granulosa* de 1985 à 2004 sur les estrans de Saint Valery en Caux et de Veulettes sur Mer

7.6. Conclusion

Cette campagne estivale 2004 de suivi de la population d'*Idotea granulosa* sur les estrans de Saint Valery en Caux et Veulettes sur Mer a mis en évidence de valeurs de biomasse de *Fucus vesiculosus* conformes à la moyenne observée depuis la reconstitution des ceintures en 1991 et 1996, respectivement à Veulettes et Saint Valery. De façon surprenante, au début de l'été 2004, la couverture algale est plus dense à St Valery qu'à Veulettes mais cette situation s'inverse au cours de l'été pour revenir au schéma classique confirmé par les observations à long terme.

Concernant la population des Idotés, les valeurs brutes et résiduelles montrent un recrutement important en 2004 (98 ± 29 ind./m² et 174 ± 109 ind./m² en moyenne respectivement à Saint Valery et Veulettes) dont le maximum a eu lieu dans le courant du mois de juin ; un autre épisode de recrutement moins intense est également observé dans le courant du mois de juillet.

Il en résulte un nombre d'Idotés pour 100 g de *Fucus vesiculosus* (26 ± 14 Ind/100g) légèrement supérieur à la moyenne. Le pourcentage d'Idotés par unité de biomasse ne diffère pas sensiblement d'un site à l'autre mais le site de Veulettes a un plus grand potentiel du fait d'une meilleure couverture algale, ce que confirme également l'analyse à long terme.

Concernant l'évolution à long terme du peuplement on rappelle que le déclin de la ceinture algale sur les deux sites à la fin des années 1980 s'est révélé être transitoire et ne semble pas directement imputable à l'exploitation du CNPE compte tenu de la direction privilégiée Est-Ouest de la dispersion.

On observe une évolution tout à fait comparable de la population des Idotés sur le site "témoin" et le site "impacté". Cette dynamique révèle des fluctuations périodique de 2-3 ans ainsi qu'une modification depuis les années 1990 de l'amplitude, qui met en évidence une tendance à la hausse des effectifs.

Ces conclusions ont été rendues à partir des données des effectifs totaux des Idotés. Nous avons remarqué que la variations des effectifs des juvéniles était en grande partie responsable de la forte variabilité du signal. Il sera intéressant à l'avenir de détailler l'analyse de l'évolution des effectifs moyens en fonction du sexe et du stade de maturation (juvénile / adulte).

8. Le Phytobenthos Intertidal

Rapport

Frank MAHEUX (LERN),
Luis LAMPERT (LERN).

Prélèvements

Frank MAHEUX (LERN),
Olivier PIERRE-DUPLESSIX (LERN).

Participation

Philippe RIOU (LERN).

8.1. Généralités

Depuis 1994, le peuplement de *Fucus sp.* du platier situé à l'est et à l'ouest de la centrale électronucléaire de Paluel fait l'objet d'un suivi semestriel. L'éloignement des points d'échantillonnage permet d'évaluer l'impact du panache thermique en amont et en aval de la centrale sur la biomasse algale présente sur l'estran rocheux.

Sur ce site, trois radiales ont été choisies d'ouest en est (figure 8.1) :

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

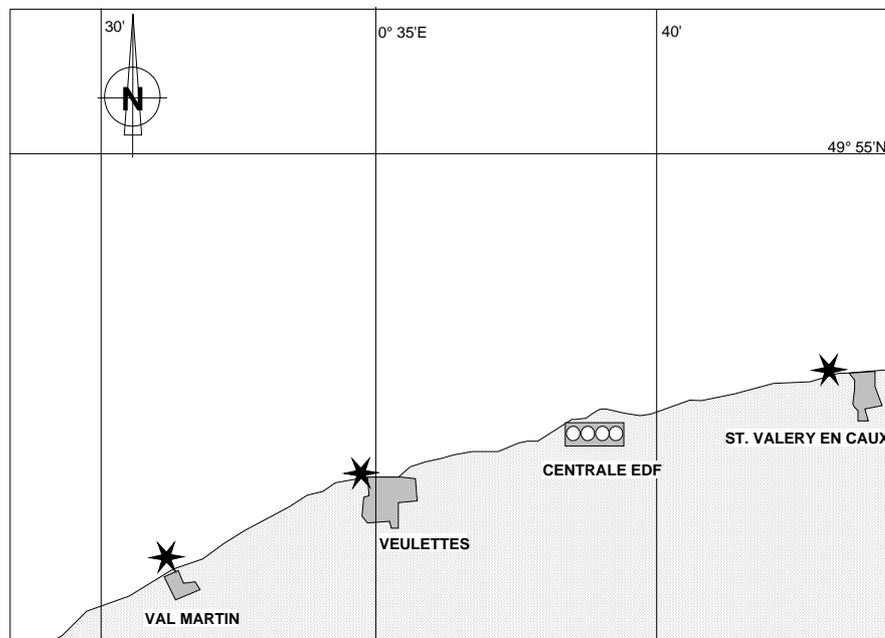


Figure 8.1 : Situation des trois points d'échantillonnage lors des campagnes 2004

8.2. Matériel et méthodes

La méthodologie employée au cours de l'année 2004 (comme c'est le cas depuis l'année 1998) ne comporte qu'un seul niveau : une estimation de la biomasse et de la fertilité par échantillonnage aléatoire sur 10 carrés (quadrats) de 0,25 m². La biomasse moyenne est obtenue par la pesée (poids humide) des algues observées à l'intérieur des quadrats. La précision de la mesure est de 0,1 g. Pour la mesure de la fertilité, sont dénombrés les pieds de *Fucus sp.* présentant des conceptacles.

Les traitements statistique et les représentations graphiques sont les mêmes que celles déjà décrites dans les paragraphes 2.13 et 2.14 du chapitre hydrologie.

8.3. Résultats

Les résultats obtenus lors des campagnes 2004 pour le compartiment du phytobenthos intertidal sont présentés dans le tableau 8.1 ci-dessous.

| Dates | Paramètres | VAL MARTIN | VEULETTES | ST VALERY |
|--------------------|-----------------------------------|------------|-----------|-----------|
| 8 et 9 mars | Biomasse (g/0,25 m ²) | 54,6 | 54 | 77,3 |
| | Fertilité (% de pieds fertiles) | 3 | 23 | 30 |
| 15 et 16 septembre | Biomasse (g/0,25 m ²) | 118 | 132 | 187 |
| | Fertilité (% de pieds fertiles) | 78 | 87 | 87 |

Tableau 8.1 Valeurs de biomasse et de fertilité de *Fucus sp.* en 2004

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

8.3.1.1 Variations spatiales et saisonnières de la biomasse de *Fucus sp.*

La plus faible valeur de biomasse algale est observée en mars au point Veulettes avec 54 g/0,25m² et la plus forte valeur au point St Valery en septembre avec 187 g/0,25m² (figure 8.2).

