

Typologie des données du macrobenthos en Manche et en mer du Nord

Jean-Claude DAUVIN

Station marine de Wimereux
CNRS ESA 8013 ELICO
Université des sciences et technologies de Lille
28, avenue Foch, BP 80
F-62930 Wimereux, France
dauvin@pop.univ-lille1.fr

Mots clés : macrobenthos, évolution à long terme, base de données, répartition spatiale

Résumé

Le macrobenthos de la Manche et du sud de la mer du Nord a été étudié depuis les dernières décennies selon deux approches. En premier lieu, une cartographie générale de la répartition des principales unités de peuplement a été entreprise dans les années 1960. Elle a abouti au milieu des années 1970 à un échantillonnage de plus de 3 500 stations à l'échelle de la Manche. La base de données de la Manche orientale (1 485 stations et 623 espèces) est disponible et elle a fait l'objet de déterminations spatiales au moyen d'analyses multivariées identifiant un ensemble de typologie des unités de peuplements. Une analyse de la diversité taxonomique à différents degrés de résolution a également été réalisée. Des cartographies plus locales, mais répétitives, comme en baie de Seine, complètent ces données spatiales en introduisant la variabilité temporelle. En second lieu, le peuplement des sédiments sablo-vaseux à *Abra alba* a fait l'objet d'observations régulières depuis près de vingt ans en quatre sites en Manche et en mer du Nord : Pierre-Noire et Rivière-de-Morlaix en baie de Morlaix, Baie-de-Seine, et Cravelines dans le sud de la mer du Nord. Ces séries chronologiques se prêtent particulièrement bien à une analyse intra et inter-sites le long d'un gradient climatique, caractérisé à l'ouest par l'influence atlantique et à l'est par une influence continentale, d'autant mieux que le macrobenthos se révèle un excellent témoin des variations de l'environnement. D'une manière générale, il apparaît que l'analyse des séries chronologiques et leur interprétation

ne sont pas des tâches aisées. La mise au point de nouvelles méthodes d'analyse est tout aussi vitale que la définition des objets à suivre.

Dans ce texte sont :

1. discutées les caractéristiques des bases de données macrobenthiques de la Manche et de la mer du Nord ;
2. présentées les méthodes déjà effectuées sur ces bases de données, qui ont déjà été valorisées ;
3. proposées des recherches qui pourraient être entreprises sur ces bases de données pour continuer leur exploitation et leur valorisation.

Typology of marine macrobenthic data in the English Channel and the North Sea

Keywords : macrobenthos, long term changes, database, spatial distribution

Abstract

Studies on the macrobenthic communities from the English Channel and the North Sea have been conducted since the last decades with two main objectives. Firstly, there was a general mapping of the distribution of the macrobenthic communities which was started during the 1960s. This corresponds to the sampling of about 3500 stations along the English Channel during several cruises until the middle of the 1970s. The database is available only for the eastern part of the English Channel (1485 stations and 623 species); factorial analyses were done to identify the typology of the main macrobenthic communities. The spatial distribution of the Shannon diversity was also analysed at several resolution levels to identify patches of biodiversity. Secondly, the macrobenthic fauna from the muddy fine-sand *Abra alba* community has been studied for the last 20 years in four sites from the English Channel and the North Sea: at Pierre-Noire and Rivière-de-Morlaix in the Bay of Morlaix, Bay-of-Seine, and Gravelines (Southern North Sea) stations. These chronological data are particularly useful for studying intra-site and inter-site changes along a climatic gradient from the temperate Atlantic waters to the continental climate, especially as the macrobenthic fauna is a good candidate for evaluating the environmental changes of the marine coastal ecosystems. Analysis and interpretation of chronological data are no easy tasks. Development of new methods of analysis is at least as important as the survey of macrobenthic communities.

This paper presents:

1. the main characteristics of the benthic communities;
2. the methods and analyses which have been applied to available data sets;
3. new research approaches to the macrobenthic data and environmental data from the English Channel and the North Sea.

