

LE MACROZOOBENTHOS DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

Actualisation cartographique en condition estivale – septembre 2000
Relation avec la couverture sédimentaire



Rapport final - décembre 2001

Sylvain DUHAMEL

Etude financée par le Port Autonome de Rouen

CELLULE DE SUIVI DU LITTORAL HAUT-NORMAND

(association régie par la Loi du 1^{er} juillet 1901)

16, Quai Casimir Delavigne

76600 LE HAVRE CEDEX

LE MACROZOOBENTHOS DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

**Actualisation cartographique
En relation avec la couverture sédimentaire**

Par : Sylvain DUHAMEL ¹

En collaboration avec

Jean Claude Brun-Cottan ² Granulométrie

Michel Desprez / consultant ³ Détermination

Sébastien Mayot ¹ Mesures des biomasses

Benjamin Potel ¹ Prélèvements

Gwenola de Roton ¹ Cartographie

1 : Cellule de Suivi du Littoral Haut Normand / Le Havre

2 : Université de Caen – Laboratoire de Morphodynamique Continentale et Côtière

3 : GEMEL-Picardie / Saint Valery sur Somme (80)

Décembre 2001

RESUME

Cette étude, initiée dans le cadre conjoint des activités de dragages du Port Autonome de Rouen en liaison avec le dépôt du Kannik d'une part, et du projet d'extension du Port Autonome du Havre d'autre part, porte sur la description de la macrofaune benthique (ou macrobenthos)¹ de l'estuaire de la Seine dans la zone comprise entre +3m et -12m CM. Elle a pour objectif principal de décrire sous forme cartographique la couverture sédimentaire et la distribution spatiale des organismes selon la richesse en espèces, leur abondance numérique (densité) et pondérale (biomasse). Deux facteurs susceptibles de structurer la répartition de la faune ont fait l'objet d'une attention particulière : la bathymétrie et la taille des particules sédimentaires.

La couverture sédimentaire se caractérise par l'absence d'un gradient d'affinement vers l'amont. A l'échelle des deux fosses, il existe une évolution qui se produit plutôt selon l'axe transversal : le sédiment s'affine en fosse nord de part et d'autre de l'empreinte de divagation du chenal et une tendance opposée apparaît en fosse sud, avec une zone centrale fortement envasée par rapport au banc sableux du Ratier. A l'extérieur de la fosse nord, deux ensembles remarquables apparaissent : un substrat hétérogène à cailloux au nord et un vaste banc de sable au sud, qui s'étend vers l'ouest dans le prolongement de la digue submersible jusqu'au dépôt de dragages du Kannik (Port Autonome de Rouen).

L'image obtenue étant ponctuelle, celle-ci doit être replacée dans un contexte d'envasement dont les fluctuations temporelles sont importantes, notamment au débouché de l'estuaire.

L'organisation de la faune s'effectue quant à elle en premier lieu selon l'axe longitudinal avec deux unités faunistiques distinctes déjà connues : la communauté des sédiments envasés à *Macoma balthica* en amont jusqu'à l'isobathe -3m, suivie pour des fonds plus importants par le peuplement des sables fins envasés à *Abra alba-Pectinaria koreni*. Ces deux entités montrent un chevauchement entre 0 et -3m CM, mais font l'objet de différences considérables sur le plan des densités et richesses spécifiques, tendant désormais à suggérer l'absence d'un véritable continuum entre les pôles amont et aval.

Une structuration existe également selon l'axe transversal à l'aval des fosses, avec un gradient d'augmentation depuis les bancs de sables intertidaux qui s'étendent aux pieds des digues submersibles vers le port du Havre au nord et le littoral Augeron au sud.

Les analyses statistiques aboutissent à la distinction de sept secteurs différents :

- Le peuplement marin côtier à *Abra-Pectinaria* qui possède la richesse spécifique et les densités les plus élevées sur des fonds de sables fins envasés. Une comparaison avec d'autres sites montre que cet ensemble subit une certaine influence du fleuve et des dragages, notamment de part l'abondance de certaines espèces opportunistes ;
- Une variante de ce peuplement sur les fonds caillouteux, mais dont les biomasses sont inférieures ;
- Une zone d'interface au pied de la barre d'embouchure visiblement perturbée en raison de l'instabilité de la couverture sédimentaire. Une diminution importante de la richesse spécifique rattache ce secteur à l'influence dominante de l'estuaire ;
- Les vases subtidales plus ou moins compactes à *Barnea candida* localisées à l'aval des fosses, dont la faune est moyennement diversifiée mais les biomasses atteignent 80 g/m² sur la rive sud ;
- Un ensemble estuarien faiblement diversifié, caractérisé par l'association *Macoma-Cerastoderma*, qui se distingue par la variabilité des densités et des biomasses, mais aussi du rapport sables/vases ;

- Une faune appauvrie sur substrat variable à l'intérieur de la fosse nord, du chenal central, ainsi qu'au pied du banc du Ratier, ce dernier faisant l'objet d'envasements temporaires ;
- Le dépôt du Kannik et ses abords immédiats dont le macrobenthos est très pauvre et les biomasses < 1 g/m².

Au débouché du chenal de navigation, de nombreux individus ont été récoltés en mauvais état, témoignant d'une mortalité pouvant atteindre jusqu'à 100% pour certaines espèces. Les causes d'un tel constat étant multiples, la contribution possible des dragages à ce phénomène reste en final à étudier.

A l'échelle de l'ensemble du périmètre prospecté, c'est la bathymétrie qui structure en premier lieu le nombre d'espèces et l'abondance numérique. La granulométrie n'est pas corrélée avec les descripteurs de la faune, mais il est montré que certaines espèces ont une affinité particulière vis à vis de l'une ou l'autre des fractions granulométriques.

A l'échelle d'une zone comprise entre +3m et -4m, la bathymétrie joue à nouveau un rôle sur la densité du macrobenthos qui tend à diminuer vers les fonds de plus en plus faibles. Les sables apparaissent alors moins favorables à l'abondance numérique de la faune.

L'analyse d'autres facteurs tels que la courantologie expliquerait vraisemblablement la pauvreté du macrobenthos dans les zones les plus compartimentées.

Les tendances évolutives, malgré la rareté des informations cartographiques acquises par le passé, permettent de dégager deux processus majeurs susceptibles de limiter l'intérêt des peuplements benthiques dans le contexte actuel d'évolution de l'estuaire :

- Au dessus de la cote -3m, le développement toujours en cours d'importants bancs de sables et conjointement le renforcement des courants dans les chenaux des compartiments latéraux, se traduisent en final par le développement de surfaces d'un faible intérêt pour la faune benthique ;
- Dans la partie externe, au pied des bancs de sables et au débouché du chenal, la faune est perturbée et se trouve appauvrie en raison de l'instabilité de la couverture sédimentaire.

¹ Organismes aquatiques vivants enfouis ou à la surface de la couverture sédimentaire retenus sur un tamis de maille 1mm)

Introduction

Les estuaires sont des environnements côtiers en évolution permanente ou en équilibre dynamique. Cela signifie que les caractéristiques hydrodynamiques modifient sans arrêt la morphologie des fonds par le transport et le dépôt de matériel sédimentaire.

Les biocénoses benthiques, en raison de leur dépendance vis à vis de la nature des fonds et des contraintes hydrologiques ou hydrographiques, s'adaptent tant qu'elle le peuvent à cette évolution, et répondent rapidement à toute perturbation, qu'il s'agisse d'une pollution ou de la modification de l'habitat. Un autre intérêt de l'étude de cette composante biologique est le potentiel que représente le macrozoobenthos, envisagé cette fois en tant que source d'alimentation vis à vis d'échelons trophiques supérieurs (poissons et oiseaux).

Pour ces deux raisons majeures, les peuplements benthiques peuvent être considérés comme indicateurs de l'évolution et des fonctionnalités d'un site ; leur étude constitue en final un outil pour la gestion des estuaires.

Les premiers travaux ayant trait à la distribution des peuplements benthiques de l'estuaire de Seine ont été entrepris à l'époque du S.A.U.M.¹ entre 1978 et 1981 (Desprez, 1981 ; Proniewski et al, 1981).

Par la suite, les études se sont focalisées, à l'intérieur de l'estuaire, sur certains secteurs dans le cadre de procédures de suivi de rejets en mer (Thann et Mulhouze, Norsk-Hydro-Azote), d'aménagement (Pont de Normandie) et plus récemment de programmes de recherche (IntrMud², P.N.R.Z.H.³).

A l'extérieur, ce sont surtout des travaux de recherche fondamentale relatifs à quelques espèces (P.N.D.R.⁴) qui prédominent (Lambert, 1991 ; Lagadeuc, 1990 ; Thiébaud, 1994...).

Vingt ans après les études du S.A.U.M., il s'est avéré nécessaire de disposer d'une cartographie actualisée de la faune benthique en vue de répondre aux besoins suivants :

- Constitution d'une base d'informations autour du site de dépôt de dragages « Le Kannik » qui se situe au nord du débouché vers l'ouest du chenal de navigation. Ces dragages sont effectués en routine dans le chenal de navigation par le Port Autonome de Rouen ;
- Etablir un état initial sur l'ensemble de la Fosse Nord préalablement aux travaux d'extension du Port Autonome du Havre (Port 2000) ;
- Compléter les connaissances du patrimoine aux abords de la Réserve Naturelle de l'estuaire de Seine, tout autant que celles ayant trait à l'impact des activités humaines environnantes.

La mise au point du plan d'échantillonnage, qui a fait l'objet d'une concertation avec les différents partenaires et utilisateurs concernés (P.A.R.⁵, P.A.H.⁶, R.N.E.S.⁷, D.I.R.EN.⁸, CLPM-LH⁹), se devait en outre d'aller dans le sens d'une gestion globale de l'estuaire de Seine.

Objectifs et limites de l'étude

L'étude est ciblée sur une approche cartographique, destinée à percevoir aisément les gradients de répartition et les différences d'un secteur à l'autre de l'estuaire.

Elle aborde successivement :

- la couverture sédimentaire à partir de données sur la granulométrie des sédiments,
- le nombre d'espèces et l'abondance du macrozoobenthos,
- la biomasse totale par station (poids sec libre de cendres) ainsi que pour les principales espèces,
- des regroupements statistiques de stations et d'espèces, destinés à identifier des assemblages selon la similarité des valeurs obtenues en nombre d'espèces, densités et en biomasses,
- Une analyse de certains liens susceptibles d'exister entre l'environnement et la répartition des espèces.

Ce travail est volontairement centré sur une approche descriptive de la structuration spatiale des populations. Il aborde cependant l'effet de facteurs physiques élémentaires – topographie et granulométrie du substrat – sur la répartition du macrobenthos. L'influence d'autres facteurs, qui nécessite d'intégrer d'autres données, pourra être étudiée dans un autre cadre. De même, l'étude de l'accumulation de certains contaminants (PCB, métaux lourds...) par les organismes benthiques se situe en dehors du champ d'investigation déterminé avec les différents partenaires à l'origine de ce document.

¹ Schéma d'Aptitude et d'Utilisation de la Mer

² Programme Européen MAST III

³ Programme National de Recherche sur les Zones Humides

⁴ Programme National de Déterminisme du Recrutement

⁵ Port Autonome de Rouen

⁶ Port Autonome du Havre

⁷ Réserve Naturelle de l'Estuaire de Seine

⁸ Direction Régionale de l'Environnement

⁹ Comité Local des Pêches Maritimes – Le Havre

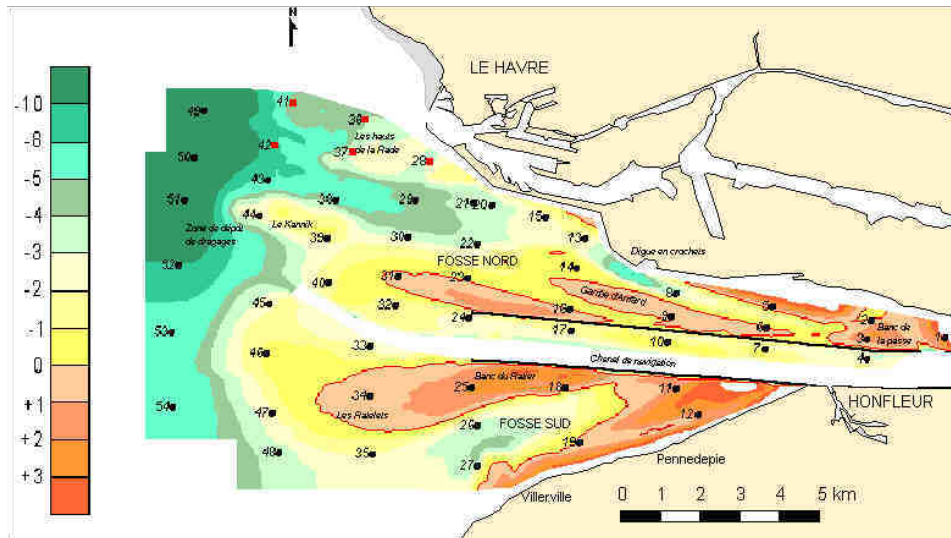
A - Méthodologie

A.1. Plan d'échantillonnage et moyens à la mer

A.1.1. Plan d'échantillonnage

Cinquante quatre stations de prélèvement ont été positionnées sur l'ensemble de l'estuaire (Carte 1), excepté dans le chenal de navigation, entre le Pont de Normandie à l'est et la sonde -10m CMH à l'ouest. La fosse nord, lieu d'implantation du projet Port 2000 et de la Réserve Naturelle, a fait l'objet d'une attention accrue et comprend 21 stations. Les autres stations se répartissent comme suit :

- 10 en fosse sud,
- 6 entre les digues submersibles au nord du chenal de navigation,
- 19 dans le croissant externe.



Carte 1 : Position des stations d'échantillonnage par rapport à la bathymétrie de l'estuaire et repères toponymiques. Les points noirs correspondent aux stations échantillonnées à la benne, les points rouges ont été prospectés avec une drague Ralier du Baty. Les données bathymétriques (année 1999) sont fournies par le Port Autonome de Rouen.

A.1.2. Moyens à la mer

Les opérations d'échantillonnage sont effectuées à bord d'un navire de très faible tirant d'eau pour satisfaire aux contraintes bathymétriques du site.

Le sédiment meuble est prélevé avec une benne de type Smith Mac Intyre dont la surface de prélèvement est de 1/10^{ème} de m². Sur les fonds caillouteux présents au nord du périmètre (banc du Haut de la rade), les échantillons sont récoltés avec une drague Ralier du Baty.

La position de chaque station est repérée à partir d'un GPS différentiel. Elle est systématiquement notée ainsi que la texture du substrat et son apparence (vase noire, molle ou compacte...).

Un prélèvement d'eau de mer est réalisé au fond pour une mesure de la salinité confiée au Laboratoire d'Etudes et d'Analyses de la Ville du Havre.

A.2. Traitement des échantillons

A.2.1. Le sédiment

Chaque station fait l'objet d'un prélèvement de sédiment conditionné en sac plastique à l'abri de la lumière. Les mesures de granulométries sont confiées au Laboratoire de Morphologie Continentale et Côtière de l'Université de Caen (J.C. Brun-Cottan).

La méthodologie prévoit de coupler deux techniques. Une première granulométrie complète des échantillons est effectuée par granulomètre laser pour des tailles de particules allant de 0,04µm à 2mm. Une granulométrie classique par tamisage mécanique a été également conduite sur les échantillons composés majoritairement de galets et graviers.

Les échantillons traités au granulomètre laser sont caractérisés par :

- une courbe cumulative ainsi qu'une courbe différentielle des pourcentages volumiques,
- le mode de l'échantillon, c'est à dire la taille des particules correspondant au pic de fréquence de ces dernières sur la courbe différentielle, soit la population la mieux représentée;
- le pourcentage des différentes fractions selon la norme AFNOR.

Le tableau ci-après récapitule les gammes de taille correspondant à chacune des différentes fractions.

2 cm <	Galets et cailloutis	< 12 cm
2 mm <	Graviers	< 2 cm
500 µm <	Sables grossiers	< 2 mm
200 µm <	Sables moyens	< 500 µm
50 µm <	Sables fins	< 200 µm
	Silts et argiles	< 50 µm

Tableau 1 : Les différentes fractions granulométriques et leur gamme de taille selon la norme AFNOR.

A.2.2. Le macrozoobenthos

Afin de prendre en compte la variabilité des distributions de la faune au sein d'une même station, trois réplicats sont récoltés et tamisés un par un à bord sur un tamis de maille ronde de 1mm de diamètre. Chaque refus de tamis ainsi lavé est ensuite conditionné séparément dans une solution d'eau de mer formolée à 4%. L'adjonction de phloxine B colore la faune pour en faciliter le tri ultérieur.

Au laboratoire, le tri de chacun des 162 échantillons est effectué à l'œil nu après un nouveau lavage sur tamis de maille 0,5mm. La totalité de la faune est extraite, y compris les espèces sessiles (anémones, moules, bryozoaires...) qui renseignent de façon complémentaire sur l'environnement et les niches écologiques disponibles pour les espèces vagiles.

La détermination est effectuée sous loupe binoculaire *Leica MZ6*. Dans la mesure du possible, chaque taxon est identifié jusqu'à l'espèce. Toutefois certains individus abîmés lors des différentes manipulations ou bien de taille très faible (< 2mm) ne peuvent faire l'objet d'une telle précision. Cette phase a fait l'objet d'une collaboration avec M. Desprez, benthologue expert au C.I.E.M¹⁰, pour les taxons dont l'identification au rang de l'espèce restait incertaine (petits annélides et amphipodes).

Le dénombrement est réalisé pour chaque espèce sur les individus vivants. Toutefois il convient de noter le caractère subjectif de cette appréciation pour quelques espèces.

Il existe en effet dans l'estuaire de Seine, des zones d'accumulation d'organismes « déradés », c'est à dire encore vivants mais qui ont quitté leur substrat d'origine pour être transportés par les courants et s'accumuler dans certains secteurs.

¹⁰ Conseil International pour l'Exploration de la Mer

Un bivalve est considéré comme mort lorsque sa coquille est franchement ouverte. Dans certains cas la coquille peut rester fermée après la mort comme c'est le cas de la Myselle (*Mysella bidentata*), parfois très abondante. L'impossibilité d'ouvrir chaque coquille, dont la taille dépasse rarement 3mm, nous a conduit à élaborer un indice basé sur la coloration de cette dernière. Pour les annélides, la distinction est également délicate car les opérations de tamisage peuvent endommager les jeunes individus. La fermeté de la chair devient alors le seul critère de distinction. Les crustacés morts se reconnaissent quant à eux plus aisément (carapace vidée de son contenu).

La biomasse est mesurée de façon à obtenir un poids total par station ainsi que les valeurs relatives aux principales espèces. La faune qui contribue faiblement à ce paramètre est regroupée par groupe faunistique. Le poids étuvé est obtenu après un séjour de 48h dans une étuve Memmert à 80°C. Le poids calciné, qui mesure les cendres minérales, est obtenu après passage dans un four Carbolite pendant 2h à 550°C. Les pesées sont effectuées sur balance de précision Scaltec. La biomasse est déduite par différence entre le poids étuvé et le poids calciné.

Chaque station est donc caractérisée par :

- sa richesse spécifique (nombre d'espèces identifiées) ;
- la densité (nombre d'individus/m²) de chaque espèce ;
- la biomasse (g/m² de matière sèche libre de cendres).

