

**Carte
des peuplements macrobenthiques
de la Baie de Seine
et Manche centrale sud**

Franck GENTIL et Louis CABIOCH

Observatoire Océanologique de Roscoff

C.N.R.S.-U.P.R. 9042, U.P.M.C. -Paris 6, et I.N.S.U.

NOTICE EXPLICATIVE DE LA CARTE

édition mai 1997



**Station Biologique
B.P. 74,
29682 ROSCOFF cedex**

Avant-propos

La présente plaquette et la carte qui l'accompagne sont l'aboutissement de travaux de recherche consacrés aux peuplements benthiques de la baie de Seine, dans le cadre plus général d'une prospection systématique du benthos de la Manche.

Ces travaux d'exploration des peuplements benthiques de la Manche ont été entrepris d'une manière coordonnée à partir de 1972, à l'instigation du C.N.R.S., par la Station Biologique de Roscoff, en association avec les laboratoires maritimes de Dinard et de Wimereux, et avec la collaboration du laboratoire de Géologie marine de l'université de Caen. Structurée par la suite dans le cadre d'une recherche coopérative sur programme du C.N.R.S. (RCP 378), puis du groupement de recherches "Manche" (GRECO puis, GDR 19), cette association a bénéficié de l'aide du C.N.E.X.O., dans le cadre de l'étude des conséquences écologiques éventuelles de l'exploitation des sables et graviers marins sur l'environnement (contrats C.N.E.X.O.: n° 72/531, 73/691, 74/1051, 75/5136, 76/1522, 77/1677, 78/1918).

La conception et l'impression des présents documents (carte et notice) ont pu être financées dans le cadre du Programme "Baie de Seine" du contrat interrégional du Bassin Parisien.

Introduction

On désigne sous le nom de macrobenthos, l'ensemble des espèces de dimension supérieure au millimètre, qui vivent sur les fonds marins, qu'elles soient fouisseuses dans les sédiments (endofaune), mobiles à la surface (épifaune vagile) ou fixées sur les roches, les galets ou les débris de coquilles (épifaune sessile).

Dans une mer épicontinentale de climat tempéré comme la Manche, les espèces animales et végétales benthiques sont de beaucoup les plus diversifiées. Leur répartition et les associations (ou peuplements) qu'elles constituent sont étroitement dépendantes des conditions écologiques, parmi lesquelles la pénétration de la lumière, la nature du fond et les conditions d'hydrodynamisme jouent un rôle primordial. Les espèces macrobenthiques intègrent plus que les autres les caractéristiques écologiques locales, "sur place", et constituent par là même des témoins permanents de l'environnement. A l'ensemble des conditions qui règnent en chaque point au niveau du fond correspond un type de peuplement macrobenthique déterminé. La diversité des peuplements benthiques répond ainsi à la diversité des combinaisons des facteurs écologiques abiotiques (hydrodynamisme, salinité et température de l'eau, granulométrie du substrat, ...) et biotiques (comme la prédation, ou la compétition pour la nourriture ou l'espace).

A - Physiographie générale de la Baie de Seine

Dans le couloir maritime que figure la Manche, la baie de Seine se présente comme un secteur largement ouvert sur la Manche centrale, après le resserrement imposé par la presqu'île du Cotentin; schématiquement, cette baie a la forme d'un quadrilatère dont trois côtés seraient les côtes du Cotentin, du Calvados et du pays de Caux, et dont le quatrième serait une ligne conventionnelle reliant la pointe de Barfleur au Cap d'Antifer. Les profondeurs ne dépassent pas

-45m. à la limite nord avec la Manche centrale; le profil des fonds est relativement monotone, exceptés les accidents marqués par la paléovallée de la Seine et par quelques formations dunaires: bancs de Seine, de Saint-Marcouf et du Cardonnet.

1. Hydrodynamisme

De par ses caractéristiques générales, la baie de Seine correspond à un domaine marin côtier où selon les échelles de temps considérées dominent soit les phénomènes liés aux courants de marée et aux houles, soit l'action de la circulation résiduelle intégrée dans le mouvement général ouest-est en Manche, circulation qui assure un renouvellement des eaux de la baie de Seine par le nord-ouest (Le Hir *et al.*, 1986; Salomon, 1986; Salomon et Breton, 1991, 1993). Schématiquement, l'action prépondérante des courants de marée peut être représentée par un large gradient d'hydrodynamisme décroissant depuis les fonds de la Manche centrale (vitesses dépassant 2,5 à 3 noeuds en vive-eau moyenne) jusqu'aux extrémités méridionales de la baie (voir Larsonneur, 1971).

2. Hydrologie

Les conditions hydrologiques du secteur sont marquées par deux faits fondamentaux: le fort hydrodynamisme des courants de marée, et la localisation aux extrémités de la baie (et surtout à l'est) des principaux apports continentaux.

Dans l'ensemble, les conditions hydrologiques suivent les variations saisonnières habituelles du régime climatique tempéré humide de cette région, plaçant la baie de Seine en situation relativement "continentale" dans le gradient thermique de l'ensemble de la Manche: ainsi la baie de Seine se caractérise par l'eurythermie de ces eaux, sans possibilité de thermocline stable en raison de la turbulence des eaux assurant un brassage quasi-continu des masses d'eaux (et donc une homogénéité verticale des propriétés hydrologiques); il s'y ajoute l'importance des apports d'eaux douces continentales (Veys, Orne et Seine) qui amènent une dessalure notable

essentiellement dans la partie orientale de la baie (Avoine et Crevel, 1986).

3. Sédimentologie

En relation avec les diverses actions -et notamment l'hydrodynamisme-, l'origine, la nature et la dynamique des suspensions et des sédiments superficiels marquent fortement le milieu benthique en baie de Seine: il apparaît ainsi sur le milieu côtier une influence notable des apports continentaux et des remises en suspension qui induisent de fortes turbidités (Avoine, 1981; Avoine et Crevel, 1986; Lafite *et al.*, 1986; Dupont *et al.*, 1986).

D'autre part, la baie étant relativement abritée des longues houles océaniques, la répartition des différents sédiments superficiels est en liaison directe avec les actions hydrodynamiques des courants de marée: les études sédimentologiques menées en baie de Seine (Larsonneur, 1971) montrent que parallèlement à l'affaiblissement de la vitesse des courants de marée (du nord Cotentin vers les extrémités de la baie), la granulométrie des sédiments varie: on passe ainsi des fonds de cailloutis puis de graviers, sans sédimentation fine superficielle, jusqu'aux formations sableuses comportant une fraction pélique notable.

Un gradient sédimentaire parallèle aux autres gradients (hydrodynamisme, hydrologie, ...) peut ainsi être défini, depuis les fonds les plus profonds de la Manche centrale où les courants de marée prépondérants gardent des surfaces de cailloux ou de graviers presque pures jusqu'aux extrémités de la baie avec des sédiments sableux plus ou moins envasés, en passant par un ensablement progressif des graviers intermédiaires. Ces derniers couvrent la majorité de la superficie de la baie de Seine, comme pour l'ensemble de la Manche.

Des structures dunaires dues à des actions hydrodynamiques particulières sont établies en plusieurs points avec des caractéristiques différentes, mais toujours dirigées par l'action des courants de marée.

Dans les dernières années, l'aménagement de l'estuaire de la Seine a amplifié la tendance à l'expulsion du bouchon vaseux vers le domaine

marin, ce qui a conduit à un envasement accru des surfaces sableuses proches de l'estuaire (Avoine *et al.*, 1981; Avoine *et al.*, 1986).

