

# Traitement des données stationnelles (faune)

Jacques Grall et Christian Hily<sup>1</sup>

## Résumé

---

### Mots Clés :

Série temporelle, analyse statistique, indice de diversité, analyse multivariée.

## Objectifs

---

Analyser la dynamique actuelle des communautés benthiques côtières pour être en mesure de répondre à terme aux questions suivantes : Observe-t'on une stabilité dynamique ou, au contraire, les communautés sont-elles en évolution ? Dans ce cas cette évolution se traduit-elle par des remaniements quantitatifs (abondances, biomasses, production) ou concerne-t'elle également des changements dans la biodiversité (apparition ou/et disparition d'espèces ou de groupes fonctionnels) ? Quelles sont les variables forçantes, et en particulier quels sont les rôles respectifs des causes naturelles (climatiques à grande échelle) et locales (anthropiques) dans ces changements ?

## Contexte

---

Les changements à long terme de la macrofaune benthique des écosystèmes NE atlantique ont fait l'objet de nombreuses études (Kröncke, 1998). Ces changements ont été mis en relation avec des variables forçantes « naturelles », telles que la température (Beukema, 1990, 1992 ; Dörjes *et al*, 1990), la salinité (Laine *et al*, 1997), les tempêtes (Rachor & Gerlach, 1978) ou des variables forçantes d'origine anthropique, telles que l'eutrophisation (Beukema & Cadée, 1986 ; Rosenberg *et al*, 1987 ; Rachor, 1990), la pollution par les métaux (Borchardt *et al*, 1988 ; Kersten & Kröncke, 1991). En outre, plusieurs études ont mis en évidence la synergie qui peut exister entre ces facteurs affectant les biocénoses benthiques (Kröncke, 1992).

Les études à long terme de la diversité et de la structure des communautés benthiques permettent donc d'évaluer les changements intervenant dans ces communautés elles-mêmes, mais aussi dans l'ensemble des écosystèmes côtiers. Elles permettent également d'en identifier les causes et en particulier de déconvoluer les signaux climatiques et anthropiques, pour peu que soient correctement choisies pour ces suivis les communautés cibles et les échelles de temps fixant les fréquences des observations.

## Méthodologie d'acquisition

---

### Stratégie générale

Pour chaque biocénose concernée, les données biologiques et les paramètres associés seront acquis selon le protocole d'échantillonnage faunistique recommandé (c.f. fiches d'échantillonnage) et les déterminations établies en se référant au référentiel taxonomique retenu.

Pour être en mesure d'exprimer de manière synthétique la richesse des données obtenues, et favoriser l'interprétation des différences ou évolutions constatées, différentes approches complémentaires sont nécessaires.

- **Richesse spécifique, Abondance, Biomasse**

La première approche consiste à évaluer la structure générale des peuplements à partir des trois variables que sont la richesse spécifique (S) moyenne ou totale, l'abondance (A) et la biomasse moyenne (B).

---

<sup>1</sup> IUEM(UBO)/LEMAR

REBENT, Traitement des données stationnelles (faune), décembre 2003

- **Identification des espèces dominant nettement la biocénose**

- **Indices de diversité**

Les différents indices de diversité actuellement utilisés permettent d'étudier la structure des peuplements en faisant référence ou non à un cadre spatio-temporel concret. Ils permettent d'avoir rapidement, en un seul chiffre, une évaluation de la biodiversité du peuplement. Toutefois, leur caractère synthétique peut s'avérer être un handicap dans la mesure où il masque une grande partie de l'information.

- **Regroupements d'espèces en groupes fonctionnels ou écologiques**

- **Analyses multivariées**

Les analyses multivariées permettent de résumer la structure de corrélation de données décrites par plusieurs variables quantitatives, en identifiant des facteurs sous-jacents communs aux variables et en mesure d'expliquer une part importante de la variabilité des données.

## **Méthodologie de gestion et de traitement**

### ***Richesse spécifique, Abondance, Biomasse***

Traitements appliqués sur ces données : analyse de variance, détection de tendance.