A.2.3. Informations complémentaires

Un indice de mortalité a été quantifié sur une espèce afin de pouvoir caractériser dans l'espace les zones les plus touchées. Le choix de l'espèce tient compte à la fois de sa présence systématique et de son abondance suffisante sur chacune des stations. La dégradation des chairs doit être évidente de façon à minimiser le temps de dissection. Cette dégradation ne doit pas être imputable aux opérations de prélèvements.

En réponse à ces contraintes, c'est la Pectinaire (*Pectinaria koreni*) qui a été choisie en raison notamment d'une protection naturelle des individus par leur fourreau. La mortalité est avérée lorsque les individus extraits de ce dernier montrent un abdomen déliquescant.

Il est apparu également intéressant de pouvoir identifier les secteurs propices à la reproduction de la faune. La présence de naissain et de juvéniles d'organismes sédentaires, fournit une information dans ce sens. Les espèces sélectionnées ci-dessous ont donc fait l'objet de mesures de façon à classer ces dernières en différentes catégories.

Espèce	Critère mesuré	Catégories		
<i>Pectinaria koreni</i>	∅ disque céphalique	>5mm	2 à 5	< 2mm
<i>Macoma balthica</i>	Longueur	>15 mm	5 à 15	< 5mm
<i>Cerastoderma edule</i>	Longueur	>25 mm	10 à 25	< 10mm
<i>Abra alba</i>	Longueur	> 15mm	7 à 15	< 7mm

Tableau 2 : Gammes de tailles de quelques espèces caractéristiques du macrobenthos de l'estuaire de la Seine et critères de mesure retenus pour distinguer les principaux groupes d'âge au sein des populations.

A.3. Traitement des données

La benne Smith Mac Intyre, dont la surface de prélèvement est connue, permet l'obtention de résultats quantitatifs qui peuvent être comparés en ramenant les valeurs à une unité de surface. En revanche les observations effectuées à la drague, purement qualitatives, ne peuvent être traitées qu'en présence/absence. Les données issues de chaque technique font en conséquence l'objet d'un traitement séparé.

A.3.1. Traitement cartographique

Les fonds de carte ainsi que les données de base relatives à la bathymétrie de l'estuaire (actualisées en déc. 2000) ont été fournis par le Port Autonome de Rouen.

Les données bathymétriques, granulométriques et faunistiques sont exploitées à l'aide du logiciel Golden Software ©Surfer 7. Ce logiciel permet de cartographier les résultats obtenus à partir d'une grille de mesures géo-référencées. Les données sont interpolées entre elles selon un calcul mathématique, le krigeage. Ce traitement permet de visualiser les variations spatiales selon des lignes d'iso densités, d'isobathes ou d'iso taille des particules.

A.3.2. Traitement numérique

- Richesse spécifique

La richesse spécifique se définit comme le nombre d'espèces recensées selon une unité d'espace ou de volume, le m² pour la benne Smith Mc Intyre et environ 30l pour la drague Ralier du Baty.

- Occurrence

Il s'agit du nombre de fois qu'un taxon donné est présent au niveau des différentes stations d'échantillonnage (49 stations pour la benne et 5 stations pour la drague).

- Constance (Dajoz, 1985)

C'est le rapport du nombre de fois où un taxon est enregistré sur le nombre de stations prospectées à partir d'un même engin. La constance If peut alors se décliner selon les quatre catégories suivantes :

If < 12 %	→	espèce rare
13 < If < 25 %	→	espèce peu commune
26 < If < 50 %	→	espèce commune
51 < If < 100 %	→	espèce constante

- Diagrammes rang-fréquence (Frontier et al., 1995)

Il s'agit d'un classement sur les densités spécifiques, qui peut être exprimé selon différentes échelles spatiales. Ce traitement est illustré sous forme de graphique bidimensionnel par ordre d'abondance relative (%) décroissante des espèces. Les espèces occupant les premiers rangs caractérisent donc le peuplement en place avec leur cortège d'espèces associées.

- Statistiques

La répartition spatiale du peuplement a été étudiée selon une méthode statistique d'analyse de similarité entre les stations dans le but d'identifier des assemblages : la classification. Cette technique produit des schémas d'arborescence (aussi appelés dendrogrammes) qui relie les données selon leur niveau de ressemblance. Les dendrogrammes ont été calculés successivement à partir de l'occurrence des espèces puis sur les indices de densité et de biomasse, normalisés par la transformation Log (x+1), afin de réduire l'influence des espèces dominantes. Dans ce dernier cas, les classifications ont également été calculées sur les espèces (classification inverse) pour des données standardisées. Cela signifie que les abondances numériques de chaque station sont exprimées en % de l'abondance totale de l'espèce. Cette transformation permet de positionner au même niveau d'importance toutes les espèces (Field et al., 1982).

B - Résultats

Afin de faciliter la lecture des cartes en liaison avec le texte, une carte des stations est fournie en replis au début des annexes.

Les prélèvements se sont déroulés au mois de septembre 2000 durant quatre sorties successives échelonnées entre le 4 et le 20/09/00 à bord du *Cumulus*, embarcation de 9m de long, à fond plat appartenant au Laboratoire d'Etudes et d'Analyses de la Ville du Havre. Ce navire est équipé d'une petite grue hydraulique qui permet la manœuvre de différents engins de prélèvements.

Un tableau récapitulatif des opérations de prélèvements et des conditions de salinité est reporté en annexe 1. Les informations granulométriques de base (courbes) figurent en annexe 2.

Les cartes relatives aux informations quantitatives (granulométrie, abondance de la faune) sont basées sur l'interpolation des 49 stations échantillonnées à la benne. Les données faunistiques (annexe 5) issues de la drague, ne sont pas directement superposables puisque l'engin de prélèvement est différent. Une approche globale, qui prend en compte la totalité de la zone d'étude étant néanmoins nécessaire, celle-ci a été conduite sur les données qualitatives : la richesse spécifique et l'occurrence des espèces.

Par ailleurs la maille d'échantillonnage n'est pas homogène. Dans la fosse sud, la distance supérieure entre les stations engendre une précision moindre en report cartographique qui doit être prise en compte dans la lecture des informations. Il en est de même pour les zones situées en marge du périmètre, pour lesquelles nous n'avons effectué aucun calcul de forçage susceptible de mieux refléter les connaissances acquises.

B.1. Couverture sédimentaire

B.1.1. Les tailles modales (Carte 2)

Les courbes granulométriques permettent d'identifier la taille du sédiment (en μm) pour laquelle on observe le pic le plus élevé de contribution au volume total d'un échantillon.

Les modes ainsi identifiés font ressortir principalement 3 types de sédiments :

Les substrats riches en pélites, avec une taille modale comprise entre $12,4\mu\text{m}$ et $45,75\mu\text{m}$, se situent essentiellement au débouché des digues submersibles. A l'échelle du périmètre d'étude, l'aire d'emprise apparaît plus grande dans la partie sud de l'estuaire. Dans la fosse nord, les stations concernées ont une texture de vase généralement molle (stations 40, 32, 24, 15 et 13). Ce type de sédiment comprend généralement une fraction plus ou moins importante de sables fins.

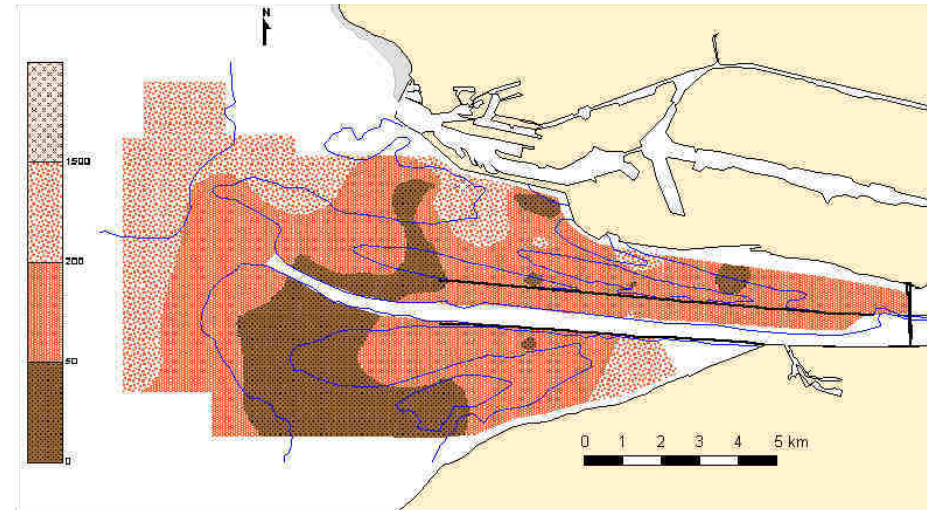
On remarque par ailleurs que ces secteurs riches en vase encore peu compacte, se situent généralement en deçà de la cote bathymétrique 0m, au pied des grands bancs de l'estuaire.

Les stations dont la taille modale est caractéristique des sables fins apparaissent majoritaires. Les valeurs mesurées sont comprises entre 88 et $185\mu\text{m}$. Ce type de sédiment contient souvent une fraction de vase supérieure à 50%. Il se caractérise par des courbes granulométriques qui peuvent faire apparaître deux pics, le premier pour une taille d'environ $40\mu\text{m}$ et le second pour une taille de $185\mu\text{m}$. Cette alternance de sables fins et de vases conduit à rappeler l'existence d'une variabilité temporelle de la couverture sédimentaire de l'estuaire (Lesourd, 2000) et la nécessité de replacer nos observations sur les particules les plus petites, dans leur contexte saisonnier.

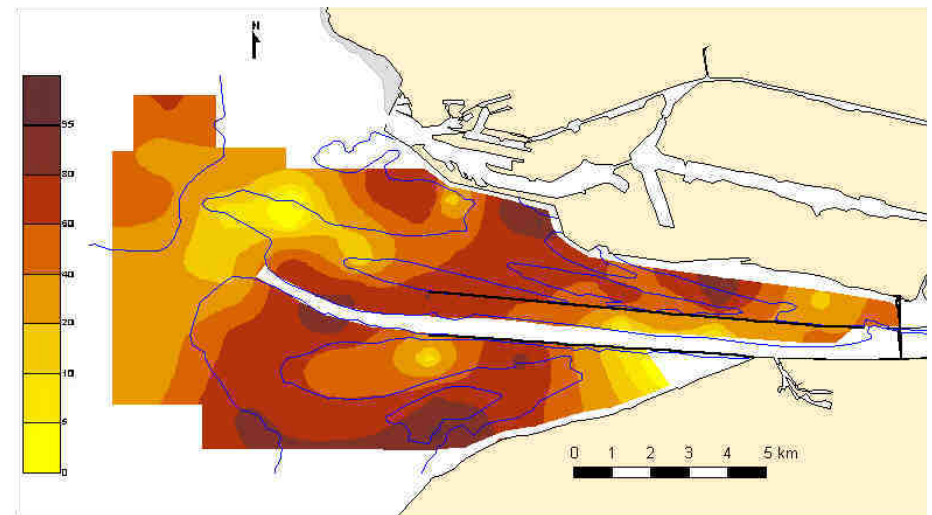
Les tailles modales supérieures à $200\mu\text{m}$ caractérisent presque toujours des sables moyens, avec des valeurs qui ne dépassent qu'exceptionnellement $295\mu\text{m}$. Ce type de substrat est identifié à l'ouest du périmètre (stations 38, 43 et 49 à 54) en deçà de la sonde -5m et où l'effet des courants est moindre.

A l'intérieur de l'estuaire, ces tailles modales correspondent sensiblement à l'axe du chenal de la fosse nord et aux zones d'érosion qui lui sont associées (station 8 au sud de la digue D2), avec toutefois une teneur en vase qui peut être importante (44% à la station 8).

Dans la fosse sud, ce sédiment sableux est localisé à proximité d'Honfleur, avec cette fois une faible teneur en vase (5 à 6%).



Carte 2 : Taille modale des sédiments (pic de fréquence volumique des particules) analysés au granulomètre laser entre 0,04 et $2000\mu\text{m}$.



Carte 3 : Répartition de la teneur en pourcentage de pélites ($t < 50\mu\text{m}$).

B.1.2. Les fractions granulométriques (Carte 3 à 6)

Les teneurs en vase (carte 3) sont supérieures à 50% sur plus de la moitié des stations (52%). Elles dépassent 80% de façon localisée au débouché des digues du chenal central, dans l'anse de la CIM au nord ainsi que dans la partie sud-ouest de la fosse sud. A l'inverse, les plus faibles pourcentages sont associés au chenal qui borde le banc de la passe en amont de la fosse nord, sur le site de dépôt de dragages du Kannik, sur le banc du Ratier ainsi qu'à l'extrémité est de la fosse sud. Il s'agit là de zones saillantes eu égard au relief sous marin, ou bien situées dans la zone intertidale. Ces secteurs sont fortement soumis aux courants de marée. Ils sont à opposer aux zones moins assujetties à la dynamique des volumes oscillants telles que l'anse au sud du port du Havre (digue C.I.M.) et les fonds supérieurs à -5m (CM).

Les sables fins (carte 4) sont également bien représentés, avec des teneurs pouvant être supérieures à 50 %. En revanche les sables moyens (carte 5) et grossiers (carte 6) sont plus localisés, ces deux fractions étant le plus souvent associées. Leur présence en amont du périmètre témoigne cependant d'un apport en sables plus ou moins constant au cours des 20 dernières années. Sur la fosse nord, un remaniement sédimentaire a été constaté entre 1984 et 1992 consécutivement au re-calibrage de la brèche de communication avec la Seine (G.E.M.E.L., 1984 ; Desprez *et al.*, 1989 ; Desprez *et al.*, 1993).

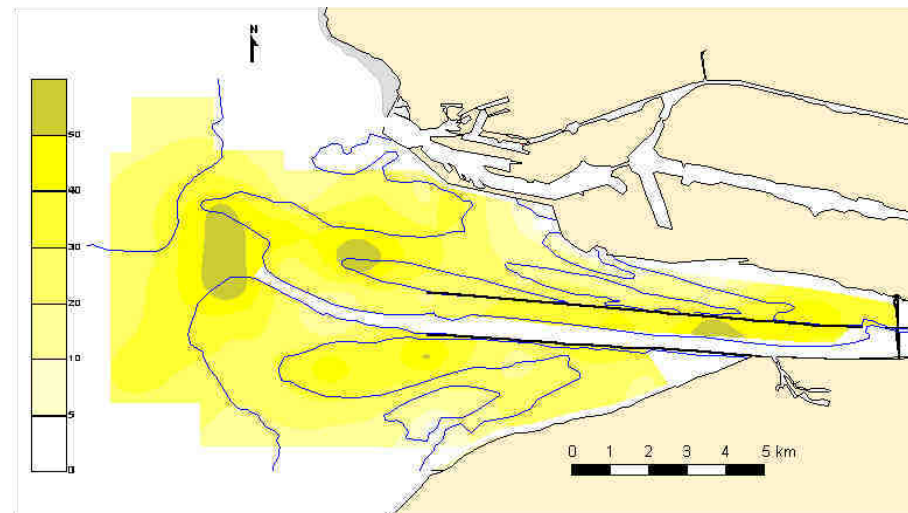
Le réajustement hydraulique de cette fosse s'est traduit sur les zones intertidales périphériques par des phénomènes d'érosion encore d'actualité sur la rive nord (développement du banc de la passe vers le nord au détriment de la Grande Vasière) couplé à un processus de sédimentation sur la rive sud, le long de la digue basse nord.

B.1.3. Répartition des principaux faciès sédimentaires

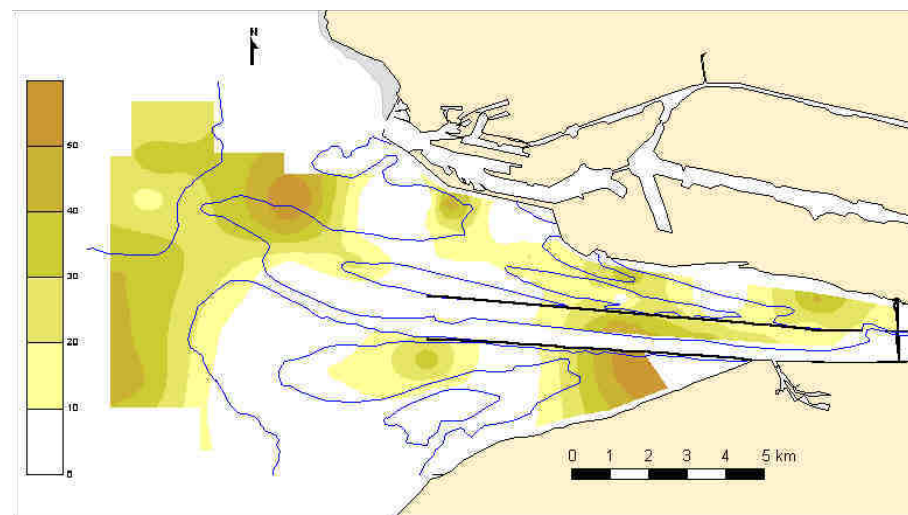
L'identification des faciès sédimentaires repose sur le croisement des informations en taille modale des particules ainsi qu'en pourcentage des différentes fractions. Une classification a tout d'abord été effectuée sur les tailles modales. Ce regroupement des stations reste cependant insuffisant du fait de l'existence de répartitions bimodales. Les faciès ont donc été identifiés en opérant un second découpage qui tient compte de la distribution des différentes fractions (voir annexe 3).

Cinq faciès ont ainsi été identifiés (carte 7)

- Les vases, dont le pourcentage est supérieur à 75 %, avec une fraction de sables moyens et grossiers quasiment inexistante ;
- Les vases sableuses dont la teneur en vase est dominante (>50%) et une taille modale avoisinant 200 µm dans la plupart des stations concernées ;
- Les sables vaseux dont les fractions sableuses cumulées, essentiellement composées de sables fins et moyens, dépassent 50% ;
- Les sables fins à grossiers dont les teneurs en vase dépassent rarement 5% ;
- Les bancs de galets composés de sables et de vases en proportion variable.



Carte 4 : Répartition de la teneur en pourcentage des sables fins (50 < t < 200µm).



Carte 5 : Répartition de la teneur en pourcentage des sables moyens (200 < t < 500µm).

B.1.4. Conclusions

Bien que les résultats de cette étude se basent sur un très faible effort d'échantillonnage par rapport aux récents travaux de géologues, il en ressort successivement :

- une certaine similitude dans la répartition des principales unités. Il faut toutefois mentionner une petite différence de rendu des résultats. Les sables vaseux apparaissent en trame de fond dans ce document alors qu'ils semblent marginaux dans les représentations de Lesourd (*op cit.*).
- l'existence d'une différence marquée entre les fosses nord et sud :

Dans la fosse nord, il n'apparaît pas de gradient positif d'envasement vers l'intérieur de l'estuaire selon l'axe longitudinal, et la fraction sableuse peut être localement prépondérante notamment en amont. Un gradient transversal est en revanche à noter avec des teneurs en vases qui augmentent en bordure de la digue submersible, au pied de la grande vasière et le long des digues du port du Havre.

