

# PREMIÈRES DONNÉES SUR LES COPEPODES PÉLAGIQUES DE LA RÉGION CONGOLAISE

## II. — Analyse des correspondances

DENIS BINET

Océanographe biologiste de l'O.R.S.T.O.M. C.R.O. d'Abidjan.  
(Côte d'Ivoire)

ALAIN DESSIER

Océanographe biologiste de l'O.R.S.T.O.M. Pointe-Noire.  
(République populaire du Congo).

MICHÈLE GABORIT

Assistante au laboratoire de mathématique de la Faculté des  
Sciences de Rouen. 76 - Mont-Saint-Aignan

MAURICE ROUX

Attaché de recherches au C.N.R.S. Laboratoire de statistique  
mathématique, Paris

### RÉSUMÉ

L'analyse factorielle des correspondances diffère de l'analyse en composantes principales par le fait qu'elle ne part pas d'une matrice de corrélation de Bravais-Pearson mais d'une matrice de distance du  $\chi^2$ . Elle conduit à comparer non des valeurs mais des profils.

Cette méthode a été utilisée pour la comparaison de 64 échantillons de 75 espèces de copépodes pélagiques provenant d'un cycle de récolte annuel en 5 stations du plateau continental ou du large de la région congolaise.

Trois analyses ont été effectuées: 1<sup>o</sup>) sur l'ensemble des 5 stations, 2<sup>o</sup>) sur les stations de plateau, 3<sup>o</sup>) sur les stations du large.

Les récoltes provenant du plateau continental se groupent selon les saisons hydrologiques, mais au large du talus continental la concordance entre groupes de récoltes et saisons n'est guère perceptible.

Les axes principaux peuvent être interprétés comme des gradients: côte — large d'une part, eaux froides et salées — eaux chaudes et dessalées d'autre part.

Dix groupes d'espèces sont mis en parallèle avec les saisons hydrologiques.

### ABSTRACT

The « Analyse factorielle des correspondances » doesn't use a Bravais-Pearson matrix as principal components analysis, but a  $\chi^2$  distance matrix. This method allows the comparison between profiles instead of values.

This analysis compares 64 samples and 75 species of pelagic Copepods issued from a one-year sampling program at 5 stations on the Congolese shelf and offshore.

Three analysis were computed separately:

- 1<sup>o</sup> with the 5 stations as a whole,
- 2<sup>o</sup> with the shelf stations,
- 3<sup>o</sup> with the offshore stations.

Shelf samples are associated according to hydrological seasons, but offshore, agreement is not good between groups of samples and seasons.

The first two principal axes may be explained as gradients: inshore—offshore on the one hand, high salinity and cold waters—low salinity and warm waters on the other hand.

Ten groups of species have been matched with hydrological seasons.

Le cycle de récoltes sur lequel porte cet article a été décrit antérieurement (BINET & DESSIER 1971). Nous présentons ici les résultats d'une analyse des correspondances des 75 espèces les plus abondantes, provenant uniquement des traits verticaux.

Nous exposerons l'aspect géométrique de l'analyse multidimensionnelle avant d'en tirer quelques conclusions écologiques.

## 1. — RAPPEL SUR LES ANALYSES MULTIDIMENSIONNELLES

Étant donné  $n$  objets, ici les différentes espèces recueillies au cours du cycle annuel, repérés par  $p$  caractères, ici les différentes pêches, on considère les objets comme des points d'un espace à  $p$  dimensions (de même les caractères dans un espace à  $n$  dimensions). Ainsi, s'il n'y avait que trois pêches

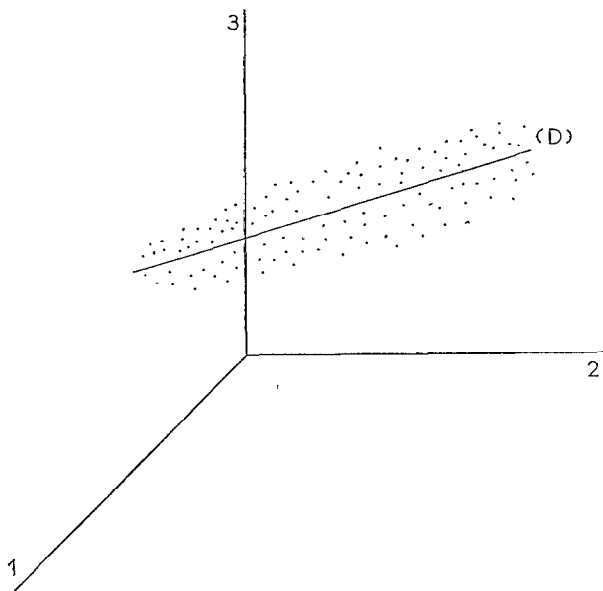


Fig. 1. — Représentation des espèces dans un espace de 3 récoltes; assimilation du nuage de points à une droite.

(cf. figure 1), chaque espèce pourrait être représentée par un point de l'espace ordinaire à trois dimensions, dont les coordonnées seraient les nombres d'individus de cette espèce récoltés au cours de ces trois pêches.

(1) Il s'agit de décrire au mieux un nuage de points réels, sans parler de variable aléatoire. Quoique cette notion soit sous-jacente, car l'abondance est échantillonnée en un certain nombre de valeurs, comme une variable aléatoire. Mais on ne construit pas de modèle probabiliste, i.e. on ne fait aucune hypothèse sur la distribution de cette variable; on ne fera donc aucune transformation des données.

(2) Toute cette partie mathématique est largement inspirée de LEBART et FENELON (1971) auquel le lecteur pourra se reporter pour les démonstrations.

Le but de toute analyse dimensionnelle est d'approcher au mieux, c'est-à-dire en perdant le moins d'information possible, le nuage des points ainsi obtenu, par un sous-espace de l'espace initial (la droite (D) sur notre figure), sous-espace sur lequel on projetera le nuage (1). Cette opération ne le déformera pas trop si le nuage est effectivement assez allongé dans la direction du sous-espace en question, et il sera plus accessible si la dimension de ce sous-espace est assez faible (2).

### 1.1. — Analyse en composantes principales.

Soit  $X$  le tableau des données à  $n$  lignes et  $p$  colonnes, dont on appelle  $X_i$  les lignes, c'est-à-dire les points-objets, de coordonnées  $(x_{ij}, j = 1 \text{ à } p)$ . Soit  $I = \{1, 2, \dots, n\}$  l'ensemble des indices de lignes et  $J = \{1, 2, \dots, p\}$  l'ensemble des indices de colonnes. Rappelons qu'on désire représenter ces données dans un espace de faible dimension, avec le minimum de perte d'information.