### ***Dominances***

Il est nécessaire de s'intéresser à la structure taxonomique du peuplement (abondances relatives des différents groupes taxonomiques), mais également aux rangs respectifs des principales espèces qui le constituent, et ce par l'intermédiaire du paramètre présence dominance D-P (Glémarec, 1964) permettant de comparer la dominance spécifique du peuplement au cours du temps et d'y déceler d'éventuelles évolutions, avec :

$$D-P = D_{ij} \times P_{ij}$$

$$\text{avec } D_{ij} = (1/k_j) \times \sum_{l=1}^{k_j} (n_{il} / N_l)$$

et

$$P_{ij} = 100 \times f_{ij} / (f_{i1} + f_{i2} + \dots + f_{ij} + \dots + f_{ik}) \quad \text{avec } f_{ij} = 100 \times nb_{ij} / N_{bj}$$

$D_{ij}$  : moyenne des dominances de l'espèce  $i$  établie sur les  $k_j$  secteurs de la biocénose  $j$

$P_{ij}$  : présence de l'espèce  $i$  dans la biocénose  $j$

$k_j$  : nombre de secteurs correspondant à la biocénose  $j$

$n_{il}$  : effectif de l'espèce  $i$  dans le secteur  $l$

$N_l$  : effectif total de tous les individus du secteur  $l$

$f_{ij}$  : fréquence de l'espèce  $i$  dans la biocénose  $j$

$nb_{ij}$  : nombre de secteurs de la biocénose  $j$  contenant l'espèce  $i$

$N_{bj}$  : nombre total de secteurs dans la biocénose  $j$

## **Indices de diversité**

- **Shannon-Weaver**

L'indice de diversité considéré ici est celui qui est le plus couramment utilisé dans la littérature, il est basé sur :

$$H' = - \sum ((N_i / N) * \log_2(N_i / N))$$

$N_i$  : nombre d'individus d'une espèce donnée,  $i$  allant de 1 à  $S$  (nombre total d'espèces).

$N$  : nombre total d'individus.

$H'$  est minimal (=0) si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce,  $H'$  est également minimal si, dans un peuplement chaque espèce est représentée par un seul individu, excepté une espèce qui est représentée par tous les autres individus du peuplement. L'indice est maximal quand tous les individus sont répartis d'une façon égale sur toutes les espèces (Frontier, 1983). L'indice de Shannon est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité  $J$  de Pielou (1966), appelé également indice d'équirépartition (Blondel, 1979), qui représente le rapport de  $H'$  à l'indice maximal théorique dans le peuplement ( $H_{max}$ ). Cet indice peut varier de 0 à 1, il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement. Insensible à la richesse spécifique, il est très utile pour comparer les dominances potentielles entre stations ou entre dates d'échantillonnage.

- **Indice de Simpson et indice de diversité de Simpson**

L'indice de Simpson mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce :

$$D = \sum N_i(N_i-1)/N(N-1)$$

$N_i$  : nombre d'individus de l'espèce donnée.

$N$  : nombre total d'individus.

Cet indice aura une valeur de 0 pour indiquer le maximum de diversité, et une valeur de 1 pour indiquer le minimum de diversité. Dans le but d'obtenir des valeurs « plus intuitives », on peut préférer l'indice de diversité de Simpson représenté par  $1-D$ , le maximum de diversité étant représenté par la valeur 1, et le minimum de diversité par la valeur 0 (Schlaepfer, Bütler, 2002).

Il faut noter que cet indice de diversité donne plus de poids aux espèces abondantes qu'aux espèces rares. Le fait d'ajouter des espèces rares à un échantillon, ne modifie pratiquement pas la valeur de l'indice de diversité.

- **Indice de diversité de Hill**

Il s'agit d'une mesure de l'abondance proportionnelle, permettant d'associer les indices de Shannon-Weaver et de Simpson :

$$\text{Hill} = (1/\lambda)/e^{H'}$$

$1/\lambda$  : c'est l'inverse de l'indice de Simpson.

$e^{H'}$  : c'est l'exponentiel de l'indice de Shannon-Weaver.

L'indice de diversité de Hill permet d'obtenir une vue encore plus précise de la diversité observée.  $1/\lambda$  va permettre la mesure du nombre effectif d'individus très abondants.  $e^H$  va en revanche permettre de mesurer le nombre effectif d'individus abondants mais surtout des espèces rares. Plus l'indice de Hill s'approche de la valeur 1, et plus la diversité est faible. Afin de faciliter l'interprétation, il est alors possible d'utiliser l'indice 1-Hill, où la diversité maximale sera représentée par la valeur 1, et la diversité minimale par la valeur 0.

C'est l'indice de Hill qui semble le plus pertinent dans la mesure où il intègre les deux autres indices. Toutefois, il peut être utile d'utiliser les trois indices conjointement afin d'en extraire un maximum d'informations et de mieux comprendre la structure des communautés.

