

CONVENTION D'ETUDE

**PORT AUTONOME DE ROUEN /
UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DE LILLE /
STATION MARINE DE WIMEREUX**

au 15 février 2006

**Suivi des sédiments et des peuplements benthiques
du chenal de navigation du Port de Rouen**

Anne- Laure JANSON et Jean-Claude DAUVIN

Station Marine de Wimereux

18 mai 2006

INTRODUCTION

La pertinence d'utiliser le macrobenthos et des indicateurs benthiques comme témoin des états et de l'évolution des écosystèmes côtiers et estuariens est maintenant bien admise par la communauté scientifique et les aménageurs (voir Dauvin, 2005). Aujourd'hui, on assiste à un développement d'indicateurs et indices biotiques notamment en réponse aux besoins de la mise en place de la Directive Cadre sur l'Eau (Voir Borja *et al.*, 2000 ; Dauvin *et al.*, sous presse). De plus, le macrobenthos a aussi servi à l'évaluation de l'impact chimique ou mécanique des rejets de dragages dans le cadre des travaux réalisés par le groupe national de recherche GEODE coordonné par Claude Alzieu de l'IFREMER (Alzieu, 2003). La macrofaune benthique de la baie de Seine est l'une des plus étudiées en Europe (Gentil, 1976 ; Cabioch, 1986 ; Dauvin & Gillet, 1991 ; Lambert, 1991 ; Lagadeuc, 1990 ; Dauvin, 1992 ; Thiébaud, 1994 ; Gentil & Cabioch, 1997 ; Thiébaud *et al.*, 1997 ; Ghertsos *et al.*, 2001 ; Ghertsos, 2002 ; Barnay, 2003 ; Dauvin *et al.*, 2004 ; Dauvin *et al.*, 2006). Par conséquent, les données d'abondances des organismes benthiques sont nombreuses, ce qui a permis de proposer dans Seine-Aval leur compilation au sein de la base de données MABES, acronyme de "Macrobenthos Baie et Estuaire de Seine" (Dauvin & Ruellet, 2005).

En revanche, les données publiées sur la partie estuarienne sont beaucoup moins nombreuses (Elkaim *et al.*, 1982 ; Mouny *et al.*, 1998) ; des données non publiées existent également pour la partie fosse nord subtidale obtenues dans le cadre de divers contrats réalisés par la Cellule du Suivi du Littoral Haut-Normand. Elle correspond à une zone fortement anthropisée (digues, aménagements et dragages), où la faune macrobenthique connaît des conditions difficiles de recrutement et de survie notamment en raison du fort hydrodynamisme.

La partie orientale de la baie de Seine fait l'objet d'une prospection tous les cinq ans d'une soixantaine de stations de macrobenthos réalisées dans le cadre de l'opération PECTOW intégrée dans le Programme National du Déterminisme du Recrutement (PNDR), puis du Programme National d'Environnement Côtier (PNEC) et enfin dans Seine-Aval. Le but de ces campagnes pluriannuelles dont la première a été réalisée en 1986, les deux suivantes en 1987 et 1988, puis les autres avec un pas de 5 ans par rapport à la première prospection : 1991, 1996, 2001 et 2006 (Thiébaud, 1994 ; Barnay, 2003 ; données en cours d'acquisition) est d'étudier l'évolution de leur structuration spatio-temporelle. A l'occasion de la campagne de mars 2006, le Port Autonome de Rouen a souhaité que soient prospectées huit

stations supplémentaires, toutes localisées dans la zone endiguée : un transect A dans le chenal de navigation et un transect B sur le banc Nord.

L'objectif de ce rapport est de fournir les résultats de la prospection de ces stations subtidales du chenal de navigation du Port Autonome de Rouen. Lorsque les dépouillements de l'ensemble des stations localisées en fosse nord, fosse sud et embouchure de l'estuaire de la campagne PECTOW 2006 seront réalisés (probablement courant 2007), les résultats fournis à Seine-Aval seront également mis à disposition du Port Autonome de Rouen.

MATERIEL ET METHODES

1. Zone d'étude et échantillonnage

Localisée entre les digues submersibles de calibrage du chenal de navigation de la Seine, la zone d'étude s'étend de son embouchure (délimitée par les bouées 7 et 8) à l'amont du pont de Normandie (bouées 25 et 26). Huit stations ont été sélectionnées (Figure 1 ; Tableau 1) et sont réparties selon deux transects de quatre stations chacun (transect A dans le chenal de navigation : stations 1, 3, 5 et 7 ; transect B sur le banc nord : stations 2, 4, 6 et 8).

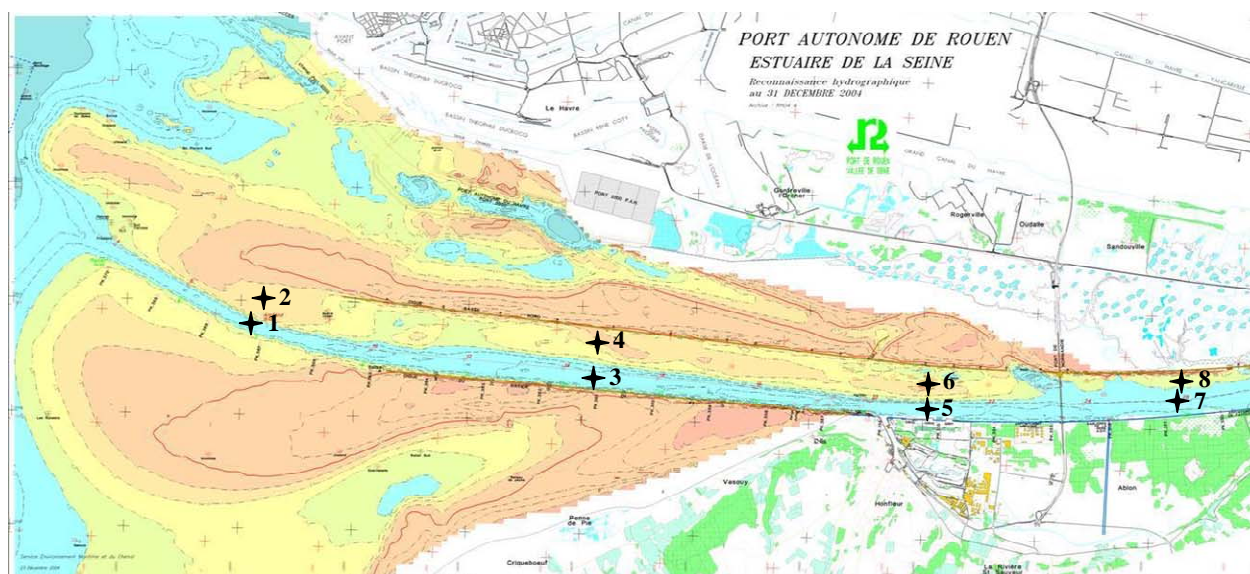


Figure 1. Localisation des stations d'échantillonnage dans le chenal de navigation de la Seine.

Tableau 1. Coordonnées géographiques des stations échantillonnées.

| Station | Latitude | Longitude | Station | Latitude | Longitude |
|---------|------------|-----------|---------|------------|-----------|
| 1 | 49°26,25 N | 0°04,82 E | 5 | 49°25,78 N | 0°14,65 E |
| 2 | 49°26,52 N | 0°04,88 E | 6 | 49°26,00 N | 0°14,63 E |
| 3 | 49°25,90 N | 0°09,63 E | 7 | 49°25,85 N | 0°18,15 E |
| 4 | 49°26,23 N | 0°09,62 E | 8 | 49°26,07 N | 0°18,15 E |

La campagne d'échantillonnage a été effectuée le 6 mars 2006 à bord du Côtes de la Manche (coefficient de marée : 58 ; débits : $794 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) dont le positionnement a été réalisé au moyen d'un GPS différentiel (précision d'environ 5 m). Chaque station a fait l'objet de trois prélèvements à l'aide d'une benne Hamon (surface de prélèvement : $0,25 \text{ m}^2$; Dauvin 1979) : deux répliqués ont été destinés à l'analyse de la macrofaune, un répliquat supplémentaire aux analyses granulométriques.