1. Introduction : contexte général

Le macrobenthos de la Manche et du sud de la mer du Nord a été étudié principalement selon deux approches, qui se sont d'ailleurs succédé historiquement. Dans un premier temps, il était nécessaire d'acquérir des connaissances sur la répartition des principales unités de peuplement. Cette entreprise a véritablement débuté à la fin des années 1950 et s'est poursuivie dans les années 1960 (HOLME, 1996 ; CABIOCH, 1968) ; elle a abouti au milieu des années 1970 à un échantillonnage de plus de 3 500 stations à l'échelle de la Manche. Des cartographies plus locales, mais répétitives, comme en baie de Seine, complètent ces données spatiales en introduisant la variabilité temporelle. Dans un deuxième temps, les travaux se sont orientés vers le suivi quantitatif de peuplement en quelques stations. Mais c'est surtout le peuplement des sédiments sablo-vaseux à *Abra alba* qui, en fait, était l'objet d'observations régulières. Ces suivis aboutissent maintenant à des observations sur vingt ans en quatre sites en Manche – mer du Nord, ce qui est notable à la fois à l'échelon des mers nord-européennes et des mers mondiales (BACHELET *et al.*, 1997). Ces séries chronologiques se prêtent particulièrement bien à une analyse intra et inter-sites le long d'un gradient climatique caractérisé à l'ouest par l'influence atlantique, et à l'est par une influence continentale, d'autant mieux que le macrobenthos se révèle un excellent témoin des variations de l'environnement (DAUVIN, 1993).

Dans cet exposé sont :

1. discutées les caractéristiques des bases de données macrobenthiques de la Manche – mer du Nord : richesse spécifique élevée, nombre de relevés temporels réduit par rapport au nombre d'espèces récoltées dans les suivis temporels ; à l'inverse, nombre de stations élevé par rapport au nombre d'espèces recensées en cartographie, importance dans tous les cas de zéros (absence de taxons) dans les tableaux ; irrégularité des échantillonnages nécessitant un prétraitement des données brutes ;
2. présentées les méthodes et analyses déjà effectuées sur ces bases de données qui ont déjà été valorisées ;
3. proposées des recherches qui pourraient être entreprises sur ces bases de données pour continuer leur exploitation et leur valorisation à la fois par un développement méthodologique et par une comparaison plus complète de l'ensemble des données biologiques et environnementales disponibles en Manche.

2. Cartographie générale des peuplements benthiques de la Manche

L'étude des fonds benthiques de la Manche a débuté dès la fin du XIX^e siècle ; elle constituait alors essentiellement en des listes d'espèces et en la réalisation de cartes de répartition autour des stations marines de Roscoff, de Plymouth et du Portel. L'étude du macrobenthos s'est ensuite développée progressivement au début du siècle, notamment en Manche occidentale (CABIOCH, 1968 ; SAN VICENTE, 1995). Mais les premières approches de la connaissance de la répartition des peuplements benthiques à l'échelle de la Manche sont données par HOLME (1996) : échantillonnage et analyse de la faune de 311 dragages. Il faudra attendre la fin des années 1960 et le début des années 1970 pour avoir une première exploration complète des peuplements benthiques de la Manche. Ce travail a été réalisé suite à une collaboration entre plusieurs laboratoires et équipes de benthologues et sédimentologues dans le cadre d'une RCP (Recherche coopérative sur programme) du CNRS « Benthos de la Manche » sous la responsabilité de Louis Cabioch. Des premiers secteurs d'exploration sous la conduite des responsables suivants étaient déjà disponibles ou en cours d'acquisition au début des années 1970.

- région de Roscoff (Cabioch) ;
- golfe normano-breton (Rettière) ;
- baie de Seine (Gentil) ;
- Manche orientale (Glaçon).

Cette phase exploratoire achevée en 1975 a permis de mettre en commun des moyens avec comme objectif la cartographie des sédiments de surface (collaboration avec le laboratoire de géologie de l'université de Caen) et des peuplements macrobenthiques à l'échelle d'une mer épicontinentale comme la Manche. Elle a résulté en un échantillonnage d'un réseau de 3 500 stations (nombre cumulé de stations échantillonnées de 1960 à 1975, date de la fin de l'exploration de la Manche) : réseau régulier de stations et augmentation du nombre de stations près de la côte (gradient hydrodynamique plus fort). La carte des sédiments superficiels de la Manche a été dressée à partir de toutes les analyses granulométriques et calcimétriques disponibles sans traitement statistique préalable (LARSONNEUR *et al.*, 1982).

