

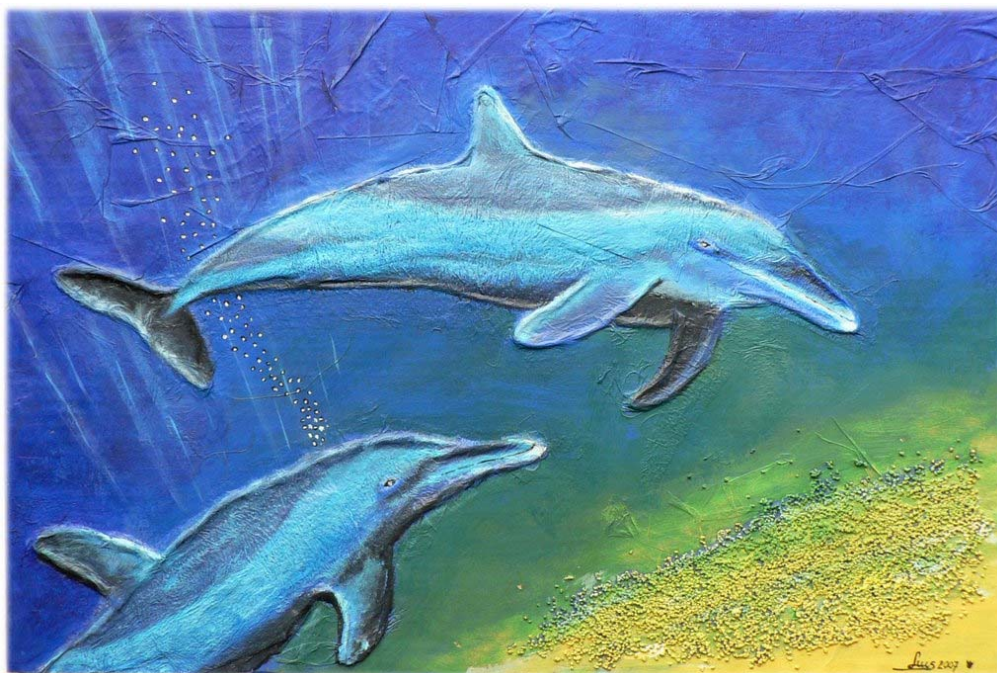
Luis LAMPERT
Chantal ABERNOT LE GAC
Elvire ANTAJAN
Dominique DAVOULT
Luis LAMPERT
Antoine MEIRLAND
Aline MIGNE
Loïc NOGUES
Jean-Paul DELPECH

mars 2008 – Rapport RST – LERN 08/01

Surveillance écologique et halieutique du site Electronucléaire de Paluel

Année 2007

Rapport scientifique annuel



Dauphins, Luis Lampert, technique mixte, 2007

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques)	
Numéro d'identification du rapport : RST LERN 08.01	date de publication : mars 2008
Diffusion : libre - restreinte - interdite	nombre de pages : 182
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	Organisme / Direction / Service, laboratoire
ABERNOT LE GAC Chantal	IFREMER / DYNECO
ANTA JAN Elvire	IFREMER / LERB
DAVOULT Dominique	Station marine de Roscoff
DELPECH Jean-Paul	IFREMER/ Boulogne / DRV/ RH
MEIRLAND Antoine	GEMEL Picardie
MIGNE Aline	Station marine de Roscoff
NOGUES Loïc	IFREMER / LERN
Collaborateur(s) : nom, prénom	
GAFFET J-Dominique	Organisme / Direction / Service, laboratoire
PHILIPPON Xavier	IFREMER / DYNECO
JUSTOME Vincent	IFREMER / DYNECO
PIERRE-DUPLESSIX Olivier	IFREMER / LERN
RAULIN Pascal	IFREMER / LERN
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	
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, 2007, NO THALIA.

Résumé : <i>L'étude n°30 du site électronucléaire de Paluel (département de la Seine-Maritime) concerne l'année 2007. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2007 est la 24^{ème} année de fonctionnement de la Centrale.</i>
Abstract : <i>Monitoring n°30 of the Paluel nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2007. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for twenty four 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> (2008) - Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel, année 2007 - Rapport scientifique annuel. Rapp. IFREMER RST LERN 08.01, mars 2008, 182 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 2007	29
2.2.1. Température	30
2.2.2. Salinité	36
2.2.3. Ammonium	40
2.2.4. Nitrate et nitrite	43
2.2.5. Matières en suspension	46
2.2.6. Trihalométhanes	49
2.2.2. Bore	51
2.3. Conclusion	53
3. La microbiologie	55
3.1. Introduction	56
3.2. Matériel, méthodes d'analyses et détermination	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	80
4.3.3. Microphytoplancton	83
4.3.4. Populations observées en 2007	85
4.4. Bilan des résultats entre <i>canal</i> et <i>rejet</i>	88
4.5. Conclusion	89

5. Le zooplancton	90
5.1. Introduction.....	91
5.2. Matériel et méthodes.....	91
5.3. Résultats	92
5.3.1. Biomasse sestonique.....	93
5.3.2. Abondances zooplanctoniques	96
5.3.3. Étude faunistique	99
5.4. Conclusion.....	106
6. Le benthos subtidal.....	107
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.....	122
7. Benthos intertidal.....	129
7.1. Introduction.....	130
7.2. Écologie et biologie d' <i>Idotea granulosa</i>	130
7.3. Méthodologie.....	131
7.4. Résultats	138
7.5. Évolution à long terme du benthos.....	145
7.6. Conclusions.....	153
8. Le phytobenthos intertidal	154
8.1. Généralités.....	155
8.2. Matériel et méthodes.....	155
8.3. Résultats	156
8.4. Analyse des tendances temporelles du Fucus	162
8.5. Conclusion.....	164
9. Halieutique	165
9.1. Situation au 31.12.2004	166
9.2. Production	167
CONCLUSIONS	169
Bibliographie	176

Résumé

L'année 2007, contrairement aux années précédentes, a connu une année pluvieuse en été et avec des températures très douces en hiver et proches ou en dessous des moyennes pluriannuelles. Le débit de la Seine en 2007 a été supérieur à la moyenne 1941-2007 et aux débits enregistrés depuis 2003. Les plus forts débits en 2007 sont observés en mars, août et décembre.

Les écarts de température entre les points *référence* et *rejet* ont été en moyenne égales à 2°C en été et en automne. Au printemps, cet écart a été de 1°C au printemps. Les salinités relevées en 2007 sur le site de Paluel sont restées assez proches des valeurs observées entre 2002 et 2006 malgré l'année humide. Les sels nutritifs mesurés lors des campagnes de 2007 n'ont pas strictement suivi le cycle saisonnier classique. La forte activité phytoplanctonique du mois de septembre a vraisemblablement entraînée une intense consommation de nutriments expliquant ainsi les faibles teneurs en ammonium, nitrate et nitrite à cette saison. Aucune teneur anormale en MES n'a été observée cette année, en dehors de celles attribuées à l'hydrodynamisme côtier. La seule concentration en bromoforme supérieure au seuil de détection enregistrée en juin au point *référence*, a été 1,1 µg/L. Au mois de septembre, nous observons le maximum annuel au point *rejet* avec 6,76 µg/L.

Les abondances en germes totaux restent stables par rapport à celles observées les années précédentes. Les germes revivifiables restent proches des valeurs pluriannuelles en mars et juin, puis, le maximum historique d'abondance est observé lors de la campagne de septembre avec 206 000 germes/mL. Les résultats obtenus en 2007 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 sont faibles en mars et juin, et montent en septembre, ce qui est confirmé par les images satellitaires. Pour la première fois, la production primaire a été approchée par la fluorimétrie modulé. Ces résultats nous renseignent également sur l'état physiologique des peuplements phytoplanctoniques, état qui est bon à très bon. Les abondances phytoplanctoniques sont supérieures aux médianes pluriannuelles en mars et septembre et inférieures en juin. Les successions phytoplanctoniques ont été celles observées classiquement depuis 1988.

Les plus fortes biomasses sestoniques ont été observées au printemps, avec des valeurs supérieures à celles enregistrées depuis 2001. En été, nous constatons le phénomène inverse, avec des biomasses aux points *canal* et *rejet* les plus basses de la série temporelle. La plus forte abondance zooplanctonique est mise en évidence en juin au point référence, où les 48 800 ind. 10m⁻³ représentent la plus forte valeur observée depuis 1994. L'holoplancton est toujours dominé par les copépodes (à plus de 60 %) sur les trois campagnes annuelles.

L'étude sédimentaire du benthos subtidal en 2007 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 sont stables et *Crepidula fornicata* est maintenant installée sur tous les substrats. Quatre nouvelles espèces ont été identifiées : il s'agit de l'Annélide polychète *Pista cristata*, des Mollusques *Tricollia pullus* et *Parvicardium scabrum* et de l'Amphipode *Maera grossimana*, espèces déjà signalées en Manche orientale mais jamais récoltées sur le site de Paluel.

En 2007, les biomasses de fucales à Veulettes sur Mer ont été supérieures à celles observées à Saint Valéry en Caux. Ces dernières sont du même ordre que la série pluriannuelle, tandis qu'à Veulettes sur Mer ont été inférieures à la moyenne. Les abondances des Idotées en 2007, très inférieures aux séries pluriannuelles sur les deux points de prélèvement, représentent le plus basses valeurs observées depuis 1995.

Les densités de fucales sur les points Val Martin, Saint Valery-en-Caux et Veulettes sont nettement inférieures à celles des médianes 1994-2006, 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. L'année 2007 se situe dans le creux de ce cycle.

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 2007, l'état d'avancement a été adressé à EDF en mai 2007.

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 2007, les études réalisées sur le site de Paluel ont été menées sous la responsabilité de :

Elvire ANTAJAN, Ifremer/LERB, pour le zooplancton

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 rédigé les chapitres microbiologie et hydrologie

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 au Pôle Zooplancton de Boulogne sur Mer (IFREMER/BL) pour le 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 28 mars, 29 juin et 17 septembre 2007.

1. Généralités

Rédaction Luis Lampert (LERN)

Données Météo Météo France,
Banque Hydro (MEDD),
Programme Seine Aval.



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.

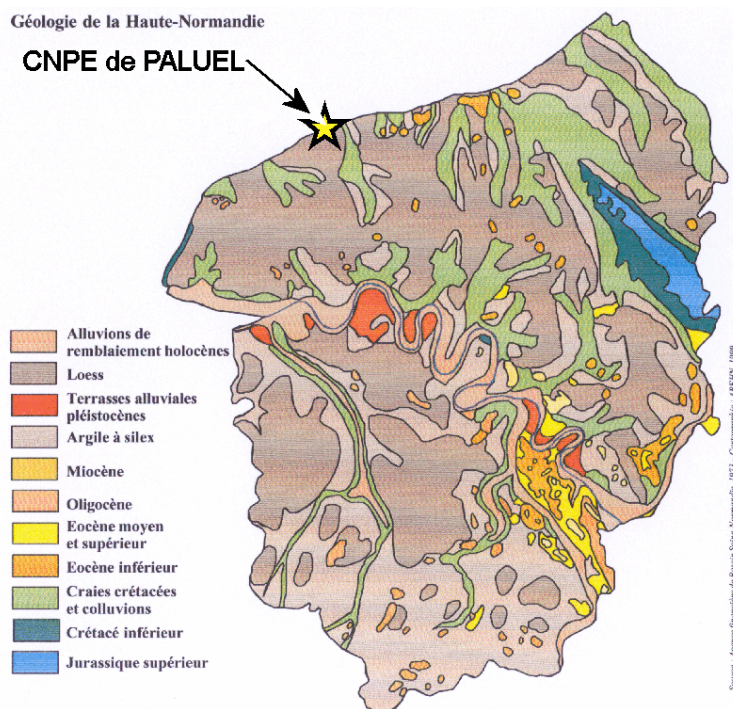


Figure 1.2 : carte géologique de la région 'Haute-Normandie'

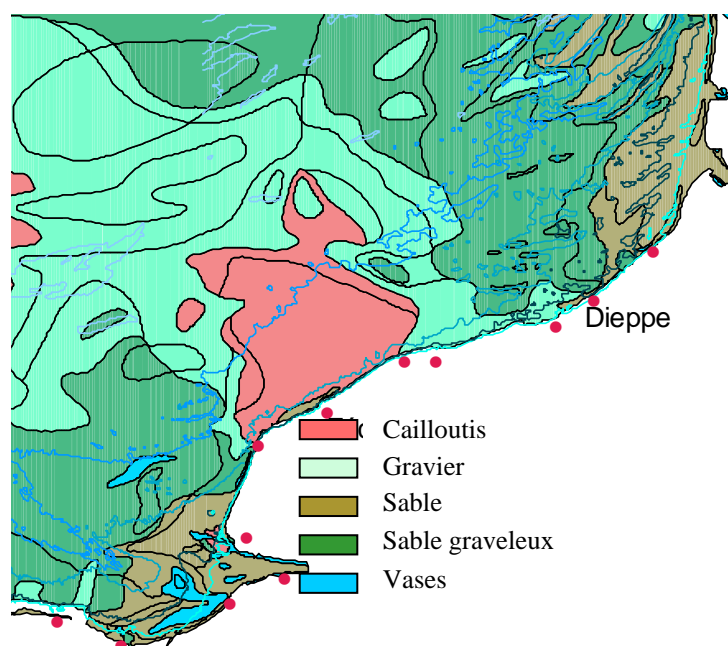


Figure 1.3 : caractéristiques des sédiments marins autour de la centrale de Paluel

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.

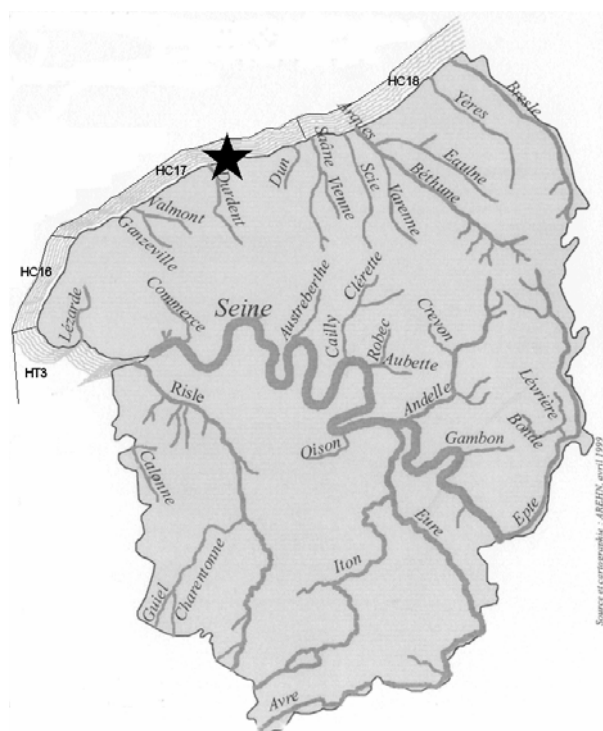


Figure 1.4 : Principaux fleuves de la région Haute-Normandie et masses d'eau de la Directive Cadre de l'Eau européenne (DCE)



Figure 1.5 : Bassins versants de la région Haute-Normandie. Des couleurs arbitraires identifient les différents bassins versant, avec le nom des principaux fleuves. Le trait noir délimite les départements

1.5. Hydrographie marine

1.5.1. Marées

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

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

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

1.5.2. Courants

On distingue les courants périodiques et les courants apériodiques. Les courants périodiques sont essentiellement les courants de marée alternatifs et parallèles à la côte (Figure 1.6.). Le flot, d'une durée moyenne de 5 heures, porte vers le N-NE à une vitesse de 0,5 à 1 m/s (soit 1 à 2 nœuds).

Le jusant, d'une durée approximative de 7 heures, porte vers le W-SW avec une vitesse inférieure, de 0,4 à 0,6 m/s. La renverse de pleine mer a lieu en vive eau à PM -30 min, celle du jusant à PM -5 h 30. De ce fait, le flux net au cours d'un cycle de marée est celui d'un déplacement des masses d'eau vers le N-NE dans le sens du flot. Ce déplacement est dû au courant de marée provenant de l'Atlantique et qui prend une vitesse importante au-delà de Cherbourg. Vers Fécamp, la vitesse du courant augmente et atteint 1,2 m/s pendant le flot et 0,9 m/s pendant le jusant.

Les courants apériodiques sont essentiellement dus à l'action prolongée d'un régime de vents stables entraînant les masses d'eau. Ainsi une période de vent d'ouest durable crée un courant portant à l'est tandis qu'une période de vent de nord-est crée un courant portant au sud-ouest. Ces courants de dérive dus au vent peuvent atteindre 2 à 5 % de la vitesse du vent.

Un des traits majeurs des cycles d'étude précédant l'installation de la centrale était d'avoir mis en évidence l'influence des eaux issues de la baie de Seine. Si cette influence est certaine par l'action du *fleuve côtier* (Brylinski *et al.*, 1991), elle est cependant irrégulière.

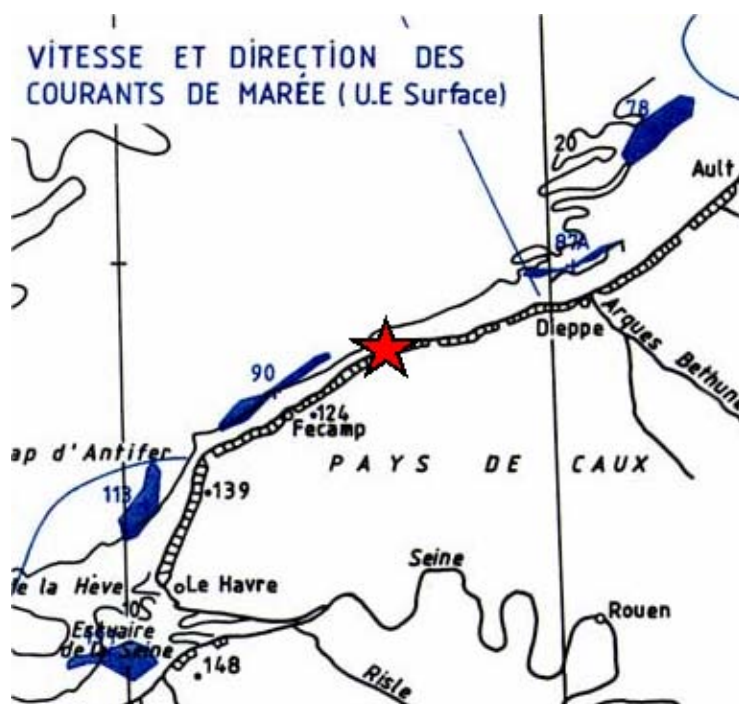


Figure 1.6 : Courants de marée en Haute-Normandie

1.5.3. Apports telluriques

La *Durdent*, petit fleuve côtier de faible débit irrégulier, se jette à l'ouest du site (Figure 1.4). Les arrivées d'eau douce au niveau de Fécamp sont généralement très faibles, mais il ne faut pas sous-estimer la présence de pollutions urbaines provenant soit du port soit de la station d'épuration de St-Valery-en-Caux, 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.

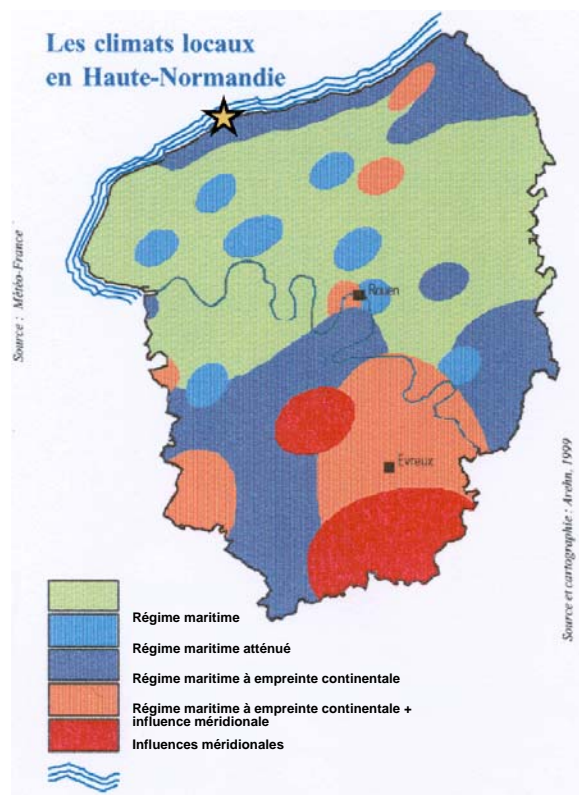


Figure 1.7 : situation climatologique de la région Haute-Normandie

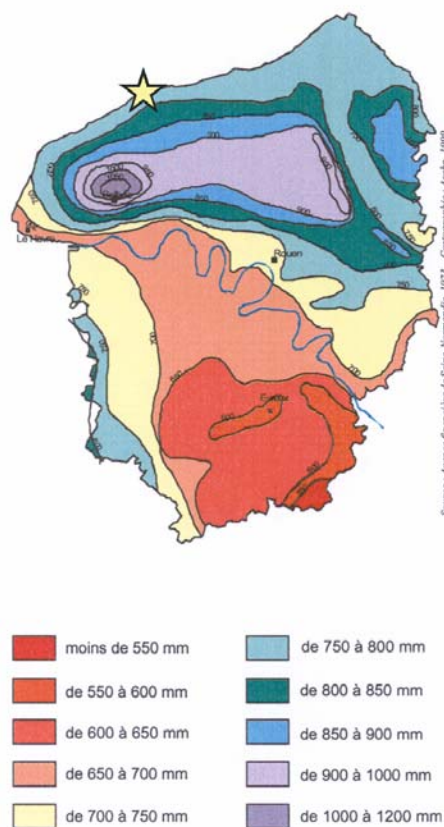


Figure 1.8 : Pluviométrie moyenne annuelle de la région Haute-Normandie sur 30 ans.

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.

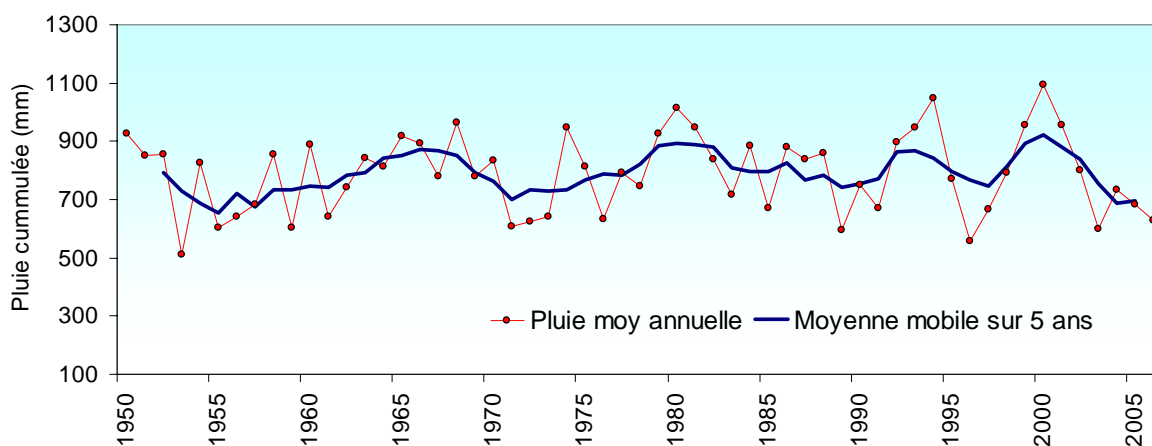


Figure 1.9 : Pluie moyenne annuelle à Dieppe depuis 1950 et moyenne mobile sur cinq ans

La moyenne de précipitations annuelles entre 1950 et 2005 est de 790 mm. L'écart des valeurs annuelles à cette moyenne montre que la période 1999-2002 a été excédentaire, de 2003 à 2006 ce bilan est déficitaire, et qu'en 2007 elle redevient positive (figure 1.10).

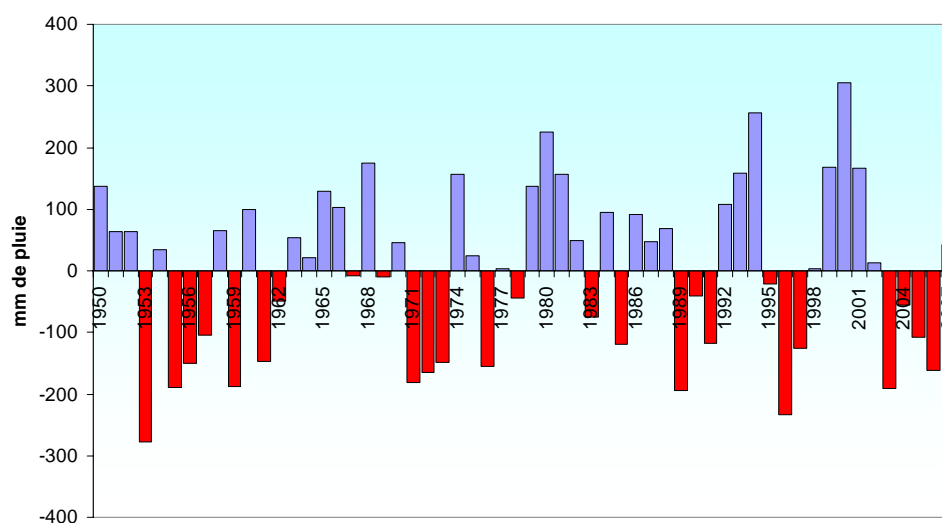


Figure 1.10 : Écarts annuels de pluie à la moyenne 1950-2007

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.

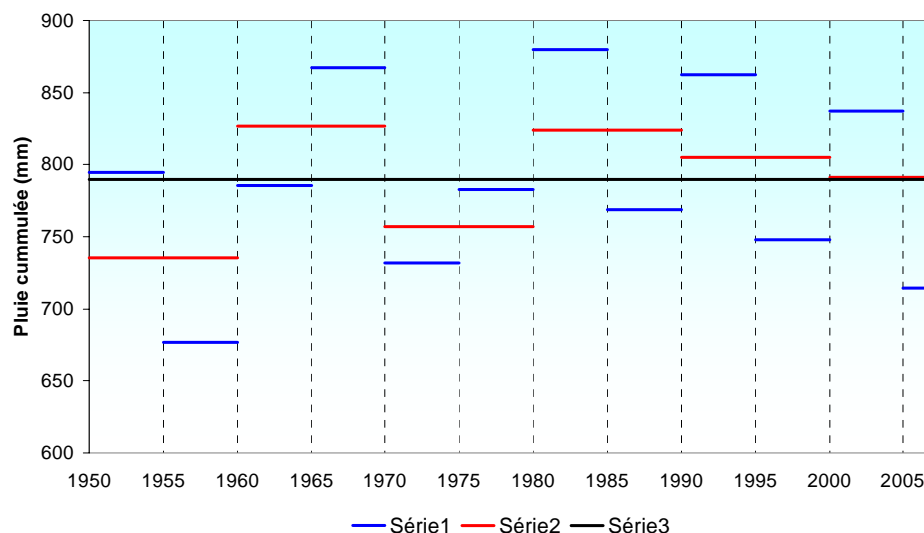


Figure 1.11 : Valeurs moyennes de pluie à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait rouge). Le trait noir représente la moyenne de pluies de la période 1950-2007

La valeur moyenne de précipitations sur la période 1967-2006 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.

Lors de l'hiver 2007, seul le mois de février présente des précipitations supérieures à la moyenne. Le printemps montre une augmentation régulière d'avril à juin ; puis, en été, les précipitations restent au dessus de la moyenne 1950-2006. Le niveau global des précipitations en 2007 est de 832,6 mm. A titre comparatif, le niveau des pluies cumulées en 2006 a été de 628 mm.

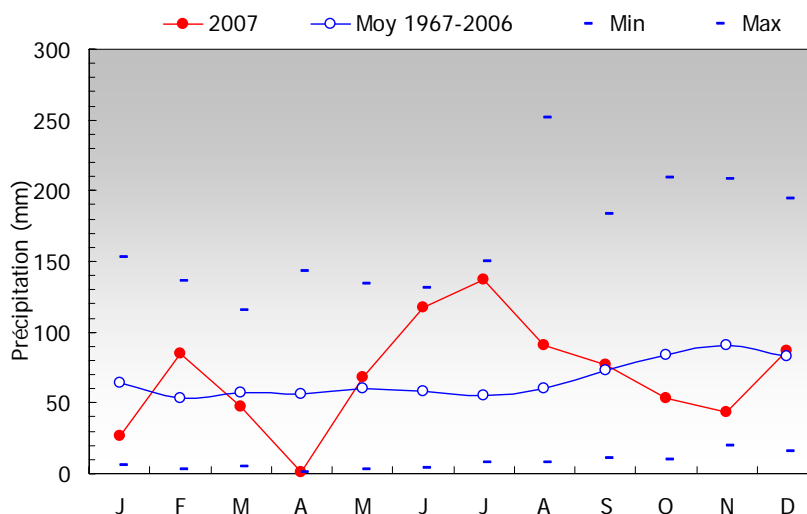


Figure 1.12 : Hauteur de précipitations mensuelles à Dieppe en 2007 et au cours de la période 1967-2006

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.

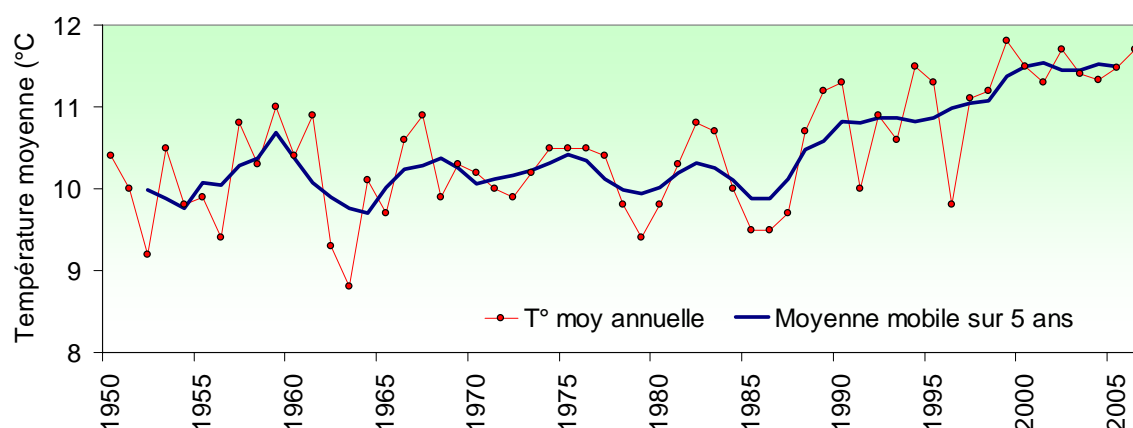


Figure 1.13 : Température moyenne annuelle à Dieppe depuis 1950 et moyenne mobile sur cinq ans

Cette évolution est clairement mise en évidence par les écarts des valeurs annuelles à la moyenne générale de la période 1950-2007 (figure 1.14), où depuis 1988, seule les années 1991 et 1996 ont été en dessous de la moyenne.

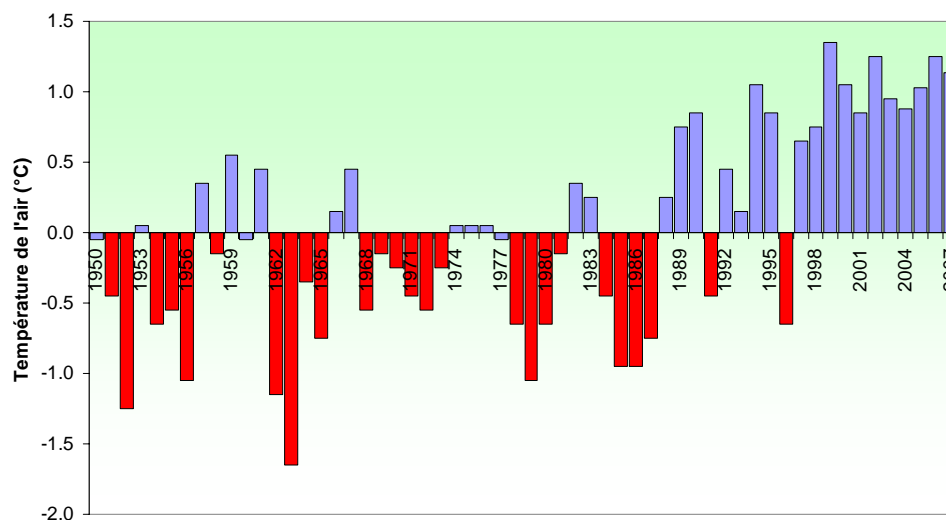


Figure 1.14 : Écarts annuel de température à la moyenne 1950-2007

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).

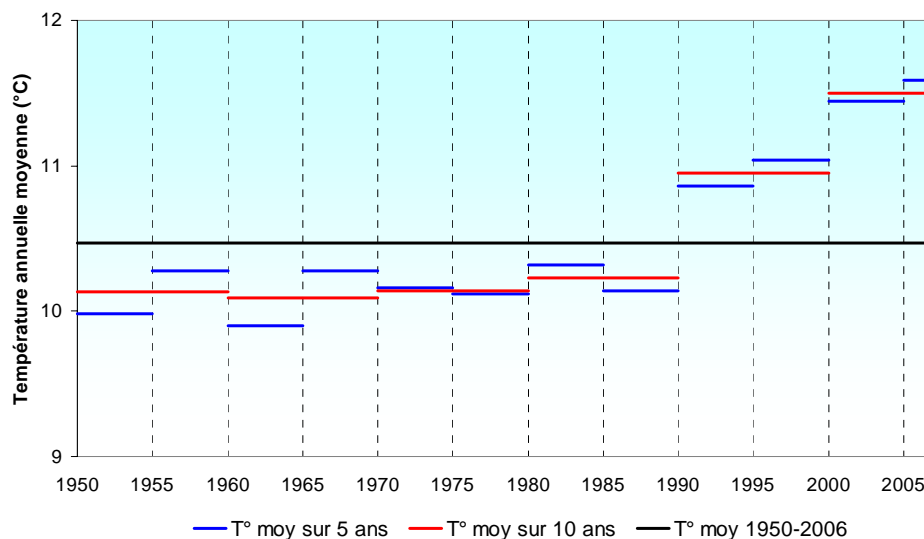


Figure 1.15 : Valeurs moyennes de température de l'air à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait rouge). Le trait noir représente température moyenne de la période 1950-2006

Contrairement à 2006, l'hiver 2007 a été particulièrement doux, avec des températures qui se situent au-dessus de la moyenne (figure 1.16). Les températures restent au-dessus de cette moyenne jusqu'au mois de juillet. En août et septembre elles se situent près de la médiane.

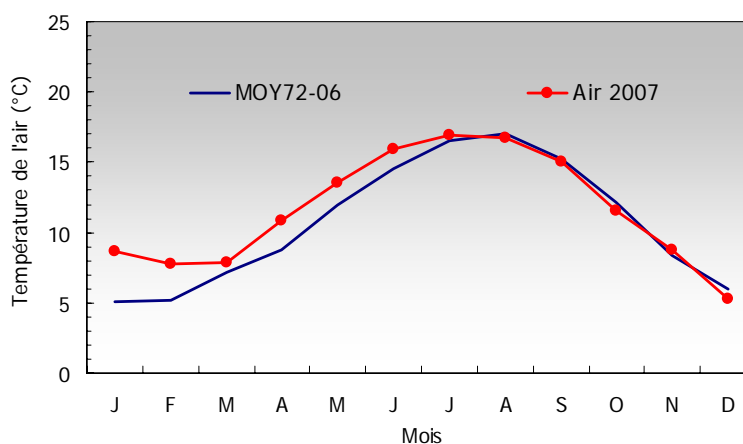


Figure 1.16 : Température moyenne mensuelle de l'air à Dieppe en 2007 et au cours de la période 1972-2006

1.6.4. Débit de la Seine et la Durdent

Le débit mensuel de la Seine en février et mars présente des valeurs supérieures à la moyenne pluriannuelle 1941-2007 (figure 1.17a). Le mois de janvier et le printemps ont été par contre déficitaires. Au mois de juillet le niveau de précipitation mensuelle dépasse la moyenne jusqu'au mois de novembre, qui se situe en dessous de la moyenne, pour remonter fortement en décembre.

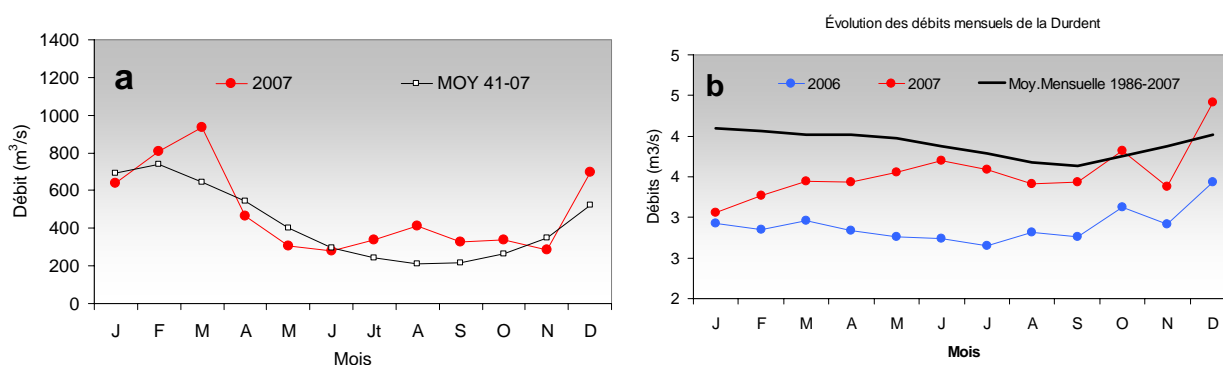


Figure 1.17 : Débit mensuel moyen de : a) la Seine à Poses en 2007 et moyenne de la période 1941-2007, b) la Durdent à Vittefleury en 2007 et moyenne de la période 1985-2007

Bien que les débits de la Durdent soient supérieures en 2007 par rapport à 2006, ils restent en dessous de la moyenne observée depuis 1986. Seul dans la deuxième moitié de l'année, ils se rapprochent de celle-ci et dépassent franchement la valeur de la moyenne pluriannuelle.

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 de janvier au mi avril a eu lieu sur la tranche 2. La tranche 3 a connu une période d'arrêt, du 24 mars jusqu'au 19 octobre. La tranche 4 a été arrêtée du 14 juillet au 29 septembre et la tranche 1 du 13 octobre jusqu'à la fin de l'année (figure 1.18).

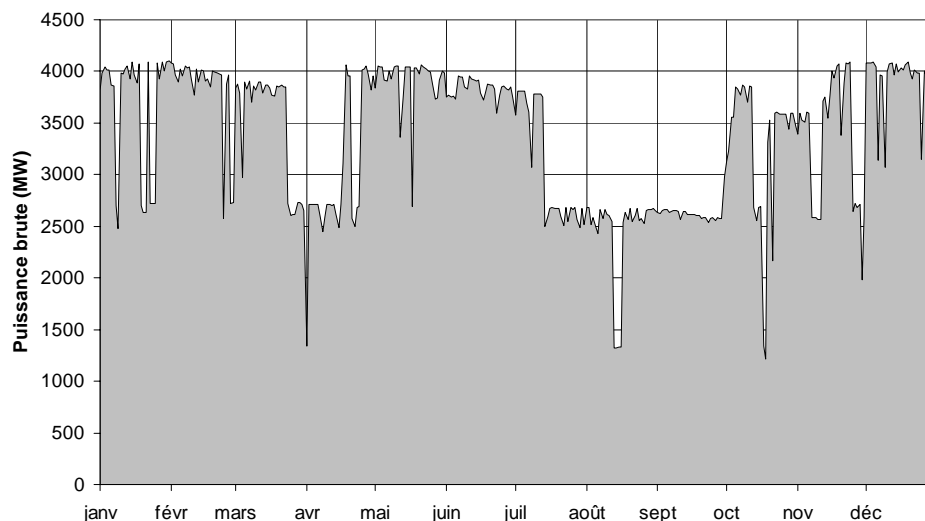


Figure 1.18 : Puissance brute de l'ensemble des quatre tranches de la CNPE de Paluel au cours de l'année 2007

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 canaux (figure 1.19).

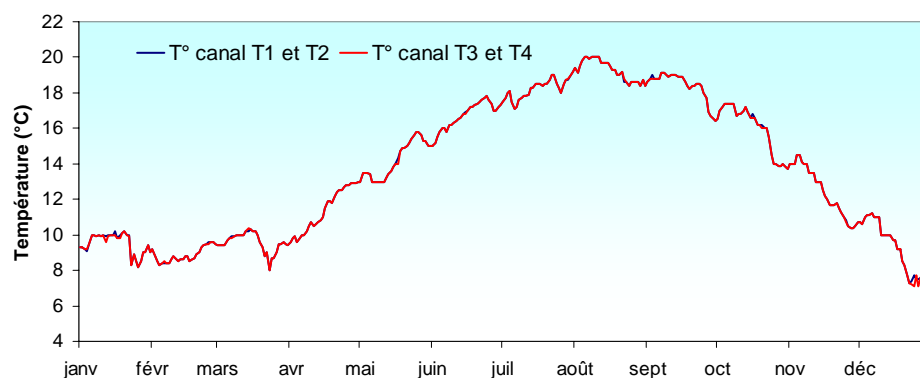


Figure 1.19 : Températures relevées par l'EDF quotidiennement sur chacun des deux canaux d'amenée

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

Les six premiers mois présentent des périodes de fortes températures, atteignant parfois les maxima absolus de la série 1991-2007. Seul au mois d'avril nous constatons des températures proches de la moyenne. Dès le mois de juillet, la température de l'eau de mer descend à des valeurs proches de la moyenne pluriannuelle, et oscille autour de celle-ci jusqu'à la fin de l'année, avec des périodes froids comme il a été le cas à la fin août ou la mi décembre.

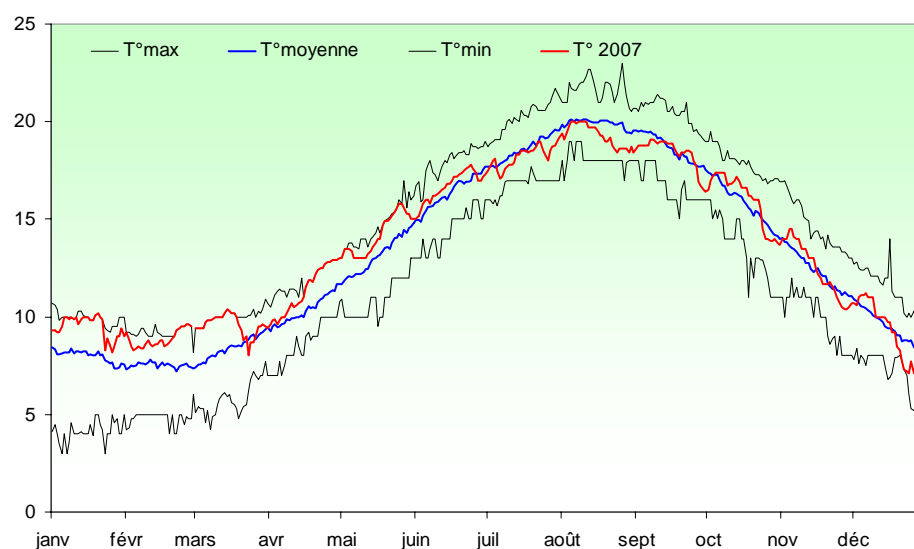


Figure 1.20 : Évolution de la température journalière (à 16 h) de l'eau de mer dans le canal d'amenée du CNPE de Paluel au cours de l'année 2007 et moyenne journalière sur la période 1991-2007

Les valeurs des températures de l'air mesurées à Dieppe (Météo France) et celles de l'eau de mer fournies par EDF 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).

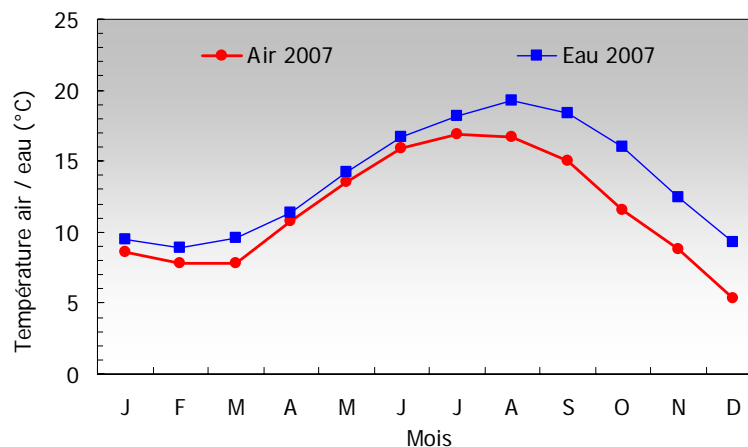


Figure 1.21 : Évolution des températures moyennes mensuelles de l'air à Dieppe et de l'eau de mer au canal d'amenée en 2007 au CNPE de Paluel

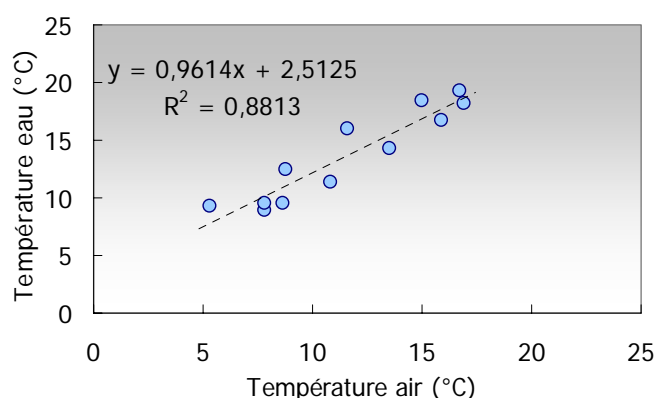


Figure 1.22 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau du canal d'amenée (données EDF) en fonction de celle de l'air à Dieppe (données Météo France)

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 vers la température du canal représente une diminution de la puissance produite par le réacteur ou de son arrêt total si les deux traits coïncident.

Ainsi nous observons l'arrêt de la tranche 2 depuis janvier jusqu'au mi avril, et celles des tranches 1, 3 et 4.

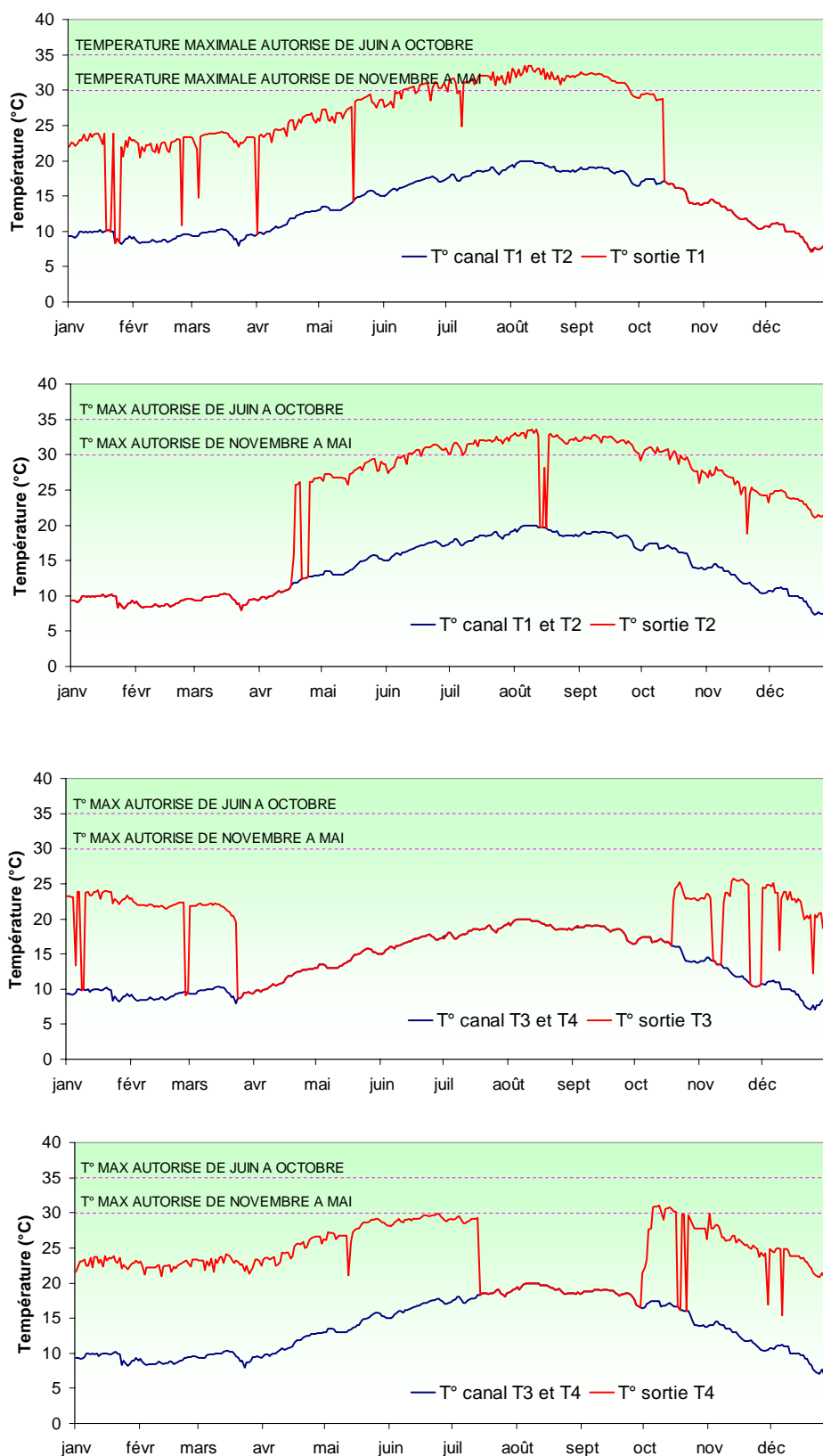


Figure 1.23 : Températures journalières de l'eau de mer à l'entrée du canal d'amenée et à la sortie des condenseurs pour chacune des quatre tranches du CNPE de Paluel en 2007

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).