2. Traitement des échantillons

2.1. Échantillons sédimentaires

Le sédiment destiné à l'analyse granulométrique a été conservé dans des sacs plastifiés stockés en chambre froide. Il a ensuite été tamisé sous jet modéré d'eau douce sur un tamis de $50 \mu\text{m}$ afin de récupérer la fraction silto-argileuse (ou pélites) et éliminer le sel. Ces pélites ont été séchées à l'étuve (72 h à 90°C) puis pesées à 0,01 g près. Le reste du sédiment a également été séché à l'étuve puis passé sur 18 tamis en toile métallique inoxydable et à maille carrée, conformes à la norme AFNOR (vides de maille se succédant suivant une progression géométrique de base 1 et de raison $\sqrt[10]{10}$). Cet ensemble est fractionné en trois séries à l'intérieur desquelles les tamis sont placés successivement et par ordre de maille décroissante sur une tamiseuse Rotolab équipée d'une minuterie. Traditionnellement appliqués dans les études benthiques (Dewarumez, 1979 ; Prygiel, 1987 ; Luczak, 1996), les temps de tamisage pour chacune de ces séries sont les suivants :

- 1^{ère} série : vide de maille de 5 mm à 0,80 mm : 10 min ;
- 2^{ème} série : vide de maille de 0,63 à 0,20 mm : 20 min ;
- 3^{ème} série : vide de maille de 0,16 à 0,05 mm : 20 min.

Les résultats ont été exprimés en pourcentage du poids total de l'échantillon, en regroupant des classes granulométriques (Tableau 2). Ces dernières ont été établies selon une classification dérivée de celle de Larssonneur (1977) basée sur les normes françaises AFNOR et fixant la limite supérieure des pélites à 0,05 mm.

Tableau 2. Classes granulométriques dérivées de la classification de Larssonneur (1977).

| Catégories sédimentaires | Taille des particules (mm) |
|-----------------------------|----------------------------|
| Pélites (silts et argiles) | < 0,05 |
| Sables fins | [0,05 - 0,2[|
| Sables moyens | [0,2 - 0,5[|
| Sables grossiers | [0,5 - 2[|
| Petits graviers et granules | [2 - 5[|
| Graviers moyens à galets | > 5 |

L'analyse granulométrique a permis de caractériser les fonds de chaque station au travers d'une représentation graphique comprenant (i) un histogramme de fréquence pondérale et (ii) une courbe cumulative pondérale (Annexe 1). Ces deux types de présentation permettent respectivement de caractériser rapidement le sédiment et de réduire les irrégularités de l'échelle de tamis.

2.2. Echantillons biologiques

Les prélèvements destinés à l'analyse de la macrofaune ont été tamisés indépendamment sur une toile métallique à ouverture circulaire de 1 mm. Le refus de tamis a été fixé au formol dilué à 10% avec de l'eau de mer. Après ajout de rose bengale au laboratoire, les échantillons ont été triés, les organismes ayant été successivement séparés des fractions minérales et organiques. La macrofaune a ensuite été déterminée jusqu'au rang spécifique sous loupe binoculaire et microscope puis dénombrée (nombre d'individus.0,5m⁻²).

Les biomasses spécifiques ont ensuite été effectuées selon la méthode du Poids Sec Libre de Cendres (PSLC), conformément aux recommandations du Benthos Ecology Working Group de l'ICES¹ (Anonyme, 1986). Après leur identification, les individus ont été séchés à l'étuve (60°C pendant 72 h) puis pesés sur une balance de précision à 10⁻⁴ g (poids sec). Une seconde pesée a été réalisée après leur passage au four (6 h à 520°C, poids calciné). La différence de masse obtenue entre le poids sec et le poids calciné donne une estimation du PSLC.0,5m⁻².

3. Traitements des données

La démarche a consisté à définir la macrofaune benthique des huit stations échantillonnées. Les analyses des données brutes permettent d'établir divers classements des stations selon leur richesse en espèce. Cependant, le nombre d'individus recensés et leur biomasse étant faibles voire très faibles, il n'a pas paru utile de calculer des indices de diversité comme celui de Shannon-Wiever, ou d'organisation comme la régularité de Piélou ; de même aucune analyse multivariée n'a pu être mise en œuvre.

¹ ICES : International Council for the Exploration of the Sea

RESULTATS

1. Caractéristiques granulométriques

Les analyses granulométriques effectuées pour chaque station mettent en évidence une composition texturale du sédiment très variable (Annexe 1). Toutefois, et malgré leur éloignement géographique, certaines stations présentent une granulométrie de leur sédiment relativement similaire (Figure 2) :

- le sédiment des stations 3 et 5 dans une fosse qui ne fait pas l'objet de dragage d'entretien (fosse naturelle dans le chenal), très hétérogène, est dominé par des particules grossières (i.e. petits graviers, granules, galets) et des sables. Les pélites y sont peu représentées ;

- le sédiment des stations 1 (zone de dragage) et 4 (zone de clapage intermédiaire) est composé, en proportions relativement équivalentes, de sables fins (respectivement 52 et 49 %) et de vase (respectivement 45 et 44 %) ;

- le sédiment des stations 2 et 6 est très pauvre en pélites, au profit des sables fins (57 et 49 % respectivement) et moyens (31 et 37 % respectivement).

Aux stations localisées dans le secteur le plus amont de la zone d'étude, le sédiment correspond à un sable envasé (station 7, zone de dragage) et à une vase (station 8 : pélites > 75%).

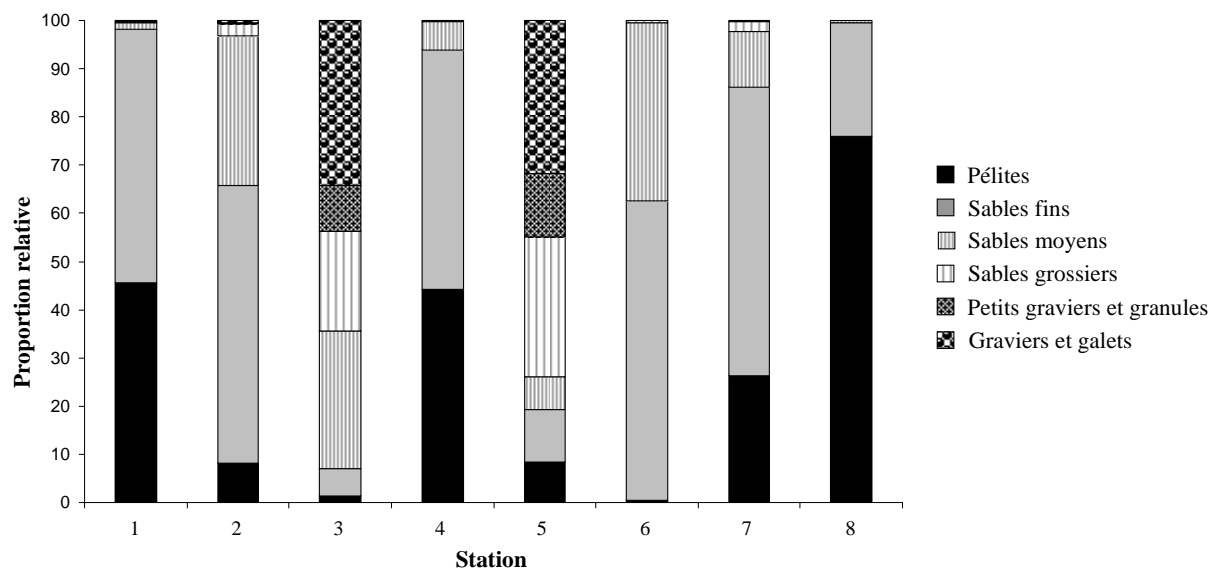


Figure 2. Proportions relatives des classes granulométriques du sédiment des huit stations du chenal de navigation.