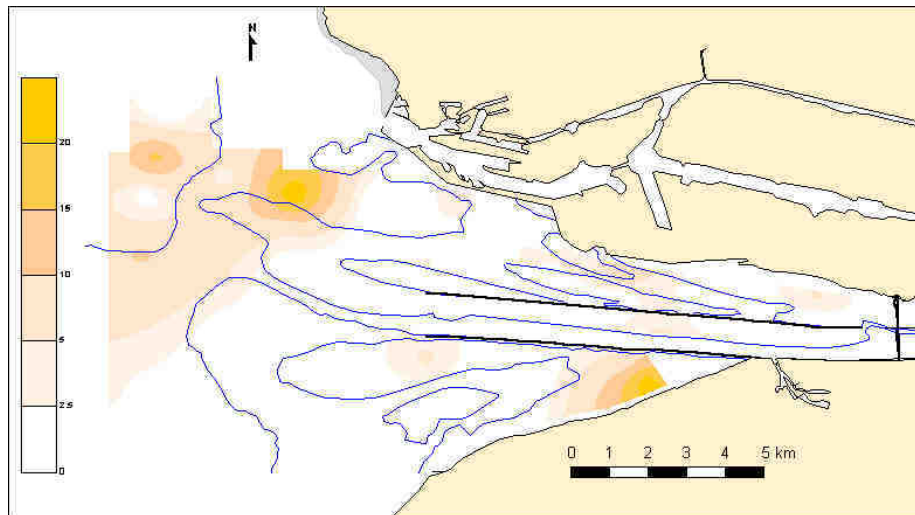
La fosse sud se caractérise en revanche par un gradient d'envasement opposé par rapport au cas précédent, avec des sables en amont, des sables vaseux en zone intermédiaire et des vases vers l'aval. Sur le plan transversal, la tendance paraît à nouveau inversée par rapport à la fosse nord, avec des vases au centre et un substrat plus sableux en périphérie (banc du Ratier, zone intertidale de Villerville à Pennedepie) qui n'apparaît pas sur nos cartes, mais qui a été observé de visu lors de différentes opérations de terrain dans ce secteur.

L'image de la couverture sédimentaire obtenue dans ce document doit cependant être replacée dans un contexte d'envasement qui évolue à l'échelle de la saison (Lesourd, *op. cit.*). Ces variations temporelles peuvent être rappelées ainsi :

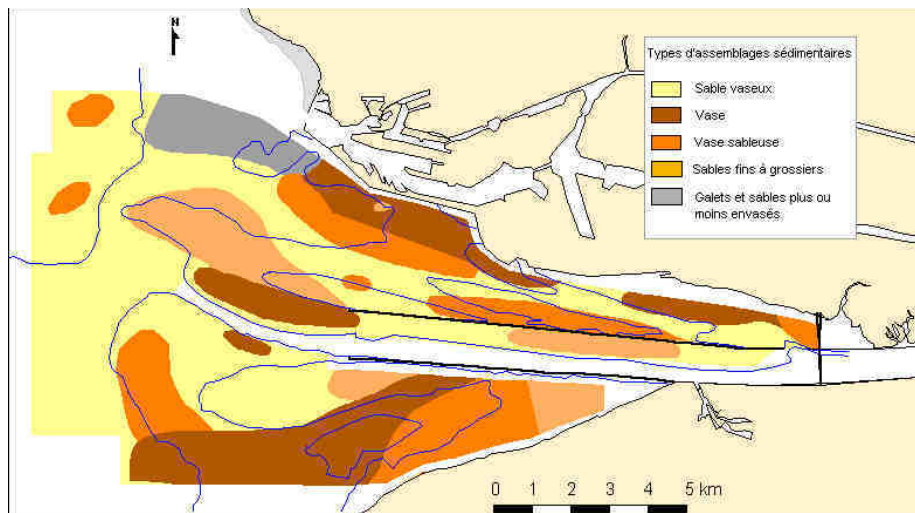
Les zones à envasement permanent se situent principalement en bordure nord sur l'ensemble de la Fosse Nord et dans l'axe central de la Fosse Sud.

Les bancs d'Amfard au nord et du Ratier au sud, ainsi que leurs prolongements vers l'ouest constituent des zones d'envasement temporaires.

Enfin, encore plus à l'ouest, le banc du Haut de la Rade, l'ancien dépôt de dragage du Kannik, et la bordure nord-ouest des Ratelets sont des secteurs sableux sans envasement significatif (teneur en vase < 20%).



Carte 6 : Répartition de la teneur en pourcentage des sables grossiers (500 < t < 2mm).



Carte 7 : Synthèse de la répartition des principaux assemblages sédimentaires identifiés en septembre 2000.

B.2. Répartition du macrozoobenthos

B.2.1. La richesse spécifique

Au total 166 taxons ont été dénombrés au cours de cette étude, dont 153 espèces, qui appartiennent presque toutes aux quatre groupes majeurs que sont les annélides, les crustacés, les mollusques et les échinodermes. Les annélides (61 taxons) et les crustacés (64 taxons) sont les groupes dominants. Viennent ensuite les mollusques avec 26 espèces. Les échinodermes sont quant à eux faiblement diversifiés avec seulement 4 espèces. La liste de ces espèces figure en annexe 4.

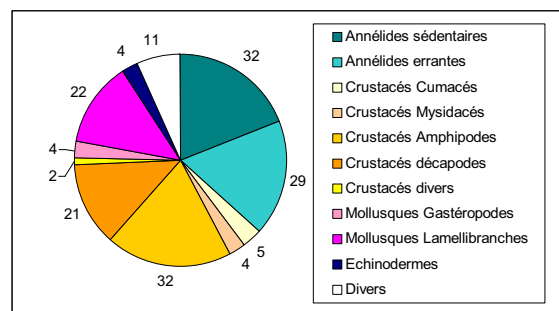


Figure 1 : Répartition du nombre de taxons au sein des grands groupes faunistiques représentatifs de la macrofaune benthique de l'estuaire de la Seine en septembre 2000.

Il apparaît pertinent de mener l'étude de la richesse spécifique selon deux niveaux distincts. Le nombre total d'espèces sera pris en considération dans un premier temps. Un groupe restreint sera ensuite étudié en raison d'une plus forte dépendance vis à vis des caractéristiques du substrat. Il s'agit des espèces endogées (qui vivent enfouies).

L'approche globale qualitative de la distribution spatiale des espèces, qui prend en compte les données « benne + drague » met en évidence un net gradient d'augmentation vers l'extérieur de l'estuaire (carte 8).

B.2.1.1. Assemblages statistiques en occurrence

Une matrice en présence-absence a été élaborée à partir des 54 stations de façon à mettre en évidence des regroupements de stations semblables entre elles selon le nombre d'espèces présentes, mais aussi selon la nature de chacune d'entre elles.

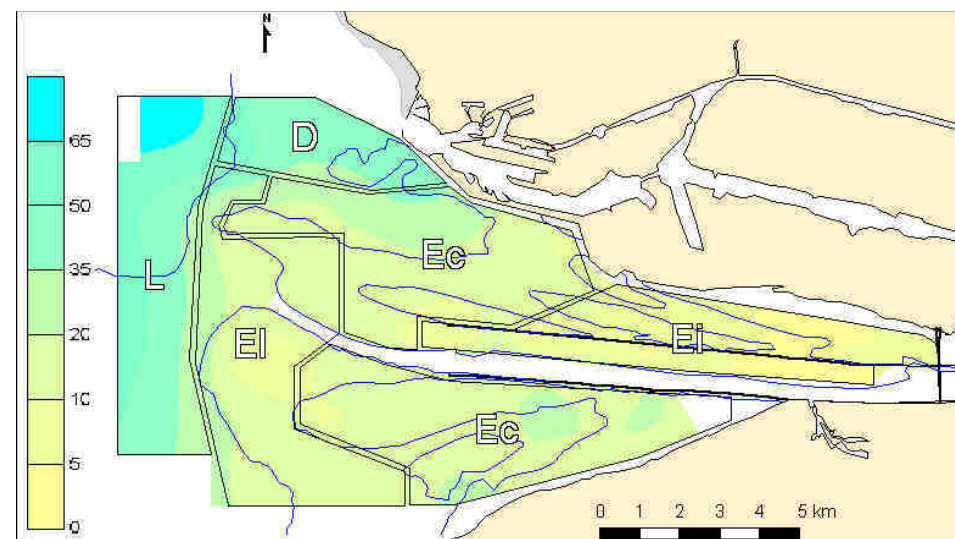
Une première classification, effectuée sur les stations, distingue 5 assemblages (figure 2) : la 1^{ère} division sépare un grand groupe de stations (E) par rapport à une dizaine d'autres situées plus au large et au nord-ouest. La 2^{ème} division isole cette fois les stations 28, 36, 37, 41 et 42 prospectées avec la drague (D) par rapport aux stations du large (L). La 3^{ème} division regroupe des stations du chenal endigué et de l'intérieur de la fosse nord (Ei). La 4^{ème} division différencie en final une zone centrale sur les fosses nord et sud (Ec) et un secteur intermédiaire à l'embouchure (Ei) jusqu'à la sonde -10m CM. Un report cartographique de ces assemblages est illustré sur la carte 8.

Il apparaît ainsi que les groupes D et L se caractérisent par une richesse spécifique élevée, en opposition avec les assemblages du groupe E.

A partir de la même matrice, une classification a été effectuée cette fois sur les espèces. Cinq assemblages sont aussi mis en évidence (figure 3), qui peuvent être mis en relation avec les groupements de stations (annexe 6). L'assemblage D regroupe au total 95 taxons avec en moyenne 43 taxons par station. Il est caractérisé par 6 espèces non rencontrées dans les autres groupes : les

crustacés décapodes *Pisidia longicornis* et *Hippolyte varians* ; les annélides *Pomatoceros triqueter* (épifaune sédentaire à tube calcaire fixé sur les cailloux), *Audouinia tentaculata* et *Harmothoe reticulata* ainsi que le mollusque bivalve *Tapes decussatus*.

L'assemblage L, regroupant au total 103 taxons pour une moyenne de 54 par station, traduit une importante augmentation de la richesse spécifique vers le large. On y dénombre jusqu'à 73 espèces à la station 49. Cet enrichissement est principalement dû aux annélides et dans une moindre mesure aux crustacés. Seul le crustacé *Pariambus typicus* est constant dans ce groupe et absent des autres.



Carte 8 : Répartition du nombre total d'espèces de la macrofaune benthique et représentation des assemblages de stations issus de la classification sur les données en présence/absence pour l'ensemble des 54 stations échantillonnées en septembre 2000.

L'assemblage E regroupe au total 89 taxons pour une moyenne de 13 par station. Il s'individualise par l'absence d'espèces constantes et 10 espèces absentes des deux assemblages précédents. Celles-ci sont pour la plupart caractéristiques du domaine estuarien : *Macoma balthica*, *Cerastoderma edule*, *Crangon crangon*, *Nereis zonata*, *Streblospio shrubsolii*, *Neomysis integer*, *Tubificoides benedeni*, *Donax vittatus*, *Gammarus zaddachi* et *Corophium volutator*.

Trois sous-ensembles sont à distinguer au sein de cet assemblage :

- En amont, un secteur Ei, qui s'avère être le moins diversifié avec un total de 20 taxons et une moyenne de 5,6 taxons par station. Ce groupement se démarque par une forte représentation de la faune vagile et suprabenthique comparativement à celle de la faune endogée. La fosse nord, avec *Macoma balthica*, *Nephtys hombergii*, *Eteone longa*, *Tharyx marioni* et *Streblospio shrubsolii* est toutefois sensiblement plus riche que la bordure du chenal central où les espèces endogées sont souvent absentes, surtout dans la partie la plus en amont.
- Au centre, un groupement Ec, plus riche avec 79 taxons au total et en moyenne 17 taxons par station, traduit l'apparition de nouvelles espèces vers l'ouest comme *Magelona mirabilis* (station 8), *Tubificoides benedeni* et *Abra alba* (station 9), la pectinaire (*Pectinaria koreni*) et la coque (*Cerastoderma edule*) à la station 13 ainsi que *Fabulina fabula*, *Heteromastus filiformis* et la moule

(*Mytilus edulis*) à la station 14. On remarque par ailleurs qu'à longitude comparable, la fosse nord est plus pauvre en espèces que la fosse sud. En amont de cette dernière certaines espèces indiquent un caractère plus marin à cet environnement avec notamment *Phyllodoce groenlandica*, *Glycera convoluta* et *Nereis zonata* à la station 11.

- A l'aval, une zone d'interface EI se compose de 46 taxons et en moyenne 15 taxons par station. Ce groupement, sensiblement moins riche que Ec, traduit la limite entre les assemblages L et E. Le niveau de richesse spécifique témoigne cependant d'un rattachement de cette unité à l'assemblage estuarien E.

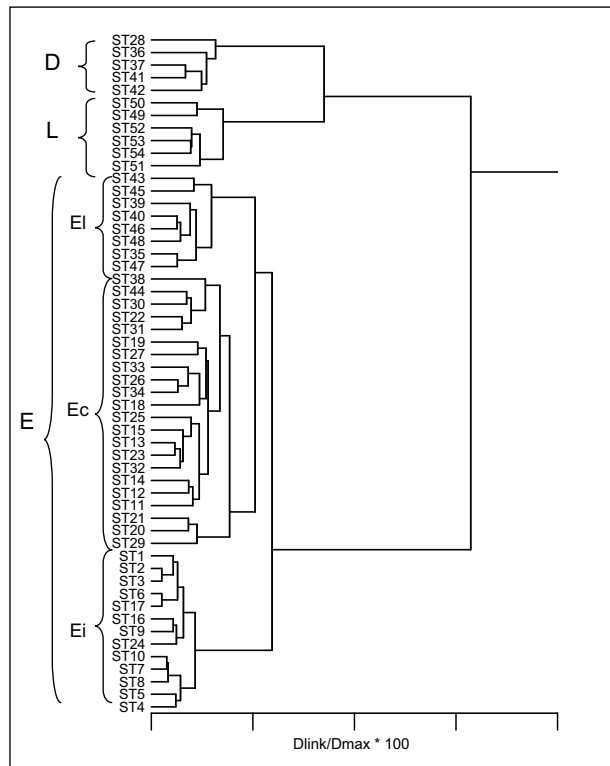


Figure 2 : Dendrogramme issu de la classification hiérarchique sur les stations (Méthode de Ward, distance du Khi^2) pour les données en occurrence de la macrofaune benthique de l'estuaire de la Seine en septembre 2000. Seules les espèces présentes dans plus de 5% des stations sont prises en compte. La distance des liens (Dlink) est représentée comme étant le pourcentage de la distance maximale.

Le degré d'occurrence des espèces au sein des prélèvements complète l'analyse et permet d'identifier les principaux peuplements rencontrés (tableau 3) :

L'assemblage E caractérise la communauté estuarienne à *Macoma balthica*-*Cerastoderma edule* (Cabioc et gentil, 1975 ; Proniewski et Elkaim, 1981). L'assemblage L appartient au peuplement des sables fins plus ou moins envasés à *Abra alba*-*Pectinaria koreni* (Gentil, 1976 ; Gentil et al. 1986) associé notamment à *Mysella bidentata*, *Nucula nitidosa* et *Tharyx marioni*.

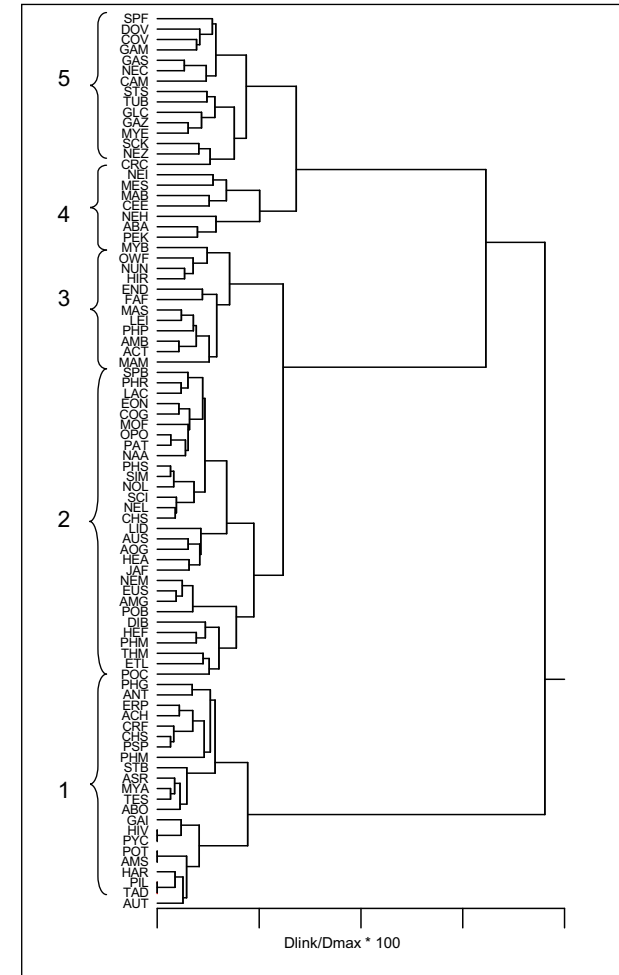


Figure 3 : Dendrogramme issu de la classification hiérarchique sur les espèces (Méthode de Ward, distance du Khi^2) pour les données en occurrence de la macrofaune benthique de l'estuaire de la Seine en septembre 2000. Seules les espèces présentes dans plus de 5% des stations sont prises en compte.

Ce peuplement remonte plus ou moins profondément dans l'estuaire, les deux espèces caractéristiques étant encore constantes dans l'assemblage D et communes au sein de l'assemblage E.

L'assemblage D appartient au peuplement à *Abra-Pectinaria*, mais en constitue une association particulière liée à l'hétérogénéité du substrat. Certaines espèces comme *Nephtys cirrosa* sont caractéristiques des sables fins et sont accompagnées d'autres d'espèces, connues cette fois pour leur affinité avec un substrat caillouteux comme *Pisidia longicornis*, *Galathea intermedia*, *Abludomelita obtusata* et *Pomatoceros triquetter*.