En résumé, la baie de Seine constitue un modèle très original et intéressant pour l'étude des peuplements macrobenthiques: les paramètres écologiques abiotiques y sont représentatifs d'une mer épicontinentale mégatidale, de régime climatique tempéré humide avec des apports continentaux importants et comportant une majorité de surfaces occupées par des sédiments grossiers à dominance caillouto-graveleuse ou sablo-graveleuse. Les surfaces couvertes par des sédiments sableux se trouvent restreintes à quelques enclaves discontinues, soit des bancs de nature dunaire, soit des sables fins envasés plaqués à la côte ou aux débouchés des tributaires fluviaux. Dans la partie orientale de la baie, on trouve la surface de sables fins envasés la plus importante des côtes françaises de la Manche; elle est sous l'action des apports continentaux de l'Orne et de la Seine qui véhiculent des contaminants de toute nature. Le devenir de ces contaminants est largement fonction des différentes conditions abiotiques et biotiques dans les estuaires et leurs abords (Loizeau, 1994; Loizeau et Abarnou, 1994).

B. - Méthodes utilisées pour l'analyse, et la cartographie des peuplements macrobenthiques

1. Le travail à la mer (échantillonnage benthique)

Toutes les opérations en mer se sont déroulées à bord du "Pluteus II", bateau du CNRS géré par la Station Biologique de Roscoff. L'engin de dragage a toujours été la drague Rallier du Baty (dimensions: 45 cm de diamètre) avec sa poche de toile serrée pour l'étanchéité et la protection externe habituelle; le temps de travail sur le fond a été habituellement de l'ordre de 3 à 5 minutes. Le choix de la drague Rallier du Baty s'explique par son emploi possible sur tous les types de fonds. Malgré toutes les critiques fondées à

l'égard de la variabilité de son travail, elle demeure l'outil de prélèvement le plus fiable pour étudier, au moins qualitativement, l'ensemble des peuplements de substrats meubles de la Manche. De plus, elle constitue une drague "étalon" pour l'exploration des côtes bretonnes atlantiques (Glémarec, 1969; Hinschberger *et al.*, 1967) et des côtes de la Manche (Cabioch, 1968; Cabioch et Glaçon, 1975, 1977; Cabioch, *et al.*, 1977; Gentil, 1976; Retière, 1979).

Le sédiment ramené sur le pont par la drague est fractionné en plusieurs lots: un échantillon est gardé pour les analyses granulométriques, deux autres (0,5 dm³) pour des études ultérieures sur les nématodes libres de la méiofaune et les foraminifères benthiques, enfin, un volume de sédiment d'environ 30 dm³ est tamisé sur une table de tri, par lavage à l'eau de mer; les deux tamis employés ont une maille de 10 mm, et de 2 mm (limite couramment admise pour une définition qualitative des peuplements de la macrofaune benthique: Picard, 1965; Holme et Mc Intyre, 1984).

La faune et la flore, quand elles existent, sont triées et fixées immédiatement dans le liquide conservateur approprié. Parfois, la nature du refus du tamis 2 mm, associée à la richesse du peuplement exige la fixation en vrac d'un sous-échantillon du refus de tamisage (pourcentage noté) pour tri au laboratoire.

Une fiche de station est établie sur le pont, au moment du tri, avec description la plus détaillée possible du substrat et annotations de la macrofaune aisément identifiable sur une liste pré-établie (cf. Cabioch, 1968; Retière, 1979).

Pour certains points, en complément des dragages, il a été effectué des prises de photographies sous-marines (Gentil, 1976) ainsi que des séquences de télévision sous-marine (matériel de la Station Biologique de Roscoff et du Centre Audiovisuel de l'E.N.S. de Saint-Cloud).

2. Le travail au laboratoire

Dépouillement des échantillons benthiques : Une liste faunistique par station est établie après détermination des diverses espèces en notant leur abondance numérique ainsi que le sexe et l'état

de maturité, si l'observation est possible. Les 436 prélèvements effectués entre 1971 et 1975 représentent un volume de plus de 13 m³ de sédiment tamisé et trié. Au total, pour l'épifaune vagile et l'endofaune, 225 400 individus ont été dénombrés (ou parfois simplement estimés) et déterminés jusqu'à l'espèce. Une proportion inférieure à 1% de l'ensemble des animaux récoltés est restée déterminée au niveau du genre ou de la famille (juvéniles, exemplaires en mauvais état, ...) et n'a pas été prise en compte dans le traitement des données. Ce sont 472 espèces qui ont été retenues pour l'analyse biocénotique.

Analyse granulométrique des sédiments: Les échantillons de sédiments récoltés au cours de l'exploration biocénotique ont été analysés dans le laboratoire de Géologie Marine de l'Université de Caen (resp.: C. Larsonneur). Les résultats ont été inclus, avec d'autres, dans la base de données qui a servi à l'élaboration de la carte sédimentologique de la Manche (Vaslet *et al.*, 1975, Larsonneur *et al.*, 1982). Les classes granulométriques obtenues après la pesée des refus de tamis sont rassemblées en 10 catégories sédimentaires suivant la classification adoptée par Larsonneur (1971, 1977) et Vaslet *et al.* (1975), et utilisée pour la définition des peuplements biosédimentaires (Retière, 1979; Gentil, 1976; Davoult *et al.*, 1988) :

Tableau I: classification des catégories sédimentaires utilisées (d'après Larsonneur, 1971).

cailloux= CA	>20 mm	sables moyens= SM	0,5 à 1 mm
gros graviers= GG	10 à 20 mm	sables fins= SF	0,2 à 0,5 mm
graviers moyens= GM	5 à 10 mm	sables très fins= SB	0,1 à 0,2 mm
petits graviers= GP	2 à 5 mm	sablons= SN	0,05 à 0,1 mm
sables grossiers= SG	1 à 2 mm	pélites= PE	< 0,05 mm

Analyse des données benthiques: Le principe choisi est celui couramment suivi pour l'exploitation de tels relevés (Southwood, 1966; Monbet, 1972; Stephenson, 1972; Retière, 1979; etc.,...); il implique la confrontation de deux points de vue complémentaires (Daget, 1976; Legendre et Legendre, 1984a, 1984b):

- l'analyse cénotique ou de mode Q, qui correspond aux calculs des affinités inter-relevés et conduit à la caractérisation des groupes de stations affines,

- l'analyse spécifique ou de mode R, qui correspond aux calculs des affinités entre les espèces et aboutit à la délimitation d'associations d'espèces.

Pour l'objectif choisi et considérant un grand nombre d'échantillons, l'analyse des similarités à l'aide d'un critère binaire présence-absence conduit à une perte d'information n'entraînant pas de différences notables dans l'interprétation des affinités inter-relevés (Chardy *et al.*, 1976; Legendre et Legendre, 1984a). Plusieurs coefficients de similitude ont été utilisés pour évaluer le degré d'affinité entre les relevés ou entre les espèces (notamment, coefficients de corrélation de point, de Sørensen, d'Ochiai).

En complément, une technique d'analyse multivariée (l'analyse factorielle des correspondances) a été pratiquée dans le but d'étudier d'une façon plus synthétique, les relations entre les unités cénotiques et les espèces qui les caractérisent. Les techniques d'analyse multivariable telle que l'analyse factorielle des correspondances sont maintenant couramment utilisées en écologie et notamment pour des objectifs de bionomie benthique à partir de données qualitatives ou quantitatives (Chardy *et al.*, 1976; Guille et Ponge, 1975; Legendre et Legendre, 1984a, 1984b).

