

Luis LAMPERT (coordinateur)

Jean-Michel BRYLINSKI
Françoise DAGAULT
Dominique DAVOULT
Luis LAMPERT
Antoine MEIRLAND
Jean-Paul DELPECH
Frank MAHEUX
Dorothée VINCENT

mars 2006 – Rapport RST – LERN 06/01

Surveillance écologique et halieutique du site Electronucléaire de Paluel

Année 2005

Rapport scientifique annuel



Le Nautille à -1000m, Luis Lampert, gouache, 2005

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques)	
Numéro d'identification du rapport : RST LERN 06.01	date de publication : mars 2006
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
DAGAULT Françoise	IFREMER / LERSM
DAVOULT Dominique	Station marine de Roscoff
DELPECH Jean-Paul	IFREMER/ Boulogne / DRV/ RH
MEIRLAND Antoine	GEMEL Picardie
MAHEUX Frank	IFREMER / LERN
VINCENT Dorothée	Université du Littoral et Côte d'Opale
Collaborateur(s) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
CRASSOUS Marie-Pierre	IFREMER / DYNECO
LE GRAND Jacqueline	IFREMER / DYNECO
d'ELBEE Jean	LAPHY / Biarritz
JUSTOME Vincent	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 Université du Littoral Côte d'Opale (MREN) 32, Av. Foch, 62930 Wimereux	
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, 2005, NO THALIA.	

Résumé : <i>L'étude n°28 du site électronucléaire de Paluel (département de la Seine-Maritime) concerne l'année 2005. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2005 est la 22^{ème} année de fonctionnement de la Centrale.</i>
Abstract : <i>Monitoring n°28 of the Paluel nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2005. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for twenty two 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> (2005) - Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel, année 2005 - Rapport scientifique annuel. Rapp. IFREMER RST LERN 06.01, mars 2006, 173 pp. <u>Référence particulière</u>

SOMMAIRE

Résumé

Préambule 1

Introduction..... 3

1. Généralités 4

1.1. Introduction..... 6

1.2. Géographie..... 6

1.3. Géologie 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 25

2.1. Méthode 26

2.2. Résultats des mesures de la surveillance pour l'année 2005..... 28

2.2.1. Température 29

2.2.2. Salinité 36

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 55

3.1. Introduction..... 56

3.2. Matériel, méthodes d'analyses et détermination..... 56

3.3. Résultats 58

3.3.1. Dénombrement des germes totaux en épifluorescence 59

3.3.2. Dénombrement des germes revivifiables 62

3.3.3. Recherche de vibrio-halophiles 65

3.4. Conclusion..... 69

4. Le phytoplancton..... 71

4.1. Introduction..... 72

4.2. Matériel et méthode 72

4.3. Résultats 74

4.3.1. Biomasse chlorophyllienne 74

4.3.2. Production primaire 77

4.3.3. Microphytoplancton..... 80

4.3.4. Populations observées en 2005 82

4.4. Bilan des résultats entre *canal* et *rejet*..... 85

4.5. Conclusion..... 87

5. Le zooplancton	88
5.1. Introduction.....	89
5.1. Matériel et méthodes.....	89
5.1. Résultats	90
5.3.1. Biomasse zooplanctonique.....	91
5.3.2. Abondances zooplanctoniques.....	93
5.3.3. Étude faunistique	96
5.3. Conclusion.....	104
6. Le benthos subtidal.....	105
6.1. Introduction.....	106
6.2. Méthodologie.....	107
6.3. Résultats	110
6.3.1. Analyse granulométrique	110
6.3.2. Analyse faunistique.....	112
6.4. Conclusion.....	117
7. Benthos intertidal	124
7.1. Introduction.....	125
7.2. Écologie et biologie d' <i>Idotea granulosa</i>	125
7.3. Méthodologie.....	126
7.4. Résultats	128
7.5. Évolution à long terme du benthos.....	138
7.4. Conclusions.....	147
8. Le phytobenthos intertidal	148
8.1. Généralités	149
8.2. Matériel et méthodes.....	149
8.3. Résultats	150
8.4. Analyse des tendances temporelles du Fucus	155
8.5. Conclusion.....	156
9. Halieutique	158
9.1. Situation au 31.12.2004	159
9.2. Production	160
CONCLUSIONS	162

Résumé

Comme lors des années 2003 et 2004, 2005 a été une année chaude et sèche. Les variations de température entre l'hiver et l'été ont été cependant plus marquées, avec un hiver particulièrement froid et un été très chaud. Les faibles précipitations du début et fin de l'année ont entraîné des faibles apports fluviaux qui ont eu comme conséquence les fortes salinités du printemps. Les concentrations en azote minéral dissous sont restées proches des valeurs des médianes de la série 1988-2005. Les concentrations en matières en suspension (MES) sont passés d'un maximum printanier à un minimum automnal. Ce paramètre étant toujours très influencé par l'état de la mer. Les seules concentrations en bromoformes supérieures au seuil de détection ont été enregistrées en juin, où au point *rejet*, où elle atteint 8 µg/L. Les concentrations en bore sur l'ensemble de points est particulièrement stable et ne présente pas de différences significatives à l'exception de la valeur observé au point *rejet* en juin.

Les abondances en germes totaux et germes revivifiables sont stables par rapport à celles observées en 2004. Les résultats obtenus en 2005 confirment la dominance des vibrions halophiles *Vibrio alginolyticus* et *Vibrio vulnificus* dans les eaux proches de la centrale de Paluel, tout particulièrement en été et automne.

Dans le compartiment phytoplanctonique, les valeurs de biomasse chlorophyllienne et production primaire sont légèrement inférieures aux médianes pluriannuelles en juin et septembre et similaires ou supérieures en mars. Les abondances phytoplanctoniques sont, quant à elles, supérieures aux médianes pluriannuelles en mars et juin et inférieures en septembre. Les successions phytoplanctoniques ont été celles observées classiquement depuis 1988.

Les biomasses et abondances zooplanctoniques ont été proches ou inférieures aux médianes au printemps et en automne, et supérieures en été. L'holoplancton est toujours dominé par les copépodes (à plus de 97 %) sur toute l'année et le méroplancton par les larves de cirripèdes et mollusques.

L'étude sédimentaire du benthos subtidal en 2005 confirme la tendance observée depuis 1990, le système semble maintenant ne plus évoluer et n'être soumis qu'à des fluctuations interannuelles assez banales. Les peuplements de cailloutis est stable et l'invasion de *Crepidula fornicata* à l'ensemble de substrats semble se poursuivre. Deux nouvelles espèces, présentes en Manche mais jamais identifiées à Paluel, ont été observées : il s'agit de l'annélide polychète *Platynereis dumerili* et du mollusque bivalve *Glycymeris glycymeris* (amande de mer).

En 2005, les abondances estivales d'Idotées ainsi que la biomasse des fucales lui servant d'habitat ont été en augmentation par rapport aux valeurs enregistrées en 2004. L'évolution des Idotées entre les deux sites étudiés (en amont et en val de la centrale) sont comparables et ne présentent pas de différences significatives. Les biomasses de fucales présentent des cycles naturels de trois ans environ.

En mars et en septembre ont eu lieu les campagnes de prélèvement pour le suivi du phytobenthos intertidal. Les densités algales sur les points Val Martin et Veulettes sont en augmentation par rapport à celles observées en 2004, tandis qu'au point Saint Valery-en-Caux elles sont restées stables. Un cycle naturel de trois ans est observé également dans l'évolution de la biomasse des fucales lors de ces campagnes printanières et automnales.

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 2005, l'état d'avancement a été adressé à EDF en juin 2005.

Le rapport final, 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 2005, les études réalisées sur le site de Paluel ont été menées sous la responsabilité de :

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

Jean Paul DELPECH pour l'halieutique

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

Frank MAHEUX, Ifremer/LERN, pour le phytobenthos intertidal

Antoine MEIRLAND, Gemel de Picardie, pour le benthos intertidal

Dorothee VINCENT et Jean-Michel BRYLINSKI (Université du Littoral Côte d'Opale), **Françoise DAGAULT** (Ifremer LER/SM), **Luis LAMPERT** (LERN) 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, au GEMEL de Picardie pour le benthos intertidal et à l'Université du Littoral Côte d'Opale pour le zooplancton.

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 17 mars, 29 juin et 14 septembre 2005.

1. Généralités

Rédaction Luis Lampert (LERN)

Données Météo Météo France,
CNPE Paluel.



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.

Géologie de la Haute-Normandie

CNPE de PALUEL

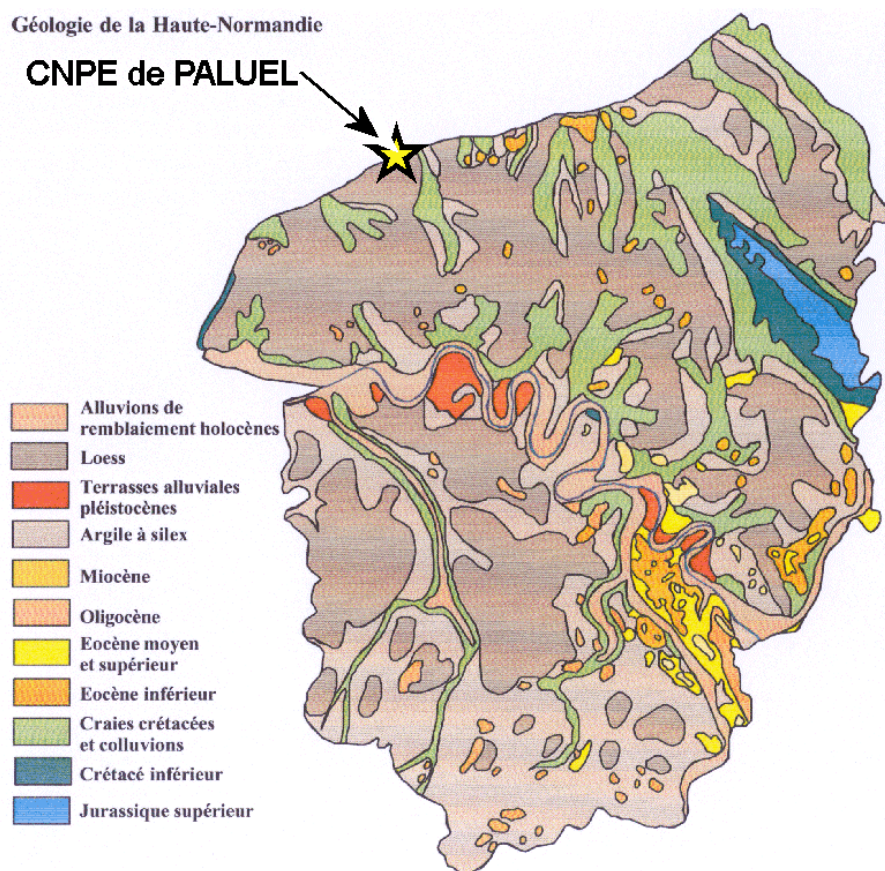


Figure 1.2 : carte géologique de la région 'Haute-Normandie'

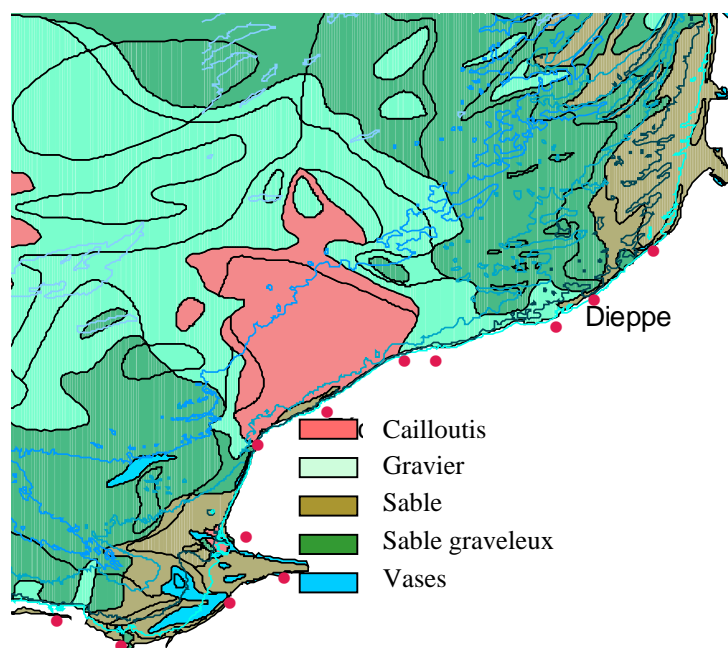


Figure 1.3 : caractéristiques des sédiments marins autour de la centrale de Paluel

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, sédimentent d'innombrables micro-organismes à test calcaire. Leur accumulation sera à l'origine d'une roche calcaire tendre : la craie, parfois appelé *Marne* dans la région (figure 1.2.).

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

Plus récemment, à l'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.

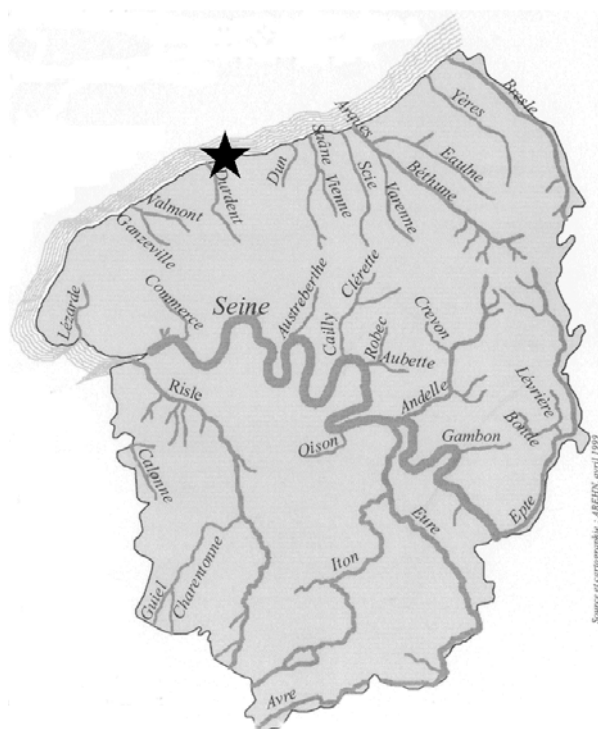


Figure 1.4 : Principaux fleuves de la région Haute-Normandie

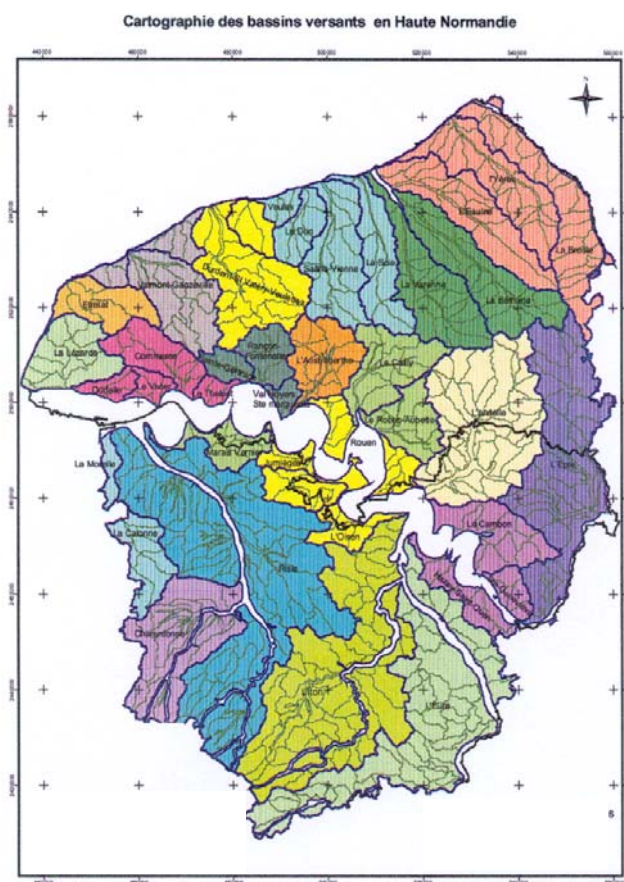


Figure 1.5 : Bassins versants de la région Haute-Normandie

1.5. Hydrographie marine

1.5.1. Marées

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

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

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

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.

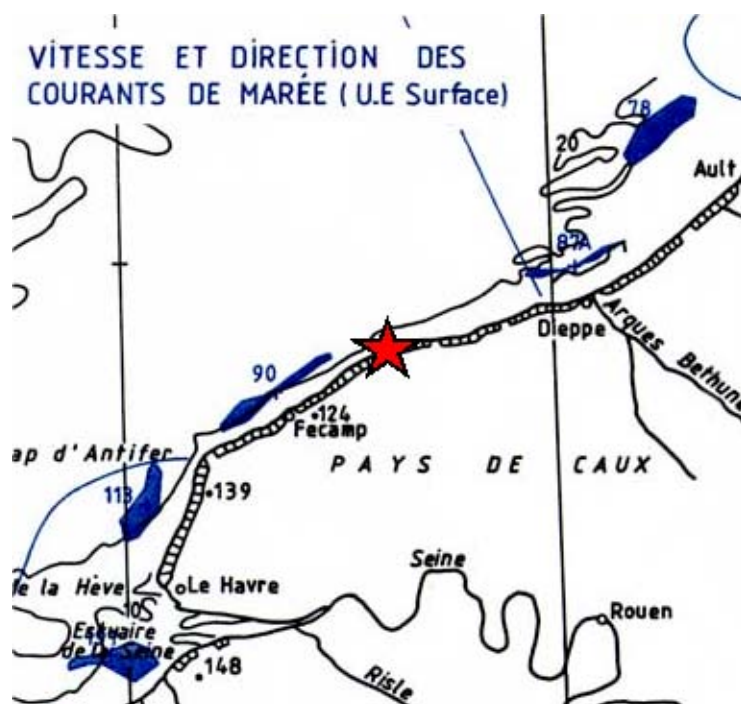


Figure 1.6 : Courants de marée en Haute-Normandie

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.

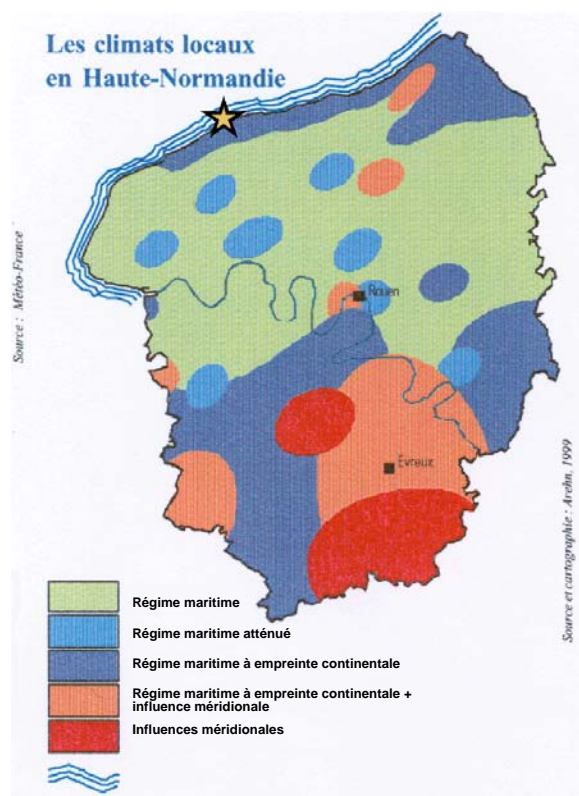


Figure 1.7 : situation climatologique de la région Haute-Normandie

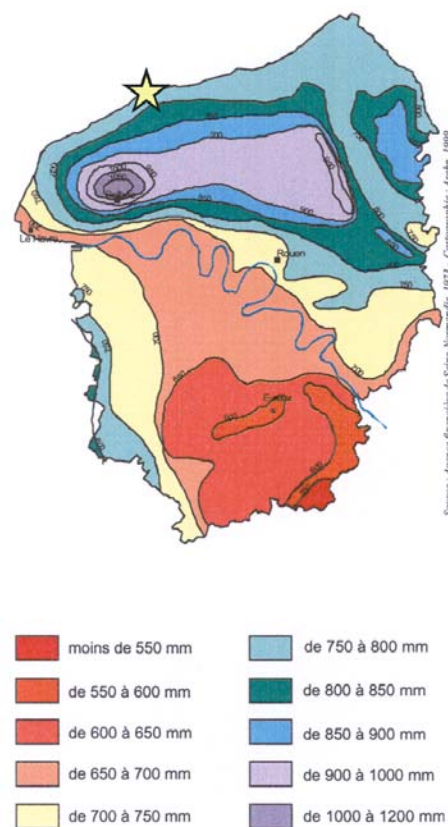


Figure 1.8 : Pluviométrie moyenne annuelle de la région Haute-Normandie sur 30 ans.

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.

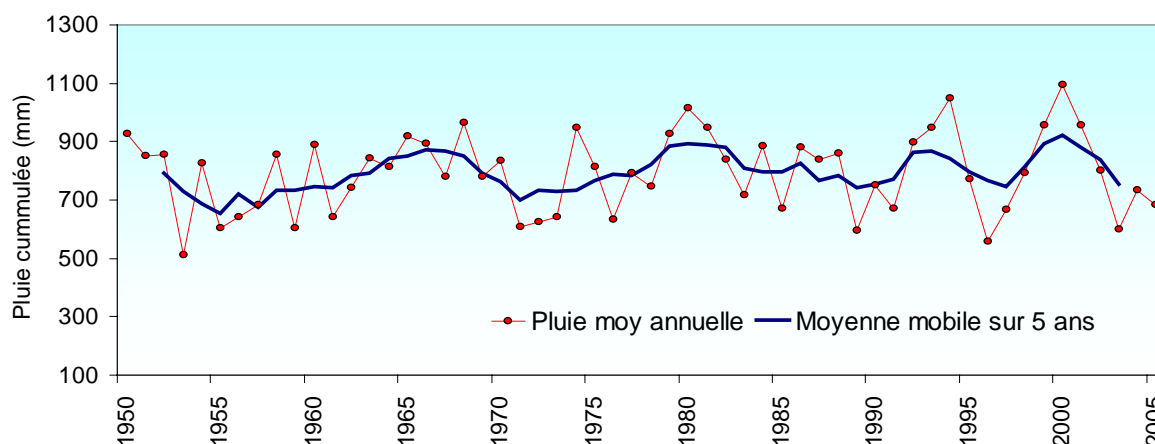


Figure 1.9 : Pluie moyenne annuelle à Dieppe depuis 1950 et moyenne mobile sur cinq ans

La moyenne de précipitations annuelles entre 1950 et 2005 est de 792,2 mm. L'écart des valeurs annuelles à cette moyenne montre que la période 1999-2002 a été excédentaire et que les années 2003 à 2005 présentent un déficit (figure 1.10).

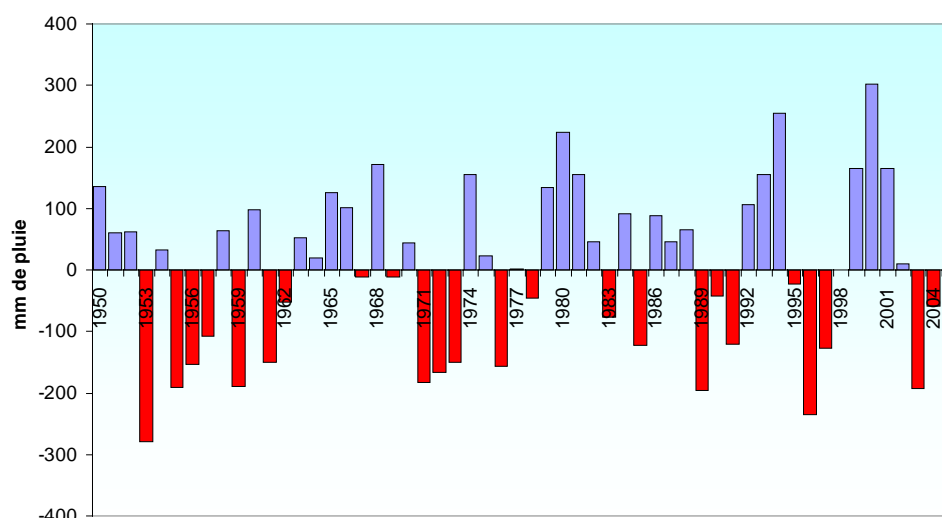


Figure 1.10 : Écarts annuels de pluie à la moyenne 1950-2005

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.

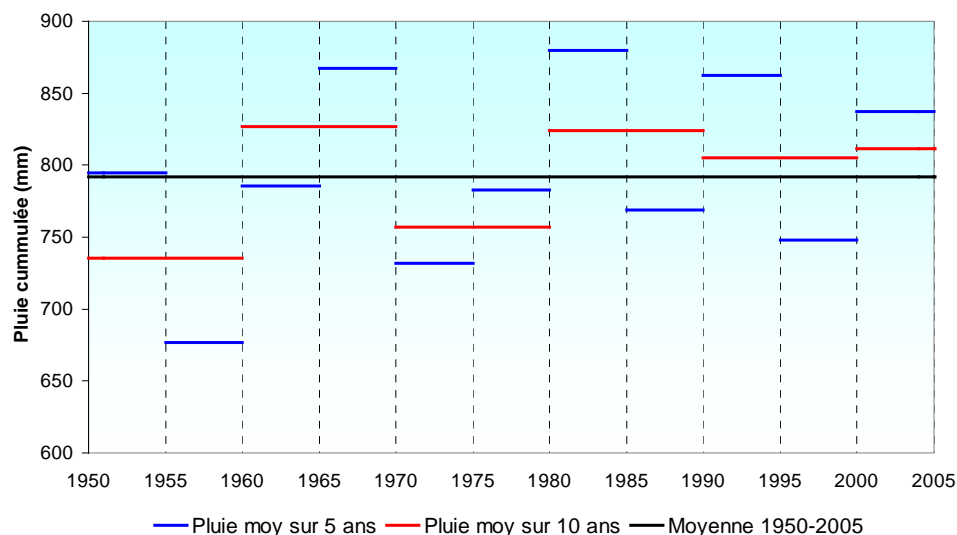


Figure 1.11 : Valeurs moyennes de pluie à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait rouge). Le trait noir représente la moyenne de pluies de la période 1950-2005

La valeur moyenne de précipitations sur la période 1967-2004 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 2005 les mois d'avril, mai et juin ont été proches de la moyenne pluriannuelle, tandis que de janvier à mars les précipitations ont été en dessous. A titre comparatif, en 2003, le cumul de pluies des premiers six mois a été de 281mm, en 2004 de 311mm et en 2005 de 283mm pour la même période. En juillet les précipitations se situent au dessus des moyennes pour redescendre par la suite en août, septembre, octobre et novembre. En décembre nous observons un retour aux moyennes.

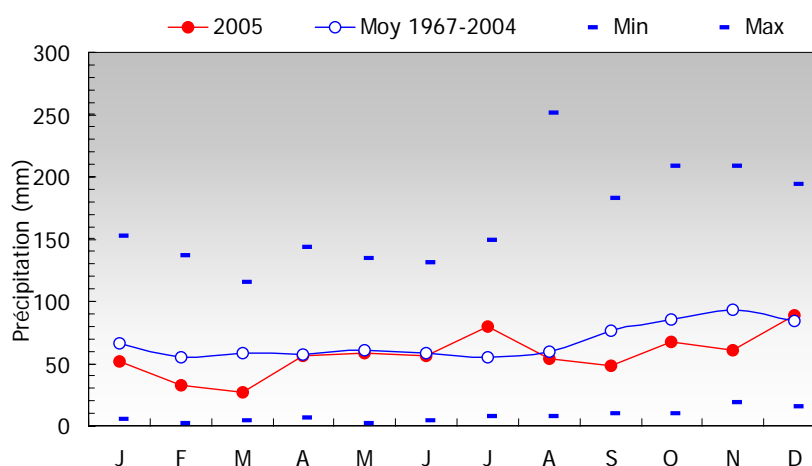


Figure 1.12 : Hauteur de précipitations mensuelles à Dieppe en 2005 et au cours de la période 1967-2004

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.

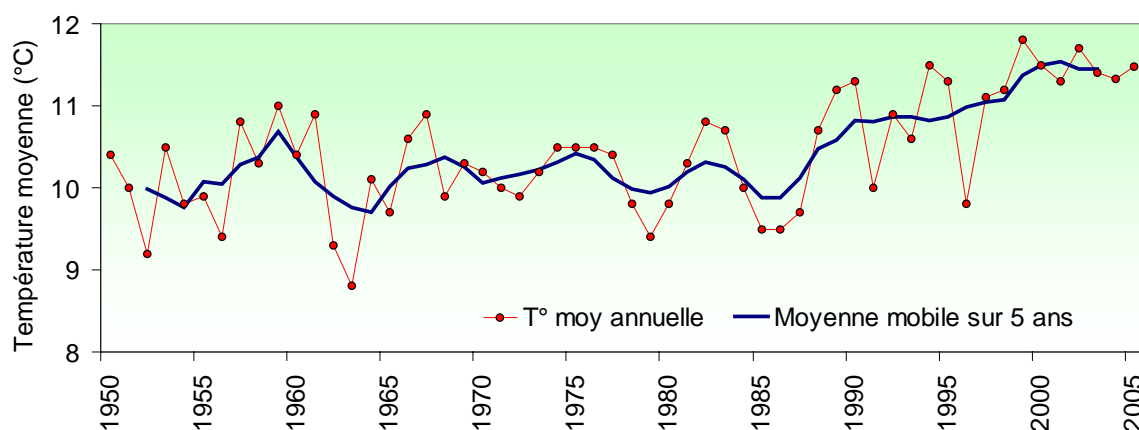


Figure 1.13 : Température moyenne annuelle à Dieppe depuis 1950 et moyenne mobile sur cinq ans

Cette évolution est clairement mise en évidence par les écarts des valeurs annuelles à la moyenne générale de la période 1950-2005 (figure 1.14), où depuis 1988, seule les années 1991 et 1996 ont été en dessous de la moyenne.

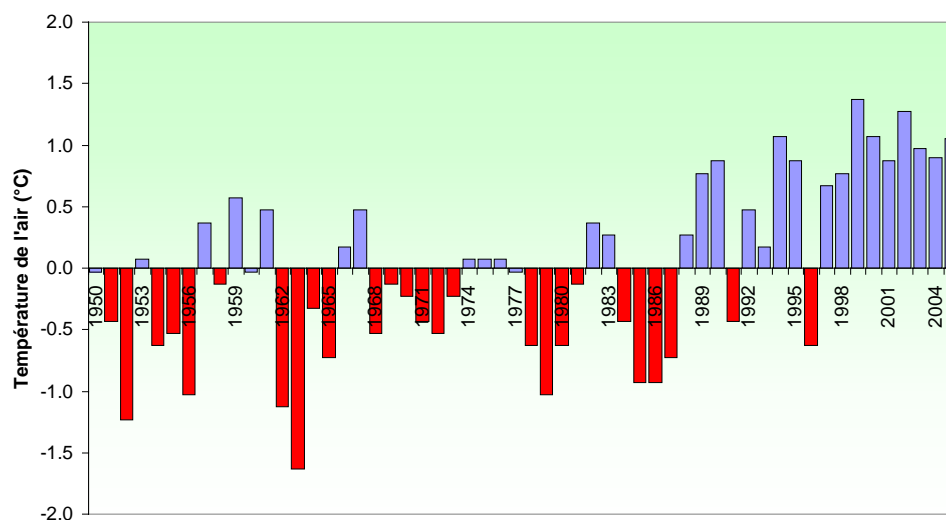


Figure 1.14 : Écarts annuel de température à la moyenne 1950-2005

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).

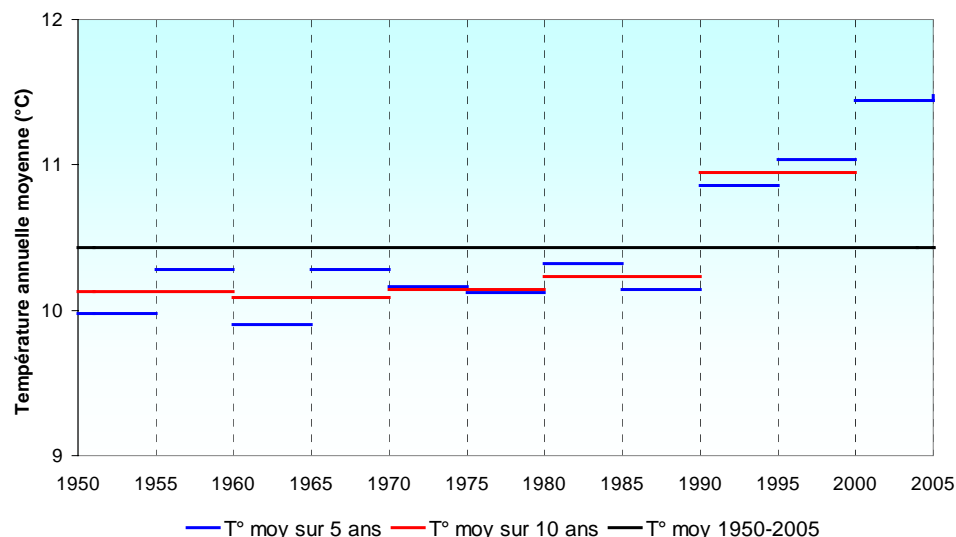


Figure 1.15 : Valeurs moyennes de température de l'air à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait rouge). Le trait noir représente température moyenne de la période 1950-2005

A l'exception de la situation des mois de février et de décembre, la température mensuelle moyenne de l'air enregistrée à Dieppe a été toujours supérieure à celle de la moyenne pluriannuelle de la période 1972-2004 (figure 1.16). Les mois de août et de novembre présentes de valeurs très proches de la moyenne.

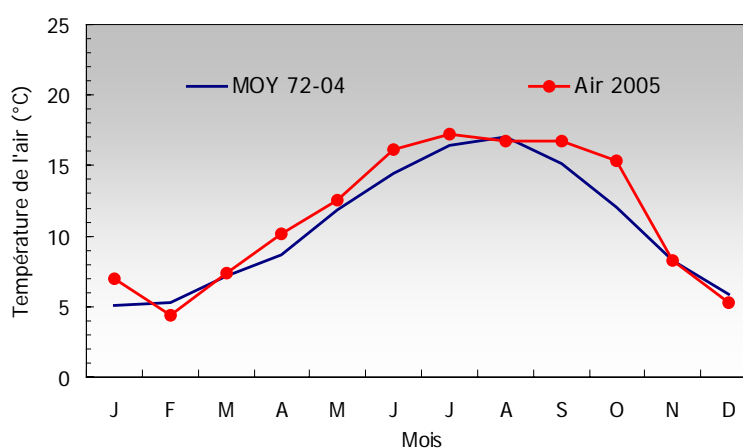


Figure 1.16 : Température moyenne mensuelle de l'air à Dieppe en 2005 et au cours de la période 1972-2004

1.6.4. Débit de la Seine

Le débit mensuel de la Seine dans le premier semestre présente de valeurs inférieures à la moyenne pluriannuelle 1941-2005 (figure 1.17). Les pluies de juillet, d'août et de septembre ont eu comme conséquence l'augmentation du débit moyen de la Seine jusqu'aux valeurs moyennes, pour redescendre en dessous en hiver.

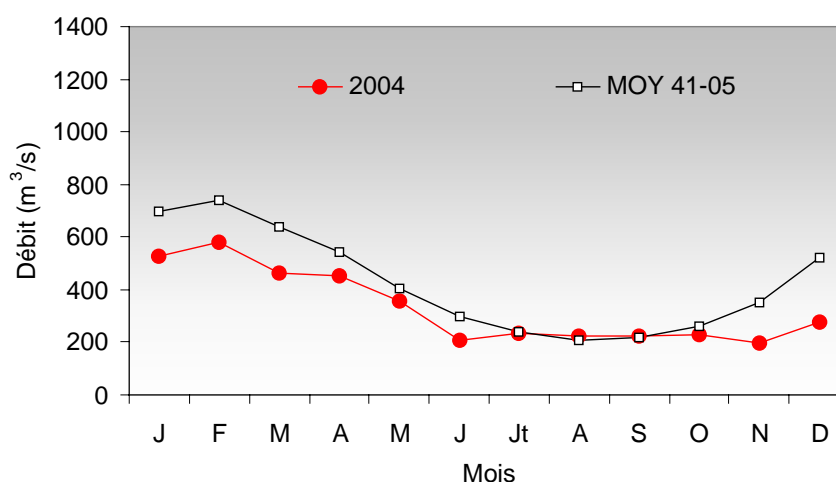


Figure 1.17 : Débit mensuel moyen de la Seine (à Poses) en 2005 et moyenne de la période 1941-2005

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.

En dehors des arrêts de deux ou trois jours, un arrêt du 30 avril jusqu'au 21 août a eu lieu sur la tranche 2 (figure 1.18). Les tranches 3 et 4 ont été également arrêtées pendant une vingtaine de jours au mois de juillet. La tranche trois, finalement, a connu un arrêt d'un mois et demi en octobre et novembre.

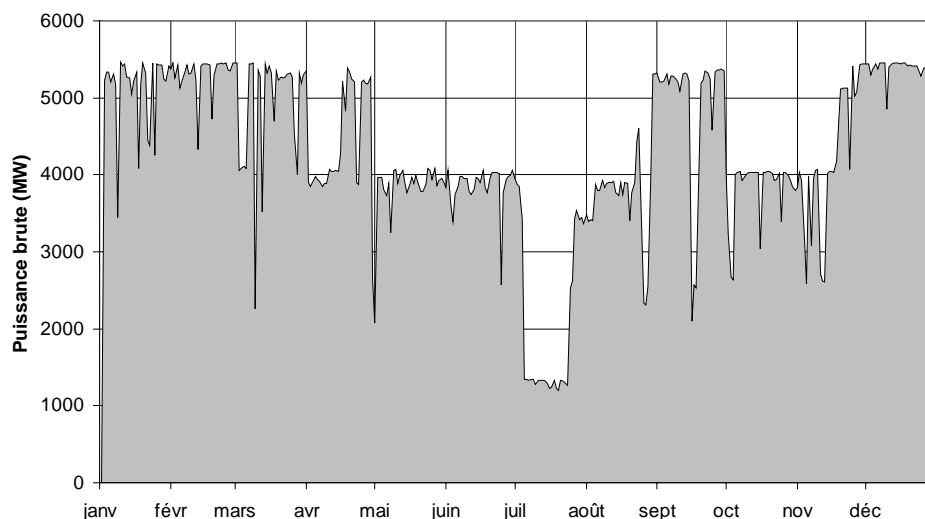


Figure 1.18 : Puissance brute de l'ensemble des quatre tranches de la CNPE de Paluel au cours de l'année 2005

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 canalisations (figure 1.19). Un écart est relevé autour du 24 juillet, où la température de l'eau de mer à l'entrée des tranches 1 et 2 a été supérieure de 2°C à celle enregistrée pour les tranches 3 et 4.

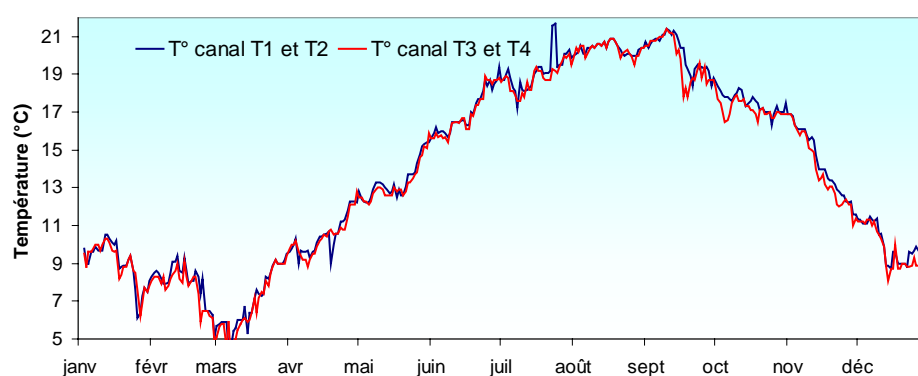


Figure 1.19 : Températures relevées par l'EDF quotidiennement sur chacun des deux canaux d'amenée

La figure 1.20 présente la température journalière enregistrée au canal d'aménée, 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, trois périodes, de janvier à février et en juin, présentent des valeurs au-dessus de la moyenne pluriannuelle, atteignant en janvier et juin les valeurs maximales de la série. Dans le deuxième semestre nous observons le même phénomène sur la presque totalité de la période, où les valeurs maximales de la série ont été atteints au mois d'octobre. Aux mois de février et mars, sur une période d'environ un mois, ont été observées des valeurs inférieures à la moyenne, valeurs qui ont représenté les minimums de la série sur presque un mois. Le gradient de température mis en évidence entre janvier et mars montre une forte chute de la température de l'eau de mer sur 60 jours environ.

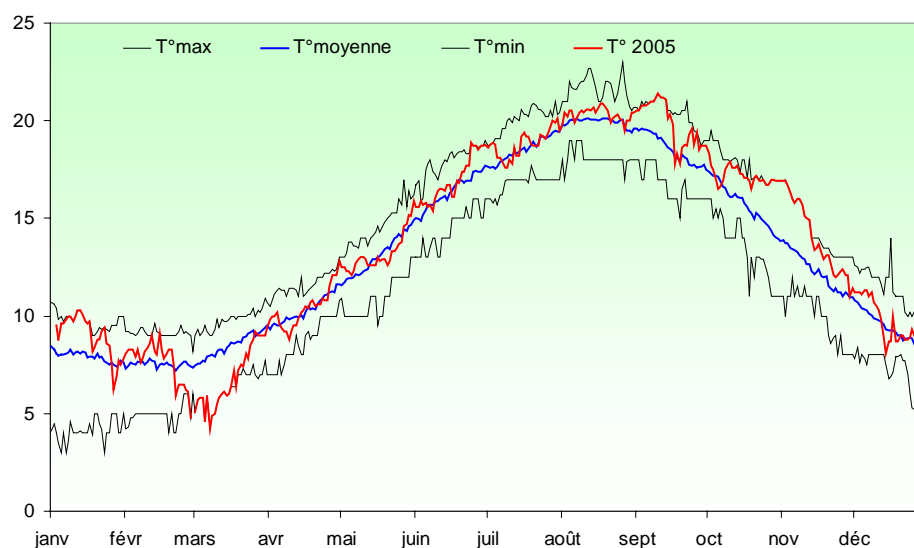


Figure 1.20 : Évolution de la température journalière (à 16 h) de l'eau de mer dans le canal d'aménée du CNPE de Paluel au cours de l'année 2005 et moyenne journalière sur la période 1991-2005

Les valeurs des températures de l'air mesurées à Dieppe (fournies par Météo France pour la période de janvier à décembre 2005) et celles de l'eau de mer fournies par EDF (pour la même période) montrent une évolution similaire avec un décalage dans le temps (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).

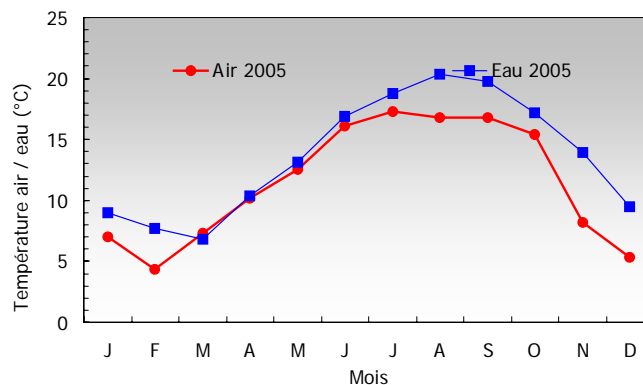


Figure 1.21 : Évolution des températures moyennes mensuelles de l'air à Dieppe et de l'eau de mer au canal d'amenée en 2005 au CNPE de Paluel

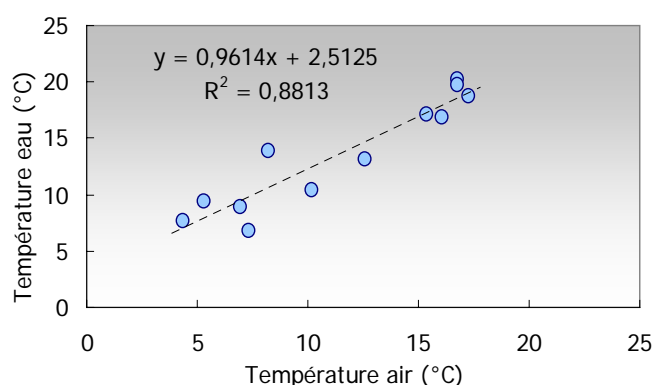


Figure 1.22 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau du canal d'amenée (données EDF) en fonction de celle de l'air à Dieppe (données Météo France).