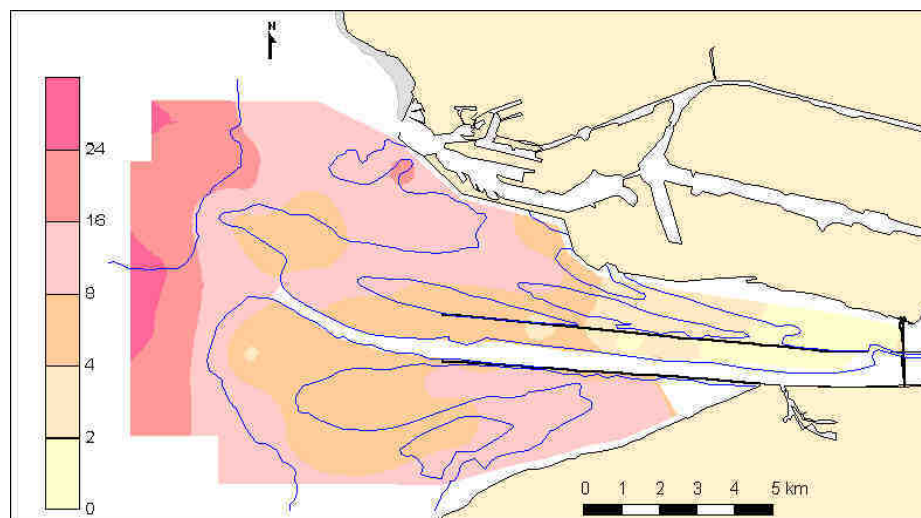
Assemblage	D	L	Ei	Ec	Ei
Nbre d'espèces constantes	27	37	9	8	4
Principales espèces caractéristiques	<i>Abra a.</i> <i>Pectinaria k.</i> <i>Pisidia l.</i> <i>Tapes d.</i> <i>Hippolyte v.</i> <i>Galathea i.</i> <i>Abludomelita o.</i> <i>Pseudoprotella p.</i> <i>Terebellides s.</i>	<i>Abra a.</i> <i>Pectinaria k.</i> <i>Mysella b.</i> <i>Nucula n.</i> <i>Tharyx m.</i> <i>Owenia f.</i> <i>Phaxas p.</i> <i>Pariambus t.</i> <i>Chaetozone s.</i> <i>Magelona m.</i>	<i>Abra a.</i> <i>Pectinaria k.</i> <i>Macoma b.</i> <i>Nephtys h.</i> <i>Owenia f.</i> <i>Mysella b.</i> <i>Fabulina f.</i> <i>Hinia r.</i> <i>Nucula n.</i>	<i>Abra a.</i> <i>Pectinaria k.</i> <i>Macoma b.</i> <i>Cerastoderma e.</i> <i>Nephtys h.</i> <i>Mesopodopsis s.</i> <i>Spio f.</i> <i>Crangon c.</i>	<i>Macoma b.</i> <i>Nephtys h.</i> <i>Mesopodopsis s.</i> <i>Neomysis i.</i>

Tableau 3 : Principales espèces caractéristiques des assemblages statistiques sur les données en occurrence de la macrofaune benthique de l'estuaire de la Seine en septembre 2000.

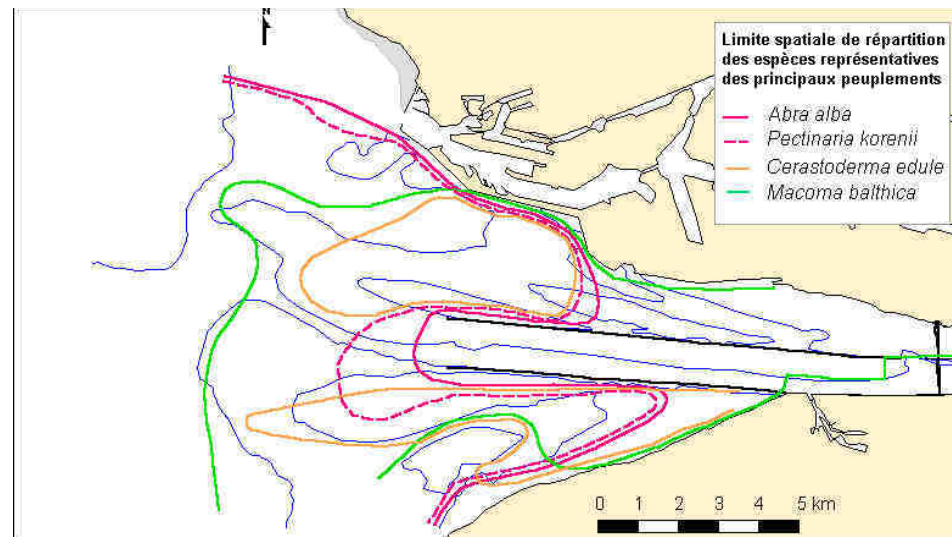
B.2.1.2. Les espèces endogées

Ont été considérées comme espèces endogées, celles appartenant aux annélides sédentaires et aux mollusques bivalves. La carte obtenue indique à nouveau un gradient d'enrichissement de l'amont vers l'aval de l'estuaire, (carte 9), et apporte des compléments d'informations :

- Ce gradient est plus marqué en bordure du chenal central et à l'intérieur de la fosse nord qu'il ne l'était sur la carte 8 concernant la faune totale ;
- La zone centrale, sur la carte 9, située entre une ligne Pennedepie-Digue en crochets à l'est et la sonde -3m à l'ouest, indique par ailleurs des zones de moindre richesse en espèces. Il s'agit par exemple du site du Kannik et de l'extrémité ouest du Banc du Ratier.



Carte 9 : Répartition du nombre d'espèces endogées de la macrofaune benthique de l'estuaire de la Seine en septembre 2000.



Carte 10 : Limite de répartition spatiale des espèces représentatives des peuplements de la macrofaune benthique dans l'estuaire de la Seine en septembre 2000.

La limite de répartition des espèces représentatives des principaux peuplements illustre le degré de chevauchement important de ces derniers dans la zone centrale de l'estuaire (carte 10). Le peuplement à *Abra-Pectinaria* pénètre cependant légèrement plus profondément dans la fosse sud que dans la fosse nord et semble se limiter au 0m CM. La communauté à *Macoma-Cerastoderma* s'étend vers le large jusqu'à la sonde -3m CM. La coque (*Cerastoderma edule*) est absente de la partie amont de la fosse nord.

B.2.2. Les densités

Un diagramme rang-fréquence (Figure 4) illustre le classement des espèces qui contribuent à plus de 1% du total dénombrés sur les 49 stations considérées.

Les quatre premières espèces participent à plus de 40 % de l'abondance totale. Il s'agit de *Mysella bidentata*, *Pectinaria koreni*, *Abra alba* et *Cerastoderma edule*. Les trois 1ères espèces, caractéristiques du peuplement à *Abra-Pectinaria*, font apparaître le caractère structurant de ce peuplement eu égard à l'abondance globale du benthos dans l'estuaire. Le bivalve *Macoma balthica*, qui caractérise la communauté estuarienne n'apparaît qu'en 11^{ème} position.

A noter un mysidacé *Mesopodopsis slabberi*, placé en 14^{ème} position. Cette espèce, qui n'est pas représentative du benthos mais plutôt du pélagos, est mal échantillonnée avec l'engin employé. En conséquence les mysidacés et les poissons sont écartés des analyses statistiques à venir.

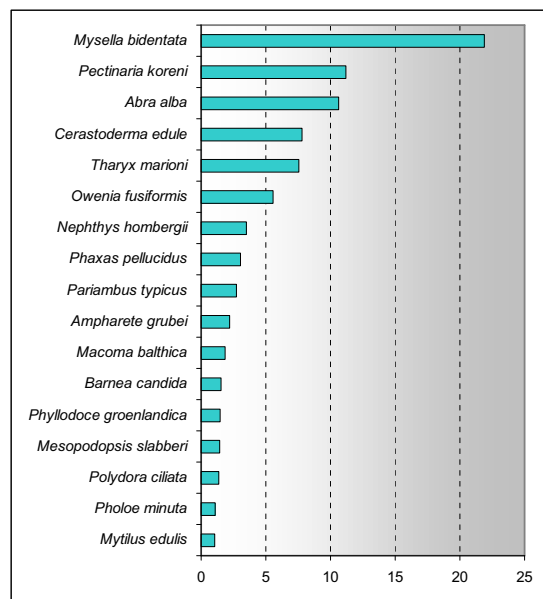
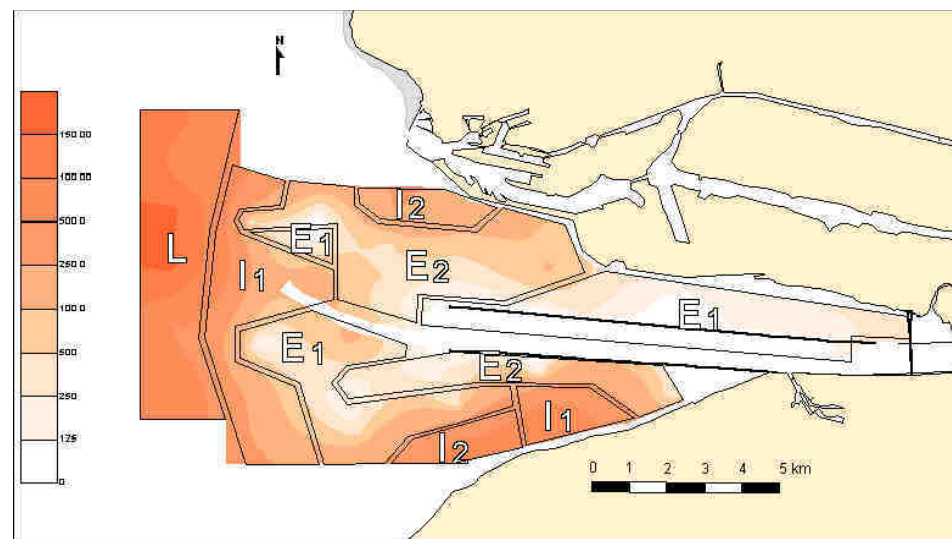


Figure 4 : Diagramme rang-fréquence des espèces qui contribuent à plus de 1% de l'abondance totale pour les 49 stations de l'estuaire de Seine échantillonnées à la benne en septembre 2000.

La répartition spatiale des individus (carte 11) montre que les densités inférieures à 250 ind./m² sont identifiées dans la partie endiguée du fleuve et son débouché immédiat, sur les bancs sableux du Kannik et du Ratier, ainsi qu'en amont de la Fosse Nord. Une augmentation importante est constatée à partir de la cote -3m, avec des valeurs généralement supérieures à 2500 ind./m². Les densités maximales sont identifiées au delà de -10m avec plus de 15 000 ind./m² sur les stations 51 et 52.

La Fosse Sud dans son ensemble, révèle des résultats contrastés. La faune la plus abondante est localisée en bordure de côte, entre Pennedepie et Vasouy, où l'on enregistre plus de 5000 ind./m².



Carte 11 : Répartition de l'abondance totale de la macrofaune benthique (Nbre d'ind./m²) et représentation des assemblages de stations issus de la classification sur les densités normalisées pour les 49 stations échantillonnées à la benne dans l'estuaire de la Seine en septembre 2000.

B.2.2.1. Assemblages statistiques

Les calculs sont effectués sur les données quantitatives, c'est à dire les densités/m² obtenues pour les 49 stations échantillonnées à la benne. Les espèces dont la présence est enregistrée dans moins de 5% des stations ont été écartées de l'analyse.

Le dendrogramme obtenu sur les stations (figure 5), met en évidence 5 assemblages :

La 1^{ère} division oppose à nouveau les six stations du large par rapport à l'ensemble des autres stations. Il s'agit de l'assemblage L, déjà identifié à partir de la matrice en occurrence. La 2^{ème} division isole la majorité des stations de l'estuaire (E) par rapport à d'autres stations, intermédiaires sur l'axe longitudinal et aux extrémités de l'axe transversal (I). La 3^{ème} division dissocie les stations du chenal central et de la fosse nord (E1) par rapport à un groupe situé dans la partie aval de la fosse nord et sur le banc du Ratier jusque en amont de la fosse sud (E2). La 4^{ème} division distingue enfin deux petits groupes de stations. Il s'agit d'une part de l'assemblage I1 composé de 5 stations à l'aval des fosses (43, 45, 40, 48 & 47) et la station 19 entre Villerville et Pennedepie. L'assemblage I2 d'autre part, regroupe en milieu subtidal, trois stations au sud des digues du port du Havre (20, 21 & 29) avec la station 27 en face Villerville.

La classification inverse, sur les espèces, produit 3 groupes distincts (figure 6), qui peuvent être mis en relation avec les groupements de stations (tableau 4).

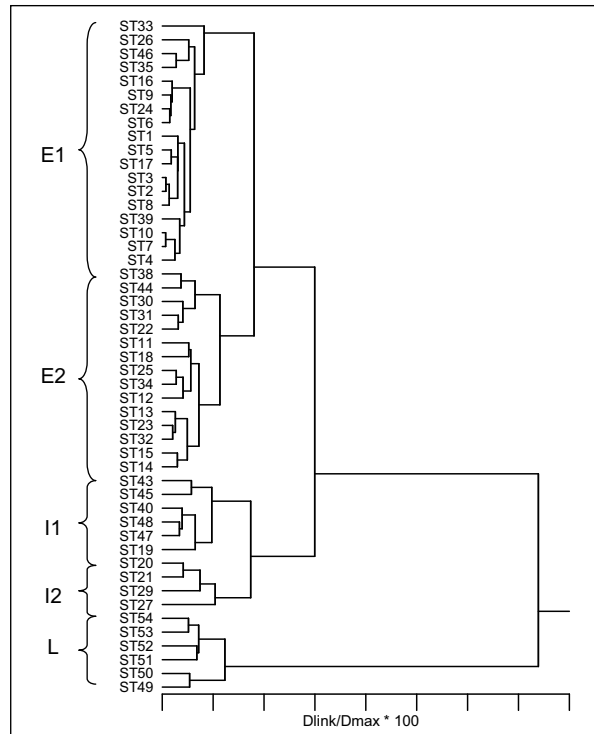


Figure 5 : Dendrogramme issu de la classification hiérarchique sur les stations (Méthode de Ward, distance Euclidienne) pour les données de densités normalisées de la macrofaune benthique de l'estuaire de la Seine en septembre 2000. Seules les espèces présentes dans plus de 5% des 49 stations échantillonnées à la benne sont prises en compte.

L'assemblage L, pour des fonds compris entre -5 et -10m CM, possède des densités élevées, avec une moyenne supérieure à 10 000 ind./m². Il est dominé par *Mysella bidentata* (2647 ind./m²), *Pectinaria koreni* (1679 ind./m²) et *Abra alba* (1201 ind./m²).

L'assemblage E2 est moyennement diversifié (51 espèces) avec une densité moyenne de 466 ind./m². Les espèces dominantes sont la coque (149 ind./m²), l'annélide *Nephtys hombergii* (78 ind./m²) et *Macoma balthica* (40 ind./m²). Ces espèces sont toutefois très inégalement réparties dans l'espace (voir cartes correspondantes). La situation de cet assemblage par rapport à la topographie est particulière, les niveaux étant plus élevés en fosse sud (entre 0 et +2m) qu'en fosse nord (entre -3 et 0m). Cet ensemble est en fait constitué de plusieurs sous unités qui s'individualisent de la façon suivante :

- Sur la fosse sud, un faciès à *Cerastoderma* en amont (stations 11 et 12) dont les densités atteignent 517 ind./m²;
- Rive nord, on note la présence d'un faciès à *Donax vittatus* (21 ind./m²) accompagné du Spionidé *Spio filicornis* au débouché de la fosse (stations 22, 23, 30, 31), ainsi qu'un secteur appauvri plus à l'ouest aux abords du banc du Kannik, site qui s'individualise par l'absence d'*Abra*, *Pectinaria* et plus généralement de la plupart des Mollusques.

L'assemblage E1 est le moins diversifié (31 espèces). C'est également le moins peuplé, avec une densité moyenne de 156 ind./m². Les espèces dominantes sont *Macoma* (27 ind./m²), *Polydora* (27 ind./m²) et *Mytilus* (25 ind./m²). L'importance de ces deux dernières espèces est toutefois à relativiser compte tenu de leur quasi absence de la plupart des stations du groupe, excepté sur la station 33 où

les valeurs dépassent 400 ind./m². En écartant ces espèces, *Nephtys* se range alors en seconde position. Bien qu'apparentée au même groupe, la faune du chenal central (25 ind./m²) est plus pauvre que celle de la fosse nord (88 ind./m²).

L'assemblage I1 caractérise à nouveau le chevauchement des peuplements, avec une dominance de la coque (5690 ind./m²) en fosse sud sur la station 19, accompagnée de *Mysella* et *Pectinaria* (respectivement 677 et 693 ind./m²). Les autres stations de ce groupe possèdent une certaine affinité avec le peuplement du large : la coque est rare et la Myselle devient dominante avec *Owenia* (379 ind./m²) et *Abra* (309 ind./m²). Cette unité intermédiaire s'individualise cependant par les plus fortes densités de *Nephtys*, toujours supérieures à 100 ind./m² ainsi que par la constance d'un petit bivalve *Fabulina fabula*, dont les densités sont toutefois faibles (14 ind./m²).

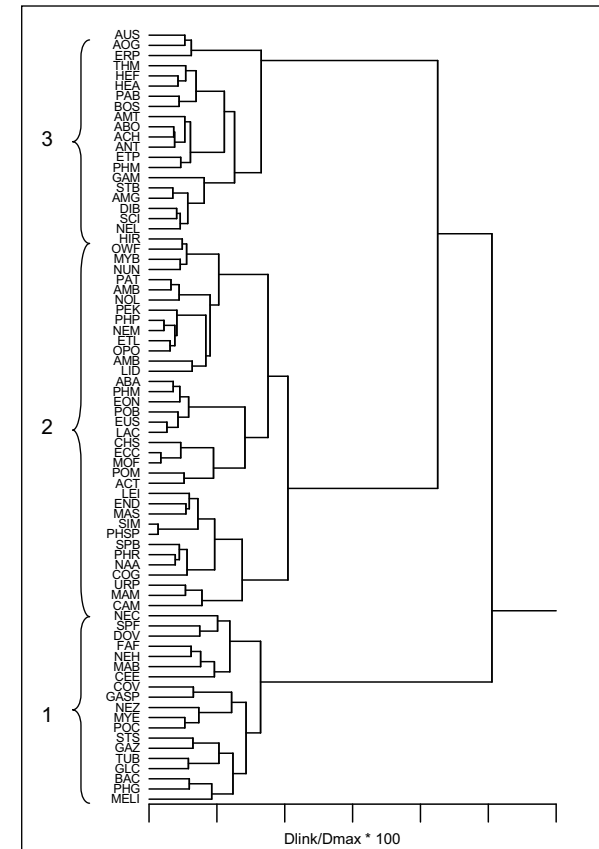


Figure 6 : Dendrogramme issu de la classification hiérarchique sur les espèces (Méthode de Ward, distance du Kln²) pour les données de densités standardisées de la macrofaune benthique de l'estuaire de la Seine en septembre 2000. Seules les espèces présentes dans plus de 5% des 49 stations échantillonnées à la benne sont prises en compte.

	Espèces	Groupes de stations									
		L	Et	I1	Et	I2	Et	E2	Et	E1	Et
1	<i>Barnea c.</i>	0	0		333	630	0		16	67	
	<i>Cerastoderma e.</i>	0	956	2319	42		149	250	*		
	<i>Donax v.</i>	0	0		0		21	56	0		
	<i>Spio f.</i>	3	3		4		36	40	*		
	<i>Macoma b.</i>	0	131	162	19		40	58	27	50	
	<i>Polydora c.</i>	23		64	90	104	157	*	27	112	
	<i>Mytilus e.</i>	0		1		147	240	4,7	25	103	
	<i>Nephtys h.</i>	149	59	182	67	15		78	35	24	34
	<i>Fabulina f.</i>	3		14		0		4	*		
	<i>Nereis z.</i>	1		0		17		*	8	32	
2	<i>Streblospio s.</i>	0	0		88	97	10	17	6	12	
	<i>Tubificoides b.</i>	0		*		208	315	1,9	1,3		
	<i>Glycera c.</i>	0		*		58	53	3,0	0		
	<i>Phyllococe g.</i>	102	163	*		216	391	2,7	0		
	<i>Phtisica m.</i>	15		1,5		3		*	2	5	
	<i>Abra a.</i>	1201	519	312	239	399	421	17	20	9	27
	<i>Mysella b.</i>	2647	2272	669	385	699	1392	6	4	10	
	<i>Magelona m.</i>	54		5		0		35	86	*	
	<i>Pectinaria k.</i>	1679	1445	183	275	55		17	35	1,1	
	<i>Owenia f.</i>	640	550	328	394	*		0	*		
3	<i>Phaxas p.</i>	524	280	6,7		0		*	0		
	<i>Pariambus t.</i>	472	645	0		0		0	0		
	<i>Nucula n.</i>	72	45	22	25	0		*	*		
	<i>Diastylis b.</i>	150	81	*		10		*	*		
	<i>Pholoe m.</i>	156	66	13		26		*	0		
	<i>Tharyx m.</i>	996	970	120	283	223	278	18	29	*	
	<i>Ampharete g.</i>	377	350	*		4		0	0		
	Autres espèces	1207		55		123		20	6		
	TOTAL N/m ²	10309		3052		2793		466		156	
	Nbre d'espèces	98		40		48		51		31	

Tableau 4 : Ordonnement des groupes de stations et d'espèces issu des classifications sur les densités de la macrofaune benthique de l'estuaire de Seine en septembre 2000. Seules les 10 premières espèces de chaque groupe ont été sélectionnées. Et = écart type ; * = valeur < 1.

