

Direction des programmes et de la stratégie
Direction des opérations

Luis LAMPERT (coordinateur)

Jean-Michel BRYLINSKI
Dominique DAVOULT
Luis LAMPERT
Antoine MEIRLAND
Aline MIGNE
Loïc NOGUES
Jean-Paul DELPECH
Dorothée VINCENT

mars 2007 – Rapport RST – LERN 07/01

ifremer

Surveillance écologique et halieutique du site Electronucléaire de Paluel

Année 2006

Rapport scientifique annuel



Orques, Luis Lampert, technique mixte, 2006

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques)	
Numéro d'identification du rapport : RST LERN 07.01	date de publication : mars 2007
Diffusion : libre - restreinte - interdite	nombre de pages : 183
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 LAMPERT Luis BRILINSKI Jean Michel DAVOULT Dominique DELPECH Jean-Paul MEIRLAND Antoine MAHEUX Frank MIGNE Aline NOGUES Loïc VINCENT Dorothée	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER / LERN Université du Littoral et Côte d'Opale Station marine de Roscoff IFREMER/ Boulogne / DRV/ RH GEMEL Picardie IFREMER / LERN Station marine de Roscoff IFREMER / LERN Université du Littoral et Côte d'Opale
Collaborateur(s) : nom, prénom CRASSOUS Marie-Pierre PHILIPPON Xavier JUSTOME Vincent PIERRE-DUPLESSIX Olivier RAULIN Pascal	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER / DYNECO IFREMER / DYNECO IFREMER / LERN IFREMER / LERN 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 GEMEL PICARDIE, RUE DE LA CHAPELLE, 80410 LE HOURDEL 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° : C443C60140 et C349C65050
Projet : I.G.A. Impact des Grands Aménagements	Contrat PALUEL 2006: 5100-CSQ-4200112517
Campagne océanographique : IGA 1-2-3, 2006, NO THALIA.	

Résumé : <i>L'étude n°29 du site électronucléaire de Paluel (département de la Seine-Maritime) concerne l'année 2006. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2006 est la 23^{ème} année de fonctionnement de la Centrale.</i>
Abstract : <i>Monitoring n°29 of the Paluel nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2006. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for twenty three 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> (2007) - Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel, année 2006 - Rapport scientifique annuel. Rapp. IFREMER RST LERN 07.01, mars 2007, 184 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	29
2.2.1. Température	30
2.2.2. Salinité	35
2.2.3. Ammonium	40
2.2.4. Nitrate et nitrite	43
2.2.5. Matières en suspension	46
2.2.6. Trihalométhanes	49
2.2.2. Bore	51
2.3. Conclusion	53
3. La microbiologie	55
3.1. Introduction	56
3.2. Matériel, méthodes d'analyses et détermination	58
3.3. Résultats	60
3.3.1. Dénombrement des germes totaux en épifluorescence	61
3.3.2. Dénombrement des germes revivifiables	64
3.3.3. Recherche de vibrio-halophiles	67
3.4. Conclusion	70
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	79
4.3.3. Microphytoplancton	82
4.3.4. Populations observées en 2005	84
4.4. Bilan des résultats entre <i>canal</i> et <i>rejet</i>	87
4.5. Conclusion	88

5. Le zooplancton	90
5.1. Introduction.....	91
5.1. Matériel et méthodes.....	91
5.1. Résultats	92
5.3.1. Biomasse zooplanctonique.....	93
5.3.2. Abondances zooplanctoniques.....	95
5.3.3. Étude faunistique	98
5.3. Conclusion.....	107
6. Le benthos subtidal.....	108
6.1. Introduction.....	109
6.2. Méthodologie.....	110
6.3. Résultats	113
6.3.1. Analyse granulométrique	113
6.3.2. Analyse faunistique.....	115
6.4. Conclusion.....	121
7. Benthos intertidal.....	128
7.1. Introduction.....	129
7.2. Écologie et biologie d' <i>Idotea granulosa</i>	129
7.3. Méthodologie.....	130
7.4. Résultats	137
7.5. Évolution à long terme du benthos.....	145
7.6. Conclusions.....	155
8. Le phytobenthos intertidal	156
8.1. Généralités.....	157
8.2. Matériel et méthodes.....	157
8.3. Résultats	158
8.4. Analyse des tendances temporelles du Fucus	163
8.5. Conclusion.....	165
9. Halieutique	166
9.1. Situation au 31.12.2004	167
9.2. Production	168
CONCLUSIONS	170
Bibliographie	177

Résumé

La température de l'air (Dieppe) est en augmentation depuis 1987 et la pluviométrie montre des cycles de trois à cinq ans, avec une moyenne relativement stable. Comme lors des années 2003 à 2005, 2006 a connu un été chaud et sec. De janvier à mars, par contre, ont été enregistrées des températures particulièrement froides. Le débit de la Seine, très en dessous de la moyenne en janvier et février, augmente de façon significative en mars, pour se stabiliser le reste de l'année autour de la moyenne. Les écarts de température entre les points *référence* et *rejet* ont été en moyenne égales à 2°C. Les salinités sont restées proches de médianes pluriannuelles et les nutriments azotés ont montré des concentrations inférieures aux médianes en mars et proches de celles-ci en juin. Les concentrations en matières en suspension (MES) ont été faibles en générale. Ce paramètre étant toujours très influencé par l'état de la mer. La seule concentration en bromoforme supérieure au seuil de détection a été enregistrée en juin, où au point *rejet*, elle atteint 3,2 µg/L. Les concentrations en bore sur l'ensemble de points sont stable et ne présente pas de différences significatives à l'exception de la valeur observée au point *rejet* en juin, où la valeur de 8,3 mg/L n'est pas expliquée par les rejets de la centrale.

Les abondances en germes totaux et germes revivifiables sont stables par rapport à celles observées les années précédentes. Les résultats obtenus en 2006 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 supérieures aux médianes pluriannuelles en mars et proches des médianes en juin et septembre. Les abondances phytoplanctoniques sont, quant à

elles, supérieures aux médianes pluriannuelles toute l'année, avec les plus fortes valeurs observées en mars. Les successions phytoplanctoniques ont été celles observées classiquement depuis 1988.

Les biomasses zooplanctoniques ont été faibles en mars, fortes en juin, et proches des médianes en septembre. Les abondances ont été proches des médianes en mars et supérieures en juin et septembre. L'holoplancton est toujours dominé par les copépodes (à plus de 96 %) en été et automne et le méroplancton par les larves de cirripèdes et mollusques au printemps.

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 *Crepidula fornicata* est maintenant installée sur tous les substrats. Trois nouvelles espèces, présentes en Manche mais jamais identifiées à Paluel, ont été observées : il s'agit des crustacés *Thorulus carnichi*, *Eualus occultus* et *Pagurus prideauxi*.

En 2006, les densités estivales d'Idotées ainsi que la biomasse des fucales lui servant d'habitat ont été stables, soit en diminution par rapport aux valeurs enregistrées en 2005. 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.

Les densités de fucales sur les points Val Martin, Saint Valery-en-Caux et Veulettes sont supérieures à celles des médianes 1994-2005, tout comme les fertilités. Un cycle naturel de trois ans est observé dans l'évolution de la biomasse des fucales lors des campagnes printanières et automnales.

Préambule

Conformément à la **convention générale** passée entre **EDF** et **IFREMER** (référéncée sous le n° EDF C443C60140 et C349C65050), 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 31 mars de l'année N + 1.

En ce qui concerne la surveillance du CNPE de Paluel au cours de l'année 2006, l'état d'avancement a été adressé à EDF en mai 2006.

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 2006, 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, climatologie et phytobenthos intertidal

Antoine MEIRLAND, Gemel de Picardie, pour le benthos intertidal

Loïc NOGUES - Ifremer/LERN, qui a également participé activement à la rédaction des chapitres microbiologie, hydrologie et phytobenthos intertidal

Jean-Michel BRYLINSKI et Dorothée VINCENT (Université du Littoral Côte d'Opale) 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 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 la rédaction du chapitre zooplancton et l'identification des espèces zooplanctoniques.

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 22 mars, 23 juin et 27 septembre 2006.

1. Généralités

Rédaction Luis Lampert (LERN)

Données Météo Météo France



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.

1.2. Géographie

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

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

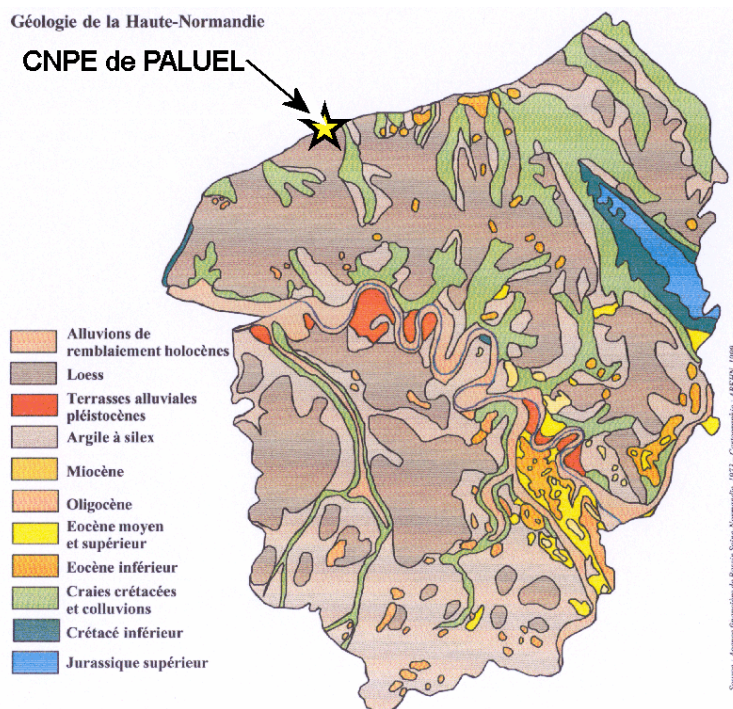


Figure 1.2 : carte géologique de la région 'Haute-Normandie'

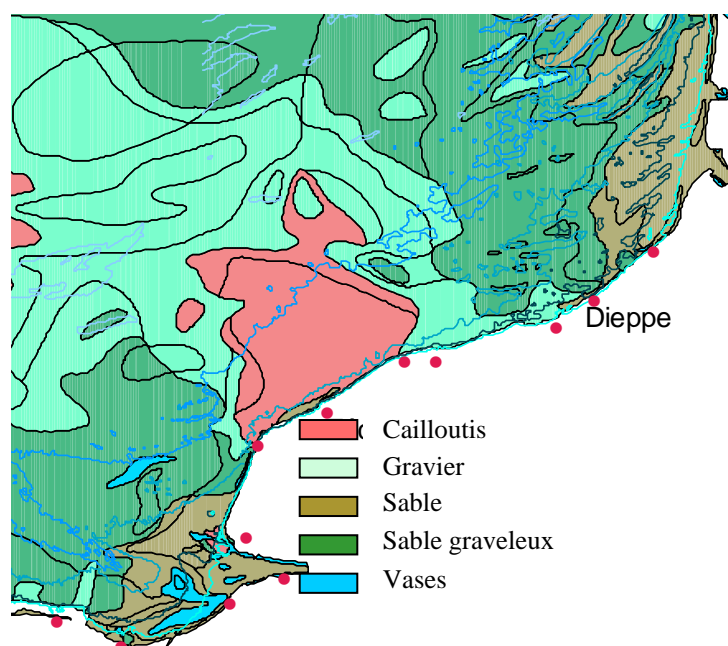


Figure 1.3 : caractéristiques des sédiments marins autour de la centrale de Paluel

1.3. Géologie

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

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

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

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

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

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

1.4. Hydrographie continentale

Le faible développement du réseau hydrologique continental haut-normand est dû essentiellement à la perméabilité du sol, qui permet l'écoulement souterrain des eaux au lieu du ruissellement de surface. Seul le Pays de Bray possède un important réseau de surface qui se développe sur des assises géologiques imperméables (figures 1.4. et 1.5.).

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

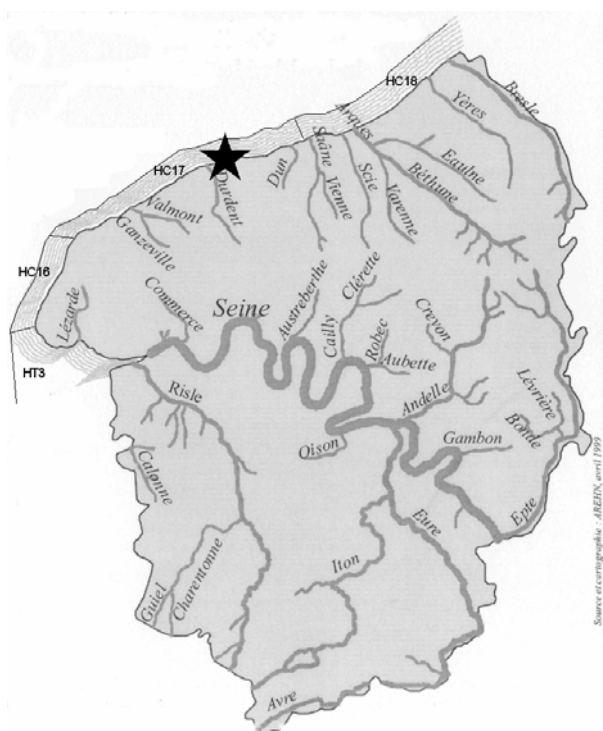


Figure 1.4 : Principaux fleuves de la région Haute-Normandie et masses d'eau de la Directive Cadre de l'Eau européenne (DCE)

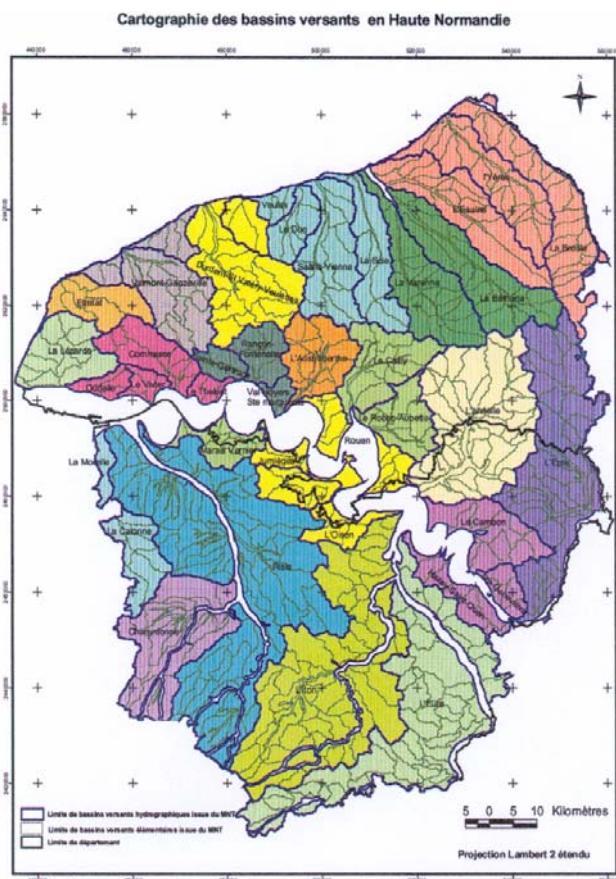


Figure 1.5 : Bassins versants de la région Haute-Normandie

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.

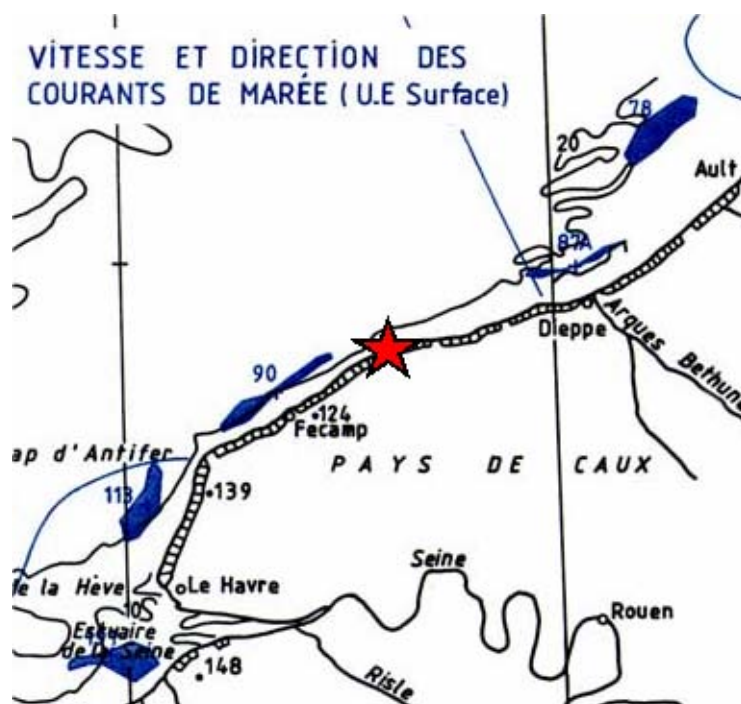


Figure 1.6 : Courants de marée en Haute-Normandie

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, surtout quand les vents sont du secteur nord.

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.

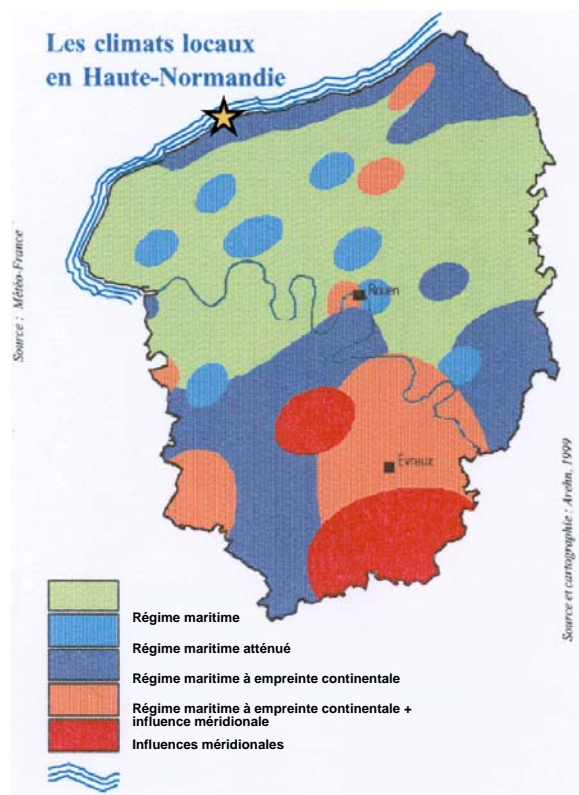


Figure 1.7 : situation climatologique de la région Haute-Normandie

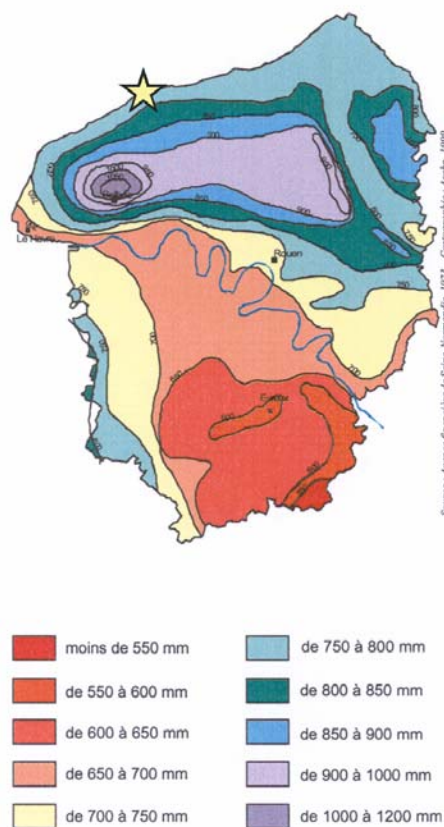


Figure 1.8 : Pluviométrie moyenne annuelle de la région Haute-Normandie sur 30 ans.

Bien que la Haute-Normandie soit considéré comme une région fortement pluvieuse, on peut observer des grands écarts. Sur le secteur de Bolbec (Seine Maritime) nous constatons en moyenne 1100 mm de précipitations par an, tandis qu'au sud-est de l'Eure, seulement 500 mm par an sont enregistrés (figure 1.8.). 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.

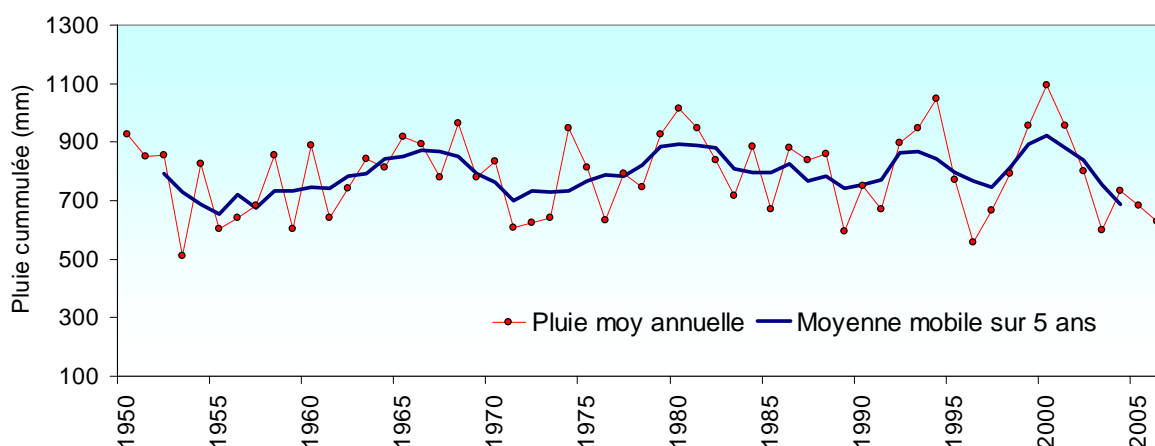


Figure 1.9 : Pluie moyenne annuelle à Dieppe depuis 1950 et moyenne mobile sur cinq ans

La moyenne de précipitations annuelles entre 1950 et 2005 est de 789,3 mm. L'écart des valeurs annuelles à cette moyenne montre que la période 1999-2002 a été excédentaire et que depuis 2003 ce bilan est déficitaire (figure 1.10).

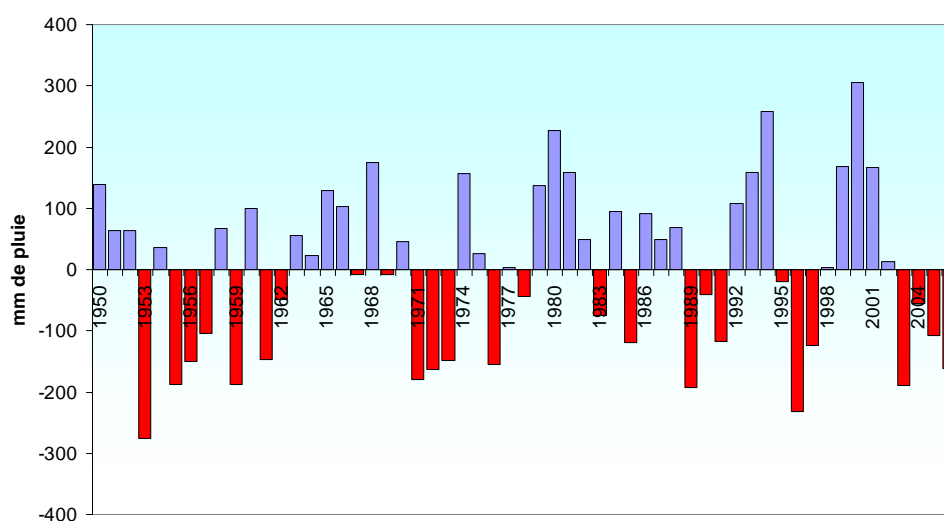


Figure 1.10 : Écarts annuels de pluie à la moyenne 1950-2006

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.

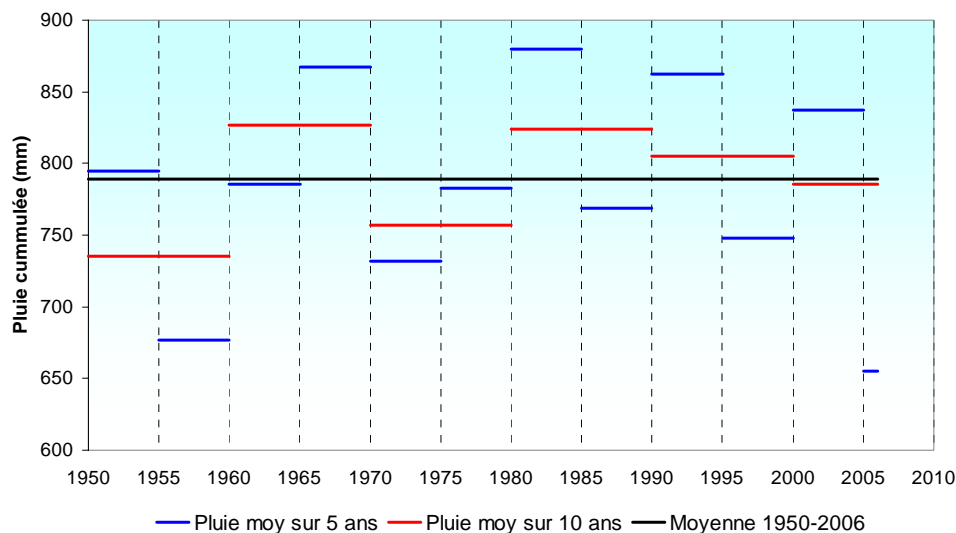


Figure 1.11 : Valeurs moyennes de pluie à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait rouge). Le trait noir représente la moyenne de pluies de la période 1950-2006

La valeur moyenne de précipitations sur la période 1967-2005 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 2006, seul le mois de février a présenté des précipitations au-dessus de la moyenne. Les mois de janvier et d'avril étant particulièrement en dessous de celle-ci. A titre comparatif, en 2003, le cumul de pluies des premiers six mois a été de 281mm, en 2004 de 311mm, en 2005 de 283mm et en 2006 de 275mm. Au deuxième semestre, les mois d'août et d'octobre se situent juste au-dessus de la moyenne, avec un mois de septembre proche du minimum de la série.

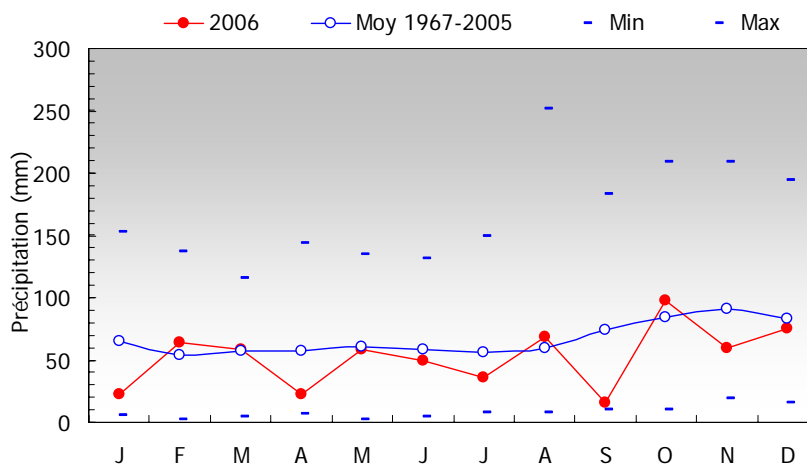


Figure 1.12 : Hauteur de précipitations mensuelles à Dieppe en 2006 et au cours de la période 1967-2005

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.

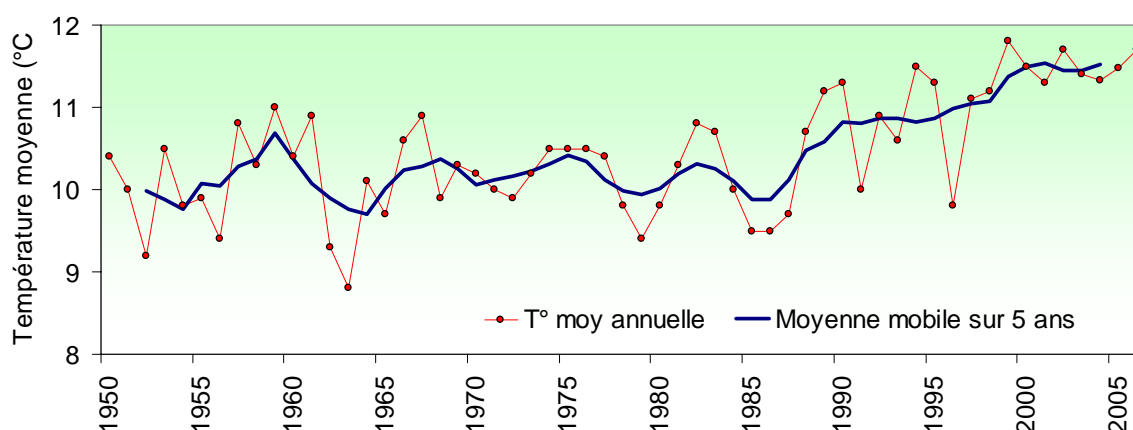


Figure 1.13 : Température moyenne annuelle à Dieppe depuis 1950 et moyenne mobile sur cinq ans

Cette évolution est clairement mise en évidence par les écarts des valeurs annuelles à la moyenne générale de la période 1950-2006 (figure 1.14), où depuis 1988, seule les années 1991 et 1996 ont été en dessous de la moyenne.

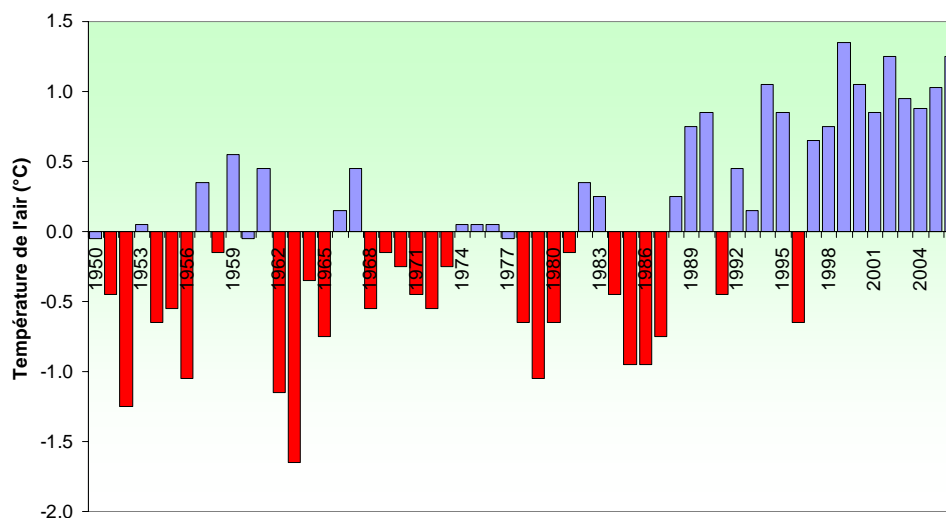


Figure 1.14 : Écarts annuel de température à la moyenne 1950-2006

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

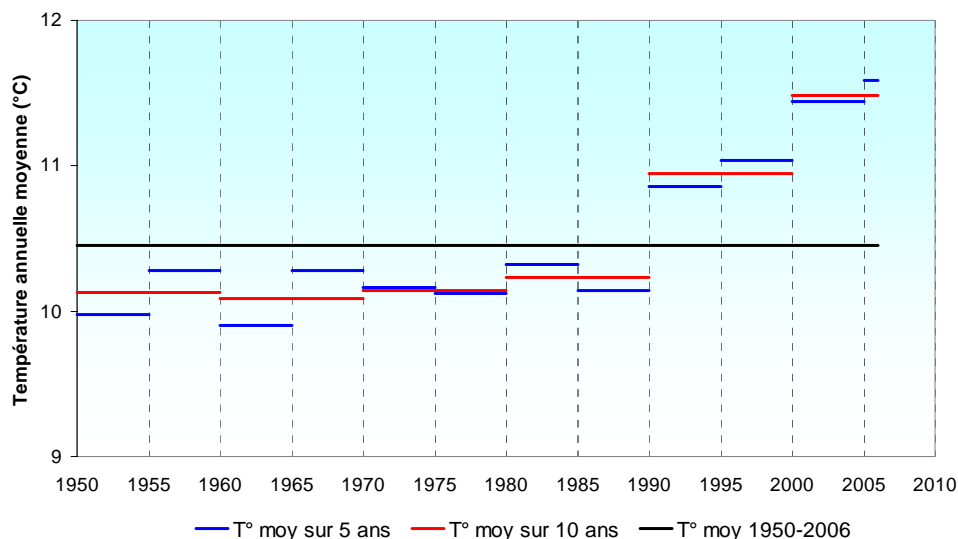


Figure 1.15 : Valeurs moyennes de température de l'air à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait rouge). Le trait noir représente température moyenne de la période 1950-2006

L'hiver 2006 a été particulièrement froid, avec des températures qui se situent au-dessous de la moyenne pluriannuelle (figure 1.16). A partir du mois d'avril, toutes les températures ont été au-dessus de cette moyenne. Ce phénomène est plus marqué aux mois de juillet et septembre. L'année 2006 a été ainsi caractérisée par un hiver froid, suivi d'un été très chaud et une faible pluviométrie.

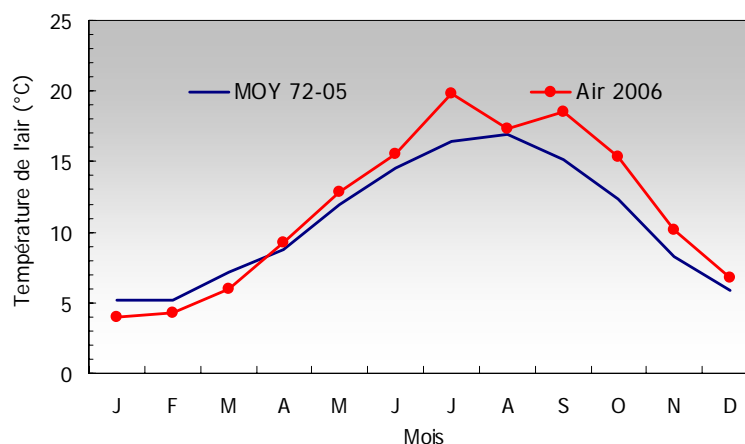


Figure 1.16 : Température moyenne mensuelle de l'air à Dieppe en 2006 et au cours de la période 1972-2005

1.6.4. Débit de la Seine

Le débit mensuel de la Seine dans les deux premiers mois de l'année présente de valeurs très inférieures à la moyenne pluriannuelle 1941-2006 (figure 1.17). Le mois de mars a été excédentaire et peu à peu les valeurs de 2006 se sont stabilisées autour de la moyenne. D'août à novembre, le bilan est excédentaire, avec un pic plus marqué au mois d'octobre.

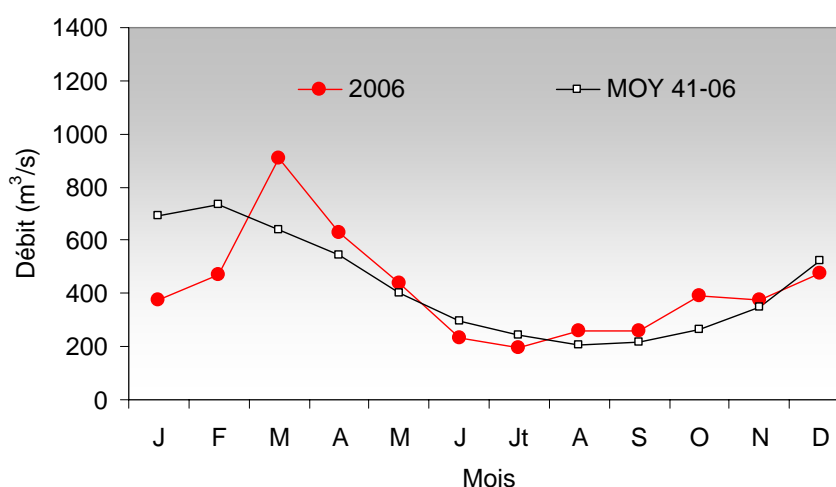


Figure 1.17 : Débit mensuel moyen de la Seine (à Poses) en 2006 et moyenne de la période 1941-2006

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 6 mai jusqu'au 22 août a eu lieu sur la tranche 1. La tranche 2 a connu deux périodes d'arrêt, du 23 septembre jusqu'au 13 novembre, plus tout le mois de décembre (figure 1.18). La tranche 4 a été arrêté du 18 février jusqu'au 20 avril.

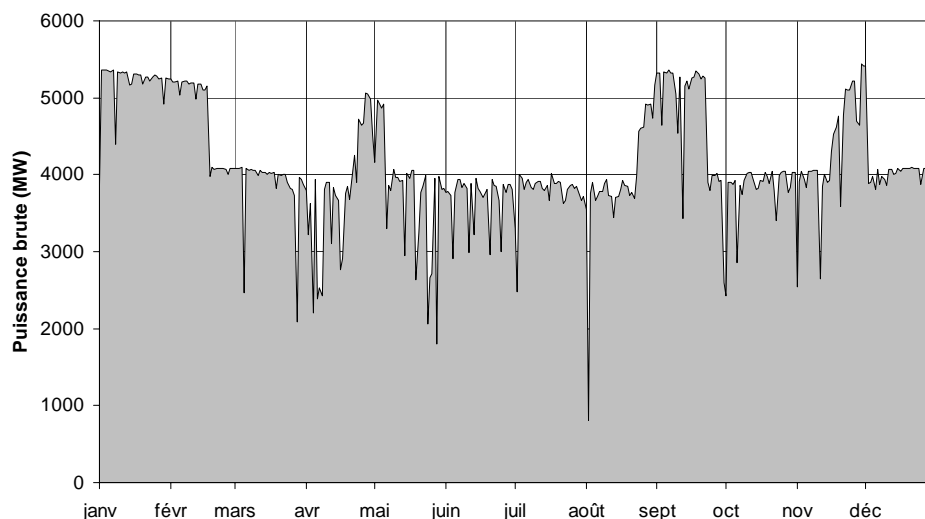


Figure 1.18 : Puissance brute de l'ensemble des quatre tranches de la CNPE de Paluel au cours de l'année 2006

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). De faibles écarts de température sont constatés entre les deux prises d'eau qui desservent les tranches 1 et 2 puis 3 et 4 en hiver et printemps.

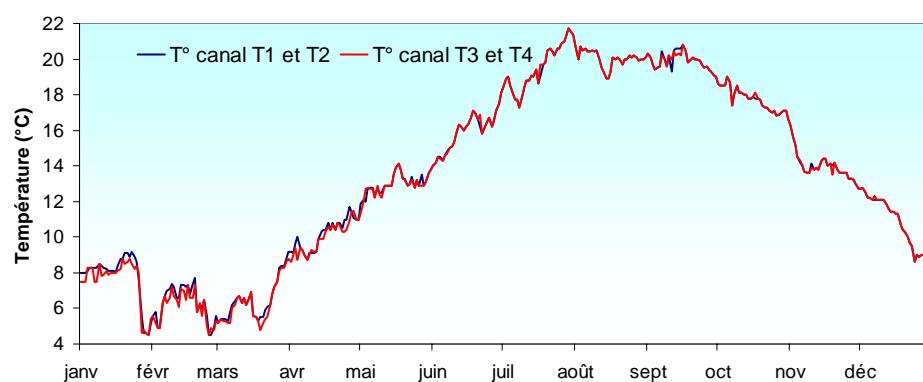


Figure 1.19 : Températures relevées par l'EDF quotidiennement sur chacun des deux canaux d'amenée

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

Les mois de février et mars présentent des périodes de basses températures où les minima absolus de la série 1991-2006 ont été atteints. Une chute brutale de la température de l'eau de mer est observée à la fin janvier, où la température est passée de 8°C à 4,6°C en une journée.

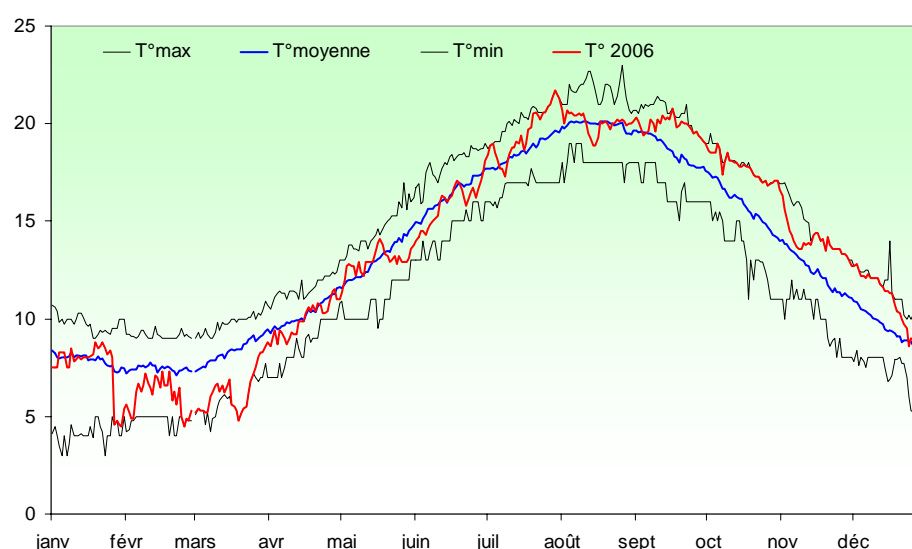


Figure 1.20 : Évolution de la température journalière (à 16 h) de l'eau de mer dans le canal d'amenée du CNPE de Paluel au cours de l'année 2006 et moyenne journalière sur la période 1991-2006

Les valeurs des températures de l'air mesurées à Dieppe (fournies par Météo France pour la période de janvier à décembre 2006) 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).

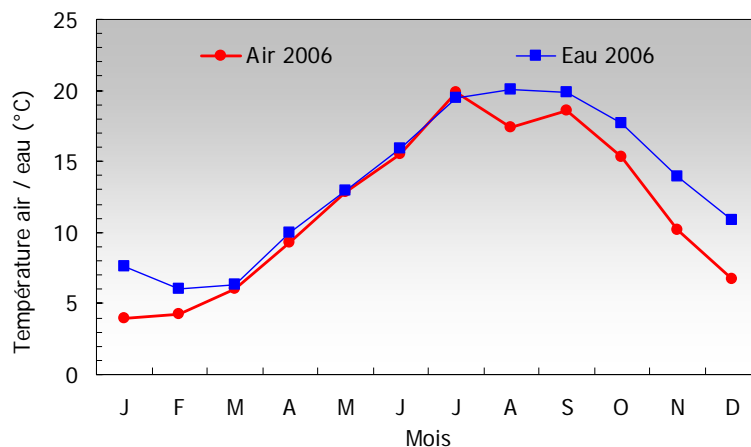


Figure 1.21 : Évolution des températures moyennes mensuelles de l'air à Dieppe et de l'eau de mer au canal d'amenée en 2006 au CNPE de Paluel

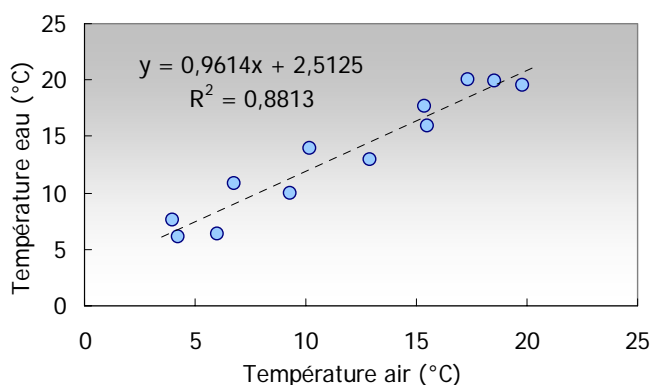


Figure 1.22 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau du canal d'amenée (données EDF) en fonction de celle de l'air à Dieppe (données Météo France).

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

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

Ainsi nous observons l'arrêt de la tranche 1 depuis mai jusqu'au mois d'août, et celles des tranches 2 et 4.

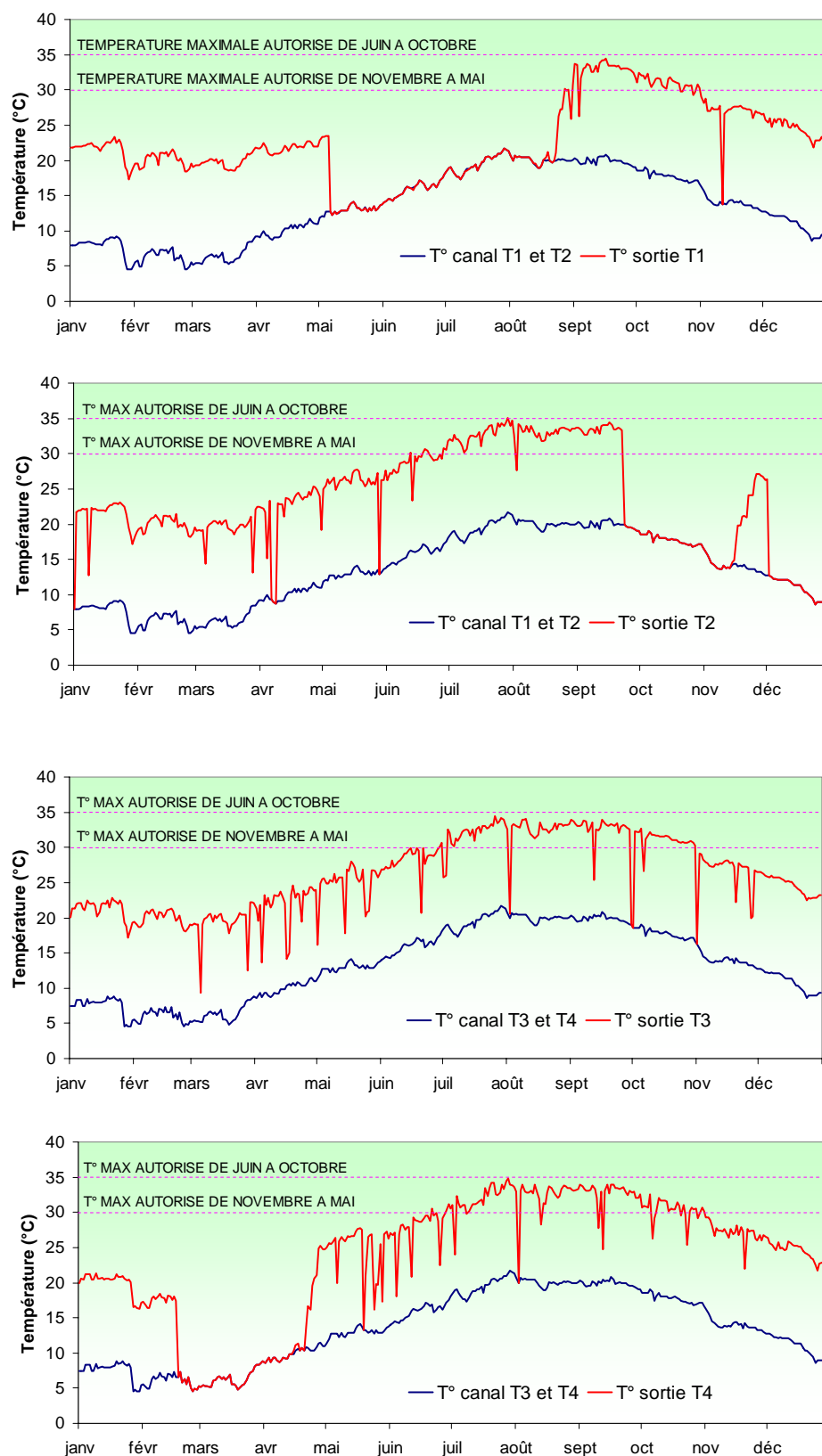


Figure 1.23 : Températures journalières de l'eau de mer à l'entrée du canal d'amenée et à la sortie des condenseurs pour chacune des quatre tranches du CNPE de Paluel en 2006

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).

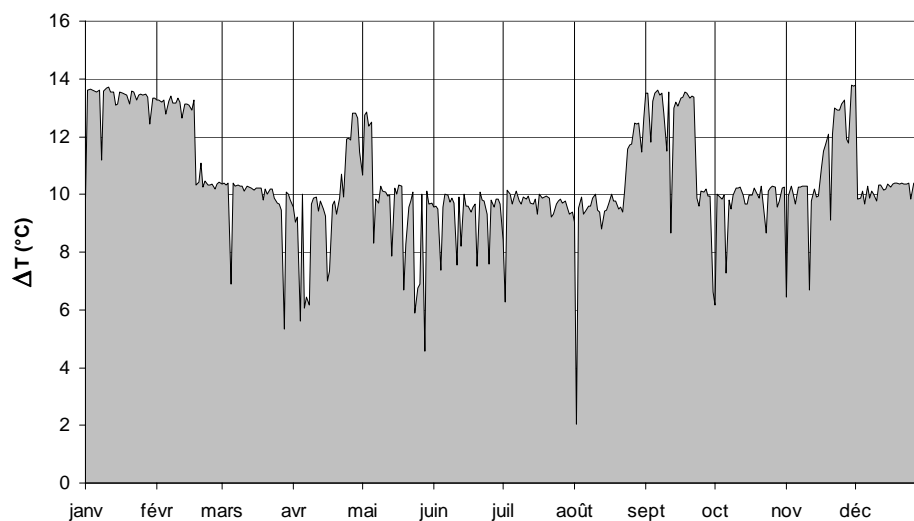


Figure 1.24 : Écarts journaliers moyens de température entre la sortie des quatre condenseurs et les canaux d'amenée au cours de l'année 2006

1.8. Travaux réalisés par l'IFREMER

La liste de l'ensemble de travaux réalisés pour la surveillance écologique et halieutique en 2006 est présentée dans le tableau 1.3. La position géographique des points de prélèvement est présentée dans le chapitre matériel et méthodes de chaque compartiment étudié.