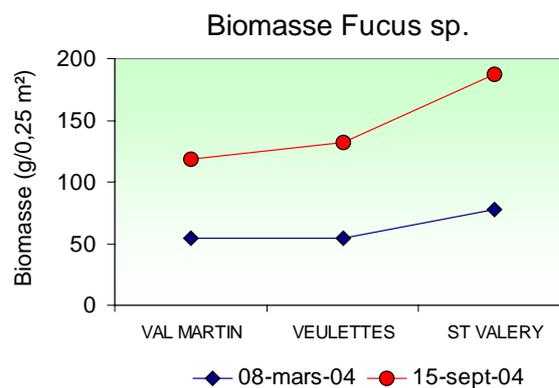


Figure 8.2 : Biomasse de *Fucus sp.* lors des campagnes de mars et septembre 2004

Les valeurs de biomasse sont doublées à l'automne par rapport au printemps. Le même gradient croissant ouest-est est présent lors de deux campagnes d'échantillonnage. L'écart de biomasse observé entre les points à l'est de la centrale sont inférieures à celui obtenu entre les deux points encadrant la centrale.

8.3.1.2. Variations inter-annuelles de la biomasse de *Fucus sp.*

A l'exception du point St Valery en septembre, l'ensemble des valeurs observées en 2004 se situent dans la plage de celles déjà enregistrées depuis 1994 (figure 8.3). Au printemps, les valeurs de 2004 ont toutes été inférieures à celles observées en 2003, tandis qu'en automne, seule la valeur du point Val Martin s'est située en dessous.

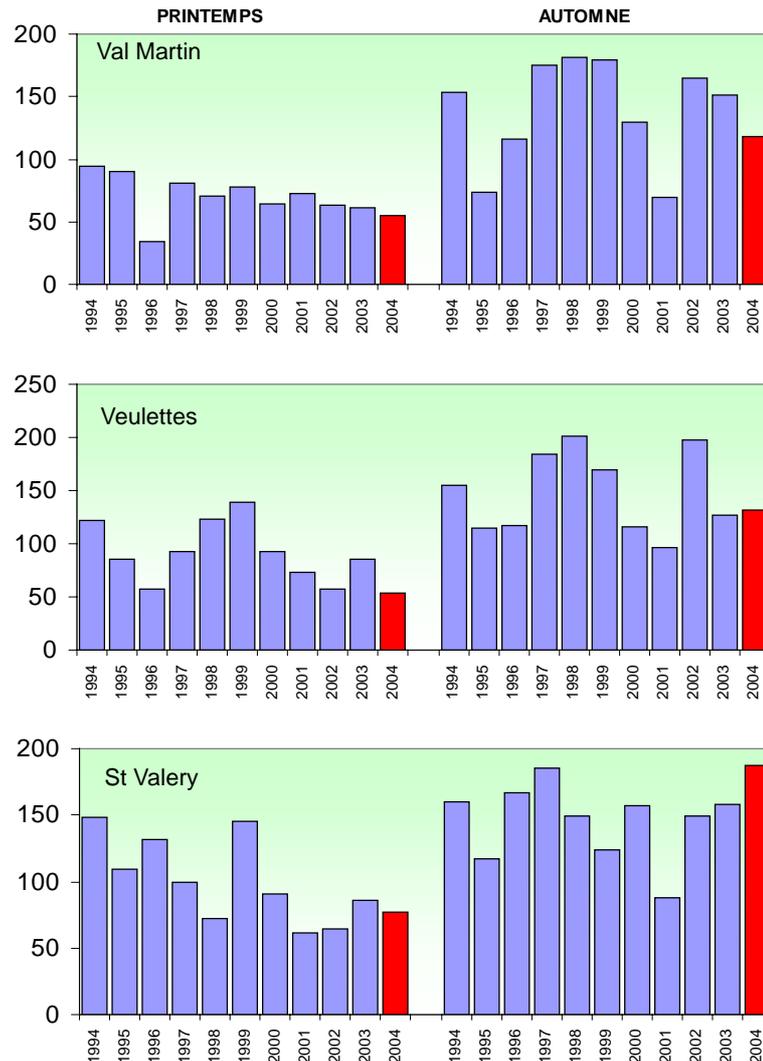


Figure 8.3 : Évolution de la biomasse de *Fucus sp.* sur les trois points d'échantillonnage depuis 1994 en g/0,25m²

La figure 8.4 présente les valeurs de biomasse de *Fucus sp.* obtenues depuis 1994 avec des boîtes à moustaches. Cette figure met en évidence des plus fortes médianes au printemps, cependant la dispersion de valeurs est légèrement supérieure lors des campagnes automnales. Au printemps, les médianes présentent un gradient croissant ouest-est, tandis qu'en automne, les médianes des points Val Martin et St Valery sont similaires et supérieures à celle du point Veulettes.

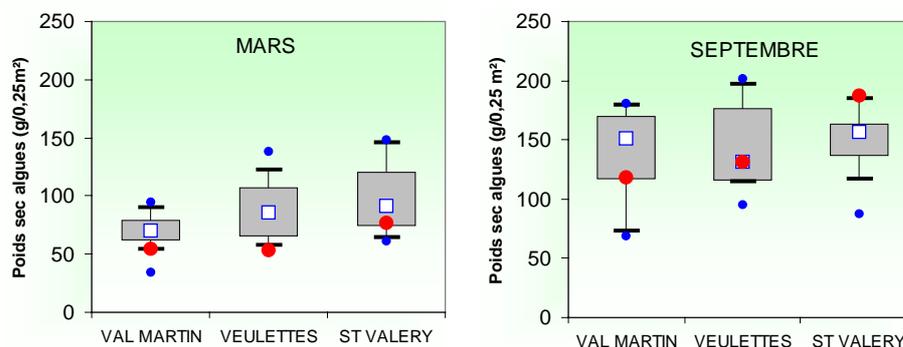


Figure 8.4 : Représentation des médianes de valeurs de la biomasse obtenue depuis 1994

8.3.1.3. Approche statistique

Les résultats des tests réalisés sur les valeurs de la biomasse de fucales sont présentés dans le tableau 8.2 ci dessous.

| COMPARAISON | PRINTEMPS | AUTOMNE |
|-----------------------|--------------|---------|
| VAL MARTIN/ VEULETTES | 0,015 | 0,182 |
| VAL MARTIN/ST VALERY | 0,012 | 0,320 |
| ST VALERY/ VEULETTES | 0,334 | 0,828 |

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

Tableau 8.2 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la biomasse

Les seules différences ont été observées au printemps entre le point Val Martin et les deux autres points, ce que confirme l'approche graphique de la figure 8.4.