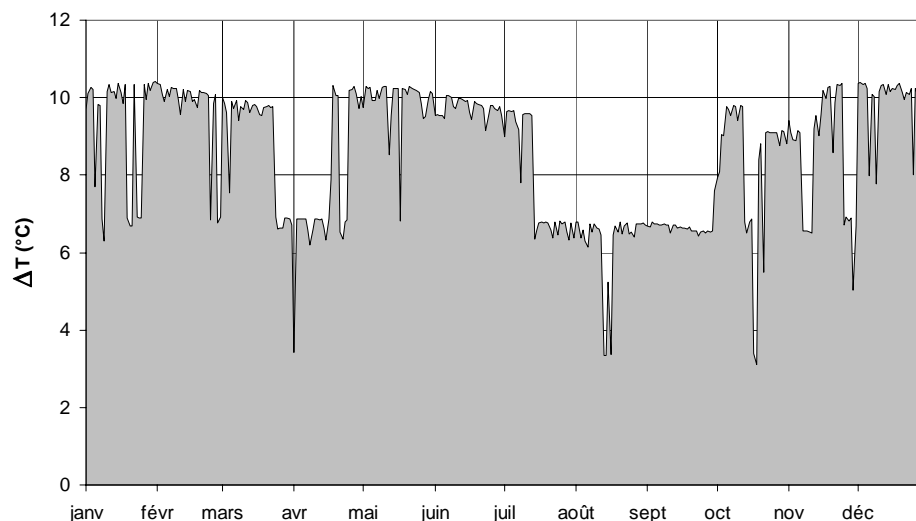


Figure 1.24 : Écarts journaliers moyens de température entre la sortie des quatre condenseurs et les canaux d'amenée au cours de l'année 2007

Dans la figure 1.25 sont indiquées les quantités de chlore utilisées pour le traitement des canalisations de rejets par mois.

2007	T1	T2	T3	T4	Total
Janvier	0	0	0	0	0
Février	0	0	0	0	0
Mars	0	0	0	0	0
Avril	50	50	0	50	151
Mai	50	52	0	50	153
Juin	50	50	0	50	151
Juillet	57	54	30	23	163
Août	66	51	68	0	185
Septembre	75	75	66	22	238
Octobre	22	77	66	67	231
Novembre	0	76	62	73	211
Décembre	0	2	2	22	25
Total	370	488	293	357	1508

Figure 1.25 : Quantités de chlore en tonnes utilisés par tranche et par mois pour le traitement *anti fouling* des canalisations de rejets

1.8. Travaux réalisés par l'IFREMER

La liste de l'ensemble de travaux réalisés pour la surveillance écologique et halieutique en 2007 est présentée dans le tableau 1.3.

2007	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 1xREF surf 1xREF 1/2Z	28 mars
		MES	1xCA surf 1xRJ surf 1xREF surf	
		Bromoforme	1xCA surf 1xRJ surf 1xREF surf	
		Bore	1xCA surf 1xRJ surf 1xREF surf	
Phytoplancton	Rejet (RJ) surface [49° 52,096 N 000° 37,894 E]	Chlorophylle <i>a</i>	1xCA surf 1xRJ surf 1xREF surf 1xREF 1/2Z	29 juin
		Abondance	1xCA surf 1xRJ surf 1xREF surf 1xREF 1/2Z	
		Production primaire	3xCA surf 3xRJ surf 3xREF surf 3xREF 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 2xREF surf	17 septembre
Zooplancton		Biomasse poids sec Biomasse carbone Biomasse azote	6xCA surf 6xRJ surf 6xREF surf	
		Abondance	1xCA surf 1xRJ surf 1xREF surf	

Tableau 1.3 : Ensemble de travaux réalisés lors des campagnes de surveillance en 2007

2007	Points de prélèvement	Paramètres étudiés	Réplicats par point	Dates missions
DOMAINE BENTHIQUE				
Benthos subtidal	Point 1 Point 2 Point 6 Point 16 Point HZ	Granulométrie Abondance benthos	30 L/point	25 avril 19 octobre
Benthos intertidal	St Valery-en-Caux Veulettes-sur-mer	Abondance Idotées Abondance benthos Biomasse <i>Fucus vesiculosus</i>	16x St Valerie 16x Veulettes	4 juillet 6 août
		Biométrie Idotées	4x St Valerie 4x Veulettes	
Phytobenthos intertidal	St Valery-en-Caux Veulettes-sur-mer Val Marin	Biomasse <i>Fucus sp.</i> Fertilité <i>Fucus sp.</i>	10x St Valerie 10x Veulettes 10x Val Martin	19 et 20 mars 26 et 27 septembre
DOMAINE HALIEUTIQUE				
Halieutique	Criée Fécamp Affaires Maritimes	Nbre bateaux Fécamp Tonnage débarqué Mois/métier bateaux	Étude sur l'année n-1 (2006)	

Tableau 1.3 suite : Ensemble de travaux réalisés lors des campagnes de surveillance en 2007

2. Hydrologie

Rapport

Loïc Nogues (LERN).

Prélèvements et Analyses

Elvire Antajan (LERB),
Pascal Claquin (Université de Caen),
Liliane Fiant (LERN),
Sylvaine Françoise (LERN),
Vincent Justome (LERN),
Laure Lamort (LERN),
Luis Lampert (LERN),
Jerôme Letellier (LERN),
Loïc Nogues (LERN),
Olivier Pierre-Duplessix (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 29 mars, 28 juin et 17 septembre 2007 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, ammonium) et les matières en suspensions (MES). Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse de ces différents paramètres sont présentées dans l'ouvrage intitulé "*Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses*" d'Aminot et Kérouel (2004).

Le suivi de ces paramètres hydrologiques classiques a été complété par des mesures de concentration en trihalométhanes et en bore. 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, un prélèvement d'eau de surface a été effectué 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 a été réalisée au Laboratoire de Rouen par ICP–AES à 249,773 nm de longueur d'onde, suivant 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 µg/L.

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

	Temp. (°C)	Salinité	NO ₃ ⁻ (µM)	NO ₂ ⁻ (µM)	NH ₄ ⁺ (µM)	MES (mg/L)
<i>Précision</i>	± 0,01	± 0,01	± 0,1	± 0,01	± 0,05	± 0,1

Tableau 2.1 : Précision des analyses

La température et la salinité sont mesurées à l'aide d'une sonde YSI 660 QS. De plus, le thermosalinomètre SeaBird SBE 21, installé sur le circuit d'eau de mer du *NO THALIA*, permet également d'enregistrer toutes les variations de température et de salinité, pendant le transit et lors des phases d'échantillonnage. Sa fréquence d'acquisition des valeurs est de 6 secondes et la prise d'eau de mer est immergée à 2,5 m en dessous du niveau de flottaison. La conversion des données hexadécimales en valeurs physiques est assurée par la chaîne informatique de traitement de SeaBird avec les coefficients du dernier étalonnage (SHOM). Une cartographie est ensuite 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 est 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 2007, 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 2007 sont présentés avec une couleur différente 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 2007. Il permet de comparer les données enregistrées aux points *référence*, *rejet* et *canal* et ainsi de mettre en évidence d'éventuelles différences significatives entre chacun de ces points à long terme. Le choix du test statistique le plus approprié, est conditionné par l'étude de la distribution des données (normale ou non) qui est déterminée à l'aide des coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution s'avère normale, c'est le test de Student pour des échantillons appariés qui est utilisé. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données est réalisée par le test des signes (test de Wilcoxon).

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

2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2007

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2007 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 2.2.

	Canal d'amenée	Rejet	Référence		
			Surface	-10 m	
29 MARS	Température (°C)	9,55	10,40	9,45	9,44
	Salinité	32,74	33,15	33,19	33,19
	MES (mg/L)	32,6	35,0	30,1	28,8
	Nitrate + Nitrite (µM)	33,6	28,7	28,9	28,4
	Ammonium (µM)	0,94	1,01	1,06	1,12
	Bromoforme (µg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1
	Bore (mg/L)	4,20	4,20	4,20	4,20
28 JUIN	Température (°C)	16,81	18,99	16,93	16,72
	Salinité	32,65	32,83	33,04	33,06
	MES (mg/L)	18,4	16,6	3,1	3,2
	Nitrate + Nitrite (µM)	19,0	15,1	11,6	10,8
	Ammonium (µM)	0,79	2,10	1,82	1,95
	Bromoforme (µg/L)	< 1	< 1	1,10	< 1
	Bore (mg/L)	4,30	3,80	3,60	4,00
17 SEPTEMBRE	Température (°C)	18,61	21,31	19,17	18,87
	Salinité	33,23	33,47	33,53	33,56
	MES (mg/L)	11,3	8,35	5,2	5,4
	Nitrate + Nitrite (µM)	10,2	9,5	9,9	10,2
	Ammonium (µM)	0,48	0,54	0,61	0,67
	Bromoforme (µg/L)	1,32	6,76	2,26	1,03
	Bore (mg/L)	4,10	4,30	4,30	4,20

Tableau 2.2 : Récapitulatif des résultats du volet hydrologie de l'étude de surveillance pour l'année 2007

2.2.1. Température

2.2.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la température en 2007

Au cours des campagnes de surveillance 2007, la température de l'eau de mer en surface a varié de 9,55 °C à 18,61 °C au point *canal*, de 10,40 °C à 21,31 °C au point *rejet* et de 9,45 °C à 19,17 °C au point *référence* (figure 2.2). La température augmente de mars à septembre sur l'ensemble des points.

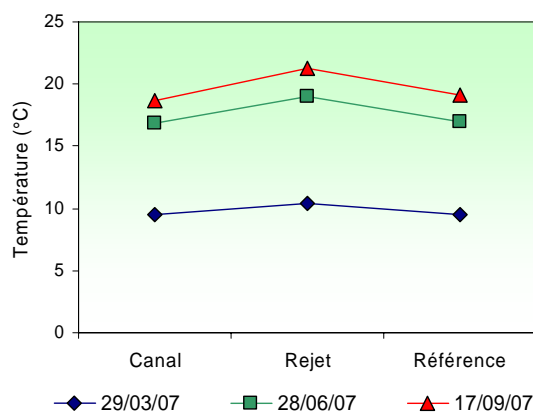


Figure 2.2 : Température de l'eau (surface) en 2007

Les maxima 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) en mars 2007. En revanche en juin et septembre, cette différence était respectivement de 0,2 °C et 0,3 °C.

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 2007 sur chacun des points, a été de 9,90 °C. Bien inférieur à celui de 2006 (13,9 °C), cet écart thermique peut s'expliquer par des températures printanières relativement élevées. Il est du même ordre de grandeur que les écarts thermiques observés en 2000, 2001 et 2002 qui étaient respectivement de 10,10 °C, 10,67 °C et 9,25 °C.

Dans des secteurs, où l'énergie dissipée, par la marée ou la houle, est suffisante pour limiter 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.

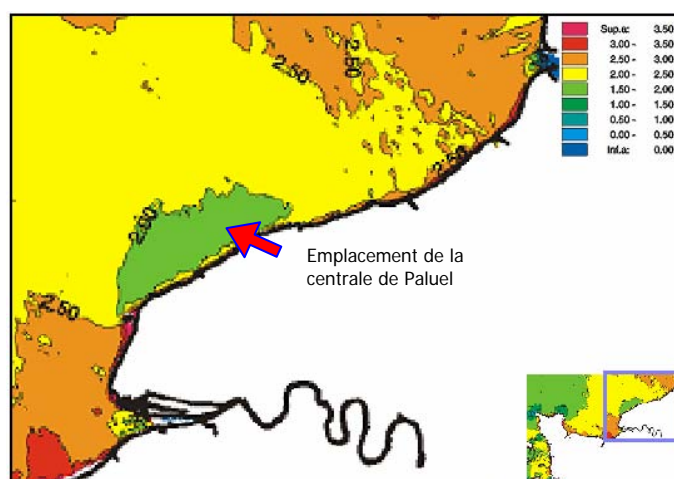


Figure 2.3 : Évolution spatiale du paramètre de stratification (H/u^3) en Manche évalué à l'aide du modèle hydrodynamique Mars 2D d'Ifremer (Lazure, *comm. pers.*)

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.

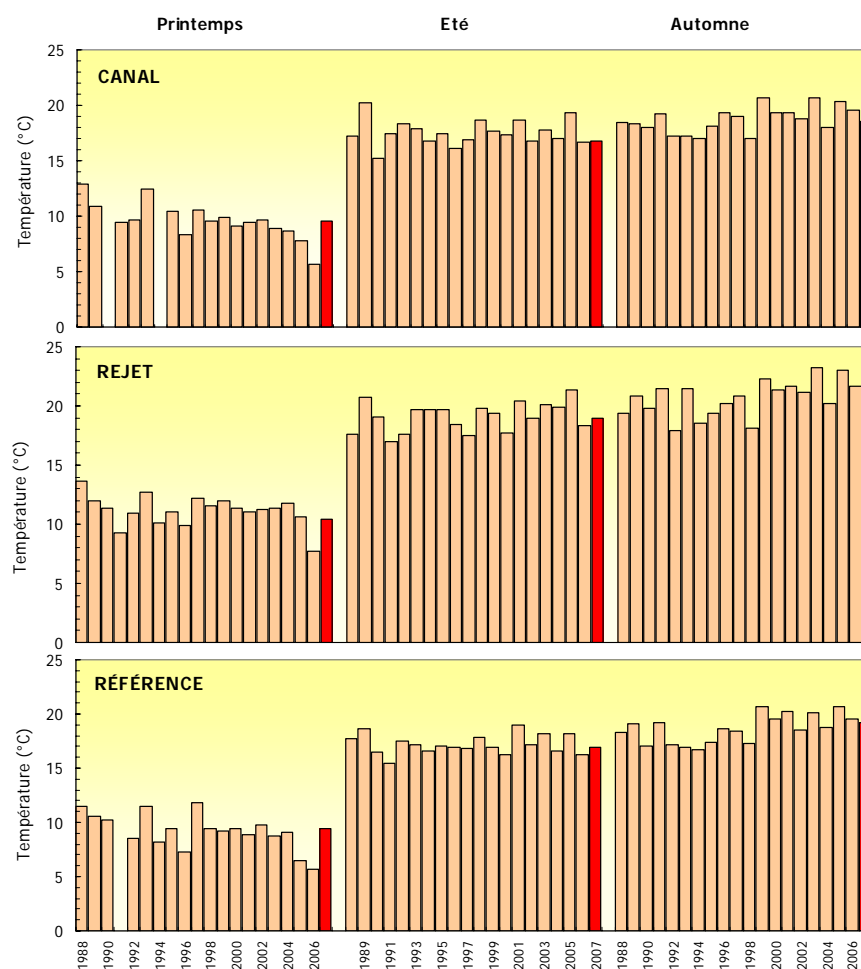


Figure 2.4 : Température de l'eau (surface) lors des campagnes de 1988 à 2007

Contrairement à 2006, les températures relevées lors de la campagne du mois de mars 2007 sont relativement élevées (environ 10 °C) sur l'ensemble des points de suivis. En revanche, les températures des mois de juin et septembre sont restées similaires à celles de 2006.

La figure 2.5 compare les distributions de température obtenues depuis 20 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.

Les températures observées en mars 2006 avaient atteint les minima absolus de la série pluriannuelle sur l'ensemble des points suivis. En 2007, elles sont beaucoup plus douces et se situent au niveau des médianes pluriannuelles, excepté sur le point *rejet* qui observe une valeur proche de la limite inférieure de la boîte à moustache. Les valeurs enregistrées en juin se situent toutes en dessous des médianes pluriannuelles et légèrement au dessus en septembre.

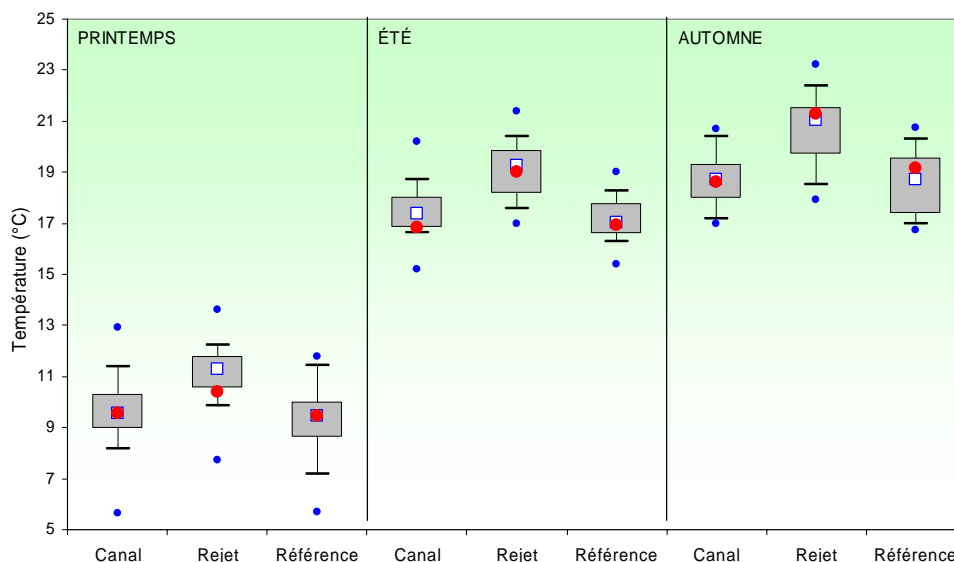


Figure 2.5 : Distributions de la température par saison et par station depuis 1988. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (■) ; les moustaches, 80 % des valeurs (├). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2007 (●)

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 du *rejet* peut atteindre le point *référence* entre 1 h et 2 h après la pleine mer. Toutefois, quel que soit le moment de la marée, l'impact thermique du *rejet* reste très localisé géographiquement, ce que semblent confirmer les mesures effectuées lors des campagnes de surveillance.

Lors des campagnes de mars et septembre 2007, les mesures de température de l'eau de mer réalisées à l'aide du thermosalinomètre SBE21, ont permis de réaliser les cartographies suivantes (figure 2.6). Elles mettent en évidence l'influence, très localisée, des eaux réchauffées du rejet sur la zone d'étude.

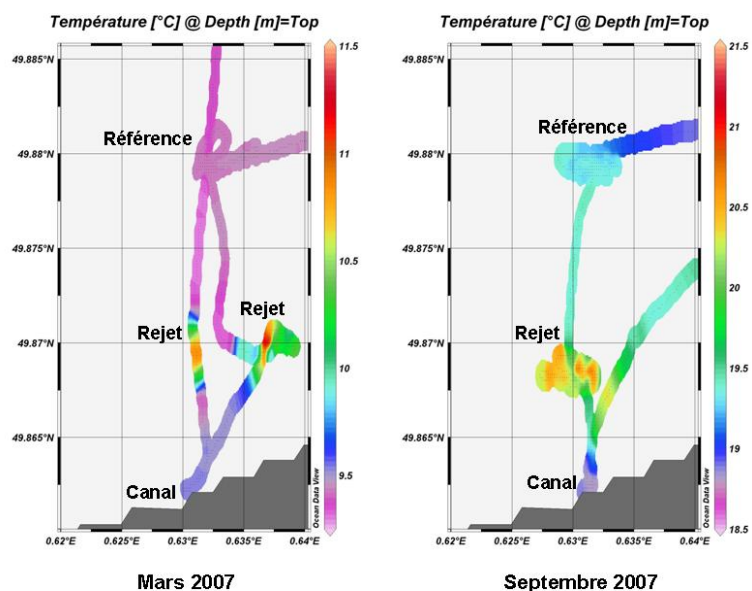


Figure 2.6 : Distributions de la température superficielle de l'eau de mer enregistrée par le thermosalinomètre SBE21 en mars et septembre 2007

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 1.21). 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

Comme 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* 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 juin et septembre (figure 2.7) ont été d'environ 2 °C, se situant ainsi au niveau des médianes pluriannuelles enregistrées depuis 1988. En revanche, l'écart relevé en mars n'a été que de 1 °C.

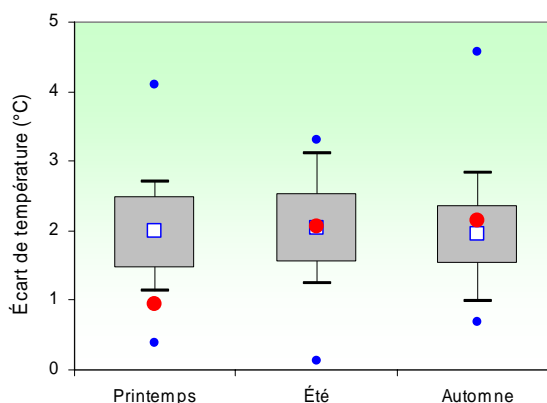


Figure 2.7 : Distributions par campagne des différences de température entre les points *rejet* et *référence* depuis 1988

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 campagnes des mois de mars et septembre 2007. La figure 2.8 montre clairement l'influence thermique de la centrale au point *rejet*.

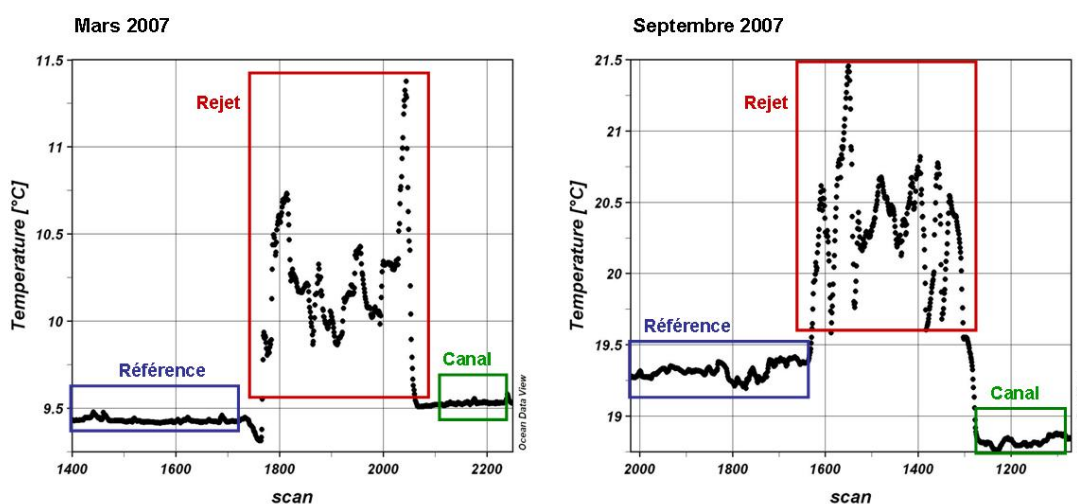


Figure 2.8 : Évolution de la température de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre lors de l'échantillonnage des campagnes de mars et septembre 2007

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 2007, ont été calculés et sont résumés dans le tableau 2.3.

%	Mars	Juin	Septembre
Proportion d'eau échauffée (π)	6	15	18
Taux de Dilution ($100-\pi$)	94	85	82

Tableau 2.3 : Proportion (en %) d'eau réchauffée et taux de dilution théorique dans les prélèvements réalisés au point *rejet* en 2007

La proportion d'eau échauffée au point *rejet* est de 6 % en mars, 15 % en juin et 18 % en septembre. Ceci correspond à des taux de dilution de 94 % lors de la campagne de printemps, 85 % en été et 82 % en automne. Les taux moyens de dilution observés depuis 1988 sont respectivement de 89 %, 88 % et 87 % pour les campagnes de printemps, d'été et d'automne.

2.2.1.4. Approche statistique

Le tableau 2.4 présente les résultats des tests statistiques relatifs aux variations spatiales de la température entre 1988 et 2007. 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*. En revanche, la différence entre les points *canal* et *référence* n'est pas significative en été et en automne.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
<i>Canal / Rejet</i>	0,000	0,000	0,000
<i>Référence / Rejet</i>	0,000	0,000	0,000
<i>Canal / Référence</i>	0,038	0,088	0,860

(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 2007

Les salinités moyennes ont été comprises entre 32,65 et 33,23 au point *canal*, entre 32,83 et 33,47 au point *rejet*, et entre 33,04 et 33,53 au point *référence* (figure 2.9). Quelle que soit la saison, un gradient croissant de salinité s'établit de la côte vers le large. Les valeurs obtenues au point *rejet*, semblent être le résultat d'un mélange entre les masses d'eau côtières du point *canal* et les eaux plus au large du point *référence*.

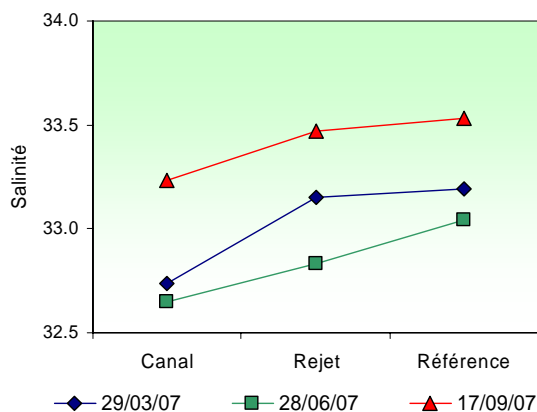


Figure 2.9 : Salinité de l'eau de surface lors des campagnes de 2007

Les salinités observées pendant les campagnes de 2007, sur le point *canal*, restent globalement du même ordre de grandeur que 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 2007 autour du point *rejet* fluctuent rapidement, compte tenu du caractère turbulent du mélange près de la grille de rejet (figure 2.10). Elles restent néanmoins très limitées géographiquement autour de la grille de rejet. Les variations de salinité, enregistrées au point *canal* (figure 2.10), confirment le caractère hétérogène des eaux côtières, où les apports des fleuves se font sentir plus fortement. 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*.

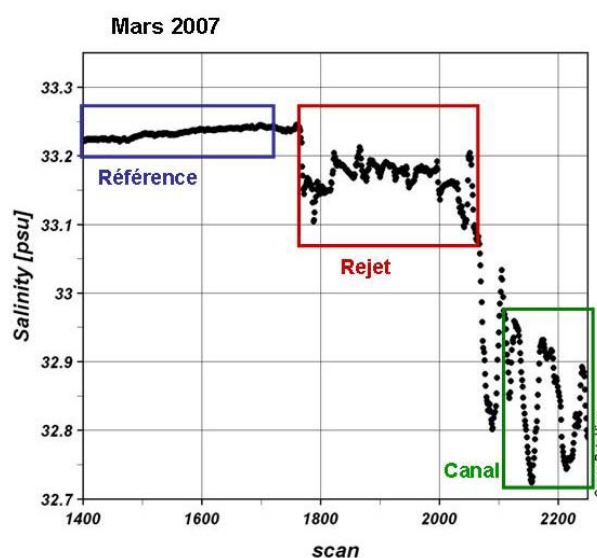


Figure 2.10 : Évolution de la salinité de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre lors de la campagne de mars 2007

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 2007. Les salinités observées lors des mois de mars et septembre 2007 ont été, quels que soient les points, proches de celles enregistrées en 2006. Quant aux salinités relevées en juin, elles ont été légèrement plus faibles qu'en 2006.

La pluviométrie est le facteur principal qui régule la salinité côtière en Manche par l'apport d'eau douce des nombreux fleuves. L'effet de la pluviosité régionale est d'ailleurs perceptible dans le débit de la Seine, qui a présenté de forts débits aux mois de mars, juillet et août (figure 1.17 a).

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).

Bien que cette année soit considérée comme étant une année humide, les débits de la Durdent (figure 1.17 b), qui se jette juste à l'ouest de la centrale de Paluel, ont été, certes plus élevés que l'année dernière, mais sont restés en dessous de la moyenne pluriannuelle calculée entre 1986 et 2007. Par conséquent, et malgré les plus fortes précipitations enregistrées à Dieppe cette année (figure 1.12), les salinités relevées en 2007 sur le site de Paluel sont restées assez proches des valeurs observées entre 2002 et 2006, qui étaient des années plutôt sèches.

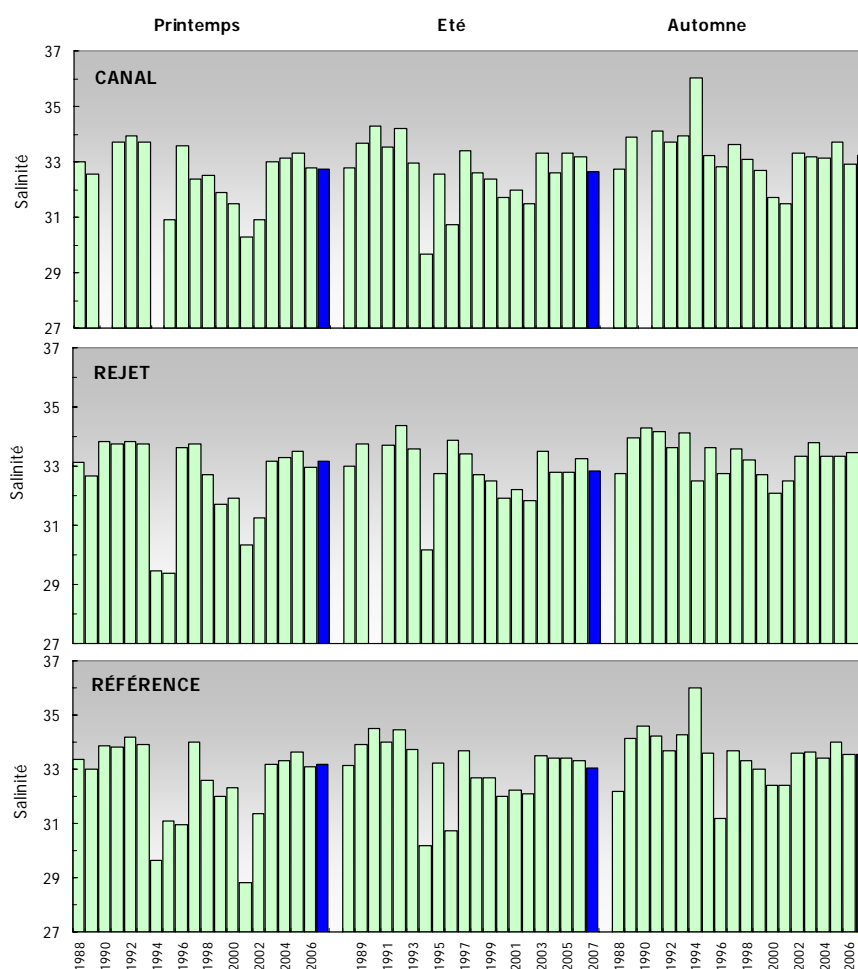


Figure 2.11 : Salinité de l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2007

Les boîtes à moustaches permettent d'apprécier la distribution des valeurs de salinité observées en 2007 par rapport à l'ensemble de valeurs enregistrées depuis 1988 (figure 2.12). Les valeurs de salinité relevées lors des trois campagnes se situent toutes au niveau des médianes pluriannuelles, voire légèrement en dessous comme c'est le cas pour le point *référence* en été.

La dispersion des valeurs est plus forte au printemps. Le gradient croissant de la côte vers le large est confirmé par la distribution des valeurs enregistrées depuis 1988 lors des campagnes d'été et d'automne. 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*.

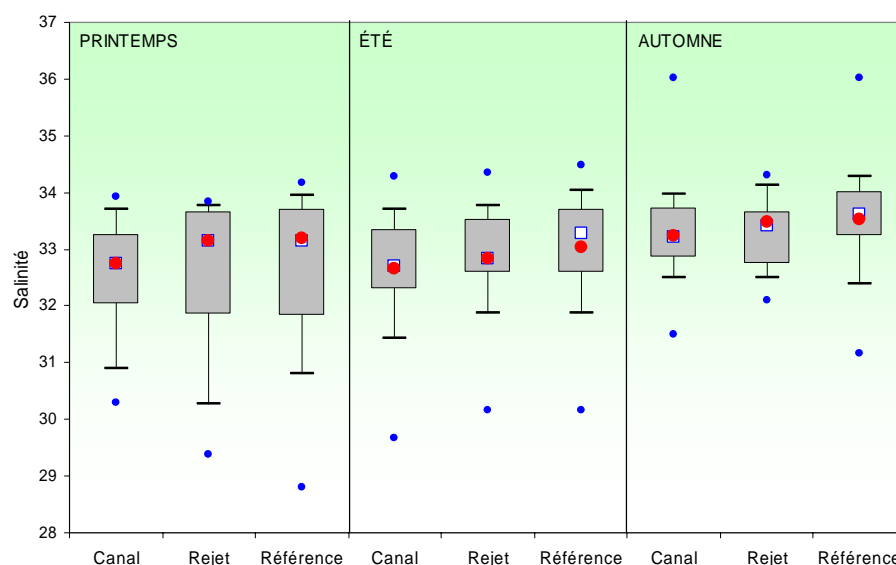


Figure 2.12 : Comparaison des distributions de la salinité par saison et par point entre 1988 et 2007

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 2007.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
<i>Canal / Rejet</i>	0,024	0,003	0,076
<i>Référence / Rejet</i>	0,031	0,005	0,076
<i>Canal / Référence</i>	0,026	0,000	0,024

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

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

Le printemps et l'été présentent des différences significatives entre tous les points de prélèvement. 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 et par les cours d'eau côtiers de la *Durdent* et de la *Valmont*. Caractérisés par des débits faibles et irréguliers, ces cours d'eau peuvent néanmoins avoir une légère influence, comme ce fut le cas en 2001, sur les salinités du site de Paluel. En 2007, les débits de la *Durdent* ont été légèrement plus élevés qu'en 2006 mais n'ont pas entraîné de fortes dessalures, ce qui explique que les salinités relevées cette année soient du même ordre de grandeur qu'en 2006.

Les apports de la *Seine* alimentent ce fleuve côtier et peuvent également influencer les salinités, même si l'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 2007

Les concentrations en ammonium ont varié au cours des campagnes 2007 de 0,48 à 0,94 μM au point *canal*, de 0,54 à 2,10 μM au point *rejet* et de 0,61 à 1,82 μM au point *référence* (figure 2.13). Classiquement, l'augmentation des concentrations en ammonium du printemps vers l'été reflète l'augmentation de l'activité hétérotrophe. Les mesures observées en 2007 sont, à ce titre, atypiques, puisque les plus fortes teneurs en ammonium sont observées en juin, alors que celles du mois de septembre sont particulièrement faibles ($< 0,5 \mu\text{M}$).

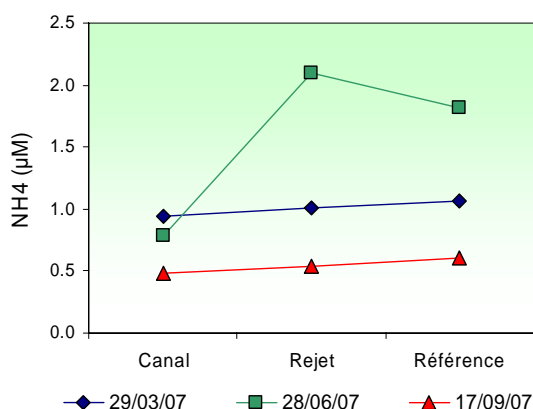


Figure 2.13 : Concentrations en ammonium dans les eaux de surface lors des campagnes 2007

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. Un gradient croissant de la côte vers le large est mis en évidence quelle que soit la saison. Les maxima sont généralement observés sur le point *référence*, à l'exception de la campagne de juin où les plus fortes valeurs ont été observées sur le point *rejet*.

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 interannuelle de ce paramètre ne permet pas de dégager de réelles tendances d'évolution. Néanmoins, les valeurs observées lors des campagnes de printemps et d'été ont toutes été supérieures à celles de 2006, à l'exception du point *canal* en été. En revanche, les concentrations relevées au mois de septembre 2007 ont toutes été plus faibles qu'en 2006 sur l'ensemble des points.

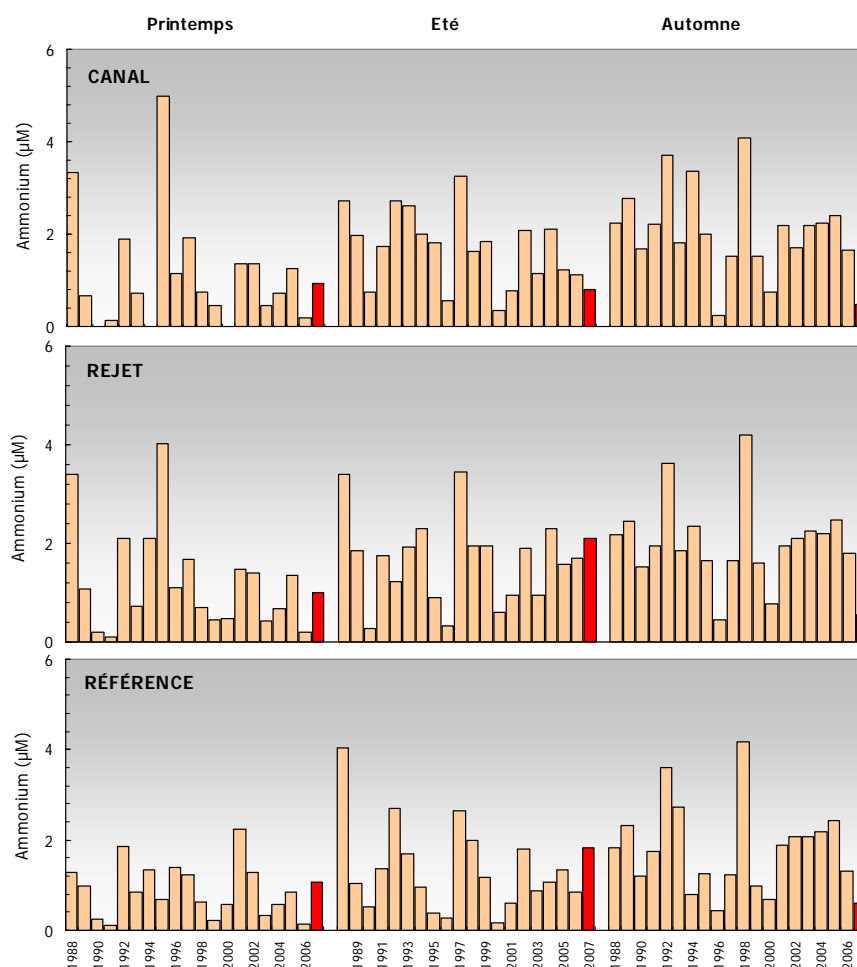


Figure 2.14 : Concentration en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2007

Les “boîtes à moustaches” de la figure 2.15 mettent en évidence la forte dispersion des valeurs observées sur l'ensemble des campagnes depuis 1988, ce qui souligne une fois de plus la forte variabilité de ce paramètre. Les médianes pluriannuelles au 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 d'ailleurs pas été vérifié cette année. Les valeurs en ammonium observées en mars 2007, sont proches des médianes pluriannuelles de la série 1988-2007, à l'exception du point *référence* qui se situe légèrement au dessus.

En juin, les teneurs en ammonium se situent au niveau de la limite supérieure des boîtes à moustaches sur les points *rejet* et *référence*, tandis qu'elles sont nettement inférieures aux médianes pluriannuelles sur le point *canal*. En septembre, sur l'ensemble des points, les valeurs sont proches des minima enregistrés depuis 1988.

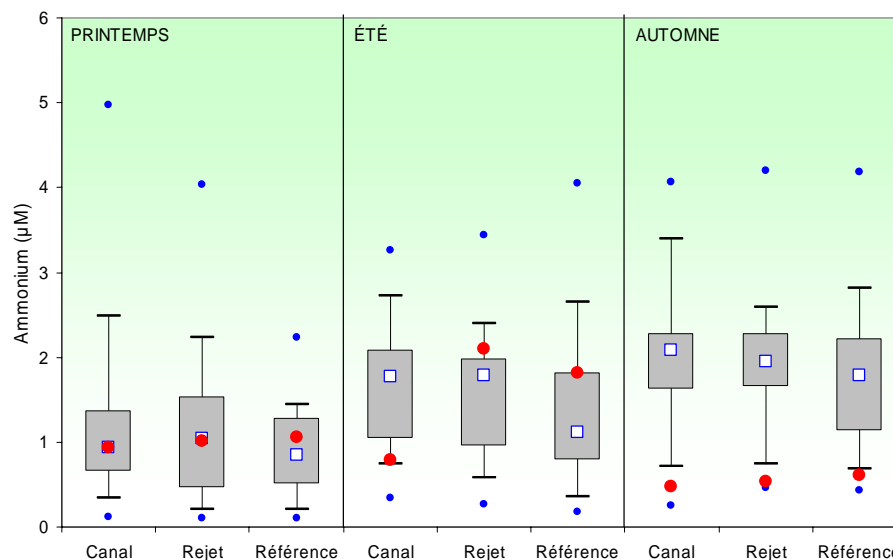


Figure 2.15 : Comparaison des distributions de l'ammonium par saison et par point entre 1988 et 2007

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
<i>Canal / Rejet</i>	0,712	0,968	0,823
<i>Référence / Rejet</i>	0,067	0,049	0,005
<i>Canal / Référence</i>	0,243	0,066	0,044

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

Tableau 2.6 : Probabilité associé 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 *rejet* 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. En 2003, 6,6 tonnes d'ammoniaque ont ainsi été rejetées dans les eaux littorales, lors des vidanges de ce circuit secondaire (EDF, 2003).

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 légèrement différentes d'un cycle classique. 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 2007

Les teneurs en sels nutritifs azotés (nitrate + nitrite) mesurées au cours des campagnes de surveillance 2007 ont été comprises entre 10,2 et 33,6 μM au point *canal*, entre 9,5 et 28,7 μM au point *rejet* et entre 9,9 et 28,9 μM au point *référence* (figure 2.16).

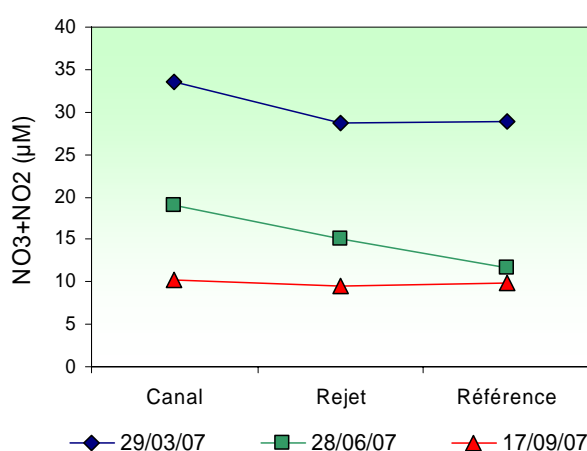


Figure 2.16 : Concentrations en azote dans les eaux de surface lors des campagnes de 2007

Au début du printemps, les concentrations en "nitrate + nitrite" sont relativement élevées sous l'influence des apports telluriques en provenance des bassins versants et du stock hivernal. En été, ces teneurs diminuent fortement en raison du développement du phytoplancton et de la diminution des apports fluviaux. Ces teneurs restent néanmoins supérieures à celles enregistrées dans le même secteur à la fin du printemps par Brylinski *et al.* (1996). En automne, la régénération des nutriments, issus de la minéralisation des matières organiques dissoutes par les bactéries hétérotrophes, entraîne une augmentation des sels nutritifs dans le milieu. Cet enrichissement est généralement suivi d'une activité phytoplanctonique consommatrice plus modérée qu'au mois de mars. Contrairement au schéma classique, l'efflorescence automnale, observée en septembre 2007 au travers des concentrations en chlorophylle *a* (figure 4.2) a été plus intense qu'en été et peut ainsi expliquer des teneurs en nitrate et nitrite plus faibles qu'en juin.

Le gradient décroissant côte-large qui n'a pas été observé pour l'ammonium cette année, est mis en évidence pour le nitrate et le nitrite lors des trois campagnes.

2.2.4.2. Variations inter-annuelles

L'évolution interannuelle des concentrations en sels nutritifs azotés (nitrate + nitrite) est représentée sur la figure 2.17 sur la période 1988-2007.

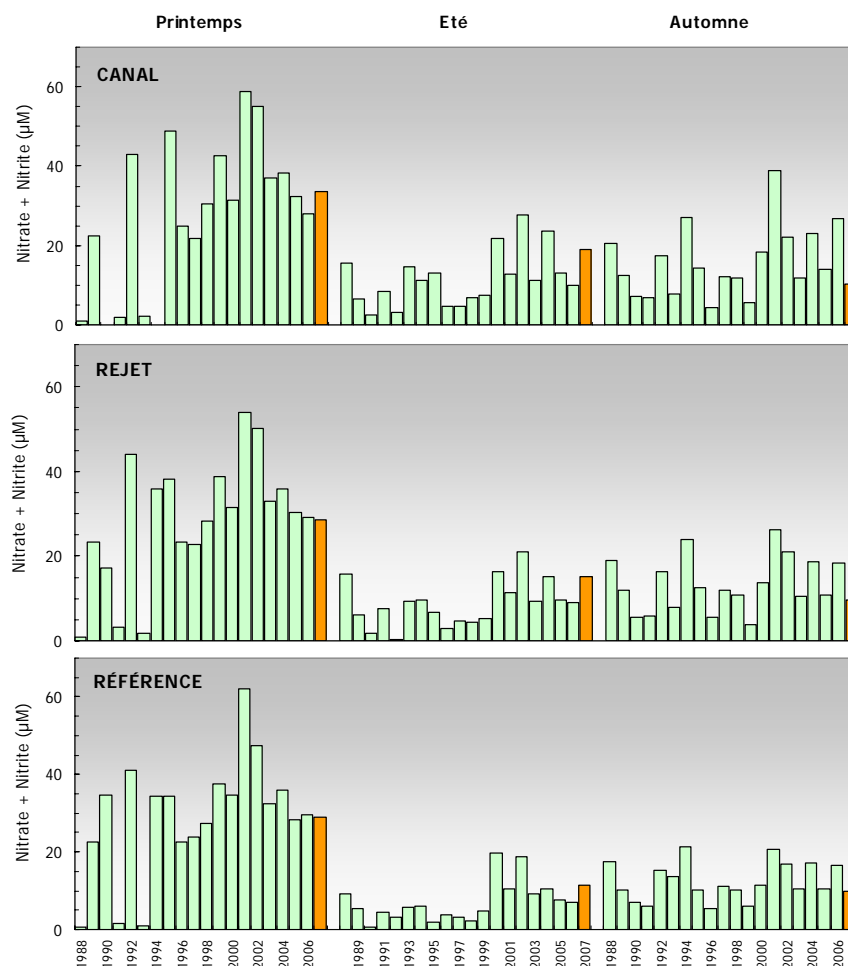


Figure 2.17 : Concentrations en ‘nitrate + nitrite’ dans l’eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2007

Suite aux importantes précipitations observées lors des hivers 2000/2001 et 2001/2002, les valeurs de “nitrate + nitrite” enregistrées en 2001 et 2002 ont été les plus fortes de ces dernières années. Les valeurs observées en mars 2007 restent similaires à celles de 2006, à l’exception du point *canal* qui présente des teneurs légèrement plus élevées qu’en 2006. Comme pour l’ammonium, les “nitrate + nitrite” ont observé des valeurs deux fois plus faibles en septembre 2007 qu’en 2006. La forte activité phytoplanctonique de cette année pourrait en être à l’origine de cette baisse.

