

ESSAI D'ANALYSE MULTIVARIABLE D'UNE SÉRIE DE CHALUTAGES AU CONGO

par P. CHARDY* et J.-C. LE GUEN**

RÉSUMÉ

— *Les résultats d'une série de chalutages, effectués sur le plateau continental congolais, sont interprétés à l'aide de régressions multilinéaires et de composantes principales. Cette analyse ne constitue qu'une première approche du problème écologique de la répartition de 24 espèces de Poissons pêchés au large des côtes africaines entre Pointe Noire et Kipundji.* —

ABSTRACT

— *Data from a series of trawlings, along the congolese continental shelf, are interpreted by means of multilinear regressions and principal components. This analysis is only a first approach of the ecological problem of the distribution of 24 fish species caught offshore along the african coasts between Pointe Noire and Kipundji.* —

L'exploitation mathématique des données écologiques permet d'appréhender globalement la nature des relations existant entre les espèces et leur environnement. Dans ce but, nous nous sommes efforcés d'interpréter par une analyse multivariable les résultats d'une série de chalutages effectués dans une zone géographiquement et bathymétriquement limitée de l'Atlantique inter-tropical. Le problème des corrélations entre les espèces de poissons pêchés et les paramètres du milieu marin a été abordé successivement par deux méthodes d'approche :

— l'analyse des régressions multilinéaires dont le but est d'expliquer directement la répartition de chaque espèce à l'aide des quelques paramètres physico-chimiques mesurés pour cette étude;

— l'analyse en composantes principales qui offre une voie de résolution plus complète, permettant de considérer globalement les données biologiques et physico-chimiques, mais dont l'interprétation est toujours délicate (1).

* Centre Océanologique de Bretagne, 29 N. Plouzané, B. P. 337, 29 N. Brest.

** Centre O.R.S.T.O.M., de Pointe-Noire (Congo), B. P. n° 1286.

(1) Tous les calculs ont été effectués sur l'ordinateur I.B.M. 1130 du Centre Océanologique de Bretagne.

TABLEAU I — Poids frais en kilogrammes

Profondeur de chalutage	Radiale de												
	10 m							20 m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 <i>Arius</i> sp.....	10	6	3	1		17	6,4	1	20	100	4	0,2	10
2 <i>Vomer selapinnis</i>								0,1					
3 <i>Ilisha africana</i>	1,5	8	50	40	0,2	28	30	0,2	8	72	50	51	3
4 <i>Phyllogramma regani</i>		2	4	5			2,5	2	3	3		1	10
5 <i>Cynoglossus</i> sp.....	30	45	30	8	14	24	37	40	40	65	40	60	20
6 <i>Pentanemus quinquarius</i>	3,5	10	8		11	15	7	15	3	6	1	5	
7 <i>Galeoides decadactylus</i>	0,1	3			2,5	7,5	0,2	1	2,5	60	10		
8 <i>Pomadasyd jubelini</i>	1					0,6	2						
9 <i>Brachydeuteirus aurilus</i>		1	1	2	1	5	18	1	2,5	1	2	2,5	
10 <i>Pseudotolithus typus</i>	45	85	60	3	22	76	185	22	22	55	40	40	10
11 <i>Pseudotolithus senegalensis</i>	6	4	30	20	20	4		6	22	93	40	120	60
12 <i>Pseudotolithus elongatus</i>	35	220	40		80	12,5	11,5	18	50	15	12	2	0,8
13 <i>Pteroscion peli</i>			2	1	1	4	8	3	0,5	0,2		3	1
14 <i>Pentheroscion mbizi</i>		0,5								0,2		1	2
15 <i>Vanstretemia chirophthalmus</i>				0,5									
16 <i>Torpedo torpedo</i>						3	0,5	1	3				
17 <i>Raja miraletus</i>				2	0,5	0,1			0,5			3	8
18 <i>Trichiurus lepturus</i>	0,1	10	4	1		10	1		1	1		2	4
19 <i>Dasyatis margarita</i>	56	20	4	3	0,2	48	12	112	71	10	50	20	4
20 <i>Tetranarce nobiliana</i>	0,1	2	2	3	0,2			0,5		1,5	3	2	8
21 <i>Drepane africana</i>			1	5			30	0,5	4	0,1	0,2		2
22 <i>Polydactylus quadrifilis</i>						0,8							
23 <i>Hostia moori</i>	0,5	1	0,5					0,3	0,5				1
24 Requins.....			2	2		1,5			2		2	3	1

MATÉRIEL ÉTUDIÉ

Trente-trois coups de chalut, d'une heure chacun, ont été effectués à bord de l'« OMBANGO » en 1965, vingt-trois sur la radiale de Kipundji, à proximité de l'estuaire du Congo, et dix sur la radiale de Pointe Noire. Les fonds prospectés étaient de 10, 20 et 30 m. Dans le tableau I les résultats bruts sont exprimés en kilogrammes de poisson frais par espèce et par pêche, un poids total de 12,5 tonnes ayant été récolté. Dans certains cas, plusieurs espèces ont été réunies sous leur nom de genre. Par exemple *Arius* sp. groupe les espèces *A. heudeloti*, *A. gambiensis* et *A. mercatoris*, alors que *Cynoglossus* sp. rassemble *C. browni*, *C. monodi* et *C. canariensis*. De même les requins ont été considérés globalement. Les numéros d'ordre de 1 à 24, affectés aux différentes espèces ou groupes d'espèces dans le tableau I, sont utilisés comme symbole dans la figure 2.