La création d'une base de données est achevée pour la Manche orientale : 1 485 stations et 623 espèces et l'identification de la typologie des peuplements a été proposée dans la thèse de Laura San Vicente (équipe Ecologie numérique de l'université des sciences et technologie de Lille) en fonction de différents critères de sélection des espèces et d'agglomération des stations (SAN VICENTE, 1995 ; SAN VICENTE *et al.*, 1995, 1996 ; LEPRÊTRE, 1997).

La typologie spatiale des stations benthiques, réalisée au moyen d'analyses factorielles (χ^2 ou distance euclidienne) et de classifications après rééquilibrage des données, tient compte des différences d'échantillonnage suivant les secteurs (nombre de stations plus élevé dans les zones côtières eu égard au large) par une procédure d'interpolation ou de pondération aux nœuds d'un maillage. Au total, quatorze analyses ont été effectuées par SAN VICENTE (1995) : neuf sur des données qualitatives (absence/présence), dont six sur des données brutes, et cinq analyses quantitatives, dont trois sur des données brutes. Dans les autres analyses, plusieurs types de sélection d'espèces ou de stations ont été réalisés, en fonction de l'occurrence des espèces, en sélectionnant les espèces caractéristiques, avec ou sans rééquilibrage des données. Douze analyses portent sur l'ensemble de la Manche orientale, et les deux dernières sur le secteur plus restreint de la partie orientale (707 stations sur 1 485). L'ensemble de ces analyses ne représente cependant qu'un choix parmi les multiples options qu'offrent la base de données et les analyses disponibles. Il est remarquable que ce soient deux analyses qualitatives, portant respectivement sur 509 et 285 espèces et l'ensemble des stations, qui sont celles qui donnent des typologies se rapprochant le plus de la répartition des sédiments. Cependant, les limites spatiales des grands ensembles ne coïncident qu'approximativement. Les dix autres analyses fournissent à chaque fois des limites différentes entre les unités biocénétiques avec la partition entre quatre ou cinq groupes de stations. Les ensembles graviers et graviers sableux sont ceux dont la répartition change le plus en fonction des options choisies, quelquefois les graviers sont regroupés avec les cailloutis. Les analyses sur les données rééquilibrées par maillage donnent toujours des images complexes souvent en mosaïque, favorisant les grands ensembles centraux, et, à l'inverse, réduisant les unités benthiques placées à la côte. Ce rééquilibrage des données par comparaison de plusieurs méthodes d'interpolation est une approche intéressante, cependant le regroupement en nœuds d'espèces ou de stations proches spatialement n'a de sens que lorsqu'il s'agit de la même unité de peuplement. Par exemple, ceci devient inadéquat dans le cas de forte variabilité spatiale des peuplements à l'approche de la côte.

Une analyse de la distribution de la diversité de Shannon a été réalisée à partir des 707 stations les plus orientales (SAN VICENTE *et al.*, 1996; LEPETRE, 1997). Il apparaît une structuration de la diversité en fonction du type sédimentaire et des assemblages d'espèces; cependant aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre ces deux facteurs. Ce résultat indique que les mécanismes affectant la répartition spatiale à grande échelle de la diversité sont différents de ceux les régissant à plus petite échelle spatiale.

Les travaux de San Vicente et Leprêtre représentent donc une étape importante dans l'exploitation de la banque de données « Manche », aboutissant pour la première fois à une typologie à grande échelle des peuplements macro-benthiques de la Manche orientale et du sud de la mer du Nord. Les résultats devront être valorisés par la suite par un examen plus précis, qui devrait aboutir à un compromis donnant la meilleure solution concernant la cartographie des peuplements de la Manche. Une comparaison plus fine entre les typologies obtenues et les cartographies publiées par les benthologues, obtenues à partir d'analyses de similarités objectives portant sur des sous-ensembles de quelques dizaines de stations réparties dans les gradients sédimentaires, apporterait également un plus indéniable à la discussion sur les différences entre typologie et cartographie de tels ensembles importants de données benthiques. Cette approche est unique dans la bibliographie et la base de données mérite d'être complétée et exploitée.