### **Approche par groupes trophiques**

Une approche complémentaire, visant à mieux comprendre les réponses du benthos face aux variations de l'environnement, consiste à classer les organismes en groupe fonctionnels, sur la base de leur régime alimentaire. La répartition d'espèces à l'intérieur de groupes exploitant le même type de ressources permet ainsi de simplifier l'analyse de la structure des communautés benthiques et de leur fonctionnement. La réponse des groupes trophiques face aux variations de l'environnement, en particulier des apports trophiques, traduit alors les tendances générales d'évolution du peuplement dans son ensemble. Ces tendances ne sauraient être détectées par l'étude d'une espèce particulière trop peu représentative ou des paramètres structuraux (Richesse spécifique, Abondance, Biomasse) trop généraux.

La classification des espèces au sein des groupes trophiques est complexe du fait de la carence en informations objectives sur leurs habitudes alimentaires. A ce propos, les problèmes de rattachement d'une espèce à un groupe trophique donné ont plusieurs origines : a) l'absence d'information sur la stratégie alimentaire au niveau de l'espèce, et le risque d'erreur lié à la généralisation au niveau de la famille ; b) les incohérences existant dans la littérature sur les régimes alimentaires, dues à des méthodologies différentes ou à des variations inter-populationnelles ; les changements de comportement alimentaire susceptibles de se produire en fonction des conditions environnementales (Wildish, 1984). Il faut donc noter que ces regroupements sont « généraux » et qu'il existe des variations importantes dans les habitudes alimentaires au sein de chaque groupe.

L'intérêt de l'approche réside cependant dans la possibilité d'inclure toute source de nourriture existant au niveau du benthos dans un minimum de catégories afin d'estimer leurs réactions face aux variations de l'environnement (Pearson, 1971). De plus, la plupart des espèces leaders (en terme d'abondance et de biomasse) des peuplements considérés ici, sont communes et ont fait l'objet d'études depuis plus d'un siècle : leur régime alimentaire est donc relativement bien connu. D'autre part, il faut noter que le type de classification par groupes trophiques a été utilisé avec succès dans bon nombre d'études écologiques à travers le monde (Wildish, 1984, Gaston, 1987, Gaston et Nasci, 1988 ; Karakassis et Eleftheriou, 1997 ; Gaston *et al.*, 1998...). On s'attachera donc à classer chaque espèce dans une catégorie, en évitant la catégorie « omnivores » qui aurait englobé une majorité d'espèces, limitant par là fortement l'intérêt de la méthode. Le classement des espèces est basé sur les données de la littérature (Pearson, 1971 ; Fauchald & Jumars, 1979 ; Luca et Roy, 1983 ; Gros et Hamon, 1988), sur la morphologie des parties buccales ou des appareils liés à l'alimentation, ainsi que sur des observations personnelles effectuées sur nos sites d'étude.

- **Définition des groupes trophiques**

Les organismes benthiques sont capables de trouver leur source de nourriture dans trois principaux types d'environnement : i) dans le sédiment, ii) à l'interface eau-sédiment, iii) dans la colonne d'eau au-dessus du sédiment. D'autre part, il est possible de discriminer les espèces en considérant la nourriture qu'elles ingèrent, qu'elle soit d'origine animale ou végétale, l'état de l'alimentation

(vivante ou en décomposition), ou encore, le rapport de taille entre l'espèce et les particules qu'elles ingèrent (cf. tableau 1).

	Environnement	Nature	Etat	Rapport de taille
Carnivores	Indifférent	Animal	Vivant	Macrophage
Nécrophages	Indifférent	Animal	Mort	Macrophage
Herbivores	Interface	Végétal	Vivant	Macrophage
Détritivores	Interface	Végétal	Mort	Macrophage
Suspensivores	Colonne d'eau	Mixte	Mixte	Microphage
Dépositivores sélectifs	Interface	Mixte	Mixte	Microphage
Dépositivores non sélectifs	Sédiment	Mixte	Mixte	Microphage
Microbrouleurs	Interface	Mixte	Vivant	Microphage

Tableau 1 Description sommaire des modes d'alimentation des groupes trophiques (classement retenu pour les espèces de macrofaune des bancs de maerl).

La classification présentée est adaptée de Hily et Bouteille (1999), elle a été utilisée dans le cas de la rade de Brest et du golfe du Morbihan (Grall et Glémarec, 1997 b ; Aflit et Glémarec, 2000) :