2006	Points de prélèvement	Paramètres étudiés	Réplicats par point	Dates missions
DOMAINE PELAGIQUE				
Hydrologie	Canal d'amenée (CA) surface [49° 51,740 N 000° 37,834 E]	Température Salinité NH ₄ , NO ₃ +NO ₂	1xCA surf 1xRJ surf 1x REF surf 1x REF 1/2Z	22 mars
		MES	1xCA surf 1xRJ surf 1x REF surf	
		Bromoforme	2xCA surf 2xRJ surf 2x REF surf	
		Bore	2xCA surf 2xRJ surf 4x REF surf	
Phytoplancton	Rejet (RJ) surface [49° 52,096 N 000° 37,894 E]	Chlorophylle <i>a</i>	1xCA surf 1xRJ surf 1x REF surf 1x REF 1/2Z	23 juin
		Abondance	1xCA surf 1xRJ surf 1x REF surf 1x REF 1/2Z	
		Production primaire	3xCA surf 3xRJ surf 3x REF surf 3x REF 1/2Z	
Microbiologie	Référence (REF) Surface et mi profondeur [49° 51,740 N 000° 37,834 E]	Germes totaux Germes revivifiables Vibrions halophiles 2	1xCA surf 2xRJ surf 2x REF surf	27 septembre
Zooplancton		Biomasse poids sec Biomasse carbone Biomasse azote	6xCA surf 6xRJ surf 6x REF surf	
		Abondance	1xCA surf 1xRJ surf 1x REF surf	

Tableau 1.3 : Ensemble de travaux réalisés lors des campagnes de surveillance en 2006

2006	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	10 mai 13 octobre
Benthos intertidal	St Valery-en-Caux Veulettes-sur-mer	Abondance Idotées Abondance benthos Biomasse <i>Fucus vesiculosus</i>	16x St Valerie 16xVeulettes	29 juin 31 juillet
		Biométrie Idotées	4x St Valerie 4xVeulettes	
Phytobenthos intertidal	St Valery-en-Caux Veulettes-sur-mer Val Marin	Biomasse <i>Fucus sp.</i> Fertilité <i>Fucus sp.</i>	10xSt Valerie 10xVeulettes 10xVal Martin	30 mars 12 septembre
DOMAINE HALIEUTIQUE				
Halieutique	Criée Fécamp Affaires Maritimes	Nbre bateaux Fécamp Tonnage débarqué Mois/métier bateaux	Étude sur l'année n-1 (2005)	

Tableau 1.3 suite : Ensemble de travaux réalisés lors des campagnes de surveillance en 2006

2. Hydrologie

Prélèvements et Analyses

Virginie Antoine (LERN)
Hervé du Boullay (LERN)
Liliane Fiant (LERN)
Sylvaine Françoise (LERN)
Vincent Justome (LERN)
Laure Lamort (LERN)
Jérôme Letellier (LERN)
Olivier Pierre-Duplessix (LERN)
Jean côme Piquet (LER PC)

Rapport

Luis Lampert (LERN)
Loïc Nogues (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 et par coefficients de mortes eaux les 22 mars, 23 juin et 27 septembre 2006 à bord du navire océanographique *NO THALIA*.

Les points échantillonnés (figure 2.1) ont été les suivants :

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

Un prélèvement d'eau de surface a été effectué sur les points *canal*, *rejet*, et *référence*. Ces prélèvements ont été complétés par un échantillon d'eau supplémentaire à mi profondeur sur le point *référence*.

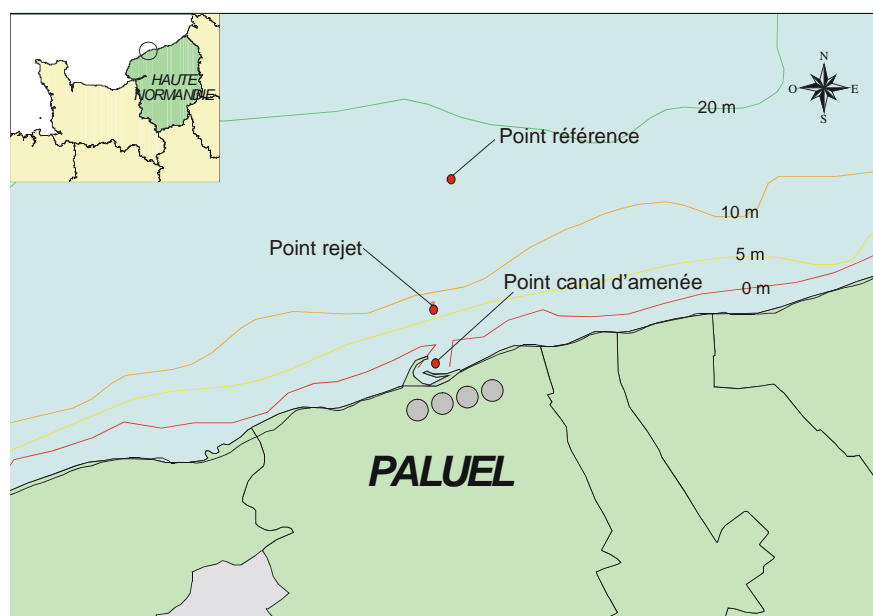


Figure 2.1 : Situation géographique de la centrale de Paluel et position des points de prélèvements

2.1.2. Paramètres mesurés et précisions

Les paramètres mesurés ont été la température, la salinité, les sels nutritifs azotés (nitrate+nitrite et ammonium) et les matières en suspensions (MES). Le suivi de ces paramètres hydrologiques classiques a été complété par des mesures de concentration en bore et en trihalométhanes. Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse de ces différents paramètres sont présentées dans *Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses* (Aminot et Kérouel, 2004).

La précision des analyses réalisées à la station Ifremer de Port en Bessin est indiquée dans le tableau 2.1.

	<i>Temp.</i> (°C)	<i>Salinité</i>	NO_3^- (μM)	NO_2^- (μM)	NH_4^+ (μM)	<i>MES</i> (mg/L)
PRÉCISION	± 0,01	± 0,01	± 0,1	± 0,01	± 0,05	± 0,1

Tableau 2.1 : Précision des analyses

L'analyse des trihalométhanes a été réalisée au Laboratoire de Rouen, par chromatographie en phase gazeuse, comme le préconise la norme NF ISO 10301. Pour cela, deux prélèvements d'eau de surface ont été effectués à chaque point d'échantillonnage, puis stocké au frais et à l'abri de la lumière jusqu'à l'analyse au laboratoire.

L'analyse du bore, réalisée au Laboratoire de Rouen par ICP–AES à 249,773 nm de longueur d'onde, suit la norme NF EN ISO 11885. Pour cela, des prélèvements d'eau de surface ont été réalisés sur l'ensemble des points à l'aide de flacons en polyéthylène de 250 mL, conservés en glacière jusqu'à l'analyse au laboratoire. Les résultats sont exprimés en mg de bore/L d'eau de mer, avec une précision de mesure de 1 $\mu g/L$.

La température et la salinité ont été mesurées sur chacun des points de prélèvement, à l'aide d'une sonde YSI 660 QS. Ces mesures ponctuelles ont été complétées par le suivi semi continu des variations de température et de salinité, enregistrées par un thermosalinomètre SeaBird SBE 21, durant le transit et les périodes d'échantillonnage. Installé sur le circuit d'eau de mer du *NO THALIA* (prise d'eau de mer à 2,5 m en dessous du niveau de flottaison), le thermosalinomètre avait une fréquence d'acquisition de 6 secondes.

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 a été réalisée par le programme Ocean Data View, développé par l'université de Bremerhaven pour le compte de la communauté océanographique internationale (Schlitzer, 2004). La précision des capteurs était alors de 0,01 °C pour la température et de 0,001 S/m pour la conductivité.

2.1.3. Présentation graphique

Les résultats des campagnes hydrologiques sont présentés sous forme de courbes, d'histogrammes et de "boîtes à moustaches". Les courbes illustrent les valeurs obtenues lors de l'année 2006, avec leur variabilité saisonnière et spatiale. Les histogrammes et les boîtes à moustaches présentent l'ensemble des données acquises depuis 1988. L'utilisation de la médiane dans les boîtes à moustaches permet de minimiser l'influence des valeurs extrêmes par rapport à la moyenne. Les résultats 2006 sont présentés avec une couleur différente (rouge) par rapport aux années précédentes. Pour chaque paramètre et pour chaque point, les histogrammes sont groupés par campagne (printemps, été et automne).

2.1.4. Traitement statistique

Un traitement statistique a été réalisé sur l'ensemble des paramètres étudiés entre 1988 et 2006. Ces tests statistiques permettent une comparaison des données observées à chacun des points suivis (*référence*, *rejet* et *canal*), afin d'établir s'il existe ou non, à long terme, des différences significatives entre chacun des points, et pour chaque paramètre étudié. Le choix du test statistique approprié, s'effectue après avoir vérifié la normalité de la distribution du jeu de données étudié. La normalité est déterminée à l'aide d'outils que sont les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution est considérée comme normale, c'est le test de Student, utilisé pour des échantillons appariés, qui est retenu. Dans le cas contraire, la comparaison des données a été réalisée à l'aide du test des signes. Ces tests déterminent une probabilité associée p , qui lorsqu'elle est inférieure à 0,05, signifie qu'il existe une différence significative entre les deux séries de données. À l'inverse, si la valeur de 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 2006

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2006 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 2.2.

	CANAL	REJET	RÉFÉRENCE		
			SURFACE	-10 M	
22 MARS	Température (°C)	5,63	7,70	5,71	5,71
	Salinité	32,76	32,94	33,09	33,09
	MES (mg/L)	20,3	22,6	7,1	16,5
	Nitrate + Nitrite (µM)	27,9	29,3	29,6	29,7
	Ammonium(µM)	0,19	0,21	0,14	0,17
	Bromoforme (µg/L)	<1	<1	<1	<1
	Bore (mg/L)	4,7	4,6	5,2	4,9
23 JUIN	Température (°C)	16,67	18,31	16,27	16,27
	Salinité	33,16	33,25	33,33	33,32
	MES (mg/L)	4,4	6,9	3,4	2,9
	Nitrate + Nitrite (µM)	10,0	9,0	7,1	7,1
	Ammonium (µM)	1,12	1,70	0,84	0,72
	Bromoforme (µg/L)	<1	3,2	<1	<1
	Bore (mg/L)	5,4	8,3	5,2	5,5
27 SEPTEMBRE	Température (°C)	19,58	21,62	19,58	19,60
	Salinité	32,91	33,47	33,54	33,48
	MES (mg/L)	15,1	14,3	7,0	8,8
	Nitrate + Nitrite (µM)	26,6	18,3	16,5	16,5
	Ammonium (µM)	1,65	1,81	1,32	1,61
	Bromoforme (µg/L)	<1	<1	<1	<1
	Bore (mg/L)	4,1	4,2	4,2	4,2

Tableau 2.2 : Récapitulatif des résultats du volet hydrologie de l'étude de surveillance pour l'année 2006

2.2.1. Température

2.2.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la température en 2006

Au cours des campagnes de surveillance 2006, la température de l'eau de mer en surface a varié de 5,63 °C à 19,58 °C au point *canal*, de 7,70 °C à 21,62 °C au point *rejet* et de 5,71 °C à 19,58 °C au point *référence* (figure 2.2). Sur l'ensemble des points, la température augmente de mars à septembre.

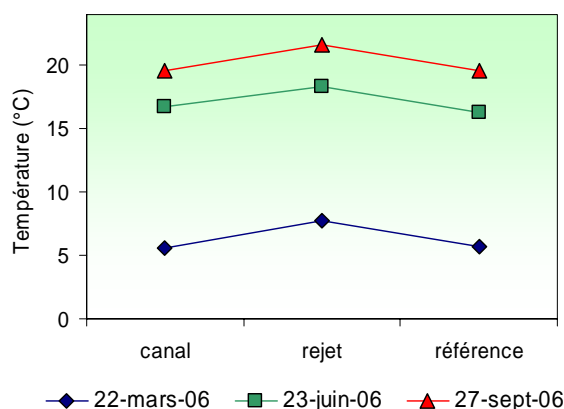


Figure 2.2 : Température de l'eau (surface) en 2006

Les maxima annuels ont été atteints, quelle que soit la saison, sur le point *rejet*. Les températures de surface enregistrées au point *canal*, sont restées extrêmement proches de celles mesurées au point *référence*. Aucune différence de température n'a été observée entre la surface et la mi-profondeur au point *référence* (environ 10 m) lors des campagnes de 2006.

L'écart thermique annuel moyen, correspondant à la moyenne des différences de température de l'eau de mer observées entre les mois de septembre et mars sur chacun des points, a été de 13,9 °C. Supérieur à celui de 2005 (13,1 °C), cet écart thermique peut s'expliquer par les basses températures observées durant l'hiver et les fortes températures estivales qui ont suivi. En 2003 et 2004, les écarts thermiques annuels, respectivement de 11,6 °C et 9,1 °C, étaient plus faibles qu'en 2006.

Dans des secteurs où l'énergie dissipée par la marée ou la houle est suffisante pour détruire l'effet de stratification induit par le réchauffement en été, la colonne d'eau peut devenir homogène. La figure 2.3 modélise le potentiel de stratification des eaux (Lazure, *comm. pers.*) calculé d'après un 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.

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

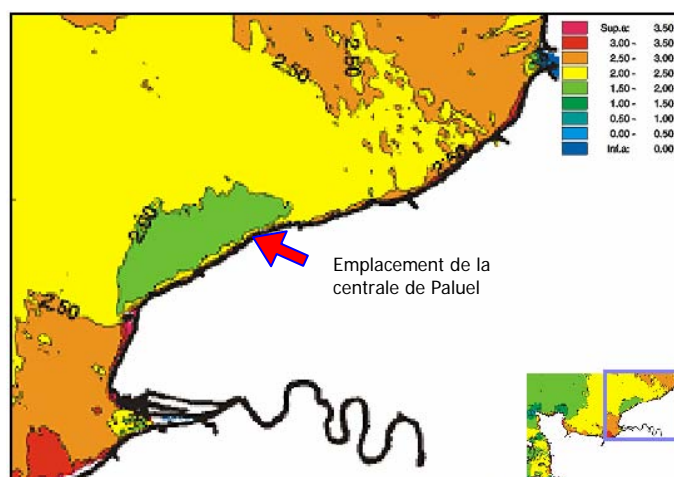


Figure 2.3 : Évolution spatiale du paramètre de stratification (H/u^3) en Manche évalué à l'aide du modèle hydrodynamique Mars 2D d'Ifremer (Lazure, *comm. pers.*)

2.2.1.2. Variations inter-annuelles

La figure 2.4 retrace pour l'ensemble des points suivis l'évolution des températures de l'eau de mer depuis 1988.

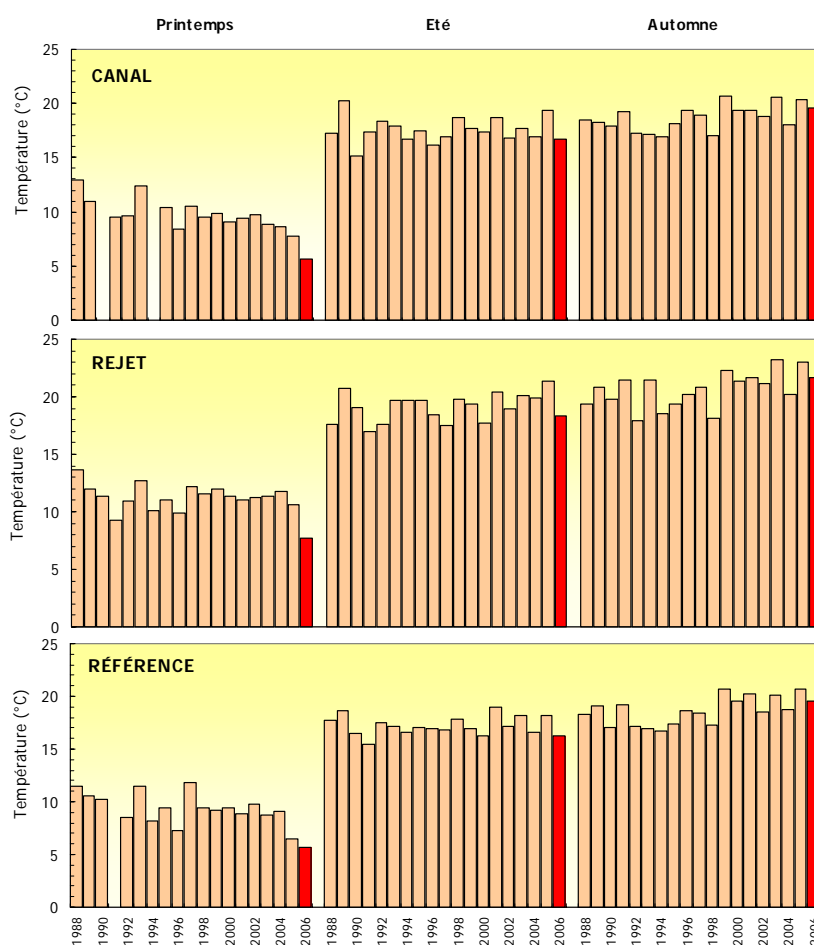


Figure 2.4 : Température de l'eau (surface) lors des campagnes de 1988 à 2006

Les températures enregistrées au cours des 3 campagnes réalisées en 2006, ont toutes été inférieures à celles mesurées en 2005. Depuis trois à quatre ans, nous observons une diminution des températures dans l'eau de mer lors des campagnes printanières et une augmentation au mois de septembre. Seules les températures enregistrées au mois de juin jouissent d'une relative stabilité.

La figure 2.5 compare les distributions de température obtenues depuis 19 ans par saison et par point. La valeur médiane pour le point *rejet* est toujours supérieure à celles des points *référence* et *canal*. Tandis que la température médiane au point *canal* est légèrement supérieure à celle du point *référence*. Les dispersions restent assez homogènes sur les trois saisons et sur l'ensemble des points.

Toutes les températures observées en mars 2006 ont atteint les minima absolus de la série pluriannuelle sur l'ensemble des points suivis. Les valeurs enregistrées en juin se situent toutes en dessous des médianes pluriannuelles. En revanche, les températures observées en septembre se situent toutes sur la limite supérieure des boîtes et font partie des plus fortes valeurs observées depuis 1988. Ce constat met en évidence la présence d'eaux particulièrement froides en cette fin d'hiver et relativement chaudes en septembre.

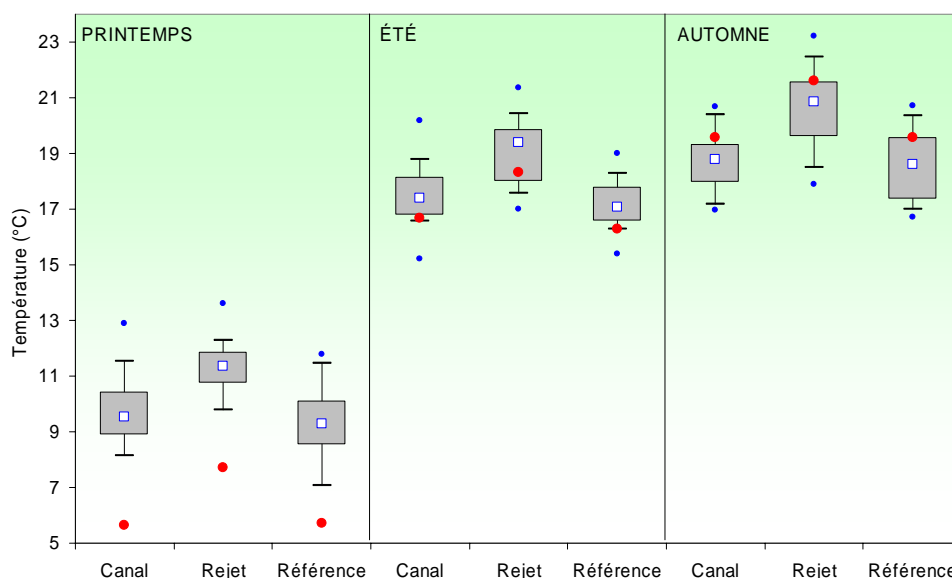


Figure 2.5 : Distributions de la température par saison et par station depuis 1988. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (—). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2006 (●)

Pour expliquer l'écart thermique entre le point *référence* et le point *canal*, les hypothèses suivantes peuvent être avancées. En raison de leur caractère alternatif, les courants de marée peuvent ramener de l'eau réchauffée devant la centrale. Les travaux de Malherbe et Manoha (1977) sur le site EDF à Flamanville ont montré que ce phénomène pouvait conduire à une élévation de la température au droit de la centrale.

Les vents de secteur nord peuvent aussi avoir une influence dans l'advection des masses d'eau réchauffées vers le point *canal*. En septembre 2002 et 2003, l'arrêt total de la centrale de Flamanville a permis de lever le doute sur ce point : l'absence de différence significative de

température entre les trois points d'échantillonnage a suggéré que les différences de température constatées tous les ans entre les points *canal* et *référence* 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'amenée 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 moyenne. Les résultats confirment, à pleine mer, une légère recirculation des eaux de rejet entraînant une élévation de 0,3 °C dans le canal d'amenée 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 de *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.

Lors des trois campagnes de 2006, les mesures de température de l'eau de mer réalisées à l'aide du thermosalinomètre SBE21, ont permis de réaliser les cartographies présentées dans la figure 2.6. Elles mettent en évidence l'influence, très ponctuelle, des eaux réchauffées du rejet sur le point *référence* au moment de la renverse. Cependant ces mesures ne remettent pas en cause la pertinence du positionnement du point *référence*.

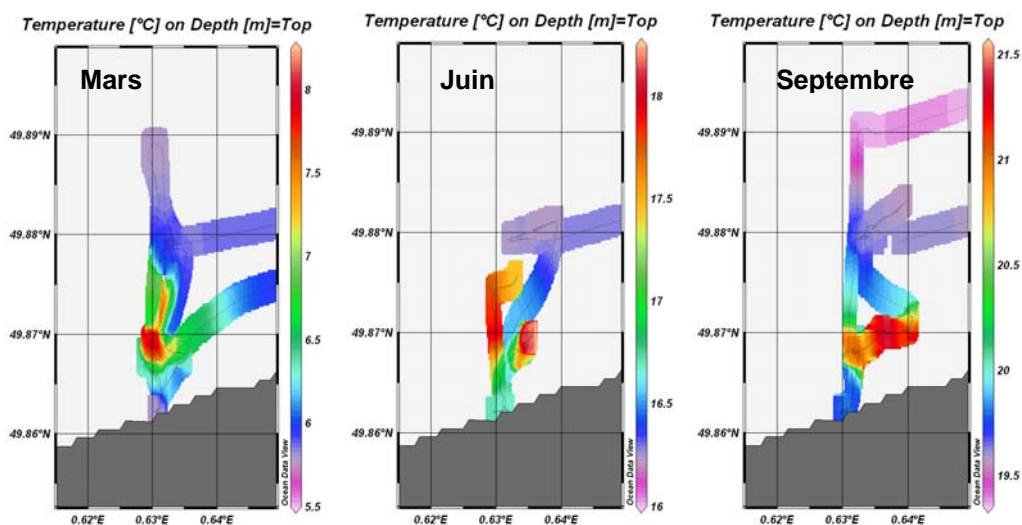


Figure 2.6 : Distributions de la température superficielle de l'eau de mer enregistrée par le thermosalinomètre SBE21 en mars, juin et septembre 2006

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).

2.2.1.3. Écarts thermiques du rejet et taux de dilution

En 2006, les différences de température entre les points *rejet* et *canal* ont été en moyenne de 1,9 °C sur l'ensemble des trois campagnes de l'année. Celles mesurées entre les points *rejet* et

référence sur les trois campagnes sont présentées dans la figure 2.7. Elles mettent en évidence des écarts de température de l'ordre de 2 °C à quelques dizaines de mètres de la grille du rejet. Les écarts enregistrés en 2006 entre les points *rejet* et *référence*, ont tous été de 2 °C, quelle que soit la saison, se situant ainsi au niveau des médianes pluriannuelles de la série 1988-2006.

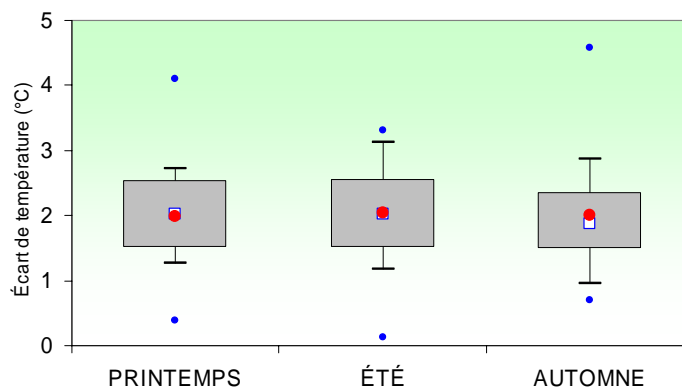


Figure 2.7 : Distributions par campagne des différences de température entre les points *rejet* et *référence* depuis 1988

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 des trois campagnes d'échantillonnage. La figure 2.8 montre clairement l'influence thermique de la centrale au point *rejet*.

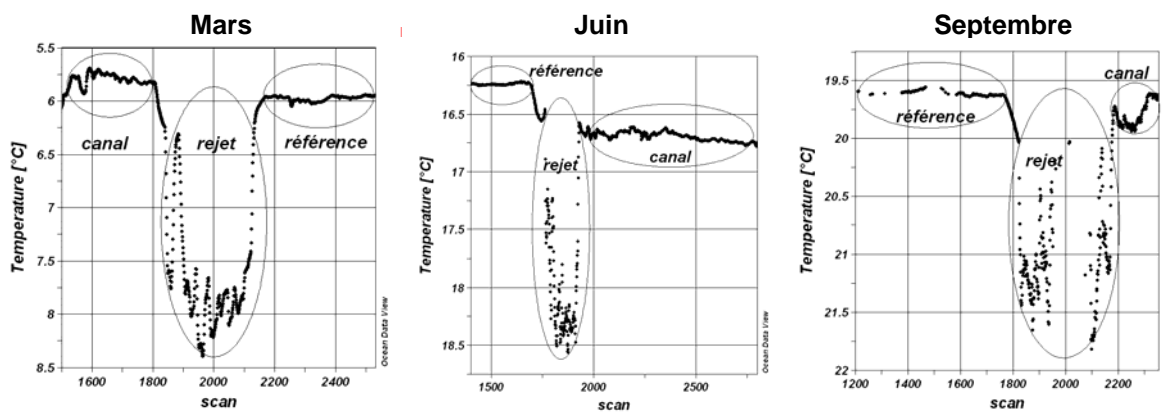


Figure 2.8 : Évolution de la température de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre lors de l'échantillonnage des campagnes de mars, juin et septembre 2006

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 suivante:

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

où π (en %) représente la proportion d'eau réchauffée, et T_{rejet} , T_{canal} et $T_{condenseur}$ respectivement les températures aux points *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 proportions d'eau échauffée, ainsi que les taux de dilution théoriques de 2006 ont été calculés et sont résumés dans le tableau 2.3.

<i>EN %</i>	MARS	JUIN	SEPTEMBRE
PROPORTION D'EAU ÉCHAUFFÉE π	14	11	14
TAUX DE DILUTION ($100-\pi$)	86	89	86

Tableau 2.3 : Proportion (en %) d'eau réchauffée et taux de dilution théorique dans les prélèvements réalisés au point *rejet* en 2006

La proportion d'eau échauffée au point *rejet* est de 14 % en mars, 11 % en juin et 14 % en septembre. Ceci correspond à des taux de dilution de 86 % lors de la campagne de printemps, 89 % en été et 86 % 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 2006. 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. En revanche, la différence entre les points *canal* et *référence* n'est pas significative en été et en automne.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,000	0,000	0,000
RÉFÉRENCE / REJET	0,000	0,000	0,000
CANAL / RÉFÉRENCE	0,043	0,097	0,612

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

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

2.2.2. Salinité

2.2.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la salinité en 2006

Les salinités moyennes ont été comprises entre 32,76 et 33,16 au point *canal*, entre 32,94 et 33,47 au point *rejet*, et entre 33,09 et 33,54 au point *référence* (figure 2.9). En 2006, les salinités les plus faibles ont été enregistrées en mars au point *rejet* avec une valeur de 32,76. Les salinités

les plus élevées ont été observées au point *référence* pour l'ensemble de campagnes (maximum de 33,54 en septembre). Quelle que soit la saison, nous observons un gradient croissant de salinité qui s'établit globalement de la côte vers le large, avec des valeurs, au point *rejet*, intermédiaires de celles mesurées aux points *canal* et *référence*.

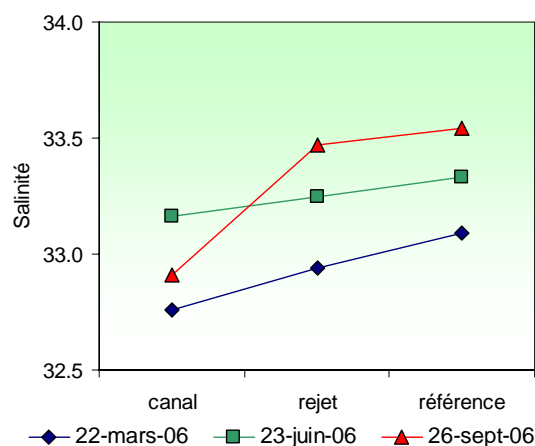


Figure 2.9 : Salinité de l'eau de surface lors des campagnes de 2006

Les salinités observées pendant les campagnes de 2006, sur le point *canal*, restent globalement du même ordre de grandeur de 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.

Les variations de salinité, enregistrées par le thermosalinomètre aux mois de mars, juin et septembre autour du point *rejet* fluctuent rapidement, compte tenu du caractère turbulent du mélange près de la grille de rejet (figure 2.10). Ces variations peuvent être négatives, mettant ainsi en évidence un apport d'eaux dessalées, ou positives, si les produits (ou composés) mélangés aux eaux de refroidissement augmentent la conductivité de l'eau de mer. Ces variations restent néanmoins très limitées géographiquement autour de la grille de rejet.

Les variations de salinité, enregistrées au point *canal*, confirment le caractère hétérogène des eaux côtières, où les apports des fleuves se font sentir plus fortement. Et ceci plus particulièrement au mois de juin où les épisodes pluvieux du 13 et 14 juin (enregistrés à Dieppe), soit une dizaine de jours avant les prélèvements, peuvent avoir légèrement influencés la salinité de ce point.

Le suivi des variations de salinité permet également de confirmer l'existence d'un gradient croissant de la côte vers le large, entre les points *canal* et *référence*.

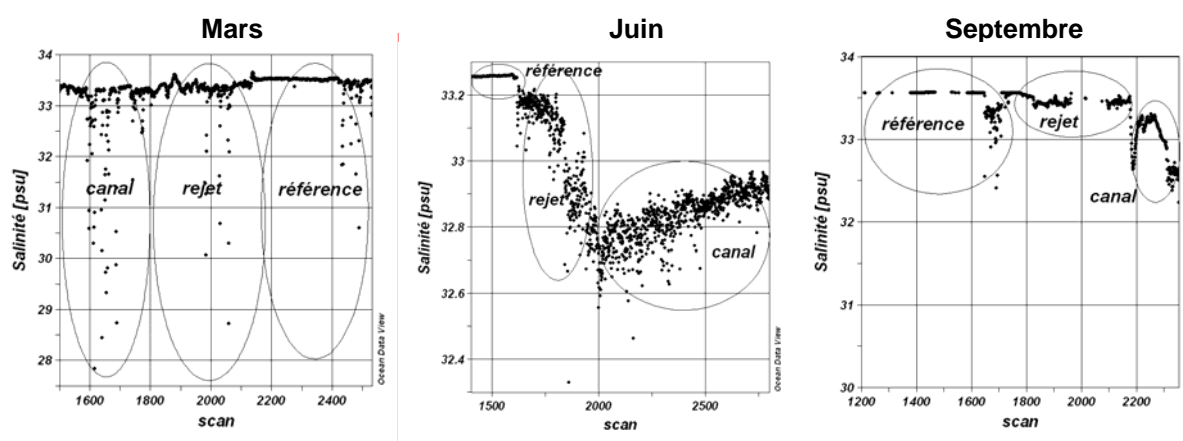


Figure 2.10 : Évolution de la salinité de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre lors des campagnes de mars, juin et septembre 2006

2.2.2.2. Variations inter-annuelles

La figure 2.11 présente l'évolution des salinités enregistrées aux différents points de suivi entre 1988 et 2006. Les salinités observées lors des trois campagnes de l'année 2006 ont été, quels que soient les points, légèrement plus faibles que celles enregistrées en 2005, à l'exception du point *rejet* en été. Nous restons néanmoins à des valeurs de salinité proches de celles observées depuis 2002, qui ont été des années plutôt sèches, comparées aux faibles salinités observées lors des années humides de 1994-1995 et 2001-2002.

La pluviométrie est le facteur principal qui régule la salinité côtière en Manche par l'apport des nombreux fleuves. L'effet de la pluviosité régionale est perceptible dans le débit de la Seine, qui a observé de faibles débits aux mois de janvier et février et un maximum en mars (figure 1.17).

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).

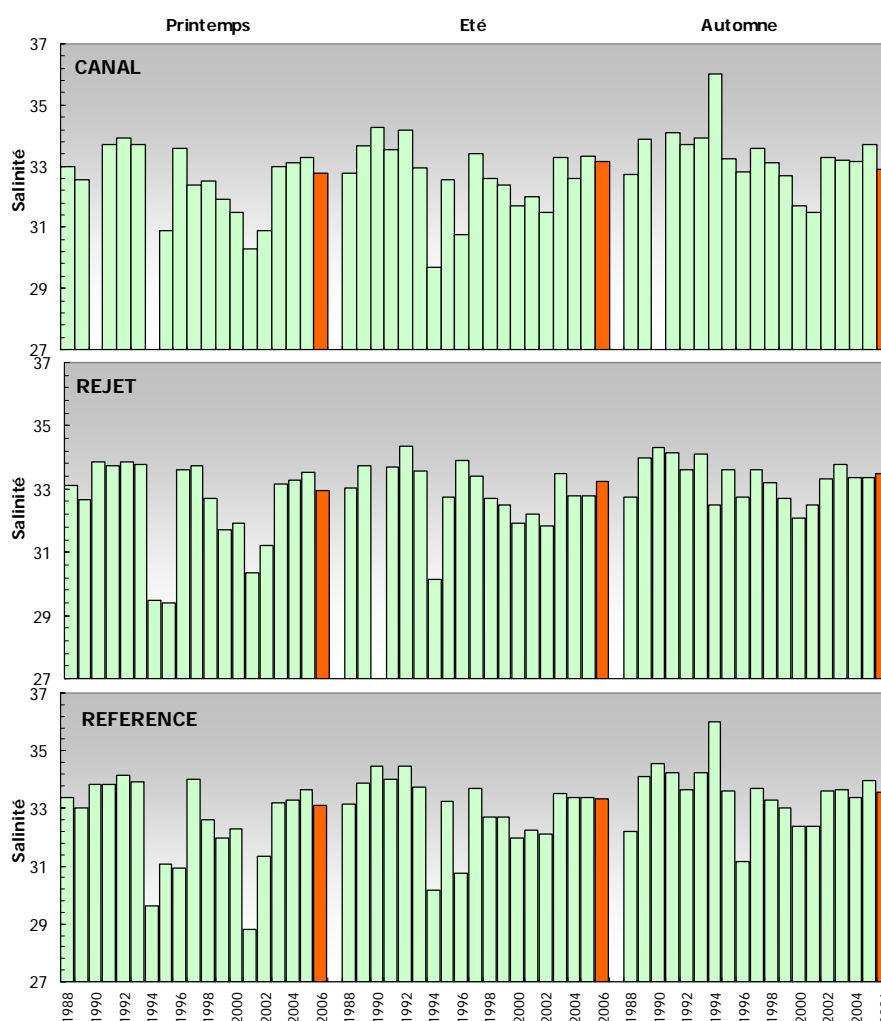


Figure 2.11 : Salinité de l'eau (en surface) lors des campagnes de 1988 à 2006

Les boîtes à moustaches permettent d'apprécier la distribution des valeurs de salinité observées en 2006 par rapport à l'ensemble de valeurs enregistrées depuis 1988 (figure 2.12). Toutes les valeurs de salinité de mars se situent au niveau des médianes pluriannuelles, voir légèrement en dessous. En juin et septembre les valeurs restent proches des valeurs médianes, à l'exception des points *canal* et *rejet* qui observent en juin des valeurs supérieures à ces dernières.

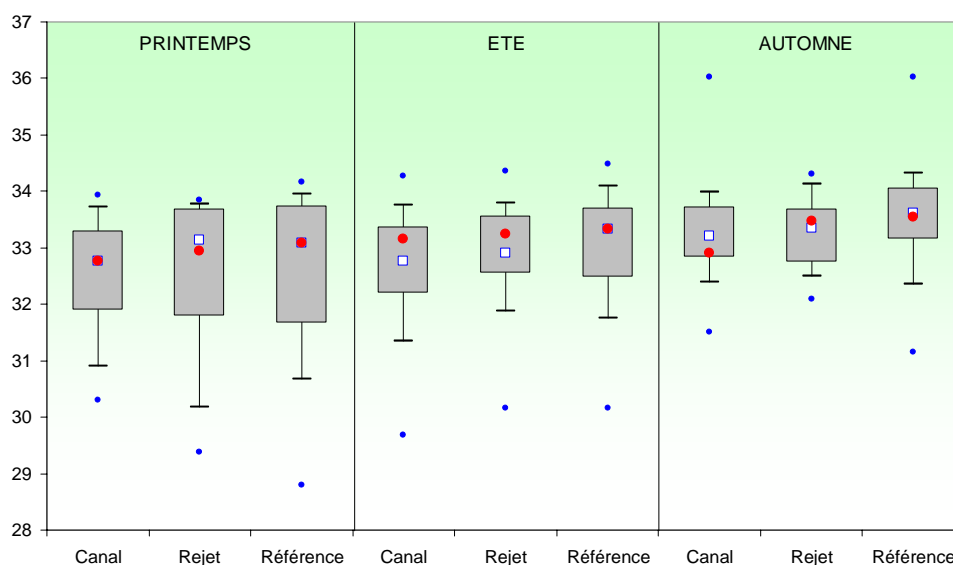


Figure 2.12 : Comparaison des distributions de la salinité par saison et par point entre 1988 et 2006

La dispersion des valeurs est plus forte au printemps. Le gradient croissant de la côte vers le large observé en 2006 est confirmé par la distribution des valeurs enregistrées depuis 1988 lors des campagnes annuelles. Au printemps le point *rejet* présente une médiane supérieure à celle des autres points, qui compte tenue des incertitudes de mesure, reste néanmoins proches des médianes des points *canal* et *référence*.

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 2006.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,065	0,004	0,108
RÉFÉRENCE / REJET	0,055	0,008	0,123
CANAL / RÉFÉRENCE	0,037	0,000	0,041

(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, des différences significatives sont observées entre les points *canal* et *référence*. 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 des débits faibles et irréguliers 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*.

Néanmoins, les précipitations de mars 2006, plus importantes qu'en 2005, ont pu participer à ce phénomène côtier, qui était plus visible en 2002 et engendrer ainsi une légère baisse de la salinité par rapport à 2005. De plus, le fleuve côtier drainant les apports de la *Seine* peut également influencer les salinités, même si son effet devient moins perceptible 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 minimes 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 en 2006

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.

Les teneurs en ammonium ont varié au cours des campagnes 2006 de 0,19 à 1,65 μM au point *canal*, de 0,21 à 1,81 μM au point *rejet* et de 0,14 à 1,32 μM au point *référence* (figure 2.13).

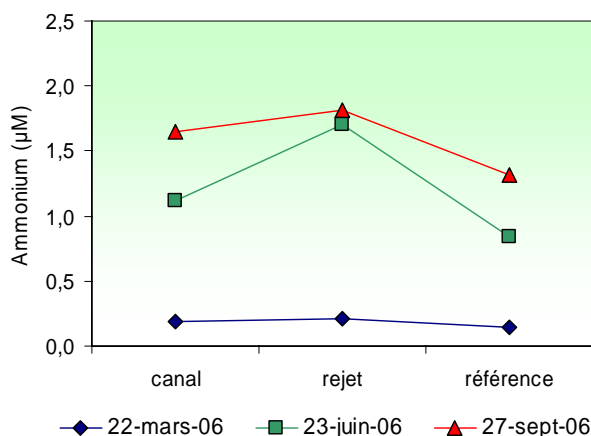


Figure 2.13 : Concentrations en ammonium dans les eaux de surface lors des campagnes 2006

Une augmentation des concentrations 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 maxima atteints sur le point *rejet*. Cette allure, moins marquée en mars, est néanmoins confirmée. Les plus faibles valeurs sont enregistrées quelle que soit la saison au point *référence*.

2.2.3.2. Variations inter-annuelles

Les variations de concentration en ammonium, enregistrées aux différents points de suivi depuis 1988, sont présentées sur la figure 2.14. La forte variabilité inter-annuelle de ce paramètre ne permet pas de dégager de réelles tendances d'évolution. Les valeurs observées lors de la campagne de printemps font parties des plus faibles observées depuis 1988. Les concentrations relevées au mois de juin sur l'ensemble des points restent du même ordre de grandeur qu'en 2005 avec un maximum de $1,70 \mu\text{M}$ sur le point *rejet*. En revanche, les concentrations d'ammonium observées en septembre 2006 sont nettement inférieures à celles de 2005 et représentent les plus faibles valeurs enregistrées depuis 2000.

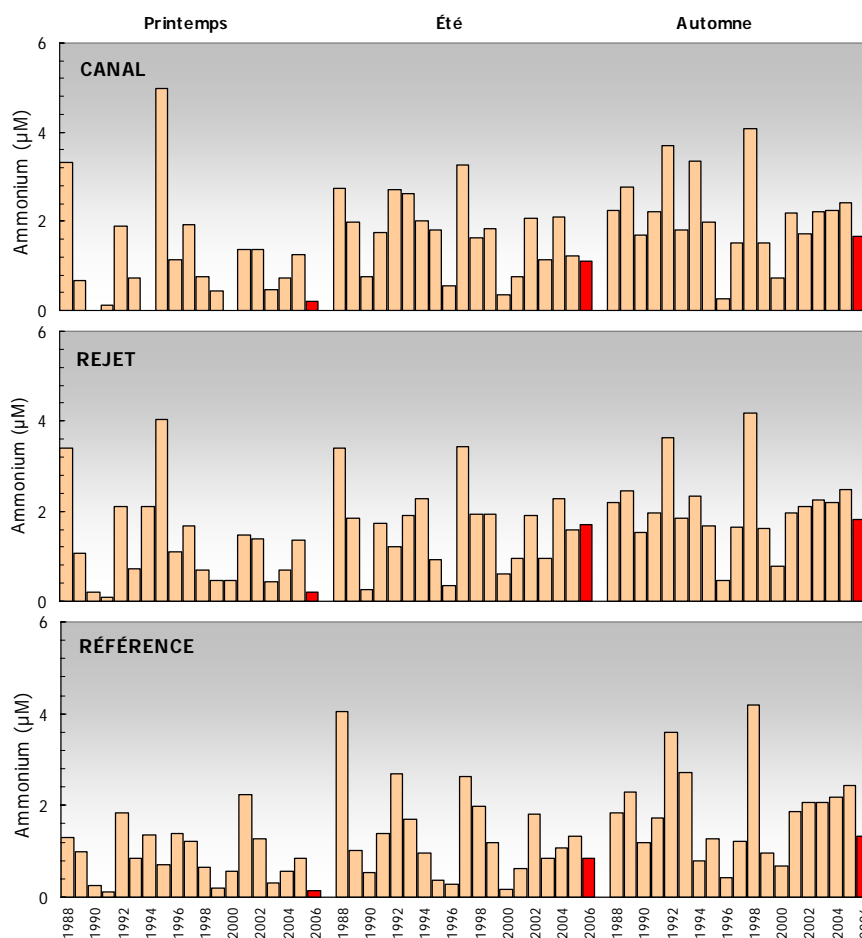


Figure 2.14 : Concentration en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2006

Les “boîtes à moustaches” de la figure 2.15, nous permettent de constater une forte dispersion des valeurs sur l'ensemble des campagnes depuis 1988, soulignant une fois de plus la forte variabilité de ce paramètre. Les médianes pluriannuelles de printemps restent relativement homogènes sur l'ensemble des points, alors qu'un gradient de concentration peut être mis en évidence en été et en automne. Ce gradient décroissant de la côte vers le large, n'a pas été vérifié cette année. Les valeurs en ammonium observées au cours des trois campagnes de 2006, sont

toutes situées en dessous des médianes pluriannuelles de la série 1988-2006, à l'exception du point *rejet* en juin et septembre où les valeurs sont restées proches des médianes.

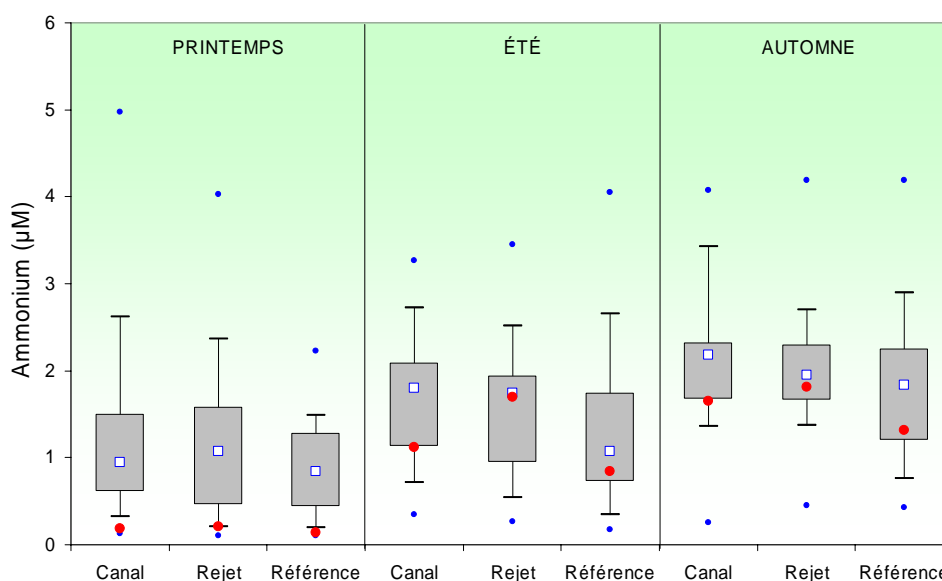


Figure 2.15 : Comparaison des distributions de l'ammonium par saison et par point entre 1988 et 2006

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	0,950	0,611	0,717
RÉFÉRENCE / REJET	0,067	0,061	0,003
CANAL / RÉFÉRENCE	0,175	0,018	0,032

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

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

Aucune différence significative n'est mise en évidence au printemps, ce qui confirme l'absence de gradient observé sur la figure 2.15. En revanche, il existe des différences significatives entre le point *référence* et les points *canal* et *rejet* en automne, qui s'observent également entre les points *canal* et *référence* en été.

Le conditionnement du circuit secondaire de la centrale nécessite l'utilisation d'ammoniaque, ce qui représente une source potentielle d'ammonium. L'absence de différence systématiquement significative de la teneur en ammonium entre les points d'échantillonnage indique que ces rejets ne sont pas détectables. Un impact de la centrale sur les concentrations en ammonium dans le milieu récepteur ne peut donc être mis en évidence. Bien que le nombre de campagnes dont nous disposons soit peu adapté à l'étude des cycles annuels, il semble que les teneurs en ammonium présentent des variations saisonnières classiques. Ce constat suggère également que la centrale n'engendre pas de perturbation notable sur le cycle de ce nutriment.

2.2.4. Nitrate et nitrite

2.2.4.1. Variations spatiales et saisonnières du nitrate et du nitrite en 2006

Les teneurs en sels nutritifs azotés (nitrate + nitrite) mesurées au cours des campagnes de surveillance 2006 ont été comprises entre 10 et 27,9 μM au point *canal*, entre 9 et 29,3 μM au point *rejet* et entre 7,1 et 29,6 μM au point *référence* (figure 2.16).

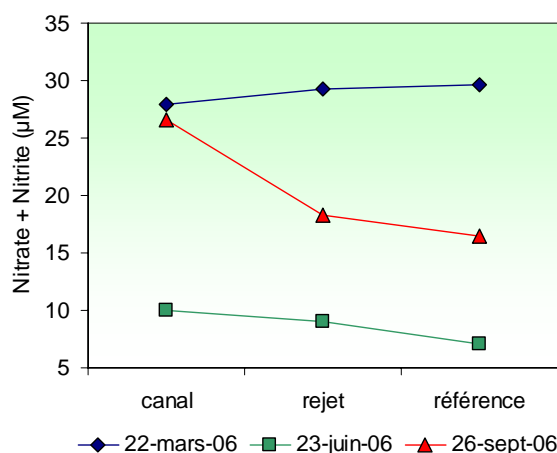


Figure 2.16 : Concentrations en azote dans les eaux de surface lors des campagnes de 2006

Au début du printemps, les concentrations en nitrate sont relativement élevées sous l'influence des apports telluriques en provenance des bassins versants et du stock hivernal. En été, les teneurs diminuent fortement en raison du développement du phytoplancton et de la diminution des apports fluviaux. En 2006, ces teneurs restent néanmoins nettement supérieures à celles enregistrées dans le même secteur à la fin du printemps par Brylinski *et al.* (1996).

En automne, les teneurs augmentent, mettant ainsi en évidence la régénération des nutriments (minéralisation des matières organiques dissoutes par les bactéries hétérotrophes) et les apports éventuelles des fleuves, suivie d'une activité phytoplanctonique consommatrice plus modérée qu'au mois de mars, ce qui est conforme au cycle annuel de ce sel en Manche.

Le gradient décroissant côte-large déjà observé pour l'ammonium, est mis en évidence pour le nitrate plus le nitrite lors des campagnes de juin et septembre. En mars, les plus faibles teneurs sont observées au point *canal*, tandis que celles des points *rejet* et *référence* sont similaires.

2.2.4.2. Variations inter-annuelles

L'évolution inter-annuelle des concentrations en sels nutritifs azotés (nitrate + nitrite) est représentée sur la figure 2.17 sur la période 1988-2006.