3. Structure spatio-temporelle du peuplement des sables fins envasés de la partie orientale de la baie de Seine

La contribution du GDR-Manche (Groupe de recherches Manche) au PNDR (Programme national sur le déterminisme du recrutement) s'est attachée à la description du cycle biologique de deux espèces cibles d'annélides polychètes du peuplement à *Abra alba* de la partie orientale de la baie de Seine : *Pectinaria koreni* et *Owenia fustiformis* (LAMBERT, 1991; DAVIN & GILLET, 1991; THIÉBAUT, 1994). Deux questions ont émergé au cours de ce programme à partir des données acquises sur les structures macrobenthiques :

1. La répartition des espèces et des sous-unités de peuplement du peuplement à *Abra alba* – *Pectinaria koreni* face au débouché de la Seine en mer en conditions hivernales est-elle homogène ou hétérogène ?
2. S'il existe une structuration spatiale des espèces et des peuplements, existe-t-il des changements temporels dans cette structuration ?

Au total, cinq séries de campagnes d'échantillonnages hivernaux ont été réalisées en 1986 (40 stations et 74 espèces), 1987 (51 stations et 103 espèces), 1988 (67 stations et 109 espèces); 1991 (64 stations et 140 espèces) et 1996 (82 stations et 130 espèces). Seule la base de données 1986-1991 a pour l'instant été exploitée à partir d'analyses factorielles des correspondances (AFC) (THIÉBAUT, 1994; THIÉBAUT *et al.*, 1997). Seules les espèces présentes dans au moins 5 % des stations lors de chaque campagne hivernale ont été sélectionnées pour les AFC : soit 40 espèces sur 74 espèces recensées en 1986 (54 %

des espèces), 63 sur 103 (61 %) en 1987, 58 sur 109 (53 %) en 1988 et 76 sur 140 (54 %) en 1991. Le peuplement est structuré en assemblages plurispécifiques ne montrant que peu de variabilité spatio-temporelle. La distinction entre les différents assemblages résulte essentiellement de la dominance relative des principales espèces du peuplement. Ainsi la relative stabilité du peuplement à *Abra alba* – *Pectinaria koreni* du secteur oriental de la baie de Seine s'oppose nettement aux résultats observés dans d'autres régions pour ce type de peuplement. Cependant, la structuration spatiale du peuplement apparaît comme relativement indépendante des caractéristiques granulométriques du sédiment. Les facteurs structurants dominants sont vraisemblablement les interactions biotiques qui s'expriment à travers la prédation et des relations de compétition intra et interspécifique (THIEBAUT, 1994 ; THIEBAUT *et al.*, 1997).

4. Évolution à long terme (supérieure à 10 ans) du peuplement des sables fins plus ou moins envasé à *Abra alba*

L'échantillonnage depuis la fin des années 1970 de quatre stations intralittorales (Pierre-Noire et Rivière-de-Morlaix en baie de Morlaix, Baie-de-Seine, et Gravelines dans la baie sud de la mer du Nord) appartenant toutes au peuplement des sables fins plus ou moins envasés à *Abra alba* se prêtait particulièrement bien à une analyse inter-sites. Les observations acquises sur ces quatre sites ont fait de plus l'objet d'analyses intra-sites. L'exploitation et les interprétations ont été très largement développées dans le cadre de la première phase du PNOC-SLT (Programme national d'océanographie côtière – Opération séries à long terme) ou antérieurement dans le cadre européen du COST 647 (Coopération européenne dans le domaine de recherches scientifiques et techniques). Un résumé complet des principaux résultats acquis sur ces quatre sites est donné dans DAVIN (1997). Sont rappelées ici les caractéristiques typologiques des données et présentées les analyses utilisées dans les publications suivantes :

- analyses inter-sites des quatre stations en Manche – mer du Nord en trois sites : DAVIN *et al.* (1993), FROMENTIN *et al.* (1997a,b), IBÁÑEZ & FROMENTIN (1997) ;
- analyses inter-sites de deux ou trois stations : SOUPRAVEN *et al.* (1991), IBÁÑEZ *et al.* (1993), MANTÉ *et al.* (sous presse).

- analyses intra-sites : baie de Morlaix (Pierre-Noire, DAVIN & IBÁÑEZ, 1986 ; Rivière-de-Morlaix, IBÁÑEZ & DAVIN, 1988) et mer du Nord (Gravelines, DEWARUMEZ *et al.*, 1986, CARPENTIER *et al.*, 1997).

Les caractéristiques communes aux quatre stations sont :

1. nombre de relevés temporels relativement réduit (≈ 100 pour les séries les plus longues) en 20 ans de suivi ;

2. intervalle irrégulier entre les observations ;
3. nombre d'espèces élevé (supérieur à 100, voire supérieur à 400 à Pierre-Noire) ;
4. grand nombre de zéros dans les tableaux de données ;
5. nombreuses espèces rares avec un ou quelques individus lors de chaque relevé ;
6. dominance numérique et pondérale de seulement quelques espèces.