8.3.2. Évolution de la fertilité de *Fucus sp.*

8.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la fertilité

La plus faible valeur de fertilité obtenue lors des deux campagnes de 2004 a été observée en mars au point Val Martin avec 3 % de pieds fertiles (figure 8.5). La plus forte valeur a été celle observée aux points Veulettes et St Valery en septembre avec 87 %.

Pour la fertilité nous observons la même tendance annuelle et le même gradient déjà mis en évidence pour la biomasse.

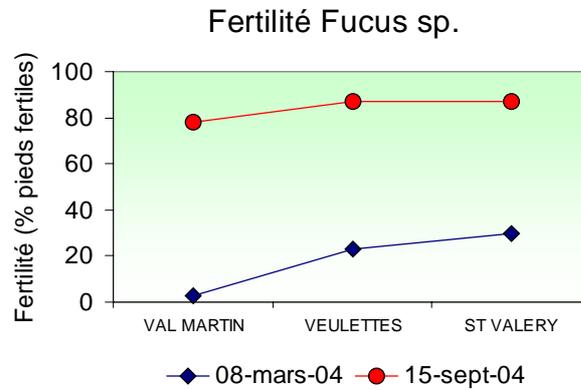


Figure 8.5 : Fertilité de *Fucus sp.* lors des campagnes de mars et septembre 2004

8.3.2.2. Variations inter-annuelles de la fertilité de *Fucus sp.*

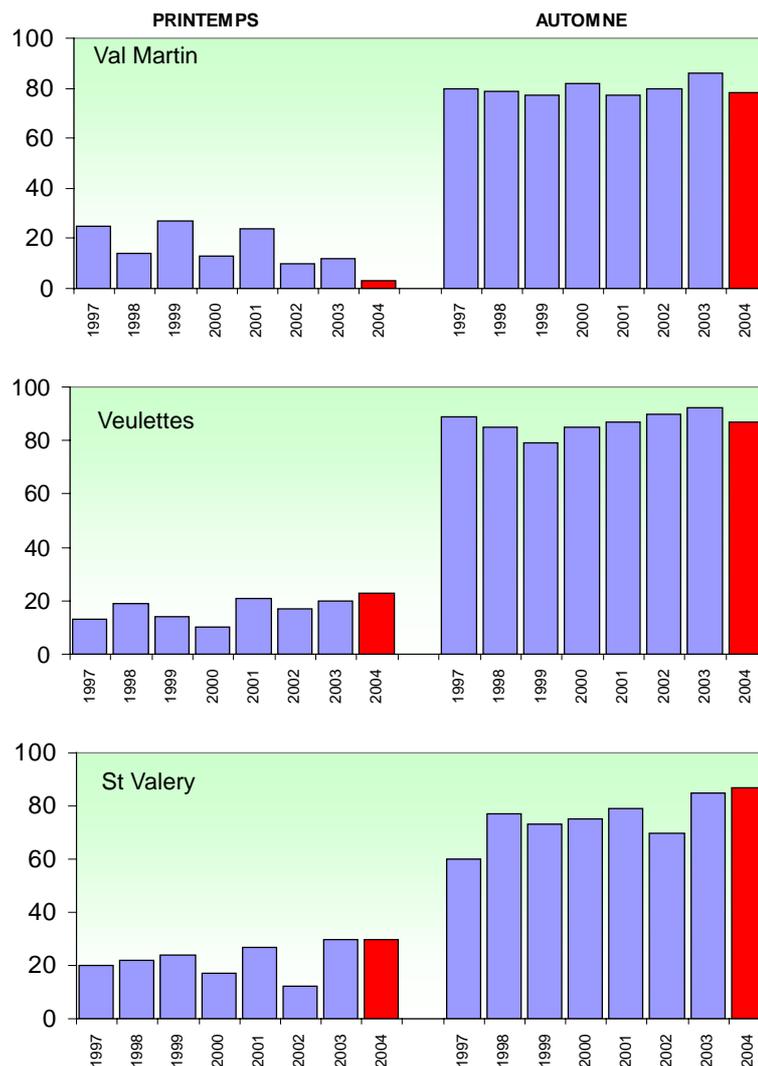


Figure 8.6 : Évolution de la fertilité de *Fucus sp.* sur les trois points d'échantillonnage depuis 1997

A l'exception des la valeurs automnale du point St Valery, le reste de valeurs de fertilité de 2004 se situent dans la plage de valeurs observées depuis 1997 (figure 8.6). Les plus forts écarts par rapport aux valeurs de 2003 sont enregistrés au point Val martin et tout particulièrement lors de la campagne de printemps.

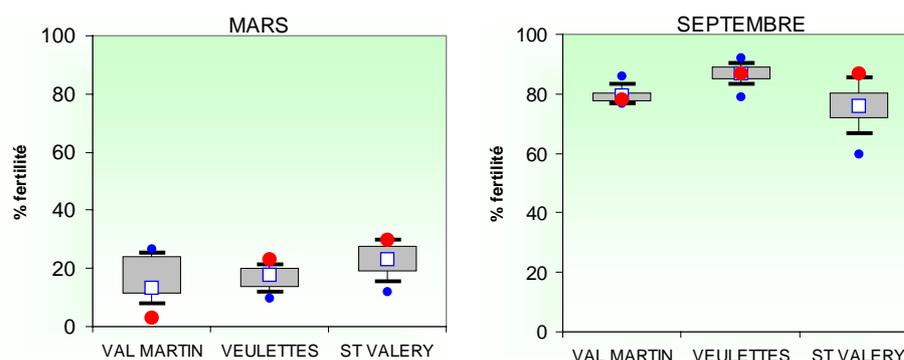


Figure 8.7 : Représentation des médianes des valeurs de la fertilité obtenue depuis 1997

La dispersion des valeurs des points Val Martin et Veulettes en septembre est notablement réduite par rapport à celles du reste de la série pluriannuelle. En mars, la distribution de médianes présente un gradient croissant ouest-est, tandis qu'en automne ce gradient croissant n'est observé qu'à l'ouest de la centrale. La plus faible médiane mis en évidence lors des campagnes de septembre est observée au point St Valery. Lors de la campagne de mars, les valeurs observées ont été très contrastées. Elles ont représenté soit le minimum (point Val Martin) soit le maximum de la série pluriannuelle (points Veulettes et St Valery).