Enfin l'assemblage I2 est dominé en effectif par *Mysella* et *Abra*, mais révèle une association particulière, avec le mollusque bivalve perforateur *Barnea candida* (333 ind./m²), connu pour pénétrer des substrats durs tels que le bois et dans le cas présent des vases compactes. Les densités de l'espèce atteignent 1277 ind./m² sur la rive sud au pied du platier rocheux de Villerville (station 27). Elles sont faibles sur la rive nord (57 ind./m² à la station 29) et dans les deux cas l'espèce est associée à *Petricola foladiformis*. Les autres espèces accompagnatrices sont *Mytilus edulis*, *Tubificoides benedeni* et *Glycera convoluta*.

Des différences sont toutefois à remarquer au sein de ce groupe. Les stations 20, 21 et 29 au nord se démarquent en raison de l'abondance des Spionidés *Polydora* et *Streblospio* ainsi que du Capitellidé *Heteromastus*, ces trois espèces étant absentes sur la station 27.

B.2.2.2. Répartition de quelques espèces

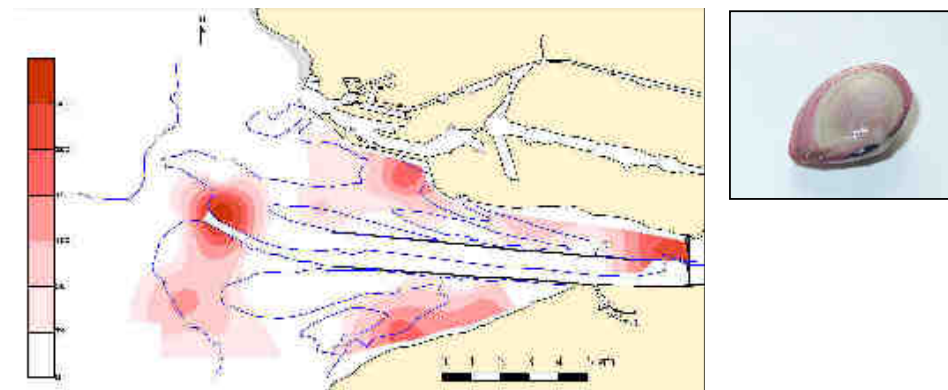
Bien que de nombreuses espèces méritent de voir cartographiée leur répartition, il a été effectué un choix basé en premier lieu sur la participation de ces dernières à l'abondance totale. Il a été sélectionné en second lieu des espèces susceptibles de représenter une ressource trophique vis à vis de l'avifaune ou de l'ichtyofaune ainsi que certaines espèces encore non inventoriées dans l'estuaire.

Les Mollusques bivalves

- *Macoma balthica* (carte 12) :

Intérêt trophique	Poissons	oui	Oiseaux	oui
-------------------	----------	-----	---------	-----

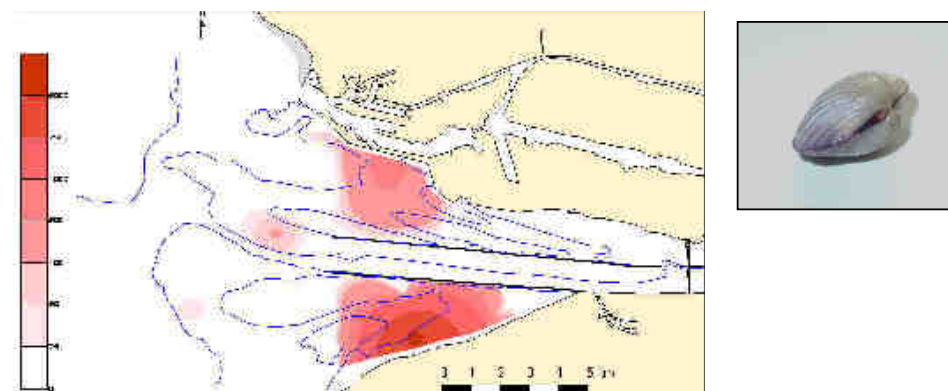
La répartition de *Macoma balthica* est assez hétérogène. Dans la partie interne de l'estuaire, il semble que les zones relativement calmes sur le plan de leur hydrodynamisme soient particulièrement favorables à l'implantation de l'espèce, toutefois les densités dépassent rarement 200 ind./m². Dans la partie externe, les résultats doivent être considérés avec la plus grande prudence car les individus observés sont surtout des juvéniles, voire du naissain, qui ne réussiront peut être pas à s'implanter véritablement dans cette zone particulièrement exposée aux houles et courants.



Carte 12 : Répartition des densités (Nbre d'ind./m²) du mollusque bivalve *Macoma balthica* en septembre 2000.

- *Cerastoderma edule* / coque (carte 13) :

Intérêt trophique	Poissons	Faible	Oiseaux	fort
-------------------	----------	--------	---------	------



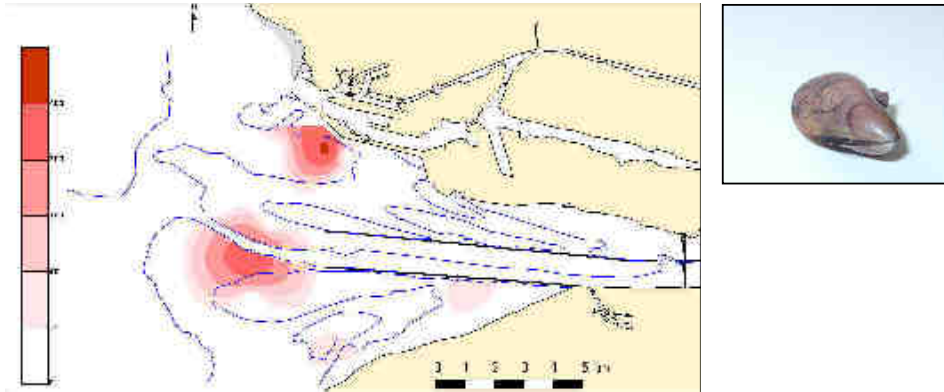
Carte 13 : Répartition des densités (Nbre d'ind./m²) du mollusque bivalve *Cerastoderma edule* (coque).

La coque est absente en amont de la fosse nord ainsi que dans la zone endiguée autour du chenal de navigation. A l'aval de la fosse nord, les densités atteignent plus de 500 ind./m² au sud des digues du

port du Havre, en milieu subtidal (< 0m). En revanche c'est en domaine intertidal que les plus fortes densités sont observées entre Villerville et Pennedepie avec 5690 ind./m².

- *Mytilus edulis* / moule (carte 14) :

Intérêt trophique	Poissons	Faible	Oiseaux	fort
-------------------	----------	--------	---------	------

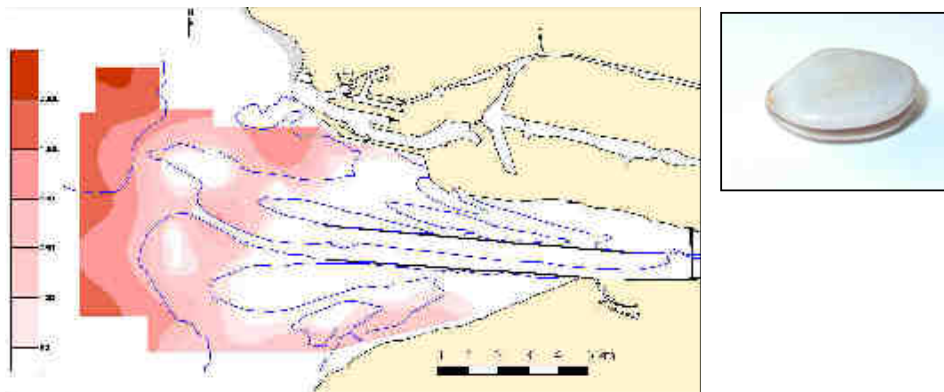


Carte 14 : Répartition des densités (Nbre d'ind./m²) du mollusque bivalve *Mytilus edulis* en septembre 2000.

Les plus fortes concentrations de moules (437 et 507 ind./m²) sont situées légèrement plus en aval que celles de la coque dans des secteurs par ailleurs plus profonds. Cette espèce parvient à se développer dans les substrats meubles riches en débris coquilliers qui lui servent de support de fixation. Bien que cela n'apparaisse pas sur la carte, l'espèce est aussi présente dans la partie interne de la Fosse Nord au pied de la Digue en Crochet, en bordure sud du site d'extension du port du Havre ainsi que le long de la digue submersible rive sud et sur le banc du Ratier.

- *Abra alba* (carte 15) :

Intérêt trophique	Poissons	Fort	Oiseaux	faible
-------------------	----------	------	---------	--------

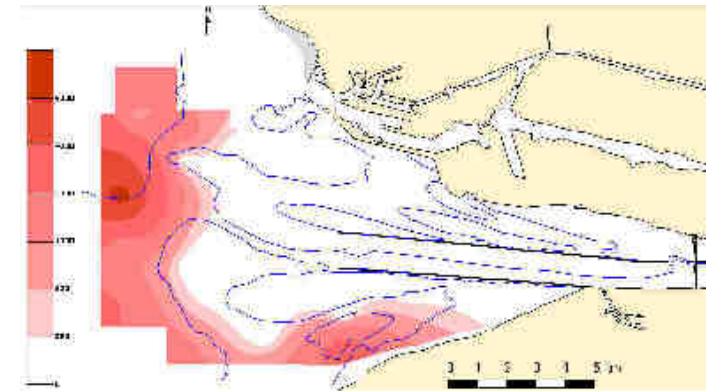


Carte 15 : Répartition des densités (Nbre d'ind./m²) du mollusque bivalve *Abra alba* en septembre 2000.

Les densités les plus fortes (supérieures à 2000 ind./m²) se trouvent à l'extrémité ouest du périmètre et coïncident avec la disparition de *Macoma balthica*. Les bancs sableux du delta externe constituent un biotope visiblement défavorable pour l'espèce. *Abra alba* peut être observée en limite de zone intertidale comme c'est le cas à la station 19 en Fosse Sud. Elle est en revanche absente de la quasi totalité de la Fosse Nord.

- *Mysella bidentata* (carte 16) :

Intérêt trophique	Poissons	?	Oiseaux	nul
-------------------	----------	---	---------	-----



Carte 16 : Répartition en densités (Nbre d'ind./m²) du mollusque bivalve *Mysella bidentata* en septembre 2000.

Les données antérieures relatives à l'estuaire de Seine font peu état de ce bivalve de petite taille (souvent < à 3mm) qui est une espèce typiquement marine couramment observée en Baie de Seine orientale (Thiébaud, *et al.*, 1997). L'espèce semble trouver ici des conditions particulièrement favorables à son développement avec des densités qui atteignent près de 7000 ind./m². La limite de pénétration de *Mysella* vers l'intérieur de l'estuaire paraît correspondre à la sonde -3m CM.

Les annélides (vers)

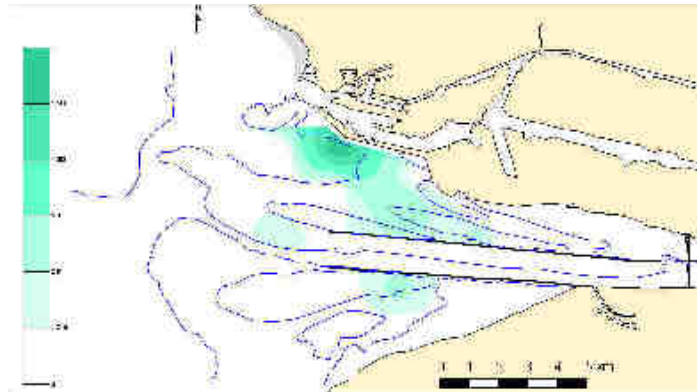
- *Streblospio shrubsolei* (carte 17) :

Intérêt trophique	Poissons	?	Oiseaux	nul
-------------------	----------	---	---------	-----

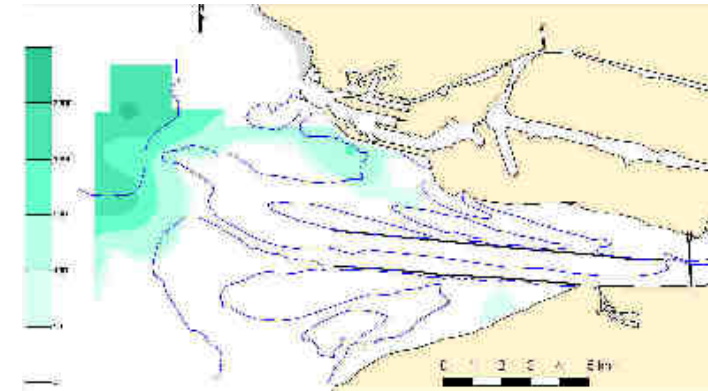
Il s'agit d'un petit vers sédentaire de la famille des Spionidés. Cette espèce est observée pour la 1^{ère} fois dans l'estuaire de Seine alors qu'elle a déjà été mentionnée dans d'autres estuaires français comme la Loire (CSEEL, 1983). Sa répartition est plutôt localisée dans la partie nord du périmètre, avec des densités en général assez faibles, qui ne dépassent guère 150 ind./m² aux stations 20 et 21.

L'espèce est décrite comme préférant l'eau saumâtre et un substrat de vase molle. Ces observations se vérifient globalement sur la carte des faciès sédimentaires et à partir des informations qualitatives sur la texture du substrat. L'aire de répartition semble dépendant limitée par d'autres facteurs car *Streblospio* devient rare en amont de la fosse nord malgré une dessalure et des teneurs en vase qui pourraient convenir à son implantation.

Son intérêt trophique vis à vis de l'ichtyofaune n'est pas connu, mais il est possible, en raison de sa petite taille, que cette espèce contribue à l'alimentation des juvéniles de poissons plats tels que la sole.



Carte 17 : Répartition des densités (Nbre d'ind./m²) de l'annélide *Streblospio shrubsolii* en septembre 2000

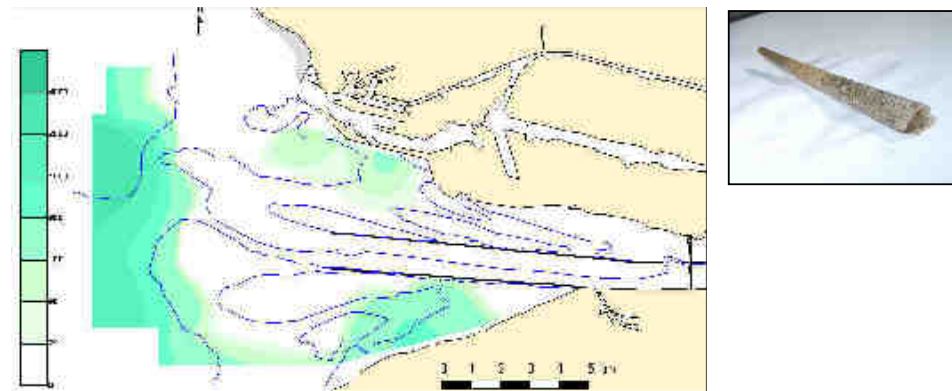


Carte 19 : Répartition des densités (Nbre d'ind./m²) de l'annélide *Tharyx marioni* en septembre 2000

- *Pectinaria koreni* (carte 18) :

Intérêt trophique	Poissons	fort	Oiseaux	nul
-------------------	----------	------	---------	-----

La répartition de la pectinaire ou « tuyau de pipe » ressemble assez à celle de *Abra alba*. Les densités atteignent près de 4000 ind./m² à l'ouest du périmètre sur des fonds supérieurs à 10m. La limite de répartition paraît se superposer, comme pour *Abra alba*, à une sonde comprise entre -3 et -2m. Il semble que certains secteurs abrités et très proches de la côte puisse convenir à cette espèce ; on y observe jusqu'à 700 ind./m² entre Villerville et Pennedepie.



Carte 18 : Répartition des densités (Nbre d'ind./m²) de l'annélide *Pectinaria koreni* en septembre 2000

- *Tharyx marioni* (carte 19) :

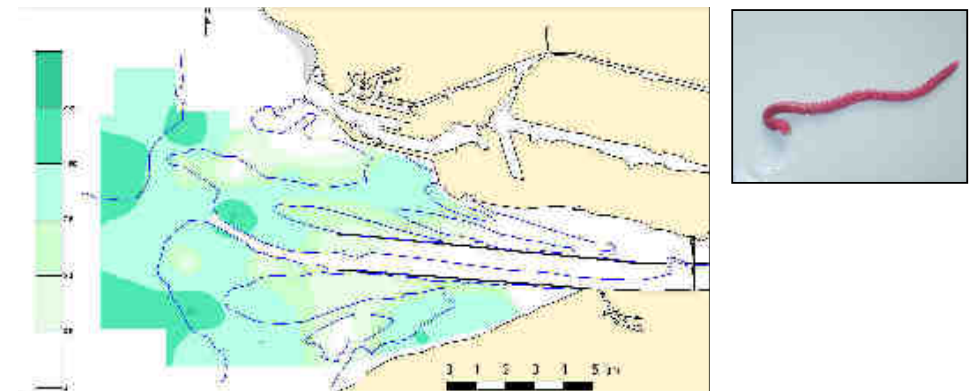
Intérêt trophique	Poissons	?	Oiseaux	nul
-------------------	----------	---	---------	-----

La distribution spatiale de cet annélide sédentaire est peu mentionnée dans les travaux antérieurs, vraisemblablement en raison de méthodes peu propices à un bon échantillonnage (\emptyset du corps souvent < 2mm). Cette espèce est absente de la majeure partie de l'estuaire, excepté dans le secteur nord ouest où l'on enregistre jusqu'à 2290 ind./m² sur des fonds de plus de 12m.

- *Nephtys hombergii* (carte 20) :

Intérêt trophique	Poissons	fort	Oiseaux	faible
-------------------	----------	------	---------	--------

La répartition de cet annélide errant et carnivore contraste avec celle des espèces précédentes ; *Nephtys hombergii* est ubiquiste, comme le montre son aire de répartition. Il s'agit de l'une des espèces les plus constantes dans les prélèvements et sa présence est enregistrée jusqu'en amont de la Fosse Nord. Dans ce secteur, il fait partie des espèces dominantes avec *Macoma balthica*. Les densités maximales sont observées encore une fois dans la zone ouest du périmètre avec plus de 200 ind./m². Les substrats sableux et peu stables (bancs mobiles) assujettis aux courants conviennent toutefois moins bien à l'espèce.