On suppose que la formule de calcul des distances entre les objets  $X_k$  et  $X_l$  est la formule usuelle :  $d^2(k, l) = \sum \{ (x_{kj} - x_{lj})^2, j = 1, p \}$  où le carré de la distance entre  $k$  et  $l$  est la somme des carrés des différences des coordonnées.

Nous allons chercher le sous-espace à une dimension  $F_1$  (une droite) tel que les distances entre les projections des points-observations mesurées sur cette droite soient le plus proche possible des distances définies plus haut, dans l'espace à  $p$  dimensions.

Soient  $u_1, \dots, u_p$  les composantes du vecteur unitaire  $u$  porté par  $F_1$ . La grandeur de la projection du vecteur  $X_k - X_l$  sur  $F_1$  est le produit scalaire du vecteur  $X_k - X_l$  par le vecteur  $u$ , soit (en notant  $u'$  la transposée de  $u$ ) :

$$u' (X_k - X_l) = \sum \{ u_j (x_{kj} - x_{lj}), j = 1 \text{ à } p \}$$

Si l'on veut que en moyenne, les carrés des longueurs des projections soient maxima, il faut qu'en sommant pour tous les couples  $(k, l)$  :

$$S^2 = \sum_{k,l} \left[ u' (X_k - X_l) \right] \left[ u' (X_k - X_l) \right]'$$

soit maximum avec la condition  $u'u = 1$  puisque  $u$  est supposé unitaire.

$$S^2 = \sum_{k,l} \left[ u' (X_k - X_l) (X_k - X_l)' u \right]$$

$$S^2 = u' \left\{ \sum_{k,l} (X_k - X_l) (X_k - X_l)' \right\} u$$

La quantité entre crochets n'est autre que  $2n^2V$  où  $V$  est la matrice des covariances expérimentales des  $p$  variables.

Ainsi les composantes d'un vecteur unitaire  $u$  porté par la droite  $F_1$ , sur laquelle se projette le nuage en se déformant le moins possible, maximisent  $u'Vu$  avec la contrainte  $u'u = 1$  ( $V =$  matrice des covariances).

On montre que  $u$  — première composante principale du nuage — est vecteur propre de  $V$  et que la valeur propre correspondante  $\lambda$  est le maximum de  $u'Vu$ , donc caractérise la dispersion des projections sur  $F_1$ . En effet soit  $L = u'Vu - \lambda(u'u - 1)$ , on doit avoir  $\frac{\delta L}{\delta u} = 2Vu - 2\lambda u = 0$ , d'où  $Vu = \lambda u$  :  $\lambda$  est valeur propre de  $V$  et  $u$  est vecteur propre.

On réitère l'opération, et de la même façon le  $q^{i\text{ème}}$  vecteur propre sera la  $q^{i\text{ème}}$  composante principale du nuage et correspond à la  $q^{i\text{ème}}$  valeur propre  $\lambda_q$ , celles-ci étant classées par ordre décroissant.

1.2. — Analyse des correspondances.

Le tableau initial étant le tableau  $X$ , on construit le tableau  $P$  de la manière suivante :

On pose :

$$p_i = \sum_{j=1}^p x_{ij}; \quad p_j = \sum_{i=1}^n x_{ij}; \quad p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i,j} x_{ij}}$$

(a) On construit dans  $R^p$  un nuage de  $n$  points, chaque point  $i$  ayant pour coordonnées les quantités  $\frac{p_{ij}}{p_i}$ , affectées de la masse  $p_i$ .

Remarquons que si deux points sont proches dans cet espace, cela signifie que les profils des lignes représentés par ces points sont voisins.

(b) Dans  $R^n$ , on construit de même un nuage de  $p$  points, chaque point  $j$  ayant pour coordonnées  $\frac{p_{ij}}{p_j}$  affecté de la masse  $p_j$ .

Considérons la formule classique de distance dans  $R_p$ ,

$$d^2(i, i') = \sum_{j=1}^p \left( \frac{p_{ij}}{p_i} - \frac{p_{i'j}}{p_{i'}} \right)^2$$

Supposons que le terme :  $\left( \frac{p_{ij}}{p_i} - \frac{p_{i'j}}{p_{i'}} \right)_{j=j_0}$

soit prépondérant parce que la récolte  $j_0$  est très abondante; il jouera un rôle excessif dans la détermination des proximités. Pour atténuer ces disparités, on choisit comme nouvelle distance, celle donnée par la formule :

$$d^2(i, i') = \sum_{j=1}^p \frac{1}{p_j} \left( \frac{p_{ij}}{p_i} - \frac{p_{i'j}}{p_{i'}} \right)^2$$

De même dans  $R^n$ , on définit :

$$d^2(j, j') = \sum_{i=1}^n \frac{1}{p_i} \left( \frac{p_{ij}}{p_j} - \frac{p_{i'j'}}{p_{j'}} \right)^2$$

La distance n'étant pas une somme de carrés, on ne peut appliquer la même méthode qu'en analyse en composantes principales. On peut pourtant s'y ramener en modifiant l'échelle des axes. Le problème revient à chercher les vecteurs propres et les valeurs propres de la matrice symétrique  $S$  de terme général :

$$S_{jk} = \sum_{i=1}^n \frac{p_{ij} p_{ik}}{p_i \sqrt{p_j p_k}}$$

De même qu'en analyse en composantes principales, le premier axe principal d'inertie sera le vecteur propre unitaire associé à la plus grande valeur propre.

On peut ainsi représenter les proximités entre les éléments de l'ensemble  $I$ , vis-à-vis de leurs associations avec ceux de l'ensemble  $J$ . En effet deux éléments  $i$  et  $i'$  voisins d'un même point  $j$  sont considérés comme proches l'un de l'autre (1).

On pourrait, en renversant les rôles de  $I$  et  $J$  dans les calculs obtenir une représentation analogue des éléments de  $J$ . Mais il existe des relations simples entre les facteurs représentant  $I$  et ceux représentant  $J$ .