Le passage de l'eau du canal d'amenée dans le circuit secondaire du 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 2 depuis la fin du mois d'avril jusqu'au mois d'août et des tranches 3 et 4 à différentes périodes.

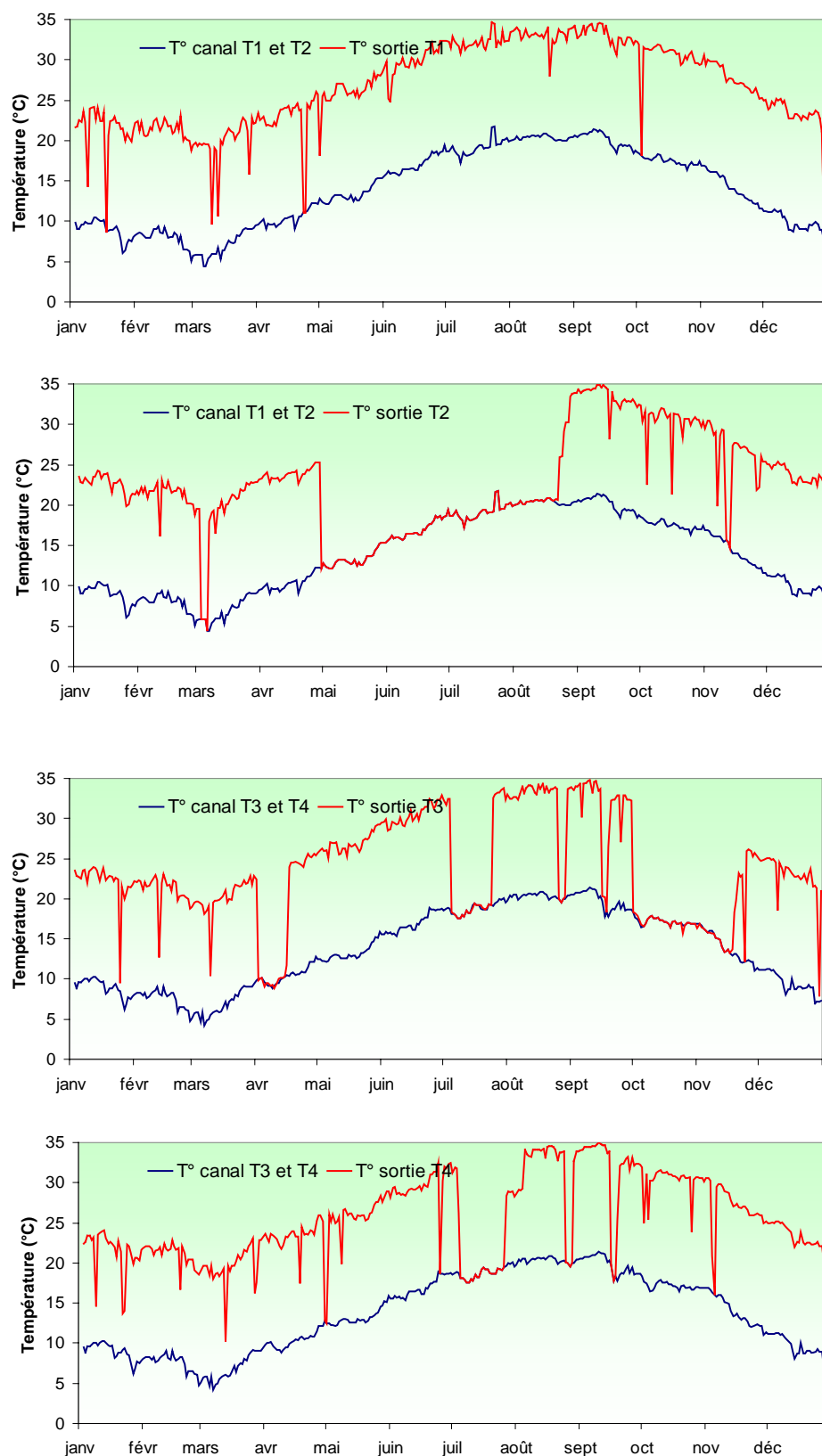


Figure 1.23 : Températures journalières de l'eau de mer à l'entrée du canal d'amenée et à la sortie des condenseurs pour chacune des quatre tranches du CNPE de Paluel en 2005

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'amenée (figure 1.24). L'allure de cette figure est très proche de celle qui présente la puissance brute produite (figure 1.18).

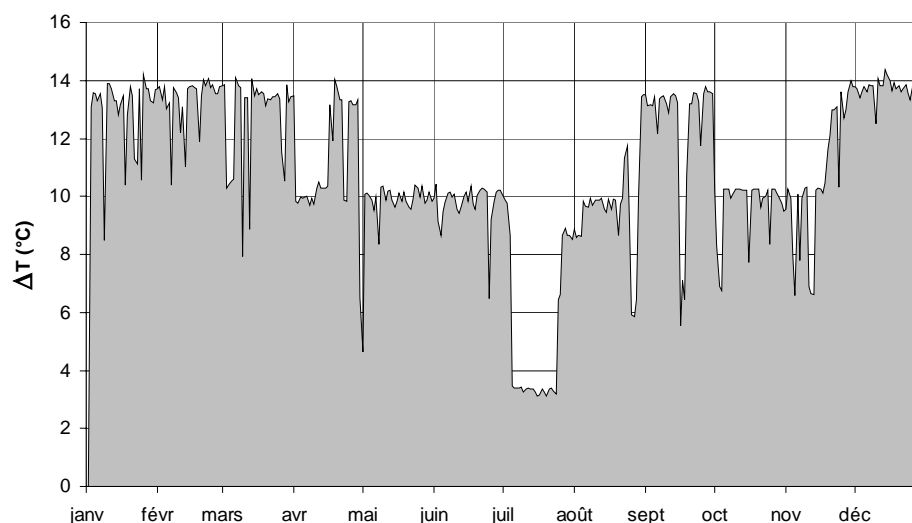


Figure 1.24 : Écarts journaliers moyens de température entre la sortie des quatre condenseurs et les canaux d'amenée au cours de l'année 2005

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 2005.

2005	T1	T2	T3	T4	Total
Janvier	0	0	0	0	0
Février	0	0	0	0	0
Mars	0	0	0	0	0
Avril	4	0	19	4	28
Mai	111	0	123	124	357
Juin	128	0	73	138	338
Juillet	130	0	58	13	201
Août	142	44	144	83	413
Septembre	129	142	129	100	500
Octobre	128	144	0	114	385
Novembre	143	128	0	115	386
Décembre	71	50	99	192	412
Total	986	508	645	883	3020

Tableau 1.2 : Tonnages mensuels de chlore injecté dans le circuit d'eau de refroidissement du CNPE de Paluel au cours de l'année 2005

1.8. Travaux réalisés par l'IFREMER

La liste de l'ensemble de travaux réalisés pour la surveillance écologique et halieutique en 2005 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.

2005	Points de prélèvement	Paramètres étudiés	Réplicats par point	Dates missions
DOMAINE PELAGIQUE				
Hydrologie	Canal d'aménée (CA) surface	Température Salinité NH ₄ , NO ₃ +NO ₂	4xCA surf 4xRJ surf 2x REF surf 2x REF 1/2Z	17 mars
		MES	4xCA surf 4xRJ surf 4x REF surf	
		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	29 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 Vibrions halophiles 1 Vibrions halophiles 2	2xCA surf 2xRJ surf 4x REF surf	14 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 2005

2005	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	pas campagne hiver 14 avril 14 juillet 12 octobre
Benthos intertidal	St Valery-en-Caux Veulettes-sur-mer	Abondance Idotées Abondance benthos Biomasse <i>Fucus vesiculosus</i>	16x St Valerie 16x Veulettes	26 mai 28 juin 27 juillet
		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	10/11 mars 19/20 septembre
DOMAINE HALIEUTIQUE				
Halieutique	Criée Fécamp Affaires Maritimes	Nbre bateaux Fécamp Tonnage débarqué Mois/métier bateaux	Étude sur l'année n-1 (2004)	

Tableau 1.3 suite : Ensemble de travaux réalisés lors des campagnes de surveillance en 2005

2. Hydrologie

Rapport

Luis Lampert (LERN).

Prélèvements et Analyses

Vincent Justome (LERN),
Liliane Fiant (LERN),
Sylvaine Françoise (LERN),
Laure Lamort (LERN),
Frank Maheux (LERN),
Olivier Pierre-Duplessix (LERN),
Françoise Dagault (DEL/SM),
Virginie Antoine (LERN),
Luis Lampert (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 17 mars, 29 juin et 14 septembre 2005 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.

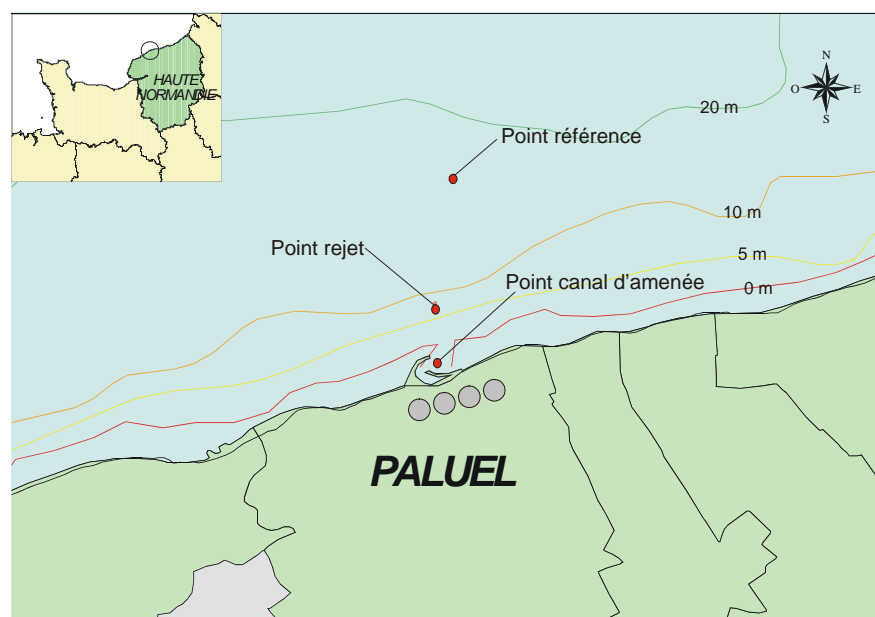


Figure 2.1 : Situation géographique de la centrale de Paluel et position des points de prélèvements

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	± 0,01	± 0,01	± 0,1	± 0,01	± 0,05	± 0,1

Tableau 2.1 : Précision des analyses

La température et salinité sont mesurées par une sonde YSI 660. De plus, le thermosalinomètre SeaBird SBE 21, installé sur le circuit d'eau de mer du *NO THALIA*, a été utilisé lors des campagnes d'échantillonnage. Il permet notamment d'enregistrer toutes les variations de température et de salinité pendant le transit et lors de l'échantillonnage. La fréquence d'acquisition des valeurs est de 6 secondes et l'immersion de la prise d'eau de mer est 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). La cartographie est réalisée par le programme Ocean Data View, développé par l'université de Bremerhaven pour le compte de la communauté océanographique internationale.

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 2005 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 1988-2005. 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 2005

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2005 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)	
17 MARS	Température (°C)	7,75 \pm 0,02	10,59 \pm 0,15	6,49 \pm 0,01	6,49 \pm 0,01
	Salinité	33,29 \pm 0,02	33,52 \pm 0,02	33,65 \pm 0,0	33,66 \pm 0,01
	MES (mg/L)	66,8	95,0	18,3	16,9
	Nitrate + Nitrite (μ M)	32,5 \pm 0,4	30,2 \pm 0,1	28,4 \pm 0,0	28,4 \pm 0,1
	Ammonium (μ M)	1,25 \pm 0,25	1,35 \pm 0,2	0,84 \pm 0,28	0,62 \pm 0,05
	Bromoforme (μ g/L)	<1	<1	<1	---
	Bore (mg/L)	4,5	4,9	4,4	---
29 JUIN	Température (°C)	19,32 \pm 0,09	21,37 \pm 0,1	18,21 \pm 0,0	18,21 \pm 0,01
	Salinité	33,32 \pm 0,09	32,80 \pm 0,04	33,40 \pm 0,01	33,71 \pm 0,04
	MES (mg/L)	7,5 \pm 0,7	9,5 \pm 0,8	5,1 \pm 1,5	---
	Nitrate + Nitrite (μ M)	13,2 \pm 1,4	9,7 \pm 0,2	7,6 \pm 0,0	7,6 \pm 0,0
	Ammonium (μ M)	1,23 \pm 0,12	1,58 \pm 0,10	1,34 \pm 0,01	1,31 \pm 0,09
	Bromoforme (μ g/L)	2,3	8,3	1,3	---
	Bore (mg/L)	4,7	5,7	4,2	---
14 SEPTEMBRE	Température (°C)	20,35 \pm 0,05	23,02 \pm 0,20	20,68 \pm 0,04	20,40 \pm 0,07
	Salinité	33,72 \pm 0,04	33,35 \pm 0,04	33,99 \pm 0,01	33,99 \pm 0,0
	MES (mg/L)	2,8	2,6	1,3	---
	Nitrate + Nitrite (μ M)	14,0 \pm 0,5	10,7 \pm 0,1	10,5 \pm 0,0	10,3 \pm 0,2
	Ammonium (μ M)	2,41 \pm 0,21	2,47 \pm 0,08	2,43 \pm 0,11	2,30 \pm 0,01
	Bromoforme (μ g/L)	<1	1	<1	---
	Bore (mg/L)	4,3	4,4	4,5	---

Tableau 2.2 : Récapitulatif des résultats du volet hydrologie de l'étude de surveillance pour l'année 2005

2.2.1. Température

2.2.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la température

Au cours des campagnes de surveillance 2005, la température de l'eau de mer en surface a varié de 7,75 °C à 20,35 °C au point *canal*, de 10,59 °C à 23,02 °C au point *rejet* et de 6,49 °C à 20,68 °C au point *référence* (figure 2.2). Sur l'ensemble des points, la température augmente de mars jusqu'en septembre.

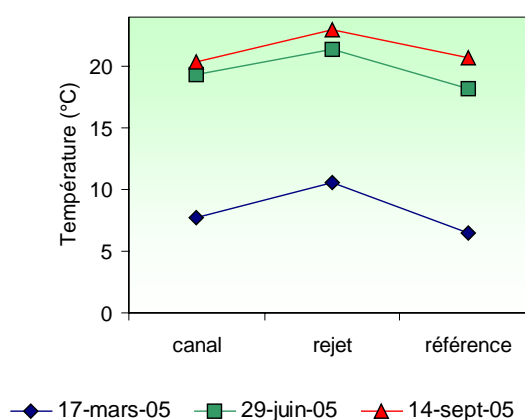


Figure 2.2 : Température de l'eau (surface) en 2005

Au printemps et en été, le point *référence* présente une température légèrement inférieure à celle observée au point *canal*. Ce schéma s'inverse en septembre, où la température moyenne du point *référence* est de 0,33 °C plus forte à celle du point *canal*. Les différences de température entre la surface et la mi profondeur au point *référence* (environ 10 m) ont été inexistantes en mars et juin, et elle a été de 0,28 °C en septembre.

L'écart thermique annuel est en moyenne de 13,07 °C entre le printemps et l'automne, contre 9,1 °C en 2004 et 11,6 °C en 2003. Ce fort écart thermique est lié aux basses températures de l'eau de mer observées dans l'hiver 2005 conjuguées aux fortes températures estivales qui ont suivi. 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.

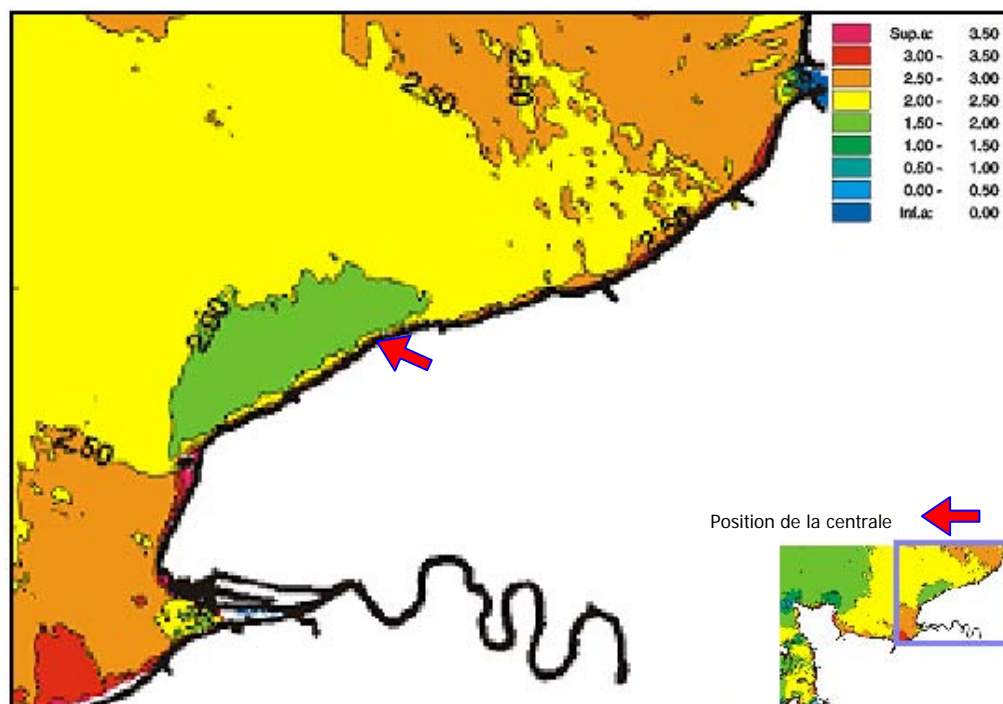


Figure 2.3 : Évolution spatiale du paramètre de stratification (H/u^3) en Manche évalué à l'aide du modèle hydrodynamique Mars 2D d'Ifremer (Lazure, *comm. pers.*)

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 2005 s'inscrivent globalement dans les extrêmes de 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 surveillance (Dewarumez *et al.*, 1979) pour les valeurs du mois de mars. Les valeurs printanières 2005 sont toutes inférieures à celles observées en mars 2004, tandis que celles observées en été et en automne sont supérieures sur l'ensemble de points.

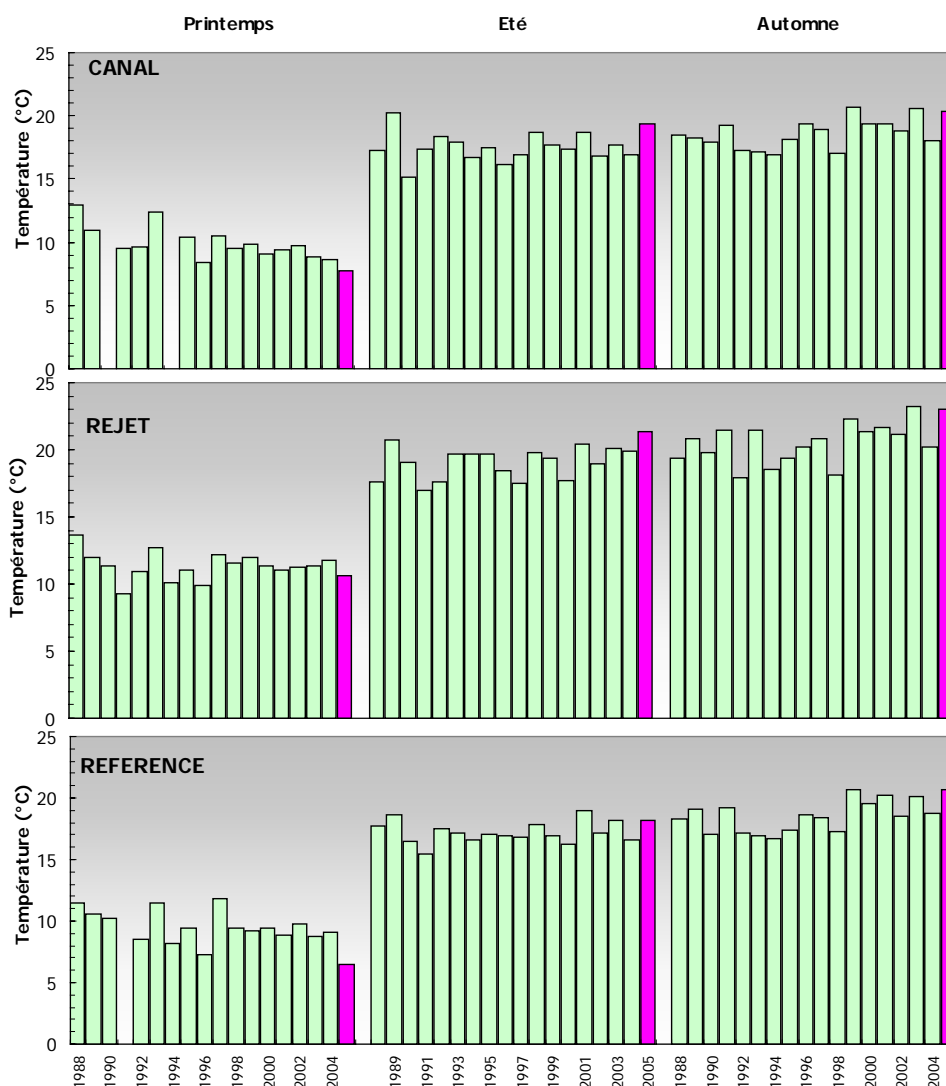


Figure 2.4 : Température de l'eau (surface) lors des campagnes de 1988 à 2005

La figure 2.5 compare les distributions de température obtenues depuis 18 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 mars les valeurs de température des points *canal* et *référence* ont été inférieures aux médianes pluriannuelles, atteignant les minimums absolus de la série. Ce constat met ainsi en évidence la présence des eaux particulièrement froides dans ce fin d'hiver. En juin et septembre, les températures ont été nettement supérieures aux médianes, atteignant parfois les maximums absolus.

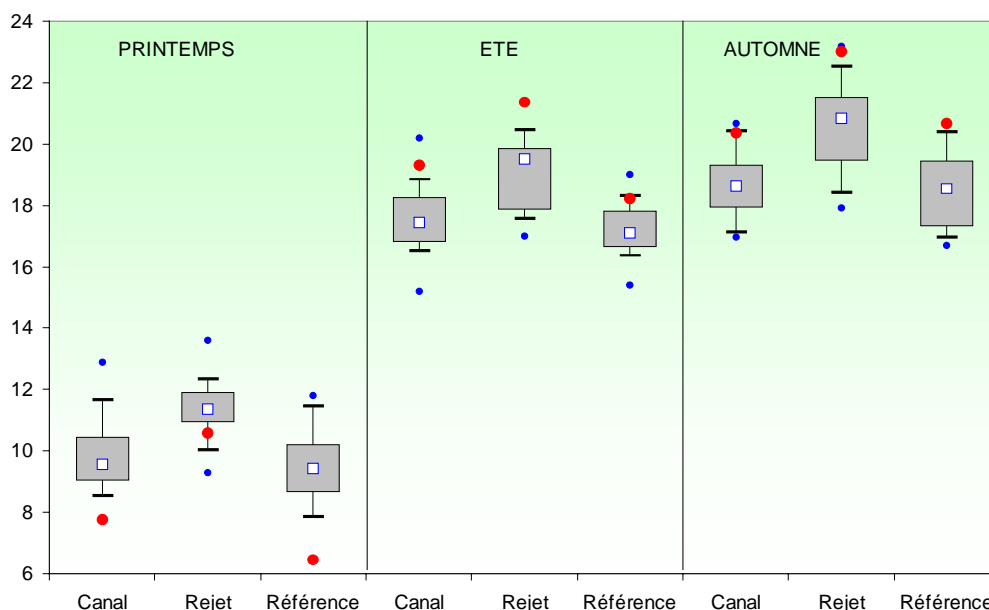


Figure 2.5 : Distributions de la température par saison et par station depuis 1989. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (├─). Les point extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2005 (●)

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 point d'échantillonnage a suggéré que les différences de température constatées tous les ans entre les points *canal* et *référence* pourraient en partie être attribuables aux eaux réchauffées du *rejet*.

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.

En mars 2005, des mesures de température de l'eau de mer ont été réalisées à l'aide du thermosalinimètre SBE21 du *NO THALIA*. Un réseau de mesures en amont et en aval de la centrale ont pu mettre en évidence l'influence, très ponctuelle, des eaux réchauffées du rejet sur le point *référence* au moment de la renverse (figure 2.6). Ces mesures cependant, ne mettent pas en cause la pertinence le positionnement du point *référence*.

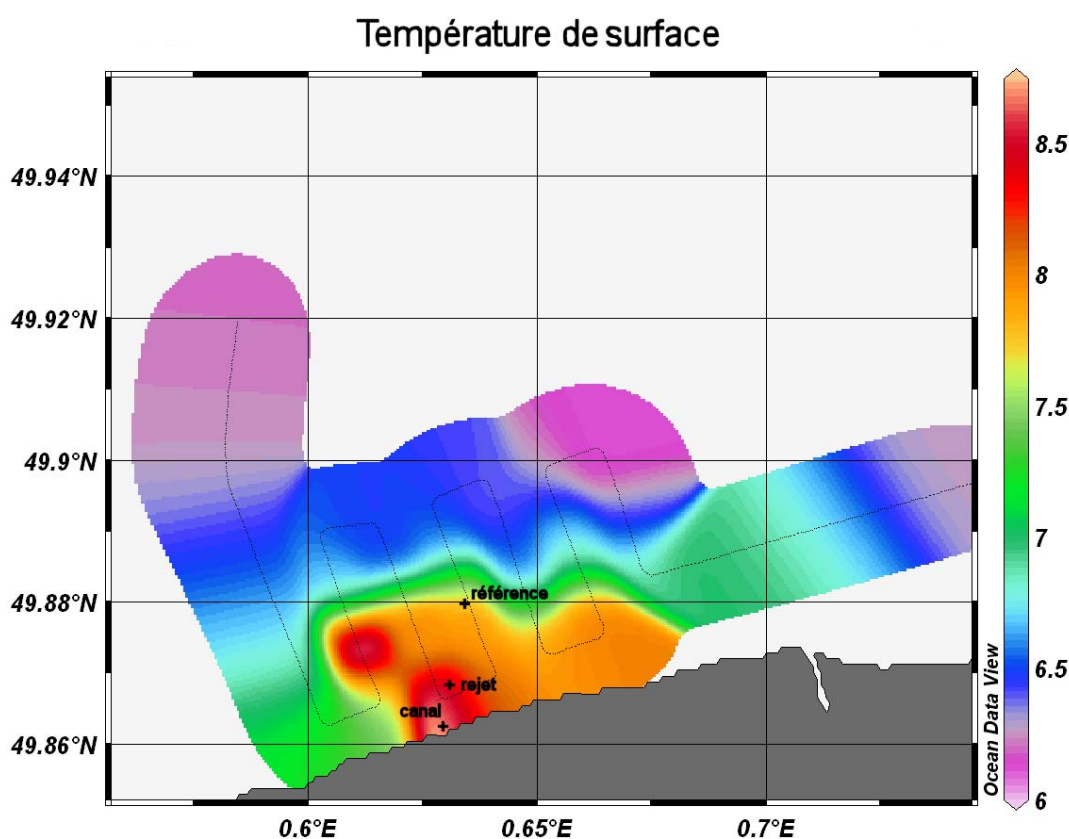


Figure 2.6 : Distributions de la température superficielle de l'eau de mer enregistrée par le thermosalinimètre SBE21 en mars 2005

- 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 2005 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 2005, les différences de température entre les points *rejet* et *canal* ont été de 2,05 et 2,84 °C sur l'ensemble de trois campagnes de l'année. Les différences de température entre les points *rejet* et *référence* sont situées entre 2,34 °C et 4,10 °C (figure 2.7). 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 mars a été le plus fort de la série pluriannuelle 1988-2005. Toutes les différences de température entre les points *rejet* et *référence* en 2005 ont été supérieures aux médianes. Les médianes restent relativement stables sur les trois périodes de l'année avec des valeurs de 2 °C.

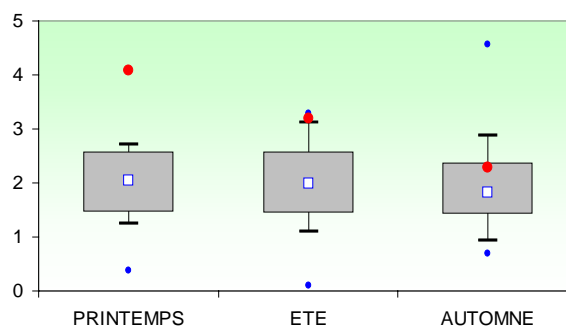


Figure 2.7 : Distributions par campagne des différences de température entre les points *rejet* et *référence* depuis 1988

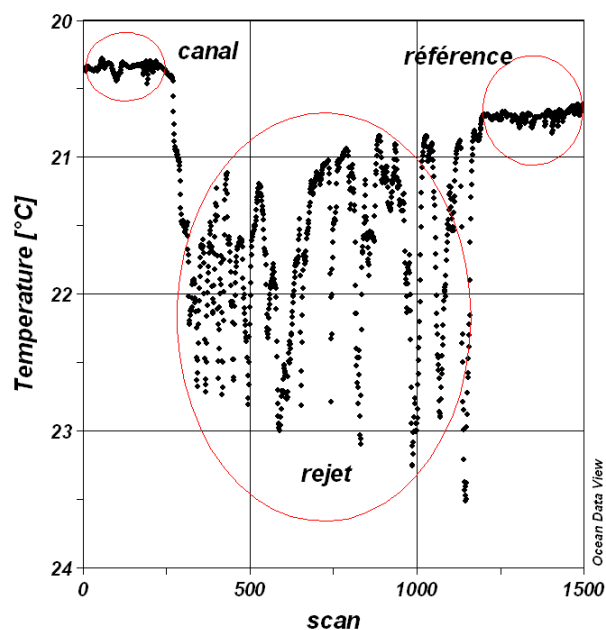


Figure 2.8 : Évolution de la température de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre lors de l'échantillonnage de septembre 2005

Les variations de température liées aux rejets, présentées dans la figure 2.8 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 2.8 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.

<i>EN %</i>	MARS	JUIN	SEPTEMBRE
PROPORTION D'EAU ÉCHAUFFÉE π	19	14	18
TAUX DE DILUTION ($100-\pi$)	81	86	82

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 19 % en mars, 14 % en juillet et 18 % en septembre. Ceci correspond à des taux de dilution de 81 % lors de la campagne de printemps, 86 % en été et 82 % 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 2005. 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	$6 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-8}$
RÉFÉRENCE / REJET	$2 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-5}$
CANAL / RÉFÉRENCE	0,039	0,124	0,621

(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 en été et en automne.

2.2.2. Salinité

2.2.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la salinité

Les salinités moyennes ont été comprises entre 32,80 et 33,52 au point *rejet*, entre 33,29 et 33,72 au point *canal* et entre 33,40 et 33,99 au point *référence* (figure 2.9).

En 2005, les salinités les plus faibles ont été enregistrées en été au point *rejet* avec une valeur moyenne de 32,8. Les salinités les plus élevées ont été observées au point *référence* pour l'ensemble de campagnes (maximum de 33,99 en septembre).

Pour l'ensemble de campagnes, nous observons un gradient croissant *canal-référence*, avec des valeurs au point *rejet* tantôt intermédiaires de ces deux dernières (mars), tantôt inférieures (juin et septembre).

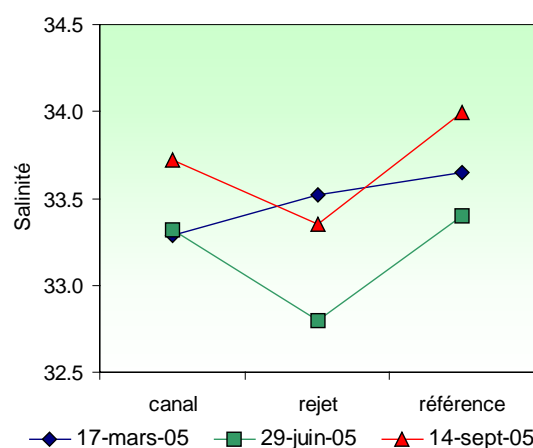


Figure 2.9 : Salinité de l'eau de surface lors des campagnes de 2005

Les salinités observées pendant les campagnes de 2005 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 2.10). 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 2.10 met en évidence les différentes masses d'eau lors de la campagne de mars, avec un point *canal* qui présente des faibles valeurs de salinité et de température, et un point *référence* plus froid et un peu plus salé. L'ensemble de points concernant la masse d'eau du *rejet* est plus étalé en température à cause des rejets chauds de la centrale.

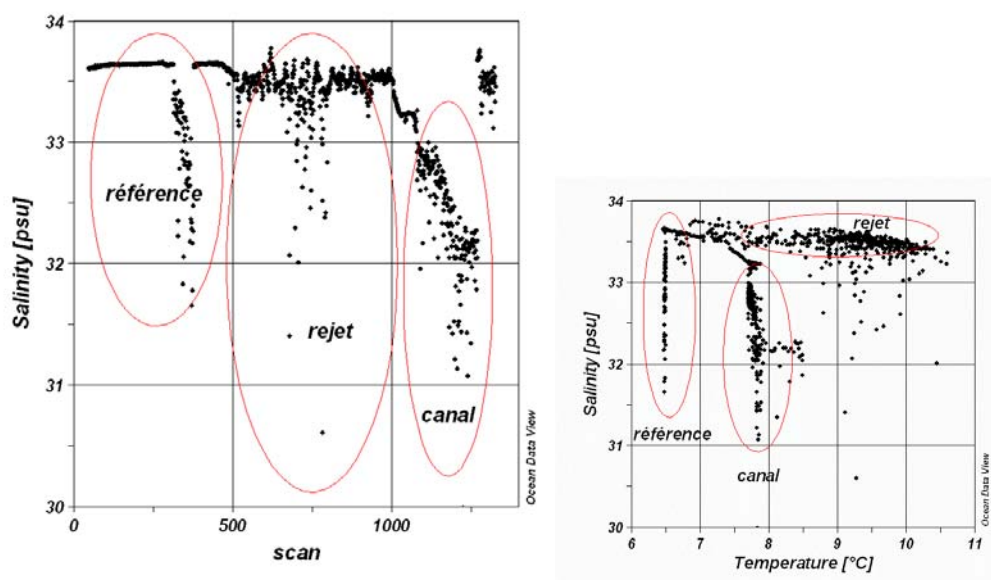


Figure 2.10 : Évolution de la salinité de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre lors de la campagne de mars 2005 et son diagramme T-S lors de la même campagne

2.2.2.2. Variations inter-annuelles

La figure 2.10 présente les valeurs de salinité aux différents points au cours de la période 1988-2005. Les salinités enregistrées en 2005 présentent des valeurs égales ou supérieures par rapport à celles observées en 2004. Entre 1997 et 2001 les valeurs printanières de la salinité ont été en diminution. À partir de 2001 nous observons une augmentation progressive de ces valeurs. Les valeurs enregistrées en juin et en septembre ont été toutes égales ou au-dessus de celles observées en 2004 et plus particulièrement aux mois de juin et septembre au point *canal* et en septembre au point *référence*.

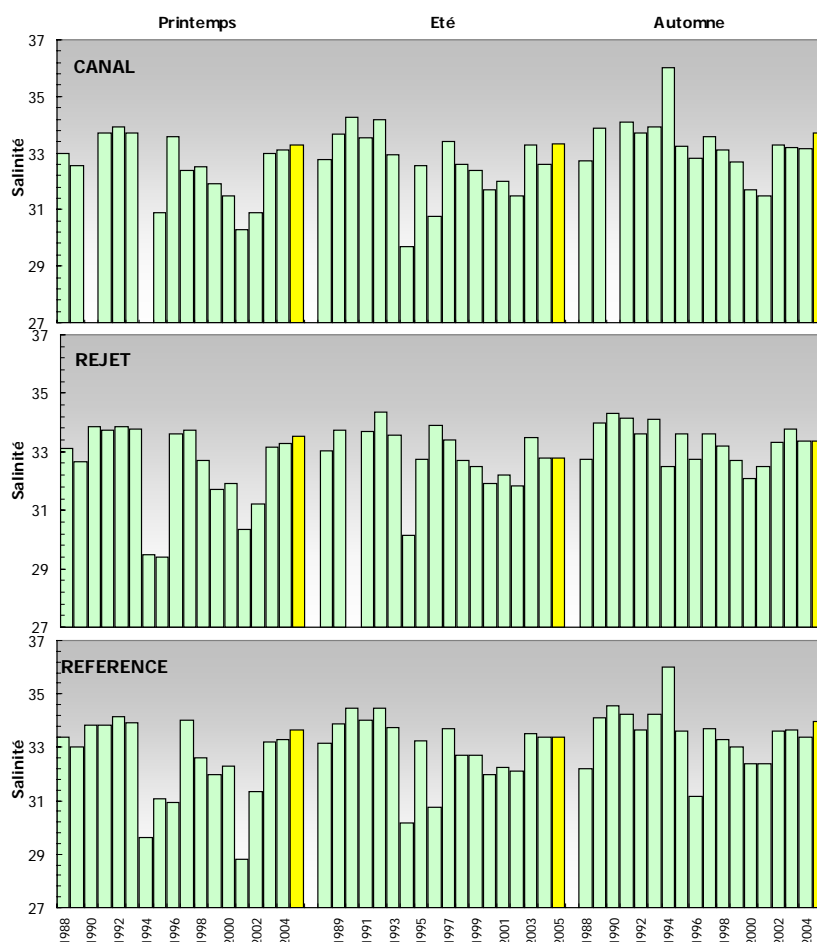


Figure 2.11 : Salinité de l'eau (en surface) lors des campagnes de 1988 à 2005

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). De janvier à juillet 2005, le débit de la Seine a été marqué par de faibles débits, bien inférieures à la moyenne enregistrée entre 1941 et 2004. Dès le mois de juillet ils présentent des valeurs plus proches des moyennes.

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 2005 par rapport à l'ensemble de valeurs enregistrées depuis 1988 (figure 2.12). Toutes les valeurs de salinité en mars se situent au dessus des valeurs médianes. En juin et septembre les valeurs restent proches des valeurs médianes aux points *rejet* et *référence* et au point *rejet* en septembre. Les valeurs du point *canal* en 2005 sont toutes supérieures aux médianes.

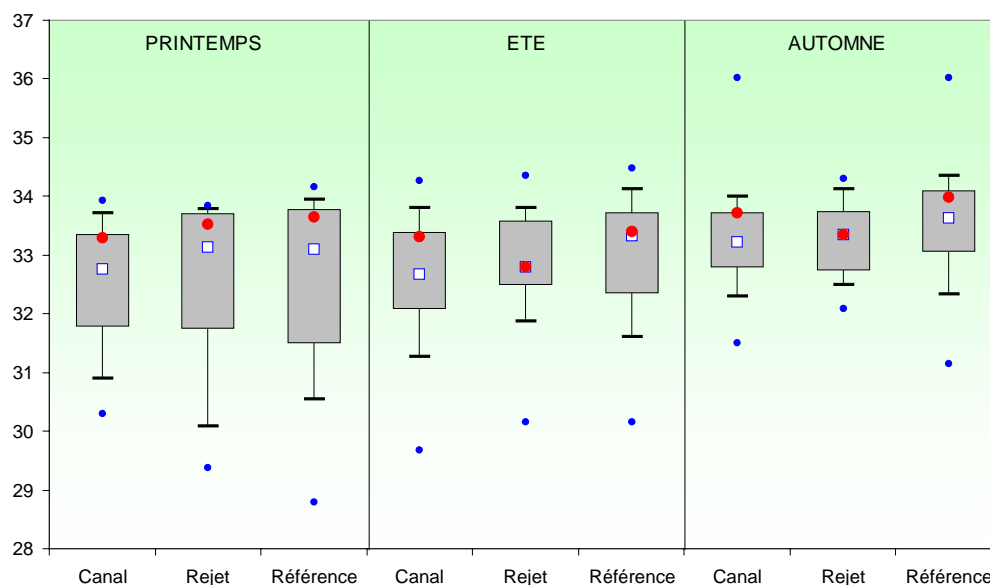


Figure 2.12 : Comparaison des distributions de la salinité par saison et par point entre 1988 et 2005

La dispersion des valeurs est plus forte au printemps. Un gradient côte-large croissant *canal-rejet-référence* est observé pour les données obtenues depuis 18 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 2005.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,060	0,001	0,267
RÉFÉRENCE / REJET	0,015	0,003	0,039
CANAL / RÉFÉRENCE	0,006	5·10⁻⁶	0,009

(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 *rejet*. Cependant, des deux valeurs de p supérieures au seuil de 0,05, celui du printemps est proche de ce seuil. Ces résultats et la distribution observée dans la figure 2.12 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 jetant 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 2005, 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 2005 de 1,23 à 2,41 μM au point *canal*, de 1,35 à 2,47 μM au point *rejet* et de 0,84 à 2,43 μM au point *référence* (figure 2.13).

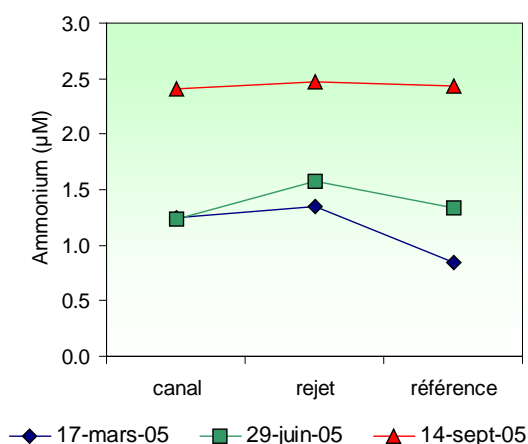


Figure 2.13 : Concentrations en ammonium dans les eaux de surface lors des campagnes 2005

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 courbes de concentration en ammonium présentent une allure similaire en juin et septembre, avec des valeurs similaires (tenant compte des incertitudes de mesure) aux points *canal* et *référence*. Au mois de mars la plus faible valeur est située au niveau du point *référence*.

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 ponctuels 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 2.14 et 2.15. Il est difficile d'observer une tendance à long terme de ce paramètre, qui présente une forte variabilité inter-annuelle.