Carte 20 : Répartition des densités (Nbre d'ind./m²) de l'annélide *Nephtys hombergii* en septembre 2000

B.2.3. Les biomasses

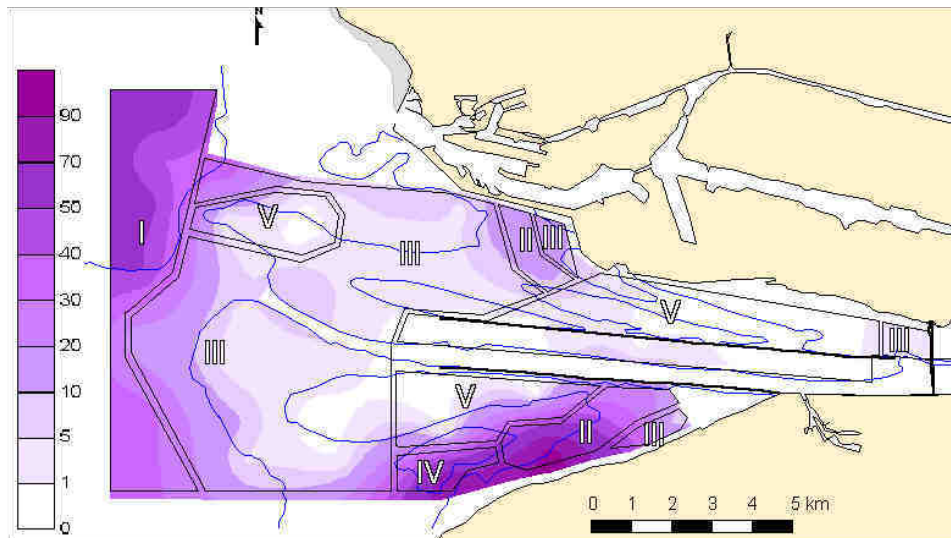
On retrouve pour les biomasses, comme pour la richesse spécifique et les densités, des valeurs très contrastées sur le plan spatial, avec à nouveau une structuration selon les axes longitudinal et transversal (carte 21).

Sur l'axe longitudinal, les biomasses augmentent vers le large depuis le chenal endigué où les valeurs sont inférieures à 1g/m² pour atteindre 35 g/m² en deçà de la sonde -5m CM sur le peuplement à *Abra-Pectinaria*.

A l'échelle de la fosse nord ce gradient n'apparaît pas, avec une zone centrale dont les biomasses sont très faibles (< 1g/m²) et une moindre augmentation vers les pôles ouest et est (7g/m²).

En fosse sud les données se structurent en revanche préférentiellement selon l'axe transversal et augmentent depuis le Ratier vers le littoral Augeron au sud. La partie externe de la fosse nord révèle aussi cette tendance localement, avec une augmentation des biomasses orientée cette fois vers le nord, au niveau du site d'implantation du projet d'extension du Port du Havre.

A titre indicatif, les mesures issues de prélèvements à la drague non incluses dans ce traitement pour des raisons de rigueur dans l'analyse, varient entre 3,8 et 15,4 g/30l, la moyenne étant de 9 g/30l.



Carte 21 : Répartition de la biomasse totale de la macrofaune benthique (g/m² de matière sèche libre de cendres) et représentation des assemblages de stations issus de la classification sur les données normalisées pour les 49 stations échantillonnées à la benne dans l'estuaire de la Seine en septembre 2000.

Les classifications ont été appliquées aux biomasses de la même façon que pour les densités. Le calcul sur les stations (figure 7) aboutit à la séparation de 5 groupes :

La 1^{ère} division (groupe I) oppose encore la plupart des stations du large, caractéristiques du peuplement à *Abra-Pectinaria*, par rapport à l'ensemble des autres stations. La 2^{ème} division (groupe II) isole quelques stations périphériques au nord (14 et 15) et au sud (11 et 19). La 3^{ème} division (groupe V) regroupe les stations proches du Kannik, celles de l'intérieur de la fosse nord et du chenal central ainsi que le secteur nord-ouest de la fosse sud (Ratier). Enfin la 4^{ème} division isole la station 27 (groupe IV) par rapport à un grand ensemble à l'aval des fosses et la station 12 rive sud (groupe III).

La classification inverse sur les espèces et groupes d'espèces (figure 8) permet d'ordonner les résultats de façon synthétique (tableau 5).

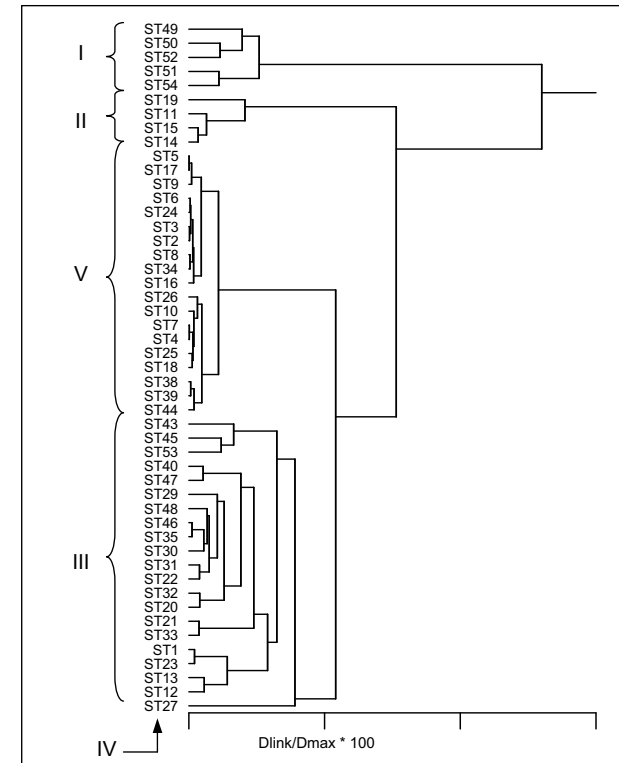


Figure 7 : Dendrogramme issu de la classification hiérarchique sur les stations (Méthode de Ward, distance Euclidienne) pour les biomasses normalisées de la macrofaune benthique de l'estuaire de la Seine en septembre 2000.

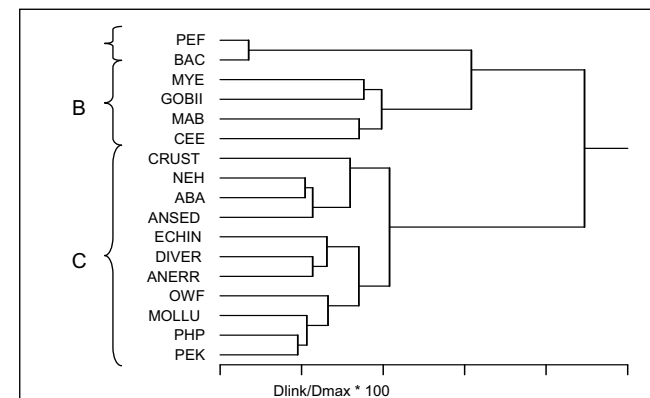


Figure 8 : Dendrogramme issu de la classification hiérarchique sur les espèces (Méthode de Ward, distance du KHi²) pour les biomasses standardisées de la macrofaune benthique de l'estuaire de la Seine en septembre 2000.

L'assemblage I est dominé en biomasse par les échinodermes (12,9 g/m²), *Pectinaria* (7,3 g/m²) et *Owenia* (6,5 g/m²) ; la biomasse moyenne de l'ensemble de la faune est ici de 50 g/m². L'assemblage II est structuré par la coque (33 g/m²), les autres espèces contribuant peu à la valeur totale (38 g/m²). Les biomasses sont inférieures à 10 g/m² sur l'assemblage III et les espèces dominantes que sont *Macoma*, *Abra* et *Owenia* ne dépassent guère chacune 1g/m². Les biomasses les plus faibles appartiennent à l'assemblage V avec *Macoma* (0,25 g/m²) et *Nephtys* (0,1g/m²). Enfin l'assemblage IV est particulier et se rattache à une seule espèce pour la station 27 : *Barnea candida* avec 68 g/m². Les autres espèces représentatives de ce groupe sont dans une moindre mesure *Abra*, *Petricola* et *Mytilus* (entre 2 et 4 g/m²).

		Groupes de stations								
Espèces		I	Et	II	Et	III	Et	V	Et	IV
A	<i>Barnea candida</i>	0		0		0,06	0,2	0,03	0,1	68,28
	<i>Petricola foliadiformis</i>	0		0		0,01	*	0		2,7
	<i>Mytilus edulis</i>	0		0,34	0,5	0,48	1,4	0,01	*	2,2
B	Gobiidé	0		0,025	*	0,04	0,1	0,014	*	0
	<i>Macoma balthica</i>	0		0,63	0,4	1,00	1,8	0,25	0,3	0
	<i>Cerastoderma edule</i>	0		33,32	33	0,66	1,5	0,009	*	0,01
C	Crustacés	0,36	0,3	0,34	0,4	0,12	0,2	0,09	*	0,23
	<i>Nephtys hombergii</i>	0,78	0,4	0,29	*	0,41	0,5	0,1	0,1	0
	<i>Abra alba</i>	5,38	4,6	0,86	1,4	1,39	2,2	0,01	*	3,61
	Echinodermes	12,91	10,6	0		0,07	0,2	<0,001	*	0
	<i>Owenia fusiformis</i>	6,50	5,8	0,03	*	1,12	4	0		0
	<i>Phaxas pellucidus</i>	4,37	2	<0,001	*	0,10	0,4	0		0
	<i>Pectinaria koreni</i>	7,26	7	2,21	3,8	0,47	0,9	<0,001		0,2
	Divers mollusques	4,25	2,8	0,12	0,2	0,58	1	0,02	*	0,36
	Divers annélides séd.	0,67	0,5	0,03	*	0,23	0,5	0,02	*	0,04
	Divers annélides err.	1,33	0,8	0,013	*	0,09	0,3	0,01	*	0,7
	Divers	3,85	5,6	0,05	0,1	0,03	0,1	0,008	*	0
Total (g/m²)		46,99		38,26		6,88		0,57		78,32

Tableau 5 : Ordonnement des groupes de stations et d'espèces issu des classifications sur les biomasses de la macrofaune benthique de l'estuaire de Seine en septembre 2000. Et = écarts type ; * = valeurs < 0,1.

B.2.4. Répartition des effectifs en classe de taille

L'étude porte sur quatre espèces caractéristiques : *Abra alba*, *Pectinaria koreni*, *Cerastoderma edule* et *Macoma balthica* (figure 9).

La population d'*Abra* (figure 9a) a une structure classique dominée par les jeunes au large de l'estuaire jusqu'à la sonde -3m CM. Au dessus de cette strate le naissain devient plus rare (< 10%) et la structure démographique témoigne d'un milieu qui convient moins bien au renouvellement naturel de l'espèce.

Les résultats obtenus sur *Pectinaria* (figure 9b) montrent que c'est sur des fonds de plus de 5m CM que l'on observe le maximum de naissain. La contribution de ces très jeunes individus à l'ensemble de la population est cependant relativement faible en 2000 (environ 20%). L'état général du naissain est bon jusqu'en milieu intertidal (0m CM) où il est absent, traduisant une implantation possible des jeunes pectinaires jusqu'à cette strate.

Concernant la coque (*Cerastoderma edule*), on remarque l'absence de corrélation entre les densités et le taux de naissain au sein des effectifs (figure 9c). C'est en effet entre 0 et +1m que sont enregistrées les plus fortes densités, alors que la contribution du naissain est maximale (environ 40%) entre -3 et -5m ainsi que entre -1 et -2m. La population de coque de l'estuaire de la Seine est vraisemblablement perturbée, avec des difficultés de renouvellement en milieu intertidal (naissain < 20%), qui constitue habituellement l'habitat préférentiel de l'espèce. A ceci s'ajoute, en domaine subidal, l'existence de juvéniles qui ne réussiront probablement pas à se développer compte tenu des densités observées et d'une faible présence d'adultes au sein des effectifs.

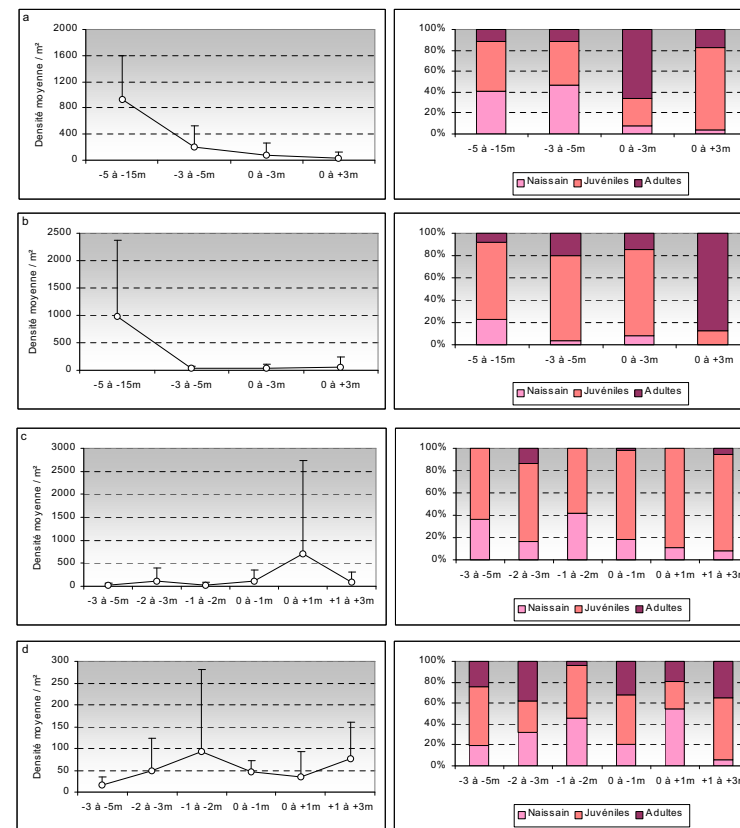


Figure 9 : Evolution de la répartition de *Abra alba* (a), *Pectinaria koreni* (b) *Cerastoderma edule* (c) et *Macoma balthica* (d) en fonction des strates bathymétriques pour les densités moyennes (graphes de gauche) et les classes d'âge (graphes de droite).

Les résultats obtenus sur *Macoma balthica* sont également inattendus. Cette espèce étant comme la coque typiquement intertidale, une augmentation de la contribution du naissain et des juvéniles était attendue dans cet étage du littoral. L'image obtenue ne reflète pas cette théorie et c'est entre -1 et -3m que l'on enregistre les plus fortes concentrations de naissain, alors que les juvéniles ont une distribution variable selon les strates. L'absence de naissain en amont de la Fosse Nord est également à mentionner, ceci étant très certainement à relier à l'instabilité substrat (banc de la Passe).

B.2.5. La mortalité : exemple de *Pectinaria koreni*

L'élaboration de cet indice a été exposée en A.2.3. Les résultats obtenus sont illustrés ci-dessous :

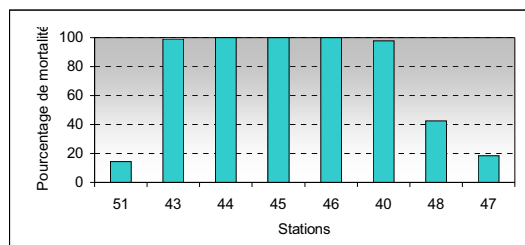


Figure 10 : Mortalité (%) de *Pectinaria koreni* au débouché de l'estuaire de Seine en septembre 2000.

Sur la plus grande partie des stations prospectées, la mortalité du benthos existe. En règle générale, 2 à 5% des individus sont constatés morts dans les prélèvements et ce bruit de fond correspond à un phénomène naturel dans le cycle de vie des espèces.

En revanche on observe une très forte augmentation de la mortalité, jusqu'à atteindre 100% des nombreux individus récoltés, sur les stations 43, 44 et 45, toutes trois situées aux alentours de l'extrémité aval du chenal d'accès au Port de Rouen.

Ce niveau de mortalité ne concerne pas que la Pectinaire, d'autres taxons comme les ophiures et particulièrement les bivalves, sont concernés sur les mêmes stations.

B.3. Bathymétrie et granulométrie du substrat : quelle relation avec la faune benthique ?

B.3.1. La bathymétrie

En se plaçant tout d'abord à l'échelle de l'ensemble du site étudié, il apparaît une augmentation significative de la richesse spécifique ($r^2 = 0,70 > 0,29$ au risque de 5 %) et des densités ($r^2 = 0,66 > 0,29$ au risque de 5 %) avec la profondeur, visible sur les cartes correspondantes. Les graphes obtenus (figurent 11) montrent que cette tendance se fait sentir surtout à partir de la cote -5 m vers les stations du large.

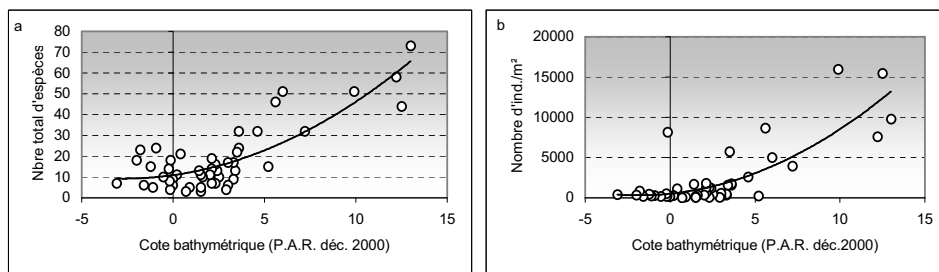


Figure 11 : Evolution de la richesse spécifique (a) et des densités (b) du macrobenthos en fonction de la bathymétrie dans l'estuaire de la Seine (la zone intertidale est illustrée en valeurs négatives).

En revanche à l'échelle des deux fosses de flot, aucune tendance ne se dégage (figure 12) et la bathymétrie ne structure pas de façon significative les résultats :

La rive nord semble révéler l'existence d'une tendance à l'augmentation de la richesse spécifique vers le large (figure 12a), alors que celle-ci serait plutôt inversée pour la rive sud. Ce secteur de l'estuaire possède en revanche une faune deux fois plus riche en espèce que celle de la fosse nord (Cf B.2.1.).

L'analyse sur les densités tend à confirmer ce constat mais pour la fosse sud les résultats sont à considérer avec prudence en raison du faible nombre de stations étudiées.

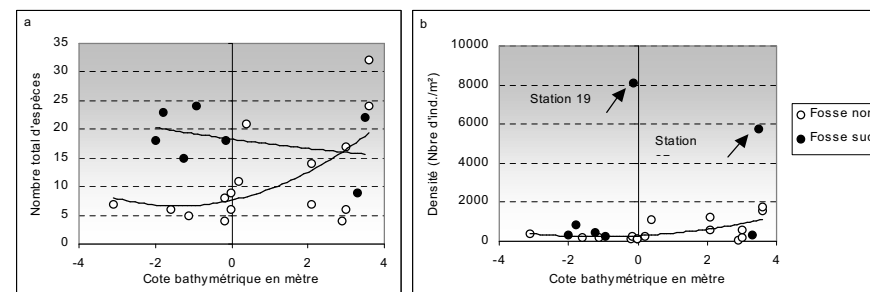


Figure 12 : Evolution de la richesse spécifique (a) et des densités du macrobenthos en fonction de la bathymétrie de la Seine (la zone intertidale est illustrée en valeurs négatives).

