

VIE ET MILIEU

BULLETIN DU LABORATOIRE ARAGO

SÉRIE B : OCÉANOGRAPHIE

VOLUME XIX

ANNÉE 1968

FASCICULE 2 - B

SOMMAIRE

B. SAINT-GUILY. Diffusion verticale dans les eaux superficielles de l'Ouest de la Mer Méditerranée et du Sud de la Mer Rouge	225
Colette VERGNAUD GRAZZINI. Analyses isotopiques de faunes malacologiques plio-pléistocènes des environs de Pise. (La paléocéologie de quelques faunes à Gastéropodes et Lamellibranches durant la période de transition plio-pléistocène d'après les analyses isotopiques de l'oxygène des tests.)	233
H. GOT, A. GUILLE, A. MONACO et J. SOYER. Carte sédimentologique du plateau continental au large de la côte catalane française (P.-O.)	273
F. GADEL. Sur un exemple d'évolution lagunaire : l'étang de Saint-Nazaire (Roussillon)	291
Alain GUILLE et Jacques SOYER. La faune benthique des substrats meubles de Banyuls-sur-Mer. Premières données qualitatives et quantitatives ...	323
Alain THIRIOT. Les Cladocères de Méditerranée occidentale. I. - Cycle et répartition des espèces du genre <i>Evadne</i> à Banyuls-sur-Mer (golfe du Lion), 1967	361
J. TUZO WILSON. — Révolution dans les Sciences de la Terre	395
<i>Documents faunistiques et écologiques :</i>	
GLÉMAREC. <i>Siboglinum atlanticum</i> , Pogonophore nouveau pour le golfe de Gascogne	425
Lucien LAUBIER. Présence au Portugal de deux Annélides Polychètes interstitielles	426
<i>Analyses d'ouvrages</i>	429

MASSON & C^{ie}

120, Bd St-Germain, Paris-VI

Publication bimestrielle

VIE ET MILIEU

BULLETIN DU LABORATOIRE ARAGO

UNIVERSITÉ DE PARIS - BIOLOGIE MARINE

Vie et Milieu paraît par fascicules séparés tous les deux mois. Chaque volume annuel comprenant six fascicules, contient environ 1 200 pages. Les travaux publiés sont répartis en trois séries :

Série A : Biologie marine; Série B : Océanographie; Série C : Biologie terrestre.

Pour chaque tomatison, deux fascicules sont en principe réservés à chacune des trois séries. La succession des trois séries au cours de l'année peut être sujette à variations d'un tome au suivant. La Rédaction se réserve de modifier la répartition en trois sections suivant l'abondance relative des manuscrits acceptés pour chaque série.

Les manuscrits sont reçus par le Professeur P. DRACH, Directeur de la Publication, ou M. L. LAUBIER, Secrétaire de Rédaction (Laboratoire Arago, Banyuls-sur-Mer, 66, France). Ils ne seront acceptés définitivement qu'après avoir été soumis au Comité de Rédaction spécialisé.

Membres des Comités de Rédaction

Série A : Biologie marine

B. BATTAGLIA (Padoue, Italie), C. BOCQUET (Paris, France), J. FELDMANN (Paris, France), J. FOREST (Paris, France), P. LUBET (Caen, France), J. MAETZ (C.E.A., Villefranche-sur-Mer, France), M. PAVANS DE CECCATTY (Lyon, France), G. PETIT (Paris, France), G. TEISSIER (Paris, France), O. TUZET (Montpellier, France), E. VIVIER (Lille, France).

Série B : Océanographie

M. BACESCO (Bucarest, R.P. Roumanie), M. BLANC (Paris, France), P. BOUGIS (Paris, France), J. BROUARDEL (Monaco), P. DRACH (Paris, France), C. DUBOUL-RAZAVET (Perpignan, France), A. IVANOFF (Paris, France), R. MARGALEF (Barcelone, Espagne), J.M. PÉRÈS (Marseille, France), J. POCHON (Paris, France).

Série C : Biologie terrestre

E. ANGELIER (Toulouse, France), C. DELAMARE DEBOUTTEVILLE (Paris, France), W. KÜHNELT (Vienne, Autriche), M. KUNST (Prague, Tchécoslovaquie), M. LAMOTTE (Paris, France), B. POSSOMPES (Paris, France), P. REY (Toulouse, France), H. SAINT-GIRONS (Paris, France), C. SAUVAGE (Montpellier, France), M. VACHON (Paris, France).

L'abonnement part du n° 1 de chaque année (6 fascicules par an).

Les abonnements sont reçus par la Librairie MASSON & Cie, 120, boulevard Saint-Germain, Paris VI°.

France et zone franc (Pays acceptant le tarif d'affranchissement intérieur français pour les périodiques) 80 FF

Règlement par chèque bancaire ou chèque postal (C.C.P. 599, Paris) ou mandat.

Belgique et Luxembourg 911 FB

Autres pays 85 FF

Prix payables dans les autres monnaies au cours des règlements commerciaux du jour du paiement, par l'une des voies suivantes : chèque sur Paris d'une banque étrangère; virement par banque sur compte étranger; mandat international.

Prix du fascicule séparé 18 FF

Changement d'adresse 0,50 FF

VIE ET MILIEU

BULLETIN DU LABORATOIRE ARAGO

SÉRIE B : OCÉANOGRAPHIE

VOLUME XIX

ANNÉE 1968

FASCICULE 2 - B

SOMMAIRE

B. SAINT-GUILY. Diffusion verticale dans les eaux superficielles de l'Ouest de la Mer Méditerranée et du Sud de la Mer Rouge	225
Colette VERGNAUD GRAZZINI. Analyses isotopiques de faunes malacologiques plio-pléistocènes des environs de Pise. (La paléocéologie de quelques faunes à Gastéropodes et Lamellibranches durant la période de transition plio-pléistocène d'après les analyses isotopiques de l'oxygène des tests.)	233
H. GOT, A. GUILLE, A. MONACO et J. SOYER. Carte sédimentologique du plateau continental au large de la côte catalane française (P.-O.)	273
F. GADEL. Sur un exemple d'évolution lagunaire : l'étang de Saint-Nazaire (Roussillon)	291
Alain GUILLE et Jacques SOYER. La faune benthique des substrats meubles de Banyuls-sur-Mer. Premières données qualitatives et quantitatives ...	323
Alain THIRIOT. Les Cladocères de Méditerranée occidentale. I. - Cycle et répartition des espèces du genre <i>Evadne</i> à Banyuls-sur-Mer (golfe du Lion), 1967	361
J. TUZO WILSON. — Révolution dans les Sciences de la Terre	395
<i>Documents faunistiques et écologiques :</i>	
GLÉMAREC. <i>Siboglinum atlanticum</i> , Pogonophore nouveau pour le golfe de Gascogne	425
LUCIEN LAUBIER. Présence au Portugal de deux Annélides Polychètes interstitielles	426
<i>Analyses d'ouvrages</i>	429

MASSON & Cie

120. Bd St-Germain, Paris-VI

Publication bimestrielle

130

En effet, J. Jouan et H. Wronski (1967) ont montré que la vitesse de diffusion horizontale est de l'ordre de $1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. On peut alors admettre le mouvement moyen étant par conséquent dû à une équivalence entre le flux de sel apporté par convection horizontale et le flux de sel perdu par diffusion verticale. Dans ces conditions l'équation de conservation peut s'écrire sous la forme suivante :

DIFFUSION VERTICALE DANS LES EAUX SUPERFICIELLES DE L'OUEST DE LA MER MÉDITERRANÉE ET DU SUD DE LA MER ROUGE

par B. SAINT-GUILY

Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris
Laboratoire Arago, Banyuls-sur-Mer

L'existence de la turbulence dans les mouvements naturels est liée aux nombres de REYNOLDS élevés qui les caractérisent. On a ainsi dans les océans un régime de courants dans lequel les vitesses fluctuent continuellement et de façon désordonnée autour de valeurs moyennes. Les trajectoires des particules fluides sont alors enchevêtrées, et il en résulte un mélange intense. La turbulence joue donc un rôle déterminant dans les échanges mécaniques et thermiques, et dans la diffusion des sels de l'eau de mer. Le mécanisme de cette diffusion turbulente est complexe et s'effectue dans une gamme d'échelles assez large. Une part essentielle de ce mécanisme se situe à une échelle relativement petite, de l'ordre du mètre. Ce domaine est celui de la structure fine de la turbulence, et son étude nécessite des mesures directes des fluctuations de vitesse et de température, à l'aide d'outils sensibles et précis.

Par contre, on peut choisir un point de vue global et considérer la diffusion moyenne à une échelle plus grande. On détermine alors, de façon indirecte, des valeurs du coefficient de diffusion verticale en étudiant la distribution moyenne de la température ou de la salinité. Les régions où existe une veine d'eau de salinité spécifique, animée d'une vitesse moyenne sensible, conviennent bien à ce genre d'analyse. Si la vitesse du courant n'est pas trop faible, la diffusion horizontale peut être regardée comme négligeable.

En effet, J. JOSEPH, H. SENDNER et H. WEIDMANN (1964) ont montré que la vitesse de diffusion horizontale est de l'ordre de 1 cm S^{-1} . On peut alors admettre, le mouvement moyen étant permanent, qu'il y a équilibre entre le flux de sel apporté par convection horizontale, et le flux de sel perdu par diffusion verticale. Dans ces conditions l'équation de conservation peut s'écrire sous la forme suivante :

$$u \frac{\partial S}{\partial x} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial S}{\partial z} \right),$$

où S désigne la salinité, k le coefficient de diffusion verticale, u la composante horizontale et w la composante verticale de la vitesse; l'axe ox est orienté dans le sens de la veine de courant. Si on intègre cette équation depuis la profondeur h^* correspondant au maximum ou au minimum de salinité, on obtient la relation

$$k \frac{\partial S}{\partial z} = \int_{h^*}^z \left(u \frac{\partial S}{\partial x} + w \frac{\partial S}{\partial z} \right) dz,$$

qui permet de déterminer les valeurs du coefficient k . Cette méthode a été employée localement par J.P. JACOBSEN (1913) et par d'autres. Elle est appliquée ici de façon globale, c'est-à-dire sur des valeurs moyennes représentatives d'une région assez étendue.

DIFFUSION EN MER D'ALBORAN ET DANS L'OUEST DE LA MER MÉDITERRANÉE

Une première région a été choisie dans la mer d'Alboran et dans la partie ouest de la Méditerranée occidentale. Les observations faites par le « Passeur du Printemps » au mois d'août 1957 ont été utilisées (Fig. 1). Les valeurs moyennes des salinités ont été déterminées à partir des stations Nos 701 à 704, 706 à 709 et 713 à 733. Dans la couche voisine de la surface, le courant général est dirigé vers l'Est. Le courant géostrophique correspondant u , a été calculé à l'aide des couples de stations Nos 713 et 717, 718 et 721, 722 et 725, 726 et 729, 730 et 733. On a admis que la profondeur moyenne était de 1 000 m et que le flux total était nul. Dans ces conditions le flux superficiel vers l'Est, sur une largeur de 60 milles, est égal à $1.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$; et cette valeur correspond bien à celle du flux entrant à Gibraltar $1.0 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$ (H. LACOMBE, ... 1964). La vitesse verticale géostrophique est alternativement positive et négative; elle est négligeable en moyenne. Les données

du calcul et les résultats sont groupés dans le tableau I. La profondeur marquée d'une astérisque correspond au minimum de la salinité, et E désigne la stabilité :

$$E = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

TABLEAU I
Méditerranée Occidentale (partie Ouest)

Profondeur m	S ‰	$\frac{\partial S}{\partial z}$	$\frac{\partial^2 S}{\partial z^2}$	$\frac{\partial S}{\partial x}$	u cm S ⁻¹	E cm ⁻¹	k cm ² S ⁻¹
20	36.67	+ 0.17 10 ⁻⁴	+ 2.0 10 ⁻⁸	+ 0.7 10 ⁻⁸	+ 16.	63.10 ⁻⁸	3.2
* 25	36.67	0	+ 4.5	+ 0.7	+ 15.	65.	* 2.5
30	36.67	- 0.3	+ 3.5	+ 0.8	+ 15.	60.	2.0
50	36.81	- 0.7	+ 1.5	+ 0.8	+ 12.	22.	3.6
75	37.01	- 1.0	+ 1.0	+ 0.7	+ 9.	19.	4.8
100	37.29	- 1.1	-	+ 0.6	+ 5.	16.	5.5
150	37.81	- 0.9	-	+ 0.3	- 0.5	10.	7.5
200	38.19	- 0.5	-	- 0.1	- 2.5	5.	14.

Les petites valeurs du coefficient de diffusion correspondent bien à la pycnocline, c'est-à-dire au maximum de stabilité, et s'accordent avec les valeurs obtenues par ailleurs (B. SAINT-GUILY, 1966).

Le gradient horizontal de salinité étant généralement mal défini, la précision n'est pas très bonne. Au-dessous de la profondeur de 100 m, la vitesse moyenne et le gradient horizontal de salinité sont faibles, et les valeurs de k sont de ce fait imprécises.

DIFFUSION DANS LE SUD DE LA MER ROUGE

La région sud de la mer Rouge présente une situation tout à fait comparable au moins durant l'hiver. Aussi un calcul semblable a été effectué à l'aide des observations faites par M. MENACHE à bord du « Cdt Robert Giraud » durant l'hiver 1962-1963 (voir fig. 2). Les valeurs moyennes des salinités ont été déterminées à partir des stations N^{os} 461 à 472, et 475 à 483. Pour calculer les courants géostrophiques u et w, on a utilisé les couples de stations suivants : N^{os} 463 et 465, 467 et 469, 470 et 472, 476 et 478, 479 et 483; on a choisi une profondeur moyenne égale à 500 m, et on a admis que le flux total était nul. Dans ces conditions on obtient un flux moyen superficiel vers le Nord, sur une largeur de 60 milles, égal à 0.6 10⁶ m³ S⁻¹. Le courant vertical géostro-

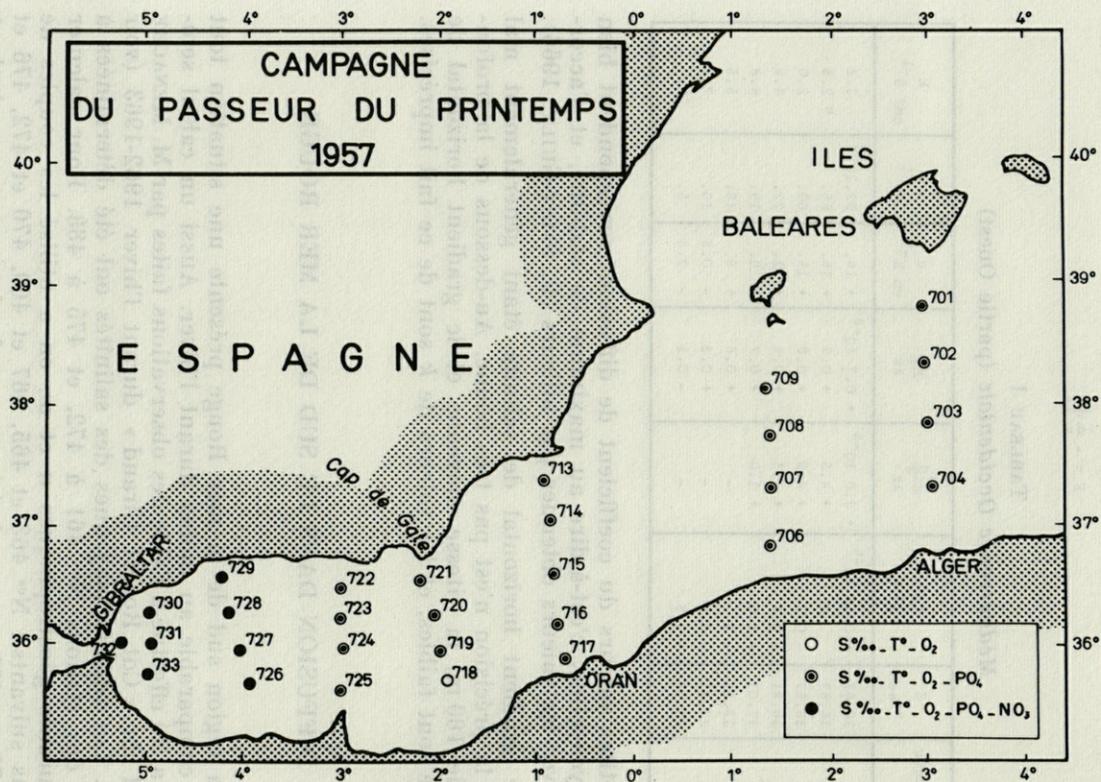


Fig. 1. — Stations utilisées pour le calcul du coefficient de diffusion dans la partie ouest de la Méditerranée.

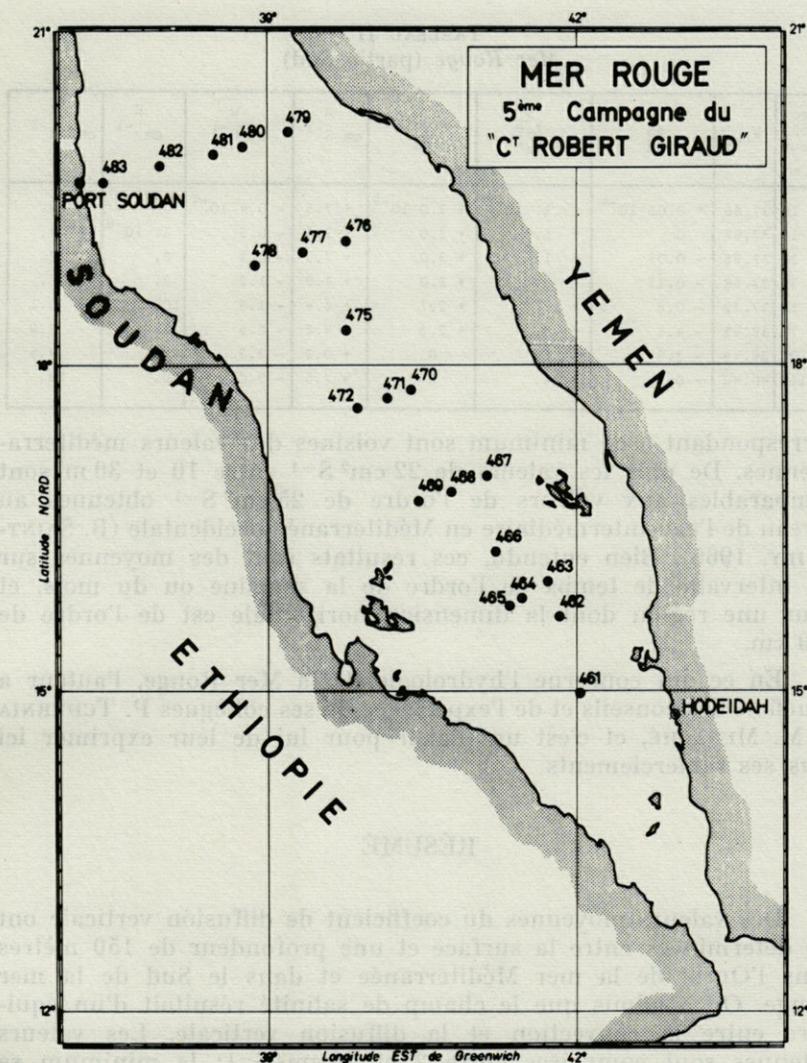


FIG. 2. — Stations utilisées pour le calcul du coefficient de diffusion dans la partie sud de la mer Rouge.

phique n'est pas négligeable : il indique une plongée avec un ordre de grandeur correct. Les données et les résultats du calcul sont groupés dans le tableau II. La profondeur marquée d'une astérisque correspond au minimum de la salinité.

Là encore le minimum du coefficient de diffusion se trouve bien au niveau de la pycnocline (entre 75 et 100 m), et les valeurs

TABLEAU II
Mer Rouge (partie Sud)

Pro- fon- deur m	S ‰	$\frac{\partial S}{\partial z}$	$\frac{\partial^2 S}{\partial z^2}$	$\frac{\partial S}{\partial x}$	u cm S ⁻¹	w cm S ⁻¹	E cm ⁻¹	k cm ² S ⁻¹
10	37.66	+ 0.05 10 ⁻⁴	+ 1. 10 ⁻⁸	+ 3.0 10 ⁻⁸	+ 7.5	- 0.4 10 ⁻⁴	0	22.
* 15	37.66	0	+ 1.	+ 3.0	+ 7.5	- 0.6	1. 10 ⁻⁸	* 22.
20	37.66	- 0.05	+ 1.	+ 3.0	+ 7.5	- 0.8	2.	22.
30	37.68	- 0.15	+ 1.	+ 3.0	+ 7.0	- 1.2	3.	22.
50	37.72	- 0.8	+ 10.	+ 2.7	+ 6.8	- 1.9	10.	9.1
75	38.41	- 4.2	+ 4.	+ 2.3	+ 4.2	- 2.6	35.	2.9
100	39.49	- 3.6	- 5.	0	+ 0.3	- 3.3	47.	4.5
150	40.40	- 0.7	- 4.	0	- 2.5	- 3.0	10.	28.

correspondant à ce minimum sont voisines des valeurs méditerranéennes. De plus les valeurs de 22 cm² S⁻¹ entre 10 et 30 m sont comparables aux valeurs de l'ordre de 25 cm² S⁻¹ obtenues au niveau de l'eau intermédiaire en Méditerranée occidentale (B. SAINT-GUILY, 1966). Bien entendu, ces résultats sont des moyennes sur un intervalle de temps de l'ordre de la semaine ou du mois, et pour une région dont la dimension horizontale est de l'ordre de 100 km.

En ce qui concerne l'hydrologie de la Mer Rouge, l'auteur a bénéficié des conseils et de l'expérience de ses collègues P. TCHERNIA et M. MENACHÉ, et c'est un plaisir pour lui de leur exprimer ici tous ses remerciements.

RÉSUMÉ

Des valeurs moyennes du coefficient de diffusion verticale ont été déterminées entre la surface et une profondeur de 150 mètres dans l'Ouest de la mer Méditerranée et dans le Sud de la mer Rouge. On a admis que le champ de salinité résultait d'un équilibre entre la convection et la diffusion verticale. Les valeurs obtenues sont comprises entre 2 et 28 cm² S⁻¹; le minimum se situe au niveau de la pycnocline.

SUMMARY

Between the surface and a depth of 150 metres in the Western part of the Mediterranean Sea and South of the Red Sea mean values of the eddy diffusion coefficient have been

obtained. It has been assumed that the salinity field is occurring as a result of a balance between advection and vertical diffusion. The computed values range from 2 to 28 cm² S⁻¹; the minimum is located at the pycnocline's level.

ZUSAMMENFASSUNG

Im westlichen Mittelmeer und im südlichen Teil des roten Meeres wurden mittlere Werte des Koeffizienten der vertikalen Diffusion zwischen der Oberfläche und 150 Meter Tiefe bestimmt. Man hat angenommen, dass das Salzgehaltfeld als Resultat eines Gleichgewichtes zwischen Convection und vertikaler Diffusion entstand. Es wurden Werte von 2 bis 28 cm² S⁻¹ erhalten; das Minimum liegt auf dem Niveau der Pyclocline.

BIBLIOGRAPHIE

- JACOBSEN, J.P., 1913. Beitrag zur Hydrographie der dänischen Gewässer. *Meddr Kommn Havunders.*, Ser. Hydr., V, 2 (2) (Copenhagen).
- JOSEPH, J., H. SENDNER et H. WEIDMANN, 1964. Untersuchung über die horizontale Diffusion in der Nordsee. *Dt. hydrogr. Z.*, 17 (2) : 57-75.
- LACOMBE, H., P. TCHERNIA, C. RICHEL, L. GAMBERONI. Deuxième contribution à l'étude du régime du détroit de Gibraltar. *Cah. océanogr.*, 17 (4) : 283-327.
- MÉNACHÉ, M. Cinquième Campagne du « Cdt Robert Giraud » de décembre 1962 à février 1963. Non publié.
- « PASSEUR DU PRINTEMPS », 1960. Stations hydrologiques effectuées dans le cadre des travaux de l'année géophysique internationale. *Trav. Cent. Rech. Etud. océanogr. Paris*, 3 (4) : 17-22.
- SAINT-GUILY, B., 1963. On vertical heat convection and diffusion in the South Atlantic. *Dt. hydrogr. Z.*, 16 (6) : 263-268.
- SAINT-GUILY, B., 1966. Diffusion verticale au niveau de l'eau intermédiaire. *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, 66 (1367) : 12 p.
- SAINT-GUILY, B., 1966. Diffusion thermique turbulente au niveau de la pycnocline. *Rapports et Procès-Verbaux Commn intern. Mer Méditerran.*, 18 (3) : 865-869.

Reçu le 27 mars 1968.

— 221 —

puis une faune froide à Cyprinae ne se montre plus subsistant;
selon les recommandations du XVIII^e Congrès Géologique Inter-
national (Londres 1948), la limite plio-pléistocène devrait corres-
pondre à l'apparition des premiers indices de refroidissement
discernables dans la faune marine; cela implique la présence éven-
tuelle :

**ANALYSES ISOTOPIQUES
DE FAUNES
MALACOLOGIQUES PLIO-PLÉISTOCÈNES
DES ENVIRONS DE PISE ***

par Colette VERGNAUD GRAZZINI

*Centre de Recherches de Géodynamique sous-marine
06 - Villefranche-sur-Mer*

De ces trois catégories d'espèces, la première, caractérisée notamment
ne s'est pas à être une limite paléontologique purement
progressive des espèces chaudes s'est vérifiée à partir du Miocène supé-
rieur.

La paléoécologie de quelques faunes à Gastéropodes et Lamelli-
branches durant la période de transition plio-pléistocène d'après les
analyses isotopiques de l'oxygène des tests.

I. — LA LIMITE CLIMATIQUE
DU PLÉISTOCÈNE INFÉRIEUR
DANS LE BASSIN MÉDITERRANÉEN

Malgré de remarquables progrès réalisés depuis une dizaine
d'années, l'étude du Quaternaire méditerranéen soulève encore bien
des problèmes, liés à celui de la définition des étages : leur ter-
minologie, basée sur les « niveaux » fait trop souvent appel à
l'évolution des faunes malacologiques marines. En ce qui concerne
la coupure Pliocène-Pléistocène en particulier, l'ancien schéma
classique représentant successivement une faune pliocène chaude

* Les mesures ont été effectuées au Laboratoire de Géologie Nucléaire de
Pise dans le cadre d'un stage de recherche sur les isotopes stables, stage financé
par une bourse de l'O.C.D.E. (1964-1965).

puis une faune froide à Cyprines ne se montre plus satisfaisant; selon les recommandations du XVIII^e Congrès Géologique International (Londres 1948), la limite plio-pléistocène devrait correspondre à l'apparition des premiers indices de refroidissement décelables dans la faune marine; cela implique la présence éventuelle :

1°) des espèces tertiaires qui ne survivent pas au Pliocène et sont généralement considérées comme des espèces de mers chaudes (voisines des faunes tropicales) en voie d'extinction; ce sont par exemple : *Turritella tornata* (Br.), *Arca pectinata* (Br.)...

2°) des espèces immigrées de l'Atlantique septentrional, auxquelles on a attribué la signification d'hôtes de mer froide, comme *Cyprina islandica* L., *Buccinum humphreysianum* (Schr.) et, pour les Foraminifères : *Globigerina pachyderma* (Ehrenb.) ou *Anomalina balthica* (Schr.);

3°) des espèces qui aujourd'hui vivent dans la Méditerranée à une plus grande profondeur que celle que semblent indiquer les couches qui les contiennent. Ces dernières espèces ont la signification d'hôtes de mer profonde : la limite supérieure de leur habitat se serait déplacée vers la surface par suite d'un changement dans la stratification thermique des eaux marines.

De ces trois catégories d'espèces, la première, considérée isolément, ne suffit pas à fixer une limite paléontologique puisqu'une diminution progressive des espèces chaudes s'est vérifiée à partir du Miocène supérieur, à travers le Pliocène et durant le Quaternaire. Cette catégorie devient pourtant significative quand on considère les espèces qui se sont éteintes avec l'apparition des hôtes de mer froide et des hôtes de mer profonde.

L'apparition des éléments nordiques ne constitue pas non plus une réponse immédiate aux premiers signes de refroidissement puisqu'elle est postérieure à celle des espèces d'habitat profond : la remontée en surface de ces dernières révèle déjà un certain degré de rafraîchissement des eaux marines; elle ne peut toutefois pas être utilisée pour déterminer une coupure stratigraphique puisqu'il est impossible de saisir le moment précis où la limite supérieure d'habitat de ces espèces a commencé à se modifier.

Il ressort de ce qui précède que le seul examen paléontologique des faunes marines ne permet pas de situer le moment exact où l'approche de la première crise glaciaire eut des répercussions en Méditerranée. L'étude des faunes doit être conduite en considérant leur succession non plus seulement en fonction de niveaux stratigraphiques de significations différentes, mais aussi en fonction des conditions climatiques, hydrologiques et de leurs variations dans le domaine méditerranéen au cours du Pliocène et du Pléistocène.

L'analyse isotopique des fossiles semblait devoir apporter des précisions d'ordre paléothermométrique intéressantes.

H.C. UREY et ses collaborateurs (UREY, 1947; Mc CREA, 1950; UREY *et al.*, 1951; EPSTEIN *et al.*, 1951, 1953) ont montré comment on pouvait, à partir de la mesure du rapport isotopique $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ des carbonates calculer la température de précipitation de ces carbonates *. Ce calcul n'est cependant possible que si la composition isotopique A de l'eau où précipite le carbonate, est connue. A l'exception de quelques cas particuliers, on peut admettre que la concentration isotopique des eaux marines n'a guère varié au cours des temps et est restée voisine de celle du SMOW.

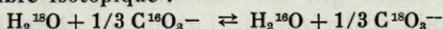
Il est alors possible d'utiliser les fossiles carbonatés marins pour les mesures de paléotempératures.

Des analyses effectuées à partir de Foraminifères, inclus dans les sédiments d'un carottage profond en Méditerranée orientale (carotte 189), ont ainsi permis à EMILIANI (1955) de mettre en évidence une alternance de stades plus chauds et plus froids qu'il pense pouvoir paralléliser avec des glaciaires et des interglaciaires.