2. Caractéristiques biologiques

2.1. Richesse spécifique

Un total de 23 taxons (tableau 3) a été récolté sur les 8 stations échantillonnées (annexe 2).

Tableau 3. Liste des espèces échantillonnées.

| Embranchement | Classe | Ordre | Famille | Espèce |
|---------------|--------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| Cnidaria | Anthozoa | Actinaria | Sagartiidae | <i>Sagartia troglodytes</i> |
| Nemertea | | | | Némerte sp. |
| Nemertea | Enopla | Hoploneurtea | Tetrastemmatidae | <i>Tetrastema helvolum</i> |
| Annelida | Polychaeta | Capitella | Capitellidae | <i>Capitella capitata</i> |
| Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Phyllodocidae | <i>Eteone foliosa</i> |
| Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Phyllodocidae | <i>Eteone picta</i> |
| Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Glyceridae | <i>Glycera tridactyla</i> |
| Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Nephtyidae | <i>Nephtys hombergii</i> |
| Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Nereidae | <i>Nereis succinea</i> |
| Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Hesionidae | <i>Psamathe fusca</i> |
| Annelida | Polychaeta | Spionida | Cirratulidae | <i>Chaetozone setosa</i> |
| Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | <i>Nerine bonnieri</i> |
| Annelida | Polychaeta | Spionida | Spionidae | <i>Polydora ciliata</i> |
| Annelida | Polychaeta | Terebellida | Pectinariidae | <i>Pectinaria koreni</i> |
| Arthropoda | Crustacea | Cirripedia | Balanidae | <i>Balanus crenatus</i> |
| Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Haustoriidae | <i>Haustorius arenarius</i> |
| Mollusca | Bivalvia | Eulamellibranchia | Montacutidae | <i>Mysella bidentata</i> |
| Mollusca | Bivalvia | Eulamellibranchia | Mytilidae | <i>Mytilus edulis</i> |
| Mollusca | Bivalvia | Eulamellibranchia | Pholadidae | <i>Barnea candida</i> |
| Mollusca | Bivalvia | Eulamellibranchia | Scrobicularidae | <i>Abra alba</i> |
| Mollusca | Bivalvia | Eulamellibranchia | Tellinidae | <i>Macoma balthica</i> |
| Mollusca | Bivalvia | Eulamellibranchia | Tellinidae | <i>Tellina fabula</i> |
| Echinodermata | Ophiuroidea | Ophiuroidea | Ophiolepidae | <i>Ophiura ophiura</i> |

Les groupes taxonomiques les mieux représentés sont les annélides polychètes et les mollusques bivalves, totalisant près de 75 % du nombre total d'espèces (Tableau 4). Les autres espèces récoltées appartiennent au groupe dit 'divers' (némerites et cnidaire ; 13,0 %) et aux phyla des arthropodes crustacés (8,7 %) et des échinodermes (4,7 %).

Tableau 4. Répartition relative du nombre total d'espèces récoltées au sein des différents embranchements.

| | Annélides | Mollusques | Arthropodes | Echinodermes | Divers |
|----------------------|-----------|------------|-------------|--------------|--------|
| Nombre d'espèces (%) | 47,8 | 26,1 | 8,7 | 4,4 | 13,0 |

Le nombre moyen d'espèces récoltées sur l'ensemble des huit stations est de l'ordre de $3,3 \pm 3,8$ espèces (sur une surface de $0,5 \text{ m}^2$) et de fortes disparités spatiales sont à souligner (Figure 3). Aucune espèce n'a été récoltée aux stations 2 et 4, tandis qu'à la station 3 est

atteint le maximum d'espèces (12 espèces). Considérant les autres stations, le nombre d'espèces récoltées fluctue entre 2 (station 8) et 4 (stations 1 et 7).

Il ressort de l'analyse de la distribution spatiale de cet indice, une nette distinction entre les transects A et B, les richesses spécifiques les plus faibles étant enregistrées sur le banc nord.

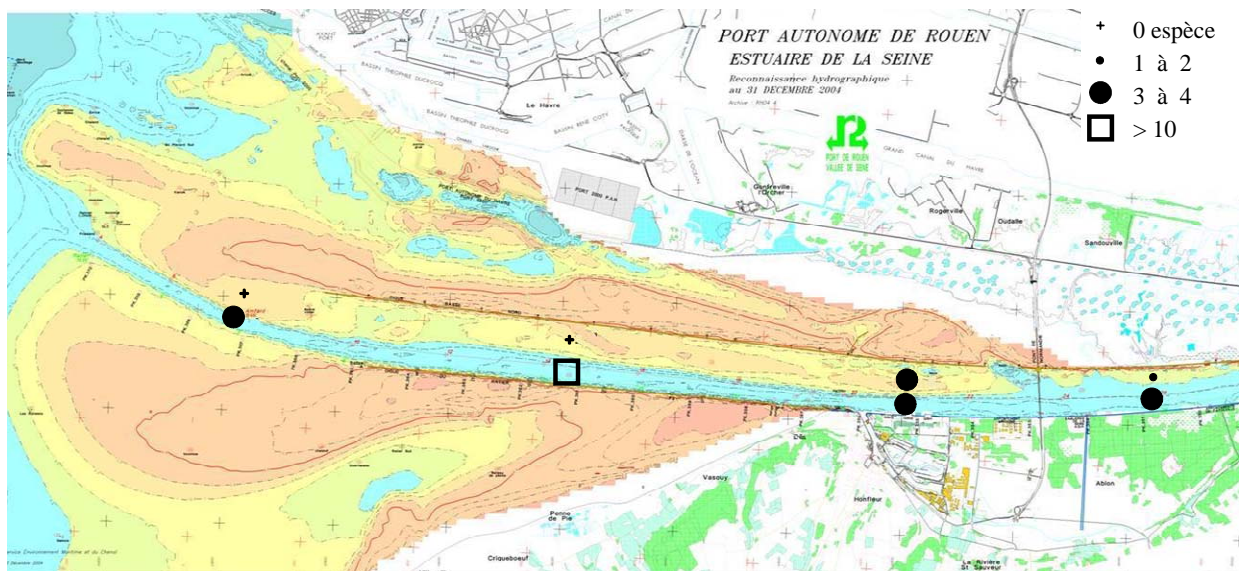


Figure 3. Distribution spatiale du nombre d'espèces macrobenthiques.

2.2. Abondances

A l'instar de la richesse spécifique, le nombre total d'individus récoltés est faible (173 individus). Les densités macrobenthiques sont majoritairement représentées par les mollusques et les annélides polychètes (respectivement 24,3 et 42,8 %). Les arthropodes et le groupe des 'divers' contribuent de façon similaire aux abondances tandis que les échinodermes sont numériquement peu représentés (Tableau 5).