Dans un premier temps, plusieurs types de sélection arbitraire à partir de la fréquence et/ou de la densité des espèces ont été réalisés avant d'analyser les données. Il s'agit de la sélection :

1. des 30, ou 40 espèces les plus abondantes sur la série ;
2. des espèces les plus fréquentes ;
3. des espèces présentes dans plus de 50 % des relevés et ayant une abondance relative supérieure à 0,001 ;
4. de l'élimination des espèces temporairement abondantes ou accidentelles ; ou de l'établissement d'une relation entre pourcentage d'absence d'une espèce en fonction des valeurs nulles qui correspondent à des absences : sélection à partir d'un certain seuil, par exemple $< 55\%$ d'absence.

Dans un deuxième temps, ont été proposées des méthodes de sélection des espèces dominantes d'un peuplement à partir de codage en probabilités d'un tableau d'effectif. Ont été appelées espèces « rares » les espèces dont la probabilité de récolte est inférieure à un seuil Π_0 ; la probabilité est estimée par son estimation du maximum de vraisemblance à partir des abondances observées dans une observation i . La probabilité p pour qu'une espèce soit absente d'une observation est déterminée à partir d'une valeur seuil α_0 (risque). Ensuite, après sélection les espèces négligeables sont regroupées dans une espèce appelée BDF (bruit de fond). Les espèces négligeables dans chaque relevé et les espèces négligeables dans toutes les observations sont éliminées (MANTÉ *et al.*, 1995, 1997).

La régularisation du pas d'échantillonnage a été réalisée par la méthode d'interpolation de FOX & BROWN (1965) après standardisation à quatre observations annuelles (une par saison) dans les publications de Ibañez et de ses collaborateurs.

Le traitement ultérieur des séries régularisées pour en extraire la tendance générale et les phénomènes saisonniers dans les publications de Ibañez et de ses collaborateurs est résumée dans la figure 1.