Des fluctuations de température ont été également notées dans les séries pliocènes et calabriennes de la Calabre (EMILIANI, MAYEDA et SELLI, 1961). Ceci confirme l'hypothèse que des variations de température dues aux changements climatiques quaternaires ont eu lieu en Méditerranée comme dans les eaux marines en général (EMILIANI et MAYEDA, 1961).

* La composition isotopique des éléments, en particulier des plus légers, est sujette à des variations non négligeables, fonctions des conditions physiques dans lesquelles se sont formés ces composés naturels.

Dans le cas de bicarbonates dissous dans l'eau, l'ion bicarbonate en solution est capable d'échanger des atomes d'oxygène avec l'eau jusqu'à ce qu'un équilibre soit réalisé; à l'équilibre le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ du bicarbonate est différent du rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de l'eau. Si l'eau subit ensuite un fractionnement isotopique, le bicarbonate verra sa composition isotopique modifiée. Le carbonate qui pourra précipiter conservera dans son oxygène la trace de la composition isotopique de l'eau où il a pris naissance, de sorte que tout se passe comme s'il existait l'équilibre isotopique :



Cet équilibre est caractérisé par son facteur de fractionnement α :

$$\alpha = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) \text{CO}_3^-}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) \text{H}_2\text{O}}$$

α est en première approximation égal à la constante d'action de masse de l'équilibre. α est une fonction de la température.

Le travail théorique de McCREA (1950) confirmé par les études expérimentales de EPSTEIN *et al.* (1951, 1953) a permis d'établir une relation entre la composition isotopique δ du carbonate, repérée par rapport au standard PDB 1 - Chicago (composition isotopique de l'oxygène de la calcite du rostre de *Belemnitella americana* du Crétacé supérieur de la « Pedee Formation of South Carolina »), la composition isotopique A de l'eau au moment de la précipitation, repérée par rapport au SMOW (composition isotopique moyenne de l'eau océanique actuelle) et la température t exprimée en degré Celsius, pour un carbonate déposé à l'équilibre. Cette équation, telle qu'elle a été modifiée par H. CRAIG au congrès de Spolète (1965) :

$$t = 16.9 - 4.2 (\delta - A) + 0.13 (\delta - A)^2$$

est la base de la détermination des paléotempératures, mais implique la connaissance de A.

On pouvait espérer que l'analyse isotopique de fossiles appartenant à la période de transition plio-pléistocène donne des renseignements utiles non seulement sur les modifications climatiques survenues en Méditerranée, mais aussi sur le comportement des diverses espèces au cours du passage d'une période relativement chaude à une période plus froide.

Cette étude nécessitait la comparaison de faunes semblables appartenant à différents niveaux du Pliocène supérieur et du Pléistocène inférieur. Mais cette comparaison se heurtait à deux groupes de difficultés :

1° La détermination de la température par le moyen de l'équation de EPSTEIN *et al.* (1953) où la composition isotopique de l'eau de mer est assimilée au SMOW n'est pas possible à partir de faunes méditerranéennes quaternaires : la composition isotopique de la Méditerranée a varié au cours des temps et subi les effets des changements de salinité et de courants marins et par conséquent des différents échanges entre les eaux méditerranéennes et atlantiques au niveau du détroit de Gibraltar (MARS, 1962 : hypothèse de l'inversion des courants). Il est difficile d'évaluer l'influence de ces divers facteurs et d'établir une valeur approximative de la concentration en isotope lourd ^{18}O à une époque donnée. A ces variations qui concernent la masse totale des eaux du bassin se superposent des variations locales non négligeables dans le cas d'associations faunistiques de faciès littoral *s.s.* ou même élitlitoral (PÉRÈS et PICARD, 1955).

2° Les variations climatiques ont pu exercer des pressions de sélection et provoquer des différenciations écologiques. L'approche de la première crise glaciaire a pu aussi déterminer des variations dans le comportement biologique des espèces, principalement chez celles qui sécrétaient leur carbonate de calcium durant une période restreinte de l'année et étaient de ce fait plus sensibles aux changements climatiques.

La méthode des paléotempératures appliquée aux espèces plio-pléistocènes de Méditerranée présente donc des difficultés d'interprétation.

Le but principal de cette étude est de vérifier la limite de validité des résultats obtenus à partir de l'analyse de fossiles de faciès littoral *s.l.* et de préciser l'apport de la méthode des paléotempératures dans ce cas particulier.

Les faunes analysées ici proviennent de localités diverses et possèdent en commun un certain nombre d'espèces :

— à l'intérieur d'une même faune, les valeurs des compositions isotopiques se répartissent sur un intervalle d'amplitude variable dont les extrémités ne correspondent pas obligatoirement aux températures

extrêmes de l'année (moyenne de la saison la plus froide et moyenne de la saison la plus chaude); en effet, dans le cas de fossiles, les valeurs les plus négatives ne sont pas toujours significatives du point de vue climatique et impliquent d'autres phénomènes;

— pour une association donnée, on peut classer les espèces en espèces d'été, espèces d'hiver et espèces « intermédiaires », suivant la période choisie pour la formation du carbonate de calcium;

— si l'on suit le comportement des diverses espèces, on constate que la période correspondant à la sécrétion du test reste la même dans les différentes localités et par conséquent les différents niveaux. Or, dans un travail récent (1961) LONGINELLI *et al.*, étudiant les concentrations isotopiques (^{18}O) de Lamellibranches fossiles de deux faunes calabriennes des environs de Livourne (Vallebiaia et Luciana) suggèrent les faits suivants : lorsqu'une espèce déjà adaptée à certaines conditions de milieu doit faire face à un changement climatique rigoureux, elle peut :

1) ou bien continuer à former le carbonate de calcium de son test dans le même intervalle de températures que celui qui lui était favorable jusqu'alors;

2) ou bien continuer à former ce carbonate de calcium à la même période de l'année, indépendamment des changements de température survenus.

La première hypothèse implique que l'animal formera son test à une saison différente; la seconde hypothèse, qu'il devra s'adapter à des conditions thermiques différentes.

Les résultats obtenus ici mettent en évidence un enrichissement progressif des tests en isotope lourd ^{18}O lorsqu'on passe des niveaux pliocènes aux niveaux précalabriens; ceci peut correspondre :

1) ou bien à une adaptation progressive à des températures plus froides,

2) ou bien à une variation de la concentration isotopique des eaux marines.

Il est à peu près certain que dans le domaine littoral, ces deux phénomènes ont interféré; c'est pourquoi il convient d'être prudent dans la définition de nouveaux écotypes « adaptés à des conditions climatiques plus rigoureuses » : ou les températures plus basses qui se vérifieront en mer à l'approche de la crise glaciaire seront encore comprises à l'intérieur des limites extrêmes tolérées par l'animal et ce dernier pourra survivre sans rien modifier de son cycle biologique; ou bien au contraire, ces valeurs sortiront de l'intervalle de tolérance et l'animal ne sera pas apte à survivre au premier maximum glaciaire;

— lorsque le niveau où ont été récoltées les espèces est connu et lorsqu'on a pu préciser par des examens parallèles les conditions ambiantes de vie (étude rapide de la microfaune), il est possible de déduire entre quelles limites variait la concentration isotopique de ^{18}O des eaux marines; il s'agit toujours d'un résultat très approximatif mais qui n'est pas dépourvu d'intérêt, puisque les caractères hydrologiques et isotopiques de la Méditerranée durant cette période nous sont encore inconnus.

II. — QUELQUES DONNÉES STRATIGRAPHIQUES SUR LA ZONE ÉTUDIÉE

La Figure 1 montre les différents affleurements géologiques de la région où ont été prélevés les fossiles. Ce schéma a été réalisé d'après la carte géologique au 1/100 000 de Volterra (feuille 112 de la carte géologique d'Italie).

Une partie de la série plio-pléistocène a pu être reconstituée d'après les relevés effectués par M. RAGGI, SQUARCI et TAFFI (communication orale). Dans cette zone, au Sud de Casciana Terme, le Pliocène apparaît en transgression sur la série mésozoïque et sur les argiles sableuses (TREVISAN, 1949). Tout le complexe des terrains constitue en outre une structure monoclinale, l'inclinaison des couches s'atténuant progressivement du Sud au Nord en direction de la vallée de l'Arno.

On trouve, de bas en haut, la succession suivante :

1°) *Argiles grises de faciès plaisancien*. Ce sont des argiles très plastiques dont l'épaisseur atteint 950 m à l'Est de Laiatico et devient à peu près nulle aux environs de Ceppato et de Parlascio. Les faunes très abondantes (STEFANINI, 1934) indiquent un dépôt de mer ouverte à salinité normale.

2°) *Calcaires détritico-organogènes à Amphistégines de faciès astien*. C'est une formation qui affleure dans la zone de Casciana Terme et de Ceppato; plus au Nord, on passe latéralement à des sables et des grès.

3°) *Sables marins jaunes cimentés ou non, de faciès astien*. Il s'agit d'une formation très développée dans la région étudiée et très fossilifère; en alternance avec des faunes franchement marines se trouvent des faunes saumâtres, indices de conditions à caractère littoral peu profond et qui laissent supposer l'existence d'une zone de lagunes que des dunes séparaient de la mer.

4°) *Sables côtiers, argiles sableuses et calcarénites à Cyprina islandica L.* Ces dépôts calabriens reposent en transgression sur les précédents; en certains points ils sont en contact direct avec les argiles plaisanciennes (zone de Castel Anselmo); ailleurs la discordance n'est pas toujours évidente et une continuité de sédimentation depuis les sables de faciès astien jusqu'aux sables argileux et aux argiles de base du Calabrien n'est pas à exclure.

5°) *Conglomérats et cailloutis continentaux*. Ces sédiments reposent en discordance sur les sables de faciès astien et du Pliocène supérieur à l'Est de la rivière Cascina, sur les sables calabriens à l'Ouest du même fleuve.

III. — ANALYSES ET RÉSULTATS. INTERPRÉTATION DES MESURES DE PALÉOTEMPÉRATURES

Pour que le nombre de fossiles fût significatif du point de vue géographique, écologique et spécifique, on a mesuré le rapport isotopique $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de 320 coquilles appartenant à 32 espèces de Gastéropodes, Lamellibranches et Brachiopodes. Les fossiles proviennent de 3 localités : Laiatico, Marti et Lari, le plus grand nombre de prélèvements ayant été effectués dans cette dernière localité (Fig. 1).

La préparation chimique du carbonate de calcium a été effectuée selon la méthode proposée par EPSTEIN *et al.* (1953). Les fossiles montrant des traces d'altération et d'échange (calcite secondaire) ont été éliminés.

On a utilisé pour les analyses un spectromètre de masse Atlas-Werke M 86 à double collecteur du type Nier. Le standard était obtenu à partir du marbre statuaire de Carrare. Une correction a été apportée aux résultats pour les rendre directement comparables au standard PDB-1 Chicago; ces résultats sont exprimés en $\delta^{18}\text{O}$, c'est-à-dire en parts pour mille de la différence entre le rapport isotopique dans l'échantillon considéré et de ce même rapport dans le standard PDB-1, selon la relation :

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ échantillon}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ standard}} - 1 \right] \times 1000$$

Toutes les déterminations ont été effectuées en double, et l'erreur est de ± 0.1 sur les $\delta^{18}\text{O}$.

A) CAUSES D'INCERTITUDE ET LIMITE DE VALIDITÉ DES MESURES DE PALÉOTEMPÉRATURES EFFECTUÉES A PARTIR D'UNE ESPÈCE FOSSILE : *Monodonta brocchi* (Mayer).

On émet souvent des doutes sur la possibilité d'utiliser les tests de Gastéropodes et plus généralement de toutes les espèces de Mollusques aragonitiques pour les mesures de paléotempératures. On se propose donc, dans le présent paragraphe, d'étudier les variations de δ dans une population de 40 individus appartenant à la même espèce fossile *Monodonta brocchi* (Mayer). Plusieurs interprétations possibles sont envisagées pour expliquer les variations observées.

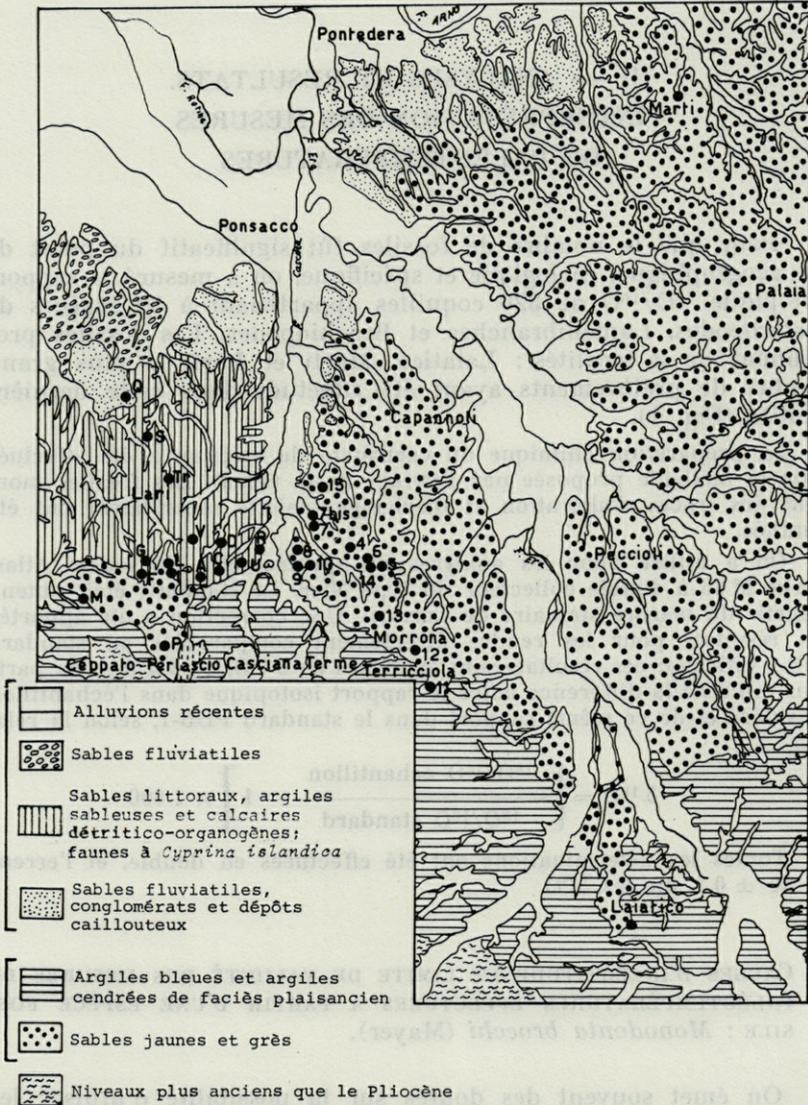


FIG. 1. — Schéma stratigraphique de la zone étudiée d'après la carte au 1/100 000 (Feuille 112 I.G.M. Volterra Italie).

Intervalle de variation et valeur moyenne de la composition isotopique.

Sur la Figure 2 a été reporté le nombre de spécimens par classe de 0.2 unité de $\delta^{18}\text{O}$. La courbe de fréquence est semblable à une gaussienne et correspond à un intervalle de variation total de 1 δ d'amplitude, de -0.43 à -1.46 ; une seule valeur $\delta = -2.43$ se trouve à l'extérieur de la surface ainsi délimitée.

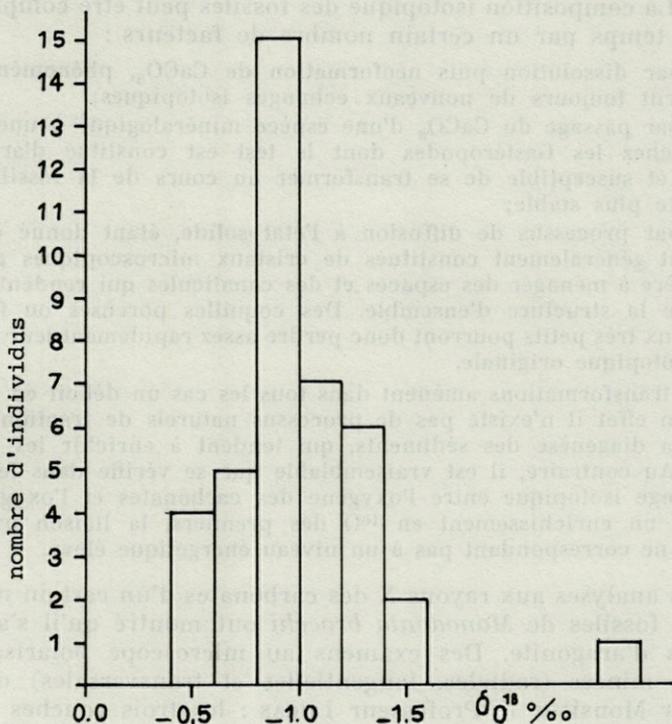


FIG. 2. — *Monodonta brocchi* (Mayer) : Nombre d'individus par classe de 0.2 unité de $\delta^{18}\text{O}$.

Le $\delta^{18}\text{O}$ moyen est de -0.93 environ, c'est-à-dire très voisin de la valeur modale -0.90 ; on pourrait donc caractériser l'espèce *Monodonta brocchi*, dans le gisement considéré, par une valeur moyenne de δ et écrire :

$$\delta^{18}\text{O}_{M. brocchi} = -0.95 \pm 0.50$$

Or, des analyses effectuées sur un Gastéropode actuel, *Patella ferruginea* (LONGINELLI, communication orale) donnent des valeurs de δ comprises dans un intervalle de variation total de 0.4 unité. La marge d'erreur déduite des analyses de l'espèce fossile peut donc sembler excessivement grande. On peut envisager trois types d'explications.

Diverses causes de variation intraspécifique et étalement de l'intervalle des températures isotopiques chez Monodonta brocchi.

1) La composition isotopique des fossiles peut être compromise dans le temps par un certain nombre de facteurs :

— par dissolution puis néoformation de CaCO_3 , phénomènes qui comportent toujours de nouveaux échanges isotopiques;

— par passage du CaCO_3 d'une espèce minéralogique à une autre, surtout chez les Gastéropodes dont le test est constitué d'aragonite instable et susceptible de se transformer au cours de la fossilisation, en calcite plus stable;

— par processus de diffusion à l'état solide, étant donné que les tests sont généralement constitués de cristaux microscopiques groupés de manière à ménager des espaces et des canalicules qui rendent moins compacte la structure d'ensemble. Des coquilles poreuses ou formées de cristaux très petits pourront donc perdre assez rapidement leur composition isotopique originale.

Ces transformations amènent dans tous les cas un déficit en isotope lourd; en effet il n'existe pas de processus naturels de fractionnement durant la diagenèse des sédiments, qui tendent à enrichir les fossiles en ^{18}O . Au contraire, il est vraisemblable que se vérifie dans le temps un échange isotopique entre l'oxygène des carbonates et l'oxygène du sol avec un enrichissement en ^{16}O des premiers, la liaison oxygène-carbone ne correspondant pas à un niveau énergétique élevé.

Des analyses aux rayons X des carbonates d'un certain nombre de tests fossiles de *Monodonta brocchi* ont montré qu'il s'agissait toujours d'aragonite. Des examens au microscope polarisant de sections minces (radiales, tangentielles et transversales) ont été faits par Monsieur le Professeur LUCAS : les trois couches aragonitiques du test sont bien conservées et il n'y a pas trace de recristallisation.

La dispersion des valeurs de concentration isotopique pourrait donc s'expliquer par un processus de diffusion à l'état solide, le seul qui n'implique pas de modification de la structure cristalline.

Mais ce phénomène est complexe et les calculs montrent que le temps nécessaire pour modifier la composition isotopique originale d'un cristal de plus grande dimension 1 mm, est supérieur à $7 \cdot 10^8$ années. Des fossiles d'âge pliocène ou pléistocène ne peuvent donc être concernés par ces modifications.

2) Des causes liées à la biologie particulière de l'espèce peuvent accroître la variation intraspécifique; elles se réfèrent au mode de dépôt de carbonate de calcium de la coquille :

a) La sécrétion de nouvelles couches de CaCO_3 ne se fait pas de la même manière pour les deux espèces mentionnées plus haut. La sécrétion du CaCO_3 chez *Patella ferruginea* se fait par adjonction de nouvelles couches de microcristaux sur le bord libre de la coquille qui s'accroît ainsi vers le bas. Chez *Monodonta brocchi*, le phénomène est plus complexe : il se produit d'abord une redissolution partielle du CaCO_3 sur une longueur variable du dernier tour de coquille; seulement après, les cristaux de carbonate de néoformation se déposent; ce double processus peut introduire une cause de variation individuelle à l'intérieur de l'espèce.

b) Beaucoup d'espèces ne déposent leur carbonate de calcium que dans des limites de températures bien déterminées et présentent un maximum d'activité pour une température qui correspond à l'« optimum » de l'espèce : c'est à cette température qu'a lieu la plus forte sécrétion de CaCO_3 ; étant donné que les mesures effectuées correspondent à des échantillons moyens, même du point de vue pondéral, les températures que l'on calcule ont de fortes probabilités de ne correspondre qu'aux températures d'activité biologique maximum des individus. En supposant même que l'intervalle de températures correspondant à la sécrétion du test reste le même pour tous les individus de l'espèce étudiée, on peut facilement s'attendre à ce que la température optimum varie légèrement d'individu à individu selon une loi statistique.

c) Une autre cause enfin concerne la vitesse d'accroissement de la coquille. Plus forte chez les individus plus jeunes, elle diminue rapidement avec l'âge pour atteindre des valeurs très basses et à peu près constantes chez les individus plus âgés; cela signifie que, chez les individus plus jeunes dont la coquille est par conséquent plus petite, un fragment de coquille de 1 cm de longueur par exemple, correspond à toute la période de dépôt du CaCO_3 et donne à l'analyse une valeur de température correspondant à la moyenne de la période en question; dans le cas de coquilles plus grosses, donc d'individus plus âgés, pour qui la sécrétion n'a lieu que pendant une période restreinte qui ne correspond plus à l'intervalle de température caractéristique de l'espèce, mais seulement à un optimum de température pris dans cet intervalle, l'analyse isotopique ne donne alors qu'une indication fragmentaire des exigences de l'espèce. La présence d'individus d'âges différents peut donc être une autre cause de variation intraspécifique pour les concentrations isotopiques des tests.

3) La précipitation de l'aragonite ne se fait pas en équilibre isotopique avec l'eau de mer.

On a supposé implicitement jusqu'ici que la précipitation des cristaux d'aragonite se faisait en équilibre isotopique avec l'eau de mer. La précipitation en déséquilibre, due par exemple à une légère sursaturation en bicarbonate $[\text{H}_2\text{CO}_3]_2 \text{Ca}$ du « milieu » où vit l'animal (qu'il s'agisse du milieu extérieur aussi bien que du milieu intérieur) pourrait aboutir à des concentrations déficitaires en isotopes lourds et expliquerait

l'étalement de la courbe des fréquences vers les valeurs négatives de δ . Cette explication, bien que qualitative, permettrait de comprendre pourquoi des espèces à test essentiellement aragonitique (la plupart des Gastéropodes et, parmi les Lamellibranches, l'immense majorité des Taxodontes) présentent le plus souvent de fortes variations individuelles dans la composition isotopique de leurs coquilles (voir plus loin les résultats des analyses effectuées sur les Arcidés).

TABLEAU 1

Monodonta brocchi (Mayer). Compositions isotopiques de l'oxygène exprimées en $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$ par rapport au PDB-1 Chicago.

Première série de mesures	Deuxième série de mesures
— 0.43	— 0.44
— 0.87	— 0.56
— 0.93	— 0.57
— 0.95	— 0.61
— 0.98	— 0.66
— 1.01	— 0.67
— 1.19	— 0.73
— 1.19	— 0.75
— 1.21	— 0.80
— 1.22	— 0.80
— 1.22	— 0.82
— 1.24	— 0.83
— 1.32	— 0.84
— 1.40	— 0.84
— 1.46	— 0.85
— 2.43	— 0.87
	— 0.95
	— 0.95
	— 0.97
	— 1.00
	— 1.01
	— 1.18
	— 1.19
	— 1.27

CONCLUSIONS

Les analyses isotopiques de l'oxygène effectuées sur une population monospécifique *Monodonta brocchi* (Mayer) permettent les constatations suivantes :

1°) L'intervalle de variation des compositions isotopiques est

plus large dans le cas d'analyses d'espèces fossiles. Si pour une espèce actuelle on peut admettre une marge d'erreur de $\pm 0.2 \delta$ on ne peut être aussi précis lorsqu'il s'agit d'une espèce fossile : le Gastéropode analysé ici laisse prévoir une incertitude de $\pm 0.5 \delta$ environ; si, dans l'étude d'une association, il est possible d'analyser deux ou plusieurs individus de la même espèce et si les valeurs de δ obtenues sont comprises dans un intervalle d'amplitude 1.0δ , on peut admettre que ces valeurs sont significatives et correspondent assez bien à la composition originale.

2°) Si, dans une même association, deux individus de la même espèce donnent à l'analyse des valeurs de δ différant de plus de 1.0 unité, on ne retiendra que la valeur plus positive qui est la plus proche de la composition originale : les modifications de la composition isotopique conduisent toujours un déficit en ^{18}O : une valeur trop négative dans un ensemble homogène de valeurs voisines (par exemple à l'intérieur d'une même faune) ne peut être considérée comme significative : elle correspond le plus souvent à un échange isotopique consécutif à la fossilisation.

B) VARIATION GÉOGRAPHIQUE DE LA COMPOSITION ISOTOPIQUE DE QUELQUES ESPÈCES.

Un examen rapide des valeurs de δ obtenues pour de mêmes espèces en des localités diverses révèle des variations de gisement à gisement supérieures à la marge d'incertitude tolérée pour de simples variations individuelles. Il est donc nécessaire d'expliciter ces variations : sont-elles fortuites ou peut-on au contraire leur attribuer une signification particulière ? Dans un premier temps seront confrontés des gisements avec des faunes abondantes et spécifiquement variées : ils correspondent aux localités indiquées sur la figure 1 comme : Lari I, Lari R, Lari 8, Laiatico et Marti (Palaia); les espèces étudiées sont les suivantes :

Arca darwini May., *Arca diluvii* Lmk., *Arca pectinata* Br., *Ammusium cristatum* (Bronn), *Anomia ephippium* L., *Bittium reticulatum* Lmk., *Cardita intermedia* (Br.), *Cardium edule* L. (avec, aussi, la variété *C. edule* var. *lamarcki*), *Cerithium vulgatum* Brug., *Chenopus pes pelecani* L., *Chlamys flexuosa* (Poli), *Chlamys varia* L., *Eastonia rugosa* (Chemn.), *Flabellipecten flabelliformis* (Br.), *Monodonta brocchi* (May.), *Nassa gigantula* (Bon.), *Nassa limata* (Chemn.), *Natica josephinia* Risso, *Natica millepunctata* Lmk., *Nucula nucleus* L., *Pecten jacobaeus* L., *Petalonchus intortus* Lmk., *Terebratula ampulla* Br., *Turritella vermicularis* (Br.), *Turritella tricarinata* (Br.), *Venus multilamella* Lmk.

Les compositions isotopiques correspondantes sont reportées dans le tableau 2.

TABLEAU 2
Valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ trouvées pour les espèces communes
à Lari 8, Lari R, Lari I, Laiatico et Marti.

$\delta \text{O}^{18}\text{e}/\text{‰}$ par rapport à PDB - 1 Chicago

Espèces	Lari 8	Lari R	Lari I	Laiatico	Marti (Palaia)
<i>Arca darwini</i> May.	+0.99 +1.08	+0.63 +0.69 +0.70 +1.16	+1.22 +1.52	+1.19 +1.48	-0.03 +0.43
<i>Arca diluvii</i> Lmk.	_____	_____	_____	_____	-1.47
<i>Arca pectinata</i> Br.	_____	_____	+1.33 +1.88	_____	_____
<i>Ammusium cristatum</i> (Bronn)	_____	-0.29 -0.30 +0.45	_____	_____	+1.37
<i>Anomia ephippium</i> L.	_____	-1.26 -0.95 +1.79	+2.24	_____	_____
<i>Bittium reticulatum</i> Lmk.	_____	_____	_____	+1.56	_____
<i>Cardita intermedia</i> (Br.)	_____	+0.53 +0.60 +1.05	+0.26 +0.30	_____	+1.49 +1.70
<i>Cardium edule</i> L.	-1.09 -0.87 -0.69 -0.25 -0.11	-2.49 -0.42 +0.10	_____	_____	_____
<i>Cardium edule var lamarcki</i>	_____	_____	_____	+1.37 +2.08	_____
<i>Cerithium vulgatum</i> Brug.	-0.03	_____	-0.18 +0.39 +1.09	+0.53 +0.59	_____
<i>Chenopus pes pelecani</i> L.	+1.76	_____	+2.29	+2.24	+1.25
<i>Chlamys varia</i> L.	+0.07 +0.12 +0.50	+0.45 +0.64 +0.93	+1.40	+1.18 +1.22 +1.70	+0.11 +0.21
<i>Chlamys flexuosa</i> (Poli)	_____	+1.89 +2.31	_____	_____	_____
<i>Eastonia rugosa</i> (Chemn.)	-1.08 -0.97 -0.59	_____	_____	_____	_____
<i>Flabellipecten flabelliformis</i> (Br)	_____	_____	+0.04	_____	_____
<i>Monodonta brocchi</i> (May.)	-0.76 -0.12	-0.95 -0.19 +0.14	_____	+0.55 +0.62 +0.71	_____
<i>Nassa gigantula</i> (Bon.)	_____	_____	+1.34 +1.45	_____	_____
<i>Nassa limata</i> (Chemn.)	_____	_____	+0.51 +1.25	_____	_____
<i>Natica josephina</i> Risso	_____	_____	_____	_____	+1.52
<i>Natica millepunctata</i> Lmk.	+0.61 +1.06	_____	+1.15 +1.43 +1.55 +1.75 +1.17	_____	+1.07 +1.17 +1.50
<i>Nucula nucleus</i> L.	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Pecten jacobaeus</i> L.	+1.35	+1.28 +1.70 +1.77	_____	_____	+0.93
<i>Petalococonchus intortus</i> Lmk.	_____	+0.76 +1.55 +2.02	_____	_____	_____
<i>Terebratula ampulla</i> Br.	_____	-0.31 +0.65 +0.88	_____	_____	_____
<i>Turritella vermicularis</i> (Br.)	_____	_____	+1.87 +2.15 +2.33	_____	_____
<i>Turritella tricarinata</i> (Br.)	_____	_____	+0.34 +1.24 +1.72 -0.65 -0.41 -0.32	+2.00 +2.43 +2.57	_____
<i>Venus multilamella</i> Lmk.	_____	_____	+0.60 +1.25 +1.53	+1.65 +1.79 +1.89 +2.13	_____

1°) *Corrélations possibles entre les concentrations isotopiques des espèces à Lari R et Lari 8 (fig. 3).*

Ces deux localités ont en commun cinq espèces : *Arca darwini*, *Cardium edule*, *Chlamys varia*, *Monodonta brocchi* et *Pecten jacobaeus*. On a retenu pour chaque espèce les valeurs de δ les plus positives. Toutes les fois que cela était possible, plusieurs spécimens de la même espèce ont été analysés et lorsque les valeurs de δ étaient différentes les unes des autres, seules les valeurs de δ plus positives et différant entre elles de moins de 0.8δ ont été admises comme significatives (voir paragraphe A).