- Carnivores (C) : ce sont des prédateurs armés pour capturer leurs proies, certains sont vagiles (polychètes errantes, gastéropodes, étoiles de mer, décapodes...) et d'autres sont sessiles (actinies, hydraires).
- Nécrophages (N) : ce sont des mangeurs de chair d'animaux morts déposés sur le fond, ce sont essentiellement des gastéropodes et des décapodes.
- Herbivores (H) : ce sont des mangeurs d'algues ou brouleurs comme les oursins et les gastéropodes.
- Détritivores : ce sont des animaux vagiles mangeurs de détritus d'origine essentiellement végétale. Ce sont des amphipodes, des isopodes, des tanaidacés, des décapodes et quelques polychètes (comme certains Néreidés).
- Suspensivores (S) : ils se nourrissent par filtration, dans la tranche d'eau au dessus du sédiment, des particules organiques en suspension (polychètes Sabellidés, Serpulidés, certains bivalves).
- Dépositivores sélectifs (DS) : se nourrissent de particules organiques, support de bactéries et d'algues unicellulaires, qui se déposent sur le sédiment. Il s'agit d'une grande partie des polychètes sédentaires, de certains mollusques bivalves et crustacés utilisant pour se nourrir la couche sédimentaire superficielle.
- Dépositivores non sélectifs (DNS) : ces animaux vivent en profondeur dans le sédiment, en exploitant les couches réduites et en ingérant le sédiment dans lequel ils prélèvent la matière organique (micro-organismes, méiofaune benthique, bactéries). Il s'agit essentiellement de polychètes sédentaires.
- Microbrouleurs ( $\mu$ B) : ce sont des brouleurs de microphytes, bactéries et détritus. Ils sont constitués essentiellement de mollusques polyplacophores et d'une grande partie des gastéropodes (microgastéropodes).
- Autres : chémoautotrophes, parasites, etc... sont insuffisamment représentés dans notre cas pour justifier d'une catégorie à part entière.

### **Analyse des peuplements par groupes écologiques et calcul des indices biotiques**

La réponse des structures benthiques, selon Dauer *et al.* (1993), repose sur le paradigme de Pearson & Rosenberg (1978) qui établit que ces structures, face à la qualité de l'habitat et notamment par rapport à la surcharge en matière organique, réagissent selon trois stades progressifs. L'abondance (A) des organismes s'accroît, la richesse spécifique (S) également, puis les espèces dominantes REBENT, Traitement des données stationnelles (faune), décembre 2003

changent le long du gradient de perturbation et les espèces sensibles à la pollution sont remplacées par des espèces tolérantes. Un troisième descripteur synthétique, la biomasse (B), est utilisé parallèlement. De fait, avec cette technique SAB, Pearson & Rosenberg (1978) reconnaissent ce principe de groupes écologiques composés d'espèces de polluosensibilité différente. Ces groupes sont considérés comme des indicateurs biologiques et allant plus avant dans cette démarche, Glémarec & Hily (1981), Hily (1984), Glémarec et Grall (2000) utilisent leurs distributions et leurs importances relatives le long d'un gradient de perturbation pour définir des Indices Biotiques de 0 à 7.

Cette technique des Indices Biotiques est couplée aujourd'hui à la méthode SAB et elle a été appliquée sur de nombreux sites en Bretagne : plages soumises aux marées noires (Majeed, 1987), rade de Brest (Grall & Glémarec, 1997c), golfe du Morbihan (Afli, 1999)... D'autres chercheurs comme Dauer *et al.* (1993) apportent des éléments sur la profondeur à laquelle les espèces survivent, d'autres comme Weston (1990) montrent que les espèces de ces groupes appartiennent à des groupes trophiques différents (guildes) le long du gradient d'enrichissement organique, concept qui est repris ci-dessous dans la définition des Indices Biotiques.

### • Le modèle des Indices Biotiques

Les espèces sont regroupées en 5 groupes écologiques de polluosensibilité différente :

- Groupe I : Les espèces sensibles à une hypertrophisation  
Elles disparaissent les premières lorsqu'il y a enrichissement du milieu. Ce sont des suspensivores, des carnivores sélectifs et quelques dépositivores tibi-cole de subsurface.
- Groupe II : Les espèces indifférentes à une hypertrophisation  
Ce sont des espèces qui sont peu influencées par une augmentation de la quantité de la matière organique. On y trouve surtout des espèces carnivores et nécrophages peu sélectives.
- Groupe III : Les espèces tolérantes à une hypertrophisation  
Elles sont naturellement présentes dans les vases, mais comme leur prolifération est stimulée par l'enrichissement du milieu, elles sont alors un signe du déséquilibre du système. Ce sont des dépositivores tubicoles de surface profitant du film superficiel chargé de matière organique.
- Groupe IV : Les espèces opportunistes de second ordre  
Ce sont des petites espèces à cycle court (< 1 an) proliférant dans les sédiments réduits, dans les zones polluées. Ce sont des dépositivores de subsurface.
- Groupe V : Les espèces opportunistes de premier ordre  
Ce sont des dépositivores, proliférant dans les sédiments réduits sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface.