La confrontation des résultats de différentes méthodes a permis de vérifier la validité des ensembles cénotiques et faunistiques, de délimiter, sur tout le secteur, des unités cénotiques définies par des espèces caractéristiques, et d'aboutir à une cartographie bionomique.

C - Description des peuplements macrobenthiques

Au total, le secteur Manche centrale sud et Baie de Seine se compose de six unités majeures de peuplement pouvant être regroupées en deux grands ensembles biosédimentaires:

l'ensemble biosédimentaire des fonds grossiers comprenant le peuplement des cailloutis plus ou moins graveleux et celui des graviers plus ou moins ensablés et,

l'ensemble biosédimentaire des fonds sableux comprenant les peuplements des fonds de sables fins à moyens dunaires, des fonds de sables fins plus ou moins envasés, des sédiments hétérogènes sous influence péritique, et des vases sableuses d'estuaire.

1. L'ensemble biosédimentaire des fonds grossiers

Il représente une grande part de la surface de la baie de Seine et de la Manche centrale sud et s'étend depuis les profondeurs maximales (-70m.) au nord du Cotentin, jusqu'aux marges de transition avec les autres peuplements à dominance sableuse, entre -20 et -30 mètres. Le profil topographique monotone de ce vaste ensemble est seulement perturbé par l'empreinte de la paléovallée de la Seine.

Ces fonds sont essentiellement caractérisés par une fraction grossière, graveleuse à caillouteuse, dominante; ils correspondent sensiblement à la vaste zone de répartition des sédiments hétérogènes grossiers dont la teneur en rudites (particules supérieures à 2mm) est importante. La couche sédimentaire superficielle subit une évolution granulométrique parallèlement au gradient hydrodynamique, depuis les fonds de cailloutis de la Manche centrale vers les fonds ensablés au fond de la baie. La fraction péritique, le plus souvent réduite, est absente des dépôts balayés par des courants de marée supérieurs à 2,5 noeuds. Des accumulations sableuses en forme de rubans peuvent se rencontrer notamment à l'est du Cotentin (Auffret et d'Ozouville, 1986); elles témoignent d'une

dynamique sédimentaire active qui concerne essentiellement des sables grossiers formant parfois de vastes ensembles dunaires (bancs de Barfleur, ...).

Directement sous l'influence des eaux transitant selon l'axe central de la Manche, cette zone a des caractéristiques hydrologiques et hydro-sédimentaires nettement marines avec des eaux peu turbides, à tendance eurytherme, mais sans effets notables de dessalure excepté pour le secteur proche du Cap d'Antifer où la turbidité et la dessalure constituent des facteurs importants.

Deux tendances s'observent à travers les répartitions des espèces: préférence pour une fraction caillouteuse dominante associée aux plus forts courants, ou pour des fonds nettement plus graveleux associés à un caractère eurytherme, turbide et même dessalé des eaux.

Les groupes zoologiques de l'endofaune et de l'épifaune vagile sont inégalement représentés avec une nette dominance des crustacés en nombre d'espèces. Globalement, cet ensemble paraît bien défini par quelques espèces communes et constantes.

Les bancs d'*Ophiothrix fragilis* sur les fonds grossiers en baie de Seine

Une particularité marquante de ces fonds grossiers est la dominance numérique d'une espèce d'ophiure (*Ophiothrix fragilis*) sous forme de bancs bien connus des marins pêcheurs de la baie de Seine. Typiquement, les populations d'*Ophiothrix fragilis* recouvrent des fonds à prédominance de cailloux ou de graviers, dans des régions de forts courants (Cabioch, 1967; Davoult, 1988; Davoult *et al.*, 1990; Retière, 1979). Les concentrations d'*Ophiothrix fragilis* concernent une grande partie des stations effectuées dans l'ensemble des fonds grossiers de baie de Seine.

L'abondance en individus de cette espèce se traduit par une augmentation sensible de la densité numérique des autres espèces dans les fonds qu'elle occupe. L'espèce *Ophiothrix fragilis* est plus spécialement présente, dans le secteur étudié, avec un groupe d'espèces largement réparties (telles que l'oursin *Psammechinus miliaris*, les mollusques *Paphia*

(=*Tapes*) *rhomboides*, *Venus ovata*, *Buccinum undatum*, *Gibbula tumida*, les crustacés *Galathea intermedia*, *Pisidia longicornis*). Toutefois, alors que les bancs d'Ophiures des fonds grossiers sont généralement pluri-spécifiques (Toulemont, 1972), c'est-à-dire avec la présence simultanée, dans des proportions variables, de plusieurs ophiures (par exemple, *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra*), il s'avère que les bancs d'Ophiures du bassin oriental de la Manche sont monospécifiques (Gentil, 1976; Davoult, 1988; Davoult *et al.*, 1990).

Le peuplement des fonds de cailloutis plus ou moins graveleux

Au total, cette unité majeure occupe la plus grande partie des fonds de la Manche centrale, au nord du Cotentin et du Pays de Caux, et ne pénètre pratiquement pas dans la baie de Seine proprement dite. Les caractères abiotiques qui caractérisent ce peuplement sont essentiellement marqués par les actions hydrodynamiques avec les très forts courants de marée existant au nord de la presqu'île du Cotentin, qui se traduisent par un sédiment constitué majoritairement de cailloutis avec une plus ou moins forte fraction de graviers ou parfois de sables grossiers de type dunaire: des accumulations sableuses en forme de rubans peuvent se rencontrer notamment au nord-est du Cotentin (Auffret et d'Ozouville, 1986). Elles témoignent d'une dynamique sédimentaire active qui concerne essentiellement des sables grossiers formant parfois de vastes ensembles dunaires ("bancs de Barfleur").

Globalement, l'épifaune sessile montre un gradient d'appauvrissement au fur et à mesure que la fraction caillouteuse diminue, et que l'épifaune vagile et l'endofaune augmente en richesse spécifique. Le peuplement se présente en trois aspects distincts selon l'importance de la fraction caillouto-graveleuse:

le faciès-type du peuplement qui constitue la surface la plus étendue de ce genre dans le secteur nord-Cotentin, un faciès édaphique (sous fort hydrodynamisme) de cailloutis purs

ceinturant le nord du Cotentin, et un faciès d'appauvrissement sous fort hydrodynamisme situé entre les deux faciès précédents.

Le faciès-type du peuplement des cailloutis plus ou moins graveleux

Ces fonds sont localisés en Manche centrale, par des profondeurs de -60 à -70m. jusqu'à une trentaine de mètres au niveau du passage vers les fonds de graviers dominants. Ce faciès-type sous conditions de forts courants de marée, correspond à un sédiment constitué en moyenne par 40 % de cailloux et 25 % de graviers (Fig.1). Il présente la plus forte richesse spécifique moyenne de tous les fonds grossiers avec une dominance de l'ophiure *Ophiothrix fragilis*. Les espèces de l'épifaune vagile y sont évidemment plus nombreuses que celles de l'endofaune, avec le groupe des crustacés largement dominant en nombre d'espèces, et avec des espèces caractéristiques comme les crustacés *Galathea intermedia*, *Pisidia longicornis*, *Pilumnus hirtellus*, les gastéropodes *Gibbula tumida*, *Buccinum undatum*, l'oursin *Psammechinus miliaris*, ... Aux espèces caractéristiques des fonds caillouteux s'ajoutent en plus ou moins grande importance des espèces préférantes des fonds purement rocheux ou des sédiments grossiers à *Venus fasciata*.

