



HAL
open science

ANALYSE DE LA DIVERSITÉ DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE D'UNE LAGUNE LITTORALE MÉDITERRANÉENNE

M Amanieu, O Guelorget, J Nougier -Soule

► **To cite this version:**

M Amanieu, O Guelorget, J Nougier -Soule. ANALYSE DE LA DIVERSITÉ DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE D'UNE LAGUNE LITTORALE MÉDITERRANÉENNE. *Vie et Milieu / Life & Environment*, 1981, 31, pp.303 - 312. hal-03010407

HAL Id: hal-03010407

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03010407v1>

Submitted on 17 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANALYSE DE LA DIVERSITÉ DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE D'UNE LAGUNE LITTORALE MÉDITERRANÉENNE

M. AMANIEU ⁽¹⁾, O. GUELORGET ⁽¹⁾
et J. NOUGUIER-SOULE ⁽²⁾

⁽¹⁾ Laboratoire d'Hydrobiologie

⁽²⁾ Laboratoire de Neuroendocrinologie

Université des Sciences et Techniques du Languedoc,
place E. Bataillon, 34060 Montpellier Cedex - France

DIVERSITÉ
MACROFAUNE
LAGUNE
ANALYSE FACTORIELLE
BIOCÉNOSE

RÉSUMÉ. - Au cours de 13 mois d'échantillonnage, neuf stations ont été systématiquement inventoriées dans une lagune littorale méditerranéenne, l'étang de Prévost à Palavas. Sur chaque échantillon (par date et par station) a été calculée la diversité de Shannon rapportée à la biomasse de la macrofaune benthique. Une méthode d'analyse factorielle (méthode Statis) a été appliquée aux matrices de données en vue d'estimer les distances, du point de vue de la diversité des diverses stations entre elles et d'en déduire les regroupements de stations les plus cohérents. Les résultats font ressortir qu'il y a, selon le type d'analyse, deux (stations marines, stations lagunaires) ou trois (les stations marines étant en outre dissociées en deux ensembles) groupes mis en évidence; ces groupes correspondent aux ensembles biocénotiques fondamentaux déjà décrits dans l'étang. La diversité apparaît donc comme un bon indice des groupements biocénotiques; les estimations qu'elle permet à ce point de vue sont en outre d'autant meilleures que l'on prend en compte un plus grand nombre de groupes systématiques; en revanche les groupes systématiques isolés sont peu discriminants, les Mollusques étant toutefois plus utiles à cet égard que les Polychètes, qui sont eux-mêmes préférables aux Crustacés.

DIVERSITY
MACROFAUNA
LAGOON
FACTORIAL ANALYSIS
BIOCENOSIS

ABSTRACT. - The Prévost Lagoon of Palavas (France) has been studied over a period of 13 months at nine sampling stations. For each sample of a given date and station, Shannon diversity is calculated for the biomass of benthic macrofauna. Factor analysis (Statis method) is made on the data matrices in order to estimate distances in terms of diversity of the different stations and to define clusters of stations. The results show that there are, according to the type of analysis two (marine stations, lagoonal stations) or three clusters (the marine stations being subdivided into two distinct groups); these clusters correspond to the basic biocenotic entities already described in this lagoon. Diversity thus appears a good index of biocenotic clustering; the estimations become increasingly reliable with increasing numbers of systematic groups considered. In contrast, single systematic groups have little discriminating power, although molluscs are better in this respect than polychaetes and specially crustaceans.

1. SITE, NATURE DES DONNÉES, RAPPEL DES RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

Dans un précédent travail (Amanieu *et al.* 1977) nous avons étudié l'évolution saisonnière de la richesse et de la diversité de la macrofaune benthique d'une

lagune littorale méditerranéenne, l'étang du Prévost à Palavas (Hérault). Il apparaissait notamment que si la mesure de la diversité à un instant donné, en différentes stations de l'étang, ne permet aucun classement significatif des diverses stations entre elles, en revanche les profils des variations de la diversité par station, tout au long des 13 mois d'échantillonnage, conduisaient à des

regroupements cohérents et interprétables en termes biocénétiques. L'homogénéité de ces ensembles biocénétiques apparaissait plus ou moins marquée suivant les groupes systématiques considérés (Mollusques, Polychètes, Crustacés). Toutefois la comparaison à vue des profils des graphiques ne permettait pas une estimation totalement convaincante de la ressemblance, quant à l'évolution de leur diversité, des diverses stations entre elles. Aussi dans le présent travail nous nous attachons, par une méthode d'analyse factorielle, à préciser ces ressemblances par une mesure de proximité, au sens mathématique du terme, de la diversité des diverses stations entre elles.

L'étang du Prévost à Palavas est une lagune saumâtre littorale d'environ 400 ha dont une description détaillée est donnée dans le travail de Guelorget et Michel (1976). La macrofaune benthique de 9 stations, identifiées 3, 4, 7, 11, 12, 15, 16, X, Y, a été régulièrement échantillonnée mois par mois entre octobre 1973 et décembre 1974. Sur chaque échantillon, on calcule la diversité de Shannon définie par :

$$I = - \sum p_i \log_2 p_i \text{ avec } p_i = \frac{q_i}{Q} \quad (\text{J. DAGET, 1976})$$

expression dans laquelle Q est l'abondance totale et q_i l'abondance de l'espèce de rang i .

L'abondance peut être elle-même mesurée soit par un dénombrement, donc une densité, soit par une pesée, donc une biomasse. Dans notre note préliminaire (Amanieu *et al.*, 1977) nous avons montré que la diversité rapportée aux biomasses conduisait à des résultats cohérents avec la diversité rapportée aux densités, mais plus fins; nous nous limiterons donc ici à l'analyse structurale de la diversité rapportée aux biomasses. Les tableaux de données initiales (diversité par station, par date et par groupe systématique) sont présentés dans la note précitée et nous ne les reproduisons donc pas ici.

2. PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE D'ANALYSE

Nous avons eu recours à la méthode dite S.T.A.T.I.S. (Structuration des Tableaux A Trois Indices de la Statistique) (1). Il s'agit d'une méthode d'analyse conjointe de plusieurs tableaux de données, basée sur une généralisation du modèle d'analyse factorielle et mise au point par l'Hermier des Plantes (1976). Elle permet de comparer d'une part globalement des tableaux de données entre eux, d'autre part les individus correspondants considérés dans chaque tableau sous une optique commune. En procédant par analogie avec les méthodes classiques d'analyse factorielle qui fournissent la meilleure représentation, au sens mathématique du terme, des individus dans les plans factoriels, il est naturel de chercher à représenter chaque matrice de données dans un même plan, sur la base de critères mathématiques satisfaisants; la suite logique de cette recherche est alors la représenta-

tion des individus de chaque matrice dans le meilleur plan de projection commun.