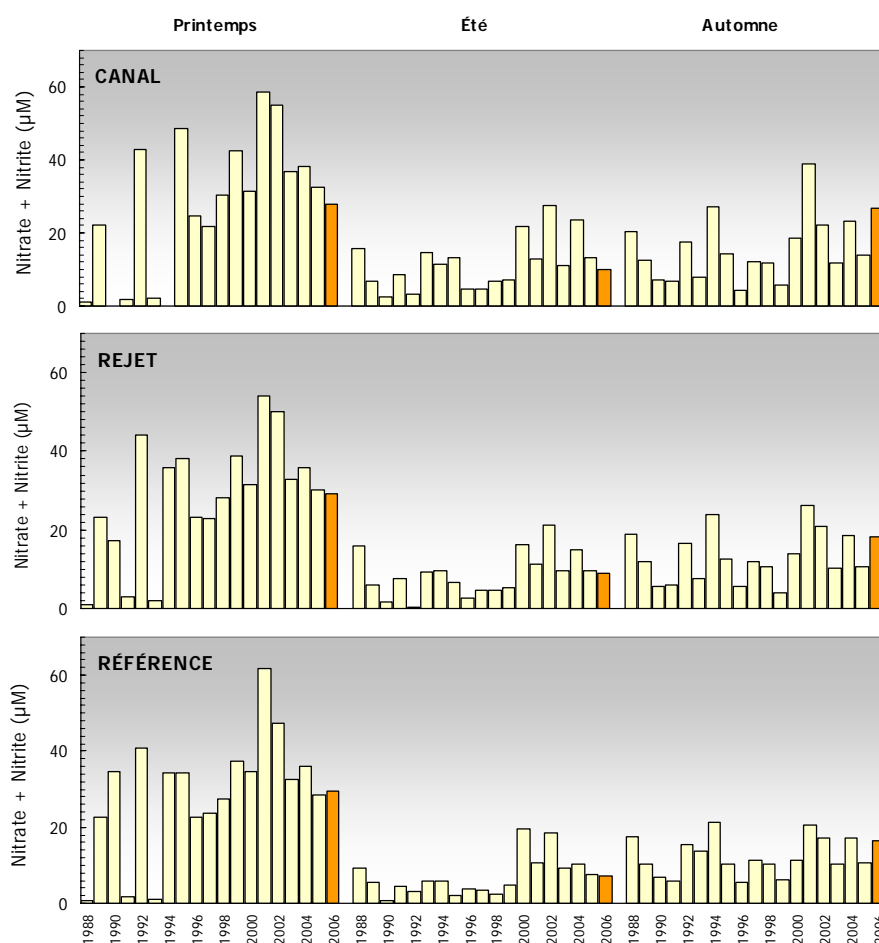


Figure 2.17 : Concentrations en nitrate + nitrite dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2006

En raison des importantes précipitations lors des hivers 2000/2001 et 2001/2002, les valeurs de “nitrate + nitrite” observées en 2001 et 2002 ont été les plus fortes enregistrées ces dernières années. Les valeurs observées en mars et juin 2006 sur l'ensemble des points, sont inférieures à celles de 2005 et sont revenues à des niveaux plus proches des moyennes pluriannuelles. En revanche, les valeurs relevées en septembre sont plus élevées qu'en 2005 et se rapprochent de celles de 2004.

Les boîtes à moustaches de la figure 2.18 présentent la distribution des valeurs de “nitrate + nitrite” sur la période de 1988 à 2006. Bien que les valeurs du printemps présentent les plus fortes dispersions, la tendance saisonnière met en évidence une diminution des concentrations en été et une régénération en automne. La situation en 2006 est restée fidèle à ce schéma classique. Les valeurs en 2006 sont proches des médianes pluriannuelles au printemps et en été, tandis qu'en automne elles se situent sur la limite supérieure des boîtes.

La distribution des médianes en été et en automne observe un gradient décroissant de la côte vers le large. Au printemps, ce gradient est inversé. Ceci est principalement dû aux faibles valeurs de nitrate et nitrite de 1988, 1991 et 1993 qui ont été mesurées lors de campagnes printanières plus tardives, diminuant ainsi la valeur des médianes printanières. Le gradient décroissant côte-large observé est rétabli lorsque ces trois séries de mesures sont éliminées de la série.

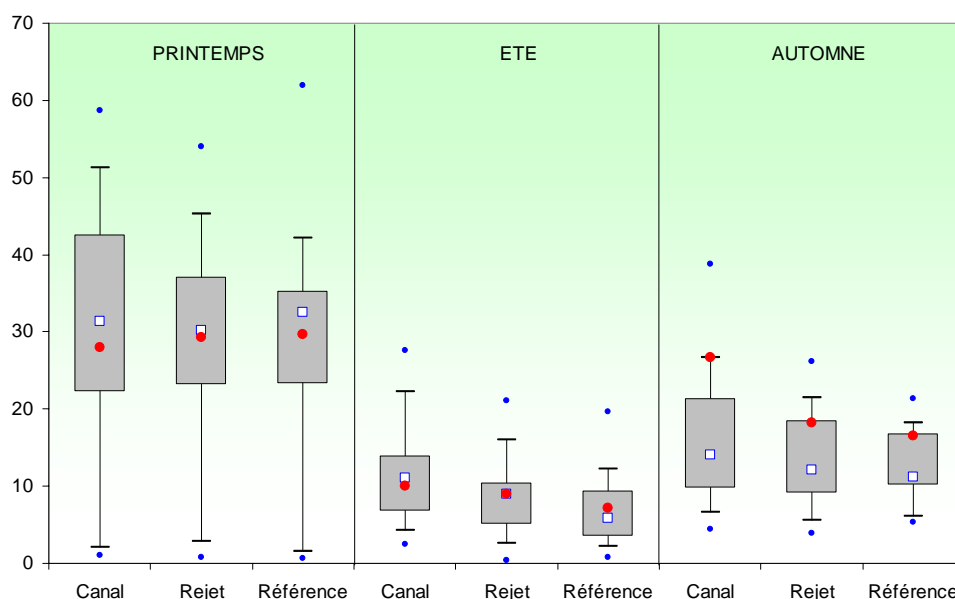


Figure 2.18 : Comparaison des distributions des concentrations en azote (μM) par saison et par point depuis 1988

2.2.4.3. Approche statistique

Le tableau 2.7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour l'azote entre 1988 et 2006.

	COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
NITRATE + NITRITE	CANAL / REJET	0,030	0,000	0,000
	RÉFÉRENCE / REJET	0,258	0,008	0,029
	CANAL / RÉFÉRENCE	0,064	0,000	0,002

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

Tableau 2.7 : Probabilité associée p des tests statistiques sur les "nitrate + nitrite"

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 qu'il existe une différence significative entre les points *canal* et *rejet*.

Les variations des concentrations observées en 2005 sont *a priori* caractéristiques d'un cycle saisonnier classique pour ces sels azotés. Les valeurs 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 2006

En 2006, les teneurs en MES (figure 2.19) ont varié au cours des campagnes de 4,4 à 20,3 mg/L au point *canal*, de 6,9 à 22,6 mg/L au point *rejet* et de 3,4 à 7,1 mg/L au point *référence*.

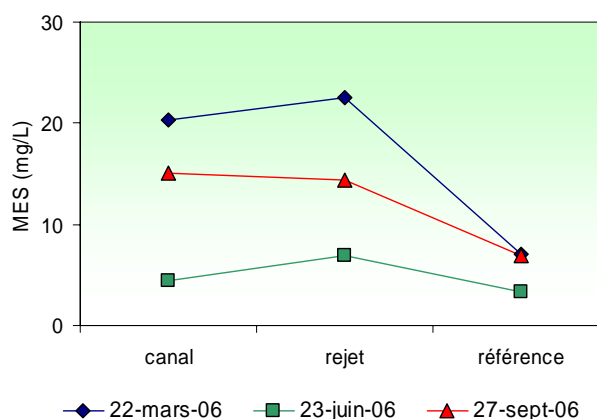


Figure 2.19 : Concentrations en MES (mg/L) dans les eaux de surface lors des campagnes de 2006

Comme en 2005, les plus fortes teneurs en MES ont été observées lors de la campagne de printemps. Contrairement au schéma classique, les maxima ont été atteints aux mois de mars et juin sur le point *rejet*. Les turbulences du rejet, peuvent avoir favorisé la remise en suspension des sédiments et expliquer ce phénomène. En septembre, nous observons un gradient décroissant classique, établi de la côte vers le large. Ce gradient met en évidence le plus fort hydrodynamisme des eaux côtières. En effet, dans les zones les moins profondes les remises en suspension du matériel particulaire sont les plus importantes (courants de marée, vagues et houles).

2.2.5.2. Variations inter-annuelles

L'évolution des teneurs en MES au cours de la période 1988-2006 est présentée sur la figure 2.20. Les campagnes de mars et juin ont été caractérisées par des teneurs en MES plus faibles que celles enregistrées en 2005, et tout particulièrement au printemps où elles ont été diminuées par 3. En revanche, les concentrations mesurées en septembre ont été largement plus élevées qu'en 2005. Elles restent néanmoins similaires à celles observées en 2002 et 2003. Comme pour l'ammonium, l'évolution pluriannuelle des MES montre clairement le caractère instable de ce paramètre dont les variations dépendent principalement de l'hydrodynamisme des eaux côtières (faible profondeur, apports fluviaux) et de l'état de la mer (calme ou agitée). Les turbulences, générées par les rejets d'eau réchauffée, peut également influencer les teneurs en MES en remettant en suspension le matériel particulaire.

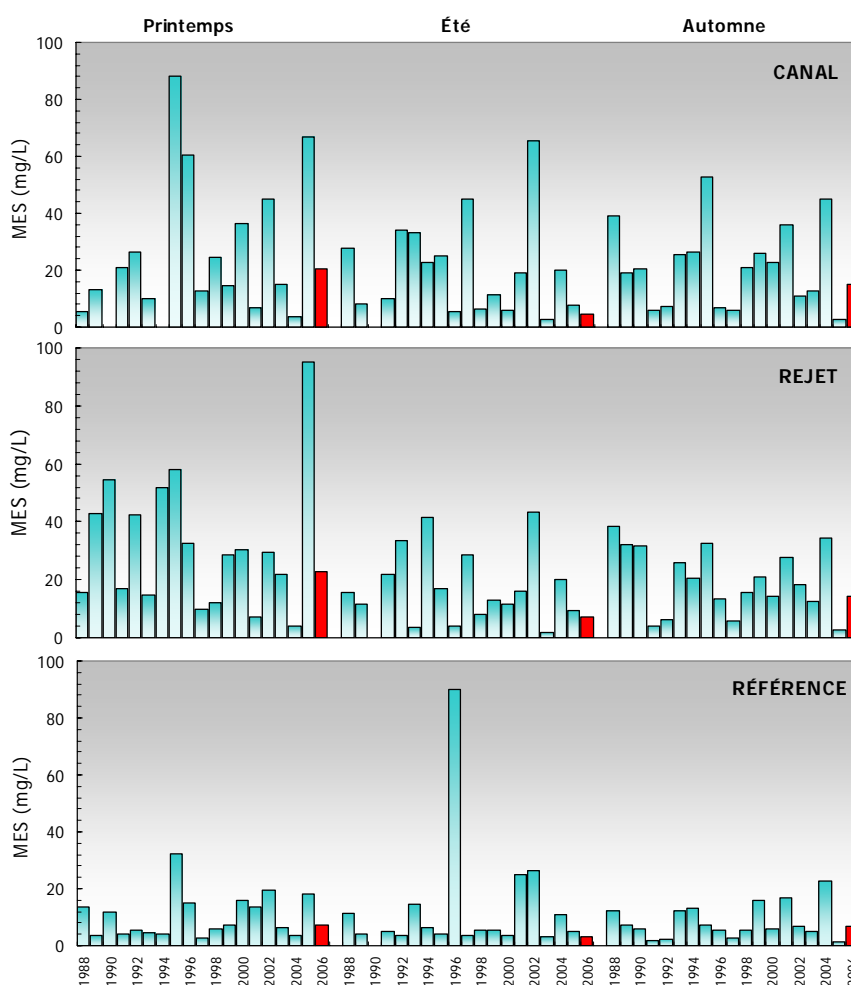


Figure 2.20 : Concentrations en MES dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2006

Les distributions des teneurs en MES dans les *boîtes à moustaches* (figures 2.21) mettent en évidence de plus fortes dispersions des valeurs pendant les campagnes de printemps et d'été, au moment où les pluies provoquent les plus forts débits des fleuves. La dispersion des valeurs au point *référence* est limitée et ceci quelle que soit la saison, ce qui confirme la plus faible variabilité des MES dans la masse d'eau du large.

Toutes les valeurs de MES observées en 2006 se situent en dessous ou très proches des médianes pluriannuelles de la série. Le gradient décroissant de la côte vers le large est clairement mis en évidence pour les campagnes de printemps et d'automne, ce qui suggère une alimentation en MES des zones côtières par les apports d'eau fluviale et le *fleuve côtier* (Brylinski *et al.*, 1991).

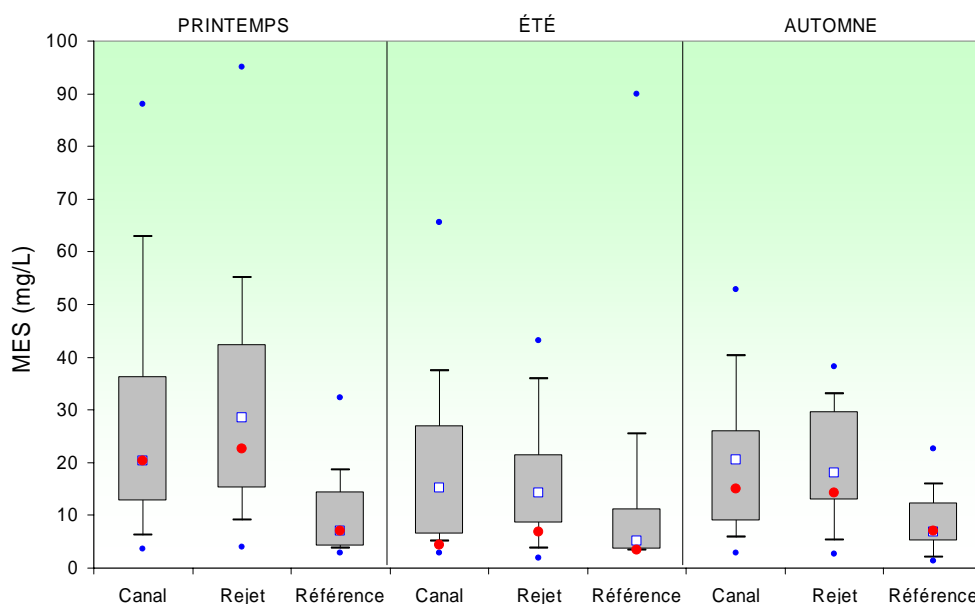


Figure 2.21 : Comparaison des distributions des concentrations en MES par saison et par point depuis 1988

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	0,856	0,363	0,399
RÉFÉRENCE / REJET	0,000	0,043	0,000
CANAL / RÉFÉRENCE	0,001	0,009	0,000

(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. 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. En revanche, au printemps, les valeurs les plus élevées sont observées au point *rejet* ce qui peut s'expliquer par le fort hydrodynamisme engendré par les rejets d'eau réchauffée. Globalement, les résultats de la surveillance 2006 couplés à l'étude statistique réalisée pour les années précédentes permettent simplement d'établir le constat qu'aucune teneur anormale en MES n'a été observée, en dehors de celles attribuées à l'hydrodynamisme côtier, suggérant que la centrale n'engendre pas de perturbation dans ce domaine.

2.2.6. Trihalométhanes

Pour éviter le *fouling* dans les canalisations de rejet, les centrales électronucléaires utilisent la chloration comme méthode préventive. Les composés dérivés pouvant être retrouvés dans les eaux des rejets sont essentiellement des trihalométhanes. Il s'agit de composés volatils, comme le chloroforme et le bromoforme, qui sont les dérivés chlorés les plus fréquemment identifiés dans les eaux chlorées (Abarnou et *al.*, 1990). Le bromoforme est la forme chimique dominante ; bien que son temps de demi-vie dans l'eau de mer est inférieure à une heure (Abarnou, 1981). Les teneurs des différents dérivés chlorés varient selon la quantité de matière organique et d'ammoniaque dissous. Les quatre formes organo-halogénées recherchées sont les suivantes :

- Tribromométhane = "bromoforme" (CHBr_3),
- Dibromomonochloro-méthane (CHBr_2Cl),
- Dichloromonobromo-méthane (CHBrCl_2),
- Trichlorométhane = "chloroforme" (CHCl_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 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.

Dans les 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 2006

En 2006, toutes les concentrations en trihalométhanes ont été inférieures au seuil de détection analytique (1 $\mu\text{g/L}$), à l'exception du point *rejet* en juin, où une concentration de 3,2 $\mu\text{g/L}$ a été mesurée.

2.2.6.2. Variations inter-annuelles du tribromométhane

Bien que la plupart des résultats de trihalométhanes en 2006 aient été en dessous du seuil analytique, nous observons l'évolution spatio-temporelle de ce paramètre dans la série 1988-2006 (figure 2.22). Les plus faibles valeurs sont enregistrées pendant la période printanière où tous les résultats sont inférieurs au seuil de détection, hormis deux valeurs ne dépassant pas 3 $\mu\text{g/L}$ au point *rejet* en 1997 et 2000. En juin et en septembre, les plus fortes concentrations sont enregistrées au point *rejet* et les plus faibles au point *référence*.

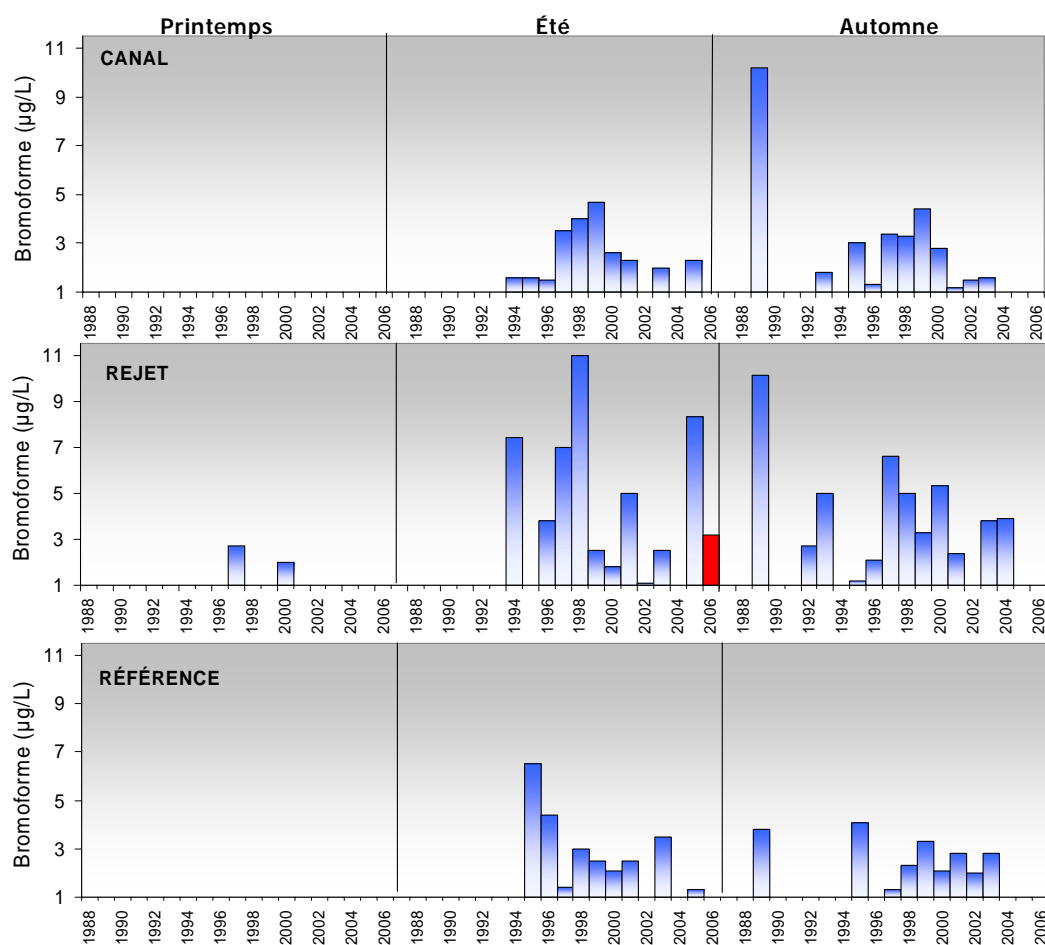


Figure 2.22 : Concentrations en tribromométhane ($\mu\text{g/L}$) dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2006

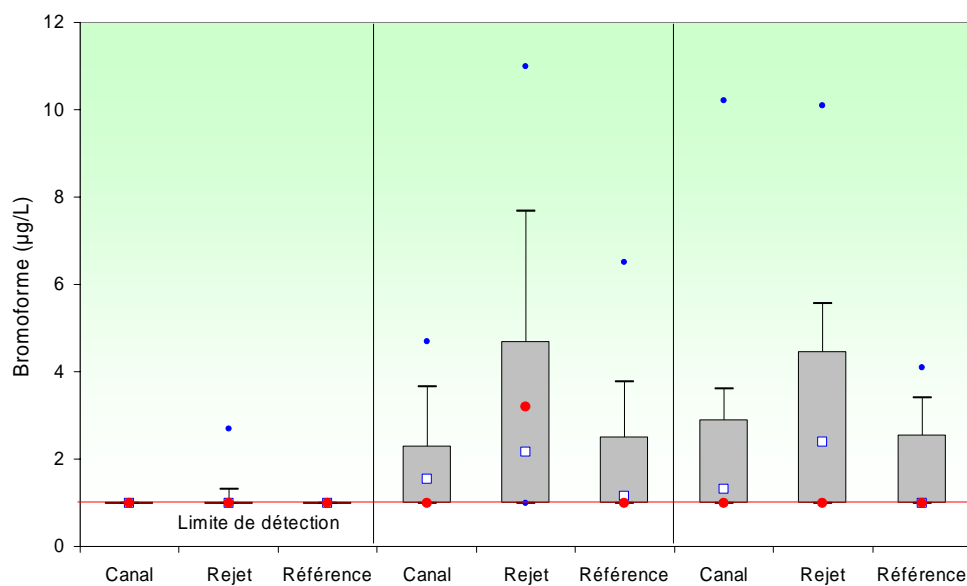


Figure 2.23 : Comparaison des distributions des concentrations en tribromométhane ($\mu\text{g/L}$) par saison et par point depuis 1988

Les distributions des teneurs en bromoforme dans les *boîtes à moustaches* (figures 2.23) mettent en évidence de plus fortes dispersions des valeurs et de plus fortes médianes pluriannuelles pendant les campagnes d'été et d'automne sur le point *rejet*. En 2006, l'ensemble des valeurs se trouvait en dessous de 10 µg/L, valeur tout à fait acceptable pour le milieu marin (Abarnou *et al.*, 1990).

La faible quantité de données significatives ne permet pas, dans le cas des trihalométhanes, de réaliser des tests statistiques. L'année 2006 a été marquée 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.

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 4,5 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 en 2006

Les concentrations en bore dans l'eau de mer, enregistrées lors des campagnes de 2006 sont présentées dans la figure 2.24 avec leurs intervalles de confiance.

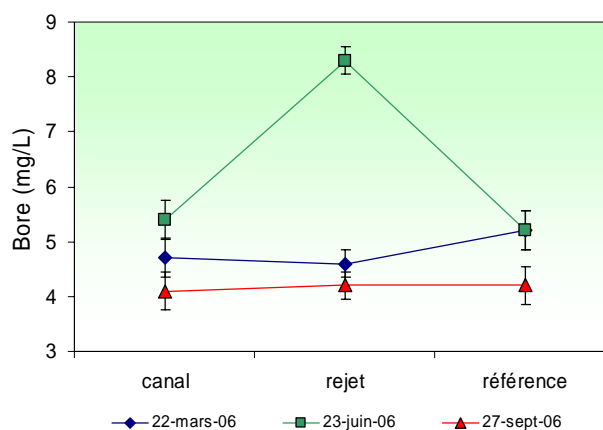


Figure 2.24 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2006 avec les intervalles de confiance ($\alpha = 0,05$)

Comme en 2005, la valeur enregistrée au point *rejet* lors de la campagne de juin se situe au dessus de celles observées aux deux autres points. Cette année, la concentration en bore est de 8,3 mg de bore/L. Celle-ci reste difficile à expliquer, car la concentration des eaux chargées en bore rejetées par la centrale au moment de l'échantillonnage ne permet pas de retrouver des valeurs aussi élevées en faisant le calcul de dilution. Une enquête sera menée afin de déterminer la cause de ces concentrations élevées.

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 restent comprises entre 4,1 et 5,5 mg de Bore par litre et ne semblent pas présenter de différences significatives.

2.2.7.2. Variations inter-annuelles

Les variations inter-annuelles en bore sont présentées dans la figure 2.25.

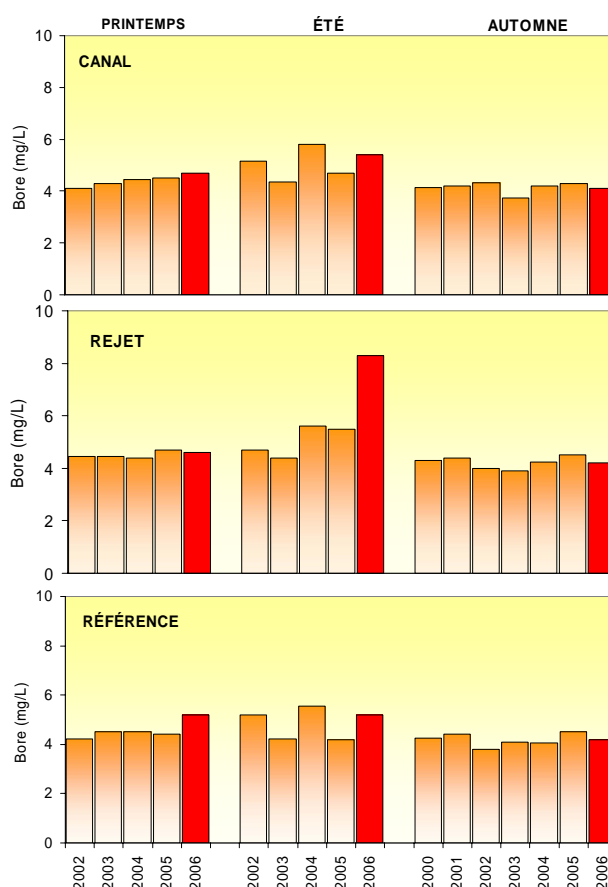


Figure 2.25 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2006

Les concentrations de bore dans l'eau de mer observées en 2006 restent du même ordre de grandeur que celles enregistrées depuis 2000, à l'exception de la forte concentration détectée au point *rejet* au mois de juin. Les apports d'eau douce fluviale sont en principe plus pauvres en bore que les eaux marines et ne peuvent pas être considérés comme une source potentielle de bore.

Cependant, et à l'exception de la valeur de juin, les résultats ne présentent pas des concentrations au point *rejet* supérieures aux autres points. Nous ne pouvons donc, pas conclure à une influence systématique des rejets de la centrale sur les concentrations mesurées en bore dans les eaux de surface en 2006.

Malgré la courte série de données sur les concentrations en bore des eaux de mer enregistrées depuis 2000, il peut être intéressant de représenter leur distribution. En effet, les *boîtes à moustaches* de la figure 2.26, nous permettent ainsi de constater qu'au printemps et en automne, la dispersion des valeurs reste extrêmement limitée comparée à celle des valeurs estivales. Les distributions en juin, sont par ailleurs du même ordre de grandeur sur l'ensemble des points suivis. Notons également que les plus fortes concentrations sont observées en été.

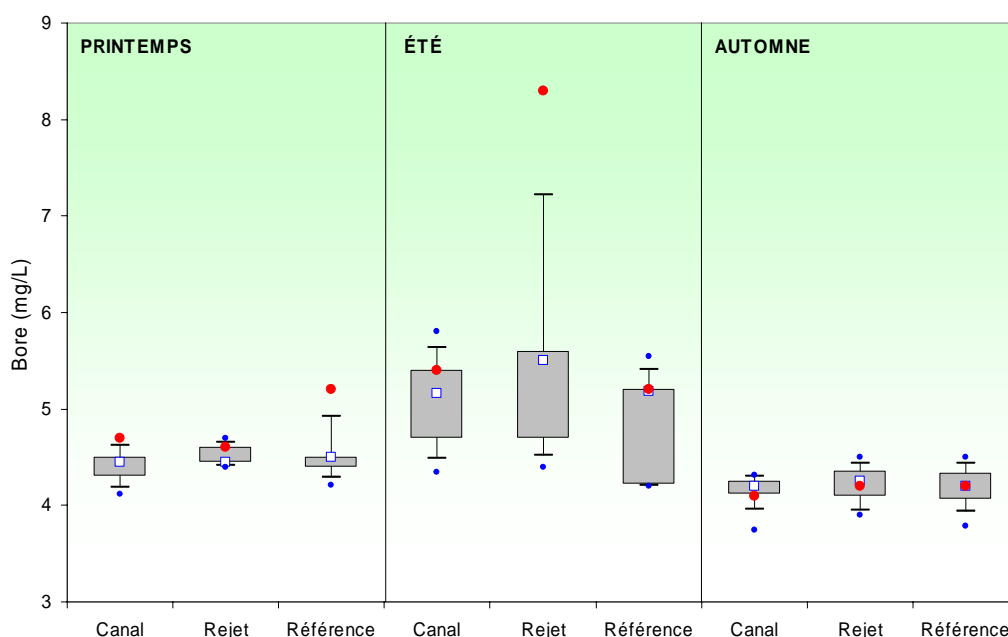


Figure 2.26 : Comparaison des distributions des concentrations en bore (mg de bore/L) par saison et par point depuis 1988

2.3. Conclusion

Le climat en 2006 a été assez chaud et sec, tout comme ça a déjà été le cas en 2004 et 2005, avec des températures supérieures aux moyennes et une faible pluviométrie, phénomène tout particulièrement marqué aux mois de janvier et septembre.

Les campagnes 2006 ont été caractérisées par les plus faibles températures d'eau enregistrées depuis 1988 au mois de mars, par de faibles températures en juin et de fortes en septembre, confirmant ainsi l'évolution déjà constatée en 2005. Les différences de température enregistrées entre les points *référence* et *rejet* ont avoisiné, quelle que soit la saison les 2 °C, se situant ainsi au niveau des médianes pluriannuelles de la série 1988-2006.

Les salinités observées lors des trois campagnes de l'année 2006 ont été, quels que soient les points, légèrement plus faibles que celles enregistrées en 2005, à l'exception du point *rejet* en été. Nous restons néanmoins à des valeurs de salinité proches de celles observées depuis 2002, qui ont toutes été des années plutôt sèches, comparées aux faibles salinités observées lors des

années humides de 1994-1995 et 2001-2002. Globalement l'ensemble des valeurs de salinité enregistrées en 2006, se situe au niveau des médianes pluriannuelles de la série 1988-2006.

Les sels nutritifs mesurés lors des campagnes 2006 semblent avoir suivi un cycle saisonnier classique : consommation par le phytoplancton entre le printemps et l'été suite à l'augmentation de l'ensoleillement, suivi d'un processus de régénération en automne.

La forte variabilité inter-annuelle de l'ammonium ne permet pas de dégager de réelles tendances d'évolution. Néanmoins les valeurs observées au cours des trois campagnes de 2006, sont toutes situées en dessous des médianes pluriannuelles de la série 1988-2006, à l'exception du point *rejet* en juin et septembre où les valeurs sont restées proches des médianes.

Les teneurs en "nitrate + nitrite" observées en mars et juin 2006 sur l'ensemble des points, sont inférieures à celles de 2005 et sont revenues à des niveaux plus proches des moyennes pluriannuelles. En revanche, les valeurs relevées en septembre sont plus élevées qu'en 2005 et se situent sur la limite supérieure des boîtes à moustaches de la série 1988-2006. Le gradient décroissant de la côte vers le large est bien marqué, avec des valeurs au point *rejet* intermédiaires de celles des points *canal* et *référence*.

Les résultats de la surveillance des teneurs en MES permettent simplement d'établir le constat qu'aucune teneur anormale en MES n'a été observée cette année, en dehors de celles attribuées à l'hydrodynamisme côtier.

Enfin, la seule valeur dépassant le seuil de détection des composés organo-halogénés recherchés a été observée au point *rejet* en juin, où le tribromométhane a atteint 3,2 µg/L.

Les concentrations de bore dans l'eau de mer observées en 2006 restent du même ordre de grandeur que celles enregistrées depuis 2000, à l'exception de la forte concentration observée en juin au point *rejet* (8,3 mg/L). Celle-ci reste difficile à expliquer, car la concentration des eaux chargées en bore rejetées par la centrale au moment de l'échantillonnage ne permet pas de retrouver des valeurs aussi élevées en faisant le calcul de dilution. Une enquête sera menée afin de déterminer la cause de ces concentrations élevées.

L'étude statistique a révélé que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au point *rejet* qu'aux autres points. Cependant, les mesures indiquent que l'impact thermique est relativement réduit. En effet, les échantillons prélevés aux abords du *rejet* (quelques dizaines de mètres) présentent des taux de dilution théoriques importants (> 85 % en 2006 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, la centrale via ses rejets ne semble pas modifier les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu (teneurs et variations saisonnières).

3. La Microbiologie

Prélèvements

Virginie Antoine (LERN)

Laure Lamort (LERN)

Jean côme Piquet (LER PC)

Analyses

Laboratoire de ROUEN

Rapport

Luis Lampert (LERN)

Loïc Nogues (LERN)

3.1. Introduction

L'utilisation de l'eau de mer pour le refroidissement des centrales nucléaires, entraîne, autour des zones de rejet, une augmentation de la température des eaux qui peut favoriser le développement de peuplements bactériens. Un suivi de l'évolution de ces peuplements a été mis en oeuvre depuis 1987 sur la centrale de Flamanville. Il repose sur le dénombrement des germes totaux, des germes aérobies revivifiables (pouvant reprendre une activité pathogène si les conditions du milieu leur devenaient favorables) et sur l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles.

Les vibrions halophiles sur le territoire français

Les vibrions halophiles sont des bactéries anaérobies facultatives, à Gram négatif (Vaillant *et al*, 2005). Ce sont des hôtes naturels du milieu marin et plus particulièrement des eaux côtières et estuariennes. Seules quelques espèces du genre *Vibrio* présentent une activité pathogène pour l'homme. On distingue les **vibrions cholériques**, responsables du choléra et appartenant aux sérogroupes O1 et O139 de l'espèce *Vibrio cholerae*, et les **vibrions non cholériques** appartenant aux sérogroupes non-O1 et non-O139 de l'espèce *V. cholerae* et à d'autres espèces du genre *Vibrio*, en particulier *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio fluvialis* et *Vibrio hollisae* (Quilici *et al*, 2005).

Photobacterium damsela, anciennement appelée *Vibrio damsela*, puis *Listonella damsela* est plutôt reconnue comme une souche pathogène pour les poissons (Euzéby, 2000).

Les vibrions non cholériques sont à l'origine de gastro-entérites, d'infections de la peau et des tissus mous, de septicémies et de diverses infections extra intestinales comme les otites, particulièrement dues à l'espèce *V. alginolyticus*. Dans la majorité des cas, ces infections sont associées à un contact direct avec de l'eau de mer ou à la consommation de produits de la mer (Quilici et Fournier, 2003). Elles surviennent pendant les mois les plus chauds de l'année, de mai à octobre, quand la température de l'eau de mer augmente et favorise la croissance des vibrions halophiles.

Depuis 1995, le CNRVC¹ a mis en place un système de surveillance des infections à vibrions non cholériques sur le territoire français. Il reçoit les souches, isolées par les laboratoires hospitaliers et d'analyse biologique et médicale, pour identification, ou confirmation d'identification et caractérisation moléculaire (Vaillant *et al*, 2005). Le tableau 3 propose une synthèse des souches de vibrions non cholériques identifiées, responsables d'infections humaines entre 1995 et 2005 sur le territoire français.

Un total de 102 cas d'infections à vibrions non cholériques a été répertorié entre 1995 et 2005. Six espèces ont été identifiées : *V. cholerae* (sérogroupes non-O1/non-O139), qui a été l'espèce la plus fréquemment isolée (49,02 %) ; *V. alginolyticus*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* qui ont été respectivement responsables de 19,61 %, 16,77 % et 10,78 % des cas d'infections ; et les

¹ CNRVC : Centre Nationale de Référence des Vibrions et du Choléra de l'Institut Pasteur.

souches *V. fluvialis* et *V. hollisae* qui ont rarement été mises en cause, puisqu'elles représentent moins de 2 % des cas d'infections.

Année	Souches identifiées						Nombre total d'infections
	<i>V. alginolyticus</i>	<i>V. vulnificus</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. cholerae</i> non O1/ non O139	<i>V. fluvialis</i>	<i>V. hollisae</i>	
1995 à 1998 (1)	7 (24,14)	5 (17,24)	7 (24,14)	9 (31,03)	abs	1 (3,45)	29
1999 à 2001 (2)	10 (29,41)	3 (8,82)	3 (8,82)	15 (44,12)	2 (5,88)	1 (2,94)	34
2001 à 2003 (3)	4 (12,50)	4 (12,50)	3 (9,38)	19 (59,38)	2 (6,25)	abs	32
2004 (4)	abs	abs	4 (50)	4 (50)	abs	abs	8
2005 (5)	3 (30)	abs	abs	7 (70)	abs	abs	10
Synthèse de 1995 à 2005	20 (19,61)	11 (10,78)	17 (16,77)	50 (49,02)	2 (1,96)	2 (1,96)	102

Abs : absence, souche non identifiée dans les cas d'infection observés

(1) Geneste *et al.* 2000

(2) Quilici *et al.* 2000

(3) Quilici *et al.* 2005

(4) Quilici et Fournier. 2004

(5) Quilici et Fournier. 2005

Tableau 3 : Souches de vibrions non cholériques responsables d'infections humaines identifiées par le CNRVC entre 1995 et 2005

Les souches de *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* sont responsables des manifestations cliniques les plus sévères (Quilici *et al.*, 2000). *V. cholerae* est une espèce qui peut survivre dans un environnement moins salé que les autres espèces halophiles. De ce fait, son ubiquité et les infections graves qu'elle entraîne, contribue à sa forte présence dans le recensement du CNRVC, représentant à elle seule, 49 % des cas d'infections. Alors que, d'après l'étude menée par Hervio-Heath *et al.* (2002), sur la recherche d'espèces de vibrions potentiellement pathogènes dans l'environnement marin des côtes et estuaires français, seulement 3 souches de *V. cholerae* ont été identifiées sur un total de 189. Quant à *V. alginolyticus*, qui est responsable d'infections plus bénignes, elle était l'espèce prédominante sur le littoral français avec 99 souches identifiées sur 189. Pour information, suivaient les souches de *V. parahaemolyticus* (41/189) et *V. vulnificus* (20/189).

Plusieurs facteurs écologiques influencent le cycle biologique des vibrions halophiles. On distingue la température, la salinité, la concentration en matière organique et en nutriments, des sédiments et du plancton utilisés comme support (West, 1989 ; Miossec, 2002). La température de l'eau de mer contribue ainsi à la saisonnalité des apparitions de vibrions non cholériques. Les espèces *V. fluvialis*, *V. hollisae*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* s'observent principalement entre la fin de l'été et le début de l'automne. Alors que *V. cholerae* et *V. alginolyticus* peuvent être identifiées tout au long de l'année (Quilici *et al.*, 2000). En saison froide, les vibrions non cholériques survivent sous une forme "viable non cultivable" dans les sédiments des eaux côtières. Ils s'y multiplient et réapparaissent dans l'eau de mer et les produits de la mer lorsque la température de l'eau s'élève et que les conditions sont redevenues favorables à leur croissance (Vaillant *et al.*, 2005).

La salinité influence également la distribution spatiale des souches de vibrions non cholériques. En effet, l'étude menée par Hervio-Heath *et al.* (2002), semble indiquer qu'une salinité > 25 ‰

induit des effets sur la distribution de *V. vulnificus*, qui est plus souvent isolé dans les eaux estuariennes que marines.

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 22 mars, 23 juin et 27 septembre 2006 à bord du navire océanographique *NO THALIA*. Les échantillons d'eau ont été prélevés au moyen de flacons stériles, puis maintenus au froid pendant leur transport jusqu'au laboratoire de Rouen pour analyse.

Les points échantillonnés ont été les suivants :

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

La stratégie d'échantillonnage suivie en 2006 est présentée dans le tableau 3.1. Des répliqués ont été réalisés pour le dénombrement des germes revivifiables et des vibrions halophiles.

Nombre d'échantillons		PARAMÈTRES		
Points suivis	Niveau d'échantillonnage	Germes totaux	Germes revivifiables	Vibrions halophiles
<i>Canal</i>	Surface	1	2	2
<i>Rejet</i>	Surface	1	2	2
<i>Référence</i>	Surface	1	2	2
	Mi-Profondeur	1	2	2

Tableau 3.1 : Stratégie d'échantillonnage en 2006

3.2.2. Analyses microbiologiques

Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- stabilisation de l'échantillon au moment du prélèvement par du formol dépoussiéré afin de limiter la multiplication des bactéries,

- filtration sur membrane en polycarbonate 0,2 μm teintée au laboratoire avec de l'Irgalan black,
- coloration à l'acridine orange au 1/30.000^e,
- observation au microscope de la membrane sous lumière UV réfléchie.

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

Dénombrement des germes aérobies revivifiables sur milieu de Zobell.

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

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

Identification et dénombrement des vibrions halophiles (méthode EDF)

Contrairement à 2004 et 2005, une seule méthode de dénombrement et d'identification des vibrions halophiles a été retenue en 2006. Mise au point par le laboratoire Pasteur, elle sera utilisée sur l'ensemble des centrales du bord de mer et devraient ainsi permettre la comparaison des populations de vibrions halophiles entre elles (Khalanski, 2002).

La comparaison des deux méthodes (l'ancienne et nouvelle) en 2004 et 2005, a permis de mettre en évidence quelques différences dues aux méthodologies et aux milieux de culture utilisés, sans pour autant altérer la tendance générale (figures 3.4 et 3.5).

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- 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 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 18 à 24 h ;
- lecture des boîtes ;
- incuber pendant 24 h à $20 \pm 2^\circ\text{C}$;
- nouvelle lecture des boîtes ;
- repiquage et isolement sur gélose TCBS à $37 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 24 h ;
- repiquage colonies en milieu Zobell et incubation à $37 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 24 h ;
- tests divers et recherche de pathogènes.

3.3. Résultats

3.3.1. Récapitulatif des résultats des mesures microbiologiques pour l'année 2006

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes sur le site de Paluel en 2006 sont présentés dans le tableau 3.2. Les valeurs retenues pour les quantités de germes revivifiables sont celles du plus fort réplikat pour le point *rejet* et la moyenne des deux réplikats pour les points *canal*, *référence* et *référence* à mi-profondeur.

		CANAL	REJET	RÉFÉRENCE	RÉFÉRENCE mi profondeur	
22 MARS	<i>Germes totaux (germes/mL)</i>	120 000	122 000	113 000	97 000	
	<i>Germes revivifiables (germes/mL)</i>	125	90	60	100	
	EDF	<i>V. halophiles/L</i>	<1	<1	<1	<1
		<i>Identif. de v. halophiles</i>	Absence	Absence	Absence	Absence
23 JUIN	<i>Germes totaux (germes/mL)</i>	131 000	110 000	115 000	157 000	
	<i>Germes revivifiables (germes/mL)</i>	250	500	50	25	
	EDF	<i>V. halophiles/L</i>	10 Va	92 Va	<1	<1
		<i>Identif. de v. halophiles</i>	Vv + Va	Va + Vv	Vv	Vv
27 SEPTEMBRE	<i>Germes totaux (germes/mL)</i>	120 000	110 000	120 000	130 000	
	<i>Germes revivifiables (germes/mL)</i>	3100	270	125	28	
	EDF	<i>V. halophiles/L</i>	<1	60 Va	<1	<1
		<i>Identif. de v. halophiles</i>	Absence	Va	Absence	Absence

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

Tableau 3.2 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2006 dans les eaux de Paluel

3.3.2. Résultats du dénombrement des germes totaux

3.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières des germes totaux en 2006

Les quantités de germes totaux en 2006 varient de 110 000 germes/mL, observées sur le point *rejet* aux mois de juin et septembre, à 131 000 germes/mL sur le point *canal* en juin. En bactériologie, deux échantillons sont considérés comme différents lorsque leurs effectifs sont séparés d'au moins un facteur 10. Nous observons ainsi une faible variabilité des abondances de germes totaux en 2006 quelle que soit la saison (figure 3.1). Les plus forts écarts sont constatés au mois de juin.

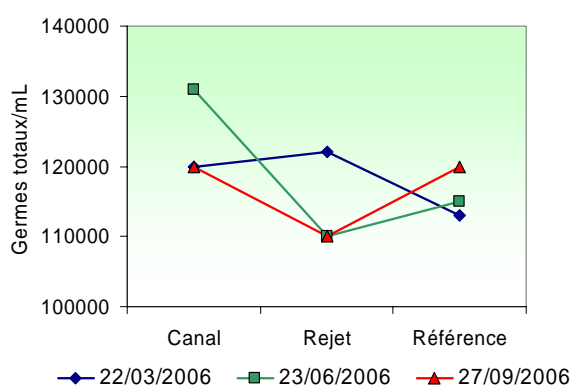


Figure 3.1 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence en 2006

Aucun gradient clair ne peut être mis en évidence. Le point *rejet*, situé entre la côte et le large, observe à la fois les plus fortes quantités de germes totaux lors de la campagne de mars et les plus faibles valeurs en juin et septembre.

3.3.2.2. Variations inter-annuelles des germes totaux

Le nombre total de germes dénombrés par épifluorescence en 2006 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.

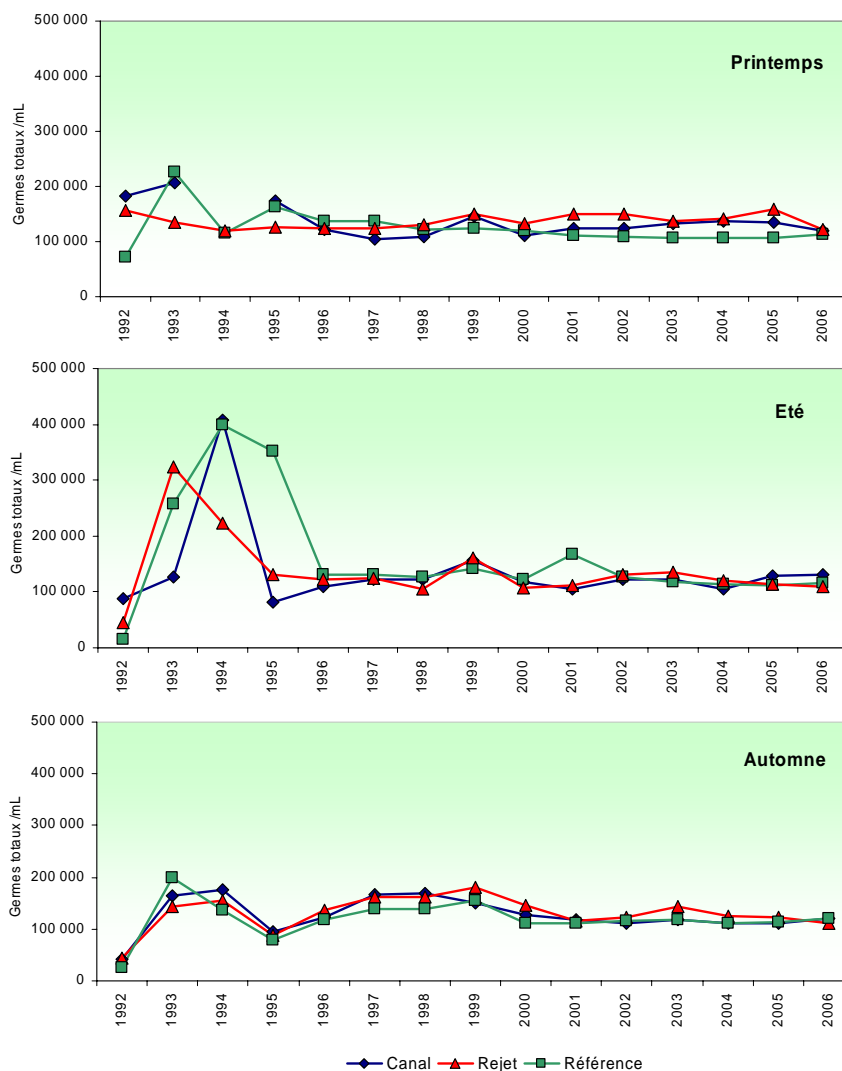


Figure 3.2 : Évolution des quantités de germes totaux depuis 1992

Les *boîtes à moustaches* de la figure 3.3 suggèrent une remarquable stabilité de la valeur des médianes saisonnières. Une plus forte variabilité des valeurs est observée aux mois de juin et septembre, lorsque les températures élevées favorisent le développement bactérien.

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

A l'exception des valeurs des points *canal* et *référence* au mois de juin, l'ensemble des valeurs observées en 2006 se trouvent en dessous des médianes pluriannuelles ou en sont très proches.