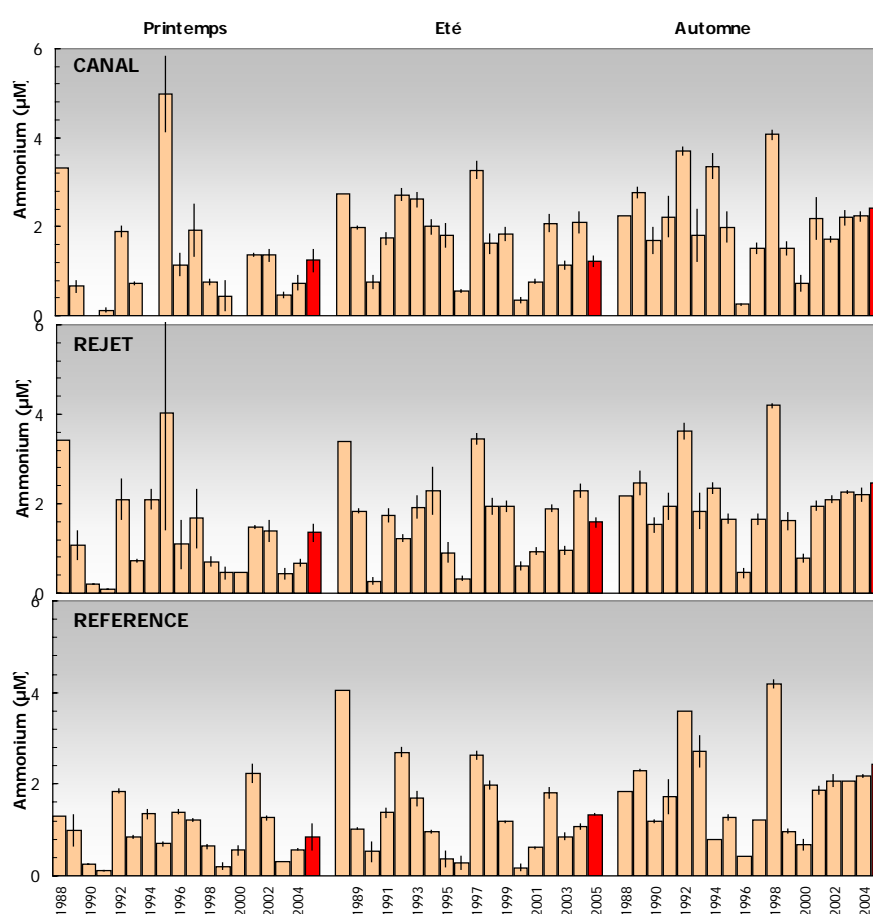


Figure 2.14 : Concentration en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2005

Au printemps et en automne, les valeurs sont supérieures à celles observées en 2003 et 2004, contrairement à l'été, où elles présentent des concentrations inférieures aux points *canal* et *rejet*. Au printemps et en automne nous observons une augmentation des valeurs depuis 2000, tandis qu'en été cette tendance est moins claire.

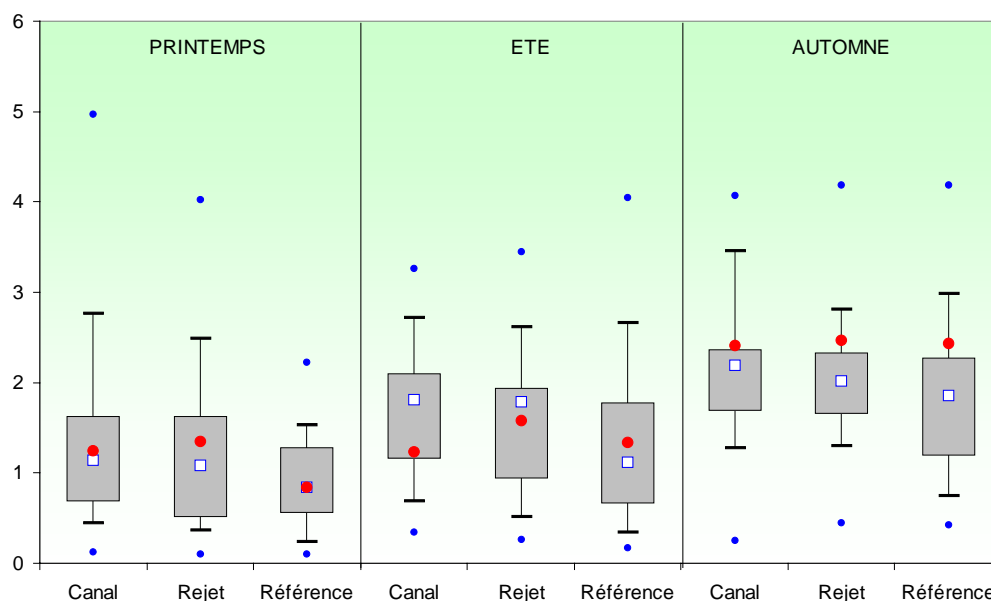


Figure 2.15 : Comparaison des distributions de l'ammonium par saison et par point entre 1988 et 2005

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 montrent une faible variabilité spatiale au printemps et en automne (figure 2.15). Le gradient décroissant côte-large est bien mis en évidence le long de l'année, où sont intégrées les 18 dernières années. Les valeurs en ammonium observées en mars et septembre ont été proches ou au-dessus des médianes, tandis qu'en juin, les valeurs des points *canal* et *rejet* se trouvaient au-dessous 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	0,999	0,999	1,000
RÉFÉRENCE / REJET	0,140	0,101	$7 \cdot 10^{-4}$
CANAL / RÉFÉRENCE	0,120	0,024	0,099

(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 2005 ont été comprises entre 13,2 et 32,5 μM au point *canal*, entre 9,7 et 30,2 μM au point *rejet* et entre 7,6 et 28,4 μM au point *référence* (figure 2.16).

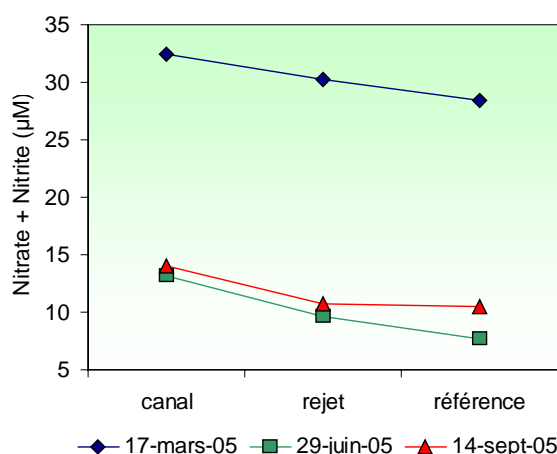


Figure 2.16 : Concentrations en azote dans les eaux de surface lors des campagnes de 2005

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 de printemps et d'été.

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 1988-2005 sont respectivement présentées sur les figures 2.17 et 2.18.

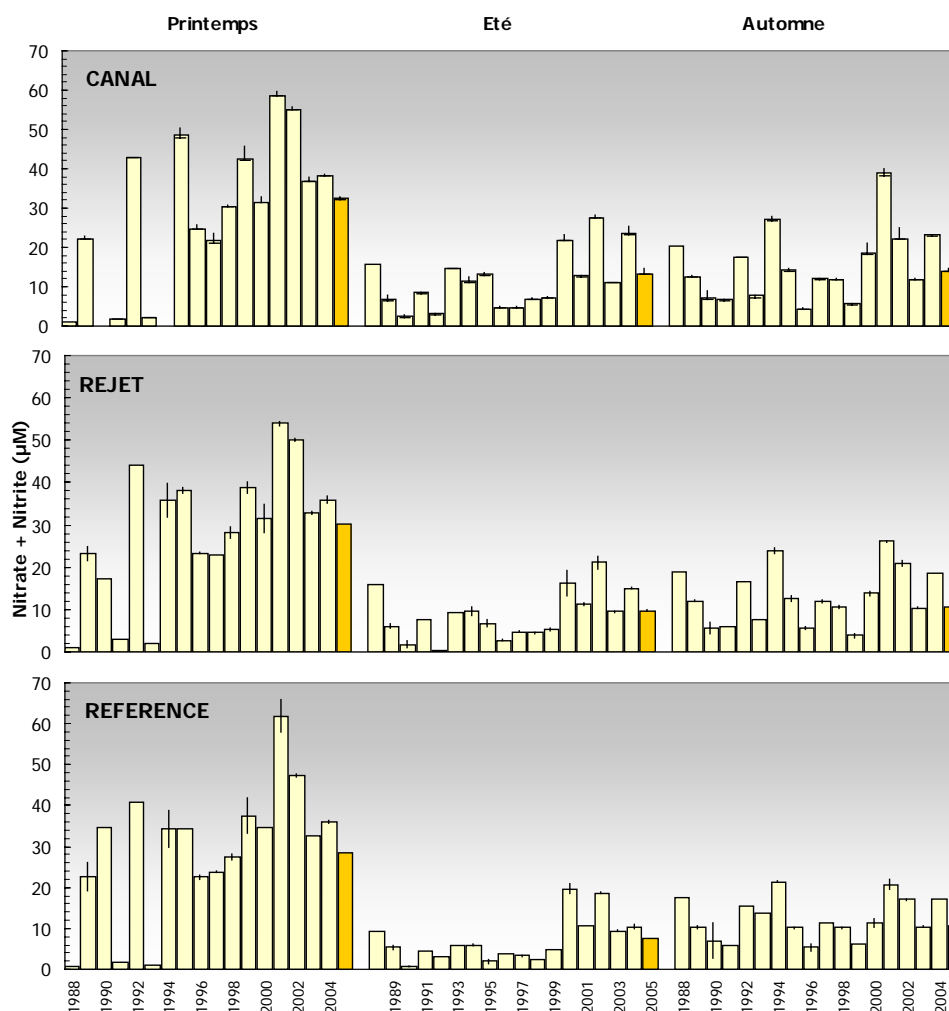


Figure 2.17 : Concentrations en azote dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2005

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 2005 sur l'ensemble des points, inférieures à celles de 2004, sont revenues à des niveaux plus proches des moyennes pluriannuelles.

Les boîtes à moustaches de la figure 2.18 présentent les valeurs d'azote de 1988 à 2005. Les concentrations en azote de 2005 restent au dessus des médianes pluriannuelles en été, tandis qu'au printemps et en automne elles sont proches des médianes, à l'exception de la valeur du point *référence* en mars, très en dessous de la médiane. 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 saisonnière met en évidence une diminution des concentrations en été et une régénération en automne. Ce schéma apparaît clairement dans les mesures 2005.

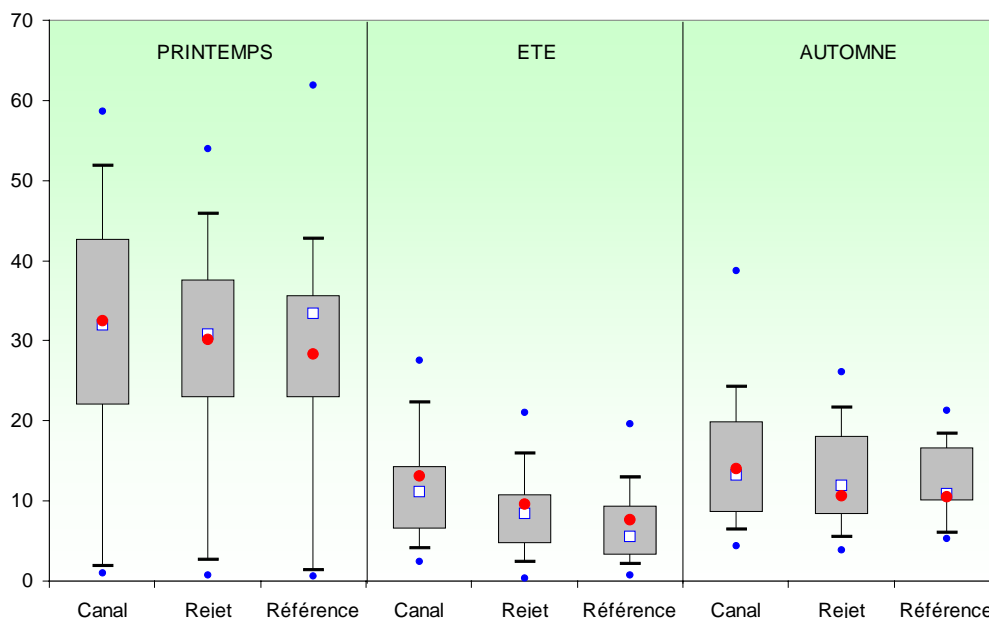


Figure 2.18 : Comparaison des distributions des concentrations en azote (μM) par saison et par point depuis 1988

2.2.4.3. Approche statistique

Le tableau 2.7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour l'azote entre 1988 et 2005.

	COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
NITRATE	CANAL / REJET	0,211	$2 \cdot 10^{-4}$	0,002
	RÉFÉRENCE / REJET	0,052	0,012	0,034
	CANAL / RÉFÉRENCE	0,080	$9 \cdot 10^{-5}$	0,009

(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. Le stock hivernal d'azote est donc *quasi* identique de la côte au large, bien que les valeurs de p des couples *référence-rejet* et *canal-rejet* sont proches du seuil de signification.

Les variations des concentrations observées en 2005 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 2005, les teneurs en MES (figure 2.19) ont varié au cours des campagnes de 2,8 à 66,8 mg/L au point *canal*, de 2,6 à 95,0 mg/L au point *rejet* et de 1,3 à 18,3 mg/L au point *référence*.

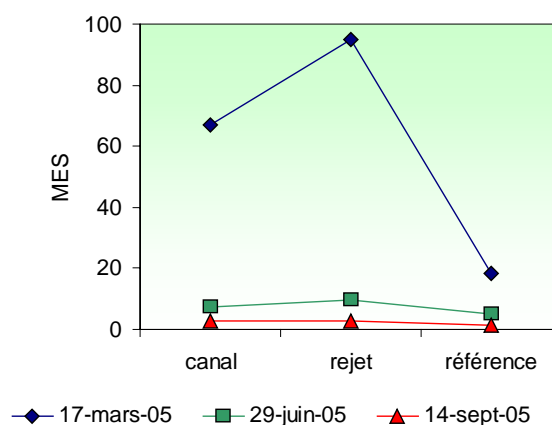


Figure 2.19 : Concentrations en MES (mg/L) dans les eaux de surface lors des campagnes de 2005

Comme lors des campagnes de 2003, les plus fortes valeurs en MES sont observées au printemps. Les concentrations en MES présentent une diminution de ses valeurs du printemps vers l'automne, avec un plus fort écart entre le printemps et l'été. La campagne de mars a été réalisée après quelques jours de vents soutenus du secteur sud-ouest. La masse d'eau, très homogène, présentait cependant des fronts de turbidité très marqués.

Les résultats obtenus en 2005 présentent un gradient décroissant côte-large. Ce gradient s'explique par l'hydrodynamisme et les faibles profondeurs près des côtes.

2.2.5.2. Variations inter-annuelles

Les variations en MES au cours de la période 1988-2005 sont présentées dans la figure 2.20. Lors des campagnes de juin et de septembre, les valeurs de concentrations en MES ont été toutes très en dessous des valeurs observées en 2004. Ce phénomène, plus particulièrement marqué lors de la campagne automnale est la conséquence des bonnes conditions de mer rencontrées lors de ces deux dernières campagnes de 2005. A l'opposé de ces conditions estivales et automnales, les valeurs observées en mars sont très supérieures à celles observées en 2004.

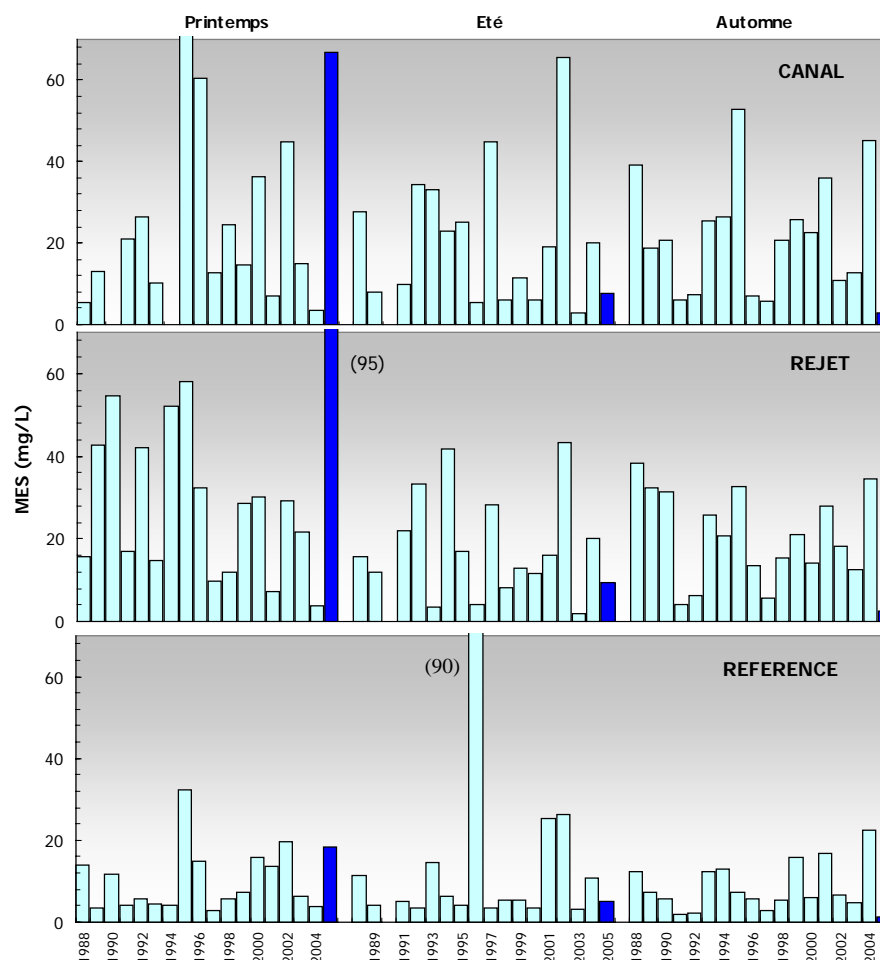


Figure 2.20 : Concentrations en MES dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2005

La figure 2.21 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 mars 2005 ont été au-dessus des médianes pluriannuelles, dont la valeur du point *rejet* représente le maximum absolu de la série. En juin et septembre les valeurs sont toutes inférieures aux médianes pluriannuelles, avec des minimums absolus observés sur tous les points en septembre. 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*.

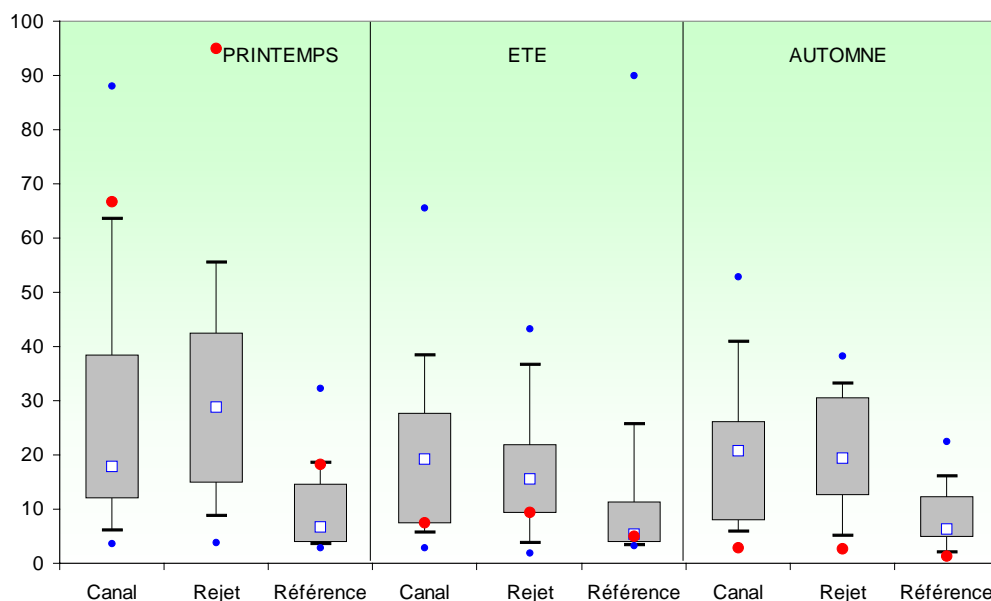


Figure 2.21 : Comparaison des distributions des concentrations en MES par saison et par point depuis 1988

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	0,881	0,337	0,411
RÉFÉRENCE / REJET	$4 \cdot 10^{-4}$	0,052	$6 \cdot 10^{-5}$
CANAL / RÉFÉRENCE	0,002	0,015	$2 \cdot 10^{-5}$

(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 0,052 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, mais aussi moins influencé par les faibles profondeurs qui engendrent la remise en suspension dès que les conditions de mer deviennent fortes.

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 de pompage, ajouté au pompage lui-même.

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

En 2005 les valeurs enregistrées lors de la campagne de juin ont présenté des concentrations supérieures au seuil de détection analytique de 1 µg/L. La valeur maximale a été observée au point *rejet* avec 8,3 µg/L (figure 2.22).

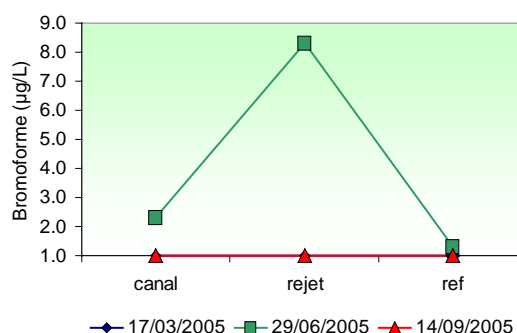


Figure 2.22 : Concentrations en tribromométhane dans les eaux de surface lors des campagnes de 2005

2.2.6.2. Variations inter-annuelles du tribromométhane

L'étude de l'évolution spatio-temporelle du tribromométhane (figure 2.23) 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 µg/L au point *rejet* en 1997 et 2000.

Les *boîtes à moustaches* de la figure 2.24 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. Les valeurs de concentration en bromoforme observées en juin 2005 ont été au dessus des médianes pluriannuelles, sauf pour le point *référence*, qui est restée proche de la médiane. Toutes les valeurs en 2005 ont été toutefois inférieures à 10 µg/L, valeur tout à fait acceptable pour le milieu marin (Abarnou *et al*, 1990).

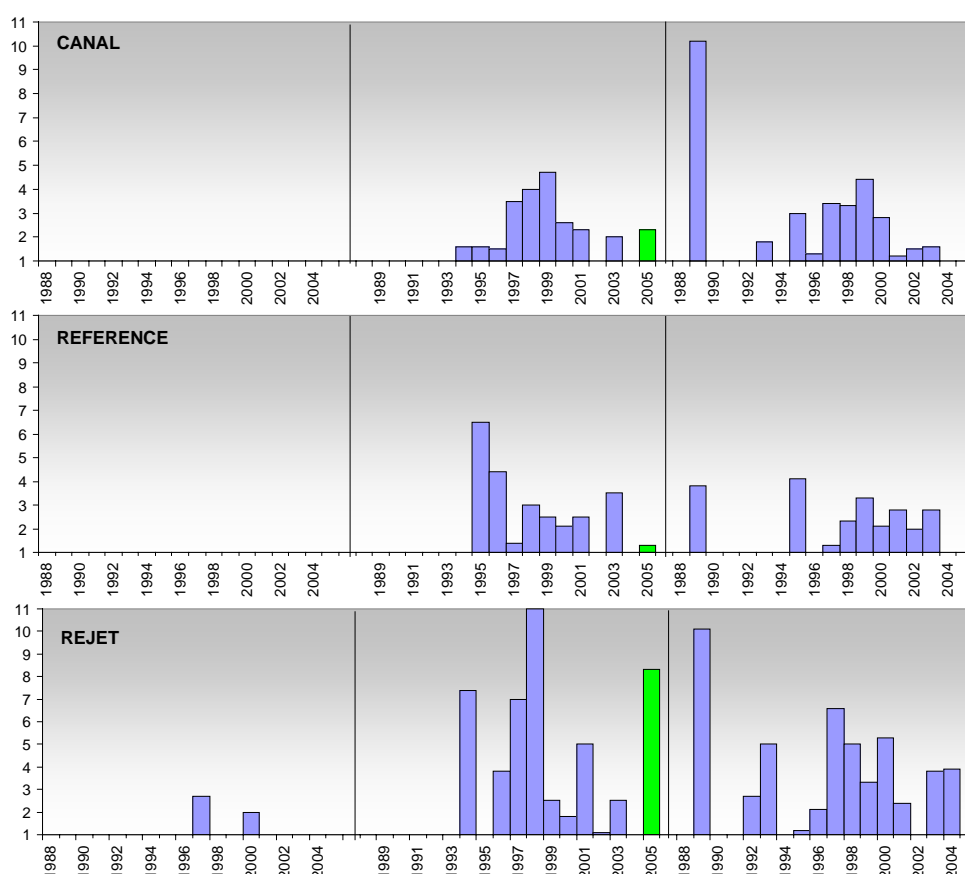


Figure 2.23 : Concentrations en tribromométhane (µg/L) dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2005

La faible quantité de données significatives ne permet pas, dans le cas des trihalométhanes, de réaliser des tests statistiques. 2005 a été marqué par des concentrations significatives en trihalométhanes en juin, dont seul le bromoforme a dépassé la valeur du seuil analytique. Les

concentrations en bromoforme mises en évidence peuvent être la conséquence des traitements anti-fouling ponctuellement pratiqués par la centrale au point *rejet*. Cependant, 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.

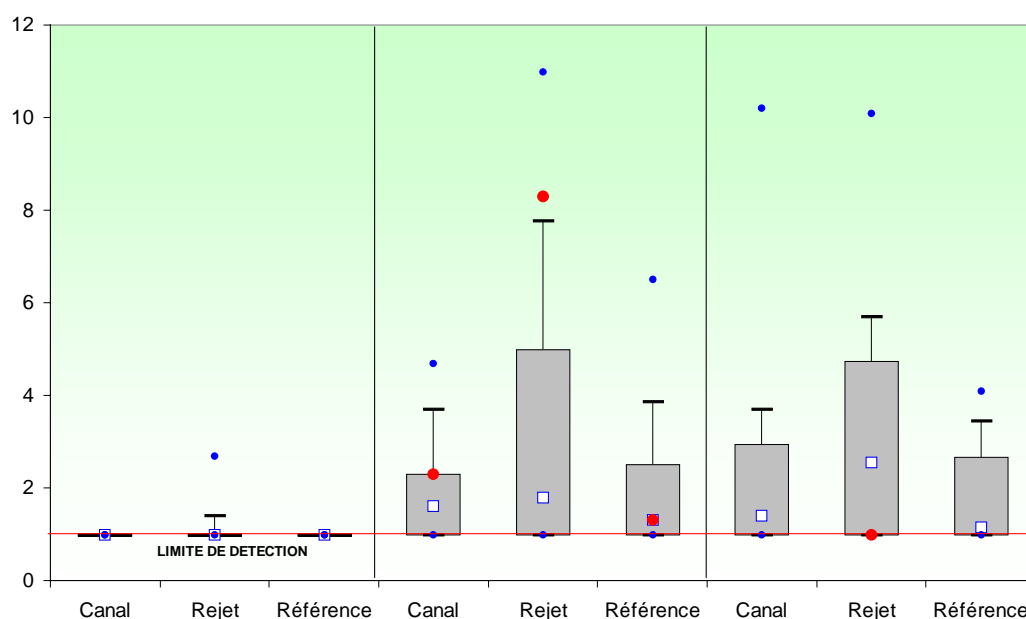


Figure 2.24 : Comparaison des distributions des concentrations en tribromométhane ($\mu\text{g/L}$) par saison et par point depuis 1988

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 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 2005 sont présentées dans la figure 2.25 avec leurs intervalles de confiance. Étant donné que les concentrations en bore des campagnes de mars et septembre superposent leurs intervalles de confiance, nous ne pouvons pas conclure à une différence entre les trois points d'échantillonnage de deux campagnes. La valeur enregistrée au point *rejet* lors de la campagne de juin se situe au dessus de celles observées aux points *canal* et *référence*. D'une façon générale et tenant compte des incertitudes liées à la méthode analytique, hors le point rejet en juin, les variations entre les trois points d'échantillonnage par campagne ne semblent pas présenter de différences significatives.

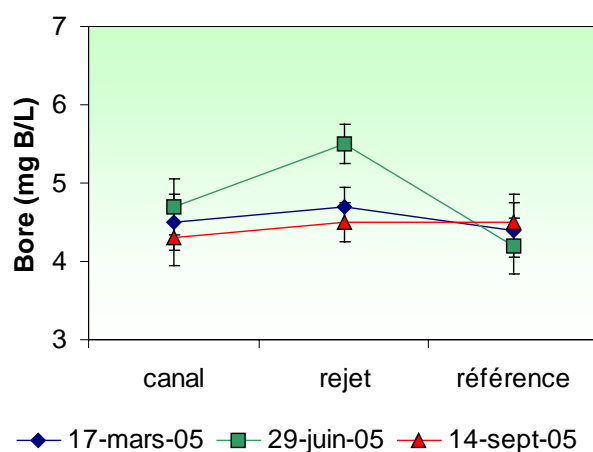


Figure 2.25 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2005 avec les intervalles de confiance ($\alpha = 0,05$)

2.2.7.2. Variations inter-annuelles

Les variations inter-annuelles en bore sont présentées dans la figure 2.26. 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 mars 2005 sont similaires à celles enregistrées en 2004. En juin, elles ont été inférieures et en septembre, supérieures aux valeurs 2004.

Nous remarquons une augmentation significative des valeurs dans la concentration de bore au mois de juin. 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.

Cependant, compte tenu des résultats, qui ne présentent pas des concentrations au point *rejet* supérieures aux autres points, sauf en été, nous ne pouvons pas conclure à une influence systématique des rejets de la centrale sur les concentrations mesurées en bore dans les eaux de surface en 2005.

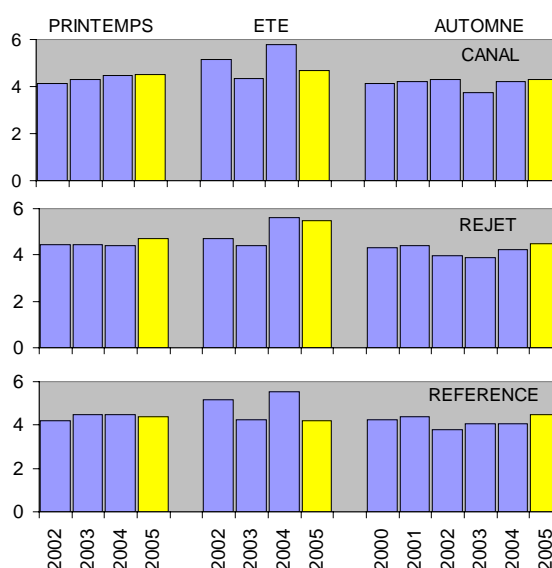


Figure 2.26 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2005

2.3. Conclusion

Le climat en 2005 a été en générale chaud et sec, tout comme a été le cas en 2003 et 2004, avec des températures supérieures aux moyennes pluriannuelles et une faible pluviométrie, phénomène tout particulièrement marqué en janvier.

Les campagnes 2005 ont été caractérisées par les plus faibles températures d'eau enregistrées depuis 1989 au mois de mars et par les plus élevées observées en été et en automne. Les différences de température enregistrées entre les points *référence* et *rejet* ont variée entre 2,3 °C pour le mois de septembre et 4,1 °C pour la campagne de mars.

Les salinités ont été particulièrement élevées par rapport aux médianes pluriannuelles en mars et par rapport à l'ensemble de valeurs observées en 2004. Avec un moindre écart, les salinités restent toujours supérieures aux médianes en juin, et en septembre. Les valeurs observées au point *canal* étant toujours supérieures aux médianes.

Les nutriments mesurés lors des campagnes 2005 semblent avoir suivi un cycle saisonnier classique : consommation par le phytoplancton des sels nutritifs entre le printemps et l'été suite à l'augmentation de l'ensoleillement, suivi de processus de régénération en automne.

La plus fortes valeurs d'ammonium sont observée en septembre, où elles dépassent les médianes pluriannuelles. Une faible variabilité spatiale est constatée lors des trois campagnes 2005.

Bien que les concentrations en nitrate plus nitrite mesurés lors des campagnes 2005 soient inférieures à celles enregistrées en 2004, elles se situent près des médianes pluriannuelles. Le gradient décroissant côte-large est bien marqué, avec des valeurs au point *rejet* intermédiaires de celles des points *canal* et *référence*.

Les seules concentrations en trihalométhanes dépassant le seuil de détection analytique ont été celles enregistrées lors de la campagne de juin. La plus forte valeur en bromoforme, observée au point *rejet* à été de 8,3 µg/L.

Les concentrations en bore présentent des valeurs similaires aux années passées, à l'exception du mois de juin, où les concentrations sont en diminution. Tenant compte des incertitudes liées aux analyses, aucune différence n'est observée entre les trois points d'échantillonnage en mars et septembre. En juin la concentration en bore du point *rejet* est supérieure à celles des points *canal* et *référence*.

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.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	Température	Température	Température
	---	Salinité	---
	---	Nitrate+Nitrite	Nitrate+Nitrite
RÉFÉRENCE / REJET	Température	Température	Température
	Salinité	Salinité	Salinité
	---	---	Ammonium
	---	Nitrate+Nitrite	Nitrate+Nitrite
	MES	---	MES
CANAL / RÉFÉRENCE	Température	Salinité	Salinité
	Salinité	Ammonium	---
	---	Nitrate+Nitrite	Nitrate+Nitrite
	---	MES	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 2005 et autour 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.

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).

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

On peut noter qu'en 2003 sur les plages proches du Havre, un baigneur ayant une plaie au pied a été contaminé par *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 17 mars, 29 juin et 14 septembre 2005. 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 dépoluissieré afin de limiter la multiplication des bactéries,
- filtration sur membrane en polycarbonate 0,2 µm teinte au laboratoire avec de l'Irgalan black,
- coloration à l'acridine orange au 1/30.000^e,
- observation au microscope de la membrane sous lumière UV réfléchie.

Toutes les bactéries 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 ;
- incubation 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 2005

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2005 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 3.1 :

		(Valeurs moyennes)	CANAL (n=2)	REJET (n=2)	RÉFÉRENCE (n=4)
17 MARS		Germes totaux (g./mL)	134 000	159 000	105 750
		Germes revivifiables (g./mL)	123	90	84
		V. halophiles/100 mL	<3	<3	<3
		Identification de v. halophiles	Absence	Va	Absence
	EDF	V. halophiles/100 mL	<1	<1	<1
		Identif. de v. halophiles	Absence	Absence	Absence
<hr/>					
29 JUIN		Germes totaux (g./mL)	128 000	113 000	110 750
		Germes revivifiables (g./mL)	95	75	90
		V. halophiles/100 mL	<3	<3	<3
		Identification de v. halophiles	Absence	Va+Vv	Va+Vv
	EDF	V. halophiles/100 mL	<1	<1	<1
		Identif. de v. halophiles	Absence	Absence	Absence
<hr/>					
14 SEPTEMBRE		Germes totaux (g./mL)	110 000	122 000	112 900
		Germes revivifiables (g./mL)	2 768	5 200	323
		V. halophiles/100 mL	11	3,6	14
		Identification de v. halophiles	Va+Vv	Va+Vv	Va+Vv
	EDF	V. halophiles/100 mL	6	15	4
		Identif. de v. halophiles	Va+Vv	Va	Va+Vv

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

Tableau 3.1 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2005 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 2005

Les valeurs de dénombrement en 2005 ont été comprises entre 105 750 germes/mL en mars au point *référence* et 159 000 germes/mL au point *rejet* lors de la même campagne, 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. Les plus forts écarts sont constatés en mars.

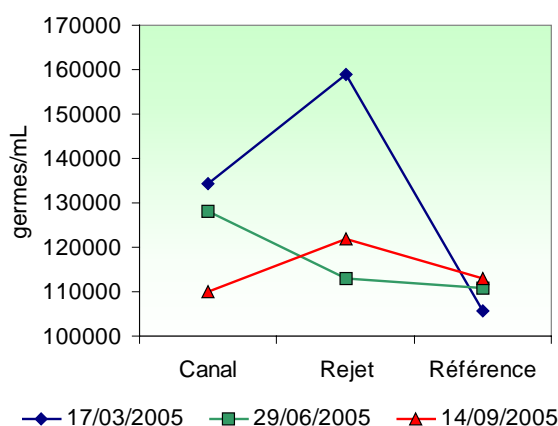


Figure 3.1 : Germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence en 2005

Au printemps et en été nous observons un gradient décroissant côte-large. Les incertitudes liées aux méthodes analytiques ne permettent de mettre en évidence un gradient lors de la campagne de septembre.

3.3.2.2. Variations inter-annuelles des germes totaux en épifluorescence

Le nombre total de germes dénombrés par épifluorescence en 2005 présente peu de variations par rapport aux années précédentes (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.

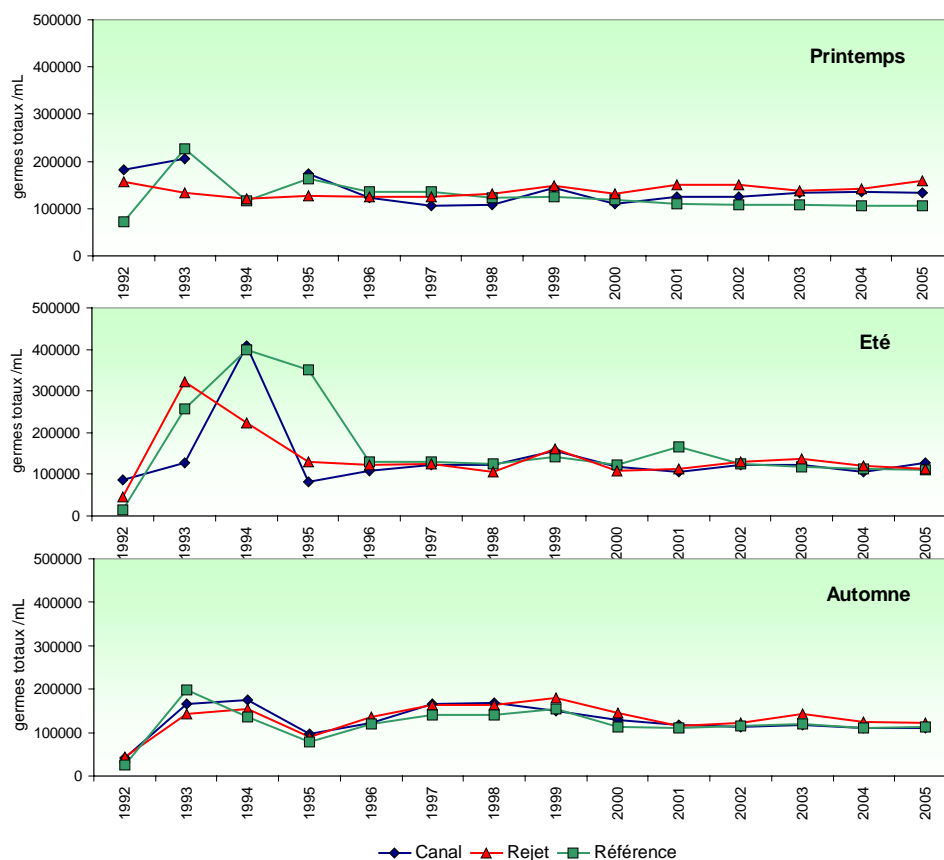


Figure 3.2 : Germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence depuis 1992

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 *rejet* au printemps et *canal* en été, qui se trouvent au dessus des médianes, l'ensemble de valeurs observées en 2005 se trouvent en dessous des médianes pluriannuelles.

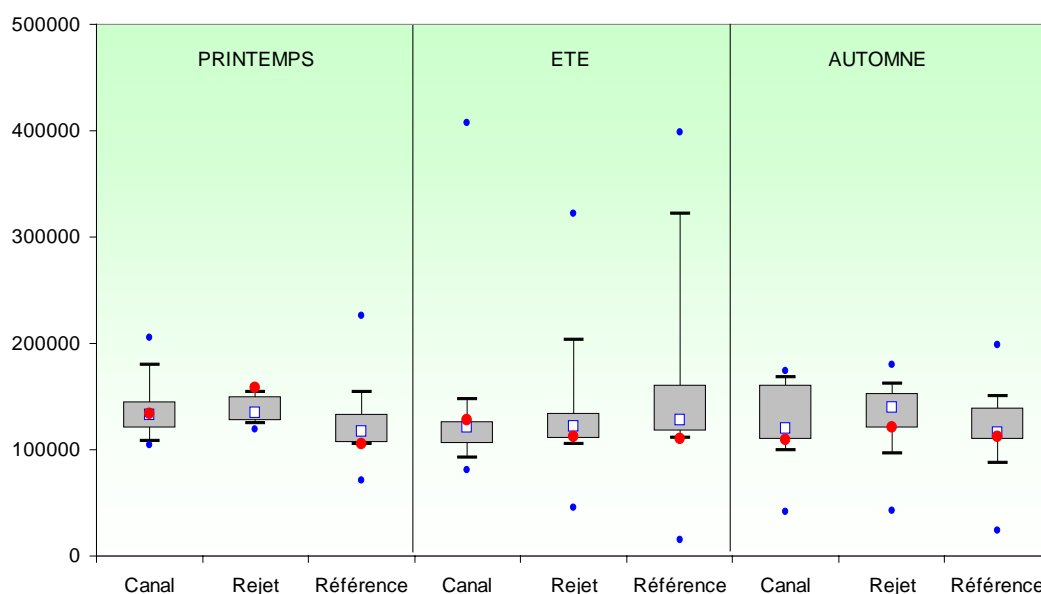


Figure 3.3 : Germes totaux (nombre par mL) depuis 1992 dénombrés par épifluorescence et valeurs 2005 en rouge

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	0,096	0,422	0,285
RÉFÉRENCE / REJET	0,269	1,000	0,003
CANAL / RÉFÉRENCE	0,579	0,422	0,132

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 restée 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 75 germes/mL en juin au point *rejet* et un maximum de 5 200 germes/mL en septembre au même point (figure 3.4). Les valeurs de germes revivifiables obtenues lors des campagnes de mars et de juin sont nettement inférieures à celles observées en septembre. En dehors des forts écarts de valeurs observées, le nombre de germes revivifiables augmente du printemps vers l'automne avec l'augmentation de la température des eaux. En septembre nous observons un gradient décroissant côte-large avec la valeur maximum au point *rejet*.

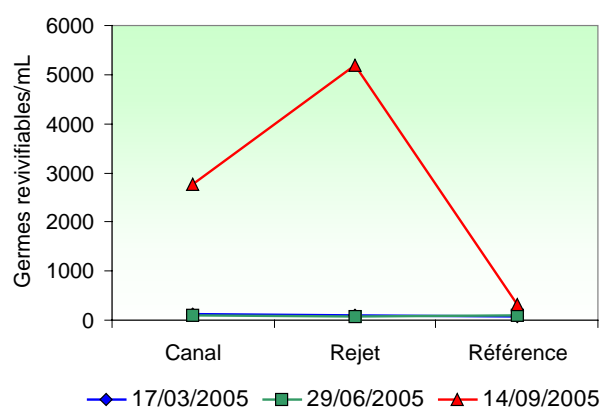


Figure 3.4 : Germes revivifiables (nombre par mL) dénombrés sur milieu de Zobell en 2005

3.3.3.2. Variations inter-annuelles des germes revivifiables

Nous pouvons observer en juin 2004 une diminution des valeurs des germes revivifiables aux points *canal* et *rejet* par rapport à celles de 2004 (figure 3.5). Aux mois de mars et de septembre la situation est restée stationnaire par rapport aux valeurs observées en 2004. A l'exception des valeurs observées à l'automne 2003, l'ensemble de valeurs de ce paramètre est resté stable depuis 1997.