En effet, on montre que les facteurs du nuage  $J$  sont proportionnels aux coordonnées des points représentatifs de  $I$  sur les axes factoriels du nuage  $I$  (et réciproquement). On peut représenter les proximités entre les éléments de  $I$  dans le plan des deux premiers axes factoriels (les coordonnées sur les axes 1 et 2 du point «  $i$  » étant  $w_{1i}$  et  $w_{2i}$ ). On peut représenter sur le même graphique les proximités entre les éléments de  $J$  (les coordonnées du point «  $j$  » étant les nombres  $v_{1j}$  et  $v_{2j}$ ). Cette représentation simultanée est justifiée par le fait que les  $w_i$  apparaissent comme des barycentres des  $v_j$ , chaque  $v_j$  étant affecté du poids  $\frac{p_{ij}}{p_i}$ , probabilité conditionnelle d'occurrence de  $j$  sachant que  $i$  est réalisé.

(1) Le terme voisin est employé au sens de proximité sur le graphique où sont représentés simultanément les points  $i$  et les points  $j$ . En effet les points  $i$  sont barycentres des points  $j$  à un coefficient près.

## 2. — MÉTHODE D'INTERPRÉTATION

Les groupements naturels d'espèces et de récoltes ont été recherchés sur le plan des axes 1 et 2, qui contiennent le plus d'information, et sur celui des axes 2 et 3 plutôt que 1 et 3, afin de laisser aux deux axes du plan à peu près la même importance. Les coordonnées des points suivant l'axe 3 étant assez faibles par rapport aux coordonnées suivant l'axe 1, le graphique serait étiré le long du premier axe.

de ne pas masquer les caractères saisonniers (nous avons tâché de ne pas cacher les saisons hydrologiques); cette première analyse ayant lieu dans le plan des axes 1 et 2, vérifier que ces groupes existent également dans le plan des axes 2 et 3. Le même travail est effectué pour les espèces.

Une interprétation parfaitement « objective » aurait consisté à ignorer délibérément les connaissances hydrologiques et écologiques acquises par l'expérience. Une telle méthode ne se justifie pas ici vu les conditions d'échantillonnage (nombre de récoltes insuffisantes, fluctuation aléatoire des effectifs et planification du programme de récoltes en fonction d'hypothèses, au lieu d'un échantillonnage au hasard).

TABLEAU I

Inerties totales extraites par chaque axe

Analyse	Pourcentage d'inertie extraite par chaque axe					Pourcentage cumulé d'inertie extraite par les différents axes				Inertie totale (1)
	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 1 et 2	Axes 1 à 3	Axes 1 à 4	Axes 1 à 5	
Station 1.2.3.4.6.	18,4	14,4	10,8	7,7	7,0	32,8	43,6	51,3	58,2	1.688
Station 1.2.3.	18,8	17,4	9,7	6,8	6,0	36,2	46,0	52,7	58,7	1.351
Station 3.4.6.	25,2	15,8	9,8	8,3	6,6	40,9	50,8	59,1	65,7	855

Le tableau I permet de comparer la décroissance d'inertie extraite par les axes successifs, dans les différentes analyses :

Les analyses ont été faites par espèces et par prélèvements. Or, pour une même analyse et un même couple d'axes, nous savons qu'à une homothétie près, les graphiques des prélèvements et ceux des espèces sont superposables.

L'interprétation des graphiques issus de l'ordinateur est faite en plusieurs temps :

- Réunion des prélèvements, puis des espèces selon leurs proximités et dans les deux plans choisis.
- Interprétation des axes.
- Comparaison des graphiques espèces et récoltes.

La première démarche consiste à réunir sous une même enveloppe des groupes de points-récoltes en tenant compte de leurs proximités, et en essayant

La comparaison des résultats des 2 plans de l'analyse permet grossièrement de tracer un certain nombre de frontières. Il est évident qu'elles n'ont rien d'absolu et la nécessité de rassembler des espèces que par expérience nous savons voisines, a conduit à certains tracés particulièrement contournés. Il reste que dans l'ensemble, les résultats de l'analyse numérique coïncident assez bien avec l'expérience écologique. Il faut se souvenir que chaque point expérimental a un caractère aléatoire; il n'est donc pas étonnant qu'au voisinage de la frontière les considérations de proximité dans le graphique semblent aboutir à inverser l'appartenance de 2 points à des groupes écologiques — ce qui conduit l'écologiste à tracer des frontières contournées. Cet arbitraire ne concerne que le strict voisinage des frontières, et ne doit pas affecter la partie centrale des groupes de points.

(1) Les valeurs indiquées sont à multiplier par 10<sup>3</sup>.



## 3. — GROUPEMENT DES RÉCOLTES

Les groupements de récoltes diffèrent sensiblement d'une analyse à l'autre.

## 3.1. — Stations 1, 2, 3, 4 et 6 (fig. 2, 3).

Elle ne concerne que neuf radiales (45 prélèvements), escamote partiellement les grandes saisons chaude et froide, et totalement la petite saison froide. On observe sept groupes désignés de A à G. Une dizaine de prélèvements appartenant aux stations 3, 4 et 6 ne peuvent cependant y trouver place. On distingue :

- A. Groupe néritique de GSF (1) (stations 1 et 2).
- B. Groupe océanique de GSF (stations 3 et 4). Ce groupe comprend dans le plan des axes 2 et 3 deux sous-groupes, B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub>, dont le premier comprend les prélèvements du début de la GSF, le second ceux de la fin.
- C. Groupe néritique interne de PSC et GSC (station 1).
- D. Groupe néritique externe de GSC (station 2).
- E. Groupe océanique de PSC et GSC (principalement station 4).
- F. Groupe néritique externe de PSC (stations 2 et 3).
- G. Groupe océanique sans tendances saisonnières bien marquées (station 6).

A proximité de ce groupe se situent les prélèvements de mai des stations 3 et 4 (transition GSC - GSF).

On peut noter que l'opposition entre les groupes néritique et océanique est beaucoup mieux marquée en GSF que pendant les saisons chaudes.

Les récoltes effectuées à la station 6 restent très groupées à la fois dans le plan des axes 1 et 2 et dans celui des axes 2 et 3. Seul le prélèvement d'octobre se trouve isolé.

## 3.2. — Stations 1, 2, 3 (fig. 4, 5).

Huit groupes peuvent être mis en évidence; cette fois encore les groupes sont plus faciles à établir pour les stations côtières 1 et 2 que pour la station 3. Ces groupes sont les suivants :

- A. Groupe de GSF à la station 1 (proche du groupe A de la 1<sup>re</sup> analyse).
- B. Groupe de GSF à la station 2.

TABLEAU II

Dates des récoltes et légendes des figures 2, 3, 4 et 5 remplacées par saison écologique.