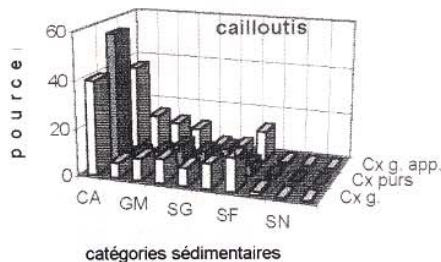


Figure 1.- Histogrammes des fréquences pondérales moyennes des sédiments des peuplements de cailloutis (Cx g.= faciès-type des cailloutis plus ou moins graveleux; Cx g. app.= faciès appauvri des cailloutis graveleux; Cx purs= cailloutis sous fort hydrodynamisme).

L'épifaune sessile y est diversifiée sous la forme de deux aspects: un riche faciès d'épibiose sessile à *Balanus crenatus* (cirripède) et *Sabellaria spinulosa* (polychète) qui passe à un faciès plus appauvri à *Pomatoceros triqueter* (polychète) et *Alcyonium digitatum* (bryzoaire) quand la proportion de graviers augmente.

Le long des côtes du Pays de Caux, l'influence de dessalure par les eaux de la Seine se traduit par la présence d'une épibiose à *Conopeum reticulum* (bryzoaire) et *Obelia longissima* (hydraire) (Cabioch et Gentil, 1975).

Le faciès des cailloutis purs sous fort hydrodynamisme

Ce faciès localisé en bordure nord du Cotentin par des profondeurs comprises entre -10 et -60 m, se situe à une des extrémités du gradient général, correspondant à des conditions de très fort hydrodynamisme (courants de marée très violents) qui se traduisent par des fonds de cailloutis presque purs (au moins 50 % du sédiment; Fig. 1), avec quelques pointements rocheux et plusieurs bancs de sables zoogènes grossiers ou graveleux comme les "bancs de Barfleur" (voir Larssonneur, 1968, 1971; Vaslet *et al.*, 1975).

L'épibiose sessile à base de spongiaires, bryzoaires, cnidaires et ascidies est généralement richement diversifiée, avec à partir de -30 m de profondeur, un développement de populations denses de l'ascidie *Distomus variolosus* ou de moulières à *Musculus discors* (typique des fonds durs sous très forts courants de marée), ou de moulières à *Modiolus modiolus*.

Pour l'épifaune vagile, ces fonds présentent une richesse spécifique légèrement plus faible que pour le faciès-type, avec un nombre important d'espèces caractéristiques : les polychètes *Phyllodoce laminosa*, *Harmothoe imbricata*, *Nereis pelagica*, les gastéropodes *Ocenebra erinacea*, et *Trivia arctica*, et les crustacés *Pagurus pubescens*, *Pandalus montagui*; il faut noter en relation avec l'action des forts courants,

l'absence de l'ophiure *Ophiothrix fragilis* dans ce faciès.

Le faciès édaphique d'appauvrissement des cailloutis sous fort hydrodynamisme

Ce faciès centré sur la "fosse du Cotentin" est situé entre les deux précédents faciès du peuplement des cailloutis, à des profondeurs comprises entre -40 et -70 m. Il est caractérisé par des sédiments caillouteux avec des fractions notables de graviers et de sables représentant plus de 50 % du sédiment (Fig. 1). La richesse spécifique et l'abondance y sont nettement plus faibles que dans les deux autres faciès, avec le groupe des polychètes largement dominant devant les crustacés, suivi des mollusques, marquant ainsi l'évolution des importances relatives entre épifaune vagile et endofaune (cette dernière catégorie augmentant avec les fractions sablo-graveleuses); ce faciès est caractérisé par un mélange d'espèces d'affinité caillouteuse (la polychète *Arabella iricolor*, les crustacés *Pisidia longicornis*, *Pagurus bernhardus*, *Eualus pusiolus*, *Liocarcinus holsatus*, et les gastéropodes *Gibbula tumida* et *G. cineraria*) et d'espèces préférant les fonds de graviers: le gastéropode *Buccinum undatum*, le bivalve *Paphia (=Tapes) rhomboïdes*, l'ophiure *Amphiura securigera*, et la polychète *Glycera lapidum*. L'ophiure *Ophiothrix fragilis* y est présente, mais peu abondante. L'épibiose sessile associée à ces fonds se présente comme un faciès oligospécifique à *Balanus crenatus* (cirripède), également appauvri.

Le peuplement des fonds de graviers plus ou moins ensablés

Faisant suite aux fonds de cailloutis dominants situés plus au large, cette unité est essentiellement localisée dans la baie de Seine; elle forme la transition vers les peuplements des fonds sableux aux extrémités est et ouest de la baie. Les profondeurs passent de -50 m en Manche centrale jusqu'à une dizaine de mètres.

Ces fonds sont caractérisés par une importante fraction grossière à dominance de graviers et de sables. Les caractères hydrologiques et hydro-sédimentaires correspondent à une position intermédiaire dans le gradient écologique général en baie de Seine: les courants de marée s'affaiblissent et les influences estuariennes ne peuvent intervenir qu'aux abords des fonds ensablés.

On remarque une forte représentation des espèces endogées par rapport à l'épifaune vagile avec quelques variations selon les paramètres granulométriques (notamment le pourcentage d'éléments sableux), se traduisant par deux faciès principaux.

Le faciès-type du peuplement des graviers plus ou moins ensablés

Ce faciès-type forme une large bande traversant d'ouest en est la baie de Seine, par des fonds inférieurs à -30 m. Les sédiments sont caractérisés par deux stocks importants distincts: les graviers et cailloutis correspondant à 35 % du total, et les sables formant le reste (Fig. 2).

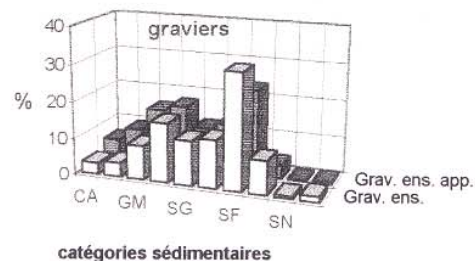


Figure 2.- Histogrammes des fréquences pondérales moyennes des sédiments des peuplements de graviers (**Grav. ens.**= faciès-type des graviers plus ou moins ensablés; **Grav. ens. app.**= faciès d'appauvrissement des graviers ensablés).

C'est une unité bien diversifiée spécifiquement et numériquement, avec une nette dominance de l'ophiure *Ophiothrix fragilis* (dans plus de la moitié des prélèvements). Ses affinités

faunistiques sont fortes avec certains aspects du peuplement des fonds caillouteux, notamment le faciès-type et le faciès d'appauvrissement.

Le groupe des crustacés domine en nombre d'espèces suivi par les polychètes et les mollusques. Les espèces les plus caractéristiques sont les bivalves *Paphia* (= *Tapes*) *rhomboides*, *Glycymeris glycymeris*, *Arcopagia* (= *Tellina*) *crassa*, *Laevicardium* (= *Cardium*) *crassum*, et *Nucula hanleyi*, les oursins *Psammechinus miliaris*, *Echinocyamus pusillus*, les crustacés *Ampelisca spinipes*, *Liocarcinus pusillus*, et les polychètes *Nephtys caeca*, *Chaetopterus variopedatus*.