B.3.2. La granulométrie du substrat

L'effet de la granulométrie est évident pour l'assemblage marin mis en évidence au nord du périmètre (MC). On y trouve une faune benthique caractéristique des fonds hétérogènes caillouteux. En revanche pour les substrats meubles présents sur la majorité de l'estuaire de la Seine, le lien avec le substrat est plus subtil. Différentes approches ont donc été faites pour aborder cette question.

La première consiste à élaborer une matrice de corrélation confrontant les données de granulométrie, de richesse spécifique, de densité et de biomasse par station (tableau 6).

	Mode	Vase	Sable fin	Sable moyen	Sable gross.	Sables tot.	Densité	Nb sp. endo	Biomasse
Mode	1,000								
Vase	-0,465	1,000							
Sable fin	0,146	-0,602	1,000						
Sable moyen	0,526	-0,903	0,234	1,000					
Sable grossier	0,273	-0,558	-0,219	0,688	1,000				
Sables totaux	0,464	-1,000	0,602	0,903	0,558	1,000			
Densité	0,081	-0,016	-0,112	0,112	0,021	0,016	1,000		
Nb d'sp. Endo	0,207	-0,071	-0,131	0,182	0,109	0,071	0,768	1,000	
Biomasse	0,010	0,100	-0,196	0,016	-0,036	-0,100	0,805	0,583	1,000

Tableau 6 : Matrice de corrélation entre les données granulométriques du sédiment et les paramètres élémentaires du macrobenthos pour les 49 stations échantillonnées à la benne en septembre 2000.

Au vu des coefficients obtenus, aucun des trois paramètres élémentaires du macrobenthos ne s'avère être corrélé de façon significative avec les caractéristiques granulométriques du sédiment. Ce résultat pouvait être pressenti en raison notamment de la diversité des assemblages sédimentaires dans des zones géographiques uniformément pauvres sur le plan faunistique.

Une seconde approche est effectuée en élargissant la matrice de base, qui prend en compte cette fois chacune des 76 espèces présentes dans plus de 5% des stations selon leur densité et leur biomasse. Ce type d'analyse ne dégage évidemment aucune tendance directe sur le plan spatial, mais vise à montrer l'existence d'un lien plus ou moins fort entre certaines espèces et la nature de la couverture sédimentaire (tableau 7).

	Degré de confiance pour les espèces corrélées significativement		
	10%	5%	1%
Mode granulométrique	+ <i>Capitomastus</i>	+ <i>Heteromastus</i>	+ <i>Streblospio</i>
Vases	+ <i>Macoma</i> + <i>Barnea</i> - <i>Nephtys cirrosa</i> - <i>Urothoe poseidonis</i>	- <i>Magelona</i> - <i>Spio</i>	
Sables fins		+ <i>Magelona</i>	
Sables moyens	+ <i>Eteone</i> + <i>Nucula</i> + <i>Spiophanes</i> + <i>Eumida</i> + <i>Pontophilus</i> + <i>Phyllodoce rosea</i> + <i>Sigalion</i>	+ <i>Nephtys cirrosa</i>	
Sables grossiers	+ <i>Erichthonius</i> + <i>Nephtys cirrosa</i>		

Tableau 7 : Espèces de la macrofaune benthique de l'estuaire de la Seine corrélées significativement avec certaines caractéristiques granulométriques du sédiment.

Environ 13% des espèces considérées possèdent une réelle exigence ou affinité particulière vis de la granulométrie du sédiment en place. Ces résultats montrent par ailleurs que peu d'espèces ont une préférence marquée pour les vases. Les seules espèces dans ce cas sont ici *Macoma* et *Barnea*. Certains taxons sont même répulsifs vis à vis des fines. En revanche la présence de sables plus ou moins fins s'avère importante pour certains crustacés (*Pontophilus*, *Erichthonius*), annélides errantes (*Phyllodoce rosea*, *Sigalion*, *Eumida*, *Nephtys cirrosa*), annélides sédentaires (*Spiophanes*) et un mollusque lamellibranche (*Nucula*). Le mode granulométrique structure aussi la répartition des organismes benthiques, comme c'est le cas notamment pour *Streblospio* qui semble avoir besoin d'un sédiment constitué majoritairement de vase mais où le sable fin est présent.

Une analyse plus générale a été par ailleurs effectuée sur les données moyennes des paramètres descripteurs du macrobenthos pour les stations regroupées cette fois selon trois catégories de substrat, à savoir les sables puis les vases et enfin les vases associées aux sables en proportions variables (voir découpage en annexe 3).

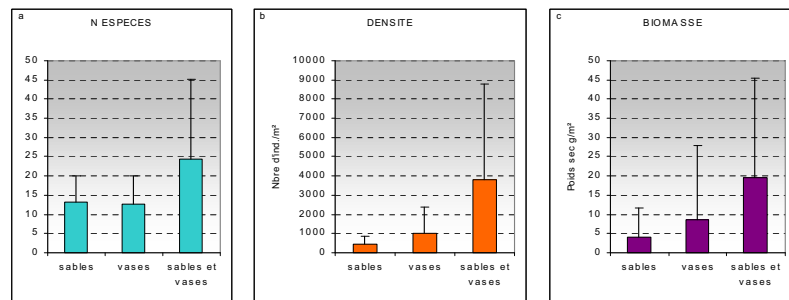


Figure 13 : Comparaison des moyennes en richesse spécifique (a), densité (b) et biomasse (c) du macrobenthos de l'estuaire de Seine pour trois catégories de sédiment.

Il en ressort que les valeurs moyennes en terme de nombre d'espèces, de densité et de biomasse, apparaissent cette fois nettement supérieures pour un sédiment constitué de sables et de vases que pour celles obtenues sur un substrat dominé par la fraction sableuse ou par celle des vases (figure 13).

L'intégration des données bathymétriques pour chacune des trois catégories de sédiment apporte des compléments d'informations et permet de hiérarchiser l'effet des deux facteurs étudiés (figure 14) :

- Une tendance à l'inflexion des valeurs de densité et de richesse spécifique entre 0 et -2m sur un sédiment sableux (figure 14-1); les biomasses sont faibles en domaine subtidal ;
- Les zones fortement envasées (figure 14-2) du domaine intertidal étudié (entre 0 et +1m) présentent actuellement peu d'intérêt pour les densités et la biomasse du macrobenthos ;
- L'effet apparemment positif d'un substrat constitué à la fois de sable et de vase vu précédemment sur les trois descripteurs trouve son origine uniquement pour les stations du large à partir de la cote -5m CM. Ceci nous amène à pondérer les résultats de la figure 13. C'est la bathymétrie (et à travers elle la salinité) qui structure en premier lieu le macrobenthos, et la nature du substrat s'avère être en final un facteur très secondaire (cf tableau 6).

Une comparaison effectuée cette fois pour des niveaux bathymétriques comparables, entre +3 et -4m, fournit les résultats suivants en excluant les stations atypiques 19 et 27 :

Descripteur	Sables		Vases		Substrat composite	
Richesse spécifique	13,6	± 7	12,0	± 7	11,6	± 8
Densité N. ind./m ²	465	± 435	674	± 622	653	± 777
Biomasse g/m ²	4,5	± 8	3,9	± 5	3,5	± 4

Tableau 8 : Comparaison des valeurs moyennes en richesse spécifique, densité et biomasse pour trois catégories de substrat meubles présents entre +3m et -4m CM dans l'estuaire de Seine en septembre 2000.

Les valeurs obtenues sont similaires en richesse spécifique et biomasse mais les sables ont des densités environ 1,5 fois inférieures par rapport aux vases ou un sédiment hétérogène. La densité tend par ailleurs à diminuer de façon significative vers des fonds de plus en plus faibles (annexe 8).

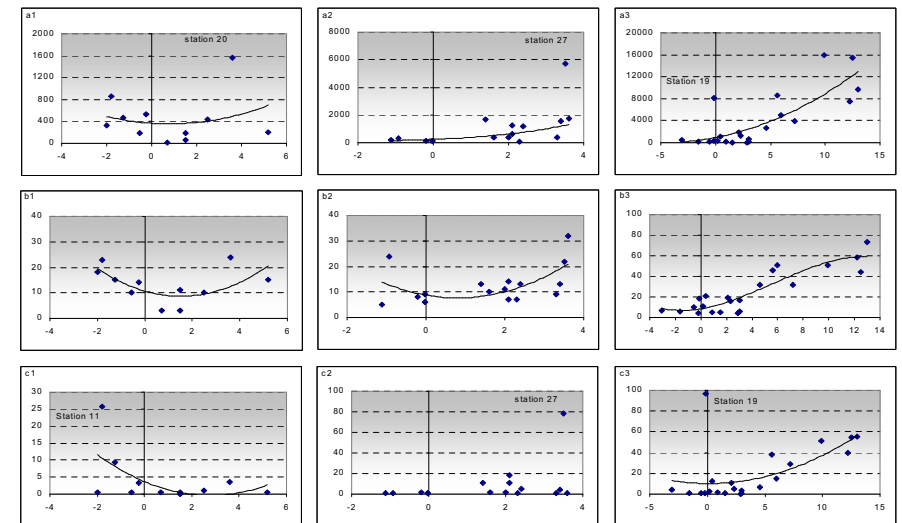


Figure 14 : Evolution de la densité (a) de la richesse spécifique (b) et de la biomasse (c) du macrobenthos de l'estuaire de la Seine en septembre 2000 en fonction de la bathymétrie pour un substrat constitué majoritairement de sables (1) de vases (2) ou de ces deux catégories combinées (3).

B.4. Synthèse : structures spatiales en septembre 2000.

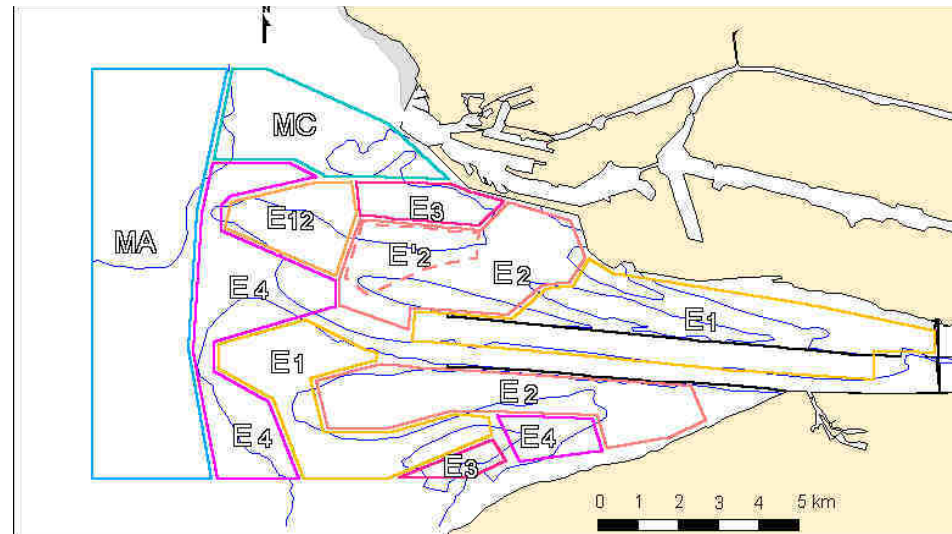
L'organisation globale de la faune s'effectue à la fois selon les axes longitudinal et transversal. L'analyse des descripteurs faunistiques que sont la richesse spécifique, la densité et la biomasse montre en général un appauvrissement du macrobenthos vers l'intérieur de l'estuaire. Sur l'axe transversal, il existe une augmentation des densités et des biomasses à l'aval des fosses de flot, du centre vers les extrémités nord et sud. Cette tendance est particulièrement prononcée en fosse sud, depuis le banc du Ratier vers la côte du Calvados.

Le chenal endigué possède selon chacun des paramètres étudiés les plus faibles résultats, avec une faune pouvant être jusqu'à totalement absente. L'intérieur de la fosse nord, dans sa partie la plus chenalisée n'est guère plus riche, mais l'appréciation globale de ce secteur ne saurait être faite sans tenir compte de son étroite connexion avec la vasière intertidale jusque en amont du Pont de Normandie.

La fosse sud révèle quant à elle des résultats contrastés. La richesse spécifique y est supérieure à celle de la fosse nord en raison d'une moindre influence des eaux du fleuve (brèche sans effet sur ce plan), mais les fortes densités et biomasses restent toutefois localisées, pour un nombre restreint de stations.

Les analyses statistiques appliquées aux descripteurs de la faune ont montré l'existence de différents assemblages concernant la répartition spatiale des espèces, dont une synthèse peut être établie en intégrant autant que possible l'effet de la bathymétrie et de la taille des particules sédimentaires (carte 21 et tableau 8). Sept secteurs sont alors mis à jour, qui peuvent s'interpréter ainsi :

- Secteur **MA** : C'est le peuplement marin côtier des sables fins envasés à *Abra-Pectinaria*. Il caractérise les fonds les plus importants du domaine d'étude jusqu'à -3m CM. Cette unité possède la richesse spécifique et les densités les plus élevées. Ces dernières sont fortement structurées par une seule espèce : *Mysella bidentata*. Les biomasses sont comprises entre 15 et 55 g/m².
- Secteur **MC** : Cet ensemble appartient également au peuplement à *Abra-Pectinaria*, mais en constitue une variante avec un cortège d'espèces caractéristiques d'un substrat caillouteux hétérogène. La richesse spécifique est élevée, le niveau de densité est satisfaisant mais les biomasses restent assez faibles.
- Secteur **E4** : Zone de transition plus ou moins perturbée au pied des bancs de l'embouchure. Le niveau de richesse spécifique rattache ce secteur à l'estuaire. Le substrat est instable, marqué par des envasements temporaires. Les biomasses sont faibles malgré des densités non négligeables (> 1000 ind./m²). Une station se rattache à ce groupe rive sud au regard de sa composition faunistique. On y enregistre cependant les plus fortes biomasses (près de 100 g/m²).
- Secteur **E3** : Vases subtidales présentant un faciès à *Barnea - Petricola* (fosse sud) associées à *Mytilus* et *Glycera*. Cet ensemble possède des valeurs intermédiaires en richesse spécifique et densité mais des biomasses très variables, pouvant cependant atteindre près de 80 g/m² rive sud.
- Secteur **E2** : Communauté estuarienne à *Macoma* associée à *Cerastoderma*. Ensemble caractérisé par la variabilité, non seulement de la densité et de la biomasse, mais aussi du rapport vases/sables. Rive nord un faciès à *Donax* et *Spio* est mis en évidence pour des sables purs à vaseux (E'2).
- Secteur **E12** : Communauté appauvrie à *Macoma* associée au banc de sables du Kannik (site de dépôt de dragages). Les biomasses sont < 1 g/m².
- Secteur **E1** : Communauté oligospécifique à *Macoma* de la partie interne de la fosse nord (intertidal) et en bordure du chenal central (subtidal) où la faune est fortement appauvrie. Excepté en amont de la fosse nord, les biomasses sont <1 g/m². Ce secteur s'individualise également par la variabilité granulométrique du sédiment.



Carte 22 : Synthèse de la structuration spatiale du macrobenthos de l'estuaire de la Seine en septembre 2000 selon les descripteurs élémentaires de richesse spécifique, densité et biomasse.

	Peuplement	Densité N / m ²	Biomasse g/m ²	Nbre d'espèces
MA	Marin côtier des sables fins envasés à <i>Abra-Pectinaria</i>	5000 à 16000	15 - 55	40 - 70
MC	Marin côtier à <i>Abra-Pectinaria</i> . Association à <i>Galathea</i> et <i>Pisidia</i> sur fonds caillouteux	*	*	35 - 50
E4	De transition et perturbé à l'embouchure : substrat instable (envasement temporaire)	1500 - 4000 8000 rive sud (1 stat*)	5 - 30 100 rive sud (1 stat*)	13 - 32
E3	Vases subtidales (compactes) Faciès à <i>Barnea - Petricola</i> Associées à <i>Mytilus</i> et <i>Glycera</i>	1500 - 6000	4 - 8 78 rive sud (1 stat*)	20 - 35
E2 E2'	Sables et vases Communauté à <i>Macoma</i> Association à <i>Cerastoderma</i> Faciès à <i>Donax</i> et <i>Spio</i> .	190 - 1250	0,5 - 25	7 - 23
E12	Sables propres : banc du Kannik Faune appauvrie	100 - 500	< 1 g/m ²	10 à 15
E1	Sables et vases Communauté à <i>Macoma</i> très appauvrie dans le chenal central.	10 - 1150 chenal < 100	0,1 - 5 Chenal < 1	4 - 13 chenal < 8

Tableau 9 : Caractéristiques essentielles du macrobenthos de l'estuaire de la Seine en septembre 2000 concernant les peuplements, la nature du substrat et les descripteurs élémentaires de la faune. * valeurs rapportées à 30l fournies en annexe.

C – Discussion – conclusions

C.1. Organisation spatiale du macrobenthos

Le compartiment macrobenthique de l'estuaire de la Seine pour les fonds compris entre -15 et +3m CM est structuré selon un gradient amont-aval avec en amont, la communauté à *Macoma balthica* et en aval, le peuplement des sables fins plus ou moins envasés à *Abra-Pectinaria*. Une structuration, bien que moins marquée, apparaît également selon l'axe nord-sud en aval des fosses de flot où l'on distingue l'apparition de faciès faunistiques particuliers, toutefois assez localisés sur le plan géographique. La zone de dépôt du Kannik et ses abords immédiats constituent aujourd'hui un vaste banc de sables compactes qui s'individualise par la pauvreté de sa faune benthique et des biomasses très faibles.

A l'échelle spatiale d'observation de cette étude, l'estuaire de la Seine ne semble pas, contrairement aux conclusions de Charrier (2001), faire l'objet d'un véritable continuum entre les deux unités de peuplement qui le caractérise. Les cartographies effectuées ici sur la richesse spécifique, les densités et les biomasses, opposent en effet fortement le peuplement des fonds supérieurs à l'isobathe -3m CM (*Abra-Pectinaria*) par rapport à celui des petits fonds et du domaine intertidal (communauté à *Macoma*), pour lequel chacun des paramètres mesurés ne fournit qu'exceptionnellement des valeurs aussi élevées que celles du peuplement à *Abra-Pectinaria*.

A l'embouchure de l'estuaire, ce dernier montre par ailleurs certains traits en commun avec une association à *Nucula nitidosa* identifiée par Lindeboom et De Groot (1998) sur le German Bight à l'embouchure des estuaires de l'Elbe et de la Weser et plus récemment entre le Cap de la Hève et Antifer (de Roton *et al.*, 1999). *Mysella bidentata* est une des espèces dominantes de cette association avec *Owenia fusiformis* et *Nucula nitidosa*. Sur chacun des trois sites, ce peuplement subit l'influence conjuguée d'un fleuve et/ou de dragages ; l'analyse témoigne en final d'un caractère peu mature et instable de ce peuplement, notamment pour l'estuaire de la Seine, au pied de la barre sableuse d'embouchure.