8.3.1.3. Approche statistique

Les résultats des tests réalisés sur la fertilité de fucales sont présentés dans le tableau 8.3 ci dessous.

| <i>COMPARAISON</i> | PRINTEMPS | AUTOMNE |
|------------------------------|------------------|----------------|
| VAL MARTIN/ VEULETTES | 0,782 | 0,0004 |
| VAL MARTIN/ST VALERY | 0,120 | 0,217 |
| ST VALERY/ VEULETTES | 0,077 | 0,011 |

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

Tableau 8.3 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la fertilité

Bien que la valeur de la probabilité associé p soit proche du seuil de signification, aucune différence n'est observée au printemps. En automne nous obtenons une différence significative entre le point Veulettes et les deux autres points, ce qui s'explique aisément par la faible dispersion de valeurs déjà mis en évidence dans la figure 8.7.

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

Afin de dégager une éventuelle tendance de la biomasse de *Fucus sp.* sur les différents sites, nous avons *filtré* le cycle saisonnier. Ce filtrage est réalisé en calculant la biomasse moyenne annuelle (figure 8.8).

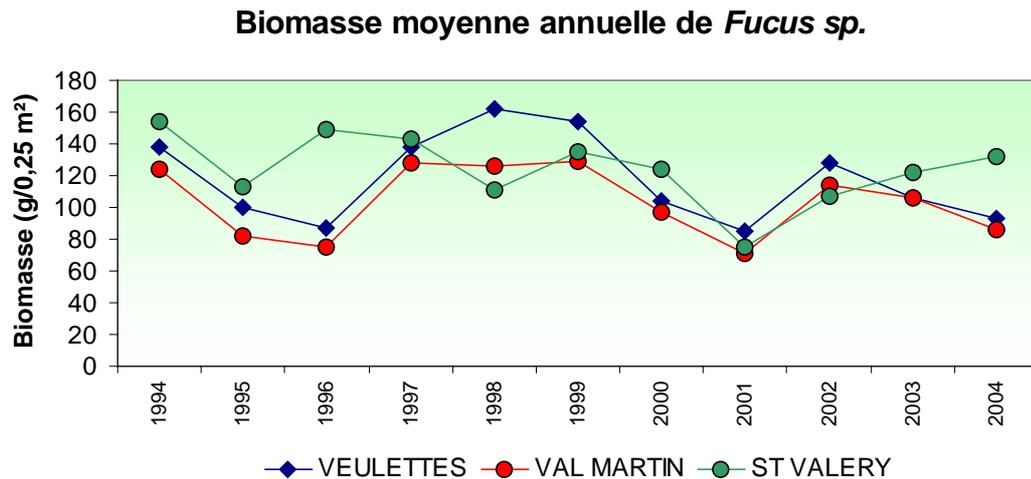


Figure 8.8. : Évolution de la biomasse moyenne annuelle de *Fucus sp.* depuis 1994

Une régression linéaire est ensuite appliquée à ces données moyennées. Les coefficients de détermination (r^2) ainsi que leur niveau de signification sont rassemblés dans le tableau 8.4.

| | Coefficient de détermination r^2 | Niveau de signification |
|-------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Veulettes | 0,0732 | Non significatif |
| St Valery | 0,1876 | Non significatif |
| Val Martin | 0,0249 | Non significatif |

Tableau 8.4 : Coefficient de détermination et niveau de signification statistique des analyses de tendances

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

Les résultats de 2004, confirment globalement la tendance cyclique de la variation de la biomasse moyenne des *Fucus sp.*

L'observation de la figure 8.8. révèle aisément cette tendance : la période de ce cycle naturel est d'environ 3 ans.

Seule la biomasse du site de St Valéry, particulièrement celle mesurée en septembre (187 g/m^2) présente un accroissement. Il sera donc intéressant de suivre l'évolution au cours de l'année prochaine pour confirmer ou non la tendance sur ce site.

8.5. Conclusions

Les relevés effectués au cours de l'année 2004 ont montré :

- la confirmation, après avoir connu de très faibles valeurs en 2001, de la stabilisation du peuplement de *Fucus sp.* des différents platiers étudiés depuis 1994 ;
- l'analyse statistique des résultats que nous cumulons maintenant depuis dix ans nous suggère qu'il n'y a pas d'évolution notable de la biomasse des *Fucus sp.* ;
- les résultats de l'année 2004 confortent l'hypothèse que nous avançons déjà les années précédentes selon laquelle il existerait un cycle naturel d'environ trois ans ;
- la fertilité printanière des pieds de *Fucus sp.* sur le peuplement étudié est globalement comparable à celle observée depuis le début de cette étude avec logiquement un minimum printanier et un maximum automnal.

Toutefois il faut remarquer que le minimum de 3 % observé en mars sur le site de Val Martin est exceptionnellement bas, une telle valeur n'ayant jamais été observée depuis 1997. En revanche le maximum de 78 % observé en septembre sur ce même site est parfaitement dans la moyenne calculée depuis 1997, à savoir 80 %

Nous ne pouvons avancer d'explication à ce phénomène, seule la poursuite de ce suivi permettra de le confirmer ou non, notamment à partir des valeurs de la biomasse printanière de l'année 2005.

9. halieutique

Rapport Jean-Paul DELPECH (DRV/B)

Participation Pascal RAULIN (DRV/B)

9.1. Situation au 31.12.2003 des effectifs et des caractéristiques des flottilles artisanales du quartier maritime de Fécamp.

Les 42 bateaux artisans immatriculés au quartier maritime de Fécamp au 31 décembre 2003 et rangés selon 3 classes de longueur, présentent les caractéristiques moyennes suivantes (source : CRTS et Affaires Maritimes):

| | Long (mètres) | Jauge (tx) | Puissance (kw) | Age moyen | nombre |
|-------------------|------------------|---------------|-------------------|-----------|--------|
| longueur L < 10 m | 8 | 4 | 77 | 17 | 11 |
| 10m < L < 17m | 13 | 19 | 186 | 20 | 20 |
| L > 17m | 22 | 89 | 428 | 21 | 11 |
| | | | | | 42 |

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

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

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

La répartition des navires par port d'exploitation est globalement très stable dans le temps, avec un léger accroissement à Fécamp, comme le montre le tableau ci-dessous :

| année | Fécamp Est | Fécamp | Fécamp Ouest | total |
|-------|------------|--------|--------------|-------|
| 1996 | 17 | 17 | 2 | 36 |
| 1997 | 17 | 16 | 2 | 35 |
| 1998 | 15 | 23 | 2 | 40 |
| 1999 | 14 | 22 | 2 | 38 |
| 2000 | | | | 41 |
| 2001 | 13 | 23 | 2 | 38 |
| 2002 | 14 | 24 | 2 | 40 |
| 2003 | 12 | 28 | 2 | 42 |