Une autre espèce caractéristique, le céphalochordé *Branchiostoma* (= *Amphioxus*) *lanceolatum*, qui est habituellement associée à une unité cénotique comparable, les "sables grossiers ou gravelles à *Amphioxus*", est très peu récoltée en baie de Seine, même si la majorité de ses récoltes est précisément dans ce faciès-type.

Le faciès d'appauvrissement des graviers plus ou moins ensablés

Ce faciès représente une surface relativement réduite, en prolongement des fonds de graviers du centre de la baie qui partage le peuplement des cailloutis en deux parties. Les profondeurs rencontrées sont plus basses que celles du faciès-type, soit entre -35 et -50 m. Les sédiments montrent également des différences notables, avec une plus forte proportion de la fraction graveleuse par rapport aux sables (Fig. 2). L'ophiure *Ophiothrix fragilis* n'y est plus aussi dominante que dans le faciès-type et les groupes zoologiques ne conservent pas non plus les mêmes proportions; ici les polychètes dominent, précédant les mollusques et les crustacés. Cette unité reste proche du faciès-type avec lequel elle partage un grand nombre d'espèces. Elle possède quatre espèces préférantes communes: les polychètes *Eunice vittata*, *Glycera capitata*, l'ophiure *Ophiura albida*, et le crustacé décapode *Upogebia deltaura*.

2. L'ensemble biosédimentaire des fonds sableux

Il établit, à partir d'une profondeur d'une trentaine de mètres, le passage entre, d'une part l'ensemble biosédimentaire des fonds grossiers et, d'autre part les peuplements et faciès les plus côtiers ou littoraux, que ce soient les fonds estuariens dépendants des tributaires de la baie (Seine, Orne, Veys, ...) ou les bas de plage sableuse ou de falaises qui forment une grande part des côtes de la baie de Seine.

Le peuplement des fonds de sables fins à moyens, dunaires et propres à *Ophelia borealis*

Ce peuplement est essentiellement caractérisé par sa localisation sur des formations dunaires sableuses: faisant suite aux fonds graveleux ensablés, il occupe les bancs du Cardonnet et de la Rade dans la partie occidentale de la baie de Seine, deux positions proches de la côte - devant Port-en-Bessin et au débouché de l'Orne - ainsi que le banc de Seine et ses abords dans la partie orientale. Malgré cette discontinuité spatiale, il n'apparaît pas de différence notable entre les compositions de chacune de ces formations dunaires. Les profondeurs sur ces bancs s'échelonnent de -25 m à moins de 10 m, avec des pentes variables suivant leur orientation par rapport aux actions des courants de marée dominants (Larsonneur, 1971). La proportion de sables moyens et fins dans le sédiment est prépondérante et la fraction la plus grossière (sables grossiers et graviers) est constituée presque exclusivement de débris coquilliers et de valves vides de bivalves, la fraction pélitique étant très réduite (Fig.3).

Les conditions hydrologiques régnant sur ces fonds ne sont pas connues précisément; cependant, une certaine dessalure ainsi qu'une turbidité importante existent vraisemblablement sur le banc de Seine et ses abords.

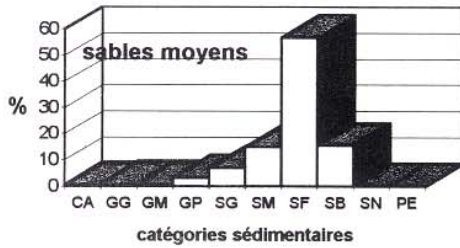


Figure 3.- Histogramme des fréquences pondérales moyennes des sédiments des peuplements des sables moyens, propres.

Sa pauvreté en nombre d'individus et en espèces caractéristiques le définit clairement par rapport aux deux unités de peuplement qui le cernent : le peuplement des graviers ensablés et celui des sables fins plus ou moins envasés. En outre, l'intrusion d'espèces tolérantes sur une composition faunistique dispersée mais caractéristique, peut masquer sensiblement l'individualité de ce peuplement sous un aspect d'écotone (Gentil, 1976, 1980).

Les espèces de l'endofaune paraissent mieux représentées et plus constantes que celles de l'épifaune vagile, les espèces constantes étant en majorité des mollusques bivalves (*Spisula ovalis* et *S. elliptica*) et des polychètes (*Ophelia borealis*, *Nephtys cirrosa* et *N. longosetosa*), avec quelques espèces plus rares présentant une certaine affinité pour ce peuplement, comme par exemple, le gastéropode *Natica catena* et les lançons *Ammodytes tobianus* et *Hyperoplus lanceolatus*.

*Le peuplement des sables fins à très fins envasés à *Abra alba* - *Pectinaria koreni**

Géographiquement ce peuplement est principalement localisé aux deux extrémités ouest et est de la baie, en continuité avec les fonds estuariens de la baie des Veys à l'ouest, et de la Seine et de l'Orne à l'est, par des profondeurs dépassant rarement une quinzaine de mètres; il existe en plus, d'autres surfaces plus réduites, plaquées sur les côtes sableuses normandes, et pouvant assurer une possible continuité entre ces deux surfaces. Quelques stations rattachables à

cette unité ont aussi été échantillonnées le long de la côte du Pays de Caux, en continuité avec le peuplement oriental des sables fins envasés. Ce peuplement est ainsi le plus souvent adjacent à celui des fonds de sables moyens propres, avec une transition décelable par la disparition graduelle de la fraction sédimentaire fine des sablons et pélites (Fig. 4). Il existe également une transition vers des fonds graveleux, correspondant à un peuplement ou faciès de sédiments hétérogènes plus ou moins envasés.

Les principales perturbations à la monotonie de ces fonds sont l'amorce de la paléovallée de la Seine et les hauts-fonds de l'Eclat et du Placard, ces hauts-fonds consistant en des bancs de galets de silex, situés au sud et au sud-ouest du Cap de la Hève.

Les médianes sont en moyenne de 0,34 mm, avec une fraction pélitique moyenne de 5 %, une certaine partie de ces particules pouvant être remise en suspension (Larsonneur et Hommeril, 1967; Avoine, 1981; Crevel, 1983, 1986). Ainsi les dépôts de vases à des teneurs élevées sont restreints et ce sont les sables fins et les sablons qui forment l'essentiel de ces fonds. Les caractères hydrologiques de ces zones de sables fins envasés sont en grande partie sous la dépendance du fonctionnement estuarien auquel elles se rattachent.

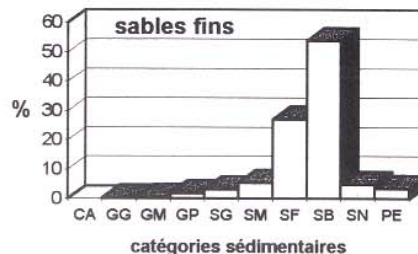


Figure 4.- Histogramme des fréquences pondérales moyennes des sédiments des peuplements des sables fins, plus ou moins envasés.

L'endofaune y est mieux représentée que l'épifaune vagile avec une prépondérance des crustacés et des polychètes sur les autres groupes

zoologiques. Il faut remarquer la richesse en espèces, en individus et en biomasse de ce peuplement, notamment pour les fonds situés au débouché de l'estuaire de la Seine (Gentil, 1976; Gentil *et al.*, 1986; Thiébaud, 1994; Thiébaud *et al.*, sous presse), ainsi que la place importante des espèces de crustacés pécararides dans la composition globale du peuplement, et l'abondance numérique des polychètes, notamment *Tharyx* cf. *marioni*, *Owenia fusiformis*, *Pectinaria koreni* (Gentil *et al.*, 1986; Thiébaud, 1994). Les espèces les plus caractéristiques sont les mollusques *Abra alba*, *Phaxas* (= *Cultellus*) *pellucidus*, *Tellina fabula*, *Natica alderi* et *Hinia* (= *Nassarius*) *reticulata*, les polychètes *Pectinaria koreni*, *Nephtys hombergii*, *Owenia fusiformis* et *Lanice conchilega*, les ophiures *Acrocnida brachiata* et *Ophiura texturata*, et les crustacés *Ampelisca brevicornis*, *Diastylis laevis*.