Tableau 5. Répartition relative du nombre total d'individus récoltés au sein des différents embranchements.

| | Annélides | Mollusques | Arthropodes | Echinodermes | Divers |
|------------------------|-----------|------------|-------------|--------------|--------|
| Nombre d'individus (%) | 24,3 | 42,8 | 13,9 | 0,5 | 18,5 |

Les abondances moyennes macrobenthiques sont très faibles ($21,6 \pm 29,8 \text{ ind.}0,5\text{m}^{-2}$) mais la distribution spatiale des densités souligne de nouveau la distinction entre les deux transects. Les abondances enregistrées aux différents points sont très variables (Figure 4) : valeurs minimales aux stations 2 et 4 ($0 \text{ ind.}0,5\text{m}^{-2}$), et maximales à la station 5 ($84 \text{ ind.}0,5\text{m}^{-2}$). A cette dernière station, les densités plus élevées sont due à la présence du Mollusque *Mytilus*

edulis (54 ind.0,5m⁻²) et du Némerte *Tetrastema helvolum* (29 ind.0,5m⁻²). La station 6 se démarque des autres stations du transect B (20 ind.0,5m⁻²) en raison de la dominance numérique de l'amphipode *Haustorius arenarius* (18 ind.0,5m⁻²).

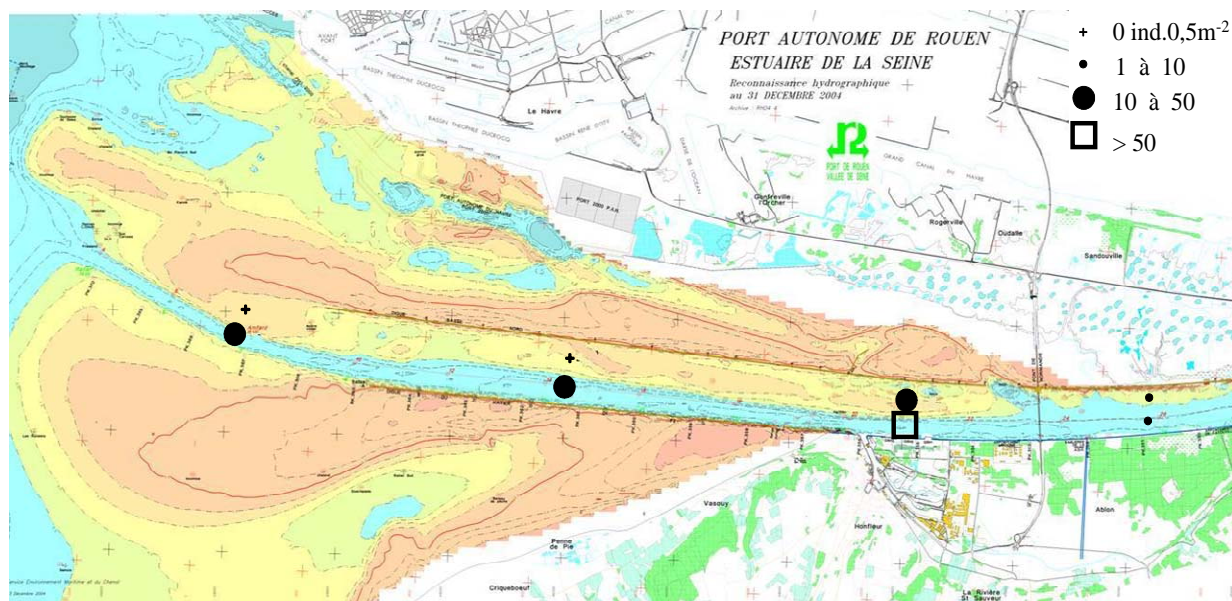


Figure 4. Distribution spatiale des abondances totales (ind.0,5m⁻²) de la macrofaune benthique.

Les six premières espèces représentent 83,4 % du nombre total d'individus récoltés. Il s'agit du mollusque bivalve *Mytilus edulis*, du némerite *Tetrastema helvolum*, des arthropodes *Balanus crenatus* et *Haustorius arenarius* et des annélides polychètes *Capitella capitata* et *Pectinaria koreni*. Ce cortège d'espèces numériquement dominantes, dont la valeur moyenne est portée dans le tableau 6, est très hétérogène : il regroupe en effet des espèces de fonds durs (*M. edulis*, *B. crenatus*) dans les deux stations 3 et 5 de substrat grossier dans une zone non draguée, de sables fins envasés (*P. koreni*) ou encore de fonds riches en matière organique (*C. capitata*). Néanmoins, les valeurs élevées de leurs écart-types soulignent l'hétérogénéité de leur répartition entre les stations échantillonnées.

Tableau 6. Abondance moyenne (ind.0,5m⁻²) et écart-type des six espèces numériquement dominantes.

| Espèces | Abondance moyenne (ind.0,5m ⁻²) | Ecart-type |
|-----------------------------|---|------------|
| <i>Mytilus edulis</i> | 8,62 | 19,07 |
| <i>Tetrastema helvolum</i> | 3,62 | 10,25 |
| <i>Haustorius arenarius</i> | 2,25 | 6,36 |
| <i>Capitella capitata</i> | 2,12 | 6,01 |
| <i>Pectinaria koreni</i> | 0,75 | 2,12 |
| <i>Balanus crenatus</i> | 0,75 | 1,75 |

2.3. Biomasses

A l'instar de la richesse spécifique et des densités faunistiques, les biomasses macrobenthiques sont très faibles ($<0,1$ g PSLC.0,5m⁻²). Seules les valeurs enregistrées aux stations 3 et 5 se distinguent (respectivement 1,56 et 3,49 g PSLC.0,5m⁻²) en raison des abondances du mollusque *Mytilus edulis* (Figure 5).

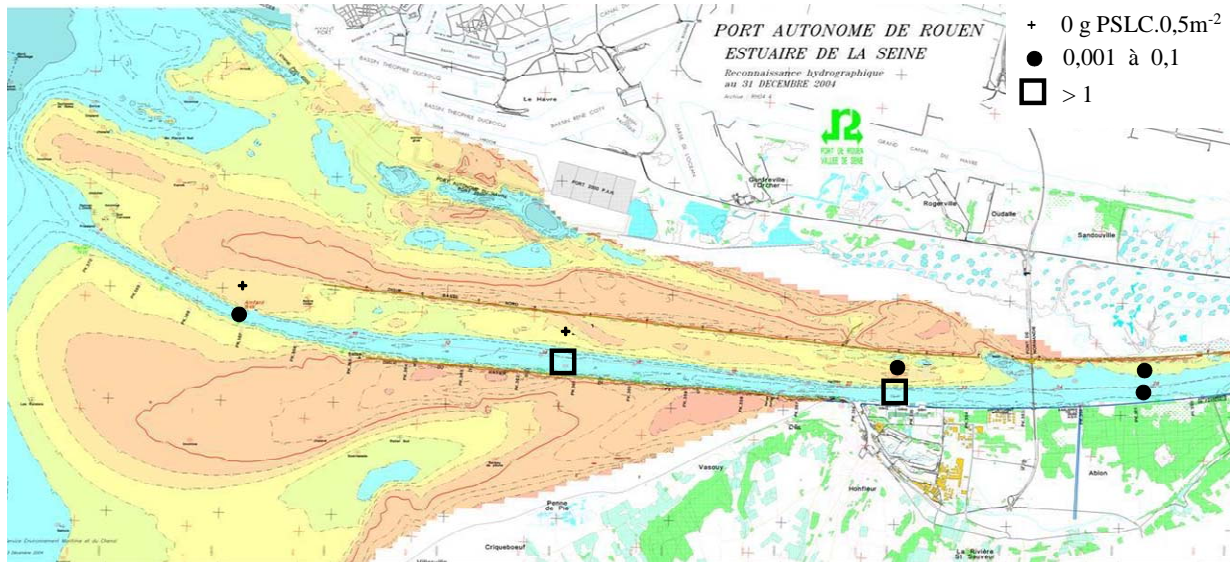


Figure 5. Distribution spatiale des biomasses totales (g PSLC.0,5m⁻²) de la macrofaune benthique.