Les données initiales (ici la valeur numérique des indices de diversités) sont rassemblées dans m tableaux à double entrée, présentant n lignes formant n individus; il y a q colonnes si les données constituent des mesures de q variables sur chaque individu, n colonnes si les données mesurent des proximités (similarités, dissimilarités, produits scalaires, distances) entre les individus, une seule colonne si les données mesurent 1 seule variable sur les n individus. Suivant les cas, les tableaux de données se présentent donc respectivement sous la forme de m matrices rectangulaires, m matrices carrées ou m matrices colonnes. L'Hermier des Plantes (1976) propose de considérer l'ensemble des données $n.p.n.$ (avec $p = 1, q$ ou n) comme un volume et démontre que cet ensemble peut toujours être ramené à un « cube ». $n.n.m.$; on parle alors de « cube de proximité » dont chaque élément est une matrice $n.n.$ de proximité entre individus.

Une telle matrice peut toujours être considérée comme le résultat d'un jugement, objectif ou subjectif, portant sur la ressemblance des individus; ainsi est-il proposé d'appeler « juge » une matrice de proximité quelconque entre n individus, chaque élément estimant la distance entre deux individus vus par le juge correspondant qui désigne donc la matrice.

La méthode STATIS comprend alors les étapes suivantes :

1) Obtention à partir des m tableaux de données initiaux, de m matrices M_i de produits scalaires, satisfaisantes du point de vue du centrage et de la normalisation.

2) Obtention de la matrice S dont les éléments sont constitués par les proximités entre les juges i et J , mesurées par les produits scalaires $\langle M_i, M_j \rangle = \text{Tr}(M_i M_j)$.

La factorisation de la matrice S fournit la meilleure représentation des juges en termes de ressemblance ou de différence. Elle permet l'analyse de la structure d'ensemble des juges ou INTERSTRUCTURE et conduit à figurer les matrices m_i par des vecteurs \vec{OP}_i dont les normes sont proportionnelles aux variances et covariances. En d'autres termes ce sont les *normes* des vecteurs \vec{OP}_i d'une part, et les *angles* de ces vecteurs avec le référentiel d'autre part, qui permettent d'apprécier les positions relatives des matrices ou juges M_i , dans le cas de données normalisées centrées, l'angle \vec{OP}_i, \vec{OP}_j est une mesure de la corrélation entre deux matrices M_i et M_j si les points P_i et P_j sont proches du cercle de rayon 1. L'éloignement des points hors du cercle indique que la contribution des matrices correspondantes à l'inertie totale du nuage n'est pas correctement prise en compte dans la représentation.

3) Obtention de la matrice M de référence ou « meilleur compromis » entre toutes les matrices M_i , en utilisant le vecteur propre de S associé à la plus grande valeur propre.

4) Représentation des individus dans le meilleur compromis, c'est-à-dire dans les plans factoriels de M. Cette représentation conduit à une analyse de la structure sur l'ensemble des sujets ou *INTRASTRUCTURE*. Lorsque les juges sont des tableaux de mesures effectuées à des instants différents, le cube représentant des données chronologiques, l'analyse de l'*Intrastructure* permet donc de suivre l'évolution des différents individus au cours du temps.

Dans le présent travail notre objectif est d'apprécier l'intérêt de la diversité quant à la définition des ensembles biocénotiques caractéristiques de chaque station. Nous avons donc procédé d'abord à une analyse d'*INTERSTRUCTURE*, donc des ressemblances ou des différences entre juges, en prenant les stations comme juges et les échantillons mensuels comme sujets; il y a alors 9 juges constitués par les 9 stations et 13 individus ou sujets correspondant aux 13 dates d'échantillonnage; il y a en général 1 seule variable, donc une seule colonne (matrice colonne) correspondant à la diversité rapportée suivant les cas à la biomasse totale, ou à la biomasse des Mollusques, puis des Polychètes, puis des Crustacés, étudiés séparément; dans un cas il y a 3 variables, donc 3 colonnes (matrice rectangulaire) lorsque nous procédons à l'analyse conjointe des 3 diversités rapportées à la biomasse des 3 groupes systématiques (Mollusques, Polychètes, Crustacés).

Nous avons procédé ensuite à une analyse de l'*INTRASTRUCTURE*, c'est-à-dire des proximités entre sujets, en prenant cette fois-ci les dates d'échantillonnage comme juges et les stations comme sujets; nous nous sommes limités dans ce cas à l'analyse de la biomasse totale qui conduit aux résultats les plus significatifs.

Les analyses d'*INTRASTRUCTURE*, les stations étant juges, ou d'*INTERSTRUCTURE*, les stations étant sujets, ne nous ont pas paru mériter d'être rapportées; elles confirment le caractère plus ou moins cyclique, car saisonnier, de l'évolution de la diversité, sans apporter d'éléments vraiment nouveaux.

3. RÉSULTATS DE L'INTERSTRUCTURE, LES JUGES ÉTANT LES STATIONS

Nous présenterons les résultats obtenus d'abord à partir des données brutes; ces résultats sont influencés par la valeur moyenne de la diversité de chaque station sur les 13 mois d'échantillonnage. Afin d'éliminer cet effet et de limiter la comparaison aux profils, nous analyserons ensuite les résultats obtenus à partir des données normalisées et centrées. Dans chaque cas, nous examinerons successivement l'interstructure résultant de la prise en compte de la biomasse des Mollusques, des Polychètes et enfin des Crustacés.

3.1. Interstructure calculée sur la biomasse totale, tous groupes systématiques confondus.

Dans cette analyse les données originales sont rassemblées dans une matrice colonne, les individus ou sujets étant les dates d'échantillonnage, la variable étant la valeur numérique de la diversité rapportée, par date et par station, à la biomasse totale de l'ensemble de la macrofaune.

3.1.1. Données brutes

La variable est constituée par la valeur numérique brute de la diversité par dates et stations. L'appréciation des positions respectives de chaque station ressort de l'examen du graphique 1A.

Les angles (Fig. 1A) des vecteurs \vec{OP}_i permettent une séparation claire des stations en 2 ensembles parfaitement distincts; les stations lagunaires (3, 4, 11, 12) forment un pinceau incliné à droite, les stations marines (X, Y, 15 et 16) forment un pinceau incliné à gauche, la station 7 occupant une position médiane. La séparation notée se traduit au niveau de l'axe 2 (horizontal) par une abscisse positive pour chacune des stations lagunaires, négative pour les stations marines, nulle pour la station 7.

En revanche, les normes des vecteurs \vec{OP}_i ne permettent aucun classement interprétable, ce qui se traduit en particulier au niveau de l'axe 1 (vertical) par une position anarchique des ordonnées des diverses stations, 3, 11 et 12 s'intercalent entre X et Y, puis 7 et 4 entre Y et 15.