Les boîtes à moustaches de la figure 2.18 présentent la distribution des valeurs de “nitrate + nitrite” sur la période de 1988 à 2007. 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. Ce cycle classique n’a pas été suivi cette année car il semble que l’activité phytoplanctonique de septembre puisse être à l’origine de plus faibles teneurs en sels nutritifs qu’en juin. Les valeurs obtenues en 2007 se situent en dessous des médianes pluriannuelles au printemps et en automne, tandis qu’elles se situent au dessus de la limite supérieure des boîtes à moustaches en été.

La distribution des médianes en été et en automne observe un gradient décroissant de la côte vers le large. Au printemps, le point *canal* présente une médiane inférieure à celle du point *référence*. Cet écart 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.

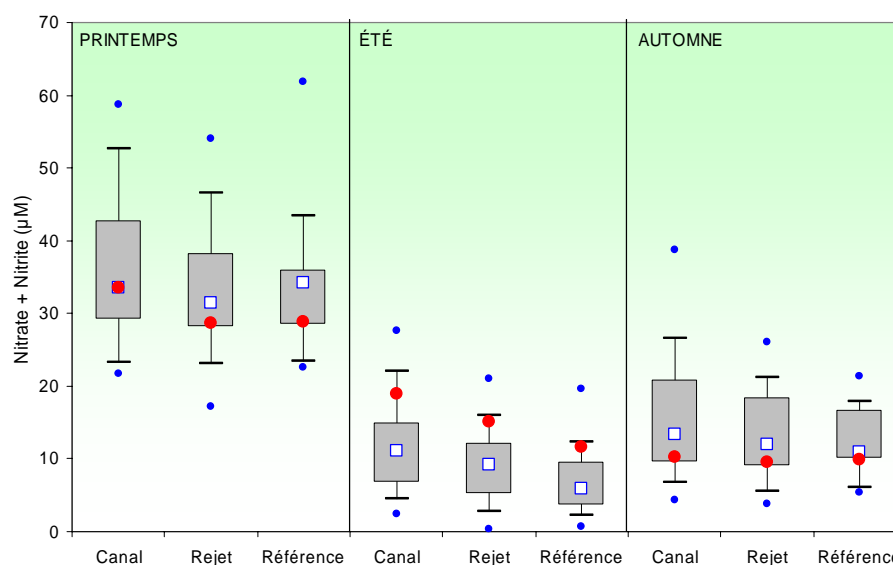


Figure 2.18 : Comparaison des distributions des concentrations en ‘nitrate + nitrite’ (µM) par saison et par point depuis 1988

2.2.4.3. Approche statistique

Le tableau 2.7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour les “nitrate + nitrite” entre 1988 et 2007.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
<i>Canal / Rejet</i>	0,016	0,000	0,000
<i>Référence / Rejet</i>	0,235	0,004	0,036
<i>Canal / Référence</i>	0,034	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 des différences significatives sur l’ensemble des points quelles que soient les saisons, à l’exception du couple “*référence – rejet*” au printemps. Bien qu’il n’existe aucune différence significative entre les points *référence* et *rejet* en mars, le stock hivernal d’azote semble présenter un gradient décroissant de la côte vers le large.

Les variations des concentrations de ces deux sels diffèrent légèrement des caractéristiques d’un cycle saisonnier classique cette année. 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 2007

En 2007, les teneurs en MES (figure 2.19) ont varié au cours des campagnes de 11,3 à 32,6 mg/L au point *canal*, de 8,35 à 35,0 mg/L au point *rejet* et de 3,1 à 30,1 mg/L au point *référence*.

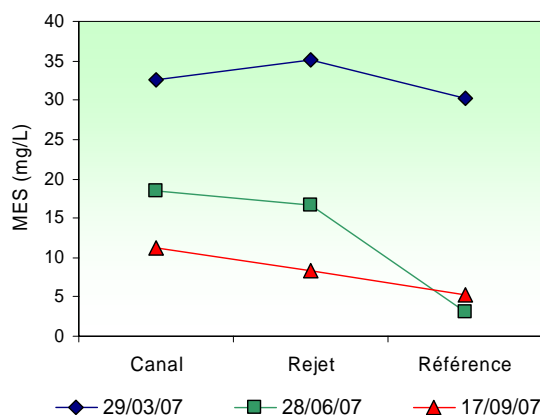


Figure 2.19 : Concentrations en MES (mg/L) dans les eaux de surface lors des campagnes de 2007

Comme en 2006, les plus fortes teneurs en MES ont été observées lors de la campagne de printemps. Lors de trois campagnes, 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 1988-2007 est présentée sur la figure 2.20. Les campagnes de mars et juin sont caractérisées par des teneurs en MES plus élevées que celles enregistrées en 2006, et tout particulièrement au printemps sur le point *référence*, où elles ont été multipliées par 3. En revanche, les concentrations mesurées en septembre ont été légèrement plus faibles qu'en 2006. 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, peuvent également influencer les teneurs en MES en remettant en suspension le matériel particulaire.

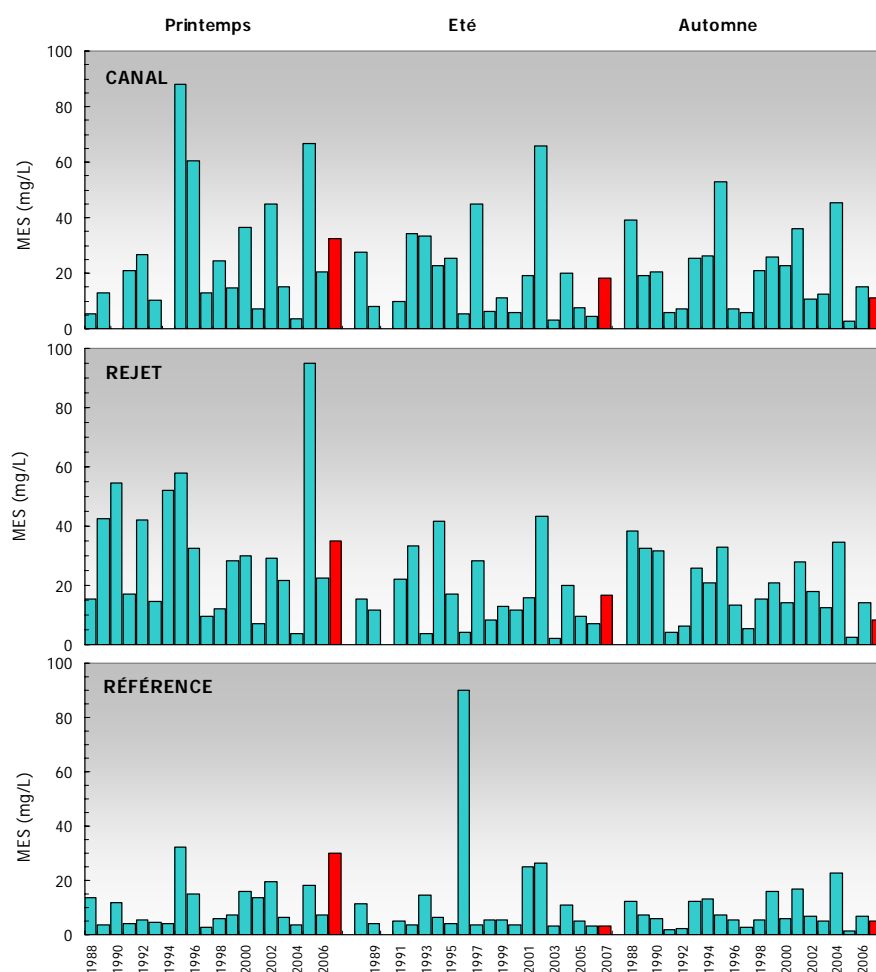


Figure 2.20 : Concentrations en MES dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2007

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 précipitations peuvent provoquer de forts débits fluviaux. 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 2007 se situent au dessus des médianes pluriannuelles de la série en mars, proches de ces médianes en juin et en dessous en septembre. Le gradient décroissant de la côte vers le large est clairement mis en évidence pour les campagnes d'été 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). La situation au printemps diffère légèrement puisque les plus fortes teneurs sont généralement enregistrées au point *rejet*, ce qui souligne une influence des rejets sur les teneurs en MES à cette saison.

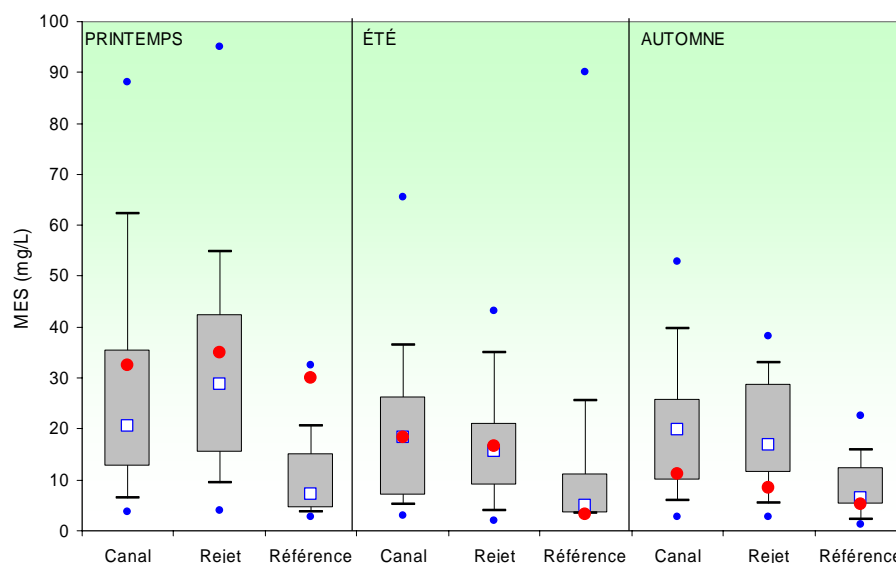


Figure 2.21 : Comparaison des distributions des concentrations en MES par saison et par point depuis 1988

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	0,828	0,343	0,353
Référence / Rejet	0,000	0,026	0,000
Canal / Référence	0,001	0,005	0,000

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

Tableau 2.8 : Probabilité associé 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 pourrait s'expliquer par le fort hydrodynamisme engendré par les rejets d'eau réchauffée. Globalement, les résultats de la surveillance 2007 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 majeur 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 2007

En mars et juin 2007, toutes les concentrations en trihalométhanes ont été inférieures au seuil de détection analytique (1 $\mu\text{g/L}$), à l'exception du point *référence* en juin, où une concentration de 1,1 $\mu\text{g/L}$ a été mesurée. En revanche, en septembre 2007 l'ensemble des points de suivis ont présenté des concentrations dépassant les 1 $\mu\text{g/L}$, avec un maximum de 6,76 $\mu\text{g/L}$ au point *rejet*.

2.2.6.2. Variations inter-annuelles du tribromométhane

L'évolution spatio-temporelle de ce paramètre est présentée sur la figure 2.22 qui reprend l'ensemble des valeurs obtenues depuis 1988. 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*.

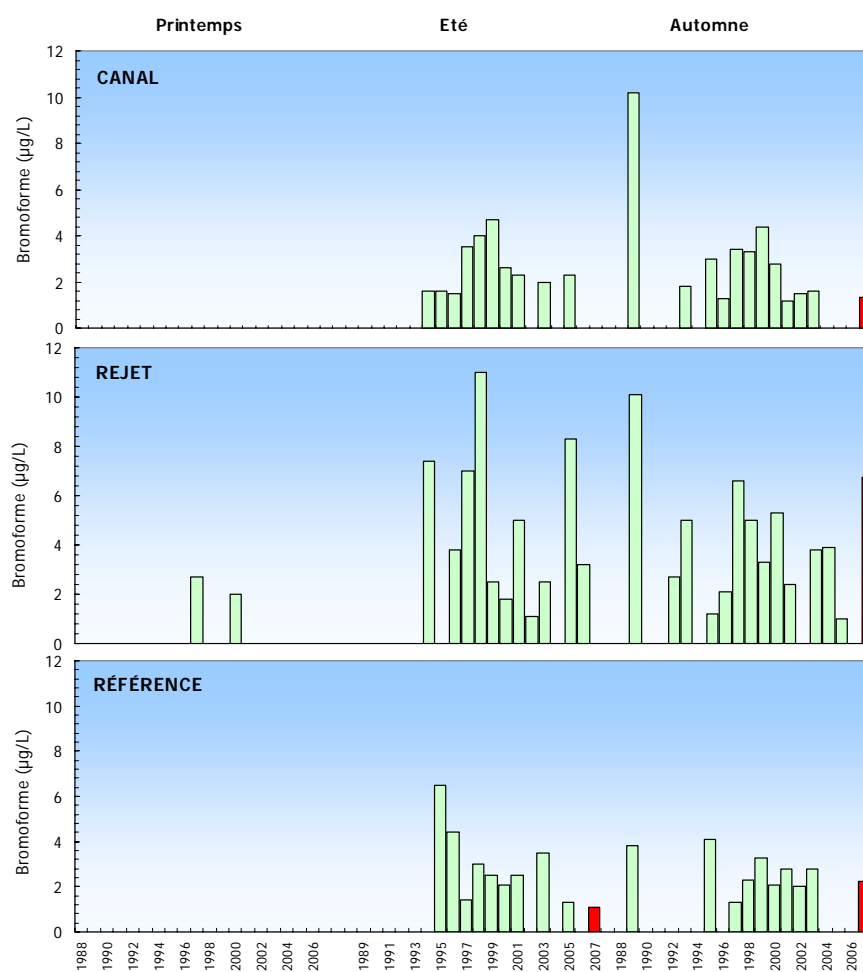


Figure 2.22 : Concentrations en tribromométhane ($\mu\text{g/L}$) dans l'eau de surface lors des campagnes de 1988 à 2007

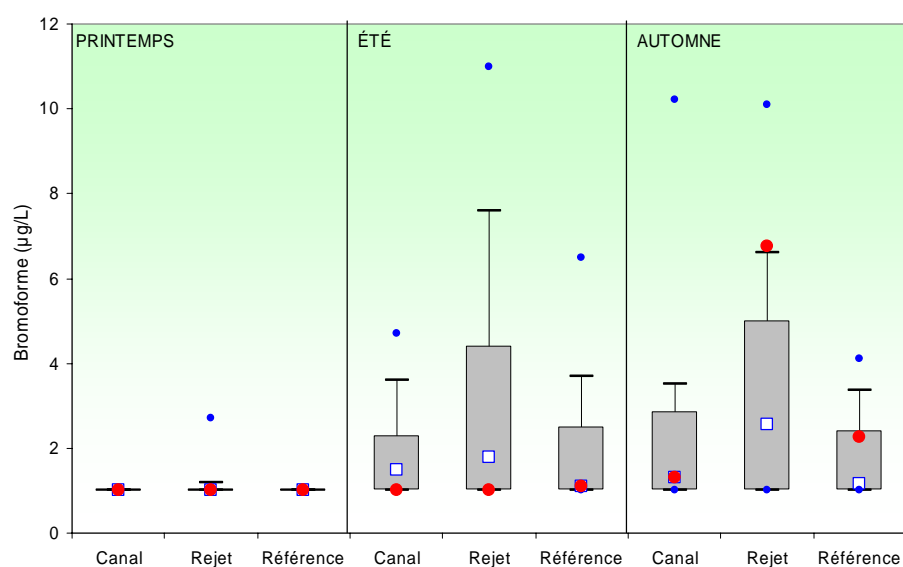


Figure 2.23 : Comparaison des distributions des concentrations en tribromométhane ($\mu\text{g/L}$) par saison et par point depuis 1988

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 2007, 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 2007 a été marquée par des concentrations significatives en trihalométhanes en septembre sur le point *rejet* (6,76 µg/L). Les concentrations en bromoforme 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 mg/L de bore. Un essai national inter laboratoire 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 2007

Les concentrations en bore dans l'eau de mer, enregistrées lors des campagnes de 2007 sont présentées dans la figure 2.24 avec leurs intervalles de confiance.

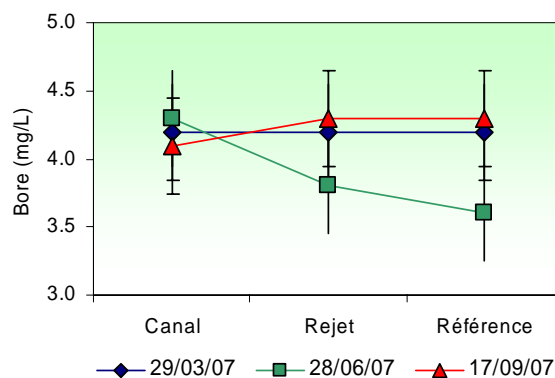


Figure 2.24 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2007 avec les intervalles de confiance ($\alpha = 0,05$)

Contrairement à 2006, les valeurs observées lors de la campagne de juin se situent en dessous de celles enregistrées en mars et septembre, à l'exception du point *canal* qui observe, quel que ce soit la saison, des teneurs en bore extrêmement proches. D'une façon générale et tenant compte des incertitudes liées à la méthode analytique, les variations entre les trois points d'échantillonnage par campagne restent comprises entre 3,5 et 4,5 mg/L et ne semblent pas présenter de différences significatives.

2.2.7.2. Variations interannuelles

Les variations interannuelles en bore sont présentées dans la figure 2.25.

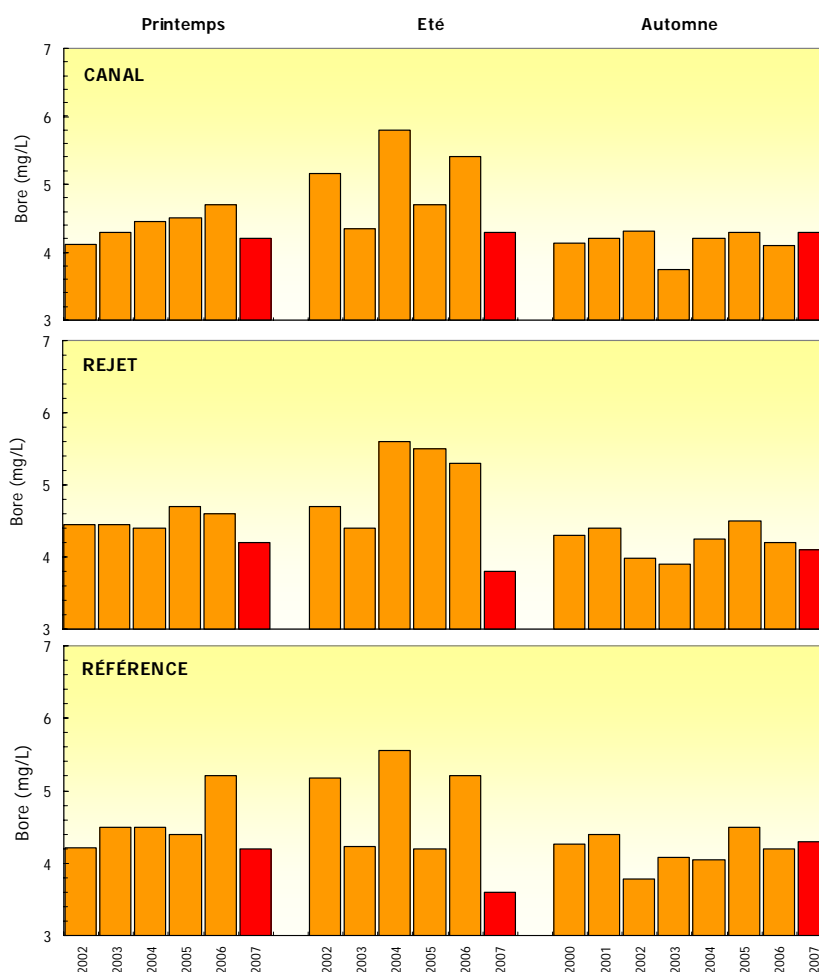


Figure 2.25 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2007

Les concentrations de bore dans l'eau de mer observées en mars et septembre 2007 restent du même ordre de grandeur que celles enregistrées depuis 2000. Lors de la campagne estivale, elles ont été inférieures. 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. Or les concentrations relevées sur le point *rejet*, depuis 2000, ne sont que légèrement supérieures à celles des deux autres points et ne permettent pas de conclure à une influence systématique des rejets de la centrale sur les concentrations mesurées en bore dans les eaux de surface en 2007.

Malgré la courte série de données sur les concentrations en bore des eaux de mer enregistrées depuis 2000, il est 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. La distribution des valeurs en juin, est par ailleurs du même ordre de grandeur sur l'ensemble des points suivis. Notons également que les plus fortes concentrations sont généralement observées en été, ce qui n'a pas été le cas cette année.

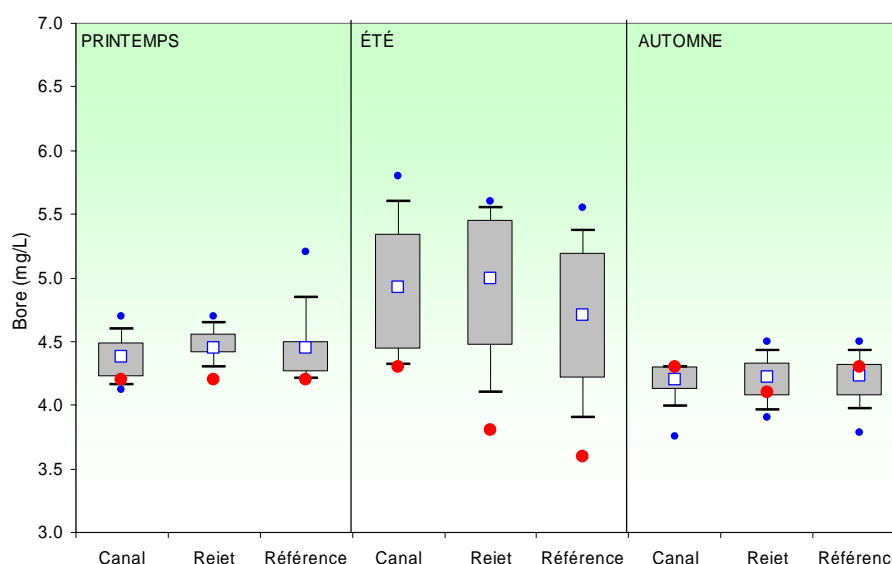


Figure 2.26 : Comparaison des distributions des concentrations en bore (mg de bore/L) par saison et par point depuis 2000

Les concentrations en bore observées en mars et juin représentent les minima de la série 2000-2007, à l'exception du point *canal* en mars. Au mois de septembre, les valeurs 2007 oscillent autour de la médiane.

2.3. Conclusion

L'année 2007 a connu un premier semestre relativement chaud, atteignant des maxima de températures à plusieurs reprises en janvier, mars et mai. Contrairement à 2006, cette année a été particulièrement pluvieuse. Les précipitations des mois de février, juin, juillet et août se situaient largement au dessus des moyennes enregistrées entre 1967 et 2006 sur Dieppe. Néanmoins il est intéressant de constater que ces précipitations n'ont pas été si intenses aux environs de Paluel puisque les débits de la Durdent (cours d'eau se jetant à l'ouest du site de Paluel), ont été plus élevés qu'en 2006, mais n'ont pas dépassé les moyennes enregistrées entre 1966 et 2007, comme ce fut le cas en 2001.

Contrairement à 2006, les températures de l'eau de mer relevées lors de la campagne du mois de mars 2007 ont été relativement élevées (environ 10 °C) sur l'ensemble des points de suivis. En revanche, les températures des mois de juin et septembre sont restées du même ordre de grandeur que celles observées en 2006. Les écarts thermiques enregistrés entre les points *rejet* et *référence* en juin et septembre (figure 2.7) ont été d'environ 2 °C, se situant ainsi au niveau des médianes pluriannuelles. Cet écart n'a été que de 1 °C en mars.

Les salinités observées lors des campagnes de mars et septembre 2007 ont été, quels que soient les points, similaires à celles enregistrées en 2006. Quant aux salinités relevées en juin, elles ont été légèrement plus faibles qu'en 2006. Bien que cette année soit considérée comme étant une année humide, les salinités relevées en 2007 sur le site de Paluel sont restées assez proches des valeurs observées entre 2002 et 2006, qui étaient des années plutôt sèches. Les valeurs de salinité relevées lors des trois campagnes se situent toutes au niveau des médianes pluriannuelles, voire légèrement en dessous, comme il a été le cas pour le point *référence* en été.

Les sels nutritifs mesurés lors des campagnes de 2007 n'ont pas strictement suivi le cycle saisonnier classique. La forte activité phytoplanctonique du mois de septembre a vraisemblablement entraînée une intense consommation de nutriments expliquant ainsi les faibles teneurs en ammonium, nitrate et nitrite à cette saison. La forte variabilité interannuelle de l'ammonium ne permet pas de dégager de réelles tendances d'évolution. Néanmoins les teneurs en ammonium enregistrées en 2007 ont été proches des médianes pluriannuelles printanières et légèrement au dessus des minima en septembre. Quant aux concentrations de "nitrate + nitrite" obtenues en 2007, elles se situent en dessous des médianes pluriannuelles au printemps et en automne, et largement au dessus de ces médianes en été. Le gradient décroissant côte-large qui n'a pas été observé pour l'ammonium cette année, est mis en évidence pour le nitrate et le nitrite lors des trois campagnes.

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.

En mars et juin 2007, toutes les concentrations en trihalométhanes ont été inférieures au seuil de détection analytique (1 µg/L), à l'exception du point *référence* en juin, où une concentration de 1,1 µg/L a été mesurée. La campagne de septembre se caractérise par des concentrations dépassant toutes les 1 µg/L, avec un maximum de 6,76 µg/L au point *rejet*.

Les concentrations de bore observées en 2007 ont été comprises entre 3,5 et 4,5 mg/L. Elles restent du même ordre de grandeur que celles enregistrées depuis 2000 pour le printemps et l'automne, mais les plus fortes concentrations, qui sont généralement observées en été, ont été relevées en septembre sur les points *rejet* et *référence*. Les concentrations en bore observées en mars et juin représentent les minima de la série 2000-2007.

Les mesures révèlent que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au point *rejet* qu'aux autres points. Cependant, elles 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 (> 82 % en 2007 et autour de 90 % en moyenne depuis 1988).

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

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

3. La Microbiologie

Rapport Loïc Nogues (LERN).

Prélèvements

Elvire Antajan	(LERB),
Pascal Claquin	(Université de Caen),
Liliane Fiant	(LERN),
Sylvaine Françoise	(LERN),
Vincent Justome	(LERN),
Laure Lamort	(LERN),
Luis Lampert	(LERN),
Jerôme Letellier	(LERN),
Loïc Nogues	(LERN),
Olivier Pierre-Duplessix	(LERN).

Analyses Laboratoire de ROUEN.

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

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

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 par coefficients de mortes eaux les 29 mars, 28 juin et 17 septembre 2007 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 2007 est présentée dans le tableau 3.1. Deux répliquats ont été réalisés pour le dénombrement des germes revivifiables et des vibrions halophiles.

Nombre d'échantillons		Paramètres		
Points suivis	Niveau d'échantillonnage	Points suivis	Niveau d'échantillonnage	Points suivis
<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 2007

L'identification et le dénombrement des vibrions halophiles ont été réalisés par une méthode interne au Laboratoire Régional de Rouen jusqu'en 2003. En 2004 et 2005, cette méthode a été doublée de la nouvelle méthode préconisée par EDF et mise au point par l'Institut Pasteur. Finalement, à partir de 2006, seule la nouvelle méthode est appliquée. Cette nouvelle méthode devient alors la méthode de référence pour l'ensemble des centrales nucléaires de bord de mer et doit ainsi permettre une comparaison inter-sites.

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 dépoluissieré afin de limiter la multiplication des bactéries,
- filtration sur membrane en polycarbonate 0,22 µm teintée au laboratoire avec de l'Irgalan black,
- coloration avec une solution d'acridine orange (1/30 000e) tamponnée à pH 7,4 stérilisée par filtration à 0,22 µm;
- 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)

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 ± 1°C pendant 18 à 24 h ;
- lecture des boîtes ;
- incuber pendant 24 h à 20 ± 2 °C ;
- nouvelle lecture des boîtes;
- repiquage et isolement sur gélose TCBS à 37 ± 1°C pendant 24 h ;
- repiquage colonies en milieu Zobell et incubation à 37 ± 1°C pendant 24 h ;
- tests divers et recherche de pathogènes.

3.3. Résultats

3.3.1. Récapitulatif des résultats des mesures microbiologiques pour l'année 2007

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes sur le site de Paluel en 2007 sont présentés dans le tableau 3.2. Les valeurs retenues pour les quantités de germes revivifiables sont celles du plus fort réplicat pour le point *rejet* et la moyenne des deux réplicats pour les points *canal*, *référence* et *référence* à mi-profondeur.

		Canal	Rejet	Référence	Référence mi-profondeur	
29 MARS	<i>Germes totaux (germes/mL)</i>	114 000	115 000	106 000	95 100	
	<i>Germes revivifiables (germes/mL)</i>	410	160	70	220	
	EDF	<i>V. halophiles/L</i>	<1	<1	<1	<1
		<i>Identif. de V. halophiles</i>	Absence	Absence	Absence	Absence
<hr/>						
28 JUIN	<i>Germes totaux (germes/mL)</i>	129 000	120 000	113 000	103 000	
	<i>Germes revivifiables (germes/mL)</i>	990	170	1 140	140	
	EDF	<i>V. halophiles/L</i>	<1	<1	<1	<1
		<i>Identif. de V. halophiles</i>	Absence	Absence	Absence	Absence
<hr/>						
17 SEPTEMBRE	<i>Germes totaux (germes/mL)</i>	141 000	168 000	120 000	128 000	
	<i>Germes revivifiables (germes/mL)</i>	12 500	206 000	2 150	320	
	EDF	<i>V. halophiles/L</i>	200 Vv ; 20 Va	400 Vv ; 1000 Va	200 Vv ; 100 Va	40 Vv
		<i>Identif. de V. halophiles</i>	Vv ; Va	Vv ; Va	Vv ; Va	Vv

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

Tableau 3.2 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2007 dans les eaux de Paluel

Etant donnée la relative homogénéité des masses d'eau des points *canal* et *référence*, les valeurs en germes revivifiables et vibrions halophiles présentés, sont exprimées par la moyenne des deux réplicats analysés. Au point *rejet*, où les turbulences rendent les eaux de ce secteur hétérogènes, nous adoptons la valeur la plus élevée des deux réplicats.

3.3.2. Résultats du dénombrement des germes totaux

3.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières des germes totaux en 2007

Les abondances de germes totaux en 2007 varient de 106 000 germes/mL sur le point *référence* au printemps, à 168 000 germes/mL sur le point *rejet* en septembre. 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 2007 quelle que soit la saison (figure 3.1). Les plus forts écarts sont constatés au mois de septembre. Un léger gradient décroissant est mis en évidence aux mois de mars et juin.

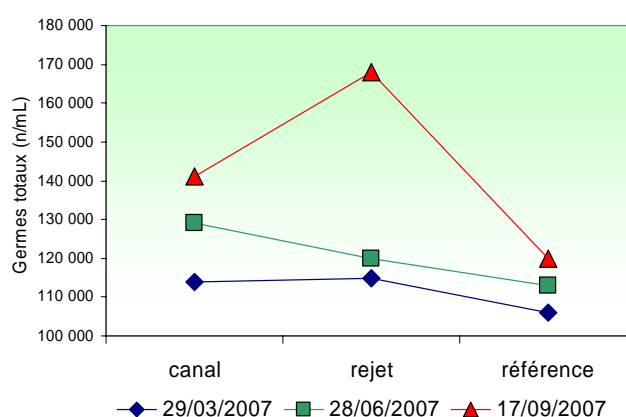


Figure 3.1 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence en 2007

3.3.2.2. Variations inter-annuelles des germes totaux

Le nombre total de germes dénombrés par épifluorescence en 2007 présente très 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.

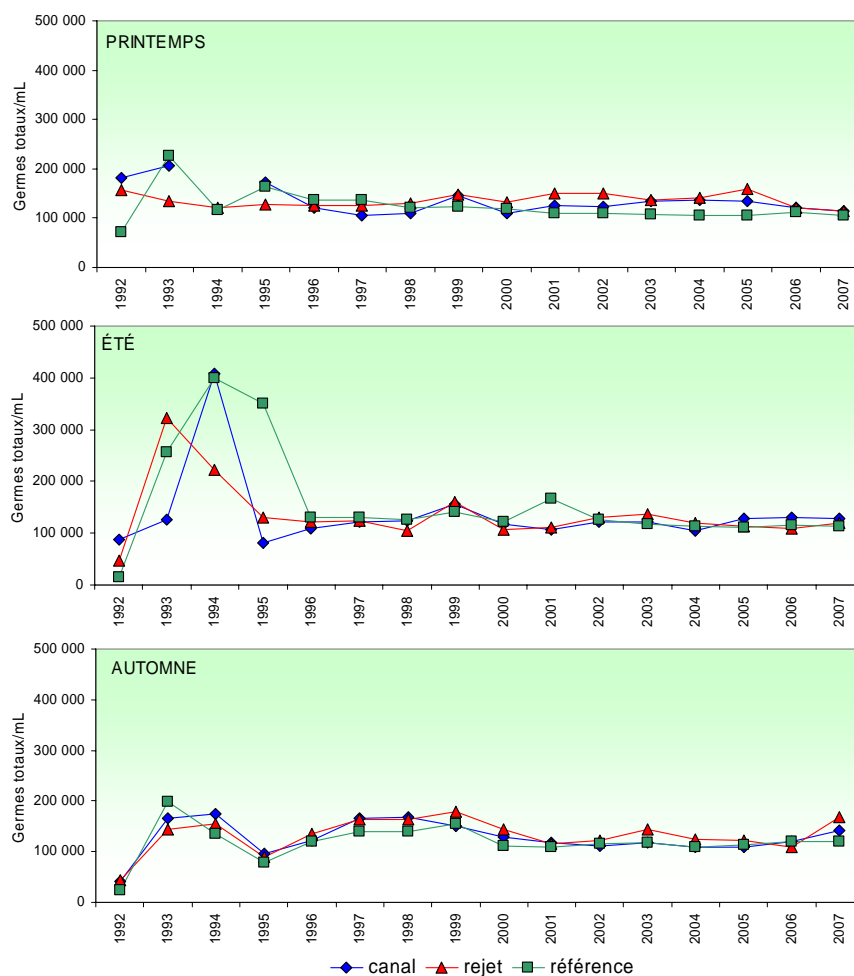


Figure 3.2 : Évolution des quantités de germes totaux depuis 1992

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 *rejet* au mois de septembre, l'ensemble des valeurs observées en 2007 se trouvent en dessous des médianes pluriannuelles ou en sont très proches.

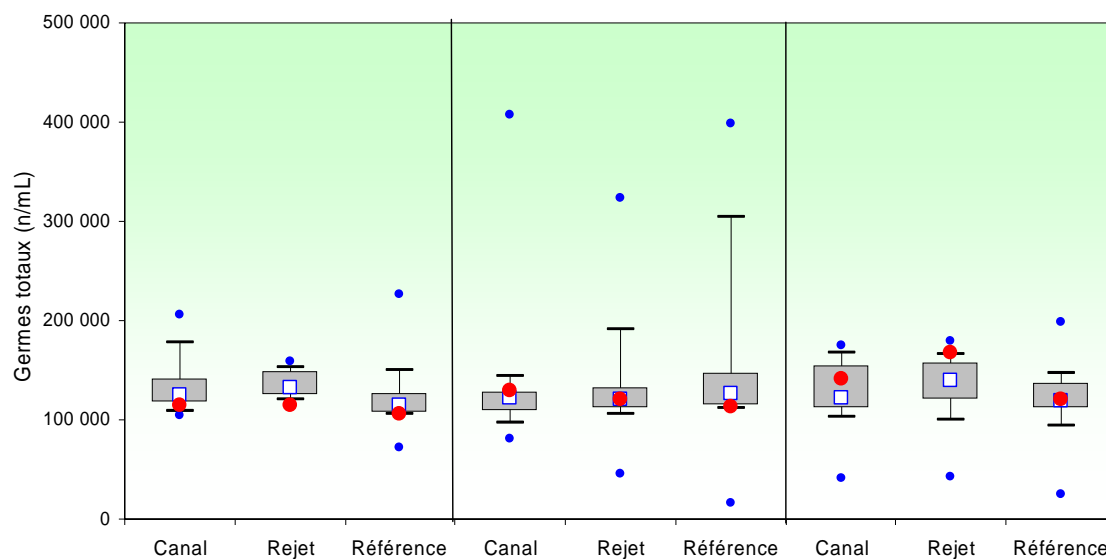


Figure 3.3 : Distributions des quantités de germes totaux (nombre par mL) de 1992 à 2007 et valeurs 2007 (en rouge)

3.3.2.3. Approche statistique

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

Comparaison	Printemps	Été	Automne
<i>Canal / Rejet</i>	0,892	0,877	0,221
<i>Référence / Rejet</i>	0,127	0,679	0,015
<i>Canal / Référence</i>	0,201	0,816	0,081

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 2006, la seule différence statistiquement significative est observée lors de la campagne de septembre entre les points *rejet* et *référence* ($p = 0,015$). 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 2007

Les quantités de germes revivifiables en 2007 ont varié de 70 germes/mL sur le point *référence* au mois de mars à 206 000 germes/mL sur le point *rejet* en septembre (figure 3.4). A l'exception des fortes abondances enregistrées sur le point *rejet* en septembre, les quantités de germes revivifiables restent du même ordre de grandeur quels que soient les points. Le nombre de germes revivifiables augmente du printemps vers l'automne avec l'augmentation de la température des eaux. En mars, un gradient décroissant est mis en évidence de la côte vers le large.

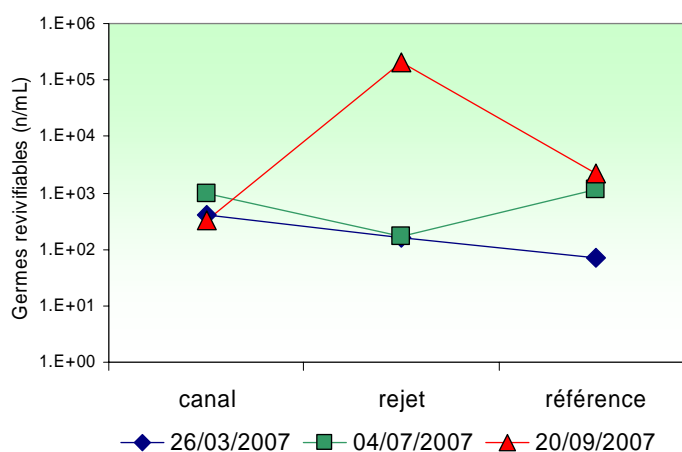


Figure 3.4 : Évolution des quantités de germes revivifiables (nombre par mL) en 2007

3.3.3.2. Variations inter-annuelles des germes revivifiables

Les quantités de germes revivifiables observées lors des campagnes des mois de mars et juin, présentent peu de variations par rapport aux années précédentes (figure 3.5). En revanche les valeurs, enregistrées en automne sur le point *rejet*, observent une très forte hausse par rapport à celles de 2006 (206 000 germes/mL pour le plus fort réplikat et 188 000 germes/mL pour le deuxième réplikat). Elles dépassent les maxima enregistrés en 1993 et 1994 avec une forte différence (facteur 3). Il reste néanmoins difficile d'apporter des conclusions sur une seule valeur.

Depuis 1997, les valeurs observées au printemps et en été sont restées très stables. Elles n'ont pas dépassé les 10 000 germes/mL quel que soit le point d'échantillonnage. Comme pour les germes totaux, le système est arrivé à une stabilité de fonctionnement qui ne favorise plus le développement des germes revivifiables. Il faudra suivre l'évolution des abondances exceptionnelles, observées en septembre 2007, sur le point *rejet*, qui présente des valeurs 20 fois plus élevées que celles observées depuis 1997.

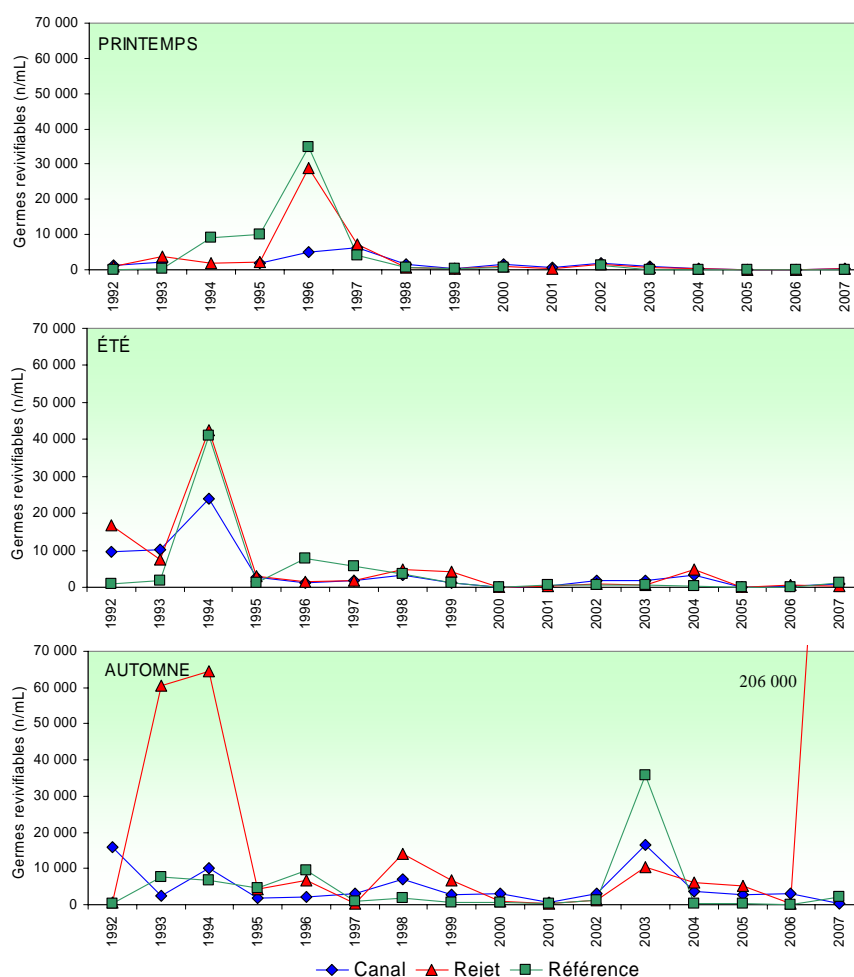


Figure 3.5 : Évolution des quantités de germes revivifiables (nombre par mL) depuis 1992

La figure 3.6 présente la dispersion des abondances de germes revivifiables enregistrées depuis 1992. Les plus faibles dispersions sont généralement observées sur le point *canal*. Tandis que les plus fortes dispersions sont enregistrées sur les points *rejet* et *référence*. Les plus faibles médianes pluriannuelles sont enregistrées, pour l'ensemble des saisons, au point *référence*, tandis que les plus fortes médianes sont observées au point *rejet*.

Les abondances de germes revivifiables observées en mars et juin 2007 se situent toutes largement en dessous des médianes pluriannuelles, à l'exception du point *référence* en juin qui se situe au niveau de ces médianes. La situation du mois de septembre 2007 est assez atypique puisque les quantités de germes revivifiables observées sur le point *canal* constituent les minima absolus de la série 1992-2007, alors que celles observée sur le point *rejet* constituent les maxima de cette série.

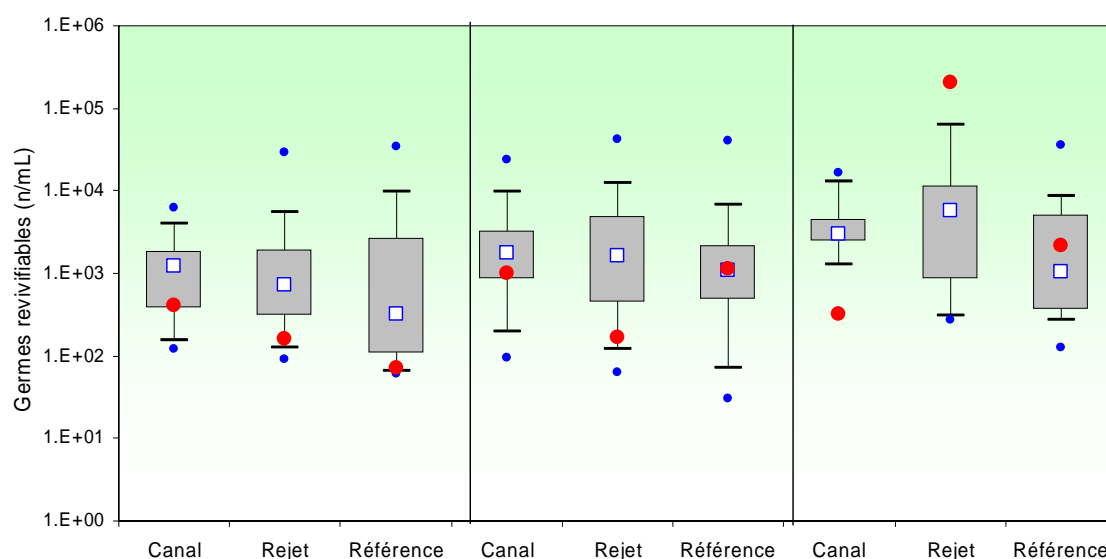


Figure 3.6 : Distributions des quantités de germes revivifiables (nombre par mL) de 1992 à 2007 et valeurs 2007 (rouge)

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.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
<i>Canal / Rejet</i>	0,820	0,323	0,252
<i>Référence / Rejet</i>	0,381	0,211	0,051
<i>Canal / Référence</i>	0,173	0,597	0,433

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'est mise en évidence sur la série de valeurs des germes revivifiables enregistrées entre 1992 et 2007. Cependant le couple de points *référence* – *rejet* se situe à la limite du seuil de 5%, et dans la même configuration statistique que celle décrite pour les germes totaux.

NOUVELLE METHODE EDF																	
V. vulnificus	canal																
	référence																
	rejet																
V. alginolyticus	canal																
	référence																
	rejet																
V. parahemol.	canal																
	référence																
	rejet																
V. cholerae	canal																
	référence																
	rejet																
		P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A				
		2004			2005			2006			2007						

Tableau 3.5: Identification des souches de vibrions halophiles par la nouvelle méthode, par saison et par point de 2004 à 2007

Les souches *V. vulnificus* et *V. alginolyticus* sont régulièrement observées sur le site de Paluel depuis 2004 (tableau 3.5). Comme en 2006, le mois de mars se caractérise par l'absence de vibrions halophiles sur l'ensemble des points suivis. Les températures pourtant élevées du mois de mars (comprises entre 9,45 et 10,40 °C), ne semblent pas avoir eu d'influence sur la croissance des vibrions. *V. vulnificus* apparaît sporadiquement depuis 2001, bien qu'elle ait été identifiée une nouvelle fois cette année. En 2007, la campagne d'automne a été caractérisée par la présence de *V. alginolyticus* et *V. vulnificus* sur l'ensemble des points.

3.3.4.2. Dénombrement des vibrions halophiles en 2007

Les quantités de vibrions halophiles en 2007 varient de moins d'un vibrion par litre (limite de détection de la méthode), en mars sur tous les points d'échantillonnage, à 1 400 vibrions/L au point *rejet* en septembre (figure 3.7). Les plus fortes quantités de vibrions ont été enregistrées comme en 2006 au point *rejet*.

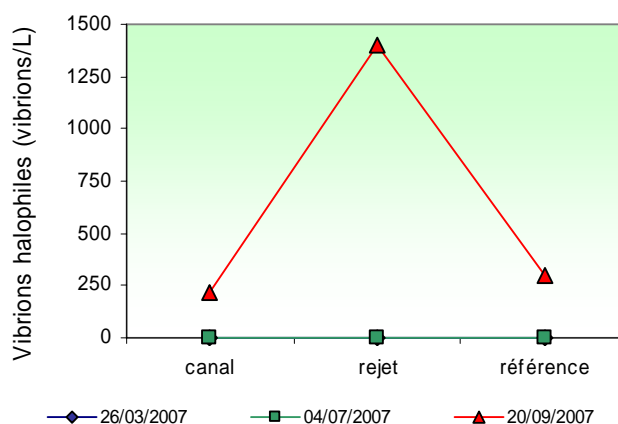


Figure 3.7 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2007 avec la méthode EDF

Les résultats obtenus en 2007 (figure 3.8) indiquent une nette augmentation des quantités de vibrions halophiles par rapport à 2006. 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 pas assez de valeurs pour décrire des tendances. L'évolution des abondances de vibrions pourrait être également due à la forte variabilité naturelle de ce paramètre dans les eaux marines.