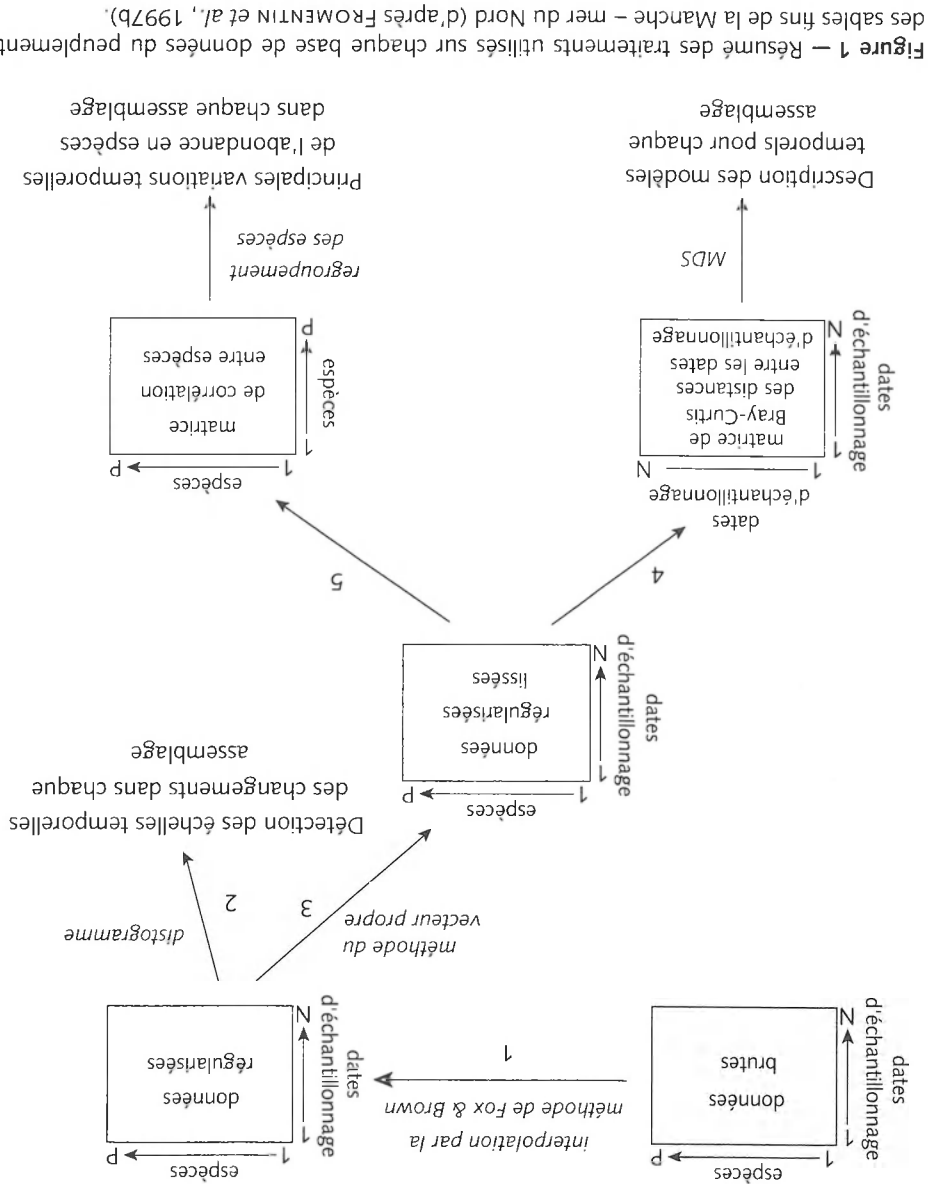


Figure 1 — Résumé des traitements utilisés sur chaque base de données du peuplement des sables fins de la Manche – mer du Nord (d'après FROMENTIN *et al.*, 1997b).

5. Discussion et perspectives

Comme il a été vu en Manche – sud de la mer du Nord, les organismes benthiques sont de bons indicateurs des conditions hydrodynamiques locales et générales et des changements climatiques locaux ou planétaires de plus

ou moins grande période (DAVIN, 1993, 1997). Des changements cycliques d'abondance d'espèces benthiques avec des périodes de 3 à 4 ans et de 7 à 8 ans ont été mis en évidence à partir de séries obtenues depuis une vingtaine d'années sur des séries provenant de la façade Manche – mer du Nord (FROMENTIN *et al.*, 1997a,b). Les fluctuations de courte période sont liées à une alternance de périodes cyclonique et anticyclonique (cycles de 3 à 4 ans), celles plus longues à la rotation des pôles de la Terre (cycles de 6 à 7 ans). Des variations cycliques, undécennales du nombre de taches solaires (cycles de 10 à 11 ans), ou de durée plus longue (de 18 à 20 ans), voire séculaires, ont également été observées sur d'autres séries à travers le monde (BACHELET *et al.*, 1997).

Au-delà des travaux déjà réalisés sur les données du macrobenthos de la Manche, il peut être identifié des perspectives de traitement des séries biologiques de la Manche et du sud de la mer du Nord, de concert avec celles de séries hydroclimatiques. En premier lieu, il s'agira de faire un recensement de l'ensemble des données climatiques, hydrologiques et biologiques disponibles sur la Manche et le sud de la mer du Nord. Seules les séries dont la durée d'observation atteint la décennie seront recensées ; elles correspondent à celles acquises dans le cadre des réseaux d'observation de l'IFREMER, en particulier du réseau IGA (Impact des grands aménagements) de suivi des centrales therm nucléaires en fonctionnement sur le littoral (Flamanville, Penly, Paillet et Gravelines), des données météorologiques des sémaphores et des stations météorologiques du littoral, et des données sur les débarquements des pêcheries de la zone Manche : céphalopodes et poissons démersaux et pélagiques. D'autres séries biologiques existent pour la zone intertidale de la baie des Vays et de la baie de Somme. Il conviendra aussi, en tenant compte des suivis existants et maintenant structurés tant à l'IFREMER (QUADRIGE) qu'à l'INSU (SOMLIT), d'assurer la poursuite des plus longues séries de mesures des paramètres biologiques pour mettre en évidence, éventuellement d'ici quelques décennies, ces cycles de longue période.