3.1.2. Données normalisées et centrées

Même type de matrice que précédemment mais la variable est la diversité corrigée après que les données originales aient été centrées et normalisées à 1. Les résultats apparaissent sur le graphique 1B. On retrouve très clairement la séparation entre stations marines d'une part, stations lagunaires d'autre part, la station 7 étant toujours en position médiane. La normalisation des données permet en outre une séparation des stations sur les deux axes, abscisses fortes, ordonnées faibles, pour les stations lagunaires, abscisses faibles, ordonnées fortes pour les stations marines. L'analyse montre donc dans ce cas que ce sont les profils d'évolution de la diversité plus que sa valeur moyenne qui sont discriminants quant aux caractères écologiques.

3.1.3. Interprétation de l'Interstructure de la diversité calculée sur la biomasse totale.

Les deux analyses, données brutes ou données normalisées centrées, font ressortir une séparation des stations en deux groupes distincts correspondant à une réalité écologique certaine. Les profils des stations lagunaires 3,4,11,12 s'opposent clairement aux profils des stations marines X,Y,15 et 16; la station 7 occupe une position moyenne. L'analyse factorielle confirme objecti-

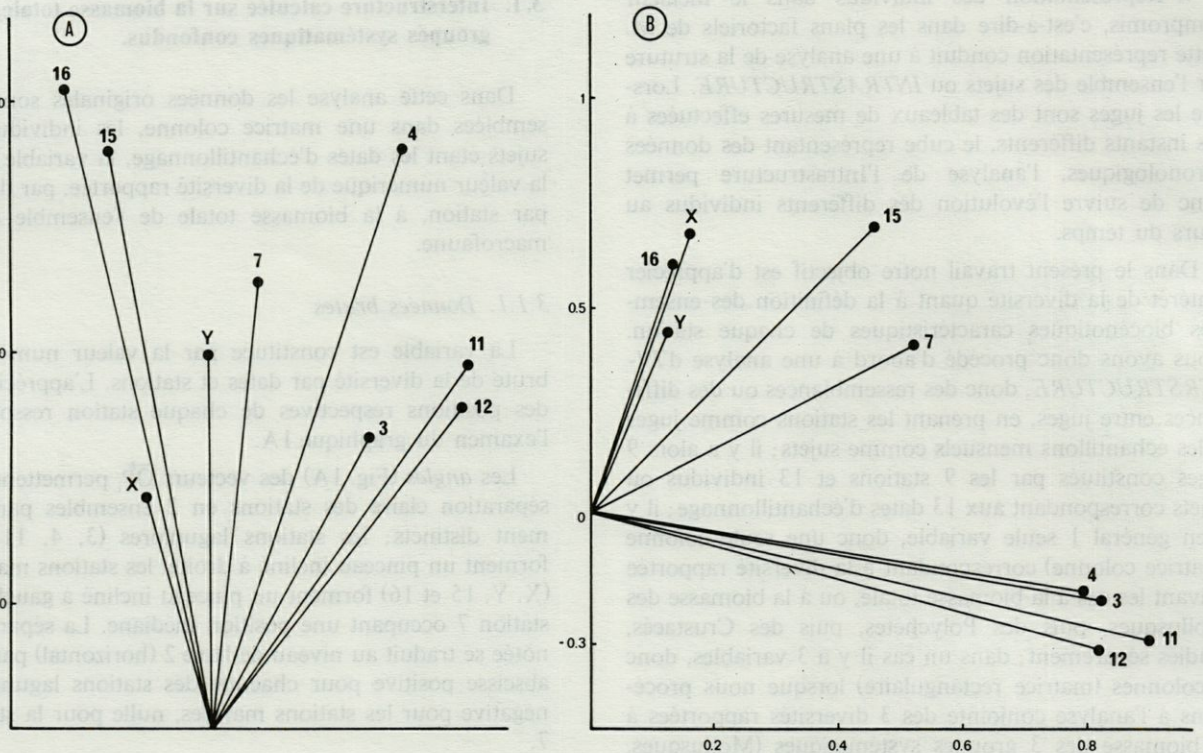


Fig. 1. - Interstructure de la diversité rapportée à la biomasse totale. A, données brutes. B, données normalisées et centrées. *Interstructure of diversity for total biomass. A. raw data. B. data normalized and centered.*

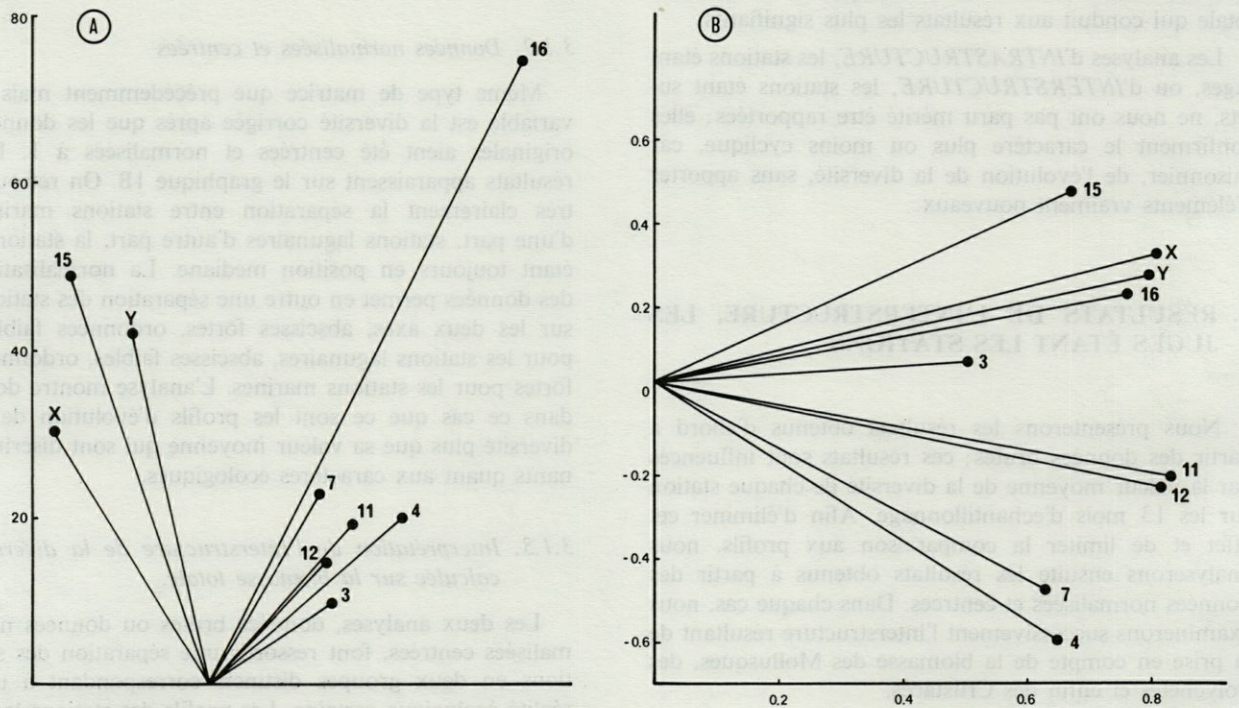


Fig. 2. - Interstructure de la diversité rapportée séparément aux trois groupes systématiques majeurs. A, données brutes. B, données normalisées et centrées. *Interstructure of diversity for the three major systematic groups. A. raw data. B. data normalized and centered.*

vement les résultats de l'interprétation écologique et permet de distinguer d'une part un ensemble que nous rapportons à la biocénose lagunaire eurytherme et euryhaline de Peres et Picard (1964), d'autre part un ensemble de stations rapportées à une biocénose marine littorale. En revanche la distinction, au sein de cette dernière, d'un sous-ensemble correspondant à la biocénose des sables fins superficiels (X et Y ?) distinct d'un sous-ensemble correspondant à la biocénose des sables vaseux de mode calme (15 et 16 ?) n'est pas confirmée par ce type d'analyse.