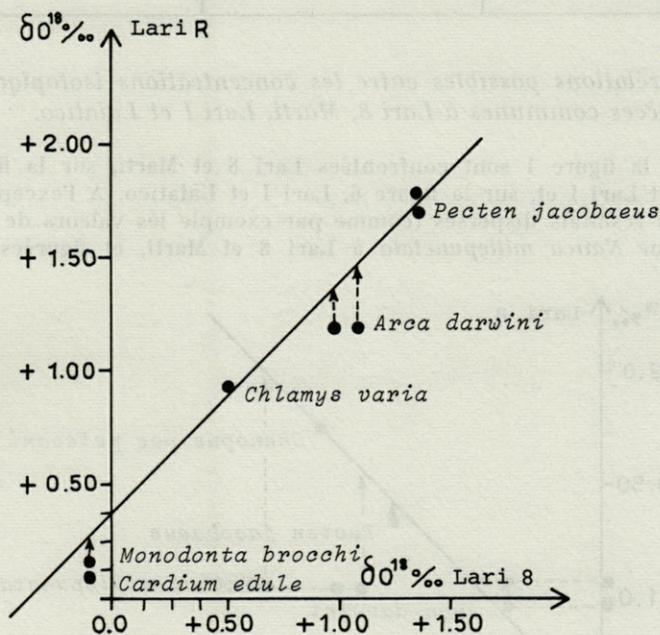


FIG. 3. — Comparaison des compositions isotopiques des espèces à Lari R (en ordonnée) et à Lari 8 (en abscisse).

Sur un système d'axes rectangulaires ont été reportées les valeurs de δ trouvées à Lari R (en ordonnée) en fonction des valeurs trouvées pour les mêmes espèces à Lari 8 (en abscisse). Si l'on tolère une marge d'incertitude de 0.8δ autour de chaque espèce, on constate que les points représentatifs sont alignés sur une droite d'équation $\delta_{L,R} = \delta_{L,8} + 0.40$.

Les concentrations isotopiques qui caractérisent les cinq espèces citées plus haut semblent donc pouvoir se déduire les unes des autres

par une simple relation linéaire quand on passe d'un gisement à un autre. On en déduit des valeurs moyennes de δ pour chacune de ces espèces dans les deux gisements considérés :

TABLEAU 3
Valeurs moyennes des $\delta^{18}\text{O}$ pour les espèces communes à Lari R et Lari 8.

ESPECES	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ Lari R		$\delta^{18}\text{O}$ ‰ Lari 8	
<i>Arca darwini</i>	+1.40	+1.50	+1.00	+1.10
<i>Cardium edule</i>		+0.30		-0.10
<i>Chlamys varia</i>		+0.95		+0.95
<i>Monodonta brocchi</i>		+0.25		-0.15
<i>Pecten jacobaeus</i>		+1.75		+1.35

2°) Corrélations possibles entre les concentrations isotopiques des espèces communes à Lari 8, Marti, Lari I et Laiatico.

Sur la figure 1 sont confrontées Lari 8 et Marti, sur la figure 2, Lari 8 et Lari I et, sur la figure 6, Lari I et Laiatico. A l'exception de quelques résultats dispersés (comme par exemple les valeurs de δ trouvées pour *Natica millepunctata* à Lari 8 et Marti, et figurées en 4),

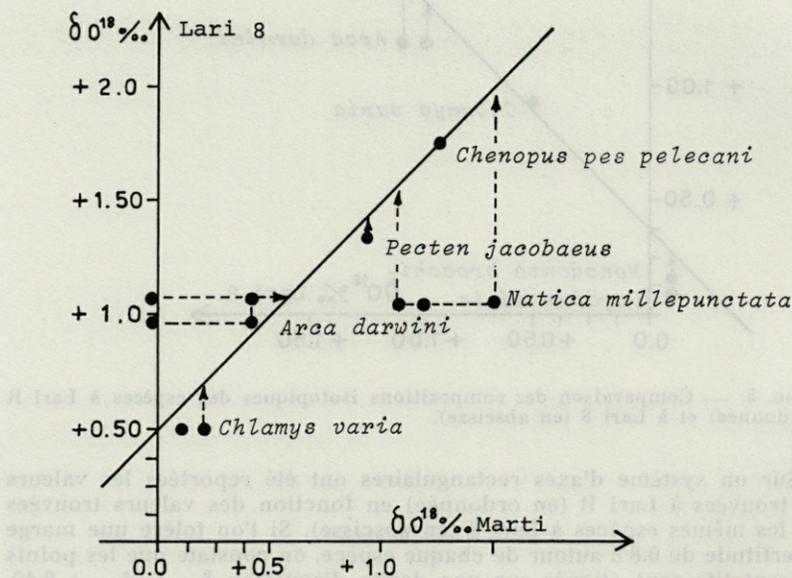


FIG. 4. — Comparaison des compositions isotopiques des espèces à Lari 8 (en ordonnée) et à Marti (en abscisse).

les corrélations sont essentiellement de type linéaire, les points représentatifs des espèces se distribuant sur des droites de pente 1.

+ *Figure 4* : Les concentrations isotopiques de quatre espèces : *Arca darwini*, *Chlamys varia*, *Pecten jacobaeus* et *Chenopus pes pelecani* communes aux deux localités, sont, dans le cas de Lari 8, supérieures d'environ 0.50 δ à celles de Marti. On peut donc écrire :

$$\delta_{\text{Lari 8}} = \delta_{\text{Marti}} + 0.50$$

TABLEAU 4

Valeurs moyennes des δ¹⁸O pour les espèces communes à Lari 8 et Marti.

ESPECES	δ ¹⁸ ‰ Lari 8		δ ¹⁸ ‰ Marti	
<i>Arca darwini</i>	+0.95	+1.10	+0.45	+0.60
<i>Chlamys varia</i>	+0.50	+0.60	+0.10	+0.20
<i>Pecten jacobaeus</i>		+1.40		+0.90
<i>Chenopus pes pelecani</i>		+1.75		+1.25

Les points représentatifs de *Natica millepunctata* se trouvent trop éloignés de la droite ainsi définie et il n'est pas impossible que les spécimens aient échangé leur oxygène.

On remarque en outre que les valeurs moyennes de δ admises pour les espèces de Lari 8 dans le paragraphe précédent concordent avec celles qui se déduisent de la comparaison faite ici.

+ *Figure 5* : Les concentrations isotopiques des trois espèces : *Chenopus pes pelecani*, *Chlamys varia*, *Natica millepunctata* sont, à Lari I, supérieures d'environ 0.80 δ à celles trouvées pour Lari 8. On peut donc écrire :

$$\delta_{\text{Lari I}} = \delta_{\text{Lari 8}} + 0.80$$

La droite ainsi définie passe au voisinage des points représentatifs de *Cerithium vulgatum* et *Arca darwini*. Si on suppose que ces deux espèces ont échangé leur oxygène, échange qui produit un déficit en isotope lourd, on pourra retrouver les compositions isotopiques originales en déplaçant les points représentatifs vers les valeurs plus positives de δ : aux points où l'on recoupe la ligne de régression définie plus haut correspondent les valeurs initiales probables de ces deux espèces. On trouve alors pour *Cerithium vulgatum* la valeur originale, à Lari 8, en abscisse : + 0.30 δ et pour *Arca darwini* la valeur originale probable, à Lari I, en ordonnée : + 1.75 δ.

TABLEAU 5

Valeurs moyennes des δ¹⁸O pour les espèces communes à Lari I et Lari 8.

ESPECES	δ ¹⁸ ‰ Lari I		δ ¹⁸ ‰ Lari 8	
<i>Arca darwini</i>	+1.75	+1.90	+0.95	+1.10
<i>Cerithium vulgatum</i>		+1.10		+0.30
<i>Chenopus pes pelecani</i>		+2.55		+1.75
<i>Chlamys varia</i>		+1.40		+0.60
<i>Natica millepunctata</i>		+1.85		+1.05

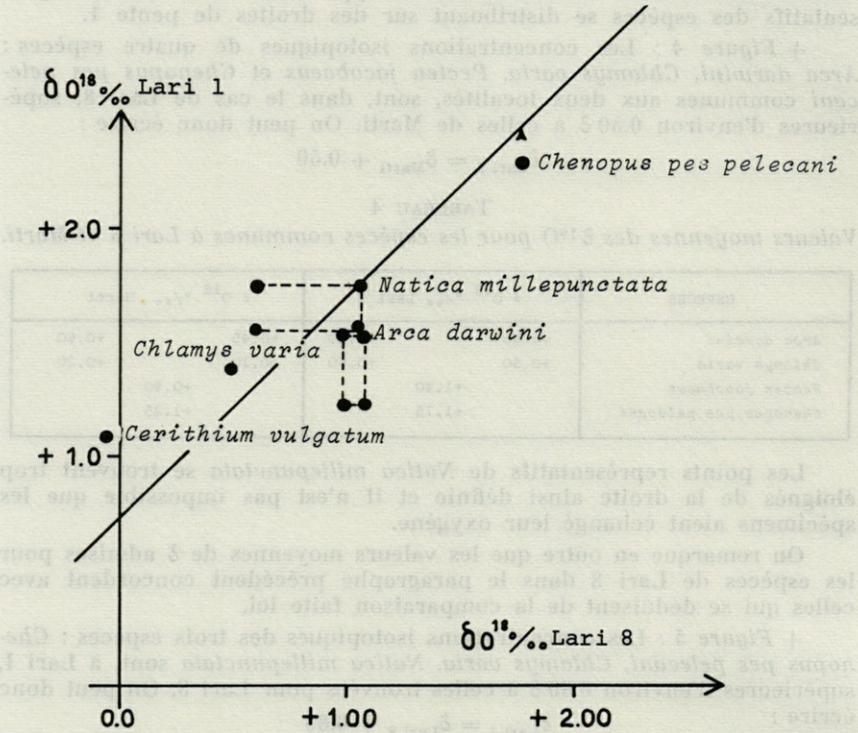


FIG. 5. — Comparaison des compositions isotopiques des espèces à Lari I (en ordonnée) et à Lari 8 (en abscisse).

+ Figure 6 : Les concentrations isotopiques de cinq espèces : *Arca darwini*, *Chenopus pes pelecani*, *Chlamys varia*, *Turritella tricarinata* et *Venus multilamella* sont, à Laiatico, supérieures de 0.20 δ à celles des mêmes espèces à Lari I; les points représentatifs du *Cerithium vulgatum* sont en dehors de la ligne qui joint les points représentatifs des autres espèces. On peut retrouver la concentration isotopique originale de ce fossile à Laiatico en déplaçant le point représentatif vers des δ plus positifs, dans la direction des abscisses.

On peut écrire :

$$\delta_{\text{Lari I}} = \delta_{\text{Laiatico}} - 0.20 \delta$$

Dans le tableau 6 sont reportées les valeurs correspondantes de δ pour les six espèces communes aux deux gisements.

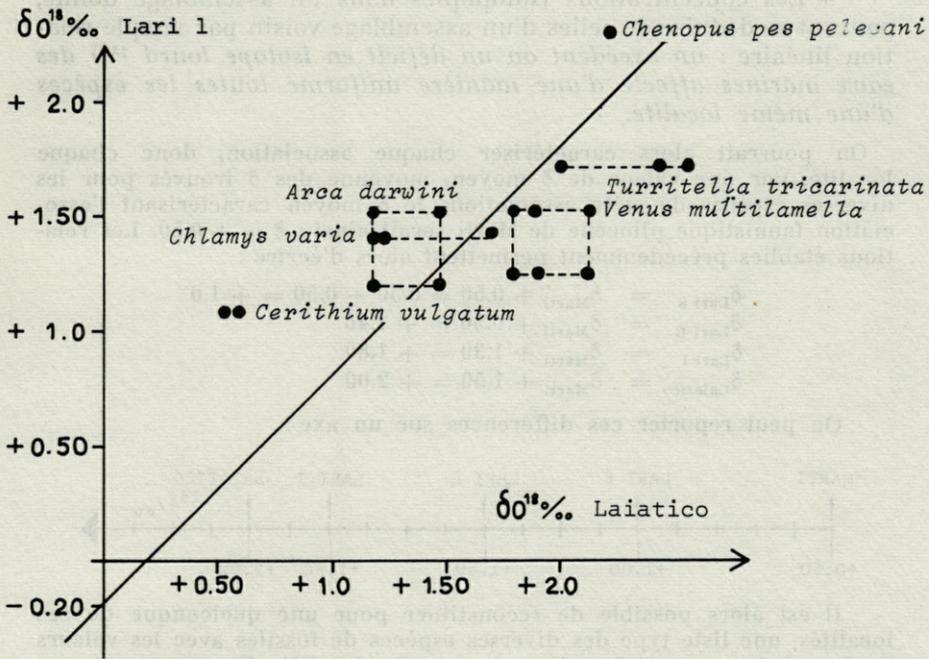


FIG. 6. — Comparaison des compositions isotopiques des espèces à Lari I (en ordonnée) et à Laiatico (en abscisse).

TABLEAU 6

Valeurs moyennes des $\delta^{18}\text{O}$ pour les espèces communes à Lari I et à Laiatico.

ESPECES	$\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$ Lari I		$\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$ Laiatico	
<i>Arca darwini</i>	+1.50		+1.70	
<i>Cerithium vulgatum</i>	+1.10		+1.30	
<i>Chlamys varia</i>	+1.10	+1.50	+1.30	+1.70
<i>Chenopus pes pelecani</i>	+2.05		+2.25	
<i>Turritella tricarinata</i>	+1.80	+2.37	+2.00	+2.57
<i>Venus multilamella</i>	+1.45	+1.93	+1.65	+2.13

3°) Interprétation des résultats.

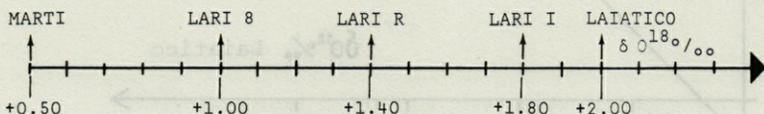
(a) + Les différences de composition isotopique des diverses espèces d'un même assemblage se conservent lorsque l'on passe d'un gisement à un autre.

+ Les concentrations isotopiques dans un assemblage donné, peuvent se déduire de celles d'un assemblage voisin par simple relation linéaire : un excédent ou un déficit en isotope lourd ^{18}O des eaux marines affecte d'une manière uniforme toutes les espèces d'une même localité.

On pourrait alors caractériser chaque association, donc chaque localité, par une valeur de δ moyen, moyenne des δ trouvés pour les diverses espèces de cette association; le δ moyen caractérisant l'association faunistique pliocène de Marti serait ainsi : $\delta = +0.50$. Les relations établies précédemment permettent alors d'écrire :

$$\begin{aligned} \delta_{\text{Lari 8}} &= \delta_{\text{Marti}} + 0.50 = 0.50 + 0.50 = +1.00 \\ \delta_{\text{Lari R}} &= \delta_{\text{Marti}} + 0.90 = +1.40 \\ \delta_{\text{Lari I}} &= \delta_{\text{Marti}} + 1.30 = +1.80 \\ \delta_{\text{Laiatico}} &= \delta_{\text{Marti}} + 1.50 = +2.00 \end{aligned}$$

On peut reporter ces différences sur un axe :



Il est alors possible de reconstituer pour une quelconque de ces localités, une liste type des diverses espèces de fossiles avec les valeurs de δ qui les caractériseraient dans cette localité. En reprenant par exemple la liste des espèces du tableau n° 2, on peut dresser la liste correspondante des valeurs de δ qui caractérisent toutes les espèces à Marti :

TABLEAU 7

Concentrations isotopiques probables des espèces à Marti.

Les valeurs de δ indiquées entre parenthèses ont été calculées à l'aide des relations établies précédemment; les autres ont été mesurées directement.

ESPECES	$\delta \text{ } ^{18}\text{O} \text{ } \text{‰}$	
<i>Arca darwini</i> May.	+0.30	+0.60
<i>Arca diluvii</i> Lmk.		?
<i>Arca pectinata</i> Br.		(+0.58)
<i>Ammusium cristatum</i> (Bronn)		+1.37
<i>Anomia ephippium</i> L.		(+0.94)
<i>Bittium reticulatum</i> Lmk.		(+0.26)
<i>Cardita intermedia</i> (Br.)	+1.49	+1.71
<i>Cardium edule</i> L.		(-0.80)
<i>Cardium edule</i> var. <i>lamarki</i>		(+0.68)
<i>Cerithium vulgatum</i> Brug.		(-0.20)
<i>Chenopus pes pelecani</i> L.		+1.25
<i>Chlamys varia</i> L.	+0.10	+0.20

ESPECES	$\delta O^{18} \text{ ‰}$		
<i>Chlamys flexuosa</i> (Poli)	(+1.00		+1.40)
<i>Eastonia rugosa</i> (Chemn.)		(-1.10)	
<i>Flabellipecten flabelliformis</i> (Br.)		?	
<i>Monodonta brocchi</i> (May.)	(-0.80		-0.70)
<i>Nassa gigantula</i> (Bon.)	(+0.05		+0.15)
<i>Nassa limata</i> (Chemn.)		(-0.05)	
<i>Natica josephina</i> Risso		+1.52	
<i>Natica millepunctata</i> Lmk.	+1.07		+1.50
<i>Nucula nucleus</i> L.		(-0.13)	
<i>Pecten jacobaeus</i> L.	+0.80		+1.00
<i>Petalocochus intortus</i> Lmk.		+1.12	
<i>Terebratula ampulla</i> Br.		+0.00	
<i>Turritella vermicularis</i> (Br.)		+1.05	
<i>Turritella tricarinata</i> (Br.)	+1.10		+1.20
<i>Venus multilamella</i> Lmk.		+0.70	

(b) On pourrait penser, d'après ce qui précède, que la composition isotopique des coquilles est uniquement fonction de la composition du milieu marin où elles ont vécu. Les observations suivantes mettent en évidence le rôle de la température.

— De l'examen des tableaux 3, 4, 5 et 6, il ressort que les différences de composition isotopique existant entre deux ou plusieurs espèces se conservent lorsque on passe d'un gisement à un autre. Les analyses de deux espèces *Chlamys flexuosa* et *Chlamys varia* qui voisinent dans sept gisements différents illustrent ce second point.

On a reporté dans le tableau 8 les valeurs de δ trouvées pour l'une et l'autre espèce dans chaque gisement.

TABLEAU 8
Valeurs de $\delta^{18}O$ trouvées pour *Chlamys flexuosa* et *Chlamys varia* dans sept localités diverses.

LOCALITE	$\delta O^{18} \text{ ‰}$				
	<i>Chlamys varia</i>		<i>Chlamys flexuosa</i>		
Lari 7	-0.12	-0.20	+1.16		+1.41
Lari 14	+0.01		+0.99		+1.13
Lari 5	+0.03			+0.52	
Marti	+0.10	+0.20	+1.00		+1.40
Lari V	+0.50			+1.72	
Lari 13	+1.04	+1.24	+2.09		+2.35
Lari F	+1.19		+2.45		+2.47

La figure 7 montre l'existence d'une corrélation linéaire entre les concentrations isotopiques des deux espèces; dans chacun des gisements on retrouve la même différence entre les concentrations. Cette différence ne peut s'expliquer qu'en termes de température : les deux espèces

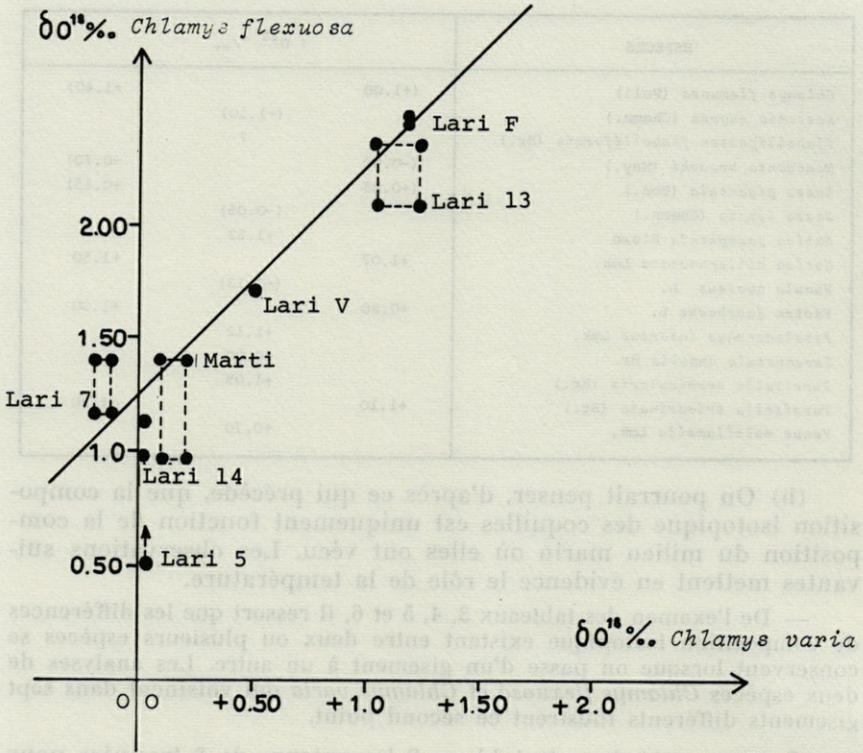


Fig. 7. — Comparaison des compositions isotopiques de *Chlamys flexuosa* (en ordonnée) et de *Chlamys varia* (en abscisse) dans sept localités diverses.

déposaient leur carbonate de calcium à des époques distinctes de l'année. L'intervalle de température correspond à 1.25δ , c'est-à-dire à $5.4\text{ }^\circ\text{C}$. *Chlamys varia* pouvait sécréter son test pendant l'été tandis que *Chlamys flexuosa* le sécrétait au début du printemps.

A Lari 5 cependant, les points représentatifs de *Chlamys flexuosa* sont situés en dessous de la ligne de régression; cette espèce a vraisemblablement échangé son oxygène dans cette localité.

— Les espèces énumérées dans le tableau 7, se séparent en espèces qui sécrétaient leur CaCO_3 pendant la période la plus chaude et en espèces qui sécrétaient leur CaCO_3 pendant la période la plus froide de l'année. Parmi les espèces à préférences hivernales, on trouve :

<i>Cardita intermedia</i>	$\delta = + 1.50$	+ 1.70
<i>Natica josephinia</i>	$\delta = + 1.52$	
<i>Natica millepunctata</i>	$\delta = + 1.07$	+ 1.50
<i>Chlamys flexuosa</i>	$\delta = + 1.00$	+ 1.40

<i>Ammussium cristatum</i>	$\delta = + 1.37$	
<i>Turritella tricarinata</i>	$\delta = + 1.10$	+ 1.20
<i>Petalonchus intortus</i>	$\delta = + 1.12$	
<i>Chenopus pes pelecani</i>	$\delta = + 1.25$	
<i>Turritella vermicularis</i>	$\delta = + 1.05$	
<i>Anomia ephippium</i>	$\delta = + 0.94$	
<i>Pecten jacobaeus</i>	$\delta = + 0.90$	

Parmi les espèces de saison plus chaude, on trouve :

<i>Eastonia rugosa</i>	$\delta = - 1.10$
<i>Cardium edule</i>	$\delta = - 0.80$
<i>Monodonta brocchi</i>	$\delta = - 0.75$

Les autres espèces déposaient leur carbonate de calcium durant une saison intermédiaire ou tout le long de l'année.

L'amplitude de l'intervalle de variation des δ à l'intérieur de l'association considérée est de 2.8, ce qui correspond à une variation annuelle de température de 12 °C; ce résultat se concilie assez bien avec le faciès littoral du dépôt en question.

4°) *Corrélations possibles entre les localités précédentes et d'autres gisements à faunes moins abondantes : Lari F, Lari 13, Lari U, Lari V, Lari 7, Lari 7bis, Lari 6, Lari 11, Lari 12.*

— *Figure 8.* Il existe une différence constante de 1 δ entre les concentrations isotopiques de trois espèces : *Ammussium cristatum*, *Chlamys flexuosa* et *Chlamys varia*, communes à Lari F et Marti; on peut écrire :

$$\delta_{\text{Lari F}} = \delta_{\text{Marti}} + 1$$

On retrouve la même différence de 1 δ entre les trois espèces communes à Lari 13 et Marti. Il en résulte que :

$$\delta_{\text{Lari 13}} = \delta_{\text{Lari F}} = \delta_{\text{Marti}} + 1$$

Une seule espèce : *Turritella vermicularis* ne vérifie pas cette relation; comme elle montre un déficit en oxygène lourd par rapport aux autres, on peut admettre qu'elle a échangé son ^{18}O .

Les concentrations isotopiques trouvées pour les espèces de Lari U et Lari V sont supérieures de 0,50 δ environ à celles des mêmes espèces à Marti. On a donc :

$$\delta_{\text{Lari U}} = \delta_{\text{Lari V}} = \delta_{\text{Marti}} + 0.50.$$

— *Figure 9.* Les points représentatifs des espèces communes à Lari 6, Lari 7, Lari 7bis, Lari 5, Lari 11, Lari 12 et à Marti se distribuent sur la bissectrice des axes. Les conditions de milieu dans ces diverses localités étaient vraisemblablement voisines sinon

TABLEAU 9
 Valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ trouvées pour les espèces communes à Lari F, Lari C,
 Lari U, Lari V et Lari 13.

ESPECES	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ par rapport au PDB-1 Chicago						
	Lari F			Lari C (x) Lari U V (o)		Lari 13	
<i>Ammusium cristatum</i> (Bronn)	+0.51	+1.02	+1.23	+0.86		+1.96 (o)	_____
		+2.33		+0.93	+0.73	+0.28	_____
<i>Arca darwini</i> May.	_____	_____	_____		+1.51 (X)		_____
<i>Cardita intermedia</i> (Br.)	_____	_____	_____		+0.81 (X)		_____
<i>Cardium edule</i> L.	_____	_____	_____	_____	_____	_____	-0.05
<i>Chlamys varia</i> L.	+0.54	+0.62	+0.71				+1.24
		+1.19			+0.50 (o)	+0.67	+1.04
<i>Chlamys flexuosa</i> (Poli)	+2.45		+2.57		+1.72 (o)	+2.09	+2.35
<i>Turritella vermicularis</i> (Br.)		+0.95		_____	_____	_____	_____

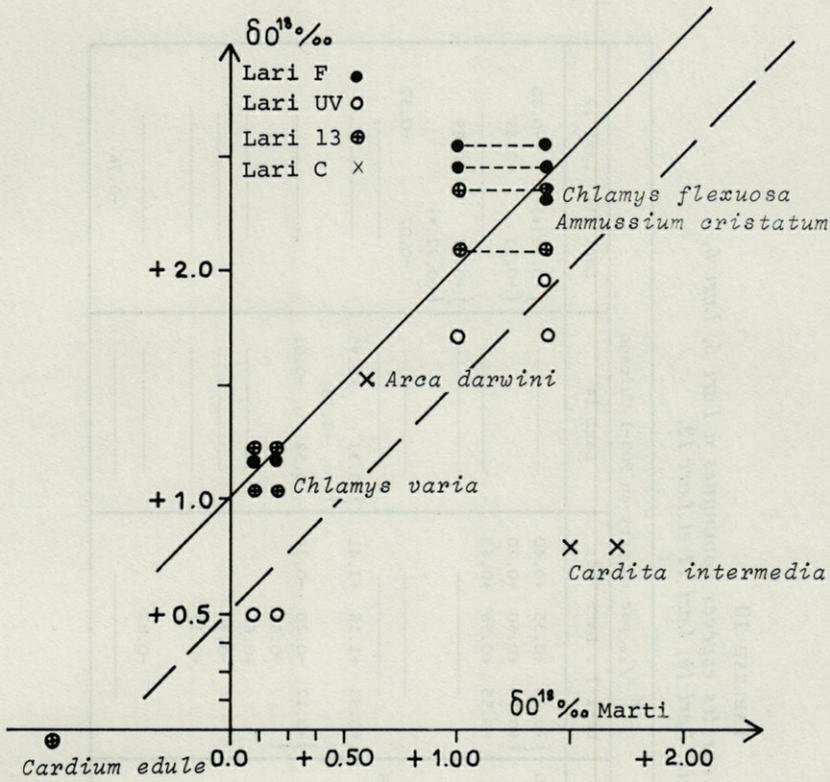


FIG. 8. — Les compositions isotopiques des espèces à Lari F, Lari U, Lari V, Lari 13 et Lari C (en ordonnée) confrontées à celles des mêmes espèces à Marti (en abscisse).

identiques, avec une concentration isotopique de l'eau de mer peu différente. Deux espèces cependant font exception : *Chlamys flexuosa*, à Lari 5, dont on a constaté à une autre occasion (cf. par. 2) l'altération de la composition originale; *Cardita intermedia*, à Lari 11, dont les tests ont rarement fourni des données significatives : il est probable que les tests de cette espèce ont une structure microcristalline particulière facilitant la diffusion ionique d'oxygène enrichi en ^{16}O ; la composition isotopique initiale se trouverait donc altérée de façon constante dans tous les gisements.

Les fossiles récoltés dans les gisements suivants : Lari A, Lari G, Lari M, Lari P, avaient, de façon évidente, échangé leur oxygène. On n'a pas jugé utile de reporter ici les résultats des analyses.

TABLEAU 10
 Valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ trouvées pour les espèces communes à Lari 5, Lari 6,
 Lari 7 et 7 bis, Lari 14, Lari 11 et Lari 12.