Le modèle des Indices Biotiques (IB) reconnaît quatre grandes étapes (fig. 1) :

- I.B. 0 : les espèces sensibles (groupe écologique I) dominant et ce sont les premières à disparaître. Ce sont essentiellement des espèces suspensivores, dépositivores de surface ou carnivores, qui définissent l'état normal du peuplement.
- I.B. 2 : Les espèces tolérantes (groupe III), qui étaient présentes en situation normale mais dominées, sont ici stimulées et plus abondantes. Ce sont des dépositivores de surface comme les Bivalves (*Abra*, *Tellina*...), des polychètes Ampharetidés ou Spionidés se nourrissant du film de matière organique de surface. Apparaissent aussi les premiers détritivores, consommateurs de matière végétale figurée, c'est le cas d'*Apseudes latreilli* (Crustacé, Tanaidacé), de Nereidés ou d'amphipodes Talidridés, Dexaminidés, Gammaridés, Melitidés... Ces espèces tolérantes, dominant les espèces sensibles, définissent cette première étape du déséquilibre. Les estuaires étant des milieux naturellement stressés ou déséquilibrés seront colonisés préférentiellement par ce groupe des espèces tolérantes.
- I.B. 4 : Il est caractérisé par des espèces opportunistes de 2<sup>nd</sup> ordre (groupe IV) susceptibles de proliférer. C'est la première étape de pollution. Ces espèces sont des dépositivores de surface ou de subsurface (limivores) qui appartiennent à des familles de polychètes spécialisées parmi

lesquelles les Cirratulidés (Cirriformia, Cirratulus, Chaetozone, Heterocirrus...), les Spionidés du genre *Polydora* avec de nombreuses espèces, les Nereidés du genre *Neanthes*, des Eunicien de la famille des Dorvilleidés (genres *Protodorvillea*, *Schistomeringos*, *Ophryotrocha*...), des Capitellidés (genres *Mediomastus*, *Capitomastus*...). En milieu dessalé ce groupe est représenté par *Heteromastus filiformis* (Capitellidé) *Streblospio spp.* (Spionidé), *Neanthes succinea* et *N. virens*.

- I.B. 6 : C'est l'étape de pollution maximale, caractérisée par quelques espèces opportunistes de 1<sup>er</sup> ordre, qui atteignent des densités exceptionnelles (100.000 ind.m<sup>-2</sup>) à la surface des sédiments réduits. Ces espèces très peu nombreuses sont : le Capitellidé *Capitella capitata* (complexe d'espèces), le Spionidé *Malacoceros fuliginosus*, le Leptostracé *Nebalia bipes*. Ces espèces cohabitent avec de nombreux Oligochètes (Clitellata) et nématodes.

Entre ces quatre grandes étapes existent des étapes de transition ou écotones 1, 3 et 5, définies en premier lieu par l'effondrement des paramètres S et A ou au contraire, par l'explosion d'une espèce indifférente (groupe II), favorisée par le manque de compétition. Ces espèces sont généralement carnivores (*Nephtys hombergii* par exemple) ou nécrophages (Pagures par exemple). L'étape 7 correspond au milieu azoïque puisque aucun invertébré n'y survit.

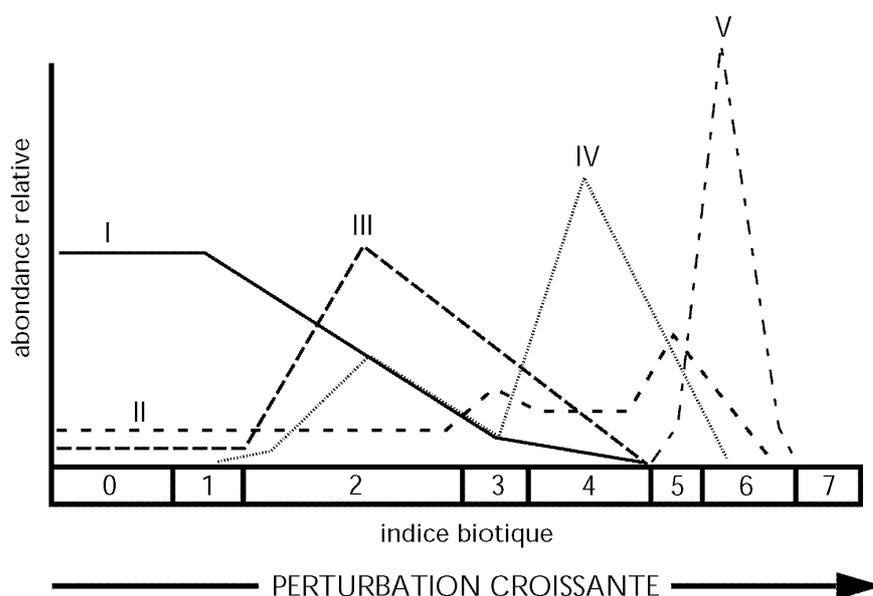


Fig. 1. Modèle des Indices Biotiques (d'après Glémarec et Hily, 1981) montrant l'importance relative des différents groupes écologiques le long du gradient de perturbations croissantes. Les groupes écologiques sont indiqués en chiffres romains.