3.2. Interstructure calculée sur la biomasse des trois groupes systématiques

Dans ce type d'analyse, les données originales sont rassemblées dans une matrice rectangulaire, les individus ou sujets étant toujours les dates d'échantillonnage, les 3 variables inscrites dans trois colonnes étant les diversités respectives des Mollusques, des Polychètes et des Crustacés.

3.2.1. Données brutes

Les variables sont constituées par la valeur numérique brute de la diversité par date, station et groupe systématique.

L'appréciation des positions respectives de chaque station ressort de l'examen du graphique 2A.

Les angles (Fig. 2A) des vecteurs \vec{OP}_i permettent d'isoler à gauche trois stations marines, X, Y et 15 et à droite non seulement les stations lagunaires 3,4,11,12 et 7 mais aussi la station 16 dont les affinités écologiques sont manifestement pourtant celles du groupe précédent.

En revanche, les normes des vecteurs \vec{OP}_i séparent bien d'un côté, normes faibles, les 5 stations lagunaires, y compris la 7, de l'autre côté, normes fortes, les quatre stations marines. Ainsi, contrairement au cas précédent les stations se classent en accord avec les observations écologiques de terrain sur l'axe 1 ou axe vertical mais moins bien sur l'axe horizontal 2; en particulier l'abscisse de la station 16 se situe bien au-delà de l'abscisse la plus élevée des stations lagunaires.

3.2.2. Données normalisées centrées

Même matrice que dans le paragraphe précédent mais ici les variables sont les diversités corrigées après centrage et normalisation. Les résultats apparaissent figure 2B. L'axe vertical sépare bien les stations marines, dont les ordonnées sont élevées, des stations lagunaires, dont les ordonnées sont faibles. En revanche, l'axe 2 horizontal ne sépare plus les stations en deux groupes, toutes les abscisses étant relativement proches.

3.2.3. Interprétation de l'Interstructure de la diversité calculée sur la biomasse des trois groupes systématiques

La séparation des deux ensembles, stations marines d'une part, stations lagunaires d'autre part est satisfai-

sante mais cependant moins bonne que dans les analyses précédentes. Que l'on considère les données brutes ou les données centrées et normalisées, seul un axe est totalement discriminant, l'axe vertical.

3.3. Interstructure calculée sur la biomasse des Mollusques

Données originales dans une matrice colonne, les individus étant les dates d'échantillonnage, la variable étant la valeur numérique de la diversité, par date et par station, de la biomasse des Mollusques.

3.3.1. Données brutes

La variable est constituée par la valeur numérique brute de la diversité des Mollusques. L'appréciation des positions respectives de chaque station ressort de l'examen du graphique 3A.

Les angles (Fig. 3A) des vecteurs \vec{OP}_i ne permettent aucun classement des 9 stations qui s'étalent en un pinceau assez régulier.

Les projections sur l'axe horizontal des points stations P_i ne révèlent aucun ordre logique permettant de distinguer des groupements biocénétiques.

Les normes des vecteurs \vec{OP}_i permettent en revanche une séparation plus claire isolant les stations lagunaires à normes faibles, des stations marines à normes fortes; cela se traduit au niveau de la projection des points P_i sur l'axe 1, par des ordonnées faibles pour les stations lagunaires, l'ordonnée la plus élevée, celle de la station 7, culminant à 9,07 et par des ordonnées fortes pour les stations marines, l'ordonnée la plus faible, celle de la station X, ne descendant pas au-dessous de 13,9.

3.3.2. Données normalisées et centrées

Même type de matrice que précédemment mais la variable est la diversité corrigée après que les données originales aient été centrées et normalisées. Les résultats apparaissent sur le graphique 3B. L'ensemble des stations lagunaires 3,4,11,12 est bien groupé en haut à droite du graphique; les stations marines X,Y,15 et 16, bien que plus dispersées, se situent au contraire en bas et à gauche; seule la position de la 7 paraît aberrante puisqu'elle vient se placer au voisinage des stations marines.

3.4. Interstructure calculée sur la biomasse des Polychètes

Données originales dans une matrice colonne, la variable étant la diversité rapportée à la biomasse des Polychètes.

3.4.1. Données brutes

La variable est la valeur numérique brute de la diversité des Polychètes. Les positions des stations apparaissent sur le graphique 4A.