ESPECES	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ par rapport au PDB-1 Chicago								
	Lari 5 , Lari 6			Lari 7 , Lari 7bis			Lari 14	Lari 11*	Lari 12
<i>Area darwini</i> May.	+0.00	+0.20	+0.30	+0.25	+0.35	+0.40	_____	+0.58 (*)	-0.30
								+0.35	+0.18
<i>Area diluvii</i> Lmk.	_____	_____	_____	+0.55	+0.58	+0.65	_____	_____	_____
<i>Cardita intermedia</i> (Br.)	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	+0.37	+0.89
<i>Cardium edule</i> L.	-0.39	-0.73	_____	_____	_____	_____	_____	+0.92 (*)	_____
<i>Cerithium vulgatum</i> Brug.	-0.52	-0.46	+0.16	_____	_____	_____	_____	-0.02	-0.57
<i>Chlamys flexuosa</i> (Poli)	_____	+0.52	_____	+0.83	+1.16	+1.41	+0.31 +0.99 +1.13	_____	_____
<i>Chlamys varia</i> L.	+0.03	_____	_____	-0.12	-0.20	-0.39		-0.52 -0.01	_____
<i>Conus mediterraneus</i> Brug.	_____	_____	_____	_____	-0.87	_____	_____	_____	_____
<i>Hinia reticulata</i> (L.)	-0.20	_____	_____	_____	+0.66	_____	_____	_____	_____
<i>Meretrix brocchi</i> (May.)	_____	_____	_____	_____	-0.78	_____	_____	_____	_____
<i>Ostrea edulis</i> var. <i>lamellosa</i> Br.	_____	_____	_____	_____	+0.17	_____	_____	_____	_____
<i>Monodonta brocchi</i> (May.)	_____	_____	_____	_____	-0.81	_____	_____	_____	-0.76

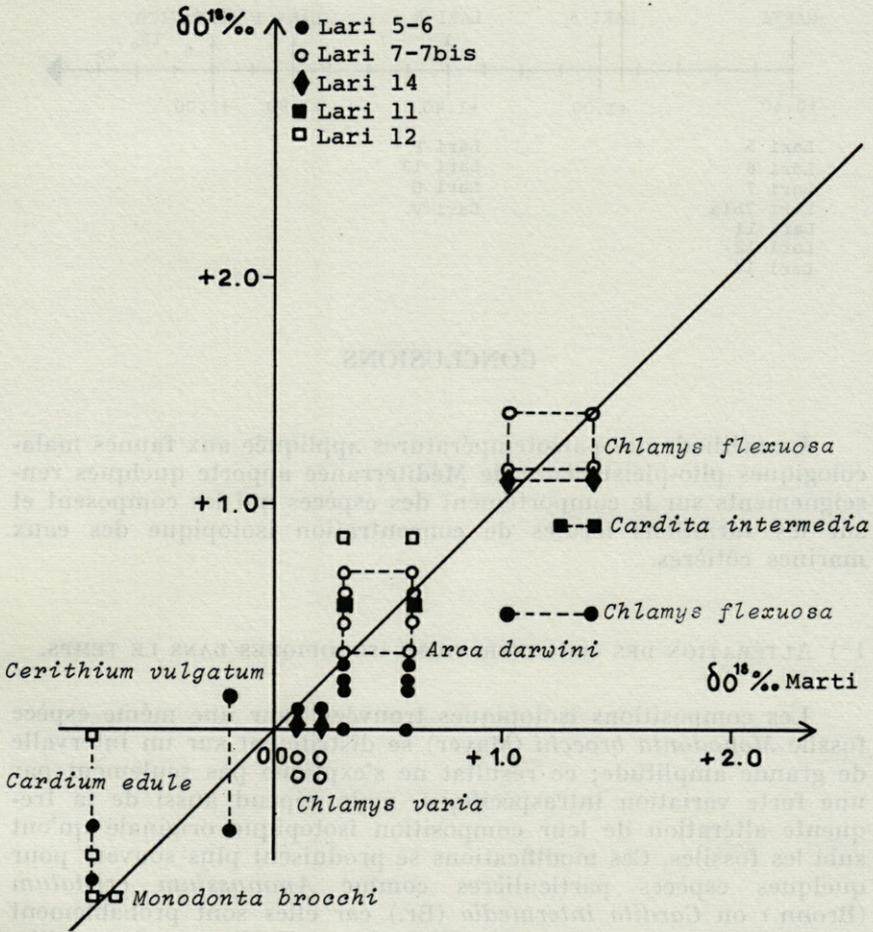
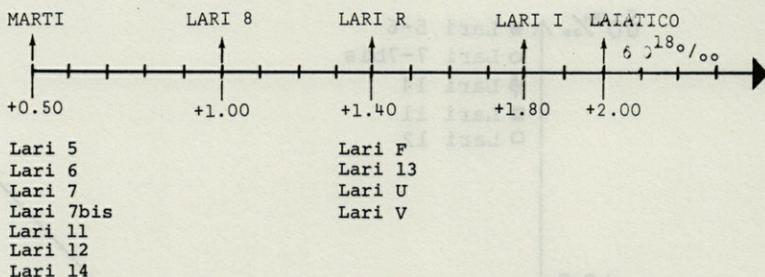


FIG. 9. — Les compositions isotopiques des espèces des niveaux pliocènes Lari 5, Lari 6, Lari 7 et 7 bis, Lari 11, Lari 12 et Lari 14 (en ordonnée) confrontées à celles des mêmes espèces à Marti (en abscisse).

On peut à partir de ces résultats regrouper tous les gisements à compositions isotopiques voisines. La représentation sur un axe est la plus claire :



CONCLUSIONS

La méthode des paléotempératures appliquée aux faunes malacologiques plio-pléistocènes de Méditerranée apporte quelques renseignements sur le comportement des espèces qui les composent et sur les variations locales de concentration isotopique des eaux marines côtières.

1°) ALTÉRATION DES CONCENTRATIONS ISOTOPIQUES DANS LE TEMPS.

Les compositions isotopiques trouvées pour une même espèce fossile *Monodonta brocchi* (Mayer) se distribuent sur un intervalle de grande amplitude; ce résultat ne s'explique pas seulement par une forte variation intraspécifique, mais dépend aussi de la fréquente altération de leur composition isotopique originale qu'ont subi les fossiles. Ces modifications se produisent plus souvent pour quelques espèces particulières comme *Ammussium cristatum* (Bronn.) ou *Cardita intermedia* (Br.) car elles sont probablement liées à la structure microcristalline des tests. Il sera donc utile, dans des études futures, de préciser pour les espèces analysées l'agencement microcristallin des coquilles. De toutes façons, dans le cas de fossiles bien conservés on ne peut espérer une précision supérieure à 0.80 ‰. Il est possible qu'une telle marge d'incertitude dépende du caractère essentiellement littoral des gisements étudiés.

Pour les espèces à test essentiellement aragonitique (Gastéropodes, Lamellibranches, Taxodontes, etc.) la possibilité d'une précipitation en déséquilibre isotopique n'est pas à exclure.

Si dans une même association, deux individus de la même espèce donnent à l'analyse des valeurs de δ différant de plus de 1.00 unité, il convient de ne retenir que la valeur plus positive qui est la plus proche de la composition isotopique originale.

2°) DIFFÉRENCIATION ÉCOLOGIQUE DES ESPÈCES.

Parmi les espèces d'une même localité, il est possible de distinguer d'après les valeurs de δ , des espèces qui déposent leur carbonate de calcium durant la période la plus froide de l'année, d'autres qui le déposent durant la période la plus chaude, d'autres enfin qui le déposent durant une saison intermédiaire ou tout au long de l'année. Ceci permet de comprendre pourquoi certaines espèces d'été (mais pas toutes) ne seront pas aptes à survivre à une première crise glaciaire : c'est le cas de *Eastonia rugosa*.

Ces exigences diverses se traduisent par des différences de δ entre les espèces; il est assez satisfaisant de constater que ces différences ne varient pas de gisement à gisement, mais se retrouvent : la comparaison des résultats obtenus à l'analyse de deux espèces *Chlamys flexuosa* et *Chlamys varia* dans sept gisements différents, illustre bien ce point. Ce même exemple montre en outre l'existence de deux types de gisements : les uns à basses concentrations isotopiques : Lari 7, Lari 14, Lari 5, Marti; les autres à concentrations isotopiques élevées : Lari V, Lari 13, Lari F. Cette différence peut s'expliquer de deux manières : ou bien les seconds appartiennent à un niveau plus élevé de la série plio-pléistocène et par conséquent à un stade plus froid; les deux espèces sont alors capables de s'adapter à une baisse de température et de survivre à la crise glaciaire; ou bien cette différence correspond à des conditions hydrologiques diverses pour les deux catégories de gisements, avec une contamination par des eaux douces pour les premiers (eaux déficitaires en ^{18}O); ceci impliquerait pour les deux espèces des caractères de variété euryhaline.

3°) VARIATIONS LOCALES DES COMPOSITIONS ISOTOPIQUES.

D'une manière plus générale, les variations de concentration en isotope lourd ^{18}O enregistrées par les faunes peuvent correspondre à des variations de la température moyenne des eaux marines ou bien de leur composition isotopique.

Les localités Lari 5, Lari 6, Lari 7, Lari 7 bis, Lari 11, Lari 12, Lari 14 et Marti (Palaia) que les relevés géologiques indiquent comme pliocènes ont pour les espèces communes des valeurs très voisines. Les gisements considérés offrant tous un caractère côtier, on peut supposer que les conditions locales de dépôt étaient très voisines, la composition isotopique des eaux marines et la moyenne des températures annuelles

étant les mêmes. Ces huit gisements se caractérisent en outre par des valeurs moyennes de δ très basses; si la composition isotopique de la mer ne s'était modifiée dans le temps, on en pourrait déduire que ces gisements correspondent à un stade plus chaud que les autres, ce qui s'accorde assez bien avec l'hypothèse d'un niveau Pliocène.

Il reste à expliquer pourquoi d'autres gisements que les géologues attribuent également au Pliocène : Laiatico, Lari 8, Lari 13 donnent à l'analyse des moyennes isotopiques beaucoup plus élevées. Deux explications sont possibles : 1) ces gisements sont vraiment contemporains des précédents et les eaux marines étaient plus riches en isotope lourd; cela peut se vérifier pour une zone côtière où arrivent à se créer des conditions lagunaires : l'eau est alors soumise à une forte évaporation durant les périodes de réchauffement et on assiste à une concentration en isotope lourd ^{18}O ; un tel phénomène peut aussi bien se produire en milieu saumâtre : c'est le cas de Laiatico dont la faune et la microfaune accusent des caractères peu marins.

2) Ces gisements n'appartiennent plus au Pliocène et les valeurs plus élevées de δ traduisent un changement climatique avec baisse générale de la température, peu marquée à Lari 8, plus forte à Laiatico.

La première hypothèse est sans doute la plus vraisemblable puisque elle est appuyée par les données de la Paléontologie (AZZAROLI, 1962) et de la Stratigraphie (SQUARCI, TAFFI, 1963).

Enfin des localités comme Lari I, Lari R, Lari F, Lari C ... qui sont datées comme calabriennes se caractérisent par des moyennes de δ généralement élevées et supérieures à + 2.00. Ces valeurs peuvent correspondre à des moyennes annuelles de températures relativement basses ou bien à une concentration plus forte en isotope lourd dans les eaux marines calabriennes.

La composition isotopique des eaux méditerranéennes restant toujours hypothétique et sujette à de fortes variations locales dans les zones littorales, les analyses de paléotempératures enregistrées par les faunes malacologiques restent difficiles à interpréter. De telles faunes semblent donc peu satisfaisantes pour la recherche d'une limite climatique du Pléistocène. La plupart du temps les résultats obtenus ne peuvent s'interpréter que dans un contexte local bien précis. *La méthode des paléotempératures donne cependant des renseignements intéressants sur l'évolution des faunes sur place ou dans un domaine géographiquement très restreint* (dans le cas d'une série continue pour les sédiments émergés, ou d'une carotte sous-marine); *les analyses permettent alors de préciser les conditions de milieu ou de compléter l'interprétation d'un faciès donné.*

Il est toutefois possible d'établir des limites de variation pour deux facteurs : composition isotopique des eaux marines et température moyenne, en remarquant que cette dernière doit rester compatible avec la survivance des espèces qu'on analyse.

Reprenons l'exemple de la localité Lari F où nous trouvons une concentration maximum de + 2.57 pour l'espèce *Chlamys flexuosa*. La composition de la microfaune et la nature du sédiment (Prof. DI NAPOLI, comm. orale) indiquent un dépôt en eaux marines très diluées. Admettons la possibilité d'une baisse de salinité de 3 ‰ par rapport aux eaux du large; selon les données de EPSTEIN et MAYEDA rappelées par EMILIANI, MAYEDA et SELLI (1961) on sait qu'il existe une relation entre la salinité et la concentration en ^{18}O ; d'après ces auteurs, une baisse de 0,5 ‰ dans la concentration en ^{18}O s'accompagnerait d'une diminution de 1 - 1.5 ‰ de la salinité. Une baisse de salinité de 3 ‰ correspondrait donc à une correction de 1 à 1.5 ‰ pour la concentration isotopique de l'oxygène. Si l'on assimile la composition isotopique moyenne des eaux méditerranéennes à celle proposée par CRAIG (1965) pour les eaux océaniques à l'approche du maximum glaciaire (ce qui est inexact pour la Méditerranée), soit + 0.90 ‰, on peut admettre que des eaux diluées avaient une composition voisine de - 0.10 à - 0.60; ces données, reportées dans l'équation de EPSTEIN *et al.* (1953), nous donnent des températures variant de 2.9 °C à 5 °C; ces valeurs qui seraient vraisemblables pour des faunes abyssales ou bathyales profondes s'accordent mal avec le caractère littoral des assemblages étudiés; de telles températures sont en outre peu compatibles avec la survivance d'espèces comme *Chlamys varia*. Des températures plus élevées impliquent par conséquent que la concentration isotopique des eaux méditerranéennes était supérieure à celle des eaux océaniques au Pléistocène et aussi à celles qui caractérisent la Méditerranée aujourd'hui.

RÉSUMÉ

Dans cette étude sont présentés les résultats des analyses de paléotempératures effectuées sur des faunes marines d'âge plio-pléistocène provenant de 25 gisements à caractère littoral de la région de Pise (Italie).

La méthode des paléotempératures, appliquée aux faunes méditerranéennes d'âge quaternaire présente des difficultés d'interprétation.

Quelques problèmes d'ordre paléoécologique sont soulevés :

1) Dans le cas d'espèces fossiles on doit s'attendre à une forte variation intraspécifique des concentrations isotopiques : des analyses effectuées sur 40 individus appartenant à la même espèce *Monodonta brocchi* (Mayer), donnent des valeurs de δ dispersées sur un intervalle d'amplitude 0.8; ce résultat s'explique non seulement par une importante variation intraspécifique (que l'on peut relier à diverses particularités du mode de formation du test) mais surtout par des modifications de la composition isotopique originale

survenues en suite de la fossilisation et entraînant un déficit en isotope lourd. Dans ce cas, on devra considérer comme significatives uniquement les valeurs de δ les plus positives, c'est-à-dire les plus proches de la composition isotopique d'origine.

2) *Différenciation écologique des espèces* : les espèces d'un même niveau peuvent être classées, selon la période de l'année choisie pour la sécrétion du test, en espèces d'hiver ou espèces qui forment leur test durant la période froide de l'année, espèces d'été ou espèces qui forment leur test durant la période la plus chaude et espèces intermédiaires qui forment leur test durant une saison intermédiaire ou tout au long de l'année. A ces exigences thermiques diverses correspondent des valeurs différentes pour le δ du carbonate des tests. Si l'on suit le comportement de différentes espèces au cours du passage d'une période relativement chaude comme le Pliocène à une période relativement plus froide comme le Précalabrien, on constate que la plupart des espèces capables de survivre, semblent s'adapter à une baisse progressive de température sans modifier la saison choisie pour la sécrétion du test. (Au contraire, la persistance en Méditerranée, durant des phases de réchauffement interglaciaire, d'espèces morphologiquement identiques aux hôtes nordiques immigrés de l'Atlantique au cours d'une période glaciaire, implique des modifications bio-chimiques plus complexes au niveau cellulaire).

3) *Variations locales des concentrations isotopiques* : les variations de concentrations isotopiques observées lorsqu'on passe d'un niveau à un autre peuvent correspondre ou bien à des variations de température ou bien à des variations de la composition isotopique des eaux marines où ont vécu les faunes étudiées. Les valeurs de δ obtenues pour les faunes de 8 gisements que les relevés stratigraphiques indiquent comme pliocènes sont les plus basses; si on admet que la composition isotopique moyenne de l'eau de mer n'a pas varié dans le temps, les résultats précédents prouvent que les gisements considérés appartiennent à un niveau plus chaud, ce qui confirmerait l'hypothèse d'un âge pliocène. Pour trois autres niveaux qui, d'après les relevés stratigraphiques seraient aussi d'âge pliocène, les moyennes de concentrations isotopiques sont beaucoup plus élevées. Ceci peut s'expliquer par l'existence de conditions lagunaires, l'eau étant soumise alors à une forte évaporation durant les périodes de réchauffement avec concentration en isotope lourd ^{18}O ; un tel phénomène peut aussi bien se produire en milieu saumâtre : c'est le cas de Laiatico dont la faune et la microfaune accusent des caractères peu marins.

Enfin, un troisième groupe de localités qui sont datées comme calabriennes sont caractérisées par des moyennes de δ généralement élevées et supérieures à + 2.00. Ces valeurs peuvent correspondre

à des moyennes annuelles de températures relativement basses ou bien à une concentration plus forte en isotope lourd dans les eaux marines calabriennes.

La composition isotopique des eaux méditerranéennes restant toujours hypothétique et sujette à de fortes variations locales dans les zones littorales, il semble difficile de vouloir définir une limite climatique rigoureuse du Pléistocène inférieur qui se baserait uniquement sur les variations de concentrations isotopiques observées sur des faunes malacologiques fossiles.

Il est toutefois possible d'établir des limites de variation pour deux facteurs : composition isotopique des eaux marines et température, en remarquant que cette dernière doit rester compatible avec la survivance des espèces considérées. Les valeurs de δ trouvées pour les niveaux les plus froids impliquent que la composition isotopique de la Méditerranée durant le Pléistocène était plus élevée qu'elle ne l'est aujourd'hui et supérieure à celle que propose CRAIG pour les eaux océaniques au cours des périodes glaciaires.

ABSTRACT

Oxygen isotopic analyses on Plio-Pleistocene marine assemblages from 25 previously unrecorded layers from Pisa area (Italy) are discussed.

The paleotemperature method, when applied to Mediterranean littoral faunas from QUATERNARY EPOCH, presents difficulties of interpretation. It is the chief intent of this study to test the paleoecological approach of fossil communities by the use of isotopic determinations :

1) *The intraspecific variations of isotopic concentrations must be expected to be much higher in the case of fossil species* : isotopic analysis made on fourty samples belonging to the same species *Monodonta brocchi* (Mayer), show that, for different specimens of the same population, δ values are scattered within a total range of 0.8 unit. This result does not only reflect great intraspecific variations but is also dependent on the fact that some of the specimens have undergone isotopic exchanges. Thus the more positive δ values must be considered to be the only significant ones, i.e. closer to the original isotopic composition.

2) *Ecological differentiations of the species* : in a single layer, one may classify the species in species which deposited their CaCO_3 during the colder period of the year, species which deposited their

CaCO_3 during the warmer period of the year (they are only three, in the present study), and species which deposited their CaCO_3 throughout the whole year or during intermediate seasons. These various temperature requirements correspond to different δ values in the carbonates of the shells. Pliocene species which were able to survive during Calabrian epoch tried to maintain the time interval in which they used to precipitate their calcium carbonate and seemed to progressively adapt themselves to a lowering of temperature. (In the contrary, the survival of cold immigrated species during warmer interstadial periods in the Mediterranean waters, might implicate complex bio-chemical process in the cells).

3) *Local variations of the isotopic concentrations* : the isotopic concentrations may correspond to temperature variations or to isotopic variations in the sea water where the faunas lived. Eight layers which, according to geological records, should be Pliocene layers, demonstrate for the species in common very close and very low δ values. If the isotopic composition of the sea had not changed in time, this might prove that they are "warmer" layers, in which case the hypothesis of a Pliocene age would be confirmed. Three layers which, according to the stratigraphy, result from Pliocene deposits, show isotopic concentrations much higher than the previous ones. This can be explained by lagunar conditions with strong evaporation during warmer period and concentration of ^{18}O ; such a process may also take place under brackish influence such as in Laiatico, with limited marine influences.

Lastly, a third group of localities which stratigraphy refers to Calabrian age are characterized by positive δ values often higher than + 2.00. These values may indicate a very low annual temperature mean or a stronger ^{18}O concentration in Calabrian sea waters.

Anyway, littoral Mediterranean faunas are unsuitable in view of obtaining a climatic limit for the Pleistocene, based on changes in ^{18}O concentrations in fossiliferous shells.

At the very most it is possible to establish limits of variation for two factors : isotopic concentration of the sea and mean temperature, taking into account that the latter should always be compatible with the survival of the species. δ values found for the colder layers imply that the isotopic concentration of the Mediterranean during the Pleistocene was higher than that proposed by CRAIG for Oceanic water during glacial advance and that of the Mediterranean today.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse von Paläotemperaturuntersuchungen die an marinen, plio-pleistozänen Faunen von 25 Ablagerungen littoralen Charakters in der Gegend von Pisa (Italien) durchgeführt wurden, sind dargestellt.

Die Methode der Paläotemperaturen, die auf die quarternäre Mittelmeerfauna angewendet wird, stellt einige Interpretationsschwierigkeiten. Einige Paläo-ökologische Probleme werden gestreift.

1) *Im Falle von fossilen Arten muss mit einer starken intraspezifischen Variation gerechnet werden.* An 40 Individuen derselben Art, *Monodonta brocchi* (Mayer), durchgeführte Untersuchungen ergaben Werte von δ die auf einem Amplitudenintervall von 0.8 zerstreut sind. Dieses Ergebnis ist nicht nur durch eine grosse intraspezifische Variation zu erklären (welche mit verschiedenen Besonderheiten des Bildungsmodus der Schale zusammenhängt), sondern vor allem durch Veränderungen der ursprünglichen isotopischen Zusammensetzung, welche als Folge der Versteinerung auftrat und ein Defizit an schweren Isotopen mit sich brachte. In diesem Falle können nur die positivsten Werte von δ , welche der ursprünglichen isotopischen Zusammensetzung am nächsten kommen, als signifikant bezeichnet werden.

2) *Ökologische Differenzierung der Arten:* die Arten eines gleichen Niveau können nach der Jahreszeit, in welcher die Schale abgedondert wird, in Winter-, Sommer- und intermediäre Formen eingeteilt werden; diese bilden ihre Schale in der kalten Jahreszeit, in der wärmsten Periode oder in den Zwischenperioden, resp. während des ganzen Jahres. Diesen thermischen Anforderungen entsprechen verschiedene Werte des Schalenkarbonates. Wenn man das Verhalten von verschiedenen Arten im Laufe des Uebergangs von einer relativ warmen Periode, wie das Pliozän, zu einer relativ kalten Periode, wie das Präkalabrium, beobachtet, stellt man fest, dass die meisten Arten sich einer progressiven Temperaturabnahme ohne Veränderungen der von ihnen zur Schalenbildung ausgewählten Periode anpassen.

3) *Örtliche Veränderungen der isotopischen Konzentrationen:* die isotopischen Konzentrations-änderungen welche man beim Übergang von einem Niveau zu einem anderen beobachten kann, entsprechen entweder Temperaturschwankungen oder Veränderungen in der isotopischen Zusammensetzung der marinen Gewässer, in welchen die untersuchten Arten lebten. Die tiefsten Werte wurden

von Faunen aus 8 Ablagerungen, die nach stratigraphischen Erhebungen als pliozäne zu bezeichnen sind, erhalten. Wenn man annimmt, dass die mittlere isotopische Zusammensetzung des Meerwassers sich nicht verändert hat, beweisen unsere Resultate, dass die Ablagerungen einem wärmeren Niveau angehören, was die Hypothese ihres pliozänen Alters bestätigen würde. Für drei andere, nach stratigraphischen Erhebungen ebenfalls pliozäne Niveau, sind die isotopischen Konzentrationswerte viel höher. Dies hängt vielleicht mit der Existenz lagunärer Bedingungen zusammen, wobei das Wasser während der Erwärmungsperiode stark verdunstet, was zur Konzentration in schwere Isotope führt. Ein solches Phänomen kann auch im Brackwassermilieu vorkommen. Es ist der Fall in Laiatico, wo Fauna und Mikrofauna wenig marine Eigenschaften zeigen.

Schliesslich ist eine dritte Gruppe von Lokalitäten, die als Kalabrium datiert sind, durch hohe, meist + 2.00 übersteigende δ Werte ausgezeichnet. Diese Werte können relativ tiefen mittleren Jahrestemperaturen entsprechen, oder aber einer stärkeren Konzentration in schwerem Isotop in den marinen kalabrischen Gewässern.

Da die isotopische Komposition der Mittelmeergewässer immer noch hypothetisch ist und in den Küstenzonen starken örtlichen Schwankungen ausgesetzt, erscheint es schwierig, eine scharfe klimatische Grenze des unteren Pleistozän zu bestimmen, welche nur auf den Veränderungen der, an fossilen malakologischen Faunen beobachteten isotopischen Konzentrationen beruht.

Man kann jedoch Variationsgrenzen für zwei Faktoren festlegen: isotopische Zusammensetzung und Temperatur, wobei letztere mit dem Überleben der beobachteten Arten übereinstimmen muss. Die für die kältesten Niveau gefundenen Werte zeigen, dass die isotopische Komposition des Mittelmeeres im Pleistozän höher war als die heutige und als die, von CRAIG für die ozeanischen Gewässer während der Eiszeiten vorgeschlagene.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLÈGRE, A., D. BOULANGER, M. JAVOY, 1963. Etude à l'aide des isotopes de l'oxygène de la paléothermométrie du Nummulitique basque. *C. r. somm. Séanc. Soc. géol. Fr.*, Paris, 8 : 256-258, 1 tab.
- AVNIMELECH, M., U. BOSKOVITZ, 1955. Some problems of the present distribution of Molluscan shells on the Mediterranean coast of Israel. *Bull. Res. Coun. Israel*, Jerusalem, Sect. B, 5B (2) : 178-188, 1 tab., 3 fig.

- AZZAROLI, A., 1962. Rinoceronti pliocenici del Val d'Arno inferiore. *Paleontogr. ital.*, Pisa, 57 (nuov. ser. 27) : 11-20 (1-10), tab. VI-XV (1-10).
- CRAIG, H., 1957. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass spectrometric analysis of carbon dioxide. *Geochim. Cosmochim. Acta*, London, 12 (1-2) : 133-149, tab. 6.
- CRAIG, H., L.I. GORDON, 1965. The measurement of oxygen isotope paleotemperatures. In: *Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures*, 9 p., Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italie.
- BLANC, A.C., E. TONGIORGI, L. TREVISAN, 1952-1954. La limite Plio-Pléistocène dans la coupe de Monte Mario (Environs de Rome). In *La limite Plio-Pléistocène en Italie, rapport S.G.I. (1); C.R. 19° Sess. Congr. Géol. Intern. Alger 1952, Sect. XIII, 3° part. (XV) : 218-228, 4 fig.*
- DI NAPOLI-ALLIATA, E., 1952-1954. La limite Plio-Pléistocène dans la coupe de Castell'Arquato (Plaisance). *Ibid.* : 229-234, 2 fig.
- EMILIANI, C., 1955. Pleistocene temperatures. *J. Geol.*, U.S.A., 63 : 538-578.
- EMILIANI, C., 1955. Pleistocene temperature variations in the Mediterranean. *Quaternaria*, Roma, II : 87-98.
- EMILIANI, C., 1957. Temperature and Age Analysis of Deep Sea Cores. *Science*, U.S.A., 125 (3244) : 383-387, tab. 3, 3 fig.
- EMILIANI, C., 1958. Paleotemperature Analysis of Core 280 and Pleistocene Correlations. *J. Geol.*, U.S.A., 66 : 264-279.
- EMILIANI, C., A. GIANOTTI, T. MAYEDA, 1961. Analisi isotopica dei foraminiferi Siciliani delle argille di Ficarazzi, Palermo. *Quaternaria*, Roma, 5 : 135-141, 1 fig., 3 tab.
- EMILIANI, C., T. MAYEDA, 1964. Oxygen isotopic analysis of some Molluscan shells from fossil littoral deposits of Pleistocene age. *Am. J. Sci.*, New Haven (Conn.), 262 (1) : 107-113, 4 fig., 4 tab.
- EMILIANI, C., T. MAYEDA, R. SELLI, 1961. Paleotemperature Analysis of the Plio-Pleistocene Section at Le Castella, Calabria, Southern Italy. *Bull. geol. Soc. Am.*, New York, 72 (5) : 679-688, 2 fig.
- EPSTEIN, S., R. BUSCHBAUM, H. LOWENSTAM, H.C. UREY, 1951. Carbonate-water isotopic temperature scale. *Ibid.*, 62 (4) : 417-426, 5 fig.
- EPSTEIN, S., R. BUSCHBAUM, H. LOWENSTAM, H.C. UREY, 1953. Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Ibid.*, 64 : 1315-1326, 9 fig.
- EPSTEIN, S., H.A. LOWENSTAM, 1953. Temperature-shell-growth relations of recent and interglacial pleistocene shoal-water biota from Bermuda. *J. Geol.*, U.S.A., 61 (5) : 424-438, 8 fig., 3 tab.
- EPSTEIN, S., T. MAYEDA, 1953. Variations of O¹⁸ content of waters from natural sources. *Geochim. Cosmochim. Acta*, London, 4 : 213-224.
- GIANNINI, E., 1951. Nuovo giacimento fossilifero calabriano presso Bagni di Casciana (Pisa). *Memorie Soc. tosc. Sci. nat.*, Pisa, (ser. A), 58 : 154-160.
- GIGNOUX, M., 1913. Les formations marines pliocènes et quaternaires de l'Italie du Sud et de la Sicile. *Annls Univ. Lyon*, nouv. ser. I (36) : 693 p., 42 fig., 21 pl.