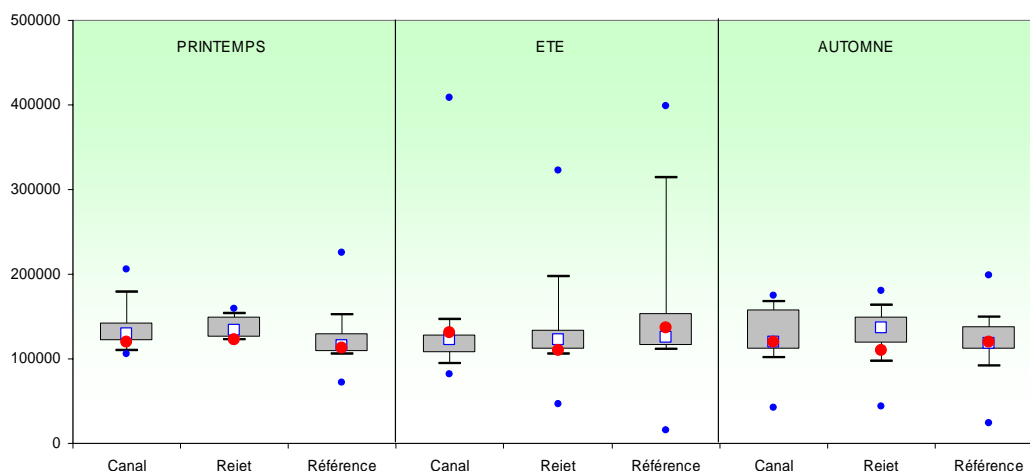


Figure 3.3 : Distributions des quantités de germes totaux (nombre par mL) de 1992 à 2006 et valeurs 2006 (en rouge)

3.3.2.3. Approche statistique

Le tableau 3.3 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur le nombre de germes totaux dénombrés par épifluorescence depuis 1992.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,899	0,978	0,375
RÉFÉRENCE / REJET	0,245	0,570	0,023
CANAL / RÉFÉRENCE	0,209	0,629	0,132

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

Tableau 3.3 : Probabilité associée p des tests statistiques sur les germes totaux

Comme pour 2005, la seule différence statistiquement significative est observée lors de la campagne de septembre entre les points *rejet* et *référence* ($p = 0,023$). Cette comparaison statistique confirme la stabilité des résultats quels que soient les points suivis. Les faibles différences s'expliquent par la variabilité naturelle de ce paramètre dans le milieu marin. Ces résultats ne permettent donc 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 en 2006

Les quantités de germes revivifiables en 2006 varient de 50 germes/mL, observées sur le point *référence* au mois de juin, à 3100 germes/mL sur le point *canal* en septembre (figure 3.4). Les valeurs obtenues sur le point *canal*, lors des campagnes de mars et de juin sont nettement inférieures à celles observées en septembre. Le nombre de germes revivifiables augmente du printemps vers l'automne avec l'augmentation de la température des eaux. En mars et en septembre, nous observons un gradient décroissant de la côte vers le large.

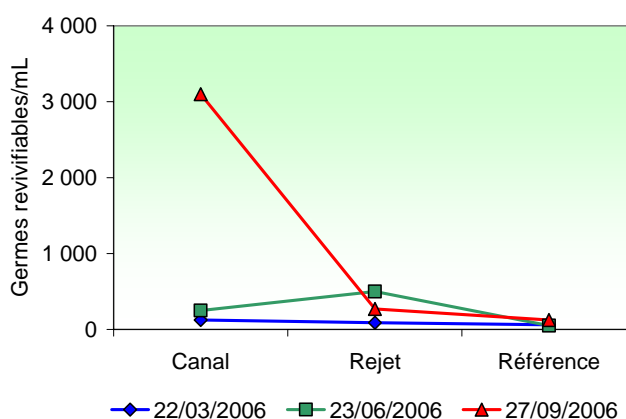


Figure 3.4 Évolution des quantités de germes revivifiables (nombre par mL) en 2006

3.3.3.2. Variations inter-annuelles des germes revivifiables

Les quantités de germes revivifiables en 2006, présentent peu de variations par rapport aux années précédentes (figure 3.5). Seules les valeurs, enregistrées en automne, observent une légère baisse par rapport à celles de 2005. Depuis 1997, les valeurs restent néanmoins très stables, et ne dépassent pas les 10 000 germes/mL quels que soient la saison ou le point d'échantillonnage, à l'exception des valeurs observées en septembre 2003. Comme pour les germes totaux, le système est arrivé à une stabilité de fonctionnement qui ne favorise plus le développement des germes revivifiables.

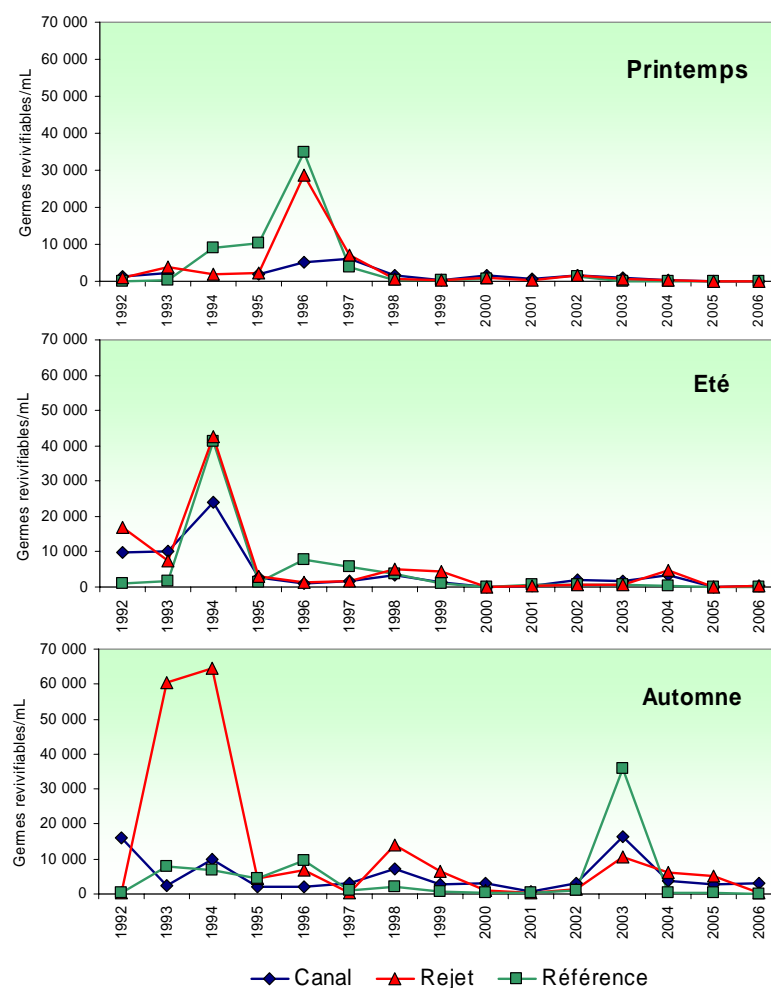


Figure 3.5 : Évolution des quantités de germes revivifiables (nombre par mL) depuis 1992

Dans la figure 3.6, les *boîtes à moustaches* de printemps et d'été présentent une plus faible dispersion des valeurs qu'en automne. Les plus faibles dispersions sont observées au printemps pour les points *canal* et *rejet*. Tandis que les plus fortes dispersions sont enregistrées en période automnale, et plus 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 2006, à l'exception du point *canal* en septembre, les quantités de germes revivifiables constituent les minima absolus de la série 1992-2006.

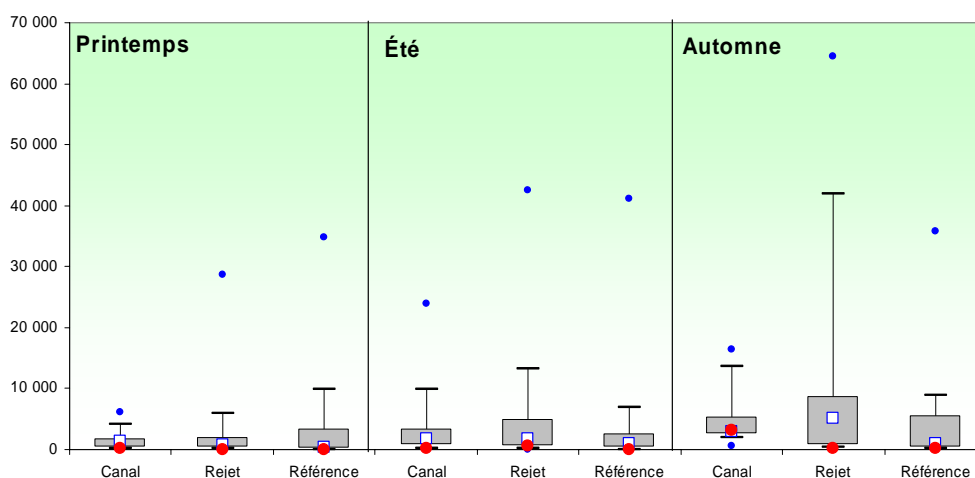


Figure 3.6 : Distributions des quantités de germes revivifiables (nombre par mL) de 1992 à 2006 et valeurs 2006 (rouge)

3.3.3.3. Approche statistique

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

<i>COMPARAISON</i>	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,952	0,208	0,421
RÉFÉRENCE / REJET	0,378	0,151	0,095
CANAL / RÉFÉRENCE	0,244	0,524	0,454

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

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

Aucune différence significative n'a été trouvée sur la série de valeurs des germes revivifiables enregistrées entre 1992 et 2006. 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 revivifiables.

3.3.4. Résultats sur l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles

3.3.4.1. Identification de vibrions halophiles en 2006

Nous rappelons qu'en 2006 seule la nouvelle méthode a été utilisée. Néanmoins, les résultats obtenus avec l'ancienne méthode, propre au laboratoire de Rouen, sont présentés dans le tableau 3.4. Ils décrivent une série pluriannuelle qui permet de visualiser les chroniques d'apparition des différentes souches de vibrions halophiles sur le site de Paluel depuis 1992.

Nous pouvons remarquer qu'entre 1995 et 1998 les souches de vibrions halophiles ont été relativement absentes. A partir de 1999, la présence de *Vibrio 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 *Vibrio vulnificus* sont également observées depuis 2001 lors des campagnes estivales et automnales, notamment sur les points *canal* et *rejet*. *Vibrio parahaemolyticus* n'a pas été observée dans les eaux proches de la centrale de Paluel depuis 2001.

ANCIENNE METHODE																																																						
V. vulnificus	canal																																																					
	réf.érence																																																					
	rejet																																																					
V. alginolyticus	canal																																																					
	réf.érence																																																					
	rejet																																																					
V. parahemol.	canal																																																					
	réf.érence																																																					
	rejet																																																					
V. cholerae	canal																																																					
	réf.érence																																																					
	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	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 3.4 : Identification par l'ancienne méthode, des souches de vibrions halophiles par saison et par point de 1992 à 2005

Les résultats obtenus avec la nouvelle méthode, depuis 2004, sont présentés dans le tableau 3.5. Ils forment le début d'une série pluriannuelle qui sera d'ici quelques années, assez représentative des fréquences d'apparition des souches de vibrions halophiles à Paluel et pourra alors être comparée aux séries obtenues sur les sites de production électronucléaire EDF de bord de mer.

NOUVELLE METHODE EDF										
V. vulnificus	canal									
	réf.érence									
	rejet									
V. alginolyticus	canal									
	réf.érence									
	rejet									
V. parahemol.	canal									
	réf.érence									
	rejet									
V. cholerae	canal									
	réf.érence									
	rejet									
		P	E	A	P	E	A	P	E	A
		2004	2005	2006						

Tableau 3.5: Identification des souches de vibrions halophiles par la nouvelle méthode, par saison et par point de 2004 à 2006

Les souches *V. vulnificus* et *V. alginolyticus* sont régulièrement observées sur le site de Paluel depuis 2004 (tableau 3.5). Comme en 2005, le mois de mars a été qualifié par l'absence de vibrions halophiles sur l'ensemble des points suivis. Les températures relevées lors de la campagne de mars, comprises entre 5 et 8 °C, n'étaient sans doute pas assez élevées pour permettre la croissance de vibrions. *V. vulnificus* apparaît sporadiquement depuis 2001, bien qu'elle ait été identifiée cette année, sur l'ensemble des points lors de la campagne estivale. En 2006, la campagne d'automne a été caractérisée par la seule présence de *V. alginolyticus* au point *rejet*.

3.3.4.2. Dénombrement des vibrions halophiles en 2006

Les quantités de vibrions halophiles en 2006 varient de moins d'un vibrion par litre (limite de détection de la méthode), en mars sur tous les points d'échantillonnage, à 92 vibrions/L au point *rejet* en juin (figure 3.7). Les plus fortes quantités de vibrions ont été enregistrées au point *rejet* lors des mois de juin et septembre.

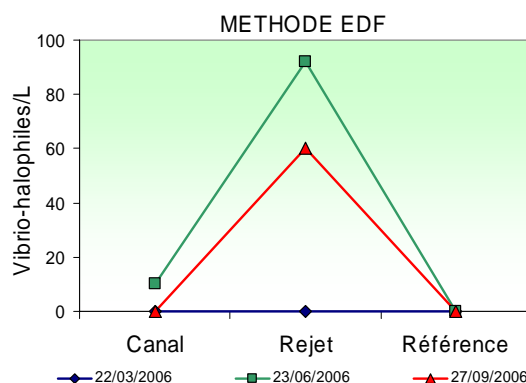


Figure 3.7 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2006 avec la nouvelle méthode

Les résultats obtenus en 2006 (figure 3.8) montre une légère augmentation des quantités de vibrions halophiles par rapport à 2005, cependant, les valeurs restent nettement inférieures aux valeurs observées en 2004. Quelles que soient les années, les plus fortes valeurs sont enregistrées sur le point *rejet* lors des campagnes des mois juin et septembre. Néanmoins, nous n'avons clairement pas assez de recul pour décrire des tendances. De plus, l'évolution des quantités de vibrions peut être simplement due à la forte variabilité naturelle de ce paramètre dans les eaux marines.

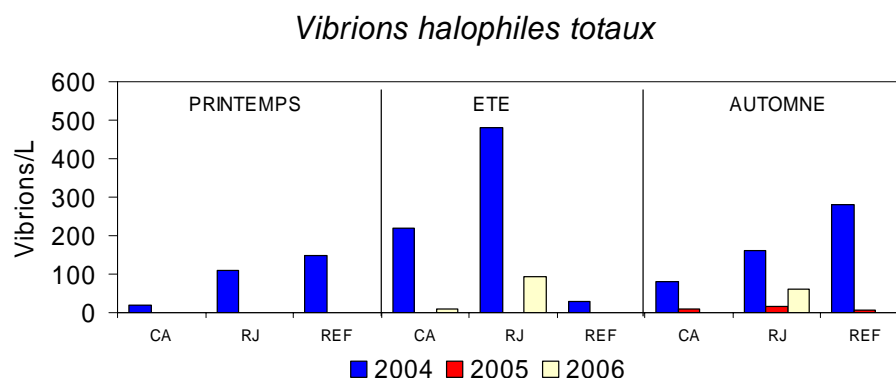


Figure 3.8 : Dénombrement de vibrions halophiles totaux entre 2004 et 2006 avec la nouvelle méthode

Quantitativement, les souches de *V. alginolyticus* et *V. vulnificus* dominent les peuplements de vibrions halophiles depuis 2004. La distribution spatiale de ces deux souches de vibrions évolue différemment selon les années et les points suivis, avec une nette domination de *V. alginolyticus* (figure 3.9).

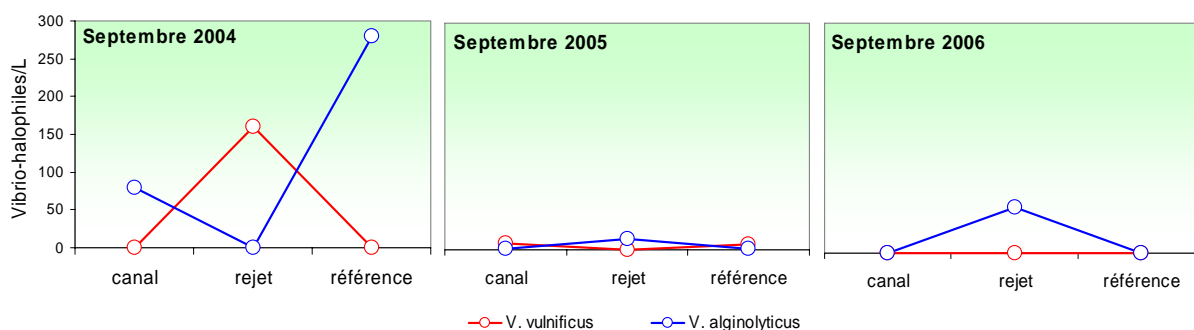


Figure 3.9 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles en septembre 2004 à 2006

3.3.4.3. Approche statistique

Les dénombrements de vibrions halophiles selon la nouvelle méthode sont réalisés sur les échantillons des eaux proches de la centrale de Paluel depuis 2004, ce qui représente une période d'étude trop courte pour réaliser une approche statistique des résultats.

3.4. Conclusions

Les concentrations en germes totaux, qui ne dépassent pas les 200 000 germes/mL depuis 1996, présentent une remarquable stabilité sur les dix dernières années sur l'ensemble des points échantillonnés, mettant ainsi en évidence la stabilité du système en comparaison des premières années de fonctionnement de la centrale. Les quantités de germes totaux en 2006 se situent en dessous des médianes pluriannuelles, à l'exception des valeurs observées aux points *canal* et *référence* au mois de juin, qui en restent très proches.

Les quantités de germes revivifiables en 2006, présentent peu de variations par rapport aux années précédentes. Depuis 1997, les valeurs restent très stables, et ne dépassent pas les 10 000 germes/mL quels que soient la saison ou le point d'échantillonnage, à l'exception des valeurs observées en septembre 2003. Comme pour les germes totaux, le système est arrivé à une stabilité de fonctionnement qui ne favorise plus le développement des germes revivifiables. Sur l'ensemble de points échantillonnés en 2006, à l'exception du point *canal* en septembre, les quantités de germes revivifiables constituent les minima absolus de la série 1992-2006.

L'identification de vibrions halophiles, suivant la nouvelle méthode, confirme la dominance depuis 1999 de la souche de *Vibrio alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale de Paluel. La présence de *Vibrio vulnificus* est de plus en plus fréquente depuis 2001 et plus particulièrement lors des campagnes estivales et automnales. *Vibrio parahaemolyticus* n'a pas été observée dans les eaux proches de la centrale de Paluel depuis 2001.

Les quantités de vibrions halophiles dénombrées en 2006, observent une légère augmentation par rapport à 2005, mais restent nettement inférieures aux valeurs observées en 2004. Les plus fortes valeurs enregistrées entre 2004 et 2006, sont observées sur le point *rejet* lors des campagnes de juin et septembre. Quantitativement, les souches de *V. alginolyticus* et *V. vulnificus* dominent les peuplements de vibrions halophiles des eaux proches de la centrale de Paluel.

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

4 - Le Phytoplancton

Rapport et dénombrements

Luis Lampert (LERN).

Prélèvements et Analyses

Marie-Pierre Crassous (Dyneco),

Virginie Antoine (LERN),

Sylvaine Françoise (LERN),

Vincent Justome (LERN),

Laure Lamort (LERN),

Jerôme Letellier (LERN),

Olivier Pierre-Duplessix (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 2006.

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 (voir § 2.1.). Les prélèvements sont effectués avec des bouteilles Niskin, en surface pour les points *canal* et *rejet*, et en surface et à mi profondeur pour le point *référence*. A chaque point de prélèvement, trois échantillons sont prélevés pour les analyses de la production primaire. Un pour la production sans lumière, et deux pour la production « claire ».

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 Kérouel, 2004).

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 systémique du phytoplankton

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 2006 sont donnés dans le tableau 4.1 ci-dessous.

		CANAL	REJET	RÉFÉRENCE	
				SURFACE	-10 M
22 MARS	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	8,11	5,19	3,93	4,07
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	1,20	1,27	0,58	0,74
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	18,0	15,0	12,9	10,9
	<i>microphytoplancton</i> (cel/L)	222 400	261 800	279 000	437 600
23 JUIN	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	1,27	1,01	2,68	2,82
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,51	1,47	0,98	0,65
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	5,2	2,8	9,4	11,5
	<i>microphytoplancton</i> (cel/L)	70 400	34 400	153 100	155 000
27 SEPTEMBRE	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	1,53	0,99	0,75	0,90
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	1,14	1,40	0,46	0,42
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	4,2	2,4	2,8	3,9
	<i>microphytoplancton</i> (cel/L)	18 600	23 400	23 000	20 500

Tableau 4.1 : Moyenne et écart type des paramètres phytoplanctoniques au droit de la centrale de Paluel en 2006

4.3.1 Biomasse chlorophyllienne

4.3.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle

Au cours de l'année 2006, les valeurs de chlorophylle s'échelonnent entre 0,75 $\mu\text{g/L}$ au point *référence* en septembre et 8,11 $\mu\text{g/L}$ au point *canal* en mars (figure 4.1). Ces valeurs mettent en évidence une forte différence de biomasse phytoplanctonique entre les campagnes de mars et celles de juin et septembre. La campagne de mars présente les plus fortes valeurs de l'année et celle de septembre les plus faibles, ce qui est habituel. Les faibles différences de valeurs observées en juin par rapport à septembre sont cependant peu fréquentes.

Une faible variabilité spatiale est mise en évidence en septembre. Au cours de la campagne de printemps, un gradient décroissant côte-large est observé. Lors de la campagne de juin, la concentration en chlorophylle du point *canal* se situe en dessous de celle observée au point *référence*.

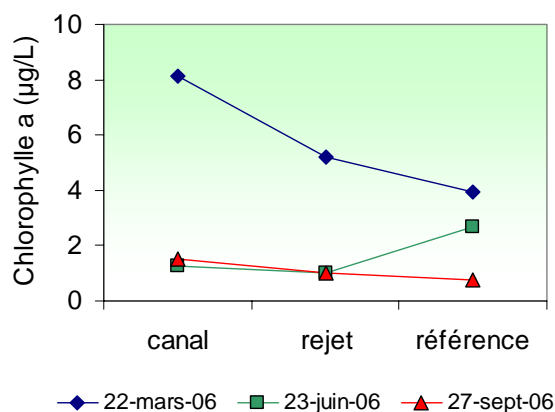


Figure 4.1 : Évolution de la concentration en chlorophylle au cours des trois campagnes de surveillance 2006

4.3.1.2. Variations inter-annuelles

Toutes les valeurs de chlorophylle enregistrées en 2006 se situent en dessus de celles de 2005. En mars, les concentrations en chlorophylle présentent des valeurs deux à trois fois supérieures à celles de 2005 (figure 4.2), elles mêmes déjà supérieures à celles de l'année 2004. Depuis neuf ans environ, et avec des oscillations inter annuelles, les concentrations enregistrées au mois de mars semblent être en augmentation. Tendence qui s'accélère depuis deux années.

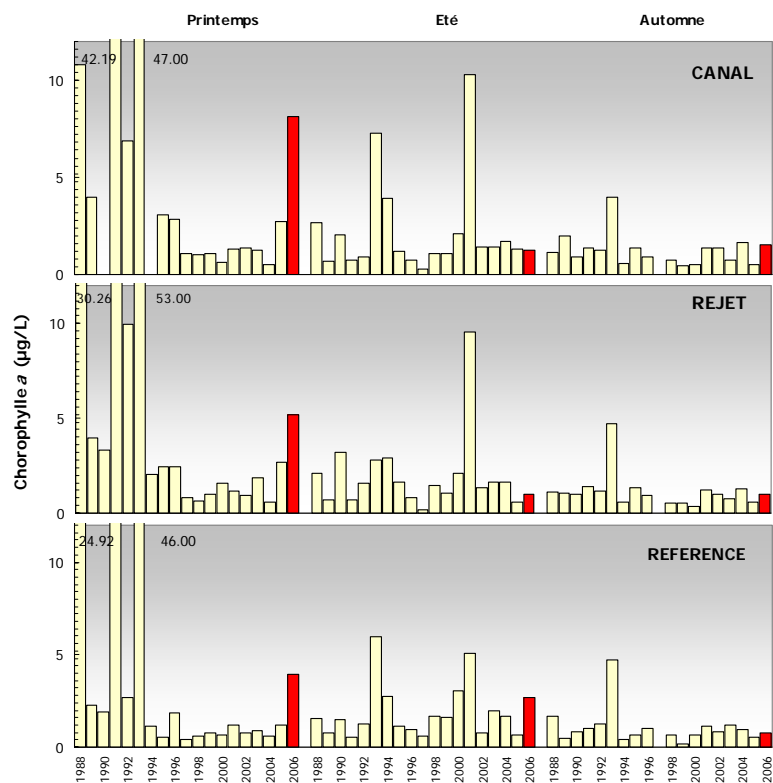


Figure 4.2 : Évolution de la chlorophylle de 1988 à 2006

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 l'efflorescence printanière.

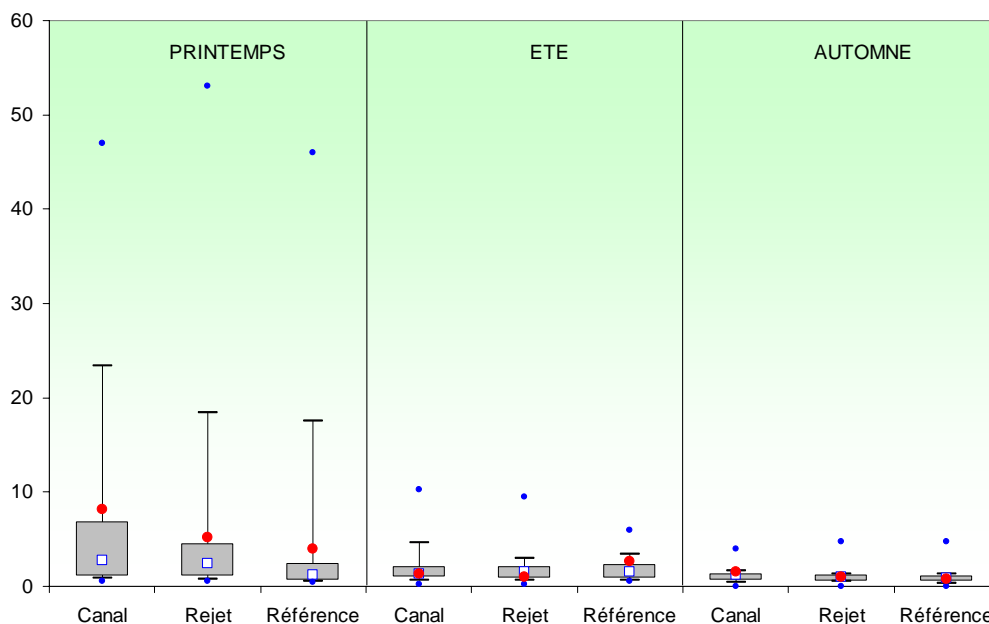


Figure 4.3 : Évolution de la chlorophylle de 1988 à 2006

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 2006 sont au-dessus des médianes, tandis qu'en juin et septembre, elles se situent proches de ces 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	0,758	0,360	0,223
RÉFÉRENCE / REJET	0,001	0,891	0,251
CANAL / RÉFÉRENCE	0,008	0,651	0,157

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

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

4.3.1.4. Approche par imagerie satellite

Le secteur géographique délimité entre le Cap d'Antifer et Saint Valéry-en-Caux présente des caractéristiques hydrologiques plus proches de celles observées au large que celles se situant dans la région côtière. Plus au sud, la baie de Seine exporte ses propriétés vers le nord grâce au fleuve côtier, mais la morphologie du trait de côte fait diverger ce flux. Plus au nord, en baie de Somme, la production phytoplanctonique démarre précocement et elle est exporté vers le sud dès le mois de février parfois, mais dépasse rarement la ville de Dieppe. Le phénomène d'isolement de ce secteur vient se renforcer par la courantologie locale, qui apporte des eaux du large grâce au gyre anticyclonique de la baie de Seine (figure 4.4-a).

Avec la chlorophylle, cette situation est perceptible par les images satellite, avec des eaux plus pauvre que celles adjacentes (figure 4.4-b), ce qui explique les faibles biomasses observées à Paluel par rapport à la centrale de Penly, situé quelques dizaines de kilomètres plus au nord-est.

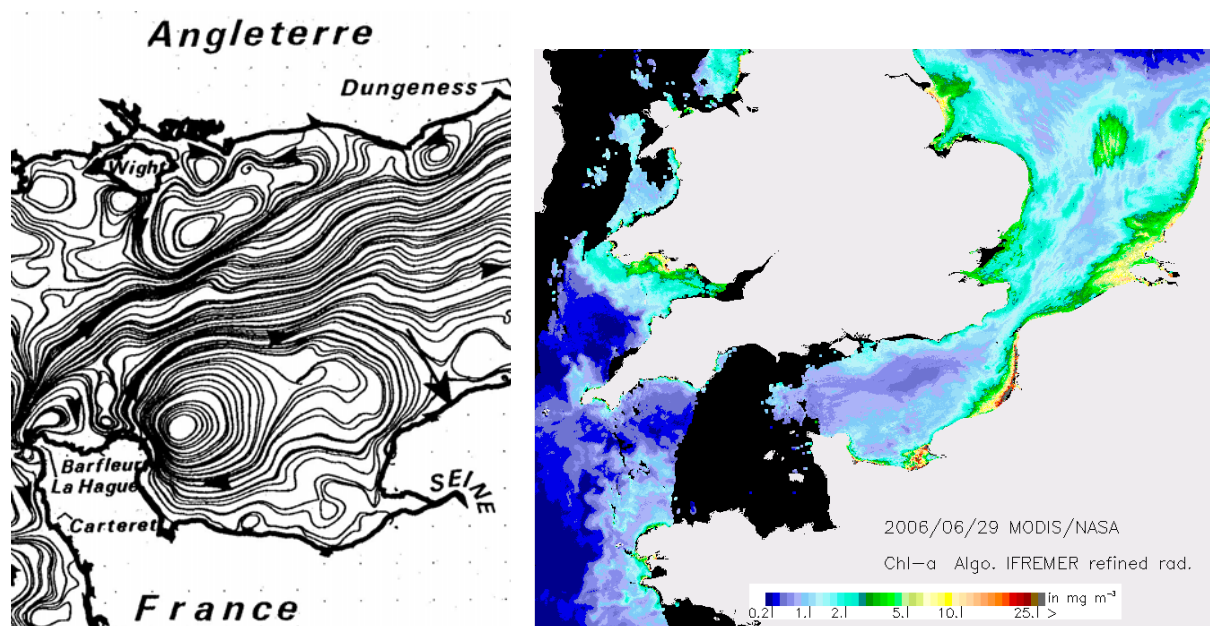


Figure 4.4 : a) Modélisation des courants résiduels dans le centre de la Manche, b) image satellite de la distribution de la chlorophylle de surface du 29/06/2006 (MODIS/IFREMER)

Les images satellite de la caméra MODIS sont acquises par la NASA quotidiennement et traitées par l'Ifremer en temps quasi réel. En 2006, nous observons que la chlorophylle dans la zone proche de Paluel ne met pas en évidence des efflorescences jusqu'au 10 février (figure 4.5-a). Il s'en suit une série d'images avec des fortes couvertures nuageuses, et le 6 mars, nous observons déjà un développement significatif autour de la baie de Somme (figure 4.5-b). Au 23 mars, la situation reste inchangée, mais dans l'image du 28 mars, le développement côtier est déjà perceptible face à Paluel (figure 4.5-c). Les prélèvements printaniers ont eu lieu le 27 mars. Cette situation perdure jusqu'à la mi avril, où nous observons une diminution de la concentration en chlorophylle (figure 4.5-d). Les images suivantes (e à j) montrent la progression et l'intensification de la chlorophylle au cours de l'été et de l'automne 2006.

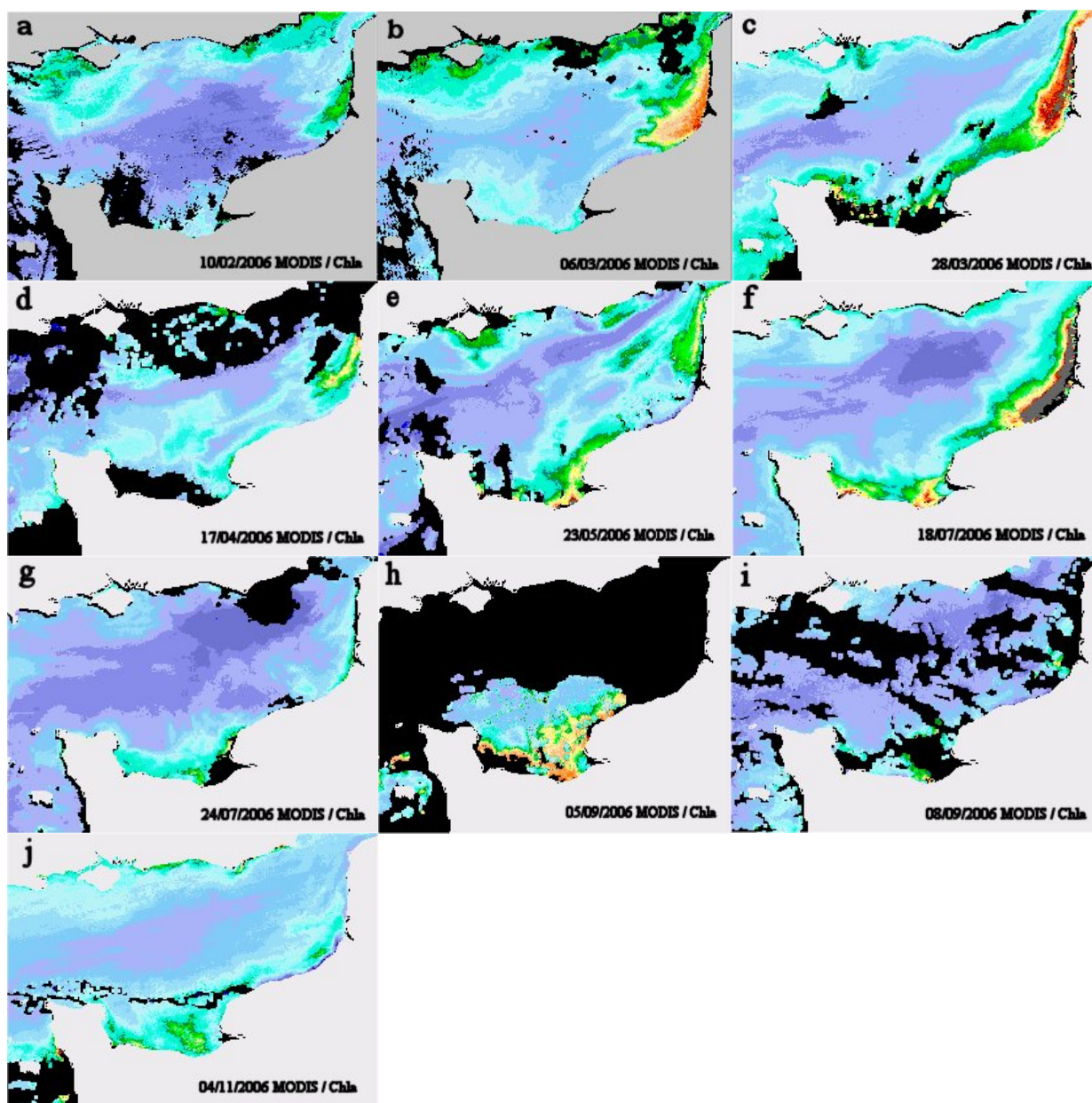


Figure 4.5 : Série d'images obtenues par la caméra MODIS et traitées avec l'algorithme Ifremer pour obtenir les concentrations en chlorophylle (Ifremer/Gohin 2006)

Cette diminution semble couvrir la période de la mi avril à la mi mai, où nous constatons dans l'image du 23 mai une nouvelle poussée côtière, vraisemblablement exporté par le fleuve côtier (figure 4.5-e). Cette activité très côtière se maintient, avec des fluctuations, jusqu'au 18 juillet (figure 4.5-f). Dans l'image du 24, celle-ci diminue (figure 4.5-g) pour rester stable jusqu'au 5 septembre, où nous apercevons un regain d'activité (figure 4.5-h). Le 8 septembre, les eaux bleus montrent à nouveau une diminution de la concentration en chlorophylle devant la centrale de Paluel (figure 4.5-i). Peu à peu les valeurs diminuent, et le 4 novembre, un développement modéré est aperçu dans les images (figure 4.5-j).

4.3.2 Production primaire

4.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la production primaire

Les valeurs mesurées en 2006 sont comprises entre 2,4 mg C/m³/h en septembre au point *rejet* et 18,0 mg C/m³/h en mars au point *canal* (figure 4.6).

L'allure de la figure 4.6. est similaire à celles de la chlorophylle (figure 4.1.), avec la même distribution spatio-temporelle.

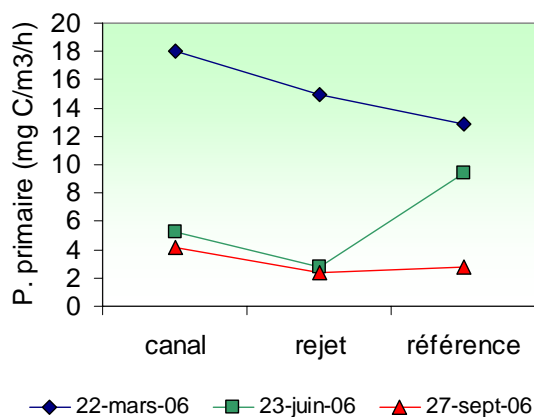


Figure 4.6 : Évolution de la production primaire lors des trois campagnes de surveillance de 2006

Ceci met en évidence encore une fois, la similitude dans l'évolution des paramètres : chlorophylle, production primaire et abondance cellulaire à l'intérieur du compartiment phytoplanctonique.

4.32.2. Variations inter-annuelles

Au printemps, toutes les valeurs observées en 2006 sont supérieures à celles enregistrées en 2005 (figure 4.7) avec des écarts de l'ordre du double ou triple. En été et en automne, les valeurs obtenues oscillent autour de celles observées en 2005. Depuis cinq années, nous observons une augmentation des valeurs de production primaire au printemps, tandis que la tendance s'inverse, ou reste stable, pour les campagnes menées en juin et septembre.

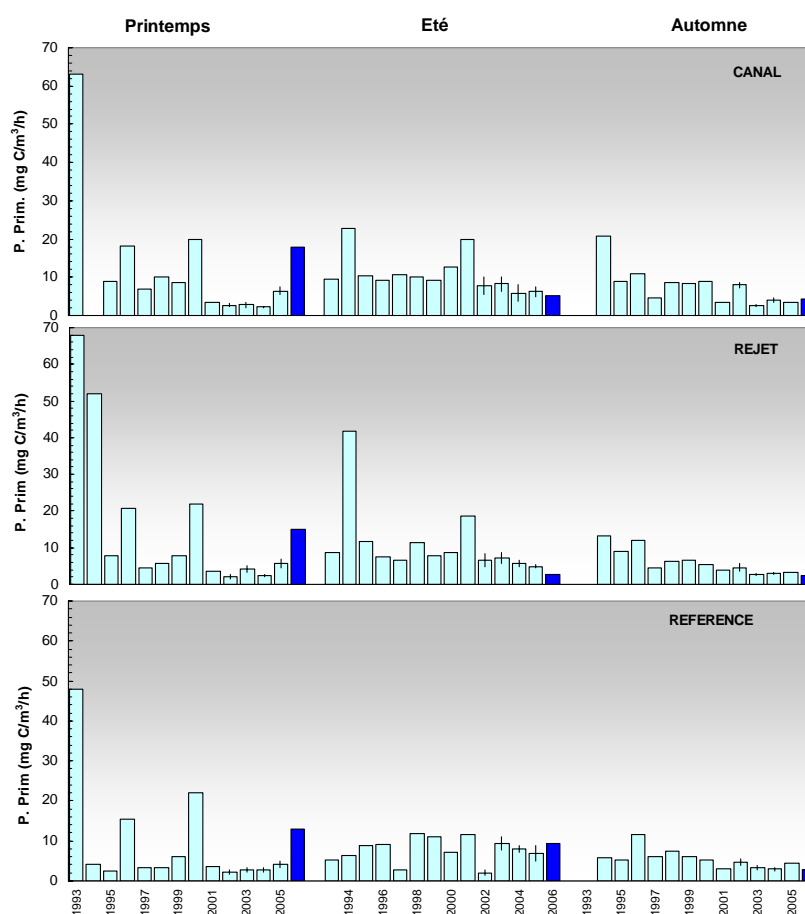


Figure 4.7 : Évolution de la production primaire de 1993 à 2006

Tout comme pour la biomasse chlorophyllienne, la dispersion des valeurs observées en mars est supérieure à celle observée en juin et septembre (figure 4.8). L'ensemble de valeurs de production primaire de mars 2006 se trouvent au-dessus des valeurs des médianes pluriannuelles, tandis qu'aux mois de juin et septembre, elles sont proches ou en dessous des médianes. Des valeurs extrêmement basses ont été enregistrées cette année. Les valeurs observées aux points *canal* et *rejet*, au mois de juin, et celles des points *rejet* et *référence* en septembre, ont constitué le minimum absolu de la série 1988-2006. Un gradient décroissant côte-large est observé pour les médianes de production primaire sur les trois campagnes.

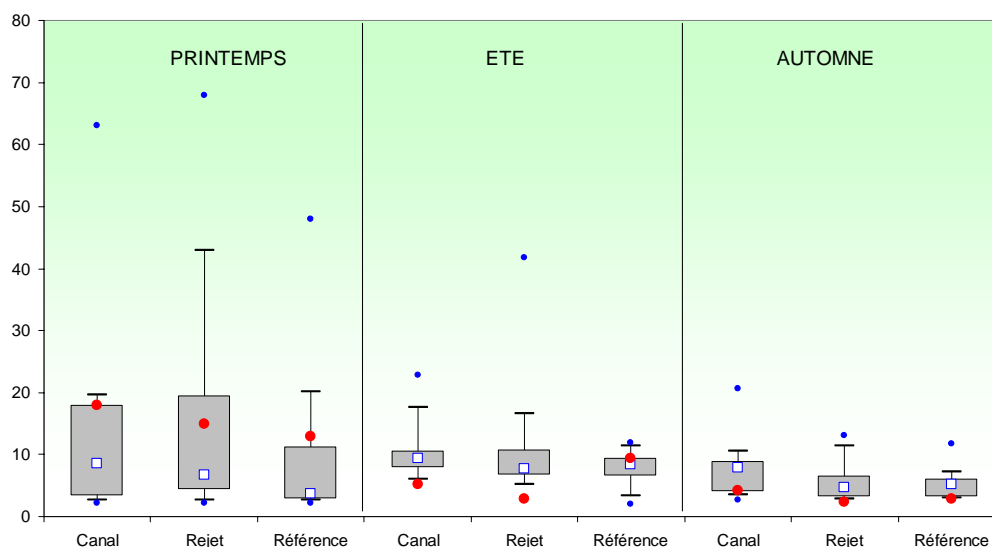


Figure 4.8 : Évolution de la production primaire de 1993 à 2006

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

Au printemps et en automne, le test du couple de points *canal-référence* a présenté des valeurs de la probabilité associée p , inférieures au seuil, bien que proches de celui-ci. Au printemps, le couple de points *référence-rejet* présente aussi une différence significative. (tableau 4.3).

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,885	0,104	0,021
RÉFÉRENCE / REJET	0,006	0,426	0,946
CANAL / RÉFÉRENCE	0,017	0,092	0,040

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 2006 sont présentés sur la figure 4.9 ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre de cellules par litre. Les plus fortes abondances de surface sont observées au point *référence* en mars avec 279 000 cellules/L et les plus faibles sur le point *canal* en septembre, avec 18 200 cellules/L. Le point *référence* à mi profondeur, enregistrait 437 600 cellules/L au mois de mars.

A l'exception du sens du gradient observée au mois de mars, l'allure de la figure 4.9 est très semblable à celles déjà mises en évidence pour la chlorophylle et la production primaire. La différence de sens du gradient en mars peut s'expliquer par une plus forte abondance de petites cellules au point *référence*. Nous avons alors une forte abondance, mais avec des faibles biomasses.

Au point *référence* les différences d'abondance entre la surface et la mi profondeur ont été significatives au mois de mars. En septembre et juin, les valeurs entre les deux niveaux d'échantillonnage ont été très proches.

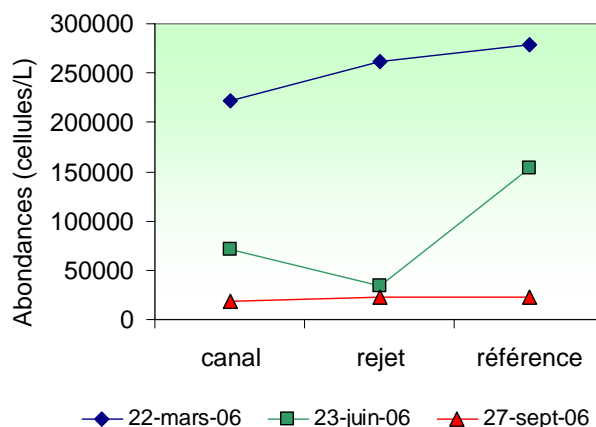


Figure 4.9 : Abondances du microphytoplancton au cours de l'année 2006

Il reste difficile de comparer l'abondance avec les autres paramètres, car celui-ci ne caractérise pas entièrement la biomasse phytoplanctonique. Comme nous venons de voir, un peuplement composé de nombreuses petites cellules peut présenter de fortes biomasses. Cependant nous constatons que les trois paramètres suivis présentent les mêmes allures et tendances.

4.3.3.2. Variations inter-annuelles

Les abondances cellulaires enregistrées depuis 1993 sont présentées sur la figure 4.10. Les valeurs obtenues au printemps et à l'automne 2006 sont supérieures à celles observées en 2005. En juin 2006, les abondances enregistrées sur les points *canal* et *rejet* restent inférieures à celles de 2005, tandis que la valeur du point *référence* est supérieure.

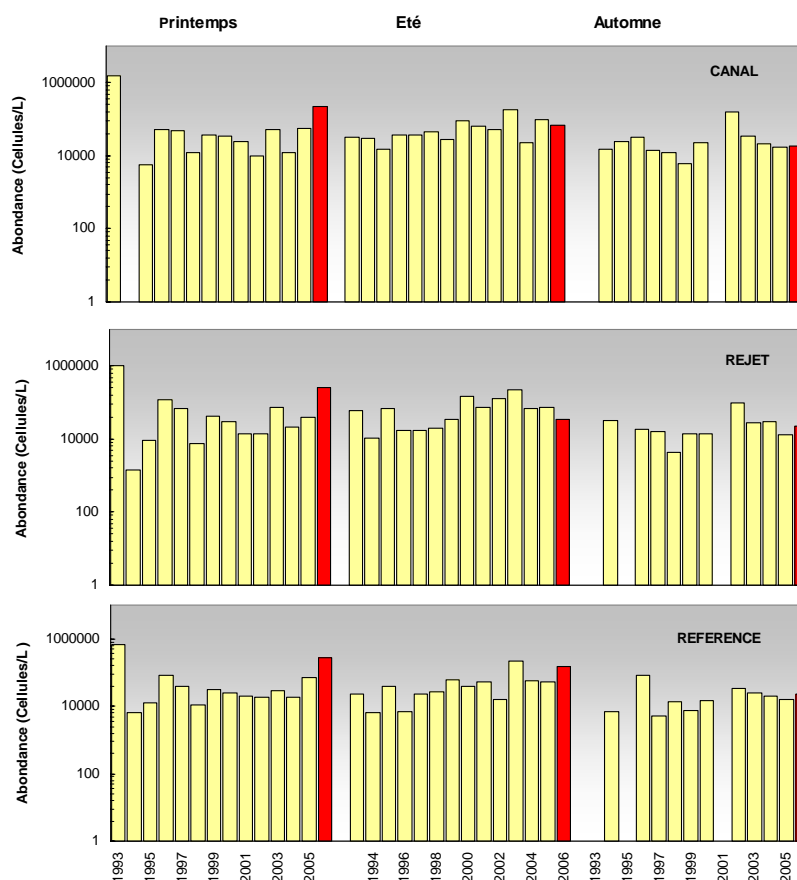


Figure 4.10 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1993 à 2006

Suivant le schéma déjà mis en évidence pour la chlorophylle et la production primaire, l'abondance phytoplanctonique présente les plus fortes dispersions au printemps (figure 4.11).

Sur l'ensemble de points, les valeurs 2006 se trouvent au dessus des médianes, sauf pour les points *rejet* en été et *canal* en automne, où les abondances ont été proches 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 2006, nous n'observons pas les tendances des médianes de la série 1993-2006. 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*.

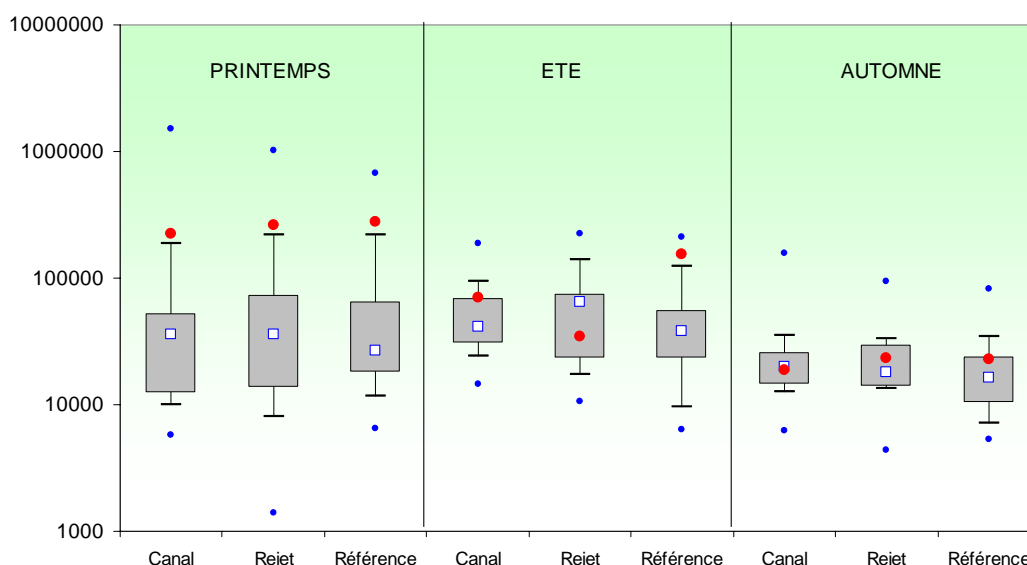


Figure 4.11 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1993 à 2006

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 1993-2006.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,455	0,233	0,700
RÉFÉRENCE / REJET	0,451	0,124	0,365
CANAL / RÉFÉRENCE	0,944	0,760	0,278

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 2006

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 2006 a été répartie en 4 grands groupes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2006, environ 60 taxons (taxons et 'classes algales') ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 90 % de la communauté microphytoplanctonique, et peuvent atteindre une proportion de 100 % (tableau 4.5).