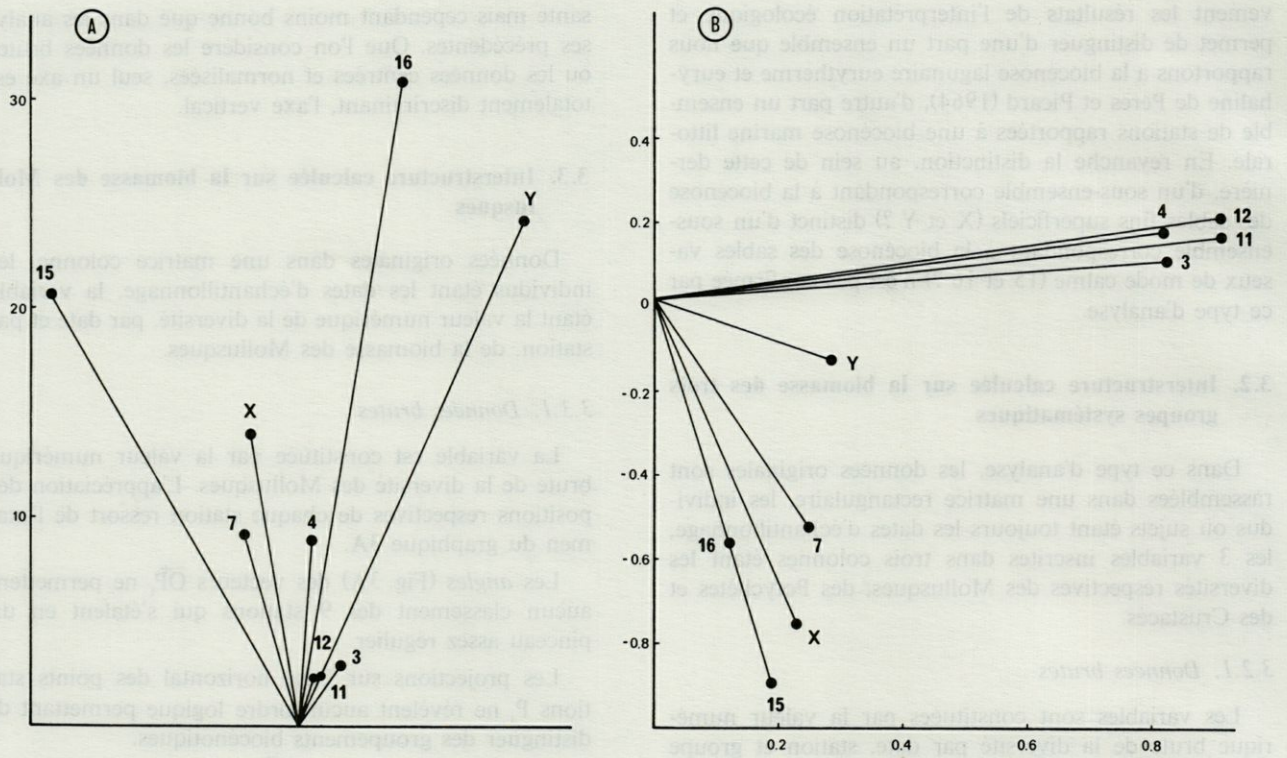


Fig. 3. - Interstructure de la diversité rapportée aux Mollusques. A, données brutes. B, données normalisées et centrées.
Interstructure of diversity for molluscs. A. raw data. B. data normalized and centered.

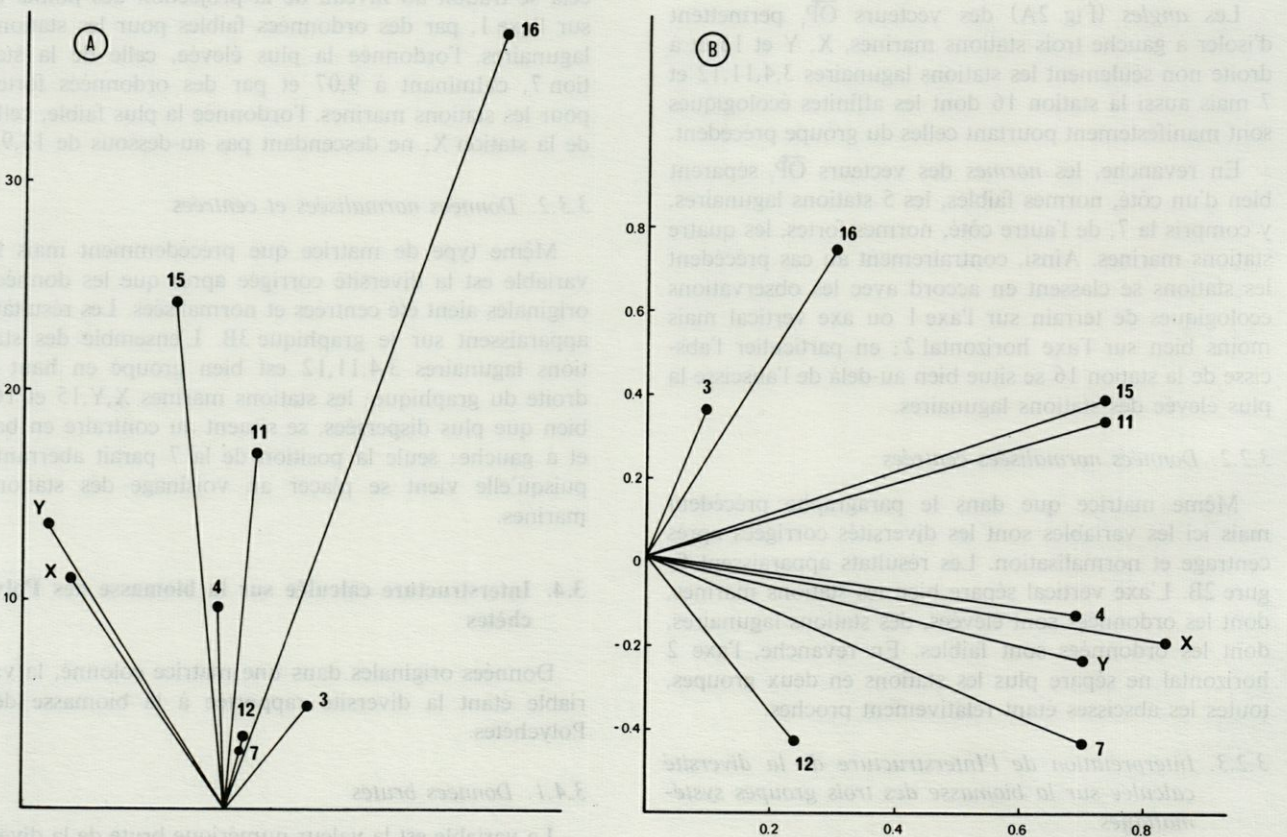


Fig. 4. - Interstructure de la diversité rapportée aux Polychètes. A, données brutes. B, données normalisées et centrées.
Interstructure of diversity for polychaetes. A. raw data. B. data normalized and centered.

Les angles (Fig. 4A) des vecteurs \vec{OP}_i ne permettent aucun classement des 9 stations qui sont groupées dans un même pinceau.

Les normes permettent en revanche une distinction assez claire; normes faibles, stations lagunaires; normes fortes, stations marines; toutefois la norme de la station 11 la situe dans le cortège des stations marines, donc en position aberrante.

3.4.2. Données normalisées et centrées

La variable et la diversité corrigée après que les données originales aient été centrées et normalisées. Les résultats apparaissent sur le graphique 4B. Aucun classement logique n'apparaît ni par les angles, ni par les normes, ni sur l'axe 1, ni sur l'axe 2. L'ensemble des stations est très dispersé dans le plan.

3.5. Interstructure calculée sur la biomasse des Crustacés

Données originales dans une matrice colonne, les individus étant les dates d'échantillonnage, la variable étant la valeur numérique de la diversité, par date et par station, de la biomasse des Crustacés.

Le graphique relatif aux données brutes (Fig. 5A) ne permet aucun classement logique, ni par les angles, ni par les normes. Les stations 3, 4 et 11 sont assez bien groupées, de même que les stations X, Y et 15; en revanche les stations 7, 12 et 16 sont dispersées dans le

plan de telle sorte qu'elles ne suggèrent aucune interprétation écologique cohérente.

Le graphique relatif aux données centrées et normalisées (Fig. 5B) conduit aux mêmes remarques; regroupement relatif de 3, 4 et 11; dispersion de 7, 12 et 16; enfin X, Y et 15 se détachent en bas du graphique.

En définitive, les Crustacés se révèlent, du point de vue de la diversité, non discriminants des ensembles biocénotiques fondamentaux.

3.6. Synthèse des résultats de l'interstructure et interprétation

La synthèse des résultats ressort de l'examen du tableau I qui est construit de la manière suivante.