- GIGNOUX, M., 1952-1954. Pliocène et Quaternaire marins de la Méditerranée occidentale. In La limite Plio-Pléistocène en Italie; rapport S.G.I. (1), C.R. 19^e Sess. Congr. Géol. Intern. Alger, 1952, Sect. XIII, 3^e part. (XV) : 249-258.
- LONGINELLI, A., 1965. Oxygen isotopic composition of orthophosphate from shells of living marine organisms. *Nature*, G.B., 207 (4998) : 716-719, fig. 1, tab. 4.
- LONGINELLI, A., E. TONGIORGI, L. TREVISAN, 1962. Oxygen isotopic composition of some Pelecypods from two Calabrian faunas. *Boll. Soc. paleont. ital.*, Modena, 1 (2) : 52-57, 2 fig.
- LLOYD, R.M., 1964. Variations in the Oxygen and Carbon Isotope Ratios of Florida Bay Mollusks and their Environmental Significance. *J. Geol.*, U.S.A., 72 (1) : 84-111, 19 fig., 5 tab.
- McCREA, J.M., 1949-1950. Isotope chemistry of carbonates and a paleo-temperature scale. *J. Chem. Phys.*, *Doctoral Dissertation*, Univ. Chicago, 1949, 18 : 849-857, 5 fig., 17 tab., 1 photo.
- MARS, P., 1950. Contribution à l'étude biologique des étangs méditerranéens. Euryhalinité de quelques Mollusques méditerranéens. *Vie Milieu*, I (1) : 441-447, 3 tab.
- MARS, P., 1958. Les faunes malacologiques quaternaires « froides » de Méditerranée. Le gisement de Cap Creus. *Ibid.*, IX (3) : 293-309, 2 tab., 4 fig.
- MARS, P., 1963. Les faunes et la stratigraphie du Quaternaire méditerranéen. *Recl Trav. Stn mar. Endoume*, 23 (43) : 61-97, 3 tab., 6 fig.
- MAZZANTI, R., 1961. Geologia della zona di Montaione fra le valli dell'Era e dell'Elsa (Toscana). *Boll. Soc. geol. ital.*, Roma, 53 (2) : 37-126, 34fig., 1 carte, 1 pl. stratig.
- PÉRÈS, J.M., J. PICARD, 1955. Biotopes et biocoenoses de la Méditerranée occidentale comparés à ceux de la Manche et de l'Atlantique Nord-Oriental. *Archs Zool. exp. et gén.*, Paris, 92 (1) : 1-71, 3 tab., 1 carte.
- RAMACCIONI, G., 1936. L'*Elephas planifrons* di Laiatico (Pisa). *Paleont. ital.*, Mem. Paleont., Pisa, 36 (nouv. ser., 6) : 215-233 (1-19), tab. 13-16 (1-3), fig. 1-6.
- RANKAMA, K., 1956. *Oxygen*. In *Isotope Geology*. Chap. 18 : 238-270, tab. 7, 2nd edition, London.
- RUGGIERI, G., 1957. Molluschi pliocenici sopravvissuti nel Calabriano. *Atti Soc. tosc. Sci. nat.*, Pisa, Processi verbali e memorie (ser. A), 64 : 80-87, 1 pl.
- RUGGIERI, G., 1961. Alcune zone biostratigrafiche del Pliocene e del Pleistocene italiano. *Riv. ital. Paleont. Stratigr.*, Milano, 67 (4) : 405-417, fig. 1.
- SAGGINI, F., 1959. Nuove osservazioni sui terreni fossiliferi marini pliocenici e calabriani della bassa valle della Cecina. *Boll. Soc. geol. ital.*, Roma, 78 (2) : 189-206, 4 fig.
- SAGGINI, F., 1962. Stratigrafia e facies di due lembi trasgressivi pliocenici presso Casaglia (Bassa valle della Cecina). *Atti Soc. tosc. Sci. nat.*, Pisa, Processi verbali e memorie (ser. A), 69 (2) : 310-326, 4 fig., 4 phot.

- SOCIN, C., 1941. Nota preliminare sulla fauna malacologica di Vallebiaia (Colline pisane). *Memorie Soc. tosc. Sci. nat.*, Pisa (ser. A), 49 : p. 244-256, 1 tab.
- STEFANINI, G., 1934. Il complesso eruttivo di Orciatice e Montecatini in provincia di Pisa. *Memorie Soc. tosc. Sci. nat.*, Pisa, 44 : 224-300, tab. VIII-XVI (1-9), 2 fig.
- SQUARCI, P., L. TAFFI, 1963. Geologia della zona di Chianni-Laiatico-Orciatice (Provincia di Pisa). *Boll. Soc. geol. ital.*, Roma, 82 : 220-290, 16 fig., 3 tabl., carte géol. au 1/25 000.
- STRUFFI, G., M. SOMMI, 1960. Il limite Pliocene-Quaternario lungo il margine settentrionale delle Colline Livornesi. *Ibid.*, 79 : 257-272, fig. 7.
- TREVISAN, L., 1949. Studio tettonico della regione di Bagni di Casciana (Pisa). *Boll. Soc. geol. ital.*, Roma, 68 : 42-57, 7 fig., 1 carte géol. 1/15 000.
- TUDGE, A.P., 1960. A method of analysis of oxygen isotopes in orthophosphate, its use in the measurement of paleotemperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, London, 18 : 81-93.
- VALENTINE, J.W., R.F. MEADE, 1961. Californian pleistocene paleotemperatures. *Univ. Calif. Publs geol. Sci.*, Berkeley and Los Angeles, 40 (1) : 1-46, 4 fig.
- WEBER, J.N., A. LA ROCQUE, 1963. Isotope Ratios in Marine Mollusk Shells after Prolonged Contact with Flowing Fresh Water. *Science*, U.S.A., 142 (3600) : 16666.

Reçu le 31 janvier 1968.

CARTE SÉDIMENTOLOGIQUE DU PLATEAU CONTINENTAL AU LARGE DE LA CÔTE CATALANE FRANÇAISE (P.-O.) (1)

par H. GÖT, A. GUILLE, A. MONACO et J. SOYER

C.S.U., 66-Perpignan
Laboratoire Arago, 66 - Banyuls-sur-Mer

SOMMAIRE

Les auteurs dressent deux cartes de la répartition des sédiments sur le plateau continental de la côte catalane française jusqu'à la bordure des canyons sous-marins. Plus particulièrement l'évolution latérale de la sédimentation est suivie en trois radiales perpendiculaires à la côte, situées en des secteurs morphologiquement différents. Parallèlement, des données sur la répartition générale des peuplements animaux sont également fournies.

INTRODUCTION

L'étude systématique des fonds situés au large de la côte catalane a été entreprise dès 1894 par PRUVOT (1894-95) qui, malgré les moyens primitifs de l'époque, en donne la topographie en y ajoutant les aspects granulométriques et bionomiques. C'est à lui que l'on doit la première carte indiquant de façon précise l'emplacement des quelques pointements rocheux affleurant sur le plateau

(1) Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une convention passée par le COMEXO (D.G.R.S.T.) et reprise par le CNEXO avec le Laboratoire Arago.

Duthiers. Des plongées en soucoupe et des dragages ont défini la nature rocheuse des parois des canyons en certains points et la récolte de blocs éboulés permettent de reconnaître la présence de grès calcaires plus ou moins grossiers attribués au quaternaire par J. BOURCART.

Les autres témoins rocheux se situent près de la côte et constituent les prolongements sous-marins des promontoires schisteux continentaux. Ils se présentent sous forme de petits dômes pointant à travers la couverture sédimentaire et recouverts parfois de précorallogène. Des sondages géophysiques ont permis de les retrouver plus au large sous une faible épaisseur d'alluvions récentes.

II. — MÉTHODES DE TRAVAIL

Nous avons effectué un échantillonnage régulier suivant un quadrillage de 1 à 2 milles sauf en des secteurs particuliers où la diversité des dépôts nous a amené à réduire la maille.

Les campagnes faites à bord du navire « Professeur Lacaze-Duthiers » du Laboratoire Arago de Banyuls-sur-Mer, ont mis en œuvre divers procédés de prélèvements : dragages par benne et carottages. Ils présentent l'avantage d'être ponctuels et d'éviter le brassage et le délavage des sédiments. 272 échantillons ont pu être récoltés et traités (cartes 3 et 4).

Les stations sont repérées soit au radar, soit, pour les points les plus proches de la côte, au cercle hydrographique et au relevé d'azimut. Suivant le procédé employé, la précision est de l'ordre de 50 à 200 mètres.

Les échantillons recueillis sont fractionnés en deux catégories granulométriques par tamisage au tamis de 40 μ , afin de permettre le calcul des pourcentages en pélites et en sables. Sur ces deux stocks sont ensuite effectuées des analyses granulométriques classiques : à la pipette de sédimentation pour la fraction fine (pipette d'Andreasen), par tamisage pour les constituants de taille supérieure à 40 μ .

A partir de ces analyses, des courbes granulométriques cumulatives semi-logarithmiques sont établies et caractérisent le sédiment : répartition des diverses catégories dimensionnelles, quartiles et médianes qui définissent le diamètre des grains, classement du sédiment, allure des courbes qui traduit le stade d'évolution et partant les conditions de dépôt.

La fraction calcaire, principalement d'origine zoogène, est parfois conservée car elle forme souvent une phase majeure et définit un biotope particulier.

CARTE I

Université de Paris
 LABORATOIRE ARAGO
 Banyuls-Sur-Mer

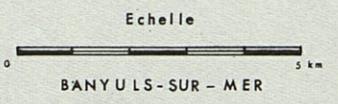
Université de Montpellier
 CENTRE DE RECHERCHES DE
 SEDIMENTOLOGIE MARINE
 de Perpignan

CARTE SEDIMENTOLOGIQUE DU PLATEAU CONTINENTAL AU LARGE
 DE LA
 COTE CATALANE FRANÇAISE

- I - CARTE GÉNÉRALE

Carte levée par MM H. GOT, A. GUILLE, A. MONACO, J. SOYER
 et dessinée par
 H. Ph. DANOY

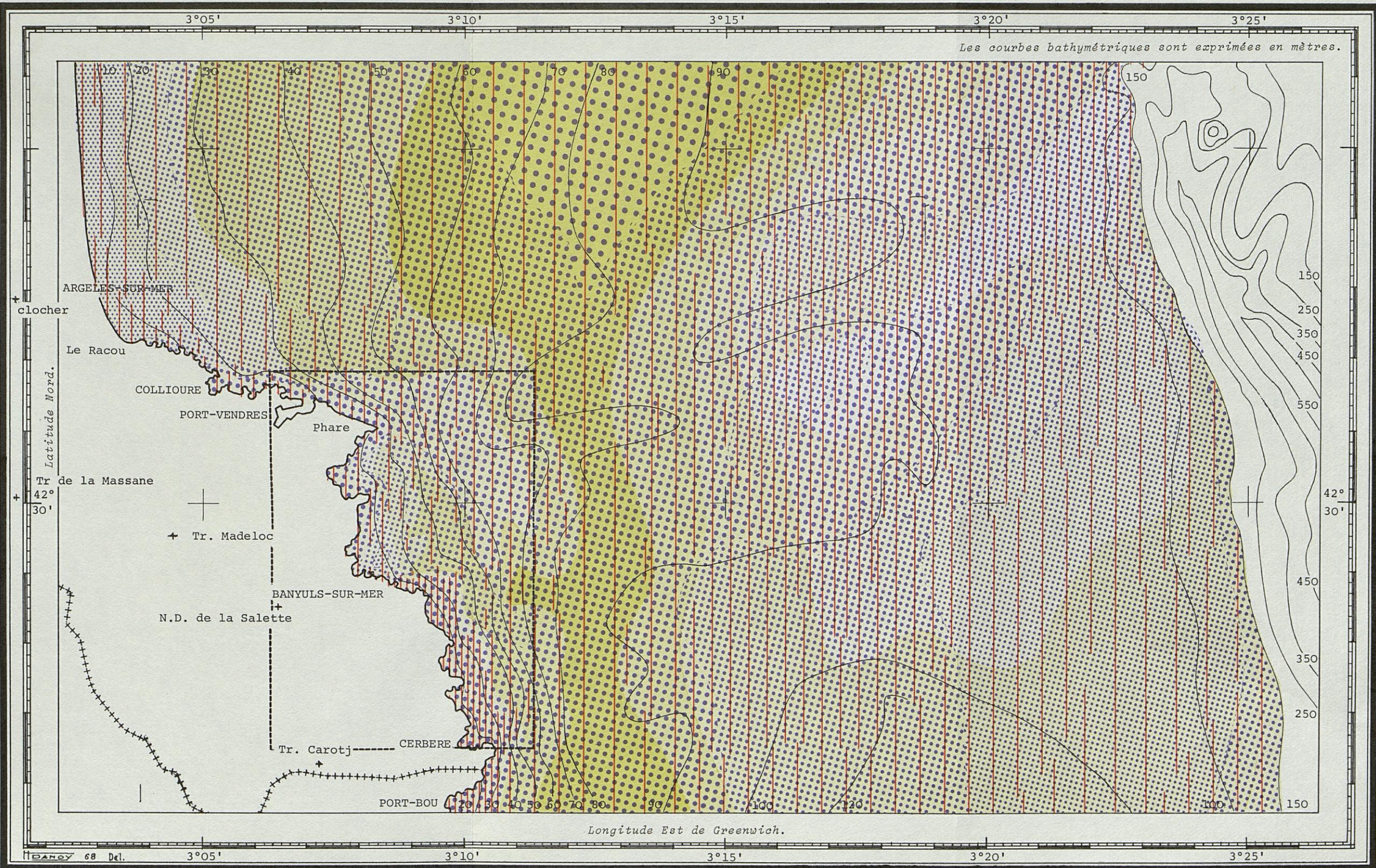
Les documents suivants ont été utilisés pour l'établissement de cette carte :
 Carte bathymétrique de Port-Vendres au Cap Rédéris (1964)
 Carte bionomique de Port-Vendres au Cap Rédéris (1965)
 Relevé bathymétrique de la tête du Rech Lacaze-Duthiers (1964)



1 9 6 8

L E G E N D E

Teneur en argile (< 40 μ)	Teneur en sables fins (40 μ à 200 μ)	Teneur en sables moyens (200 μ à 2 m/m)
- de 5 %	- de 5 %	- de 5 %
5 à 20 %	5 à 20 %	5 à 20 %
20 à 50 %	20 à 50 %	20 à 50 %
50 à 80 %	50 à 80 %	50 à 80 %
> 80 %	> 80 %	> 80 %



III. — RÉPARTITION DES SÉDIMENTS (cartes 1 et 2)

Les cartes sédimentologiques figurent les répartitions de la fraction fine (inférieure à 40μ), des sables fins et moyens et des éléments plus grossiers y compris les graviers et gravillons.

Dans la représentation des affleurements rocheux, recouverts de coralligène, nous avons distingué ceux d'entre eux qui n'ont pu être levés avec précision.

Des tableaux récapitulatifs donnent les pourcentages respectifs des diverses fractions pour chaque point de prélèvement (1).

A) RÉPARTITION DES PÉLITES

Les sédiments fins occupent des surfaces importantes du plateau continental et leur distribution obéit souvent à la bathymétrie. Il s'agit de vases beiges à grises constituées essentiellement de phyllites argileuses, de matière organique, de calcaire (20 à 25 %) et de poudre quartzreuse.

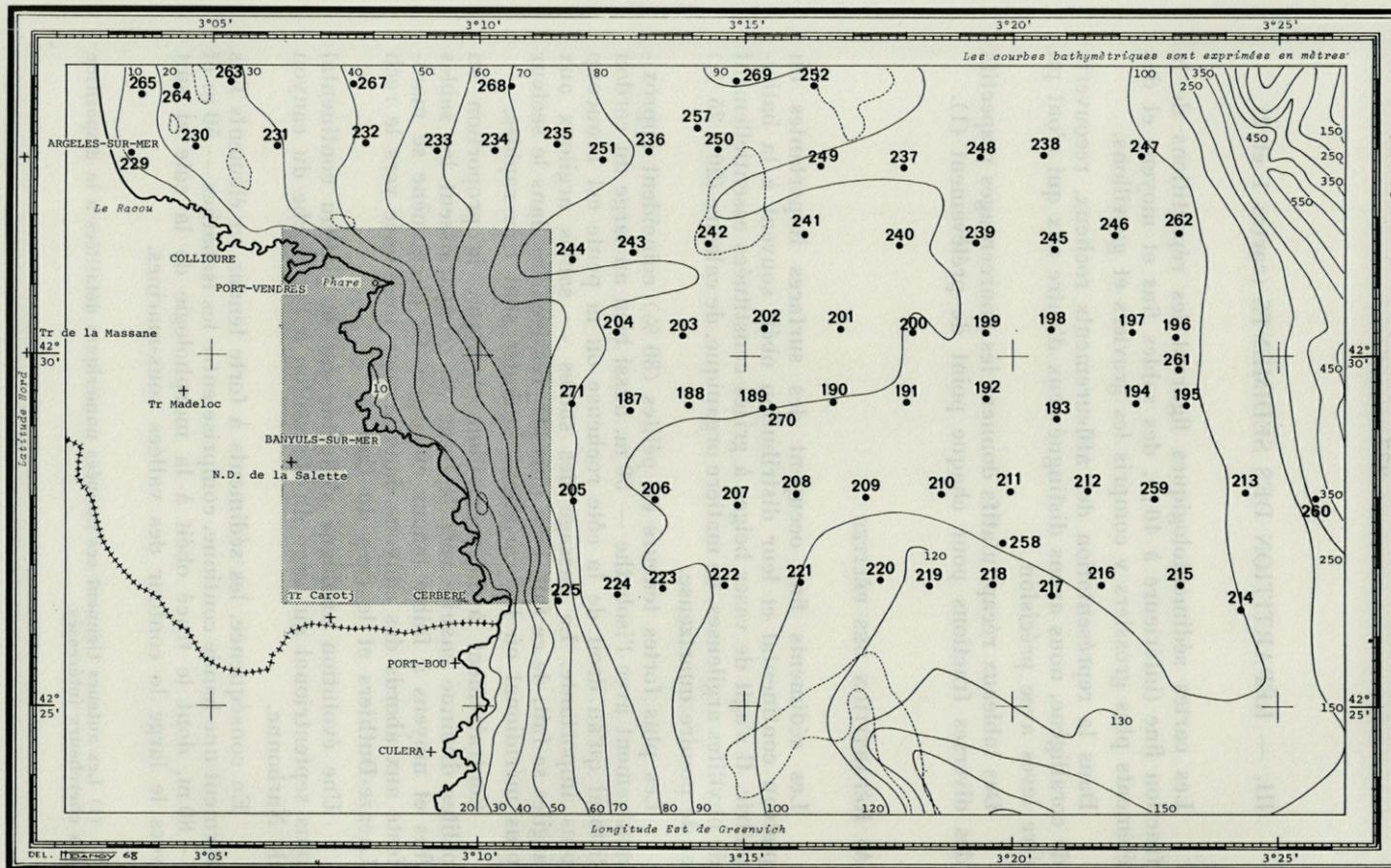
Les plus fortes teneurs en pélites (80 %) coïncident approximativement avec l'isobathe — 50 m, aussi bien au large du cordon littoral qu'au droit de la côte rocheuse où la pente est beaucoup plus importante. Le passage des sables — sables argileux aux argiles se fait, de ce fait, bien plus progressivement dans le secteur plus méridional où les variations latérales sont très rapides.

Contrairement à la répartition classique, la proportion en pélites diminue ensuite vers le large où réapparaissent les sables fins et moyens à faible teneur en argile. Ce phénomène se manifeste aux abords des canyons dans la zone intéressée vers le rech Lacaze-Duthiers et le rech du Cap.

Une évolution analogue s'effectue sur le plateau continental plus septentrional au large du Roussillon à l'approche du canyon de Narbonne.

En conséquence, les sédiments à forte teneur en éléments fins forment une bande continue, comprise entre les isobathes — 50 m et — 80 m, dont le tracé obéit à la morphologie de la côte et suit vers le large le contour des vallées sous-marines.

(1) Les auteurs tiennent ces données numériques détaillées à la disposition des chercheurs intéressés.



CARTE III

Cette bande correspond en grande partie à la biocénose du « Détritique Envasé » de PICARD (1965), caractérisé granulométriquement par une vase plus ou moins sableuse, riche en débris coquilliers et en scories, à sédimentation lente. Les espèces vasicoles représentent 49 % du peuplement dominé par les Annélides. Dans certaines conditions particulières, cette biocénose peut faire place à celle de la « vase terrigène côtière » : au large des caps, dans des zones très limitées à sédimentation rapide où les débris grossiers sont enfouis très rapidement (ex. : prélèvement 69). La dominance des espèces vasicoles et des Annélides en général est alors encore plus grande dans le peuplement (GUILLE et SOYER, 1968).

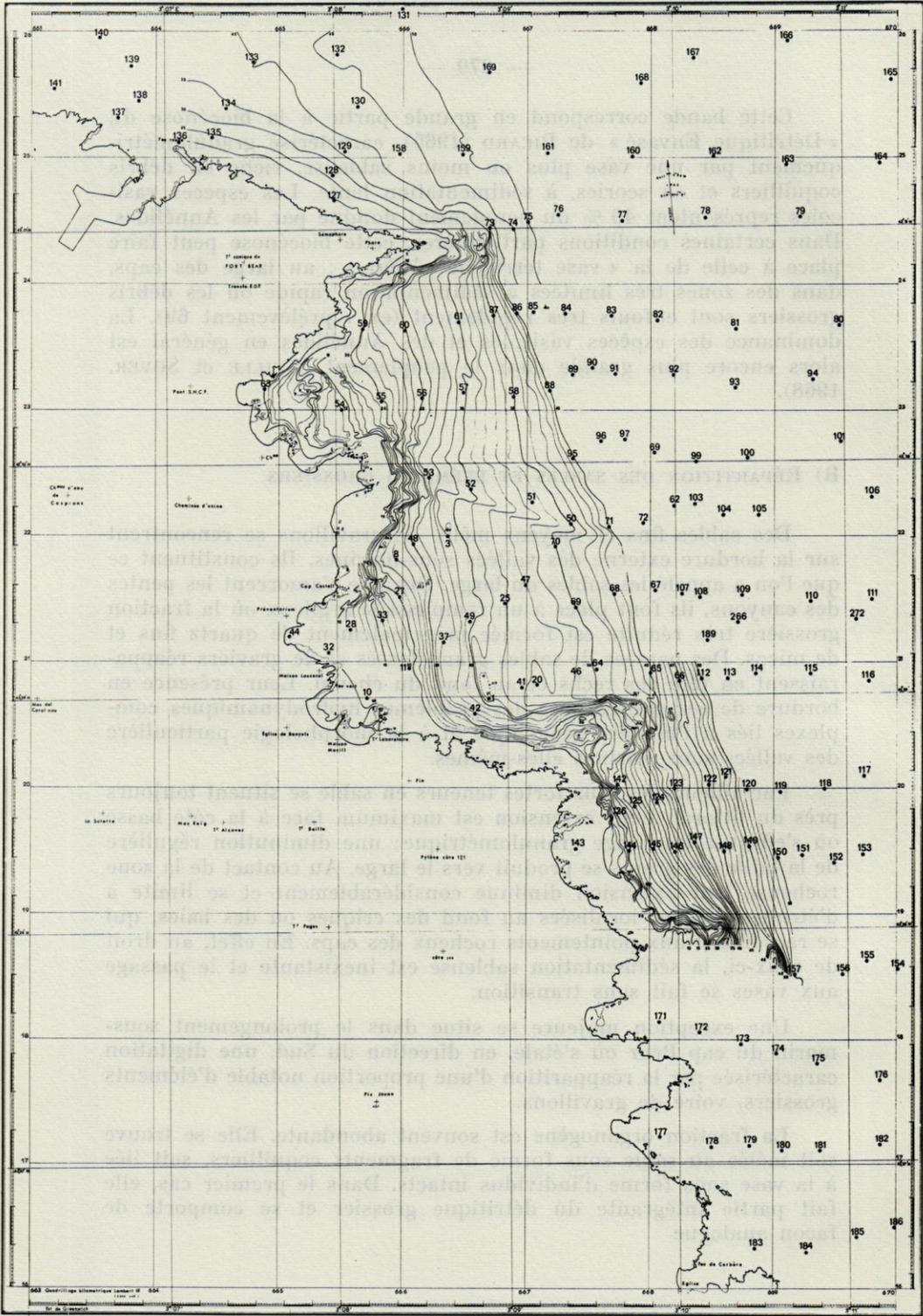
B) RÉPARTITION DES SABLES ET ÉLÉMENTS GROSSIERS

Des sables fins et moyens mêlés de gravillons se rencontrent sur la bordure externe des vallées sous-marines. Ils constituent ce que l'on a appelé les sables du large. Dès que s'amorcent les pentes des canyons, ils font place à un remplissage argileux où la fraction grossière très réduite est formée principalement de quartz fins et de micas. Des passées de sables granoclassés et de graviers réapparaissent en tête des rechs et au fond du chenal. Leur présence en bordure de ces vallées pose des problèmes hydrodynamiques complexes liés à l'histoire géologique et à la morphologie particulière des vallées sous-marines elles-mêmes.

Par ailleurs les plus fortes teneurs en sable se situent toujours près du littoral. Leur extension est maximum face à la côte basse où s'effectue un triage granulométrique; une diminution régulière de la taille des grains se produit vers le large. Au contact de la zone rocheuse leur extension diminue considérablement et se limite à d'étroites bandes, localisées au fond des criques ou des baies, qui se raccordent aux pointements rocheux des caps. En effet, au droit de ceux-ci, la sédimentation sableuse est inexistante et le passage aux vases se fait sans transition.

Une exception majeure se situe dans le prolongement sous-marin du cap Béar où s'étale, en direction du Sud, une digitation caractérisée par la réapparition d'une proportion notable d'éléments grossiers, voire de gravillons.

La fraction organogène est souvent abondante. Elle se trouve soit mêlée au sable sous forme de fragments coquilliers, soit liée à la vase sous forme d'individus intacts. Dans le premier cas, elle fait partie intégrante du détritique grossier et se comporte de façon analogue.



CARTE IV

Le coralligène de la mer de Banyuls a fait l'objet de nombreux travaux. Formé de concrétions de Lithothamniées dont seule la partie externe est vivante, il repose sur un substratum dur constitué par les affleurements rocheux côtiers, prolongements sous-marins des caps (LAUBIER, 1966).

Du point de vue bionomique, les zones à forte teneur en sables et graviers correspondent à différents peuplements animaux liés à des compositions granulométriques du sédiment à limites précises. Les considérations bionomiques développées ici se réfèrent essentiellement aux travaux de PÉRÈS et PICARD (1963). Cependant une étude précise des peuplements benthiques est en cours et fera l'objet d'une publication ultérieure.

Dans les baies (ex. prélèvement 33 et 11 dans la baie de Banyuls, 63 dans la baie de Paulilles, etc.) à sable fin très bien classé, est installée la biocénose des « sables fins bien calibrés » caractérisée par une majorité de Mollusques et de Crustacés mangeurs de particules en suspension ou prédateurs.

Dans les parties latérales des baies, sous forme d'étroites bandes, ou le long de la côte sableuse, balayée par des courants plus ou moins constants, se trouve la biocénose des « sables et graviers sous l'influence de courants de fond », à sable grossier plus ou moins classé mais sans particules fines (F. MONNIOT, 1962). Cette biocénose, très pauvre en macrobenthos en dehors de l'Amphioxus, est au contraire très riche en microfaune interstitielle.

La langue d'éléments grossiers qui part du cap Béar vers le Sud est occupée à son origine par la biocénose du « Détritique côtier », correspondant aux « graviers et sables vaseux à Bryozoaires » de MARION (1883). Les exigences écologiques du peuplement, dominé par les Echinodermes et les Mollusques, sont diverses puisqu'on y rencontre les espèces sabulicoles, gravellicoles, limicoles, traduisant l'hétérogénéité du substrat. Vers le Sud, avec l'envasement progressif, ce peuplement est remplacé par celui de la biocénose du « Détritique Envasé ».

Au large, au-delà de 80 à 90 mètres de profondeur, dans la partie terminale du plateau continental, est installée la biocénose du « Détritique du Large », sur un substrat constitué de sable essentiellement organogène, mal classé et plus ou moins envasé. Le peuplement y est appauvri, en espèces et en individus, par suite de l'augmentation de profondeur.

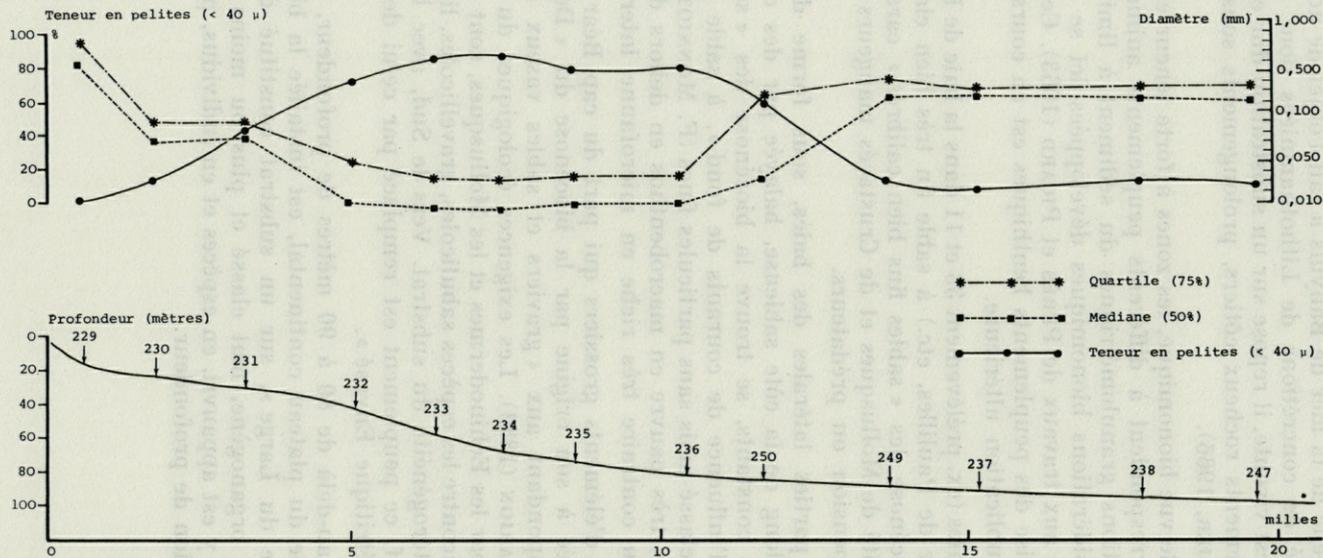


FIG. 1

IV. — ÉVOLUTION LATÉRALE DE LA SÉDIMENTATION

La répartition des sédiments sur cette portion du précontinent est bien représentée sur 3 alignements perpendiculaires à la côte, choisis dans des secteurs différenciés morphologiquement.