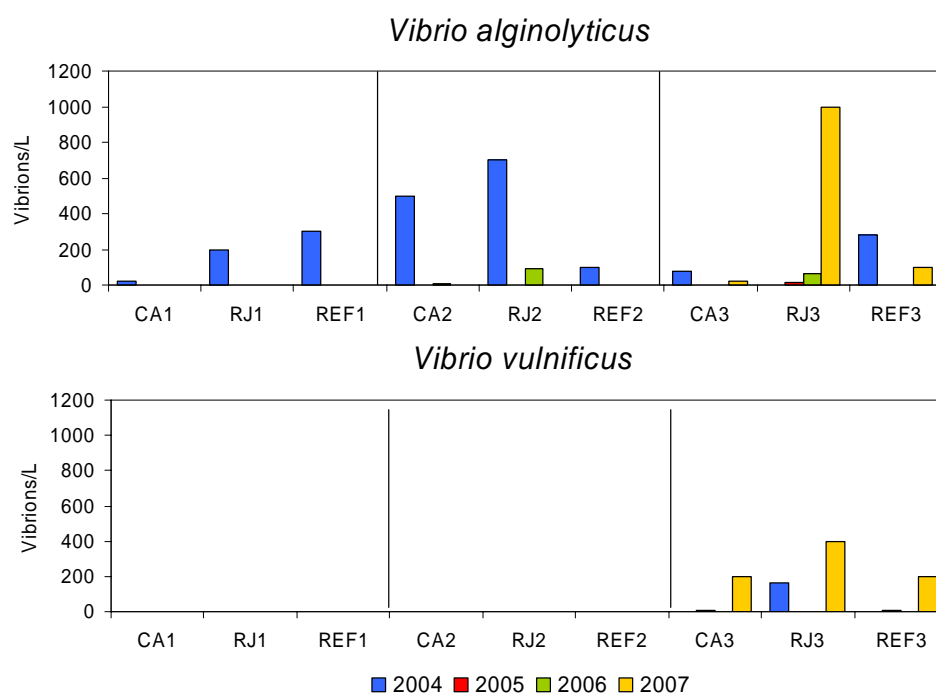


Figure 3.8 : Dénombrement de vibrions halophiles totaux entre 2004 et 2007 avec la méthode EDF

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).

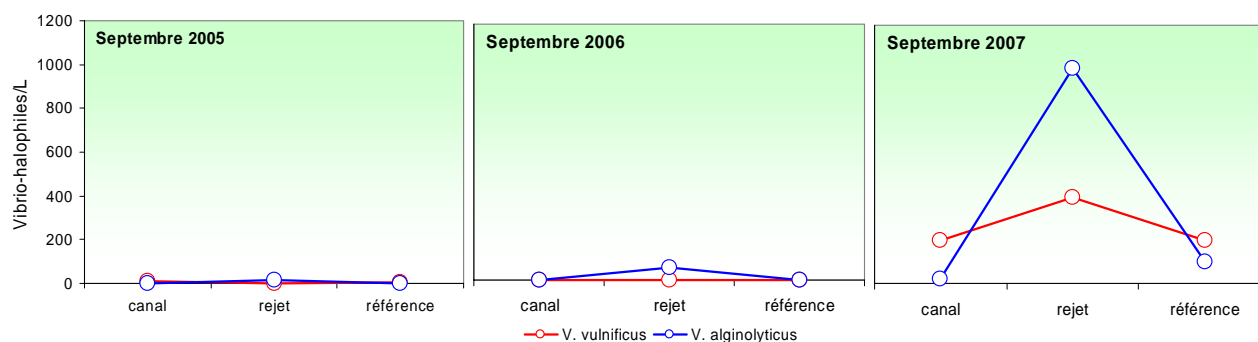


Figure 3.9 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles en septembre 2005, 2006 et 2007

3.3.4.3. Approche statistique

Les dénombrements de vibrions halophiles selon la méthode EDF, 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. A l'exception des valeurs des points *canal* et *rejet* au mois de septembre, l'ensemble des valeurs observées en 2007 se trouvent en dessous des médianes pluriannuelles ou en sont très proches.

Les quantités de germes revivifiables observées en mars et juin 2007, présentent peu de variations par rapport aux années précédentes. En revanche la valeur, enregistrée en automne sur le point *rejet*, présente une très forte hausse par rapport à celle de 2006. Elle dépasse les maxima enregistrés en 1993 et 1994 d'un facteur trois. Les abondances de germes revivifiables observées en mars et juin 2007 se situent toutes largement en dessous des médianes pluriannuelles, à l'exception du point *référence* en juin qui se situe au niveau de ces médianes.

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 2007, présentent une légère augmentation par rapport à 2006, et sont légèrement supérieures 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

<i>Rapport et dénombrements</i>	Luis Lampert (LERN).
<i>Mesures PAM</i>	Pascal Claquin (Univ. Caen).
<i>Traitement des images satellite</i>	Bertrand Saulquin (MARCOAST), Francis Gohin (MARCOAST).
<i>Prélèvements et Analyses</i>	Elvire Antajan (LERB), Liliane Fiant (LERN), Sylvaine Françoise (LERN), Vincent Justome (LERN), Laure Lamort (LERN), Luis Lampert (LERN), Jerôme Letellier (LERN), Loïc Nogues (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 caractérise la dynamique 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 2007.

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 chapitre 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.

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 appliquée est celle qu'utilise la fluorescence modulée (Pulse amplitude Modulated – PAM-) pour déterminer la production potentielle maximale d'un peuplement *in vivo* (Falkowski et Raven, 2007 ; Sakshaug et al., 1997). Cette méthode permet également d'estimer par la

fluorescence l'état physiologique de ce peuplement. Le transfert d'énergie au niveau de l'appareil photosynthétique des cellules phytoplanctoniques pourra être modifié si elles sont stressées par des facteurs environnementaux tels que la limitation en nutriments ou une très forte lumière.

Principe de la méthode : quand un photon est absorbé par une molécule de chlorophylle, un électron passe d'un stade stationnaire à un stade excité. Le retour au stade stationnaire est accompagné d'une dissipation de l'énergie sous forme de fluorescence (3-5% *in vivo*). Cette émission de fluorescence est une des trois voies possibles de dissipation de cette énergie, car l'essentiel est utilisé dans les processus photochimiques qui mènent à la production de la matière organique par la cellule. Une plus faible quantité passe dans des processus de dissipation de chaleur.

En modulant l'intensité lumineuse sur les cellules est alors possible de mesurer la fluorescence émise, qui elle, est proportionnelle à la part d'énergie utilisée pour la photosynthèse, et donc également à la production primaire. L'instrument utilisé est un Water-Pam de chez Walz qui permet de prendre sur un petit échantillon d'eau de mer, des nombreuses mesures de fluorescence avec une gamme étendue d'éclairages calibrés en quelques minutes.

Pour chaque point de suivi, sont ainsi obtenues expérimentalement des courbes construites avec les rapports de fluorescence en fonction de l'intensité lumineuse. Ce nuage de points est ensuite ajusté mathématiquement par un modèle, afin de déterminer les paramètres photosynthétiques caractéristiques, dont rETRmax qui correspond à la capacité maximale de production de l'échantillon.

rETR étant le taux de transport des électrons (Electron transport rate – ETR) entre les photosystèmes PSII et PSI.

Un autre paramètre qui nous intéressera est l'efficacité quantique maximale du PSII, $Y_{max} = (F_m - F_o) / F_m$, défini comme la différence des fluorescences maximale et minimale sur la fluorescence maximale après dix minutes de repos de l'échantillon à l'obscurité. Ce paramètre donne une indication de l'état physiologique du peuplement.

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.

4.2.4. Télédétection satellitaire

Les images des climatologies de la chlorophylle ont été obtenues avec l'algorithme développé à l'Ifremer par Francis Gohin (Gohin et al, 2002) sur la série d'images obtenues par les cameras SeaWiFS et MODIS entre 1998 et 2006. Les images quotidiennes de la série 2007 sont celles de la camera MODIS traités avec le même algorithme et mises à disposition par le projet MarCoast.

4.3 Résultats

Les résultats obtenus en 2007 sont donnés dans le tableau 4.1 ci-dessous.

		CANAL	REJET	REFERENCE	
				surface	mi-prof.
29-mars	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	1.32	1.82	1.51	1.47
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0.71	1.37	0.41	0.95
	<i>rETR (unités relatives)</i>	318	278	313	282
	<i>Microphytoplancton (cel/L)</i>	76200	74000	70200	66600
28-juin	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	1.37	1.01	0.67	0.79
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	1.08	0.97	0.5	0.28
	<i>rETR (unités relatives)</i>	174	164	238	157
	<i>Microphytoplancton (cel/L)</i>	25600	29400	25200	24200
17 sept.	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	2.64	2.27	1.78	1.3
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0.83	0.09	0.47	1.68
	<i>rETR (unités relatives)</i>	316	259	227	262
	<i>Microphytoplancton (cel/L)</i>	163100	237300	75800	101800

Tableau 4.1 : Valeurs des paramètres phytoplanctoniques au droit de la centrale de Paluel en 2007

4.3.1 Biomasse chlorophyllienne

4.3.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle

Au cours de l'année 2007, les valeurs de chlorophylle s'échelonnent entre 0,67 $\mu\text{g/L}$ au point *référence* en juin et 2,64 $\mu\text{g/L}$ au point *canal* en septembre (tableau 4.1). Ces valeurs mettent en évidence des faibles différences de biomasse phytoplanctonique entre les trois campagnes de l'année. La campagne de septembre présente les plus fortes valeurs et celle de juin les plus faibles ; toutes les deux avec un gradient décroissant côte-large. Nous observons en mars une situation intermédiaire avec un très faible gradient.

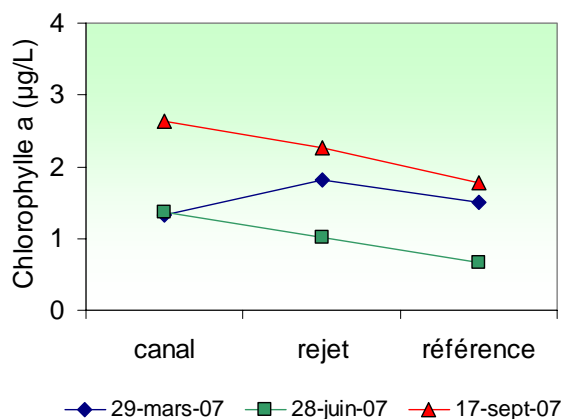


Figure 4.1 : Évolution de la concentration en chlorophylle au cours des trois campagnes de surveillance 2007

4.3.1.2. Variations inter-annuelles

Toutes les valeurs de chlorophylle enregistrées en mars et juin 2007 sont proches ou très en dessus de celles de 2006. En septembre, les concentrations en chlorophylle présentent des valeurs deux fois supérieures à celles de 2006 (figure 4.2). Il s'agit des plus fortes valeurs observées depuis 1989. Comme probable conséquence de la simple variabilité interannuelle, l'augmentation des concentrations observée en mars depuis quelques années semble s'être arrêtée en 2007.

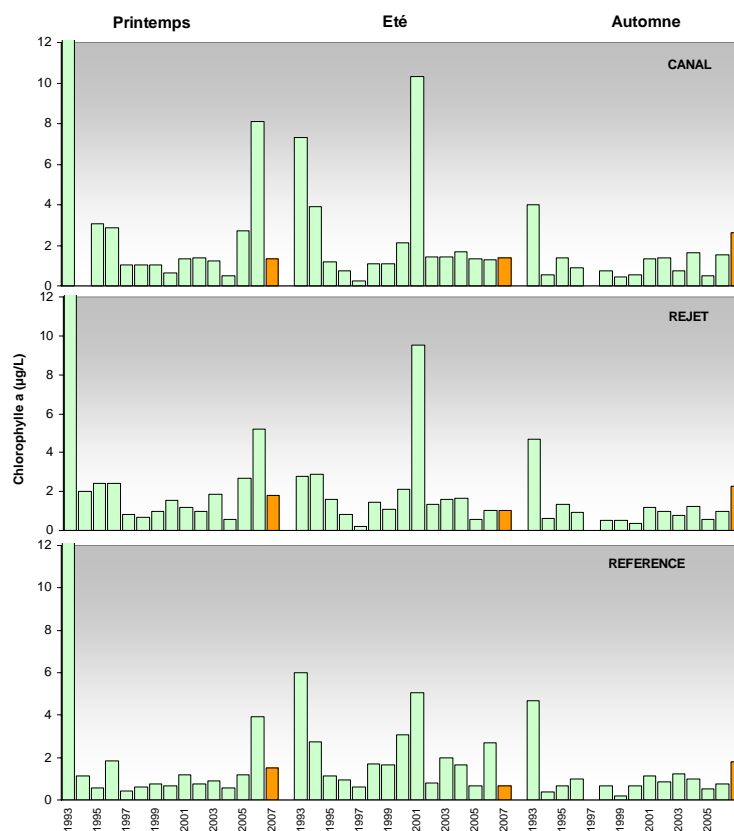


Figure 4.2 : Évolution de la chlorophylle de 1988 à 2007

Il est à remarquer que les fortes valeurs printanières observées en 1988, 1991 et 1993 correspondent aux campagnes qui ont été menés au début du mois de mai et non en mars-avril, période où à lieu couramment l'efflorescence printanière.

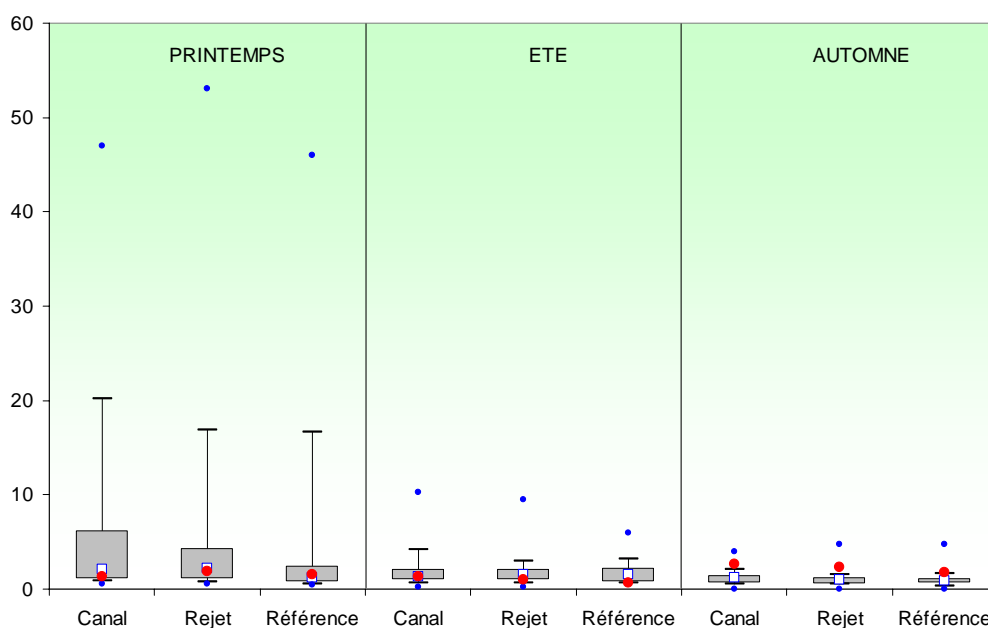


Figure 4.3 : Évolution de la chlorophylle de 1988 à 2007

La figure 4.3 montre une plus forte dispersion des valeurs au printemps par rapport 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 présente une très grande stabilité.

La tendance saisonnière, représentée par la distribution des médianes, montre qu'un gradient décroissant côte-large s'installe au printemps et en automne. Les valeurs de chlorophylle mesurées en mars et juin 2007 sont proches ou au-dessous des médianes, tandis qu'en septembre, elles se situent au-dessus 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	0,983	0,268	0,142
REFERENCE / REJET	0,000	1,000	0,155
CANAL / REFERENCE	0,008	0,475	0,091

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

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

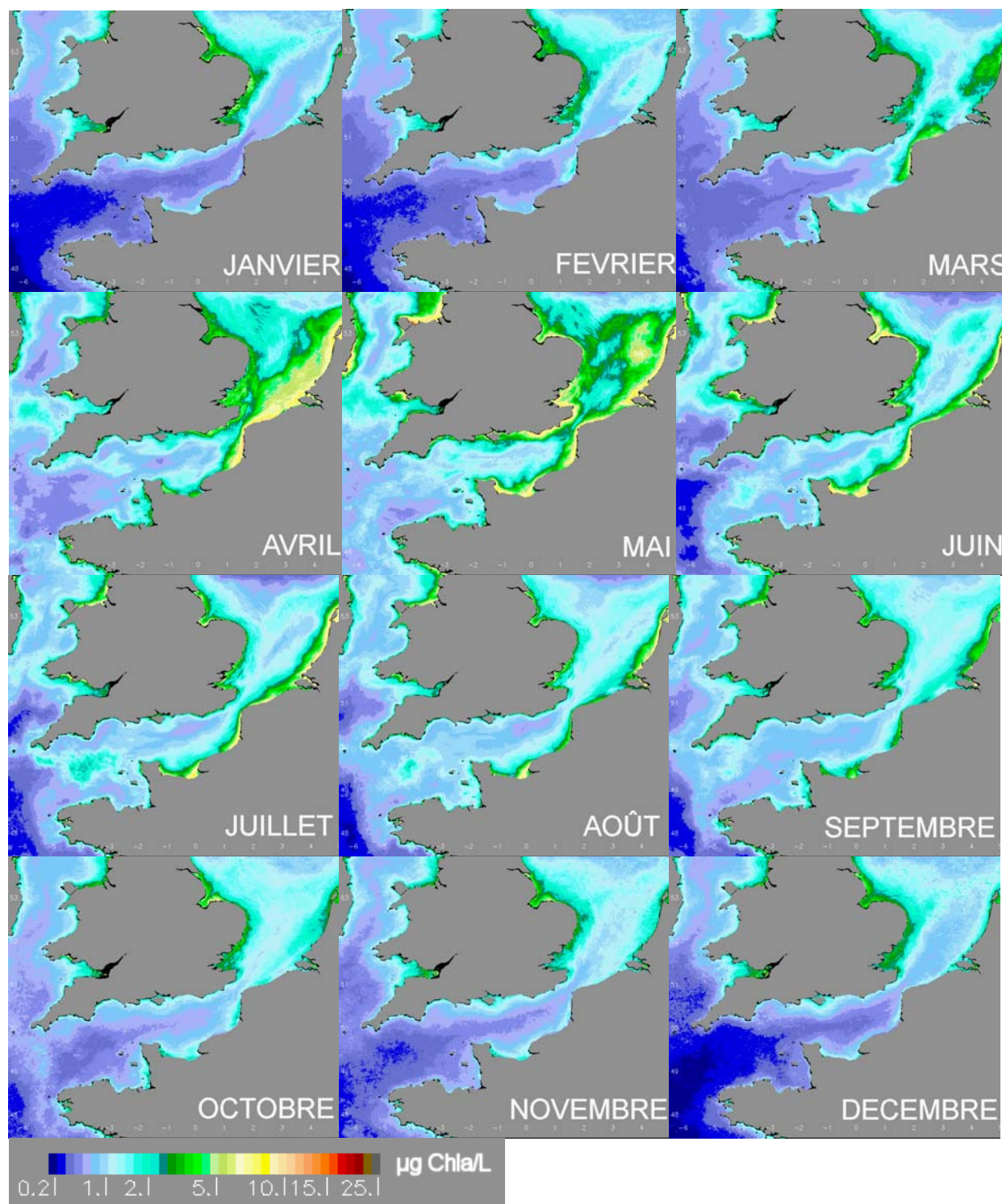
4.3.1.4. Approche par imagerie satellite

La climatologie de la chlorophylle a obtenue par les cameras SeaWiFS et MODIS nous permettent de suivre l'évolution mensuelle des développements phytoplanctoniques en Manche. Ces images affichent, pour chaque pixel, la moyenne des valeurs obtenues entre 1998 et 2006, donc, 9 ans de suivi, ce qui permet de minimiser l'effet de la couverture nuageuse annuelle (figure 4.4).

Les mois de janvier et de février présentent les plus faibles concentrations en chlorophylle. Seul un faible développement en baie de Somme au mois de février fait la différence avec l'image de janvier. Le mois de mars présente un début d'activité en baie de Seine et un renforcement en baie de Somme, qui lui, s'étale de part et d'autre de la frontière belge. La côte ouest du Cotentin présente un faible accroissement de chlorophylle entre Granville, les îles anglo-normandes et Barneville. Au mois d'avril se poursuit l'augmentation des concentrations ainsi que leur développement spatiale. En baie de Seine les plus fortes concentrations se situent en baie de Veys et à l'embouchure de la Seine, tandis que le développement en baie de Somme descend jusqu'à Dieppe. La zone comprise entre Antifer et Saint Valéry en Caux reste la moins touchée par ces développements (voir le rapport de Paluel de 2006). L'ouest Cotentin est entièrement concerné par la hausse des concentrations en chlorophylle. En mai, toute la zone côtière est touchée par les plus fortes concentrations annuelles. L'ensemble des baies de Seine et de la Somme y est touché et des concentrations supérieures à $2 \mu\text{g/L}$ sont observées plus au large. De Granville à la pointe Jobourg les valeurs de chlorophylle commencent déjà à diminuer lentement.

De Dunkerque à Cherbourg, la situation observée en juin est similaire à celle du mois de mai. Les forts développements en Mer du Nord disparaissent et les concentrations de la côte ouest du Cotentin continuent à baisser. L'image de juillet est semblable à celle du mois d'avril, où les plus fortes concentrations sont situées dans les baies de Seine et de Somme, avec une zone de transition située entre Antifer et Saint Valéry en Caux. Le début d'efflorescence présent en juin au milieu de la Manche occidentale est maintenant bien développé. C'est dans cette région que chaque année, suite à la stratification de la masse d'eau, des fortes efflorescences de dinoflagellés apparaissent. Les plus fortes concentrations en chlorophylle du mois d'août se situent à l'embouchure de la Seine et de la Somme ; une diminution sensible est perceptible dans la partie occidentale de la baie de Seine. Cette diminution se poursuit en septembre, avec des eaux de plus en plus pauvres en chlorophylle. Une faible activité phytoplanctonique subsiste

cependant sur la côte ouest du Cotentin. D'octobre à décembre les eaux deviennent de plus en plus bleues et seul dans la côte est de l'Angleterre et au fond des grandes baies comme celle de la Tamise, nous pouvons encore observer des concentrations supérieures à $2 \mu\text{g/L}$.



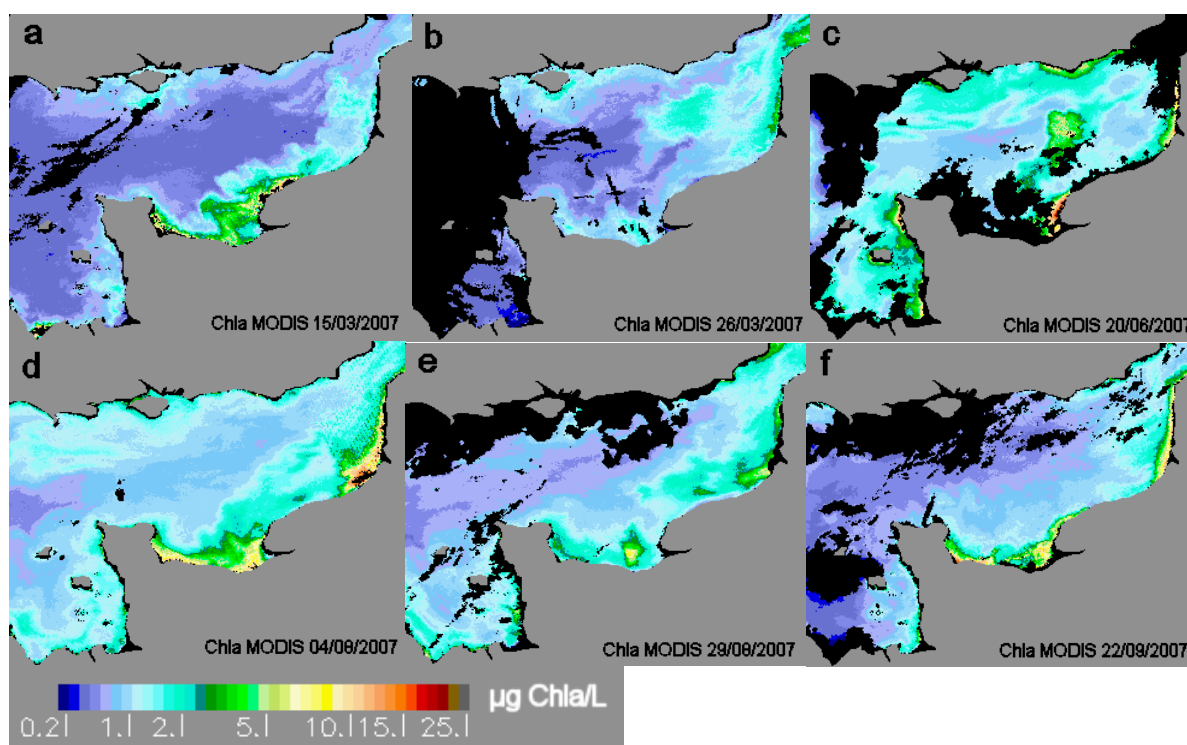


Figure 4.5 : Série d'images obtenues par la caméra MODIS et traitées avec l'algorithme Ifremer pour obtenir les concentrations en chlorophylle (Ifremer)

Si nous comparons les images obtenues en 2007 par rapport à la climatologie 1998-2006, nous constatons que les mois de janvier et février ont été dans la moyenne pluriannuelle. Autour de la mi mars, nous observons un plus fort développement (figure 4.5 a) que celui indiqué dans la climatologie, avec une extension du panache de la Seine vers le milieu de la baie de Seine et une remontée vers le nord est près des côtes au-delà de Saint Valéry en Caux. Pour la fin du mois de mars, ces efflorescences ont en grande partie disparue (figure 4.5 b). Aucune efflorescence marquée n'est observée en baie de Somme avant la fin mars. C'est dans ce contexte de faible activité phytoplanctonique qui a eue lieu la campagne printanière du 29 mars.

Les mois d'avril et mai, malgré les fortes couvertures nuageuses présentes sur la Manche, sont en accord avec la climatologie générale. C'est au mois de juin que les quelques images dont nous disposons montrent une diminution de la biomasse phytoplanctonique par rapport à la climatologie (figure 4.5 c). La deuxième campagne annuelle a été effectuée le 28 juin.

Le mois de juillet ne semble pas présenter des anomalies significatives par rapport aux années précédentes. Le début du mois d'août présente cependant des anomalies positives par rapport à la climatologie (figures 4.5 d et e). Des plus fortes concentrations en chlorophylle sont observables sur les douze images exploitables du mois d'août.

Ces anomalies positives sont encore présentes au mois de septembre et plus particulièrement observées en baies de Seine et de Somme (figure 4.5 f). La dernière campagne marine a eue lieu

le 17 septembre dans un contexte plus productif que celui mis en évidence par la climatologie 1998-2006.

4.3.2 Production primaire

La nouvelle méthode d'évaluation de la production primaire potentielle (rETR), utilisée pour la première fois lors de ces trois campagnes 2007, nous permettra d'évaluer ce paramètre pour les trois campagnes annuelles ainsi que le gradient spatial observé entre les points d'échantillonnage. L'efficacité quantique maximale (Y_{max}) renseigne sur l'état physiologique du peuplement. $Y_{max} \geq 0,6$ indique un très bon état ; $Y_{max} = 0,5$ bon état ; $Y_{max} = 0,4$ à $0,3$ moyen à mauvais et un $Y_{max} < 0,3$ met en évidence un mauvais à très mauvais état physiologique des cellules.

4.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la production primaire (rETR)

Les valeurs mesurées en 2007 sont comprises entre 164 en juin au point *rejet* et 317 en mars au point *canal* (figure 4.6).

Avec de faibles différences entre les points, les plus fortes valeurs sont observées lors de la campagne printanière. La production primaire potentielle chute en été, pour remonter en automne à des valeurs proches de celles enregistrées en mars. Un gradient croissant côte-large est observé en été, tandis que la situation contraire est perceptible au mois de septembre. Aux mois de mars et de juin, la production au point *référence* est similaire ou supérieure à celle du point *canal*. En septembre, les eaux du large présentent une capacité productive sensiblement inférieure à celle des eaux plus côtières.

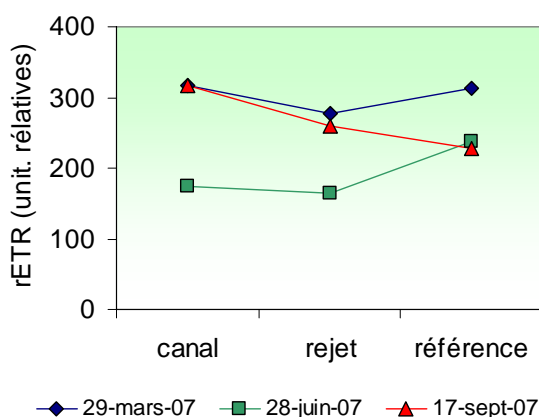


Figure 4.6 : Évolution de la production primaire potentielle (rETR) maximale lors des trois campagnes de surveillance de Paluel en 2007

4.3.2.2. Variations spatiales et saisonnières de l'efficacité quantique maximale (Ymax)

Les plus fortes valeurs de l'efficacité quantique ont été observées au mois de mars aux points *rejet* et *référence*, avec respectivement 0,67 et 0,66 (figure 4.7). Les plus faibles ont été enregistrées aux points *canal* et *rejet* en juin, avec une valeur de 0,48.

La distribution temporelle de Ymax est similaire à celle de la production primaire potentielle, avec les plus fortes valeurs observées au printemps, les plus faibles en été et des rapports automnaux proches et légèrement en dessous de celles de mars.

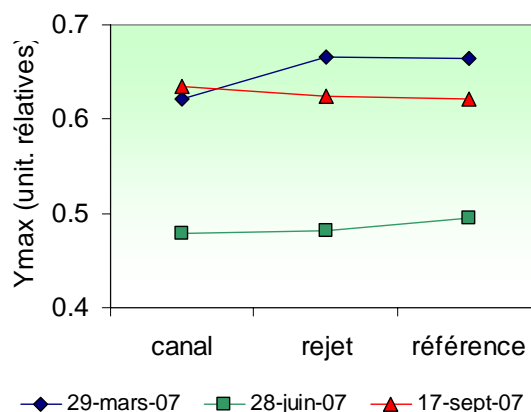


Figure 4.7 : Évolution des rapports de fluorescence maximale (Ymax) lors des trois campagnes de surveillance de Paluel en 2007

La distribution spatiale de Ymax montre une forte homogénéité de valeurs en juin et en septembre. C'est au mois de mars que nous observons les plus fortes différences entre les valeurs des points d'échantillonnage, où un gradient croissant côte-large est mis en évidence. Toutes ces différences s'avèrent cependant non significatives après application des tests statistiques (voir paragraphe 4.3.2.4.).

Les schémas de distributions spatio-temporelles des paramètres rETR et Ymax sont cohérents et suivent le même patron d'évolution. Il est remarquable de constater le bon état physiologique général des peuplements dans les eaux proches de Paluel. Même les valeurs plus faibles enregistrées au mois de juin, qui mettent en évidence les carences en nutriments propres du début d'été, montrent un bon état général des cellules.

Il est à remarquer que les valeurs de Ymax du point *rejet* ne sont pas systématiquement inférieures à celles des autres points d'échantillonnage. En effet, pendant longtemps il a été couramment admis que le passage des cellules phytoplanctoniques à l'intérieur des échangeurs produit une mortalité massive des cellules. Ceci reste impossible d'être vérifié expérimentalement avec des mesures de biomasse chlorophyllienne à cause de la variabilité spatiale (voir les rapports 2003 à 2006). Mais avec la mesure de Ymax, nous accédons à une véritable estimation de l'état physiologique des peuplements présents au point *rejet*.

Plus d'années seront nécessaires pour observer une tendance, mais les résultats obtenus en 2007 ne semblent pas montrer que les peuplements phytoplanctoniques soient significativement affectés par l'augmentation rapide de la température de l'eau de mer aux environs de 30 °C sur le bref laps de temps qui dure leur passage dans l'échangeur. Les taux de mélange de 80 % à 90 %

à quelques dizaines de mètres des grilles de rejet diminuent le signal de mortalité, mais si des mortalités massives avaient lieu, elles seraient remarquées.

4.3.2.4. Approche statistique

Les tests réalisés sur les autres paramètres de ce compartiment ne sont pas applicables à celui-ci à cause du faible nombre de données encore disponibles. Nous avons cependant conduit des tests d'analyse de la variance (ANOVA) sur les résultats des triplicats du paramètre Ymax.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL	X	X	X
REJET	X	X	X
REFERENCE SURFACE	X	X	X
REFERENCE MI-PROFONDEUR	X	X	X
Probabilité associé p	0,175	0,380	0,347

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

Tableau 4.3 : homogénéité des groupes et probabilité associée p des tests statistiques sur Ymax (trois réplicats)

Le tableau 4.3 présente la visualisation des résultats des tests statistiques sur l'homogénéité de la valeur Ymax par campagne. Pour les trois campagnes, les croix se trouvent sur la même colonne, donc aucune différence significative n'est constatée entre les points lors de chaque sortie en mer en 2007. Les différences de Ymax observées entre les points de chaque campagne de la figure 4.7 ne peuvent donc pas être considérées comme significativement différentes après le test ANOVA appliqué. Les différences de valeurs observées doivent donc être prises comme la représentation de la variabilité aléatoire du même échantillon.

Vu l'homogénéité des valeurs de Ymax à l'intérieur de chaque campagne, nous pourrions nous demander si les trois campagnes présentent des valeurs homogènes entre elles. C'est-à-dire, si la valeur de Ymax peut être considéré comme similaire lors des trois campagnes. Le nouveau test ANOVA réalisé sur l'ensemble de valeurs de l'année montre que les valeurs des campagnes de mars et de septembre peuvent être considérées comme similaires ($p=0,882$). La campagne de juin étant significativement différente des deux autres.

L'approche de la production primaire potentielle à partir des campagnes 2007 ne permet pas encore de réaliser des comparaisons pluriannuelles à cause du faible nombre de données, elle permet cependant d'accéder à l'état physiologique des peuplements présents lors des échantillonnages. Cette approche nouvelle nous a permis de conclure à la faible influence sur les cellules phytoplanctoniques du rapide réchauffement subi lors du passage dans les échangeurs de refroidissement du réacteur.

4.3.3 Microphytoplankton

4.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières du microphytoplankton

Les dénombrements microphytoplanktoniques effectués en 2007 sont présentés sur la figure 4.8 ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre de cellules par litre. Les plus fortes abondances de surface sont observées au point *rejet* en septembre avec 237 300 cellules/L et les plus faibles sur le point *référence* à mi-profondeur en juin, avec 24 200 cellules/L.

L'allure de la figure 4.8 est très semblable à celles déjà enregistrées pour la chlorophylle. Aucun gradient n'est mis en évidence lors des campagnes de mars et juin, tandis qu'en septembre nous observons un gradient décroissant *canal-référence*.

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

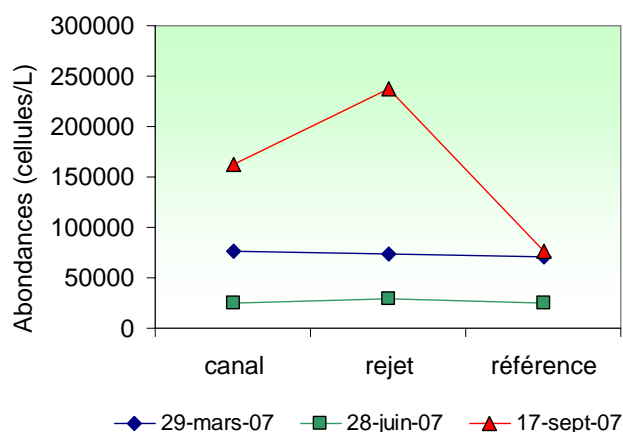


Figure 4.8 : Abondances du microphytoplankton au cours de l'année 2007

4.3.3.2. Variations inter-annuelles

Les abondances cellulaires enregistrées depuis 1993 sont présentées sur la figure 4.9. Les valeurs obtenues au printemps et à l'été 2007 sont inférieures à celles observées en 2006. En septembre 2007, les abondances enregistrées sur les trois points sont supérieures à celles de 2006.

Cette dynamique est sensiblement la même qui a été déjà mise en évidence avec la biomasse chlorophyllienne dans le chapitre 4.3.1.2. et confirmée par les images satellite.

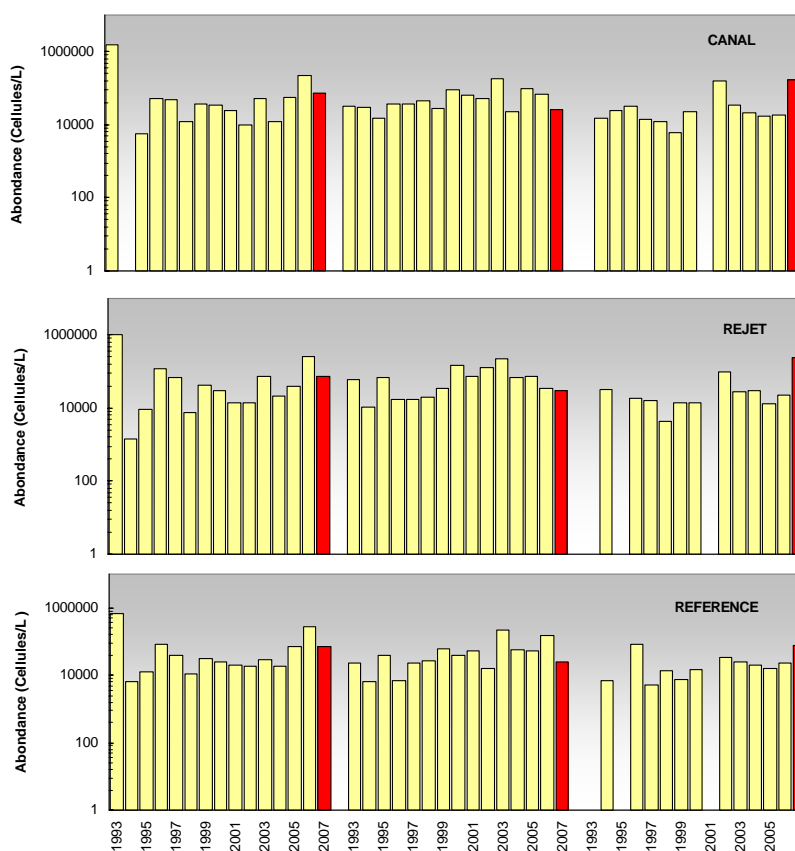


Figure 4.9 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1993 à 2007

Suivant le schéma déjà mis en évidence pour la chlorophylle, l'abondance phytoplanctonique présente les plus fortes dispersions au printemps (figure 4.10).

Les valeurs de la campagne de mars 2007 se trouvent au dessus des médianes. En juin, elles se situent en dessous de celles-ci, et nous observons en septembre des abondances cellulaires très supérieures aux médianes. Pour les points *canal* et *rejet* de cette dernière campagne, les valeurs ont représenté les maxima absolus de la série pluriannuelle.

La tendance pluriannuelle montre un faible gradient décroissant côte-large pour l'ensemble de campagnes. En été, le point *rejet* présente la plus forte médiane. Pour la campagne de juin 2007, nous observons ce phénomène. 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 du canal et 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*.

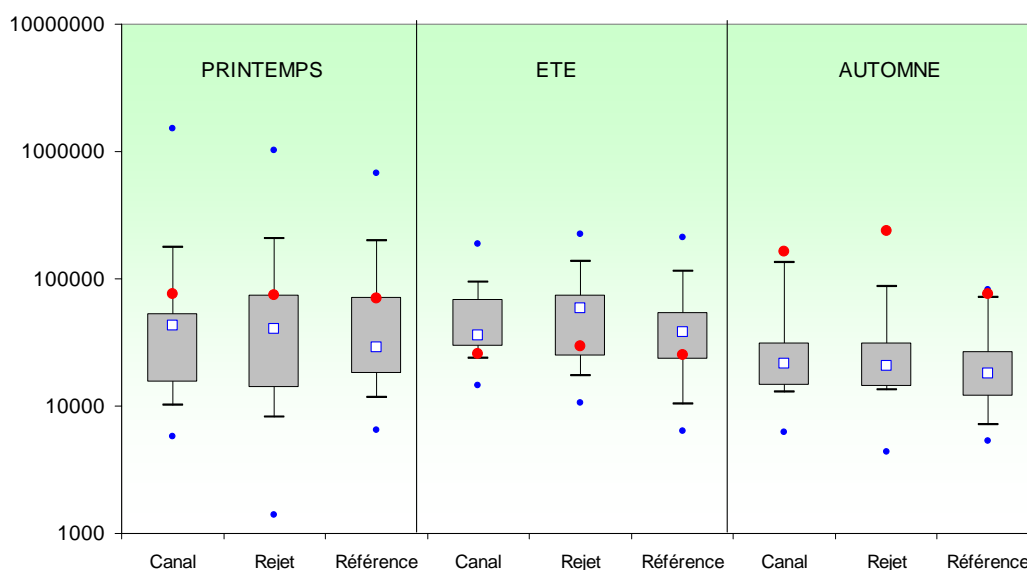


Figure 4.10 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1993 à 2007

4.3.3.3. Approche statistique

Les résultats des tests statistiques présentés dans le tableau 4.4 confirment nos observations concernant la chlorophylle : aucune différence significative n'est mise en évidence entre les différents points d'échantillonnage pour la série de valeurs 1993-2006.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,463	0,2223	0,970
REFERENCE / REJET	0,410	0,112	0,204
CANAL / REFERENCE	1,000	0,757	0,249

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 2007

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 2007 a été répartie en 4 grands groupes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2007, environ 60 taxons (taxons et 'classes algales') ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 83 % de la communauté microphytoplanctonique, et peuvent atteindre une proportion proche de 100 % (tableau 4.5).

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANKTON				TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés			
IGA 2007-1	canal	75600	400	0	200	76200	1	99
IGA 2007-1	rejet	73400	600	0	0	74000	1	99
IGA 2007-1	ref surf	69600	400	0	200	70200	1	99
IGA 2007-1	ref 1/2 prof.	65800	600	0	200	66600	1	99
IGA 2007-2	canal	24000	1200	400	0	25600	5	94
IGA 2007-2	rejet	24400	5000	0	0	29400	17	83
IGA 2007-2	ref surf	16200	8200	800	0	25200	33	64
IGA 2007-2	ref 1/2 prof.	20800	2600	800	0	24200	11	86
IGA 2007-3	canal	154500	6800	1800	0	163100	4	95
IGA 2007-3	rejet	230100	7200	0	0	237300	3	97
IGA 2007-3	ref surf	69600	5400	800	0	75800	7	92
IGA 2007-3	ref 1/2 prof.	99700	1200	900	0	101800	1	98

Tableau 4.5: Abondances des principales classes algales pour l'année 2007

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 17 400 cellules/L et 212 100 cellules/L. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nano-phytoplanctonique.

Campagne	Station	DIATOMÉES										Cumul %
		RHIZ	MELO	NITZ	CHAE	THAL	SKEL	LEPT	ASTEGLA	THAANIT	NAVI	
IGA 2007-1	canal	2	1	1	50	41	0	0	0	0	0	95
IGA 2007-1	rejet	3	2	1	25	55	2	0	0	0	0	88
IGA 2007-1	ref surf	5	3	0	54	29	3	0	0	0	1	95
IGA 2007-1	ref 1/2 prof.	0	1	0	54	42	0	0	0	0	0	97
IGA 2007-2	canal	2	11	3	6	22	6	9	7	12	2	80
IGA 2007-2	rejet	19	20	8	8	11	0	7	1	7	9	90
IGA 2007-2	ref surf	30	19	3	24	2	0	15	0	0	1	94
IGA 2007-2	ref 1/2 prof.	22	21	2	13	4	0	17	0	7	2	88
IGA 2007-3	canal	77	14	1	0	5	0	0	0	0	1	98
IGA 2007-3	rejet	71	1	1	9	6	0	3	0	3	2	96
IGA 2007-3	ref surf	85	1	0	4	7	1	0	0	0	1	99
IGA 2007-3	ref 1/2 prof.	70	3	1	5	11	0	3	0	2	1	96

Clefs : **Rhiz** : *Rhizosolenia* ; **Melo** : *Melosira* ; **Thal** : *Thalassiosira* ; **Chae** : *Chaetoceros* ; **Skel** : *Skeletonema costatum* ; **Thaanit** : *Thalassionema nitzschoides* ; **Plag** : *Plagiogramma* ; **Nitz** : *Nitzschia* ; **Bidd** : *Biddulphia* ; **Navi** : *Navicula* sp.

Tableau 4.6 : Abondances des principaux genres de diatomées pour l'année 2007

Les principales espèces dénombrées en 2007 sont les suivantes :

Mars 2007 : les taxons dominants chez les diatomées au printemps sont *Thalassiosira* (29 % à 55 %) et *Chaetoceros* (25 % à 54 %). Tous les autres taxons n'ont présenté que des faibles dominances, généralement inférieures à 5 % (tableau 4.6 et figure 4.11). L'espèce du genre *Thalassiosira* la plus fréquemment observée a été *Thalassiosira rotula*.

Les dinoflagellés, avec 1 % de dominance, ont été pratiquement absents pendant cette campagne printanière. Les autres classes algales n'ont été que très peu représentées avec un maximum de 200 cellules/L du silicoflagellé *Dicthyoca* sp. sur trois des quatre points de suivi.

Les cryptophycées ont présenté une abondance minimale de 26 100 cellules/L au point *référence* en surface, et un maximum de 49 400 cellules/L au point *rejet*.

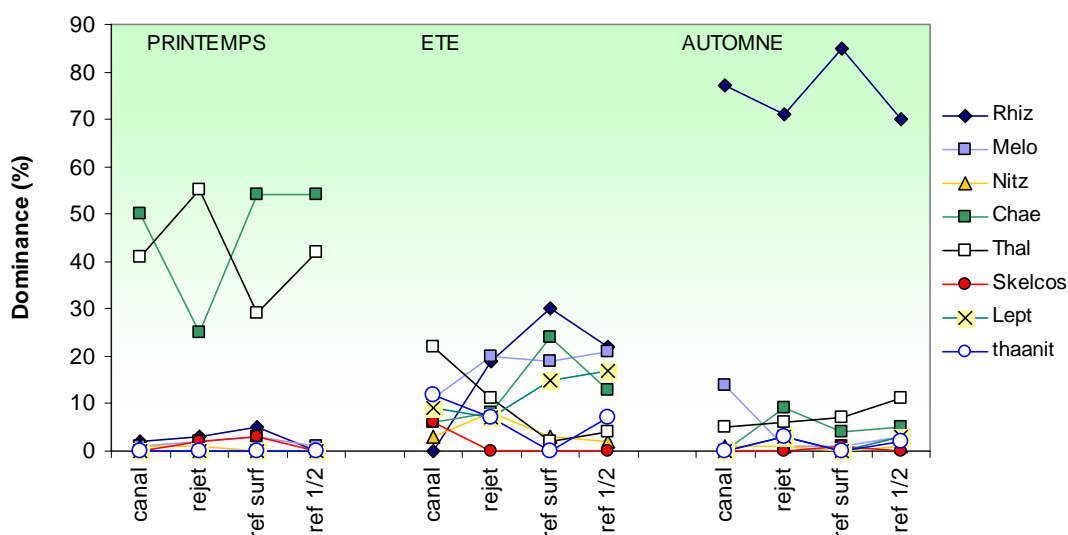


Figure 4.11 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2007

Juin 2007 : *Rhizosolenia*, avec un gradient croissant côte-large de dominances comprises entre 2 % et 30 %, a été le genre le mieux représenté de cet été 2007, suivi de *Chaetoceros* (6 % à 24 %), *Thalassiosira* (2 % à 22 %) avec un gradient inversé, *Melosira* (11 % à 21 %), *Leptocylindrus* (7 % à 17 %), *Thalassionema* (0 % à 12 %). Nous avons également observé, avec des dominances inférieures à 10 %, *Navicula*, *Asterionella glacialis*, *Skeletonema costatum* et *Nitzschia* sp. L'espèce du genre *Rhizosolenia* la plus fréquemment observée est *R. delicatula*. La forte abondance de *R. delicatula* est confirmée par la littérature, qui signale l'apparition de cette espèce tous les ans sur les côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche (Klein et Sournia, 1987).