C.2. Paramètres élémentaires

Cette étude a permis de répertorier 166 taxa macrobenthiques alors que Proniewski et Elkaim, (1981) ne dénombrent que 68 espèces pour un domaine d'étude globalement comparable. Des différences importantes apparaissent également sur les abondances, souvent plus élevées dans ce document.

Sur un périmètre restreint à l'aval de la fosse nord, nos valeurs sont en revanche du même ordre de grandeur que celles de Charrier (*op. cit.*).

Les trois études citées ont été effectuées à partir d'un engin de prélèvement différent. Le fait de trouver des résultats similaires à ceux de Charrier, incite à penser que les différences avec les travaux de Proniewski ne sauraient être seulement à relier à l'engin utilisé ou même à la variabilité inter-annuelle de la distribution faunistique. En effet nos résultats sont cohérents en richesse spécifique, pour le peuplement subtidal à *Abra-Pectinaria*, par rapport à ceux de Thiébault (1997), qui mentionne une évolution de 74 à 140 espèces entre 1986 et 1991. L'hypothèse d'une augmentation naturelle de la diversité de ce peuplement à la faveur d'espèces opportunistes peut, par conséquent, être soulevée. La variabilité des abondances proviendrait en partie de l'utilisation d'une maille de tamisage différente selon les études.

C.3. Tendances évolutives

La rareté de documents cartographiques comparables au cours des 30 dernières années limite les possibilités de comparaison sur ce plan. En se reportant aux travaux des biologistes (Proniewski et Elkaim, 1981) et des géologues (Avoine *et al.*, 1996), il est cependant possible, au vu notamment de la

carte 10 présentée dans ce document, de mettre en évidence un élément marquant dans l'embouchure de l'estuaire au cours de la période considérée :

Ce secteur est caractérisé par une forte avancée des isobathes vers le large qui traduisent un colmatage général lié aux apports sédimentaires dans l'estuaire. L'évolution de l'isobathe 0m montre sur la rive sud, une progression vers l'ouest et le sud du banc du Ratier. Sur la rive nord, le banc sableux appuyé sur la digue basse nord se prolonge vers le nord en rejoignant peu à peu le banc du Kannik, tandis que le banc d'Amfard a migré vers le sud.

Cette dynamique sédimentaire n'est pas sans conséquence sur le plan de la macrofaune benthique (figure 15). La progression des bancs s'accompagne d'une avancée consécutive de la communauté à *Macoma balthica* au détriment du peuplement à *Abra-Pectinaria*. Cette dynamique tend à rompre la notion de continuum écologique, favorisant au contraire des contrastes qui sont à l'origine de perturbations des peuplements benthiques :

- En milieu subtidal, l'expulsion du bouchon vaseux en régime de crue induit un envasement temporaire qui peut perturber localement la faune en empêchant la mise en place d'un état d'équilibre et par conséquent celle d'un peuplement stable.
- En milieu intertidal, les pentes trop fortes sont peu favorables à l'installation de la faune du fait de l'instabilité du substrat. Sur les niveaux supérieurs, l'agitation et le renforcement des courants ont des conséquences du même ordre.

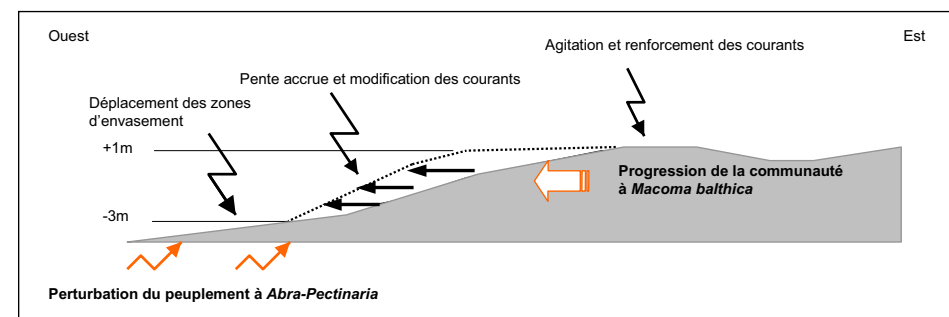


Figure 15 : Schéma de la dynamique biosédimentaire en cours depuis 1970 à l'embouchure de l'estuaire de la Seine et principaux processus de perturbation du macrobenthos.

C.4. La Mortalité

De nombreux individus morts ou en voie de le devenir, ont été observés dans les prélèvements en provenance des stations situées au débouché du chenal et au pied de la barre sableuse d'embouchure. Les raisons d'un tel constat restent cependant difficiles à hiérarchiser.

Des phénomènes d'accumulation de faune benthique « déradée » en bordure de côte, ont déjà été observés en baie de Somme sur la coque, le couteau et la pectinaire. Il s'agit cependant d'épisodes sporadiques dont la durée dépasse rarement quelques semaines. Ces événements, relativement exceptionnels, sont le plus souvent la conséquence de fortes tempêtes hivernales.

Bien que ce processus concerne des taxons identiques en estuaire de Seine, c'est le caractère chronique de ces accumulations qui caractérise cet estuaire. En effet les pêches à caractère scientifique effectuées en 2000 et début 2001 par la Cellule de Suivi du Littoral Haut Normand au sein d'un périmètre globalement superposable à celui de cette étude, conduisent à un colmatage répété du chalut sur les mêmes zones et par les mêmes espèces, alors que le substrat est constitué de vase plus ou moins molle, voire liquide.

L'hypothèse d'un impact des opérations de clapage de la drague du P.A.R. dans le même secteur que celui où l'on a constaté les plus fortes mortalités ne peut être écartée. Toutefois il est possible que d'autres raisons expliquent aussi de telles concentrations d'individus morts ou en voie de l'être. Il peut s'agir notamment de la désorganisation qui caractérise le secteur sur le plan de sa courantologie, favorisant ainsi l'accumulation du benthos au sein d'une zone propice à sa rétention. D'autres processus peuvent agir en synergie tels que des phénomènes pulsatoires à l'échelle de la marée et/ou des conditions climatiques particulières.

Des mesures de vitesses résiduelles de transport dans le secteur concerné permettraient vraisemblablement d'obtenir des éléments de réponse face à cette problématique.

C.5. Rôle de la granulométrie du sédiment sur la distribution du macrobenthos

En milieu subtidal et selon une échelle d'observation suffisamment vaste telle que la Baie de Seine ou la Manche orientale, la faune benthique est organisée en fonction de la nature de la couverture sédimentaire (Cabioch & Gentil, 1975 ; Gentil, 1976).

A l'échelle de l'estuaire de la Seine et pour les sédiments meubles échantillonnés à la benne, la granulométrie du sédiment joue un rôle secondaire sur la richesse spécifique, et la densité du macrobenthos, ceux-ci étant structurés en premier lieu par la bathymétrie.

Le rôle mineur des facteurs édaphiques sur les paramètres descriptifs du macrobenthos a déjà été mentionné pour des échelles spatiales d'observation plus ou moins réduites notamment en Manche-est (Newell *et al.*, 2001), en Baie de Seine orientale (Thiébaud *et al.*, *op.cit.*), et les résultats de Charrier (*op.cit.*) à l'aval de la fosse nord dans le cadre du programme Seine Aval II aboutissent à un constat similaire.

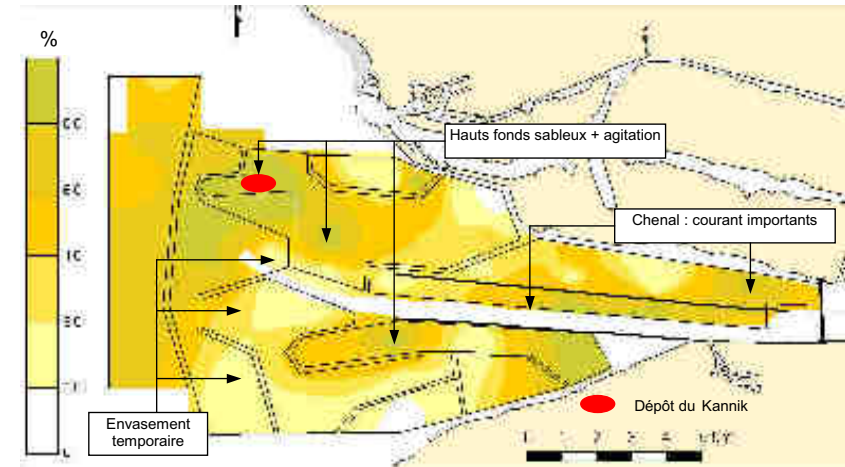
A l'échelle de chacune des espèces, celles qui dominent au sein des effectifs et des biomasses de l'estuaire de la Seine ne montrent pas non plus d'affinité particulière vis à vis de l'une ou l'autre des fractions sédimentaires. En revanche un lien a pu être identifié pour des taxons moins fréquents et qui possèdent un lien significative vis à vis des vases ou bien des sables. De même les fonds caillouteux présents au nord du périmètre se traduisent par la présence de certaines espèces recensées uniquement dans ce secteur.

En s'intéressant aux petits fonds de l'estuaire seulement (+3m à -4m), la comparaison de différentes catégories de substrats meubles aboutit à des valeurs comparables en richesse spécifique et en biomasse. Les densités issues d'un sédiment sableux sont plus faibles que celles des vases ou d'un substrat composite.

La prise en compte d'autres paramètres aiderait cependant à mieux cerner les facteurs limitants la richesse et l'abondance de la faune benthique (carte 23).

- La courantologie structure en règle générale la nature des dépôts sédimentaires au sein d'un contexte géomorphologique donné. Ainsi dans l'estuaire de la Seine, les courants engendrent dans certaines conditions (crues notamment) des processus de haute énergie induits par le forçage de l'écoulement. Le bouchon vaseux qui migre vers l'aval peut se trouver expulsé à l'extérieur de l'estuaire, entraînant un appauvrissement rapide du stock en particules fines et un report de l'envasement vers le large, au pied des bancs externes de l'embouchure. Il s'agit là de zones instables dont la couverture sédimentaire fait l'objet de fluctuations temporelles importantes (Lesourd, *op.cit.*). Ces processus gênent l'organisation de la faune et son évolution vers un état d'équilibre : les abondances fluctuent et les biomasses restent faibles.

Par ailleurs on n'observe pas vraiment de gradient d'affinement du substrat vers l'intérieur de l'estuaire où la fraction sableuse peut être dominante. Sur ces petits fonds (< -5m CM), les courants à l'origine de la progradation des bancs de sables - processus toujours en cours bien que ralenti depuis trente ans - et les phénomènes associés conduisant au désenvasement de certains secteurs au profit d'un substrat sableux, tendent à engendrer un appauvrissement du macrobenthos (densité et biomasse) lié au développement spatial de ce type de substrat. Ce processus suggère une attention particulière pour les années à venir et un besoin de connaissances accrues concernant les fonctionnalités écologiques de ce type d'habitats, particulièrement en ce qui concerne les chaînes trophiques dans l'estuaire.



Carte 23 : Répartition de la fraction sableuse (%) et des assemblages basés sur les densités du macrobenthos ; localisation de l'influence prépondérante de certains facteurs sur la nature du sédiment et la faune associée.

Les forts courants associés à des sections réduites, comme c'est le cas à l'intérieur de la fosse nord, sont eux aussi défavorables à l'implantation du macrobenthos. A l'inverse, on constate que l'anse de la CIM et la zone intertidale entre Villerville et Pennedepie, qui possèdent une faune plus riche et abondante, subissent un effet moindre de ce facteur.

- La houle enfin pourrait avoir une action significative sur les hauts fonds de l'estuaire jusqu'à la sonde -5m CM. Le banc du Ratier au sud, le banc d'Amfard ainsi que le site de dépôt du Kannik au nord, constituent des hauts fonds particulièrement exposés à ce phénomène et sur lesquels les fines ne peuvent se déposer.

C.6. Réflexions complémentaires

La macrofaune benthique est une source d'alimentation importante pour les poissons benthiques (sole, carrelet, limande...) comme l'ont montré les récents travaux à ce sujet dans le cadre du programme Seine Aval I (Bessineton *et al.*, 1998) et du programme « Nourricerie » (Morin *et al.*, 1999a). La comparaison de nos résultats avec la distribution des poissons (Morin *et al.*, 1999b ; de Roton & Duhamel, 2001) suggère l'existence d'une assez bonne superposition spatiale à l'extérieur de l'estuaire entre les densités maximales du benthos et celles des poissons âgés de plus d'un an.

L'intérieur de l'estuaire fait quant à lui l'objet d'un paradoxe apparent car des juvéniles de poissons plats (sole, flet) s'y trouvent en abondance significative alors que le benthos y est oligospécifique et peu abondant. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène :

- Un report d'alimentation des poissons sur des proies d'origine suprabenthiques (copépodes, mysidacés, jeunes crevettes et gobies...) abondantes dans le chenal central et en amont de la fosse nord ;

- La possibilité d'exploiter des proies benthiques en périphérie de la fosse nord, notamment dans les zones plus abritées qui jouxtent les bancs adossés à la digue submersible.

Dans un contexte de fermeture en cours de la fosse nord par les bancs qui se développent en aval, la circulation des juvéniles vers les zones d'alimentation constitue une question centrale pour la gestion de l'estuaire dans les années à venir.

Références des ouvrages cités

Avoine, J., P. Lesueur & T. Rouault, 1996. Evolution morphologique et couverture sédimentaire de l'estuaire de la Seine. Actualisation et fluctuations. *Programme scientifique Seine Aval1, Rapport 1995/FIN-1 (Thème hydrodynamique et transport sédimentaire) : 2-20.*

Bessineton, C., C. Védieu & S. Simon, 1998. Réseaux trophiques du bar (*Dicentrarchus labrax*) et du flet (*Pleuronectes flesus*) – Première approche quantitative. *Programme Seine Aval – Thème Edifices Biologiques Rapport 1997/FIN-4 vol II : 154 – 170.*

Cabioch, L. & F. Gentil, 1975. Distribution des peuplements benthiques dans la partie orientale de la Baie de Seine. *C.R. Acad. Sci. Paris (280) : 491-494.*

Charrier, G., 2001. Etude des peuplements mésozooplanctoniques et macrobenthiques de la fosse nord de l'estuaire de la Seine en condition hivernale et printanière. *DEA Biodiversité et Ecosystèmes fossiles et Actuels, Univ. Lille : 30pp + annexes.*

CSEEL, 1983. Tome III : Contribution à l'étude des peuplements benthiques de l'estuaire de la Loire : *Rapport Ministère de l'Environnement/Ministère de la Mer : 123 p.*

Dajoz, R., 1985. Précis d'écologie. *Dunod, Paris : 424p.*

Desprez, M., 1981. Etude du macrozoobenthos intertidal de l'estuaire de la Seine. *Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Rouen : 186p.*

Desprez, M., R. Lafite & C. Bessineton, 1989. Suivi biosédimentaire de la fosse de flot nord de l'estuaire de la Seine. *Contrat GEMEL – Port Autonome de Rouen .*

Desprez, M. et S. Duhamel, 1993. Suivi bio-sédimentaire de la fosse de flot nord de l'estuaire de Seine. *Contrat GEMEL – Port Autonome de Rouen : 23 p.*

Duhamel, S., 1995. Synthèse des connaissances sur l'estuaire de la Seine – partie benthos. *Contrat CSLHN / IFREMER : 76 pp + annexes.*

Elkaim, B., 1993. Les peuplements benthiques subtidal en Seine Aval. Campagne de novembre 1993. *Programme Seine Aval – Thème Edifices Biologiques : 20 pp + annexes.*

G.E.M.E.L., 1984. Suivi biosédimentaire de la fosse de flot nord de l'estuaire de la Seine. *Contrat GEMEL – Port Autonome de Rouen : 11 p.*

Gentil, F., 1976. Distribution des peuplements benthiques en Baie de Seine. *Thèse de 3^{ème} cycle Univ. Paris VI : 70p.*

Field, J.G., K.R. Clarke & R.M. Warwick, 1982. A practical strategy for analysing multicpecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser. , 8 : 37-52.*

Frontier, S. & D. Pichod Viale, 1995. Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution. *Masson-Ecologie N°21 : 447 p.*

Lagadeuc, Y., 1990. Processus hydrodynamiques, dispersion larvaire et recrutement en régime mégatidal. Exemple de *Pectinaria koreni* en Baie de Seine (Manche). *Thèse de Doctorat , Univ.-Lille : 279 p.*

Lambert, R., 1991. Recrutement d'espèces benthiques à larves pélagiques en régime mégatidal.. Cas de *Pectinaria koreni* . *Thèse de Doctorat, Univ.-Rennes : 176 p.*

Lesourd, S., 2000. Processus d'envasement d'un estuaire macrotidal : zoom temporel du siècle à l'heure ; application à l'estuaire de Seine. *Thèse de Doctorat, Univ- Caen : 280 p.*

Morin J., P. Riou, C. Bessineton, C. Védieu, M. Lemoine, S. Simon et O. Le Pape. 1999a. Etude des nourriceries de la Baie de Seine orientale et de l'estuaire de Seine. Annexe II : Exigences alimentaire et relations trophiques . *Convention d'aide à la recherche n°96/1212618/BMF ? I FREMER / Préfecture de Région Haute Normandie / Port autonome du Havre : 74 p.*

Morin J., P. Riou, C. Bessineton, C. Védieu, M. Lemoine, S. Simon et O. Le Pape. 1999b. Etude des nourriceries de la Baie de Seine orientale et de l'estuaire de Seine. Annexe I : richesse biologique et halieutique – comparaison des résultats acquis en Baie de seine en 1981 et en Baie de Somme en 1995 et 1996. *Convention d'aide à la recherche n° 96/1212618/BMF ? I FREMER / Préfecture de Région Haute Normandie / Port autonome du Havre : 74 p.*

Proniewski, F., 1982. Les peuplements benthiques subtidal de l'estuaire de Seine – Campagnes 1978-79. *Rapport Laboratoire Municipal de la Ville du Havre : 110 p.*

Proniewski, F. & B. Elkaim, 1981. Benthos subtidal de l'estuaire de la Seine. Résultats préliminaires. *C.R. Acad. Sci. Paris (291) : 545-547.*

Roton (de) G., M. Desprez, S. Duhamel, M. Lecourt et J.D. Talleux, 1999. Point zéro biologique et sédimentaire de la zone de dépôt de dragages d'Octeville. Contrat GEMEL / Port Autonome du Havre : 34 pp + annexes.

Roton (de) G., & S. Duhamel, 2001. Suivi des populations de poissons et de crevettes dans l'estuaire de la Seine. Etat de référence avant les travaux de Port 2000. Deuxième phase : campagnes de juin 2000 à juin 2001. Marché 01.041 CSLHN / Port Autonome du Havre : 53 pp + annexes.

Thiébaud, E., 1994. Dynamique de recrutement et dispersion larvaire de deux annélides polychètes *Owenia fusiformis* et *Pectinaria koreni* en régime mégatidal (Baie de Seine Orientale-Manche). *Thèse de Doctorat, Univ.-Paris 6 : 152 p.*

Thiébaud, E., J.C. Cabioch, J.C. Dauvin, C. Retière & F. Gentil, 1997. Spatio-temporal persistence of the *Abra alba-Pectinaria koreni* mudd-fine sand community of the eastern bay of Seine. *J. Mar. Biol. Ass. U.K., 77 : 1165-1185.*