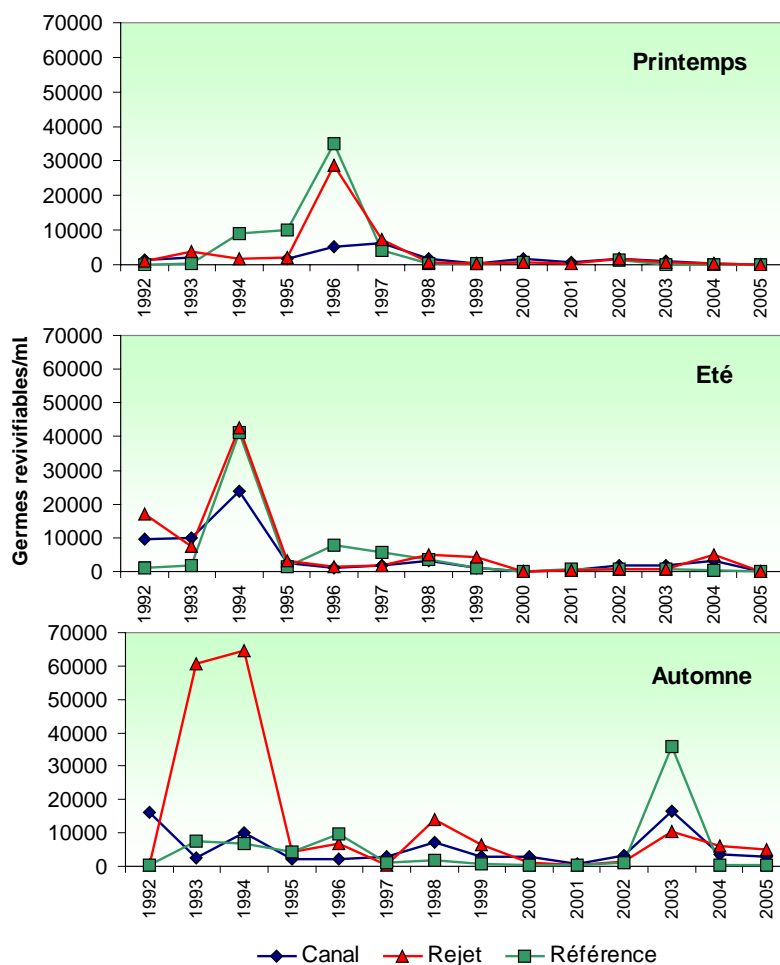


Figure 3.5 : Germes revivifiables (nombre par mL d'eau de mer) dénombrés sur milieu de Zobell depuis 1992

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*.

Sur l'ensemble de points échantillonnés en 2005, le nombre de germes revivifiables a été en dessous des valeurs médianes pluriannuelles. Ceci est plus particulièrement marqué en mars et juin, où pour le point canal, les valeurs constituent les minima absolus de la série 1992-2005.

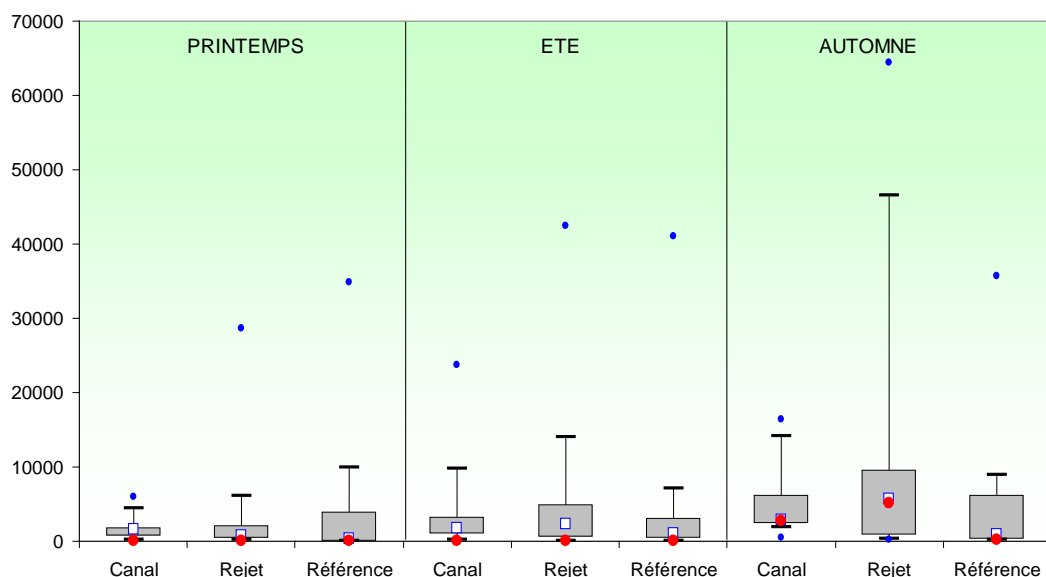


Figure 3.6 : Germes revivifiabiles (nombre par mL) dénombrés depuis 1992 et valeurs 2005 en rouge

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	0,579	0,789	0,789
RÉFÉRENCE / REJET	0,379	0,422	0,181
CANAL / RÉFÉRENCE	0,149	0,422	0,181

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 diminué à des niveaux 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 2005 sont présentés dans le tableau 3.4 pour chacune des méthodes utilisées.

METHODE ANCIENNE (vibrions/100mL)				
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 17 MARS 2005			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	Abs.	Abs.	---	---
Rejet	<3 Va	Abs.	---	---
Référence	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 29 JUIN 2005			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	Abs.	Abs.	---	---
Rejet	<3 Vv	<3 Va	---	---
Référence	<3 Va+Vv	Abs.	<3 Va	Abs.
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 14 SEPTEMBRE 2005			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	7,4 Va	15 Vv	---	---
Rejet	3,6 Va	3,6 Vv	---	---
Référence	23 Vv	15 Va	3,6 Vv	Abs.

METHODE EDF (vibrions/L)				
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 17 MARS 2005			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	Abs.	Abs.	---	---
Rejet	Abs.	Abs.	---	---
Référence	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 29 JUIN 2005			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	Abs.	Abs.	---	---
Rejet	Abs.	Abs.	---	---
Référence	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 14 SEPTEMBRE 2005			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	2 Va	9 Vv	---	---
Rejet	15 Va	Abs.	---	---
Référence	7 Vv	1 Va	Abs.	Abs.

Tableau 3.4 : Identification de vibrions halophiles sur l'ensemble des échantillons de Paluel en 2005

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 mars et juin, la nouvelle méthode ne met pas en évidence la présence de vibrions halophiles sur l'ensemble de points d'échantillonnage. Avec l'ancienne méthode, des souches de

V. alginolyticus ont été observées en mars au point *rejet* et en juin aux points *rejet* et *référence*, ainsi que des souches de *V. vulnificus* dans ces deux points en juin.

Bien que les méthodes d'identifications de vibrions halophiles par les deux méthodes soient proches, et que les différences observées peuvent être dues aux méthodologies et aux milieux de culture utilisés, la méthode EDF, qui semblait présenter une plus forte sensibilité lors des campagnes 2004, présente une moindre sensibilité en 2005. Ceci est mis en évidence lors des analyses des mois de mars et juin, où contrairement à la méthode EDF, l'ancienne méthode a permis d'identifier des souches de vibrions (tableau 3.5). En septembre, les deux méthodes mettent en évidence les souches de *V. alginolyticus* et *V. vulnificus* sur les trois points d'échantillonnage, à l'exception du point *rejet*, où *V. vulnificus* n'a pas été identifié par la méthode EDF.

ANCIENNE METHODE 100 mL					NOUVELLE METHODE EDF 1000 mL				
<i>V. vulnificus</i>	canal				canal				
	référence				référence				
	rejet				rejet				
<i>V. alginolyticus</i>	canal				canal				
	référence				référence				
	rejet				rejet				
<i>V. parahemol.</i>	canal				canal				
	référence				référence				
	rejet				rejet				
<i>V. cholerae</i>	canal				canal				
	référence				référence				
	rejet				rejet				
		P	E	A	P	E	A		
		2004			2005				

Tableau 3.5 : Comparaison des résultats d'identification de vibrions entre l'ancienne méthode et la méthode EDF en 2005

		ANCIENNE METHODE																											
PALUEL	<i>V. vulnificus</i>	canal																											
		référence																											
		rejet																											
<i>V. alginolyticus</i>	canal																												
	référence																												
	rejet																												
<i>V. parahemol.</i>	canal																												
	référence																												
	rejet																												
<i>V. cholerae</i>	canal																												
	référence																												
	rejet																												
		P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	
		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005	

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

Tableau 3.6 : Identification des souches de vibrions halophiles par saison et par point de 1992 à 2005

La série pluriannuelle présentée dans le tableau 3.6 met en évidence un plus grand nombre de cas d'identification de vibrions halophiles dans les cinq dernières années. Entre 1995 et 1998 les souches de vibrions halophiles ont été relativement absentes. A partir de 1999, la présence de *V. alginolyticus* est de plus en plus fréquente lors des campagnes d'été et d'automne, étant observée systématiquement en automne au point *canal*. Des souches de *V. vulnificus* ont

également été observées en 2001, 2002, 2003 et 2004 lors des campagnes estivales et automnales, essentiellement sur le point *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 de mars et de juin, et 14 vibrions/100 mL en septembre au point *référence* (figure 3.7). Les valeurs d'abondance de vibrions aux points *canal* et *rejet*, respectivement de 11 et 3,6 vibrions/100 mL, sont en dessous de la valeur observée au point *référence*.

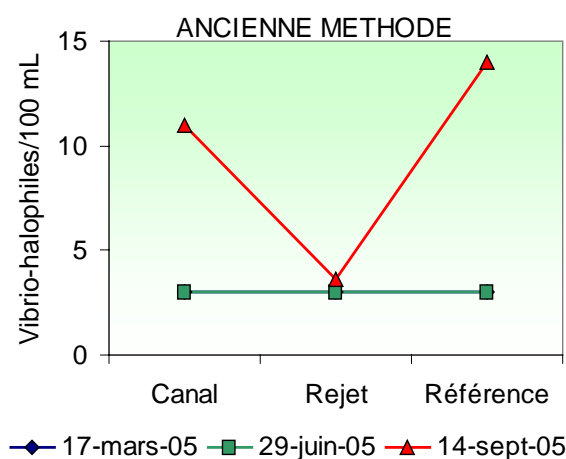


Figure 3.7 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2005 avec l'ancienne méthode

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 réplicats. Les concentrations inférieures au seuil de détection de 3 vibrions pour 100 mL n'ont pas été représentées. Les valeurs semblent présenter une tendance à la diminution par rapport aux valeurs observées en 2002 et 2003. La plus forte différence est mise en évidence au point *rejet*, où en 2004, 93 vibrions pour 100 mL ont été observées par rapport aux 3,6 vibrions pour 100 mL observées en 2005. 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 la présence de *V. alginolyticus* et *V. vulnificus* en été et plus particulièrement en automne.

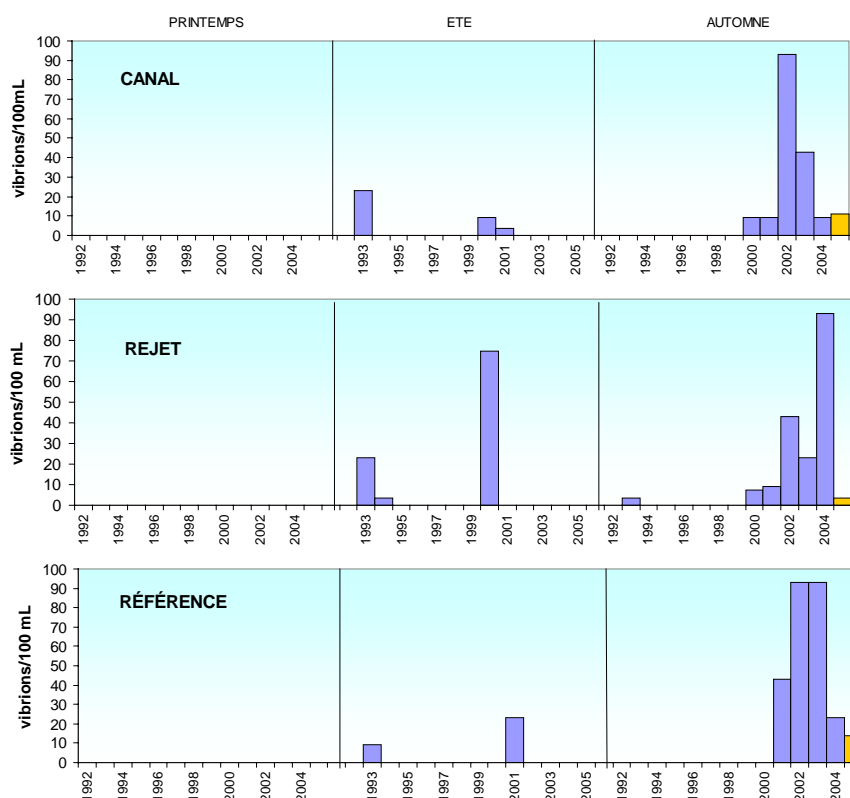


Figure 3.8 : Dénombrement des vibrions halophiles par saison et par point de 1992 à 2005

Méthode EDF :

Les valeurs mis en évidence par la nouvelle méthode analytique de l'EDF présentent un minimum égal au seuil analytique (≤ 1 vibron/L) sur l'ensemble de points en mars et juin et un maximum de 15 vibrions/L au point *rejet* en septembre (figure 3.9). Tout comme les résultats mis en évidence par l'ancienne méthode, nous observons, avec la méthode EDF, les plus fortes valeurs lors de la campagne de septembre.

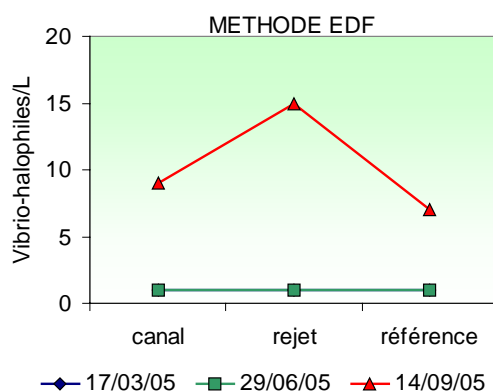


Figure 3.9 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2005 avec la méthode EDF

Le plus fort résultat est observé au point *rejet* et un faible gradient décroissant côte-large est suggéré. Il est à remarquer que les résultats issus de l'ancienne méthode présentent, au mois de septembre, les plus faibles résultats au point *rejet*. 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. En 2004 la méthode EDF présente une plus forte sensibilité, tandis qu'en 2005 c'est l'ancienne méthode qui l'emporte.

Quantitativement, les souches de *V. alginolyticus* et *V. vulnificus* dominent les peuplements de vibrions halophiles en 2005. La distribution spatiale de ces deux souches de vibrions en septembre 2004 et 2005 présentent une allure opposée (figure 3.10), avec un maximum de *V. alginolyticus* aux points *canal* et *référence*, et un minimum d'abondance de *V. vulnificus*. En septembre 2005, la situation est inversée.

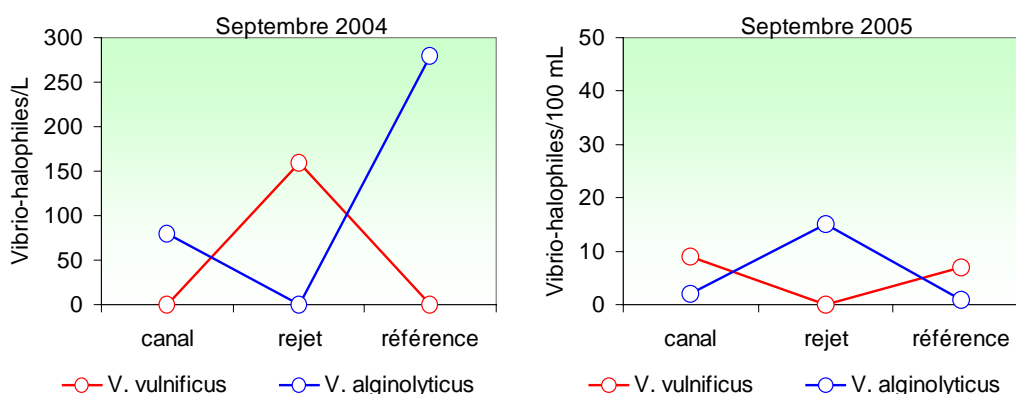


Figure 3.10 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles en septembre 2004 et 2005

S'agissant de la deuxième 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 neuf 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. Les valeurs observées en 2005 se situent en dessous des médianes pluriannuelles, à l'exception de celles des points *rejet* en mars et *canal* en juin, qui se situent au-dessus des médianes.

La quantité de germes revivifiables reste stable au cours de la période printanière. En été et en automne nous observons une légère diminution du nombre de germes revivifiables sur l'ensemble de points d'échantillonnage par rapport à 2004. Toutes les valeurs observées en 2005 se situent en dessous des médianes pluriannuelles.

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 aussi fréquentes de *Vibrio vulnificus* et plus exceptionnellement de *Vibrio parahaemolyticus*.

Bien que les méthodes d'identifications de vibrions halophiles par les deux méthodes sont proches, l'expérience menée pendant 2004 et 2005, avec des analyses en parallèle, montrent une forte variabilité dans les résultats. Ces différences peuvent être dues aux méthodologies et aux milieux de culture utilisés. Les deux méthodes sont cependant concordantes sur les souches

identifiées dans les eaux échantillonnées. A partir de 2006, seule la nouvelle méthode sera utilisée, permettant ainsi de comparer l'évolution de ce paramètre entre les cinq centrales nucléaires du bord de mer.

Les dénombrements de vibrions avec l'ancienne méthode permet de mettre en évidence l'apparition des souches de *V. alginolyticus* et de *V. vulnificus* en juin et septembre, tandis que la méthode EDF ne les met en évidence qu'au mois de septembre. 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),
Sylvaine Françoise (LERN),
Laure Lamort (LERN),
Frank Maheux (LERN),
Olivier Pierre-Duplessix (LERN),
Françoise Dagault (DEL/SM),
Virginie Antoine (LERN).

Relecture

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 2005.

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 2005 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)
17 MARS	Chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$)	2,74 \pm 0,22	2,69 \pm 0,30	1,17 \pm 0,00	1,53 \pm 0,06
	Phéopigments ($\mu\text{g/L}$)	1,73 \pm 0,46	2,45 \pm 0,22	0,60 \pm 0,10	0,61 \pm 0,06
	Prod. Primaire (mg C/m ³ /h)	6,44 \pm 0,98	5,73 \pm 1,18	4,18 \pm 0,82	3,48 \pm 0,61
	microphytoplancton (cel/L)	54 000	41 000	73 000	67 000
29 JUIN	Chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$)	1,31 \pm 0,23	0,59 \pm 0,12	0,67 \pm 0,04	0,61 \pm 0,03
	Phéopigments ($\mu\text{g/L}$)	0,26 \pm 0,16	0,43 \pm 0,08	0,28 \pm 0,01	0,28 \pm 0,02
	Prod. Primaire (mg C/m ³ /h)	6,25 \pm 1,24	4,87 \pm 0,39	6,88 \pm 1,94	7,88 \pm 0,85
	microphytoplancton (cel/L)	96 100	73 200	53 000	126 800
14 SEPTEMBRE	Chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$)	0,51 \pm 0,08	0,57 \pm 0,09	0,51 \pm 0,16	0,49 \pm 0,08
	Phéopigments ($\mu\text{g/L}$)	0,44 \pm 0,12	0,34 \pm 0,04	0,20 \pm 0,12	0,22 \pm 0,06
	Prod. Primaire (mg C/m ³ /h)	3,60 \pm 0,57	3,19 \pm 0,53	4,54 \pm 0,03	4,99 \pm 0,08
	microphytoplancton (cel/L)	17 100	13 400	16 400	---

Tableau 4.1 : Moyenne et écart type des paramètres phytoplanctoniques au droit de la centrale de Paluel en 2005

4.3.1 Biomasse chlorophyllienne

4.3.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle

Au cours de l'année 2005, les valeurs de chlorophylle s'échelonnent entre 0,51 $\mu\text{g/L}$ au point *canal* et *référence* en septembre et 2,74 $\mu\text{g/L}$ au point *canal* en mars (figure 4.1). Ces valeurs mettent en évidence la très faible biomasse phytoplanctonique de la zone d'étude lors des trois campagnes en 2005. La campagne de mars présente les plus fortes valeurs de l'année et celle de septembre les plus faibles, ce qui est habituel car c'est au printemps qu'ont lieu les plus fortes efflorescences.

Une faible variabilité spatiale est mise en évidence en juin et septembre. Au cours des campagnes de printemps et d'été, un gradient décroissant côte-large est observé. Lors des trois campagnes, les valeurs de concentration en chlorophylle du point *rejet* se situent tantôt proches de celles observées au point *canal*, tantôt proches de celles du point *référence*.

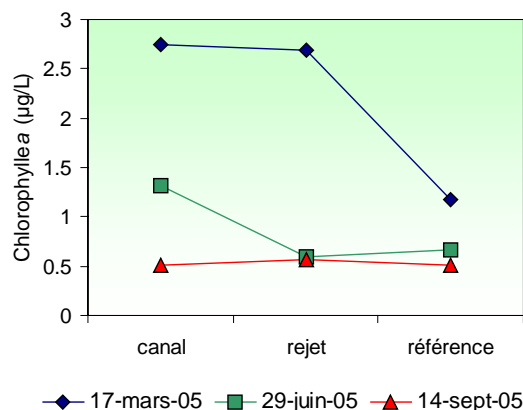


Figure 4.1 : Évolution de la concentration en chlorophylle au cours des trois campagnes de surveillance 2005

4.3.1.2. Variations inter-annuelles

En mars, les concentrations en chlorophylle présentent des valeurs deux à quatre fois supérieures à celles de 2004 (figure 4.2), tandis qu'en juin et septembre elles sont inférieures. Depuis huit ans environ, et avec des oscillations inter-annuelles, les concentrations enregistrées au mois de mars semblent être en lente augmentation.

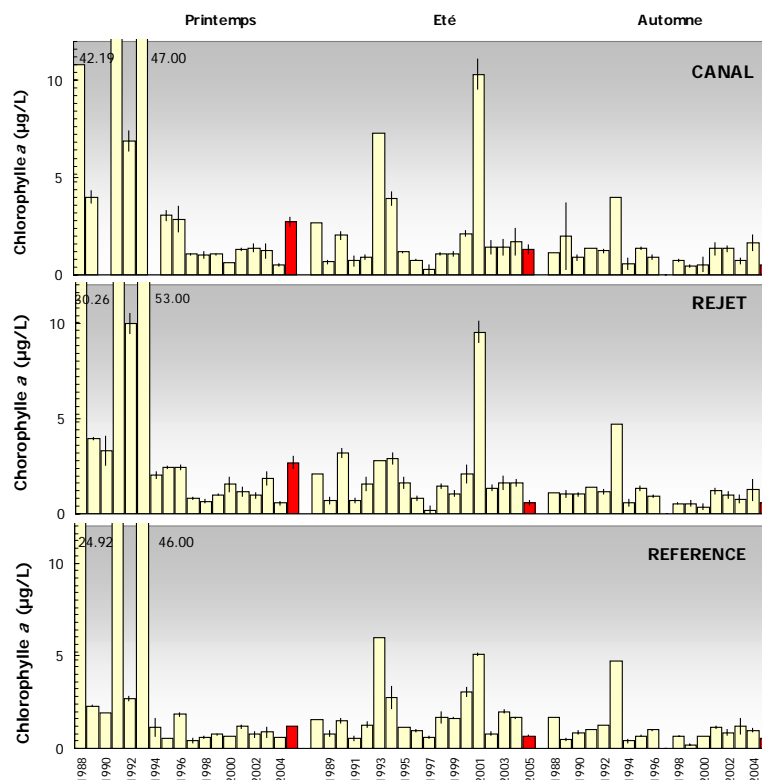


Figure 4.2 : Évolution de la chlorophylle de 1988 à 2005

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.

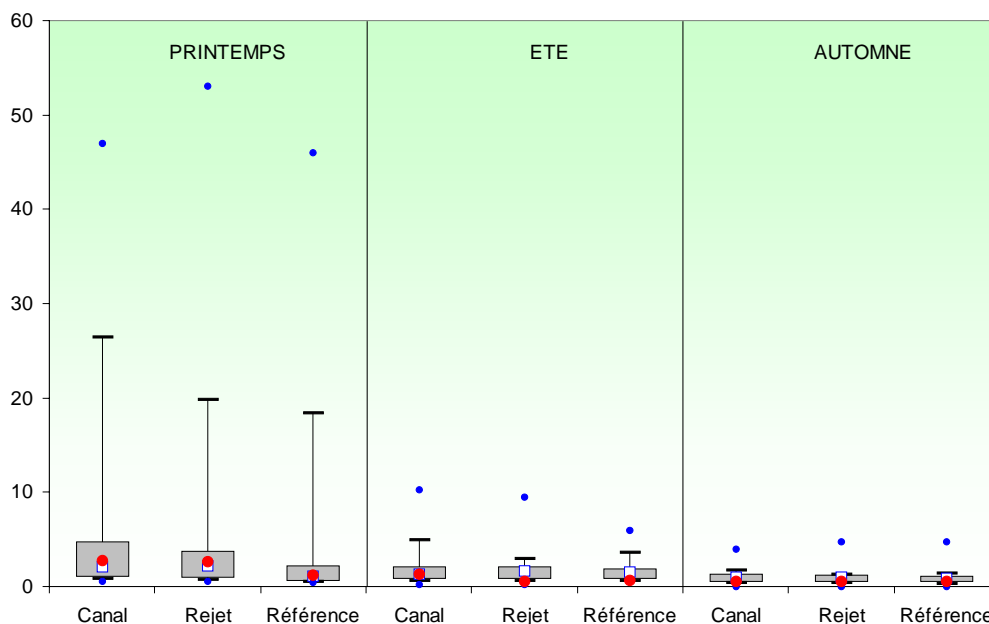


Figure 4.3 : Évolution de la chlorophylle de 1988 à 2005

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 mars et septembre 2005 sont proches des médianes, tandis qu'en juin, les concentrations en chlorophylle aux points *rejet* et *référence* se situent en dessous 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	0,453	0,627	0,999
RÉFÉRENCE / REJET	0,004	0,813	0,323
CANAL / RÉFÉRENCE	0,010	0,813	0,255

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 2005 sont comprises entre 3,19 mg C/m³/h en septembre au point *rejet* et 6,88 mg C/m³/h en juin au point *référence* (figure 4.4).

Comme pour la chlorophylle, nous observons de très faibles différences entre les points échantillonnés. Sur les campagnes d'été et d'automne, un gradient croissant côte-large de production primaire est observé. Au printemps, on note un gradient inverse, avec une valeur de 6,44 mg C/m³/h au point *canal*.

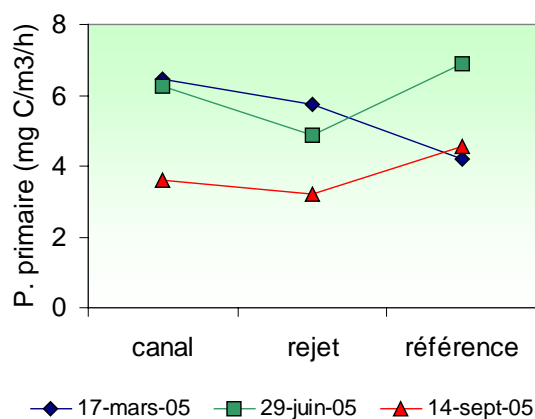


Figure 4.4 : Évolution de la production primaire lors des trois campagnes de surveillance de 2005

Les valeurs de production primaire, hors le point *référence*, sont similaires du printemps vers l'été, pour descendre en automne aux niveaux les plus bas de l'année. Compte tenu des incertitudes liées à la mesure de ce paramètre, les différences observées au point *référence*, entre les valeurs de surface et celles enregistrées à 10 mètres de profondeur, ne sont pas significatives en mars et juin.

4.3.2.2. Variations inter-annuelles

Au printemps, toutes les valeurs observées en 2005 sont supérieures à celles enregistrées en 2004 (figure 4.5). Les écarts les plus marqués sont observés au point *canal*. En été et en automne, les valeurs obtenues oscillent autour de celles observées en 2004. Depuis quatre années, nous observons une lente augmentation des valeurs de production primaire au printemps, tandis que la tendance s'inverse pour les campagnes menées en juin et septembre.

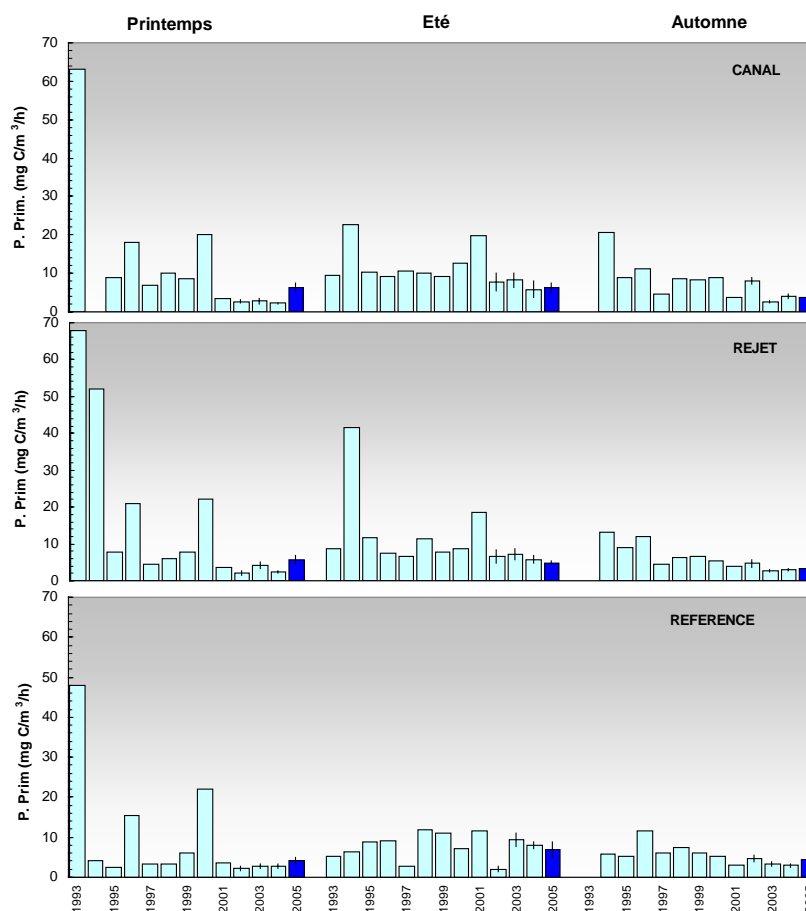


Figure 4.5 : Évolution de la production primaire de 1993 à 2005

Tout comme pour la biomasse chlorophyllienne, la dispersion des valeurs observées en mars est supérieure à celle observée en juin et septembre (figure 4.6). L'ensemble de valeurs de production primaire de 2005 se trouvent proches ou en dessous des valeurs des médianes pluriannuelles, représentant aux points *canal* et *rejet* de juin et septembre, les valeurs minimales de la série 1988-2005. Un gradient décroissant côte-large est observé pour les médianes de production primaire sur les trois campagnes.

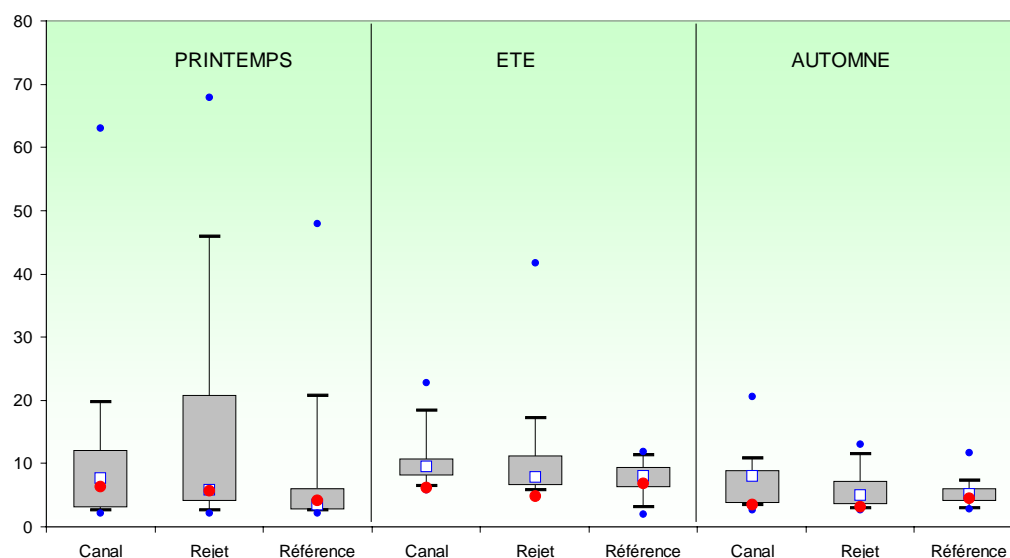


Figure 4.6 : Évolution de la production primaire de 1993 à 2005

La faible productivité des eaux de Paluel au printemps peut sembler paradoxale dans le contexte de la Manche. La concentration en azote n'a pas pu jouer le rôle de facteur limitant pour la croissance phytoplanctonique (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.

Tenant compte des incertitudes de mesure, 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

Aucun test n'a présenté de différences significatives. Il faut remarquer que lors de la campagne estivale les couples *canal - référence* et *canal - rejet* présentent des probabilités associées p proches du seuil de signification (tableau 4.3).

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,847	0,096	0,227
RÉFÉRENCE / REJET	0,149	0,999	0,773
CANAL / RÉFÉRENCE	0,386	0,052	0,386

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 Microphytoplancton

4.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières du microphytoplancton

Les dénombrements microphytoplanctoniques effectués en 2005 sont présentés sur la figure 4.7 ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre de cellules par litre. Les plus fortes abondances de surface sont observées au point *canal* en juin avec 96 100 cellules/L et les plus faibles sur le point *rejet* en septembre, avec 13 400 cellules/L.

Les variations spatio-temporelles restent faibles en septembre, où les plus faibles valeurs de l'année sont observées. Les plus fortes valeurs ont été observées en juin avec un gradient décroissant côte-large bien établi. En mars ce gradient est inversé.

Au point *référence* les différences d'abondance entre la surface et la mi profondeur ont été significatives au mois de juin. En septembre la perte de l'échantillon de la mi profondeur ne nous permet pas de réaliser les estimation des abondances.

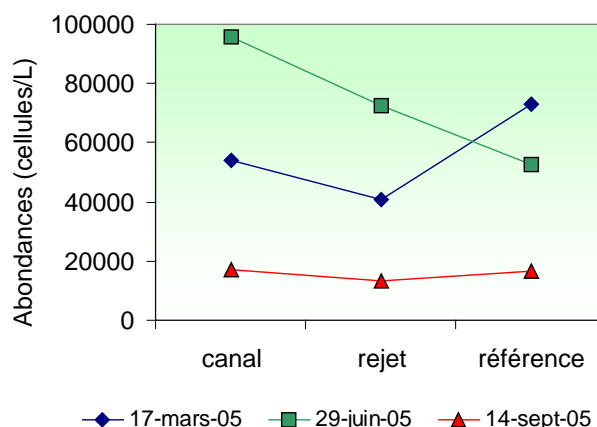


Figure 4.7 : Abondances du microphytoplancton au cours de l'année 2005

Il reste difficile de comparer l'abondance avec les autres paramètres, car celui-ci ne caractérise pas entièrement la biomasse phytoplanctonique. En effet, un peuplement composé de nombreuses petites cellules peut représenter de fortes biomasses. Cependant les trois paramètres présentent les plus faibles valeurs lors de la campagne de septembre.

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 2005 sont supérieures à celles observées en 2004. En septembre 2005, les abondances enregistrées sur l'ensemble des points restent inférieures à celles de septembre 2004.

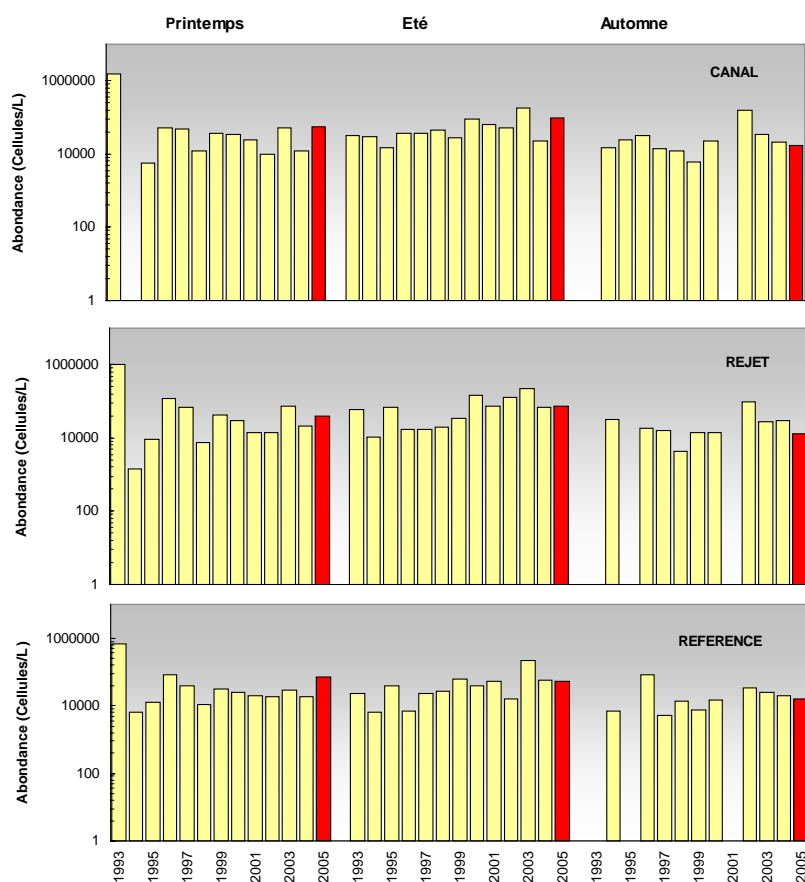


Figure 4.8 : Évolution de l'abondance phytoplanktonique de 1993 à 2005

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

Sur l'ensemble de points, les valeurs du printemps et de l'été 2005 se trouvent au dessus des médianes. En automne, sauf pour le point *canal*, les valeurs 2005 se situent en dessous des médianes pluriannuelles.

La tendance pluriannuelle montre un gradient décroissant côte-large pour l'ensemble de campagnes. En été, le point *rejet* présente la plus forte médiane. Pour les campagnes d'été et d'automne, les tendances observées en 2005 suivent celles des médianes de la série 1993-2005. Les plus fortes valeurs des médianes 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*.

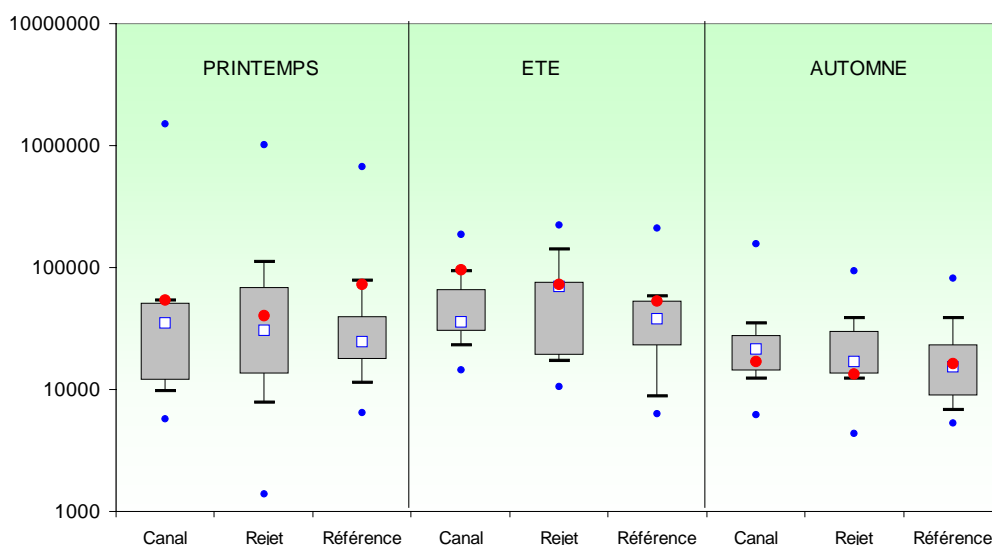


Figure 4.9 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1993 à 2005

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 1993-2005.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,773	0,130	0,752
RÉFÉRENCE / REJET	0,999	0,096	0,752
CANAL / RÉFÉRENCE	0,773	0,249	0,343

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 2005

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.

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 2005 a été répartie en 4 grands

groupes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2005, environ 62 taxons (taxons et 'classes algales') ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 79 % de la communauté microphytoplanctonique, et peuvent atteindre un proportion de 100 % (tableau 4.5).

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANKTON				TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés			
IGA 2005-1	canal	53985	0	0	0	53985	0	100
IGA 2005-1	rejet	40770	0	0	0	40770	0	100
IGA 2005-1	ref surf	72800	0	200	0	73000	0	100
IGA 2005-1	ref 1/2 prof.	67000	0	0	0	67000	0	100
IGA 2005-2	canal	95500	300	300	0	96100	0	99
IGA 2005-2	rejet	72600	0	300	300	73200	0	99
IGA 2005-2	ref surf	52800	200	0	0	53000	0	100
IGA 2005-2	ref 1/2 prof.	126800	0	0	0	126800	0	100
IGA 2005-3	canal	16400	700	0	0	17100	4	96
IGA 2005-3	rejet	12200	800	400	0	13400	6	86
IGA 2005-3	ref surf	12900	2700	800	0	16400	16	79
IGA 2005-3	ref 1/2 prof.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : valeurs non disponibles

Tableau 4.5: Abondances des principales classes algales pour l'année 2005

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 2 700 cellules/L et 89 000 cellules/L. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nanophytoplanctonique. Lors de la campagne de mars et en partie pour celle de juin, les nombreuses particules du sédiment en suspension ont rendu les dénombrements du microphytoplancton peu aisés, voir impossibles pour la fraction nanophytoplanctonique.

Campagne	Station	DIATOMÉES								Cumul %	
		RHIZ	MELO	NITZ	CHAE	THAL	SKEL	BIDD	THAANT		FLAG
IGA 2005-1	canal	0	9	7	0	23	15	15	0	11	80
IGA 2005-1	rejet	0	8	3	0	39	18	9	0	0	77
IGA 2005-1	ref surf	0	9	7	7	33	31	1	4	2	94
IGA 2005-1	ref 1/2 prof.	0	7	7	5	57	16	3	0	3	98
IGA 2005-2	canal	42	2	0	0	3	0	0	40	0	87
IGA 2005-2	rejet	25	11	1	1	5	8	0	41	0	92
IGA 2005-2	ref surf	31	0	0	0	3	0	0	55	0	89
IGA 2005-2	ref 1/2 prof.	34	3	0	0	10	1	0	45	0	93
IGA 2005-3	canal	10	4	2	7	20	31	1	5	0	80
IGA 2005-3	rejet	12	0	4	9	26	35	0	0	0	86
IGA 2005-3	ref surf	2	6	1	6	11	54	1	0	0	81
IGA 2005-3	ref 1/2 prof.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Clefs : **Rhiz** : *Rhizosolenia* ; **Melo** : *Melosira* ; **Thal** : *Thalassiosira* ; **Chae** : *Chaetoceros* ; **Skel** : *Skeletonema costatum* ; **Thaanit** : *Thalassionema nitzschooides* ; **Plag** : *Plagiogramma* ; **Nitz** : *Nitzschia* ; **Bidd** : *Biddulphia*

Tableau 4.6 : Abondances des principaux genres de diatomées pour l'année 2005

Les principales espèces dénombrées en 2005 sont les suivantes :

Mars 2005 : les genres dominants au printemps sont *Thalassiosira* (23 % à 57 %), *Skeletonema* (15 % à 31 %), *Biddulphia* (1 % à 15 %), *Melosira* (inclue les genres *Melosira* et *Paralia*, jusqu'à 9 %), *Plagiogramma* (jusqu'à 11 % au point *canal*) (tableau 4.6 et figure 4.10). L'espèce de *Thalassiosira* la plus fréquemment observée a été *Thalassiosira levanderii*.