DISCUSSION

L'embouchure de la Seine est un secteur fortement anthropisé : les aménagements réalisés notamment dans le but de développer les infrastructures portuaires en ont profondément modifié sa géométrie et son hydrodynamisme en concentrant le flot dans les deux fosses nord et sud et le jusant dans le chenal de navigation ce qui en font des zones peu propices à la faune macrobenthique, aussi bien en terme de survie que de recrutement. Le chenal de navigation du Port Autonome de Rouen nécessite des dragages réguliers de ses fonds localisés sur la barre d'embouchure et sur une barre intérieure (stations 1 et 7). Sa prospection, à travers cette étude des peuplements macrobenthiques subtidiaux et du sédiment associé, permet d'affirmer que ces peuplements colonisant ces fonds sont pauvres, tant en nombre d'espèces que d'individus. En outre, les analyses granulométriques du sédiment soulignent, même entre stations relativement proches, l'hétérogénéité spatiale de l'habitat. Celui-ci présente des types sédimentaires en effet bien différents, allant des vases aux sables propres ou aux sédiments plus grossiers. Toutefois, les sédiments les plus fins ont été majoritairement

récoltés dans la zone du banc nord (transect B : stations 2, 4, 6 et 8). C'est d'ailleurs ce transect qui présente de façon surprenante les plus faibles indices biologiques au regard des stations situées dans la zone plus profonde du chenal (transect A). Au total, ce ne sont que 5 espèces et 22 individus qui y ont été récoltés, les stations 2 et 4 se caractérisant même par l'azoïe du sédiment. Cette étonnante pauvreté faunistique de la zone peut être surprenante d'autant qu'elle ne fait pas l'objet de dragages. Seule la station 4 fait l'objet de clapage une partie de l'année dans cette zone dite 'intermédiaire' ; la station 2 pourrait être affectée de débordement de puits de la drague faisant route vers le Kannik. C'est d'ailleurs dans ces deux stations aval qu'aucun organisme benthique n'a été recueilli en mars 2006. Les deux autres stations plus en amont du banc nord quoique très pauvres sont toutefois colonisées par quelques espèces benthiques.

Les peuplements localisés dans le chenal de navigation sont quant à eux constitués d'une macrofaune plus abondante et composés de bien plus d'espèces (19 au total). Ce résultat à l'échelle de ce transect, occulte en revanche son hétérogénéité spatiale puisqu'à l'instar de la composition granulométrique, les indices biologiques varient fortement selon la station considérée, comme le soulignent moyenne et écart-type des richesses spécifique et densité (respectivement $5,0 \pm 4,3$ espèces et $38,0 \pm 36,0$ ind./ $0,5\text{m}^2$). Les effectifs maximaux sont en outre enregistrés aux stations présentant un sédiment à la fois plus grossier et hétérogène permettant, à la station 3, l'installation d'une macrofaune aux préférences édaphiques plus variées, y compris d'espèces de substrats durs comme *Mytilus edulis* et *Balanus crenatus*.

Il est connu que dans les zones endiguées des chenaux de navigation portuaire le benthos subit des perturbations. Les dragages peuvent entraîner la défaunation partielle ou totale du sédiment (Lu & Wu, 2000) et les processus de recolonisation (et en conséquent, du temps nécessaire à la recolonisation) sont fonction de nombreux facteurs tels l'hydrodynamisme du secteur, les caractéristiques physiques et chimiques du substrat, ou encore les peuplements à proximité qui permettraient une recolonisation progressive de la zone endommagée par leur transport latéral (Guerra-Garcia & Garcia-Gomez, 2006). De même, à l'inverse, un dépôt de dragage peut également conduire à un recouvrement temporaire néfaste pour la faune en place (Alzieu, 2003). Dans le cas de cette prospection 2006, les analyses granulométriques ne mettent pas en évidence une proportion élevée de pélites, c'est en raison de la récolte de sédiment sur une profondeur de 10 à 15 cm qu'implique le mode de prélèvement (Dauvin, 1979), empêchant alors toute détection de particules fines récemment déposées en surface. Ce placage de vase en surface pourrait alors modifier la qualité de l'habitat, notamment en terme d'oxygénation du sédiment superficiel. Suivant l'épaisseur du dépôt sédimentaire et sa

richesse en matière organique (influençant l'intensité de la minéralisation), des zones d'hypoxie et/ou d'anoxie sont susceptibles de se développer plus ou moins rapidement. Peu résistante à ce type de stress physiologique (Montagna & Ritter, 2005), la macrofaune voit alors sa survie limitée (Diaz & Rosenberg, 1995 ; Nilsson, 2000).

Au regard d'études antérieures (Mouny *et al.*, 1998 ; Janson & Desroy, données non-publiées), les indices biologiques des stations du banc nord (transect B) apparaissent très inférieurs à ceux relevés à proximité du pont de Normandie et en fosses nord et sud (Tableau 7). En revanche, les indices se référant aux stations du chenal de navigation sont du même ordre de grandeur que celles déterminées par ces derniers auteurs dans le secteur aval du chenal de navigation et dans les fosses nord et sud. L'effet saisonnier peut cependant jouer à la fois sur la richesse spécifique et l'abondance : hiver pour la campagne PECTOW et fin d'été-début d'automne, période la plus favorable à la macrofaune, dans le cas des prélèvements de Mouny *et al.* (1998).

Dans le cadre de cette étude, les indices faunistiques ne s'organisent pas selon un gradient amont-aval, contrairement aux résultats de Mouny *et al.* (1998) mais plutôt selon la bathymétrie, les stations localisées sur le banc nord abritant une macrofaune benthique très oligospécifique et peu abondante.

Une campagne automnale (fin septembre, début octobre) sur les mêmes sites permettrait de vérifier ces premiers résultats hivernaux. Cependant à des fins de comparaison des effets des conditions saisonnières comme soulignés dans le tableau 7 il est recommandé de réaliser deux campagnes successives la première en automne (septembre - octobre) et la seconde à la fin de l'hiver suivant en mars par exemple.

Tableau 7. Comparaison du nombre moyen d'espèces et d'individus récoltés à différentes époques dans différents secteurs de l'embouchure de la Seine (Nst : nombre de stations).

| Secteur | Nst | Richesse spécifique | Abondance (ind.0,5m ⁻²) | Auteurs |
|--|-----|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Fosse nord (novembre 1993) | 5 | 9 | 89 | Mouny <i>et al.</i> , 1998 |
| Fosse nord (SA62, mars 2002) | 1 | 4 | 22 | Janson & Desroy, unpublished data |
| Fosse nord (SA62, septembre 2002) | 1 | 7 | 30 | Janson & Desroy, unpublished data |
| Fosse sud interne (novembre 1993) | 2 | 8 | 131 | Mouny <i>et al.</i> , 1998 |
| Fosse sud (SA52, mars 2002) | 1 | 9 | 44 | Janson & Desroy, unpublished data |
| Fosse sud (SA52, septembre 2002) | 1 | 7 | 58 | Janson & Desroy, unpublished data |
| Chenal aval (de l'embouchure à Honfleur ; novembre 1993) | 2 | 8 | 35 | Mouny <i>et al.</i> , 1998 |
| Chenal amont (de Honfleur au Pont de Tancarville ; novembre 1993) | 2 | 4 | 11 | Mouny <i>et al.</i> , 1998 |
| Pont Normandie (octobre 1995) | 1 | 12 | 51 | Mouny <i>et al.</i> , 1998 |
| Chenal de navigation (transect A) | 4 | 5 | 38 | Cette étude |
| Banc nord (transect B) | 4 | 2 | 6 | Cette étude |

BIBLIOGRAPHIE

Alzieu, C., 2003. Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion. *Editions de l'IFREMER*, 247 p.