L'alignement le plus septentrional se situe au large du cordon littoral à la hauteur du village d'Argelès-sur-Mer, et s'étend depuis le rivage jusqu'aux abords du cirque de tête du rech Lacaze-Duthiers. La Figure 1 représente la topographie des fonds et les caractéristiques granulométriques des sédiments prélevés le long de cet axe. Les sédiments proches de la côte sont constitués par des sables grossiers à moyens devenant de plus en plus fins vers le large (83μ à -15 m). L'analyse granulométrique fournit des courbes généralement unimodales qui montrent un bon classement, caractéristique des dépôts littoraux soumis à des triages hydrodynamiques sous l'effet des vagues et des courants de houle.

La fraction fine quartzeuse, argileuse et micacée devient ensuite prépondérante, les courbes granulométriques s'étalent dans des limites dimensionnelles assez larges et leur allure traduit un stade d'évolution qui est plus poussée à mesure que la profondeur croît et que les mécanismes de décantation interviennent.

Au-delà, vers le large, une rupture nette se produit : la teneur en argile diminue très sensiblement et passe à des valeurs de l'ordre de 10 à 15 %. Les sables sont relativement bien classés et comportent des grains de taille supérieure à 2,5 mm. La présence d'une fraction coquillière affecte la régularité des courbes granulométriques qui deviennent plurimodales.

La deuxième radiale (Fig. 2, a), orientée Est-Ouest, recoupe le plateau continental situé face à la côte rocheuse à la hauteur de Banyuls-sur-Mer. La nature et les caractéristiques des dépôts suivent une évolution parallèle à celle qui est décrite plus haut. Elle se complique toutefois d'un phénomène secondaire et localisé dû à l'apparition d'un stock sédimentaire plus grossier qui s'intercale dans la zone des dépôts argileux et forme une digitation issue du cap Béar et dirigée vers le Sud.

Les analyses granulométriques traduisent la nature des divers dépôts rencontrés (Fig. 2, b). Les sables grossiers qui occupent le fond de la crique passent à des sables de plus en plus fins et micacés au centre de la baie (55 % au point 47, médiane 10μ). Les mécanismes de la sédimentation correspondent à des phénomènes de triage, transport et accumulation des particules fines dans les zones moins soumises à l'action de la houle.

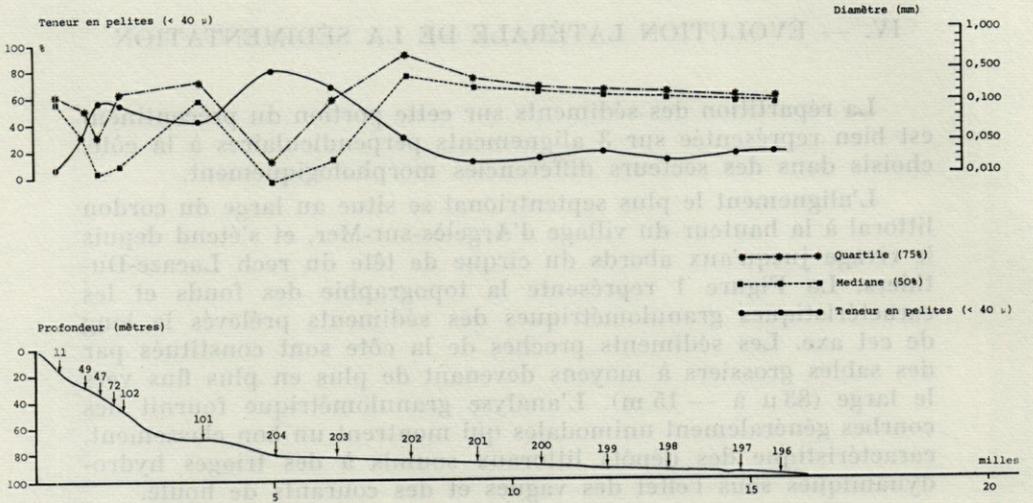


FIG. 2a

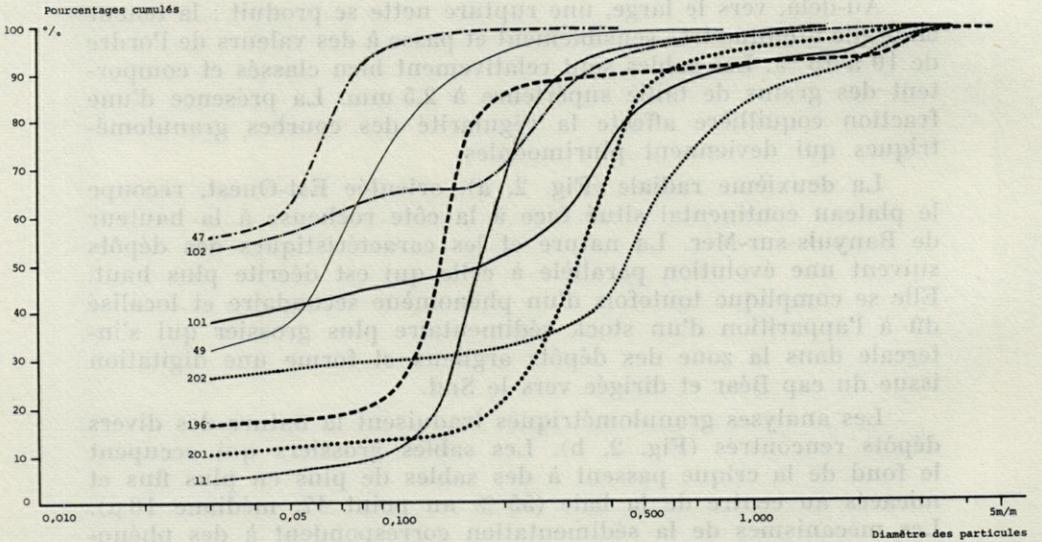


FIG. 2b

On atteint ensuite une bande large d'environ 1 mille, caractérisée par des sédiments moyennement riches en pélites (40 %) comportant des éléments plus grossiers, les grains les plus gros pouvant atteindre 1 cm. Cette hétérogénéité se traduit dans les courbes granulométriques par une bimodalité caractéristique des deux stocks sédimentaires.

Au-delà de cette langue, la fraction fine devient prépondérante (80 %). Il s'agit d'un matériel évolué sous l'effet du transport.

Vers les parois du canyon Lacaze-Duthiers, la répartition des fractions granulométriques et leur teneur relative subit le même processus que celui décrit plus haut. Les pourcentages en argile décroissent brusquement (moins de 25 %) et la fraction grossière devient prépondérante (médiane d'environ 200 μ).

La Figure 3 représente les caractéristiques granulométriques correspondant à des points de prélèvements alignés sur une troisième radiale située sur la portion la plus étroite du plateau continental à la hauteur du cap Cerbère. Dans la première portion, la phase pélitique devient vite prédominante et à 30 mètres constitue 90 % du dépôt. L'allure des courbes représentatives est celle de sédiments évolués mis en place après un transport relativement long.

Les sables littoraux moyens, bien classés, s'adjoignent un peu plus loin d'une fraction plus grossière issue probablement d'une désagrégation sur place des massifs frangeants. Cette fraction non soumise au triage confère aux courbes cumulatives une bimodalité qui caractérise l'hétérogénéité du dépôt.

A partir de l'isobathe — 85 m, la phase grossière réapparaît et représente plus de 50 % du sédiment. Il s'agit de sables moyens (médiane 250 μ) bien classés, ayant subi un triage assez poussé.

En résumé, on retrouve sur les trois radiales considérées une même répartition des sédiments : de la côte vers le large, des sables littoraux presque purs, des sables fins argileux, des argiles et une récurrence nette des sables moyens aux abords des canyons. Les analyses granulométriques nous ont permis de définir les mécanismes de la sédimentation et de distinguer deux zones.

V. — LES MÉCANISMES DE LA SÉDIMENTATION

La répartition des sédiments décrite précédemment est la résultante de plusieurs facteurs parmi lesquels la morphologie de la côte et son orientation, la topographie sous-marine et les hydro-

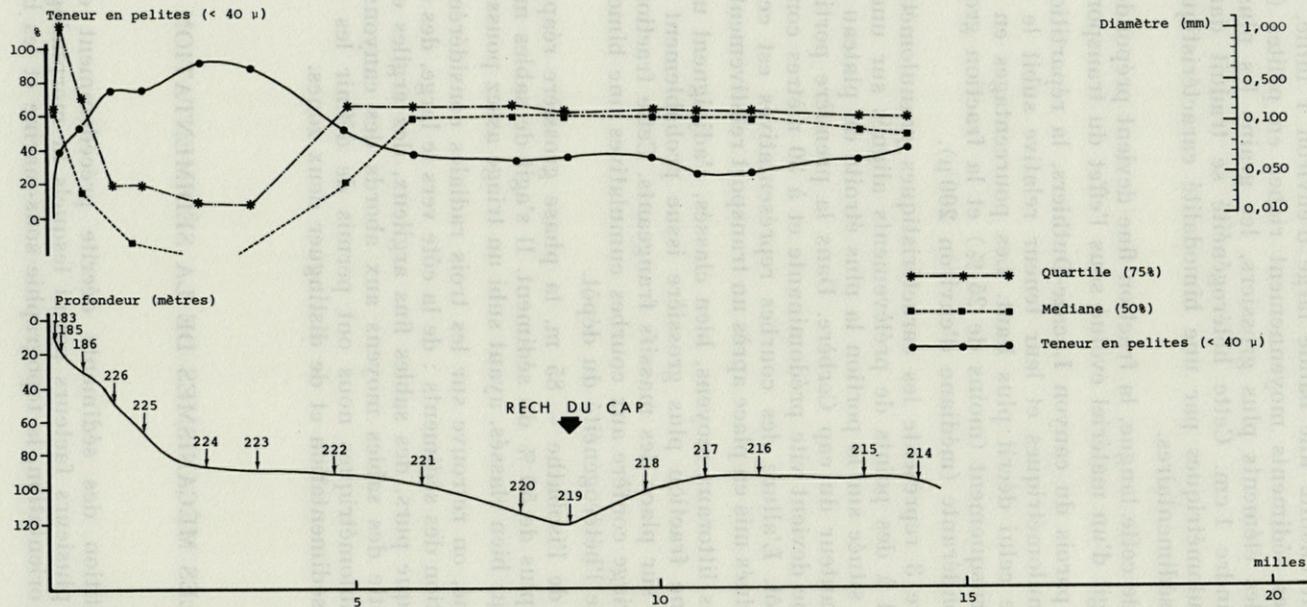


FIG. 3

dynamismes divers. Elle traduit également l'histoire géologique du plateau continental.

Dans un premier secteur jusqu'à l'isobathe — 80 m, la nature, la distribution et le mode de dépôt obéissent principalement à la bathymétrie. L'action de la houle intervenant jusqu'à des profondeurs d'environ — 15 m, effectue le triage et le classement des sables littoraux. Sa compétence étant fonction de la taille des particules, les grains les plus fins sont susceptibles d'être entraînés plus au large. La forme des particules intervient également : les micas et les phyllites argileuses possédant un grand pouvoir de flottaison sont transportés en suspension et sédimentent à des profondeurs plus grandes où l'action des courants et houles est moindre.

La présence de sables aux plus grandes profondeurs et autour des canyons serait inexplicable par le processus de la sédimentation actuelle. Pour J. BOURCART il s'agirait de sables résiduels surmontant la dalle quaternaire gréseuse qui forme la dernière assise stratigraphique du plateau continental. Le fait que nous trouvions ces sables en auréole autour des canyons s'explique par les conditions particulières créées par la topographie. Les explorations sous-marines, la sédimentation dans les talwegs des vallées (présence de galets et de séquences granoclassées), les structures sédimentaires (ripple-marks) sont en faveur de l'existence de courants assez importants dans le secteur des rechs et de phénomènes de cascading. Ces courants maintiennent donc une sédimentation sableuse sur le pourtour des canyons et à leur tête, et remanient les assises résiduelles.

A ces deux grandes zones se superposent des phénomènes plus localisés liés à la morphologie, à la nature et à la structure de la côte. Un exemple assez remarquable se trouve à la pointe du cap Béar. La deuxième radiale considérée (Fig. 2a) montre en effet l'existence d'une anomalie entre — 50 et — 70 mètres de profondeur, constituée par la présence d'un stock sédimentaire contenant des galets et des gravillons. Les courbes d'isoteneur en argile et en sables circonscrivent une digitation orientée vers le sud; leur tracé indique clairement l'origine de ces apports grossiers (cartes 1 et 2). Il s'agit en effet, et les observations morphoscopiques le prouvent, de produits de démantèlement des roches du cap Béar. Ils sont représentés par des graviers de schistes, assez frustes près du cap, devenant plus façonnés à mesure que l'on s'éloigne de la côte.

Leur étalement est en relations avec le régime des courants dominants. Dans ce secteur, les vents NW, les plus fréquents, créent une houle du NE qui se réfléchit sur le promontoire du cap donnant lieu à des courants qui dispersent vers le sud les produits de l'érosion marine. En raison de la profondeur relativement importante,

l'action de ces courants est restreinte et n'opère pas de triage granulométrique important. Le phénomène se traduit par un dépôt dont l'analyse granulométrique prouve l'hétérogénéité (courbes cumulatives bimodales).

CONCLUSION

L'établissement d'une carte des fonds marins est, de nos jours, le support essentiel de tout travail de géologie ou de biologie. La qualité (nature et texture) du substrat est, en effet, le facteur essentiel déterminant l'implantation de toute activité animale et végétale qui interfère à son tour sur l'évolution ultérieure de la phase minérale.

La distribution actuelle des dépôts, soumise à l'influence de plusieurs facteurs, morphologiques, bathymétriques et hydrodynamiques, est par ailleurs la résultante de l'évolution d'une région déterminée et peut permettre au géologue de reconstituer son histoire géologique.

Le présent travail est destiné à être complété par la prospection des vallées sous-marines et étendu au secteur plus septentrional du plateau continental.

RÉSUMÉ

Deux cartes de la répartition des sédiments sur le plateau continental de la côte catalane française ont été dressées; l'une plus détaillée, concerne la zone côtière, l'autre le plateau continental jusqu'à la bordure des canyons sous-marins.

L'étude de l'évolution latérale du sédiment en trois radiales perpendiculaires à la côte met en évidence un très grand parallélisme : forte teneur en sables au voisinage du littoral, sédiment riche en éléments fins entre 50 et 80 m de fond, et réapparition de sables fins et moyens, à faible teneur en argile au-delà de l'isobathe — 80 m.

La répartition générale des peuplements animaux, sa correspondance avec la granulométrie sont également précisées.

SUMMARY

Two maps of the distribution of sediments on the continental shelf of the French Catalan coast have been drawn. The more detailed map concerns the coastal area, and the other the continental shelf up to the edge of the sub-marine canyons.

A study of the lateral evolution of sediment in three radials at right angles to the coast shows an important parallelism, that is, a large percentage of sand in the sediment close to the shore, a sediment rich in fine elements at a depth of between 50 and 80 metres, and fine and medium sands with a small quantity of clay reappearing further off at depths less than 80 metres.

The general distribution of the animals populations and its correspondence with granulometry is also pointed out.

BIBLIOGRAPHIE

- AGARATE, C., H. GOT, A. MONACO et G. PAUTOT, 1967. Eléments structuraux des canyons sous-marins et du plateau continental catalans, obtenus par « sismique continue ». *C. r. hebdomadaire Séances Acad. Sc. Paris*, **265** : 1278-1281.
- BARUSSEAU, J.P., G. BELLAICHE, A. LÉVY, A. MONACO et G. PAUTOT, 1966. Variations paléoclimatiques et sédimentologiques des dépôts quaternaires des Rechs du Roussillon (Golfe du Lion). *C. r. hebdomadaire Séances Acad. Sc. Paris*, **236** : 712-715.
- BOURCART, J., 1947. Sur les vases du plateau continental français. *C. r. hebdomadaire Séances Acad. Sc. Paris*, **225** : 137-139.
- BOURCART, J., 1948a. Le « rech » Lacaze-Duthiers, canyon sous-marin du plateau continental du Roussillon. *Ibid.*, **226** : 1632-1633.
- BOURCART, J., 1948b. Sur la géologie sous-marine du « rech » Lacaze-Duthiers, canyon sous-marin du Roussillon. *Ibid.*, **226** : 1827-1829.
- BOURCART, J., 1952. Rapport sur les canyons sous-marins de la région de Banyuls-sur-Mer. *Vie Milieu*, suppl. 2 : 165-168.
- BOURCART, J., 1956. Recherches sur le plateau continental de Banyuls-sur-Mer. *Ibid.*, 5 (4) : 435-522.
- BOURCART, J., 1959. Le plateau continental de la Méditerranée occidentale. *C. r. hebdomadaire Séances Acad. Sc. Paris*, **249** : 1380-1382.
- BOURCART, J., 1960. Carte topographique du fond de la Méditerranée occidentale. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, **1163** : 1-20.

- BOURCART, J., 1961. Les canyons sous-marins de Banyuls et leur remplissage sédimentaire. *C. r. hebdomadaire Séances Acad. Sc. Paris*, 253 : 1 p.
- DANGEARD, L., 1962. Observations faites en « soucoupe plongeante » au large de Banyuls. *Cah. Océanogr.*, 14^e année, 1 : 18-28.
- GIOAN, M., 1963. Etude sédimentologique et micropaléontologique des sédiments actuels au large de Banyuls-sur-Mer. Thèse 3^e cycle, Paris.
- GUILLE, A., 1964. Contribution à l'étude de la Systématique et de l'écologie d'*Ophiotrix quinquemaculata* d. Ch. *Vie Milieu*, 15 (2) : 243-308.
- GUILLE, A. et J. SOYER, 1968. La faune benthique des substrats meubles de Banyuls-sur-Mer. Premières données qualitatives et quantitatives. *Vie Milieu*, 19 (2 B) : sous presse.
- LAUBIER, L., 1966. Le Coralligène des Albères. Monographie Biocénotique. *Annls Inst. Océanogr. Paris*, 43 : 137-316.
- LAUBIER, L. et D. REYSS, 1965. Hydrographie de la zone côtière de la région de Banyuls-sur-Mer. *Vie Milieu*, 15 (2) : 487-490.
- MONACO, A., 1967. Etude sédimentologique et minéralogique des dépôts quaternaires du plateau continental et des rechs du Roussillon. *Vie Milieu*, 18 (1 B) : 33-62.
- MONNIOT, F., 1962. Recherches sur les graviers à *Amphioxus* de la région de Banyuls-sur-Mer. *Vie Milieu*, 13 (2) : 231-322.
- PARIS, J., 1955. Contribution à la connaissance de la « zone Nord des Cannalots ». *Vie Milieu*, 5 (4) : 469-512.
- PÉRÈS, J.M. et J. PICARD, 1964. Nouveau manuel de Bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Recl Trav. Stn mar. Endoume*, 31.
- PICARD, J., 1965. Recherches qualitatives sur les Biocénoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise. *Thèse Fac. Sc. Marseille*.
- PRUVOT, G., 1894. Essai sur la topographie et la constitution des fonds sous-marins de la région de Banyuls, de la plaine du Roussillon au golfe de Rosas. *Archs Zool. exp. gén.*, 3 (2) : 599-672.
- PRUVOT, G., 1895. Coup d'œil sur la distribution générale des Invertébrés dans la région de Banyuls (Golfe du Lion). *Ibid.*, 3 (3) : 629-658.
- REYSS, D., 1964a. Contribution à l'étude du rech Lacaze-Duthiers, vallée sous-marine des côtes du Roussillon. *Vie Milieu*, 15 (1) : 1-46.
- REYSS, D., 1964b. Observations faites en soucoupe plongeante dans deux vallées sous-marines de la mer catalane : le rech du Cap et le rech Lacaze-Duthiers. *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, 63 : 1308.
- REYSS, D. et J. SOYER, 1965. Etude de deux vallées sous-marines de la mer Catalane : le rech du Cap et le rech Lacaze-Duthiers en « soucoupe plongeante » (note préliminaire). *Rapp. P. v. Réun. Commn int. Explor. Mer Méditerr.*, 18 (2) : 75-81.
- REYSS, D. et J. SOYER, 1965. Etude de deux vallées sous-marines de la mer Catalane (Compte rendu de plongées en soucoupe plongeante SP 300). *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, 65 (1356) : 1-27.
- VIDAL, A., 1967. Etude des fonds rocheux circalittoraux le long de la côte du Roussillon. *Vie Milieu*, 18 (1 B) : 167-219.

Reçu le 11 août 1968.

SUR UN EXEMPLE D'ÉVOLUTION LAGUNAIRE : L'ÉTANG DE SAINT-NAZAIRE (ROUSSILLON)

par F. GADEL

C.R.S.M.P. Perpignan, B.P. 242

(Equipe de Recherches associée au C.N.R.S.)

SOMMAIRE

L'auteur étudie l'évolution sédimentologique d'un étang du littoral du Roussillon. Les faciès granulométriques, lithologiques et géochimiques dépendent des facteurs hydrodynamiques, qui favorisent le remblayage de l'étang, et donnent plus d'emprise aux actions climatiques dont dépend l'évolution des dépôts.

L'étang de Saint-Nazaire se situe dans la partie moyenne de la Plaine du Roussillon. Il subit une évolution semblable à celle des autres lagunes plus septentrionales qui s'étendent à l'abri du cordon littoral (PETIT, 1953; RIVIÈRE et VERNHET, 1958).

Ce plan d'eau appuyé au Nord et à l'Ouest à des buttes d'affleurements pliocènes est séparé de la mer par un large lido et communique avec elle par une passe temporaire (grau) qui, par suite de son colmatage, permet des échanges entre les eaux salées et saumâtres de plus en plus réduits (fig. 1).

Cette lagune littorale, orientée Nord-Sud, possède certaines particularités. Elle correspond en effet à une zone d'assez faible étendue actuellement en voie de remblaiement rapide. Le bassin versant qui alimente l'étang est suffisamment vaste pour permettre en temps de crues des apports non négligeables.

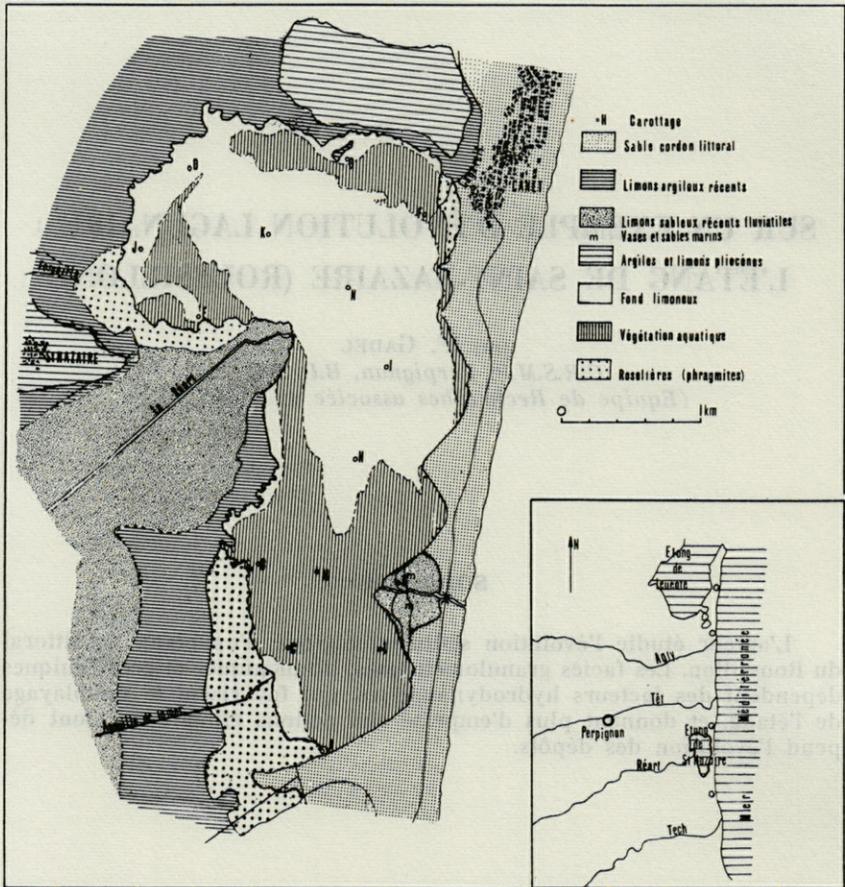


Fig. 1. — Situation de l'étude et données générales sur l'étang de Saint-Nazaire.

En effet, sur les rives continentales aboutissent plusieurs ruisseaux qui amènent le développement de roselières au niveau de leur embouchure.

Ce sont du Nord au Sud :

- le Cagarell, qui draine la lunette de Canet,
- les Fosseilles, au Nord de Saint-Nazaire,
- le Réart, le plus important,
- l'Agouille de la mer, dans la région Sud-Ouest.

Le Réart, plus actif, forme par ses apports un microdelta qui progresse vers le Nord-Est dans l'étang. Les venues proviennent de l'érosion des terrasses caillouteuses quaternaires et des affleure-

ments pliocènes de la bordure de la plaine. L'avancée du promontoire deltaïque amène la formation d'un haut-fond qui divise l'étang en deux bassins dont le méridional plus vaste et plus profond (2 mètres au maximum en période humide), également mieux protégé des apports limoneux, est couvert d'une végétation aquatique plus abondante.

Le remblaiement est presque continu malgré l'irrégularité des apports liée au régime hydrographique typiquement méditerranéen. Ce phénomène est confirmé par la présence de lamellibranches euryhalins (*Cardium*) rencontrés par carottages vers l'Ouest hors du périmètre du bassin actuel (SIMONNEAU, 1966).

Dans sa partie orientale, l'étang est limité par la face interne du cordon littoral. Par suite, les berges et les profils de pente de ce secteur sont de nature sableuse, ce qui confirme leur appartenance à un ensemble complexe primitivement édifié par la mer.

Toutefois, les apports marins directs sont actuellement très réduits par suite du colmatage du seul grau existant qui recoupe ce cordon littoral large d'environ 300 mètres. A son contact, ces apports restent cependant visibles dans l'étang où ils édifient un petit delta interne très localisé, à progression plus rapide vers le Sud sous l'effet des vents dominants. On y distingue les divers stades d'avancées, soulignés par la présence de flèches sableuses successives encore apparentes sur le terrain (fig. 1).

En période de tempêtes, sous l'effet des houles, l'eau de mer entraînée dans le grau s'écoule vers l'étang dans lequel elle pénètre en donnant naissance à un transit de sables originaires de la zone externe du lido.

Associés à ces deux facteurs principaux d'apports : fluviate et marin, les vents dominants des secteurs Nord et Nord-Ouest jouent un rôle primordial sur la répartition des matériaux et l'évolution sédimentologique de l'étang. Par suite de la faible épaisseur de la lame d'eau, l'érosion des fonds s'accroît dans les zones les plus exposées. Les sédiments sont remis en suspension et les courants de vagues entraînent les troubles vers le Sud ou vers la mer par le grau. Il s'ensuit un remblayage préférentiel vers les berges méridionales et une faible perte sédimentaire par les eaux turbides qui se déversent sur le littoral par l'intermédiaire du grau.

L'action des vents dominants est aussi déterminante sur la répartition du peuplement végétal (fig. 1). Dans les secteurs exposés, ils gênent la fixation des plantes aquatiques et remettent en suspension des quantités trop importantes de sédiment pour autoriser un développement normal des divers organismes (LAGARDE, CAHET et MOURRUT, 1964).

Le vent intervient encore en période estivale, lorsque la lame d'eau se réduit à quelques décimètres d'épaisseur. Dans la partie Nord principalement, l'étang est alors recouvert par des peuplements algaires qui peuvent être entraînés par les courants de houles (vents du Nord-Ouest) et viennent s'accumuler sur les rives Sud et Est où ils sont responsables de laisses parfois épaisses.

L'insolation et les vents provoquent d'intenses phénomènes d'évaporation qui contribuent, durant tout l'été, à réduire au maximum le plan d'eau.

Corrélativement la salinité augmente dans des proportions notables, ce qui contribue à donner à l'étang son *caractère méso-polyhalin* (LÉVY, 1963).

Deux facteurs principaux régissent la salinité de l'étang :

— un *facteur sensiblement statique* lié à l'isolement relatif des masses d'eau de cette lagune soumise aux influences climatiques saisonnières (évaporation, précipitation, etc.);

— un *facteur dynamique* sous formes diverses :

— échanges avec les nappes phréatiques de salure variable localisées dans les passées sableuses de bordure;

— apports d'eau douce par les cours d'eau (Réart en particulier);

— venues d'eau de mer soit issues directement du grau, soit percolées par infiltration à travers le cordon littoral.

Ces influences complexes expliquent les fluctuations du régime salin de l'étang, dont la chlorinité varie entre les valeurs extrêmes de 3 à 30 g/l.

Deux types de fluctuations apparaissent :

— de rapides changements de salinité de caractère secondaire qui dépendent des conditions météorologiques essentiellement instables;

— des changements de salinité progressifs, mais plus constants et de plus grande ampleur qui évoluent saisonnièrement et prennent un caractère de périodicité annuelle.

Tous ces éléments hydrodynamiques et chimiques contribuent à régler les conditions de sédimentation de la lagune et sont responsables de son comblement progressif.