PARAMÈTRES DU MILIEU

Bien que la connaissance du milieu à travers les mesures hydrologiques faites à bord soit incomplète, nous disposions d'un certain nombre de paramètres qui ont rendu possible une analyse multivariable. A chaque coup de chalut, les facteurs profondeur du fond (PC), température et salinité de surface (TS, SS), température et salinité au niveau du fond (TF, SF) ont été mesurés. De ces facteurs, nous avons déduit l'écart thermique (DT) et la différence de salinité (DS) entre le fond et la surface. A ces paramètres s'ajoutent le débit du Congo (DC) (1) et la zone de pêche (ZP).

(1) Communiqué par le Centre O.R.S.T.O.M. de Brazzaville.

récoltés par espèce et par pêche

Kipundji										Radiale de Pointe-Noire									
30 m										10 m					30 m				
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
	26		3	3	15	5	140	8,6	35	8	10	2	3	36		40	12	60	64
0,2	0,6	1							25	2		0,2	0,1	11		0,1		0,1	
5	28	30	1,5	4,5	10	25		48	45	3	1	3		65		0,1	3		46
35	2	2	8	1,5	4	10	40		15				0,9	3	0,1	4	0,4	1	
0,2	21	20	60	50	40	60	50	20	15	105	48	65	80	40	50	160	100	54	30
	6	10	18	0,1	2	2		4	2	40	45	40	50	21	8	3			2
	2	3	4	0,3	0,2	0,4		10		5	1	15	0,8	16	0,1	5	10		32
1	0,5	40	3	0,5	1,5	1	0,3	4,5	360	7	4	0,2	0,5	0,5					
0,5	147	128	4		20	15	5	29		6	0,1		0,4	40		85	6	1978	70
60	8	90	154	60	60	60	210	38	130	100	30	100	60	16	25	45		30	
1,2	202	0,5	22		1,5			20		44	30	50	25	45	48	200	50	180	350
0,9	2	3	24	0,1		20	2	4	65	85	40	30	40	55	15	65	10	6	152
0,5				0,2	25	3	7											2	
			0,2			0,2	0,1			0,1	0,1	0,1			0,1	0,1	0,1		0,1
6,2	1	0,2	2											7		0,1		0,1	1
			5	1	2	2	1	8	3		0,1		0,1	1	0,2	0,1	2	2	2
	35		0,1	0,5	0,2	1	4	20	180	2	30	10	3			3	0,1	1	40
0,2	2,5	0,1	3	0,4	50	35	0,5	9											
		0,3		3,5	3	5	1	2											
		0,2			0,1														
1					0,2	2	0,8	3			2	4	0,4	1		2		15	

En raison des nombreuses corrélations qui les unissent, le rôle des différents paramètres du milieu est souvent malaisé à apprécier. Il est donc logique de tenter de réunir les facteurs liés entre eux et de les considérer en tant que « complexes de facteurs » écologiquement actifs. Dans ce but, nous avons appliqué l'analyse en composantes principales à la matrice de corrélation interfacteurs.

TABEAU II

Analyse en composantes principales des paramètres du milieu ; tableau des saturations dans les trois premières composantes.

Composantes	I	II	III
Paramètres			
1 TS.....	0,83	0,42	0,28
2 TF.....	0,83	0,51	-0,10
3 SS.....	-0,52	0,81	0,14
4 SF.....	-0,77	-0,19	0,35
5 DT.....	-0,03	-0,22	0,92
6 DS.....	0,45	-0,86	-0,10
7 DC.....	0,82	0,23	0,34
8 PC.....	-0,06	0,02	0,74
9 ZP.....	-0,36	0,85	-0,11
Valeurs propres.....	3,31	2,72	1,78
Pourcentages cumulés de variance extraite.....	36 %	67 %	86 %

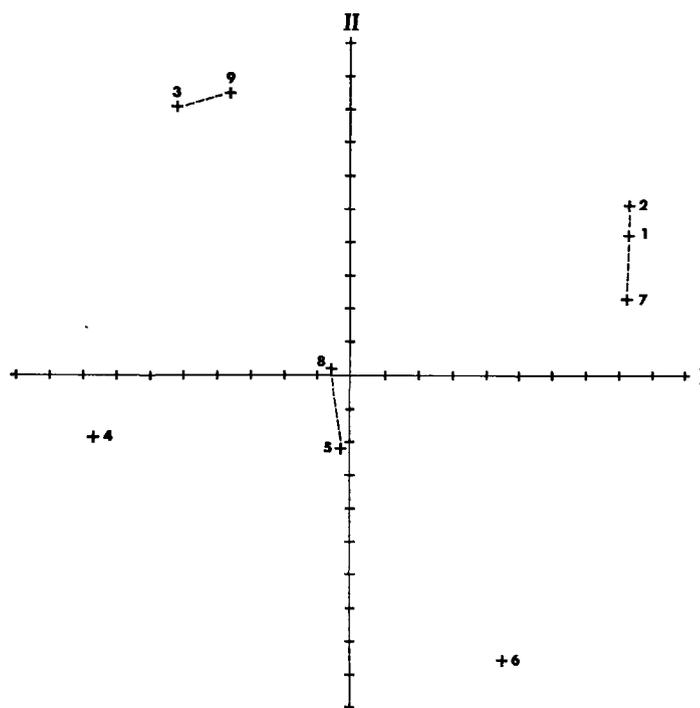


Fig. 1. — Analyse en composantes principales des liaisons entre facteurs du milieu ; représentation des facteurs dans le plan des deux premières composantes. Pour le symbolisme des chiffres se reporter au texte.