Les métiers pratiqués sont ceux classiquement observés les années précédentes avec une forte prédominance des métiers du filet ; la rubrique « divers métiers » indique une polyvalence. Le tableau ci-dessous en détaille le nombre de « mois X bateau » déclaré (source : Ifremer Dieppe):

| | J | F | M | A | M | J | JL | A | S | O | N | D | Total |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Métiers du chalut | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 11 | 12 | 12 | 6 | 6 | 6 | 91 |
| Métiers du filet | 21 | 25 | 24 | 26 | 26 | 26 | 25 | 26 | 25 | 26 | 26 | 25 | 301 |
| Divers métiers | 11 | 15 | 15 | 13 | 12 | 8 | 9 | 11 | 9 | 12 | 10 | 11 | 136 |
| Total: | 38 | 46 | 45 | 45 | 45 | 41 | 45 | 49 | 46 | 44 | 42 | 42 | 528 |

Tableau 9.3. : Répartition du nombre de mois par bateau selon leur métier en 2003

9.2. Production

Les ventes enregistrées en criée de Fécamp entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2003 représentent 10 092 tonnes, soit l'équivalent de ce qui a été enregistré en 2002 (source : criée de Fécamp). La valeur déclarée est elle aussi constante (plus de 14 000 K.Euros), tout comme le prix moyen (1,42 E/kg contre 1,38 E/kg en 2002).

Les quatre premières espèces en tonnage sont très classiquement la sardine, le maquereau, la coquille Saint-Jacques et le hareng, ce dernier en baisse sensible néanmoins.

Le chinchard accuse encore une légère baisse en tonnage, mais en revanche un prix moyen à la hausse.

Les ventes de sole sont en très légère hausse mais en valeur, c'est encore et toujours la première espèce.

Un élément très notable est la hausse des débarquements de cabillaud (186 T en 2003 contre 115 en 2002), alors que depuis plusieurs années la baisse était constante et marquée. Il s'agit là d'un phénomène qui sera à suivre avec attention compte tenu de l'état du stock de cette espèce.

Comme l'année précédente, le rouget barbet est encore en progression (38 T).

Quelques espèces à forte valeur marchande contribuent au chiffre d'affaires global, comme le bar, l'encornet ou le turbot.

| ESPECES | QUANTITE (Kg) | VALEURS (Euros) | PRIX (Euros/Kg) |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ALOSE | 23 | 0 | 0.00 |
| ANGUILLE | 29 | 108 | 3.79 |
| ARAIGNEE | 441 | 139 | 0.31 |
| BAR DE CHALUT | 79990 | 532754 | 6.66 |
| BAR DE FILET | 25083 | 188683 | 7.52 |
| BARBUE | 5860 | 46568 | 7.95 |
| BUCCIN | 684 | 517 | 0.76 |
| CABILLAUD | 186163 | 713222 | 3.83 |
| CARDINE | 1 | 2 | 1.50 |
| CHINCHARD | 8849 | 1883 | 0.21 |
| CONGRE | 29697 | 55552 | 1.87 |
| ST JACQUES | 1212924 | 3536993 | 2.92 |
| CREVETTE ROSE | 114 | 1297 | 11.36 |
| DIVERS NOBLE | 516 | 933 | 1.81 |
| DORADE ROSE | 57 | 169 | 2.97 |
| DORADE ROYALE | 32 | 39 | 1.23 |
| EGLEFIN | 40 | 60 | 1.50 |
| EMISSOLE | 60720 | 50186 | 0.83 |
| ENCORNET | 152933 | 687109 | 4.49 |
| FLET | 6 | 1 | 0.10 |
| GRISET | 113110 | 177374 | 1.57 |
| GRONDIN PERLON | 38711 | 60796 | 1.57 |
| GRONDIN ROUGE | 110035 | 108370 | 0.98 |
| GRONDINS DIVERS | 49 | 20 | 0.41 |
| HARENG | 722305 | 179453 | 0.25 |
| HOMARD | 419 | 6984 | 16.68 |
| HUITRE DIVERS | 338 | 138 | 0.41 |
| JULIENNE | 1520 | 4184 | 2.75 |
| LIEU JAUNE | 28422 | 83810 | 2.95 |
| LIEU NOIR | 7 | 13 | 2.00 |
| LIMANDE | 30927 | 21719 | 0.70 |
| LIMANDE SOLE | 1704 | 8029 | 4.71 |
| LOTTE | 1463 | 14822 | 10.13 |
| MAQUEREAU | 1421532 | 673724 | 0.47 |
| MERLAN | 74204 | 87008 | 1.17 |
| MERLAN LIGNE | 17 | 96 | 5.79 |
| MERLU | 7 | 25 | 3.83 |
| MULET | 16301 | 7901 | 0.48 |
| ORPHIE | 1324 | 189 | 0.14 |
| PEAU BLEU | 60 | 191 | 3.16 |
| PETONCLE | 123 | 45 | 0.37 |
| PLIE | 121750 | 196264 | 1.61 |
| POULPE | 1 | 1 | 1.50 |
| RAIE | 110231 | 264151 | 2.40 |
| ROGUE | 1998 | 4515 | 2.26 |
| ROUGET BARBET | 38633 | 137749 | 3.57 |
| ROUGET CAMARD | 13242 | 3647 | 0.28 |
| ROUSSETTE | 232004 | 113221 | 0.49 |
| SAINT PIERRE | 5781 | 41263 | 7.14 |
| SARDINE | 4362859 | 1346769 | 0.31 |
| SAUMON | 3 | 15 | 6.00 |
| SEICHE | 241303 | 336736 | 1.40 |
| SOLE | 416438 | 4058055 | 9.74 |
| SOLE BLONDE | 70 | 145 | 2.08 |
| SOLE PERDRIX | 22192 | 80600 | 3.63 |
| TACAUD | 149398 | 53168 | 0.36 |
| TAUPE | 346 | 1206 | 3.49 |
| TOURTEAU | 55 | 43 | 0.78 |
| TURBOT | 33247 | 390634 | 11.75 |
| VIEILLE | 2285 | 455 | 0.20 |
| VIVE | 607 | 1865 | 3.07 |
| DIVERS | 13483 | 62323 | 4.62 |
| TOTAL GENERAL | 10092662 | 14343933 | 1.42 |

Conclusions

Hydrologie

Les résultats du programme de surveillance pour l'année 2004 sur le site de Paluel montrent l'influence des conditions météorologiques sur les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau. Lors des campagnes de juin et de septembre la mauvaise météo a conduit à des valeurs similaires sur les mesures effectuées en surface et à mi profondeur, et plus particulièrement à des valeurs très élevées de la concentration en matières en suspension en septembre.