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANKTON				TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés			
IGA 2006-1	canal	222400	0	0	0	222400	0	100
IGA 2006-1	rejet	261800	0	0	0	261800	0	100
IGA 2006-1	ref surf	278100	450	0	450	279000	0	100
IGA 2006-1	ref 1/2 prof.	436000	0	0	1600	437600	0	100
IGA 2006-2	canal	69500	900	0	0	70400	1	99
IGA 2006-2	rejet	33200	1200	0	0	34400	1	96
IGA 2006-2	ref surf	149900	3200	0	0	153100	2	98
IGA 2006-2	ref 1/2 prof.	151800	3200	0	0	155000	2	98
IGA 2006-3	canal	17400	600	200	0	18200	3	94
IGA 2006-3	rejet	22600	800	0	0	23400	3	97
IGA 2006-3	ref surf	20800	1400	800	0	23000	6	90
IGA 2006-3	ref 1/2 prof.	18800	1600	100	0	20500	8	92

Tableau 4.5: Abondances des principales classes algales pour l'année 2006

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 19 000 cellules/L et 169 700 cellules/L. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nanophytoplanctonique. Lors de la campagne de septembre, 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 %
		RHZ	MELO	NITZ	CHAE	THAL	SKEL	BIDD	ASTEGLA	THAANIT	GUIN	
IGA 2006-1	canal	0	1	0	5	47	37	1	7	0	0	98
IGA 2006-1	rejet	1	2	0	4	64	16	2	4	0	0	93
IGA 2006-1	ref surf	0	0	0	3	59	20	0	14	0	0	96
IGA 2006-1	ref 1/2 prof.	0	0	0	9	49	21	0	19	0	0	98
IGA 2006-2	canal	63	0	1	0	0	0	0	0	0	18	82
IGA 2006-2	rejet	68	0	1	1	1	0	0	0	0	6	77
IGA 2006-2	ref surf	60	0	2	0	0	0	0	0	0	21	83
IGA 2006-2	ref 1/2 prof.	65	1	0	0	0	0	0	0	0	23	89
IGA 2006-3	canal	0	4	21	0	32	3	7	0	4	0	71
IGA 2006-3	rejet	5	9	8	2	38	0	19	0	0	0	81
IGA 2006-3	ref surf	3	4	33	14	18	6	7	0	0	0	85
IGA 2006-3	ref 1/2 prof.	2	2	15	6	22	11	15	0	0	0	73

Clefs : **Rhiz** : *Rhizosolenia* ; **Melo** : *Melosira* ; **Thal** : *Thalassiosira* ; **Chae** : *Chaetoceros* ; **Skel** : *Skeletonema costatum* ; **Thaanit** : *Thalasionema nitzschoides* ; **Plag** : *Plagiotogramma* ; **Nitz** : *Nitzschia* ; **Bidd** : *Biddulphia*

Tableau 4.6 : Abondances des principaux genres de diatomées pour l'année 2006

Les principales espèces dénombrées en 2006 sont les suivantes :

Mars 2006 : les genres et espèces dominants au printemps sont *Thalassiosira* (47 % à 64 %), *Skeletonema* (16 % à 37 %), *Asterionella glacialis* (4 % à 19 %) et *Chaetoceros* avec des dominances qui ont variée de 3 % à 9 % (tableau 4.6 et figure 4.12). Les espèces de *Thalassiosira* les plus fréquemment observées ont été *Thalassiosira gravida* et *T. levanderii*.

Les dinoflagellés ont été pratiquement absents pendant cette campagne printanière. Les autres classes algales n'ont été que peu représentées avec un maximum de 1200 cellules/L du silicoflagellé *Dichtyoca* sp. au point *référence* à mi profondeur. Des faibles quantités de chlorophycées sont également présentes aux points *canal* et *rejet*.

Les cryptophycées ont présenté un gradient décroissant côte-large, avec des abondances de 88 200 cellules/L au point *canal* et 24 700 cellules/L au point *référence* en surface. Une abondance de 123 400 cellules/L est cependant observée au même point *référence* à mi profondeur.

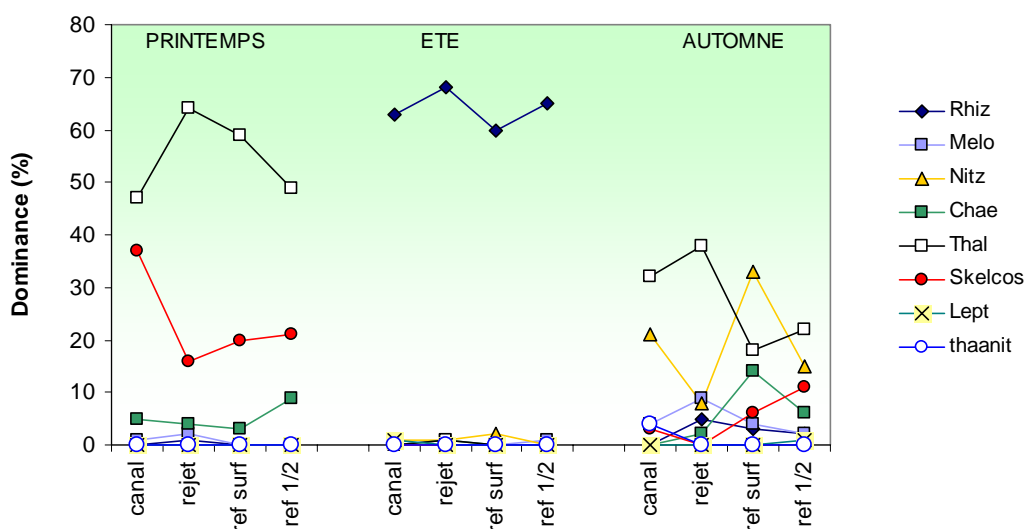


Figure 4.12 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2006

Juin 2006 : les genres le plus représentés parmi les diatomées sont, *Rhizosolenia* avec des dominances comprises entre 60 % et 68 %, *Guinardia flaccida* (6 % à 23 %), *Pseudo-Nitzschia* sp. (8 % à 9 %), et des faibles dominances, inférieures à 2 %, de *Melosira*, *Nitzschia*, *Chaetoceros* et *Thalassiosira*. L'espèce du genre *Rhizosolenia* la plus fréquemment observée est *R. delicatula*, qui présente à elle seule, des dominances de 34 % à 54 %. 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 dinoflagellés ont présenté au maximum d'abondance de 3200 cellules/L au point *référence*. Un gradient croissant côte-large est mis en évidence lors de cette campagne estivale.

Sur la fraction nanophytoplanctonique, les cryptophycées présentent un gradient croissant côte-large, avec une abondance de 83 300 cellules/L au point *canal* et 153 100 cellules/L au point *référence*.

Septembre 2006 : les genres les plus observés en septembre sont *Thalassiosira* (18 % à 38 %), *Nitzschia* sp. (8 % à 33 %), *Biddulphia* sp. (dont le genre *Odontella*) avec des dominances de 7 % à 19 %, *Chaetoceros* (0 % à 14 %) et *Skeletonema costatum* (0 % à 11 %). Des dominances inférieures à 10 % sont également observées pour les genres *Rhizosolenia*, *Melosira*, *Pseudo-Nitzschia*, *Thalassionema*, *Navicula* et *Leptocylindrus*.

Pendant ce mois de septembre les dominances de dinoflagellés varient de 3 % à 8 %, cette dernière valeur étant observée au point *référence* à mi profondeur, où l'abondance est de 1 600 cellules/L. Les espèces de dinoflagellés les plus observées en septembre sont *Gymnodinium* sp., *Gyrodinium* sp. et *Prorocentrum* sp.

Les euglénophycées ont été présentes dans tous les points, sauf au *rejet*. Leur abondance a variée entre 100 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 4.13 représente l'évolution de cet indice pour l'ensemble des campagnes menées en 2006.

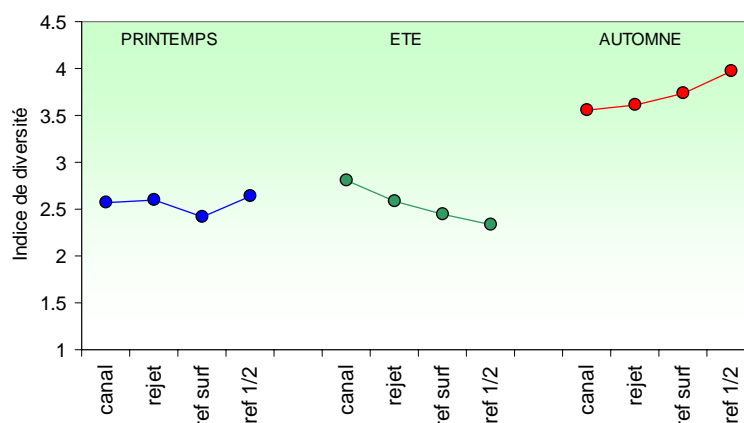


Figure 4.13 : Distribution de l'indice de diversité de Shannon pour l'année 2006

La diversité microphytoplanctonique présente le minimum en mars juin avec des valeurs comparables et contraste avec la plus forte diversité observée en septembre, où les genres phytoplanctoniques ont été plus homogènes.

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 2006 pour les paramètres chlorophylle, production primaire et abondance phytoplanktonique, les valeurs obtenues sont présentées au tableau 4.7. Une valeur positive exprime un déficit au point *rejet* par rapport au point *canal*.

(%)	<i>Chlorophylle a</i>	<i>Production primaire</i>	<i>microphytoplankton</i>
22 MARS	36	17	-17
23 JUIN	20	46	51
27 SEPTEMBRE	35	43	-21

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

La chlorophylle et la production primaires, présentent des valeurs positives, donc un déficit au point rejet par rapport au point canal. Le microphytoplankton présente un déficit uniquement au mois de juin.

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).

4.5. Conclusion

La biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances cellulaires montrent une évolution annuelle similaire. Le cycle phytoplanktonique annuel, avec des biomasses comprises entre 0,75 et 8,11 $\mu\text{g/L}$, correspond au cycle classiquement décrit en Manche. Les valeurs observées en mars, plus fortes que les dernières années, sont cependant en accord avec la situation printanière classique.

Les concentration en azote inorganique ont été proches des médianes pluriannuelles sur les deux premières campagnes 2006. Cette situation a néanmoins conduit à des valeurs de biomasse et de production primaire inférieures aux médianes pluriannuelles en été.

Les dénombrements microphytoplanktoniques 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 du genre *Rhizosolenia*, avec une diversité spécifique

similaire à celle du mois de mars. 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 présentes avec des valeurs de jusqu'à 133 600 cellules/L. Les eaux chargées en matériel détritique lors de la campagne de septembre rend cependant 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 2006.

5. Le Zooplancton

Analyses et rédaction : *Jean-Michel Brylinski (ULCO),
Dorothee Vincent (ULCO).*

Prélèvements : *Virginie Antoine (LERN),
Jean côme Piquet (LER PC),
Sylvaine Françoise (LERN),
Vincent Justome (LERN),
Laure Lamort (LERN),
Jérôme Letellier (LERN),
Olivier Pierre-Duplessix (LERN).*

Statistiques : *Luis Lampert (LERN).*

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 2006, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 22 mars, 23 juin et 27 septembre. A chaque campagne, trois points sont étudiés. Ces points sont les suivants :

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

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

La méthodologie permettant d'obtenir la biomasse (poids sec) est celle décrite dans le recueil de techniques utilisées pour l'étude écologique des sites des centrales nucléaires sur les cotes françaises de Manche et Atlantique (IFREMER DERO-86.24-EL).

5.2.2. Systématique

L'échantillon à analyser est homogénéisé par brassage mécanique après l'extraction d'éléments grossiers (débris végétaux, etc...). Le fractionnement est réalisé avec une pipette de grosse capacité (10 ml) selon l'abondance des taxa et le volume de l'échantillon. Le comptage peut être total. Les espèces de grande taille (Chaetognathes, Cténares...) sont comptabilisées sur l'ensemble de l'échantillon. Un survol de l'échantillon total est par ailleurs effectué afin de repérer d'éventuelles espèces rares qui pourraient être indicatrices.

Tous les dénombrements s'effectuent avec une loupe binoculaire (zoom 8 - 80 x) en éclairage diascopique.

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclut notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), Faune de France des copépodes pélagiques (Rose, 1933).

5.3. Résultats

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2006 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 5.1 :

	PARAMETRES	CANAL	REJET	RÉFÉRENCE
22 MARS 2006	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	15,0	11,6	5,1
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	4 243	1 801	3 540
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	407	1 027	88
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	4 650	2 828	3 628
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	4,05	3,16	1,34
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	0,57	0,51	0,25
23 JUN 2006	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	25,5	67,3	88,7
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	1325	2117	9757
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	7 885	25 622	53 768
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	9 210	27 739	63 525
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	8,14	18,77	31,92
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	1,95	4,23	7,72
27 SEPTEMBRE 2006	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	3,9	27,0	13,4
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	140	324	136
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	5 363	5 974	16 109
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	5 503	6 298	16 245
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	1,17	6,26	3,80
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	0,26	0,21	0,89

Tableau 5.1 : Récapitulatif des résultats pour 2006 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 2006

Au cours de l'année 2006, les valeurs de la biomasse zooplanctonique s'échelonnent entre $3,9 \text{ mg}/\text{m}^3$ au point *canal* en septembre, et $88,7 \text{ mg}/\text{m}^3$ au point *référence* en juin (figure 5.1).

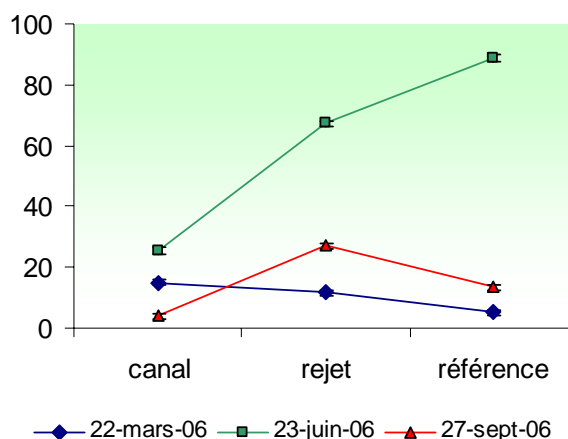


Figure 5.1 : Évolution de la biomasse (poids sec en mg/m^3) au cours des trois campagnes de surveillance 2006

En 2006 aux trois points la biomasse est systématiquement la plus élevée en juin ($25,5$ à $88,7 \text{ mg}/\text{m}^3$), période de développement maximum du zooplancton. Contrairement à 2005, où la biomasse était systématiquement la plus faible en septembre, en 2006 elle est la plus faible en mars aux points *rejet* et *référence*.

On observe un gradient croissant de biomasse (x 3,5) vers le large en juin, mais décroissant en mars. En septembre le maximum de biomasse est relevé au point *rejet*.

Seule la campagne de mars montre une plus forte biomasse au point *canal* qu'au point *rejet*.

Les échantillons '*canal*' et '*rejet*' récoltés au filet présentent en mars de nombreux débris végétaux (de quelques mm) qui faussent la mesure en tant qu'estimation de biomasse zooplanctonique. Il en va de même pour les échantillons de juin, très riches en exuvies (carapaces vides) de balanes.

Par ailleurs, 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 (figures 5.2 et 5.3)

Au printemps 2006, la biomasse est légèrement plus forte qu'en 2005 au point *canal* (+ 24%), mais nettement plus faible aux points *rejet* (-66 %) et *référence* (- 49%). Toutefois, pour le point *référence*, les valeurs observées en 2006 sont du même ordre de grandeur que celles relevées de 2001 à 2003.

En été, seul le point *rejet* présente une baisse de biomasse (-29 %) alors que les points *canal* et *référence* présentent une augmentation (+18 % et +26 %).

En automne 2006, 15 jours plus tard qu'en 2005, les trois points de prélèvement présentent une biomasse mesurée nettement plus élevée qu'en 2005 (+34 %, +206% et +211 %).

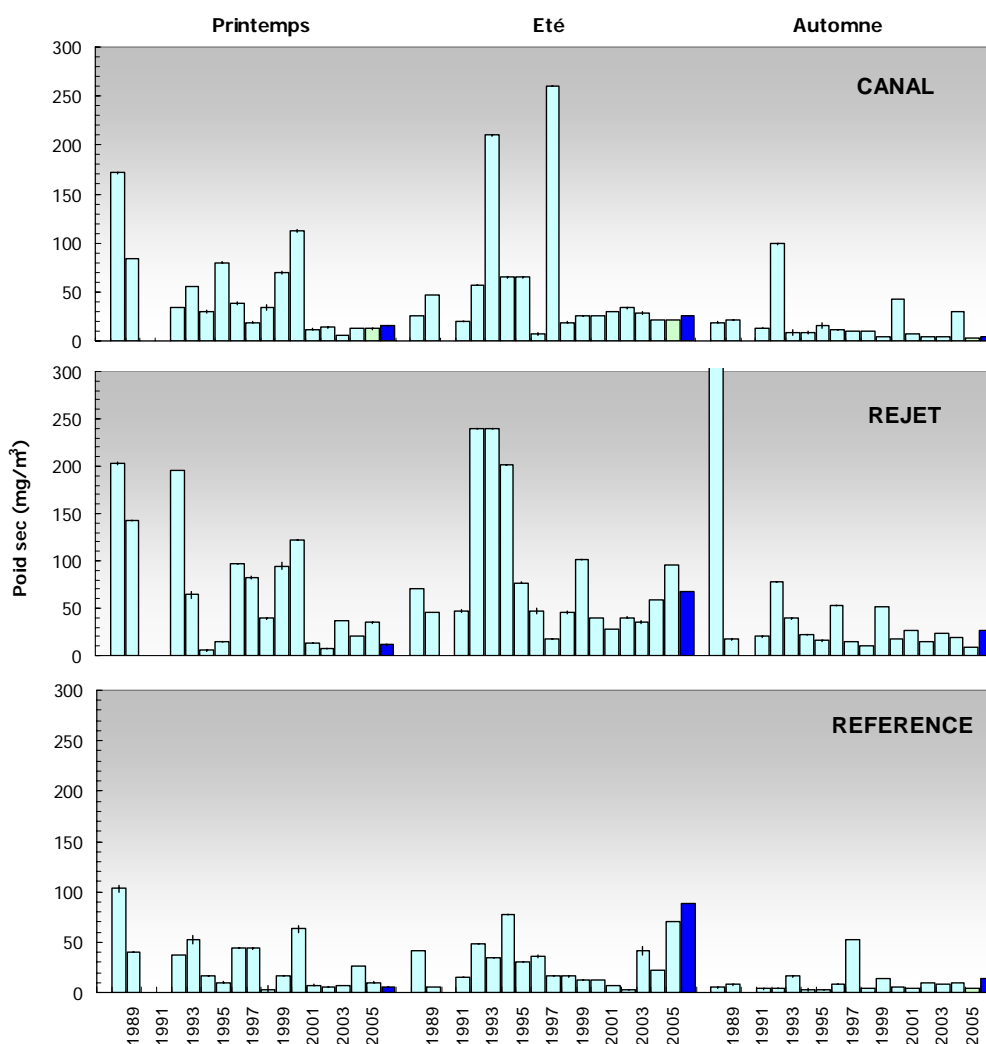


Figure 5.2 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1988 à 2006

L'analyse des données de biomasse sur plusieurs années montre qu'en général la biomasse la plus élevée est observée au point *rejet*, suivi par ordre décroissant des valeurs de biomasse du point *canal* et du point *référence*. En 2006, cependant, on mesure une biomasse maximale au point *référence* en été, et des valeurs supérieures au point *référence*, en été et automne, à celles mesurées au point *canal*.

Les valeurs de biomasse observées au printemps 2006 sont proches des valeurs minimales de la série temporelle. Elles sont relativement proches de la médiane en automne et été sauf au point *référence* en été où la valeur de 2006 correspond au maximum pour la série (figure 5.3).

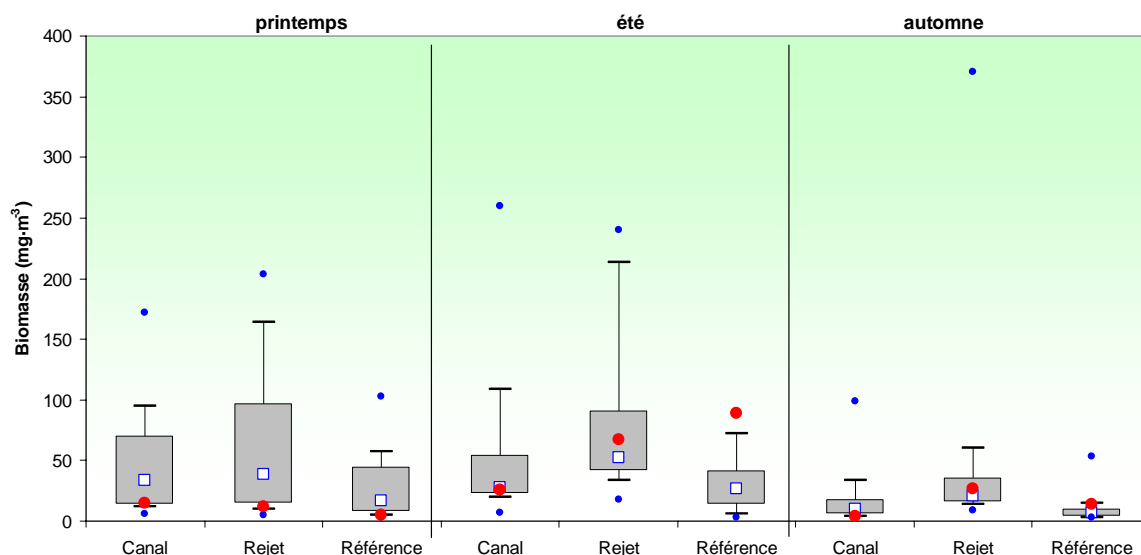


Figure 5.3 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1988 à 2006

5.3.1.3. Approche statistique

Les tests effectués sur les valeurs printanières montrent l'existence de différences entre les trois points d'échantillonnage. La différence *canal/référence* n'est significative qu'au printemps. Le point *rejet* est significativement différent des deux autres points.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,031	0,005	0,037
RÉFÉRENCE / REJET	0,002	0,003	0,001
CANAL / RÉFÉRENCE	0,021	0,347	0,184

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

Tableau 5.2 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la biomasse de 1988 à 2006

5.3.2. Abondances zooplanctoniques

Les dénombrements et l'identification des espèces zooplanctoniques complètent l'information quantitative de la biomasse. L'analyse qualitative de cette biomasse en embranchements et jusqu'aux espèces, permet d'accéder à leur distribution spatio-temporelle et de rechercher une éventuelle influence de l'activité de la centrale sur ces populations.

5.3.2.1. Variations spatiales et temporelles en 2006

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2006 sont présentés sur la figure 5.4. ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre d'individus par 10m^3 d'eau de mer.

Les abondances globales sont comprises entre 2 828 et 9 210 ind./ 10m^3 , sauf en juin où elles atteignent 27 739 ind./ 10m^3 au point *rejet* et jusqu'à 63 525 ind./ 10m^3 au point *référence* (tableau 5.4).

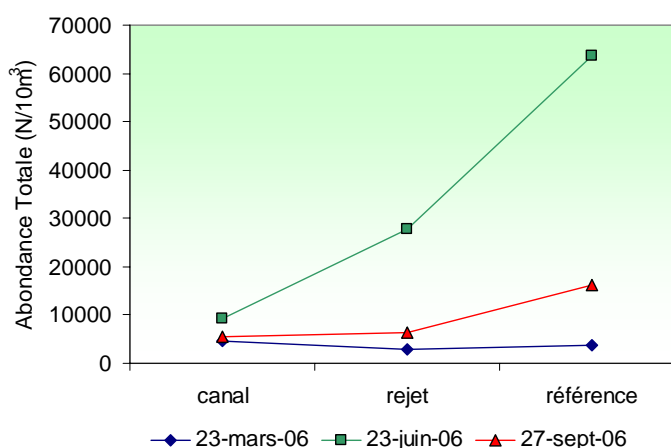


Figure 5.4 : Évolution de l'abondance zooplanctonique totale au cours des trois campagnes de surveillance 2006

Il existe un gradient d'abondance croissant *côte-large* (*canal/rejet/référence*) en juin et septembre. En mars, la valeur est minimale au *rejet*. Cette évolution globalement liée à celle de la biomasse. Cependant, les pesées portent sur toutes les particules présentes dans les filets, y compris non planctoniques (cf. 5.3.1.1). Par ailleurs, de fortes abondances d'une espèce de petite taille peuvent générer des faibles biomasses et, inversement, une faible abondance d'organismes de grande taille peut représenter une grosse partie de la biomasse. Par exemple, les fortes biomasses de juin au point *référence* peuvent être partiellement liées (outre les très fortes abondances de copépodes) aux fortes abondances des larves de crustacés décapodes anomoures, de taille relativement importante.

5.3.2.2. Variations interannuelles (figures 5.5 et 5.6)

Les valeurs d'abondances zooplanctoniques au printemps sont moyennes à faibles pour la série, comme déjà indiqué pour les valeurs de biomasse. Elles sont en augmentation relative en automne avec plus qu'un doublement des effectifs au point *canal* (5 503 ind./ 10m^3 pour 2 284 ind./ 10m^3 en 2005) et au point *référence* (16 245 ind./ 10m^3 pour 7 366 ind./ 10m^3 en 2005). En été, les valeurs sont en augmentation : elles sont dans les valeurs hautes de la série annuelle aux points *canal* (9 210 ind./ 10m^3) et *rejet* (27 739 ind./ 10m^3). Au point *référence*, pour la deuxième année consécutive, la valeur 2006 est la valeur d'abondance maximale (63 525 ind./ 10m^3) pour la série temporelle (figure 5.6).

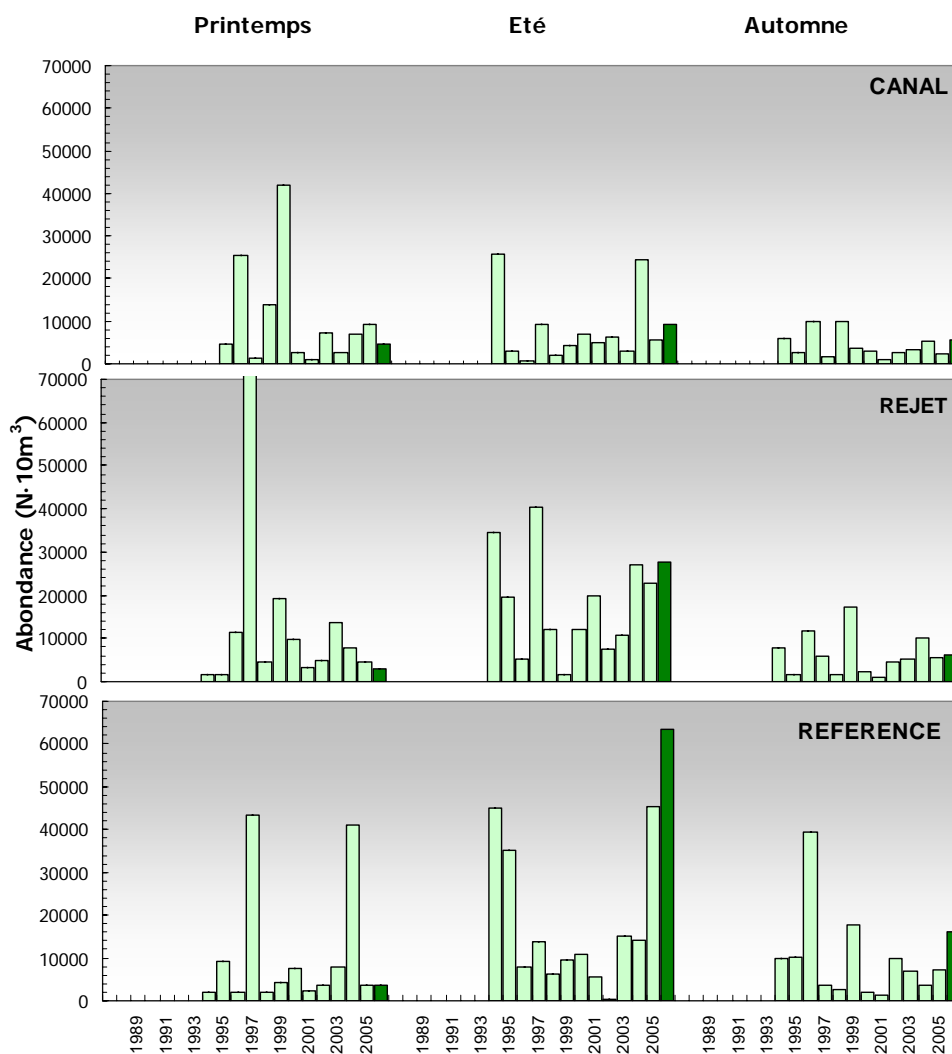


Figure 5.5 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1994 à 2006

Les plus fortes dispersions de valeurs de la série 1994-2006 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*.

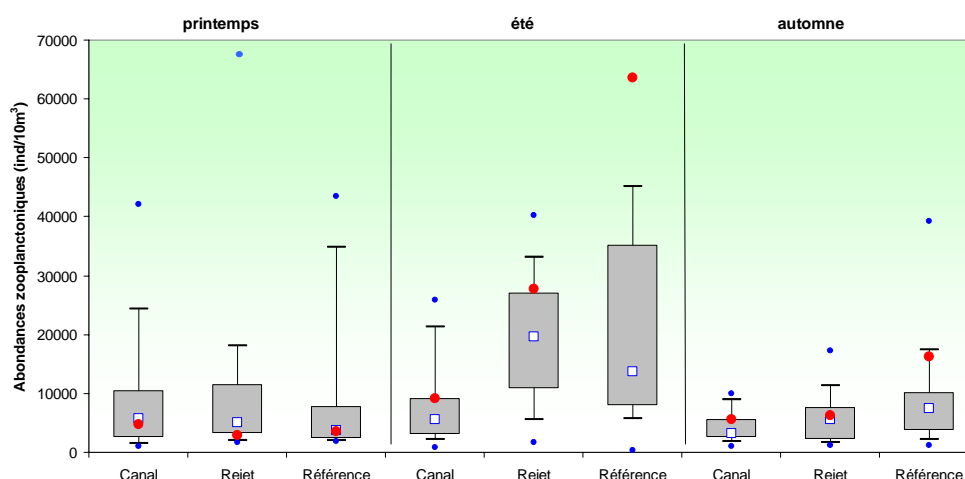


Figure 5.6 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1994 à 2006

5.3.3.3. Approche statistique (tableau 5.3)

Les tests statistiques du tableau 5.3 montrent qu'il n'y a pas de différences entre les points d'échantillonnage au printemps sur le long terme. En été, les couples *canal/rejet* et *canal/référence* présentent des différences significatives, en raison des pics d'abondance observés fréquemment pour les points *rejet* et *référence* (cf. figure 5.5). Une différence significative apparaît entre *canal* et *référence* à l'automne en raison probablement des pics d'abondance zooplanctonique réguliers observés sur le point référence depuis 1994.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,622	0,001	0,069
RÉFÉRENCE / REJET	0,168	0,613	0,080
CANAL / RÉFÉRENCE	0,911	0,029	0,027

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

Tableau 5.3 : Probabilité associée p des tests statistiques sur les abondances de 1994 à 2006

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, cténares, 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 benthiques errantes (crabes, annélides...) ou fixées : 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 (64-98% du plancton total) pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques, alors que l'holoplancton domine en été (85-92%) et en automne (95-99%) (figure 5.7).

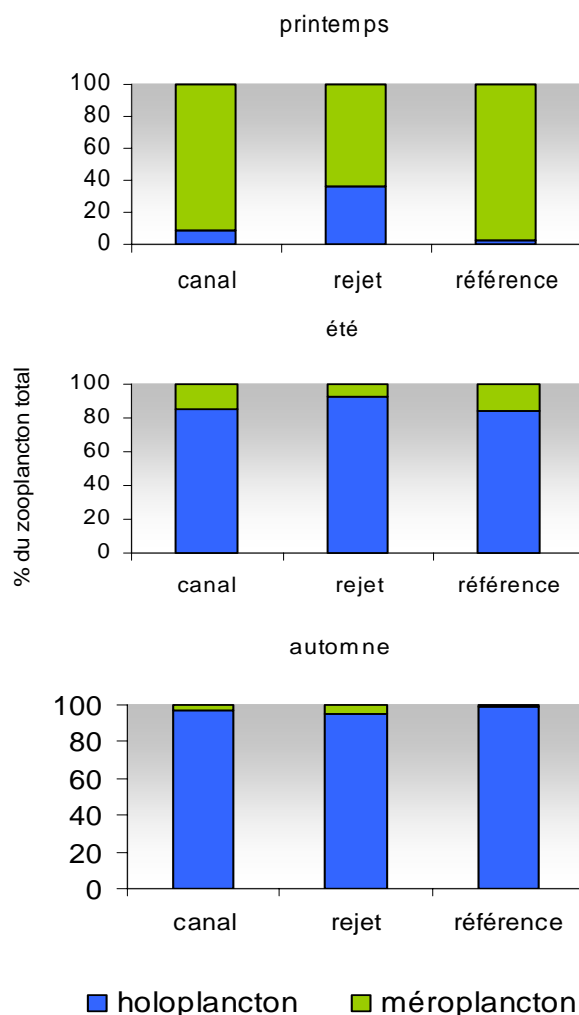


Figure 5.7 : Répartition des dominances de l'holoplancton et du méroplancton dans le zooplancton total en 2006

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 98 % de l'holoplancton en 2006) sont des constituants essentiels du zooplancton. Leur dominance globale peut dépasser 90 % (point *rejet* en été et aux trois points en automne). Cette dominance globale peut diminuer fortement au printemps jusqu'à atteindre moins de 3 % au point *référence* en raison de l'émission massive des larves de cirripèdes (balanes) au printemps. En juin, ce sont les larves de mollusques qui dominent le méroplancton (plus de 80 %).

Abondance zooplankton (N.·10m ⁻³)	23-mars-06						23-juin-06						29-sept.-06					
	Canal		Rejet		Référence		Canal		Rejet		Référence		Canal		Rejet		Référence	
	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%
holoplancton																		
total Cténaïres							25		190	1	62							
total Chaetognathes							6						19		57	1	65	
total Cladocères																		
total Mysidacés	6	1	4		0										16			
total Copépodes	401	99	1022	100	88	100	7771	99	25289	99	52966	99	5153	96	5872	98	15853	98
total Appendiculaires			2				83	1	143	1	741	1	191	4	29		191	1
total holoplancton	407	9	1027	36	88	2	7885	86	25622	92	53768	85	5363	97	5974	95	16109	99
meroplancton																		
total Cnidaires							51	4	143	7	185	2	6	4				
total Annélides	34	1	9								34	0	13	9	6	2		
total larves de Cirripèdes	4203	99	1778	99	3530	100	32	2					45	32	216	67		
Amphipodes									10						7	2	3	2
Isopodes	6		2															
Cumacés							13	1										
Euphausiacés																		
larves Natantia							25	2					13	9			11	8
larves Thalassinideae																		
larves d'Anomoures							13	1	60	3	1049	11					11	8
larves Brachyours			5		3		76	6	105	5	62	1	13	9			5	4
larves de Mollusques							1070	81	1762	83	8303	85	45	32	101	31	82	60
Cyphonautes Bryozoaires							6											
Tétards d'Ascidiés																		
Téléostéens (Œufs)			4		4		6				62	2						
Téléostéens (Alevins et larves)			4		1				48	2								
total méroplancton	4243	91	1801	64	3540	98	1325	14	2117	8	9757	15	140	3	324	5	136	1
total zooplankton	4650		2828		3628		9210		27739		63525		5503		6298		16245	

Tableau 5.4 : Dominance des principaux groupes zooplanctoniques à Paluel en 2006

5.3.3.2. Variations spatio-temporelles des principaux taxons en 2006

L'holoplancton

L'holoplancton est essentiellement composé de copépodes qui en représentent toujours plus de 96 %, ceci aux trois dates prospectées. Ce groupe est essentiellement complété par les appendiculaires (juin, septembre), les cténaïres (juin), et les chaetognathes (septembre).

- Les copépodes (figures 5.8 et 5.9)

Les minimums d'abondance des copépodes ont été relevés au printemps, aux trois points d'échantillonnage, avec des valeurs très faibles, en particulier au point *référence* (88 ind./10m³ contre 1 514 ind./10m³ en 2005). Au cours de l'année 2006, 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* (25 289 ind./m³) et *référence* (52 966 ind./m³; figure 5.8).

Le nombre de copépodes augmente classiquement du printemps vers l'été, pour ensuite redescendre à des valeurs intermédiaires au mois de septembre.

Il existe en général un gradient d'abondance croissant vers le large pour les copépodes, sauf au printemps, et sauf en général pour l'espèce côtière *Euterpina acutifrons*.

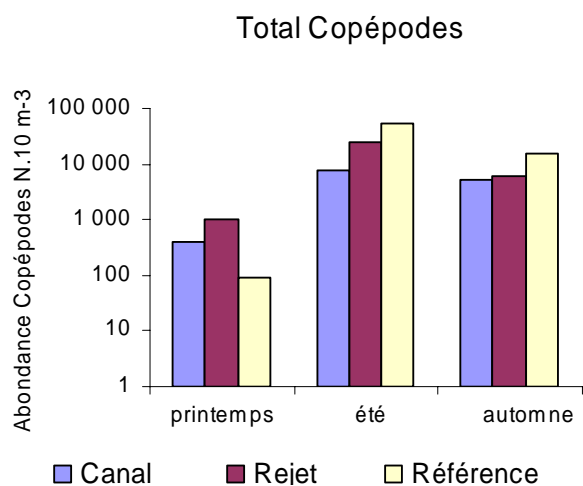


Figure 5.8 : Abondance des copépodes en 2006 au CNPE de Paluel (échelle logarithmique)

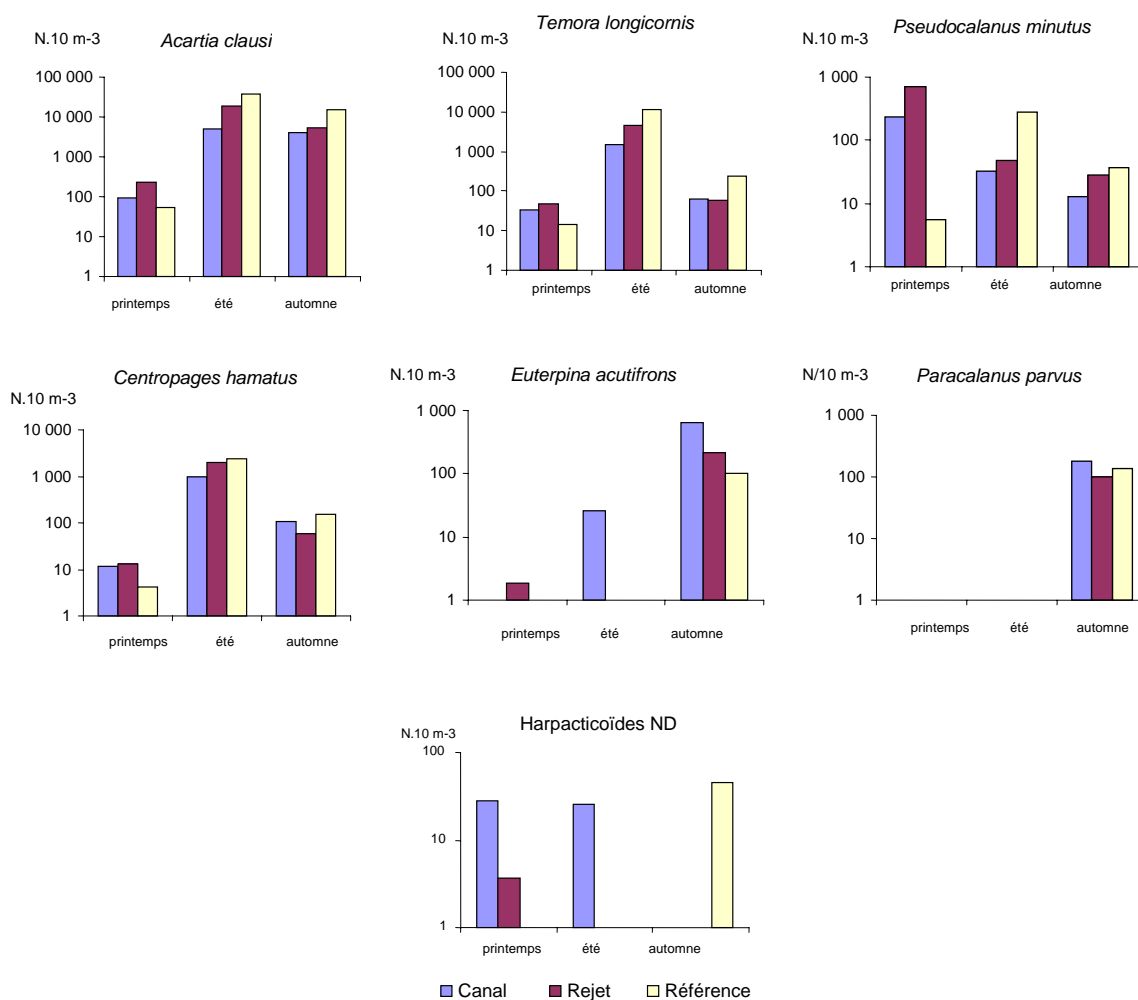


Figure 5.9 : Distribution des principales espèces de copépodes en 2006 (échelle logarithmique)

Temora longicornis

Les plus fortes valeurs d'abondance sont observées lors de la campagne de fin juin au point *référence* avec 11 729 ind./10m³ et au point *rejet* avec 4 429 ind./10m³. Comparativement, la valeur relevée au point *canal* apparaît faible, avec 1 471 ind./10m³. Les valeurs nettement plus faibles relevées en septembre et surtout mars (245 et 14 ind./10m³) 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 *référence* (38 613 ind./10m³) et *rejet* (18 667 ind./10m³). Elle est encore bien présente fin septembre en début d'automne (15 136 ind./10m³ 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 2 315 ind./10m³. Elle est très faiblement représentée début septembre où la valeur maximale atteint seulement 154 ind./10m³ 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 *canal* de la mission de septembre avec 637 ind./10m³. Un fort gradient d'abondance est alors observé décroissant vers le large avec 100 ind./10m³ au point *référence*. (NB : ce gradient était inverse en 2005, révélant ainsi les bonnes capacités natatoires de ce petit copépode à courtes antennes).

Paracalanus parvus

Absente en mars et juin, cette espèce typiquement automnale présente son maximum en septembre, avec 136 ind./10m³ au point *référence*. Les abondances sont très voisines aux trois points, avec un minimum de 101 ind./10m³ au point *rejet*.

Pseudocalanus minutus

Cette espèce est la première à se développer au printemps. Elle affiche un maximum de 718 ind./10m³ au point *rejet* le 17 mars. Encore présente en juin (278 ind./10m³ au point *référence*), elle est faiblement représentée fin septembre sur tous les points.

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 (contrairement à *Euterpina acutifrons*, harpacticoïde pélagique).

- Les appendiculaires (figure 5.10)

Représentés par *Oikopleura dioïca*, ils sont présents sur l'ensemble des points en été et automne. Le maximum est relevé au point référence en juin (741 ind./10m³). Ils sont pratiquement absents au début du printemps, et représentés par l'espèce *Fritillaria borealis* (2 ind./10m³ relevés au point *rejet*).

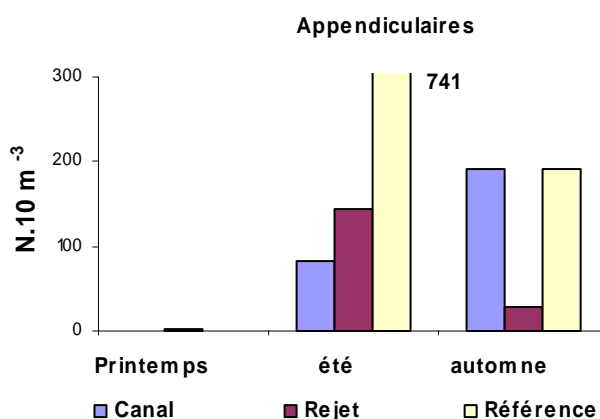


Figure 5.10 : Abondances des appendiculaires dans les eaux de la CNPE de Paluel en 2006

- Les cténaires

Ils sont présents uniquement en juin, avec *Pleurobrachia pileus*, qui présente un maximum au point *rejet* (143 ind./10m³). Cette espèce côtière printanière, à apparition brusque, est susceptible de colmater les filtres rotatifs. L'espèce *Beroe cucumis* (prédateur de *P. pileus*) a également été relevée en juin au point *rejet* (48 ind./10m³).

Le méroplancton

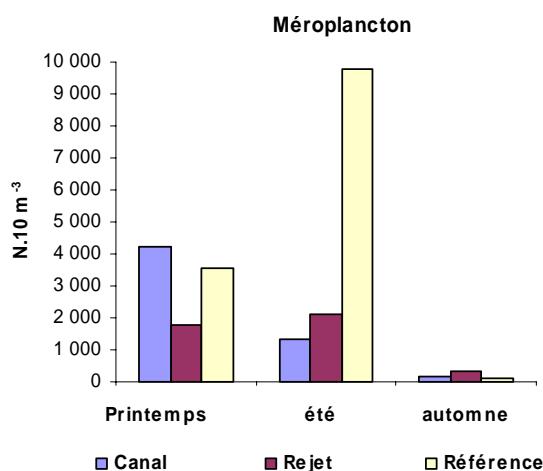


Figure 5.11 : Abondance du méroplancton en 2006 dans les eaux de la CNPE de Paluel

Le méroplancton, essentiellement composé de larves pélagiques d'espèces benthiques, apparaît dans le plancton lors de leur période de reproduction. Il est donc essentiellement présent au cours de la campagne printanière avec un maximum de 4 243 ind./10m³ au point *canal* où il représente jusqu'à 91 % du plancton total, et surtout 9 757 ind./10m³ fin juin au point *référence* (15 % 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 petite taille, elles ne représentent pas une biomasse élevée.

Les larves de cirripèdes (stade *nauplii*) représentent une part essentielle du méroplancton en mars : 99 % au point *canal* avec 4 203 ind./10m³, voire presque 100 % avec 3 530 ind./10m³ au point *référence*. Quelques larves sont relevées fin juin, et fin septembre aux points côtiers.

Rappelons que de nombreuses exuvies (ancienne carapace après la mue de croissance) d'adultes ont été relevées en juin, en particulier aux points *canal* et *rejet*.

- Larves de brachyours (crabes)

Elles sont présentes lors des trois campagnes de l'année, mais surtout en juin avec un maximum de 105 ind./10m³ observée au point *rejet*, ce qui représente 5 % du méroplancton.

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

Surtout présentes en juin, le maximum est observé au point *référence* avec 1 049 ind./10m³ où elles représentent 11 % du méroplancton.

Bien que relativement peu abondantes dans le plancton global, les larves de crustacés supérieurs peuvent représenter, de par leur taille, une biomasse non négligeable. Elles apportent une contribution certaine aux fortes valeurs relevées en juin 2006 au point *référence* (cf. paragraphes 5.3.1.1 et 5.3.2.1).

- 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 62 ind./10m³. 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* en mars. 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 (22 mars) est réalisée en pleine période d'émission larvaire. Les concentrations maximales (faibles) sont obtenues au point *canal* (34 ind./10m³). Une valeur de 34 ind./10m³ est relevée en juin (*référence*), et une présence ponctuelle d'autres espèces en septembre.

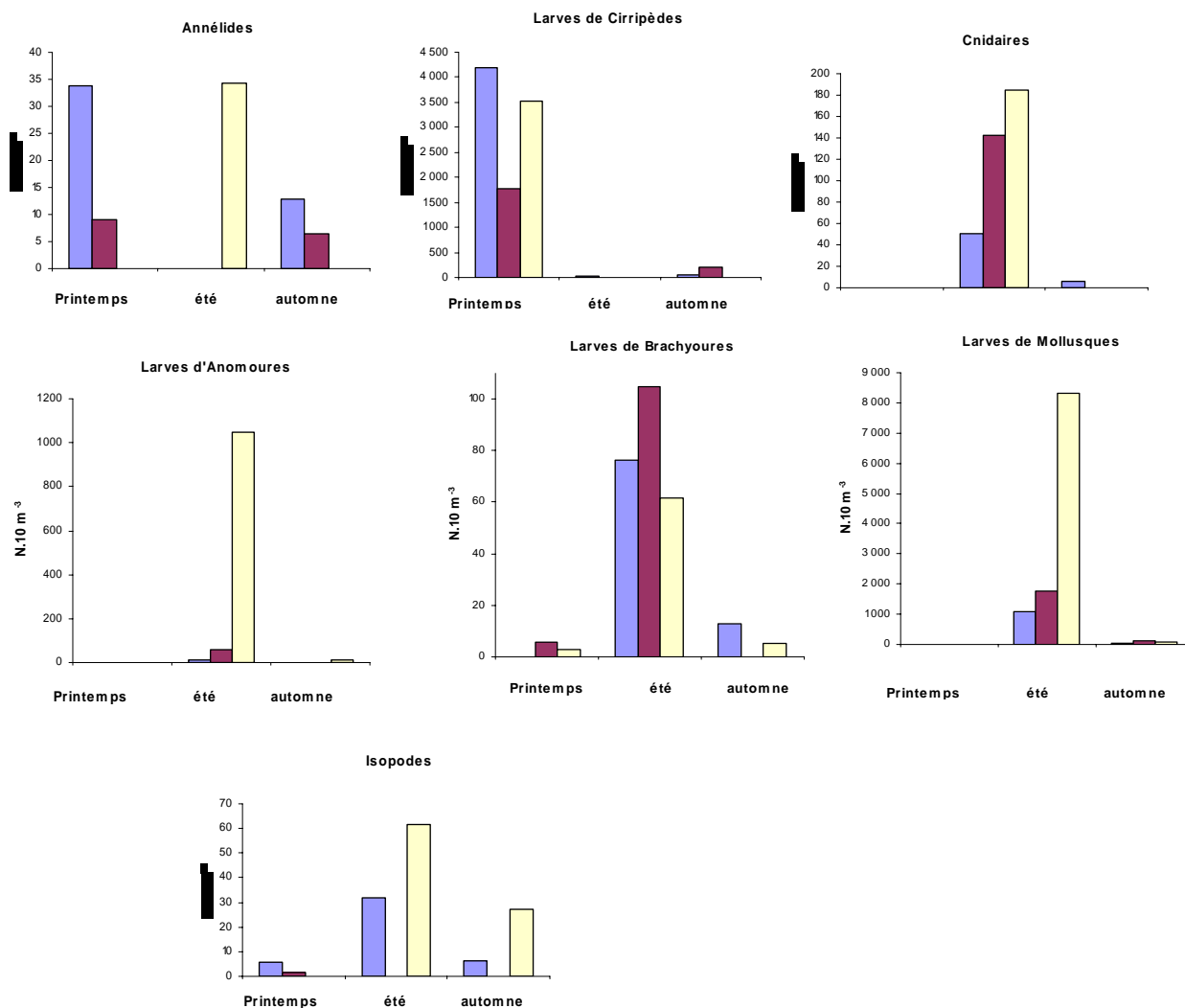


Figure 5.12 : Abondances méroplanctoniques en 2006 dans les eaux du CNPE de Paluel

- Embranchement des **mollusques**

Essentiellement représentés par les larves de gastéropodes, leur maximum est atteint lors de la campagne du mois de juin avec 8 272 ind./10m³ au point *référence*. Lors de cette campagne estivale, leurs dominances dans le méroplancton ont été de 81 % au point *canal*, à 85 % au point *référence*. Cette dominance reste assez élevée également en automne (60 % au point *référence*).