Le tableau II donne les saturations et le pourcentage de variance attaché aux trois premières composantes. Les associations entre les neuf paramètres du milieu sont visualisées graphiquement sur la figure 1. Nous n'avons retenu que les trois premiers axes qui extraient 86 % de la variance totale et sur ces axes les paramètres s'ordonnent de la façon suivante :

C. I		saturations positives	TF (2)
		—	TS (1)
		—	DC (7)
		saturations négatives	SF (4)
C. II		saturations positives	SS (3)
		—	ZP (9)
		saturations négatives	DS (6)
C. III		saturations positives	PC (8)
		—	DT (5)

Ces composantes correspondent à trois ensembles cohérents que l'on peut interpréter comme suit :

— le premier axe traduit les variations saisonnières et les modifications hydrologiques qui en sont la conséquence, en particulier les variations thermiques ; le débit du Congo, phénomène typiquement saisonnier, est très fortement lié avec C.I. ;

— le deuxième axe est essentiellement relatif aux paramètres caractéristiques de la zone de pêche, notamment à la salinité de surface qui permet de distinguer les eaux d'estuaire des eaux néritiques vraies ; de même les écarts de salinité entre le fond et la surface sont plus faibles et plus stables au large qu'en zone d'estuaire ;

— enfin le troisième axe est l'expression de la profondeur ou encore de l'épaisseur de la couche d'eau au-dessus du fond dont dépend l'amplitude des écarts thermiques entre le fond et la surface.

RÉGRESSIONS MULTILINÉAIRES

L'analyse des régressions multilinéaires permet d'apprécier l'action des paramètres du milieu sur la répartition de chaque espèce de poisson. La méthode consiste à rechercher le modèle linéaire qui constitue la meilleure représentation d'un phénomène « S » en fonction des facteurs explicatifs $x_1, x_2 \dots x_n$. C'est un modèle de la forme $S = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 \dots + \alpha_n x_n$ où les α sont déterminés de telle façon que l'estimation S' de S soit la meilleure possible au sens des moindres carrés. La valeur de l'estimation est mesurée par le coefficient de corrélation multiple R.

Nous avons introduit les paramètres dans le modèle par ordre d'importance d'après le critère de la meilleure amélioration possible du coefficient de corrélation multiple. A chaque variable

TABLEAU III

Résultats de l'analyse des régressions multilinéaires ; les coefficients de corrélation partielle significatifs au seul $P = 0,05$ sont encadrés.

	Corrélations partielles									Corrélation multiple
	TS	TF	SS	SF	DT	DS	DC	PC	ZP	
<i>Arius</i> sp.....		0,30		0,15	-0,34			0,46		0,54
<i>Vomer setapinnis</i>	-0,21		0,24		-0,32		0,45	0,17		0,59
<i>Ilisha africana</i>		0,21	-0,43				0,14			0,61
<i>Phyllogramma regani</i>	0,13		-0,26	0,47	-0,44	-0,28	0,06	0,54	-0,59	0,73**
<i>Cynoglossus</i> sp.....	0,19		0,12	0,04	0,10	0,13	-0,23	0,09	0,42	0,68
<i>Pentanemus quinquarius</i>	0,05	-0,05	-0,09	-0,07	-0,04	-0,10	0,13	-0,64	0,27	0,77**
<i>Galeoides decadactylus</i>		0,44			0,08				0,27	0,52
<i>Pomadasys jubelini</i>	0,05		0,06	0,03		0,08	0,14	-0,57	0,37	0,69
<i>Brachydeuterus auritus</i>	-0,04	0,04		-0,02	0,03		0,46	0,32	0,38	0,62
<i>Pseudotolithus senegalensis</i>		0,14	-0,10	0,33	-0,48	-0,14		0,75	-0,24	0,82**
<i>Pseudotolithus typus</i>		0,18	-0,30	0,27		-0,29		-0,48	0,08	0,63
<i>Pseudotolithus elongatus</i>		0,16	-0,13	0,14	0,39	-0,12	-0,25	-0,47	-0,22	0,77**
<i>Pteroscion peli</i>		-0,02	-0,26	0,24	-0,12	-0,27	0,28	0,19	0,42	0,81**
<i>Pentheroscion mbizi</i>	0,40		-0,27	0,43	-0,21	-0,22	-0,45	0,52	0,04	0,77**
<i>Vanstrelemia chiropthalmus</i>										NS
<i>Torpedo torpedo</i>	0,27		0,07	-0,22	0,16	0,04	-0,13	-0,32	-0,14	0,70
<i>Raja miraletus</i>			-0,07	-0,10	0,07	0,09	-0,34	0,45	-0,24	0,66
<i>Trichiurus lepturus</i>				-0,11	-0,31		0,23	0,24		0,54
<i>Dasyatis margarita</i>	0,43	-0,23	-0,17	0,10		-0,15	-0,42	-0,28	-0,27	0,76**
<i>Tetranarce nobiliana</i>	0,51		0,31	0,12	-0,42	0,32	-0,54	0,36	-0,52	0,81**
<i>Drepane africana</i>					0,43			0,48	0,13	0,56
<i>Polydactylus quadrifilis</i>										NS
<i>Hostia moori</i>		0,29		0,35	-0,26	-0,39	-0,24		-0,57	0,63
<i>Requins</i>	-0,05	0,05		0,04	0,05		-0,35	0,10		0,57

prédictive nouvellement intégrée, R a été testé par le test F. Lorsque R n'était plus significatif (au seuil $P = 0,05$) la régression n'a pas été poursuivie. Les autres paramètres qui contribuent très peu à la grandeur du coefficient de corrélation multiple, ont été éliminés. Enfin le calcul des corrélations partielles donne l'importance relative de chacun des facteurs explicatifs dans l'estimation du phénomène.