L'année 2004, contrairement à l'année 2003, a été caractérisée par des températures d'eau plus faibles que les médianes observées depuis 1988. Les différences de température enregistrées entre les points *référence* et *rejet* ont varié entre 1,4 et 3,3 °C.

La salinité observée en avril présente des valeurs élevées pour cette période de l'année, ce qui peut s'expliquer par la faible pluviométrie enregistré sur les premiers mois de l'année. Ce phénomène a engendré une diminution des débits des fleuves côtiers et donc des salinités élevées ainsi qu'une diminution de la concentration en MES. Cette dernière a été particulièrement élevée en septembre suite aux mauvaises conditions de mer lors des campagnes de juin et septembre.

La plus forte valeur en ammonium observée au point *rejet* en juin suggère un apport par la centrale, mais compte tenu des incertitudes liées à la méthode analytique, cette valeur ne peut pas être considérée significativement différente de celle obtenue au point *canal*.

Le nitrate mesuré lors des campagnes 2004 semble avoir suivi un cycle saisonnier classique : consommation par le phytoplancton des sels nutritifs entre le printemps et l'été à la suite de l'augmentation de l'ensoleillement, suivie en automne du processus de régénération.

Les concentrations en trihalométhanes ont été faibles lors des campagnes 2004. La seule valeur dépassant le seuil analytique a été observée en septembre au point *rejet* pour le bromoforme. Cette valeur a été inférieure à 4 µg/L.

Les concentrations en bore présentent des valeurs plus élevées que les années passées.

L'étude statistique a révélé que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au point *rejet* qu'aux autres points. Cependant, les mesures indiquent que l'impact thermique est relativement réduit. En effet, les échantillons prélevés aux abords du *rejet* (quelques dizaines de mètres) présentent des taux de dilution théoriques importants (> 80 % en 2004 et près de 90 % en moyenne depuis 1988).

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

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

Microbiologie

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

La quantité de germes revivifiables reste stable au cours de la période printanière. En été une légère augmentation de leur abondance est observée aux points *canal* et *rejet*. Une diminution sensible est cependant notée en automne sur l'ensemble des points d'échantillonnage, valeurs qui deviennent plus proches de celles observées depuis 1997.

L'identification de vibrions halophiles confirme la dominance depuis 1999 de la souche de *Vibrio alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale de Paluel, avec des apparitions régulières de *Vibrio vulnificus* et plus exceptionnellement de *Vibrio parahaemolyticus*.

Bien que les méthodes d'identifications de vibrions halophiles par les deux méthodes sont proches, et que les différences observées peuvent être dues aux méthodologies et aux milieux de culture utilisés, la méthode EDF semble présenter une plus forte sensibilité pour identifier et dénombrer les vibrions quand les quantités présentes dans l'eau de mer sont faibles. Cependant, elle est moins sensible à l'identification de la souche de *V. alginolyticus* dans les eaux chaudes du *rejet* et à l'identification de *V. vulnificus* dans les eaux plus froides du point *référence*.

Les dénombrements de vibrions avec l'ancienne méthode n'ont donné de résultats que pour le mois de septembre, tandis que la méthode EDF a pu mettre en évidence la présence de vibrions dans l'eau de mer dès le mois d'avril. La comparaison entre les deux méthodes pour les dénombrements est moins aisée faute d'une plus longue série de valeurs.

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

Phytoplancton

La biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances cellulaires montrent une évolution annuelle similaire. Le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Manche, avec des biomasses comprises entre 0,51 et 1,70 µg/L de chlorophylle. Ces valeurs, du même ordre que celles observées en juin et septembre dans la série pluriannuelle, sont faibles pour la situation printanière. Les valeurs de la biomasse, de la production primaire et de l'abondance présentent les plus faibles écarts au printemps.

Les concentrations en azote inorganique ont été au dessus des médianes pluriannuelles sur les trois campagnes 2004. Cette situation a néanmoins conduit à des valeurs de production primaire inférieures aux médianes pluriannuelles sur toute l'année et à des biomasses et des abondances inférieures aux médianes en avril.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Paluel montrent bien le phénomène au cours duquel la population de la période 'hivernale' (peu abondante, mais bien diversifiée), dominée par les genres *Thalassiosira* et *Skeletonema* et avec des faibles abondances en dinoflagellés, est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia* (*Rhizosolenia delicatula*). Les dinoflagellés atteignent leur maximum d'abondance et partagent leur niche écologique avec des euglènes, plus caractéristiques des apports continentaux. Les cryptophycées, représentantes de la fraction

nanophytoplanctonique sont aussi à leur maximum. Les mauvaises conditions de mer lors de la campagne de septembre rendent difficiles l'interprétation des résultats phytoplanctoniques.

Ni l'évolutions des paramètres de biomasse ou production primaire, ni les abondances par espèce et par point ne présentent de variations pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution temporelle ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de la Manche. De plus, comme les valeurs des paramètres suivis ne sont pas systématiquement différentes au point *rejet*, nous ne pouvons pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu par l'activité de la centrale de Paluel à partir de l'étude du compartiment phytoplanctonique en 2004.

Zooplancton

L'étude du compartiment zooplanctonique en 2004 met en évidence de fortes biomasses en avril et des valeurs plus proches des médianes en été et en automne. Les médianes pluriannuelles observées au point *rejet* s'avèrent les plus élevées sur l'ensemble des campagnes. L'étude statistique confirme ce phénomène au printemps et en été, pour les séries de valeurs obtenues depuis 1988. En automne les seules différences ont été observées entre les points *référence* et *rejet*.

Les plus fortes abondances zooplanctoniques ont été enregistrées en avril au point *référence*. En juin, toutes les abondances obtenues en 2004 se situent au-dessus du nuage contenant 50 % des valeurs. Au printemps et en été, la médiane pluriannuelle du point *rejet* est supérieure à celles des autres points d'échantillonnage. Elle se situe entre les valeurs des points *canal* et *référence* en septembre. La seule différence statistique observée lors des tests est celle du couple de points *canal-rejet* en été.

Au printemps, la faune zooplanctonique a été dominée par le méroplancton à plus de 90 % (essentiellement des cirripèdes et des annélides), où les seules larves de cirripèdes ont compté pour 40 à 84 % de cette abondance. Les plus fortes dominances d'annélides ont été observées au point *canal* avec 58 %. Lors de la campagne de juin l'essentiel de la biomasse méroplanctonique a été partagé entre les larves de gastéropodes, de brachyours et de cirripèdes. Au mois de septembre, ce sont les annélides, les larves de mollusques et en moindre mesure les cirripèdes qui ont présenté les plus fortes dominances.