Légende	Date des récoltes	Saisons écologiques
janv. 1	12 et 13 janvier 1967	Grande saison chaude
janv. 2	23 au 27 janvier	
mars	21 au 24 mars	
mai	11 au 17 mai	Grande saison froide
juin 1	1 et 2 juin	
juin 2	26 au 30 juin	
juill.	11 et 12 juillet	
sept. 1	6 au 12 septembre	Petite saison chaude
sept. 2	25 et 26 septembre	
oct.	4 au 10 octobre	Petite saison froide
nov. 1	6 au 9 novembre	
nov. 2	23 au 29 novembre	Grande saison chaude
déc.	7 et 8 décembre	
janv. 68	16 au 20 janvier 1968	

TABLEAU III

Groupes de récoltes, station 1.2.3.4.6.

Zones \ Saisons	Saisons		
	GSF	PSC	GSC
néritique interne	A	C	
néritique externe		F	D
océanique	B	E	
	G		

- C. Groupe de GSF à la station 3.
  - D. Groupe de GSC à la station 1 (proche du groupe C de la 1<sup>re</sup> analyse).
  - E. Groupe de GSC à la station 2 (proche du groupe D de la 1<sup>re</sup> analyse).
  - F. Groupe PSF et de début de GSF à la station 1 (transitions).
  - G. Groupe de PSC et PSF à la station 2 (transitions).
- Ce dernier groupe se trouve scindé en deux sous-

(1) On emploiera les abréviations GSC, GSF, PSC et PSF pour grande saison chaude, grande saison froide, petite saison chaude et petite saison froide.

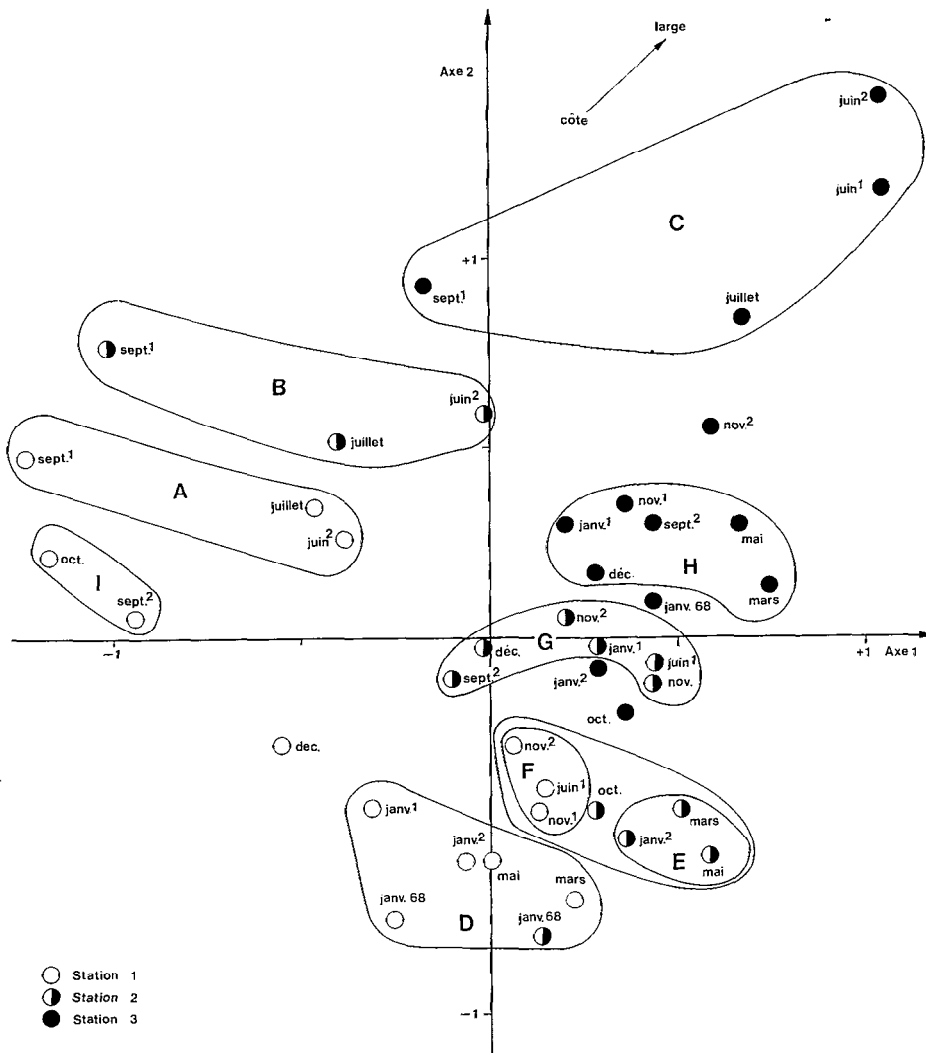


Fig. 4. — Analyse n° 2, stations 1, 2, 3 ; récoltes, axes 1, 2.

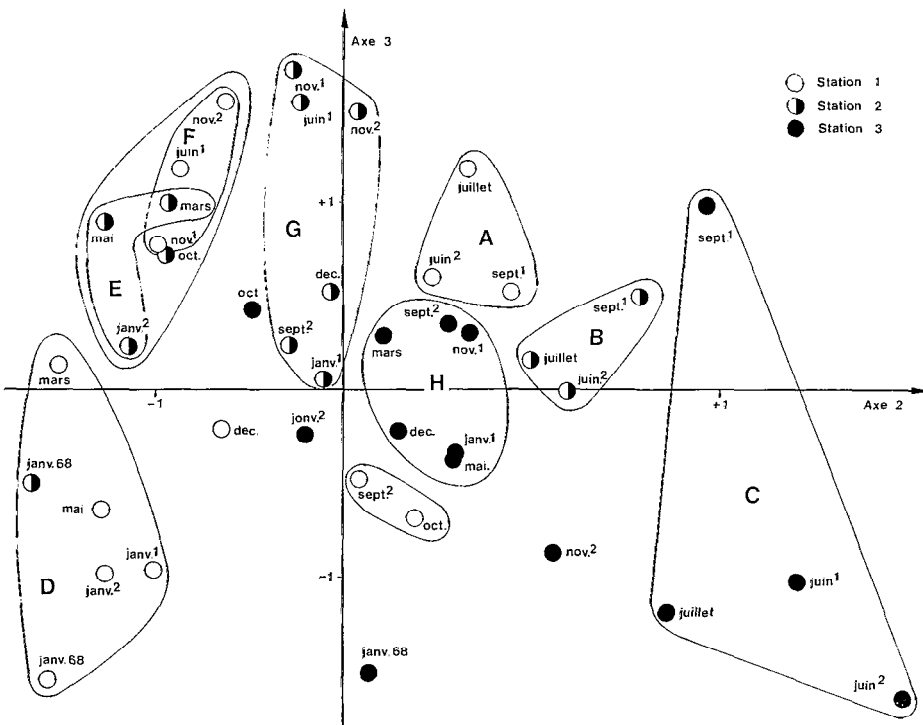


Fig. 5. — Analyse n° 2, stations 1, 2, 3 ; récoltes axes 2, 3.

groupes dans le plan des axes 2 et 3; l'un est l'équivalent, pour la station 2 du groupe F tandis que l'autre ne comprend que des récoltes d'intersaison.