Les dinoflagellés ont été pratiquement absents pendant cette campagne printanière. Les autres classes algales n'ont été que peu représentées avec 200 cellules/L d'euglénophycées au point *référence*.

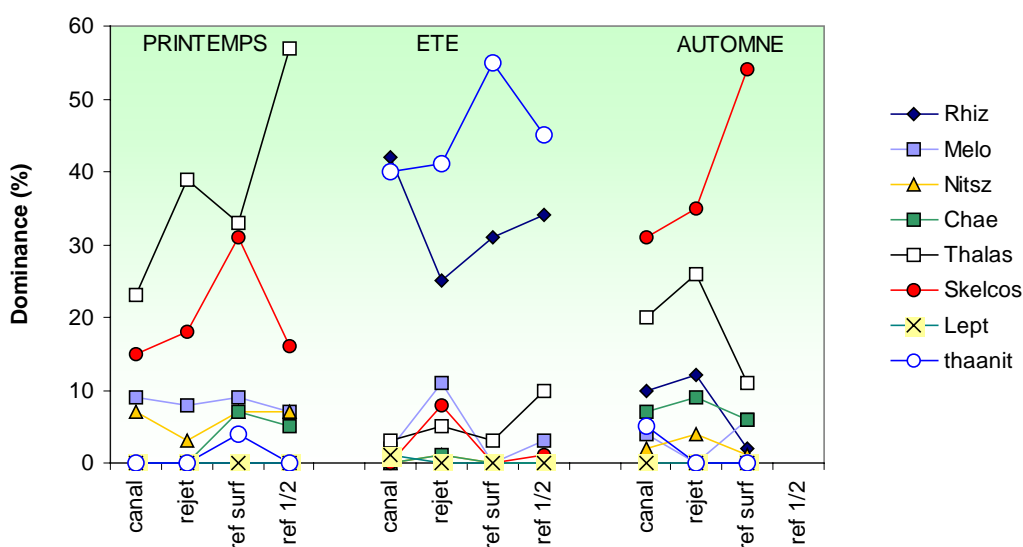


Figure 4.10 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2005

Juin 2005 : les genres le plus représentés parmi les diatomées sont, *Rhizosolenia* avec des dominances comprises entre 25 % et 42 %, *Thalassionema* (40 % à 45 %), *Melosira* (jusqu'à 11 % au point *rejet*) et *Thalassiosira* (3 % à 10 %). L'espèce du genre *Rhizosolenia* la plus fréquemment observée est *R. delicatula* suivie de près par *R. fragilissima*. 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 *Nitzschia*, *Skeletonema* et *Chaetoceros* sont aussi représentés, mais avec des dominances inférieures à 10 %.

Les dinoflagellés ont présenté au maximum d'abondance de 300 cellules/L au point *canal*. Les espèces les plus observées en juin 2005 sont *Amphidinium* sp. et *Prorocentrum micans*.

Les euglènes sont observées sur les points *canal* et *rejet* avec des abondances de 300 cellules/L sur chacun des points. La même abondance en silicoflagellés est observée au point *rejet*.

La fraction nanophytoplanktonique, seulement observée au point *référence* à cause de la forte turbidité des eaux, est faiblement représentée en ce mois de juin avec des abondances de cryptophycées qui atteignent 6 200 cellules/L en surface. Sur ce même point nous observons une abondance similaire de coccolithophoridées.

Septembre 2005 : les genres les plus observés en septembre sont *Skeletonema* (31 % à 54 %), *Thalassiosira* (11 % à 26 %), *Rhizosolenia* (2 % à 12 %) et *Chaetoceros* avec des dominances allant jusqu'à 9 %.

Pendant ce mois de septembre les dominances de dinoflagellés varient de 4 % à 16 %, cette dernière valeur étant observée au point référence, où l'abondance est de 2 700 cellules/L. Les espèces le plus observées sont *Prorocentrum gracile*, *Scrippsiella trochoïdea* et *Gymnodinium* sp.

Les euglénophycées ont été présentes dans les points *rejet* et *référence* avec respectivement des abondances de 400 et 800 cellules/L.

L'indice de diversité H' de Shannon (Scherrer, 1984) permet d'obtenir une caractérisation de la diversité du peuplement phytoplanctonique. Plus sa valeur est faible, plus la diversité l'est également et le peuplement est pauvre. La figure 4.11 représente l'évolution de cet indice pour l'ensemble des campagnes menées en 2005.

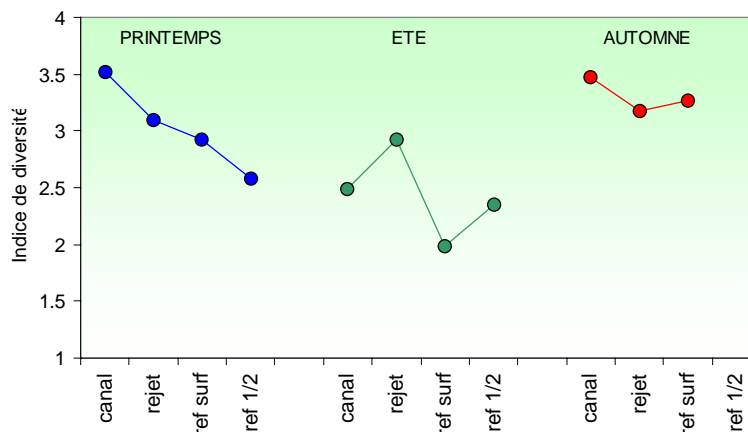


Figure 4.11 : Distribution de l'indice de diversité de Shannon pour l'année 2005

La diversité microphytoplanctonique présente le minimum en juin et des valeurs comparables en mars et septembre. Ceci montre qu'aucune des campagnes effectuées en 2005 n'a eue lieu lors des fortes efflorescences.

Nous observons un gradient décroissant côte-large de l'indice de diversité, ce qui suggère un peuplement *du large* dominé par un nombre plus restreint d'espèces. Les plus faibles abondances et biomasse de septembre sont corrélées avec la plus forte diversité.

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 2005 pour les paramètres chlorophylle, production primaire et abondance phytoplanctonique, 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>microphytoplancton</i>
17 MARS	2	11	24
29 JUIN	55	22	24
14 SEPTEMBRE	-12	11	24

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

La valeur négative de chlorophylle met en évidence des biomasses phytoplanctoniques supérieures au point *rejet* par rapport au point *canal*. Tous les autres paramètres présentent des valeurs positives.

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 proche. Le cycle phytoplanctonique annuel, avec des biomasses comprises entre 0,51 et 2,74 µg/L, correspond au cycle classiquement décrit en Manche. Les valeurs observées en mars sont en accord avec la situation printanière classique.

Les concentration en azote inorganique ont été proches des médianes pluriannuelles sur les trois campagnes 2005. Cette situation a néanmoins conduit à des valeurs de biomasse et de production primaire inférieures aux médianes pluriannuelles en été et en automne.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Paluel montrent bien le phénomène au cours duquel la population de la période 'hivernale' (bien diversifiée), dominé par les diatomées des genres *Thalassiosira* et *Skeletonema*, est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées des genres *Rhizosolenia* et *Thalasionema*, avec une plus faible diversité spécifique. Les dinoflagellés atteignent leur maximum d'abondance en septembre, 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. La forte turbidité lors de la campagne de mars rend difficile l'interprétation des résultats de la fraction nanophytoplanktonique.

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 phytoplanktonique en 2005.

5. Le Zooplancton

Rédaction

Jean-Michel Brylinski (ULCO),
Dorothée Vincent (ULCO),
Françoise Dagault (DEL/SM),
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),
Luis Lampert (LERN).

Relecture

Daniel Woehrling (EMH),

5.1. Introduction

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

5.2. Matériels et méthodes

En 2005, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 17 mars, 29 juin et 14 septembre. Lors de chaque campagne, trois points sont étudiés :

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

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

Les traitements statistiques et leur représentation graphique sont similaires à ceux décrits dans le chapitre 2.

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 côtes françaises de Manche et Atlantique (IFREMER DERO-86.24-EL).

5.2.2. Analyse taxinomique

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

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

5.3. Résultats

Les résultats de l'année 2005 sur le site de Paluel sont présentés ci-après :

	PARAMETRES	CANAL	REJET	RÉFÉRENCE
17 MARS	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	12,1	34,8	10,0
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	5 407	1 647	2 051
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	3 966	2 811	1 514
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	9 373	4 458	3 565
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	3,3	10,5	2,7
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	0,7	2,1	0,5
29 JUIN	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	21,5	95,1	70,1
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	1 548	2 010	19 262
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	3 955	20 838	25 975
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	5 503	22 848	45 237
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	5,0	20,2	23,2
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	1,1	4,5	5,8
14 SEPTEMBRE	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	2,9	8,8	4,3
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	574	456	351
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	1 711	5 190	7 014
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	2 284	5 646	7 366
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	0,7	1,5	1,4
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	0,1	0,3	0,4

Tableau 5.1 : Récapitulatif des résultats pour 2005 dans les eaux de surface

5.3.1. Biomasse zooplanctonique

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

5.3.1.1. Variations spatiales et temporelles en 2005

Au cours de l'année 2005, les valeurs de la biomasse zooplanctonique s'échelonnent entre $2,9 \text{ mg}/\text{m}^3$ au point *canal* en septembre et $95,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ au point *rejet* en juin (figure 5.1).

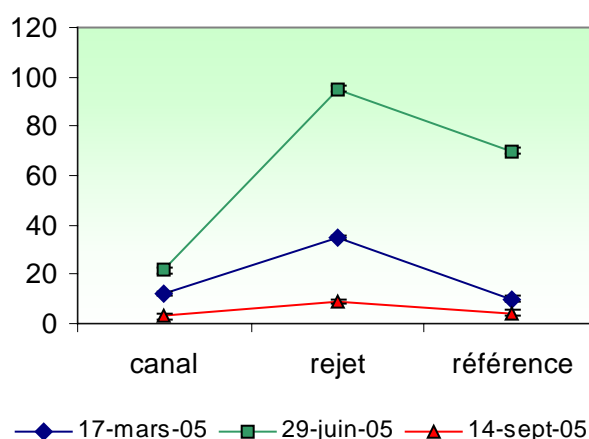


Figure 5.1 : Évolution de la biomasse (poids sec en mg/m^3) au cours des trois campagnes de surveillance 2005

Aux trois stations, la biomasse est, en 2005, régulièrement la plus élevée en juin, ($21,5$ à $95,1 \text{ mg}/\text{m}^3$; période de développement maximum du zooplancton) et la plus faible en septembre ($2,9$ à $8,8 \text{ mg}/\text{m}^3$).

Pour les trois dates, les valeurs maximales sont observées au point *rejet* avec 3 à 4 fois plus de biomasse qu'au point *canal*.

Au point *référence*, la biomasse est de valeur intermédiaire en juin et septembre, mais la plus faible en mars.

Dans la mesure où le point *rejet* est soumis à de fortes turbulences, il est possible que le poids des échantillons y soit systématiquement surestimé par la prise en compte de particules minérales remises en suspension.

5.3.1.2. Variations interannuelles (figure 5.2)

La biomasse est identique au printemps et été des deux années 2004 et 2005 au point *canal*, mais plus élevée en 2005 au point *rejet* (environ +50 %).

Pour le point *référence*, la biomasse est trois fois plus forte en juin 2005 qu'en juin 2004, mais trois fois plus faible au printemps 2005 (prélèvement réalisé 10 jours plus tôt) qu'au printemps 2004 (avril).

Les valeurs de biomasse mesurées en septembre sont systématiquement plus faibles aux trois stations en 2005 qu'en 2004.

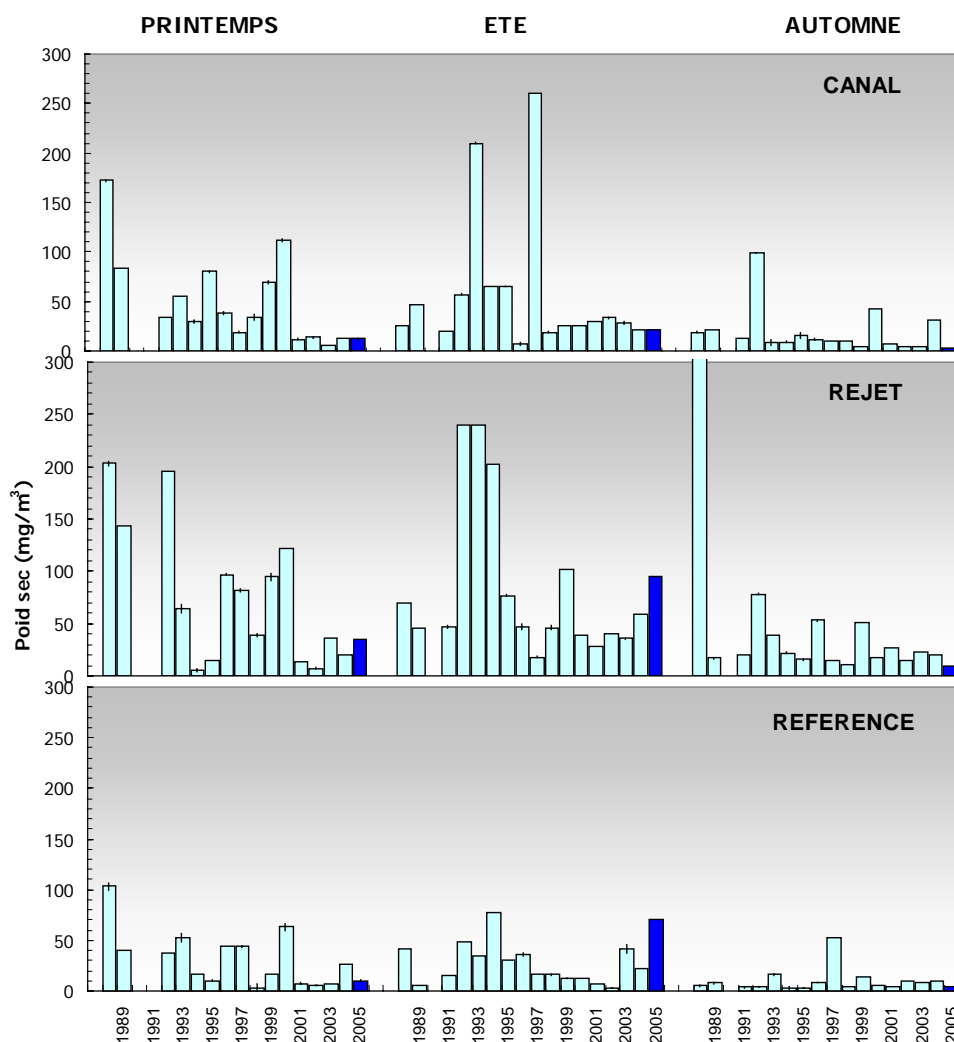


Figure 5.2 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1988 à 2005

L'analyse des données de biomasse sur plusieurs années confirme le caractère assez systématique d'une valeur maximale au point *rejet*, telle qu'observée en 2005, ainsi que d'une plus forte biomasse au point *canal* qu'au point *référence*.

Les valeurs de biomasse observées en 2005 sont inférieures aux médianes pluriannuelles aux trois points (figure 5.3) sauf en juin où les biomasses des points *rejet* et *référence* sont nettement plus élevées.

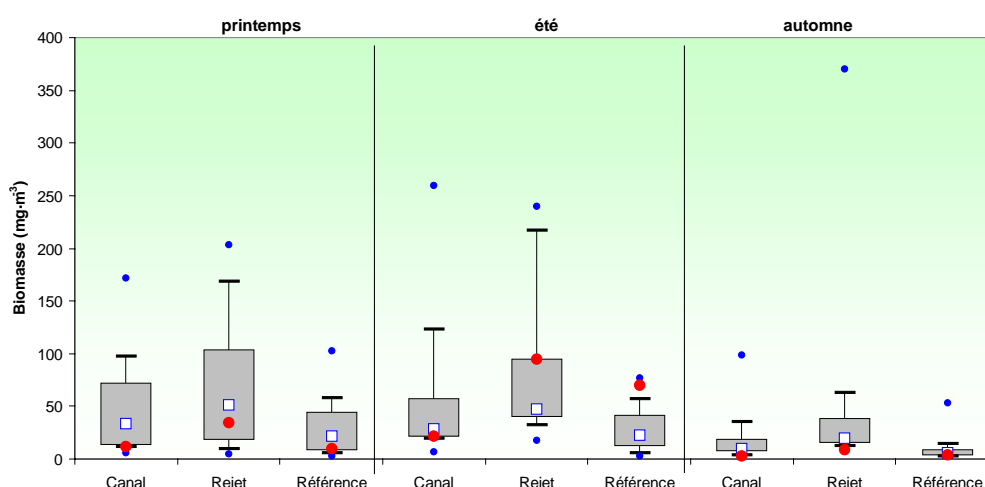


Figure 5.3 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1988 à 2005

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 de 0,02.

Le point *rejet* est en général significativement différent des deux autres points, sauf en automne avec le point *canal*. La différence *canal/référence* n'est significative qu'au printemps.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,024	0,015	0,052
RÉFÉRENCE / REJET	0,002	0,0007	0,0007
CANAL / RÉFÉRENCE	0,025	0,332	0,332

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

Tableau 5.2 : Probabilités associées p des tests statistiques sur la biomasse

5.3.2. Abondances zooplanctoniques globales

Les dénombrements et l'identification des espèces zooplanctoniques complètent l'information quantitative de la biomasse. En détaillant cette biomasse en groupes biologiques (holoplancton, méroplancton) puis systématiques (embranchements et jusqu'aux espèces) – voir aussi tableau 5.4 – on peut accéder à leur distribution spatio-temporelle voire rechercher une éventuelle influence de l'activité de la centrale sur ces populations.

5.3.2.1. Variations spatiales et temporelles en 2005

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2005 sont présentés sur la figure 5.4. ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre d'individus par 10 m^3 d'eau de mer

Les abondances globales sont comprises entre 2 284 et 9 373 ind./10 m³, sauf en juin où elles atteignent 22 848 ind./10 m³ au point *rejet* et jusqu'à 45 237 ind./10 m³ au point *référence* (tableau 5.4).

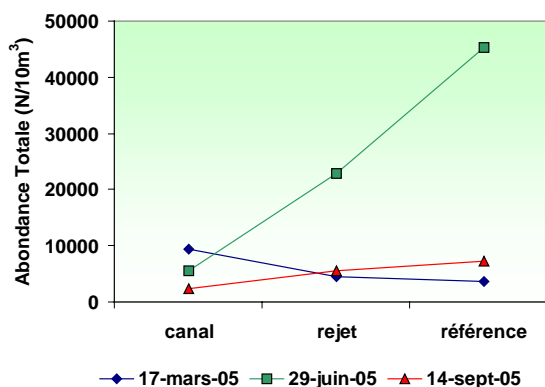


Figure 5.4 : Évolution de l'abondance zooplanctonique totale au cours des trois campagnes de surveillance 2005

Il existe un gradient croissant *côte-large* (*canal/rejet/référence*) en juin et septembre, mais décroissant en mars. Cette évolution apparaît indépendante de celle de la biomasse, ce qui nécessite une analyse plus fine des données. En effet, comme pour le phytoplancton, les fortes abondances d'une espèce de petite taille peuvent générer de faibles biomasses et, inversement, une faible abondance d'organismes de grande taille peut représenter une grosse partie de la biomasse. Il semble que nous puissions être partiellement dans ce cas au moins en juin, où l'abondance est plus élevée au point *référence* (45 237 ind./10 m³) qu'au point *rejet* (22 848 ind./10 m³) alors que la biomasse est plus élevée au point *rejet* (95,1 contre 70,1 mg/m³) : à cette dernière station, il y a une plus forte abondance d'individus de grande taille comme des larves de crustacés décapodes (*pagure*) et des amphipodes.

5.3.2.2. Variations interannuelles (figure 5.5)

À l'exception du point *canal* en juin et du point *référence* pour toutes les dates, les valeurs d'abondance en 2005 diffèrent peu en général des valeurs de 2004, légèrement en baisse ou en hausse. On peut cependant préciser que, d'une part, les valeurs reviennent dans la gamme habituelle de 1994-2003 après des valeurs exceptionnelles en 2004 au point *canal* en été et au point *référence* au printemps, et que, d'autre part, le point *référence* en été présente une valeur exceptionnellement élevée (45 237 ind./10 m³) comparable au maximum de la série temporelle, observé en 1994.

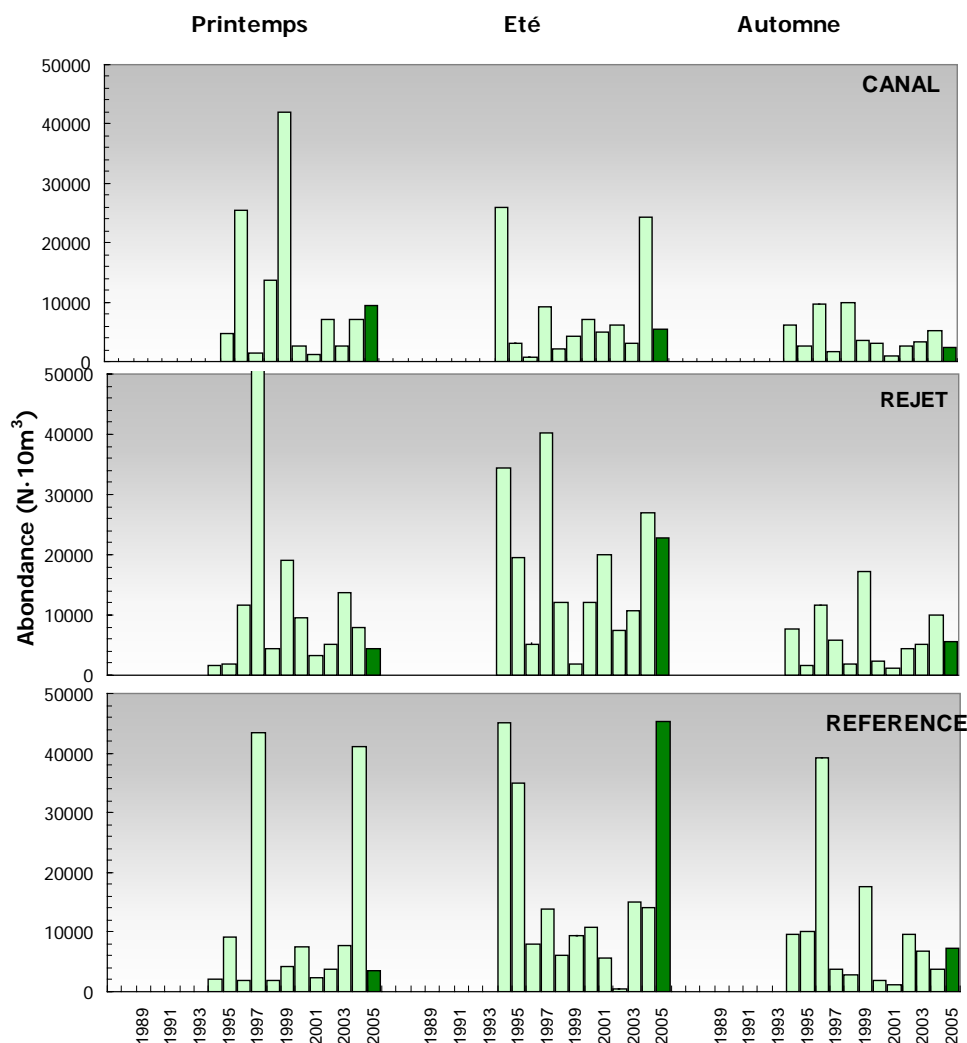


Figure 5.5 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1994 à 2005

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 automne et un faible gradient décroissant au printemps. En été, la valeur médiane maximale est au point *rejet*.

Les valeurs d'abondance en 2005 sont très voisines des médianes pluriannuelles, à l'exception des deux valeurs d'été déjà citées aux points *rejet* et surtout *référence*. Cette observation corrobore celle sur les données de biomasse (figure 5.3).

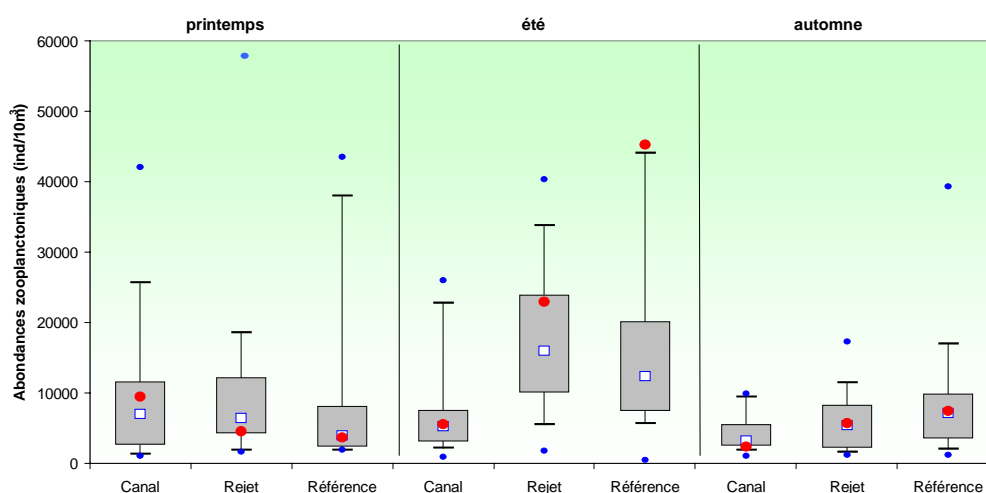


Figure 5.6 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1994 à 2005

5.3.3.3. Approche statistique

Les tests statistiques du tableau 5.3 montrent deux périodes printanière et automnale où il n'y a pas de différences entre les points d'échantillonnage. Seuls les couples *canal/rejet* et *canal/référence* présentent des différences significatives en été, en raison des pics d'abondance observés fréquemment pour les points *rejet* et *référence* (cf. figure 5.5)

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,999	0,003	0,148
RÉFÉRENCE / REJET	0,149	0,923	0,148
CANAL / RÉFÉRENCE	0,901	0,047	0,148

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

Tableau 5.3 : Probabilités associées p des tests statistiques sur l'abondance zooplanctonique de 1994 à 2005

5.3.3. Étude faunistique

5.3.3.1. Variations spatio-temporelles de l'holoplancton et du méroplancton

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. Parmi celles-ci, les crustacés 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, cténaïres, cladocères et chaetognathes.

Par opposition à l'holoplancton, le méroplancton constitue la fraction dite *temporaire* du zooplancton, organismes dont seule une partie du cycle vital est planctonique. Il s'agit principalement de larves à vie pélagique émises par de nombreuses espèces à phase adulte benthique errante (crabes, annélides...) ou fixée : annélides, mollusques (moules...) et crustacés cirripèdes, nombreux sur l'estran rocheux. Le méroplancton est constitué également de phases pélagiques d'espèces fixées (méduses = phases sexuées libres des cnidaires). Il est donc de fait plus abondant au printemps (37-58 % du plancton total) et en été (10-43 %), pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 5.7).

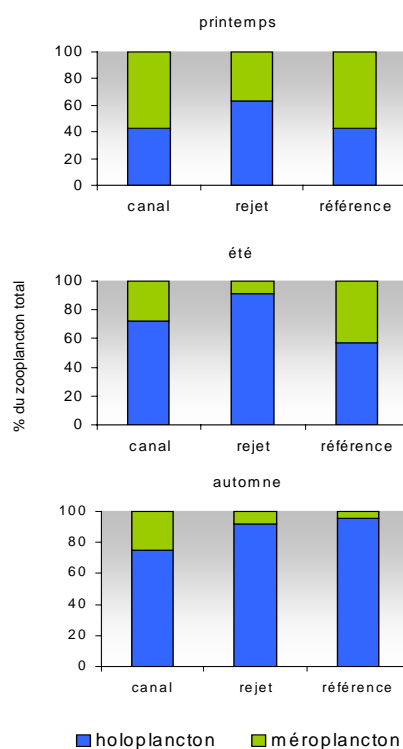


Figure 5.7 : Répartition des dominances de l'holoplancton et du méroplancton dans le zooplancton total en 2005

Pour définir la composition du zooplancton, la dominance, ou pourcentage d'un groupe faunistique par rapport au nombre total d'individus, est calculée par compartiment et par embranchement (tableau 5.4) au sein du méroplancton et de l'holoplancton.

Les copépodes (toujours plus de 97 % de l'holoplancton) sont des constituants essentiels du zooplancton de Paluel. Leur dominance globale peut dépasser 90 % (point *rejet* en été et automne, point *référence* en automne). Cette dominance globale peut diminuer jusqu'à 57 % en juin (point *référence*) par l'émission larvaire des mollusques, et jusqu'à 42 % au printemps (*canal* et *référence*) par l'apparition temporaire et massive des larves de cirripèdes (balanes).

	17-mars												29-juin						14-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	%						
<i>Abondance zooplancton (N.10m⁻³)</i>																								
holoplancton	total Cténaïres	25	1	34	1			25	1	51		2												
	total Chaetognathes							13		3		10												
	total Cladocères													7										
	total Mysidacés	8		55	2					3														
	total Copépodes	3932	99	2723	97	1513	100	3911	99	20741	100	25936	100	1655	97	5143	99	6868	98					
	total Appendiculaires					2		6		41		27		56	3	41	1	146	2					
total holoplancton	3966	42	2811	63	1514	42	3955	72	20838	91	25975	57	1711	75	5190	92	7014	95						
meroplancton	total Cnidaires					2		19	1	36	2	102	1	25	4			25	7					
	total Annélides	1483	27	1513	92	315	15	32	2	30	1	27												
	total larves de Cirripèdes	3822	71	134	8	1729	84							81	14	7	2	6	2					
	Amphipodes									10						7	2	3	1					
	Isopodes	8								10		54		5	1	7	2							
	Cumacés																							
	Euphausiacés																							
	larves Natantia							6						15	3	7	2							
	larves Thalassinideae							6		15	1	8						3	1					
	larves d'Anomoures	17						38	2	508	25	277	1	5	1			8	2					
	larves Brachyourses	76	1			2		45	3	25	1	80		10	2	7	2	70	20					
	larves de Mollusques					2		1401	91	1371	68	18680	97	264	46	395	87	229	65					
	Cyphonautes Bryozoaires																							
	Têtards d'Ascidies												27		168	29	27	6	6	2				
	Téléostéens (Œufs)					2							3											
	Téléostéens (Alevins et larves)									5		3												
total méroplancton	5407	58	1647	37	2051	58	1548	28	2010	9	19262	43	574	25	456	8	351	5						
total zooplancton	9373		4458		3565		5503		22848		45237		2284		5646		7366							

Tableau 5.4 : Dominance des principaux groupes zooplanctoniques à Paluel en 2005

5.3.3.2. Variations spatio-temporelles des principaux taxons en 2005

L'holoplancton

L'holoplancton est essentiellement composé de copépodes qui en représentent toujours plus de 97 %, ceci aux trois dates prospectées. Ce groupe est complété par les appendiculaires et les cténaïres.

Les minimums d'abondance des copépodes sont notés au printemps au point *référence* (1 514 ind./10 m³) et au point *canal* en septembre (1 655 ind./10 m³). Au cours de l'année 2005, en raison de leur dominance relative, les variations d'abondance des copépodes totaux influent directement sur les variations de biomasse. Ainsi on observe de très fortes valeurs en été aux points *rejet* et *référence* (25 975 ind./m³ ; figure 5.8).

Le nombre de copépodes augmente classiquement du printemps vers l'été (abondance multipliée par 17 au point *référence*), pour ensuite redescendre à des valeurs intermédiaires (1 655 à 6 868 ind./10 m³) au mois de septembre.

Il existe en général un gradient d'abondance croissant vers le large pour les copépodes, sauf au printemps.

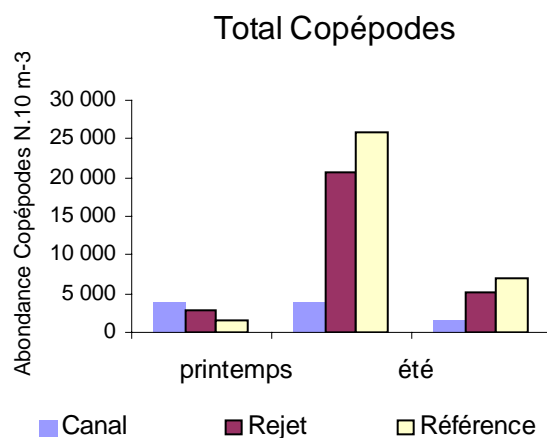


Figure 5.8 : Abondance des copépodes en 2005 au CNPE de Paluel

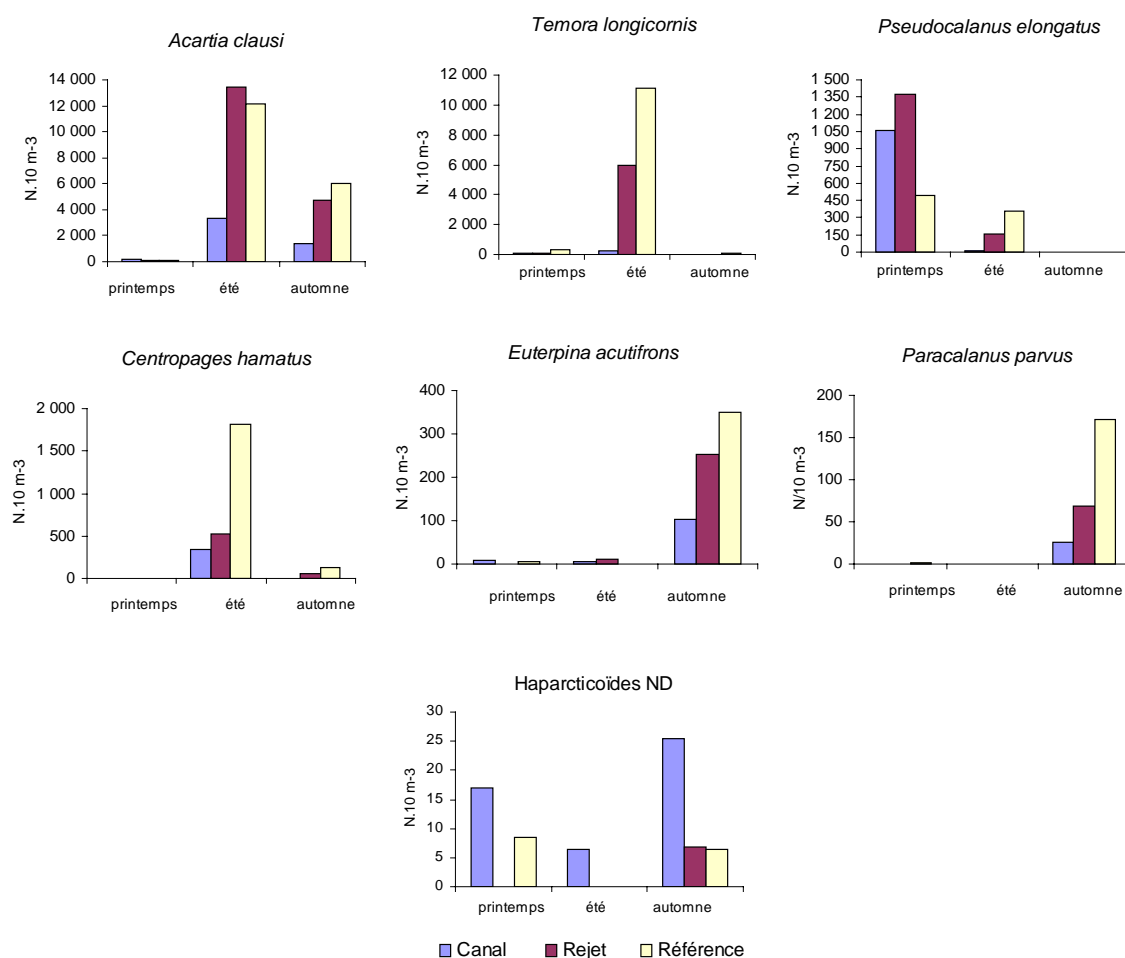


Figure 5.9 : Distribution des principales espèces de copépodes en 2005

Temora longicornis

Les plus fortes valeurs d'abondance sont observées lors de la campagne de fin juin au point *référence* avec 11 100 ind./10 m³ et au point *rejet* avec 5 990 ind./10 m³. Comparativement, la valeur relevée au point *canal* apparaît très faible, avec 217 ind./10 m³. Les valeurs nettement plus faibles relevées en mars et surtout septembre (7-45 ind./10 m³) sont cohérentes avec le caractère printano-estival de cette espèce.

Acartia clausi

Espèce plutôt estivale, *A. clausi* présente des valeurs maximales fin juin au point *rejet* (13 401 ind./10 m³) et *référence* (12 183 ind./10 m³). Elle est encore bien présente mi-septembre en début d'automne (6 041 ind./10 m³ au point *référence*).

Il s'agit de l'espèce de copépodes la plus abondante dans les eaux proches de la centrale de Paluel.

Centropages hamatus

Cette espèce, pratiquement absente au printemps, atteint son maximum au mois de juin au point *référence*, avec 1 814 ind./10 m³. Elle est très faiblement représentée début septembre où la valeur maximale atteint seulement 127 ind./10 m³ au point *référence*.

Euterpina acutifrons (Harpacticoïde pélagique)

Pratiquement absente en mars et juin, cette espèce à développement typiquement automnal présente ses valeurs maximales au point *référence* de la mission de septembre avec 350 ind./10 m³. Un fort gradient d'abondance est alors observé et couvre une gamme de 102 à 350 ind./10 m³ entre le point *canal* et le point *référence*.

Paracalanus parvus

Absente en mars et juin, cette espèce typiquement automnale présente son maximum en septembre, avec 172 ind./10 m³ au point *référence*. Comme pour *E. acutifrons*, un gradient *côte-large* d'abondance est observé à cette période avec 25 ind./10 m³ au point *canal* et 172 ind./10 m³ au point *référence*.

Pseudocalanus elongatus

Cette espèce est la première à se développer au printemps. Elle affiche un maximum de 1 378 ind./10 m³ au point *rejet* le 17 mars. Encore présente en juin (352 ind./10 m³ au point *référence*), elle est absente mi-septembre sur tous les sites.

Harpacticoïdes non déterminés

Les harpacticoïdes non déterminés sont présents lors des trois campagnes de l'année. Ce groupe de copépodes à petites antennes sont mauvais nageurs. Ils sont pour la plupart benthiques et remis en suspension à partir du fond, ce qui explique leur récolte plus particulièrement aux points *canal* et *rejet* (contrairement à *Euterpina acutifrons*, harpacticoïde pélagique).

- Les autres espèces holoplanctoniques (figure 5.10)

Les appendiculaires, représentés par *Oikopleura dioïca*, sont présents sur l'ensemble des points lors des campagnes estivale et printanière. Les maximums sont observés en septembre et relativement faibles (146 ind./10 m³ au point *référence*). Ils sont pratiquement absents au printemps (2 ind./10 m³ au point *référence*).

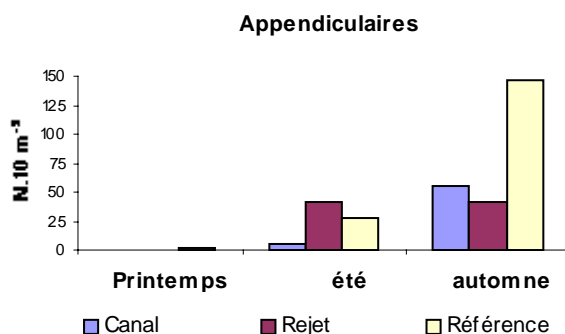


Figure 5.10 : Abondances des appendiculaires dans les eaux de la CNPE de Paluel en 2005

Les cténaïres, avec *Pleurobrachia pileus*, sont représentés mi-mars et fin juin, aux points *canal* (25 ind./10 m³) et *rejet* (51 ind./10 m³). Cette espèce côtière printanière, à apparition brusque, est susceptible de colmater les filtres rotatifs.

Le méroplancton

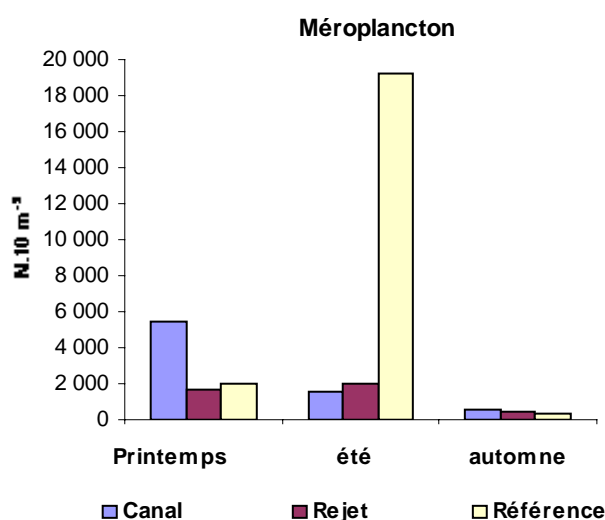


Figure 5.11 : Abondance du méroplancton en 2005 dans les eaux de la CNPE de Paluel

Le méroplancton, essentiellement composé de larves pélagiques d'espèces benthiques, apparaît dans le plancton avec leur période de reproduction. Il est donc essentiellement présent au cours de la campagne printanière avec un maximum de 5 407 ind./10 m³ au point *canal* où il représente

jusqu'à 58 % du plancton total, et surtout 19 262 ind./10 m³ fin juin au point *référence*, en formant 43 % du plancton total.

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

Les balanes sont des crustacés qui, à l'état adulte, vivent fixés sur les rochers ou surfaces dures. Ils constituent une part importante des salissures ('*fouling*'). Les larves (stades *nauplii* essentiellement), émises en grande quantité, constituent un maillon fort de la chaîne alimentaire. De très petite taille, elles ne représentent pas une biomasse élevée.

Les larves de Cirripèdes (stade *nauplii* essentiellement) représentent une part essentielle du méroplancton en mars : 70 % au point *canal* avec 3 822 ind./10 m³, et jusqu'à 84 % avec 1 729 ind./10 m³ au point *référence*. Aucune larve n'est relevée fin juin, et seuls quelques individus apparaissent début septembre.

- Larves d'anomoures (porcellanes, galathées, bernard l'ermite)

De faibles abondances sont observées en mars et en septembre (< 20 ind./10 m³). Leur maximum est atteint lors de la campagne de juin avec 508 ind./10 m³ au point *rejet*, où elles représentent 25 % du méroplancton.

- Larves de brachyours (crabes et araignées)

Elles sont présentes lors des trois campagnes de l'année, avec un maximum de 80 ind./10 m³ observée au point *référence* en juin, et 70 ind./10 m³ début septembre, ce qui représente 20 % du méroplancton.

Bien que relativement peu abondantes dans le plancton global, ces larves de crustacés supérieurs (Anomoures et Brachyours) peuvent représenter, de par leur taille, une biomasse non négligeable.

- Isopodes

Les isopodes (larves *microniscus*), bien que présents lors des trois campagnes, ont été mieux représentés fin juin où leur maximum est atteint au point *référence* avec 54 ind./10 m³. De petite taille, ces larves parasites externes des copépodes, représentent très peu de biomasse.

- Embranchement des annélides

Ces larves sont essentiellement des larves de Spionidés, probablement de *Polydora ciliata*. Cette espèce prolifère en perforant les roches calcaires de l'estran (et les huîtres) tout en amassant un tapis de vase sur le littoral. La mission de printemps (mi-mars) est réalisée en pleine période d'émission larvaire. Les concentrations maximales sont obtenues aux points *canal* et *rejet* (1 783 ind./10 m³). Les abondances diminuent de manière importante en juin (~ 30 ind./10 m³) et des effectifs nuls sont enregistrés à l'automne sur les trois sites.