I. — SÉDIMENTATION DE L'ÉTANG

L'évolution sédimentologique de l'étang de Saint-Nazaire comprend des successions de niveaux de granulométrie assez voisine

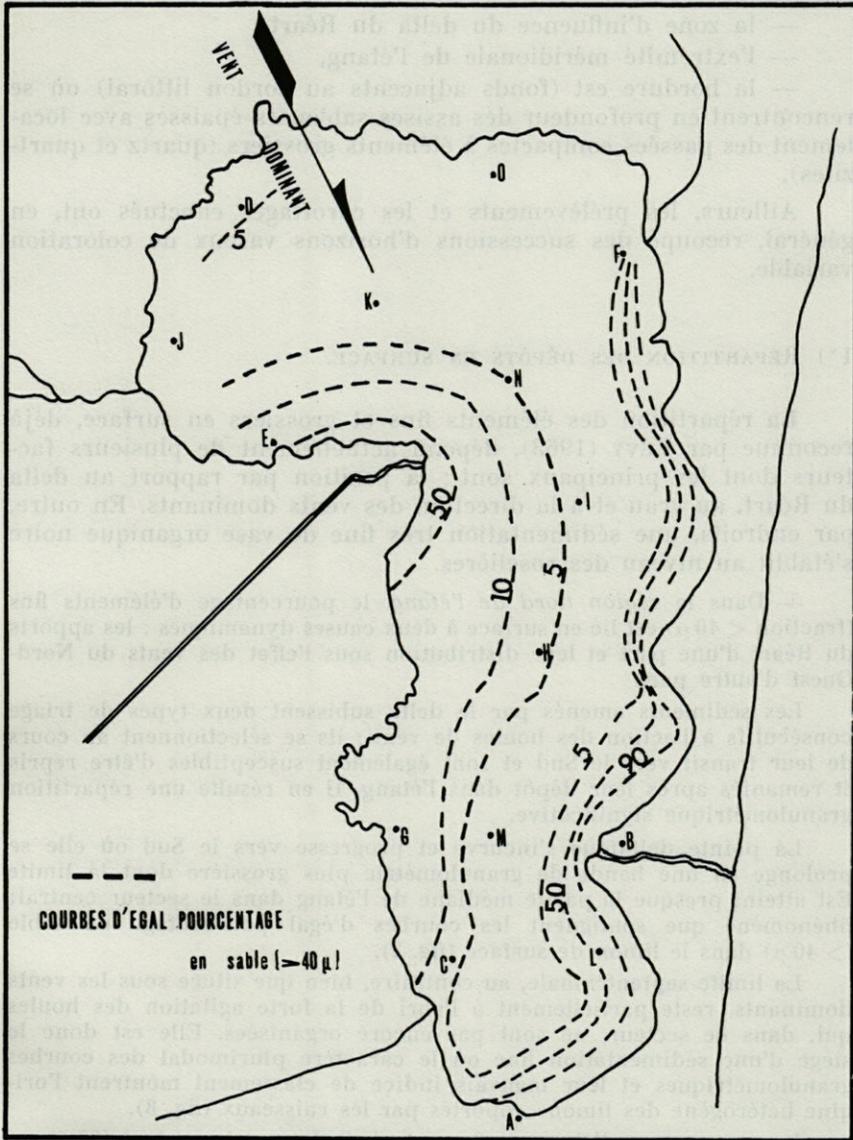


FIG. 2. — Répartition des courbes d'isoteneurs en sable des sédiments de surface (fraction > 40 μ).

avec généralement un taux d'argile important, à l'exception de trois secteurs :

- la zone d'influence du delta du Réart,
- l'extrémité méridionale de l'étang,
- la bordure est (fonds adjacents au cordon littoral) où se rencontrent en profondeur des assises sableuses épaisses avec localement des passées compactes à éléments grossiers (quartz et quartzites).

Ailleurs, les prélèvements et les carottages effectués ont, en général, recoupé des successions d'horizons vaseux de coloration variable.

1°) RÉPARTITION DES DÉPÔTS EN SURFACE.

La répartition des éléments fins et grossiers en surface, déjà reconnue par LÉVY (1963), dépend actuellement de plusieurs facteurs dont les principaux sont : la position par rapport au delta du Réart, au grau et à la direction des vents dominants. En outre, par endroits, une sédimentation très fine de vase organique noire s'établit au niveau des roselières.

— Dans la *région nord de l'étang*, le pourcentage d'éléments fins (fraction $< 40 \mu$) est lié en surface à deux causes dynamiques : les apports du Réart d'une part et leur distribution sous l'effet des vents du Nord-Ouest d'autre part.

Les sédiments amenés par le delta subissent deux types de triage consécutifs à l'action des houles de vent : ils se sélectionnent au cours de leur transit vers le Sud et sont également susceptibles d'être repris et remaniés après leur dépôt dans l'étang. Il en résulte une répartition granulométrique significative.

La pointe deltaïque s'incurve et progresse vers le Sud où elle se prolonge en une bande de granulométrie plus grossière dont la limite Est atteint presque la partie médiane de l'étang dans le secteur central; phénomène que soulignent les courbes d'égal pourcentage en sable ($> 40 \mu$) dans le limon de surface (fig. 2).

La limite septentrionale, au contraire, bien que située sous les vents dominants, reste partiellement à l'abri de la forte agitation des houles qui, dans ce secteur, ne sont pas encore organisées. Elle est donc le siège d'une sédimentation fine où le caractère plurimodal des courbes granulométriques et leur mauvais indice de classement montrent l'origine hétérogène des limons apportés par les ruisseaux (fig. 3).

Le pourcentage d'éléments fins est généralement important (95 % en moyenne), mais les proportions de particules grossières (fraction $> 40 \mu$) augmentent considérablement vers le Sud-Ouest à proximité du delta (jusqu'à 50-60 %) et à l'Est vers le cordon littoral (85 %).

— Dans la *partie centrale*, la répartition, qui dépend surtout de

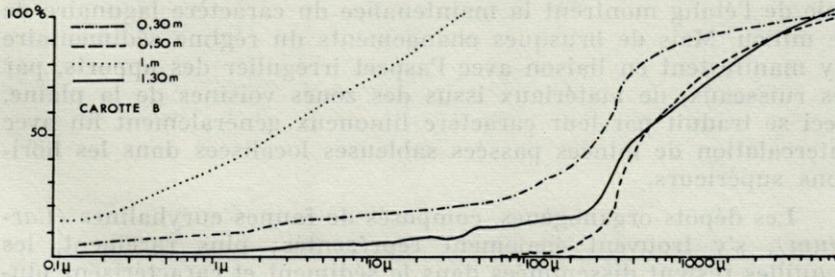
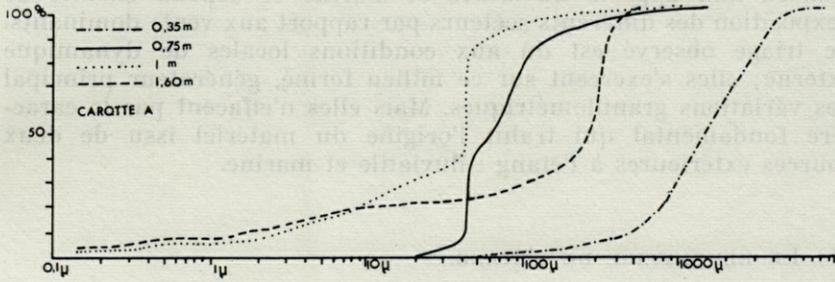
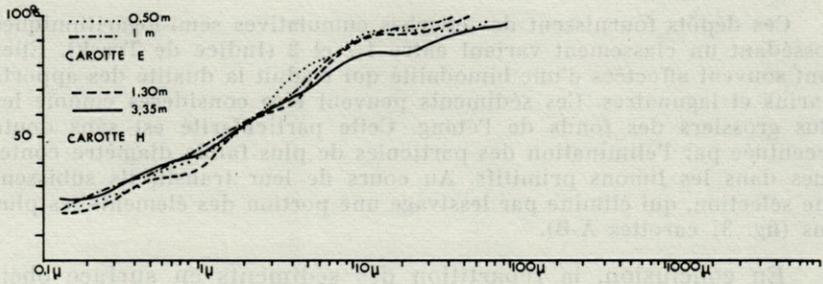
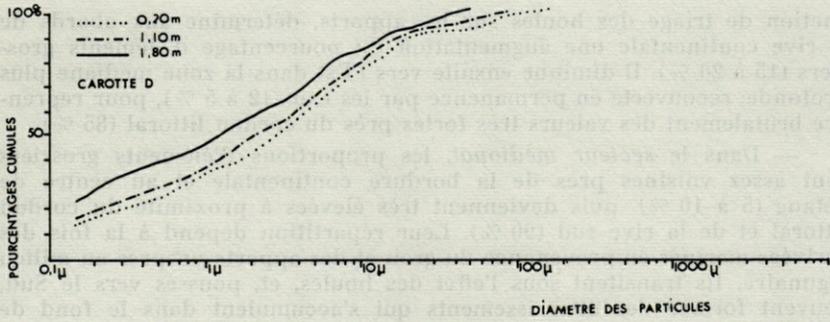


FIG. 3. — Courbes granulométriques.

l'action de triage des houles sur les apports, détermine aux abords de la rive continentale une augmentation du pourcentage d'éléments grossiers (15 à 20 %). Il diminue ensuite vers l'Est dans la zone médiane plus profonde, recouverte en permanence par les eaux (2 à 5 %), pour reprendre brutalement des valeurs très fortes près du cordon littoral (85 %).

— Dans le *secteur médional*, les proportions d'éléments grossiers sont assez voisines près de la bordure continentale et au centre de l'étang (5 à 10 %), puis deviennent très élevées à proximité du cordon littoral et de la rive sud (90 %). Leur répartition dépend à la fois des arrivées marines en provenance du grau et des apports propres au milieu lagunaire. Ils transitent sous l'effet des houles, et, poussés vers le Sud, peuvent former des atterrissements qui s'accumulent dans le fond de la baie.

Ces dépôts fournissent des courbes cumulatives semi-logarithmiques possédant un classement variant entre 1,7 et 2 (Indice de Trask). Elles sont souvent affectées d'une bimodalité qui traduit la dualité des apports marins et lagunaires. Ces sédiments peuvent être considérés comme les plus grossiers des fonds de l'étang. Cette particularité est sans doute accentuée par l'élimination des particules de plus faible diamètre contenues dans les limons primitifs. Au cours de leur transit, ils subissent une sélection, qui élimine par lessivage une portion des éléments les plus fins (fig. 3; carottes A-B).

En conclusion, la répartition des sédiments en surface obéit d'abord aux apports fluviatiles et marins et dépend ensuite de l'exposition des différents secteurs par rapport aux vents dominants. Le triage observé est dû aux conditions locales de dynamique externe; elles s'exercent sur ce milieu fermé, générateur principal des variations granulométriques. Mais elles n'effacent pas le caractère fondamental qui trahit l'origine du matériel issu de deux sources extérieures à l'étang : fluviatile et marine.

2°) LE REMBLAYAGE DE L'ÉTANG.

Les différentes carottes recueillies sur l'ensemble de la superficie de l'étang montrent la maintenance du caractère lagunaire de ce milieu. Mais de brusques changements du régime sédimentaire s'y manifestent en liaison avec l'aspect irrégulier des apports, par les ruisseaux, de matériaux issus des zones voisines de la plaine. Ceci se traduit par leur caractère limoneux généralement fin avec intercalation de minces passées sableuses localisées dans les horizons supérieurs.

Les dépôts organogènes, composés de faunes euryhalines (*Cardium*), s'y trouvent également représentés; plus rarement, les coquilles restent disséminées dans le sédiment et caractérisent plutôt la zone médiane de l'étang (fig. 5-6).

Les limons qui composent ces niveaux, possèdent une granulométrie assez uniforme sur toute la hauteur de la coupe. Ce sont des sédiments fins assez mal classés dont la médiane est comprise entre 1 et 2 μ (Indice de Trask entre 4 et 5). Ils donnent des courbes cumulatives semi-logarithmiques d'allure « étalée » et légèrement sinueuse par suite de l'origine hétérogène fluviatile du matériel qui les compose (fig. 3, carottes D-E-H).

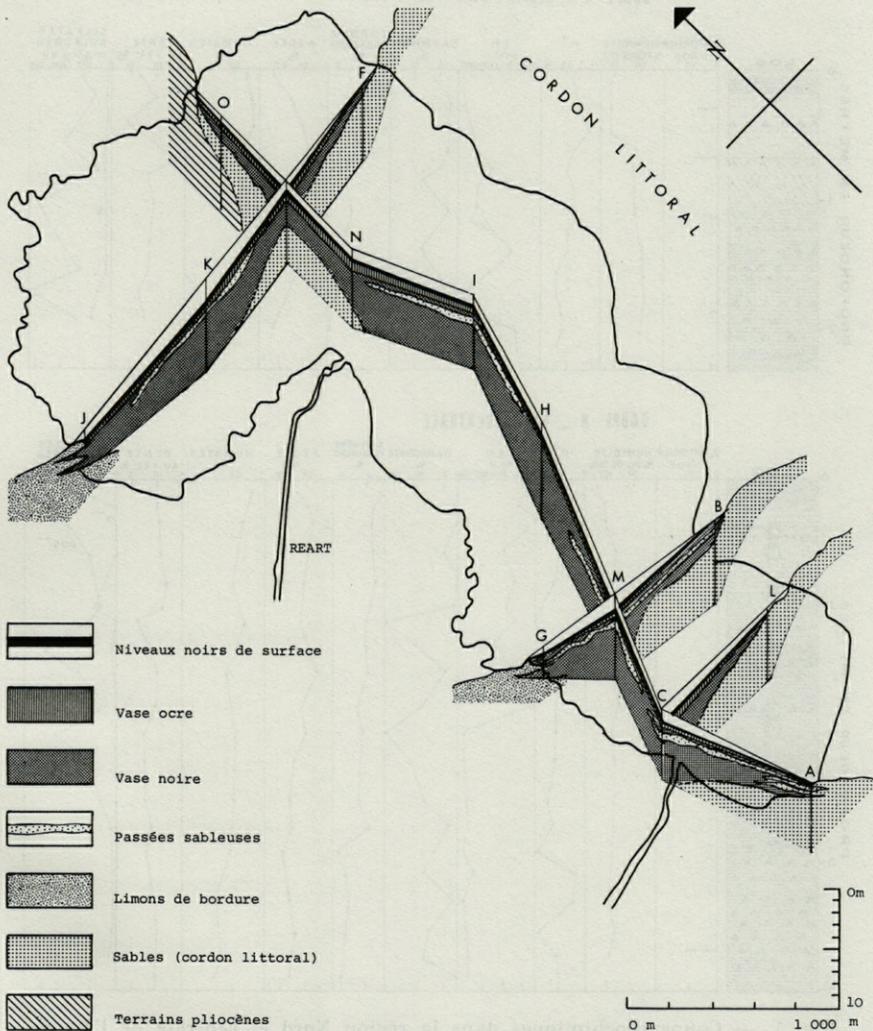


FIG. 4. — Coupe-diagramme des diverses formations de l'étang.

Les conditions paraissent s'être maintenues durant une période assez prolongée, car généralement seules les couches les plus superficielles présentent de sensibles variations. En effet, des passées ocreuses, d'épaisseur variable, prennent peu à peu naissance en alternant avec des niveaux organogènes à débris végétaux ou avec de rares passées coquillères intercalées de vases grises montrant la nature complexe du remplissage (fig. 5).

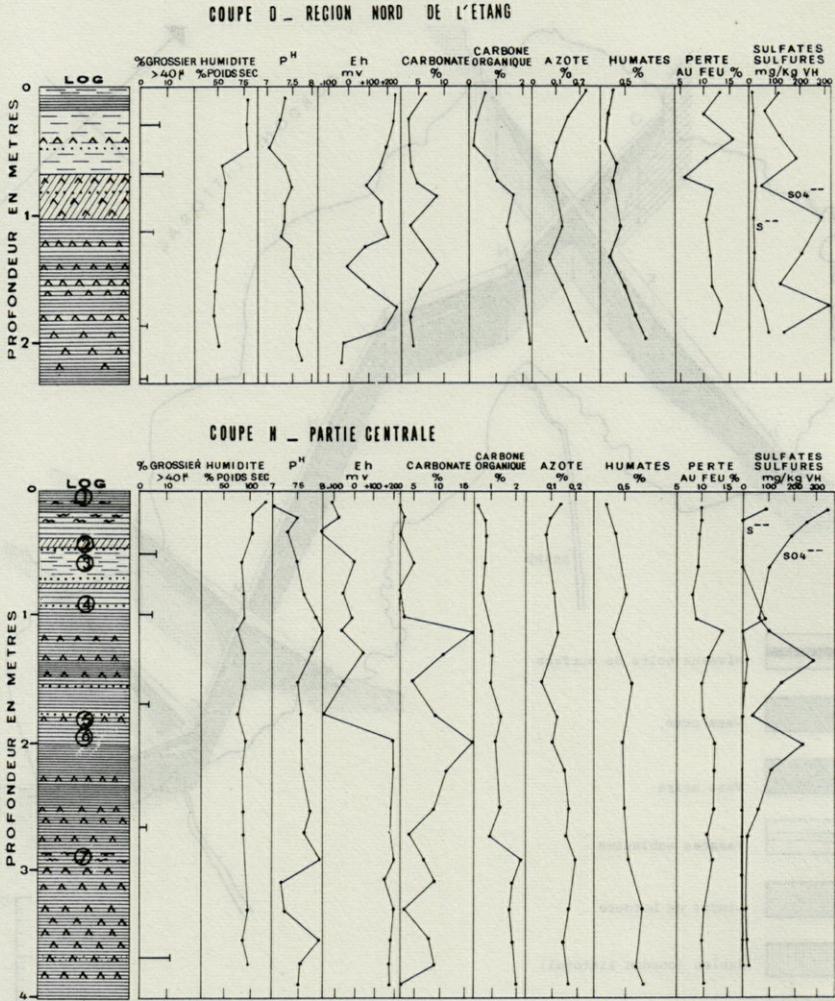


FIG. 5. — Coupe géochimiques dans la région Nord et centrale de l'étang. 1, vase noire; 2, vase ocre jaspée de noir; 3, vase ocre; 4, sable; 5, coquilles; 6, vase grise; 7, niveau à débris végétaux.

Ces couches oxydées ont une dualité d'origine liée à une phase avancée du remblayage et à des dépôts directs d'alluvions au cours des crues d'automne.

— D'une part, le comblement de l'étang en cours d'achèvement, son appartenance aux milieux fermés permettent, en période estivale, l'exondation de surfaces plus ou moins étendues des fonds adjacents aux rives qui forment une auréole autour de la masse d'eau résiduelle centrale. Ces zones subissent alors une nouvelle évolution, les conditions physicochimiques du milieu s'orientant vers des phénomènes d'oxydation qui justifient la présence de niveaux ocreux variables en épaisseur.

— D'autre part, la progression du promontoire de l'embouchure du Réart facilite l'extension et l'étalement de ses alluvions dans des secteurs progressivement plus centraux du bassin. Il s'agit de venues brutales et de la mise en place rapide d'un matériel résultant des crues du cours d'eau lors des orages. Ce matériel, issu des formations plioquaternaires oxydées, sédimente sur le fond sans subir de notables transformations chimiques à l'exception des niveaux superficiels, siège d'une modification biochimique et physicochimique, avec enrichissement organique donnant une teinte noire à la vase.

Seule la mince pellicule de surface, sans cesse remaniée par l'agitation des eaux, conserve un caractère oxydé qui se manifeste par l'acquisition d'une teinte rouille.

Des niveaux de dépôts successifs comparables se retrouvent dans les zones inférieures oxydées; mais, par endroits, une évolution chimique ultérieure, liée aux conditions anaérobies, entraîne l'envahissement progressif et irrégulier par une coloration noirâtre, des vases ocres primitives qui ne persistent qu'en nids résiduels.

Comme pour les niveaux profonds, la granulométrie reste relativement constante, à l'exception des passées sableuses.

Les niveaux ocres, lithologiquement bien individualisés, ne paraissent pas affectés d'une répartition particulière des fréquences dimensionnelles. Les courbes cumulatives qui les définissent ne diffèrent pas sensiblement de celles des vases gris-noir plus profondes dont elles conservent les caractéristiques : médiane entre 1 et 2 et mauvais indice de classement compris entre 3,75 et 5 (fig. 3).

Seule la progression du delta du Réart semble avoir légèrement modifié le régime sédimentaire.

En profondeur, la nature plus fine des limons de l'auréole deltaïque montre que l'embouchure de ce ruisseau se situait primitivement en net retrait par rapport à sa position actuelle dans l'étang. Au cours de son remblayage, on constate dans cette zone

une augmentation progressive de la dimension des particules des sédiments, du fond vers la surface.

Le caractère général de cette sédimentation se trouve cependant perturbé à l'approche des différents milieux limitrophes : la mer, le débouché des cours d'eau.

Le long de la face interne du cordon littoral, en particulier au voisinage du grau et sur la bordure du bassin méridional de l'étang (fig. 4), on assiste à l'envahissement de ce secteur par la sédimentation sableuse qui alterne avec des couches irrégulières de vases gris-noir renfermant des passées de *Cardium*. La faune y est beaucoup moins dense. Des débris végétaux amenés par les houles se sont accumulés en minces couches alternantes dont la fréquence augmente vers la surface.

La granulométrie plus grossière du matériel et le triage relativement bon du sable semblent démontrer que ces dépôts sont en partie alimentés par le lido.

Le caractère bimodal des courbes granulométriques constaté en surface se maintient dans les couches sous-jacentes nettement plus grossières que dans le reste de l'étang (fig. 3, carottes A et B). Elles se présentent comme un mélange par brassage de deux sources sédimentaires : une fraction sableuse en provenance de la mer et une fraction de limons beaucoup moins importante, originaire du centre de l'étang.

A la partie inférieure du remplissage sédimentaire, les accumulations vaseuses dominant. Elles reposent directement sur le versant interne du cordon littoral primitif, atteint à des profondeurs qui s'accroissent vers le Sud dans l'anse du bassin méridional. On le retrouve à 1,20 m au contact du grau (carotte B) alors qu'il est enfoui sous plus de 2,30 m de sables et vases sableuses au point A (fig. 4).

Au contraire, le voisinage des venues d'eau douce et l'installation des roselières qui en résultent, donnent naissance à un mode d'accumulation sensiblement différent.

Des dépôts de vase noire à débris végétaux, localement très abondants s'accumulent sur des épaisseurs notables. Ils se trouvent protégés des reprises et remaniements par l'existence du réseau de racines du champ de *Phragmites*, constituant un piège pour tous les éléments qui atteignent cette zone.

Les coquilles de mollusques se trouvent dispersées dans le sédiment sans que l'on puisse discerner des passées d'accumulations préférentielles. Les vases peuvent reposer tantôt sur les sables du cordon littoral (carotte F) tantôt sur des accumulations limoneuses, souvent épaisses, qui correspondent à la période de comble-

ment de l'étang dont les vases à *Phragmites* ne sont que le stade terminal récent (carotte C).

Toutes ces modalités de la sédimentation au cours de son remplissage, montrent combien les déplacements de sédiments sont localisées à l'intérieur de ce milieu dont les matériaux de comblement sont pourtant toujours de deux origines d'importance inégale :

- marine évidente mais réduite,
- fluviatile plus diffuse mais beaucoup plus générale.

Tout semble suggérer la permanence de caractères lagunaires d'un milieu partiellement fermé, fait également démontré par la composition des peuplements de microfaune de l'étang.

Trois espèces de foraminifères semblent y avoir toujours vécu et se rencontrent sur toute la hauteur des carottes, mais en fréquence variables :

- *Ammonia tepida* (Cushman) (vers la surface en moyenne 32 %),
- *Nonion depressulum* (Walker et Jacob) (50 %),
- *Elphidium gunteri* (18 %).

La densité de ces populations varie verticalement. En profondeur, le nombre des représentants des deux dernières espèces devient négligeable alors que la première, plus sensible à la dessalure, disparaît totalement (carotte H).

A ces formes s'associent deux espèces d'Ostracodes :

- *Cyprideis torosa* (Brady) (abondants),
- *Loxochonca elliptica* (Brady) (rares).

L'absence dans les zones centrales de l'étang des Miliolidés :

- *Quinqueloculina compressa* (Wiener),
- *Quinqueloculina jugosa* (Cushman)

pourtant reconnus dans les sédiments actuels (LÉVY, 1963), mais à proximité du cordon littoral, démontre que l'intervention des actions marines ne s'est pas sensiblement déplacée au cours du comblement.

Toutefois, une évolution générale de la salinité de l'étang a peu à peu modifié la fréquence des différentes espèces qui l'habitaient. Leur répartition verticale met en évidence une dessalure prononcée des eaux lagunaires primitives.

Ces quelques observations confirment que l'épaisseur de la lame d'eau diminuait au cours du remblayage; son volume se réduisait dans des proportions considérables. Dès lors, les actions climatiques, insolation et vents en particulier, ont pu, par des phénomènes d'évaporation intense, jouer un rôle sur l'accroissement progressif de la salinité.

II. — SÉDIMENTATION CHIMIQUE DE L'ÉTANG

Les éléments chimiques du sédiment les plus intéressants nous ont paru correspondre, dans ces types de dépôt, aux substances dont les transformations interviennent sur les conditions physicochimiques du milieu et aux composants susceptibles d'intervenir en raison de leur relative mobilité, car ils peuvent participer aux échanges éventuels entre la phase solide et les ions des eaux interstitielles.

1°) LE SUPPORT MINÉRAL ET LES ÉLÉMENTS COLLOÏDAUX.

A cet effet, nous avons effectué les mesures suivantes : pH, Eh (*in situ*) sulfates, sulfures (sur le sédiment humide), carbonates carbone, azote, matières humiques et perte au feu (sur le sédiment sec).

L'ensemble des résultats fait apparaître quelques caractères généraux :

- le *pH* est généralement alcalin,
- le *potentiel d'oxydoréduction* très variable est en accord avec la dynamique sédimentaire qui limite les phénomènes anaérobies,
- la teneur en *carbonate de calcium* clastique est très faible. Seules les passées riches en restes organogènes offrent des valeurs plus notables.

La participation des carbonates de précipitation chimique à la sédimentation calcaire semble négligeable.

— Les *sulfates*, malgré d'évidentes variations liées aux conditions réductrices ou oxydantes du milieu, subissent une diminution progressive en fonction de la profondeur.

— Les proportions de *sulfures* évoluent corrélativement aux teneurs en sulfates et aux transformations physicochimiques et biochimiques que subit la vase.

— Les teneurs en *carbone organique et azote* obéissent aux fluctuations du régime sédimentaire au cours des différentes phases de l'accumulation, mais présentent un net accroissement vers les couches inférieures.

— Les *matières humiques (humates)* augmentent aussi vers la profondeur en liaison avec le pourcentage organique croissant.

Différents milieux chimiques, sous la dépendance des conditions dynamiques de dépôt, se répartissent dans l'étang et les variations de teneur en matière organique suivent assez fidèlement l'état

d'oxydation des sédiments qui les renferment. En conséquence, il est également symptomatique du taux de matière organique.

Deux phases apparaissent dans le remblaiement, séparées non par des limites tranchées mais par des couches de transition (fig. 4).

— Des dépôts de vase foncée correspondent à une *zone inférieure* à tendance réductrice. Le pH est relativement élevé, le Eh tend à diminuer malgré des variations locales (— 200 à — 300 mV).

Les carbonates participent peu à la sédimentation (5 %) à l'exception des passées organogènes dont les propriétés chimiques sont fondamentalement différentes (figs 5, 6).

Dans ces sédiments plus profonds, la matière organique est plus régulièrement répartie; son taux est supérieur à celui des niveaux de surface et s'accroît d'une manière générale avec la profondeur.

Les teneurs en carbone et en azote croissent respectivement de 1,2 à 2,5 % et de 0,12 à 0,22 %. Le rapport C/N, de l'ordre de 12, est bien plus stable qu'en surface; il est en liaison avec une évolution plus poussée des sédiments qui ont atteint un certain équilibre biochimique.

Les matières humiques plus évoluées que dans les couches supérieures voient leur proportion augmentée en liaison avec l'accroissement de la matière organique. L'évolution se traduit par une baisse des pourcentages d'« acides fulviques » (fraction non précipitable en milieu acide) par rapport aux « acides humiques » (fraction précipitable) plus accentués dans les couches les plus profondes (étude en cours).

— Les *niveaux supérieurs* des carottes présentent beaucoup plus d'irrégularités évolutives (figs 5, 6). On note le passage parfois brutal d'un milieu oxydant (Eh : 0 à + 200 mV) à un milieu réducteur souvent marqué (Eh : 0 à — 100 mV). Ce dernier résulte du caractère instable des conditions depuis que le colmatage de l'étang a permis aux actions hydrodynamiques et aux phénomènes climatiques actuels de devenir prépondérants : houles de vent, variations de température des masses d'eau, émergences locales temporaires, euryhalinité.

Corrélativement, cette différenciation d'origine entraîne une répartition extrêmement fluctuante de la matière organique. Toutefois, le niveau de vases noires voisin de la surface, assez constant, conditionne l'apparition d'un milieu à tendance réductrice, relativement uniforme, où le Eh se maintient dans les limites de 0 à — 100 mV et le pH conserve une valeur comprise entre 7 et 8.

Les matières organiques en quantités notables varient suivant des proportions respectives de 0,8 à 1,5 % pour le carbone et de 0,15 à 0,2 % pour l'azote.

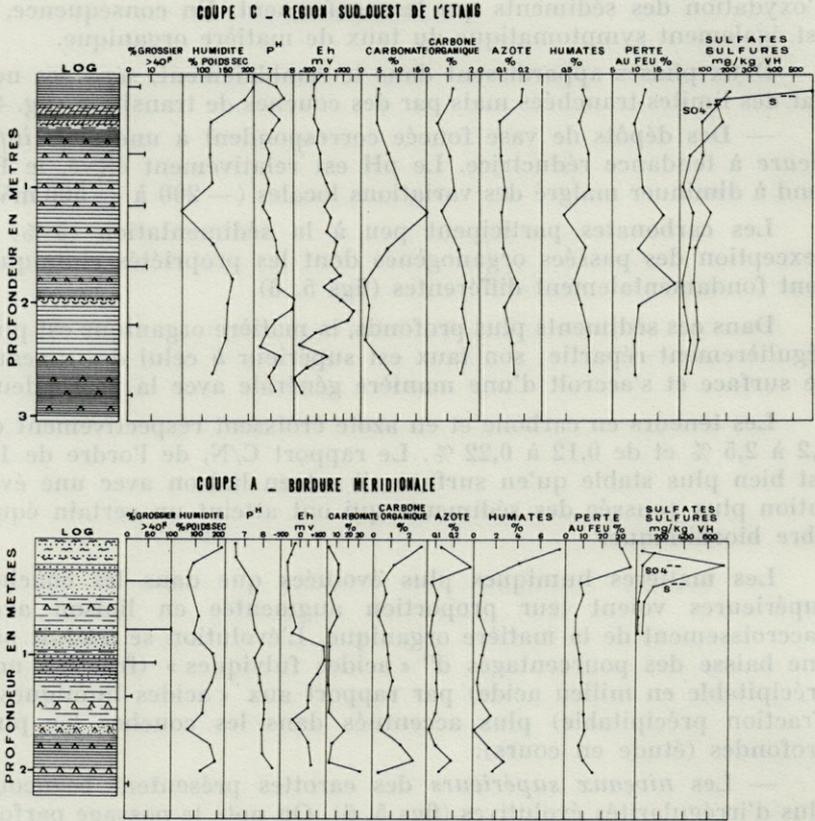


Fig. 6. — Coupes géochimiques dans la partie méridionale de l'étang. Mêmes légendes que pour la fig. 5.