Éléments discriminants	DONNEES BRUTES		DONNEES NORMALISEES		INDICES Total des stations discriminées
	Axe 2 horizontal	Axe 1 vertical	Axe 2 horizontal	Axe 1 vertical	
Biomasse totale	3,4,7,11,12 15,16,X,Y	0	3,4,7,11,12 15,16,X,Y	3,4,7,11,12 15,16,X,Y	9 + 18 = 27
Biomasse des 3 groupes	3,4,7,11,12 15,X,Y	3,4,7,11,12 15,16,X,Y	0	3,4,7,11,12 15,16,X,Y	17 + 9 = 26
Mollusques	0	3,4,7,11,12 15,16,X,Y	3,4,11,12 15,16,X	3,4,11,12 15,16,X	9 + 14 = 23
Polychètes	3,4,7,11,12 15,X,Y	3,4,7,12 15,16,X,Y	0	0	16 + 0 = 16
Crustacés	4,7,11 15,X,Y	3,4,11	0	3,4,11 15,X,Y	9 + 6 = 15
Indice Total	31	29	16	31	
Indice Total	60		47		

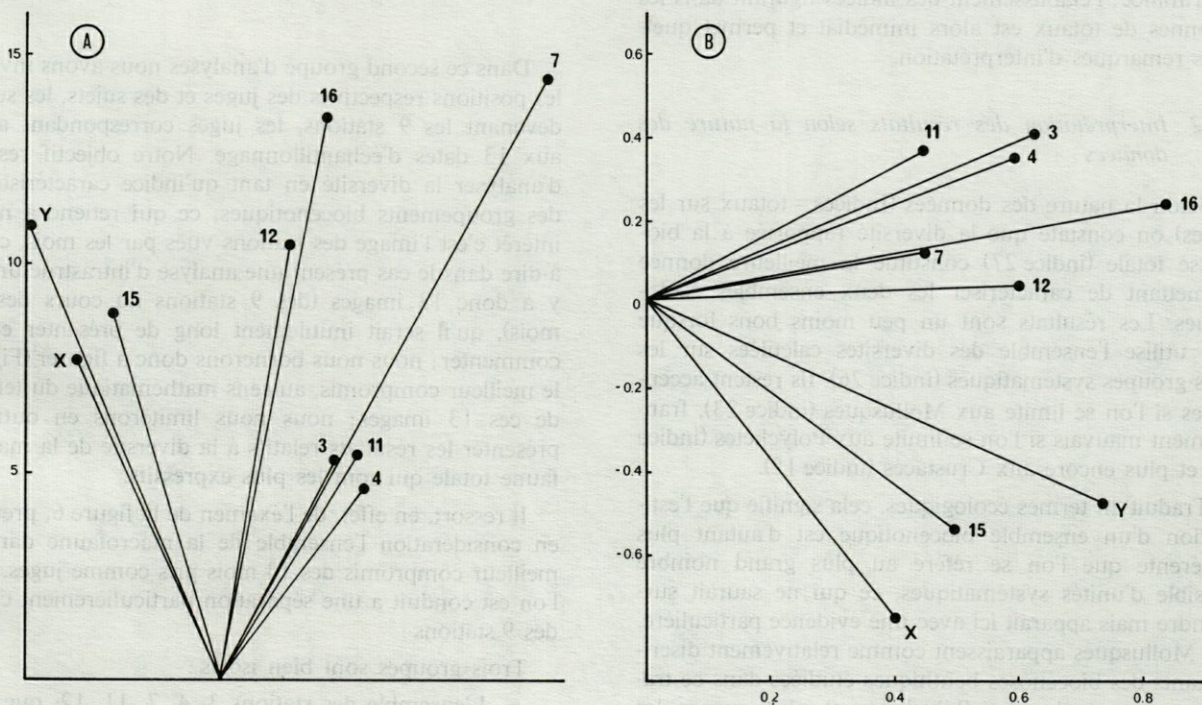


Fig. 5. - Interstructure de la diversité rapportée aux Crustacés. A, données brutes. B, données normalisées et centrées. Interstructure of diversity for crustaceans. A. raw data. B. data normalized and centered.

3.6.1. Schéma de raisonnement

Une appréciation globale de l'ensemble des analyses fait ressortir que les stations se répartissent en deux groupes, le groupe des stations 3, 4, 7, 11, 12, dites stations lagunaires et le groupe des stations 15, 16, X, Y, dites stations marines. Partant de cette constatation nous considérons comme discriminant tout élément qui permet de rattacher telle ou telle station à son groupe écologique. Nous considérons comme élément discriminant les axes 1 et 2 des plans factoriels, soit que l'on analyse les données brutes, soit que l'on analyse les données après qu'elles aient été normalisées et centrées; les éléments discriminants figurent en tête des colonnes. Nous désignons par nature des données, les diversités rapportées à tel ou tel type de biomasse; l'ensemble de la macrofaune, les 3 groupes systématiques pris conjointement, les Mollusques, les Polychètes ou enfin les Crustacés; la nature des données figure en tête des lignes.

Il n'y a aucune ambiguïté à déclarer discriminant tel élément (axe) qui sépare totalement, pour tel type de données, d'un côté les stations lagunaires, de l'autre les stations marines. En revanche, lorsque l'élément dit discriminant ne sépare qu'une partie du groupe des stations lagunaires ou marines, aucune décision objective ne permet de déclarer qu'il reste vraiment discriminant. Toutefois nous avons tenté une telle séparation en indiquant tableau I, au croisement des lignes et des colonnes, les stations que nous jugions bien discriminées. Le lecteur pourra éventuellement critiquer notre jugement personnel en se référant aux graphiques antérieurs. Si l'on admet la validité de notre démarche, alors on poursuivra en affectant de 1 point chaque station discriminée; l'établissement des indices figurant dans les colonnes de totaux est alors immédiat et permet quelques remarques d'interprétation.

3.6.2. Interprétation des résultats selon la nature des données

Selon la nature des données (Indices = totaux sur les lignes) on constate que la diversité rapportée à la biomasse totale (indice 27) constitue la meilleure donnée permettant de caractériser les deux ensembles écologiques. Les résultats sont un peu moins bons lorsque l'on utilise l'ensemble des diversités calculées sur les trois groupes systématiques (indice 26). Ils restent acceptables si l'on se limite aux Mollusques (indice 23), franchement mauvais si l'on se limite aux Polychètes (indice 16) et plus encore aux Crustacés (indice 15).

Traduit en termes écologiques, cela signifie que l'estimation d'un ensemble biocénétique est d'autant plus cohérente que l'on se réfère au plus grand nombre possible d'unités systématiques, ce qui ne saurait surprendre mais apparaît ici avec une évidence particulière. Les Mollusques apparaissent comme relativement discriminants des biocénoses benthiques étudiées dans ce travail; en revanche, les Polychètes et plus encore les Crustacés ne le sont plus. Il nous paraît intéressant de pouvoir ainsi chiffrer par un indice la valeur de défini-

tion de chaque groupe systématique vis-à-vis de la biocénose où on le situe.