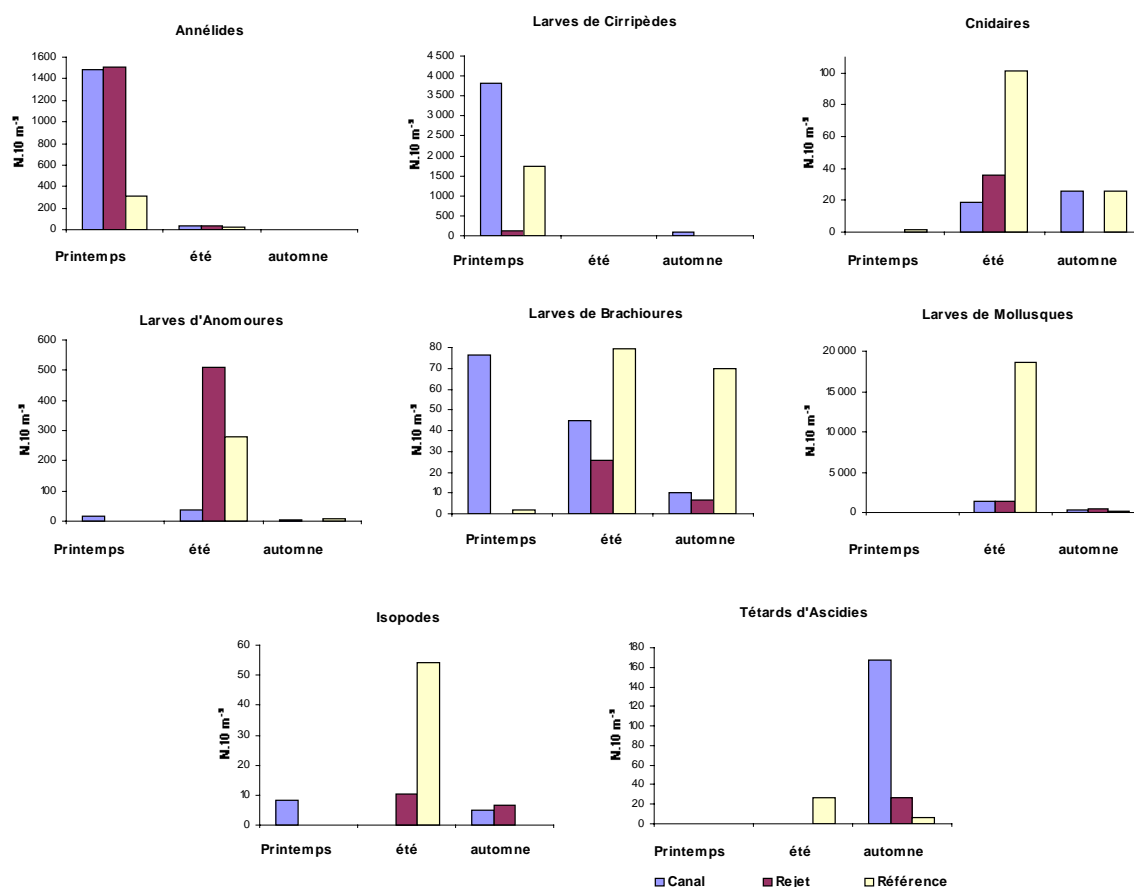


Figure 5.12 : Abondances méroplanctoniques en 2005 dans les eaux du CNPE de Paluel

- Embranchement des mollusques

Essentiellement représentés par les larves de gastéropodes, leur maximum est atteint lors de la campagne du mois de juin avec 18 680 ind./10 m³ au point *référence*, valeur assez remarquable. Lors de cette campagne estivale, leurs dominances dans le méroplancton ont été de 91 % au point *canal*, 68 % au point *rejet* et 97 % au point *référence*. Cette dominance reste assez élevée également en automne (de 46 % au point *canal* à 87 % au point *rejet*).

- Embranchement des cnidaires (hydrozoaires, actinies, méduses)

Pratiquement absentes en mars, les petites méduses (< 1cm) sont présentes en juin avec un gradient *côte – large* marqué. La gamme de variation d'abondance s'étend à cette période de 19 à 102 ind./10 m³ entre le point *canal* et *référence*. De faibles effectifs sont enregistrés par la suite en septembre (25 ind./10 m³).

- Embranchement des urochordés

On peut signaler la présence des larves tétards d'ascidies en septembre (168 ind./10 m³) au point *canal*, soit 29 % du méroplancton. Les larves sont de très petite taille, mais les ascidies adultes participent de façon non négligeable aux salissures des installations portuaires.

5.4. Conclusions

L'étude du compartiment zooplanctonique en 2005 met en évidence des valeurs légèrement inférieures aux médianes pluriannuelles au printemps et en automne, mais de plus fortes biomasses fin juin au point *rejet* et surtout au point *référence*. Les médianes pluriannuelles observées au point *rejet* s'avèrent les plus élevées sur l'ensemble des campagnes depuis 1988.

Les plus fortes abondances zooplanctoniques ont été enregistrées fin juin au point *référence* (au large). En juin, les abondances obtenues en 2005 se situent au sommet du nuage contenant 50 % des valeurs pour le point *rejet*, et sont la valeur maximale de la série temporelle au point *référence*. Au printemps et en automne, les valeurs d'abondance sont proches des médianes pluriannuelles, avec un gradient d'abondance croissant vers le large en automne et décroissant au printemps. Les seules différences significatives entre stations lors des tests sont observées entre les couples de points *canal-rejet* et *canal-référence* en été.

L'holoplancton est principalement dominé par les copépodes qui en représentent toujours plus de 97 % lors des trois missions. Les copépodes dominants sont dans l'ordre : *Acartia clausi*, *Temora longicornis*, *Pseudocalanus elongatus*, *Centropages hamatus*, *Euterpina acutifrons* et *Paracalanus parvus*. Chacune de ces espèces respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes réparties sur l'année, leur répartition saisonnière habituelle.

Leur dominance globale sur l'ensemble du zooplancton peut dépasser 90 % (point *rejet* en été et automne, point *référence* en automne). Cette dominance globale peut diminuer jusqu'à 57 % en juin (point *référence*) par l'émission larvaire des mollusques gastéropodes, et jusqu'à 42 % au printemps (*canal* et *référence*) par l'apparition temporaire et massive des larves de cirripèdes (balanes) et d'annélides.

Au printemps 2005, la faune zooplanctonique n'a été que très peu dominée par le méroplancton (58 % à comparer aux 90 % de 2004), essentiellement constitués de cirripèdes et d'annélides. Les cirripèdes ont dominé aux points *canal* (71 %) et *référence*, alors que les annélides dominaient au point *rejet* (92 %). Ces dominances relatives entre les deux groupes étant plus marquées qu'en 2004, mais également différentes selon les points.

Lors de la campagne de fin juin, l'essentiel de la biomasse méroplanctonique a été partagé entre les larves de gastéropodes et de crustacés décapodes. Au mois de septembre, ce sont d'une part les larves de mollusques, et d'autre part les cirripèdes à la côte et les crabes au large qui ont présenté les plus fortes dominances.

6. Le Benthos Subtidal

Rapport

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

Aline Migné (Université Paris VI)
UMR 5178 BOME.

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, Davault, 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).

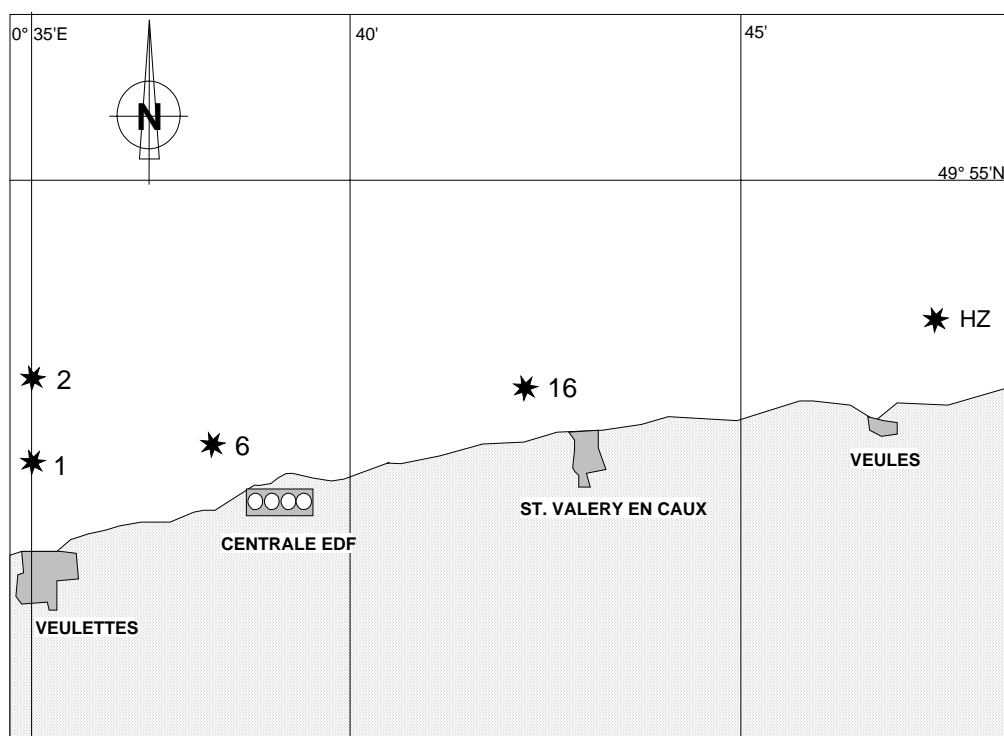


Figure 6.1 : points échantillonnées en 2005

Cette année, les campagnes se sont déroulées comme prévu, à l'exception de la campagne d'hiver (points 1 et 6) qui a dû être annulée en raison des mauvaises conditions météorologiques qui nous ont obligé à annuler la mission à quatre reprises (Tableau 6.1).

Dates	Points échantillonnés
14 avril 2005	1, 2, 6, 16 et H.Z.
14 juillet 2005	1 et 6
12 octobre 2005	1, 2, 6, 16 et H.Z.

Tableau 6.1 : Calendrier des campagnes en 2005

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	0.00	0.01	0.02	0.04	0.02	1.33	98.58
Point 2	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	4.12	95.84
Point 6	0.00	0.01	0.04	0.05	0.01	4.85	95.04
point 16	0.07	1.19	23.29	57.32	13.87	2.11	2.17
Point H.Z.	0.04	0.61	42.51	47.68	7.14	2.02	0.00

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

	P	SF	SM	SG	GF	GG	C
Point 1	0.01	0.04	0.08	0.34	0.28	6.48	92.77
Point 2	0.00	0.02	0.03	0.07	0.08	4.51	95.29
Point 6	0.00	0.06	0.16	0.39	0.20	14.50	84.69
point 16	0.00	2.09	57.79	38.03	1.90	0.19	0.00
Point H.Z.	0.08	1.42	39.54	42.35	12.06	4.38	0.17

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 2004), le sédiment est dominé par les cailloutis (de 92 à 98 % du poids du sédiment). Au point 1, depuis 1990, l'absence de moules ne favorise pas une importante biodéposition, phénomène qui enrichissait auparavant le sédiment en particules fines (sables et pélites).

Le sédiment du point 6 était dominé jusqu'en 1990 par les sables moyens (Bourgain *et al.*, 1988 ; Davoult, 1990). En 1992, le point 6 était caractérisé par un sédiment typique des fonds caillouteux (> 80 % du poids du sédiment) et de 1993 à 1998 par un sédiment variable, allant de l'hétérogène au grossier. Depuis 1999, le sédiment était de nouveau largement dominé par les cailloutis (de 75 à plus de 90 % du poids du sédiment) : cette station ne constituait donc plus un élément intermédiaire au sein d'un gradient sédimentaire côtier mais appartenait avec les 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. En 2003 et 2004, les cailloutis représentaient de nouveau plus de 80 % du poids total du sédiment. Cette année, les cailloutis représentent respectivement 95 et 85% du poids total du sédiment au printemps et en automne, ce qui l'ancre fortement dans le domaine 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%). En 2004, les sables moyens dominaient également (56 à 77% du poids total du sédiment) même si les cailloutis représentaient au printemps une proportion non négligeable (24%). Cette année, les cailloux sont rares (< 2% du poids total du sédiment), les sables moyens dominent en automne (58%) et les sables grossiers au printemps (57%). Le point 16 reste donc bien représentatif des sables hétérogènes de la zone.

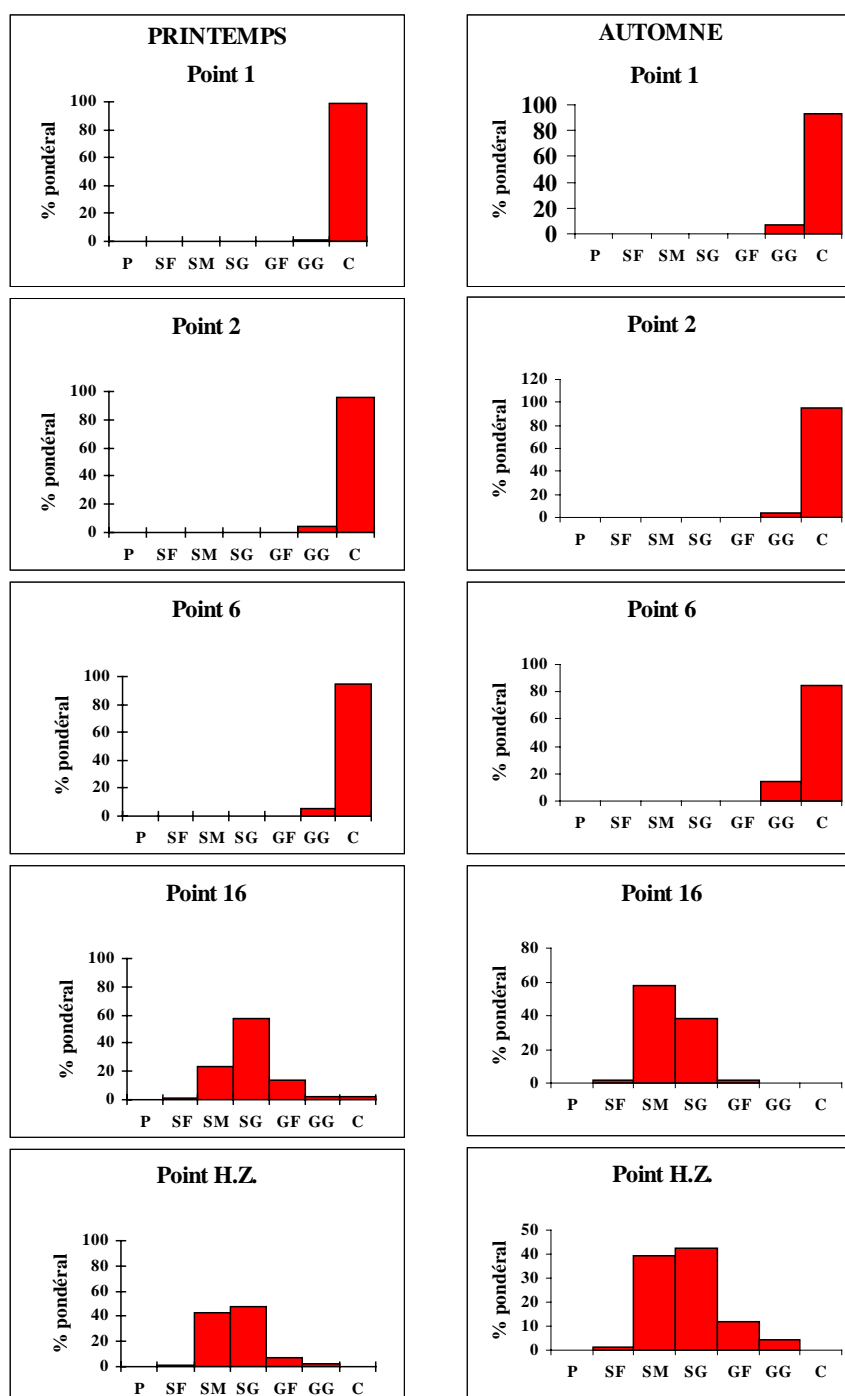


Figure 6.2 : Analyse granulométrique

Le point H.Z. est caractérisé par un sédiment hétérogène dominé par les sables moyens et grossiers. Cette année, les sables grossiers sont légèrement dominants (48 et 42%, respectivement au printemps et en automne) mais les graviers moyens représentent toujours une part importante du sédiment récolté (43% au printemps, 40% en automne). Le sédiment du point H.Z. reste donc assez stable et représentatif du domaine des sables hétérogènes de la région.

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 (Fig. 6.1), la présence d'un gradient sédimentaire des cailloux du point 1 à l'ouest aux sables moyens du point H.Z. à l'est s'était mis en place depuis 1992. Depuis maintenant plusieurs années, 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

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

- Spongiaires : 5 espèces
- Cnidaires : 6 espèces
- Annélides : 23 espèces
- Sipunculien : 1 espèce
- Mollusques : 16 espèces
- Bryozoaires : 16 espèces
- Cirripèdes : 5 espèces
- Isopodes : 1 espèce
- Amphipodes : 14 espèces
- Mysidacés : 1 espèce
- Décapodes : 15 espèces
- Echinodermes : 3 espèces
- Tuniciers : 7 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, 122 en 2004) et légèrement plus élevé que celui des années antérieures : 97 espèces en 1995, 1997 et 2000, 100 espèces en 1996, 94 espèces en 1998 et 91 espèces en 1999. Il y a donc une forte stabilité du nombre d'espèces récoltées depuis la mise en place de la nouvelle stratégie de surveillance. La diminution 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 (Bryozoaires, surtout mais aussi Tuniciers et Cnidaires) abondants notamment au point 1 depuis la disparition de la moulière : toutefois, les Annélides dominant toujours (20,2%), suivis des Bryozoaires (14,0%) et des Mollusques (14,0%), des Crustacés décapodes (13,2%), puis des Amphipodes (12,3%) et des Tuniciers (6,1%), ces derniers pouvant être dominants en nombre d'individus en certains points (voir plus loin). Il est à noter que les 5 groupes dominants sont les mêmes que l'année précédente.

Points	Nombre d'espèces	Nombre d'individus	H	E
Printemps 2005				
1	43	774	2.7	0.59
2	40	631	1.9	0.44
6	39	931	3.2	0.69
16	6	43	1.6	0.70
H.Z.	13	84	1.6	0.44
Été 2005				
1	46	609	3.4	0.67
6	56	1520	2.9	0.56
Automne 2005				
1	37	768	2.9	0.65
2	36	907	1.4	0.30
6	35	755	3.0	0.64
16	7	12	2.3	0.88
H.Z.	30	174	2.7	0.55

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

Deux nouvelles espèces ont été identifiées : il s'agit de l'Annélide polychète *Platynereis dumerili* et du Mollusque bivalve *Glycymeris glycymeris*, espèces déjà signalées en Manche orientale mais jamais récoltées 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, 69 et 81% des individus récoltés respectivement au printemps et en automne). Ce faciès apparaît donc toujours très stable, les trois espèces dominantes représentent plus de 80% des individus récoltés (l'ophiure *O. fragilis*, 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 (Fig. 6.4). L'indice de diversité de Shannon (Tableau 6.4) est assez faible (H = 1,9 et 1,4) pour un aussi grand nombre d'espèces récoltées (40 et 36), en raison d'une très grande irrégularité de la distribution des abondances relatives (E = 0,44 et 0,30).

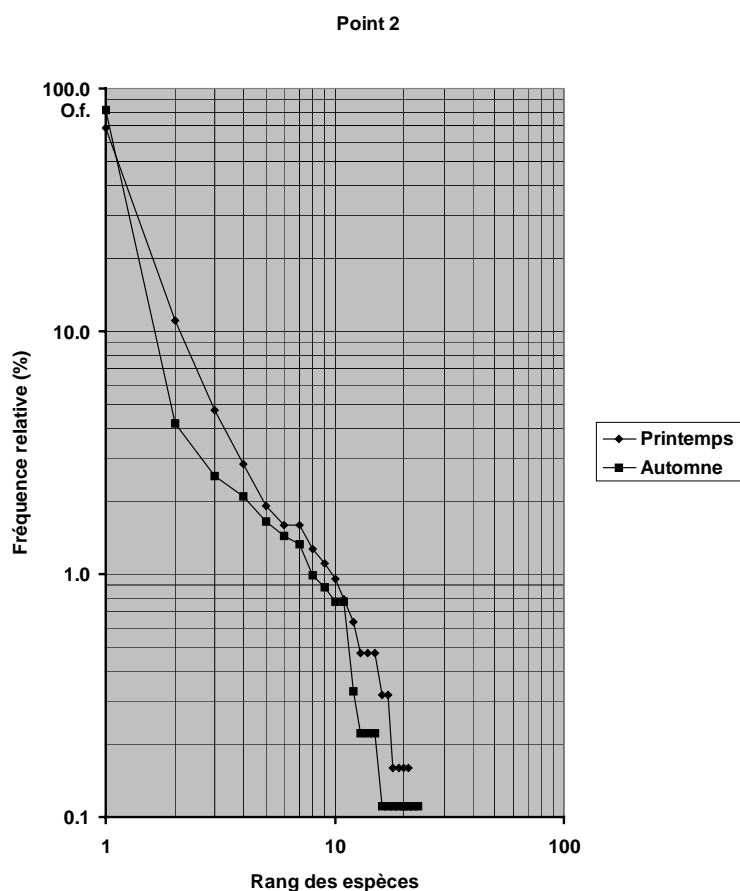


Figure 6.3. : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements du point 2

- **Un faciès côtier (points 1 et 6)** dominé comme les années précédentes par les Annélides tubicoles *Sabellaria spinulosa*, *Thelepus setosus* et *Pomatoceros triqueter*, par les Tuniciers *Styela coriacea*, *S. clava*, *Dendrodoa grossularia* et *Molgula manhattensis* mais également par le gastéropode *Crepidula fornicata*. Les DRF (Figs. 6.3 et 6.5) 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 (35 à 56) et l'indice de Shannon, plus important qu'au point 2, varie de 2,7 à 3,4 selon le nombre d'espèces en co-dominance (régularité de 0,56 à 0,69), 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 jusqu'à 73% des individus récoltés aux points 1 et 6. Ce basculement de structure est maintenant établi et stable depuis plus de 10 ans bien que, comme l'année dernière, l'espèce *Mytilus edulis* ait fait une timide réapparition (1 individu au point 6 en été).

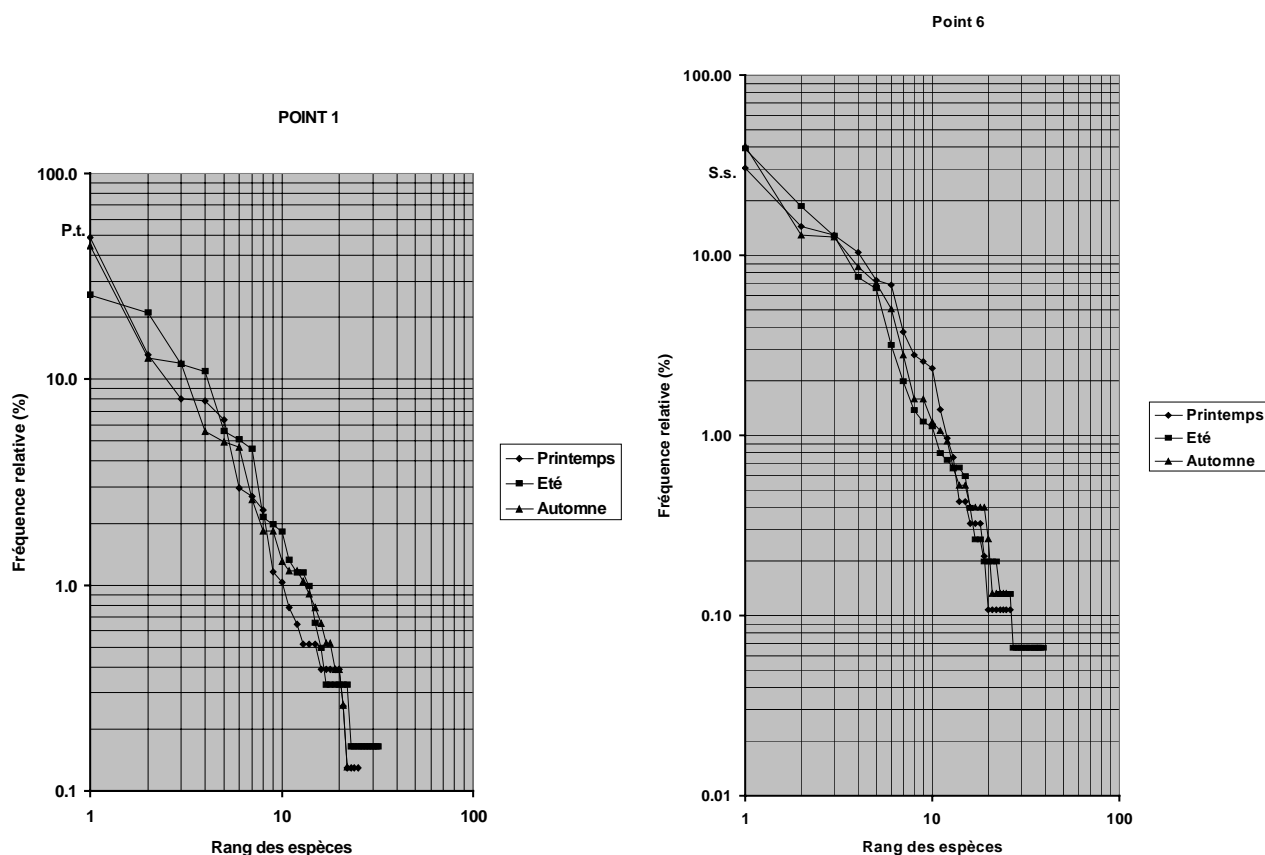


Figure 6.4 : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements aux point 1 et 6

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 (Fig. 6.2) et le cortège faunistique (annexe).

Le gastéropode *Crepidula fornicata*, présent dans le peuplement depuis 1997, semble prendre une place plus importante depuis quelques années. En 2005, l'espèce fait partie des quatre espèces dominantes à la station 6 au printemps et aux stations 1 et 6 à l'automne (elle représente 45% des individus récoltés à la station 1).

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. 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 (Davoult *et al.*, 1998). Le point H.Z. est, quant à lui, resté oligospécifique en 2000 et 2001 (de 0 à 6 espèces récoltées).

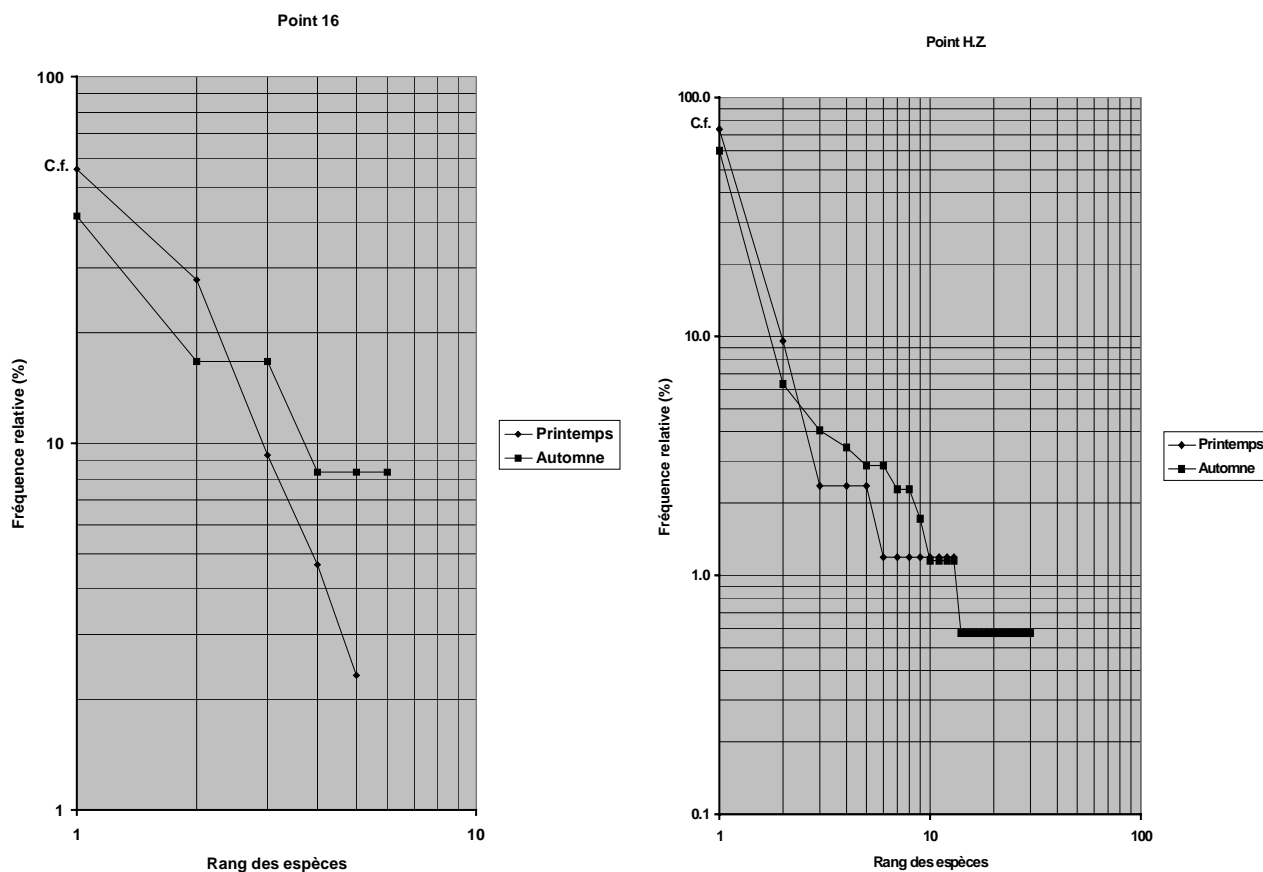


Figure 6.5 : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements aux point 16 et HZ

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*). En 2003, 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 *C. 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.

En 2004, le nombre d'espèces récoltées se situait entre 8 et 12 et les espèces dominantes, conformément au sédiment récolté, étaient sabulicoles (*Ophelia borealis*, *Nephtys cirrosa*, *Urothoe brevicornis*, *Bathyporeia elegans* et *Amphioxus lanceolatus*) même si *C. fornicata* dominait les prélèvements effectués au point 16.

Cette année, le nombre d'espèces récoltées est faible à la station 16 (6 et 7) et plus élevé à la station H.Z. (13 et 30). Les quatre prélèvements sont fortement dominés par *C. fornicata* (42 à 74% des individus récoltés). Les DRF, autrefois convexes, sont rectilignes à sigmoïdes. Les autres espèces présentes sont typiques des sables hétérogènes (*Amphioxus lanceolatus*, *Nephtys cirrosa*) ou issues de fonds plus grossiers (*Molgula manhattensis*, *Eualus pusiolus*, *Golfingia minuta*). La diversité est faible à moyenne (1,6 à 2,7) et la régularité très variable (0,44 à 0,88).

Depuis son apparition sur le site, *C. fornicata* montre des fluctuations importantes, sans doute liées à son type de distribution très contagieux, mais elle constitue maintenant l'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* 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 très rares individus de *M. edulis* récoltés depuis l'année dernière montrent qu'un recrutement de l'espèce est toujours possible.

Le sédiment grossier de cette partie côtière (points 1 et 6) abrite donc 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 le point 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 de la zone côtière et semble assez indifférente au type de substrat. Sa dominance s'est accentuée et elle est l'espèce principale des points 16 et H.Z.

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 reste bien adaptée à la variabilité observée sur le site : les campagnes de printemps et d'automne permettent d'obtenir une vue d'ensemble des peuplements et de mettre en évidence le contraste entre la stabilité de la zone du large et la variabilité constatée en zone côtière. Les prélèvements intermédiaires aux points 1 et 6, qui constituaient au début du suivi la partie la plus variable de la zone, 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) confirment l'actuelle relative stabilité de la zone côtière. 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, elle semble se poursuivre et pourrait à terme modifier la structure des peuplements côtiers et éventuellement leurs caractéristiques sédimentaires.

ANNEXES

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

<i>A.l.</i> :	<i>Amphioxus lanceolatus</i>
<i>C.f.</i> :	<i>Crepidula fornicata</i>
<i>D.g.</i> :	<i>Dendrodoa grossularia</i>
<i>E.p.</i> :	<i>Eualus pusiolus</i>
<i>G.i.</i> :	<i>Galathea intermedia</i>
<i>G.m.</i> :	<i>Golfingia minuta</i>
<i>M.m.</i> :	<i>Molgula manhattensis</i>
<i>N.c.</i> :	<i>Nephtys cirrosa</i>
<i>O.f.</i> :	<i>Ophiothrix fragilis</i>
<i>P.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>

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

Espèces	Points	Printemps 2005					Été 2005		Automne 2005				
		1	2	6	16	HZ	1	6	1	2	6	16	HZ
Spongiaires													
<i>Sycon ciliatum</i>		+	6										
<i>Leucosolenia botryoides</i>			+										
<i>Dysidea fragilis</i>		+		+			+	+					
<i>Haliclona oculata</i>							+	+					
<i>Spongiaire sp.</i>			+				+	+	+	+	+		
Cnidaire													
<i>Tubularia indivisa</i>		+	+	+			+	+		+			
<i>Sertularia cupressina</i>		+	+				+	+		+			
<i>Hydrallmania falcata</i>							+	+			+		
<i>Kirchenpaueria pinnata</i>		+	+				+	+					
<i>Alcyonium digitatum</i>								1		1	1		
Actiniaires spp.		5	8				2	2	7	7	3		
Annélides													
<i>Aonides oxycephala</i>													1
<i>Pygospio elegans</i>												1	
<i>Ophelia borealis</i>					1								
<i>Nephtys cirrosa</i>												2	1
<i>Nephtys caeca</i>													1
<i>Platynereis dumerili</i>				1									
<i>Notomastus latericeus</i>													1
<i>Glycera gigantea</i>													2
<i>Lumbrineris sp.</i>													1
<i>Syllidae sp.</i>		2	1	1			1	1					1
<i>Lepidonotus squamatus</i>		9	10	4			7	9	6	15	4		
<i>Polynoe scolopendrina</i>		23	7	13			13	48	14	19	21		
<i>Marphysa sanguinea</i>		1	1					2					
<i>Sabellaria spinulosa</i>		62	2	284			34	115	14	1	98		
<i>Ampharete grubei</i>					1								
<i>Thelepus setosus</i>		49	30	68			66	99	36	38	53		
<i>Eupolymnia nebulosa</i>		1						2					
<i>Polycirrus medusa</i>													4
<i>Pista cristata</i>													5
<i>Potamilla reniformis</i>											1		
<i>Serpulidae sp.</i>				1				1		1			
<i>Sabella pavonina</i>			2	1			1	3		2			
<i>Pomatoceros triqueter</i>		377	70	35			128	21	98	23	8		
Sipunculiens													
<i>Golfingia minuta</i>		3		135				18			12		

Espèces	Points	Printemps 2005					Eté 2005		Automne 2005					
		1	2	6	16	HZ	1	6	1	2	6	16	HZ	
Mollusques														
<i>Acanthochitona crinita</i>			3					2		3				
<i>Archidoris pseudoargus</i>									1					
<i>Buccinum undatum</i>		4	1	3				4	4	10		9		
<i>Ocenebra erinacea</i>		8		7				12	10	9	1	7		1
<i>Hinia reticulata</i>									1			1		
<i>Diodora graeca</i>		4						1	1	5	1	2		
<i>Calliostoma zizyphinum</i>				3				2	4		1	1		
<i>Crepidula fornicata</i>		3		97	24	62		2	30	342		65	5	104
<i>Chlamys varia</i>				1										
<i>Spisula solida</i>						1								1
<i>Ensis arcuatus</i>													1	1
<i>Glycymeris glycymeris</i>														1
<i>Paphia rhomboïdes</i>														1
<i>Ostrea edulis</i>									1					
<i>Mytilus edulis</i>									1					
<i>Musculus discors</i>											2			
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>Porella concinna</i>			+											
<i>Microporella ciliata</i>			+											
<i>Escharella immersa</i>		+	+	+				+	+	+	+	+		
<i>Schizomavella auriculata</i>		+	+	+				+	+	+	+	+		
<i>Chorizopora brongniartii</i>			+											
<i>Amphiblestrum flemingii</i>		+	+	+				+		+		+		
<i>Alcyonidium diaphanum</i>		+								+				
Cirripèdes														
<i>Balanus crenatus</i>		+		+	+			+	+	+	+	+	+	
<i>Balanus perforatus</i>		+		+				+	+	+				
<i>Elminius modestus</i>		+		+										
<i>Verruca stroemia</i>		+	+						+	+	+			
<i>Scalpellum scalpellum</i>											+			
Isopodes														
<i>Janira maculosa</i>									1					

Espèces	Points	Printemps 2005					Été 2005		Automne 2005				
		1	2	6	16	HZ	1	6	1	2	6	16	HZ
Amphipodes													
<i>Ampelisca spinipes</i>				1				3					1
<i>Perrierella audouiniana</i>							1	1					
<i>Urothoe brevicornis</i>													1
<i>Acidostoma obesum</i>						2							
<i>Maera othonis</i>													2
<i>Melita gladiosa</i>													2
<i>Melita obtusata</i>													3
<i>Corophium sextonae</i>	3			22		2	11						
<i>Aora typica</i>						1							
<i>Gammaropsis maculata</i>					2	1							
<i>Atylus falcatus</i>						2							
<i>Jassa falcata</i>				2			8	11					
<i>Caprella linearis</i>								3					
<i>Pseudoprotelle phasma</i>								1					
Mysidacés													
<i>Gastrosaccus spinifer</i>					1	1							1
Décapodes													
<i>Eualus pusiolus</i>												2	6
<i>Pandalus montagui</i>													2
<i>Crangon crangon</i>						1							
<i>Galathea intermedia</i>										1	1	11	
<i>Galathea squamifera</i>	1						1	1	4				
<i>Pisidia longicornis</i>	6	4	3				3	2	9	12	4		4
<i>Pagurus pubescens</i>													1
<i>Pagurus bernhardus</i>						1							1
<i>Anapagurus hyndmanni</i>	4		4				6	12	4		3		5
<i>Pilumnus hirtellus</i>	3		1					3	2		3		
<i>Pinnotheres pinnotheres</i>							1	1	1				
<i>Liocarcinus puber</i>							1						
<i>Liocarcinus holsatus</i>										1			
<i>Maja squinado</i>							1						
<i>Macropodia rostrata</i>								1					
Echinodermes													
<i>Asterias rubens</i>	1						2			1			
<i>Ophiothrix fragilis</i>		434								739			
<i>Psammechinus miliaris</i>		5					1			9			
Tuniciers													
<i>Ascidia mentula</i>		3					1	10	3	8	3		
<i>Ascidia conchilega</i>		1					2			7			
<i>Ascidia scabra</i>	3	3	9				7	6	8		5		
<i>Styela clava</i>	18		24				31	17	43	3	12		
<i>Styela coriacea</i>	102	10	26				157	594	38	13	38		1
<i>Dendrodoa grossularia</i>	61	18	121				28	195	92		305		
<i>Molgula manhattensis</i>	21	12	64	12			72	284	20	2	95		
CEPHALOCORDES													
<i>Amphioxus lanceolatus</i>				4	8								7

7 - Le Benthos intertidal

Rapport

MEIRLAND Antoine (GEMEL Picardie),

TALLEUX Jean-Denis (GEMEL Picardie),

SAVARY Matthieu (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 un kilomètre 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 quinze jours 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 2005, les prélèvements ont été réalisés le 26 mai, le 28 juin, le 27 juillet.

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

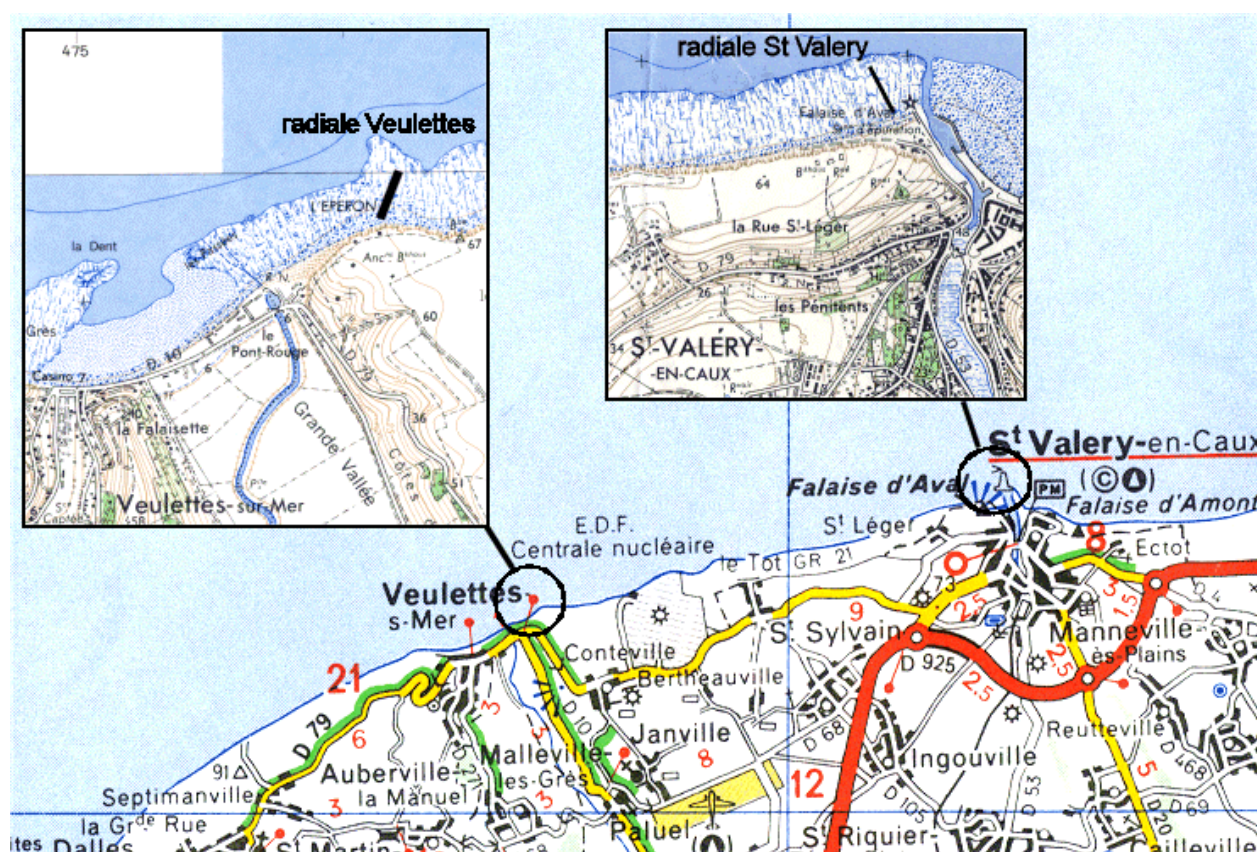


Figure 7.1 : Positionnement des radiales de prélèvement

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, seize prélèvements de 0,25 m² ont été réalisés par campagne dans la ceinture à *Fucus vesiculosus*. Nous avons réalisé, sur chaque site, quatre prélèvements dans le niveau supérieur de la ceinture, huit prélèvements dans la partie médiane et quatre prélèvements dans le niveau inférieur en limite de la ceinture à *Fucus serratus*.