De toutes les régressions envisagées, seules celles des espèces *Vanstrelemia chirophthalmus* et *Polydactylus quadrifilis* ne sont pas significatives au seuil $P = 0,05$. Pour ces deux espèces, aucun des facteurs mesurés ne permet de rendre compte, même partiellement, de leur répartition. Les espèces pour lesquelles le modèle est satisfaisant au niveau $P = 0,01$ sont peu nombreuses : citons *Phyllogramma regani*, *Pentanemus quinquarius*, *Pseudolithus senegalensis*, *Pseudolithus elongatus*, *Pteroscion peli*, *Dasyatis margarita* et *Tetranarce nobiliana*.

Les corrélations partielles permettent de hiérarchiser les facteurs jouant un rôle significatif dans la répartition de chaque espèce. Il est en outre possible de réunir les espèces qui sont le plus fortement affectées par le même facteur. La « profondeur » est un facteur de répartition essentiel pour *Arius* sp., *Pentanemus quinquarius*, *Pomadasys jubelini*, *Pseudolithus senegalensis*, *Pseudolithus elongatus*, *Raja miraletus* et *Drepane africana*. La « zone de pêche » affecte fortement *Phyllogramma regani*, *Cynoglossus* sp., *Pteroscion peli* et *Hoslia moori*. Le « débit du Congo » est le facteur le plus important pour *Vomer setapinnis*, *Brachydeuterus auritus*, *Tetranarce nobiliana* et les Requins. La « différence de salinité entre le fond et la surface » semble particulièrement agissante sur *Pentheroscion mbizi* tandis que la « salinité de surface » affecte surtout *Ilisha africana*. La « température au niveau du fond » est prépondérante pour la répartition de *Galeoides decadactylus*, alors que l'abondance de *Dasyatis margarita* semble liée aux variations de la « température de surface ».

En général, les paramètres hydrologiques considérés isolément ne semblent pas très influents. Par contre, les facteurs plus généraux tels que la « profondeur » ou la « zone de pêche » sont en corrélation avec un plus grand nombre d'espèces.

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

Le but fondamental de toute analyse multivariée est d'expliquer une matrice d'inter-corrélations à l'aide d'un minimum de facteurs indépendants. Parmi les diverses méthodes, nous avons choisi l'analyse en composantes principales qui devient un moyen d'investigation de plus en plus classique en Écologie quantitative. Nous nous limiterons à un bref rappel de son principe et nous définirons les termes et notations utilisés plus loin.

Un ensemble de n variables en corrélation mutuelle est transformé en un système de n variables indépendantes, ou composantes, par une transformation linéaire appropriée. Les premières composantes, contenant une grande part de la variance totale, permettent d'expliquer une fraction importante de l'information contenue dans les données. La variance totale représente la trace de la matrice de corrélation. La variance attachée à la composante C_n est donnée par la valeur propre correspondante l_n . Les saturations sont les éléments des vecteurs propres et représentent les coefficients de corrélation entre les variables observées et les composantes. Dans le cas présent, les données ont subi la transformation $Y = \log(x+1)$. Le coefficient de corrélation, pour chaque couple de valeurs, a été calculé par la formule de Bravais-Pearson.

Le but de l'analyse des liaisons interspécifiques est double :

- tenter de définir des groupes d'espèces en fonction de leurs affinités écologiques;
- identifier les premières composantes, traduisant les exigences écologiques de l'ensemble faunistique considéré. Cette identification constitue le principal intérêt écologique de l'analyse. Dans ce but, trois types d'investigations ont été employés concurremment :
 - l'information acquise jusqu'ici sur certaines espèces dont le comportement écologique est bien connu;

— les résultats des régressions multilinéaires;

— l'étude parallèle de l'analyse des liaisons interspécifiques et de celle des paramètres du milieu, afin de mettre en relation les composantes principales du premier ensemble avec celles du second.

Les calculs conduits suivant la méthode itérative de Hotelling (1933) ont donné les résultats consignés dans le tableau IV. La méthode prévoit autant de composantes que d'espèces mais nous n'avons retenu que les saturations dans les cinq premières composantes qui extraient respectivement 18 %, 17 %, 11 %, 8 % et 7 % de la variance totale.

TABLEAU IV

Analyse en composantes principales des liaisons interspécifiques ; tableau des saturations dans les cinq premières composantes.

Composantes	I	II	III	IV	V
Espèces					
1 <i>Arius</i> sp.....	0,22	0,28	-0,39	0,36	0,53
2 <i>Vomer selapinnis</i>	0,51	0,20	-0,53	-0,12	-0,05
3 <i>Ilisha africana</i>	-0,05	-0,05	-0,76	0,13	-0,21
4 <i>Phyllogramma regani</i>	-0,29	0,57	-0,18	-0,27	0,39
5 <i>Cynoglossus</i> sp.....	0,30	-0,01	0,54	0,42	0,26
6 <i>Pentanemus quinquarius</i>	0,47	-0,70	0,08	-0,04	-0,07
7 <i>Galeoides decadactylus</i>	0,43	-0,20	-0,29	0,47	-0,24
8 <i>Pomadasys jubelini</i>	0,38	-0,45	0,25	-0,05	0,30
9 <i>Brachydeuterus auritus</i>	0,49	0,37	-0,33	0,12	0,20
10 <i>Pseudotolithus typus</i>	-0,06	-0,71	0,00	0,26	0,28
11 <i>Pseudotolithus senegalensis</i>	0,27	0,78	0,16	0,28	-0,14
12 <i>Pseudotolithus elongatus</i>	-0,40	-0,60	-0,37	-0,03	-0,05
13 <i>Pteroscion peli</i>	0,86	0,14	0,07	-0,03	0,14
14 <i>Pentheroscion mbizi</i>	-0,53	0,38	0,09	0,49	0,11
15 <i>Vanstrelemia chiroptalmus</i>	0,00	0,23	0,17	-0,30	0,14
16 <i>Torpedo torpedo</i>	0,27	-0,21	-0,49	-0,01	0,21
17 <i>Raja miraletus</i>	-0,11	0,69	-0,12	-0,24	-0,26
18 <i>Trichiurus lepturus</i>	0,34	0,15	-0,57	-0,02	0,06
19 <i>Dasyatis margarita</i>	-0,64	-0,37	-0,29	0,18	0,06
20 <i>Tetranarce nobiliana</i>	-0,73	0,29	-0,07	0,10	-0,18
21 <i>Drepane africana</i>	-0,30	-0,20	-0,19	-0,42	0,40
22 <i>Polydactylus quadri-filis</i>	-0,26	-0,12	-0,12	0,66	-0,17
23 <i>Hostia moori</i>	-0,53	-0,01	-0,07	-0,14	0,42
24 Requins.....	-0,19	0,30	0,08	0,42	0,44
Valeurs propres.....	4,24	4,00	2,58	2,09	1,65
Pourcentages cumulés de variance extraite.....	18 %	34 %	45 %	53 %	60 %