H. Groupe de GSC ou des petites saisons à la station 3

Les trois groupes de GSF, correspondant chacun à une station sont les plus nettement dissociés par l'analyse tandis que ceux de GSC ou des périodes de transition, restent plus confus en particulier pour les stations 2 et 3.

I. Groupe de PSC à la station 1.

### 3.3. — Stations 3, 4, 6.

La troisième analyse présente peu d'intérêt pour les groupements de récoltes du fait de l'absence de sortie au milieu de la GSF. Les groupes de récoltes obtenus ne semblent pas avoir de signification écologique réelle.

## 4. — SIGNIFICATION DES AXES

Les graphiques des espèces et ceux des récoltes étant superposables à une homothétie près, les axes ont la même valeur dans les deux types d'analyses. L'interprétation la plus facile est celle qui résulte des associations de récoltes. En effet, pour chaque récolte les facteurs physiques (température, salinité, profondeur, éloignement de la côte), sont connus. Par comparaison entre la distribution des associations et celle des facteurs ambiants, nous tâcherons de découvrir la signification écologique de ces axes (il serait en fait plus rigoureux de rechercher ces significations en calculant les corrélations entre axes et facteurs physico-chimiques, quoique cela soit discutable dans la métrique utilisée).

L'interprétation de chaque axe n'est évidemment pas « simple »; en ce sens qu'un axe ne représente pas un seul facteur, mais plusieurs, en proportions variables et selon des lois différentes. Certains facteurs peuvent totalement nous échapper.

Une interprétation des axes uniquement par les espèces serait plus délicate, elle traduirait des affinités biologiques plus subtiles, mais moins faciles à saisir.

La signification des axes varie légèrement pour chacune des trois analyses :

#### PREMIÈRE ANALYSE :

Axe 1 : Des eaux froides et salées hivernales aux eaux chaudes et dessalées estivales.

Axe 2 : De la tendance océanique à la tendance néritique.

TABLEAU IV

Groupe de récoltes, station 1.2.3.

Saisons Stations	GSF	PSC	PSF	GSC
1	F	I	F	D
	A			
2	B	G		E
3	C	H		

L'examen du plan défini par les axes 2-3 indique que le gradient côte-océan est mieux représenté par une combinaison de ces deux axes (bissectrice des quadrants pairs); toutes les récoltes de la station 1 se trouvent rassemblées dans le quadrant 2.

#### 2<sup>e</sup> ANALYSE :

La signification des axes est ici plus composite; la bissectrice des quadrants impairs indique le gradient côte-océan tandis que dans les quadrants 2-4 elle représente le gradient thermohalin (tendance saison chaude-saison froide surtout nette à la station 1).

Le gradient néritique domine ici, à l'inverse de ce qu'avait constaté BINET (1970) pour les stations 1 et 2; la province océanique commence en effet à la station 3 et l'opposition avec les deux stations du plateau est nettement marquée. La liaison qui apparaît sur l'axe 2 entre caractères néritique et estival d'une part (groupes E et D), océanique et hivernal d'autre part (groupe C), peut s'expliquer par l'avancée vers la côte des espèces hauturières en saison froide à la faveur des mouvements liés à l'alternance des masses d'eau bengueléenne et guinéenne (upwellings en particulier).

#### 3<sup>e</sup> ANALYSE :

On peut noter sur l'axe 1 une opposition entre les quelques récoltes de début (juin) ou de fin (septembre, octobre) de GSF (moitié positive de l'axe 1) et le reste des récoltes (moitié négative).

Le long du 2<sup>e</sup> axe les 7/10 des récoltes de la station 3 se trouvent sur la moitié positive et les 8/10 de celles de la station 6, sur la moitié négative.

On peut estimer que le premier axe correspond très grossièrement à un gradient thermique, tandis que le 2<sup>e</sup> représente une opposition entre le large et le talus continental.



Ces trois stations représentent un milieu assez homogène : l'inertie totale est donc beaucoup plus faible que pour l'analyse précédente et le premier axe (thermique) en extrait une plus grande part que dans les autres analyses. (tabl. I).

TABLEAU V  
Groupes d'espèces.

Groupe 1:

- 8 *Eucalanus crassus* (1)
- 26 *Paivella inaciae*
- 79 *Oncaea mediterranea f. major*

Groupe 2:

- 45 *Temora turbinata*
- 86 *Sapphirina nigromaculata*
- 94 *Ditrichocorycaeus africanus*

Groupe 3:

- 96 *Gaetanus minor*
- 97 *Chiridius poppei*
- 98 *Aetideopsis sp.*

Groupe 4:

— On distingue plusieurs sous-groupes :

- 11 *Eucalanus monachus*
- 32 *Scaphocalanus curtus*
- 35 *S. tenuiserrata*
- 36 *S. abyssalis*
- 99 *S. dentata*
- 24 *Euaetideus giesbrechti*
- 33 *Scolecithricella tenuipes*
- 53 *Lucicutia gemina*
- 73 *Oithona robusta*
- 92 *Urocorycaeus furcifer*
- 7 *Eucalanus attenuatus*
- 37 *Scolecithrix bradyi*
- 47 *Temoropia mayumbaensis*
- 50 *Pleuromamma gracilis gracilis*
- 56 *Heterorhabdus papilliger*
- 57 *Haloptilus longicornis*
- 62 *Candacia curta*
- 90 *Agetus limbatus*
- 3 *Neocalanus gracilis*
- 72 *Oithona setigera*
- 82 *Lubbockia squillimana*
- 85 *Pleuromamma xiphias*

Groupe 5:

- 12 *Rhincalanus cornulus*
- 17 *Calocalanus pavo*
- 21 *Clausocalanus spp.*
- 34 *Scolecithricella clenopus*
- 38 *Scolecithrix danae*
- 49 *Pleuromamma abdominalis*
- 52 *Lucicutia flavicornis*
- 71 *Oithona plumifera*
- 78 *Oncaea mediterranea f. minor*
- 81 *O. conifera*
- 20 *Mecynocera clausi*
- 91 *Agetus flaccus*
- 89 *Corycaeus clausi*
- 31 *Euchaeta hebes*