7.3.2. Dénombrement des Idotés

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

Pour chaque site et chaque 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

Les *Fucus* récoltés ont été déterminés. La biomasse totale de *Fucus* est utilisée comme variable. Pour chaque échantillon de 0,25 m² les échantillons de *Fucus* sont pesés à 0,1 g près après une dessiccation à l'étuve à 56°C jusqu'à stabilisation du poids. La biomasse algale est alors exprimée en grammes 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). Les mâles sont distingués selon leur degré de maturation sexuelle en deux catégories :

Stade I : mâles juvéniles,

Stade II : mâles adultes dont le deuxième péreopode 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

Le tableau 7.1 récapitule les valeurs de biomasses de *Fucus* et de densités d'*Idotea granulosa* pour chacun des échantillons de 0,25 m² récoltés en 2005 sur les stations de St Valéry-en-Caux et de Veulettes-sur-Mer.

Prélèvements (0,25m ²)	26 mai 2005				28 juin 2005				27 juillet 2005			
	St Valéry		Veulettes		St Valéry		Veulettes		St Valéry		Veulettes	
	Poids sec algues (g)	Nb. I.g.	Poids sec algues (g)	Nb. I.g.	Poids sec algues (g)	Nb. I.g.	Poids sec algues (g)	Nb. I.g.	Poids sec algues (g)	Nb. I.g.	Poids sec algues (g)	Nb. I.g.
1	176,2	19	154,1	13	229,3	52	274,9	70	211,9	64	227,4	103
2	209,7	14	143,8	10	225,6	58	210,7	26	186,3	95	232,7	135
3	172,2	10	267,6	17	114,9	45	207,1	49	188,3	96	141,3	52
4	160,2	18	129,9	10	160,4	70	230,2	33	200	134	216,2	46
5	278,7	22	243,7	19	199,9	59	271,1	25	208,3	72	306,9	78
6	189,4	11	177,2	8	152,4	36	135,0	28	142,7	65	267,1	42
7	191,8	22	174,3	17	125,1	21	180,1	20	194,6	80	197,9	48
8	179,2	23	233,8	8	268,8	42	259,0	55	156,7	52	230,4	96
9	126,5	12	145,9	9	166,4	47	162,7	14	180,5	78	219,4	122
10	154,3	16	189,8	12	205	58	186,0	25	151,8	42	266,2	70
11	127,7	8	150,5	9	191,3	59	211,8	63	218,8	32	287,3	157
12	222,4	16	240,4	7	279,5	51	226,6	62	243,3	41	168,7	31
13	181,6	27	123,2	12	250,1	69	274,2	72	130,5	38	118,3	17
14	211,4	30	141,6	12	328,5	81	254,3	37	191,5	25	161,4	40
15	145,4	12	203,9	11	213,4	58	349,6	49	170,9	50	211,8	44
16	247,7	45	225,9	8	157,4	35	232,1	88	82,1	2	169,9	54
Moyenne/m²	743,6	76,25	736,4	45,50	817,0	210,25	916,3	179,00	714,5	241,50	855,7	283,75
Ecart-Type/m²	165,21	37,28	184,88	14,38	233,72	59,65	208,12	87,58	156,64	129,04	211,29	162,13

Tableau 7.1 : Valeurs des biomasses algales (poids sec en grammes) et nombre d'*Idotea granulosa* dans les prélèvements de 0,25 m² de St Valéry-en-Caux et Veulettes-sur-Mer lors des 3 campagnes estivales de suivi en 2005

7.4.1. Biomasse algale

Concernant la biomasse algale (indice du recouvrement dans la ceinture à *Fucus vesiculosus*), les différences de moyennes calculées ont été testées (tableau 7.2).

Il n'y a pas de différence significative entre les moyennes de biomasses algales mesurées à Saint Valéry et à Veulettes au mois de mai et au mois de juin. Au mois de juillet, la biomasse est significativement supérieure à Veulettes, 855,7g/m² contre 714,5g/m² à Saint Valéry.

Cas testé		ddl	t _{obs}	t _{th}	Résultat du test
Inter-sites par campagne	Mai 2005 : St Valéry / Veulettes	30	0,116	1,697	St Valéry=Veulettes
	Juin 2005 : St Valéry / Veulettes	30	1,270	1,697	St Valéry=Veulettes
	Juillet 2005 : St Valéry / Veulettes	30	2,147	1,697	St Valéry<Veulettes
Inter-campagnes par site	St Valéry : mai / juin	30	1,026	1,697	Mai = juin
	St Valéry : juin / juillet	30	1,457	1,697	Juin = juillet
	St Valéry : mai / juillet	30	0,510	1,697	Mai = juillet
	Veulettes : mai / juin	30	2,586	1,697	Mai < juin
	Veulettes : juin / juillet	30	0,818	1,697	Juin = juillet
	Veulettes : mai / juillet	30	1,700	1,697	Mai = juillet

Tableau 7.2 : Comparaison inter-sites par campagne et inter-campagnes par site des valeurs de biomasses moyennes de *Fucus*, (ddl : = degré de liberté ; t_{obs} = valeur calculée du t de Student ; t_{th} = valeur critique du t de Student

A Saint Valéry, il n'y a pas de différence significative entre les trois dates d'échantillonnage. Il semble cependant intéressant de signaler une augmentation de la biomasse entre mai et juin, puis une diminution de celle-ci entre juin et août. Le site de Veulettes suit le même type d'évolution. La biomasse augmente fortement entre mai et juin, puis diminue entre juin et juillet. La biomasse mesurée au mois de juillet est comprise entre celle mesurée au mois de juin et celle mesurée au mois de mai, c'est pourquoi elle n'est statistiquement différente ni de l'une, ni de l'autre. Par ailleurs, le t_{obs} calculé pour le test entre mai et juillet est très proche du t_{th}. La différence est non significative à un niveau de confiance de 95%, mais on se situe à la limite de significativité du test.

Les biomasses algales mesurées cette année sont importantes. Les biomasses moyennes mesurées à :

- Saint Valéry en 2005 : 758,4g/m² ± 189,4
- Veulettes en 2005 : 836 g/m² ± 211,4

Ces valeurs sont significativement supérieures ($p > 0,05$) à la moyenne mesurée sur chaque site depuis 1996, année de reconstitution de la ceinture de *Fucus vesiculosus*. (598,52 g/m² ± 176,04 à Saint Valéry et 636,88 g/m² ± 196,8 à Veulettes)

7.4.3. Densité des *Idotea granulosa*

Le nombre d'*Idotea granulosa* est comparable entre Saint Valéry et Veulettes pour les mois de juin et de juillet. Au mois de mai, le nombre d'Idotés échantillonné est supérieur à Saint Valéry qu'à Veulettes (Tableau 7.3).

Les densités moyennes augmentent au cours des trois dates d'échantillonnage à Veulettes. A Saint Valéry, l'augmentation mesurée entre juin et juillet n'est pas significative. Le recrutement est important, les densités étant multipliées par 3 à 6 entre mai et juillet. Le faible nombre d'idotés sur le site de Veulettes en mai n'a pas eu d'influence sur le développement de l'espèce, puisque c'est sur ce site que sont mesurées les plus fortes densités au mois de juillet.

La densité moyenne d'*Idotea granulosa* au cours de l'été 2005 est de 176 ind./m² ± 110 ind. à Saint Valéry et de 169 ind./m² ± 143 ind. à Veulettes. Ces valeurs sont significativement ($p < 0,05$) supérieures aux valeurs moyennes estivales depuis 1996, respectivement de 102 ind./m² ± 71 et 116 ind./m² ± 89.

Ces résultats peuvent être corrélés à la forte biomasse algale mesurée cette année sur les deux sites, offrant ainsi un habitat et une ressource alimentaire plus importante pour la population d'idoté.

	Cas testé	ddl	t _{obs}	t _{th}	Résultat du test
Inter-sites par campagne	Mai 2005 : St Valéry / Veulettes	19	3,078	1,729	St Valéry > Veulettes
	Juin 2005 : St Valéry / Veulettes	30	1,180	1,697	St Valéry = Veulettes
	Juillet 2005 : St Valéry / Veulettes	30	0,816	1,697	St Valéry = Veulettes
Inter-campagnes par site	St Valéry : mai / juin	30	7,620	1,697	Mai < juin
	St Valéry : juin / juillet	21	0,879	1,721	Juin = juillet
	St Valéry : mai / juillet	17	4,921	1,74	Mai < juillet
	Veulettes : mai / juin	16	6,017	1,746	Mai < juin
	Veulettes : juin / juillet	23	2,274	1,714	Juin < juillet
	Veulettes : mai / juillet	15	5,855	1,742	Mai < juillet

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

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

Les *Fucus* constituent l'habitat de l'idoté. Pour étudier l'évolution de cette espèce, il convient de prendre en compte l'habitat disponible. La variable utilisée est donc le nombre d'idotés pour cent grammes de *Fucus*.

Le taux d'occupation des *Fucus* par les idotés est plus élevé à Saint Valéry qu'à Veulettes en mai et en juin. Au moins de juillet, il n'y a pas de différence significative entre le nombre d'idotés pour 100g de *Fucus* à Saint Valéry et à Veulettes.

L'évolution temporelle montre clairement, sur les deux sites, une augmentation du taux d'occupation des *Fucus* par les idotés. Les différences entre mois échantillonnés sont toujours significatives.

	Cas testé	ddl	t _{obs}	t _{th}	Résultat du test
Inter-sites par campagne	Mai 2005 : St Valéry / Veulettes	21	3,779	1,721	St Valéry > Veulettes
	Juin 2005 : St Valéry / Veulettes	30	2,459	1,697	St Valéry > Veulettes
	Juillet 2005 : St Valéry / Veulettes	30	0,199	1,697	St Valéry = Veulettes
Inter-campagnes par site	St Valéry : mai / juin	24	6,872	1,711	Mai < juin
	St Valéry : juin / juillet	23	2,485	1,714	Juin < juillet
	St Valéry : mai / juillet	18	6,637	1,734	Mai < juillet
	Veulettes : mai / juin	17	6,143	1,740	Mai < juin
	Veulettes : juin / juillet	22	3,494	1,718	Juin < juillet
	Veulettes : mai / juillet	15	6,979	1,753	Mai < juillet

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

La moyenne estivale du taux de colonisation des *Fucus* par *Idotea granulosa*, est de 25,67 ind./100 g PSE \pm 14,95 à Saint Valéry et de 21,20 ind./100g PSE \pm 16,57 à Veulettes. Cette valeur n'est pas significativement différente de la moyenne mesurée depuis 1996 à Veulettes (18,69 ind./100g PSE \pm 12,25 ; $p > 0,05$). A Saint Valéry, cette valeur est supérieure à la moyenne (17,63 ind./100g PSE \pm 13,32 ; $p < 0,05$).

7.4.5. Structure de la population d'*Idotea granulosa* au cours de l'été 2005

Parmi les 16 échantillons récoltés sur chaque site lors de chacune des trois campagnes, les quatre échantillons 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).

Contrairement au schéma habituel, il n'y a pas, cette année une augmentation importante de la proportion de juvéniles à Saint Valéry. A Veulettes, la proportion de juvéniles est plus faible en mai qu'à Saint Valéry. Elle augmente fortement jusqu'au mois de juillet. A noter la diminution de la proportion de juvéniles entre juin et juillet à Saint Valéry. Il semble donc que l'on se situe à cette date à une période de fin de reproduction, la population mûrissant plutôt que se reproduisant. Le même type d'évolution peut être observé à Veulettes. La proportion de juvéniles décroît faiblement, mais on observe une augmentation de la proportion de femelles vides et de femelles gravides. La diminution de la proportion de mâles adultes ne doit pas être considérée comme contraire à ces observations. En effet, leur nombre augmente, mais moins vite que le reste de la population ; ce qui explique la diminution de la proportion qu'ils occupent dans la population.

	26 mai 2005		28 juin 2005		27 juillet 2005	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
% Juvéniles	61,33	51,66	62,88	67,88	56,40	67,40
% Mâles juvéniles	24,86	18,33	21,97	19,34	16,62	19,20
% Femelles juvéniles	36,46	33,33	40,91	48,54	39,78	48,20
% Femelles gravides	18,23	20,00	23,10	17,88	22,64	19,80
% Femelles vides	1,66	0,00	0,76	1,46	2,72	4,20
% Mâles adultes	18,78	28,33	13,26	12,77	17,98	8,60
Sex-ratio	0,79	0,87	0,54	0,47	0,55	0,36

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 mai et juillet 2005

Le sex-ratio diminue fortement au cours des trois prélèvements. Le même type d'évolution avait été constatée, dans une moindre mesure, en 2004 sur les deux sites. Cette année, le sex-ratio atteint 0,36 à Veulettes en juillet.

Les résultats de la structure de la population illustrent bien la biologie de l'espèce. Les mâles sont nettement plus grands que les femelles. Ainsi à titre d'exemple, le plus grand mâle mesuré en 2005 faisait 20,5mm tandis que la plus grande femelle ne faisait que 13,7mm.

Les juvéniles représentent la part la plus importante de l'effectif et sont responsables des variations d'effectif lors de la période estivale, période de reproduction. Le sex-ratio est déséquilibré en faveur des femelles chez les juvéniles et s'inverse en faveur des mâles chez les adultes. 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 bifide), la répartition des sexes obtenue doit être considérée comme fidèle à la réalité du terrain. Les anciennes données confirment par ailleurs que la dominance des femelles chez les juvéniles constitue une caractéristique normale de la population d'*Idotea granulosa* en cette saison.

La mortalité des femelles adultes pourrait résulter d'un investissement important dans la reproduction mais la position de l'Idoté sur le *Fucus* est susceptible également d'avoir un rôle. Merilaita et Jormalainen (1997) ont montré chez *Idotea baltica* que mâles et femelles sont positionnés différemment sur le *Fucus*. Ainsi les mâles sont rencontrés plus souvent sur la partie apicale et donc sont potentiellement plus exposés, ce qui conduirait à un sex-ratio en faveur des femelles. Cependant, les deux auteurs ont révélé que la localisation des femelles ne correspondait pas à leurs lieux d'alimentation. Les déplacements des femelles pour s'alimenter peuvent donc constituer une explication du sex-ratio en augmentant les risques d'exposition aux prédateurs.

La différence de taille pourrait s'expliquer par le fait que les femelles connaissent un taux de mortalité supérieur aux mâles (cause de leur durée de vie moindre, 15 contre 18 mois). Par ailleurs, la grande tailles des mâles joue certainement un rôle dans la reproduction pour le choix du partenaire. La mortalité importante des femelles peut également expliquer le nombre plus

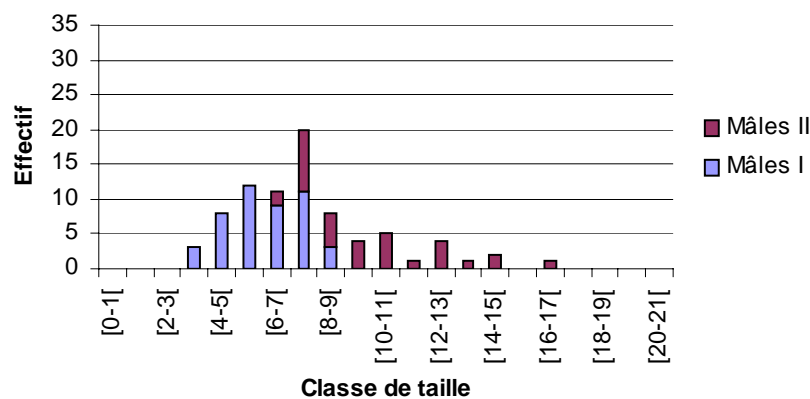
élevé de femelles juvéniles comme une adaptation de l'espèce à cette mortalité, ce qui garantit les chances de reproduction et de survie.

L'analyse des différentes classes de taille en fonction de la date et du site permet de mettre en évidence plusieurs phénomènes. La reproduction semble avoir commencé plus précocement à Saint Valéry. En effet, le nombre de juvéniles est non négligeable en mai. Les petites classes de taille étant bien représentées, ces juvéniles proviennent d'une reproduction antérieure aux prélèvements. A Veulettes, en mai, le nombre d'individus échantillonnés est faible. Le nombre de juvéniles est faible aussi. La reproduction ne semble pas encore avoir commencé sur ce site.

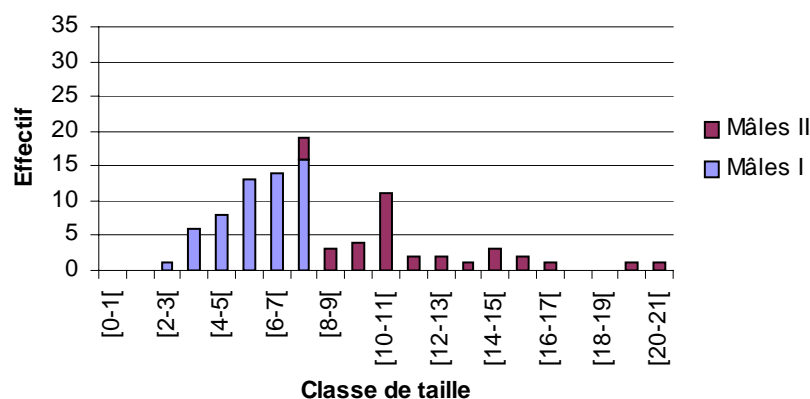
En juillet, sur le site de Saint Valéry, un nombre important de jeunes individus ont été capturés. Il y a une densité importante de femelles de 3-4mm et de mâles de 4-5mm. Ces individus semblent provenir d'une période de reproduction ayant eu lieu entre les prélèvements de juin et de juillet. A Veulettes, le nombre individus augmente sensiblement au cours du temps.

Le nombre d'individus adultes augmente également au cours du temps, c'est pourquoi, l'étude des différentes proportions de chaque stade de développement par sexe ne varie pas tellement. La structure de la population ne se modifiant que peu, l'effectif total augmentant.

26 mai 2005, Saint Valéry en Caux



28 juin 2005, Saint Valéry en Caux



27 juillet 2005, Saint Valéry en Caux

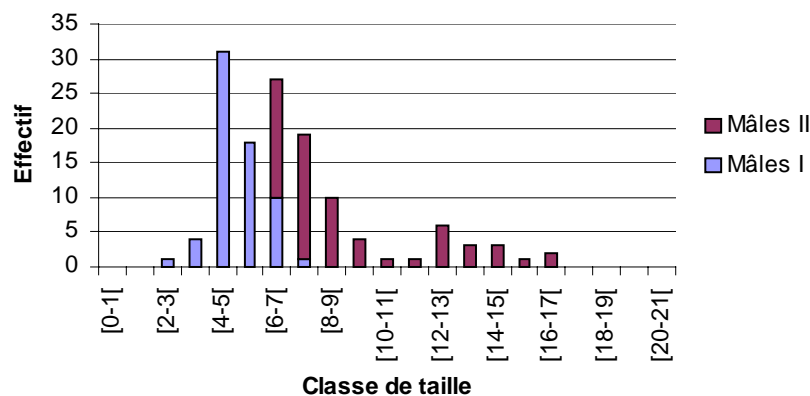
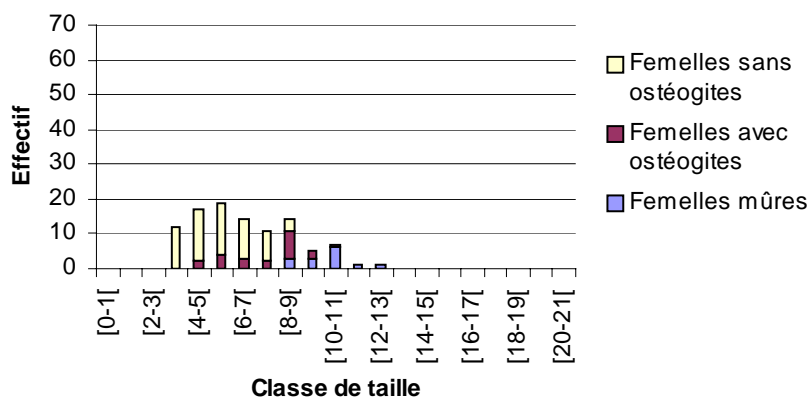
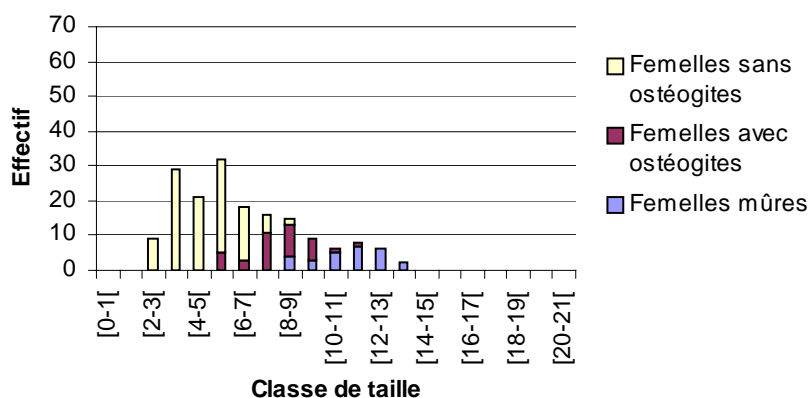


Figure 7.2 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –mâles– à Saint Valéry-en-Caux au cours de l'été 2005

26 mai 2005, Saint Valéry en Caux



28 juin 2005, Saint Valéry en Caux



27 juillet 2005, Saint Valéry en Caux

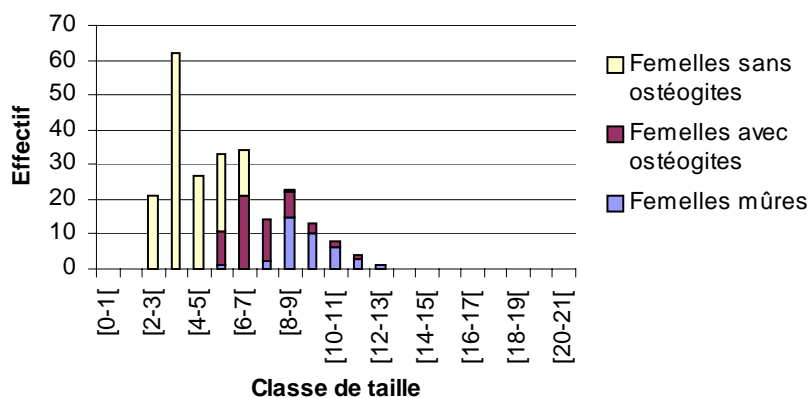


Figure 7.3 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –femelles– à Saint Valéry-en-Caux au cours de l'été 2005

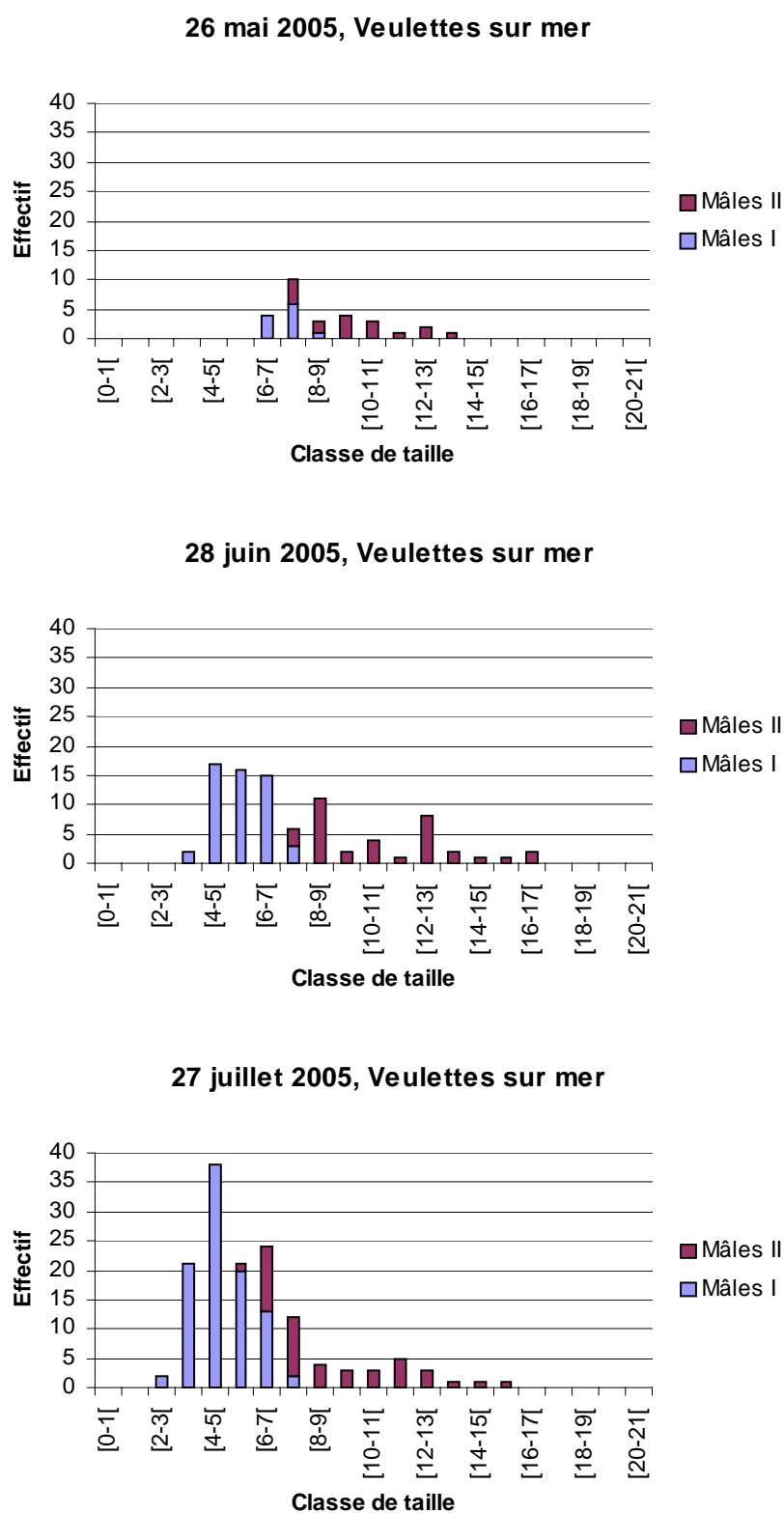
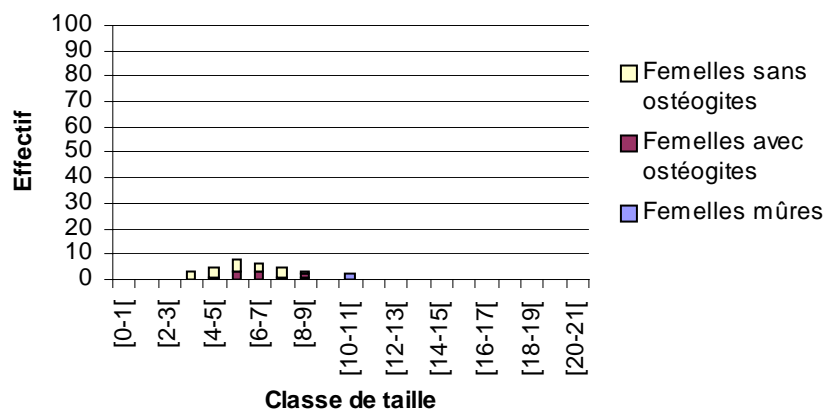
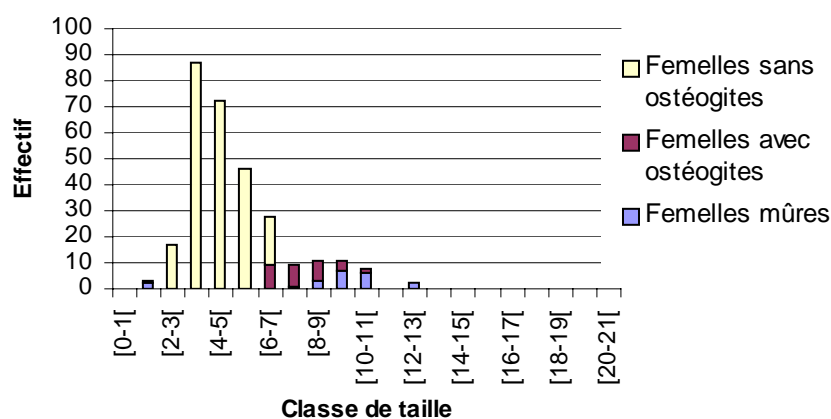


Figure 7.4 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –mâles– à Veulettes-sur-Mer au cours de l'été 2005

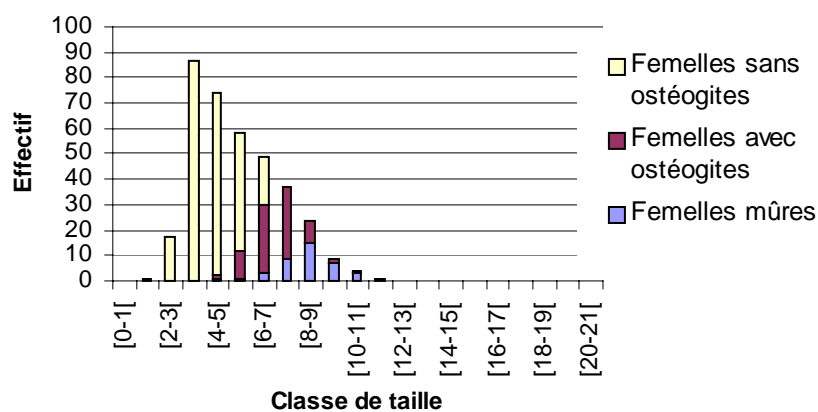
26 mai 2005, Veulettes sur mer



28 juin 2005, Veulettes sur mer



27 juillet 2005, Veulettes sur mer

Figure 7.5 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –femelles– à Veulettes-sur-Mer au cours de l'été 2005

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 cette date, les deux stations sont suivies uniquement pendant la période estivale, au cours de laquelle sont réalisées trois campagnes d'échantillonnage.

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		
2005	26/05	28/06	27/07			

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 06/07 28/07 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		
2005	26/05	28/06	27/07			

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*

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 système de 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 2005

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 depuis 1985.

En cas d'absence de matériel algal à échantillonner une valeur nulle est affectée à la densité d'idoté. Comme le zéro idoté peut également être rencontré, en théorie, lorsque la biomasse algale n'est pas nulle, les valeurs nulles de biomasse algales ne sont pas considérées dans le calcul des valeurs moyennes. De ce fait c'est l'importance du recouvrement algal qui est principalement prise en compte.

L'évolution de la biomasse moyenne estivale de *Fucus vesiculosus* ainsi obtenue peut être séparée en trois périodes distinctes (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. Une réduction de la couverture algale d'un facteur trois à Veulettes est observée, ainsi qu'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 un niveau recouvrement au moins égal à celui avant le déclin (entre 400 et 600 g/m² avant 1984 à St-Valery-en-Caux) ;
- Une période de relative stabilité depuis 1991 à Veulettes (718 g/m² ± 272) et depuis 1996 à St Valery (638 g/m² ± 196,8) qui révèle le site de Veulettes comme ayant un potentiel supérieur en matière de recouvrement algal.

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 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 laisse à penser qu'il n'y a pas de lien de causalité direct entre les deux phénomènes. L'hypothèse d'une adaptation de l'écosystème n'est pas confirmée par 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) ait parfois été proposé comme une cause possible.

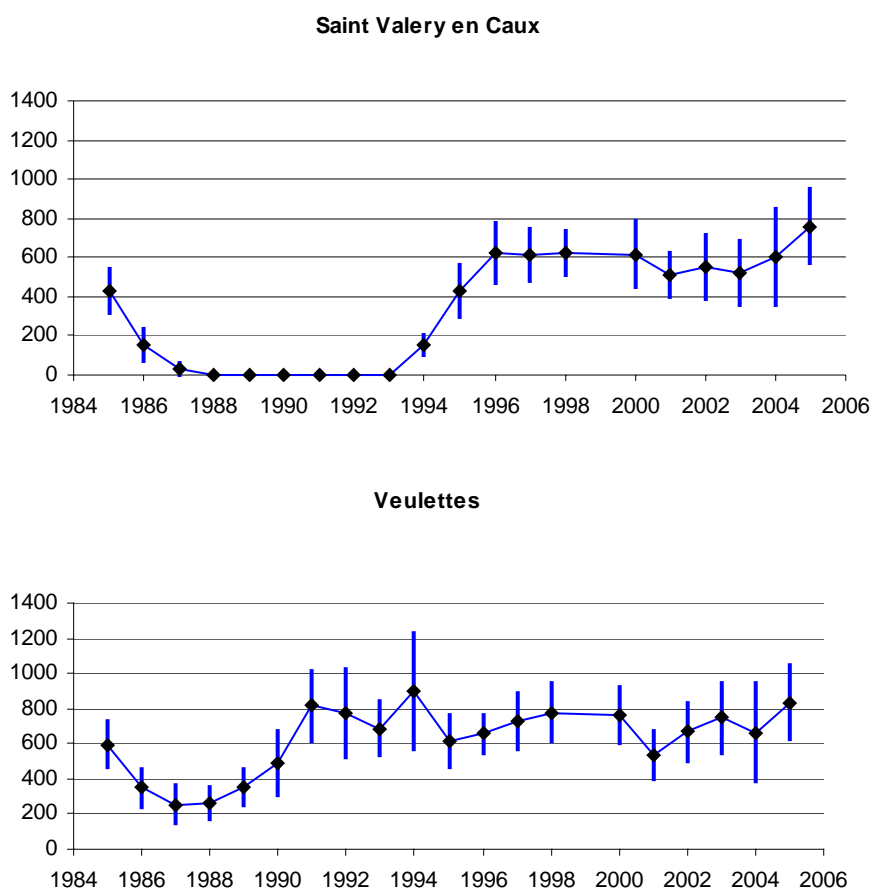


Figure 7.6 : Evolution de la moyenne estivale de la biomasse algale (g/m² PSE) dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2005 aux sites de Saint Valéry-en-Caux et Veulettes-sur-Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types)

7.5.3. Evolution de la densité des Idotés de 1985 à 2005

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 ($p < 0,01$; $r^2 = 0,47$ pour Veulettes et $r^2 = 0,71$ pour St Valery).

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

- une période de déclin à partir de 1985, 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 deux à trois 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 l'efficacité du recrutement avant 1984 à St Valéry-en-Caux) ;

- Une période de stabilité depuis 1991 à Veulettes (134 ind./m² ± 88 ind.) et depuis 1996 à St Valéry (103 ind./m² ± 71 ind.) qui révèle le site de Veulettes comme ayant un potentiel supérieur en matière d'accueil des idiotés.

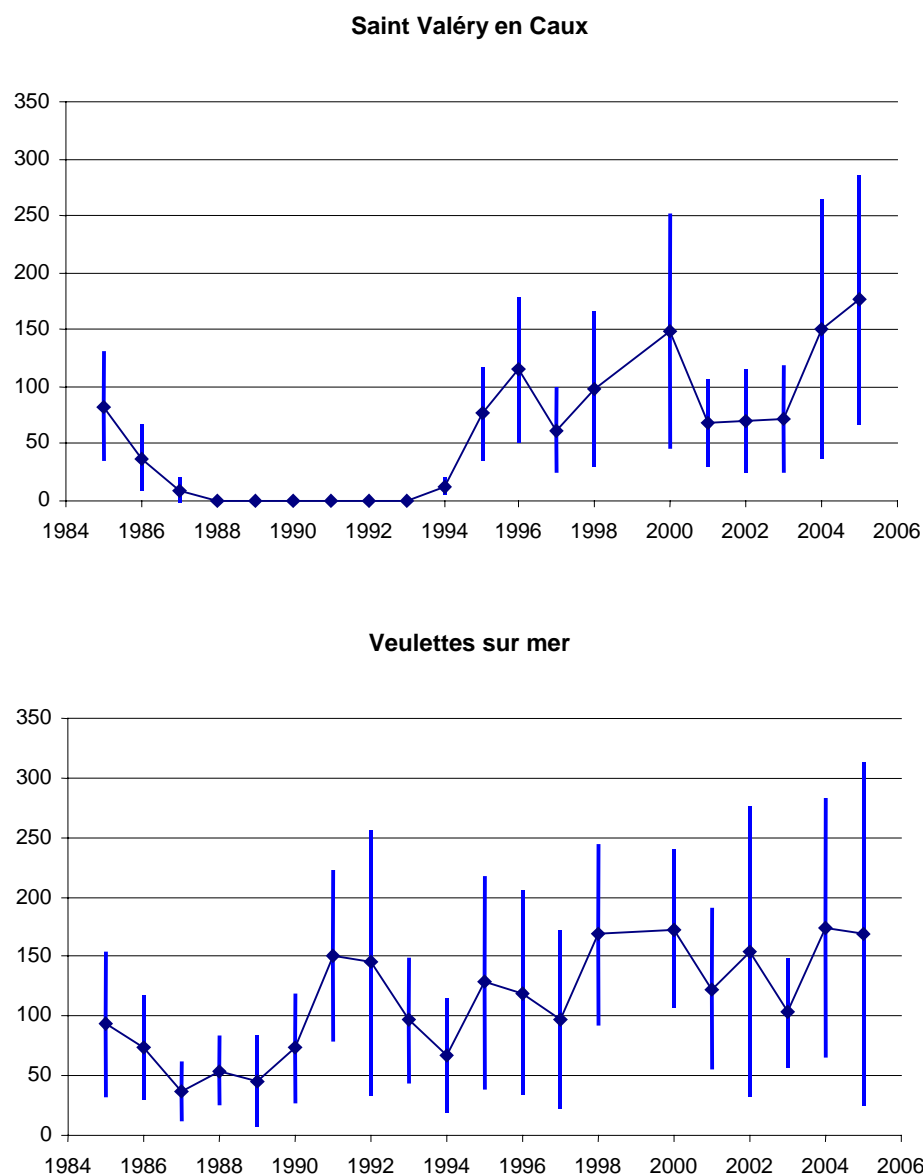


Figure 7.7 : Evolution de la moyenne estivale de la densité d'*Idotea granulosa* (Ind./m²) dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2005 aux stations de Saint Valéry-en-Caux et Veulettes-sur-Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types).

Le rapport idioté/Biomasse de *Fucus* permet d'éliminer ce lien de dépendance ; les moyennes estivales de ce paramètre, lorsque son calcul est possible, ne mettent en évidence aucune tendance significative sur la période 1985-2005 (figure 7.8). Les valeurs moyennes à Saint

Valéry-en-Caux et Veulettes-sur-Mer, respectivement 17,57 ind./100g *F.v.* \pm 16,63 et 17,02 Ind./100g *F.v.* \pm 11,82, 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.

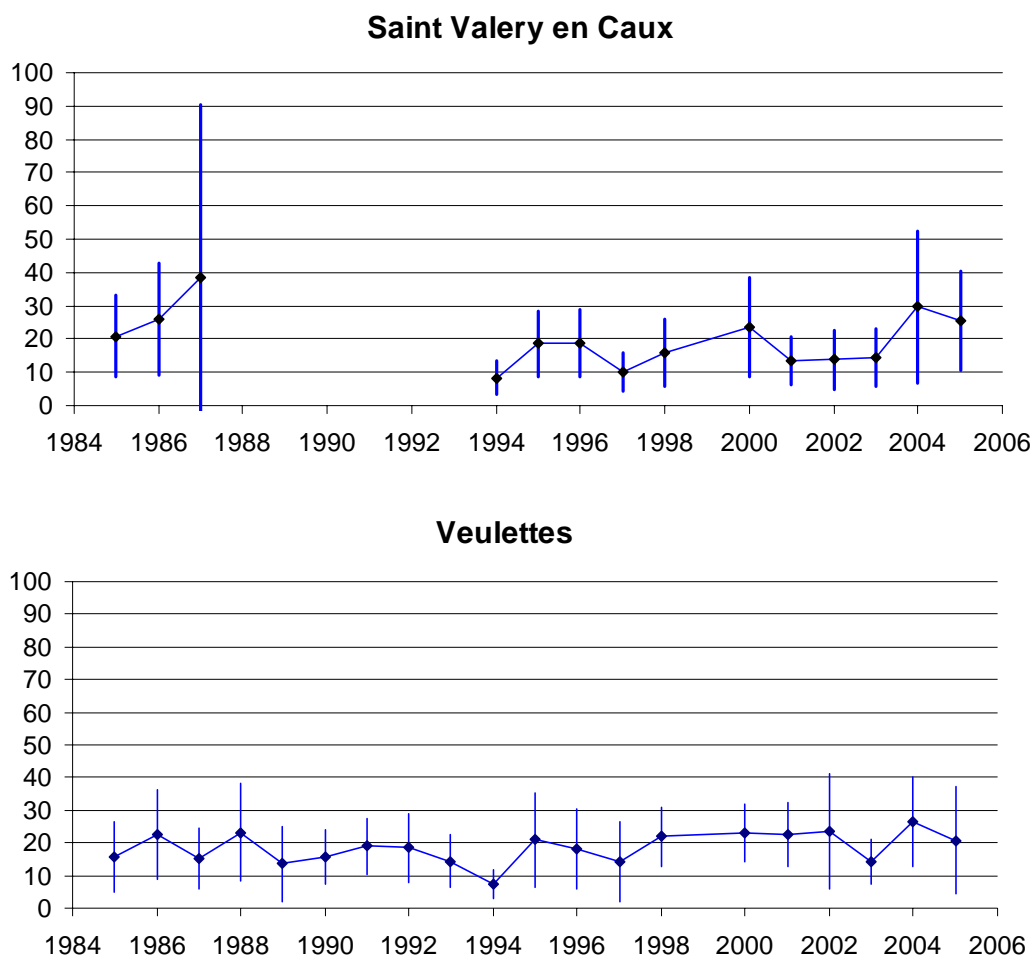


Figure 7.8 : Evolution de la moyenne estivale du nombre d'*Idotea granulosa* /100 g de *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2004 aux stations de Saint Valéry-en-Caux et Veulettes-sur-Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types)

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 réplicats d'échantillonnage (cas de l'année 1987 à St Valéry). La valeur maximale observée à Saint Valéry-en-Caux au cours de l'été 1987 (40 Ind./100g de *Fucus vesiculosus* et 25 Ind./100g 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 880 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).

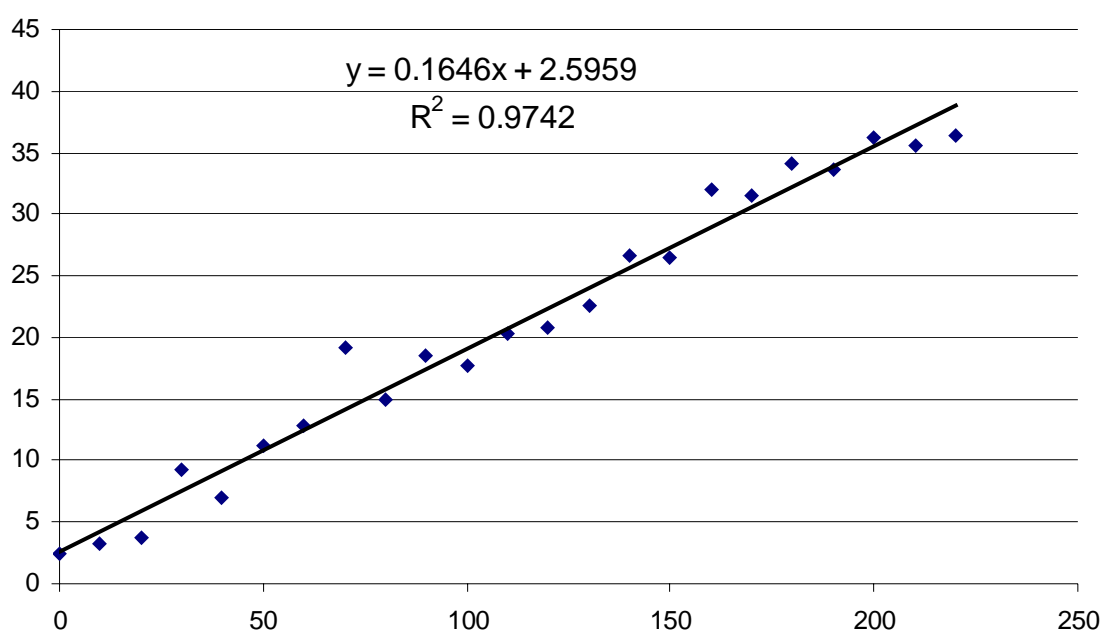


Figure 7.9 : Modèle de régression linéaire de la densité d'Idotés en biomasse de *Fucus vesiculosus*. Valeurs moyennes de la densité d'*Idotea granulosa* par classes de biomasses algales de 10 unités (données 1985 à 2005)

Ce modèle est utilisé pour filtrer le signal "densité d'Idotés". Ainsi, le nombre d'idotés estimé par le modèle par unité de biomasse peut être calculé. L'évolution des résidus moyens représente l'évolution du nombre d'idotés après correction de l'effet biomasse de *Fucus*. Différents points peuvent ainsi être mis en évidence (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 une série "continue" de 1985 à 2005 est disponible, 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). Compte tenu de la forte variabilité résiduelle il n'est pas possible de réellement parler de concordance, mais celle-ci est tout à fait plausible et indiquerait que pour les deux sites :

1. les idotés ont une dynamique comparable, laissant supposer que les populations sont identiques ;
2. les variations, autres que cycliques, sont vraisemblablement propres à la biologie de l'espèce. Elles semblent avoir une origine commune sur les deux sites.