Les dinoflagellés ont présenté au maximum d'abondance de 8 200 cellules/L au point *référence*. Les dominances observées en juin ont varié de 5 % à 33 % sur l'ensemble du microphytoplancton. Ces fortes abondances ont été principalement dues à la présence du genre *Prorocentrum*, où les espèces dominantes ont été *P. micans* et *P. gracile*. Au point *référence*, sur les deux niveaux échantillonnés, nous observons 800 cellules/L d'Euglènes et aucun silicoflagellé lors de cette campagne estivale.

Sur la fraction nanophytoplanctonique, les cryptophycées présentent un gradient croissant côte-large, avec une abondance de 17 400 cellules/L au point *canal* et 179 300 cellules/L au point *référence*.

Septembre 2007 : le genre *Rhizosolenia* a été encore très largement dominant au mois de septembre, avec des dominances comprises entre 70 % et 85 %, suivie de *Melosira* (1 % à 14 %), *Thalassiosira* (5 % à 11 %) et *Chaetoceros* (0 % à 9 %). Les fortes abondances du genre *Rhizosolenia* sont encore dues au développement de l'espèce *R. delicatula*.

Pendant ce mois de septembre les dominances de dinoflagellés varient de 1 % à 7 %, cette dernière valeur étant observée au point *référence* en surface, où l'abondance est de 5 400 cellules/L. Les espèces de dinoflagellés les plus observées en septembre ont été à nouveau *P. gracile* et *P. micans*.

Les euglénophycées ont été présentes dans presque tous les points, sauf au point *référence* en surface. Leur abondance a variée entre 800 et 1 800 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 4.12 représente l'évolution de cet indice pour l'ensemble des campagnes menées en 2007.

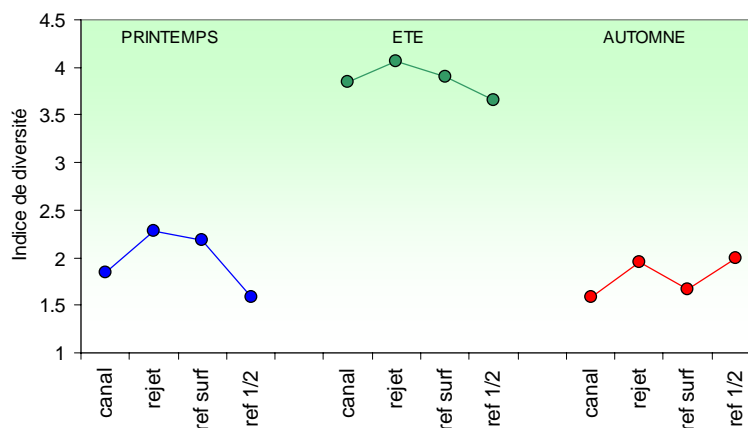


Figure 4.12 : Distribution de l'indice de diversité de Shannon pour l'année 2007

La diversité microphytoplanctonique présente le minimum en mars avec des valeurs comparables en septembre, où les genres phytoplanctoniques ont été plus homogènes. Le maximum de diversité est observé en juin avec des valeurs proches de 4.

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 2007 pour les paramètres chlorophylle, production primaire et abondance phytoplanctonique, les valeurs obtenues sont présentées au tableau 4.7. Une valeur positive exprime un déficit au point *rejet* par rapport au point *canal*.

(%)	<i>Chlorophylle a</i>	<i>Production primaire</i>	<i>microphytoplancton</i>
29 MARS	-38	13	3
28 JUIN	26	6	-16
17 SEPTEMBRE	14	18	-45

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

La chlorophylle présente des valeurs négatives en mars, donc une augmentation au point *rejet* par rapport au point *canal*. La même situation se présente pour le microphytoplancton en juin et septembre.

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

Le contexte climatique de 2007 a été différent de celui des années précédentes. La température de l'eau de mer a été haute en hiver et faible en été. Les fortes pluies du mois de mars, sur le bassin versant de la Seine, ont produit des débits bien supérieurs aux moyennes. Cet apport fluvial d'eau dessalée et chargé en nutriments s'est trouvé en mer, puis il a transité par le fleuve côtier jusqu'à Paluel. Au mois de juin, c'est les fortes pluies orageuses qui ont eu des effets locaux sur la qualité des eaux littorales et de la rivière Durdent.

Dans ce contexte, la biomasse chlorophyllienne présente de basses concentrations en mars à cause des fortes valeurs en MES, limitant la pénétration de la lumière dans l'eau de mer. Les faibles valeurs de chlorophylle en juin suggèrent l'influence de la tempête qui a duré deux jours,

juste avant la réalisation de la campagne. En septembre, nous observons des concentrations en chlorophylle supérieures aux médianes pluriannuelles. Cette évolution est confirmée par les images satellite, qui montrent un déficit de biomasse en mars et juin par rapport à la climatologie, puis un excédent au mois de septembre.

Pour la première fois, nous avons approché la production primaire potentielle par la mesure de la fluorescence *in vivo* au moyen d'un Pulse Amplitude Modulated (PAM). Les valeurs de rETR observées en juin sont proches de 200, tandis qu'aux mois de mars et septembre elles sont de l'ordre de 300. Ce même dispositif permet en outre, d'accéder à l'état physiologique du peuplement par la mesure de Ymax. Les valeurs 2007, comprises entre 0,48 et 0,67, mettent en évidence un bon état général de ces peuplements. Les plus basses valeurs sont observées lors des prélèvements de juin.

Les plus fortes abondances cellulaires, observées au mois de septembre (jusqu'à 250 000 cellules/L), se situent très au dessus des médianes pluriannuelles pour tous les points. Au mois de mars, elles sont toujours supérieures aux médianes, mais dans l'environnement proche de la boîte contenant 50 % des valeurs. En juin, elles sont restées en dessous des médianes, avec des valeurs inférieures à 50 000 cellules/L.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Paluel montrent un mois de mars dominé par le genre *Thalassiosira*, suivi de *Chaetoceros* ; tous les deux présentant un gradient inversé. L'été est caractérisé par une forte diversité, où les principaux taxons présents sont *Rhizosolenia*, *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Melosira*, *Leptocylindrus* et *Thalassionema*. Comme chaque année, l'espèce dominante de l'été est *Rhizosolenia delicatula*. En septembre, nous retrouvons le genre *Rhizosolenia* qui domine les peuplements phytoplanctoniques avec des valeurs de 70 à 85 %. *R. delicatula* reste l'espèce dominante de ce genre. Les dinoflagellés, bien que minoritaires en Manche ont présenté des abondances de 5 à 33 % en juin. Le genre dominant est *Prorocentrum*, avec deux espèces, *P. micans* et *P. gracile*. Nous remarquons le faible développement de l'espèce hivernale *Skeletonema costatum* en mars 2007.

Les abondances par espèce et par point ne présentent pas de variation pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution dans le temps ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de l'Atlantique, qui suivent les forçages climatiques.

Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité de la centrale de Paluel, à partir de l'étude des paramètres suivis dans compartiment phytoplanctonique en 2007.

5. Le Zooplancton

<i>Rédaction :</i>	Elvire Antajan (LER – BL)
<i>Analyses :</i>	Françoise Vérin (LER – BL), Xavier Philippon (Dyneco/pelagos).
<i>Prélèvements :</i>	Elvire Antajan (LERB), Liliane Fiant (LERN), Sylvaine Françoise (LERN), Vincent Justome (LERN), Laure Lamort (LERN), Luis Lampert (LERN), Jerôme Letellier (LERN), Loïc Nogues (LERN), Olivier Pierre-Duplessix (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 2007, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 29 mars, 28 juin et 17 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).

Les échantillons zooplanctoniques sont collectés à l'aide d'un filet à plancton triple constitué de trois filets identiques de 0,25 m² de surface d'ouverture et de 200 µm de vide de maille. Les filets sont abaissés jusqu'à une profondeur donnée pour ensuite être ramenés verticalement à la surface à une vitesse de 1 m s⁻¹. Un volucompteur est attaché à l'entrée de l'un des trois filets afin de connaître précisément le volume d'eau filtrée. Pour chaque point de prélèvement trois traits de filet à plancton triple sont effectués afin de collecter huit échantillons. Six de ces échantillons sont filtrés sur des soies et aussitôt congelés afin d'évaluer la biomasse sestonique (mesure du poids sec et composition en carbone et azote) ; deux de ces échantillons sont formolés en vue du dénombrement des espèces animales.

5.2.1. Mesure de la biomasse sestonique

Deux traits de filet à plancton triple sont effectués afin de récolter 6 échantillons au total qui seront filtrés immédiatement à bord sur des soies de 100 µm pré-pesées, congelées et transportées congelées au laboratoire. Selon la concentration des échantillons, plusieurs réplicats peuvent être filtrés sur un même filtre. Ces échantillons seront ensuite séchés dans une étuve à 60 °C pendant 48 heures. Les soies comportant le plancton séché seront ensuite pesées et les poids secs ou biomasses du seston déduits. Le poids sec récolté et le volume filtré permettront d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (m³).

Les échantillons de poids sec sont par la suite broyés et rassemblés pour ne faire qu'une seule analyse au CHN LECO pour les dosages de carbone (C) et d'azote (N). L'expression des résultats est obtenue en poids carbone (mg C) ou d'azote (mg N) par unité de volume (m³).

5.2.2. Analyse taxinomique du zooplancton

Les deux échantillons récoltés sont regroupés et lavés sur un tamis de 200 µm afin d'éliminer le formol et les particules les plus fines qui gênent le comptage du zooplancton. En fonction de la concentration de l'échantillon celui-ci est fractionné en sous-échantillons à la boîte de Motoda (Motoda 1983¹). Le sous-échantillon est alors placé dans une cuve de Dolffus et dénombré dans sa totalité à la loupe binoculaire (grossissement maximum X 80) en éclairage diascopique. Le dénombrement s'arrête lorsque une classe de tri (*Temora longicornis* : adultes, copépodes ; *Oikopleura dioica* ; nauplii de cirripèdes...) atteint un minimum de 100 individus. D'après

¹ Motoda S. (1959). Devices of simple plankton apparatus. Memoirs. Faculty of Fisheries. Hokkaido University 7, 73-94.

Frontier (1972)² l'erreur relative sur l'estimation du nombre total d'individus est de $\pm 30\%$. Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon (ind. m^{-3}).

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 2007 sur le site de Paluel sont présentés dans le tableau 5.1 :

	PARAMETRES	CANAL	REJET	RÉFÉRENCE
29 MARS 2007	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	44,5	86,5	54,9
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	10,92	20,48	13,17
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	2,10	3,80	2,67
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	5 222	5 780	3 626
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	8 292	11 786	2 521
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	13 514	17 566	6 147
28 JUIN 2007	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	10,4	12,5	63 ,8
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	2,41	2,81	23,60
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	0,46	0,55	6,08
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	3 672	3 104	45 451
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	446	379	3 365
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	4 119	3 484	48 816
17 SEPTEMBRE 2007	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	8,3	19,5	11,3
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	2,29	3,62	3,60
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	0,39	0,74	0,88
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	4 807	15 726	15 561
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	176	352	363
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	4 983	16 079	15 924

Tableau 5.1 : Récapitulatif des résultats de 2007 pour l'étude du zooplancton

² Frontier (1972) Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 8, pp. 121-132

5.3.1. Biomasse sestonique

On appelle seston, l'ensemble des particules en suspension dans l'eau qu'elles soient d'origine minérales ou organiques. Dans les eaux du large ou dans des milieux oligotrophes, peu turbides, le seston récolté avec un filet à plancton est essentiellement constitué de zooplancton et sa biomasse peut donc être assimilée à celle du zooplancton. Par contre dans les eaux côtières, souvent peu profondes (<40 m), avec un fort hydrodynamisme le seston comprend également une part non négligeable de sables, vases, débris végétaux, etc. dû à la remise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau. Dans ce cas il est difficile d'attribuer la biomasse sestonique à celle du zooplancton.

5.3.1.1. Variations spatiales et temporelles

Au cours de l'année 2007, la biomasse sestonique a varié entre $8,3 \text{ mg m}^{-3}$ au point *canal* en septembre, et $86,5 \text{ mg m}^{-3}$ au point *rejet* en mars (figure 5.1).

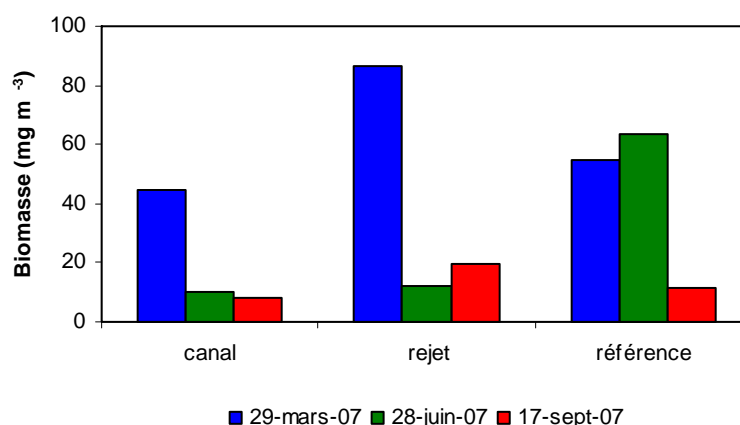


Figure 5.1 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) au cours des trois campagnes de surveillance 2007

En mars 2007 les points *canal* et *rejet* ont présenté des biomasses sestoniques 4 à 7 fois plus élevées qu'en juin et septembre. Au point *référence* par contre la plus forte biomasse a été observée en juin ($63,8 \text{ mg m}^{-3}$), mais la biomasse en mars était aussi assez élevée ($54,9 \text{ mg m}^{-3}$) surtout par rapport au prélèvement se septembre ($11,3 \text{ mg m}^{-3}$).

La relation entre la biomasse et l'abondance zooplanctonique (cf. figure 5.5) n'est pas cohérente. En effet de nombreux échantillons étaient contaminés par du sable ou des déchets organiques végétaux. Cela est confirmé par les rapports C/N calculés d'après les teneurs en carbone et azote mesuré sur les échantillons et qui en 2007 ont fluctué entre 3,9 et 5,8 (figure 5.2). Ce rapport peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4 ; Mauchline, 1998)³ ou le phytoplancton (C/N > 5). Néanmoins, en raison de la contamination potentielle liée à la forte turbidité du site (sable, fragment d'algues,...), notamment aux points *canal* et *rejet*, une telle approche semble difficilement applicable pour les points de surveillance retenus dans cette étude. Seul le point *référence*, en juin et septembre présentait un rapport C/N caractéristique du zooplancton (respectivement 3,9 et 4,1).

³ Mauchline, J. (1998). The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology* 33: 1-710

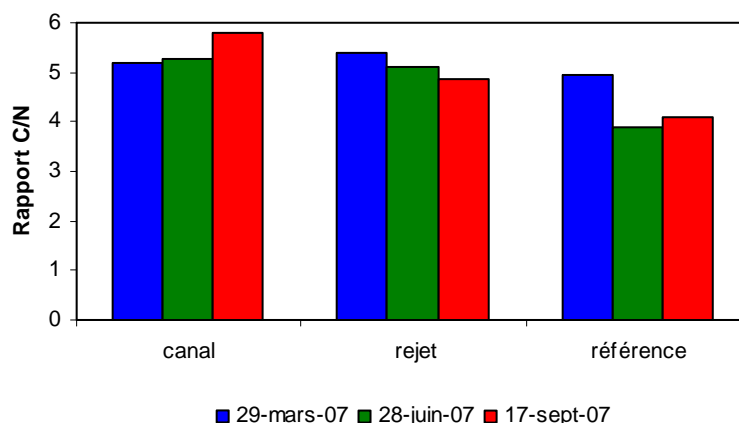


Figure 5.2 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des trois campagnes de surveillance 2007

5.3.1.2. Variations interannuelles

Au printemps 2007, la biomasse sestonique était beaucoup plus élevée qu'en 2006 aux trois points de prélèvement (figure 5.3) ; de 197 % au point *canal*, de 646 % au point *rejet* et de 429 % au point *référence*. Ces biomasses étaient les plus élevées enregistrées depuis 2001.

En été, les biomasses qui ont été observées aux points *canal* et *rejet* sont parmi les plus basses de la série temporelle (voir aussi figure 5.4). Au point *référence* la valeur était plus basse qu'en 2006 mais restait dans la moyenne de ce qui est relevé à ce point depuis 2001.

A l'automne 2007 les valeurs étaient assez similaires à celles observées en 2006 au trois points de prélèvement.

L'analyse des données de biomasse sur plusieurs années (figure 5.4) montre qu'en général la biomasse la plus élevée est observée au point *rejet* et ce quelque soit la saison. La médiane de la biomasse au point *canal* lors des campagnes de printemps est en général plus élevée qu'au point *référence*, alors qu'en été et à l'automne les médianes des biomasses observées à ces deux points sont assez proches. En 2007, cependant, on mesure une biomasse maximale au point *référence* en été, et des valeurs supérieures au point *référence* qu'au point *canal* pour les trois campagnes.

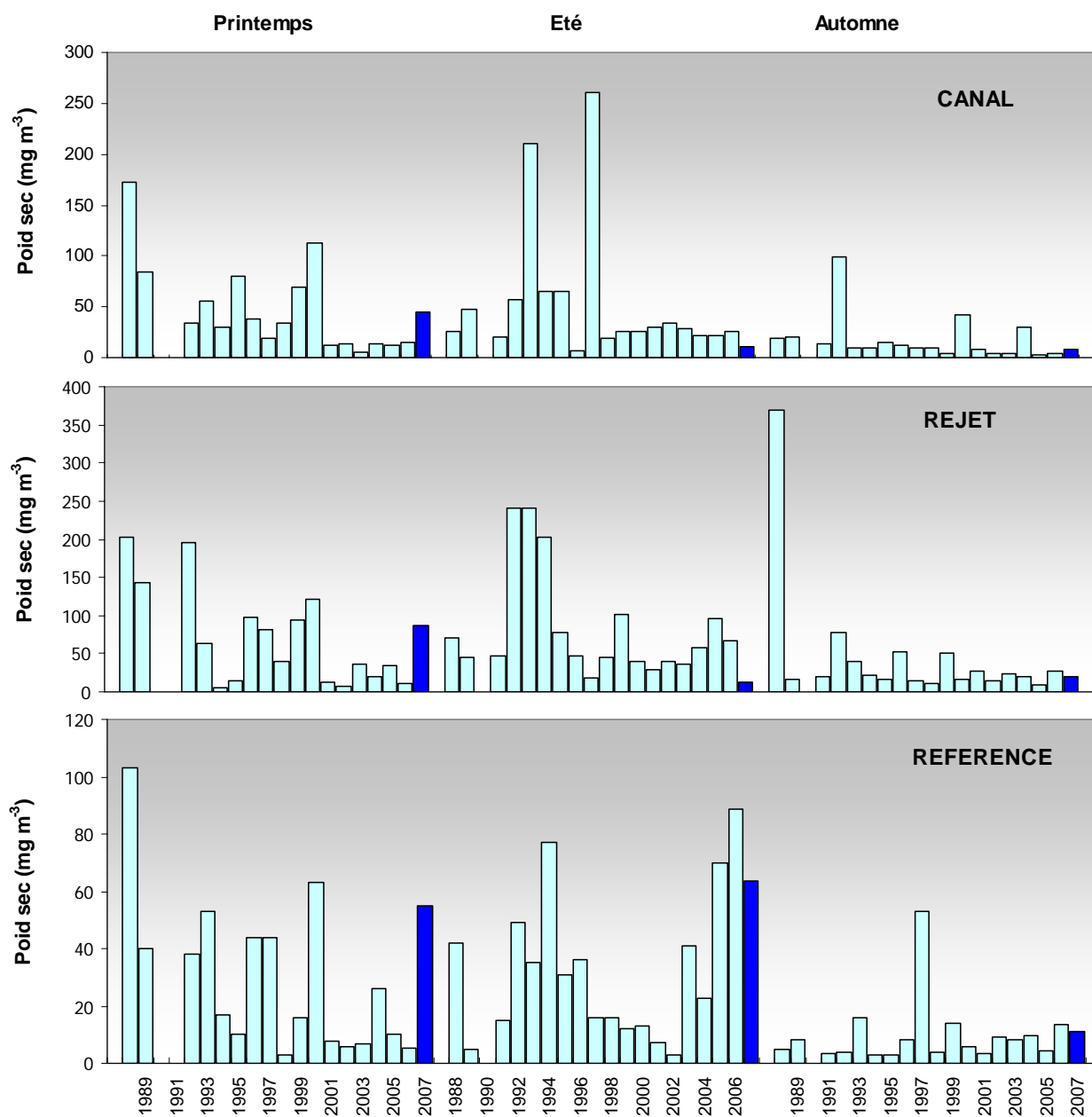


Figure 5.3 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1988 à 2007

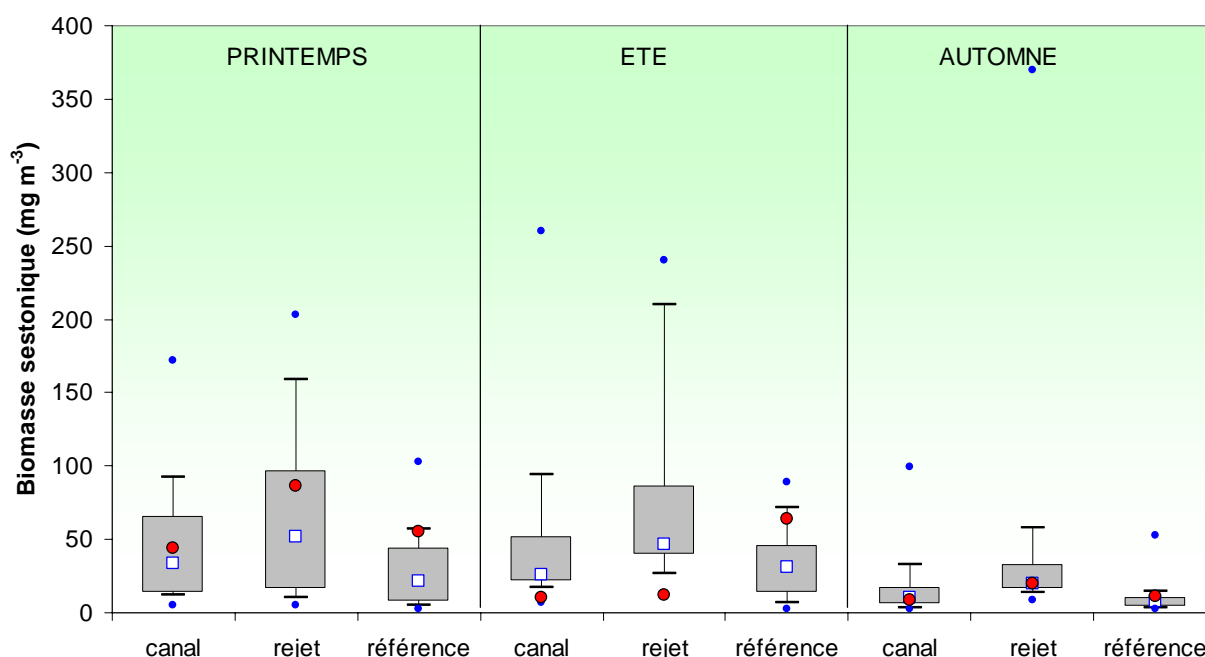


Figure 5.4 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1988 à 2007

5.3.1.3. Approche statistique

Pour vérifier si la biomasse sestonique est significativement différente entre les points de prélèvement, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation ($\log(x+1)$) et vérification de l'homogénéité des variances. Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1988 sont présentés dans le tableau 5.2.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
n	54	57	57
P	0,080	0,71	0,007

($p < 0,05$ = différence significative ; n = nombre de données)

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

Les biomasses sestoniques automnales observées depuis 1988 sont significativement différentes entre les points de prélèvement. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tuckey) montre que c'est la moyenne des biomasses du point *rejet* qui est significativement différente de celles mesurées aux points *canal* et *référence*.

Au printemps et en été les biomasses sestoniques ne sont pas significativement différentes d'un point à l'autre.

5.3.2. Abondances zooplanctoniques

Les dénombrements et l'identification des espèces zooplanctoniques en groupes biologiques (holoplancton, méroplancton) puis systématiques (embranchements et jusqu'aux espèces) – voir aussi tableau 5.4 – permettent d'étudier leur distribution spatio-temporelle voire rechercher une éventuelle influence de l'activité de la centrale sur ces populations.

5.3.2.1. Variations spatiales et temporelles en 2007

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2007 sont présentés sur la figure 5.5 et sont exprimés en nombre d'individus par 10 m^3 d'eau de mer.

La plus forte abondance a été observée en juin au point *référence* avec $48\,816\text{ ind. }10\text{ m}^{-3}$, et la plus faible, également en juin, au point *rejet* avec $3\,484\text{ ind. }10\text{ m}^{-3}$.

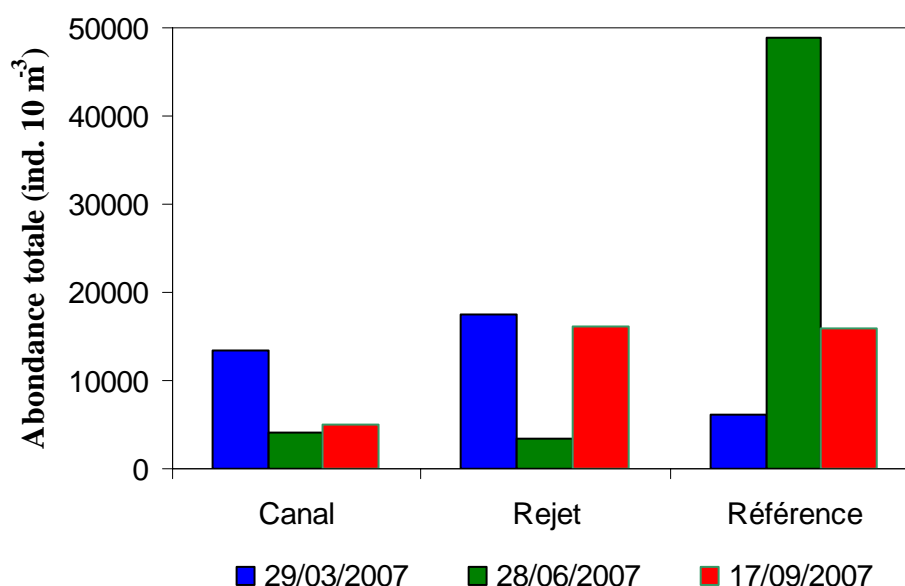


Figure 5.5 : Évolution de l'abondance zooplanctonique totale au cours des trois campagnes de surveillance 2007

Au printemps, les abondances aux points *canal* et *rejet* (respectivement $13\,514$ et $17\,566\text{ ind. }10\text{ m}^{-3}$) étaient plus élevées qu'au point *référence* ($6\,147\text{ ind. }10\text{ m}^{-3}$).

En été c'est l'inverse qui s'est produit avec une abondance au point *référence* 11 à 14 fois plus élevée qu'aux points *canal* et *référence*.

En automne, l'abondance était plus faible au point *canal* ($4\,983\text{ ind. }10\text{ m}^{-3}$) qu'aux points *rejet* et *référence* qui présentaient des abondances similaires ($\sim 16\,000\text{ ind. }10\text{ m}^{-3}$).

5.3.2.2. Variations interannuelles

Les valeurs d'abondances zooplanctoniques en 2007 au point *canal* étaient un peu plus faibles qu'en 2006 (figure 5.6). Au printemps, il s'agissait même de l'une des valeurs les plus faibles depuis 1995, alors qu'en été et en automne les valeurs sont proches de la médiane de la série temporelle (figure 5.7).

Au point *rejet* les abondances printanières et automnales étaient plus élevées que ce que l'on a coutume d'observer depuis 2000 à ce point (figure 5.6). L'abondance estivale correspondait par contre à la deuxième valeur la plus basse mesurée depuis 1994 (figure 5.7).

La campagne estivale de 2007 a confirmé la tendance observée depuis deux ans au point *référence* d'une augmentation des abondances zooplanctoniques. A cette époque le zooplancton est essentiellement caractérisé par deux espèces de copépodes, *Acartia clausi* et *Temora longicornis* (voir aussi tableau 5.4).

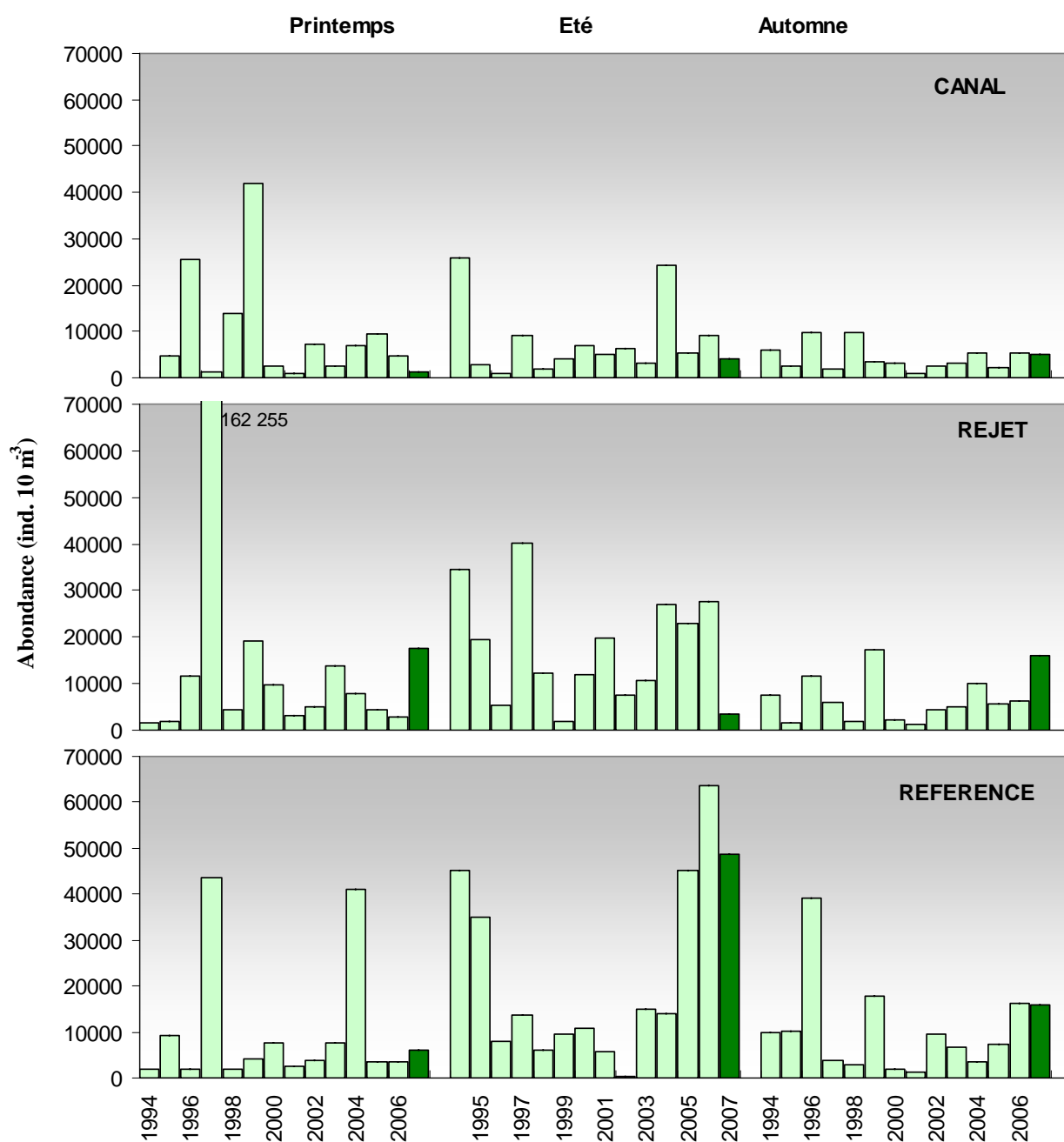


Figure 5.6 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1994 à 2007

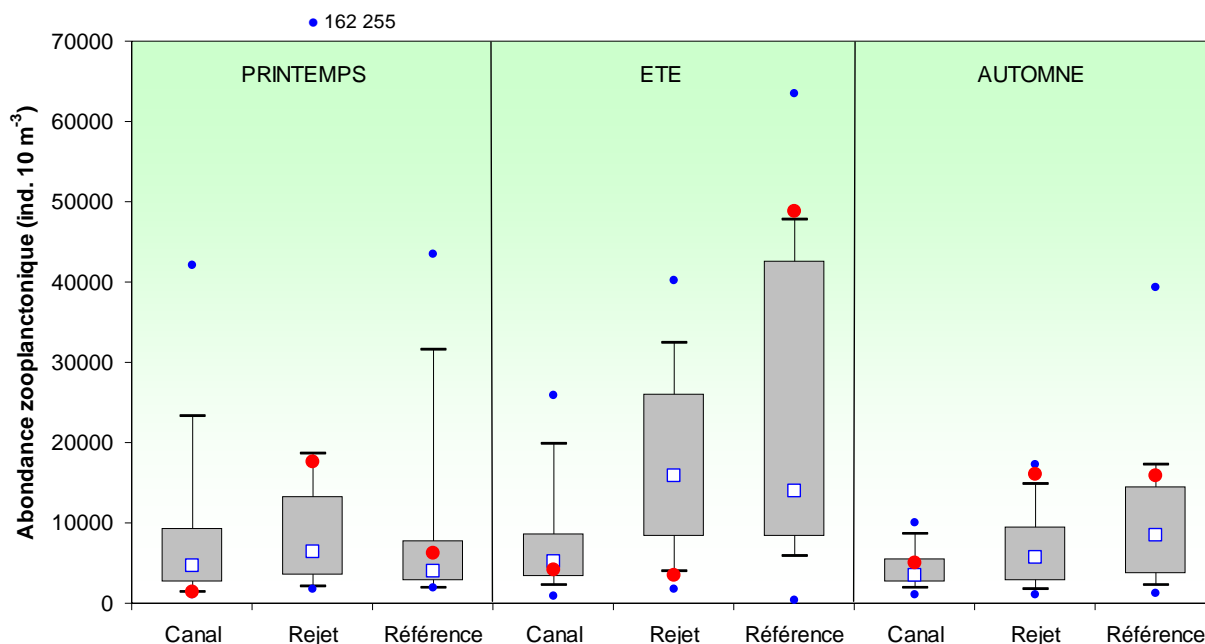


Figure 5.7 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1994 à 2007

5.3.3.3. Approche statistique (tableau 5.3)

Pour comparer les abondances zooplanctoniques entre les points *canal*, *rejet* et *référence* à chaque saison, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation ($\log(x+1)$) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1994 sont présentés dans le tableau 5.3.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
<i>n</i>	41	42	42
<i>p</i>	0,491	0,061	0,096

($p < 0,05$ = différence significative ; *n* = nombre de données)

Tableau 5.3 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur les abondances de 1994 à 2007

Aucune différence significative de l'abondance zooplanctonique moyenne depuis 1994 n'a pu être démontrée entre les trois points de prélèvement, et ce quelque soit la saison.

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. Les crustacés copépodes représentent généralement une part importante de cette fraction. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les

mysidacés, les cténares et les cladocères ont été très peu présents lors des trois campagnes 2007 (tableau 5.4).

Abondance zooplancton (N.10m ⁻³)	29 mars 2007						28 juin 2007						17 septembre 2007					
	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 Cténares	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total Chaetognathes	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	50	0	25	1	151	1	305	2
total Cladocères	0	0	13	0	17	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
total Mysidacés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total Copépodes	3142	62	3837	71	2219	62	3550	97	3008	97	44547	98	4556	95	15198	97	15103	97
total Appendiculaires	1937	38	1542	29	1331	37	112	3	78	3	703	2	201	4	352	2	115	1
total holoplancton	5079	38	5391	31	3567	59	3672	89	3091	90	45400	95	4782	97	15701	98	15542	98
méropoplancton																		
total Cnidaires	0	0	0	0	0	0	78	18	18	5	251	10	0	0	0	0	0	0
total Annélides	2468	30	4514	38	1256	50	22	5	0	0	100	4	42	25	50	14	0	0
total larves de Cirripèdes	5609	68	7260	62	1239	49	179	40	110	30	301	12	109	65	151	43	115	32
Amphipodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	5
Isopodes (larves microniscus)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isopodes Gnathidae	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumacés	0	0	0	0	17	1	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Euphausiacés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
larves Caridés	0	0	13	0	0	0	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
larves Thalassinidés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	2	0	0	0	0	19	5
larves Anomoures	0	0	0	0	0	0	33	8	41	11	1456	59	0	0	0	0	0	0
larves Brachyours	100	1	0	0	8	0	45	10	91	25	151	6	0	0	25	7	95	26
larves de Mollusques	115	1	0	0	0	0	67	15	87	24	100	4	8	5	101	29	95	26
Cyphonautes Bryozoaires	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	5	25	7	19	5
larves Echinodermes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Téléostéens (Œufs)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Téléostéens (Alevins et larves)	0	0	0	0	0	0	11	3	5	1	50	2	0	0	0	0	0	0
total méropoplancton	8292	62	11786	69	2521	41	446	11	361	10	2461	5	167	3	352	2	363	2
total zooplancton	13371		17178		6088		4119		3452		47861		4949		16054		15905	

Tableau 5.4 : Abondance et dominance des principaux groupes zooplanctoniques à Paluel en 2007

Par opposition à l'holoplancton, le méropoplancton constitue la fraction temporaire du zooplancton, il regroupe les organismes dont seule une partie du cycle vital est planctonique. Il s'agit principalement de larves à vie pélagique émises par de nombreuses espèces à phase adulte benthique errante (crabes, annélides...) ou fixée : annélides, mollusques (moules...) et crustacés cirripèdes (balanes...), nombreux sur l'estran rocheux. Le méropoplancton est aussi constitué de phases pélagiques d'espèces fixées (méduses, qui représentent les phases sexuées libres de cnidaires). Il est donc de fait plus abondant au printemps, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 5.8).

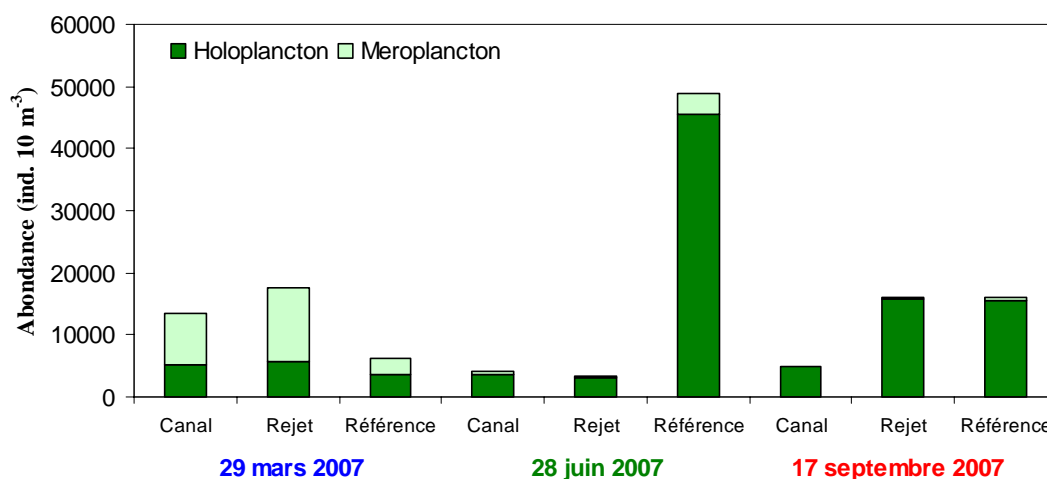


Figure 5.8 : Abondance de l'holoplancton et du méropoplancton dans le zooplancton total en 2007

Au printemps 2007, le méroplancton représentait de 41 à 69 % du zooplancton total contre seulement 5 à 11 % en été et moins de 3 % en automne. Cette fraction était essentiellement composée de larves de cirripèdes (~ 70 à 50 %) et d'annélide (30 à 50 %, en particulier *Polydora ciliata*). Comme on pouvait s'y attendre le méroplancton était moins représenté au point situé le plus au large (*référence*), les larves d'organismes benthiques se concentrant davantage plus près des côtes.

L'holoplancton dominait largement le zooplancton en été (> 89 %) et à l'automne (> 97 %). Il était essentiellement représenté par les copépodes (> 95 %).

5.3.3.2. Variations spatio-temporelles des principaux taxons

L'holoplancton

- Les copépodes

Les copépodes, qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton, ont montré la même évolution saisonnière que celui-ci (figure 5.9). Les plus faibles abondances ont été observées au printemps et en été (~2 à 4 000 ind. 10 m⁻³) à l'exception du point *référence* en juin qui présentait une abondance 10 à 20 fois plus forte (44 547 ind. m⁻³). En automne l'abondance des copépodes au point *canal* était environ 3 fois plus faible qu'aux points *rejet* et *référence* qui avaient des abondances similaires (~15 000 ind. 10 m⁻³).

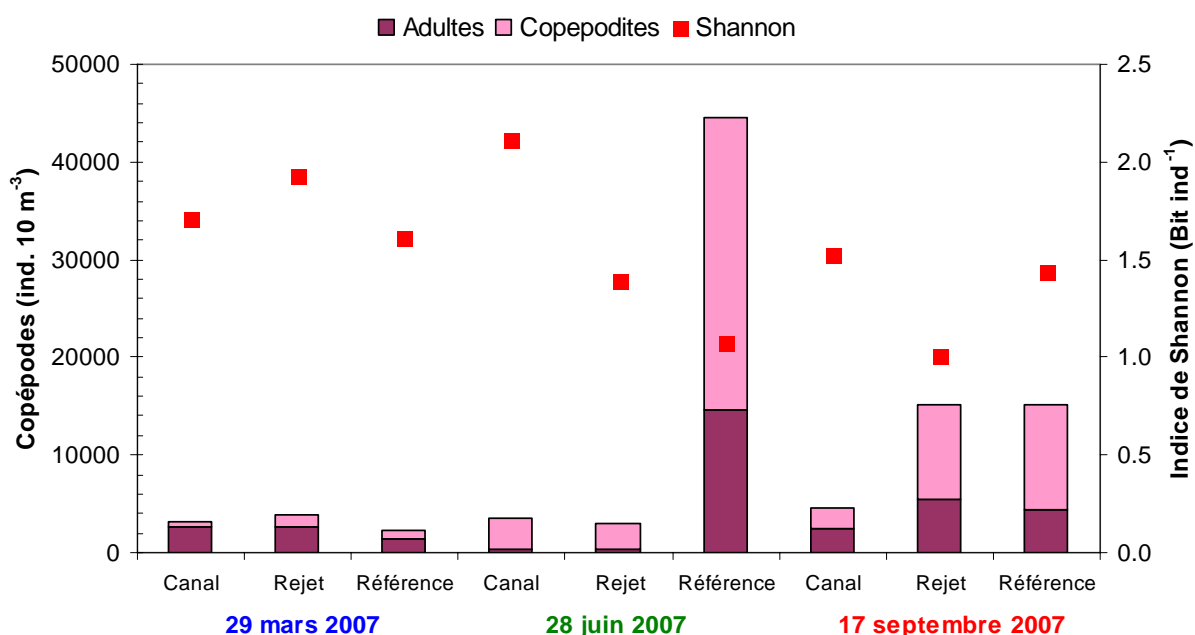


Figure 5.9 : Abondance des copépodes (adultes et copépodites) et diversité spécifique en 2007

Au printemps, moins de 35 % de la communauté des copépodes était composée de stades juvéniles (copépodites), alors qu'en été ils ont représenté entre 70 et 90 % de la communauté des copépodes. En automne cette proportion passe de 47 % de copépodites au point *canal* à plus de 65 % aux points *rejet* et *référence*. Un gradient croissant côte-large a été observé pour les abondances de copépodites en mars et septembre. Cela s'explique par la présence de l'espèce de copépode harpacticoïde *Euterpina acutifrons* dont les stades copépodites, assez petits et vivant près du fond, ne sont que rarement collectés par les filets à plancton. En été cette espèce étant

peu présente, le gradient d'abondance des copépodites s'inverse et devient plus abondant à la côte qu'au large.

L'indice de diversité de Shannon (figure 5.9) consiste en une mesure de la diversité tenant compte de la richesse spécifique (nombre total d'espèces observées), mais aussi de la proportion représentée par chaque espèce au sein de la communauté. En été on a observé une forte diminution de la diversité des copépodes de la côte (*canal*) vers le large (*référence*).

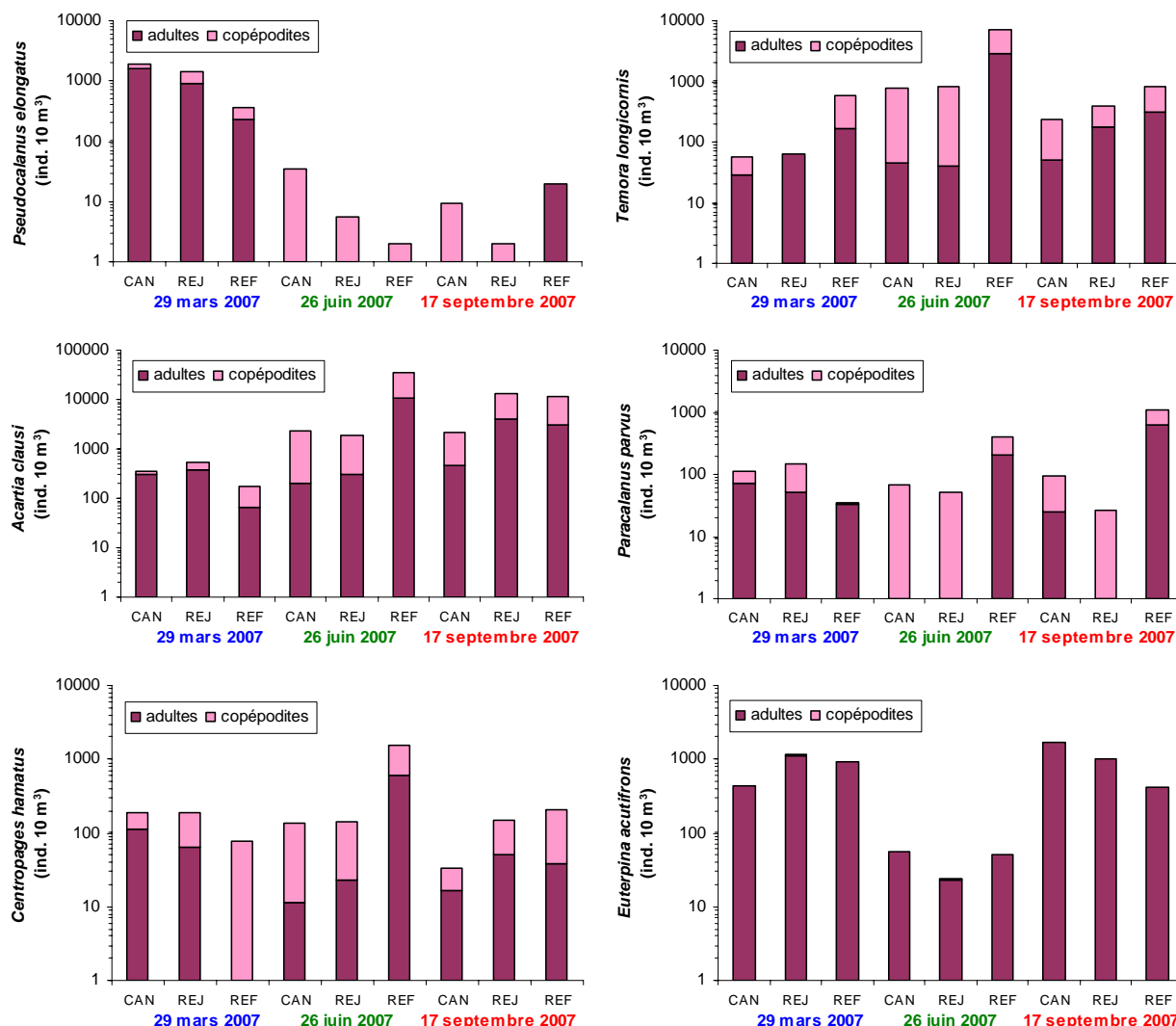


Figure 5.10 : Abondance (adultes et copépodites) des principales espèces de copépodes en 2007 (attention : échelle logarithmique)

Parmi les principales espèces de copépodes présente sur le site de la centrale de Paluel on trouve (figure 5.10) :

Pseudocalanus elongatus

Espèce printanière, son maximum d'abondance en mars 2007 était de 1880 ind. 10 m⁻³ au point *canal*. En été et en automne elle représentait moins de 1 % de l'abondance totale des copépodes et était surtout présente au stade copépodite.