Groupe 6:

- 1 *Nannocalanus minor*
- 9 *Eucalanus subtenuis*
- 13 *Acrocalanus longicornis*
- 14 *A. andersoni*
- 66 *Labidocera scotti*
- 76 *Oncaea venusta f. minor*

Groupe 7:

- 15 *Paracalanus aculeatus*
- 27 *Euchaeta spp. copépodites*
- 55 *Lucicutia clausi*
- 69 *Acartia danae*
- 80 *Oncaea media*
- 87 *Copilia mirabilis*
- 88 *Corycaeus speciosus*
- 95 *Corycella gracilis*

Groupe 8:

- 10 *Eucalanus pileatus*
- 16 *Paracalanus parvus*
- 40 *Centropages furcatus*
- 68 *Pontellopsis brevis*
- 93 *Onychocorycaeus giesbrechti*

Groupe 9:

- 39 *Diaixis hibernica*
- 41 *Centropages chierchiae*
- 44 *Pseudodiaptomus serricaudatus*
- 70 *Acartia plumosa*

Groupe 10:

- 5 *Undinula vulgaris*
- 20 *Mecynocera clausi*
- 29 *Euchaeta marina*
- 67 *Pontellina plumata*

(1) Le chiffre précédant le nom d'espèce renvoie aux figs 6 et 7.

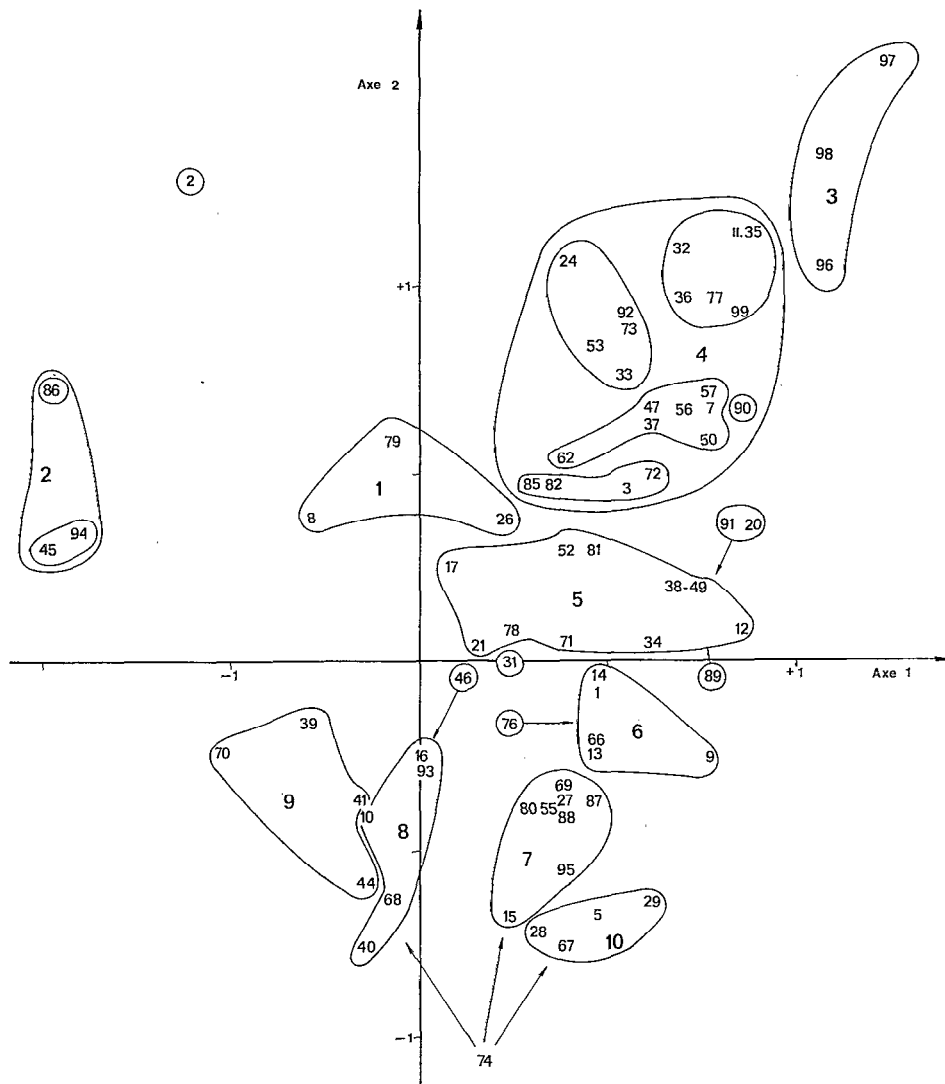


Fig. 6. — Analyse n° 2, stations 1, 2, 3 ; espèces, axes 1, 2.

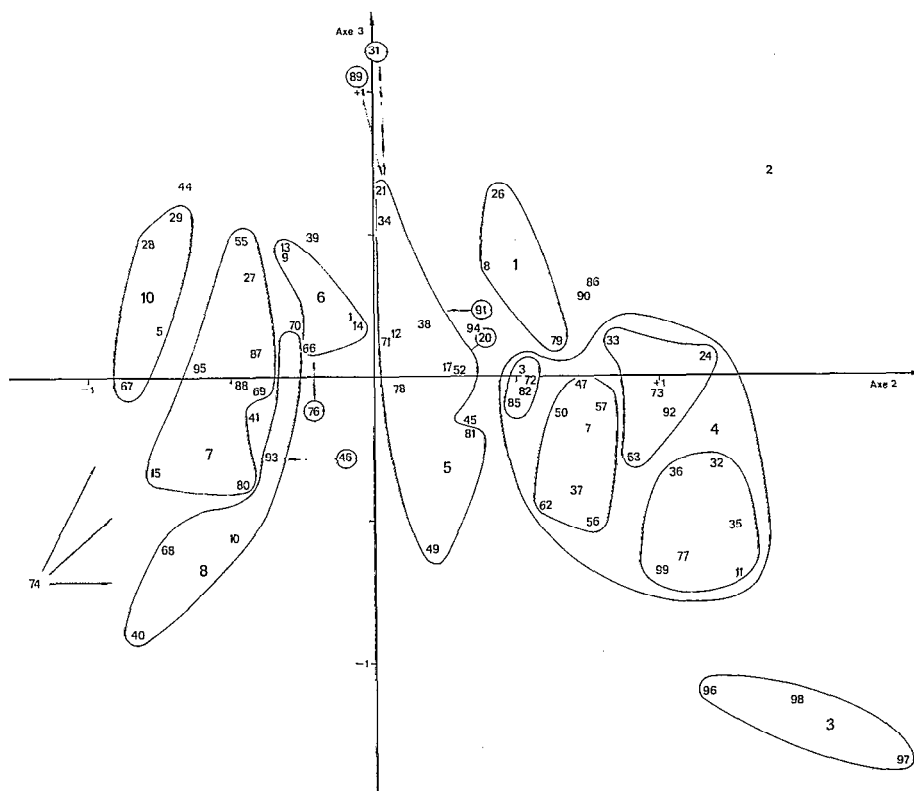


Fig. 7. — Analyse n° 2, stations 1, 2, 3 ; espèces, axes 2, 3.