Anonyme, 1986. Fifth report of the Benthos Ecology Working Group. *International Council for the exploration of the sea (CM Papers and Reports)*, CM 1986/L: 27, 33 p.

Barnay, A.S., 2003. Structure des peuplements de sables fins plus ou moins envasés en Manche : échelles spatiales et biodiversité. *Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI)*, 250 p.

Borja, A., Franco, J., Perez, V., 2000. A marine biotic index to the establish ecology quality of soft-bottom benthos within european estuarine coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, **40**: 1100-1114.

Cabioch, L. (ed.), 1986. La Baie de Seine. *Actes de colloque IFREMER*, 4 : 532 p.

Dauvin, J. C., 1979. Recherches quantitatives sur le peuplement des sables fins de la Pierre Noire et sur sa perturbation par les hydrocarbures de l'Amoco Cadiz. *Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Paris VI*, 251 p.

Dauvin, J.C. & Gillet, P., 1991. Spatio-temporal variability of the demographic structure of *Owenia fusiformis* Delle Chiaje (Annelida Polychaeta) from the Bay of Seine (Eastern English Channel). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **152**: 105-122.

Dauvin, J.C., 1992. Cinétique du recrutement et croissance des juvéniles d'*Owenia fusiformis* Delle Chiaje en Baie de Seine (Manche Orientale). *Oceanologica Acta*, **15**: 187-196.

Dauvin, J.C., 2002. Patrimoine biologique et chaînes alimentaires. *Programme Scientifique Seine Aval*, fascicule 7, 47 p.

Dauvin, J.-C., Thiébaud, E., Gomez Gesteira, J.L., Ghertsos, K., Gentil, F., Ropert, M. & Sylvand, B., 2004. Spatial structure of a subtidal macrobenthic community in the Bay of Veys (western Bay of Seine, English Channel). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **307**: 217-235.

Dauvin, J.C. & Ruellet, T., 2005. Indicateurs benthiques de l'état des peuplements benthiques de l'estuaire marin et moyen et de la partie orientale de la baie de Seine. *Rapport Seine Aval*, 41 p.

Dauvin, J.C., 2005. Expertise in coastal zone environmental impact assessments. *Marine Pollution Bulletin*, **50**: 107-100.

Dauvin, J.C., Desroy, N., Janson, A.L., Vallet, C. & Duhamel, S., 2006. Recent changes of estuarine benthic and suprabenthic communities in response to harbour infrastructural development. *Marine Pollution Bulletin*, **53**: 80-90.

Dauvin, J.C., Ruellet, T., Desroy, N. & Janson, A.L. (sous presse). The ecological quality status of the Bay of Seine and the Seine estuary: use of biotic indices. *Marine Pollution Bulletin*.

Dewarumez, J. M., 1979. Etude biologique d'*Abra alba*, Wood (mollusque lamellibranche) du littoral de la Mer du Nord. *Thèse de 3^{ème} cycle, Université des Sciences et Techniques de Lille*, 139 p + annexes.

Diaz, R. J. & Rosenberg, R., 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, **33**: 245-303.

Elkaïm, B., Ibanez, F. & Proniewski, F., 1982. Le benthos subtidal de l'estuaire de la Seine: Analyse statistique des peuplements. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **64**: 231-252.

Gentil, F., 1976. Distribution des peuplements benthiques en Baie de Seine. *Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Paris VI*, 116 p.

Gentil, F. & Cabioch, L., 1997. Carte des peuplements macrobenthiques de la Baie de Seine et Manche centrale sud. Carte et notice explicative de la carte. *Editions de la station Biologique de Roscoff*, 18 p.

Ghertsos, K., 2002. Structure spatio-temporelle des peuplements macrobenthiques de la baie de Seine à plusieurs échelles d'observation. *Thèse de doctorat Université des Sciences et Technologies de Lille, spécialité « Biodiversité et Ecosystèmes Fossiles et Actuels - spécialité Océanologie Biologique »*, 182 p.

Ghertsos, K., Luczak, C. & Dauvin, J.C., 2001. Identification of global and local components of spatial structure of marine benthic communities: example from the Bay of Seine (Eastern English Channel). *Journal of Sea Research*, **45**: 63-77.

Lagadeuc, Y., 1990. Processus hydrodynamiques, dispersion larvaire et recrutement en régime mégatidal. Exemple de *Pectinaria koreni* (annélide polychète), en Baie de Seine (Manche). *Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille*, 279 p.

Lambert, R., 1991. Recrutement des espèces benthiques à larves pélagiques en régime mégatidal. Cas de *Pectinaria koreni* (Malmgren), annélide polychète. *Thèse de doctorat, Université de Rennes 1*, 176 p.

Larsonneur, C., 1977. La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français. Méthode de mise au point et utilisée en Manche. *Journal de Recherche en Océanographie*, **2**: 33-39.

Lu, L. & Wu, R. S. S., 2000. An experimental study on recolonisation and succession of marine macrobenthos in defaunated sediment. *Marine Biology*, **136**: 291-302.

Luczak, C., 1996. Dynamique du recrutement au sein du peuplement à *Abra alba* dans la baie sud de la Mer du Nord : approche systémique. *Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille*, 265 p + annexes.

Montagna, P. A. & Ritter, C., 2005. Direct and indirect effects of hypoxia on benthos in Corpus Christi Bay, Texas, U.S.A. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **330**: 119-131.

Mouny, P., Dauvin, J.C., Bessineton, C., Elkaim, B. & Simon, S., 1998. Spatio-temporal patterns of the biological components from the Seine Estuary: first results. *Hydrobiologia*, **373/374**: 333-347.

Nilsson, H. C., 2000. Interaction between water flow and oxygen deficiency on growth in the infaunal brittle star *Amphiura filiformis* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Journal of Sea Research*, **44**: 233-241.

Prygiel, J., 1987. Etude du peuplement à *Ophelia borealis* et de l'annélide *Nephtys cirrosa* (Ehlers 1868) en Manche Orientale et en Mer du Nord Occidentale. *Thèse de 3^{ème} cycle*, Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres Artois, 128 p + annexes.

Thiébaud, E., 1994. Dynamique du recrutement et dispersion larvaire de deux annélides polychètes, *Owenia fusiformis* et *Pectinaria koreni*, en régime mégatidal (Baie de Seine orientale, Manche). *Thèse de doctorat*, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 152 p.

Thiébaud, E., Cabioch, L., Dauvin, J.C., Retière, C. & Gentil, F., 1997. Spatio-temporal persistence of the *Abra alba* - *Pectinaria koreni* muddy-fine sand community of the Eastern Bay of Seine. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **77**: 1165-1185.