Temora longicornis

Les plus fortes valeurs d'abondance ont été observées lors de la campagne de fin juin au point *référence* avec 7 182 ind. 10 m⁻³ et les plus faibles en mars (~60 ind. 10 m⁻³) aux points *canal* et *rejet*. Cette espèce est d'ailleurs généralement plus abondante au large (point *référence*) qu'aux points plus côtiers.

Acartia clausi

Espèce plutôt estivale et automnale, *A. clausi* représentait entre 60 et 80 % des copépodes en juin (35 256 ind. 10 m⁻³ au point *référence*) et jusqu'à 88 % en septembre au point *rejet* (13 463 ind. 10 m⁻³). La proportion de copépodites était > 60 %, sauf au printemps aux points *canal* et *rejet*. Il s'agit de l'espèce de copépodes la plus abondante dans les eaux proches de la centrale de Paluel.

Centropages hamatus

Même en faible nombre, cette espèce était toujours présente dans les échantillons (~ 30 à 200 ind. 10 m⁻³) et présentait un maximum d'abondance en juin au point *référence* (1 557 ind. 10 m⁻³).

Paracalanus parvus

Espèce habituellement plus abondante en automne, pourtant en 2007, à part un maximum d'abondance observé au point *référence* en juin (402 ind. 10 m⁻³) et en septembre (1 107 ind. 10 m⁻³), les abondances étaient assez faibles. Pour cette espèce aussi la proportion de copépodites était très importante (40 à 100 %).

Euterpina acutifrons (*Harpacticoïde pélagique*)

Espèce caractérisant les communautés automnales de copépodes en milieu côtier, *E. acutifrons* présentait un maximum d'abondance au point *canal* en septembre (1 675 ind. 10 m⁻³), avec un fort gradient décroissant de la côte vers le large. En 2007, cette espèce représentait également une part non négligeable des copépodes lors de la campagne de mars (15, 30 et 40 % au point *canal*, *rejet* et *référence* respectivement). Cette espèce est de plus petite taille que les autres espèces précédemment citées et à un mode de vie étroitement lié aux sédiments. En général seuls les adultes sont collectés dans la colonne d'eau (surtout des femelles) avec les filets à plancton, soit que les copépodites soient trop petits et passent à travers la maille du filet, soit qu'ils vivent trop près du fond pour être collectés.

- Les autres espèces holoplanctoniques (figure 5.11)

Les appendiculaires, représentés par l'espèce *Oikopleura dioica*, étaient surtout présents en mars avec des abondance comprise entre 1 300 et 2 000 ind. 10 m⁻³. En été les appendiculaires étaient 6 fois plus abondants au point *référence* (700 ind. 10 m⁻³) qu'aux deux autres points.

Les chaetognathes, représentés par le genre *Sagitta*, étaient surtout présent en automne, notamment aux points *rejet* et *référence* (respectivement, 151 et 305 ind. 10 m⁻³).

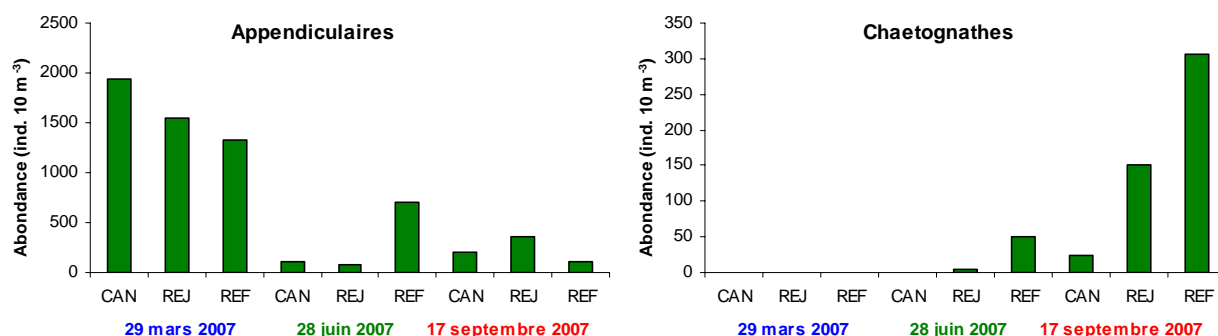


Figure 5.11 : Abondances des appendiculaires et des chaetognathes en 2007

Le méroplancton

Les stades larvaires des espèces appartenant à différents embranchements ou classes ont été dénombrés au cours des trois campagnes et les plus caractéristiques sont présentées dans la figure 5.12.

- Embranchement des cnidaires (hydrozoaires, méduses)
Ces petites méduses (moins de 1 cm), principalement représentées par *Clytia hemisphaerica*, étaient présentes seulement en été avec un maximum de 251 ind. 10 m⁻³ au point *référence*.
- Embranchement des annélides
Ces larves étaient essentiellement des larves nectochètes 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 du printemps correspond en général à la pleine période d'émission larvaire. Un maximum d'abondance printanière a été observé pour les trois points avec des abondances comprises entre 1 200 et 4 500 ind. 10 m⁻³. Ces abondances représentaient 30 à 50 % du méroplancton total.
- Embranchement des mollusques
Il s'agissait essentiellement de larves de gastéropodes. Au printemps, elles n'étaient présentes qu'au point *canal* (115 ind. 10 m⁻³). En été, les abondances présentaient un gradient croissant côte-large, alors qu'en automne le point *canal* présentait une abondance 12 fois inférieure aux points *rejet* et *référence*. Ces larves ont représenté jusqu'à 29 % du méroplancton en septembre.
- Embranchement des bryozoaires
Les larves cyphonautes n'étaient présentes qu'en automne (> 25 ind. 10 m⁻³) et représentaient moins de 7 % du méroplancton total.
- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés, ordre des cirripèdes
Les cirripèdes sont des crustacés qui, à l'état adulte, vivent fixés sur les rochers et les substrats durs. Ils constituent une part importante des 'salissures' ('fouling'). Les larves, essentiellement les stades nauplii, sont émises en grande quantité et constituent un maillon important de la chaîne alimentaire.

Les larves de cirripèdes étaient essentiellement printanières, représentant alors 50 à 67 % du zooplancton avec un maximum d'abondance observé au point *rejet* de 7 260 ind. 10 m⁻³. Bien qu'en été et automne les abondance variaient entre 100 et 300 ind. 10 m⁻³, les larves de cirripèdes représentaient encore 7 à 65 % du méroplancton total.

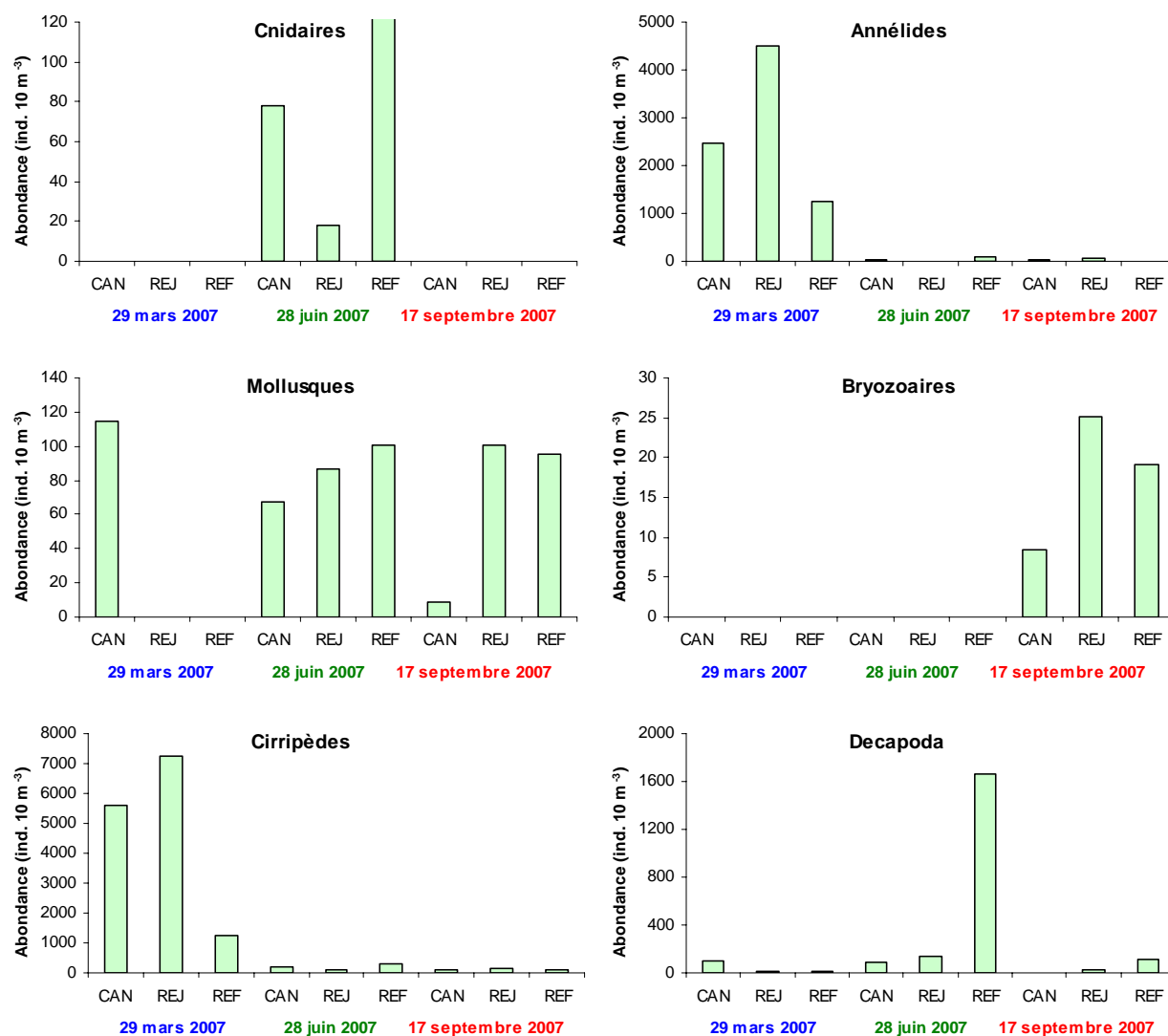


Figure 5.12 : Abondance des principales espèces méroplanctoniques en 2007

- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés, ordre des décapodes

Les larves de décapodes observées appartenaient essentiellement à deux sous-ordres :

Larves d'anomoures

Le maximum d'abondance a été observé en juin au point *référence* avec 1 456 ind. 10 m⁻³ ce qui représentait 90 % du méroplancton total. Il s'agissait de l'espèce *Pisidia longicornis longicornis* (famille des Porcellanidés).

Larves de brachyours (crabes et araignées)

L'abondance maximale a également été observée en juin au point *référence* (151 ind. 10 m⁻³) avec un fort gradient décroissant vers la côte.

5.4. Conclusions

Les valeurs de biomasse sestonique au printemps 2007 sont les plus fortes que nous ayons observé depuis 2001. Au contraire, les biomasses observées en été aux points *canal* et *rejet* sont parmi les plus basses de la série temporelle. A l'automne 2007 les valeurs étaient assez proches des médianes pluriannuelles sur l'ensemble des campagnes depuis 1988. On constate également que les biomasses sestoniques automnales observées depuis 1988 sont significativement différentes entre les points *rejet* et *référence*.

Les rapports C/N du seston montrent bien la difficulté qu'il y a à déduire ou estimer la biomasse du zooplancton, *sensus stricto*, à partir de ce type d'analyse. La contamination des échantillons filtrés par des débris minéraux et végétaux est trop aléatoire pour pouvoir avoir une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. Au mieux, cette analyse nous donne une appréciation de l'évolution de la charge particulaire (seston > 100 µm) sur le site de la centrale de Paluel.

L'holoplancton est principalement dominé par les copépodes qui en représentent toujours plus de 60 % lors des trois missions. Les copépodes dominants sont dans l'ordre : *Acartia clausi*, *Euterpina acutifrons*, *Temora longicornis*, *Pseudocalanus elongatus*, *Centropages hamatus* 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 dépassait 90 % en été et en automne. Cette dominance globale peut diminuer jusqu'à moins de 20 % 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 2007 (comme en 2005 mais contrairement à 2006), la faune zooplanctonique était moins dominée par le méroplancton (jusqu'à 69 %, à comparer aux 98 % de 2006). Cette fraction était essentiellement composée de larves de cirripèdes (balanes, ~ 70 à 50 %) et d'annélides (30 à 50 %, en particulier *Polydora ciliata*).

En 2007, la plus forte abondance zooplanctonique a été enregistrée fin juin au point *référence* (48 816 ind. 10 m⁻³), et représente l'une des plus fortes valeurs enregistrées depuis 1994 sur tous les points de prélèvement. Aucune différence significative de l'abondance zooplanctonique moyenne depuis 1994 n'a pu être démontrée entre les trois points de prélèvement, et ce quelque soit la saison.

6. Le Benthos Subtidal

Rapport et prélèvements

Dominique Davout (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 répliquats (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 répliquats depuis 1984, de la stabilité de la zone du large (cailloutis au point 29, Davoult, 1990) et des fortes variations constatées à certains points côtiers (moulière). Le suivi a maintenant lieu chaque année, ceci afin de mieux comprendre les fluctuations quelquefois importantes observées en certains points : les répliquats ont été supprimés, le point du large (29) a également été supprimé, 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 soumis 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 situé 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.

Cette année, les campagnes se sont déroulées comme prévu, en avril et en octobre 2007 (Tableau 6.1).

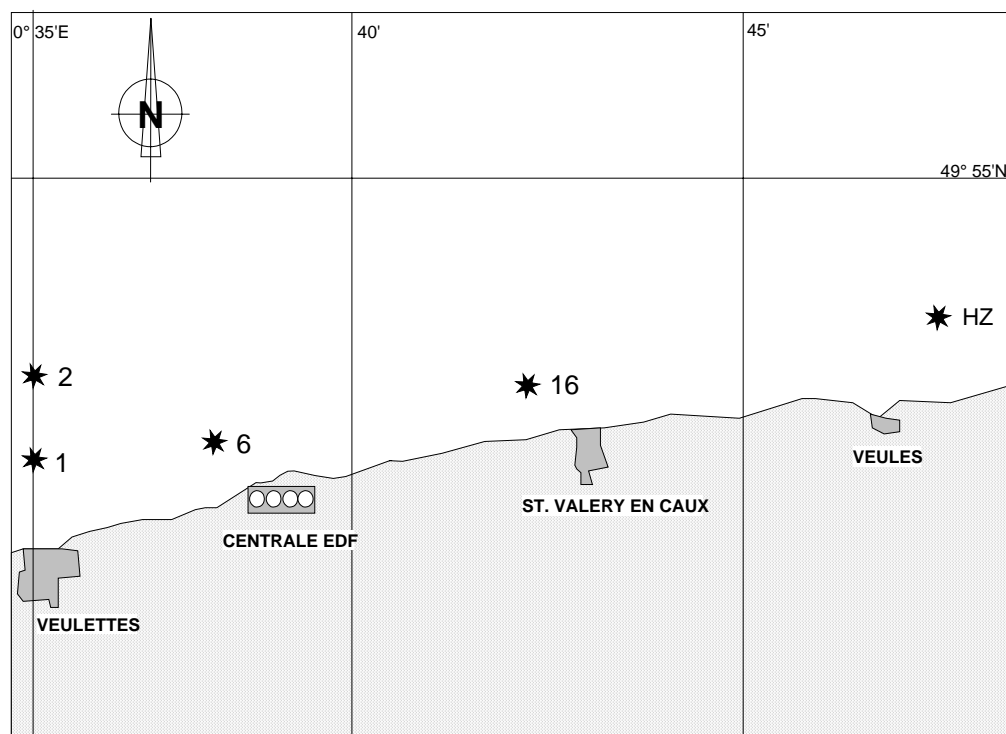


Figure 6.1 : points échantillonnées en 2007

Dates	Points échantillonnés
25 avril 2007	1, 2, 6, 16 et H.Z.
19 octobre 2007	1, 2, 6, 16 et H.Z.

Tableau 6.1 : Calendrier des campagnes en 2007

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, 1985 ; Frontier *et al.*, 2004).

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 malgré une certaine variabilité déjà observée (Tableaux 6.2, 6.3 et figure 6.2).

	P	SF	SM	SG	GF	GG	C
Point 1	0.03	0.14	1.08	6.52	5.94	12.69	73.61
Point 2	0.02	0.28	12.54	22.51	9.19	14.63	40.83
Point 6	0.05	0.57	4.23	16.78	12.38	16.34	49.66
point 16	0.04	3.24	59.65	32.42	1.22	1.82	1.61
Point H.Z.	0.33	2.56	28.14	43.30	6.30	12.27	7.10

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

	P	SF	SM	SG	GF	GG	C
Point 1	0.00	0.04	0.13	0.29	0.21	0.82	98.50
Point 2	0.00	0.03	0.09	0.20	0.06	1.32	98.30
Point 6	0.04	0.32	1.68	1.63	0.73	1.75	93.84
point 16	0.07	4.41	38.45	30.90	15.11	5.52	5.52
Point H.Z.	0.25	3.47	24.88	37.97	12.46	17.75	3.22

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 74 à 99 % du poids du sédiment) sauf au printemps au point 2 où le sédiment est plus hétérogène (41% de cailloutis, 24% de graviers, 23% de sables grossiers). 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 maintenant en très faible proportion).

Le sédiment du point 6 était dominé jusqu'en 1990 par les sables moyens (Bourgain *et al.*, 1988 ; Davoult, 1990). En 1992, le point 6 était caractérisé par un sédiment typique des fonds caillouteux (> 80 % du poids du sédiment) et de 1993 à 1998 par un sédiment variable, allant de l'hétérogène au grossier. Depuis 1999, le sédiment était de nouveau largement dominé par les cailloutis (de 75 à plus de 90 % du poids du sédiment) : cette station ne constituait donc plus un élément intermédiaire au sein d'un gradient sédimentaire côtier mais appartenait avec les points 1 et 2 à une zone de cailloutis. En 2002, cette tendance avait été partiellement remise en cause au printemps puisque le sédiment était de nouveau dominé par les sables (dont 34 % de sables grossiers) et ne contenait plus que 14 % de cailloutis. En automne, le sédiment était de nouveau dominé par les cailloutis (52 % du poids total du sédiment) mais plus faiblement que les années précédentes. Depuis 2003, les cailloutis représentent de nouveau plus de 80 % du poids total du sédiment. Cette année, les cailloutis représentent respectivement 50 et 94 % 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 malgré l'hétérogénéité constatée au printemps.

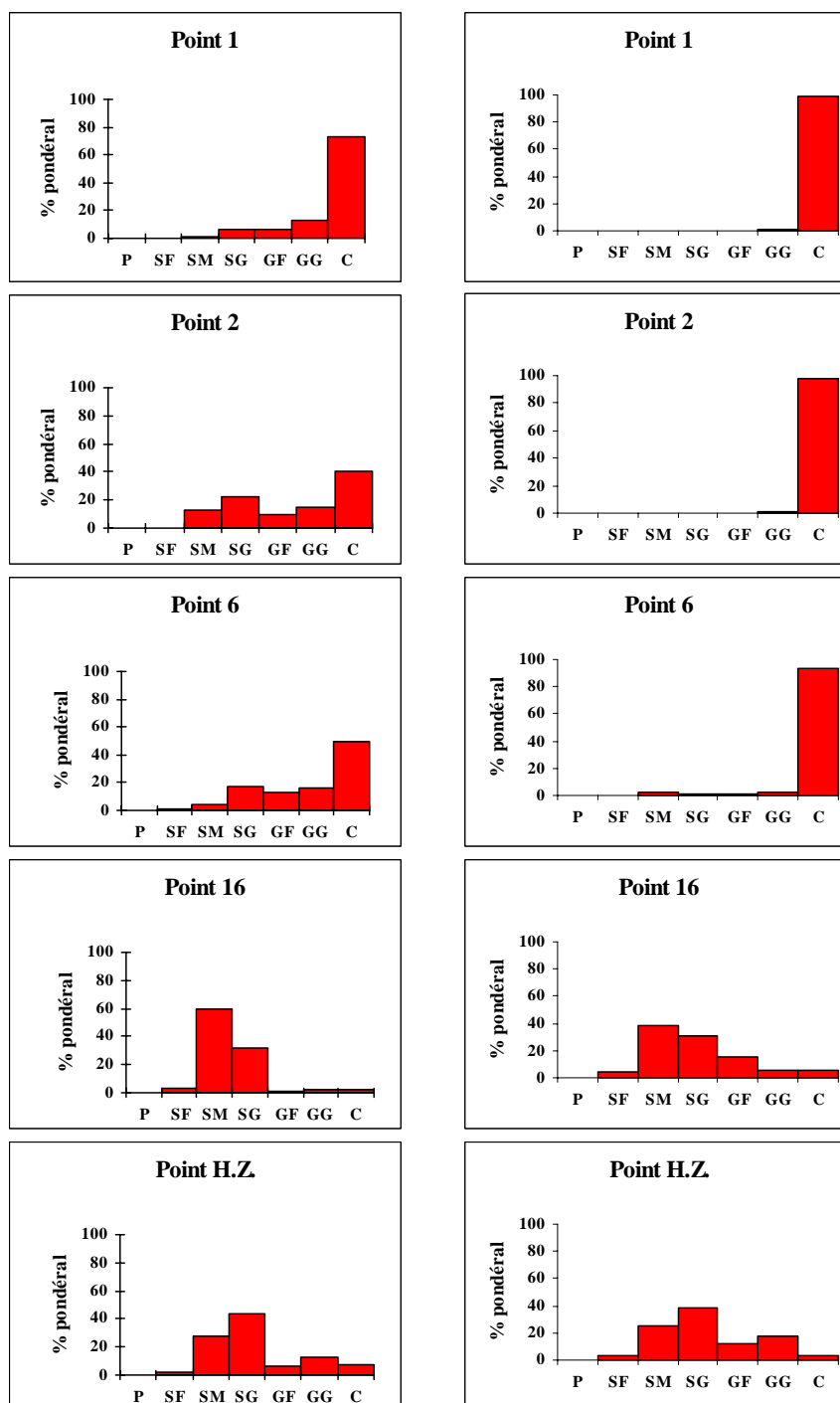


Figure 6.2 : Analyse granulométrique au printemps (première colonne) et en automne (deuxième colonne)

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 %) alors qu'en 2006, les sables grossiers (53 %) dominaient au printemps et les sables moyens (76 %) en automne. Cette année, le point 16 reste donc bien représentatif des sables hétérogènes de la zone, le sédiment étant dominé aux deux saisons par les sables moyens (respectivement 60 et 39 %).

Le point H.Z. est également caractérisé par un sédiment hétérogène dominé par les sables moyens et grossiers. En 2006, les sables moyens (34 %) étaient légèrement dominants au printemps, suivis par les sables grossiers. C'était l'inverse en automne, les sables grossiers (37 %) dominant légèrement les sables moyens. Les graviers (fins et grossiers) représentaient toujours une part non négligeable du sédiment récolté. Cette année, le sédiment est typiquement hétérogène mais, contrairement au point H.Z., il est dominé par les sables grossiers (43 et 38 % au printemps et en automne) et la part de sédiment grossier est supérieure à celle mesurée au point 16. 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 plus 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, la partie orientale restant plus variable.

6.3.2. Analyse faunistique

6.3.2.1. Résultats globaux

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

- Spongiaires : 6 espèces
- Cnidaires : 6 espèces
- Annélides : 29 espèces
- Sipunculiens : 2 espèces
- Mollusques : 21 espèces
- Bryozoaires : 14 espèces
- Pycnogonides : 1 espèce
- Cirripèdes : 3 espèces
- Isopodes : 1 espèce
- Amphipodes : 19 espèces
- Mysidacés : 1 espèce
- Décapodes : 15 espèces
- Echinodermes : 4 espèces
- Tuniciers : 8 espèces
- Céphalocordés : 1 espèce
- Poissons : 1 espèce

Le nombre d'espèces récoltées est quasiment identique à celui de l'année précédente (131), légèrement plus élevé que celui des années précédentes (111 espèces en 2001, 118 en 2002 et 2003, 122 en 2004, 114 en 2005) mais 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 : l'ordre de dominance des groupes reste très stable, les Annélides dominent toujours (22,0 %), suivis des Mollusques (15,9 %), des Amphipodes (14,4 %), des Crustacés décapodes (11,4 %), des Bryozoaires (10,6 %) et des Tuniciers (6,1 %), ces derniers pouvant être dominants en nombre d'individus en certaines points (voir plus loin). Il est à noter que les 6 groupes dominants sont les mêmes qu'en 2006.

Points	Nombre d'espèces	Nombre d'individus	H	E
Printemps 2007				
1	57	1106	3.7	0.70
2	47	876	1.5	0.29
6	51	760	3.2	0.61
16	19	52	2.8	0.75
H.Z.	18	146	1.9	0.49
Automne 2007				
1	43	543	2.8	0.57
2	39	359	2.4	0.52
6	43	1375	2.7	0.55
16	14	49	2.3	0.56
H.Z.	40	414	1.6	0.32

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

Quatre nouvelles espèces ont été identifiées : il s'agit de l'Annélide polychète *Pista cristata* (en fait déjà trouvée en 2006 mais en attente de confirmation dans la liste des espèces nouvelles), des Mollusques *Tricolliia pullus* et *Parvicardium scabrum* et de l'Amphipode *Maera grossimana*, 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, 76 et 62 % des individus récoltés respectivement au printemps et en automne). Ce faciès apparaît donc toujours très stable, les quatre espèces dominantes représentent plus de 78 % des individus récoltés (l'ophiure *O. fragilis*, les Annélides tubicoles *Sabellaria spinulosa*, *Pomatoceros triqueter* et *Thelepus setosus* et le crustacé décapode *Pisidia longicornis*) et sont caractéristiques du faciès. Les DRF sont typiquement rectilignes à sigmoïdes et séparent les espèces dominantes des autres espèces (figure 6.3). L'indice de diversité de Shannon (Tableau 6.4) est assez faible ($H = 1,5$ et $2,4$) pour un assez grand nombre d'espèces récoltées (47 et 39), en raison d'une très grande irrégularité de la distribution des abondances relatives ($E = 0,29$ et $0,52$). Le nombre d'espèces récoltées est en légère augmentation par rapport aux années précédentes.

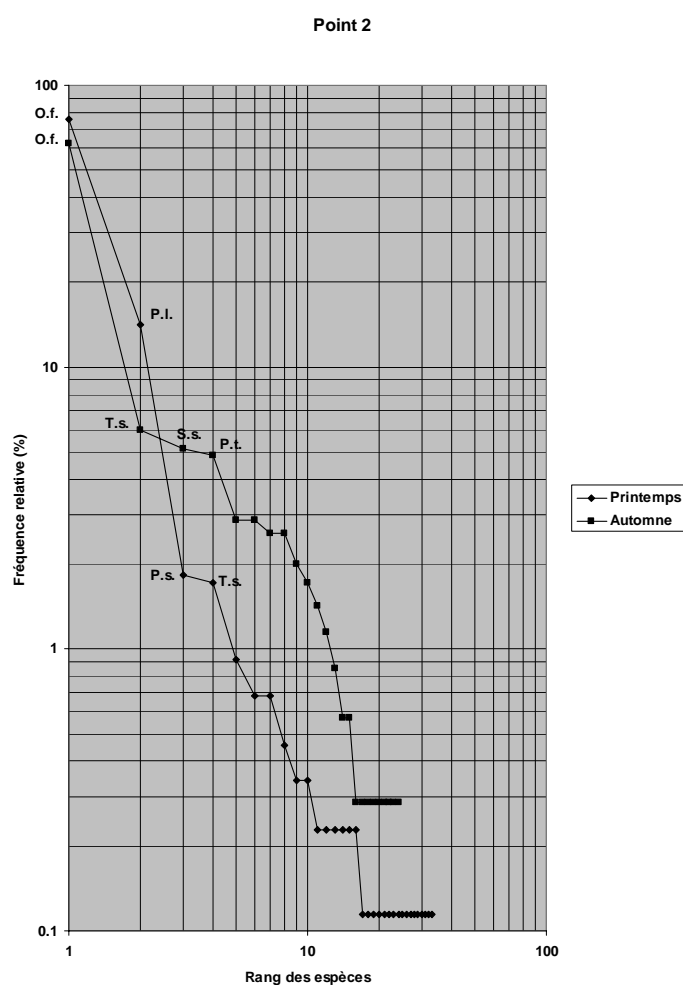


Figure 6.3. : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements du point 2

- **Un faciès côtier (points 1 et 6)** dominé comme les années précédentes par les Annélides tubicoles *Sabellaria spinulosa*, *Thelepus setosus* et *Pomatoceros triqueter*, les Tuniciers *Styela coriacea* et *Dendrodoa grossularia*. Le gastéropode invasif *Crepidula fornicata* est présent à toutes les stations et assez abondant au point 6 sans toutefois faire partie des espèces dominantes. Les DRF (figure 6.4) sont légèrement convexes et montrent la dominance d'un nombre d'espèces légèrement supérieur aux années précédentes (6 à 9). Le nombre d'espèces récoltées est élevé (43 à 57) et l'indice de Shannon, plus important qu'au point 2, varie de 2,8 à 3,7 selon le nombre d'espèces en co-dominance (régularité de 0,55 à 0,70), tous ces résultats restant assez 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 25 à 58 % 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 de l'espèce *Mytilus edulis*.

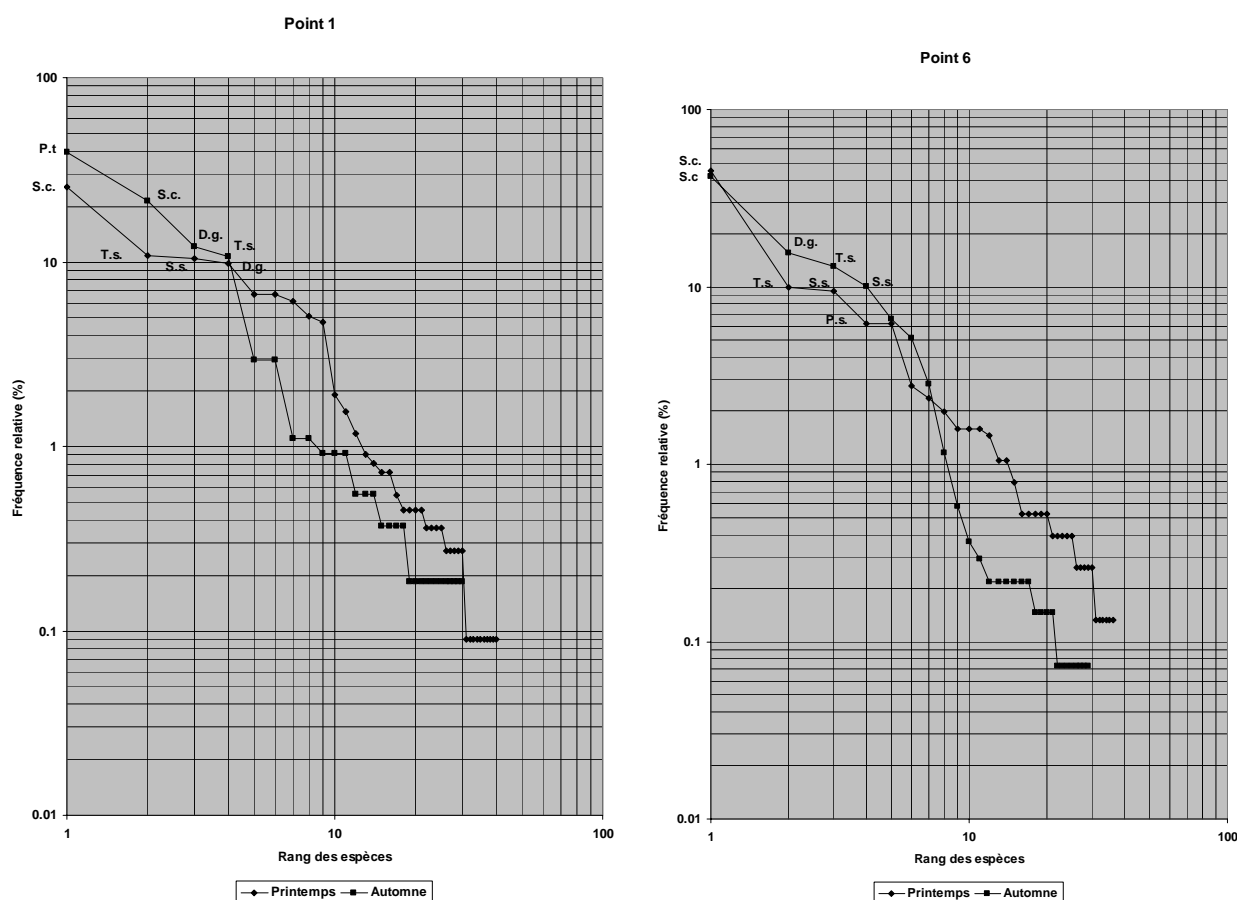


Figure 6.4 : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements aux point 1 et 6

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, avait pris une place plus importante en 2006 au point 6. Cette année, elle fait partie, à ces points, des espèces communes mais non dominantes.

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

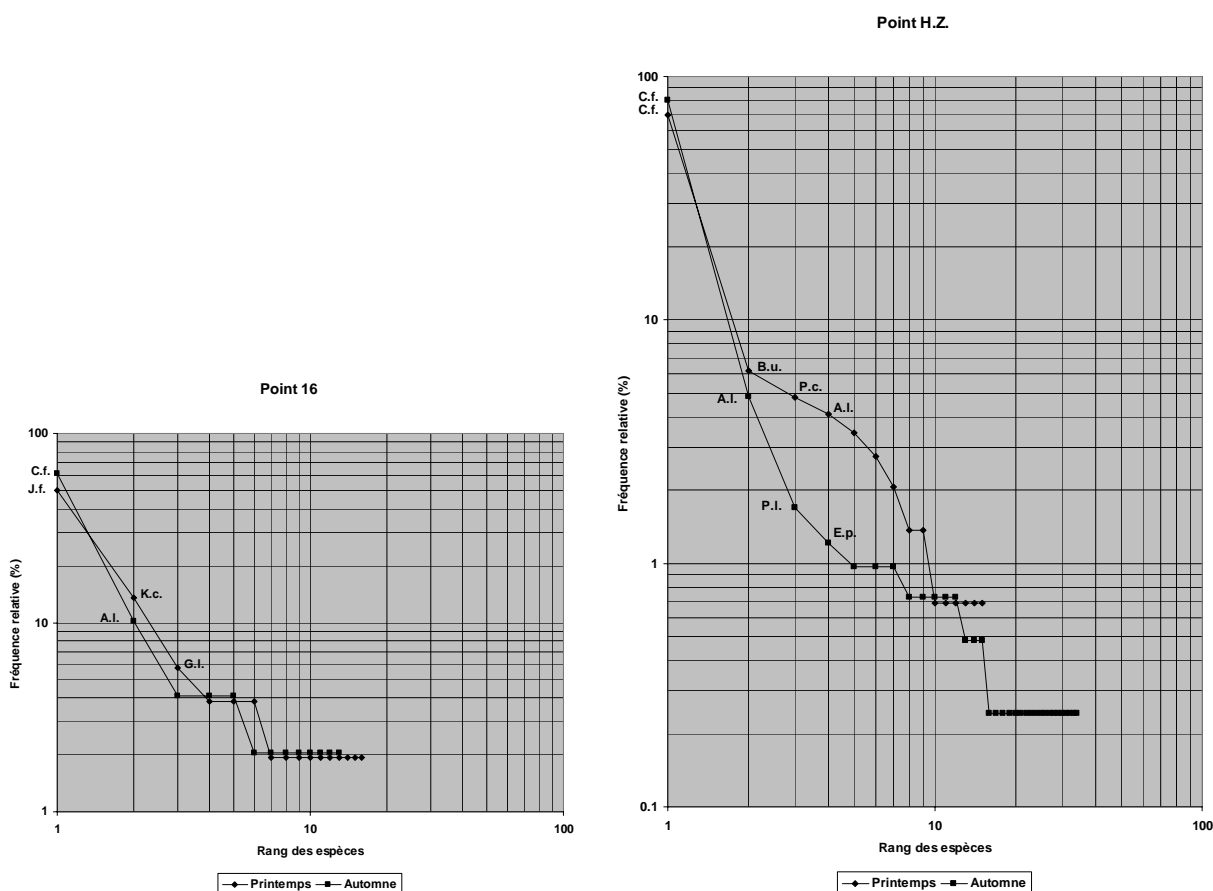


Figure 6.5 : Diagramme rang-fréquence (DRF) des peuplements aux point 16 et HZ

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 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.

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 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 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 étaient typiques des sables hétérogènes ou issues de fonds plus grossiers.

En 2006, les résultats ont confirmé 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 présentait un sédiment plus grossier que le point 16. Le nombre d'espèces récoltées était 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* représentait 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 et aux milieux de cailloutis.

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, comme en 2006, le sédiment du point H.Z. est plus grossier que celui du point 16 et le nombre d'espèces récoltées est important (de 14 à 19 au point 16, de 18 à 40 au point H.Z.). *Crepidula fornicata* domine les prélèvements au printemps au point H.Z. et en automne aux deux points (> 60 % de l'abondance totale). Les cortèges sont dominés par des espèces de fonds grossiers (*Kefersteinia cirrata*, *Pisidia longicornis*) et de sables hétérogènes (*Pista cristata*, *Amphioxus lanceolatus*), et d'autres espèces typiques des sables hétérogènes sont également présents (*Aonides oxycephala*, *Nephtys cirrosa*, *Tellina fabula*, *Paphia rhomboïdes*). Le cortège spécifique est donc à l'image du sédiment récolté (hétérogène tirant vers le grossier), constitué d'espèces habituellement récoltées sur cette zone

et d'espèces affines de sédiments plus grossiers, mais dominé depuis quelques années par *C. fornicata*

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*, *Sabellaria spinulosa*, *Pomatoceros triqueter*.

Dans sa partie côtière, la disparition de la moulière à *Mytilus edulis* perdure depuis 1990 ainsi que son remplacement par des Tuniciers, en particulier *Styela coriacea* 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 17 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 2007 comme 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 depuis 2006 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. La relative variabilité de la couverture sédimentaire des points 16 et H.Z. semble, d'une part confirmer le rôle des courants de marée susceptibles, en l'absence de moulière, de provoquer un granulo-classement plus marqué du sédiment, d'autre part être valide pour le rôle 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 17 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, même au point du 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. entre 2005 et 2007 malgré l'évolution du sédiment et de la richesse spécifique).

ANNEXES

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

A.l. :	<i>Amphioxus lanceolatus</i>
A.s. :	<i>Ampelisca spinipes</i>
B.u. :	<i>Buccinum undatum</i>
C.f. :	<i>Crepidula fornicata</i>
D.g. :	<i>Dendrodoa grossularia</i>
E.a. :	<i>Eualus pusiolus</i>
G.l. :	<i>Glycera lapidum</i>
J.f. :	<i>Jassa falcata</i>
K.c. :	<i>Kefersteinia cirrata</i>
O.f. :	<i>Ophiothrix fragilis</i>
P.c. :	<i>Pista cristata</i>
P.l. :	<i>Pisidia longicornis</i>
P.s. :	<i>Polynoe scolopendrina</i>
P.t. :	<i>Pomatoceros triqueter</i>
S.c. :	<i>Styela coriacea</i>
S.s. :	<i>Sabellaria spinulosa</i>
T.s. :	<i>Thelepus setosus</i>

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

Espèces	Points	Printemps 2007					Automne 2007				
		1	2	6	16	HZ	1	2	6	16	HZ
Spongiaires											
<i>Sycon ciliatum</i>		+	+								
<i>Leucosolenia botryoides</i>				+							
<i>Dysidea fragilis</i>		+					+				
<i>Raspailia pumila</i>								+			
<i>Haliclona oculata</i>			+	+							
<i>Spongiaire sp.</i>		+		+			+	+	+		
Cnidaires											
<i>Tubularia indivisa</i>		+	+	+				+	+		
<i>Hydrallmania falcata</i>					+						
<i>Sertularia cupressina</i>			+				+	+			
<i>Kirchenpaueria pinnata</i>		+	+	+			+	+	+		
<i>Alcyonium digitatum</i>			1					1			
Actiniaires spp.		10	1	4			6	10	5		
Annélides											
<i>Aonides oxycephala</i>					1					2	3
<i>Laonice cirrata</i>										1	
<i>Notomastus latericeus</i>					1	2				1	
<i>Ophelia borealis</i>					1						
<i>Nephtys cirrosa</i>					1					2	1
<i>Nephtys caeaca</i>			1								
<i>Nephtys hombergii</i>		1									
<i>Mystides limbata</i>									1		
<i>Protodorvillea kefersteini</i>					1	4				1	
<i>Glycera lapidum</i>					3					1	1
<i>Glycera gigantea</i>						1					
<i>Lumbrineris impatiens</i>						5				1	1
<i>Cirratulidae sp.</i>						1					
<i>Kefersteinia cirrata</i>					7	3				1	
<i>Syllidae sp.</i>		1		2	1			1	2		
<i>Sthenelais boa</i>					1						
<i>Lepidonotus squamatus</i>		21	6	4			5	7			1
<i>Polynoe scolopendrina</i>		56	16	47			16	9	71		
<i>Marphysa sanguinea</i>				2			1		4		
<i>Sabellaria spinulosa</i>		116	1	72			16	1	138		
<i>Amphicteis gunneri</i>		3		8							
<i>Thelepus setosus</i>		120	15	76	1		58	21	180		
<i>Branchiomma vesiculosum</i>			1								
<i>Lanice conchilega</i>						1					
<i>Pista cristata</i>						7					3
<i>Jasmineira elegans</i>											1
<i>Serpulidae sp.</i>		1	1				1	1	2		
<i>Sabella pavonina</i>									1		
<i>Pomatoceros triqueter</i>		74	6				215	17	91		
Sipunculien											
<i>Golfingia minuta</i>		8		15					39		
<i>Phascolion strombi</i>											3

Espèces	Points	Printemps 2007					Automne 2007				
		1	2	6	16	HZ	1	2	6	16	HZ
Mollusques											
<i>Acanthochitona crinita</i>		1	3				1	2			
<i>Onchidoris bilamellata</i>		1									
<i>Buccinum undatum</i>		6	1	4		9		1	3		1
<i>Ocenebra erinacea</i>		74	1	11			3		1		
<i>Hinia reticulata</i>				1							4
<i>Emarginula fissura</i>		1									
<i>Diodora graeca</i>		3					1		1		
<i>Tricolia pullus</i>				1							
<i>Calliostoma zizyphinum</i>		5	2	3				1			
<i>Crepidula fornicata</i>		5	1	21		102	3	3	8	30	330
<i>Trivia monacha</i>			1								
<i>Natica alderi</i>											1
<i>Chlamys varia</i>							2				
<i>Epitonium clathrus</i>			1								
<i>Nucula nitidosa</i>		3	1	18							
<i>Nucula hanleyi</i>						2					
<i>Glycymeris glycymeris</i>											2
<i>Tellina fabula</i>						1					
<i>Paphia rhomboïdes</i>											4
<i>Pavicardium scabrum</i>											1
<i>Musculus discors</i>								1			
Bryozoaires											
<i>Conopeum reticulum</i>				+	+	+			+	+	+
<i>Electra pilosa</i>		+		+			+	+	+		
<i>Bicellariella ciliata</i>			+					+			
<i>Disporella hispida</i>		+	+				+	+	+		
<i>Cellepora pumicosa</i>		+		+			+	+			+
<i>Crisia aculeata</i>			+					+			
<i>Tubulipora sp.</i>		+	+	+			+	+			+
<i>Microporella ciliata</i>			+								
<i>Plagioecia patina</i>			+	+					+		
<i>Escharella immersa</i>		+	+	+			+	+			
<i>Schizomavella auriculata</i>		+	+	+		+	+	+	+		+
<i>Schizopora brongniartii</i>		+									
<i>Amphiblestrum flemingii</i>		+		+			+		+		
<i>Alcyonidium gelatinosum</i>		+					+		+		+
Pycnogonides											
<i>Achelia longipes</i>					1						
Cirripèdes											
<i>Balanus crenatus</i>		+		+	+	+	+	+	+		+
<i>Balanus perforatus</i>		+							+		
<i>Verruca stroemia</i>		+	+	+			+	+	+		
Isopodes											
<i>Anthura gracilis</i>							1				
Amphipodes											
<i>Ampelisca spinipes</i>		9		47							
<i>Perrierella audouiniana</i>		5		4			2		2		
<i>Orchomene nana</i>		1									
<i>Urothoe brevicornis</i>											4
<i>Bathyporeia elegans</i>										1	

Espèces	Points	Printemps 2007					Automne 2007				
		1	2	6	16	HZ	1	2	6	16	HZ
<i>Panoploea minuta</i>		4		2							
<i>Leucothoe spinicarpa</i>				1			1				
<i>Leucothoe incisa</i>											1
<i>Erichthonius brasiliensis</i>							1				
<i>Maera othonis</i>											3
<i>Maera grossimana</i>				1							
<i>Melita gladiosa</i>		4							1		1
<i>Melita obtusata</i>										2	1
<i>Tritaeata gibbosa</i>				3							
<i>Corophium sextonae</i>				3			1		3		
<i>Sthenothoe marina</i>			2								
<i>Gammaropsis maculata</i>		5	1	4		1	1		16		
<i>Jassa falcata</i>					26						1
<i>Pseudoprotelle phasma</i>											1
Mysidacés											
<i>Gastrosaccus spinifer</i>				2	2						
Décapodes											
<i>Eualus occultus</i>		1		3							
<i>Eualus pusiolus</i>											5
<i>Pandalina brevis</i>		8	2								
<i>Crangon crangon</i>					2						
<i>Galathea squamifera</i>		13	1	2			3	2	1		3
<i>Pisidia longicornis</i>		68	124	12			6	9	2	1	7
<i>Pagurus bernhardus</i>						1					2
<i>Pagurus cuanensis</i>		3	1	6			2		3		1
<i>Anapagurus hyndmanni</i>		52	3	12							1
<i>Pilumnus hirtellus</i>		17	1	12			2		3		
<i>Ebalia tumefacta</i>				1							
<i>Necora puber</i>											1
<i>Liocarcinus marmoreus</i>											1
<i>Inachus dorsettensis</i>		1						1			
<i>Macropodia linnaei</i>			2								
Echinodermes											
<i>Asterias rubens</i>			1				1		1		
<i>Ophiotrix fragilis</i>			662					218			
<i>Echinocyamus pusillus</i>											1
<i>Psammechinus miliaris</i>		1					1	6			
Tuniciers											
<i>Ascidia mentula</i>			4					4	3		
<i>Ascidia conchilega</i>		3									
<i>Ascidiella scabra</i>							5		1		
<i>Styela clava</i>		4					5	1			2
<i>Styela coriacea</i>		284	8	344			116	18	575		
<i>Dendrodoa grossularia</i>		109	2	8			66	10	214		1
<i>Botryllus schlosseri</i>				3							
<i>Molgula manhattensis</i>		4	2				1	5	3		
Céphalocordés											
<i>Amphioxus lanceolatus</i>				1	2	6				5	20
Poissons											
<i>Cottidae sp.</i>					1						

7 - Le Benthos intertidal

Rapport

MEIRLAND Antoine (GEMEL),

TALLEUX Jean-Denis (GEMEL),

FERTE Brigitte (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 7.1) 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 2007, les prélèvements ont été effectués le 4 juillet et le 6 août.

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).