À partir de ce recensement, une sélection des paramètres et des séries pertinentes sera réalisée pour identifier les tendances et les évolutions synchrones ou asynchrones des séries pour rendre compte des effets locaux et des effets à méso-échelle du climat et des activités anthropiques sur les séries biologiques. Il sera privilégiée l'identification des événements périodiques et des événements exceptionnels : notamment les périodes de présence des espèces intermédiaires, voire rares, et des espèces indicatrices de climat (FROMENTIN & IBANEZ, 1994). Cependant, il apparaît que l'analyse des séries et leur interprétation ne sont pas des tâches aisées. La mise au point de nouvelles méthodes d'analyse (IBANEZ

et al., 1993; MANTÉ *et al.*, 1995, 1997; IBÁÑEZ & FROMENTIN, 1997) est tout aussi vitale que la définition des objets à suivre. De même, la reconnaissance de l'activité scientifique liée à l'observation de longue durée doit être reconnue par nos instances nationales pour pouvoir contribuer aux programmes internationaux.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'opération « Séries à long terme » du Programme national d'océanographie côtière. Je tiens à remercier vivement mes collègues du Pnoc-SLT, B. Elkaim, J.-M. Dewarumez, J.-M. Fromentin et F. Ibáñez, avec qui j'ai effectué une partie des traitements et des analyses sur lesquels repose ce travail. Je remercie aussi chaleureusement, L. Cabioch, Ch. Retière, F. Gentil, R. Glagon, A. Leprêtre et L. San Vicente (RCP puis GDR Manche) pour leur contribution, à un moment ou à un autre, à la connaissance du macrobenthos en Manche et en mer du Nord.

Références bibliographiques

- BACHELET G., CASTEL J., DUVIN J.-C., IBÁÑEZ F. & NIVAL P. (eds), 1997. — « Long-term changes in marine Ecosystems », *Oceanol. Acta*, n° 20, p. 1-329.
- CABIOCH L., 1968. — « Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale », *Cab. Biol. Mar.*, n° 9, p. 489-720.
- CARPENTIER P., DEWARUMEZ J.-M. & LEPRÊTRE A., 1997. — « Long-term variability of the *Abra alba* community in the southern bight of the North Sea », *Oceanol. Acta*, n° 20, p. 283-290.
- DUVIN J.-C. & IBÁÑEZ F., 1986. — « Variations à long terme (1977-1985) du peuplement des sables fins de la Pierre Noire (Baie de Morlaix, Manche Occidentale) : analyse statistique de l'évolution structurale », *Hydrobiologia*, n° 142, p. 171-186.
- DUVIN J.-C. & GILLET P., 1991. — « Spatio-temporal variability in population structure of *Owenia fusiformis* Delle Chiaje (Annelida-Polychaeta) from the Bay of Seine (Eastern English Channel) », *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, n° 152, p. 105-122.
- DUVIN J.-C., 1993. — « Le benthos : témoin des variations de l'environnement », *Océanis*, n° 19, p. 25-53.