La répartition des espèces dans le plan défini par les deux premiers axes permet de visualiser graphiquement les relations interspécifiques (fig. 2). Prétendre y reconnaître des groupes importants d'espèces ne paraît guère possible : aucune coupure nette ne s'impose dans l'ensemble considéré. On peut cependant distinguer de petits ensembles constitués par des couples d'espèces dont la proximité relative reste à peu près constante dans les plans des trois premières composantes prises deux à deux. Ces couples sont :

- Torpedo torpedo* (16) et *Galeoides decadactylus* (7)
- Pomadasys jubelini* (8) et *Pentanemus quinquarius* (6)
- Tetranarce nobiliana* (20) et *Pentheroscion mbizi* (14)
- Dasyatis margarita* (19) et *Pseudotolithus elongatus* (12)

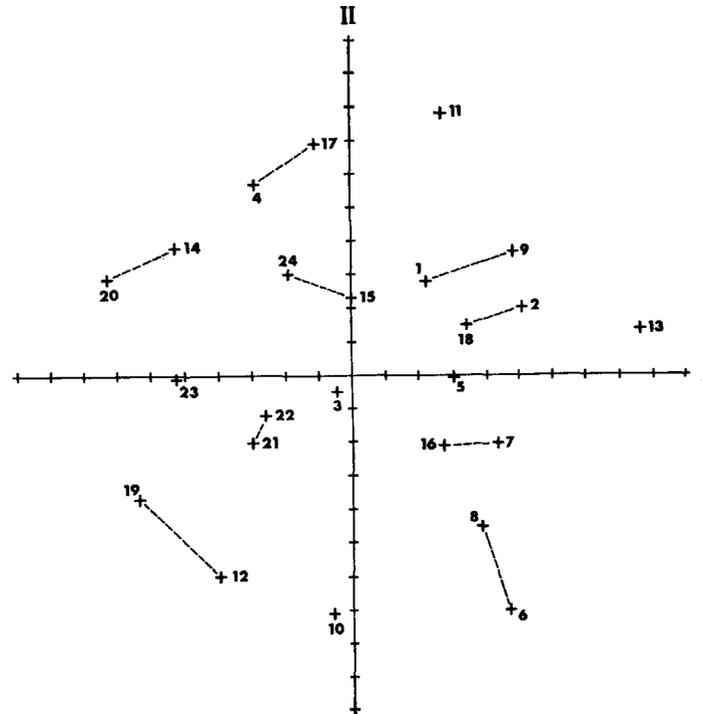


Fig. 2. — Analyse en composantes principales des liaisons entre espèces ; représentation des espèces dans le plan des deux premières composantes. Pour le symbolisme des chiffres se reporter au texte.

Drepane africana (21) et *Polydactylus quadriifilis* (22)
Vanstrelemia chirophtalmus (15) et les Requins (24)
Trichiurus lepturus (18) et *Vomer setapinnis* (2)
Phyllogramma regani (4) et *Raja miraletus* (17)
Arius sp. (1) et *Brachydeuterus auritus* (9)

Chacun des trois premiers axes ordonne les espèces selon un type de classification que l'on peut tenter de rapprocher des classifications écologiques déjà établies sur l'ichtyofaune considérée (tableau V).

La position des espèces suivant la direction des axes principaux, considérés isolément, suggère les remarques suivantes. Le premier axe discrimine les espèces inféodées à la zone d'estuaire de celles vivant préférentiellement dans les eaux néritiques vraies. Ainsi *Tetranarce nobiliana* (20), *Pentheroscion mbizi* (14), *Dasyatis margarita* (19) *Pseudotolithus elongatus* (12) et *Hostia moori* (23), affectés des saturations les plus faibles, ont été pêchés uniquement dans la zone de la radiale de Kipundji (zone d'estuaire), alors que *Pteroscion peli* (13), affecté de la saturation maximale, a été capturé en abondance sur les fonds de la radiale de Pointe Noire.

On peut concevoir le long du deuxième axe un gradient bathymétrique séparant les espèces caractéristiques des faibles profondeurs (saturations minimales) telles que *Pseudotolithus typus* (10), *Pentanemus quinquarius* (6), *Pseudotolithus elongatus* (12), des espèces pêchées à des profondeurs plus importantes (saturations maximales) comme *Pseudotolithus senegalensis* (11) et *Raja miraletus* (17).