L'holoplancton, bien que très faiblement mis en évidence en avril, domine la biomasse zooplanctonique totale en juin et septembre à plus de 84 %. Les copépodes dominent l'holoplancton entre 94 % et 100 % sur l'ensemble de campagnes effectuées. Les espèces les plus représentatives ont été : *Acartia clausi*, *Pseudocalanus elongatus*, *Temora longicornis* et *Euterpina acutifrons*.

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

Seule la fréquence élevée des valeurs d'abondance maximums des différentes espèces de copépodes au point *rejet* pourrait suggérer une influence de la température sur ces espèces, plus mobiles que les autres individus composant la faune zooplanctonique.

Benthos subtidal

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

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

Dans sa partie côtière, la disparition de la moulière à *Mytilus edulis* perdure ainsi que son remplacement par des Tuniciers, en particulier *Styela clava*, *Styela coriacea*, *Molgula manhattensis* et *Dendrodoa grossularia*. Les quelques individus de *M. edulis* récoltés cette année montrent qu'un recrutement de l'espèce est toujours possible.

Le sédiment grossier de cette partie (points 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 des Tuniciers et des Annélides tubicoles de substrat dur (depuis 1990).

La transition avec les sables hétérogènes s'effectue depuis 1993 au niveau du point 16, qui est depuis cette période la station dont les variations sédimentaires interannuelles sont les plus marquées.

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

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

La répartition spatio-temporelle des stations de prélèvement est bien adaptée à la variabilité observée sur le site : une campagne au printemps et une autre en automne, complétées de prélèvements intermédiaires aux points 1 et 6, qui constituaient au début du suivi la partie la plus variable de la zone, recentrées sur la zone côtière proche de la centrale, et qui permettent le cas échéant de lier d'éventuelles fluctuations globales des peuplements benthiques à la variabilité spatio-temporelle du recrutement de certaines espèces (*Mytilus edulis*, Tuniciers). Le suivi du point 2 paraît suffisant pour vérifier la stabilité interannuelle de la zone située plus au large. Le système semble maintenant ne plus évoluer et n'être soumis qu'à des fluctuations interannuelles assez banales. L'extension de *Crepidula fornicata* à l'ensemble de la zone est la seule évolution récente.

Benthos intertidal

Cette campagne estivale 2004 de suivi de la population d'*Idotea granulosa* sur les estrans de Saint Valery en Caux et Veulettes sur Mer a mis en évidence de valeurs de biomasse de *Fucus vesiculosus* conformes à la moyenne observée depuis la reconstitution des ceintures en 1991 et 1996, respectivement à Veulettes et Saint Valery. De façon surprenante, au début de l'été 2004, la couverture algale est plus dense à St Valery qu'à Veulettes mais cette situation s'inverse au cours de l'été pour revenir au schéma classique confirmé par les observations à long terme.

Concernant la population des Idotés, les valeurs brutes et résiduelles montrent un recrutement important en 2004 (98 ± 29 ind./m² et 174 ± 109 ind./m² en moyenne respectivement à Saint Valery et Veulettes) dont le maximum a eu lieu dans le courant du mois de juin ; un autre épisode de recrutement moins intense est également observé dans le courant du mois de juillet.

Il en résulte un nombre d'Idotés pour 100 g de *Fucus vesiculosus* (26 ± 14 Ind/100g) légèrement supérieur à la moyenne. Le pourcentage d'Idotés par unité de biomasse ne diffère pas sensiblement d'un site à l'autre mais le site de Veulettes a un plus grand potentiel du fait d'une meilleure couverture algale, ce que confirme également l'analyse à long terme.

Concernant l'évolution à long terme du peuplement on rappelle que le déclin de la ceinture algale sur les deux sites à la fin des années 1980 s'est révélé être transitoire et ne semble pas directement imputable à l'exploitation du CNPE compte tenu de la direction privilégiée Est-Ouest de la dispersion.

On observe une évolution tout à fait comparable de la population des Idotés sur le site "témoin" et le site "impacté". Cette dynamique révèle des fluctuations périodique de 2-3 ans ainsi qu'une modification depuis les années 1990 de l'amplitude, qui met en évidence une tendance à la hausse des effectifs.

Ces conclusions ont été rendues à partir des données des effectifs totaux des Idotés. Nous avons remarqué que la variations des effectifs des juvéniles était en grande partie responsable de la forte variabilité du signal. Il sera intéressant à l'avenir de détailler l'analyse de l'évolution des effectifs moyens en fonction du sexe et du stade de maturation (juvénile / adulte).

Phytobenthos intertidal

Les relevés effectués au cours de l'année 2004 ont montré :

- la confirmation, après avoir connu de très faibles valeurs en 2001, de la stabilisation du peuplement de *Fucus sp.* des différents platiers étudiés depuis 1994 ;
- l'analyse statistique des résultats que nous cumulons maintenant depuis dix ans nous suggère qu'il n'y a pas d'évolution notable de la biomasse des *Fucus sp.* ;
- les résultats de l'année 2004 confortent l'hypothèse que nous avançons déjà les années précédentes selon laquelle il existerait un cycle naturel d'environ trois ans ;

- la fertilité printanière des pieds de *Fucus sp.* sur le peuplement étudié est globalement comparable à celle observée depuis le début de cette étude avec logiquement un minimum printanier et un maximum automnal.

Toutefois il faut remarquer que le minimum de 3 % observé en mars sur le site de Val Martin est exceptionnellement bas, une telle valeur n'ayant jamais été observée depuis 1997. En revanche le maximum de 78 % observé en septembre sur ce même site est parfaitement dans la moyenne calculée depuis 1997, à savoir 80 %

Nous ne pouvons avancer d'explication à ce phénomène, seule la poursuite de ce suivi permettra de le confirmer ou non, notamment à partir des valeurs de la biomasse printanière de l'année 2005.

BIBLIOGRAPHIE

- ABARNOU, A., 1981
Aspects chimiques de la chloration de l'eau de mer. *Rapport ISTPM*, 92 pp.
- ABARNOU, A., GUILLAUD, J-F., MIOSSEC, L., BATT, A. 1990
La chloration des effluents urbains avant rejet en mer. *Rapports scientifiques et techniques de l'Ifremer*. N°20, 167 pp.
- AGOUMI, A., ENDERLE, M.J. & GRAS, R.A. 1983
Modélisation du régime thermique de la Manche. *Oceanologica Acta*, 6, (4) 393-406
- AMINOT, A., CHAUSSEPIED, M. 1983
Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO)*, Brest, 395 pp.
- ARZUL, G., ERARD-LE DENN, E., QUINIOU, F., HALGAND, D., TÉTARD, A. 1990
Surveillance écologique et halieutique, site de Penly : rapport définitif
/.Nantes:IFREMER,1990.-96 p. : fig., tabl. ; 30 cm..-
- 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.
- 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
- 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.
- BROUARDEL, J., RINCK, E. 1963
Mesure de la production organique en Méditerranée, dans les parages de Monaco, à l'aide du ¹⁴C. *Ann. Inst. Océanogr. Monaco*, n. Sér., 40 (2) :109-164.
- 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
- 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. MIGNE, 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. MIGNE. 1994 à 2003. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieutique, site de Paluel. *Rapport Ifremer*.