Ce modèle mis au point en Bretagne est susceptible d'être transposé sous différentes latitudes avec d'autant plus de facilité que les groupes opportunistes IV et V présentent un caractère cosmopolite, voire universel dans le cas de *Capitella capitata*.

Ce modèle traduit aussi la modification et la simplification trophique qui apparaît le long de ce gradient. En conditions normales, le flux trophique est essentiellement basé sur l'apport vertical des apports planctoniques, d'où la part des suspensivores au sein du groupe I. Avec le dépôt croissant de la matière organique en surface (premier stade de déséquilibre), les dépositivores de surface prennent de l'importance. Les dépositivores de subsurface (groupe IV) avalent le sédiment lui-même ou la matière végétale enfouie. Dès qu'ils dominent, ceci signifie que le sédiment est complètement stabilisé et que les fousseurs peuvent maintenir des tubes ou des terriers permanents en profondeur. Avec l'apparition du groupe V, il n'y a plus qu'une très faible épaisseur de surface qui est habitable. Les carnivores (groupes I et II) ont disparu et tout contrôle biologique est devenu impossible, on assiste donc à des proliférations anarchiques de ces espèces opportunistes. Weston

(1990) décrit un scénario similaire à proximité des cages de mariculture dans l'état de Washington (Puget Sound). Tous les groupes trophiques sont représentés à 450 mètres des cages. A 90 mètres des cages les suspensivores et les herbivores ont disparu. Carnivores et déposivores de surface montrent un déclin similaire et sous les cages, il ne reste plus que des déposivores de subsurface.

- **Le coefficient benthique (CB) (Borja *et al.*, 2000)**

Il constitue une adaptation de la méthode décrite ci-dessus. L'avantage de ce coefficient est, à partir d'une formule simple, de fournir une variable continue, propre à être utilisée dans les tests statistiques, tandis que les variables discrètes de l'indice biotique (IB) ne le sont pas. Par ailleurs sa valeur n'est pas soumise à la subjectivité qui peut entrer en compte dans l'attribution de l'Indice Biotique lorsque 2 groupes écologiques sont en proportions équivalentes.

Le coefficient benthique se calcule comme suit :

$$CB = \{(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)\}/100$$

De cette façon, CB fournit une série de valeurs continues de 0 à 6, qui peuvent être moyennées et accompagnées d'un écart-type, représentant la santé de la communauté à un endroit donné. Le tableau 2 montre que les résultats obtenus à partir de l'indice biotique (IB) et ceux obtenus à partir du coefficient benthique (BC) sont cohérents entre eux. Les états de santé correspondant à ces indices sont également donnés dans le tableau.

Etat du site	Coefficient benthique (CB)	Indice Biotique (IB)	Groupe écologique dominant	Etat de santé des communautés
Non pollué	$0,0 < BC \leq 0,2$	0	I	Normal
Non pollué	$0,2 < BC \leq 1,2$	1		Appauvrie
Pollution légère	$1,2 < BC \leq 3,3$	2	III	Déséquilibrée
Moyennement pollué	$3,3 < BC \leq 4,5$	3		Etape de transition vers la pollution
Moyennement pollué	$4,5 < BC \leq 5,0$	4	IV (V)	Pollué
Fortement pollué	$5,0 < BC \leq 5,5$	5		Etape de transition vers la pollution
Fortement pollué	$5,5 < BC \leq 6,0$	6	V	Forte pollution
Pollution majeure	Azoïque	7	Azoïque	Azoïque

Tableau 2 : Correspondance entre les indices biotiques (IB) et les valeurs des coefficients benthiques (CB).

### **Analyses multivariées**

- **Classification à Ascendance Hiérarchique (CAH)**

Cette méthode de classification est destinée à produire des groupements décrits par un certain nombre de variables ou caractères (Lebart *et al.*, 1982). Elle procède en fait à la construction des classes (paquets) par agglomération successive des objets deux à deux, qui fournissent une hiérarchie de partition des objets. Il existe plusieurs méthodes de CAH et plusieurs choix de calcul de la distance entre deux objets, deux classes ou un objet et une classe (Benzecri, 1973). C'est l'indice de Bray-Curtis qui a été retenu, avec la technique de regroupement agglomératif moyen, comme le recommandent Legendre et Legendre (1984).