3.6.3. Interprétation des résultats selon les éléments discriminants

Les indices se lisent maintenant en bas des colonnes. En ce qui concerne les données brutes, les 2 axes jouent un rôle presque équivalent, l'axe horizontal étant affecté de l'indice 31, l'axe vertical de l'indice 29. En ce qui concerne les données normalisées, en revanche, l'axe vertical (indice 31) sépare mieux les 2 groupes que l'axe horizontal (indice 16).

Globalement les données brutes (indice 60) séparent mieux les 2 groupes de stations que les données normalisées (indice 47). Cela fait ressortir que la diversité caractérise les unités écologiques tout autant par sa valeur moyenne que par son profil d'évolution, ce qui n'apparaissait pas clairement dans le détail des analyses ou des graphiques. Si l'on se réfère aux données les plus significatives, le résultat est meilleur tantôt avec les données brutes (3 groupes systématiques), tantôt avec les données normalisées (biomasse totale). De même l'interprétation des Polychètes est plus claire avec les données brutes qu'avec les données normalisées.

En définitive l'analyse fait ressortir la dualité, valeur moyenne d'une part, profil d'évolution d'autre part, et n'autorise pas à donner plus de poids à l'un ou l'autre de ces deux aspects de la diversité.

4. RÉSULTATS DE L'INTRASTRUCTURE, LES JUGES ÉTANT LES MOIS

Dans ce second groupe d'analyses nous avons inversé les positions respectives des juges et des sujets, les sujets devenant les 9 stations, les juges correspondant alors aux 13 dates d'échantillonnage. Notre objectif restant d'analyser la diversité en tant qu'indice caractéristique des groupements biocénétiques, ce qui retiendra notre intérêt c'est l'image des stations vues par les mois, c'est-à-dire dans le cas présent une analyse d'intrastructure. Il y a donc 13 images (des 9 stations au cours des 13 mois), qu'il serait inutilement long de présenter et de commenter; nous nous bornerons donc à figurer (Fig. 6) le meilleur compromis, au sens mathématique du terme, de ces 13 images; nous nous limiterons en outre à présenter les résultats relatifs à la diversité de la macrofaune totale qui sont les plus expressifs.

Il ressort, en effet, de l'examen de la figure 6, prenant en considération l'ensemble de la macrofaune dans le meilleur compromis des 13 mois pris comme juges, que l'on est conduit à une séparation particulièrement claire des 9 stations :

Trois groupes sont bien isolés :

- L'ensemble des stations 3, 4, 7, 11, 12, que l'on sait, par l'inventaire faunistique, devoir être rattachées à la biocénose lagunaire eurytherme et euryhaline.

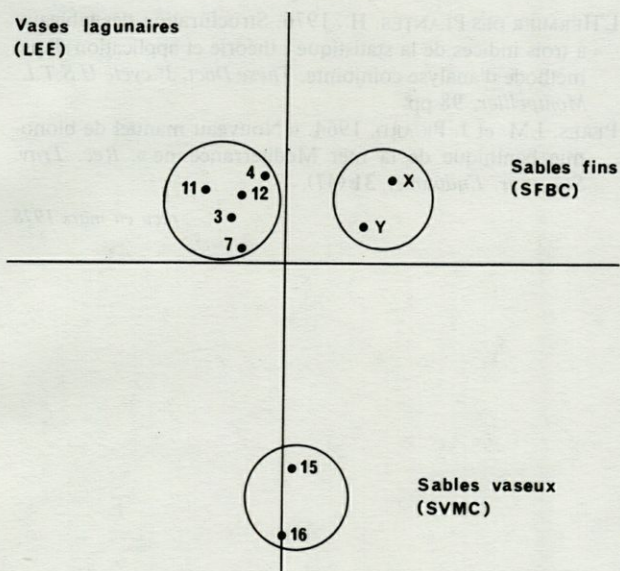


Fig. 6. - Intrastructure de la diversité rapportée à la biomasse totale, les juges étant les mois. Le graphique représente le meilleur compromis des 13 images mensuelles provenant des 13 mois échantillonnés.

Intrastructure of diversity for total biomass based on monthly data. The graph represents the best compromise of the 13 monthly images of sample data.

- Les deux stations X et Y, rattachées à la biocénose des sables fins.
- Les deux stations 15 et 16, rattachées à la biocénose des sables vaseux.

Les résultats graphiques sont suffisamment éloquentes pour qu'il soit inutile de les commenter davantage. Soulignons cependant qu'alors que les analyses d'interstructure ne permettaient d'isoler, dans les meilleurs cas, que les deux groupes de stations, marines d'une part, lagunaires d'autre part, l'analyse d'intrastructure permet de retrouver en outre, dans les stations marines, les deux composantes biocénotiques, sables fins et sables vaseux.

5. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

L'analyse factorielle, par la méthode STATIS, des indices de diversité rapportés à la macrofaune benthique d'une lagune littorale méditerranéenne confirme et précise les conclusions proposées dans un travail antérieur (Amanieu *et al.*, 1977) qui ne reposaient que sur l'estimation à vue des similitudes graphiques dont l'objectivité ne peut être rigoureuse. Le classement biocénotique fondamental des 9 stations étudiées est clairement mis en évidence; le groupement de 5 stations dans un ensemble correspondant à la biocénose lagunaire eurytherme et euryhaline est homogène et ne permet pas la distinction de sous-ensembles; le groupement de 2 stations marines dans la biocénose des sables vaseux, distinctes de 2 autres stations également marines mais

rattachées à la biocénose des sables fins, correspondant à une réalité mise en évidence par une analyse d'intrastructure de manière plus convaincante que ne le permettait l'examen des similitudes des graphiques de diversité.

Les résultats sont clairs lorsque l'on travaille sur l'ensemble de la macrofaune en considérant soit l'interstructure (lorsque les stations « jugent » les échantillons), soit l'intrastructure (lorsque les échantillons « jugent » les stations). Ils s'obscurcissent progressivement lorsque l'on limite l'information exploitée à ce qui provient des Mollusques (situation encore assez claire), puis des Polychètes (situation confuse), enfin des Crustacés (situation très confuse).

Trois conclusions fondamentales s'imposent.

D'une part les groupements biocénotiques définis par Pères et Picard (1964) correspondent à une réalité objective qui peut être perçue par l'analyse factorielle. Celle-ci ne remplace pas le talent de l'écologiste de terrain expérimenté qui perçoit plus vite la réalité que l'ordinateur ! En revanche une bonne méthode d'analyse des données conforte et précise des conclusions nuancées dont elle garantit en outre l'objectivité.

D'autre part, la réalité biocénotique est d'autant mieux perçue que l'on prend en compte un plus grand nombre d'informations. Il apparaît notamment que les taxocénoses ne recouvrent pas nécessairement les biocénoses; à ce titre, et dans l'exemple étudié, les Mollusques se révèlent nettement plus discriminants que les Polychètes et ces derniers légèrement plus que les Crustacés dont le rôle indicateur apparaît ici à peu près nul.