- DAVIN J.-C., 1997. — « Evolution à long terme des peuplements de sédiments fins sablo-vaseux de la Manche et de la mer du Nord », *Océanis*, n° 23, p. 113-144.
- DAVIN J.-C., DEWARUMEZ J.-M., ELKAIM B., BERNARDO D., FROMENTIN J.-M. & IBAÑEZ F., 1993. — « Cinétique de *Abra alba* (Mollusque-Bivalve) de 1977 à 1991 en Manche — mer du Nord. Relation avec les facteurs climatiques », *Oceanol. Acta*, n° 16, p. 413-422.
- DEWARUMEZ J.-M., QUISTHOUDT F. & RICHARD A., 1986. — « Suivi plurian-nuel du peuplement à *Abra alba* dans la partie orientale de la mer du Nord (région de Dunkerque-France) », *Hydrobiologia*, n° 142, p. 187-197.
- FOX W.T. & BROWN J.A., 1965. — « The use of time-trend analysis for environ-mental interpretation of limestones », *J. Geol.*, n° 73, p. 510-518.
- FROMENTIN J.-M. & IBAÑEZ F., 1994. — « Year to year changes in meteorolo-gical features of the French coast during the last half-century. Examples of two biological responses », *Oceanol. Acta*, n° 17, p. 285-296.
- FROMENTIN J.-M., DAVIN J.-C., IBAÑEZ F., DEWARUMEZ J.-M. & ELKAIM B., 1997a. — « Long-term variations of four macrobenthic community struc-tures », *Oceanol. Acta*, n° 20, p. 43-53.
- FROMENTIN J.-M., IBAÑEZ F., DAVIN J.-C., DEWARUMEZ J.-M. & ELKAIM B., 1997b. — « Long-term variability of macrobenthic communities of the North-West French coast », *J. Mar. Biol. Ass. UK*, n° 77, p. 287-310.
- HOLME N.A., 1996. — « The bottom fauna of the English Channel. Part II », *J. Mar. Biol. Ass. UK*, n° 46, p. 401-493.
- IBAÑEZ F. & DAVIN J.-C., 1988. — « Long-term changes in a muddy fine sand *Abra alba* — *Melinnia palmata* community from the Western English Chanel. Multivariate time-series Analysis », *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, n° 49, p. 65-81.
- IBAÑEZ F., DAVIN J.-C. & ETIENNE M., 1993. — « Comparaison des évolu-tions à long terme (1977-1990) de deux peuplements macrobenthiques de la baie de Morlaix (Manche occidentale). Relations avec les facteurs hydrocli-matiques », *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, n° 169, p. 181-214.
- IBAÑEZ F. & FROMENTIN J.-M., 1997. — « Une typologie à partir de la forme des séries chronologiques (TFS) », *Oceanol. Acta*, n° 20, p. 11-25.
- LAMBERT R., 1991. — *Recrutement d'espèces benthiques à larves pélagiques en régime mégatidal. Cas de Pectinaria koreni (Malmgren), Annelide Poly-chète*. Thèse université de Rennes I, 176 p.
- LARSONNEUR C., BOYSSSE P. & AUFFRET J.-P., 1982. — « The superficial sedi-ments of the English Channel and its western approaches », *Sedimentology*, n° 29, p. 851-864.

- LEPRÊTRE, A., 1997. — *Hétérogénéité, variabilité, et diversité dans les écosystèmes. Concepts, outils, applications*. Thèse d'habilitation à diriger des recherches, université de Lille I, 255 p. + annexes.
- MANTÉ C., DAUVIN J.-C. & DURBEC J.-P., 1995. — « Statistical method for selecting representative species in multivariate analysis of long-term changes of marine communities. Application to a macrobenthic community from the Bay of Morlaix », *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, n° 120, p. 243-250.
- MANTÉ C., DURBEC J.-P. & DAUVIN J.-C., 1997. — « Analyse de l'évolution temporelle de communautés macrobenthiques à partir des probabilités de présence des espèces », *Oceanol. Acta*, n° 20, p. 71-79.
- MANTÉ C., ELKAÏM B. & DAUVIN J.-C., sous presse. — « Methods for selecting dominant species in ecological series. Application to marine macrobenthic communities from the English Channel », *J. Rech. Océanogr.*
- SAN VICENTE L. 1995. — *Détermination des structures benthiques spatiales en Manche Orientale au moyen de méthodes d'Analyse multivariée et de techniques d'Interpolation*. Thèse, université de Lille I, 169 p. + annexes.
- SAN VICENTE L. & LEPRÊTRE A., 1995. — « Typologie des stations océanographiques en Manche Orientale : comparaison de méthodes d'interpolation spatiale », *J. Rech. Océanogr.*, n° 20, p. 27-32.
- SAN VICENTE L., LEPRÊTRE A. & DAVOULT D., 1996. — « Large-scale spatial pattern of the macrobenthic diversity in the eastern English Channel », *J. Mar. Biol. Ass. UK*, n° 76, p. 153-160.
- SOUPRAYEN J., DAUVIN J.-C., IBÁÑEZ F., LOPEZ-JAMAR E., O'CONNOR B. & PEARSON T.H., 1991. — Long-term trends of macrobenthic communities : numerical analysis of four north-western European sites. In : *Space and Time Series Data Analysis in Coastal Benthic Ecology. An analytical exercise organised within the framework of the COST 647 Project on Coastal Benthic Ecology* (Keegan B.F. ed.), vol. I. : 265-438. Commission of the European Communities.
- 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 université P. & M. Curie, Océanographie Biologique, 152 p.
- THIEBAUT E., CABIOCH L., DAUVIN J.-C., RETTÈRE C. & GENTIL F., 1997. — « Spatio-temporal stability of the *Abra alba* – *Pectinaria koreni* muddy fine sand community from the eastern part of the bay of Seine (English Channel) », *J. Mar. Biol. Ass. UK*, n° 77, p. 1165-1185.