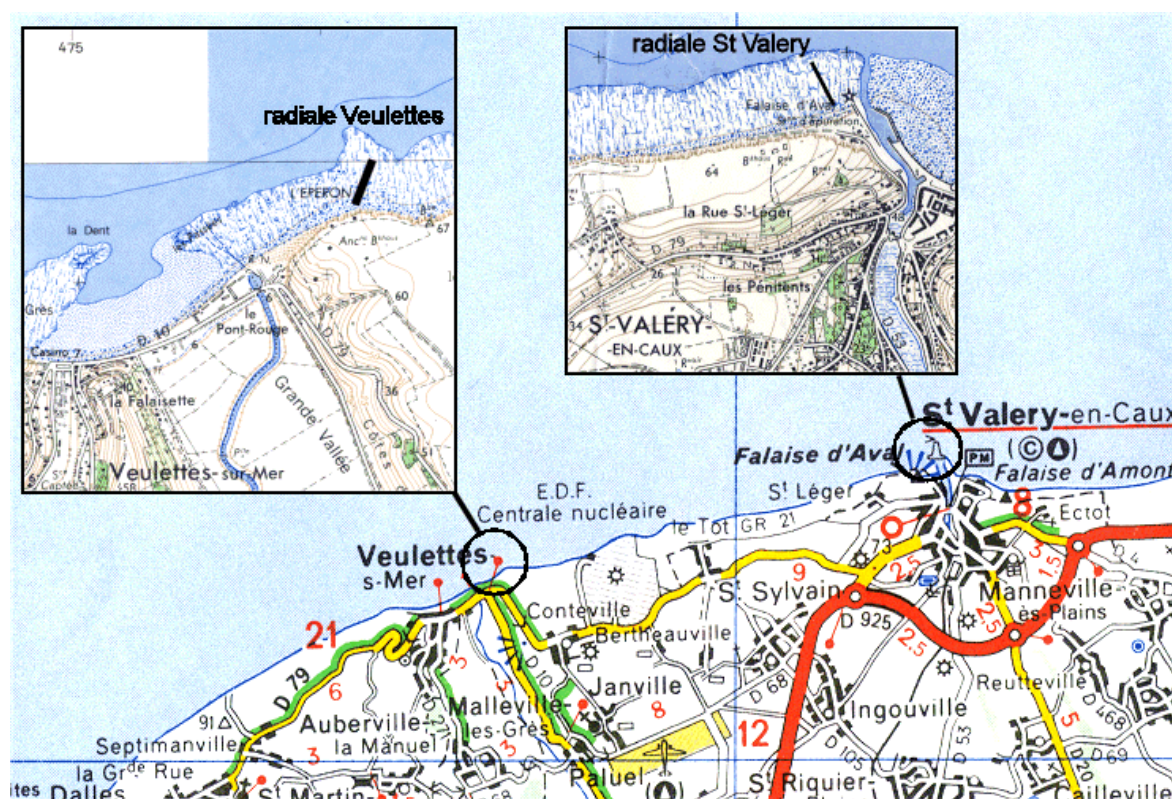


Figure 7.2 : Positionnement des radiales de prélèvement

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)

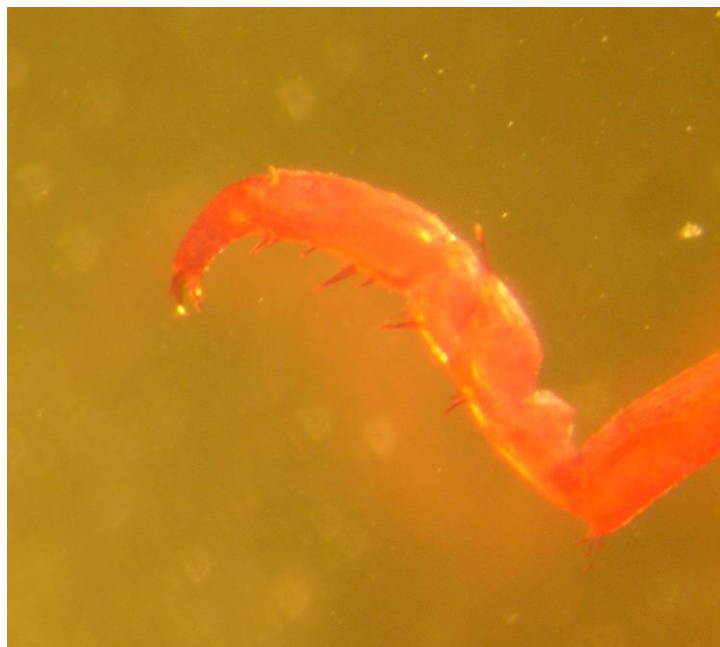


Figure 7.5 : Deuxième péréopode de mâle juvénile (© GEMEL, 2006)

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



Figure 7.6 : Deuxième péréopode de mâle de stade 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)

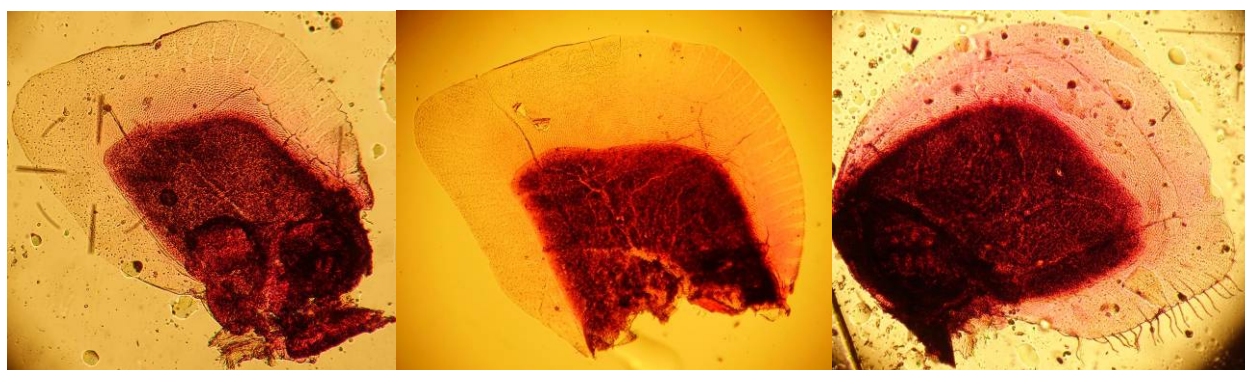


Figure 7.8 : Oostégites II (gauche), III (centre) et IV (droite) d'une femelle différenciée

- 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)

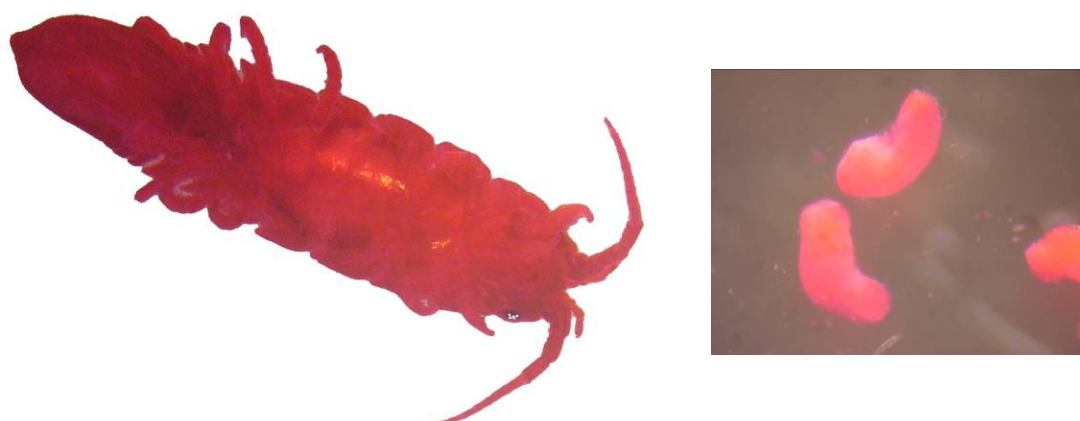


Figure 7.10 : Femelle de stade II, embryons allongés (© GEMEL 2006)

- 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 2007 sur les stations de St Valéry en Caux et de Veulettes sur Mer.

Prélèvement (0,25m ²)	04/07/2007				06/08/2007			
	Veulettes		Saint Valery		Veulettes		Saint Valery	
	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	84,78	1	141,4	2	112,22	1	181,56	6
2	145,5	1	114,8	0	109,85	1	82,37	6
3	72,01	0	186,2	7	103,95	2	161,81	3
4	113,25	0	158,7	3	102,11	1	121,41	3
5	106,19	0	173,7	5	88,16	3	112,78	5
6	117,81	3	150,6	5	90,04	1	104,23	8
7	121,46	1	134,4	12	82,15	2	147,26	7
8	93,77	1	134	9	96,99	3	121,53	2
9	74,23	1	121,8	8	83,33	4	152,64	7
10	143,3	1	180,8	6	81,15	1	163,45	1
11	174,4	3	156	7	130,39	2	140,52	5
12	83,25	0	154	2	154,84	5	133,88	5
13	82,66	0	141,6	7	44,15	0	100,7	3
14	89,89	2	135,5	7	140,2	3	181,26	3
15	115,92	1	108,4	7	56,31	0	182	3
16	136,57	1	135	1	81,92	0	131,86	0
Moyenne par m²	438,75	4,00	581,73	22,00	389,44	7,25	554,82	16,75
Ecart-type par m²	117,59	3,86	89,20	12,82	114,34	5,88	122,56	9,15

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 2007

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=0,68 ; p>0,05), les variances sont homogènes (Test de Levene ; F=0,6629 ; ddl=3 ; p>0,05). L'Analyse de Variance réalisée sur les quatre échantillons montre une différence significative entre les échantillons (F=10,842 ; 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 Valery.

La biomasse moyenne d'algue au cours de l'été 2007 est de 568 g/m² ± 106 g à Saint Valery en Caux et de 414 g/m² ± 117 g à Veulettes sur Mer. Ces valeurs ne sont pas significativement différentes des valeurs moyennes estivales depuis 1996 à Saint Valery (603

g/m² ± 178 g) mais sont significativement inférieures aux valeurs moyennes estivales depuis 1996 à Veulettes (719 g/m² ± 202 g).

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

7.4.2. Densité des *Idotea granulosa*

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

Le nombre d'idotés ne suit pas la loi Normale (Test de Kolmogorov-Smirnov ; KSd=0,19 ; p<0,05). Le test de Kruskal-Wallis réalisée sur les quatre échantillons montre une différence significative entre les échantillons (H=26,48 ; p<0,05). Le test de comparaison post-hoc montre que les nombres moyens d'idotés à Saint Valéry sont significativement différents de ceux de Veulettes.

La densité moyenne d'*Idotea granulosa* au cours de l'été 2007 est de 19,4 ind./m² ± 11,3 ind. à Saint Valéry en Caux et de 5,6 ind./m² ± 5,1 ind. à Veulettes sur Mer. Ces valeurs sont significativement (p<0,05) différentes des valeurs moyennes estivales depuis 1996, respectivement de 108 ind./m² ± 85 et 140 ind./m² ± 95.

Le nombre d'idotés est cette année nettement plus bas que les autres années. Certains prélèvements en sont dépourvus, alors que le maximum observé n'est que de 20 individus par m².

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 donc 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 ; KSd=0,14 ; p<0,05). Le test de Kruskal-Wallis réalisé sur les quatre échantillons montre une différence significative entre les échantillons (H=20,68 ; p<0,05). Le test de comparaison post-hoc montre que les nombres moyens d'idotés pour 100g de *Fucus* à Saint Valéry sont significativement différents de ceux de Veulettes.

La moyenne estivale du taux de colonisation des *Fucus* par les *Idotea granulosa*, est de 14,3 ind./100 g PSE ± 9,3 à Saint Valéry et de 5,1 ind./100g PSE ± 4,8 à Veulettes. Ces valeurs sont significativement (p<0,05) différentes des valeurs moyennes estivales depuis 1996, respectivement de 18 ind./100 g PSE ± 13 et 20 ind./100 g PSE ± 12. Comme en 2006, le taux d'occupation des *Fucus* par les idotés est plus élevé à Saint Valéry.

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

Comme en 2006, l'année 2007 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.

Comme en 2006, le nombre de *Sphaeroma serratum* est positivement corrélé au nombre d'*Idotea granulosa*, aussi bien concernant les densités ($R^2=0,12$; $n=64$; $p<0,05$) que concernant les densités pour 100 g d'algues ($R^2=0,07$; $n=64$; $p<0,05$). Il ne semble donc pas y avoir de compétition entre les deux espèces pour l'habitat.

7.4.5. Structure de la population d'*Idotea granulosa* au cours de l'été 2007

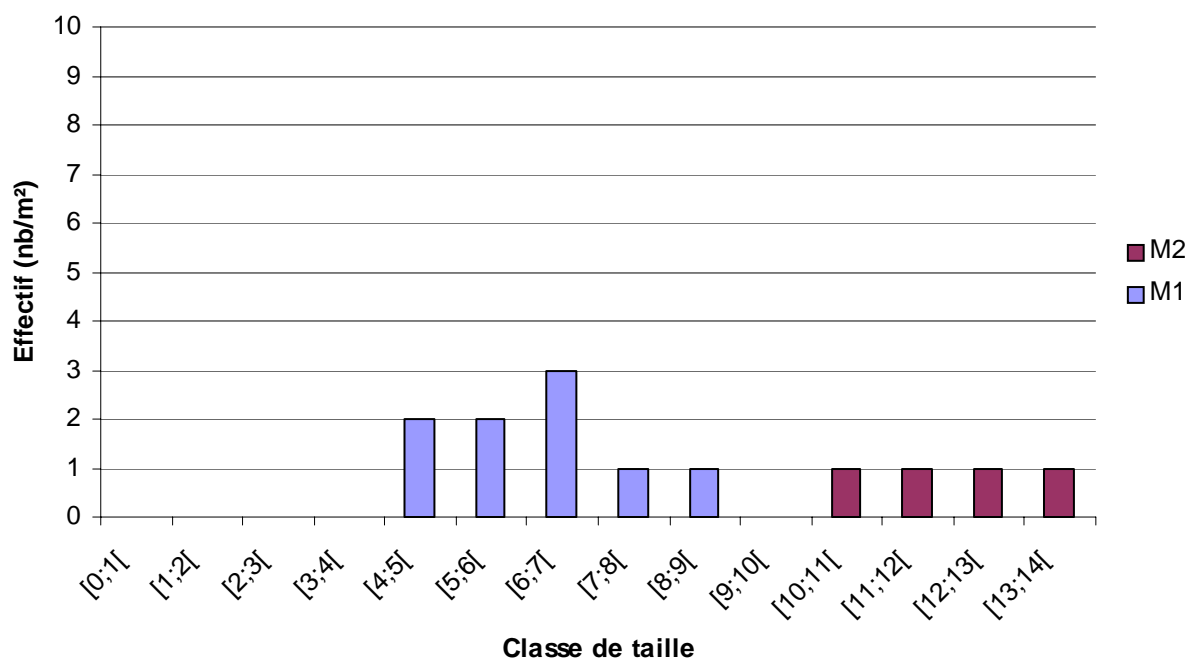
Parmi les 16 échantillons récoltés sur chaque site lors de chacune des trois campagnes, les quatre échantillons les plus abondants en *Idotea granulosa* ont été sélectionnés pour analyser la répartition des sexes et la structure de taille de la population (figures 7.13 à 7.16 et tableau 7.2).

Le faible nombre d'idotés cette année rend l'analyse de la structure de la population compliquée. Les juvéniles constituent l'essentiel de la population, avec une proportion plus importante à Veulette qu'à Saint Valéry. Certains stades manquent complètement des prélèvements, comme les mâles adultes à Veulettes en juillet ou à Saint Valéry en août. Le sex-ratio diminue au cours des prélèvements. L'évolution inverse était observée l'année dernière.

	4 juillet 2007		6 août 2007	
	St Valéry	Veulettes	St Valéry	Veulettes
%Juvéniles	80,56	88,89	82,35	93,33
%Mâles juvéniles	25	33,33	35,29	26,67
%Femelles juvéniles	55,56	55,56	47,06	66,67
%Femelles gravides	0	11,11	11,76	0
%Femelles différenciation	5,56	0	5,88	6,67
%Femelles vides	2,78	0	0	0
%Mâles adultes	11,11	0	0	0
Sex-ratio	0,57	0,5	0,55	0,36

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 juillet et août 2007

4 juillet 2007, Saint Valery en Caux



6 août 2007, Saint Valery en Caux

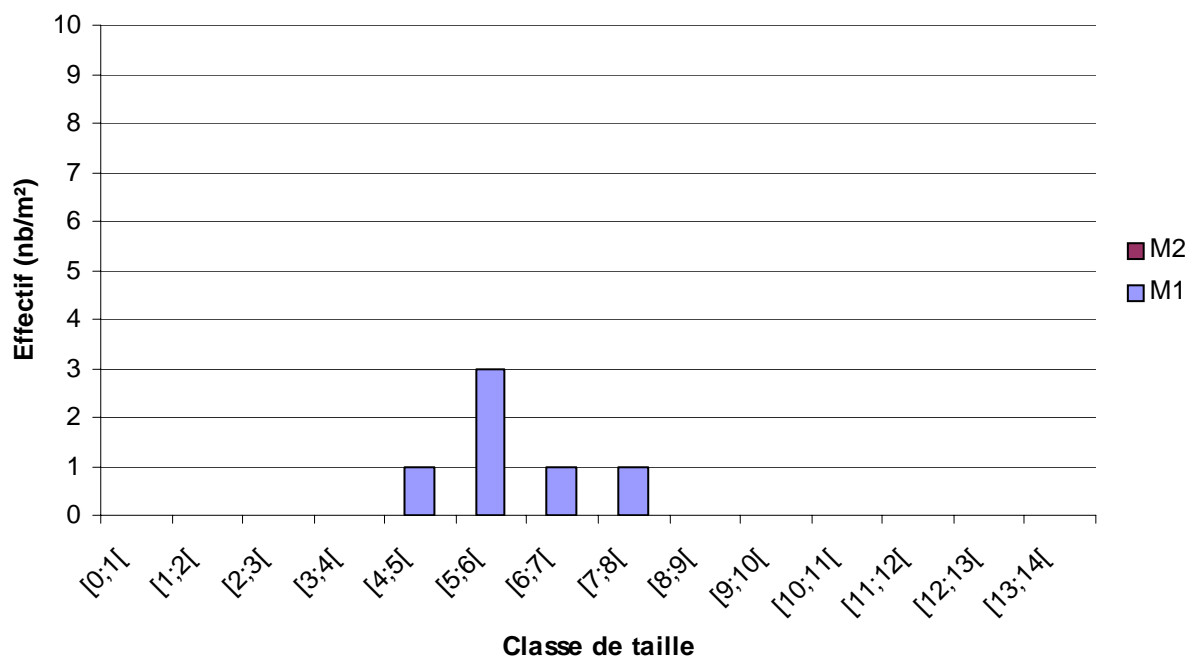
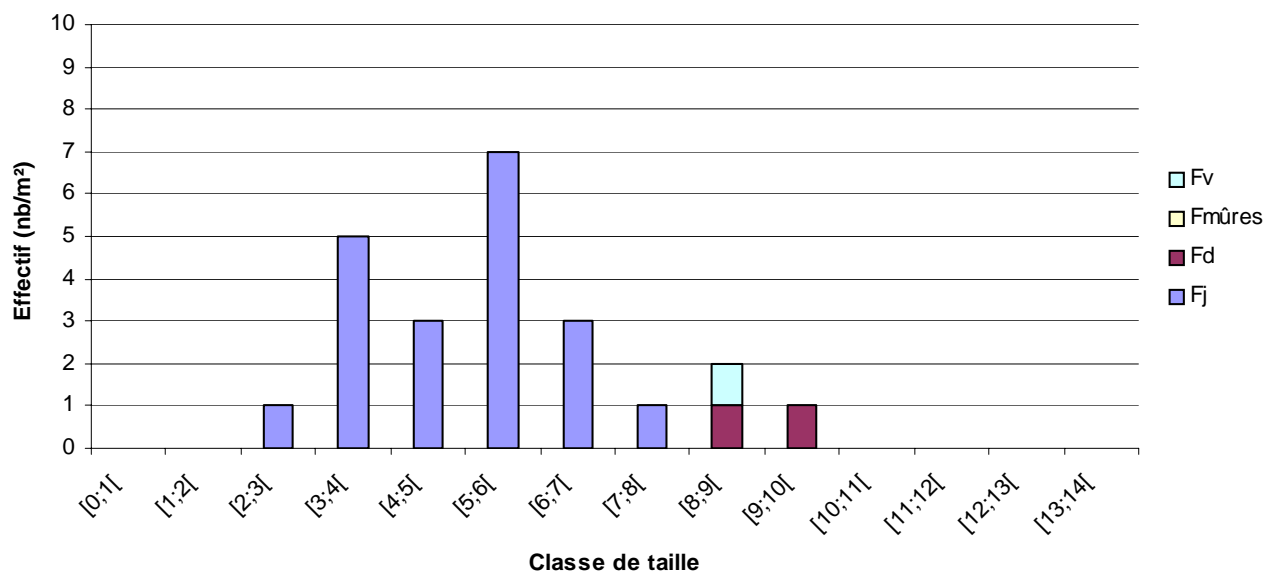


Figure 7.13 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –mâles– à Saint Valéry en Caux au cours de l'été 2007

4 juillet 2007, Saint Valery en Caux



6 août 2007, Saint Valery en Caux

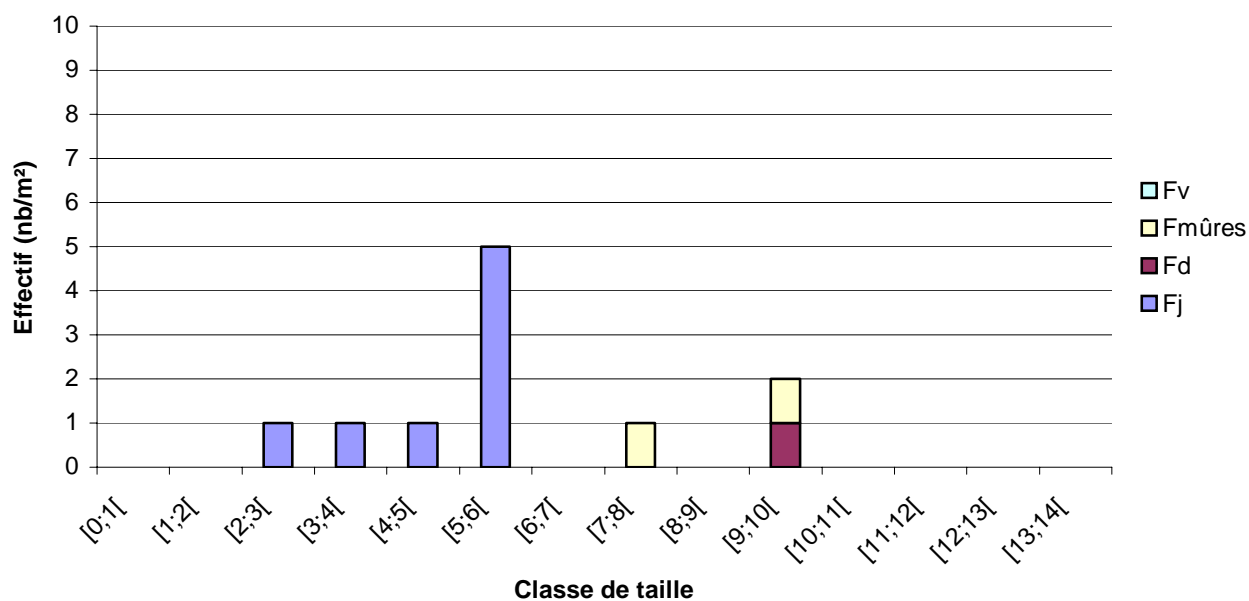
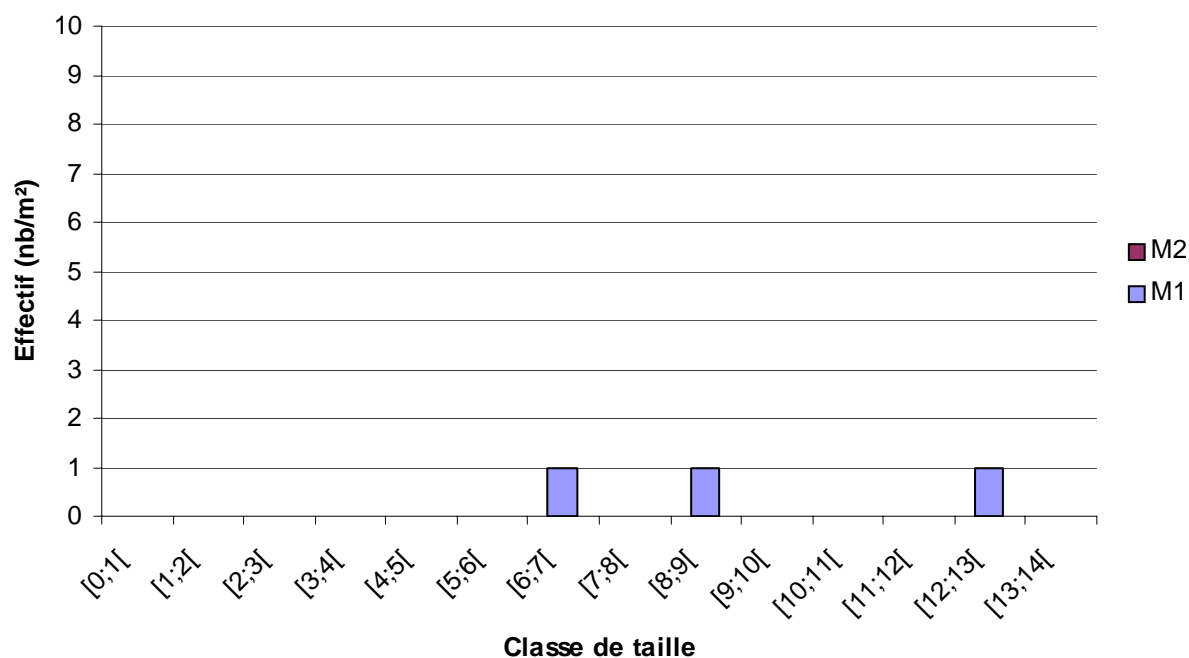
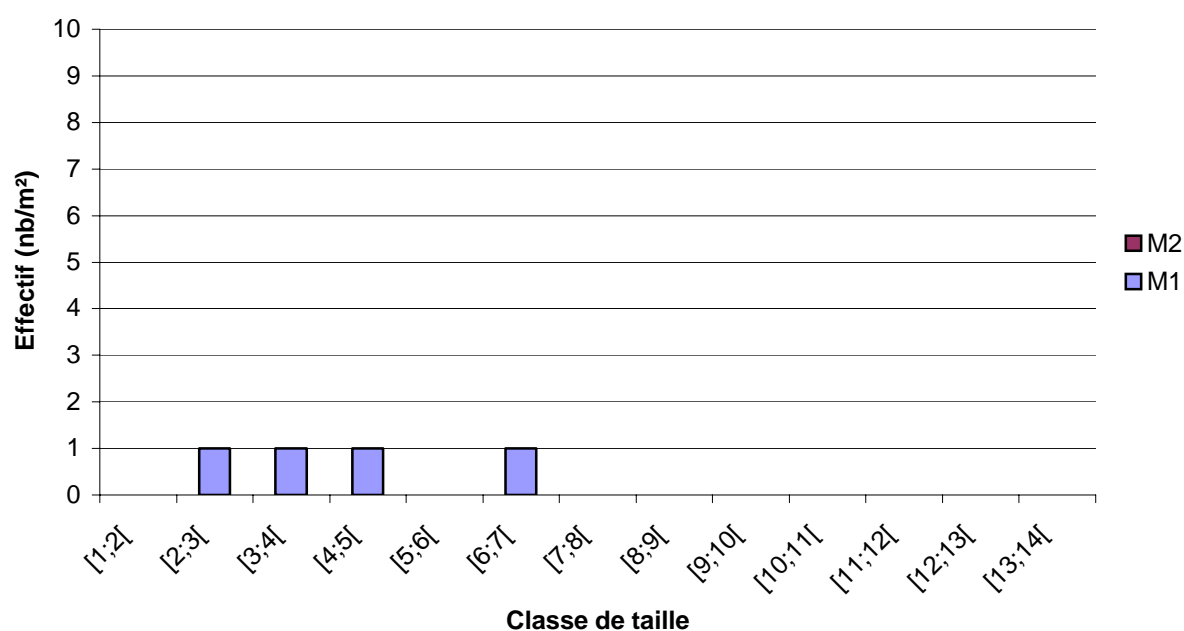


Figure 7.14 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* -femelles- à Saint Valéry en Caux au cours de l'été 2007

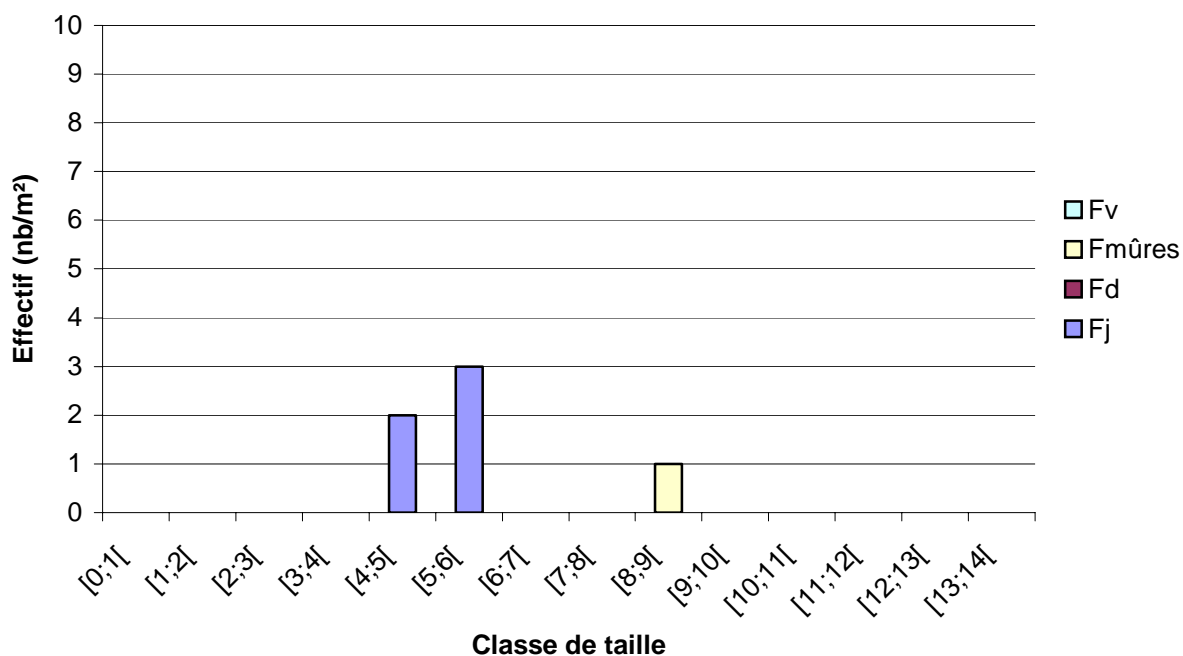
4 juillet 2007, Veulettes



6 août 2007, Veulettes

Figure 7.15 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –mâles– à Veulettes sur Mer au cours de l'été 2007

4 juillet 2007, Veulettes



6 août 2007, Veulettes

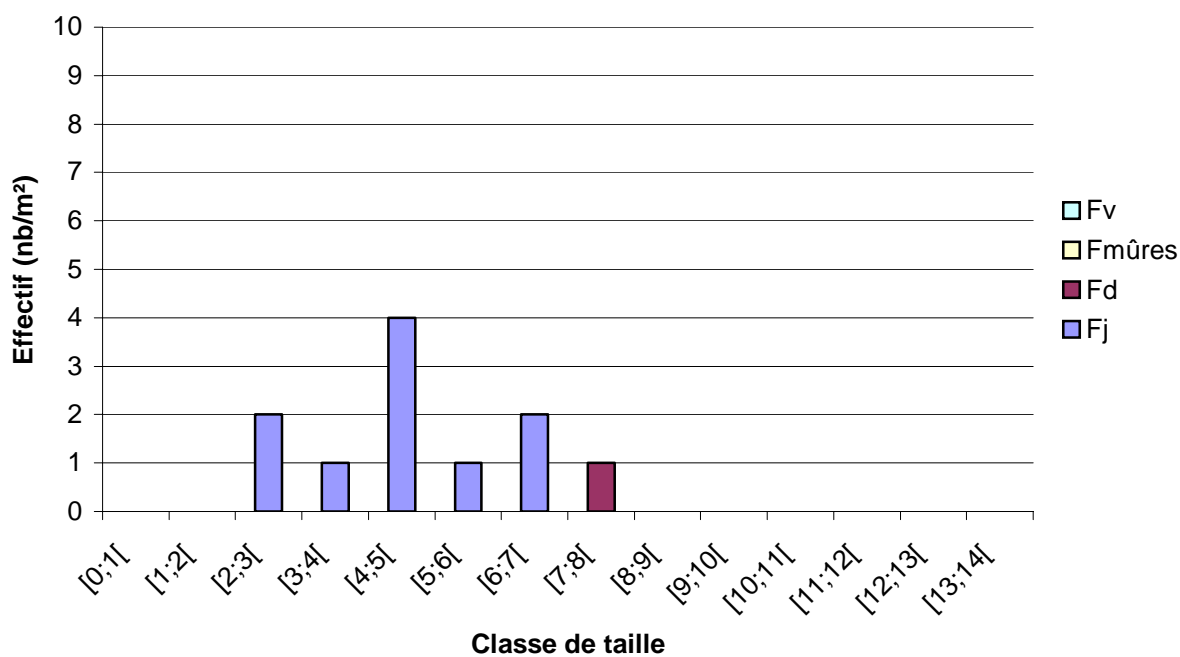


Figure 7.16 : Histogrammes des tailles chez *Idotea granulosa* –femelles– à Veulettes sur Mer au cours de l'été 2007

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 jusqu'à 2006, 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*.

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			
2007			04/07	06/08		

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 28/07 06/07 28/07		01/09 01/09	
1994			12/07 12/07	09/08 09/08	07/09 07/09	
1995			05/07 05/07	01/08 01/08	13/09 13/09	
1996			04/07 04/07	03/08 03/08	03/09 03/09	
1997			07/07	07/08	01/09	
1998			02/07	03/08	01/09	
1999		29/06	26/07	31/08		
2000			06/07	01/08	01/09	
2001		27/06	24/07	20/08		
2002		26/06	29/07	25/08		
2003		17/06	16/07	11/08		
2004		02/06	05/07	03/08		
2005	26/05	28/06	27/07			
2006		29/06	31/07			
2007			04/07	06/08		

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*

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.

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 2007

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 7.17) :

- une période de déclin à partir de 1985 et qui se prolonge jusqu'en 1988 à Veulettes sur Mer et jusqu'en 1993 à Saint Valery en Caux. Une réduction de la couverture algale d'un facteur trois à Veulettes est observée, ainsi qu'une disparition complète à Saint Valery ;
- une période de reconstitution à partir de 1989 à Veulettes et à partir de 1994 à St Valery ; dans les deux cas, trois années sont nécessaires pour que les ceintures retrouvent un niveau recouvrement au moins égal à celui avant le déclin (entre 400 et 600 g/m² avant 1984 à St Valery en Caux) ;
- Une période de relative stabilité depuis 1991 à Veulettes (718 g/m² ± 272 g) et depuis 1996 à St Valery (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 Valery en Caux.

La cause de la raréfaction des *Fucus vesiculosus* dans la deuxième moitié des années 1980 demeure non déterminée bien que ce déclin coïncide avec la montée en puissance du CNPE au cours de l'hiver 1984. Le fait que le site témoin de Veulettes, considéré par les modèles de dispersion comme hors d'impact des rejets d'eau chaude du CNPE, soit également touché et le caractère transitoire du phénomène laisse à penser qu'il n'y a pas de lien de causalité direct entre les deux phénomènes. L'hypothèse d'une adaptation de l'écosystème n'est pas confirmée par le suivi des peuplements benthiques de l'estran qui apparaissent relativement stables (hors ceinture de *F. vesiculosus*). Pour cette dernière raison il est également peu probable que cette raréfaction soit d'origine biologique même si le broutage par les gastéropodes (littorines) ait parfois été proposé comme une cause possible.

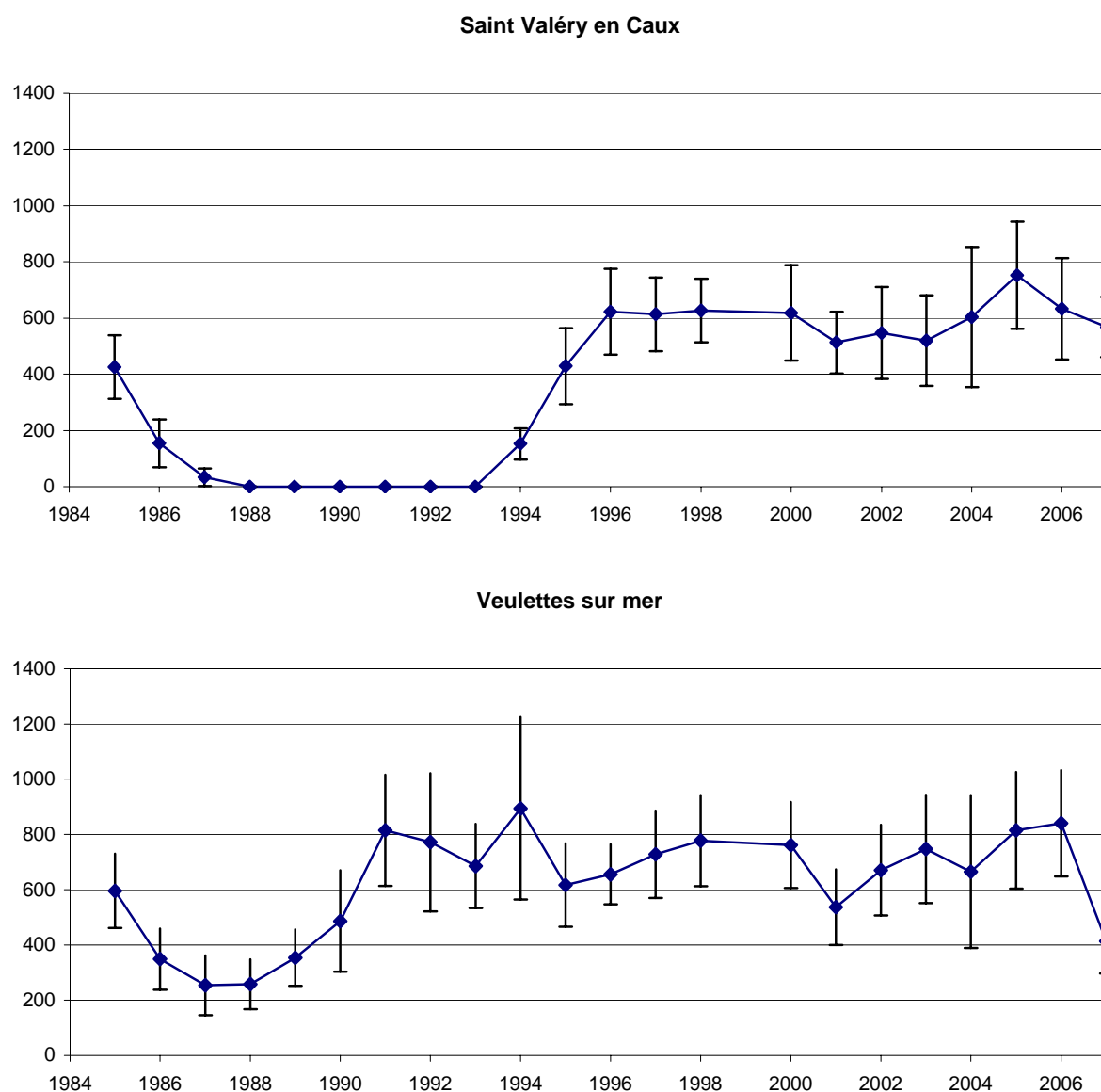


Figure 7.17 : Evolution de la moyenne estivale de la biomasse algale (g/m² PSE) dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2007 aux sites de Saint Valéry en Caux et Veulettes sur Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types)

7.5.3. Evolution de la densité des Idotés de 1985 à 2007

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

- une période de déclin à partir de 1985, qui se prolonge jusqu'en 1988 à Veulettes sur Mer et jusqu'en 1993 à Saint Valery en Caux : on observe une réduction des densités d'un facteur deux à trois à Veulettes et une disparition complète à Saint Valery faute de matériel algal ;
- une période de reconstitution de la ceinture à *Fucus vesiculosus* à partir de 1989 à Veulettes et à partir de 1994 à St Valery ; dans les deux cas la densité des Idotés retrouve son

niveau initial (entre 75 et 175 Ind./m² suivant l'efficacité du recrutement avant 1984 à St Valéry en Caux) ;

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

- un effondrement des effectifs sur les deux sites étudiés en 2007.

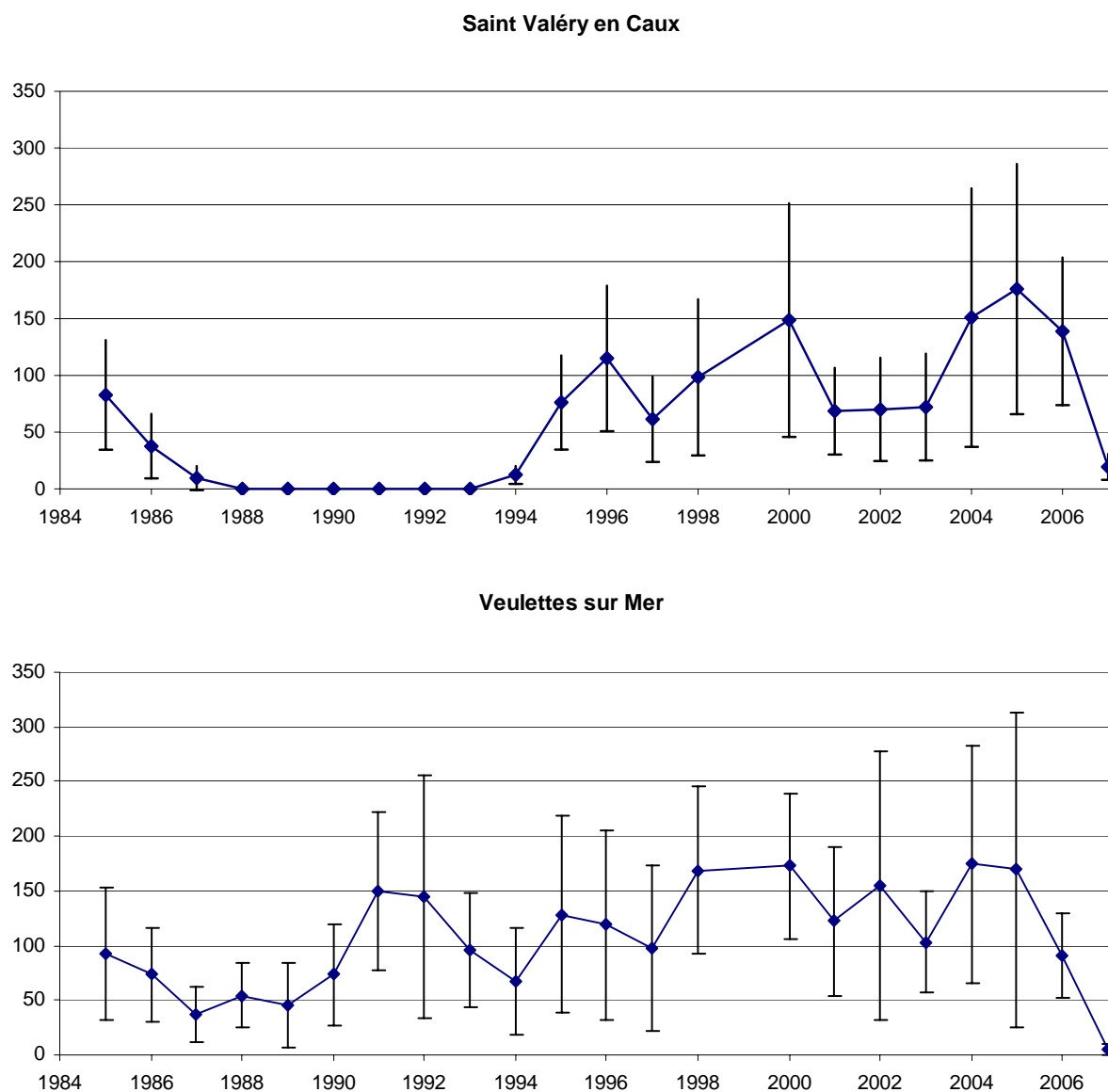
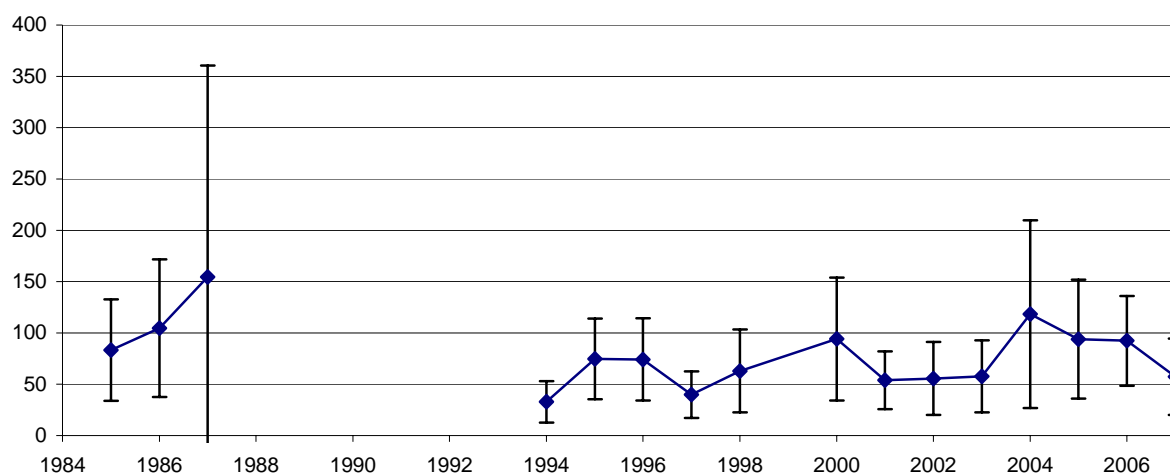


Figure 7.18 : Evolution de la moyenne estivale de la densité d'*Idotea granulosa* (Ind./m²) dans la ceinture à *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2007 aux stations de Saint Valéry en Caux et Veulettes sur Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types).

Le rapport Idoté/Biomasse de *Fucus* permet d'éliminer le lien de dépendance ; les moyennes estivales de ce paramètre, lorsque son calcul est possible, ne mettent en évidence aucune tendance significative sur la période 1985-2007 (figure 7.19). La capacité d'accueil des Fucus pour les idotés diminue cependant régulièrement depuis 2004.

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. Le taux d'occupation des *Fucus* par les idotés à Veulettes a fortement chuté en 2007. La diminution très importante du nombre d'idoté, ainsi que la biomasse algale moindre comparativement aux années précédentes permettent d'expliquer cet état de fait.

Saint Valéry en Caux



Veulettes sur Mer

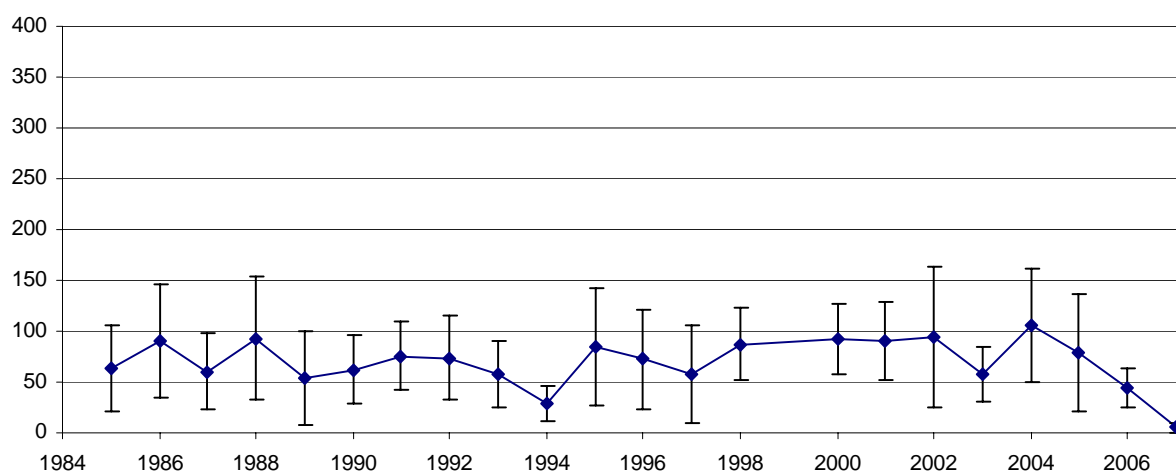


Figure 7.19 : Evolution de la moyenne estivale du nombre d'*Idotea granulosa* / 100 g de *Fucus vesiculosus* entre 1985 et 2007 aux stations de Saint Valéry en Caux et Veulettes sur Mer (les barres d'erreur verticales font référence aux écarts-types)

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.