5. — ESSAI DE DÉFINITION  
DES POPULATIONS SAISONNIÈRES

Des groupes d'espèces ont été mis en évidence avec la même méthode que pour les récoltes. Nous n'accorderons pas à ces « groupes » la valeur de « communauté » parce qu'ils sont différents d'une analyse à l'autre et parce qu'ils ne se dégagent pas avec assez d'évidence d'un simple examen des graphiques.

Les correspondances entre « groupes » d'espèces et « groupes » de récoltes ne sont pas évidentes mais comme la signification des axes dans les deux types d'analyse est la même on peut tenter de définir les tendances écologiques des groupes d'espèces.

Nous utiliserons de préférence la deuxième analyse (stations 1 à 3) dans laquelle les différentes saisons sont les mieux représentées, en essayant de confirmer nos conclusions par l'examen de la première analyse.

Une dizaine de groupes ont pu être isolés (fig. 6, 7, tab. 5); un certain nombre d'espèces n'ont pu être rattachées à un groupe dans le plan des axes 2-3.

*Calanoides carinatus* reste isolé dans les plans 1-2 et 2-3. On peut approximativement lui faire correspondre les groupes de récoltes A et B; cette espèce est aux trois stations, la plus caractéristique de la saison froide.

Les groupes d'espèces (1) pourraient être déterminés ainsi :

- Groupe 1 : Espèces néritiques à tendance hivernale; leur abondance décroît à la station 3.
- Groupe 2 : Espèces très néritiques à tendance hivernale (un peu plus néritiques que celles du groupe 1).
- Groupe 3 : Espèces océaniques présentes uniquement à la station 3.
- Groupe 4 : Espèces océaniques apparaissant ou devenant plus abondantes à la côte au cours des saisons froides.
- Groupe 5 : Espèces légèrement océaniques présentant une faible tendance hivernale à la station 1 ou sans tendances nettes.
- Groupe 6 : Espèces néritiques externes tolérantes, dont la préférence estivale diminue de la station 1 à la station 3.
- Groupe 7 : Espèces estivales néritiques ou océaniques.

Groupe 8 : Espèces néritiques à tendance estivale.

Groupe 9 : Espèces très néritiques à tendance hivernale.

Groupe 10 : Espèces néritiques externes à tendance estivale.

ESPÈCES DE GRANDE SAISON FROIDE.

La première analyse révèle que les points-récoltes de saison froide sont les plus dispersés dans le plan des axes 1-2 et l'opposition entre les groupes A néritique et B océanique très bien marquée.

Le phénomène est moins net dans la seconde analyse (du fait que seules les stations 1, 2 et 3 interviennent). La distribution des espèces subsuperficielles des groupes 3 et 4 crée en saison froide un gradient océan-côte.

Ces espèces persistent toute l'année à la station 3 et n'apparaissent jamais ou exceptionnellement sur le plateau (*Gaetanus minor*, *Chiridus poppei*, *Aetideopsis sp.*) ou seulement à la faveur des upwellings (groupe 4 en grande partie). On ne peut attribuer à ces espèces une préférence particulière pour les eaux froides et salées hivernales mais elles constituent de bons indices de l'apparition des upwellings côtiers en renseignant même sur leur intensité selon qu'elles atteignent ou non la station 1 (par exemple *Euaetideus giesbrechti*, *Scolecithricella tenuipes*, *Corycaeus jurcifer*, etc., appartenant au groupe 4).

*Calanoides carinatus* est certainement l'espèce la plus typique des eaux froides. Son apparition est à peu près simultanée sur toute la radiale et elle ne montre aucune préférence néritique ou océanique nette. Elle reste toujours plus ou moins isolée dans le plan des axes 1-2 pour les trois analyses. On peut lui adjoindre les espèces (analyse n° 2) : *Eucalanus crassus*, *Paivella inaciae*, appartenant au groupe 1; leur présence au-dessus du plateau est caractéristique de la saison froide, bien qu'elles ne soient pas typiquement néritiques.

Un certain nombre d'espèces (*Temora turbinata*, *Sapphirina nigromaculata*, *Ditrichocorycaeus africanus*) ont leur abondance maximum en saison froide (plus nettement aux stations 1 et 2 qu'au large) tout en conservant des effectifs relativement élevés durant la saison chaude.

ESPÈCES DE GRANDE SAISON CHAUDE.

Le retour des eaux guinéennes et tropicales, les échanges possibles avec le large, mais en même temps les conditions plus stables favorisent une relative diversification de la faune tropicale.

(1) L'examen du cycle annuel des espèces (cf. 1<sup>re</sup> partie) a beaucoup aidé à définir la signification des groupes.

Nous avons identifié dans la 2<sup>e</sup> analyse trois groupes d'espèces (7, 8, 10) aux préférences plus ou moins néritiques et plus ou moins estivales.

On peut donc opposer un groupe d'espèces néritiques à tendance estivale (groupe 8) et un groupe à tendance océanique (groupe 10). La distinction est en fait assez arbitraire. *Undinula vulgaris* (groupe 10) constitue l'espèce la plus représentative de la saison chaude, elle disparaît de juin à septembre et son abondance est croissante de la station 1 à la station 3.

*Euchaeta paraconcinna* et plus encore *E. marina* montrent aussi une tendance océanique avec préférence estivale. Ces trois espèces possèdent les plus fortes valeurs sur l'axe 1 (eaux froides - eaux chaudes) dans la 1<sup>re</sup> analyse.

*Eucalanus pileatus*, *Onychocorycaeus giesbrechii*, *Centropages furcatus*, plus côtières, n'ont pas d'exigences thermiques aussi strictes que *Undinula vulgaris* mais leur abondance est une des caractéristiques de la saison chaude, s'atténuant quelque peu vers le large.