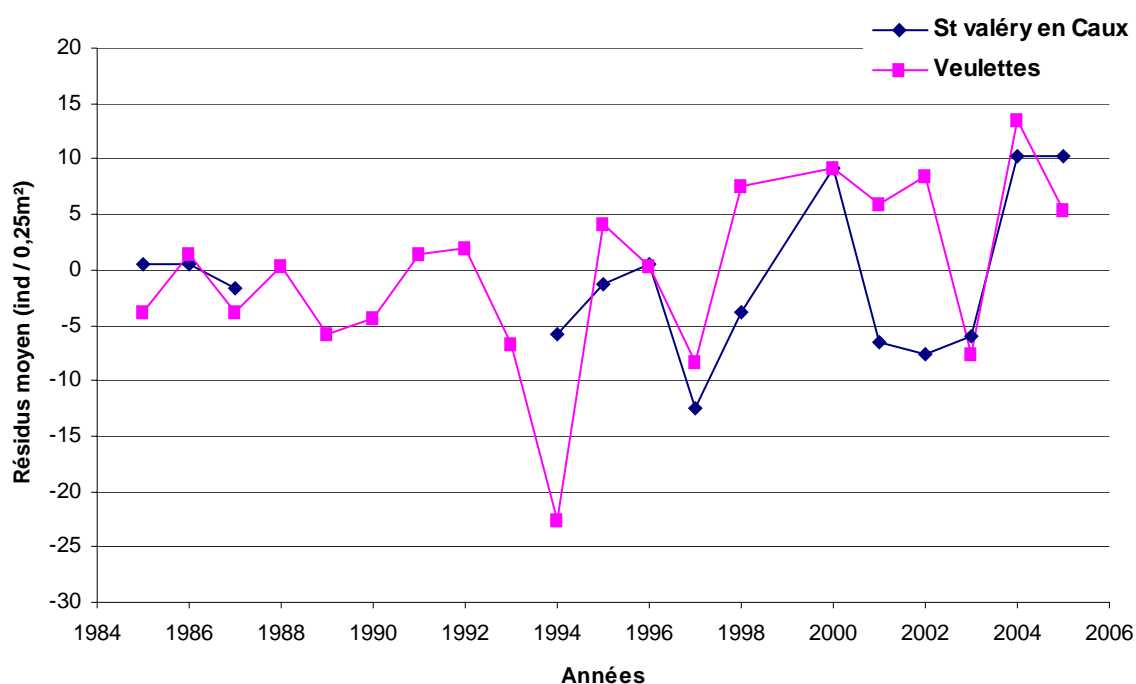


Figure 7.10 : Evolution de la moyenne estivale de la densité résiduelle (après filtrage de "l'effet biomasse algale") des *Idotea granulosa* de 1985 à 2005 sur les estrans de Saint Valéry-en-Caux et de Veulettes-sur-Mer

7.5.4. Evolution du sex-ratio des Idotés de 1996 à 2005

L'évolution du sex-ratio est un paramètre important pour la population. Nous avons vu que son évolution n'est pas tout à fait semblable entre les deux sites d'étude en 2005 (figure 7.11). L'évolution du sex-ratio au cours de l'été pour les prélèvements de 1996 à 2005 permet de mettre en évidence une évolution identique entre les sites. Les sex-ratio des échantillons prélevés à Saint Valéry suivent cependant des variations de moindre importance que ceux des échantillons prélevés à Veulettes. L'évolution du sex-ratio au cours de la saison subit également des modifications au cours du temps. Ces deux dernières années, le sex-ratio a fortement diminué sur les deux sites au cours de la période de reproduction. La tendance inverse a été observée de nombreuses années (1999 et 2001 par exemple).

Il semble que le sex-ratio soit facilement adaptable d'une année sur l'autre et d'un site à l'autre. L'unique trait général est la domination des femelles. Cette domination peut être expliquée par la prédominance des femelles juvéniles.

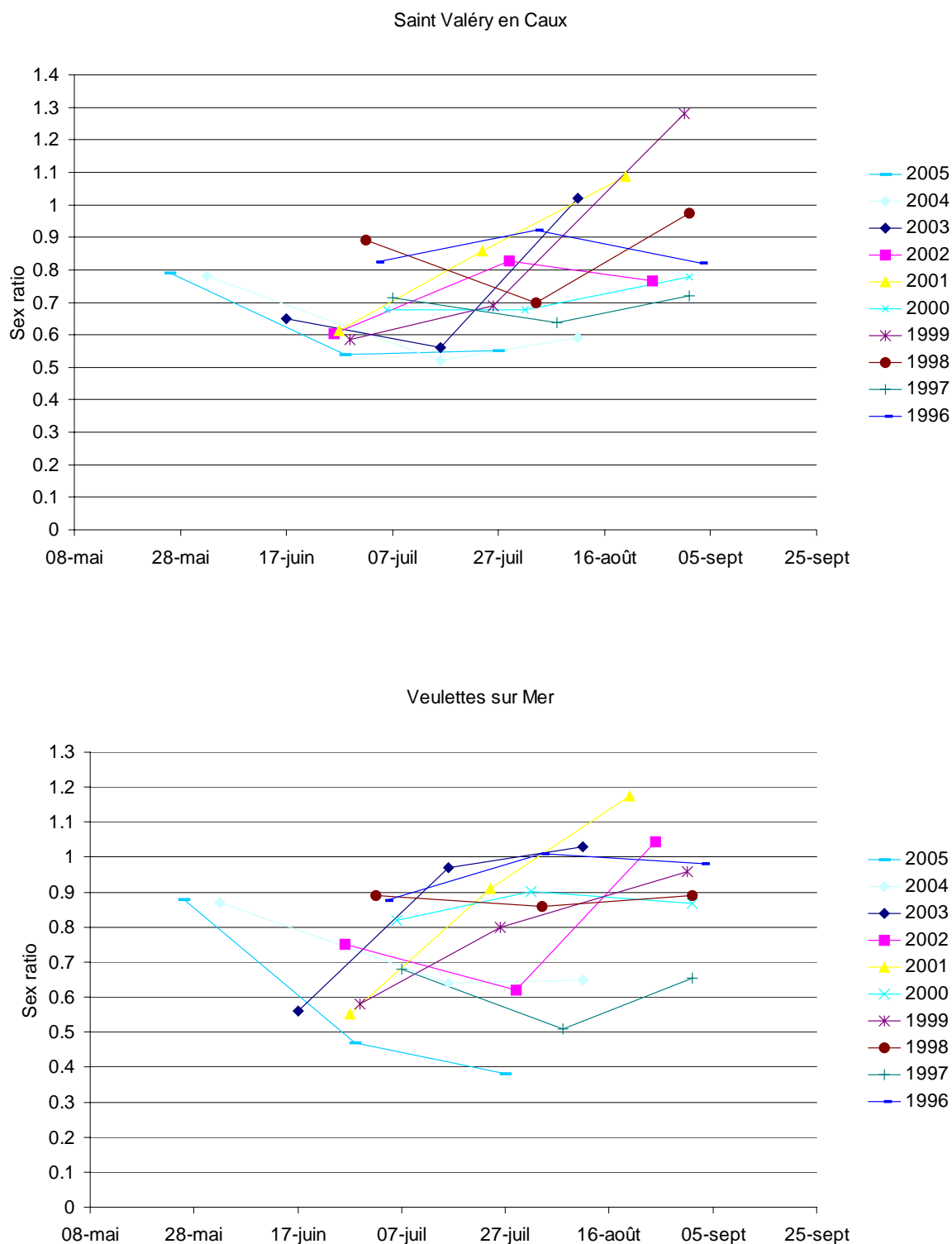


Figure 7.11 : Evolution du sex ratio estival des *Idotea granulosa* de 1996 à 2005 sur les estrans de Saint Valéry-en-Caux et de Veulettes-sur-Mer

7.6. Conclusion

Les biomasses de *Fucus* mesurées cette année sur les sites de Saint Valéry-en-Caux et de Veulettes-sur-Mer sont supérieures à la moyenne depuis la reconstitution de la ceinture algale. Cette plus forte biomasse a induit un peuplement par les idotés supérieur à la moyenne. Le taux d'occupation des *Fucus* par les idotés est cependant conforme aux moyennes observées à Veulettes, tandis qu'il est supérieur à la moyenne à Saint Valéry-en-Caux.

Concernant l'évolution à long terme du peuplement, 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. En effet, le site de Veulettes-sur-Mer, hors du panache thermique de la centrale selon le modèle LCHF, a également été impacté.

La population d'idotés suit une évolution comparable sur les deux sites. Le site témoin et le site impacté ont la même dynamique de population avec des fluctuations périodiques de 2 ou 3 ans. Depuis la fin des années 1990, l'amplitude des variations semble s'accroître, avec une tendance à la hausse des effectifs, indépendamment de la variation de couverture algale. Le sex-ratio est toujours déséquilibré sur les deux sites. Le nombre de femelles, notamment juvéniles, est toujours plus important que celui des mâles. L'évolution au cours de l'été des sex-ratio sont identiques sur les deux sites, bien que pouvant varier beaucoup d'une année sur l'autre.

L'évolution du climat ces dernières années a induit une modification de la biogéographie de nombreuses espèces, tant terrestres que marines. Des variations dans la courantologie sont également observées, tant au niveau local que global. L'ensemble de ces incertitudes quant à l'évolution du contexte général s'ajoute aux incertitudes sur la biologie des espèces prises en considération dans cette étude. Des précautions doivent être prises pour toute interprétation des phénomènes mesurés sur les sites de Saint Valéry et de Veulettes. L'échelle des changements doit être prise en compte et la capacité de témoin de la station de prélèvement de Veulettes doit être validée.

8. Le Phytobenthos Intertidal

<i>Rapport</i>	Frank MAHEUX (LERN), Luis LAMPERT (LERN).
<i>Prélèvements</i>	Frank MAHEUX (LERN), Olivier PIERRE-DUPLESSIX (LERN).
<i>Participation</i>	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.

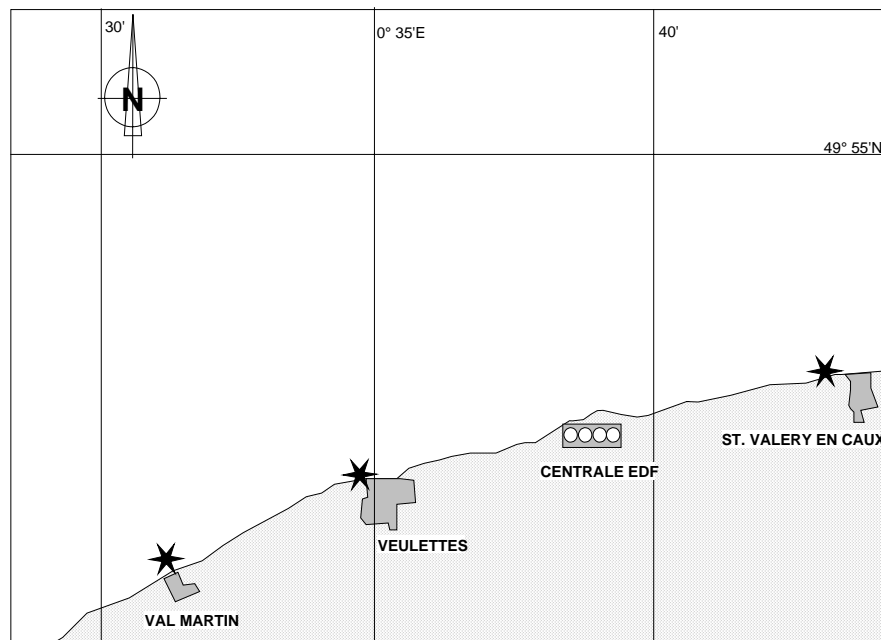


Figure 8.1 : Situation des trois points d'échantillonnage lors des campagnes 2005

8.2. Matériel et méthodes

La méthodologie employée au cours de l'année 2005 (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 statistiques 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 2005 pour le compartiment du phytobenthos intertidal sont présentés dans le tableau 8.1 ci-dessous.

Dates	Paramètres	VAL MARTIN	VEULETTES	ST VALERY
11 et 12 mars	Biomasse (g/0,25 m ²)	97,5	103,6	90,8
	Fertilité (% de pieds fertiles)	24	25	16
19 et 20 septembre	Biomasse (g/0,25 m ²)	173,4	151,6	148,6
	Fertilité (% de pieds fertiles)	86	84	78

Tableau 8.1 Valeurs de biomasse et de fertilité de *Fucus sp.* en 2005

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 St Valery avec 90,8 g/0,25m² et la plus forte valeur au point Val Martin en septembre avec 173,4 g/0,25m² (figure 8.2).

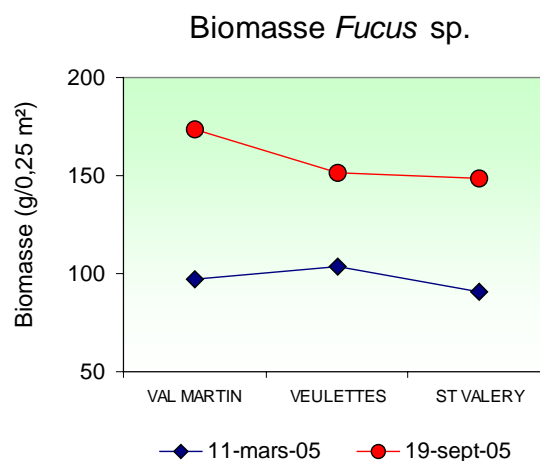


Figure 8.2 : Biomasse de *Fucus sp.* lors des campagnes de mars et septembre 2005

Les valeurs de biomasse observées en septembre sont supérieures de 50% de celles enregistrées au mois de mars. Au mois de septembre, un gradient Val Martin-St Valery est mis en évidence.

Au mois de mars les valeurs de Val Martin et de Veulettes sont supérieures à celles du point St Valery.

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

L'ensemble des valeurs observées en 2005 se situent dans la plage de celles déjà enregistrées depuis 1994 (figure 8.3). Au printemps, les valeurs de 2005 ont toutes été supérieures à celles observées en 2004, tandis qu'en automne, seule la valeur du point St Valery s'est située en dessous.

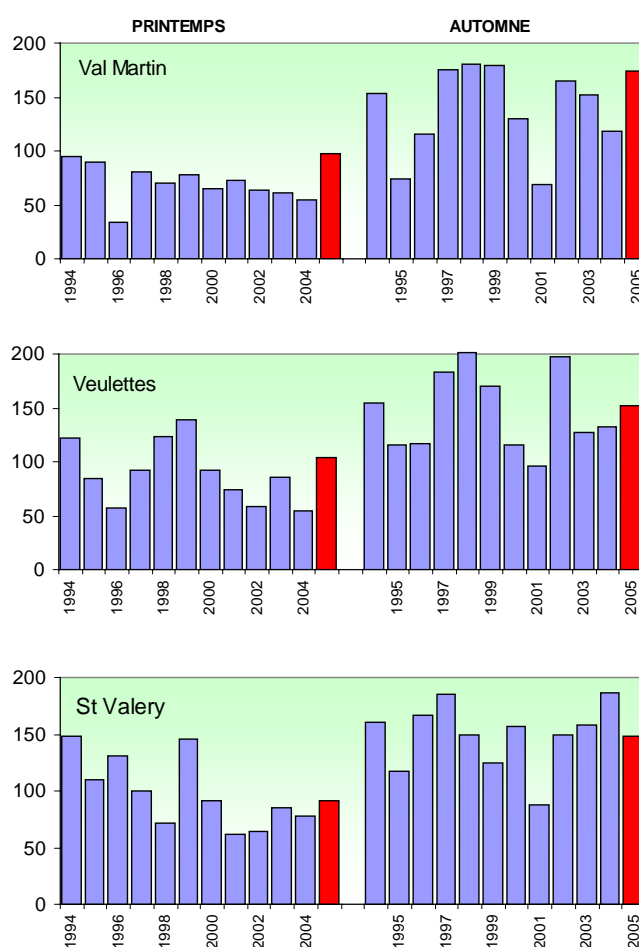


Figure 8.3 : Évolution de la biomasse de *Fucus sp.* sur les trois points d'échantillonnage depuis 1994 en g/0,25m²

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 faibles médianes au printemps. 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.

En mars et septembre, les valeurs de biomasse de 2005 ont été supérieures aux médianes pluriannuelles pour les points Val Martin et Veulettes, tandis qu'au point St Valery elles se situent proches des médianes.

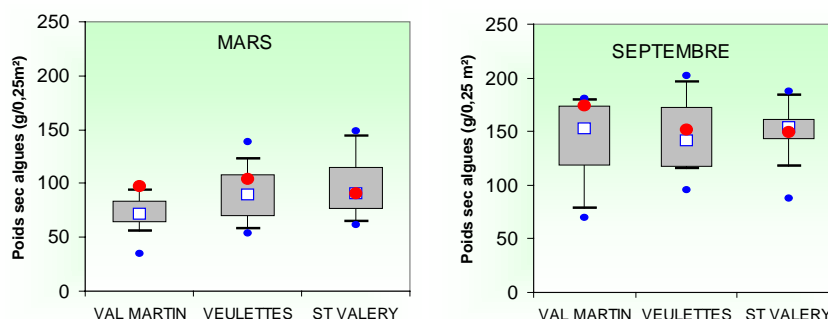


Figure 8.4 : Représentation des médianes de valeurs de la biomasse obtenue depuis 1994

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	0,012	0,329
VAL MARTIN/ST VALERY	0,016	0,435
ST VALERY/ VEULETTES	0,405	0,845

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

Tableau 8.2 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la biomasse (1997 à 2005)

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.

En 2005 les valeurs de la biomasse printanière sont quasiment supérieures du double à celle de 2004 sur les points Val Martin et Veulettes, tandis qu'à l'automne cet écart est moindre, voire négatif à St Valery.

L'explication probable pourrait résider d'une part, dans les conditions météorologiques clémentes rencontrées en hiver (particulièrement en ce qui concerne la température avant le mois de mars) et d'autre part à un hydrodynamisme printanier faible d'où un moindre arrachage mécanique sur ce substrat crayeux plutôt fragile en ce qui concerne la tenue du crampon de fixation de *Fucus sp.* Cette augmentation de la biomasse au printemps est à rapprocher de celle de *Fucus vesiculosus* en augmentation lors de l'été 2005 (cf. chapitre 6).

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 2005 a été observée en mars au point St Valery avec 16 % de pieds fertiles (figure 8.5). La plus forte valeur a été celle observée au point Val Martin en septembre avec respectivement 86 %.

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

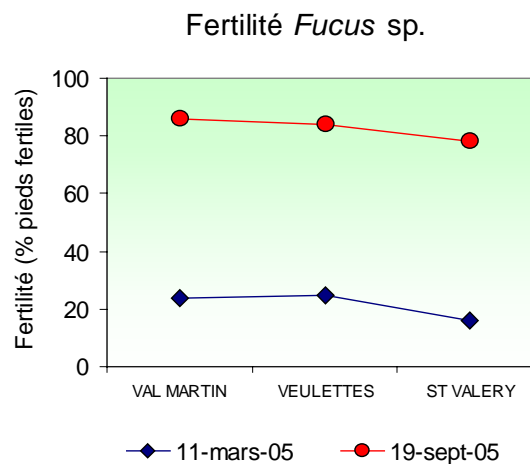


Figure 8.5 : Fertilité de *Fucus sp.* lors des campagnes de mars et septembre 2005

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

Lors de la campagne du mois de mars, La fertilité au point Val Martin a été supérieure à celle observée en 2004 (figure 8.6). Au point Veulettes elle a été similaire et finalement inférieure au point St Valery. Au mois de septembre, les points Veulettes et St Valery présentent des fertilités inférieures à celles de l'automne 2004 et elles est supérieure au point Val Martin.

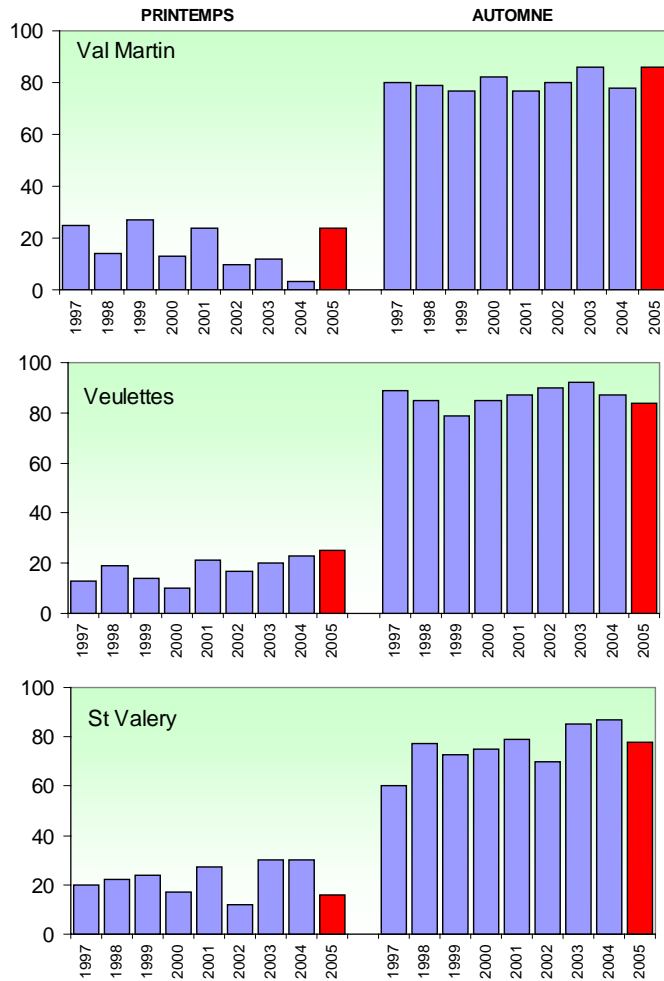


Figure 8.6 : Évolution de la fertilité de *Fucus sp.* sur les trois points d'échantillonnage depuis 1997

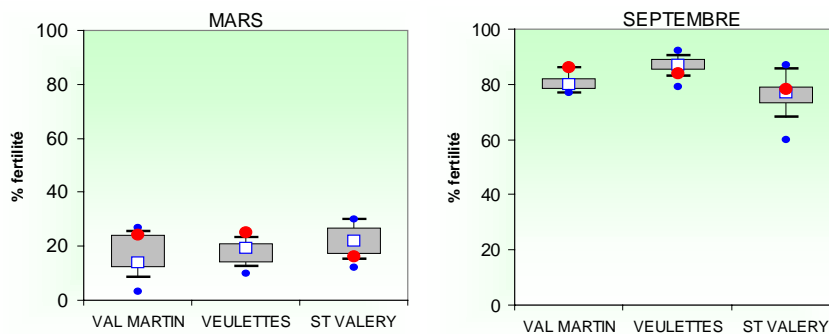


Figure 8.7 : Représentation des médianes des valeurs de la fertilité obtenue depuis 1997

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 2005, les valeurs observées ont été supérieures aux médianes pluriannuelles aux points Val Martin et Veulettes et inférieure au point St Valery.

Au mois de septembre, le seul point qui présente des valeurs inférieures aux médianes est Veulettes.

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.

COMPARAISON	PRINTEMPS	AUTOMNE
VAL MARTIN/ VEULETTES	0,756	0,003
VAL MARTIN/ST VALERY	0,209	0,132
ST VALERY/ VEULETTES	0,109	0,007

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

Tableau 8.3 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la fertilité (1997-2005)

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).

Biomasse moyenne annuelle de *Fucus sp.*

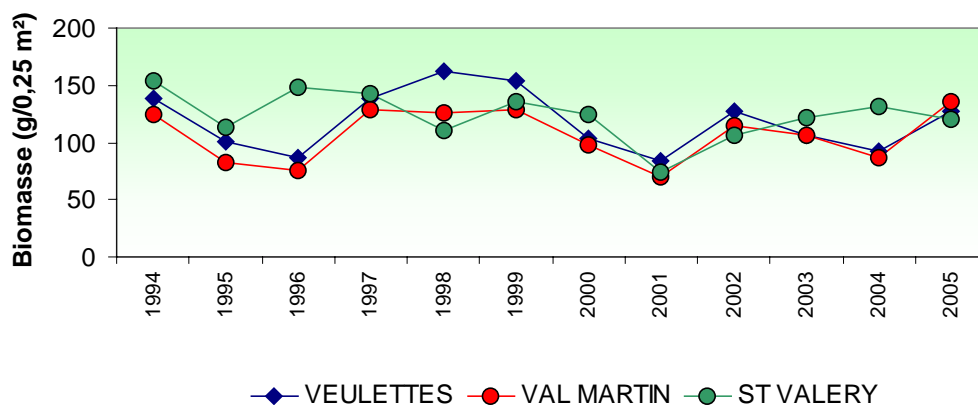


Figure 8.8. : Évolution de la biomasse moyenne annuelle de *Fucus sp.* depuis 1994

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	0,034	Non significatif
St Valery	0,1655	Non significatif
Val Martin	0,0041	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 2005, 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.

Nous avons noté en 2004 une lente et progressive recolonisation du site de St Valery depuis 2001. Il semblerait qu'en 2005 cette dernière se soit stabilisée, la valeur de 2005 (119,7g/0.25 m²) est en effet très proche de celle de 2003 (121,7g/0.25 m²).

L'évolution de la biomasse des points Veulettes et Val Martin est similaire, tandis que celle observée au point St Valery présente certaines années des inversions de tendance par rapport aux autres deux points (1996, 2000, 2003, 2004 et 2005).

8.5. Conclusions

Les relevés effectués au cours de l'année 2005 ont montré :

- Une certaine stabilisation du peuplement de *Fucus sp.* des différents platiers étudiés depuis 2001, avec toutefois une très légère baisse de la biomasse mesurée à St Valery ;
- Une biomasse printanière en augmentation comparativement à celle observée en 2004 ;
- l'analyse statistique des résultats que nous cumulons maintenant depuis plus de dix ans nous suggère qu'il n'y a pas d'évolution significative de la biomasse des *Fucus sp.* ;
- les résultats de l'année 2005 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 un minimum printanier et un maximum automnal.

L'étude du compartiment *phytobenthos intertidale* 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.

9. halieutique

Rapport Jean-Paul DELPECH (IFREMER/RHBL)

Participation Pascal RAULIN (IFREMER/RHBL)

9.1. Situation au 31.12.2004 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 2004 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	93	17	12
10m < L < 17m	13	19	198	21	21
L > 17m	22	91	435	23	9
					42

Tableau 9.1. : Classement des bateaux au quartier de Fécamp au 31/12/2004

Le nombre total de bateaux est stable ; en fait quelques uns sont souvent exploités dans des ports voisins du quartier, comme Dieppe, Le Havre ou même Boulogne.

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

La répartition des navires par port d'exploitation montre un faible accroissement des effectifs dans le temps, comme l'indique le tableau 9.2 ci-dessous :

année	Fécamp Est	Fécamp	Fécamp Ouest	total
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
2004	13	26	3	42

Tableau 9.2. : Répartition du nombre de navires par port

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	7	6	6	7	10	12	12	11	5	4	4	90
Métiers du filet	21	24	23	25	25	27	28	25	25	26	26	27	302
Divers métiers	11	13	14	18	14	13	15	10	9	12	10	9	148
Total:	38	44	43	49	46	50	55	47	45	43	40	40	540

Tableau 9.3. : Répartition du nombre de mois par bateau selon leur métier en 2004

9.2. Production

Les ventes enregistrées en criée de Fécamp entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2004 représentent 6 150 tonnes (source : criée de Fécamp), soit une forte diminution (environ 40%) par rapport aux apports enregistrés en 2003. L'augmentation du prix moyen au kilo (1,74 € en 2004 contre 1,42 € en 2003) ne suffit pas à compenser cette baisse de tonnage puisque la valeur déclarée passe de 14 343 K€ en 2003 à 10 705 K€ en 2004 (tableau 9.4).

Les trois premières espèces en tonnage sont très classiquement la sardine, la coquille Saint-Jacques et le maquereau.

Le chinchard accuse cette année encore une baisse en tonnage (50%), et un prix moyen en baisse lui aussi, révélant sans doute une modification sensible du marché sur ce produit.

Les ventes de sole sont stables ; en valeur, c'est encore et toujours la première espèce.

Le cabillaud est lui aussi en baisse (50%), infirmant la tendance observée l'an dernier.

Le rouget barbet est lui aussi en baisse très sensible (50%).

Comme chaque année, 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	10.00	0.00	0.00
Anguille	15.00	45.75	3.05
Araignée	97.00	8.97	0.09
Bar de chalut	31426.05	263946.35	8.40
Bar de filet	18236.90	139393.48	7.64
Bar de ligne	166.20	1718.10	10.34
Barbue	6258.50	53267.16	8.51
Buccin	691.00	444.24	0.64
Cabillaud	63004.90	337162.11	5.35
Chinchard	4465.00	601.53	0.13
Congre	16952.10	35199.18	2.08
Coquilles St Jacques	1107470.50	2954575.38	2.67
Crevette rose	37.70	970.55	25.74
Émissole	39504.60	28194.19	0.71
Encornet	53979.20	292126.29	5.41
Griset	61152.00	104648.52	1.71
Grondin perlon	11123.90	25779.25	2.32
Grondin rouge	51932.70	52363.61	1.01
Homard	759.62	11263.21	14.83
Huître divers	73.50	60.75	0.83
Julienne	311.00	869.90	2.80
Lieu jaune	12133.10	42207.30	3.48
Limande	19078.90	14200.62	0.74
Limande sole	811.20	4334.34	5.34
Lotte	551.60	3478.40	6.31
Maquereau	1071709.80	465886.88	0.43
Merlan	29873.60	41255.32	1.38
Merlu	40.00	30.40	0.76
Mulet	22087.40	11595.68	0.52
Orphie	655.20	28.29	0.04
Peau bleu	12.00	73.20	6.10
Plie	104254.10	172284.82	1.65
Poulpe	1.00	1.50	1.50
Raie	85823.60	195799.64	2.28
Rogue	1816.80	3798.11	2.09
Rouget Barbet	15625.30	69763.10	4.46
Rouget camard	10348.90	2390.87	0.23
Roussette	142349.40	67298.78	0.47
Saint Pierre	1156.80	10584.65	9.15
Sardine	2465744.50	714108.49	0.29
Seiche	159447.00	183989.19	1.15
Sole	404247.90	3821200.56	9.45
Sole blonde	19.20	53.85	2.80
Sole perdrix	33694.80	109230.72	3.24
Tacaud	57152.30	20775.01	0.36
Taupe	175.00	962.50	5.50
Tourteau	148.30	70.93	0.48
Turbot	39690.74	445644.84	11.23
Vieille	3732.80	667.15	0.18
Vive	382.20	1148.83	3.01
TOTAL GENERAL	6150431	10705502	1,74

Tableau 9.4 : Espèces mises en vente en criée de Fécamp en 2004 (source : criée de Fécamp)

Conclusions

Hydrologie

Le climat en 2005 a été en générale chaud et sec, tout comme a été le cas en 2003 et 2004, avec des températures supérieures aux moyennes pluriannuelles et une faible pluviométrie, phénomène tout particulièrement marqué en janvier.

Les campagnes 2005 ont été caractérisées par les plus faibles températures d'eau enregistrées depuis 1989 au mois de mars et par les plus élevées observées en été et en automne. Les différences de température enregistrées entre les points *référence* et *rejet* ont variée entre 2,3 °C pour le mois de septembre et 4,1 °C pour la campagne de mars.

Les salinités ont été particulièrement élevées par rapport aux médianes pluriannuelles en mars et par rapport à l'ensemble de valeurs observées en 2004. Avec un moindre écart, les salinités restent toujours supérieures aux médianes en juin, et en septembre. Les valeurs observées au point *canal* étant toujours supérieures aux médianes.

Les nutriments mesurés lors des campagnes 2005 semblent avoir suivi un cycle saisonnier classique : consommation par le phytoplancton des sels nutritifs entre le printemps et l'été suite à l'augmentation de l'ensoleillement, suivi de processus de régénération en automne.

La plus fortes valeurs d'ammonium sont observée en septembre, où elles dépassent les médianes pluriannuelles. Une faible variabilité spatiale est constatée lors des trois campagnes 2005.

Bien que les concentrations en nitrate plus nitrite mesurés lors des campagnes 2005 soient inférieures à celles enregistrées en 2004, elles se situent près des médianes pluriannuelles. Le gradient décroissant côte-large est bien marqué, avec des valeurs au point *rejet* intermédiaires de celles des points *canal* et *référence*.

Les seules concentrations en trihalométhanes dépassant le seuil de détection analytique ont été celles enregistrées lors de la campagne de juin. La plus forte valeur en bromoforme, observée au point *rejet* à été de 8,3 µg/L.

Les concentrations en bore présentent des valeurs similaires aux années passées, à l'exception du mois de juin, où les concentrations sont en diminution. Tenant compte des incertitudes liées aux analyses, aucune différence n'est observée entre les trois points d'échantillonnage en mars et septembre. En juin la concentration en bore du point *rejet* est supérieure à celles des points *canal* et *référence*

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 2005 et autour 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 neuf 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. Les valeurs observées en 2005 se situent en dessous des médianes pluriannuelles, à l'exception de celles des points *rejet* en mars et *canal* en juin, qui se situent au-dessus des médianes.

La quantité de germes revivifiables reste stable au cours de la période printanière. En été et en automne nous observons une légère diminution du nombre de germes revivifiables sur l'ensemble de points d'échantillonnage par rapport à 2004. Toutes les valeurs observées en 2005 se situent en dessous des médianes pluriannuelles.

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 aussi fréquentes de *Vibrio vulnificus* et plus exceptionnellement de *Vibrio parahaemolyticus*.

Bien que les méthodes d'identifications de vibrions halophiles par les deux méthodes sont proches, l'expérience menée pendant 2004 et 2005, avec des analyses en parallèle, montrent une forte variabilité dans les résultats. Ces différences peuvent être dues aux méthodologies et aux milieux de culture utilisés. Les deux méthodes sont cependant concordantes sur les souches identifiées dans les eaux échantillonnées. Seule la nouvelle méthode sera utilisée à partir de 2006, ce qui permettra de comparer l'ensemble de centrales nucléaires du bord de mer.

Les dénombrements de vibrions avec l'ancienne méthode permet de mettre en évidence l'apparition des souches de *V. alginolyticus* et de *V. vulnificus* en juin et septembre, tandis que la méthode EDF ne les met en évidence qu'au mois de septembre. 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 proche. Le cycle phytoplanctonique annuel, avec des biomasses comprises entre 0,51 et 2,74 µg/L, correspond au cycle classiquement décrit en Manche. Les valeurs observées en mars sont en accord avec la situation printanière classique.

Les concentrations en azote inorganique ont été proches des médianes pluriannuelles sur les trois campagnes 2005. Cette situation a néanmoins conduit à des valeurs de biomasse et de production primaire inférieures aux médianes pluriannuelles en été et en automne.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Paluel montrent bien le phénomène au cours duquel la population de la période 'hivernale' (bien diversifiée), dominé par les

diatomées des genres *Thalassiosira* et *Skeletonema*, est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées des genres *Rhizosolenia* et *Thalassionema*, avec une plus faible diversité spécifique. Les dinoflagellés atteignent leur maximum d'abondance en septembre, 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. La forte turbidité lors de la campagne de mars rend difficile l'interprétation des résultats de la fraction nanophytoplanctonique.

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 2005.

Zooplancton

L'étude du compartiment zooplanctonique en 2005 met en évidence des valeurs légèrement inférieures aux médianes pluriannuelles au printemps et en automne, mais de plus fortes biomasses fin juin au point *rejet* et surtout au point *référence*. Les médianes pluriannuelles observées au point *rejet* s'avèrent les plus élevées sur l'ensemble des campagnes depuis 1988.

Les plus fortes abondances zooplanctoniques ont été enregistrées fin juin au point *référence* (au large). En juin, les abondances obtenues en 2005 se situent au sommet du nuage contenant 50 % des valeurs pour le point *rejet*, et sont la valeur maximale de la série temporelle au point *référence*. Au printemps et en automne, les valeurs d'abondance sont proches des médianes pluriannuelles, avec un gradient d'abondance croissant vers le large en automne et décroissant au printemps. Les seules différences significatives entre stations lors des tests sont observées entre les couples de points *canal-rejet* et *canal-référence* en été.

L'holoplancton est principalement dominé par les copépodes qui en représentent toujours plus de 97 % lors des trois missions. Les copépodes dominants sont dans l'ordre : *Acartia clausi*, *Temora longicornis*, *Pseudocalanus elongatus*, *Centropages hamatus*, *Euterpina acutifrons* et *Paracalanus parvus*. Chacune de ces espèces respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes réparties sur l'année, leur répartition saisonnière habituelle.

Leur dominance globale sur l'ensemble du zooplancton peut dépasser 90 % (point *rejet* en été et automne, point *référence* en automne). Cette dominance globale peut diminuer jusqu'à 57 % en juin (point *référence*) par l'émission larvaire des mollusques gastéropodes, et jusqu'à 42 % au printemps (*canal* et *référence*) par l'apparition temporaire et massive des larves de cirripèdes (balanes) et d'annélides.

Au printemps 2005, la faune zooplanctonique n'a été que très peu dominée par le méroplancton (58 % à comparer aux 90 % de 2004), essentiellement constitués de cirripèdes et d'annélides. Les cirripèdes ont dominé aux points *canal* (71 %) et *référence*, alors que les annélides dominaient au point *rejet* (92 %). Ces dominances relatives entre les deux groupes étant plus marquées qu'en 2004, mais également différentes selon les points.

Lors de la campagne de fin juin, l'essentiel de la biomasse méroplanctonique a été partagé entre les larves de gastéropodes et de crustacés décapodes. Au mois de septembre, ce sont d'une part

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

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* 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 très rares individus de *M. edulis* récoltés depuis l'année dernière montrent qu'un recrutement de l'espèce est toujours possible.

Le sédiment grossier de cette partie côtière (points 1 et 6) abrite donc 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 le point 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 de la zone côtière et semble assez indifférente au type de substrat. Sa dominance s'est accentuée et elle est l'espèce principale des points 16 et H.Z.

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 reste bien adaptée à la variabilité observée sur le site : les campagnes de printemps et d'automne permettent d'obtenir une vue d'ensemble des peuplements et de mettre en évidence le contraste entre la stabilité de la zone du large et la variabilité constatée en zone côtière. Les prélèvements intermédiaires aux points 1 et 6, qui constituaient au début du suivi la partie la plus variable de la zone, 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) confirment l'actuelle relative stabilité de la zone côtière. 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, elle semble se poursuivre et pourrait à terme modifier la structure des peuplements côtiers et éventuellement leurs caractéristiques sédimentaires.

Benthos intertidal

Les biomasses de *Fucus* mesurées cette année sur les sites de Saint Valéry-en-Caux et de Veulettes-sur-Mer sont supérieures à la moyenne depuis la reconstitution de la ceinture algale. Cette plus forte biomasse a induit un peuplement par les idotés supérieur à la moyenne. Le taux d'occupation des *Fucus* par les idotés est cependant conforme aux moyennes observées à Veulettes, tandis qu'il est supérieur à la moyenne à Saint Valéry-en-Caux.

Concernant l'évolution à long terme du peuplement, 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. En effet, le site de Veulettes-sur-Mer, hors du panache thermique de la centrale selon le modèle LCHF, a également été impacté.

La population d'idotés suit une évolution comparable sur les deux sites. Le site témoin et le site impacté ont la même dynamique de population avec des fluctuations périodiques de 2 ou 3 ans. Depuis la fin des années 1990, l'amplitude des variations semble s'accroître, avec une tendance à la hausse des effectifs, indépendamment de la variation de couverture algale. Le sex-ratio est toujours déséquilibré sur les deux sites. Le nombre de femelles, notamment juvéniles, est toujours plus important que celui des mâles. L'évolution au cours de l'été des sex-ratio sont identiques sur les deux sites, bien que pouvant varier beaucoup d'une année sur l'autre.

L'évolution du climat ces dernières années a induit une modification de la biogéographie de nombreuses espèces, tant terrestres que marines. Des variations dans la courantologie sont également observées, tant au niveau local que global. L'ensemble de ces incertitudes quant à l'évolution du contexte général s'ajoute aux incertitudes sur la biologie des espèces prises en considération dans cette étude. Des précautions doivent être prises pour toute interprétation des phénomènes mesurés sur les sites de Saint Valéry et de Veulettes. L'échelle des changements doit être prise en compte et la capacité de témoin de la station de prélèvement de Veulettes doit être validée.

Phytobenthos intertidal

Les relevés effectués au cours de l'année 2005 ont montré :

- une certaine stabilisation du peuplement de *Fucus sp.* des différents platiers étudiés depuis 2001, avec toutefois une très légère baisse de la biomasse mesurée à St Valery ;
- une biomasse printanière en augmentation comparativement à celle observée en 2004 ;
- l'analyse statistique des résultats que nous cumulons maintenant depuis plus de dix ans nous suggère qu'il n'y a pas d'évolution significative de la biomasse des *Fucus sp.* ;
- les résultats de l'année 2005 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 un minimum printanier et un maximum automnal.

L'étude du compartiment *phytobenthos intertidale* 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

Halieutique

Les ventes enregistrées en criée de Fécamp entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2004 représentent 6 150 tonnes (source : criée de Fécamp), soit une forte diminution (environ 40%) par rapport aux apports enregistrés en 2003. L'augmentation du prix moyen au kilo (1,74 € en 2004 contre 1,42 € en 2003) ne suffit pas à compenser cette baisse de tonnage puisque la valeur déclarée passe de 14 343 K€ en 2003 à 10 705 K€ en 2004 (tableau 9.4).

Les trois premières espèces en tonnage sont très classiquement la sardine, la coquille Saint-Jacques et le maquereau.

Le chinchard accuse cette année encore une baisse en tonnage (50%), et un prix moyen en baisse lui aussi, révélant sans doute une modification sensible du marché sur ce produit.

Les ventes de sole sont stables ; en valeur, c'est encore et toujours la première espèce.

Le cabillaud est lui aussi en baisse (50%), infirmant la tendance observée l'an dernier.

Le rouget barbet est lui aussi en baisse très sensible (50%).

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

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

MERILAITA, S., JORMALAINEN, V. 2000

Different roles of feeding and protection in diel microhabitat choice of sexes in *Idotea baltica*. *Oecologia*. Vol 122, p445-451.

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 (¹⁴C) 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.