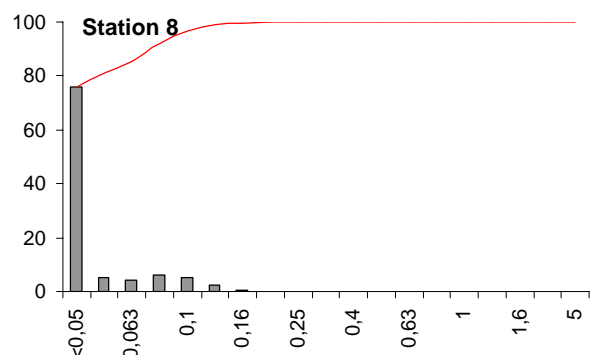
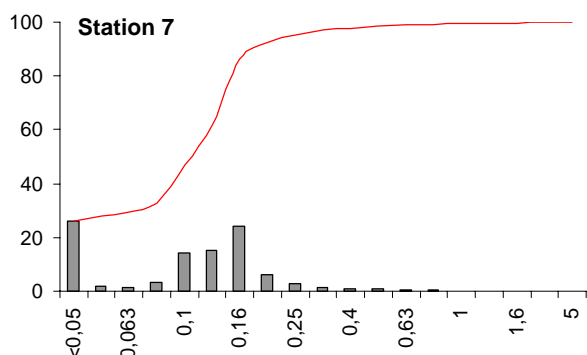
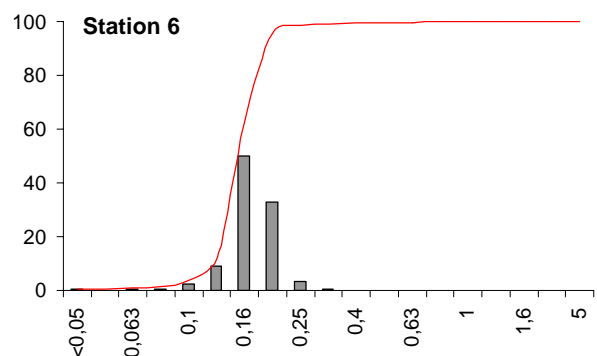
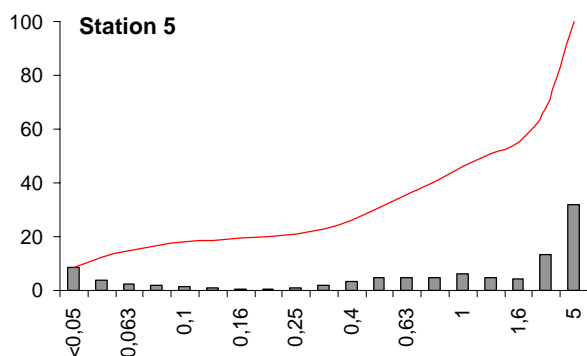
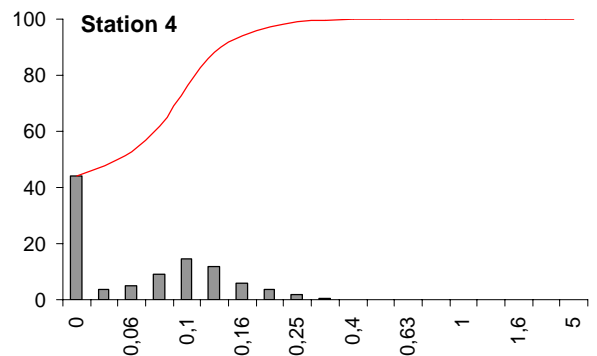
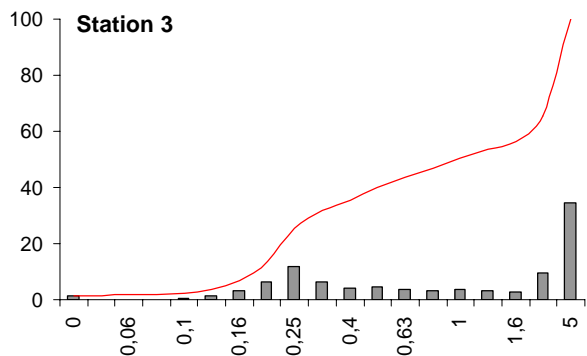
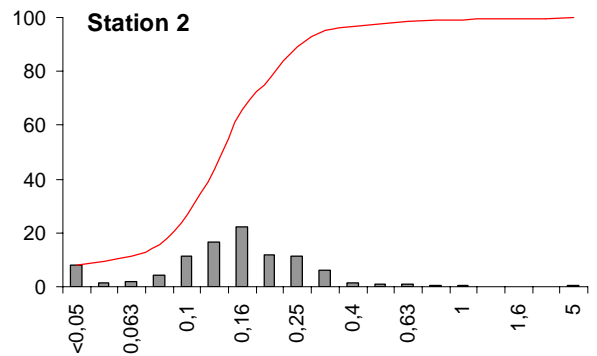
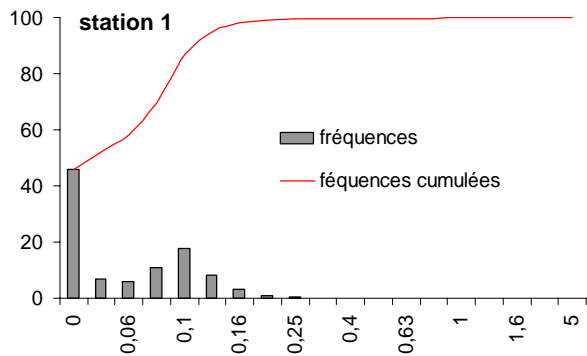
Annexe 1

**Analyses granulométriques : données brutes et
histogramme de distribution de fréquence pondérale et
courbe cumulative**

| MAILLE (mm) | STATION 1 | | STATION 2 | | STATION 3 | | STATION 4 | |
|----------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | % | % CUM. | % | % CUM. | % | % CUM. | % | % CUM. |
| <0,05 | 45,69 | 45,69 | 8,16 | 8,16 | 1,40 | 1,40 | 44,25 | 44,25 |
| 0,05 | 6,60 | 52,29 | 1,37 | 9,52 | 0,17 | 1,57 | 3,55 | 47,80 |
| 0,063 | 5,98 | 58,28 | 1,91 | 11,43 | 0,11 | 1,68 | 5,12 | 52,93 |
| 0,08 | 11,05 | 69,33 | 4,27 | 15,70 | 0,19 | 1,87 | 9,03 | 61,96 |
| 0,1 | 17,67 | 87,00 | 11,36 | 27,07 | 0,37 | 2,24 | 14,35 | 76,31 |
| 0,125 | 8,05 | 95,05 | 16,39 | 43,45 | 1,36 | 3,59 | 11,82 | 88,12 |
| 0,16 | 3,14 | 98,19 | 22,32 | 65,77 | 3,40 | 6,99 | 5,78 | 93,90 |
| 0,2 | 0,89 | 99,08 | 11,84 | 77,60 | 6,55 | 13,54 | 3,57 | 97,47 |
| 0,25 | 0,29 | 99,37 | 11,60 | 89,21 | 11,78 | 25,32 | 1,81 | 99,27 |
| 0,315 | 0,10 | 99,47 | 6,13 | 95,34 | 6,39 | 31,71 | 0,40 | 99,67 |
| 0,4 | 0,07 | 99,54 | 1,55 | 96,89 | 3,87 | 35,58 | 0,14 | 99,81 |
| 0,5 | 0,08 | 99,61 | 0,94 | 97,83 | 4,40 | 39,99 | 0,08 | 99,89 |
| 0,63 | 0,05 | 99,67 | 0,77 | 98,60 | 3,55 | 43,53 | 0,04 | 99,92 |
| 0,8 | 0,06 | 99,73 | 0,29 | 98,89 | 3,24 | 46,77 | 0,03 | 99,95 |
| 1 | 0,06 | 99,79 | 0,29 | 99,18 | 3,78 | 50,55 | 0,02 | 99,97 |
| 1,25 | 0,05 | 99,84 | 0,12 | 99,29 | 2,98 | 53,53 | 0,02 | 99,99 |
| 1,6 | 0,04 | 99,88 | 0,08 | 99,37 | 2,63 | 56,16 | 0,01 | 100,00 |
| 2 | 0,12 | 100,00 | 0,23 | 99,61 | 9,49 | 65,65 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | 0,00 | 100,00 | 0,39 | 100,00 | 34,35 | 100,00 | 0,00 | 100,00 |