Nous pouvons enfin citer : *Paracalanus aculeatus*, *Lucicutia clausi*, *Acartia danae*, *Oncaea media*, *Copilia mirabilis*, *Corycaeus speciosus*, *Corycella gracilis*, appartenant toutes au groupe 7.

Nous avons à Nosy-Bé (1) défini des populations de zone néritique interne, externe et de zone océanique. Grossièrement, on peut dire que les populations hauturières avançaient à la côte en période fraîche et qu'inversement les populations côtières s'étendaient au large en saison chaude.

On constate à Pointe-Noire un mouvement semblable pour la plupart des espèces. Mais il y a deux sortes d'exceptions; les espèces côtières à préférence hivernale : *Diaixis hibernica*, *Pseudodiaptomus serricaudatus* et les espèces océaniques dont l'avancée vers la côte se fait plutôt en saison chaude : *Acartia danae*, *Pontellina plumata*, *Oncaea media*, *Corycella gracilis* et la plupart des espèces du groupe 7.

Ceci s'explique sans doute par le fait que les eaux froides de Benguela envahissent toute la région jusqu'au large, chassant les eaux superficielles chaudes et leur faune. Les dernières espèces citées seraient donc les plus caractéristiques des eaux tropicales ou des eaux guinéennes.

La plupart des espèces qui nous semblent « froides » et océaniques n'ont pas d'exigence thermique aussi stricte ou bien restent dans les couches subsuperficielles en saison chaude, d'où les upwellings les amènent à la côte en hiver.

## 6. DISCUSSION

L'analyse a permis de réunir espèces et récoltes en groupements. L'opération a été plus délicate pour les espèces dont les variations aléatoires d'effectifs ne sont pas compensées par un échantillonnage suffisant. Au contraire l'ensemble des effectifs de toutes les espèces présentes dans une récolte est soumise à des fluctuations moins importantes, ce qui a permis un regroupement plus aisé.

Certaines pêches cependant restent isolées. La comparaison des analyses par récoltes et par espèces peut parfois en expliquer la raison. A titre d'exemple citons la récolte d'octobre à la station 6 : isolée dans la 1<sup>re</sup> et la 3<sup>e</sup> analyse, correspondant à un pourcentage élevé (supérieur à 25 %) de *Eucalanus monachus* et de *Temora turbinata*, ayant provoqué une baisse de l'indice de diversité de la population échantillonnée par ce prélèvement (3,1 au lieu de 4 à 4,8 bits/individu habituellement). Toujours dans ces mêmes analyses, la récolte du début septembre à la station 4 correspond à la dominance de *Centropages chierchiae*.

Un certain nombre d'espèces se trouvent placées par l'analyse dans un groupe déterminé; la faiblesse de leurs effectifs et leur présence plus ou moins fortuite dans nos récoltes empêchent d'accorder une grande signification à ces résultats. La mauvaise périodicité de notre échantillonnage et son insuffisance constituent les principales lacunes de ce travail.

Nous avons vu qu'il était souvent difficile d'établir des groupes d'affinité entre les récoltes de saison chaude. La faune estivale est plus ou moins liée à la couche pelliculaire des eaux guinéennes et donc relativement plus superficielle que celle de saison froide où les eaux de surface ont une origine subsuperficielle, au moins sur le plateau. L'échantillonnage des populations hivernales par la technique du trait vertical est donc relativement plus représentative.

On peut illustrer cette affirmation : la fréquence de *Calanoides carinatus* dans les traits verticaux est généralement voisine et même parfois supérieure à celle des traits horizontaux en surface et à 15 m alors que pour *Undinula vulgaris* ou *Eucalanus pileatus*, toutes deux espèces de saison chaude, la fréquence est le plus souvent supérieure dans les traits horizontaux.

(1) BINET & DESSIER, 1968.

## 7. CONCLUSION

Le regroupement de certains prélèvements par l'analyse numérique a démontré que des « saisons écologiques » coïncidaient en partie avec les saisons hydrologiques (la « parenté » des prélèvements se traduisant par une proximité sur le graphique issu de l'analyse).

Dans son analyse portant sur les stations 1 et 2, BINET (1970) avait attribué le plus de signification au gradient thermohalin (Axe 1). Nous avons vu que le fait d'adjoindre la station 3 faisait ressortir

le gradient néritique et que la signification des axes 1 et 2 s'expliquait par une combinaison de ces deux gradients (analyse 2). On peut considérer que la province océanique commence à partir de la station 3; les différences entre les stations 3, 4 et 6 sont minimales et les influences saisonnières y sont peu marquées (en ce qui concerne les traits verticaux). Une seule station aurait donc pu suffire à caractériser le milieu océanique.

L'association entre caractère froid et océanique est significative, l'avancée vers la côte des espèces hauturières se produisant en saison froide à la faveur des upwellings.

*Manuscrit reçu au S.C.D. le 28 février 1972.*

## BIBLIOGRAPHIE

- BENZECRI (J.-P.) *et coll.*, 1973. — L'analyse des données. 2 tomes. Dunod. Paris (à paraître).
- BINET (D.), 1970. — Aperçu sur les variations saisonnières du zooplancton et plus particulièrement des Copépodes du plateau continental de Pointe-Noire (Congo). *Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe Noire. Doc. Sci N<sup>o</sup> série VIII*, 109 p., 41 fig.
- BINET (D.) & DESSIER (A.), 1968. — Zooplancton de la région de Nosy-Bé. III. Premières données sur les copépodes. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. océanogr.* VI (3-4) : 3-26.
- BINET (D.) & DESSIER (A.), 1971. — Copépodes pélagiques de la région congolaise. I. liste des espèces et notes écologiques *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. océanogr.* IX (4) : 411-457.
- CORDIER (B.), 1965. — L'analyse factorielle des correspondances. Rennes, thèse 3<sup>e</sup> cycle multigr. 66 p.
- DENIAU (C.) & LEBART (C.), 1969. — Introduction à l'analyse de données : Rappel d'algèbre linéaire, analyse des données. *Consommation - Annales du C.R.E.D.O.C.*, III : 57-96.
- LEBART (L.), 1969. — Introduction à l'analyse des données : Analyse des correspondances, Validité de résultats. *Consommation. Annales du C.R.E.D.O.C.* IV, : 65-87.
- LEBART (L.) & FÉNELON (J. P.), 1971. — Statistique et Informatique appliquée. Dunod - 426 p.