- Embranchement des **cnidaires** (hydrozoaires, actinies, méduses)

Absentes en mars, les petites méduses (< 1 cm) sont présentes en juin avec un gradient *côte-large* marqué. La gamme de variation d'abondance s'étend à cette période de 51 à 185 ind./10m³ entre les points *canal* et *référence*. De très faibles effectifs sont enregistrés par la suite en septembre (6 ind./10m³ au point *canal*).

5.4. Bilan entre *canal* et *rejet*

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

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

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

En utilisant les données acquises en 2006 pour les deux paramètres précités, les valeurs obtenues sont les suivantes (tableau 5.6) :

(%)	<i>Biomasse</i>	<i>Abondance</i>
22 MARS	- 23	39
23 JUIN	- 164	- 201
27 SEPTEMBRE	- 597	- 14

Tableau 5.6 : Bilan des deux paramètres étudiés entre les points *canal* et *rejet* en 2006

A l'exception du bilan d'abondance positif observé en mars (diminution d'abondance), nous trouvons des excédents de biomasse et d'abondance au point *rejet* sur les trois campagnes réalisées en 2006.

Sauf à considérer un broyage des organismes dans le système de refroidissement, les valeurs devraient être comparables, aux erreurs de comptage près, puisque aucune création de biomasse ne peut avoir lieu. Ces augmentations sont probablement dues à la méthodologie employée.

Pour ce qui est des abondances, ces différences peuvent aussi s'expliquer par deux phénomènes, l'un de caractère spatial et l'autre temporel : premièrement, les caractéristiques de la masse d'eau analysée au *rejet* peuvent résulter du mélange des eaux ayant transité dans la centrale (point *canal*) et des eaux côtières de type point *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.

Concernant la mesure de biomasse, en réalité mesure de particules en suspension, rappelons que ces particules sont constituées bien sûr de plancton mais peut-être aussi de matières remises en suspension par les turbulences du canal de rejet, ce que montre assez systématiquement l'examen des échantillons.

5.5. Conclusions

Les valeurs de biomasse observées sont proches des valeurs minimales de la série au printemps. Elles sont relativement proches de la médiane en automne et été sauf au point *référence* en été où la valeur 2006 correspond au maximum pour la série. La médiane pluriannuelle au point *rejet* reste la plus élevée pour tous les points sur l'ensemble des campagnes depuis 1988.

Les abondances sont plutôt faibles au printemps 2006 pour la série pluriannuelle, mais elles sont plus élevées que la médiane de la série en automne et en été. La plus forte abondance zooplanctonique est enregistrée fin juin au point *référence* (au large) ; elle correspond alors à la valeur maximale jamais relevée pour la série temporelle sur l'ensemble des différents points.

On note un découplage quasiment systématique entre les résultats des tests comparatifs inter points d'une part sur les données de biomasse (tableau 5.2.) et d'autre part sur les données d'abondances (tableau 5.3).

L'holoplancton est principalement dominé par les copépodes qui en représentent toujours plus de 96 % lors des trois missions. Les copépodes dominants sont dans l'ordre : *Acartia clausi*, *Temora longicornis*, *Centropages hamatus*, *Pseudocalanus minutus*, *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 tous les points en automne). Cette dominance globale peut diminuer jusqu'à moins de 10 % en mars, avant leur période d'abondance, en raison de l'apparition temporaire et massive des larves de cirripèdes (balanes) et d'annélides.

Au printemps 2006 (comme en 2004 mais contrairement à 2005), la faune zooplanctonique est fortement dominée par le méroplancton (jusqu'à 98 % à comparer aux 58 % de 2005), essentiellement constitué de cirripèdes. Lors de la campagne de fin juin, l'essentiel de la biomasse méroplanctonique est constituée de larves de mollusques gastéropodes, et pour partie de larves de crustacés décapodes. Au mois de septembre, bien qu'en plus faible abondance, ce sont également d'une part les larves de mollusques, et d'autre part les cirripèdes à la côte et les larves de crabes au large, qui ont présenté les plus fortes dominances.

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

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

6. Le Benthos Subtidal

Rapport et prélèvements

*Dominique Davoult (Université Paris VI)
Station Biologique de Roscoff – UMR 7144 AD2M,*

*Aline Migné (Université Paris VI)
Station Biologique de Roscoff – UMR 7144 AD2M.*

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 stations échantillonnées à 7, des réplicats (4) effectués à certaines de ces stations permettant de vérifier la stabilité et l'homogénéité de ces peuplements. Cette stratégie a été mise en oeuvre en 1984, 1985, 1986, 1988 et 1990.

En 1992, à notre demande, le protocole de prélèvement a été modifié compte tenu de la forte homogénéité des réplicats depuis 1984, de la stabilité de la zone du large (cailloutis au point 29, Davout, 1990) et des fortes variations constatées à certains points côtiers (moulière). Le suivi a maintenant lieu chaque année, ceci afin de mieux comprendre les fluctuations quelquefois importantes observées en certains points : les 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 représentatif des fluctuations de la moulière (49°52'10 N, 0°35'20 E) ;
- Le point 2, situé sur les cailloutis du large et quelquefois 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 ont été effectués jusqu'en 2005 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). Aucun recrutement de moules n'ayant plus été observé depuis 1990 et les populations de Tuniciers paraissant stables depuis plusieurs années, il a été proposé de supprimer ces prélèvements intermédiaires, prélèvements qui se faisaient hors arrêté interministérielle.

Cette année, les campagnes se sont déroulées en mai pour la période printanière et en octobre pour la période automnale (Tableau 6.1).

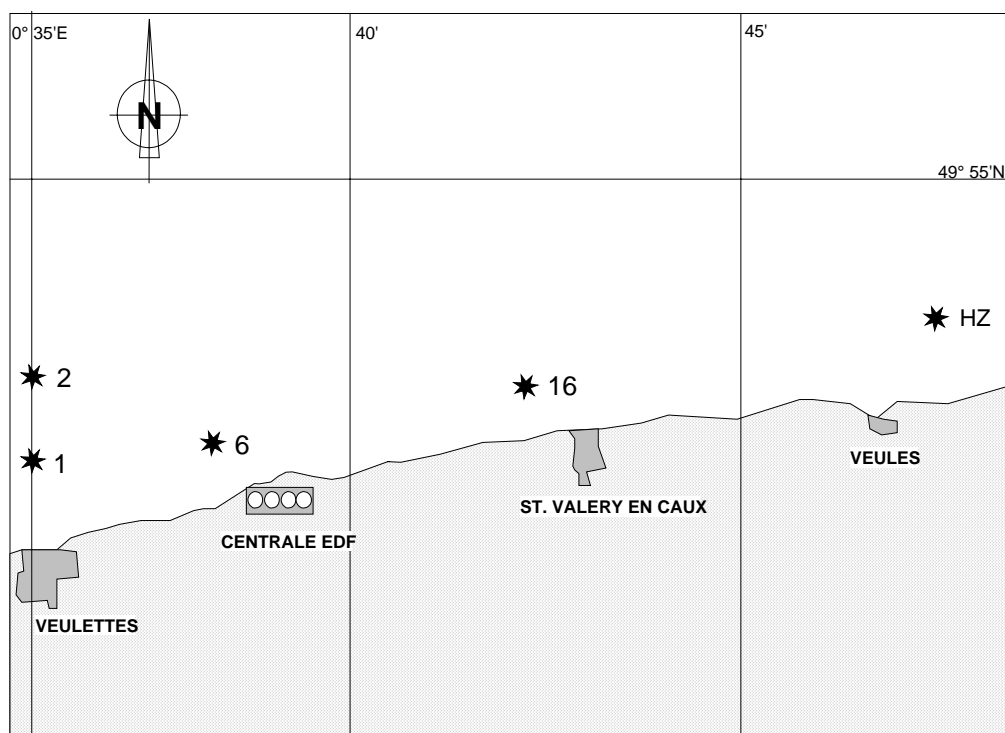


Figure 6.1 : points échantillonnées en 2006

Dates	Points échantillonnés
14 mai 2006	1, 2, 6, 16 et H.Z.
13 octobre 2006	1, 2, 6, 16 et H.Z.

Tableau 6.1 : Calendrier des campagnes en 2006

6.2 . Méthodologie

6.2.1. Travail à la mer

Les prélèvements sont réalisés à partir du *N/O Sepia II* à la drague Rallier du Baty et 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

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	0.03	0.07	0.24	0.09	2.17	97.40
Point 2	0.00	0.02	0.05	0.13	0.04	3.18	96.55
Point 6	0.00	0.12	0.44	0.95	0.39	7.40	90.70
point 16	0.01	1.31	30.13	52.58	12.29	2.88	0.80
Point H.Z.	0.03	2.98	33.68	32.40	8.94	12.09	9.88

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

	P	SF	SM	SG	GF	GG	C
Point 1	0.01	0.05	0.10	0.30	0.19	4.92	94.41
Point 2	0.00	0.02	0.03	0.03	0.04	8.04	91.82
Point 6	0.00	0.41	0.93	2.01	1.98	18.18	76.67
point 16	0.00	4.56	75.73	16.74	1.00	0.51	2.05
Point H.Z.	0.00	3.30	25.66	37.24	10.35	19.43	3.90

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 2005), le sédiment est dominé par les cailloutis (de 92 à 97 % 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) : ce point ne constituait donc plus un élément intermédiaire au sein d'un gradient sédimentaire côtier, mais appartenait avec les points 1 et 2 à une zone de cailloutis. En 2002, cette tendance avait été partiellement remise en cause au printemps puisque le sédiment était de nouveau dominé par les sables (dont 34 % de sables grossiers) et ne contenait plus que 14 % de cailloutis. En automne, le sédiment était de nouveau dominé par les cailloutis (52 % du poids total du sédiment) mais plus faiblement que les années précédentes. Depuis 2003, les cailloutis représentent de nouveau plus de 80 % du poids total du sédiment. Cette année, les cailloutis représentent respectivement 91 et 77 % du poids total du sédiment au printemps et en automne. Le point 6 peut donc être rattaché avec les points 1 et 2 au domaine des cailloutis.

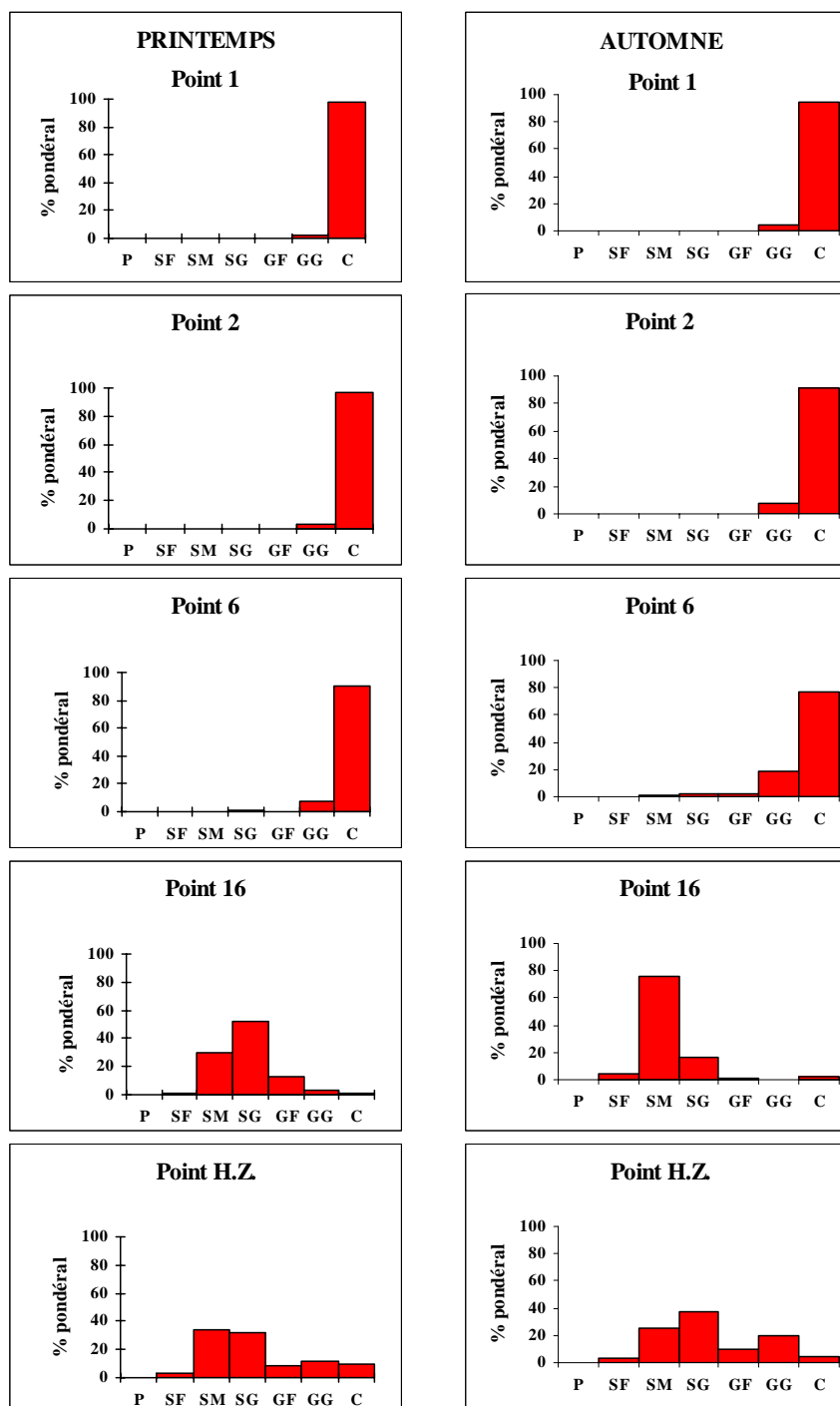


Figure 6.2 : Analyse granulométrique

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 %). En 2005, les cailloux étaient rares (< 2 % du poids total du sédiment), les sables moyens dominaient en automne (58 %) et les sables grossiers au printemps (57 %). Cette année, les cailloutis restent très

minoritaires (respectivement 0,8 et 2,1 % du poids total du sédiment au printemps et en automne), les sables grossiers (52,6 %) dominent au printemps et les sables moyens (76 %) en automne. Le point 16 reste donc bien représentatif des sables hétérogènes de la zone.

Le point H.Z. est également caractérisé par un sédiment hétérogène dominé par les sables moyens et grossiers. Cette année, les sables moyens (34 %) sont légèrement dominants au printemps, suivis par les sables grossiers. C'est l'inverse en automne, les sables grossiers (37 %) dominent légèrement les sables moyens. Les graviers (fins et grossiers) représentent toujours une part non négligeable du sédiment récolté (21 % au printemps, 30 % en automne) mais moins importante qu'en 2005. 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 (figure 6.1), la présence d'un gradient sédimentaire des cailloux du point 1 à l'ouest aux sables moyens du point H.Z. à l'est s'était mise 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

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

- Spongiaires : 5 espèces
- Cnidaires : 7 espèces
- Plathelminthes : 1 espèce
- Annélides : 30 espèces
- Sipunculiens : 1 espèce
- Mollusques : 20 espèces
- Bryozoaires : 13 espèces
- Pycnogonides : 1 espèce
- Cirripèdes : 3 espèces
- Isopodes : 4 espèces
- Amphipodes : 16 espèces
- Mysidacés : 1 espèce
- Décapodes : 15 espèces
- Echinodermes : 4 espèces
- Tuniciers : 9 espèces
- Céphalocordés : 1 espèce
- Poissons : 1 espèce

Le nombre d'espèces récoltées est légèrement plus élevé que celui des années précédentes (111 espèces en 2001, 118 en 2002 et 2003, 122 en 2004, 114 en 2005) mais reste du même ordre de grandeur. Il y a donc une forte stabilité du nombre d'espèces récoltées depuis la mise en place de la nouvelle stratégie de surveillance. Au cours des années antérieures, la légère

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 dominent toujours (22,9 %), suivis des Mollusques (15,3 %), des Amphipodes (12,2 %), des Crustacés décapodes (11,5 %), des Bryozoaires (9,9 %) et des Tuniciers (6,9 %), 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 les années précédentes.

Points	Nombre d'espèces	Nombre d'individus	H	E
Printemps 2006				
1	35	261	3.4	0.79
2	40	700	2.1	0.50
6	40	1262	2.4	0.51
16	25	715	1.3	0.28
H.Z.	25	1036	1.0	0.22
Automne 2006				
1	36	456	3.0	0.64
2	35	1345	1.1	0.24
6	62	3099	2.4	0.43
16	15	33	3.6	0.93
H.Z.	45	1085	1.1	0.21

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

Trois nouvelles espèces ont été identifiées: il s'agit des crustacés *Thorulus carnchi*, *Eualus occultus* et *Pagurus prideauxi*, espèces déjà signalées en Manche orientale mais jamais récoltées sur le site de Paluel.

6.3.2.2. Peuplement des cailloutis

Les points 1, 2 et 6 appartiennent à ce peuplement ; les points 1 et 2 sont signalés comme tels depuis le début du suivi du site, le point 1 abritant une moulière jusqu'en 1990 ; le point 6 depuis 1992 car il était auparavant inscrit, lorsque la moulière était présente au point 1, dans un gradient sédimentaire et appartenait plutôt à un ensemble caractérisé par un sédiment hétérogène dominé par les sables et les graviers.

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, 62 et 86 % des individus récoltés respectivement au printemps et en automne). Ce faciès apparaît donc toujours très stable, les quatre espèces dominantes représentent plus de

80 % des individus récoltés (l'ophiure *O. fragilis*, les annélides tubicoles *Pomatoceros triqueter* et *Thelepus setosus* et le tunicier *Styela coriacea*) et sont caractéristiques du faciès. C'est toutefois la première fois qu'un tunicier occupe un rang si élevé (2^{ème} rang au printemps) au point 2. Les DRF sont typiquement sigmoïdes et séparent les espèces dominantes des autres espèces (figure 6.4). L'indice de diversité de Shannon (tableau 6.4) est assez faible ($H = 2,1$ et $1,1$) pour un assez grand nombre d'espèces récoltées (40 et 35), en raison d'une très grande irrégularité de la distribution des abondances relatives ($E = 0,50$ et $0,24$). Le nombre d'espèces récoltées est stable par rapport à l'année précédente.

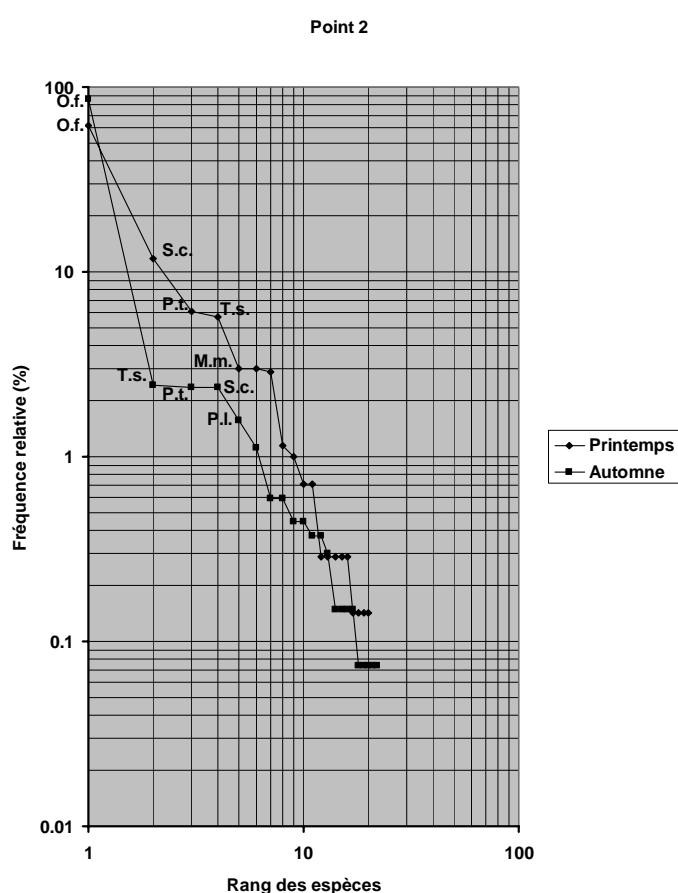


Figure 6.3. : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements du point 2

- **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*, *Dendrodia grossularia* et *Molgula manhattensis*, mais également par le gastéropode *Crepidula fornicata* au point 6. Les DRF (figures 6.3 et 6.5) sont à peu près rectilignes à légèrement convexes (point 1 au printemps) mais ils montrent néanmoins la dominance d'un faible nombre d'espèces (4 à 6). Le nombre d'espèces récoltées est élevé (35 à 62), particulièrement au point 6 en automne, et l'indice de Shannon, plus important qu'au point 2, varie de 2,4 à 3,4 selon le nombre d'espèces en codominance (régularité de 0,43 à 0,79), tous ces résultats étant proches de ceux des années précédentes.

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 représentent 49 à 67 % des individus récoltés aux points 1 et 6. Ce basculement de structure est maintenant établi et stable depuis une quinzaine d'années et l'on n'observe plus de recrutement massif de l'espèce *Mytilus edulis* même si un individu a été récolté en 2004 et en 2005.

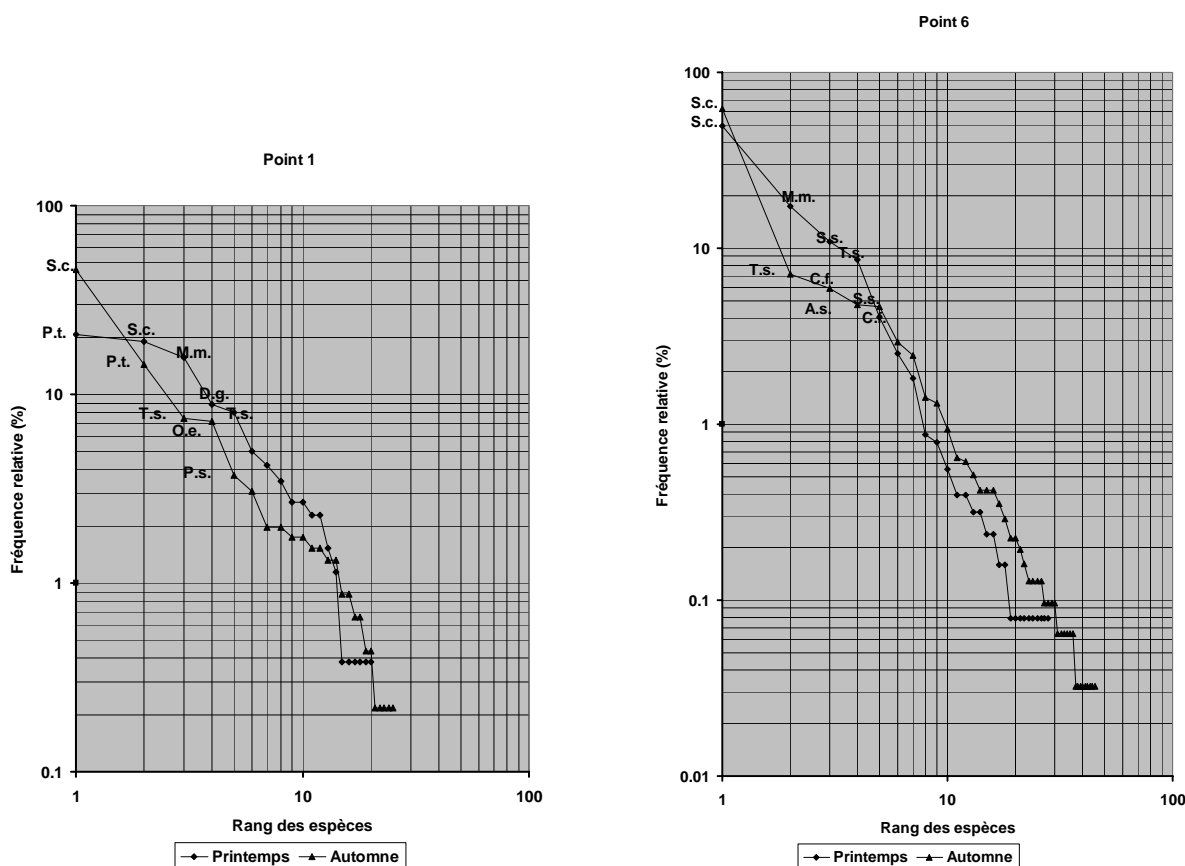


Figure 6.4 : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements aux point 1 et 6

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

Le gastéropode *Crepidula fornicata*, présent dans le peuplement depuis 1997, semble prendre une place plus importante depuis quelques années au point 6 : en 2006, l'espèce occupe le 5^{ème} rang au printemps et le 3^{ème} en automne.

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, particulièrement 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 de façon continue 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).

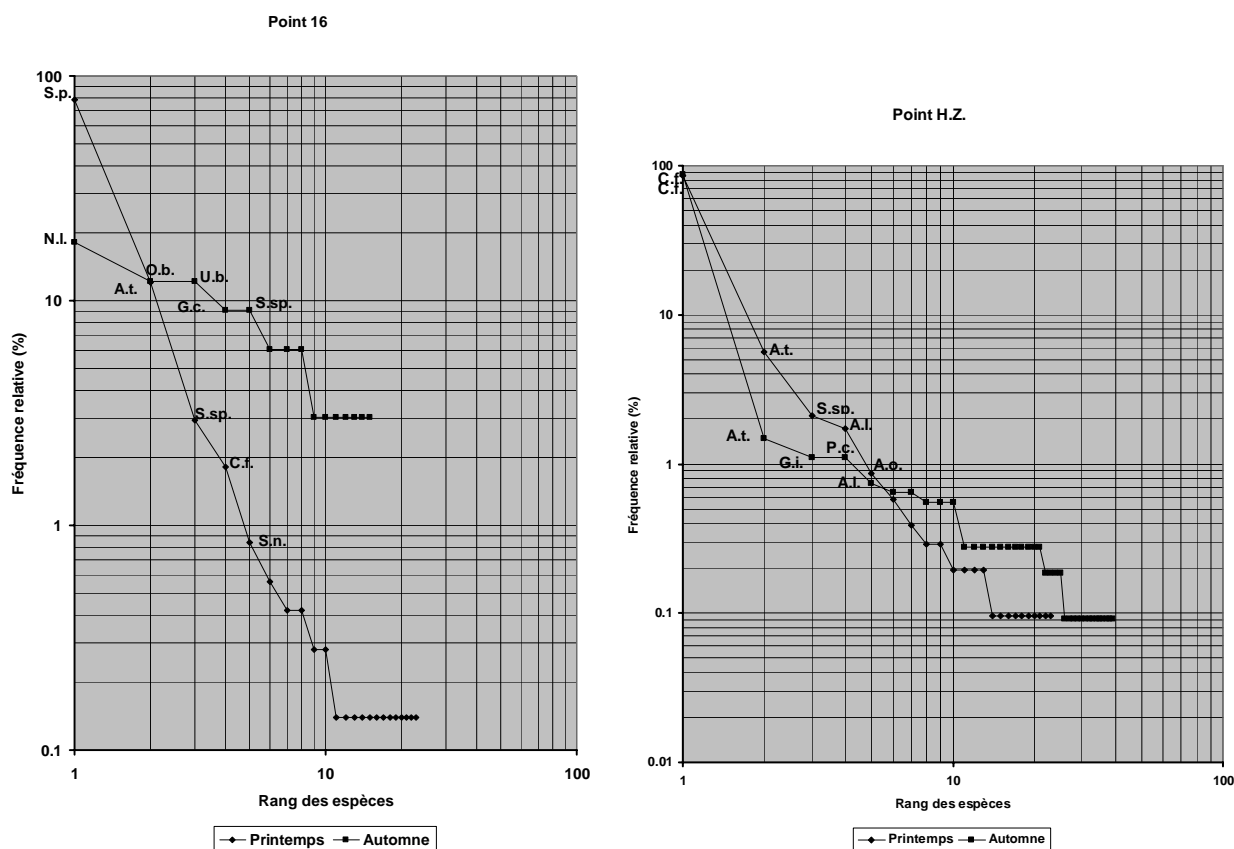


Figure 6.5 : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements aux point 16 et HZ

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 *Crepidula fornicata*, encore dominante. Il est à noter que cette espèce était moins abondante que les années précédentes en certains points mais qu'elle est présente dans tous les prélèvements effectués, sur tous les types de sédiment.

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 *Crepidula fornicata* dominait les prélèvements effectués au point 16.

En 2005, le nombre d'espèces récoltées était faible à la station 16 (6 et 7) et plus élevé à la station H.Z. (13 et 30). Les quatre prélèvements étaient 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 manhatensis*, *Eualus pusiolus*, *Golfingia minuta*). La diversité était faible à moyenne (1,6 à 2,7) et la régularité très variable (0,44 à 0,88).

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

Cette année, les résultats confirment encore la structure sédimentaire observée en zone côtière depuis la disparition de la moulière, à savoir la présence, au lieu d'un gradient, de deux domaines différenciés : les cailloutis de l'ouest (points 1 et 6) et les sables hétérogènes de l'est (points 16 et H.Z.). Toutefois, c'est le point H.Z., situé le plus à l'est, qui présente un sédiment plus grossier que le point 16. Le nombre d'espèces récoltées est beaucoup plus élevé aux deux points, particulièrement au point H.Z. dans un sédiment plus grossier et hétérogène (25 espèces au printemps, 45 en automne). *Crepidula fornicata* représente plus de 85 % des individus récoltés au point H.Z., les autres espèces du cortège appartiennent à la fois aux milieux de sables et graviers hétérogènes (les annélides *Ophelia borealis* et *Aonides oxycephala*, le mollusque *Astarte triangularis*, les amphipodes *Urothoe brevicornis* et *Bathyporeia elegans*, le céphalocordé *Amphioxus lanceolatus*) et aux milieux de cailloutis (les annélides syllidiens et *Pista cristata*, les crustacés décapodes *Galathea intermedia* et *Pisidia longicornis*). Au point 6, au printemps, l'espèce dominante est l'archiannélide *Saccocirrus papillocercus*, rencontrée assez peu fréquemment mais de façon caractéristique dans des sédiments hétérogènes grossiers et toujours en très grande abondance. Les DRF sont beaucoup plus rectilignes que les années précédentes.

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, est géographiquement stable depuis 1992.

Au large, il est dominé comme les années précédentes par *Ophiothrix fragilis*, *Thelepus setosus*, *Pomatoceros triqueter* et, dans une moindre mesure, le tunicier *Styela coriacea*.

Dans sa partie côtière, la disparition de la moulière à *Mytilus edulis* perdure ainsi que son remplacement par des Tuniciers, en particulier *Styela coriacea*, *Molgula manhattensis* et *Dendrodoa grossularia*. Les très rares individus de *M. edulis* récoltés en 2004 et 2005 montrent toutefois qu'un recrutement de l'espèce est toujours possible sur la zone d'étude. 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. Le basculement brutal, par absence de recrutement de moules, 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, a donc conduit à cette situation qui perdure maintenant depuis 16 ans.

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. Toutefois, en 2006, c'est le point H.Z. qui est caractérisé par un sédiment hétérogène grossier.

L'abondance de *Crepidula fornicata* 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, comme le montre sa très forte dominance cette année au point H.Z. On constate maintenant qu'elle est présente en chaque point de la zone côtière et semble assez indifférente au type de substrat.

L'évolution de la couverture sédimentaire de la zone côtière a suivi la disparition de la moulière à *Mytilus edulis*. La relative 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 granuloclassement plus marqué, d'autre part être influencée par l'action des tempêtes hivernales et de début de printemps (Davoult *et al.*, 1998).

La répartition spatio-temporelle des points 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 certaines années 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, avaient été gardés dans l'hypothèse d'un recrutement massif de *Mytilus edulis* qui aurait remis en cause l'actuelle structure de la zone côtière. L'absence de recrutement de moules depuis 16 ans et la relative stabilité de la structure de la zone côtière depuis justifient la suppression des prélèvements d'été et d'hiver aux points 1 et 6. 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 arrivée à peu près à son terme (présence à toutes les stations de la partie côtière, indépendamment du substrat, absence au large) et sa dominance semble en partie liée aux fluctuations sédimentaires constatées d'une année sur l'autre. Ces fluctuations favorisent alternativement les espèces à tendance sabulicoles/gravellicoles et les espèces de cailloutis mais *C. fornicata* semble peu affectée par ces variations, voire en bénéficier pour se maintenir comme espèce dominante (par exemple au point H.Z. en 2005 et 2006 malgré l'évolution du sédiment et de la richesse spécifique).

ANNEXES

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

<i>A.l.</i> :	<i>Amphioxus lanceolatus</i>
<i>A.o.</i> :	<i>Aonides oxycephala</i>
<i>A.s.</i> :	<i>Ampelisca spinipes</i>
<i>A.t.</i> :	<i>Astarte triangularis</i>
<i>C.f.</i> :	<i>Crepidula fornicata</i>
<i>D.g.</i> :	<i>Dendrodoa grossularia</i>
<i>G.c.</i> :	<i>Glycera convolute</i>
<i>G.i.</i> :	<i>Galathea intermedia</i>
<i>M.m.</i> :	<i>Molgula manhattensis</i>
<i>N.l.</i> :	<i>Nephtys longosetosasa</i>
<i>O.b.</i> :	<i>Ophelia borealis</i>
<i>O.e.</i> :	<i>Ocenebra erinacea</i>
<i>O.f.</i> :	<i>Ophiothrix fragilis</i>
<i>P.c.</i> :	<i>Pista cristata</i>
<i>P.l.</i> :	<i>Pisidia longicornis</i>
<i>P.s.</i> :	<i>Polynoe scolopendrina</i>
<i>P.t.</i> :	<i>Pomatoceros triqueter</i>
<i>S.c.</i> :	<i>Styela coriacea</i>
<i>S.p.</i> :	<i>Saccocirrus papillocercus</i>
<i>S.s.</i> :	<i>Sabellaria spinulosa</i>
<i>S.sp.</i> :	<i>Syllidiens sp.</i>
<i>T.s.</i> :	<i>Thelepus setosus</i>
<i>U.b.</i> :	<i>Urothoe brevicornis</i>

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

Espèces	Points	Printemps 2006					Automne 2006				
		1	2	6	16	HZ	1	2	6	16	HZ
Spongiaires											
<i>Sycon ciliatum</i>			+					2			
<i>Leucosolenia botryoides</i>				+							
<i>Dysidea fragilis</i>		+	+					+	+		
<i>Haliclona oculata</i>			+					+			
<i>Spongiaire sp.</i>		+		+			+	+	+		
Cnidaires											
<i>Tubularia indivisa</i>		+	+	+			+	+	+		
<i>Clytia hemisphaerica</i>											+
<i>Laomedea sp.</i>											+
<i>Sertularia cupressina</i>		+	+				+	+			+
<i>Kirchenpaueria pinnata</i>			+	+					+		
<i>Alcyonium digitatum</i>		+	+						+		
Actiniaires spp.		6	5	1			7	6	7		
Plathelminthes											
<i>Lineus sp.</i>											1
Annélides											
<i>Aonides oxycephala</i>					2	9					
<i>Spiophanes bombyx</i>					1						
<i>Spio filicornis</i>						2				1	
<i>Notomastus latericeus</i>					1						1
<i>Ophelia borealis</i>										4	
<i>Nephtys cirrosa</i>						1					
<i>Nephtys longosetosa</i>						1				6	1
<i>Nephtys hombergii</i>					1						
<i>Eulalia punctifera</i>							4				
<i>Staurocephalus neglectus</i>					6	3					3
<i>Glycera convoluta</i>										3	3
<i>Lumbrineris gracilis</i>											1
<i>Lumbrineris impatiens</i>											3
<i>Cirratulidae sp.</i>					3	6					2
<i>Kefersteinia cirrata</i>					1	2					1
<i>Syllidae sp.</i>					21	22			2	3	7
<i>Harmothoe lunulata</i>					1						2
<i>Lepidonotus squamatus</i>	4	8	1				1	8	13		
<i>Polynoe scolopendrina</i>	9	21	32				17	15	91		
<i>Marphysa sanguinea</i>			4						2		
<i>Sabellaria spinulosa</i>	11	2	137				8	2	144		
<i>Amphicteis gunneri</i>									9		
<i>Thelepus setosus</i>	21	40	109				34	33	221		
<i>Eupolymnia nebulosa</i>									1		
<i>Pista cristata</i>						4					12
<i>Polygordius sp.</i>				1	1						6
<i>Serpulidae sp.</i>		1						1			
<i>Sabella pavonina</i>	1		2						2		
<i>Pomatoceros triqueter</i>	54	43	11	1			66	32	29		2
<i>Saccocirus papillocercus</i>				562							
Sipunculien											
<i>Golfingia minuta</i>			23						20		

Espèces	Points	Printemps 2006					Automne 2006				
		1	2	6	16	HZ	1	2	6	16	HZ
Mollusques											
<i>Acanthochitona crinita</i>		1					1	5	3		
<i>Archidoris pseudoargus</i>											1
<i>Buccinum undatum</i>		7	2	4		1	14	1	16		3
<i>Ocenebra erinacea</i>		6		1			33		13		3
<i>Hinia reticulata</i>									5		
<i>Diodora graeca</i>							3	1	4		
<i>Calliostoma zizyphinum</i>		1		1				1	2		
<i>Crepidula fornicata</i>				51	13	895	9		183	2	950
<i>Trivia monacha</i>											1
<i>Chlamys varia</i>				1			1		3		
<i>Spisula elliptica</i>						1				1	
<i>Ensis sp.</i>											1
<i>Nucula turgida</i>						1			4		
<i>Astarte triangularis</i>					86	58					16
<i>Glycymeris glycymeris</i>						1					
<i>Abra alba</i>					1						
<i>Mysella bidentata</i>						2					
<i>Paphia rhomboïdes</i>					1	3			1		
<i>Ostrea edulis</i>									1		
<i>Musculus discors</i>									1		
Bryozoaires											
<i>Conopeum reticulum</i>			+				+		+		
<i>Electra pilosa</i>		+									
<i>Bicellariella ciliata</i>			+					+			
<i>Flustra foliacea</i>		+	+					+	+		
<i>Disporella hispida</i>			+				+	+			
<i>Cellepora pumicosa</i>		+	+	+			+	+	+		
<i>Tubulipora sp.</i>		+	+				+	+	+		
<i>Crisia aculeata</i>			+								
<i>Plagioecia patina</i>			+	+			+		+		
<i>Escharella immersa</i>		+	+	+			+	+	+		
<i>Schizomavella auriculata</i>		+	+	+					+		
<i>Amphiblestrum flemingii</i>		+		+				+	+		
<i>Alcyonidium diaphanum</i>		+	+	+	+	+	+		+		+
Pycnogonides											
<i>Nymphon rubrum</i>											1
Cirripèdes											
<i>Balanus crenatus</i>		+	+	+	+	+	+		+		+
<i>Elminius modestus</i>											+
<i>Verruca stroemia</i>		+	+	+				+	+		
Isopodes											
<i>Conilera cylindracea</i>		1									
<i>Eurydice spinigera</i>										1	
<i>Eurydice pulchra</i>						1					
<i>Janira maculosa</i>				1							
Amphipodes											
<i>Ampelisca spinipes</i>					1				148		2
<i>Lysianassa ceratina</i>									1		
<i>Urothoe brevicornis</i>				3	2					4	
<i>Bathyporeia elegans</i>										2	

Espèces	Points	Printemps 2006					Automne 2006				
		1	2	6	16	HZ	1	2	6	16	HZ
<i>Panoploea minuta</i>				1							
<i>Cheirocratus sp.</i>											3
<i>Maera othonis</i>						1					
<i>Melita gladiosa</i>											1
<i>Melita obtusata</i>								3			1
<i>Corophium sextonae</i>		2									
<i>Erichthonius brasiliensis</i>				1				2			
<i>Gammaropsis maculata</i>		1	3					1			
<i>Atylus vedlomensis</i>					2						
<i>Monoculodes carinatus</i>				1							
<i>Jassa falcata</i>								2			
<i>Pseudoprotelle phasma</i>								1			
Mysidacés											
<i>Gastrosaccus spinifer</i>								1	1		
Décapodes											
<i>Eualus occultus</i>											3
<i>Athanas nitescens</i>											3
<i>Thorulus cranchi</i>									1		7
<i>Hippolyte varians</i>									2		1
<i>Galathea intermedia</i>											12
<i>Galathea squamifera</i>				1			2		6		
<i>Pisidia longicornis</i>	3	7	5				8	21	41		6
<i>Pagurus prideauxi</i>											1
<i>Pagurus cuanensis</i>											3
<i>Anapagurus hyndmanni</i>		1	3				6		44		6
<i>Pilumnus hirtellus</i>		2					1	1	3		
<i>Pinnotheres pisum</i>										1	
<i>Liocarcinus pusillus</i>											3
<i>Liocarcinus holsatus</i>			2								
<i>Macropodia rostrata</i>								2	4		
Echinodermes											
<i>Asterias rubens</i>	1						3				
<i>Ophiothrix fragilis</i>		434						1157			
<i>Amphiura sp.</i>				1							
<i>Psammechinus miliaris</i>	7	5	1				6	5	1		
Tuniciers											
<i>Ascidia mentula</i>		2	5				4	2	13		
<i>Ascidia conchilega</i>		1						4	7		
<i>Ascidiella aspersa</i>											3
<i>Ascidiella scabra</i>	1						1		19		
<i>Styela clava</i>	13		10				7		4		1
<i>Styela coriacea</i>	50	82	625				209	32	1934		1
<i>Dendrodoa grossularia</i>	23	20	7				2	8	11		
<i>Botryllus schlosseri</i>									+		
<i>Molgula manhattensis</i>	41	21	219				9	6	76		
Céphalocordés											
<i>Amphioxus lanceolatus</i>				4	18						8
Poissons											
<i>Ammodytes tobianus</i>				1	1						

7 - Le Benthos intertidal

Rapport

MEIRLAND Antoine (GEMEL),

TALLEUX Jean-Denis (GEMEL),

DELORMEL Stéphanie (GEMEL),

JONCOURT Yann (GEMEL).

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 (figure 1) 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.



Figure 7.1 : Vue latérale d'*Idotea granulosa* (© GEMEL 2006)

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*. En 2006, le nombre annuel de campagnes a été réduit à deux.

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 quatre 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 2006, les prélèvements ont été réalisés le 29 juin et le 31 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 7.2).

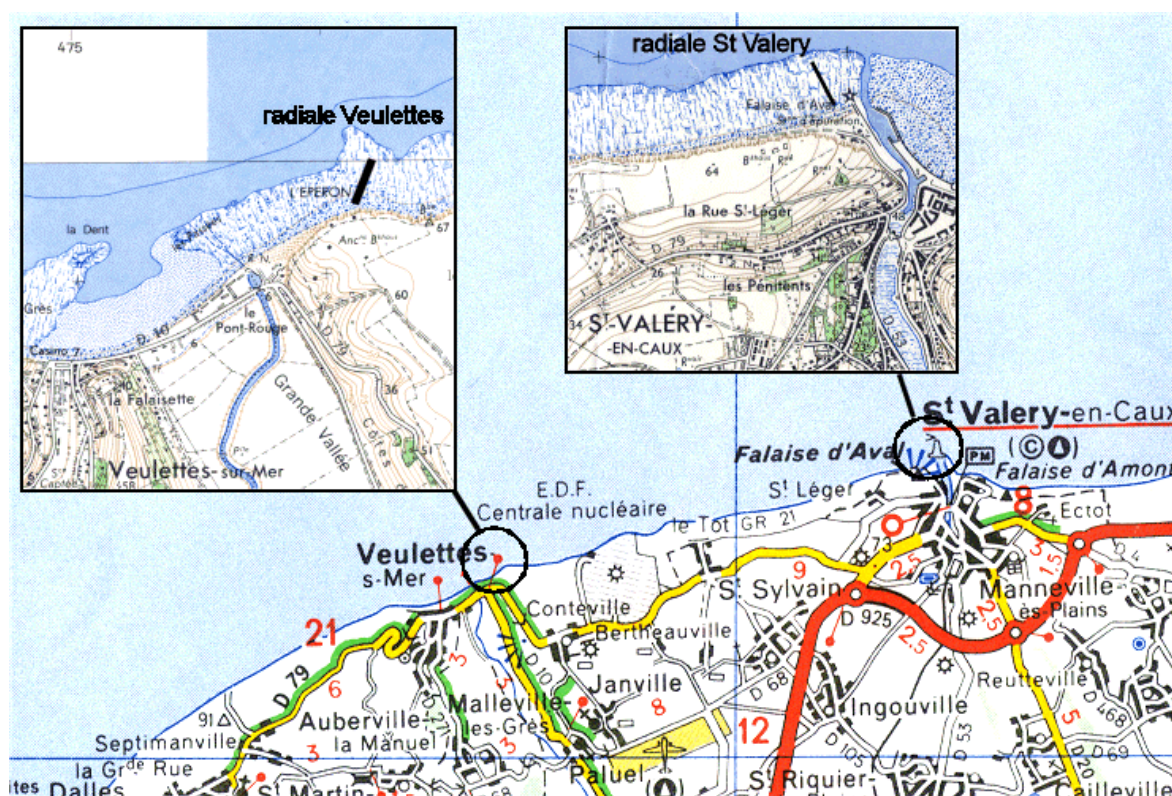


Figure 7.2 : Positionnement des radiales de prélèvement

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*. 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* ont été réalisés.

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 neuf 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* (figure 7.3) 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 (figure 7.4) avant de le classer parmi les femelles).