Confiné en fond de baie en raison de la distribution sédimentaire liée aux intensités des courants de marée, le peuplement des sédiments fins envasés à *Abra alba* (bivalve) pris au sens large (faciès type des sables fins envasés et aussi faciès d'hétérogène envasé décrit ci-dessous) jouxte l'estuaire de la Seine et constitue, de ce fait, dans la Manche, le peuplement benthique marin le plus directement soumis aux apports polluants d'un grand fleuve.

Il apparaît qu'en baie de Seine les réponses des différents niveaux de structuration du compartiment benthique (individu, population, peuplement) aux perturbations naturelles ou anthropiques de l'environnement sont extrêmement complexes, et par certains côtés, contradictoires: ainsi, la structure et la cinétique du peuplement des sédiments fins de la partie orientale de la baie de Seine reflètent un fonctionnement normal mais de fait, largement dépendant des modalités de circulation résiduelle de fond au débouché de l'estuaire (Cabioch, 1986; Thiébaud, 1994). Toutefois, des études spécifiques sur des accumulations de polluants au sein de tissus et d'organes ou des mesures de paramètres intracellulaires montrent des altérations plus ou moins profondes du métabolisme de certains individus (Sylvestre *et*

al., 1986; Noël *et al.*, 1986) sans que la dynamique de population en soit nécessairement perturbée (Cabioch et Retière, 1986; Gentil *et al.*, 1986).

Une telle extension d'un peuplement aussi riche, diversifié et abondant face à l'estuaire d'un grand fleuve n'est possible que grâce à l'intensité du régime macrotidal qui contrebalance les influences des apports fluviaux dispersant les particules et les polluants potentiels et permettant l'existence d'un milieu hypertrophique, sans anoxie du sédiment, contrairement à ce que l'on observe depuis quelques années au débouché de l'Elbe et de la Weser, dans la mer du Nord (Rachor, 1980, 1990).

Il s'y ajoute, au moins dans le cas de la baie de Seine, les effets positifs d'une discordance de phase statistique entre le cycle annuel des processus perturbateurs (crues, tempêtes, apports polluants,...) et les événements biologiques majeurs intervenant dans la dynamique du peuplement (recrutement et croissance des principales espèces).

Le peuplement des sédiments hétérogènes sous influence péritique à *Pista cristata*

Ce peuplement des sédiments hétérogènes plus ou moins envasés de la baie de Seine est installé sur des fonds peu profonds (moins de 20 m), en plusieurs taches discontinues depuis St Vaast-la-Hougue jusqu'au Cap d'Antifer qui représentent souvent un état de transition dans l'espace, entre les fonds de sable fins plus ou moins envasés, près de la côte, et les sédiments plus grossiers situés plus au large. Cette unité constitue ainsi un aspect particulier rattaché au peuplement des sables fins envasés, faciès marqué par une fraction grossière importante (en moyenne plus de 20 % de particules supérieures à 2 mm), un taux de pélites relativement peu élevé (3 %), et une médiane moyenne à 1,52 mm (Fig. 5). On note ainsi que les plus grandes différences par rapport au faciès-type des fonds sableux tiennent à l'importance de la fraction la plus grossière.

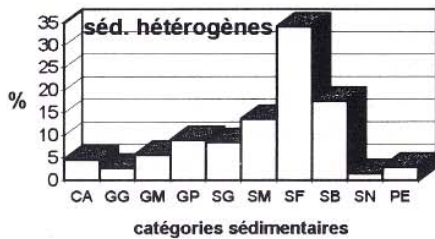


Figure 5.- Histogramme des fréquences pondérales moyennes des sédiments hétérogènes sous influence pélagique.

En baie de Seine, ce peuplement s'observant essentiellement aux débouchés des systèmes estuariens, se trouve largement influencé par la forte turbidité des eaux côtières qui le baignent, en relation avec le fonctionnement des estuaires et l'hydrodynamisme, ce qui peut expliquer la présence d'espèces typiques d'envasement, sans que le taux de pélites soit élevé.

Ce peuplement est très diversifié aussi bien en espèces qu'en individus. L'épifaune sessile y est réduite à quelques espèces, et globalement l'épifaune vagile est au moins aussi bien représentée que l'endofaune, avec une prépondérance des crustacés et des polychètes sur les autres groupes. Comme pour les sables fins envasés, les espèces de crustacés pécaricides, et surtout les amphipodes, prennent une part importante dans la composition faunistique de cette unité.

D'une manière générale, les sédiments hétérogènes envasés sont connus pour être peuplés en majorité par une faune composite ayant des affinités édaphiques ou écologiques plus ou moins différentes et supportant les conditions générales du peuplement (Cabioch, 1968; Glémarec, 1969, 1973; Retière, 1979); les polychètes *Pista cristata*, *Amphicteis gunneri*, *Terebellides stroemi*, *Sthenelais boa* et *Jasmineira elegans* et le crustacé décapode *Pisidia longicornis* font partie de ces espèces. La définition biocénotique en termes d'espèces constantes et fidèles est suffisante pour le distinguer des peuplements avoisinants, tout en le rattachant au peuplement des sables fins envasés dont on peut considérer qu'il en est un

aspect ou faciès particulier. Il est fort probable que l'existence de ce type de peuplement est associée aux fortes turbidités des eaux côtières permettant le développement d'une faune dense et diversifiée.

Le peuplement des vases d'estuaire à *Macoma balthica*

Des recherches menées dans le cadre du S.A.U.M. "estuaire de la Seine" ont montré que les fonds subtidiaux de l'estuaire de la Seine abritent un peuplement des vases sableuses à *Cerastoderma edule*, qui constitue un faciès oligospécifique de la communauté des vases estuariennes à *Macoma balthica*, largement distribuée sur les côtes nord-européennes (Gentil, 1976, 1980; Proniewski et Elkaim, 1980; Elkaim *et al.*, 1982). Les espèces les plus communes (*Pectinaria koreni*, *Nephtys hombergii*, *Abra alba*, *Cerastoderma edule*, *Macoma balthica*, *Crangon crangon*) peuvent présenter d'importantes fluctuations temporelles (Irlinger, 1985). Les chenaux de navigation continuellement entretenus par dragages montrent, à partir d'une faune estuarienne déjà réduite, un net appauvrissement jusqu'à complète disparition de la macrofaune (Cabioch et Gentil, 1975; Gentil, 1976, 1980; Proniewski et Elkaim, 1980).

CONCLUSIONS

La répartition et la diversité des unités de peuplement benthique reconnues à travers la Baie de Seine sont directement reliées au double gradient sédimentaire et hydrologique qui la caractérise; les compositions faunistiques de chacun des peuplements, tout en se rattachant clairement à des types bionomiques décrits de la Manche occidentale, présentent les affinités les plus fortes avec les peuplements de la Manche orientale (voir Cabioch et Gentil, 1975; Gentil, 1976, 1980).