Une augmentation de la dispersion de la densité d'idotés pour une valeur de biomasse algale supérieure à 880 g/m² PSE est observée; 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).

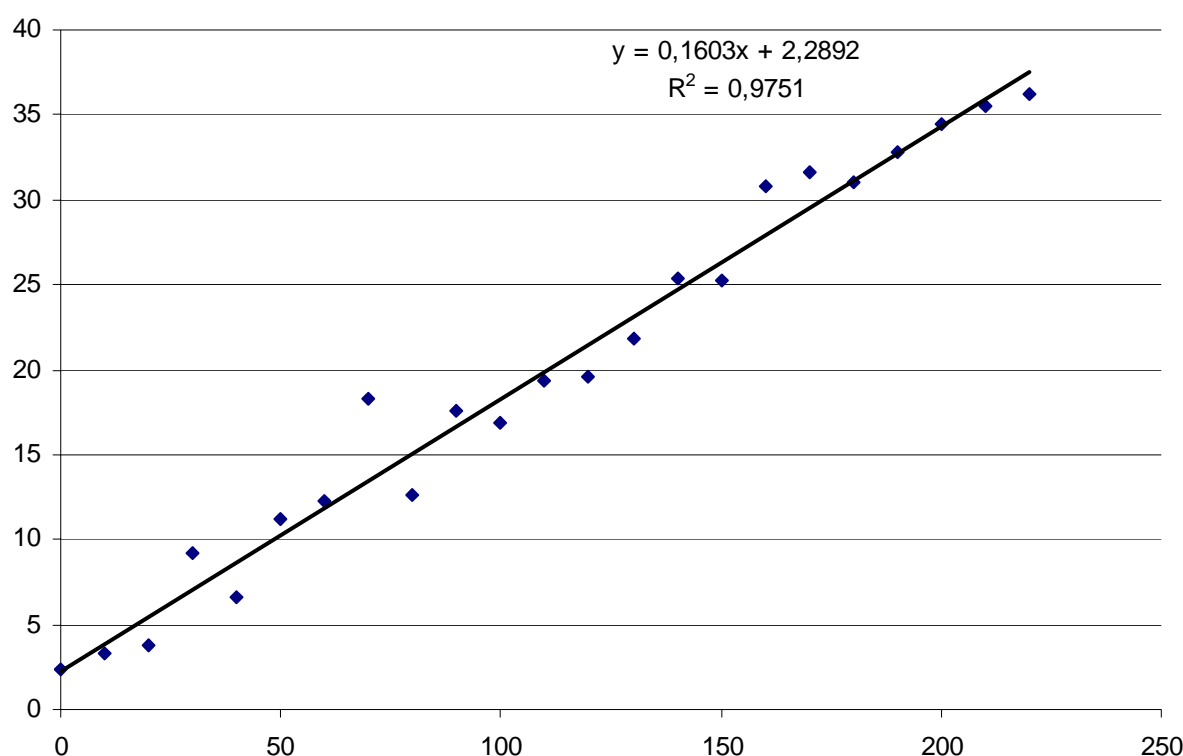


Figure 7.20 : Modèle de régression linéaire de la densité d'Idotés (en ordonnées) en biomasse de *Fucus vesiculosus*. Valeurs moyennes de la densité d'*Idotea granulosa* par classes de biomasses algales de 10 unités (données 1985 à 2007)

Ce modèle est utilisé pour filtrer le signal "densité d'Idotés". Ainsi, le nombre d'idotés estimé par le modèle par unité de biomasse peut être calculé. 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 7.21) :

- 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 2007 est disponible, mais le schéma est probablement identique pour le site de Saint Valery ;
- une amplitude de ces cycles qui paraît augmenter à partir des années 1990 en s'accompagnant d'une tendance à la hausse des effectifs ;

○ de nombreux points de coïncidence sur les deux sites (années 1986, 1996, 2000, 2003, 2007). 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 *Idotea* 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.

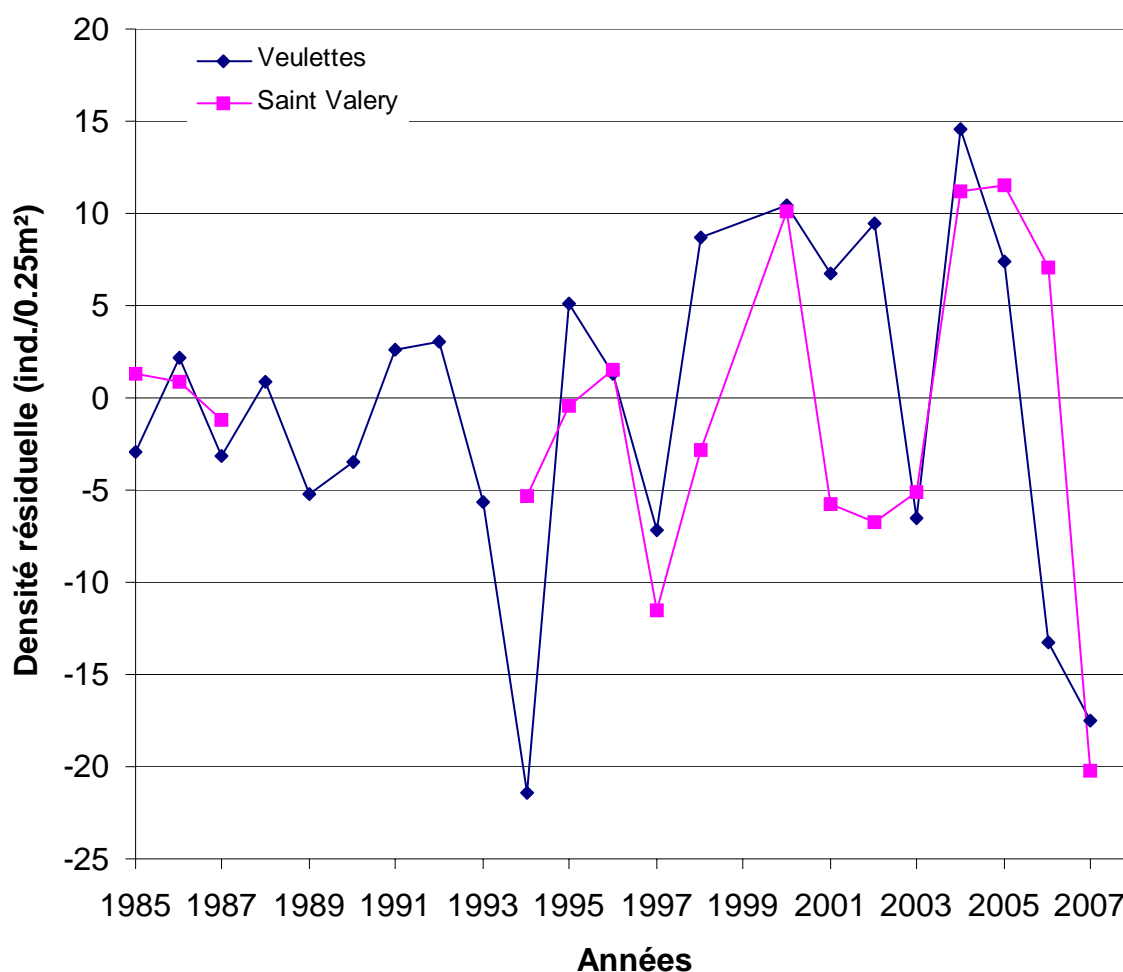


Figure 7.21 : Evolution de la moyenne estivale de la densité résiduelle (après filtrage de "l'effet biomasse algale") des *Idotea granulosa* de 1985 à 2007 sur les estrans de Saint Valéry en Caux et de Veulettes sur Mer

7.6. Conclusion

En 2007, les biomasses de *Fucus* mesurées sur le site Veulettes sur Mer sont inférieures à celles de Saint Valéry en Caux. Elles ne sont pas différentes de la valeur moyenne depuis 1996 à Saint Valéry en Caux alors qu'elles sont inférieures à Veulettes sur Mer. Le nombre d'idotés est nettement inférieur aux données des années précédentes, sur les deux sites. Le taux d'occupation des algues par les idotés est, comparativement aux années précédentes, beaucoup plus faible sur les deux sites. Le taux d'occupation est cependant encore supérieur à Saint Valéry qu'à Veulettes, comme en 2006.

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. De la même façon, cette année, la diminution importante des effectifs sur les deux sites exclue toute influence de la centrale. Par ailleurs, cette diminution ne semble pas liée à une régression brutale de la couverture algale.

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. Cette année a été particulière en terme d'amplitude des variations puisque les densités d'idotés sont très faibles, voir inexistantes sur certains prélèvements.

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. La diminution drastique des densités d'idotés cette année peut être le reflet d'une évolution naturelle, liée à la biologie de l'espèce. Elle peut également signifier un déplacement de la zone géographique de présence de cette espèce, entraînant sa disparition dans les parties les plus au sud de son aire de répartition. L'échelle des changements doit être prise en compte en intégrant, par exemple des données issues d'autres points de prélèvement afin de confirmer les différentes hypothèses formulées.

8. Le Phytobenthos Intertidal

Rapport

Luis LAMPERT (LERN),
Chantal ABERNOT – LE GAC (DYNECO/EB),

Prélèvements

Jean Dominique GAFFET (DYNECO/EB),
Chantal ABERNOT – LE GAC (DYNECO/EB),
Denise GUILLERM (DOP),
Franck MAHEUX (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 éventuelle 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.

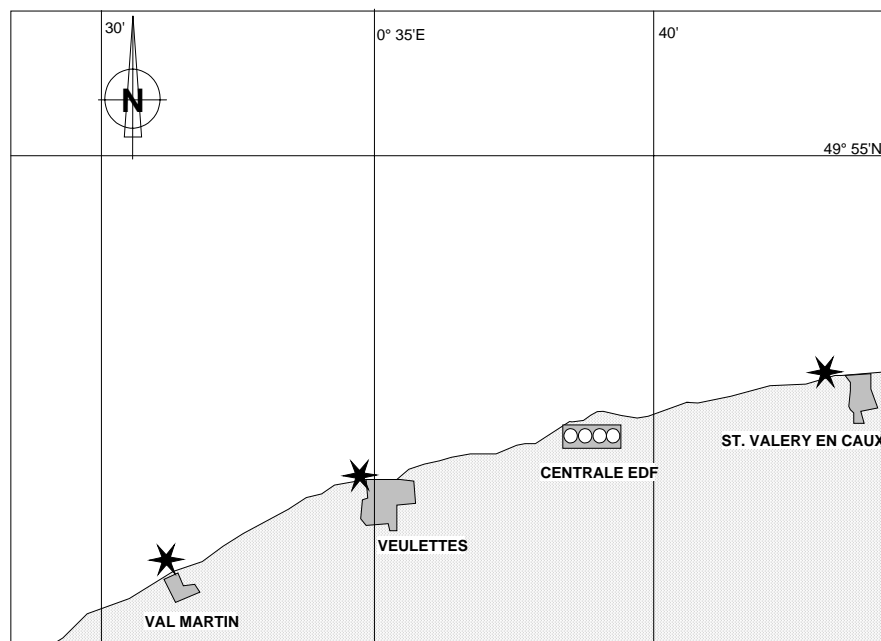


Figure 8.1 : Situation des trois points d'échantillonnage lors des campagnes 2007

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 figure 8.2). Délimitée par deux piquets fixés sur l'estran, la radiale reste la même d'une année sur l'autre.

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.

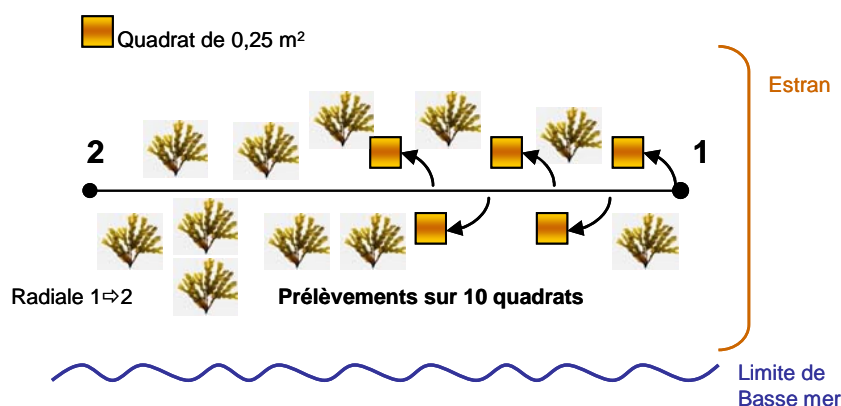


Figure 8.2 : Schéma de la méthode de prélèvement en 2007

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 2.1.3 et 2.1.4 du chapitre hydrologie.

8.3. Résultats

Les résultats obtenus lors des campagnes 2007 pour le compartiment du phytobenthos intertidal sont présentés dans le tableau 8.1 ci-dessous.

Dates	Paramètres	VAL MARTIN	VEULETTES	ST VALERY
19 et 20 mars 2007	Biomasse (g/0,25 m ²)	57,9	77,7	58,71
	Fertilité (% de pieds fertiles)	5	10	9
26 et 27 septembre 2007	Biomasse (g/0,25 m ²)	115,6	95,4	91,8
	Fertilité (% de pieds fertiles)	77	70	62

Tableau 8.1 Valeurs de biomasse (g de poids sec/0,25m²) et de fertilité de *Fucus sp.* en 2007

8.3.1. Évolution des biomasses de *Fucus sp.*

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

C'est à *Val Martin* que l'on observe à la fois la plus faible valeur en mars avec 57,9 g de poids sec /0,25m² et la plus forte valeur en septembre avec 115,6 g de poids sec /0,25m² (figure 8.3).

La croissance a été beaucoup plus faible à *Veulettes*.

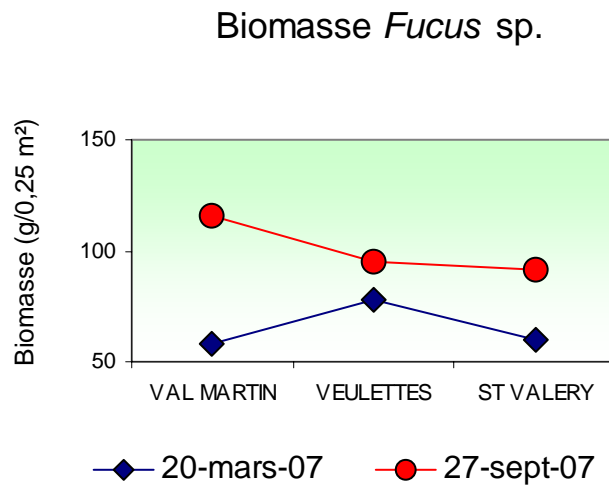


Figure 8.3 : Biomasse de *Fucus* sp. lors des campagnes de mars et septembre 2007



Photo 8.1 : *Fucus serratus*, St Valéry en Caux, septembre 2007

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

L'ensemble des valeurs observées en 2007 se situe dans la plage de celles déjà enregistrées depuis 1994 (figure 8.4).

Les biomasses de *Fucus* évaluées en 2007 sont inférieures à celles de 2006, aux trois stations échantillonnées, au printemps comme à l'automne.

Les biomasses de *Fucus* sp. au point *Val martin* sont très proches de celles mesurées en 2004. A *Veulettes* et à *St Valéry*, les biomasses relevées en septembre 2008 sont les plus faibles observées sur la période 1994 à 2007.

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 (vieillesse 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).

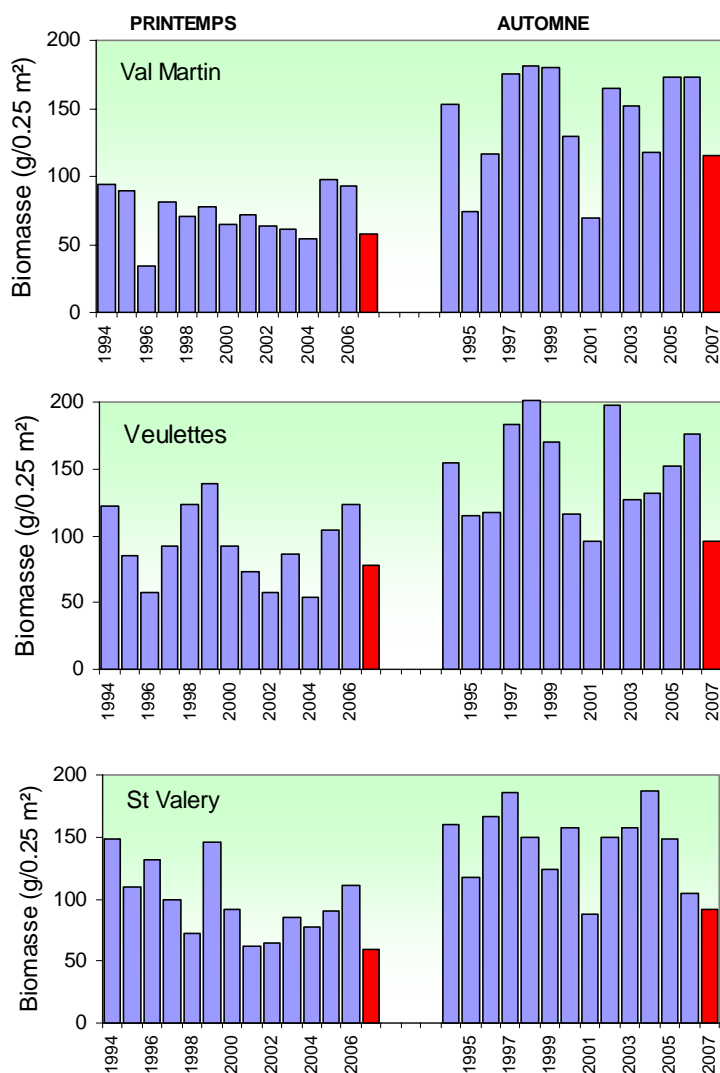


Figure 8.4 : Évolution de la biomasse de *Fucus sp.* sur les trois points d'échantillonnage depuis 1994 en grammes de poids sec/0,25m²

La 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 des point *Val Martin* et *St Valéry* sont supérieures à celle du point *Veulettes*.

En mars et septembre, les valeurs de biomasse de 2007 ont été inférieures aux médianes pluriannuelles. Aux points *Veulettes* et *St Valéry* en septembre, tout comme au point *St Valéry* en mars, les valeurs correspondent aux minima de la série 1997-2007.

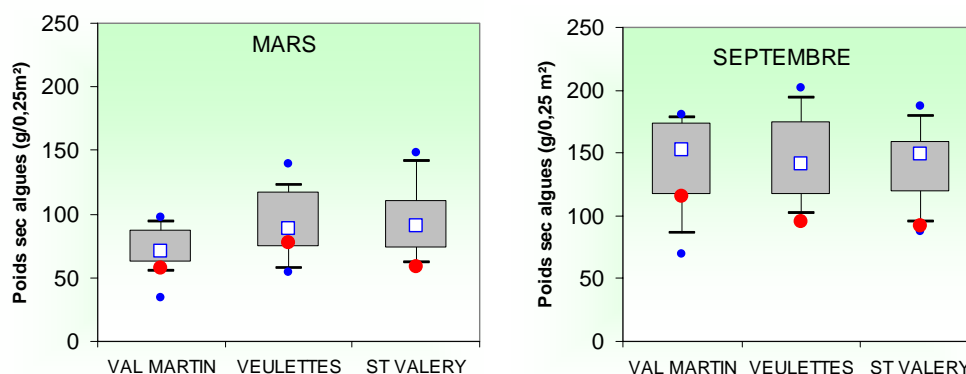


Figure 8.5 : Représentation des médianes de valeurs de la biomasse obtenues depuis 1994

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	0,003	0,460
VAL MARTIN/ST VALÉRY	0,026	0,945
ST VALÉRY/ VEULETTES	0,589	0,745

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

Tableau 8.2 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la biomasse (1997 à 2007)

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 2007, les valeurs de biomasse ont toutes été inférieures à celles enregistrées en 2006.

8.3.2. Distribution des espèces de *Fucus sp.* en 2007

Deux espèces de *Fucus* sont rencontrées sur les platiers proches de la centrale. Il s'agit de *Fucus serratus* et de *Fucus vesiculosus*, qui se situent normalement à différents niveaux sur l'estran mais qui se trouvent aussi en mélange. Lors des échantillonnages par quadrat, les deux espèces peuvent être prélevées. En 2008, nous n'avons pas trouvé de *Fucus vesiculosus* dans nos prélèvements.

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

8.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières de la fertilité

Globalement, les pourcentages de pieds fertiles en 2007 sont faibles. Comme pour la biomasse, c'est à *Val Martin* que l'on observe à la fois la plus faible valeur en mars, avec seulement 5 % de pieds fertiles, et la plus forte valeur en septembre avec 77 % de pieds fertiles (figure 8.6). Classiquement, nous observons le plus grand nombre de pieds fertiles en septembre.

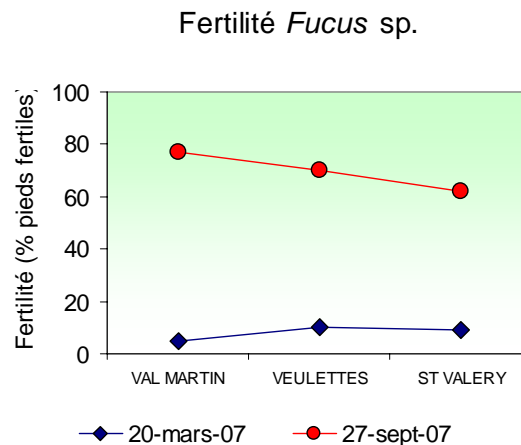


Figure 8.6 : Fertilité de *Fucus sp.* lors des campagnes de mars et septembre 2007

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



Photo 8.2 : *Fucus serratus*, St Valéry en Caux, septembre 2007

En mars comme en septembre, la fertilité en 2007 est faible, voire la plus faible (*Veulettes*) observée depuis 1997 (figure 8.7).

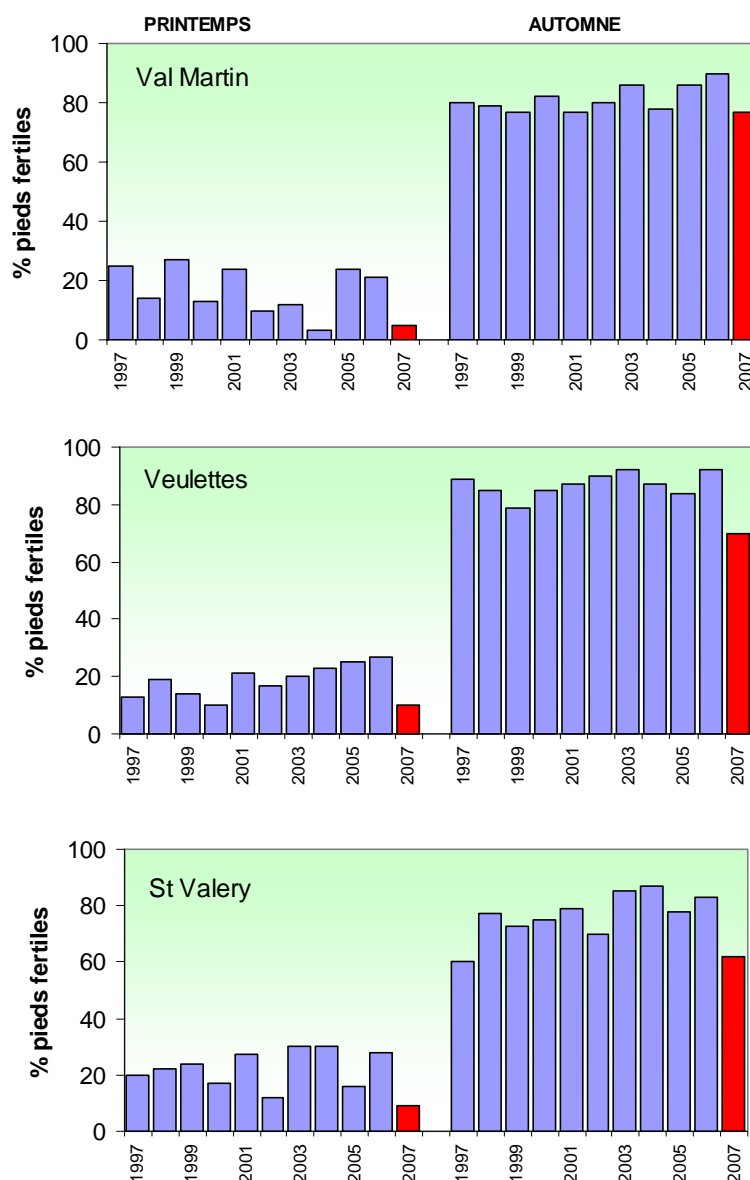


Figure 8.7 : Évolution de la fertilité de *Fucus* sp. sur les trois points d'échantillonnage depuis 1997

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 avec la valeur de 2007.

Lors des campagnes de mars et septembre 2007, les valeurs observées sur l'ensemble des points, ont toutes été inférieures aux médianes pluriannuelles. Seule la valeur observée au point *Val Martin* en septembre se rapproche de la médiane.

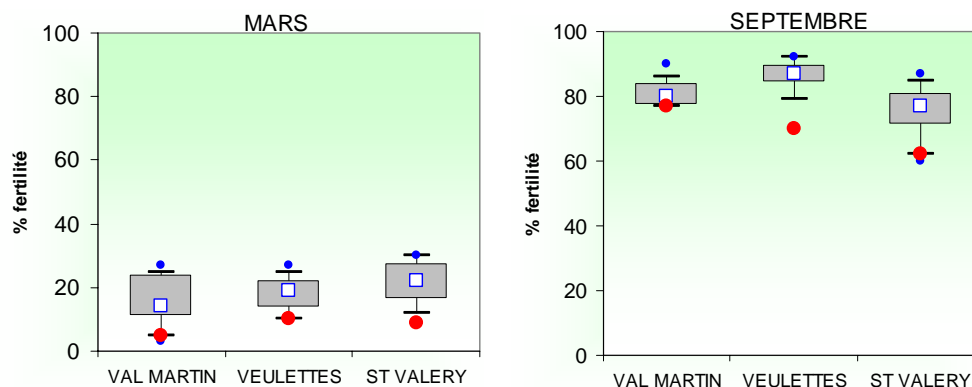


Figure 8.8 : Représentation des médianes des valeurs de la fertilité obtenue depuis 1997

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	0,517	0,023
VAL MARTIN/ST VALÉRY	0,118	0,038
ST VALÉRY/ VEULETTES	0,109	0,004

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

Tableau 8.4 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la fertilité (1997-2007)

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).

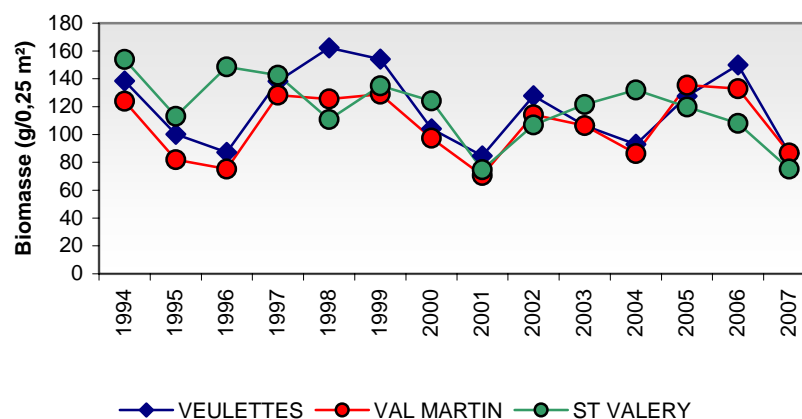


Figure 8.9. : Évolution de la biomasse moyenne annuelle (en poids sec) de *Fucus* sp. depuis 1994

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	0,020	Non significatif
St Valéry	0,330	significatif
Val Martin	0,004	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 les valeurs enregistrées depuis 1994 aux points *Veulettes* et *Val Martin*. Cette année, au point *St Valéry* nous observons une tendance significative, bien que proche du seuil de signification. Malgré ceci, les résultats de 2007, 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* continue sa tendance à la baisse. *Val Martin* présentait déjà une stabilisation de la biomasse en 2006, et en 2007 c'est une nette diminution qui est enregistrée, tout comme pour le point *Veulettes*. Il semble que le cycle naturel sur *St Valéry*, légèrement décalé par rapport aux autres deux point, soit mis en phase en 2007.

8.5. Conclusions

Les relevés effectués au cours de l'année 2007 ont montré :

- Une biomasse de Fucales en baisse aux trois stations échantillonnées en mars comme en septembre ;
- 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 ; sauf au point *St Valéry*, mais avec une faible tendance ;
- les résultats de l'année 2007 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* ;
- Comme pour la biomasse, une fertilité des pieds de *Fucus serratus* plus faible que les années précédentes

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),

Pascal RAULIN (IFREMER/RHBL).

9.1. Situation au 31.12.2006 des effectifs et des caractéristiques des flottilles artisanales du quartier maritime de Fécamp.

Les 42 bateaux artisans immatriculés au quartier maritime de Fécamp au 31 décembre 2006 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	9	5	102	19	13
10m < L < 17m	13	20	209	21	22
L > 17m	22	94	413	24	7
					43

Tableau 9.1. : Classement des bateaux au quartier de Fécamp au 31/12/2006

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 plusieurs années déjà.

La répartition des navires par port d'exploitation montre globalement une stabilité des effectifs dans le temps depuis plusieurs années, comme l'indique le tableau ci-dessous :

année	Fécamp Est	Fécamp	Fécamp Ouest	total
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
2006	9	32	1	42

Tableau 9.2. : Répartition du nombre de navires par port

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

	J	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Total
Métiers du chalut	3	3	3	3	3	6	6	3	3	2	2	2	39
Métiers du filet	19	19	19	26	26	25	25	25	24	25	25	24	282
Divers métiers	10	10	10	11	12	5	6	8	4	10	10	10	106
Total:	32	32	32	40	41	36	37	36	31	37	37	36	427

Tableau 9.3. : Répartition du nombre de mois par bateau selon leur métier en 2006

Si le nombre de bateaux inscrits au 31 décembre 2006 tel que repris dans le tableau précédent est stable (42 bateaux pour 43 en 2005), le tableau ci-dessus montre en revanche une très nette diminution de l'activité de ces bateaux, diminution d'activité relevée par l'ensemble des observateurs de la filière (voir le numéro Hors série de mars 2006 du *Marin*). En effet, plusieurs navires ont de grosses difficultés financières qui se sont traduites par des immobilisations à quai.

9.2. Production

Les ventes enregistrées en criée de Fécamp entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2006 (Source: Centre National de Traitements des Statistiques de Lorient ; CNTS) sont en très nette diminution par rapport aux apports enregistrés en 2005 : 1810 tonnes contre 2400 tonnes (et 6150 tonnes en 2004).

La valeur totale est donc elle aussi en baisse.

Cette chute des débarquements s'explique par la baisse d'activité générale (427 mois X navires en 2006 contre 514 en 2005) constatée ci-dessus. L'une des raisons à cette baisse de produits enregistrés en criée étant que plusieurs navires n'ont pas écoulé tout ou partie de leurs prises via la criée ; c'est le cas notamment pour une bonne partie des pélagiques (sardine, hareng, maquereau).

La coquille Saint-Jacques et la sole sont comme toujours les deux espèces-phare en valeur.

D'une façon générale, toutes les espèces sont en baisse, et compte-tenu de la particularité de l'activité des navires en 2006, il est plus prudent de ne pas chercher à en tirer trop de conclusions.

Ci-joint également une version complète de l'activité des flottilles du quartier maritime de Fécamp, année 2005, année la plus récente disponible à ce jour, mais qui complète les informations des rapports précédents.

Ventes enregistrées en criée de Fécamp en 2006 (source: CNTS)

espèces	tonnage (kg)	valeur (E)
COQUILLE ST-JACQUES D'EUROPE	769 864	1 955 177
SARDINE COMMUNE	404 900	109 323
SOLE COMMUNE	186 351	2 042 267
MAQUEREAU COMMUN	135 460	88 736
PETITE ROUSSETTE	55 992	34 979
SEICHES	48 717	93 991
PLIE COMMUNE	33 384	79 633
DIV.RAIES	24 700	65 618
MORUE COMMUNE (CABILLAUD)	20 903	96 159
SOLE-PERDRIX	19 911	85 353
EMISSOLE	15 913	17 774
BAR COMMUN	14 906	135 472
TACAUD COMMUN	11 774	2 777
TURBOT	10 984	147 945
LIEU JAUNE	10 832	35 396
HARENG COMMUN	8 186	2 898
LIMANDE COMMUNE	8 149	9 536
MERLAN	7 790	9 460
CHINCHARD COMMUN	4 973	634
BARBUE	2 032	19 053
ROUGETS BARBETS	1 987	17 920
CALMARS	1 888	9 280
CONGRE COMMUN	1 872	3 503
GRISSET	1 644	2 064
GRONDIN PERLON	1 470	3 762
GRONDIN ROUGE	1 435	2 179
HOMARD D'EUROPE	1 351	21 854
MULETS D'EUROPE	1 165	783
GRONDIN CAMARD	738	296
TOURTEAU D'EUROPE	399	848
VIEILLE COMMUNE	360	51
BUCCIN	209	104
ARAIGNEE DE MER D'EUROPE	193	24
BOUQUET D'EUROPE	96	1 569
SAINT-PIERRE	70	660
GRONDINS DIVERS	65	150
BAUDROIES D'EUROPE	62	280
LIMANDE-SOLE COMMUNE	52	232
GRANDE VIVE	42	104
FLET COMMUN	39	4
ORPHIE COMMUNE	36	5
TRUITE D'EUROPE	32	272
DORADE ROYALE	16	40
HUITRE PLATE D'EUROPE	13	13
TOTAL	1 810 953	5 098 177

Tableau 9.4 : Espèces mises en vente en criée de Fécamp en 2006 (source : criée de Fécamp)

Conclusions

Hydrologie

L'année 2007 a connu un premier semestre relativement chaud, atteignant des maxima de températures à plusieurs reprises en janvier, mars et mai. Contrairement à 2006, cette année a été particulièrement pluvieuse. Les précipitations des mois de février, juin, juillet et août se situaient largement au dessus des moyennes enregistrées entre 1967 et 2006 sur Dieppe. Néanmoins il est intéressant de constater que ces précipitations n'ont pas été si intenses aux environs de Paluel puisque les débits de la Durdent (cours d'eau se jetant à l'ouest du site de Paluel), ont été plus élevés qu'en 2006, mais n'ont pas dépassé les moyennes enregistrées entre 1966 et 2007, comme ce fut le cas en 2001.

Contrairement à 2006, les températures de l'eau de mer relevées lors de la campagne du mois de mars 2007 ont été relativement élevées (environ 10 °C) sur l'ensemble des points de suivis. En revanche, les températures des mois de juin et septembre sont restées du même ordre de grandeur que celles observées en 2006. Les écarts thermiques enregistrés entre les points *rejet* et *référence* en juin et septembre (figure 2.7) ont été d'environ 2 °C, se situant ainsi au niveau des médianes pluriannuelles. Cet écart n'a été que de 1 °C en mars.

Les salinités observées lors des campagnes de mars et septembre 2007 ont été, quels que soient les points, similaires à celles enregistrées en 2006. Quant aux salinités relevées en juin, elles ont été légèrement plus faibles qu'en 2006. Bien que cette année soit considérée comme étant une année humide, les salinités relevées en 2007 sur le site de Paluel sont restées assez proches des valeurs observées entre 2002 et 2006, qui étaient des années plutôt sèches. Les valeurs de salinité relevées lors des trois campagnes se situent toutes au niveau des médianes pluriannuelles, voire légèrement en dessous, comme il a été le cas pour le point *référence* en été.

Les sels nutritifs mesurés lors des campagnes de 2007 n'ont pas strictement suivi le cycle saisonnier classique. La forte activité phytoplanctonique du mois de septembre a vraisemblablement entraînée une intense consommation de nutriments expliquant ainsi les faibles teneurs en ammonium, nitrate et nitrite à cette saison. La forte variabilité interannuelle de l'ammonium ne permet pas de dégager de réelles tendances d'évolution. Néanmoins les teneurs en ammonium enregistrées en 2007 ont été proches des médianes pluriannuelles printanières et légèrement au dessus des minima en septembre. Quant aux concentrations de "nitrate + nitrite" obtenues en 2007, elles se situent en dessous des médianes pluriannuelles au printemps et en automne, et largement au dessus de ces médianes en été. Le gradient décroissant côte-large qui n'a pas été observé pour l'ammonium cette année, est mis en évidence pour le nitrate et le nitrite lors des trois campagnes.

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.

En mars et juin 2007, toutes les concentrations en trihalométhanes ont été inférieures au seuil de détection analytique (1 µg/L), à l'exception du point *référence* en juin, où une concentration de 1,1 µg/L a été mesurée. La campagne de septembre se caractérise par des concentrations dépassant toutes les 1 µg/L, avec un maximum de 6,76 µg/L au point *rejet*.

Les concentrations de bore observées en 2007 ont été comprises entre 3,5 et 4,5 mg/L. Elles restent du même ordre de grandeur que celles enregistrées depuis 2000 pour le printemps et

l'automne, mais les plus fortes concentrations, qui sont généralement observées en été, ont été relevées en septembre sur les points *rejet* et *référence*. Les concentrations en bore observées en mars et juin représentent les minima de la série 2000-2007.

Les mesures révèlent que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au point *rejet* qu'aux autres points. Cependant, elles 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 (> 82 % en 2007 et autour de 90 % en moyenne depuis 1988).

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

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

Microbiologie

Les concentrations en germes totaux, 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. A l'exception des valeurs des points *canal* et *rejet* au mois de septembre, l'ensemble des valeurs observées en 2007 se trouvent en dessous des médianes pluriannuelles ou en sont très proches.

Les quantités de germes revivifiables observées en mars et juin 2007, présentent peu de variations par rapport aux années précédentes. En revanche la valeur, enregistrée en automne sur le point *rejet*, présente une très forte hausse par rapport à celle de 2006. Elle dépasse les maxima enregistrés en 1993 et 1994 d'un facteur trois. Les abondances de germes revivifiables observées en mars et juin 2007 se situent toutes largement en dessous des médianes pluriannuelles, à l'exception du point *référence* en juin qui se situe au niveau de ces médianes.

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 2007, présentent une légère augmentation par rapport à 2006, et sont légèrement supérieures 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

Le contexte climatique de 2007 a été différent de celui des années précédentes. La température de l'eau de mer a été haute en hiver et faible en été. Les fortes pluies du mois de mars, sur le bassin versant de la Seine, ont produit des débits bien supérieurs aux moyennes. Cet apport fluvial d'eau dessalée et chargé en nutriments s'est trouvé en mer, puis il a transité par le fleuve côtier jusqu'à Paluel. Au mois de juin, c'est les fortes pluies orageuses qui ont eu des effets locaux sur la qualité des eaux littorales et de la rivière Durdent.

Dans ce contexte, la biomasse chlorophyllienne présente de basses concentrations en mars à cause des fortes valeurs en MES, limitant la pénétration de la lumière dans l'eau de mer. Les faibles valeurs de chlorophylle en juin suggèrent l'influence de la tempête qui a duré deux jours, juste avant la réalisation de la campagne. En septembre, nous observons des concentrations en chlorophylle supérieures aux médianes pluriannuelles. Cette évolution est confirmée par les images satellite, qui montrent un déficit de biomasse en mars et juin par rapport à la climatologie, puis un excédent au mois de septembre.

Pour la première fois, nous avons approché la production primaire potentielle par la mesure de la fluorescence *in vivo* au moyen d'un Pulse Amplitude Modulated (PAM). Les valeurs de rETR observées en juin sont proches de 200, tandis qu'aux mois de mars et septembre elles sont de l'ordre de 300. Ce même dispositif permet en outre, d'accéder à l'état physiologique du peuplement par la mesure de Y_{max} . Les valeurs 2007, comprises entre 0,48 et 0,67, mettent en évidence un bon état général de ces peuplements. Les plus basses valeurs sont observées lors des prélèvements de juin.

Les plus fortes abondances cellulaires, observées au mois de septembre (jusqu'à 250 000 cellules/L), se situent très au dessus des médianes pluriannuelles pour tous les points. Au mois de mars, elles sont toujours supérieures aux médianes, mais dans l'environnement proche de la boîte contenant 50 % des valeurs. En juin, elles sont restées en dessous des médianes, avec des valeurs inférieures à 50 000 cellules/L.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Paluel montrent un mois de mars dominé par le genre *Thalassiosira*, suivi de *Chaetoceros* ; tous les deux présentant un gradient inversé. L'été est caractérisé par une forte diversité, où les principaux taxons présents sont *Rhizosolenia*, *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Melosira*, *Leptocylindrus* et *Thalassionema*. Comme chaque année, l'espèce dominante de l'été est *Rhizosolenia delicatula*. En septembre, nous retrouvons le genre *Rhizosolenia* qui domine les peuplements phytoplanctoniques avec des valeurs de 70 à 85 %. *R. delicatula* reste l'espèce dominante de ce genre. Les dinoflagellés, bien que minoritaires en Manche ont présenté des abondances de 5 à 33 % en juin. Le genre dominant est *Prorocentrum*, avec deux espèces, *P. micans* et *P. gracile*. Nous remarquons le faible développement de l'espèce hivernale *Skeletonema costatum* en mars 2007.

Les abondances par espèce et par point ne présentent pas de variation pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution dans le temps ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de l'Atlantique, qui suivent les forçages climatiques.

Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité de la centrale de Paluel, à partir de l'étude des paramètres suivis dans compartiment phytoplanctonique en 2007.

Zooplancton

Les valeurs de biomasse sestonique au printemps 2007 sont les plus fortes que nous ayons observé depuis 2001. Au contraire, les biomasses observées en été aux points *canal* et *rejet* sont parmi les plus basses de la série temporelle. A l'automne 2007 les valeurs étaient assez proches des médianes pluriannuelles sur l'ensemble des campagnes depuis 1988. On constate également que les biomasses sestoniques automnales observées depuis 1988 sont significativement différentes entre les points *rejet* et *référence*.

Les rapports C/N du seston montrent bien la difficulté qu'il y a à déduire ou estimer la biomasse du zooplancton, *sensus stricto*, à partir de ce type d'analyse. La contamination des échantillons filtrés par des débris minéraux et végétaux est trop aléatoire pour pouvoir avoir une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. Au mieux, cette analyse nous donne une appréciation de l'évolution de la charge particulaire (seston > 100 µm) sur le site de la centrale de Paluel.

En 2007, la plus forte abondance zooplanctonique a été enregistrée fin juin au point *référence* (48 816 ind. 10 m⁻³), et représente l'une des plus fortes valeurs enregistrées depuis 1994 sur tous les points de prélèvement. Aucune différence significative de l'abondance zooplanctonique moyenne depuis 1994 n'a pu être démontrée entre les trois points de prélèvement, et ce quelque soit la saison.

L'holoplancton est principalement dominé par les copépodes qui en représentent toujours plus de 60 % lors des trois missions. Les copépodes dominants sont dans l'ordre : *Acartia clausi*, *Euterpina acutifrons*, *Temora longicornis*, *Pseudocalanus elongatus*, *Centropages hamatus* 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 dépassait 90 % en été et en automne. Cette dominance globale peut diminuer jusqu'à moins de 20 % 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 2007 (comme en 2005 mais contrairement à 2006), la faune zooplanctonique était moins dominée par le méroplancton (jusqu'à 69 %, à comparer aux 98 % de 2006). Cette fraction était essentiellement composée de larves de cirripèdes (balanes, ~ 70 à 50 %) et d'annélides (30 à 50 %, en particulier *Polydora ciliata*).

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*, *Sabellaria spinulosa*, *Pomatoceros triqueter*.

Dans sa partie côtière, la disparition de la moulière à *Mytilus edulis* perdure depuis 1990 ainsi que son remplacement par des Tuniciers, en particulier *Styela coriacea* et *Dendrodia 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 17 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 2007 comme 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 depuis 2006 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. La relative variabilité de la couverture sédimentaire des points 16 et H.Z. semble, d'une part confirmer le rôle des courants de marée susceptibles, en l'absence de moulière, de provoquer un granulo-classement plus marqué du sédiment, d'autre part être valide le rôle 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 17 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, même au point du 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. entre 2005 et 2007 malgré l'évolution du sédiment et de la richesse spécifique).

Benthos intertidal

En 2007, les biomasses de *Fucus* mesurées sur le site Veulettes sur Mer sont inférieures à celles de Saint Valéry en Caux. Elles ne sont pas différentes de la valeur moyenne depuis 1996 à Saint Valéry en Caux alors qu'elles sont inférieures à Veulettes sur Mer. Le nombre d'idotés est nettement inférieur aux données des années précédentes, sur les deux sites. Le taux d'occupation des algues par les idotés est, comparativement aux années précédentes, beaucoup plus faible sur les deux sites. Le taux d'occupation est cependant encore supérieur à Saint Valéry qu'à Veulettes, comme en 2006.

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. De la même façon, cette année, la diminution importante des effectifs sur les deux sites exclue toute influence de la centrale. Par ailleurs, cette diminution ne semble pas liée à une régression brutale de la couverture algale.

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. Cette année a été particulière en terme d'amplitude des variations puisque les densités d'idotés sont très faibles, voir inexistantes sur certains prélèvements.

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. La diminution drastique des densités d'idotés cette année peut être le reflet d'une évolution naturelle, liée à la biologie de l'espèce. Elle peut également signifier un déplacement de la zone géographique de présence de cette espèce, entraînant sa disparition dans les parties les plus au sud de son aire de répartition. L'échelle des changements doit être prise en compte en intégrant, par exemple des données issues d'autres points de prélèvement afin de confirmer les différentes hypothèses formulées.

Phytobenthos intertidal

Les relevés effectués au cours de l'année 2007 ont montré :

- Une biomasse de Fucales en baisse aux trois stations échantillonnées en mars comme en septembre ;
- 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 ; sauf au point *St Valéry*, mais avec une faible tendance ;

- les résultats de l'année 2007 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* ;
- Comme pour la biomasse, une fertilité des pieds de *Fucus serratus* plus faible que les années précédentes

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 2006 (Source: Centre National de Traitements des Statistiques de Lorient ; CNTS) sont en très nette diminution par rapport aux apports enregistrés en 2005 : 1810 tonnes contre 2400 tonnes (et 6150 tonnes en 2004).

La valeur totale est donc elle aussi en baisse.

Cette chute des débarquements s'explique par la baisse d'activité générale (427 mois X navires en 2006 contre 514 en 2005) constatée ci-dessus. L'une des raisons à cette baisse de produits enregistrés en criée étant que plusieurs navires n'ont pas écoulé tout ou partie de leurs prises via la criée ; c'est le cas notamment pour une bonne partie des pélagiques (sardine, hareng, maquereau).

La coquille Saint-Jacques et la sole sont comme toujours les deux espèces-phare en valeur.

D'une façon générale, toutes les espèces sont en baisse, et compte-tenu de la particularité de l'activité des navires en 2006, il est plus prudent de ne pas chercher à en tirer trop de conclusions.

Ci-joint également une version complète de l'activité des flottilles du quartier maritime de Fécamp, année 2005, année la plus récente disponible à ce jour, mais qui complète les informations des rapports précédents.

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., TETARD, 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.
- FALKOWSKI, P., G. ET RAVEN, J., A., 2007.
Aquatic photosynthesis, 2nd ed.; Princeton University Press, 484 p.
- 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. FERTE. 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., TREGUER, P., QUEGUINER, B., DEL AMO, Y. 1994. Phytoplankton dynamics in relation to the biogeochemical cycle of silicon in a coastal ecosystem of western Europe. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 72, 106-157.

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.

SAKSHAUG, E., BRICAUD, A., DANDONNEAU, Y., FALKOWSKI, P.G., KIEFER, D.A., LEGENDRE, L., MOREL, A., PARSLOW, J., TAKAHASHI, M., 1997.

Parameters of photosynthesis : definitions, theory and interpretation of results, *Journal of Plankton Research*, Vol.19 n°11, pp. 1637-1670.

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.