Figure 7.3 : *Appendix masculina* (© GEMEL, 2006)



Figure 7.4 : Pénis bifide de mâle II (© GEMEL, 2006)

Les mâles sont distingués selon leur degré de maturation sexuelle en deux catégories :
Stade I : mâles juvéniles, deuxième péréopode sans duvet (figure 7.5)

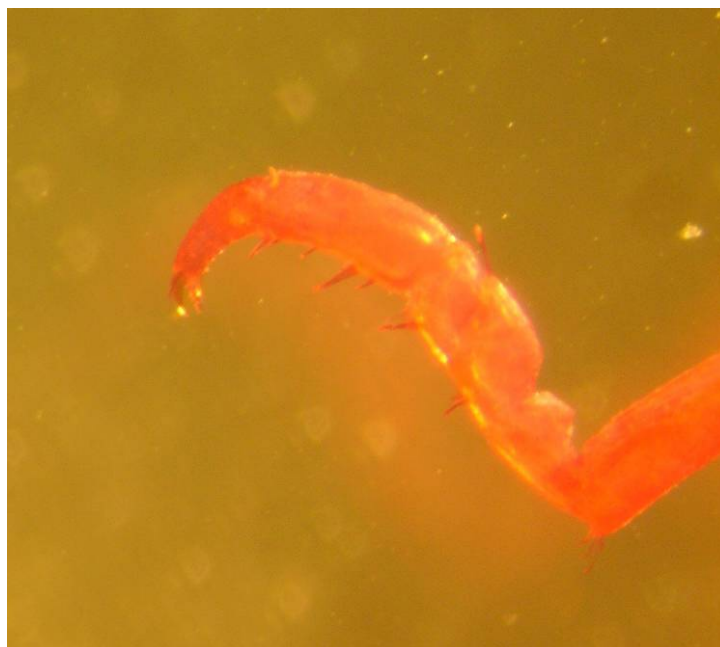


Figure 7.5 : Deuxième péréopode de mâle juvénile (© GEMEL, 2006)

Stade II : mâles adultes, deuxième péréopode couvert d'un duvet abondant (figure 7.6)



Figure 7.6 : Deuxième péréopode de mâle de state II (© GEMEL, 2006)

Femelles

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

Les femelles sont classées en sept catégories :

- Femelles juvéniles (sans oostégites) (figure 7.7)



Figure 7.7 : Femelle juvénile (© GEMEL 2006)

- Femelles avec oostégites en cours de différenciation (figure 7.8)

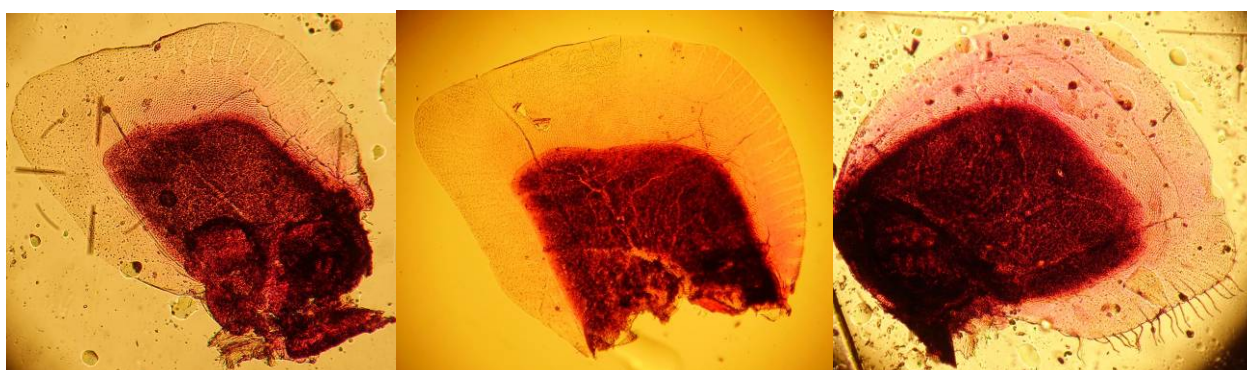


Figure 7.8 : Oostégites II (gauche), III (centre) et IV (droite) d'une femelle différenciée

- Femelles de stade I : embryons sphériques dans le marsupium (figure 7.9)



Figure 7.9 : Femelle stade I, embryons sphériques (© GEMEL 2006)

- Femelles de stade II : embryons allongés, enveloppes intactes (figure 7.10)

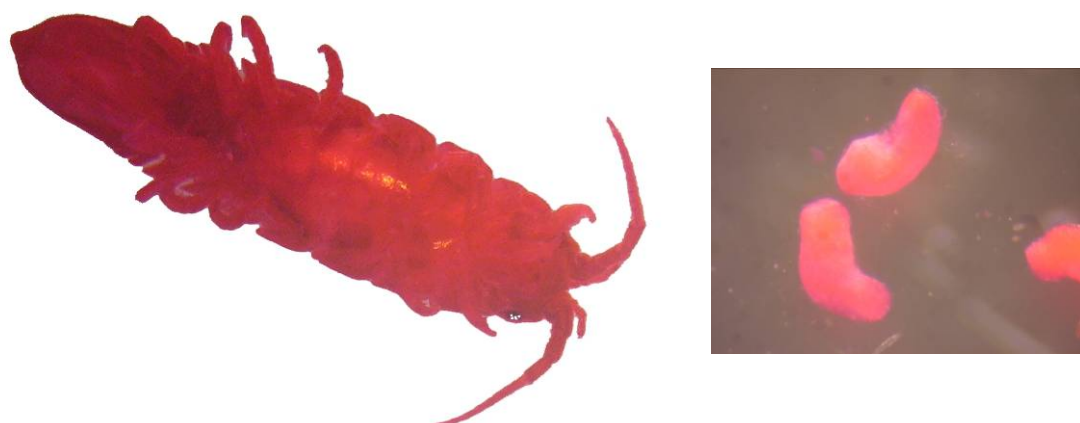


Figure 7.10 : Femelle de stade II, embryons allongés (© GEMEL 2006)

- Femelles de stade III : embryons segmentés, enveloppes rompues (photo non disponible)

- Femelles de stade IV : yeux des embryons bien différenciés (figure 7.11)



Figure 7.11 : Femelle de stade IV, embryons avec des yeux différenciés
(© GEMEL 2006)

- Femelles dont le marsupium est vide (figure 7.12)



7.12 : Femelle vide (© GEMEL 2006)

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 2006 sur les stations de St Valéry en Caux et de Veulettes sur Mer.

Prélèvement (0,25m ²)	29/06/2006				31/07/2006			
	Veulettes		Saint Valéry		Veulettes		Saint Valéry	
	Poids sec alg. (g)	Nb l.g.	Poids sec alg. (g)	Nb l.g.	Poids sec alg. (g)	Nb l.g.	Poids sec alg. (g)	Nb l.g.
1	225,4	18	163,4	32	152,6	22	123,1	17
2	208,3	36	161	55	190,4	17	149,1	35
3	260,7	35	172,5	93	197	18	302,3	39
4	197,4	30	110,6	49	225,2	25	189,7	12
5	196,9	20	199	42	162,8	13	100	31
6	184,7	14	117,8	38	276,8	41	109,3	20
7	181,1	18	148,6	30	152,3	14	145,4	33
8	185	20	175,3	16	144,2	38	114,4	22
9	197,3	7	127,4	37	175,8	11	243,5	34
10	279	14	138,2	44	336,3	24	144,4	23
11	186,7	35	186,3	65	178,8	17	108,9	44
12	156,1	31	165,7	56	198,9	16	168	22
13	268,1	27	202,5	36	198	21	142,4	25
14	188,1	20	135,9	35	183	4	173,6	21
15	256,6	36	90,6	23	231,6	21	135,7	24
16	224,8	37	220	31	328	27	203,1	26
Moyenne par m²	849,05	99,50	628,70	170,50	832,93	82,25	638,23	107,00
Ecart-type par m²	145,24	38,50	143,16	73,54	235,20	37,47	216,41	34,05

Tableau 7.1 : Valeurs des biomasses algales (poids sec en grammes) et nombre d'*Idotea granulosa* dans les prélèvements de 0,25m² de St Valéry en Caux et Veulettes sur Mer lors des deux campagnes estivales de suivi en 2006

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.

La biomasse algale suit la loi Normale (Test de Kolmogorov-Smirnov ; KSd=0,13 ; p>0,05), les variances sont homogènes (Test de Levene ; F=1,162 ; ddl=3 ; p>0,05). L'Analyse de Variance réalisée sur les quatre échantillons montre une différence significative entre les échantillons (F=6,412 ; p<0,05). Un test de comparaison post-hoc du HSD de Tukey montre que les biomasses de Veulettes sont différentes des biomasses de Saint Valéry.

La biomasse moyenne d'algue au cours de l'été 2006 est de 633 g./m² ± 180 g à Saint Valéry en Caux et de 852 g/m² ± 201 g à Veulettes sur Mer. Ces valeurs ne sont pas significativement différentes des valeurs moyennes estivales depuis 1996 à Saint Valéry (600 g/m² ± 178 g) mais

sont significativement supérieures aux valeurs moyennes estivales depuis 1996 à Veulettes ($708 \text{ g/m}^2 \pm 198 \text{ g}$).

La situation à Saint Valéry en Caux correspond bien aux niveaux de biomasses de *Fucus* mesuré les années précédentes. A Veulettes, la ceinture algales est plus développée cette année que les années précédentes. Comme traditionnellement, la biomasse algale à Veulettes est supérieure à celle de Saint Valéry.

7.4.2. Densité des *Idotea granulosa*

Les densités d'idotés ont été testées de la même façon.

Le nombre d'idotés suit la loi Normale (Test de Kolmogorov-Smirnov ; $\text{KSd}=0,08$; $p>0,05$), les variances sont homogènes (Test de Levene ; $F=2,616$; $\text{ddl}=3$; $p>0,05$). L'Analyse de Variance réalisée sur les quatre échantillons montre une différence significative entre les échantillons ($F=10,06$; $p<0,05$). Un test de comparaison post-hoc du HSD de Tukey montre que le nombre moyen d'idotés à Saint Valéry au mois de juin est significativement supérieur aux autres valeurs mesurées.

La densité moyenne d'*Idotea granulosa* au cours de l'été 2006 est de $139 \text{ ind./m}^2 \pm 65 \text{ ind.}$ à Saint Valéry en Caux et de $98 \text{ ind./m}^2 \pm 54 \text{ ind.}$ à Veulettes sur Mer. Ces valeurs sont significativement ($p<0,05$) différentes des valeurs moyennes estivales depuis 1996, respectivement de $106 \text{ ind./m}^2 \pm 86 \text{ ind.}$ et $143 \text{ ind./m}^2 \pm 96 \text{ ind.}$

7.4.3. 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 le nombre d'idotés pour cent grammes de *Fucus*.

Le nombre d'idotés pour 100 grammes de *Fucus* ne suit pas la loi Normale (Test de Kolmogorov-Smirnov ; $\text{KSd}=0,13$; $p<0,05$), les variances ne sont pas homogènes (Test de Levene ; $F=3,914$; $\text{ddl}=3$; $p>0,05$). Le test de Kruskal-Wallis réalisée sur les quatre échantillons montre une différence significative entre les échantillons ($T=30,09$; $p<0,05$). Le test de comparaison post-hoc montre que le nombre moyen d'idotés à Saint Valéry au mois de juin est significativement différent des autres.

La moyenne estivale du taux de colonisation des *Fucus* par les *Idotea granulosa*, est de $23 \text{ ind./100 g PSE} \pm 11$ à Saint Valéry et de $11 \text{ ind./100g PSE} \pm 5$ à Veulettes. Ces valeurs sont significativement ($p<0,05$) différentes des valeurs moyennes estivales depuis 1996, respectivement de $18 \text{ ind./100 g PSE} \pm 14$ et $21 \text{ ind./100 g PSE} \pm 13$.

Comme en 2005, le taux d'occupation des *Fucus* par les idotés est plus élevé à Saint Valéry. La différence mesurée est due au nombre important d'individus collectés sur ce site au mois de juin. En 2005, la différence entre les sites s'était atténuée au cours de l'été. Cette année encore, la différence est maximale au début de l'été.

7.4.4 Impact de la densité de *Sphaeroma serratum* sur la densité d'idotés

L'année 2006 a été exceptionnelle quant au nombre *Sphaeroma serratum* récoltés avec les *Fucus*. L'impact du développement de cette espèce sur la population d'idoté a été étudié. En effet, ces deux animaux sont très proches taxonomiquement et écologiquement.

Le nombre de *Sphaeroma serratum* est positivement corrélé au nombre d'*Idotea granulosa*, aussi bien concernant les densités ($R^2=0,21$; $n=62$; $p<0,05$) que concernant les densités pour 100g d'algues ($R^2=0,27$; $n=62$; $p<0,05$). Il ne semble donc pas y avoir de compétition entre les deux espèces, mais plutôt une évolution des effectifs parallèles.

7.4.5. Structure de la population d'*Idotea granulosa* au cours de l'été 2006

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 7.13 à 7.16 et tableau 7.2).

Contrairement au schéma habituel jusque 2005, 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 juin qu'à Saint Valéry. Elle augmente fortement 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. L'évolution inverse peut être observé à Veulettes.

	29-juin-06		31-juil-06	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
% Juvéniles	84,21	76,3	69,18	83,9
% Mâles juvéniles	21,05	20	27,4	34,75
% Femelles juvéniles	63,16	56,3	41,78	49,15
% Femelles gravides	2,02	2,96	8,9	4,24
% Femelles différenciation	3,64	6,67	8,9	2,54
% Femelles vides	0,4	0	0,68	0,85
% Mâles adultes	9,72	14,07	12,33	8,47
Sex-ratio	0,44	0,52	0,66	0,76

Tableau 7.2 : 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 en juin et juillet 2006

Le sex ratio augmente au cours des prélèvements. Cette augmentation est similaire entre les sites. Traditionnellement, le site de Veulettes a des variations plus importantes que le site de Saint Valéry.

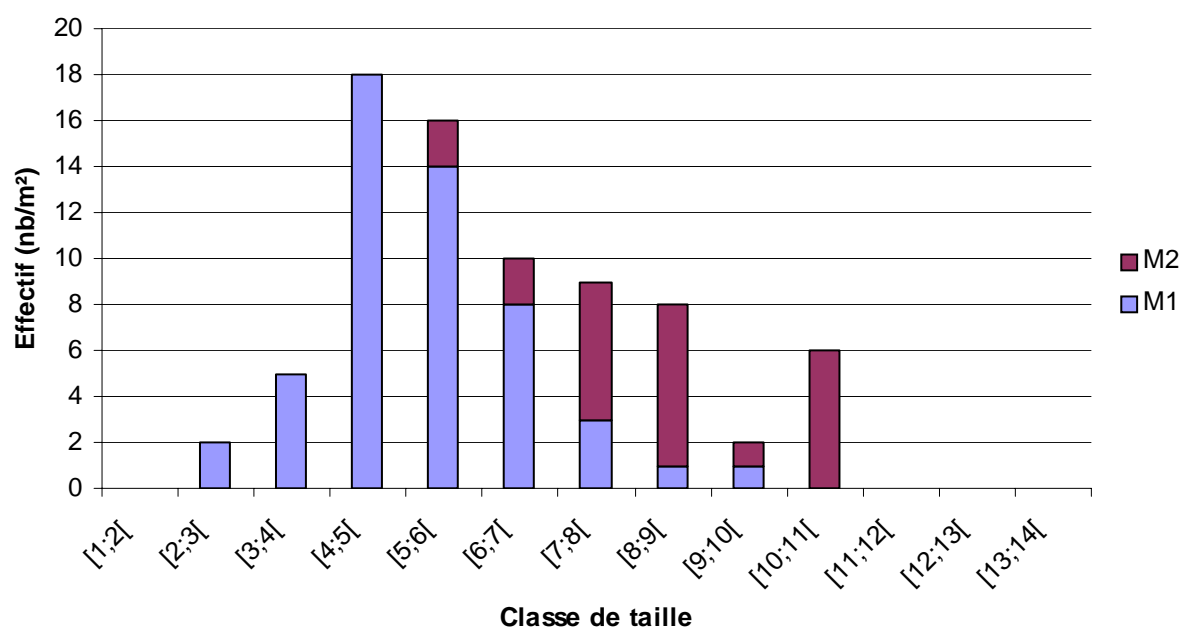
Les juvéniles représentent la part la plus importante de l'effectif et sont responsables des variations d'effectif lors de la période estivale, période de reproduction. Le sex-ratio est déséquilibré en faveur des femelles chez les juvéniles et s'inverse en faveur des mâles chez les adultes. Même s'il 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 taille 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.

La structure de taille des mâles d'idotés est sensiblement la même en juin et en juillet sur les deux sites. La taille des mâles II se disperse entre juin et juillet. Les individus les plus grand sont collectés en juillet. La distribution des tailles selon le stade est sensiblement la même qu'en 2005, les effectifs étant cependant moindres cette année. Les tailles des femelles sont également similaires entre les sites. Le nombre de femelles mûres et en différenciation augmente au cours des prélèvements. Le nombre de campagne restreint cette année rend plus difficile l'interprétation de ces résultats. En effet, l'an dernier, la période de reproduction avait été suivie sur une plus longue période. Deux dates ne permettent plus de comparer les dates de début de reproduction entre les sites (plus tôt à Saint Valéry en 2005).

29 juin 2006, Saint Valéry en Caux



31 juillet 2006, Saint Valéry en Caux

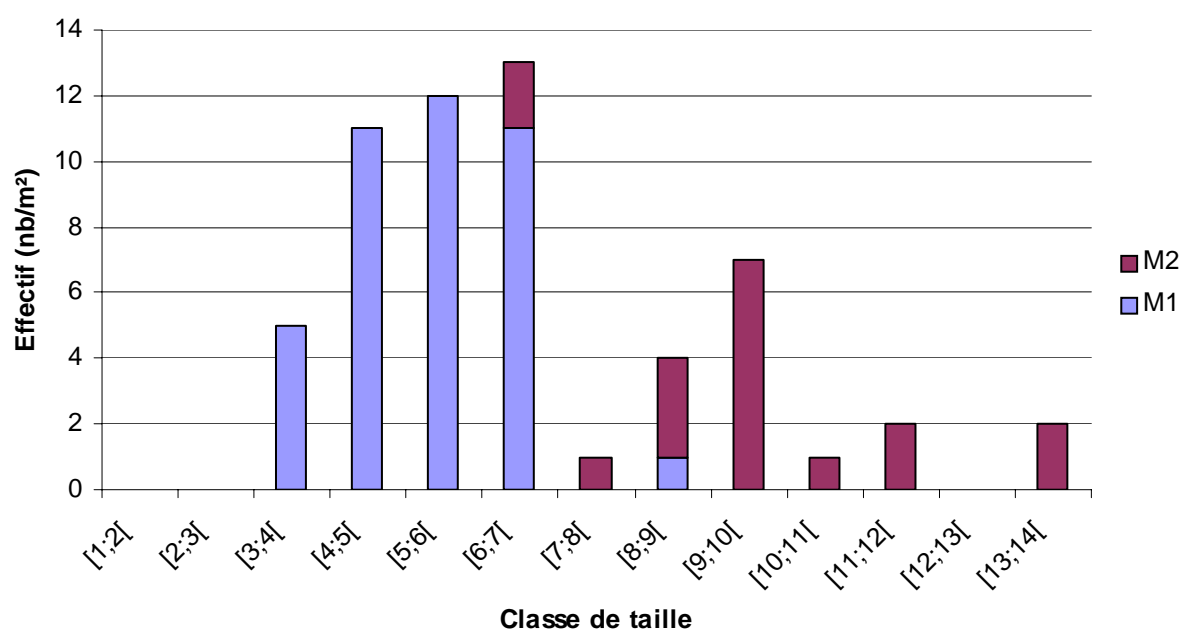
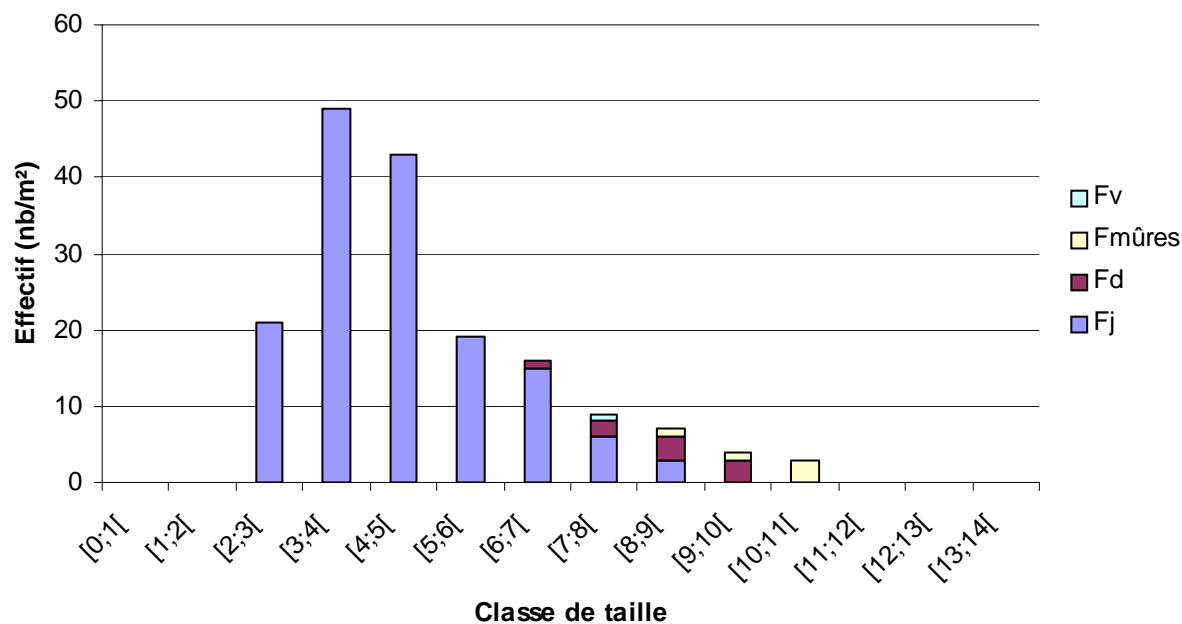


Figure 7.13 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –mâles– à Saint Valéry en Caux au cours de l'été 2006

29 juin 2006, Saint Valéry en Caux



31 juillet 2006, Saint Valéry en Caux

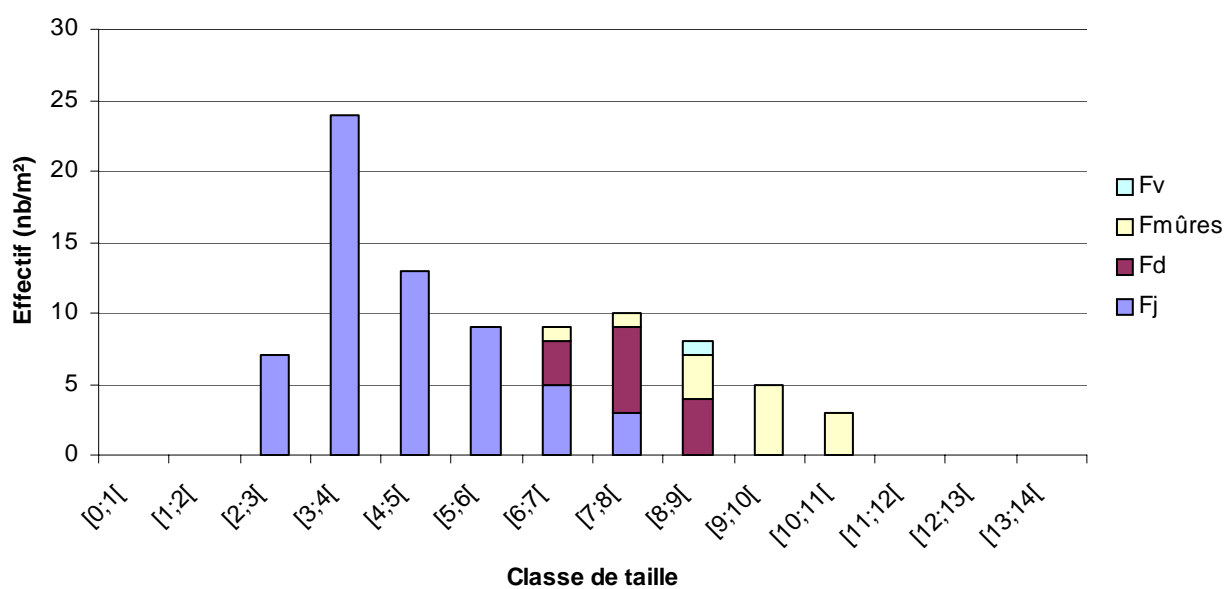
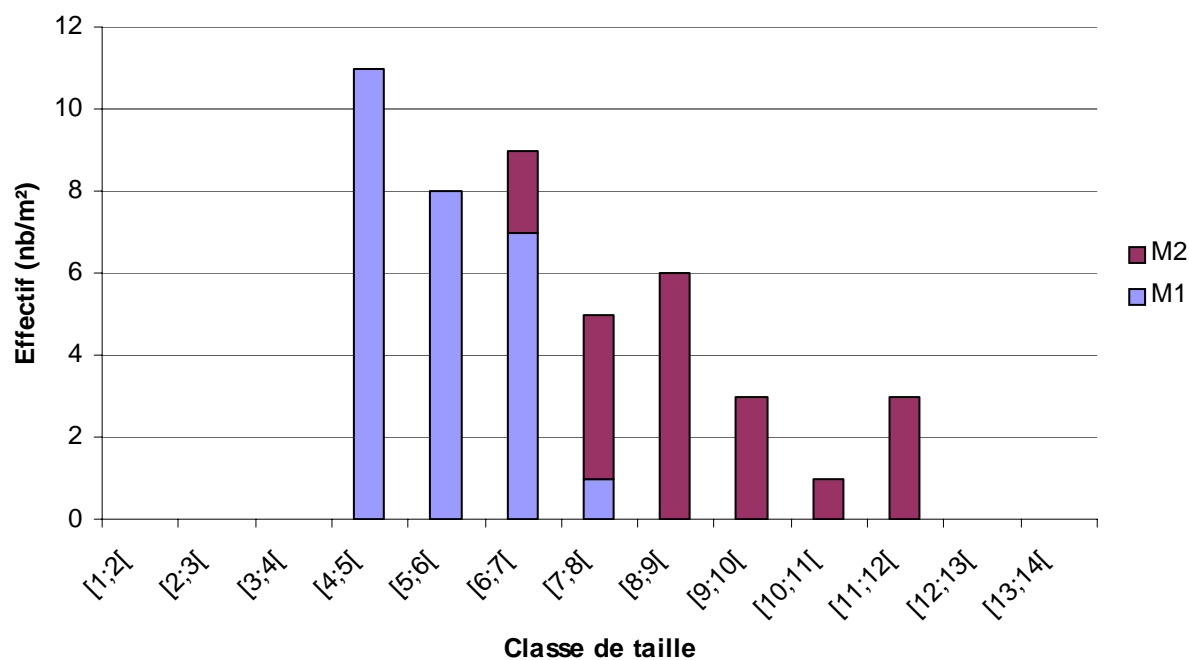
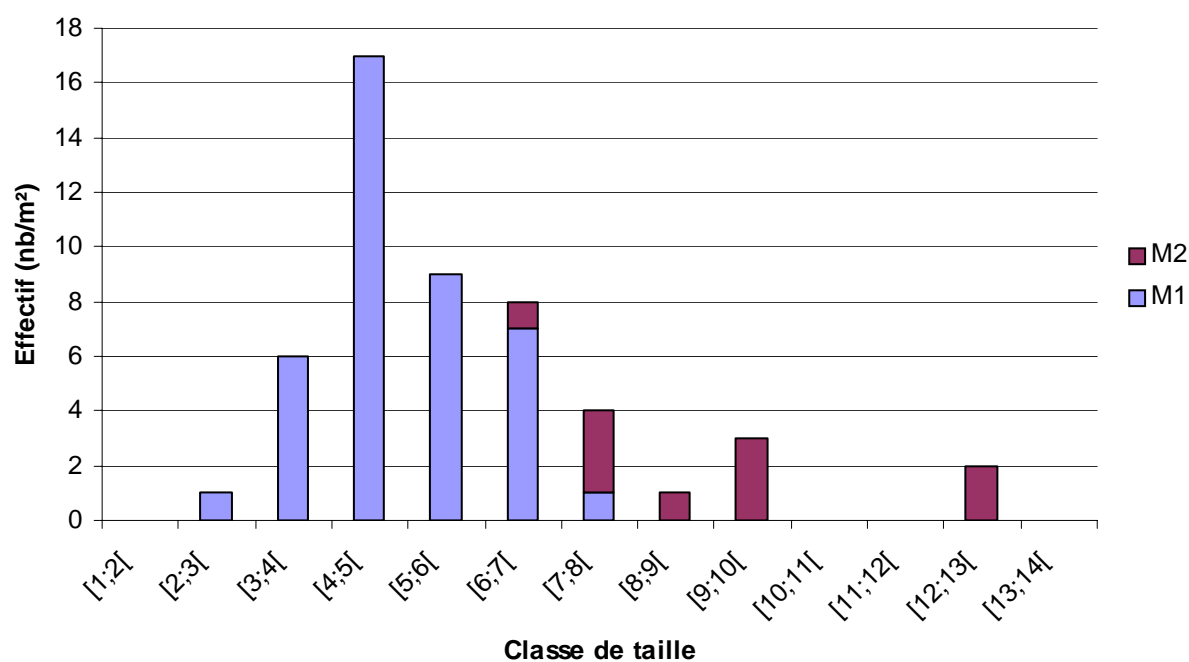


Figure 7.14 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* -femelles- à Saint Valéry en Caux au cours de l'été 2006

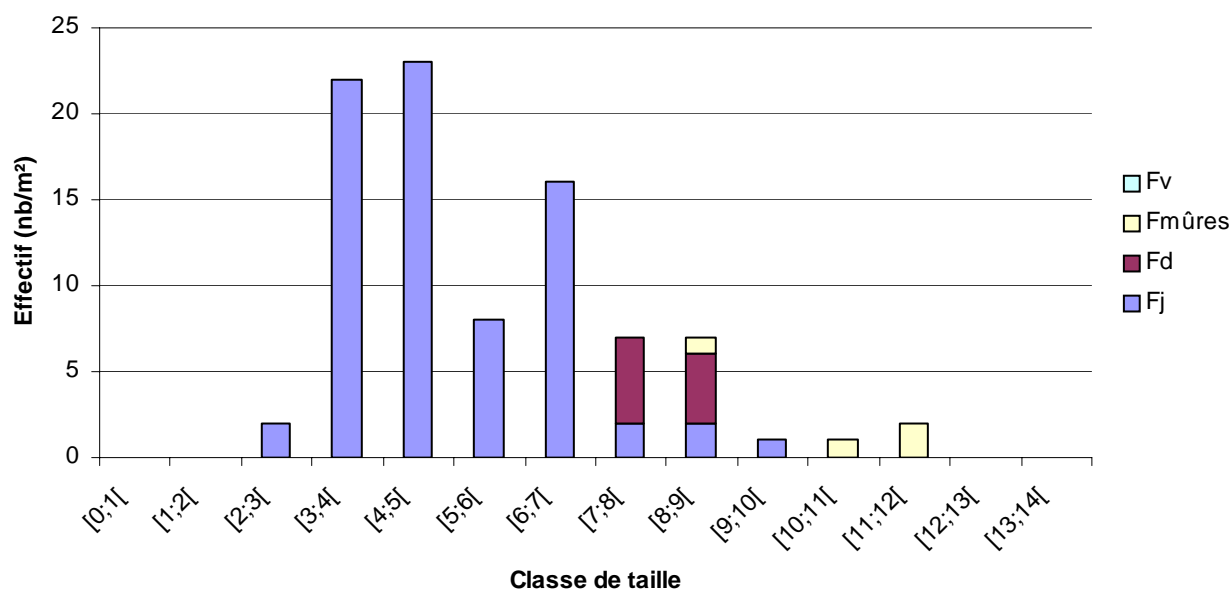
29 juin 2006, Veulettes



31 juillet 2006, Veulettes

Figure 7.15 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –mâles– à Veulettes sur Mer au cours de l'été 2006

29 juin 2006, Veulettes



31 juillet 2006, Veulettes

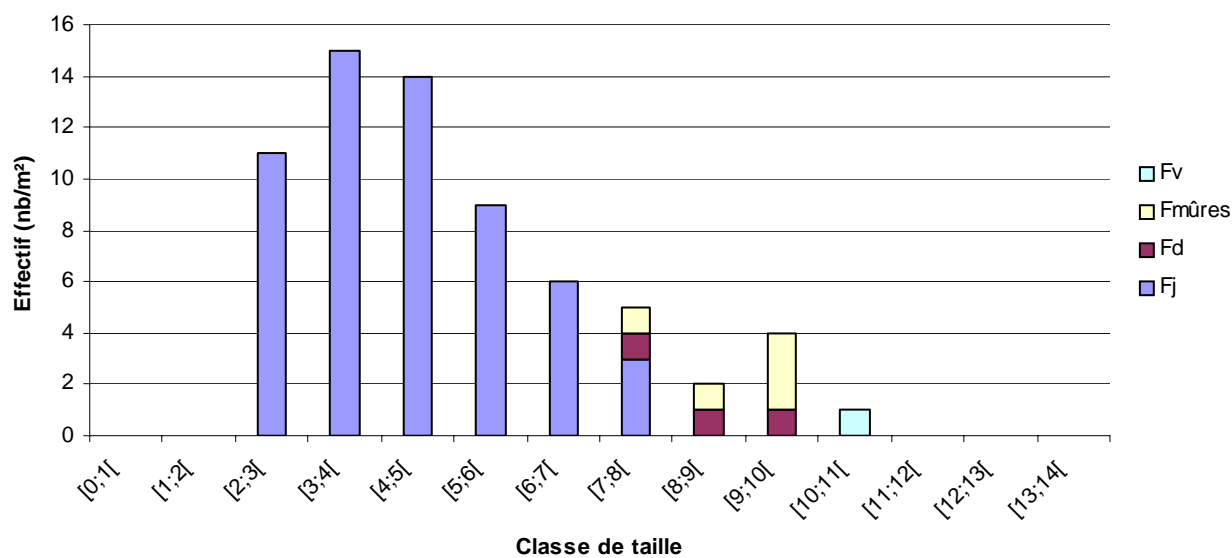


Figure 7.16 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* -femelles- à Veulettes sur Mer au cours de l'été 2006

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 jusque cette année où le nombre de campagne a été réduit à deux.

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 7.3 et 7.4 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			
2006			29/06	31/07		

Tableau 7.3 : 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			
2006			29/06	31/07		

Tableau 7.4 : 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 2006

Les séries n'étant pas complètes ni régularisées, les données moyennes estivales (moyenne par site des données des 2 à 4 campagnes entre mai et octobre) seront considérées pour envisager l'étude des variations interannuelles. Une série continue depuis 1985 est ainsi obtenue.

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 Valéry en Caux. Une réduction de la couverture algale d'un facteur trois à Veulettes est observée, ainsi qu'une disparition complète à Saint Valéry ;
- une période de reconstitution à partir de 1989 à Veulettes et à partir de 1994 à St Valéry ; dans les deux cas, trois années sont nécessaires pour que les ceintures retrouvent un niveau de recouvrement au moins égal à celui d'avant le déclin (entre 400 et 600 g/m² avant 1984 à St Valéry en Caux) ;
- Une période de relative stabilité depuis 1991 à Veulettes (718 g/m² ± 272 g) et depuis 1996 à St Valéry (638 g/m² ± 196,8 g) 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 Valéry 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. Par ailleurs, l'ensemble de l'écosystème benthique a subi des modifications profondes à la fin des années 1990. En effet, cette période coïncide également avec un changement dans les communautés subtidales, avec notamment la disparition de la moulière (Davoult & Migné, 2005). Depuis, les peuplements benthiques subtidaux et intertidaux apparaissent relativement stables.

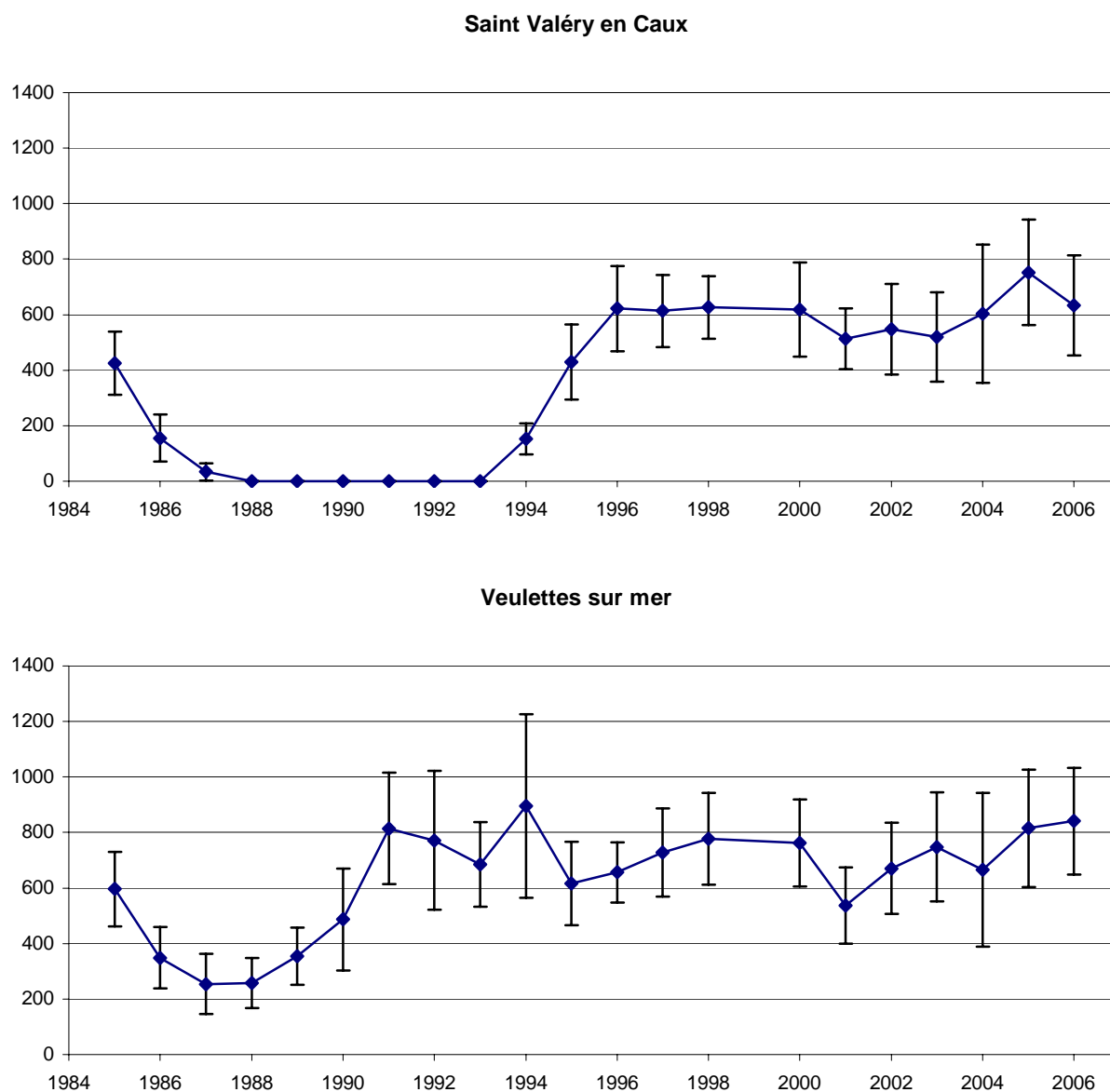


Figure 7.17 : Evolution de la moyenne estivale de la biomasse algale (g/m² PSE) dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2006 aux sites de Saint Valéry en Caux et Veulettes sur Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types)

7.5.3. Evolution de la densité des Idotés de 1985 à 2006

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 Valéry en Caux : on observe une réduction des densités d'un facteur deux à trois à Veulettes et une disparition complète à Saint Valéry 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 Valéry ; 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) qui révèle le site de Veulettes comme ayant un potentiel supérieur en matière d'accueil des idotés.

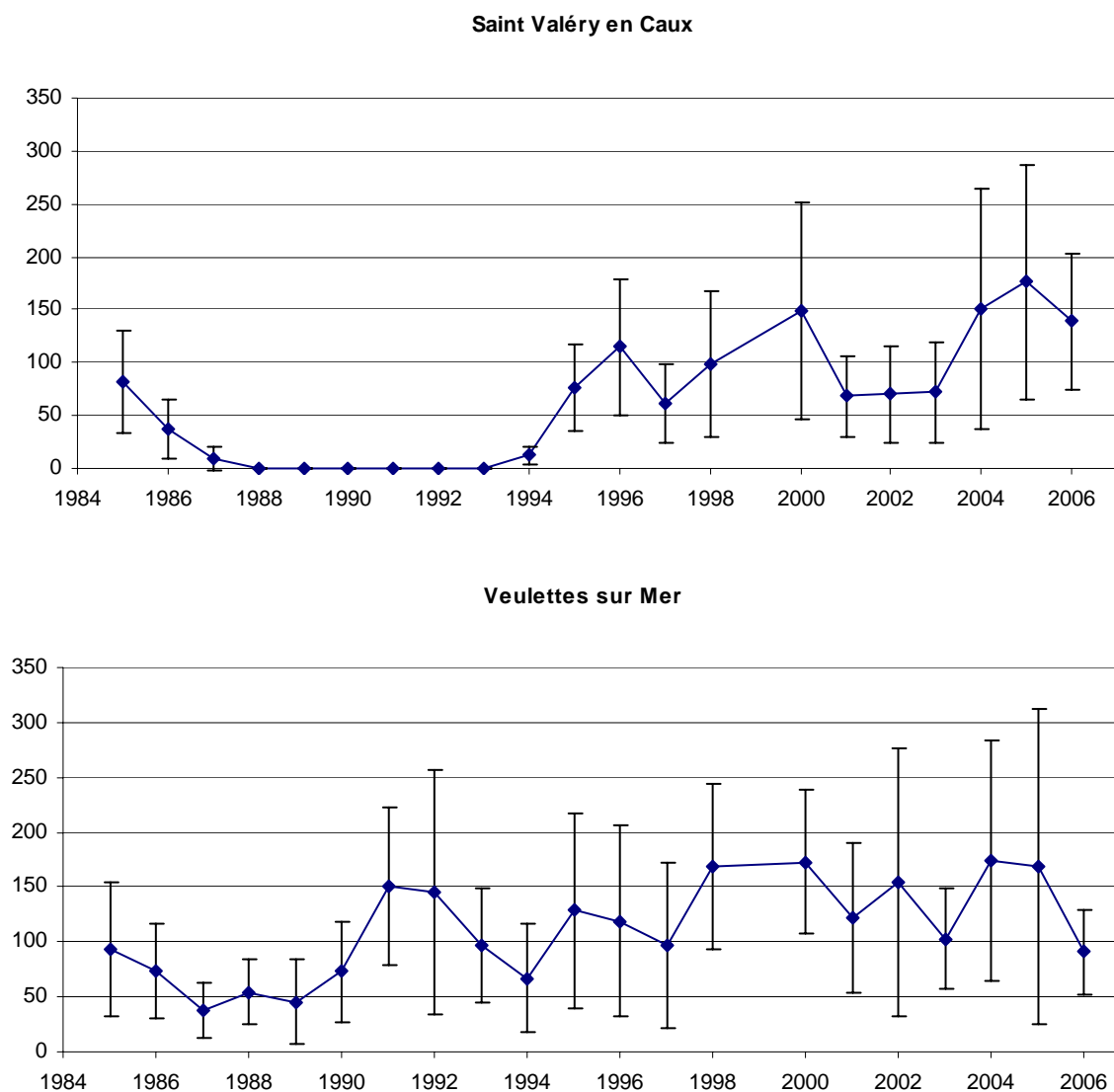


Figure 7.18 : Evolution de la moyenne estivale de la densité d'*Idotea granulosa* (Ind./m²) dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2006 aux stations de Saint Valéry en Caux et Veulettes sur Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types).

Le rapport Idoté/Biomasse de *Fucus* permet d'éliminer ce lien de dépendance ; les moyennes estivales de ce paramètre, lorsque son calcul est possible, ne mettent en évidence aucune tendance significative sur la période 1985-2006 (figure 7.8).

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.

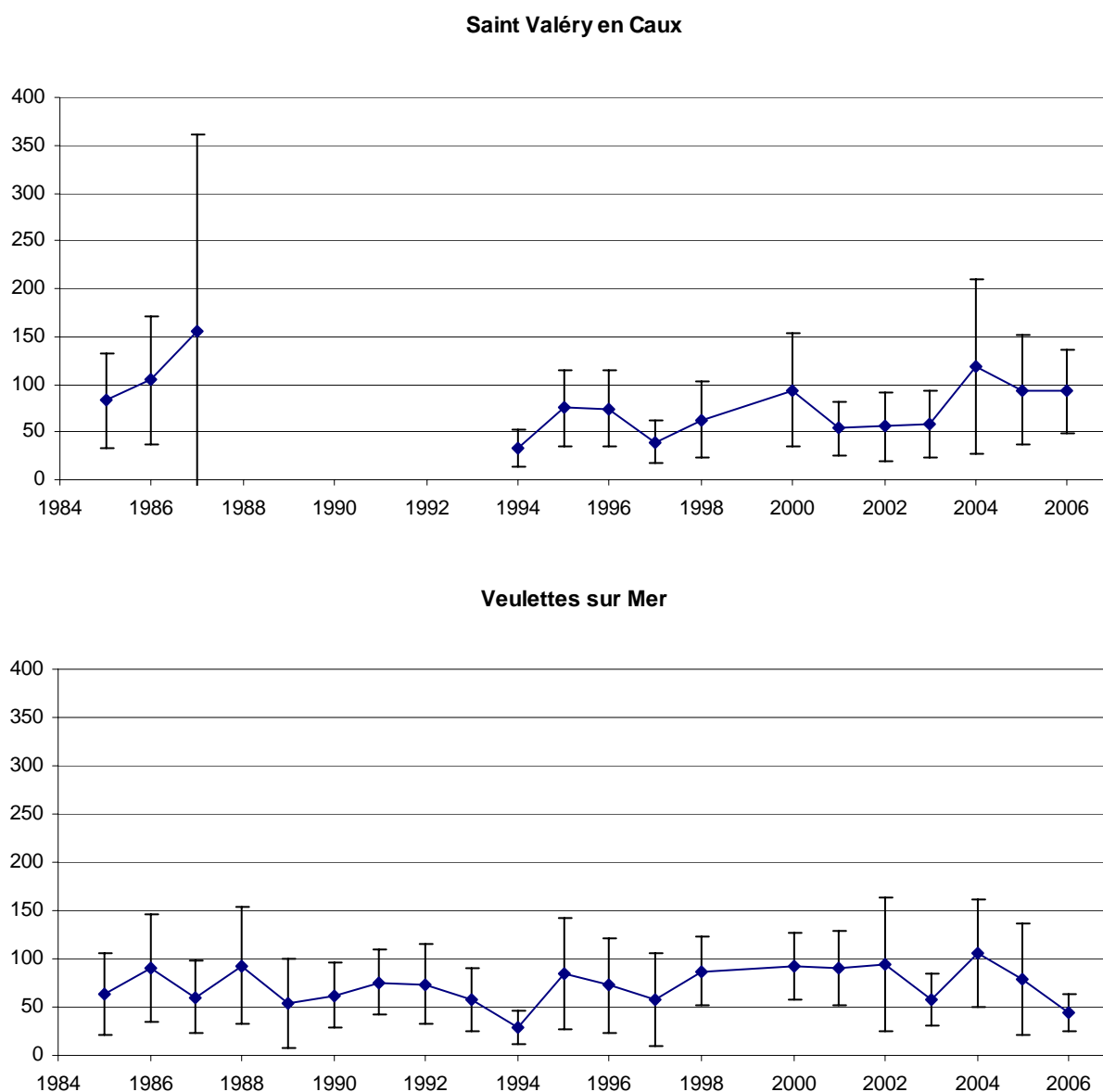


Figure 7.19 : Evolution de la moyenne estivale du nombre d'*Idotea granulosa* / 100 g de *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2006 aux stations de Saint Valéry en Caux et Veulettes sur Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types)

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./100 g de *Fucus vesiculosus* et 25 Ind./100 g de *F. vesiculosus* + *F. serratus* en moyenne) rend compte de la concentration de la population des Idotés dans un habitat en cours de disparition.

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

On observe une augmentation de la dispersion de la densité d'idotés pour une valeur de biomasse algale supérieure à 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 7.20).

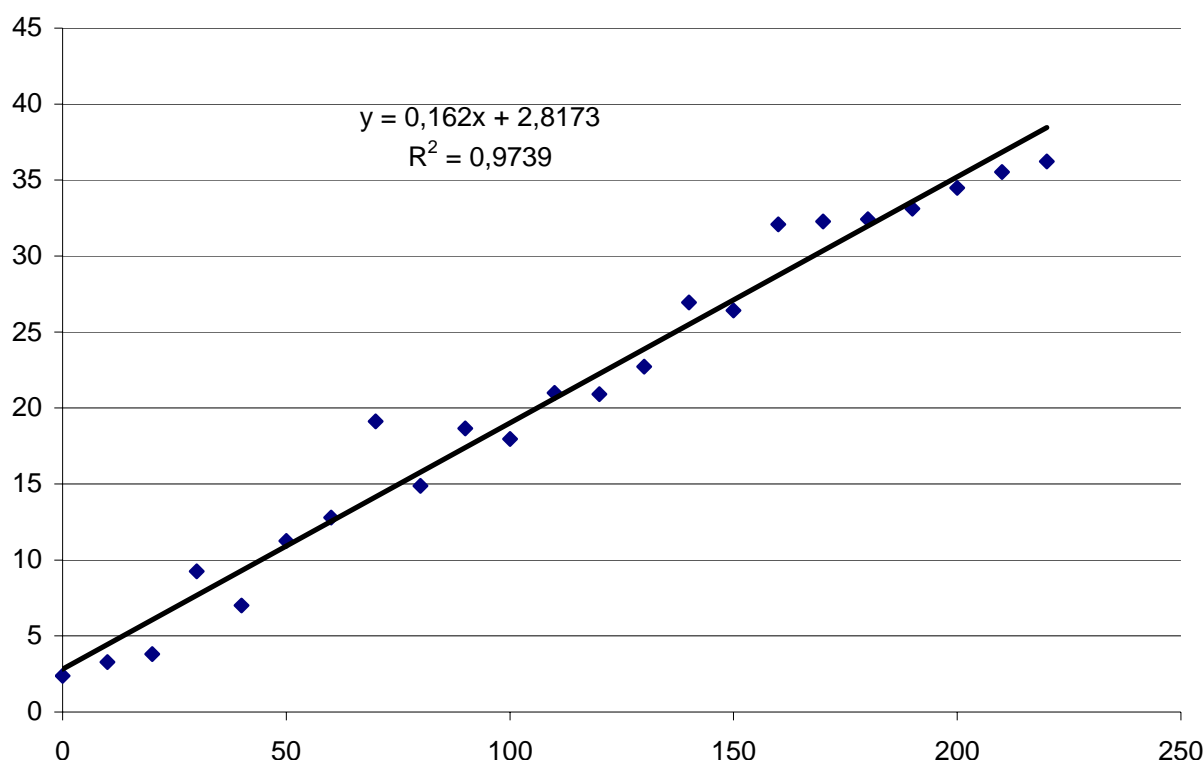


Figure 7.20 : Modèle de régression linéaire de la densité d'Idotés en biomasse de *Fucus vesiculosus*. Valeurs moyennes de la densité d'*Idotea granulosa* par classes de biomasses algales de 10 unités (données 1985 à 2006)

Ce modèle est utilisé pour filtrer le signal "densité d'Idotés". Ainsi, le nombre d'idoté estimé par le modèle par unité de biomasse peut être calculé. La représentation de 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 Valéry ;
- 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.