Enfin la diversité, et cela n'est pas le moins important, apparaît comme un bon indice des groupements biocénotiques. De façon plus pertinente il faut préciser que ce sont d'une part les profils d'évolution chronologique de la diversité, d'autre part sa valeur moyenne au cours de la période d'échantillonnage qui doivent être pris en considération.

Il apparaît dès lors intéressant d'incorporer dans de telles analyses non plus seulement la diversité mais encore d'autres indices tels que la densité, la biomasse, la richesse spécifique et divers paramètres démographiques, en vue de vérifier l'intérêt de la notion de Nomocénose, proposée par Daget *et al.* (1973) dans les écosystèmes lagunaires que nous étudions; c'est ce que nous proposons d'aborder dans un prochain travail.

(1) Nous adressons nos bien cordiaux remerciements à notre collègue Y. Escoufier qui nous a conseillés dans le choix de cette méthode et nous en a facilité l'accès et l'emploi.

BIBLIOGRAPHIE

- AMANIEU, M., O. GUELORGET et P. MICHEL, 1977. Évolution saisonnière de la richesse et de la diversité de la macrofaune benthique d'une lagune littorale méditerranéenne. *Vie Milieu*, 28/29 (4 AB): 531-547.

DAGET, J., C. LECORDIER et C. LEVEQUE, 1973. « Notion de nomocénose : ses applications en écologie ». *Bull. Soc. Ecol.* 3 (4) : 448-462.

GUELORGET, O., P. MICHEL, 1976. « Recherches écologiques sur une lagune saumâtre méditerranéenne; l'étang du Prévost à Palavas ». *Thèse 3^e cycle, U.S.T.L. Montpellier.*

DAGET, J., 1976. « Les modèles mathématiques en écologie ». Masson éd. Paris.

L'HERMIER DES PLANTES, H., 1976. Structuration des tableaux à trois indices de la statistique : théorie et application d'une méthode d'analyse conjointe. *Thèse Doct. 3^e cycle U.S.T.L. Montpellier*, 98 pp.

PERES, J.M. et J. PICARD, 1964. « Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranéenne ». *Rec. Trav. Stn. mar. Endoume*, 31 (47).

reçu en mars 1978

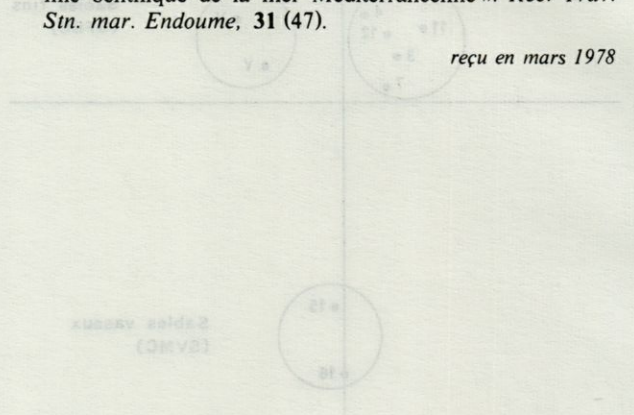


Fig. 6 - Infrastructure de la diversité rapportée à la biomasse totale des végétaux marins. Le graphique représente le moment conjugué des 12 images mensuelles provenant des 12 mois échelonnés.

Infrastructure of diversity for total biomass based on monthly data. The graph represents the best compromise of the 12 monthly images of sample data.

- Les deux stations X et Y, rattachées à la biomasse des sables fins.
- Les deux stations 12 et 10, rattachées à la biomasse des sables vaseux.

Les résultats graphiques sont suffisamment clairs pour qu'il soit inutile de les commenter davantage. Cependant, il faut noter que les analyses d'infrastructure ne permettent d'écarter, dans les meilleurs cas, que les deux groupes de stations marines d'une part, liées à l'analyse d'infrastructure permet de retrouver en outre, dans les stations marines, les deux composantes biocénocytiques, sables fins et sables vaseux.

5. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

L'analyse factorielle, par la méthode STATIS, des indices de diversité rapportés à la macrofaune benthique d'une lagune littorale méditerranéenne confirme et précise les conclusions proposées dans un travail antérieur (Amanieu et al., 1977) qui ne reposait que sur l'estimation à visée des statistiques graphiques dont l'objectif n'est pas d'être rigoureux. Le classement biocénocytique fondamental des 9 stations étudiées est clairement mis en évidence : le groupement de 2 stations dans un ensemble correspondant à la biocénose lagunaire curvithère et curvithère est homogène et ne permet pas la distinction de sous-ensembles ; le groupement de 2 stations marines dans la biocénose des sables vaseux, distinctes de 2 autres stations également marines mais

Trois conclusions fondamentales s'imposent :

D'une part les groupements biocénocytiques définis par Peres et Picard (1964) correspondent à une réalité objective qui peut être perçue par l'analyse factorielle. Celle-ci ne remplace pas le talent de l'écologiste de terrain expérimental qui perçoit plus vite la réalité que l'ordinateur. En revanche une bonne méthode d'analyse des données conjuguée et précise des conclusions nuancées doit être garantie en outre l'objectivité.

D'autre part, la réalité biocénocytique est d'autant mieux perçue que l'on prend en compte un plus grand nombre d'informations. Il apparaît notamment que les taxonomes ne recourent pas nécessairement les biocénoses à ce titre et dans l'exemple étudié, les Molles plus se révèlent nettement plus discriminants que les Polychètes et ces derniers légèrement plus que les Crustacés dont le rôle indicateur apparaît ici à peu près nul.

Enfin la diversité, et cela n'est pas le moins important, apparaît comme un bon indice des groupements biocénocytiques. De façon plus pertinente il faut préciser que ce sont d'une part les profils d'évolution chronologique de la diversité, d'autre part sa valeur moyenne au cours de la période d'échantillonnage qui doivent être pris en considération.

Il apparaît dès lors intéressant d'incorporer dans de telles analyses non plus seulement la diversité mais encore d'autres indices tels que la densité, la biomasse, la richesse spécifique et divers paramètres démographiques, en vue de vérifier l'intérêt de la notion de nomocénose, proposée par Daget et al. (1973) dans les écosystèmes lagunaires que nous étudions ; c'est ce que nous proposons d'aborder dans un prochain travail.

(1) Nos adresses ont bien entendu retourné à nos collègues Y. Escoufier qui nous a conseillé dans le choix de cette méthode et nous en a fait l'analyse et l'interprétation.

BIBLIOGRAPHIE

AMANIEU, M., O. GUELORGET et P. MICHEL, 1977. Evolution saisonnière de la richesse et de la diversité de la macrofaune benthique d'une lagune littorale méditerranéenne. *Mar. Pollut. Bull.* 8 (4-5) : 231-247.