- **Positionnement multidimensionnel (analyse MDS, Multi Dimensional Scaling)**

L'analyse multivariée Multidimensional Scaling (MDS) qui a connu ses premiers développements dans les années soixante peut se révéler très puissante. Elle permet, à partir d'une matrice symétrique contenant des rangs de distances entre objets (dissimilarités) d'obtenir une représentation de ces objets dans un espace à n dimensions. La proximité entre les objets reflétant leur similarité. Les distances utilisées sont celles de Bray-Curtis.

Le critère qui permet de savoir si la représentation est fidèle ou non est le "Stress de Kruskal". Une valeur de Stress supérieure à 0.5 décrit une représentation probablement aléatoire : entre 0.5 et 0.25, de qualité médiocre ; entre 0.1 et 0.25, satisfaisante ; en dessous de 0.1, excellente.

Comme il se peut que la configuration optimale dépende du point de départ, il peut être nécessaire de répéter plusieurs fois les calculs afin de retenir la meilleure des représentations sur l'ensemble des répétitions.

- **Analyse factorielle des correspondances (AFC)**

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) consiste à rechercher la meilleure représentation simultanée de deux ensembles constituant les lignes et les colonnes d'un tableau de contingence, ces deux ensembles jouant un rôle symétrique. L'AFC peut se ramener à une analyse en composantes principales (ACP) en effectuant les changements de variables appropriés.

Les points d'observation (stations) et les points variables (espèces) jouent dans le cas de l'AFC, des rôles symétriques. Les répartitions sont faites en pourcentages afin que les distances aient un sens. Les données de la matrice peuvent subir une transformation Log ou double racine carrée, afin de stabiliser les variances en donnant de l'importance aux espèces rares. La distance utilisée est celle du Chi<sup>2</sup>.

Les graphiques utilisés représentent une projection simultanée points colonnes (stations) et des points lignes (espèces) dans un espace ayant autant de dimensions que de variables mesurées (Ménèsquen, 1980). En général, on utilise une représentation des plans formés par deux axes orthogonaux, ces axes étant ceux représentant un maximum de variance pour l'analyse (la plupart du temps, les deux ou trois premiers axes sont utilisés). L'interprétation des résultats se fait en terme de proximité entre stations, entre espèces ou entre stations et espèces (Thouzeau, 1989). Les contributions relatives ou absolues de chaque station ou espèce pour chaque axe, apportent des éléments indispensables pour l'interprétation, tandis que leurs cosinus carré traduisent la plus ou moins grande représentativité de l'axe pour la variable considérée.

Les figures 2 et 3 schématisent la démarche d'analyse et de traitement.

## **Moyens à consentir et compétences requises**

Un chercheur ou un ingénieur de recherche à plein temps, compétent en analyses statistiques unies et multivariées.

Annexe

Fig. 2

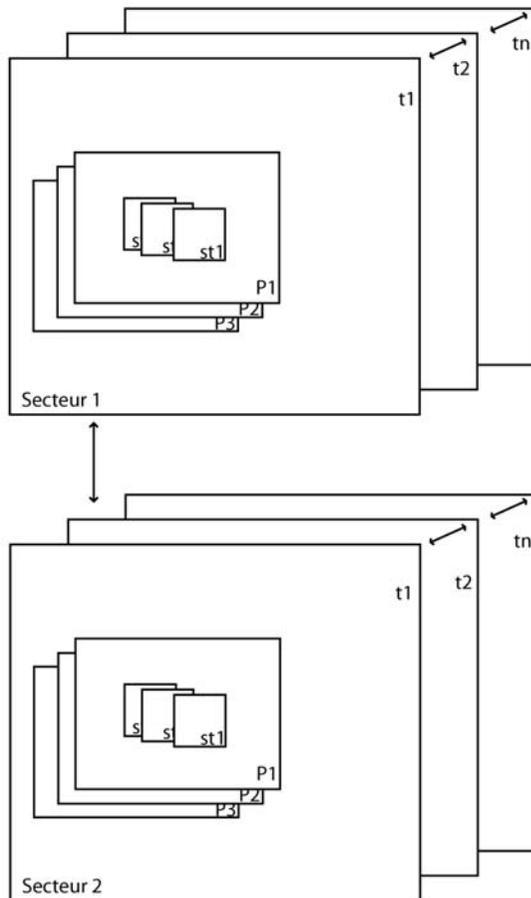
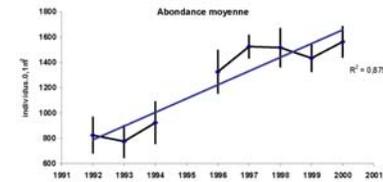