En effet, en Manche, on observe qu'au gradient climatique général correspond un gradient de peuplement: de nombreuses espèces sont limitées vers l'est dans leur pénétration en Manche, tandis que d'autres, bien moins nombreuses, présentent une distribution orientale (Cabioch *et al.*, 1977). Le bilan de ces distributions climatiques se traduit par conséquent par une réduction importante, d'ouest en est, de la diversité de la faune benthique sublittorale, tendance déjà mise en évidence sur les organismes littoraux, par exemple, par Crisp et Southward (1958).

D'une manière générale, on retrouve en Manche l'essentiel des biocénoses ou peuplements de macrobenthos existant en Atlantique, mais le caractère le plus remarquable de la distribution des peuplements benthiques en Manche, et particulièrement en Baie de Seine, est leur ordonnancement en systèmes édaphiques régionaux liés aux séquences sédimentaires, elles-mêmes largement dépendantes de l'hydrodynamisme.

Il y a lieu de souligner la répartition particulière des peuplements benthiques des fonds sédimentaires: les peuplements caractéristiques des sédiments grossiers, distribués dans les zones de forts courants de marée, occupent la majeure partie de la Manche, alors qu'à l'opposé, les peuplements de sables fins sont cantonnés près des côtes, dans des enclaves isolées les unes des autres. Cette disposition, qui est à l'inverse de celle de la très grande majorité des mers épicontinentales, a d'importantes conséquences -

et notamment en Baie de Seine- pour le recrutement des espèces des peuplements très productifs des sédiments fins (Thiébaud, 1994), qui malgré leur faible étendue, jouent un rôle majeur dans les cycles biologiques des poissons côtiers benthiques (nourriceries,...).

En définitive, la Baie de Seine apparaît comme un objet de recherche particulièrement intéressant, de par sa géométrie et sa morphologie régulières, facilitant l'analyse des phénomènes interactifs complexes qui se déroulent dans les espaces côtiers. L'étude pluridisciplinaire de son fonctionnement présente à la fois, un intérêt fondamental (exemplarité, simplicité structurale favorable à la modélisation) et un intérêt finalisé (devenir et impact des polluants, interactions des processus océanographiques particuliers aux mers à fort hydrodynamisme avec les cycles biologiques des espèces benthiques).

Remerciements

Les auteurs témoignent leur reconnaissance aux commandants et aux équipages du "Pluteus II" pour leur amicale collaboration au cours des opérations à la mer. Ils remercient également tous ceux nombreux qui sont venus leur prêter main forte à bord, et aussi au laboratoire lors des dépouillements et des traitements de données.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES et CARTOGRAPHIQUES

- ANONYME , 1975.- Du Cap Levy au Cap d'Antifer- Baie de Seine. *Carte de navigation 6614*, S.H.O.M., Brest.
- ANONYME , 1995.- Approches nord-est de la Pointe de Barfleur. *Carte de navigation "natures de fond" 6864G*, S.H.O.M., Brest.
- ANONYME , 1995.- De la Pointe de Saire à Port-en-Bessin. *Carte de navigation "natures de fond" 7056G (2nd édit.)*, S.H.O.M., Brest.
- ANONYME , 1996.- Abords du Havre et d'Antifer, embouchure de la Seine. *Carte de navigation "natures de fond" 6736G (2nd édit.)*, S.H.O.M., Brest.
- AUFFRET J.P., et d'OZOUVILLE L., 1986.- Cartographie du prisme sédimentaire holocène en baie de Seine orientale, par sismique réflexion à haute définition. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 109-115.
- AVOINE J., 1981.- L'estuaire de la Seine: sédiments et dynamique sédimentaire. *Thèse 3^{ème} cycle Géologie*, Univ. Caen, 236 pp.
- AVOINE J., ALLEN G., NICHOLS M., SALOMON J.C., et LARSONNEUR C., 1981.- Suspended-sediment transport in the Seine estuary, France: effect of man-made modifications on estuary-shelf sedimentology. *Mar. Geol.*, 40, 119-137.
- AVOINE J., et CREVEL L., 1986.- Influence des apports fluviaux en baie de Seine. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 125-133.
- AVOINE J., DUBRULLE L., et LARSONNEUR C., 1986.- La dynamique sédimentaire dans les estuaires de la Baie de Seine: conséquences sur l'environnement. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 183-192.
- CABIOCH L., 1967.- Résultats obtenus par l'emploi de la photographie sous-marine sur les fonds du large de Roscoff. *Helgolander Wiss. Meeresunters.*, 15, 361-370.
- CABIOCH L., 1968.- Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale. *Cah. Biol. mar.*, 9 (5) Suppl.: 493-720.
- CABIOCH L. (édit.), 1986.- La baie de Seine. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 531 pp.
- CABIOCH L., et GENTIL F., 1975.- Distribution des peuplements benthiques dans la partie orientale de la Baie de Seine. *C. R. Séanc. Acad. Sci., Paris*, 280, série D : 571-574.
- CABIOCH L., GENTIL F., GLACON R., et RETIERE C., 1977.- Le macrobenthos des fonds meubles de la Manche; distribution générale et écologie. In: KEEGAN B.F., O' CEIDIGH P., BOADEN P.J.S. eds, *Biology of benthic organisms*, Pergamon Press, 115-128.
- CABIOCH L., et GLACON R., 1975.- Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, de la Baie de Somme au Pas de Calais. *C. R. Séanc. Acad. Sci., Paris*, 280, série D : 491-494.
- CABIOCH L., et GLACON R., 1977.- Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale. Du Cap d'Antifer à la Baie de Somme. *C. R. Séanc. Acad. Sci., Paris*, 285, série D : 209-212.
- CABIOCH L., et RETIERE C., 1986.- La Baie de Seine: peuplements et espèces benthiques en régime perturbé. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 371-381.
- CHARDY P., GLEMAREC M., et LAUREC A., 1976.- Application of inertia methods to benthic marine ecology: practical implications of the basic options. *Estuar. coast. mar. Sc.*, 4, 179-205.
- CREVEL L., 1983.- Contribution à l'étude de la dynamique sédimentaire dans la partie nord-orientale de la baie de Seine. *Thèse 3^{ème} cycle Géologie*, Univ. Caen, 164 pp.
- CREVEL L., 1986.- La dynamique sédimentaire en Baie de Seine nord-orientale, fluctuations et évolution de la couverture meuble. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 193-200.
- CRISP D.J., et SOUTHWARD A.J., 1958.- The distribution of intertidal organisms along the coasts of the English Channel. *J. mar. Biol. Ass. U.K.*, 37, 157-208.