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

Étude 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.] -

DEWARUMEZ, J.M. 1979.

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

DEWARUMEZ, J.M., N. DEWARUMEZ, H. GROSSEL & D. MENU. 1980.

Le domaine benthique, In : Étude écologique du site de Paluel – Suivi 2^{ème} année – CNEXO – IBMRW, contrat 78/1970 B.

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

DEWARUMEZ J.M. & I. SAUDEMONT. 1985.

Le domaine benthique intertidal, In : Etude de Surveillance Ecologique du Site de Paluel (Année 1983), CNEXO – SMW, contrat 85/2951-F, 21 pp.

DEWARUMEZ, J.M. & D. MENU. 1986.

Le domaine benthique intertidal, In Surveillance Ecologique du Site de Paluel (Novembre 1981 - Octobre 1982), IFREMER – SMW, DERO – 86.39-EL, 123-150.

DEWARUMEZ, J.M. & D. MENU. 1986.

Le domaine benthique intertidal, In Surveillance Ecologique du Site de Paluel (Novembre 1984 - Octobre 1985), IFREMER – SMW, DERO – 86.39-EL, 17 pp.

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.

EDF, 2003

Rapport annuel de surveillance de l'environnement du CNPE de Paluel - année 2003

- ERICKSON, S. J. ET FREEMAN, A. E., 1978
Toxicity screening of fifteen chlorinated and brominated compounds using four species of marine phytoplankton. *In : Water Chlorination*. vol. 2., 307-310. Jolley et al. Ed.
- 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.
- GENESTE, C. 1999
Infections à vibrions non cholériques : étude des cas survenus en France métropolitaine et identifiés par le Centre National de Références des vibrions et du choléra, de 1995 à 1998 . *Thèse de Doctorat en Médecine*, 74 pp.
- GENTILHOMME, V., LIZON, F. 1998
Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal system (Eastern English Channel). *Hydrobiologia*. 361 : 191-199.
- GOHIN, F., DRUON, J-N., LAMPERT, L., 2002
A five channel chlorophyll concentrations applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters. *Int. J. Remote Sensing*. Vol. 23 N°8, 1639-1661.
- GOHIN, F., LAMPERT, L., GUILLAUD, J-F., HERBLAND, A., NEZAN, E., 2003
Satellite and in situ observation of the late winter phytoplankton bloom, in the northern Bay of Biscay. *Continental Shelf Research*. In press.
- GROSSEL, H., DEWARUMEZ, N. , LE FEVRE-LEHOERFF, G., ARNAL, O., DEWARUMEZ, J.M. 1981
Etude de surveillance écologique du site de Paluel. (Seine- Maritime). 1979 1981.-
Rapport Contrat, CNEXO/EDF 78/1911 [2 Vols.]:85P.,Fig.
- GROSSEL, H., DEWARUMEZ, N. , LE FEVRE-LEHOERFF, G., QUINTIN, J-Y., ARNAL, O., DEWARUMEZ, J.M., MENU, D. 1983.
Étude 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.]
- HORLYCK, V. 1973.
Seasonal and diel variation in the rhythmicity of *Idotea balthica* (Pallas) and *Idotea granulosa* Rathke, *Ophelia* 12 : 117-127.
- 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.
- 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.

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.

LABRY, C., HERBLAND, A., DELMAS, D., LABORDE, P., LAZURE, P., FROIDEFOND, J-F., JEGOU, A-M., SAUTOUR, B., 2001

Initiation of winter phytoplankton blooms within Gironde plume waters in the Bay of Biscay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 212, 117-130.

LAMPERT, L. 2001

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

LOQUET, N., J.D. TALLEUX, M. DESPREZ & B. FERTÉ. 2003.

Le domaine benthique intertidal, In Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 2003), *IFREMER – GEMEL*, contrat 2003-6-6582409, DEL/Port en Bessin.

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

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. *Électricité De France, Direction des études et recherches*, HE041/77.013

MIOSSEC, L. 2002

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

NAYLOR, E. 1955.

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

RAGUENEAU, O., DE BLAS VARELA, E., TRÉGUER, P., QUÉGUINER, B., DEL AMO, Y. 1994.

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

RICHARD-SAUDEMONT, I. 1987.

Le domaine benthique intertidal, In Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1986), *IFREMER – SMW, DERO-87.26-EL.*, 104-120.

RICHARD, I. 1988.

Le domaine benthique intertidal, In Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Novembre 1986 - Octobre 1987), *IFREMER – SMW, DERO-88.28*, 55-89.

RICHARD, I. 1990.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1989), *IFREMER – SMW, DRO.EL-90.28*, 63-83.

RICHARD, I. 1991.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1990), *IFREMER – SMW*.

RICHARD, I. 1992.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1991), *IFREMER – SMW*.

RICHARD, I. 1993.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1992), *IFREMER – SMW*.

RICHARD, I. 1994.

Le domaine benthique intertidal, In : Rapport Annuel de Surveillance de l'Environnement du CNPE de Paluel (Année 1993), *IFREMER-SMW, 77-105*.

RICHARD, I. 1995.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1994), *IFREMER – SMW, DEL/Port en Bessin, 79-105*.

RICHARD, I. 1996.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1995), *IFREMER – SMW, DEL/Port en Bessin, 75-99*.

RICHARD, I. 1997.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1996), *IFREMER – SMW, DEL/Port en Bessin-97.02, 75-95*.

RICHARD, I. 1998.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1997), *IFREMER – SMW, DEL/Port en Bessin, 79-101*.

RICHARD, I. 1999.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1998), *IFREMER – SMW, DEL/Port en Bessin, 107-125*.

RICHARD, I. 2000.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 1999), *IFREMER – SMW, DEL/Port en Bessin*, 111-139.

RICHARD, I. 2001.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 2000), *IFREMER – SMW, DEL/Port en Bessin*, 119-149.

RICHARD, I. 2002.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 2001), *IFREMER – SMW, DEL/Port en Bessin*.

RICHARD, I. 2003.

Le domaine benthique intertidal, In : Surveillance Ecologique et Halieutique du Site de Paluel (Année 2002), *IFREMER – SMW, DEL/Port en Bessin*, 143-168.

SARS, G.O. 1899.

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

SCHERRER, B. 1984

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

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

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

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.

SYWALA, T. 1964.

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

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

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

UTERMOHL, H. 1958

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