Fig. 3

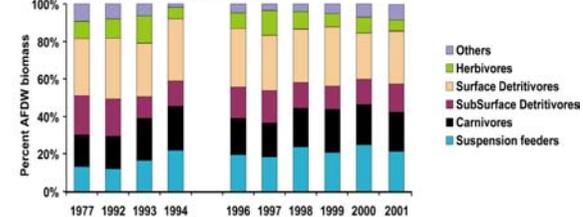
1-Richesse spécifique, Abondance, Biomasse



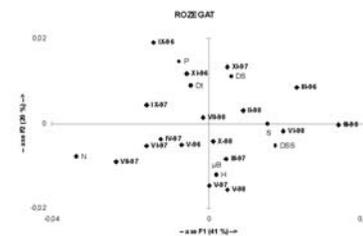
2- Dominances spécifiques

1992	1993	1994	1996
<i>Gemmaella fasciata</i>	<i>Aporrhais larvelli</i>	<i>Zenopsis ferretensis</i>	<i>Zenopsis ferretensis</i>
<i>Neomantia anticonica</i>	<i>Zenopsis ferretensis</i>	<i>Gemmaella fasciata</i>	<i>Paraprionospio pinnata</i>
<i>Neomantia lateralis</i>	<i>Eunicis karasaki</i>	<i>Melita glabellus</i>	<i>Neomantia anticonica</i>
<i>Zenopsis ferretensis</i>	<i>Gemmaella fasciata</i>	<i>Neomantia anticonica</i>	<i>Gemmaella fasciata</i>
<i>Aporrhais larvelli</i>	<i>Neomantia lateralis</i>	<i>Eunicis karasaki</i>	<i>Urechis oligatus</i>
<i>Eunicis karasaki</i>	<i>Neomantia anticonica</i>	<i>Golgaster elongatus</i>	<i>Paraprionospio pinnata</i>
<i>Urechis oligatus</i>	<b><i>Paraprionospio pinnata</i></b>	<i>Aporrhais larvelli</i>	<i>Eunicis vitata</i>
<b><i>Paraprionospio pinnata</i></b>	<i>Eunicis karasaki</i>	<i>Neomantia lateralis</i>	<i>Melita glabellus</i>
<i>Eunicis karasaki</i>	<i>Urechis oligatus</i>	<b><i>Paraprionospio pinnata</i></b>	<i>Eunicis karasaki</i>
<i>Melita glabellus</i>	<i>Golgaster elongatus</i>	<i>Chamaeleon antea</i>	<i>Golgaster elongatus</i>
<i>Golgaster elongatus</i>	<i>Paraprionospio pinnata</i>	<i>Paraprionospio pinnata</i>	<i>Aporrhais larvelli</i>
<i>Phoronis murina</i>	<i>Melita glabellus</i>	<i>Phoronis murina</i>	<i>Phoronis murina</i>
<i>Eunicis karasaki</i>	<i>Paraprionospio pinnata</i>	<i>Paraprionospio pinnata</i>	<i>Melita glabellus</i>
<i>Paraprionospio pinnata</i>	<i>Chamaeleon antea</i>	<i>Paraprionospio pinnata</i>	<i>Melita glabellus</i>
<i>Golgaster elongatus</i>	<i>Agallina striatula</i>	<i>Paraprionospio pinnata</i>	<i>Melita glabellus</i>
<i>Paraprionospio pinnata</i>	<i>Phoronis murina</i>	<i>Paraprionospio pinnata</i>	<i>Chamaeleon antea</i>
<i>Paraprionospio pinnata</i>	<i>Hermodice lapidosa</i>	<i>Eunicis vitata</i>	<i>Agallina striatula</i>
<i>Eunicis vitata</i>	<i>Egglestonia perfracta</i>	<i>Phoronis murina</i>	<i>Phoronis murina</i>
<i>Chamaeleon antea</i>	<b><i>Paraprionospio pinnata</i></b>	<i>Golgaster elongatus</i>	<i>Melita glabellus</i>
<i>Agallina striatula</i>	<i>Comptosia striatula</i>	<i>Urechis oligatus</i>	<i>Egglestonia perfracta</i>

3-Groupes fonctionnels



4-Analyses multivariées



Traitement statistique : Fig. 2 Description des comparaisons possibles entre points, secteurs et dates d'échantillonnage, (St = station, P = point, Tn = échantillonnage au temps n) ; Fig. 3 déroulement classique du traitement des données de peuplement du benthos (graphiques d'après Grall, 2002)

REBENT, Traitement des données stationnelles (faune), décembre 2003