Les deux premiers axes mettent donc en évidence une double distribution, horizontale et verticale, de l'ensemble faunistique étudié. Toutefois un certain nombre d'espèces sont peu affectées par les premières composantes : leur position est située près de l'origine des axes. Tel

TABLEAU V

Classement des espèces suivant les valeurs décroissantes des saturations sur les trois premiers axes.

Axe I	Axe II	Axe III
<i>Pteroscion peli</i> (13)	<i>Pseudolithus senegalensis</i> (11)	<i>Cynoglossus</i> sp. (5)
<i>Vomer setapinnis</i> (2)	<i>Raja miraletus</i> (17)	<i>Pomadasyds jubelini</i> (8)
<i>Brachydeuterus auritus</i> (9)	<i>Phyllogramma regani</i> (4)	<i>Vanstrelemia chirophtalmus</i> (15)
<i>Pentaneumus quinquarius</i> (6)	<i>Pentheroscion mbizi</i> (14)	<i>Pseudolithus senegalensis</i> (11)
<i>Galeoides decadactylus</i> (7)	<i>Brachydeuterus auritus</i> (9)	<i>Pentheroscion mbizi</i> (14)
<i>Pomadasyds jubelini</i> (8)	Requins (24)	Requins (24)
<i>Trichiurus lepturus</i> (18)	<i>Tetranarce nobiliana</i> (20)	<i>Pteroscion peli</i> (13)
<i>Cynoglossus</i> sp. (5)	Arius sp. (1)	<i>Pentaneumus quinquarius</i> (6)
<i>Pseudolithus senegalensis</i> (11)	<i>Vanstrelemia chirophtalmus</i> (15)	<i>Pseudolithus typus</i> (10)
<i>Torpedo torpedo</i> (16)	<i>Vomer setapinnis</i> (2)	<i>Tetranarce nobiliana</i> (20)
Arius sp. (1)	<i>Trichiurus lepturus</i> (18)	<i>Hostia moori</i> (23)
<i>Vanstrelemia chirophtalmus</i> (15)	<i>Pteroscion peli</i> (13)	<i>Raja miraletus</i> (17)
<i>Ilisha africana</i> (3)	<i>Cynoglossus</i> sp. (5)	<i>Polydactylus quadrifilis</i> (22)
<i>Pseudolithus typus</i> (10)	<i>Hostia moori</i> (23)	<i>Phyllogramma regani</i> (4)
<i>Raja miraletus</i> (17)	<i>Ilisha africana</i> (3)	<i>Drepane africana</i> (21)
Requins (24)	<i>Polydactylus quadrifilis</i> (22)	<i>Galeoides decadactylus</i> (7)
<i>Polydactylus quadrifilis</i> (22)	<i>Galeoides decadactylus</i> (7)	<i>Dasyatis margarita</i> (19)
<i>Phyllogramma regani</i> (4)	<i>Drepane africana</i> (21)	<i>Brachydeuterus auritus</i> (9)
<i>Drepane africana</i> (21)	<i>Torpedo torpedo</i> (16)	<i>Pseudolithus elongatus</i> (12)
<i>Pseudolithus elongatus</i> (12)	<i>Dasyatis margarita</i> (19)	Arius sp. (1)
<i>Hostia moori</i> (23)	<i>Pomadasyds jubelini</i> (8)	<i>Torpedo torpedo</i> (16)
<i>Pentheroscion mbizi</i> (14)	<i>Pseudolithus elongatus</i> (12)	<i>Vomer setapinnis</i> (2)
<i>Dasyatis margarita</i> (19)	<i>Pentaneumus quinquarius</i> (6)	<i>Trichiurus lepturus</i> (18)
<i>Tetranarce nobiliana</i> (20)	<i>Pseudolithus typus</i> (10)	<i>Ilisha africana</i> (3)

est le cas de *Vanstrelemia chirophtalmus* (15) et *Polydactylus quadrifilis* (22) dont les régressions multilinéaires ne sont pas significatives. Ces espèces peuvent être influencées par un facteur particulier, n'agissant pas sur les autres espèces et qui par conséquent n'apparaît pas dans les composantes principales de l'analyse. On peut également supposer que les gradients des conditions écologiques rencontrés dans cette étude sont inclus dans leurs limites de tolérance.

Enfin nous nous sommes demandés s'il existe une correspondance entre les composantes de l'analyse des données biologiques et les composantes de l'analyse des facteurs du milieu. Le calcul des corrélations entre ces deux types de variables permet d'identifier par un test statistique les principaux axes écologiques responsables de la répartition des espèces. L'expression de cette corrélation est la suivante :

$$r_{C'_i C_j} = \lambda_i^{-1/2} \sum_k l_k r_{C_j F_k}$$

C'_i = composante i des facteurs du milieu.

C_j = composante j des espèces.

λ_i = valeur propre i correspondant à C'_i .

l_k = élément du vecteur propre correspondant à C'_i .

$r_{C_j F_k}$ = corrélation entre la composante C_j et le facteur F_k .

Les valeurs supérieures au seuil admissible pour $P = 0,05$ sont :

$$r_{C_1 C'_2} = 0,67^{**}$$

$$r_{C_2 C'_3} = 0,35^*$$

$$r_{C_3 C'_1} = 0,31^*$$

On constate qu'il existe une bonne correspondance entre la première composante de l'analyse des liaisons interspécifiques et le complexe de facteurs caractérisant la zone de pêche. La seconde composante est liée significativement avec la profondeur de chalutage et la troisième composante traduit l'influence des variations saisonnières. Ces résultats confirment les hypothèses avancées précédemment à l'issue de l'analyse des liaisons interspécifiques.