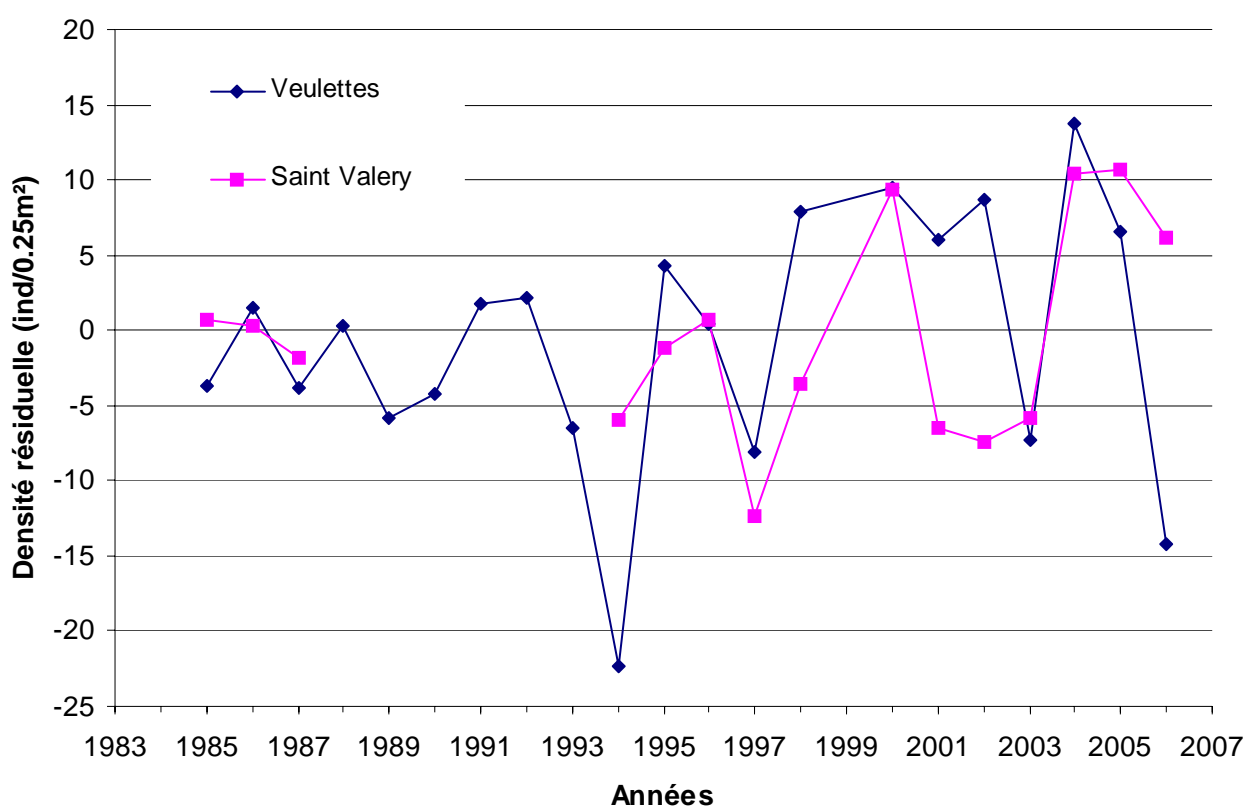


Figure 7.21 : Evolution de la moyenne estivale de la densité résiduelle (après filtrage de "l'effet biomasse algale") des *Idotea granulosa* de 1985 à 2006 sur les estrans de Saint Valéry en Caux et de Veulettes sur Mer

7.5.4. Evolution de la taille de 2003 à 2006.

La taille des idotés est mesurée pour différents stades. L'étude des données de ces quatre dernières années permet d'apprécier une éventuelle modification de ce paramètre. Les tailles mesurées sont comprises entre 0,9 mm (Femelle juvénile en juin 2003) et 20,5 mm (Mâle II en juin 2005). La taille des idotés mesurée est de $6,0 \text{ mm} \pm 2,77$; $n=4198$.

La structure de taille sera appréciée par sexe.

Les femelles.

Les femelles mesurent en moyenne $5,6 \text{ mm} \pm 2,28 \text{ mm}$; $n=2595$.

Les différences de taille par stade ont été testées. Les échantillons considérés sont de grande taille, la distribution des tailles sera considérée comme suivant loi Normale et les variances seront considérées homogènes.

Les femelles juvéniles sont significativement plus petites que les femelles en différenciation et que les femelles mâtûres (Tableau 7.5).

Les femelles mâtûres de Veulettes sont significativement plus petites que celles de Saint Valéry en Caux. Si la différence entre les années est prise en compte, la différence de taille entre les deux sites semble moins évidente. Elle semble résulter plutôt d'une variabilité interannuelle.

Les femelles juvéniles de Veulettes sont significativement plus grandes que celles de Saint Valéry en Caux. L'année 2005 a été une année de forte taille à Saint Valéry pour les femelles juvéniles. Les autres années, la taille des femelles juvénile de Veulettes est plus importante.

Les femelles en différenciation de Veulettes sont plus petites que celles de Saint Valéry en Caux. Le faible nombre de femelles en différenciation certaines années ne permet pas de tester par la même méthode que précédemment les différences entre les années.

Les mâles.

Les mâles mesurent en moyenne $6,9 \text{ mm} \pm 3,12 \text{ mm}$; $n=1532$.

Les différences de taille par stade ont été testées. Les échantillons considérés sont de grande taille, la distribution des tailles sera considérée comme suivant la loi Normale et les variances seront considérées homogènes.

La taille des mâles de stade est significativement plus faible que celle des mâles de stade II.

Il n'y a pas de différence de taille significative entre les mâles I de Saint Valéry en Caux et de Veulettes. La variation inter annuel ne permet pas de dégager de tendance particulière entre les tailles de mâles de stade I.

Il n'y a pas de différence de taille significative entre les mâles II de Saint Valéry en Caux et de Veulettes. Une différence entre les années est mise en évidence par une analyse de la variance, (test ANOVA), mais n'est pas confirmé par l'autre (le test post-hoc).

Mâles - Femelles

Les mâles juvéniles sont significativement plus grand ($t=10,34$; 2909 ddl ; $p<0,01$) que les femelles juvéniles. Les mâles mâtûres sont significativement plus grand ($t=4,95$; 923 ddl ; $p<0,01$) que les femelles mâtûres.

Les données par taille permettent d'apprécier une éventuelle modification de la croissance au cours du temps et entre les deux sites considérés. La faible longueur de la série temporelle rend

difficile la mise en évidence de modification de la taille des individus. La taille des mâles, quel que soit le stade considéré n'est pas différente entre les deux sites. Pour les femelles, des différences apparaissent. La taille des juvéniles est plus petite à Saint Valéry. La taille des femelles en différenciation et des femelles mûres est plus petite à Veulettes.

Sexe / Stade	Cas testé	Test statistique	Résultats	Test post-hoc du HSD de Tukey pour N inégaux (test de Spjotvoll/Stoline)	
Femelles	Différence entre les stades	ANOVA, F=701 ; p<0,05	Il existe une différence	J<d<I=II=III=IV=v	
	Matures	Différence entre les sites	Test t, t=3,9 ; 369 ddl ; p<0,01	Saint Valéry > Veulettes	
		Différence entre les sites et les dates	ANOVA, F=9,36 ; p<0,05	Il existe une différence	V05 < SV03, SV06, V04 < V06 < V03, SV04 < SV05
	Juvéniles	Différence entre les sites	Test t, t=2,2 ; 1931 ddl ; p<0,01	Saint Valéry < Veulettes	
		Différence entre les sites et les dates	ANOVA, F=3,81 ; p<0,05	Il existe une différence	SV04, SV06 < SV03, V03, V05, V06 < V04, SV05
	Différenciation	Différence entre les sites	Test t, t=2,2 ; 1931 ddl ; p<0,01	Saint Valéry > Veulettes	
Mâles	Différence entre les stades	Test t, t=48 ; 1530 ddl ; p<0,01	I < II		
	Stade I	Différence entre les sites	Test t, t=0,16 ; 976 ddl ; p>0,05	Saint Valéry = Veulettes	
		Différence entre les sites et les dates	ANOVA, F=7,87 ; p<0,05	Il existe une différence	V03, SV04 < SV03, SV06, V05, V06 < V04, SV05
	Stade II	Différence entre les sites	Test t, t=1,65 ; 552 ddl ; p>0,05	Saint Valéry = Veulettes	
		Différence entre les sites et les dates	ANOVA, F=4,03 ; p<0,05	Il existe une différence	Pas de différence détectée

Tableau 7.5 : Comparaison inter-sites et inter-annuelles des valeurs de taille des Idotés selon leur sexe et leur stade de développement, (ddl= degré de liberté, V : Veulettes, SV : Saint Valéry)

7.6. Conclusion

En 2006, les biomasses de *Fucus* mesurées sur le site Veulettes sur Mer sont supérieures à la normale alors qu'à Saint Valéry en Caux, ces valeurs sont similaires à celles mesurées les années précédentes. Le nombre d'idotés est différent des valeurs antérieures sur les deux sites, il y a de plus importantes densités à Saint Valéry en caux que les autres années, alors qu'à Veulettes sur mer, les densités sont plus faibles qu'habituellement. Le taux d'occupation des idotés est, comparativement aux précédentes années, supérieur à Saint Valéry en Caux et inférieur à Veulettes sur mer.

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. Les tailles d'idotés sont différentes pour les deux sites. Ces différences concernent uniquement les femelles et sont inversées selon les stades. Les causes de ces différences sont difficiles à expliquer. Le manque de données sur d'autres sites sur ces mêmes paramètres ne permet pas d'apprécier une variabilité inter site.

Le développement important de *Sphaeroma serratum* cette année ne semble pas avoir d'impact négatif sur le nombre d'idotés collectés. Les deux espèces ont une évolution similaire vis à vis des variations de la quantité de *Fucus*.

Le changement climatique est aujourd'hui une réalité admise par l'ensemble de la communauté scientifique. Les incertitudes quant à l'évolution du contexte général s'ajoute à celles sur la biologie de l'espèce prise 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

Rapport

*Luis LAMPERT (LERN),
Loïc NOGUES (LERN).*

Prélèvements

*Vincent JUSTÔME (LERN),
Olivier PIERRE-DUPLESSIX (LERN).*

8.1. Généralités

Le suivi des peuplements de *Fucus sp.*, comme indicateur potentiel des éventuelles perturbations induites par les rejets des centrales nucléaires de bord de mer sur le macrophytobenthos local, a débuté en 1994. Il s'agit d'un suivi semestriel de la biomasse et de la fertilité des peuplements de *Fucus sp.* des platiers situés à l'est et à l'ouest de la centrale électronucléaire de Paluel. Situés de part et d'autre de la centrale, trois points d'échantillonnage permettent ainsi d'évaluer l'influence éventuel du panache thermique de la centrale sur la biomasse algale présente sur l'estran rocheux.

Les trois sites retenus (Val Martin, Veulettes-sur-Mer et St Valéry-en-Caux) sont localisés sur la figure 8.1.

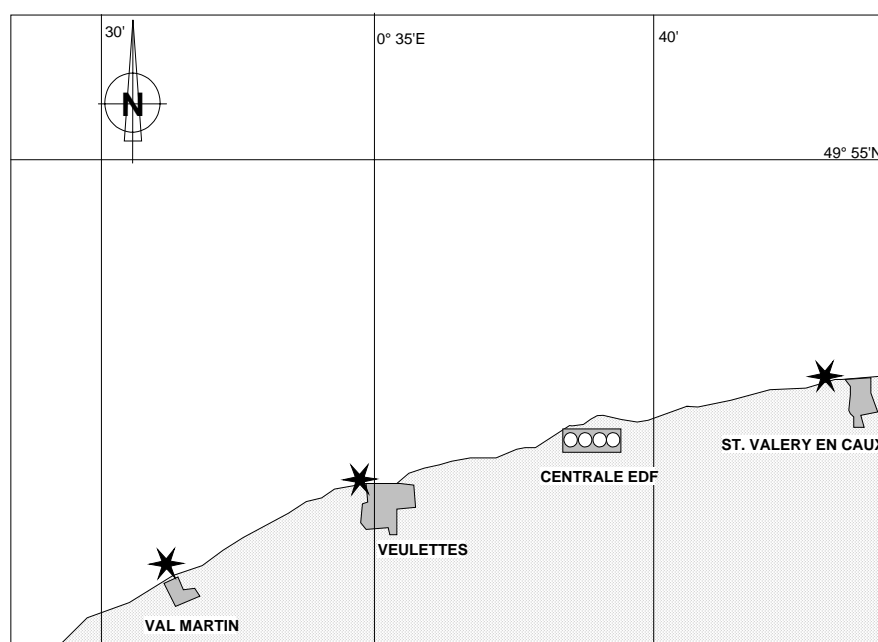


Figure 8.1 : Situation des trois points d'échantillonnage lors des campagnes 2006

Les populations de *Fucus* rencontrées sur les platiers proches de la centrale se limitent à deux espèces : *Fucus serratus* et *Fucus vesiculosus*.

8.2. Matériel et méthodes

La méthodologie, mise en place depuis 1998, consiste à réaliser des échantillons de thalles de *Fucus.sp* sur 10 quadrats de 0,25 m² le long d'une radiale (1⇒2). Délimitée par deux piquets fixés sur l'estran, la radiale reste la même d'une année sur l'autre (figure 8.2).

Une fois au laboratoire, les échantillons sont pesés, puis triés pour séparer les thalles fertiles des non fertiles. La biomasse moyenne est ensuite estimée en grammes de poids sec par quadrat (0,25 m²) avec une précision de 0,1 g. Un coefficient de 0,18 est appliqué au poids humide pour obtenir l'équivalent en poids sec.

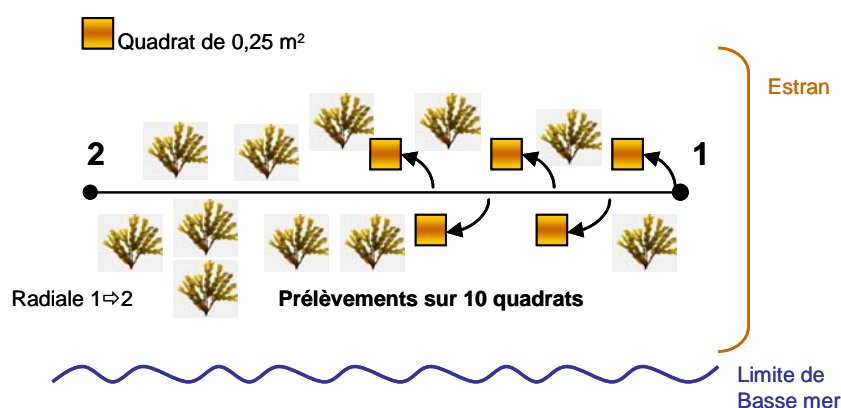


Figure 8.2 : Schéma de la méthode de prélèvement en 2006

Les thalles fertiles, possédant à leur extrémité des renflements ou réceptacles pourvus de nombreuses cryptes fertiles ou conceptacles, sont séparés des autres, pour ensuite être dénombrés afin d'estimer le pourcentage de pieds fertiles dans la population.

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 2006 pour le compartiment du phytobenthos intertidal sont présentés dans le tableau 8.1 ci-dessous.

Dates	Paramètres	VAL MARTIN	VEULETTES	ST VALÉRY
30 mars	Biomasse (g/0,25 m ²)	93,2	123,4	111,4
	Fertilité (% de pieds fertiles)	21	27	28
12 septembre	Biomasse (g/0,25 m ²)	172,7	176,6	104,8
	Fertilité (% de pieds fertiles)	90	92	83

Tableau 8.1 Valeurs de biomasse (g de poids sec/0,25m²) et de fertilité de *Fucus sp.* en 2006

8.3.1. Évolution des biomasses de *Fucus sp.*

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 *Val Martin* avec 93,2 g de poids sec /0,25m² et la plus forte valeur au point *Veulettes* en septembre avec 176,6 g de poids sec /0,25m² (figure 8.3).

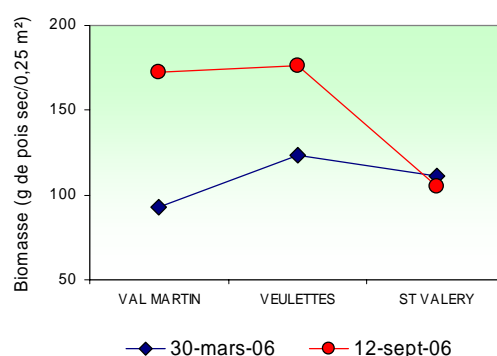


Figure 8.3 : Biomasse de *Fucus sp.* lors des campagnes de mars et septembre 2006

Comme en 2005, les valeurs de biomasse observées en septembre sont supérieures à celles enregistrées au mois de mars, à l'exception du point St Valéry qui présente des biomasses de *Fucus.sp* plus faibles en septembre qu'en mars.

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

L'ensemble des valeurs observées en 2006 se situe dans la plage de celles déjà enregistrées depuis 1994 (figure 8.4).

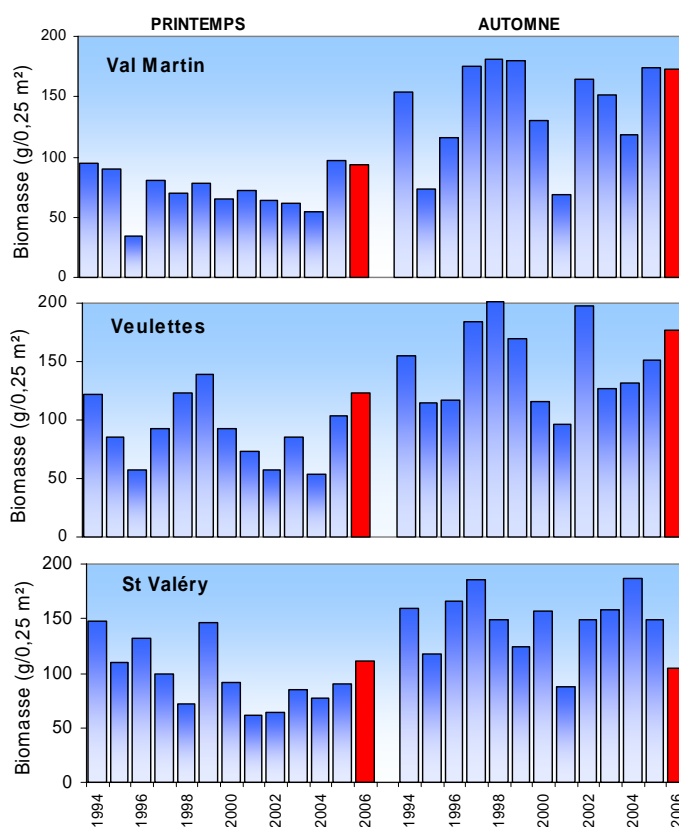


Figure 8.4 : Évolution de la biomasse de *Fucus sp.* sur les trois points d'échantillonnage depuis 1994 en grammes de poids sec/0,25m²

La biomasse de *Fucus sp.* au point *Val martin* est très proche de celle mesurée en 2005. A *Veulettes*, les biomasses relevées en mars et septembre ont été plus importantes qu'en 2005. La biomasse au point au point *St Valéry*, situé à l'est de la centrale, a été cependant plus faible en septembre qu'en mars. Il est difficile d'apporter une explication sur cette observation compte tenu du fait qu'il est impossible de faire la part du phénomène naturel (vieillissement des algues, effet des tempêtes, réchauffement global) de celle de l'action humaine (arrachage lors de pêche à pied, problèmes d'échantillonnage ou impact de la centrale).

La figure 8.5 présente la distribution des valeurs de biomasse de *Fucus sp.* obtenues depuis 1994. Cette représentation en *boîtes à moustaches* met en évidence de plus faibles médianes au printemps. La dispersion des valeurs est légèrement supérieure lors des campagnes automnales. Au printemps, les médianes présentent un léger gradient croissant d'ouest en est, tandis qu'en automne, les médianes pluriannuelles sont similaires sur l'ensemble des points.

En mars et septembre, les valeurs de biomasse de 2006 ont été supérieures aux médianes pluriannuelles, à l'exception du point St Valéry en septembre qui se rapprochent des minima de la série.

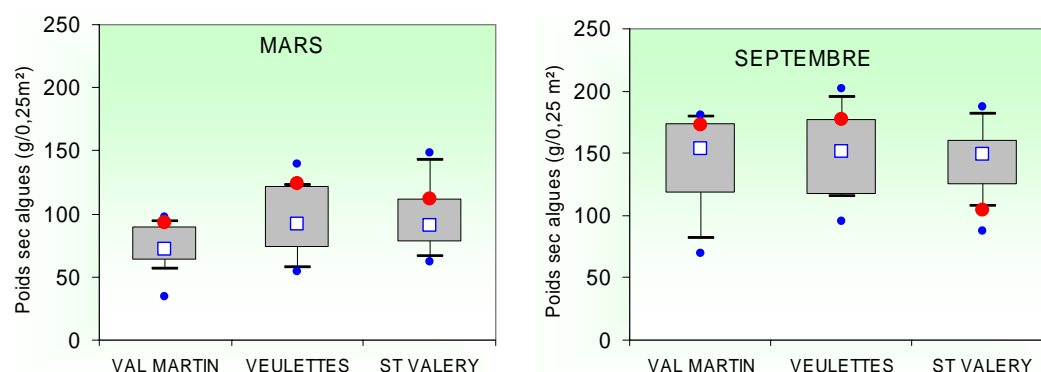


Figure 8.5 : Représentation des médianes de valeurs de la biomasse obtenues depuis 1994

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	0,006	0,303
VAL MARTIN/ST VALÉRY	0,011	0,820
ST VALÉRY/ VEULETTES	0,474	0,764

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

Tableau 8.2 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la biomasse (1997 à 2006)

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 8.5. En 2006, les valeurs de biomasse ont toutes été supérieures ou égales à celles enregistrées en 2005, à l'exception du point St Valéry en septembre.

8.3.2. Distribution des espèces de *Fucus sp.* en 2006

Deux espèces de *Fucus* sont rencontrées sur les platiers proches de la centrale. Il s'agit de *Fucus serratus* et *Fucus vesiculosus*. Lors des échantillonnages par quadrat, les deux espèces confondues ont été prélevées. Une fois au laboratoire, un tri, basé sur un critère morphologique (présence de vésicules pour le *Fucus vesiculosus*) a permis de séparer ces deux espèces et d'en déterminer leur proportion au sein de la population. Le tableau 8.3 présente une répartition moyenne de ces espèces de *Fucus sp.*, prélevés en mars et septembre.

Répartition des espèces de *Fucus sp.*

	<i>Fucus serratus</i>	<i>Fucus vesiculosus</i>
St Valéry	99,24%	0,76%
Veulettes	99,30%	0,70%
Val Martin	99,08%	0,92%

Tableau 8.3 : Distribution des espèces de *Fucus sp.* rencontrées sur les platiers de St Valéry, Veulettes et Val martin en 2006

Avec des pourcentages proches de 100 %, il est clair que l'espèce dominante sur cette partie de l'estran reste *Fucus serratus*. Les observations sur le terrain nous indiquent la présence de *Fucus vesiculosus* un peu plus haut sur l'estran.

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

8.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières de la fertilité

La plus faible valeur de fertilité obtenue lors des deux campagnes de 2006, a été observée en mars au point *Val Martin* avec 21 % de pieds fertiles (figure 8.6). La plus forte valeur a été celle observée au point *Veulettes* en septembre avec 92 %.

Classiquement, nous observons le plus grand nombre de pieds fertiles en septembre. Sachant que la période de fertilité du *Fucus sp.* peut varier d'un site à l'autre, nous pouvons penser qu'il n'y a pas de réelle différence en ce qui concerne le cycle de reproduction sur chacun des sites étudiés.

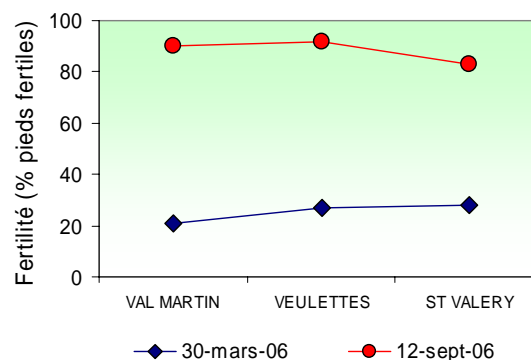


Figure 8.6 : Fertilité de *Fucus sp.* lors des campagnes de mars et septembre 2006

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

Le nombre de pieds fertiles au mois de mars a été du même ordre de grandeur qu'en 2005, à l'exception du point *Val martin* qui a observé un pourcentage deux fois plus important qu'en 2005. En septembre, les pourcentages de pieds fertiles en 2006 ont tous été légèrement supérieurs à ceux de 2005 (figure 8.7).

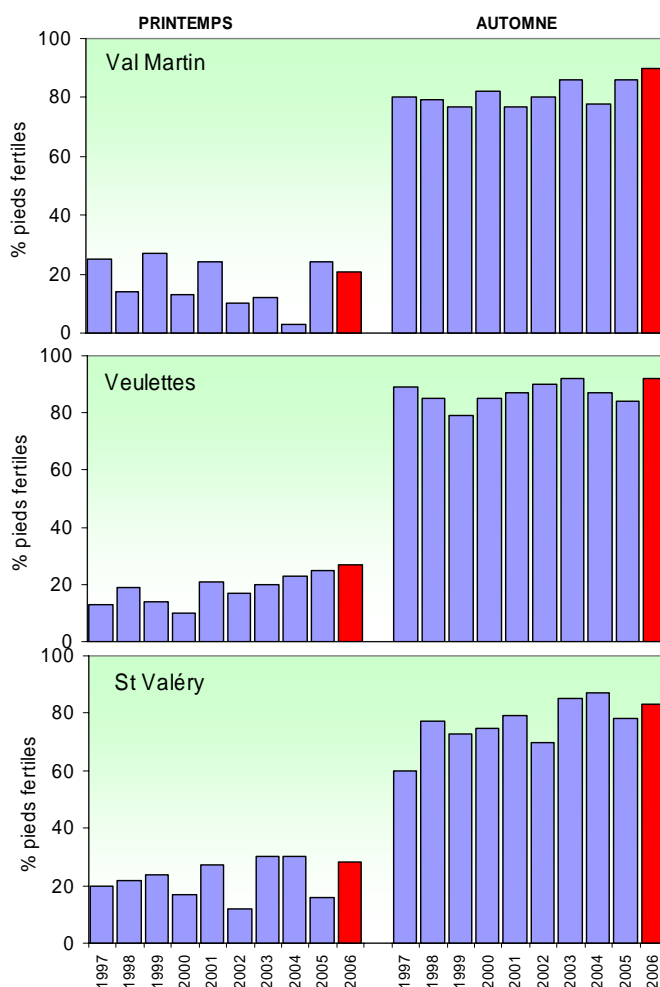


Figure 8.7 : Évolution de la fertilité de *Fucus* sp. sur les trois points d'échantillonnage depuis 1997

La dispersion des valeurs (figure 8.8) des points *Val Martin* et *Veulettes* en septembre est réduite par rapport à celles du reste de la série pluriannuelle. En mars, la distribution de médianes présente un gradient croissant d'ouest en est, tandis qu'en automne ce gradient croissant n'est observé qu'à l'ouest de la centrale. La plus faible médiane mise en évidence lors des campagnes de septembre est observée au point *St Valéry*, ce qui est confirmé en 2006.

Lors des campagnes de mars et septembre 2006, les valeurs observées sur l'ensemble des points, ont toutes été supérieures aux médianes pluriannuelles.

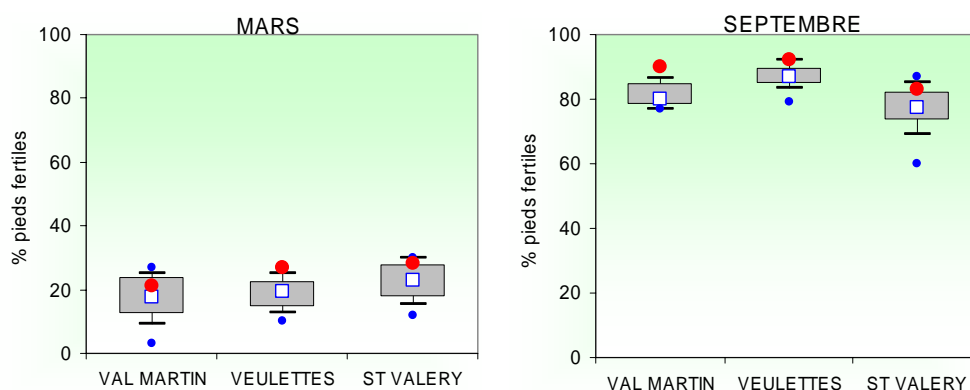


Figure 8.8 : Représentation des médianes des valeurs de la fertilité obtenue depuis 1997

8.3.3.3. Approche statistique

Les résultats des tests réalisés sur la fertilité de fucales sont présentés dans le tableau 8.4 ci dessous.

COMPARAISON	PRINTEMPS	AUTOMNE
VAL MARTIN/ VEULETTES	0,621	0,002
VAL MARTIN/ST VALÉRY	0,148	0,081
ST VALÉRY/ VEULETTES	0,098	0,003

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

Tableau 8.4 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la fertilité (1997-2006)

Aucune différence n'est observée au printemps. En automne, nous observons une différence significative entre le point *Veulettes* et les deux autres points, ce qui s'explique aisément par la faible dispersion des valeurs déjà mise en évidence dans la figure 8.8.

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

Afin de dégager une éventuelle tendance de l'évolution de la biomasse de *Fucus* sp. sur les différents sites, nous avons *filtré* le cycle saisonnier. Ce filtrage est réalisé en calculant une biomasse moyenne annuelle (figure 8.9).

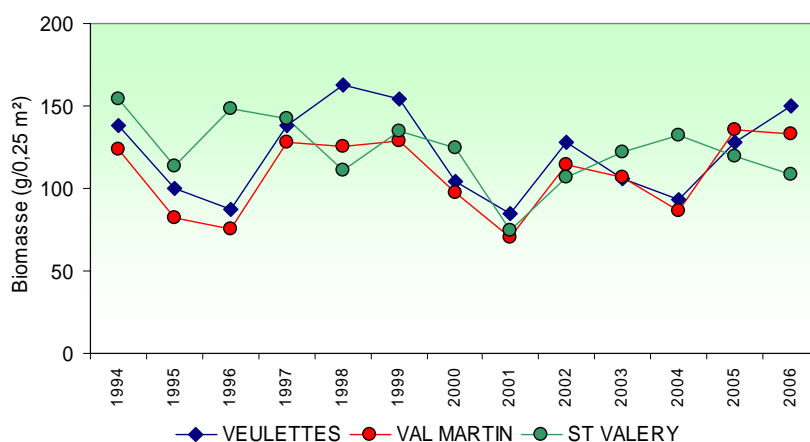


Figure 8.9. : Évolution de la biomasse moyenne annuelle (en poids sec) de *Fucus* sp. depuis 1994

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 8.5.

	Coefficient de détermination R^2	Niveau de signification
Veulettes	0,000	Non significatif
St Valéry	0,200	Non significatif
Val Martin	0,041	Non significatif

Tableau 8.5 : 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 2006, confirment globalement la tendance cyclique de la variation de la biomasse moyenne des *Fucus* sp. Ce cycle naturel semble suivre une période de 3-4 ans.

Considérée comme stable en 2005, la recolonisation du site de *St Valéry* semble s'inverser et observer une tendance à la baisse. Au contraire, les sites de *Veulettes* et *Val Martin* observent une augmentation de la biomasse depuis 2004. Il semble que le cycle naturel sur ces deux derniers sites soit légèrement décalé avec celui de *St Valéry*.

8.5. Conclusions

Les relevés effectués au cours de l'année 2006 ont montré :

- une dynamique de biomasse croissante pour les peuplements de *Fucus* sp. sur les platiers de *Veulettes* et *Val martin* depuis 2004, alors que celle *St Valéry* semble être dans une phase de décroissance ;
- une biomasse printanière en légère augmentation comparativement à celle observée en 2005 ;
- 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 2006 confortent l'hypothèse que nous avançons déjà les années précédentes, selon laquelle il existerait un cycle naturel d'environ trois à quatre ans. Ce cycle semble cependant décalé pour le site de *St Valéry* ;
- 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 31.12.2005 des effectifs et des caractéristiques des flottilles artisanales du quartier maritime de Fécamp.

Les 43 bateaux artisans immatriculés au quartier maritime de Fécamp au 31 décembre 2005 et rangés selon 3 classes de longueur, présentent les caractéristiques moyennes suivantes (source : CNTS et Affaires Maritimes) :

	Long (mètres)	Jauge (tx)	Puissance (kw)	Age moyen	nombre
longueur L < 10 m	8	4	94	17	13
10m < L < 17m	13	19	206	21	21
L > 17m	22	91	435	24	9
					43

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 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
2005	14	27	2	43

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	3	4	4	4	5	7	7	7	7	4	4	4	60
Métiers du filet	22	25	29	29	29	29	29	29	28	29	28	28	334
Divers métiers	7	9	10	11	15	9	10	13	5	9	12	10	120
Total:	32	38	43	44	49	45	46	49	40	42	44	42	514

Tableau 9.3. : Répartition du nombre de mois par bateau selon leur métier en 2005

9.2. Production

Les ventes enregistrées en criée de Fécamp entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2005 sont en très nette diminution par rapport aux apports enregistrés en 2004 : 2400 tonnes contre 6150 tonnes.

La valeur totale est elle aussi en baisse tandis que le prix moyen au kg est en forte hausse (+ 95 % environ).

Cette chute des débarquements s'explique par une légère baisse d'activité générale (514 mois X navires en 2005 contre 540 en 2004), et également par le fait que plusieurs navires n'ont pas écoulé leurs produits via la criée ; c'est notamment le cas pour une grande partie des sardines.

La sardine n'apparaît de ce fait qu'au quatrième rang des espèces débarquées en tonnage, derrière la coquille Saint-Jacques, la sole, la petite roussette puis le maquereau.

Les ventes de sole sont en baisse également, de même que celles du cabillaud de façon très sensible (tendance générale observée depuis plusieurs années).

Le rouget barbet est lui aussi en baisse très sensible (facteur 3).

En revanche, les débarquements de bar sont en hausse.

Ventes enregistrées en criée de Fécamp en 2005 (source: CNTS)

espèces	tonnage (kg)	valeur (E)
COQUILLE ST-JACQUES D'EUROPE	1 220 122	2 867 933
SOLE COMMUNE	328 315	3 157 520
PETITE ROUSSETTE	164 765	57 459
MAQUEREAU COMMUN	117 204	83 967
SARDINE COMMUNE	85 774	49 375
PLIE COMMUNE	59 685	106 800
DIV.RAIES	58 193	124 533
SEICHES	52 166	63 373
TACAUD COMMUN	30 380	6 084
EMISSOLE	29 475	25 191
SOLE-PERDRIX	28 596	100 335
MORUE COMMUNE (CABILLAUD)	26 594	138 361
TURBOT	26 348	340 489
GRISSET	23 404	35 774
BAR COMMUN	21 633	193 557
MERLAN	19 520	22 086
GRONDIN ROUGE	19 328	25 336
LIEU JAUNE	18 121	48 209
LIMANDE COMMUNE	15 419	11 246
CALMARS	10 411	51 341
GRONDIN CAMARD	7 949	1 439
BARBUE	6 689	54 315
CONGRE COMMUN	6 108	12 185
ROUGETS BARBETS	5 614	36 787
HARENG COMMUN	5 181	2 189
GRONDIN PERLON	4 393	11 667
MULETS D'EUROPE	3 980	2 024
VIEILLE COMMUNE	3 959	503
CHINCHARD COMMUN	3 680	985
DORADE ROYALE	1 532	3 529
HOMARD D'EUROPE	787	11 369
BAUDROIES D'EUROPE	369	1 895
SAINT-PIERRE	362	3 161
HUITRE PLATE D'EUROPE	319	80
BUCCIN	308	125
BOUQUET D'EUROPE	154	2 696
LINGUE FRANCHE	153	541
LIMANDE-SOLE COMMUNE	108	463
ARAIGNEE DE MER D'EUROPE	82	0
ORPHIE COMMUNE	68	6
GRANDE VIVE	39	152
GRONDIN GRIS (ATL.E)	25	12
REQUIN TAUPE COMMUN (TAUPE)	24	65
TOURTEAU D'EUROPE	24	24
SAUMON ATLANTIQUE	22	161
FLET COMMUN	19	1
ANGUILLE D'EUROPE	15	36
PEAU-BLEUE	6	11
TRUITE D'EUROPE	2	27
TOTAL	2 407 422	7 655 413

Tableau 9.4 : Espèces mises en vente en criée de Fécamp en 2005 (source : criée de Fécamp)

Conclusions

Hydrologie

Le climat en 2006 a été assez chaud et sec, tout comme ça a déjà été le cas en 2004 et 2005, avec des températures supérieures aux moyennes et une faible pluviométrie, phénomène tout particulièrement marqué aux mois de janvier et septembre.

Les campagnes 2006 ont été caractérisées par les plus faibles températures d'eau enregistrées depuis 1988 au mois de mars, par de faibles températures en juin et de fortes en septembre, confirmant ainsi l'évolution déjà constatée en 2005. Les différences de température enregistrées entre les points *référence* et *rejet* ont avoisiné, quelle que soit la saison les 2 °C, se situant ainsi au niveau des médianes pluriannuelles de la série 1988-2006.

Les salinités observées lors des trois campagnes de l'année 2006 ont été, quels que soient les points, légèrement plus faibles que celles enregistrées en 2005, à l'exception du point *rejet* en été. Nous restons néanmoins à des valeurs de salinité proches de celles observées depuis 2002, qui ont toutes été des années plutôt sèches, comparées aux faibles salinités observées lors des années humides de 1994-1995 et 2001-2002. Globalement l'ensemble des valeurs de salinité enregistrées en 2006, se situe au niveau des médianes pluriannuelles de la série 1988-2006.

Les sels nutritifs mesurés lors des campagnes 2006 semblent avoir suivi un cycle saisonnier classique : consommation par le phytoplancton entre le printemps et l'été suite à l'augmentation de l'ensoleillement, suivi d'un processus de régénération en automne.

La forte variabilité inter-annuelle de l'ammonium ne permet pas de dégager de réelles tendances d'évolution. Néanmoins les valeurs observées au cours des trois campagnes de 2006, sont toutes situées en dessous des médianes pluriannuelles de la série 1988-2006, à l'exception du point *rejet* en juin et septembre où les valeurs sont restées proches des médianes.

Les teneurs en "nitrate + nitrite" observées en mars et juin 2006 sur l'ensemble des points, sont inférieures à celles de 2005 et sont revenues à des niveaux plus proches des moyennes pluriannuelles. En revanche, les valeurs relevées en septembre sont plus élevées qu'en 2005 et se situent sur la limite supérieure des boîtes à moustaches de la série 1988-2006. Le gradient décroissant de la côte vers le large est bien marqué, avec des valeurs au point *rejet* intermédiaires de celles des points *canal* et *référence*.

Les résultats de la surveillance des teneurs en MES permettent simplement d'établir le constat qu'aucune teneur anormale en MES n'a été observée cette année, en dehors de celles attribuées à l'hydrodynamisme côtier.

Enfin, la seule valeur dépassant le seuil de détection des composés organo-halogénés recherchés a été observée au point *rejet* en juin, où le tribromométhane a atteint 3,2 µg/L.

Les concentrations de bore dans l'eau de mer observées en 2006 restent du même ordre de grandeur que celles enregistrées depuis 2000, à l'exception de la forte concentration observée en juin au point *rejet* (8,3 mg/L). Celle-ci reste difficile à expliquer, car la concentration des eaux chargées en bore rejetées par la centrale au moment de l'échantillonnage ne permet pas de retrouver des valeurs aussi élevées en faisant le calcul de dilution. Une enquête sera menée afin de déterminer la cause de ces concentrations élevées.

L'étude statistique a révélé que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au point *rejet* qu'aux autres points. Cependant, les mesures indiquent que l'impact

thermique est relativement réduit. En effet, les échantillons prélevés aux abords du *rejet* (quelques dizaines de mètres) présentent des taux de dilution théoriques importants (> 85 % en 2006 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, 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, qui ne dépassent pas les 200 000 germes/mL depuis 1996, présentent une remarquable stabilité sur les dix dernières années sur l'ensemble des points échantillonnés, mettant ainsi en évidence la stabilité du système en comparaison des premières années de fonctionnement de la centrale. Les quantités de germes totaux en 2006 se situent en dessous des médianes pluriannuelles, à l'exception des valeurs observées aux points *canal* et *référence* au mois de juin, qui en restent très proches.

Les quantités de germes revivifiables en 2006, présentent peu de variations par rapport aux années précédentes. Depuis 1997, les valeurs restent très stables, et ne dépassent pas les 10 000 germes/mL quels que soient la saison ou le point d'échantillonnage, à l'exception des valeurs observées en septembre 2003. Comme pour les germes totaux, le système est arrivé à une stabilité de fonctionnement qui ne favorise plus le développement des germes revivifiables. Sur l'ensemble de points échantillonnés en 2006, à l'exception du point *canal* en septembre, les quantités de germes revivifiables constituent les minima absolus de la série 1992-2006.

L'identification de vibrions halophiles, suivant la méthode EDF, confirme la dominance depuis 1999 de la souche de *Vibrio alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale de Paluel. La présence de *Vibrio vulnificus* est de plus en plus fréquente depuis 2001 et plus particulièrement lors des campagnes estivales et automnales. *Vibrio parahaemolyticus* n'a pas été observée dans les eaux proches de la centrale de Paluel depuis 2001.

Les quantités de vibrions halophiles dénombrées en 2006, observent une légère augmentation par rapport à 2005, mais restent nettement inférieures aux valeurs observées en 2004. Les plus fortes valeurs enregistrées entre 2004 et 2006, sont observées sur le point *rejet* lors des campagnes de juin et septembre. Quantitativement, les souches de *V. alginolyticus* et *V. vulnificus* dominent les peuplements de vibrions halophiles des eaux proches de la centrale de Paluel.

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

Phytoplancton

La biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances cellulaires montrent une évolution annuelle similaire. Le cycle phytoplanctonique annuel, avec des biomasses comprises entre 0,75 et 8,11 µg/L, correspond au cycle classiquement décrit en Manche. Les valeurs

observées en mars, plus fortes que les dernières années, sont cependant en accord avec la situation printanière classique.

Les concentrations en azote inorganique ont été proches des médianes pluriannuelles sur les deux premières campagnes 2006. Cette situation a néanmoins conduit à des valeurs de biomasse et de production primaire inférieures aux médianes pluriannuelles en été.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Paluel montrent bien le phénomène au cours duquel la population de la période 'hivernale' (bien diversifiée), dominée par les diatomées des genres *Thalassiosira* et *Skeletonema*, est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia*, avec une diversité spécifique similaire à celle du mois de mars. 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 présentes avec des valeurs de jusqu'à 133 600 cellules/L. Les eaux chargées en matériel détritique lors de la campagne de septembre rend cependant difficile l'interprétation des résultats de la fraction nanophytoplanctonique.

Ni l'évolution 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 2006.

Zooplancton

Les valeurs de biomasse observées sont proches des valeurs minimales de la série au printemps. Elles sont relativement proches de la médiane en automne et été sauf au point *référence* en été où la valeur 2006 correspond au maximum pour la série. La médiane pluriannuelle au point *rejet* reste la plus élevée pour tous les points sur l'ensemble des campagnes depuis 1988.

Les abondances sont plutôt faibles au printemps 2006 pour la série pluriannuelle, mais elles sont plus élevées que la médiane de la série en automne et en été. La plus forte abondance zooplanctonique est enregistrée fin juin au point *référence* (au large) ; elle correspond alors à la valeur maximale jamais relevée pour la série temporelle sur l'ensemble des différents points.

On note un découplage quasiment systématique entre les résultats des tests comparatifs inter points d'une part sur les données de biomasse (tableau 5.2.) et d'autre part sur les données d'abondances (tableau 5.3).

L'holoplancton est principalement dominé par les copépodes qui en représentent toujours plus de 96 % lors des trois missions. Les copépodes dominants sont dans l'ordre : *Acartia clausi*, *Temora longicornis*, *Centropages hamatus*, *Pseudocalanus minutus*, *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 tous les points en automne). Cette dominance globale peut diminuer jusqu'à moins de 10 % en mars, avant leur période d'abondance, en raison de l'apparition temporaire et massive des larves de cirripèdes (balanes) et d'annélides.

Au printemps 2006 (comme en 2004 mais contrairement à 2005), la faune zooplanctonique est fortement dominée par le méroplancton (jusqu'à 98 % à comparer aux 58 % de 2005), essentiellement constitué de cirripèdes. Lors de la campagne de fin juin, l'essentiel de la biomasse méroplanctonique est constituée de larves de mollusques gastéropodes, et pour partie de larves de crustacés décapodes. Au mois de septembre, bien qu'en plus faible abondance, ce sont également d'une part les larves de mollusques, et d'autre part les cirripèdes à la côte et les larves de crabes au large, qui ont présenté les plus fortes dominances.

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

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

Benthos subtidal

Le peuplement des cailloutis, représenté au large par le point 2 et à la côte par les points 1 et 6, est géographiquement stable depuis 1992.

Au large, il est dominé comme les années précédentes par *Ophiothrix fragilis*, *Thelepus setosus*, *Pomatoceros triqueter* et, dans une moindre mesure, le tunicier *Styela coriacea*.

Dans sa partie côtière, la disparition de la moulière à *Mytilus edulis* perdure ainsi que son remplacement par des Tuniciers, en particulier *Styela coriacea*, *Molgula manhattensis* et *Dendrodoa grossularia*. Les très rares individus de *M. edulis* récoltés en 2004 et 2005 montrent toutefois qu'un recrutement de l'espèce est toujours possible sur la zone d'étude. 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. Le basculement brutal, par absence de recrutement de moules, 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, a donc conduit à cette situation qui perdure maintenant depuis 16 ans.

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. Toutefois, en 2006, c'est le point H.Z. qui est caractérisé par un sédiment hétérogène grossier.

L'abondance de *Crepidula fornicata* 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, comme le montre sa très forte dominance cette année au point H.Z. On constate

maintenant qu'elle est présente en chaque point de la zone côtière et semble assez indifférente au type de substrat.

L'évolution de la couverture sédimentaire de la zone côtière a suivi la disparition de la moulière à *Mytilus edulis*. La relative 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 par l'action des tempêtes hivernales et de début de printemps (Davoult *et al.*, 1998).

La répartition spatio-temporelle des points 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 certaines années 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, avaient été gardés dans l'hypothèse d'un recrutement massif de *Mytilus edulis* qui aurait remis en cause l'actuelle structure de la zone côtière. L'absence de recrutement de moules depuis 16 ans et la relative stabilité de la structure de la zone côtière depuis justifient la suppression des prélèvements d'été et d'hiver aux points 1 et 6. 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 arrivée à peu près à son terme (présence à toutes les stations de la partie côtière, indépendamment du substrat, absence au large) et sa dominance semble en partie liée aux fluctuations sédimentaires constatées d'une année sur l'autre. Ces fluctuations favorisent alternativement les espèces à tendance sabulicoles/gravellicoles et les espèces de cailloutis mais *C. fornicata* semble peu affectée par ces variations, voire en bénéficier pour se maintenir comme espèce dominante (par exemple au point H.Z. en 2005 et 2006 malgré l'évolution du sédiment et de la richesse spécifique).

Benthos intertidal

En 2006, les biomasses de *Fucus* mesurées sur le site Veulettes sur Mer sont supérieures à la normale alors qu'à Saint Valéry en Caux, ces valeurs sont similaires à celles mesurées les années précédentes. Le nombre d'idotés est différent des valeurs antérieures sur les deux sites, il y a de plus importantes densités à Saint Valéry en Caux que les autres années, alors qu'à Veulettes sur mer, les densités sont plus faibles qu'habituellement. Le taux d'occupation des idiotés est, comparativement aux précédentes années, supérieur à Saint Valéry en Caux et inférieur à Veulettes sur mer.

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. Les tailles d'idotés sont différentes pour les deux sites. Ces différences concernent uniquement les femelles et sont inversées selon les stades. Les causes de ces différences sont difficiles à expliquer. Le manque de données sur d'autres sites sur ces mêmes paramètres ne permet pas d'apprécier une variabilité inter site.

Le développement important de *Sphaeroma serratum* cette année ne semble pas avoir d'impact négatif sur le nombre d'idotés collectés. Les deux espèces ont une évolution similaire vis à vis des variations de la quantité de *Fucus*.

Le changement climatique est aujourd'hui une réalité admise par l'ensemble de la communauté scientifique. Les incertitudes quant à l'évolution du contexte général s'ajoute à celles sur la biologie de l'espèce prise 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 2006 ont montré :

- une dynamique de biomasse croissante pour les peuplements de *Fucus* sp. sur les platiers de *Veulettes* et *Val martin* depuis 2004, alors que celle de *St Valéry* semble être dans une phase de décroissance ;
- une biomasse printanière en légère augmentation comparativement à celle observée en 2005 ;
- 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 2006 confortent l'hypothèse que nous avançons déjà les années précédentes, selon laquelle il existerait un cycle naturel d'environ trois à quatre ans. Ce cycle semble cependant décalé pour le site de *St Valéry* ;
- 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 2005 sont en très nette diminution par rapport aux apports enregistrés en 2004 : 2400 tonnes contre 6150 tonnes.

La valeur totale est elle aussi en baisse tandis que le prix moyen au kg est en forte hausse (+ 95 % environ).

Cette chute des débarquements s'explique par une légère baisse d'activité générale (514 mois X navires en 2005 contre 540 en 2004), et également par le fait que plusieurs navires n'ont pas écoulé leurs produits via la criée ; c'est notamment le cas pour une grande partie des sardines.

La sardine n'apparaît de ce fait qu'au quatrième rang des espèces débarquées en tonnage, derrière la coquille Saint-Jacques, la sole, la petite roussette puis le maquereau.

Les ventes de sole sont en baisse également, de même que celles du cabillaud de façon très sensible (tendance générale observée depuis plusieurs années).

Le rouget barbet est lui aussi en baisse très sensible (facteur 3).

En revanche, les débarquements de bar sont en hausse.

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., KEROUEL, R., 2004
Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses, *Ed. Ifremer*. 336 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 halieutique, site de Paluel, année 1990. *Rapport Ifremer*. 59-81.
- DAVOULT, D., 1992. Le domaine benthique subtidal, in: Surveillance écologique et halieutique, site de Paluel, année 1992. *Rapport Ifremer*.

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

DAVOULT, D., DEWARUMEZ J.M. & A. 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 2005. 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., SOUPLLET, 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 - année2003

- 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.
- KHALANSKI, M. 2002
Analyse quantitative de vibrions appliquée à la surveillance de l'environnement des CNPE en bord de mer et en estuaire. EDFR&D, juin 2002, Département LNHE. 9pp.
- 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.

SCHLITZER, R., 2004

Ocean Data View, <http://odv.awi-bremerhaven>

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

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

STEEMANN NIELSEN, E. 1951

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

STEEMANN NIELSEN, E. 1952

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

SYWALA, T. 1964.

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

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

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

UTERMOHL, H. 1958

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