| MAILLE (mm) | STATION 5 | | STATION 6 | | STATION 7 | | STATION 8 | |
|----------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | % | % CUM. | % | % CUM. | % | % CUM. | % | % CUM. |
| 0,05 | 3,94 | 12,40 | 0,16 | 0,53 | 1,97 | 28,17 | 5,10 | 81,10 |
| 0,063 | 2,23 | 14,63 | 0,24 | 0,77 | 1,30 | 29,48 | 4,41 | 85,50 |
| 0,08 | 1,94 | 16,58 | 0,44 | 1,22 | 3,20 | 32,68 | 6,27 | 91,77 |
| 0,1 | 1,31 | 17,88 | 2,37 | 3,59 | 14,19 | 46,86 | 5,11 | 96,88 |
| 0,125 | 0,81 | 18,69 | 8,96 | 12,55 | 15,28 | 62,14 | 2,25 | 99,13 |
| 0,16 | 0,61 | 19,30 | 49,94 | 62,48 | 24,07 | 86,21 | 0,52 | 99,65 |
| 0,2 | 0,52 | 19,82 | 33,08 | 95,57 | 6,34 | 92,56 | 0,16 | 99,82 |
| 0,25 | 1,07 | 20,90 | 3,17 | 98,74 | 2,78 | 95,34 | 0,07 | 99,89 |
| 0,315 | 2,07 | 22,96 | 0,53 | 99,27 | 1,59 | 96,93 | 0,03 | 99,92 |
| 0,4 | 3,22 | 26,19 | 0,21 | 99,48 | 0,85 | 97,78 | 0,02 | 99,94 |
| 0,5 | 4,80 | 30,99 | 0,13 | 99,61 | 0,77 | 98,55 | 0,01 | 99,94 |
| 0,63 | 4,65 | 35,64 | 0,11 | 99,73 | 0,45 | 99,00 | 0,03 | 99,98 |
| 0,8 | 4,75 | 40,38 | 0,06 | 99,79 | 0,26 | 99,25 | 0,01 | 99,99 |
| 1 | 6,00 | 46,38 | 0,08 | 99,87 | 0,21 | 99,46 | 0,01 | 99,99 |
| 1,25 | 4,54 | 50,92 | 0,06 | 99,92 | 0,12 | 99,58 | 0,01 | 100,00 |
| 1,6 | 4,11 | 55,04 | 0,05 | 99,97 | 0,09 | 99,67 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | 13,11 | 68,15 | 0,03 | 100,00 | 0,16 | 99,83 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | 31,85 | 100,00 | 0,00 | 100,00 | 0,17 | 100,00 | 0,00 | 100,00 |

Fréquence en pourcentage



Vide de maille (mm)

Annexe 2

Données faunistiques

**Abondances et biomasses par réplicat (0,25m²) des
espèces récoltées après tamisage (1 mm) dans les huit
stations échantillonnées**

| | | STATION 1 | | | Biomasse (PSLC.0,5m ⁻²) |
|--------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|--|
| | | R1 | R2 | Ni cumulé | |
| Polychète | <i>Nephtys hombergii</i> | | 3 | 3 | |
| | <i>Pectinaria koreni</i> | | 6 | 6 | |
| | <i>Polydora ciliata</i> | | 1 | 1 | |
| | taxa cumulés | | | | 0,09619 |
| TOTAL | | 0 | 10 | 10 | 0,09619 |

| | | STATION 2 | | |
|--|--|-----------|----|-----------|
| | | R1 | R2 | Ni cumulé |

| | | STATION 3 | | | Biomasse (PSLC.0,5m ⁻²) |
|---------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|--|
| | | R1 | R2 | Ni cumulé | |
| Polychète | <i>Capitella capitata</i> | 14 | 3 | 17 | |
| | <i>Chaetozone setosa</i> | 1 | | 1 | |
| | <i>Eteone foliosa</i> | 1 | | 1 | |
| | <i>Eteone picta</i> | 1 | 1 | 2 | |
| | <i>Glycera tridactyla</i> | 4 | | 4 | |
| | <i>Nephtys hombergii</i> | 2 | | 2 | |
| | <i>Nereis succinea</i> | 1 | 1 | 2 | |
| | <i>Psamathe fusca</i> | | 1 | 1 | |
| taxa cumulés | | | | | 0,02676 |
| Mollusque | <i>Abra alba</i> | 1 | | 1 | |
| | <i>Mytilus edulis</i> | 6 | 9 | 15 | |
| | <i>Tellina fabula</i> | | 1 | 1 | |
| taxa cumulés | | | | | 1,53199 |
| Echinoderme | <i>Ophiura ophiura</i> | | 1 | 1 | |
| taxa cumulés | | | | | 0,00731 |
| TOTAL | | 31 | 17 | 48 | 1,56606 |

| | | STATION 4 | | | Biomasse (PSLC.0,5m ⁻²) |
|--|--|-----------|----|-----------|--|
| | | R1 | R2 | Ni cumulé | |

| | | STATION 5 | | | Biomasse (PSLC.0,5m ⁻²) |
|---------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|--|
| | | R1 | R2 | Ni cumulé | |
| Némerte | Némerte sp. | | 1 | 1 | |
| | <i>Tetrastema helvolum</i> | 26 | 3 | 29 | |
| taxa cumulés | | | | | 0,00099 |
| Mollusque | <i>Mytilus edulis</i> | | 54 | 54 | |
| taxa cumulés | | | | | 3,49347 |
| TOTAL | | 26 | 58 | 84 | 3,49446 |

| | | STATION 6 | | | Biomasse (PSLC.0,5m ⁻²) |
|--------------|-----------------------------|------------------|-----------|-----------|--|
| | | R1 | R2 | Ni cumulé | |
| Polychète | <i>Nerine bonnieri</i> | | 1 | 1 | 0,00386 |
| Crustacé | <i>Haustorius arenarius</i> | 9 | 9 | 18 | 0,01332 |
| Mollusque | <i>Barnea candida</i> | | 1 | 1 | 0,00001 |
| TOTAL | | 9 | 11 | 20 | 0,01723 |

| | | STATION 7 | | | Biomasse (PSLC.0,5m ⁻²) |
|--------------|-----------------------------|------------------|----------|-----------|--|
| | | R1 | R2 | Ni cumulé | |
| Cnidaire | <i>Sagartia troglodytes</i> | | 1 | 1 | 0,00109 |
| Némerte | <i>Tetrastema helvolum</i> | | 1 | 1 | 0,00014 |
| Crustacé | <i>Balanus crenatus</i> | | 5 | 5 | 0,00738 |
| Mollusque | <i>Mysella bidentata</i> | 1 | | 1 | 0,0001 |
| TOTAL | | 1 | 7 | 8 | 0,00871 |

| | | STATION 8 | | | Biomasse (PSLC.0,5m ⁻²) |
|--------------|-------------------------|------------------|----------|-----------|--|
| | | R1 | R2 | Ni cumulé | |
| Crustacé | <i>Balanus crenatus</i> | 1 | | 1 | 0,00051 |
| Mollusque | <i>Macoma balthica</i> | 1 | | 1 | 0,00038 |
| TOTAL | | 2 | 0 | 2 | 0,00089 |