CONCLUSIONS

Au terme de cette étude, un certain nombre de considérations générales peuvent être avancées concernant l'écologie des poissons de chalut dans les eaux côtières congolaises. La notion de groupement d'espèces ayant des exigences écologiques communes ne semble pas se vérifier sur l'ichtyofaune considérée. Aucune barrière écologique tranchée n'a été mise en évidence par la recherche des affinités cénotiques; l'analyse des liaisons spécifiques a tout au plus fait apparaître des associations formées de couples d'espèces.

Les réactions des différentes espèces, vis-à-vis de l'ensemble des caractéristiques de l'environnement, semblent indépendantes. Les trois premières composantes de la structure multifactorielle sont responsables, en grande partie, de la répartition de l'ensemble faunistique étudié; leur pouvoir explicatif s'identifie, en première approximation, aux influences de la zone de pêche, de la profondeur et des variations saisonnières.

Une telle étude est limitée par la faiblesse des connaissances de l'environnement physico-chimique et biologique. Cette insuffisance nous a conduit à identifier des composantes très générales qui, tout en tenant compte des paramètres hydrologiques, font certainement intervenir d'autres facteurs sur lesquels nous n'avons pas de précisions. Ainsi, les variations saisonnières sont responsables des fluctuations de la biomasse planctonique; le taux de matériel particulaire dans l'eau et la nature du fond sont étroitement liés à la zone de pêche; enfin l'éclairement est fonction de la profondeur.

Les résultats de cette analyse font apparaître que la répartition des espèces considérées est moins affectée par la qualité hydrologique du milieu que par des complexes de facteurs dans lesquels les paramètres « température » et « salinité » interviennent pour une part difficile à apprécier dans l'état actuel de nos connaissances.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur profonde gratitude à M. J. DAGET, Inspecteur de Recherches à l'O.R.S.T.O.M., qui a bien voulu se charger de la critique et des corrections du texte.

Manuscrit reçu le 11 janvier 1970.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- HOTELLING (H.), 1933. — Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *J. Educ. Psychol.*, 24, pp. 417-441 et 498-520.
- IBANEZ (J. J.), 1969. — Application de l'analyse factorielle en planctologie : écologie et taxonomie numérique. *Thèse 3^e cycle, Fac. Sci. Paris*, 130 p. (miméo.).
- KENDALL (M. G.), 1957. — A course in multivariate analysis. London, Griffin, 185 p.

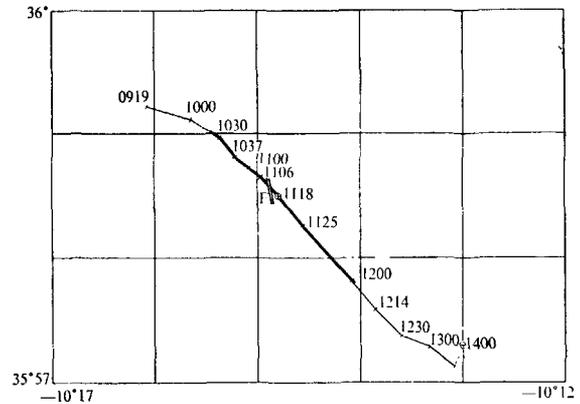


Fig. 1 The track of the troika (heavy line). F is the fault.

seismic zone¹ which is a compressive plate boundary^{2,3}. During this survey a series of deep-sea photographs were obtained near the location of the last major earthquake of February 28, 1969 (magnitude 7.3 to 8.0, location 36.0° N 10.6° W according to the USCGS preliminary report).

The photographs were taken as a troika⁴ was dragged along 3 km of seafloor (depth 4,800 m) in the south-eastern region of this turbidite abyssal plain which shows strong evidence of active tectonic deformation⁵. In all, 450 photographs (one every 12 s) were taken and the troika moved over the seafloor at an average speed of 2 km h⁻¹. Navigation was performed by dead reckoning between satellite fixes, using electromagnetic lock and continuous course recording. The absolute accuracy is about 500 m and the relative accuracy is better than this. The position of the troika with respect to the ship was obtained from the difference in arrival a 12 kHz pinger suspended 50 m above the troika. The absolute position of the troika is thus known with an accuracy better than 800-1,000 m (Fig. 1). The acoustic waves from the pinger also penetrated the mud to an average depth of 50-100 m and gave a reflexion profile below the troika (Fig. 2).

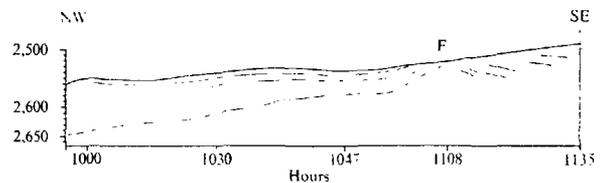


Fig. 2 Restituted seismic profile along the troika track from the 12 kHz pinger. F is the fault.

The path of the troika ran from north-west to south-east and was obliquely incident on the slope of a 200 m hill protruding above the floor of the abyssal plain. In the north-western part (west of 10° 15' W), the seafloor is flat and is typical of a turbidite abyssal plain; there is considerable evidence of animal life (burrowing and so on). Sediments seem to be made of ooze and silt; this is confirmed by a study of cores obtained in this plain which indicate a very high turbidite sedimentation rate (Needham and Pastouret, personal communications). A high sedimentation rate is also indicated by the presence of umbellulas (Laubier, personal communication). After 1050 h on Figs. 1 and 2 the floor begins to warp and the effect becomes progressively greater until 1106 h; at this time, the troika begins to climb a steep escarpment a few metres high. The photograph at 1108 h shows a fault plane oblique to the direction of the troika (Fig. 3). The vertical offset is about 120 cm and the visible is about

Deep Sea Photographs of an Active Seismic Fault Zone near Gibraltar Straits

IN October 1969, the RV Jean Charcot made a geophysical survey of the Horseshoe seamount and abyssal plain west of Gibraltar Straits and south-west of Cape Saint-Vincent, Portugal; this is the eastern end of the Azores-Gibraltar

8 m; the direction is slightly west of north. Gliding traces perpendicular to the fault can be seen on the up-side, which suggests that part of the recent sediment cover has slumped down the fault. The freshness of the gliding traces in this area of fast sedimentation (about 10 cm per thousand years) and the absence of signs of burrowing indicate that the movement along the fault has been very recent.