- DAGET J., 1976.- *Les modèles mathématiques en Ecologie*. Coll. Ecologie n°8, Masson édit., Paris, 172 pp.
- DAVOULT D., 1988.- Etude du peuplement des cailloutis à épibiose sessile et de la population d'*Ophiothrix fragilis* (Abildgaard) du détroit du Pas-de-Calais (France). *Thèse d'Univ.*, Univ. Lille, 213 pp.
- DAVOULT D., DEWARUMEZ J.M., PRYGIEL J., et RICHARD A., 1988.- *Carte des peuplements benthiques de la partie française de la Mer du Nord et notice*. Station marine de Wimereux; Université de Lille; IFREMER.
- DAVOULT D., GOUNIN F., et RICHARD A., 1990.- Ecologie des bancs d'*Ophiothrix fragilis* (Abildgaard) var. *pentaphyllum* du détroit du Pas-de-Calais (France). *Echinoderm Research*, de RIDDER C., DUBOIS P., LAHAYE M.C., JANGOUX M. (édits.), 159-164.
- DUPONT J.P., LAFITE R., et LAMBOY M., 1986.- Contribution de l'étude des suspensions à la compréhension des mécanismes hydrosédimentaires estuariens et littoraux en Manche centrale et orientale. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 145-153.
- ELKAIM B., et PRONIEWSKI F., 1982.- Le benthos subtidal de l'estuaire de la Seine: analyse statistique des peuplements. *J. exp. Mar. Biol. Ecol.*, 64, 231-252.
- GENTIL F. 1976.- Distribution des peuplements benthiques en Baie de Seine. *Thèse 3ème cycle Océanogr. biol.*, Univ. Paris VI, 70 pp.
- GENTIL F. 1980.- Les peuplements benthiques de la baie de Seine: caractères généraux et liaisons biogéographiques. *C.R. 105^{ème} congrès nat. Soc. Sav., Caen, Sci.* III, 125-138.
- GENTIL, F., IRLINGER J.P., ELKAIM B., et PRONIEWSKI F., 1986.- Premières données sur la dynamique du peuplement macrobenthique des sables fins envasés à *Abra alba* de la baie de Seine orientale. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 409-419.
- GLEMAREC M., 1969.- Les peuplements benthiques du plateau continental nord-Gascogne. *Thèse Doct. Etat Sci. nat.*, Univ. Paris, 167 pp.
- GLEMAREC M., 1973.- The benthic communities of the european north atlantic continental shelf. *Ocean. mar. Biol. ann. Rev.*, 11: 263-289.
- GUILLE A., et PONGE , 1975.- Application de l'analyse des correspondances à l'étude des peuplements benthiques de la côte catalane française. *Ann. Instit. océanogr.*, 51 (2), 223-235.
- HINSCHBERGER F., SAINT-REQUIER A., et TOULEMONT A., 1967.- Recherches sédimentologiques et écologiques sur les fonds sous-marins dans les parages de la Chaussée de Sein (Finistère). *Rec. Trav. Instit. Pêches maritimes*, 31 (4), 425-448.
- HOLME N., et Mc INTYRE A.D., 1984.- *Methods for the study of marine benthos*. ABP Handbook n° 16 (2nd edit.), Blackwell Sci. Publ., Oxford and Edinburgh, 387 pp.
- IRLINGER J.P., 1985.- Dynamique du peuplement macrobenthique des sables fins envasés de la Baie de seine orientale. *Thèse de 3^{ème} Cycle Ecologie*, Univ. Paris VI, 286 pp.
- LAFITE R., DUPONT J.P., et LAMBOY M., 1986.- Stratégie d'étude des suspensions mise en oeuvre en Baie de Seine. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 125-133.
- LARSONNEUR C., 1968.- *Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France au 1/1 000 000. Feuille de St-Vaast-la-Hougue*. Instit. Géogr. national, Paris.
- LARSONNEUR C., 1971.- Manche centrale et baie de Seine: géologie du substratum et des dépôts meubles. *Thèse Doct. Etat Sci. nat.*, Univ. Caen, 394 pp.
- LARSONNEUR C., BOUISSE P., et AUFFRET J.-P., 1982.- The superficial sediments of the English Channel and its Western approaches. *Sedimentology*, 29, 851-864.
- LARSONNEUR C., et HOMMERIL P., 1967.- Sédiments et sédimentation dans la partie orientale de la baie de Seine. *Rev. Soc. sav. Haute-Normandie*, 47, 45-75.
- LEGENDRE L., et LEGENDRE P., 1984a.- *Ecologie numérique*. Vol. 1. Le traitement multiple des données écologiques. 2nd édit., Masson, Paris et P.U.Q., Québec, 260 pp.

- LEGENDRE L., et LEGENDRE P., 1984b.- *Ecologie numérique*. Vol. 2. La structure des données écologiques. 2nd édit., Masson, Paris et P.U.Q., Québec, 260 pp.
- LE HIR P., SALOMON J.C., LE PROVOST C., CHABERT D'HIERES G., et MAUVAIS J.L., 1986.- Approche de la circulation résiduelle en Baie de Seine. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 63-71.
- LOIZEAU V., 1993.- Modélisation de la bioaccumulation des PCB dans un réseau trophique simple en Baie de Seine. *Thèse d'Univ. Océano.*, Univ. Aix-Marseille II, 246 pp.
- LOIZEAU V., et ABARNOU A., 1994.- Distribution of polychlorinated biphenyls in Dab (*Limanda limanda*) from the "baie de Seine" (Eastern Channel). *Mar. environm. Res.*, 38, 77-91.
- MONBET Y., 1972.- Etude bionomique du plateau continental au large d'Arcachon (application de l'analyse factorielle). *Thèse 3ème cycle Océanogr. biol.*, Univ. Marseille, 98 pp.
- PICARD J., 1965.- Recherches qualitatives sur les biocénoses marines des substrats meubles draguables de la région marseillaise. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume*, 52 (bull. 36), 1-160.
- PRONIEWSKI F., et ELKAIM B., 1980.- Benthos subtidal de l'estuaire de la Seine. Résultats préliminaires. *C. R. Séanc. Acad. Sci., Paris*, 291, série D, 545-547.
- RACHOR E., 1980.- The inner German Bight- An ecologically sensitive area as indicated by the bottom fauna. *Helgolander Wiss. Meeresunters.*, 33, 522-530.
- RACHOR E., 1990.- Changes in sublittoral zoobenthos in the German Bight with regard to eutrophication. *Neth. J. Sea Res.*, 25, 209-214.
- RETIERE C., 1979.- Contribution à la connaissance des peuplements benthiques du Golfe Normanno-breton. *Thèse Doct. Etat Sci. nat.*, Univ. Rennes, 431 pp.
- SALOMON J.C., 1986.- Courantologie calculée en baie de Seine. *Actes de Colloques IFREMER*, 4, 35-42.
- SALOMON J.C., et BRETON M., 1991.- Courants de marée et courants résiduels dans la Manche. *Océanol. Acta*, vol. spéc. 11, 47-53.
- SALOMON J.C., et BRETON M., 1993.- An atlas of long term currents in the Channel. *Océanol. Acta*, 16, 439-448.
- SOUTHWOOD T.R.E., 1966.- *Ecological methods with particular reference to the study of insect populations*. Chapman and Hall, London, 391 pp.
- STEPHENSON W., 1972.- The use of computers in classifying marine bottom communities. *Oceanogr. South Pacific*, UNESCO Symp., Wellington, N.Z., 463-473.
- THIEBAUT E., 1994.- Dynamique du recrutement et dispersion larvaire de deux Annélides Polychètes *Owenia fusiformis* et *Pectinaria koreni* en régime mégatidal (Baie de Seine orientale, Manche). *Thèse d'Univ. Océano. bio.*, Univ. Paris VI, 152 pp.
- THIEBAUT E., CABIOCH L., DAUVIN J.C., RETIERE C., et GENTIL F., 1997.- Spatio-temporal stability of the *Abra alba-Pectinaria koreni* muddy-fine sand community of the eastern Bay of Seine (English Channel). *J. mar. Biol. Ass. U.K.*, (sous presse).
- TOULEMONT A., 1972.- Influence de la nature granulométrique des sédiments sur les structures benthiques. Baies de Douarnenez et d'Audierne (Ouest-Finistère). *Cah. Biol. mar.*, 13, 91-136.
- VASLET D., LARSONNEUR C., et AUFFRET J.P., 1978.- *Carte des sédiments superficiels de la Manche au 1/500 000 et notice*. B.R.G.M. éd., Orléans.