Fig. 4 shows a close-up of the fault plane and many holes can be seen. These are the only examples of such holes in the whole series of photographs. (G. P. has seen similar holes, with bubbles of gas coming out of them, during a bathyscaphe dive along the Provence continental slope. He suggests that they are caused by degassing of the sediment.) The fact that these holes seem unperturbed is further evidence of very recent movement. From 1108 h to 1200 h the sea bottom is warped to the extent of a few metres (Fig. 5) and has a relatively smooth surface. The succession of photographs suggests that the track followed by the troika was nearly parallel to a major escarpment on top of which is the fault plane photographed at 1108 h. The escarpment was apparently created by normal faulting accompanied by large scale slumping.

A flexotir profile was obtained across the edge of the hill. The hill corresponds to an uplift of a zone opaque to acoustic waves and on each side the upper layer of post-Miocene turbidites⁴ is upbent. The opaque zone consists of semi-consolidated sediments with a seismic velocity of 3-4 km s⁻¹ which have been heavily tectonized⁵. This confirms our interpretation. The hill is formed by the uplift of this mass of tectonized sediments which is accompanied by normal faults along the edges, upbending of the adjacent turbidites and some slumping.

There seems to be good agreement between the conclusions drawn from deep sea photographs, bathymetry, seismic profiling of the upper cover from the seafloor and flexotir profiling from the sea surface. A detailed mapping of the present

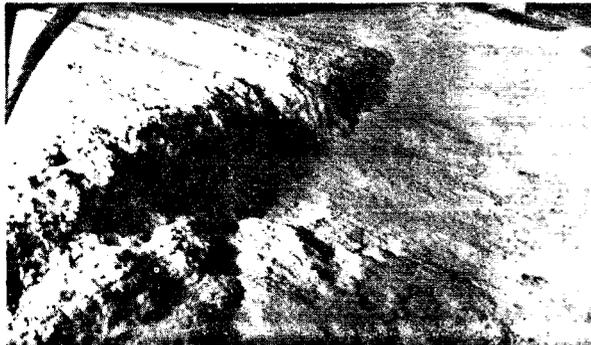


Fig. 3 Photograph of the fault taken at 1108 h.



Fig. 4 Close-up of the fault plane and the holes due to degassing of the sediment.

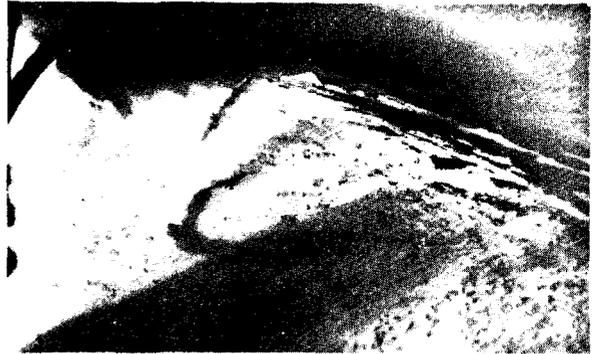


Fig. 5 Photograph taken at 1120 h showing the large scale warping of the seafloor over the slope of the hill.

tectonics of the upper sedimentary cover could be undertaken using this type of systematic surveying.

It has, however, been shown that the fault plane mechanisms along this plate boundary are thrust faulting toward the north^{3,6}. Le Pichon *et al.*⁵ have confirmed that this abyssal plain can be interpreted as an incipient trench. This apparent contradiction between deep crustal tectonics and superficial tectonics can be explained by the difference in mechanical properties of the crust and sedimentary cover. As the basement is being swallowed along the zone on thrusting at the bottom of the abyssal plain, the incompetent and lighter sedimentary cover overflows on each side of the plain. Deep sea studies of the microseismicity may also give some indications on the tectonics of the sedimentary cover and such a study is in progress.

We thank the scientific party on board RV Jean Charcot for their help and J. Bonnin and J. L. Olivet who read our manuscript.

X. LE PICHON
J. M. AUZENDE
G. PAUTOT
S. MONTI
J. FRANCHETEAU

Centre Océanologique de Bretagne,
BP 337,
Brest 29 N

Received December 10; revised December 31, 1970.

¹ Rothe, J. P., *Coll. Intern. Geol. Geophys. Sous Marine (CNRS)* (Villefranche, 1968, in the press).

² Le Pichon, X., *J. Geophys. Res.*, **73**, 3661 (1968).

³ McKenzie, D. P., *Nature*, **226**, 239 (1970).

⁴ Alinat, J., Bellaïche, G., Giermann, G., Leenhardt, O., and Pautot, G., *Bull. Inst. Oceanog. Monaco*, **69**, 1400 (1970).

⁵ Le Pichon, X., Bonnin, J., and Pautot, G., *Proc. Upper Mantle Symposium* (Flagstaff, US, 1970).

⁶ Banghar, A. R., and Sykes, L. R., *J. Geophys. Res.*, **74**, 632 (1969).