Le rapport C/N dans ce niveau noir de surface est de l'ordre de 20 et traduit l'importance du carbone et la rapide destruction des composés azotés. Les humates se montrent peu évolués, les pourcentages d'acides fulviques y sont bien plus importants qu'en profondeur et les acides humiques sont peu liés à la partie argileuse du sédiment.

Le taux de sulfate s'abaisse rapidement au profit de la formation de sulfures par le phénomène de réduction dû aux bactéries anaérobies (650 à 700 mg de sulfures par kg de vase humide dans les milieux les plus réducteurs).

Des passées tout à fait comparables subsistent quelquefois dans les couches sous-jacentes en alternances avec des niveaux ocres oxydés. Ceux-ci d'importance variable restent toujours localisés

dans la partie supérieure des carottes (70 premiers centimètres). Leur épaisseur dépend de la position du carottage dans l'étang (fig. 4) où les mécanismes de mise en place de ces dépôts commandent leur évolution géochimique.

Le caractère oxydant se manifeste par un pH notablement plus bas (6,5 à 7) que dans les niveaux précédents; en conséquence, le Eh tend à acquérir des valeurs plus élevées (0 à + 200 mV).

Les éléments organiques, en partie éliminés dans ces milieux délavés ou temporairement asséchés, ne dépassent jamais des teneurs de 0,7 % de carbone, avec une marge de variabilité assez grande. Par contre, le taux d'azote assez régulier se situe entre 0,06 et 0,08 %; ces sédiments oxydés sont appauvris en matières humiques.

Les proportions de sulfates se maintiennent, mais des quantités négligeables ou nulles de sulfures individualisent ces niveaux.

La teneur en carbonates de ces vases ocres est de l'ordre de 1 à 2 %, donc très faible et traduit bien leur origine fluviale, car les ruisseaux drainent un matériel remanié ou en provenance directe de séries métamorphiques à séquence pélitique.

— Vers la profondeur existe une *zone de transition* entre les milieux superficiels à passées oxydées et les vases à tendance réductrice sous-jacentes. Elle atteint une épaisseur maximum de 50 centimètres. On y observe l'envahissement par un phénomène de sulfato-réduction d'un milieu primitivement oxydé.

Ce terme de passage se caractérise par une nette diminution du Eh et une augmentation du pH.

Les teneurs en carbone et azote sont respectivement de l'ordre de 1,2 et de 0,1 %; le taux de sulfures croît aux dépens des sulfates, et traduit bien l'envahissement d'un milieu oxydé par les sulfato-réducteurs.

Ces données sont évidemment schématiques, des perturbations apportées par des mécanismes hydrodynamiques et sédimentologiques locaux peuvent intervenir pour modifier cette évolution.

Parmi les facteurs dont l'influence est prépondérante, les modifications de la granulométrie des dépôts jouent un rôle primordial; elles se manifestent dans les passées sableuses et dans les masses de sables issues indirectement de la mer.

Ces niveaux sont caractérisés par des pH assez bas pouvant devenir acides (6,5 à 7,5); le Eh reste faiblement positif.

Ils présentent par leur granulométrie plus grossière un appauvrissement considérable en matière organique. Dans les horizons sableux aux abords du grau, les valeurs peuvent s'abaisser jusqu'à des pourcentages d'azote de 0,03 à 0,04 pour atteindre dans les

sables du cordon littoral un minimum de 0,015 %. Le carbone organique suit cette décroissance, il passe de 0,4 à 0,8 % dans les passées sableuses à 0,1 - 0,2 % sur le cordon littoral (fig. 6, coupe A).

Les autres éléments chimiques subissent généralement la même élimination dans ces milieux particulièrement perméables où les phénomènes de percolation sont facilités. Ainsi, les teneurs en carbonates sont très faibles de 1 à 2 %.

De légères augmentations très localisées du taux de matière organique dans ces formations plus grossières semblent dépendre de venues *per descensum* de solutions originaires du voisinage de la surface où elles se sont chargées en éléments organiques dans les niveaux riches en débris végétaux.

Un autre facteur modificateur intervient dans la géochimie sous forme de passées coquillères que l'on rencontre en plus grande abondance vers la profondeur. Ces amas de lamellibranches par les dimensions et l'agencement des coquilles créent localement des conditions particulières tendant à faire évoluer le milieu vers des phénomènes oxydants. On y décèle en outre des quantités considérables d'eau interstitielle retenue entre les coquilles.

L'intervention de facteurs organiques d'origine végétale joue également un rôle appréciable dans les zones d'accumulations algales et dans le domaine des roselières.

Les teneurs en carbone organique et en azote seront maxima dans ces secteurs et respectivement de l'ordre de 5 % et de 0,3 %.

Dans les roselières, les sulfatoréducteurs par la présence d'une abondante matière organique donnent au redox des valeurs très négatives (— 300 mV). Les teneurs en sulfures deviennent alors très fortes (700 mg par kg de vase humide) et croissent aux dépens des sulfates.

L'ensemble de ces résultats définit une évolution géochimique générale de l'étang de Saint-Nazaire. Les sédiments des formations inférieures du remblayage de l'étang à tendance réductrice semblent correspondre à un milieu anaérobie en cours de stabilisation à caractère évolué, où les éléments organiques présentent une polymérisation plus poussée. Il en résulte un rapport C/N relativement constant et une baisse sensible de la teneur en « acides fulviques » par rapport aux « acides humiques » et d'autre part la formation de sulfures aux dépens des sulfates.

Les couches supérieures, au contraire, montrent un caractère géochimique variable sous la dépendance de nouvelles conditions hydrodynamiques consécutives au colmatage de l'étang (lame d'eau plus faible, émergence temporaire, action des vents et des houles).

A ces modalités particulières se superposent des facteurs fondamentaux qui, localement, peuvent devenir prépondérants et

masquer le schéma général de la succession des faciès géochimiques de l'étang. En effet, la nature granulométrique des dépôts, l'existence locale d'accumulations coquillières ou végétales peuvent transformer profondément leur caractère chimique et leur évolution.

Tous les facteurs liés à la granulométrie, à la présence de passées organogènes à coquilles ou à débris végétaux, agissant sur l'évolution géochimique, conservent un rôle déterminant sur la quantité et la nature des eaux interstitielles retenues par le sédiment.

2°) LES EAUX INTERSTITIELLES

Une interaction continuelle se produit entre le support minéral, le support organique, la quantité et la nature des eaux résiduelles incluses dans le sédiment.

A) Teneur en eau

La teneur en eau est principalement réglée par :

- a) la granulométrie du matériel minéral,
- b) les passées coquillières,
- c) le taux et la nature de la matière organique,
- d) l'intervention d'éventuels facteurs dynamiques et physico-chimiques tels que les processus osmotiques; ils interviennent dans les passées à salure prononcée, consécutive aux émergences temporaires de certaines zones de l'étang.

En outre, des phénomènes de compaction semblent se produire surtout dans les trente premiers centimètres au voisinage de la surface. Ils entraînent d'une façon générale, un abaissement rapide des teneurs en eau de 200 % à 100 % environ (pourcentage ramené au poids de sédiment sec).

L'interaction des autres facteurs de variabilité coïncide avec la nature sédimentologique et géochimique des milieux précédemment définis.

a) *La granulométrie.* — Dans les niveaux à fort pourcentage argileux, la teneur en eau est généralement assez constante par suite de la capacité d'absorption des argiles. Les limons de surface de caractéristiques granulométriques définies, présentent des teneurs en eau de l'ordre de 60 %.

Dans les passées sableuses les pourcentages sont de 80 à 100 %.

b) *Les passées coquillières.* — Dans les lits coquilliers, l'importance des vides laissés par l'agencement des valves, permet la rétention d'une quantité d'eau considérable qui atteint couramment des valeurs de 150 %.

Ces passées organogènes jouent quelque rôle, car elles favorisent la migration des eaux au sein du sédiment par suite des phénomènes de compaction.

D'autre part, comme les sables de forte perméabilité, en retenant une quantité d'eau importante, elles rendront les échanges chimiques plus faciles et plus actifs (CAHET, 1965). Les vases, au contraire, tendront à ralentir et à inhiber en partie ces processus.

c) *La matière organique.* — L'importance de la matière organique intervient également sur le pourcentage d'eau retenue. Il s'abaisse notablement dans les limons ocres de surface, compacts, présents surtout dans la partie nord-ouest (50 à 70 %); leur appauvrissement en matière organique en est partiellement responsable.

Par contre, un léger accroissement des teneurs en eau vers la profondeur est en liaison étroite avec l'enrichissement en pourcentage organique.

Vers la partie inférieure des carottes en effet, à partir de la zone de passage des vases ocres aux vases noires, les proportions augmentent généralement de 85 à 120 %, pour devenir progressivement à peu près constantes.

De même, dans les niveaux noirs supérieurs, la présence de matière organique entraîne un enrichissement en eau interstitielle de l'ordre de 75 à 85 %, qui confère aux vases noires une très grande plasticité. Au niveau des roselières, les teneurs en eau restent fortes dans les vases noires réductrices riches en débris végétaux (100 à 150 %).

d) *Les facteurs dynamiques et physicochimiques.* — Des facteurs dynamiques ont pu intervenir pour modifier la teneur en eau des dépôts qui restent encore fonction des mécanismes de leur mise en place.

En effet, les limons de crues semblent s'être déposés brutalement sur une certaine épaisseur et retiennent moins d'eau que les vases sédimentées lentement au centre de la lagune. Celles-ci présentent des réseaux argilo-organiques qui emprisonnent entre leurs mailles des quantités d'eau parfois notables. D'autre part, les phénomènes d'émersion et la compaction plus poussée qui s'ensuit ne sont pas sans effet sur l'appauvrissement en eau de ces milieux.

Enfin, des phénomènes physicochimiques particuliers ont aussi quelque importance, comme par exemple les échanges qui peuvent

se produire par les processus osmotiques entre des eaux interstitielles de salure extrême au sein du sédiment.

Les nombreuses variations latérales de ces faciès lagunaires provoquent également des modifications très complexes des pourcentages d'eau retenue.

— En surface, les valeurs sont moindres dans la partie nord de l'étang (60 à 70 %), elles s'élèvent (120 - 150 %) dans le secteur central et peuvent atteindre 220 % dans les niveaux riches en matière organique du bassin sud (Fig. 6, coupe C).

— Dans les limons ocres vers 50 centimètres de profondeur, ces teneurs chutent jusqu'à 40 - 50 % dans la région nord; elles sont plus fortes au Sud (80 à 100 %).

— Vers la profondeur, suivant les points, elles croissent ou restent assez constantes, 50 à 70 % dans la partie septentrionale et 100 % dans la région méridionale.

B) Nature chimique des eaux interstitielles.

Parmi les différents éléments dissous que nous avons étudiés : réserve alcaline, chlorure, calcium, magnésium, potassium, sodium, sulfate et sulfure, la teneur en Cl semble assez peu influencée par les évolutions géochimiques ultérieures du sédiment.

Les eaux se répartissent suivant des zones lithologiques qui ont conservé leur individualité. Toutefois, la composition en cations sous certaines conditions peut subir une variabilité notable par échanges avec la phase solide argilo-organique. Il se produit, par suite, une adsorption préférentielle de certains cations au contact des feuilletts argileux et leur élimination partielle de la phase aqueuse.

Les anions SO_4 et S soumis aux métabolismes bactériens évoluent surtout en liaison avec la matière organique et la finesse granulométrique du support minéral (CAHET, 1965).

Le *chlore* semble être le seul élément indicateur de la nature des eaux qui surmontaient les sédiments au moment de leur dépôt.

Actuellement, la chlorinité des eaux confère à l'étang de Saint-Nazaire un caractère en général *mésopolyhalin* (LÉVY, 1963). Toutefois, plusieurs secteurs sont soumis à des perturbations d'origine locale :

— Les eaux dans le domaine proche de la rive continentale présentent les teneurs en Cl les plus basses (4 à 7 g/l), conséquence des arrivées d'eau douce à partir des ruisseaux.

— Les valeurs les plus fortes, par contre, sont rencontrées près du cordon littoral à l'Est où se font sentir les influences marines par l'inter-

médiaire des courants qui pénètrent par le grau (jusqu'à 20 g/l à sa proximité) et les apports salins par percolation à travers le cordon littoral.

— La région Nord de l'étang de profondeur plus faible présente, par effet d'évaporation durant la période estivale, une chlorinité plus élevée que dans le bassin Sud; elle peut atteindre 30 g/l.

Les eaux extraites des diverses carottes traduisent une modification continue du milieu. En effet, les chlorures décroissent généralement de manière régulière vers la profondeur. Ces valeurs chutent assez rapidement dans les 30 premiers centimètres, puis plus lentement dans les niveaux sous-jacents; mais les teneurs tendent à se stabiliser dans les couches plus profondes.

— Ainsi, les valeurs décroissent dans la partie méridionale de l'étang de 11,3 g/l (en surface) jusqu'à 1,5 g/l (vers 2,50 m de profondeur (tableau 1)).

TABLEAU 1
Coupe C (bassin Sud - partie Ouest).

Profondeur (mètres)	SO ₄ ⁻⁻ mg/kg VH	S ⁻⁻ mg/kg VH	Cl ⁻ g/l	Ca ⁺⁺ még/l	Mg ⁺⁺ még/l	Na ⁺ még/l	K ⁺ még/l	Réserve Alcaline cc. ClH N/l	SO ₄ ⁻⁻ S ⁻⁻	Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺	Na ⁺ K ⁺
Surface	—	—	11,3	15,5	51	270	5,6	2,68	—	3,2	48,2
0,20	137	152	9,3	10,2	42	257	4,5	7,9	0,17	4,11	57,1
0,55	95	185	6,1	7	20	155	3,4	14,5	0,10	2,86	45,6
1,20	137	47	2,1	5	6	70	0,6	12,5	0,58	1,2	116
1,45	63	17	2	3,5	7,5	62,5	0,5	12,3	0,73	2,14	125
1,75	66	0	1,7	4	6	20	0,25	13	—	1,50	80
2,25	81	34	1,5	5	4	12,5	0,25	16,4	1,45	0,80	50

— Dans le bassin septentrional sur quelques profils assez près des rives (tableaux 2 et 3), une évolution différente se développe sous l'effet de phénomènes d'évaporation survenus à posteriori.

— A environ 0,60 - 0,70 m de profondeur, on enregistre une augmentation de la chlorinité (33 g/l sur coupe D; 23 g/l sur coupe E).

TABLEAU 2
Coupe D (région Nord).

Profondeur (mètres)	SO ₄ ⁻⁻ mg/kg VH	S ⁻⁻ mg/kg VH	Cl ⁻ g/l	Ca ⁺⁺ még/l	Mg ⁺⁺ még/l	Na ⁺ még/l	K ⁺ még/l	Réserve Alcaline cc. ClH N/l	SO ₄ ⁻⁻ S ⁻⁻	Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺	Na ⁺ K ⁺
Surface	—	—	12,15	17,5	54,5	285	6,2	4,7	—	3,11	45,9
0,05	106	0	11,9	18	—	275	5,5	4,4	—	—	50
0,25	45,9	0	14,9	20	—	500	8,25	6,34	—	—	60,6
0,75	175	0	33	31	103	545	12,5	6	—	3,32	43,6
1,35	190	0	12,9	13,5	63,5	262,5	9,5	5,94	—	4,7	27,6
1,60	102	0	9,1	10	44	225	8,5	2,65	—	4,4	26,5
1,80	301	40	6,7	8	21	162,5	8	4,25	7,54	2,62	20,3
2,05	111	57	4,6	7	18	115	6	4,9	0,02	2,57	19,1

TABLEAU 3
Coupe E (région Nord - secteur Sud).

Profondeur (mètres)	SO ₄ ⁻⁻	S ⁻⁻	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Réserve Alcaline cc. ClH N/l	SO ₄ ⁻⁻	Mg ⁺⁺	Na ⁺
	mg/kg VH	mg/kg VH	g/l	még/l	még/l	még/l	még/l		S ⁻⁻	Ca ⁺⁺	K ⁺
Surface	—	—	10,1	15	44	280	5	5,08	—	2,93	56
0,05	—	—	10,8	16,4	45,6	242	6,3	4,9	—	2,78	38,4
0,10	108	0	10,9	26,5	54	250	5,7	4,4	—	2,03	43,8
0,70	476	130	22,8	31,4	—	570	11,2	4	3,66	—	50,9
1,10	0	33	21	19	92	460	12,7	4,7	0	4,84	36,2
1,30	235	10	16,7	16	67	375	11,8	0,2	23,5	4,19	31,8

Cet accroissement rapide se situe au niveau des passées ocre plus épaisses dans cette partie de l'étang. Une telle coïncidence peut s'expliquer par les émergences estivales dont ce secteur est le siège; responsables de phénomènes d'évaporation et de concentration des eaux, elles déterminent une évolution géochimique oxydante.

Des influences d'origine extérieure à l'étang se manifestent également dans certaines zones de bordure, au Sud-Ouest, où des venues d'eau douce, par infiltration à partir de la nappe phréatique, semblent diluer les eaux interstitielles profondes et accentuer les différences verticales de salinité constatés dans le centre de l'étang.

Ainsi, à 1 mètre de profondeur dans le secteur Sud (coupe C), la teneur en Cl est de 2,1 g/l, dans la région centrale de 10 à 12 g/l (tableaux 4 et 5). Vers 2 mètres, on note respectivement 1,5 g/l et 7,5 à 9,5 g/l.

TABLEAU 4
Coupe H (région centrale).

Profondeur (mètres)	SO ₄ ⁻⁻	S ⁻⁻	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Réserve Alcaline cc. ClH N/l	SO ₄ ⁻⁻	Mg ⁺⁺	Na ⁺
	mg/kg VH	mg/kg VH	g/l	még/l	még/l	még/l	még/l		S ⁻⁻	Ca ⁺⁺	K ⁺
0,50	108	5	11,25	10	42	255	6,5	11	21,6	4,2	39,2
0,90	69	93	10,2	6,5	30,5	272	7,2	16,5	0,7	4,65	37,7
1,70	36,2	0	7,5	3,5	20	200	6,5	19,9	—	5,71	30,7
3	16,9	0	3,45	3,2	14,8	85	3,8	19	—	4,62	22,4
3,40	15,7	0	5,15	4	17,6	132	5	18,9	—	4,4	26,4
3,70	25	0	2,45	—	—	45	2,7	21	—	—	16,7

TABLEAU 5
Coupe I (région centrale).

Profondeur (mètres)	SO ₄ ⁻⁻	S ⁻⁻	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Réserve Alcaline cc. ClH N/l	SO ₄ ⁻⁻	Mg ⁺⁺	Na ⁺
	mg/kg VH	mg/kg VH	g/l	még/l	még/l	még/l	még/l		S ⁻⁻	Ca ⁺⁺	K ⁺
Surface	—	—	16,25	21,5	93	380	7,9	3,4	—	4,3	48,1
0,05	188	280	10,75	13	46,4	267	6,5	4,5	1,49	3,57	41,1
0,50	173	197	12,1	8	65	302	7,75	11,6	0,88	8,12	38,9
0,95	102	81,5	11,5	7	33	305	8,3	18,6	1,25	4,71	36,7
1,35	109	13,5	10,7	5	28	270	7,6	27,5	8,01	5,6	35,5
1,80	77	0	9,3	4,5	24,5	250	7,25	24,8	—	5,44	34,5

Par contre, au voisinage du lido, un processus inverse se produit : l'eau de mer percolant à travers le cordon littoral peut pénétrer dans les sédiments de bordure et contaminer les eaux interstitielles à certains niveaux.

Ces perturbations masquent localement l'évolution générale de la chlorinité des sédiments de remplissage de l'étang.

En résumé, le caractère évolutif général de la chlorinité reste apparenté à la diminution progressive de la profondeur de l'étang au cours de son remblayage. Les phénomènes climatiques, en particulier l'évaporation estivale s'exerçant sur des volumes d'eau de plus en plus réduits ont peu à peu favorisé leur concentration donnant à cet étang le caractère de salinité qu'on lui connaît actuellement.

TABLEAU 6
Coupe J (région Nord-Ouest).

Profondeur (mètres)	SO ₄ ⁻⁻	S ⁻⁻	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Réserve Alcaline cc. ClH N/l	SO ₄ ⁻⁻	Mg ⁺⁺	Na ⁺
	mg/kg VH	mg/kg VH	g/l	még/l	még/l	még/l	még/l		S ⁻⁻	Ca ⁺⁺	K ⁺
Surface	—	—	31	4,5	164	690	13,8	3,24	—	3,2	50
0,10	695	278	30,2	4,1	159	625	12,5	4,04	2,5	3,9	50
0,80	323	171	18,6	1,7	123	435	10	11,8	1,88	7,2	43,5
1,30	84	0	13,4	1,2	—	335	10,5	17,3	—	—	31,9
1,80	107	17	8,4	0,4	24	217	6,6	0,28	6,29	6	32,9
2,60	47	11	3,9	0,3	—	92	3,75	0,20	4,36	—	24,5
2,80	tr.	23	2,4	0,34	4	55	2,5	0,4	—	1,3	22

Les teneurs en Mg et Ca sont inférieures dans le sédiment à celles des eaux sus-jacentes et décroissent vers la profondeur comme la chlorinité.

Elles sont respectivement de 10 à 20 még/l pour le calcium et de 50 à 200 még/l pour le magnésium dans les sédiments de surface. Leur diminution vers la profondeur est plus ou moins rapide suivant la position des carottages.

— Dans les secteurs subissant en profondeur l'influence d'eaux douces (coupe C), les valeurs peuvent décroître de 10 à 5 még/l (Ca) et de 40 à 4 még/l (Mg), de la surface jusque vers 3 mètres de profondeur.

— Près du cordon littoral, elles restent plus constantes et plus fortes (tableau 7); de la surface jusque vers 1,50 m, les variations sont de 22 à 17 még/l pour le magnésium.

L'étude du rapport Mg/Ca nous renseigne sur l'origine des eaux interstitielles. Sur la plupart des coupes, les valeurs de ce rapport décroissent vers la profondeur; de l'ordre de 4 en surface, elles s'abaissent généralement dans les couches plus profondes.

Plusieurs phénomènes expliquent ces variations locales. Dans les niveaux où le pH est inférieur à 7, la mise en solution des

TABLEAU 7
Coupe L (bassin Sud - partie Est.)

Profondeur (mètres)	SO ₄ [—] mg/kg VH	S [—] mg/kg VH	Cl [—] g/l	Ca ⁺⁺ még/l	Mg ⁺⁺ még/l	Na ⁺ még/l	K ⁺ még/l	Réserve Alcaline cc. CLH N/1	SO ₄ [—] S [—]	Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺	Na ⁺ K ⁺
Surface	—	—	22	26	101	510	11,2	4,64	—	3,9	45,5
0,05	553	182	20,6	22	73	475	10,3	2,72	3	3,3	46,1
0,20	279	97	17,3	21	97	395	9,3	3,3	2,9	4,6	42,5
0,35	235	0	14	17	—	312	7,8	3,5	—	—	40

carbonates peut amener un enrichissement des eaux interstitielles en calcium. Par contre, les milieux alcalins et généralement les conditions favorables au phénomène de réduction des sulfates, favorisent la précipitation du carbonate de calcium qui s'élimine en partie de la solution, et abaissent ainsi les teneurs en cet élément.

La complexité s'accroît lorsque les dépôts organogènes participent à la sédimentation : par exemple, dans les couches riches en pigments chlorophylliens on peut enregistrer un accroissement des teneurs en magnésium (RIVIÈRE et VERNHET, 1958).

Les ions Na et K suivent assez fidèlement le schéma général de diminution de la salure vers la profondeur.

Leurs concentrations les plus fortes sont relevées dans les secteurs de faible profondeur subissant une évaporation intense en période sèche, mais aussi à proximité du cordon littoral.

Les teneurs les plus fortes observées en surface sont de 650 még/l pour le sodium et de 14 még/l pour le potassium. Dans la région Nord-Ouest de l'étang, elles restent de l'ordre de 100 à 200 még/l (Na) à 2 m de profondeur et peuvent s'abaisser jusqu'à 20 még/l dans la partie Sud-Ouest.

Le rapport Na/K présente parfois quelques variations, mais de manière générale, il décroît vers la profondeur. Les valeurs de l'ordre de 45 à 50 dans les eaux sus-jacentes sont parfois plus élevées dans le sédiment de surface (jusqu'à 57), mais peuvent s'abaisser à 20 dans les couches plus profondes.

L'étude de ces divers ions et de leurs rapports caractéristiques confirme les conclusions précédentes.

L'évolution de la teneur ionique des eaux interstitielles dépend principalement de la diminution progressive de la lame d'eau, conséquence du remblayage continu de l'étang. A ce phénomène s'associent certains facteurs climatiques importants.

Notons l'évaporation estivale, phénomène majeur, d'autant plus intense que les volumes d'eau sont plus réduits. Cependant, comme en témoigne l'évolution des rapports caractéristiques vers la prof-

fondeur, les venues d'eau douce à partir de la région occidentale étaient initialement plus importantes; ce qui amenait une plus grande dilution des eaux de l'étang, responsable d'une diminution des valeurs géochimiques de ces rapports vers la base des coupes.

L'étude de la *réserve alcaline* soumise à de nombreux facteurs évolutifs permet de connaître les conditions du milieu et leur modification au cours de la diagenèse des sédiments.

En effet, elle dépend de l'intervention de nombreux éléments physicochimiques : la salinité, le Eh, le pH et la teneur en matière organique dont la présence active la sulfato-réduction sous processus anaérobie.

La réserve alcaline des eaux de l'étang de Saint-Nazaire reste comparable à celle des étangs plus septentrionaux (Leucate-Sigean, RIVIÈRE et VERNHET, 1958). Ces valeurs sont de l'ordre de 3 à 5 et paraissent en relation avec le faible pourcentage en carbonate de calcium des divers apports continentaux.

En fait, la présence de certains groupements sulfurés, la production de sels de l'acide carbonique sous l'influence de l'attaque bactérienne pourrait expliquer pourquoi la réserve alcaline des sédiments reste supérieure à celles des eaux sus-jacentes. De plus, le matériel carbonaté contenu dans le sédiment (débris de coquilles) amène la réserve alcaline au voisinage de sa valeur saturante (RIVIÈRE et VERNHET, 1957).

Dans les régions médianes de l'étang, les valeurs de la réserve alcaline croissent assez régulièrement vers la profondeur. De 3 à 4 dans les eaux sus-jacentes, elles sont de 5 à 10 dans le sédiment de surface et croissent assez régulièrement vers la profondeur pour atteindre parfois 20 à 25 (tableaux 4 et 5).

Dans les zones où les phénomènes géochimiques dépendent d'autres facteurs, la réserve alcaline ne suit plus d'évolution progressive vers les couches profondes. Les valeurs, irrégulières ont tendance à augmenter au niveau des passées à rédox négatif, siège d'une sulfato-réduction plus ou moins intense.

Les phénomènes d'évaporation qui permettent une augmentation de la salure peuvent expliquer les réserves alcalines plus faibles observées sur les coupes effectuées dans la région nord de l'étang (tableau 2).

Il en résulte un abaissement notable de la réserve alcaline et la possibilité de précipitation de carbonates. Mais généralement, en l'absence d'un stock calcaire suffisant dans les eaux, malgré les réductions anaérobies des sulfates, cette précipitation ne semble pas se produire. Sur la coupe C, il nous a été donné d'observer quelques horizons plus compacts à ciment calcaire, seules traces de ce phénomène chimique.

En conclusion, les apports fluviaux ne semblent pas jouer un rôle important dans la sédimentation carbonatée de l'étang de Saint-Nazaire par suite de leur faible teneur en éléments calciques.

Les valeurs de la réserve alcaline donnent d'amples renseignements, mais elles sont sensibles à tous les facteurs contrôlant les processus géochimiques de l'étang. Elles traduisent donc les conditions primitives auxquelles se superpose l'évolution ultérieure des dépôts au cours de leur diagenèse.

En résumé, la réserve alcaline intègre une somme de paramètres variés, souvent difficiles à distinguer et dont l'effet et l'importance sont toujours imprécis.

CONCLUSION

L'ensemble des données obtenues sur les conditions hydrodynamiques, sédimentologiques et géochimiques qui ont régné au cours du remplissage de l'étang de Saint-Nazaire, permet de définir son évolution générale.

Le caractère lagunaire du milieu s'est constamment maintenu malgré quelques changements du régime sédimentaire, en particulier l'atténuation des arrivées marines par suite du colmatage du grau dans la zone orientale. De plus, dans la partie occidentale, la pénétration progressive des apports fluviaux vers l'Est s'est étendue peu à peu vers les zones centrales de l'étang au cours de l'avancée deltaïque. Les apports solides des cours d'eau ont abouti au remblayage de l'étang qui, à son tour, a favorisé l'action de facteurs climatiques : évaporation, effet des vents dominants sur une lame d'eau considérablement réduite.

Corrélativement, on assiste à une augmentation de la salinité des eaux interstitielles vers les couches supérieures sans pouvoir affirmer que les phénomènes d'évaporation soient les seuls mis en cause. D'autres éventualités ne sauraient être écartées : les cours d'eau ont pu fournir primitivement des débits d'eau supérieurs à ceux du régime hydrologique actuel, l'influence marine a pu être anciennement atténuée par une fermeture plus complète du cordon littoral; enfin, l'intervention possible de nappes phréatiques alors plus importantes, soustraites à l'exhaure, a pu jouer quelque rôle dans la dessalure du plan d'eau. Tous ces facteurs sont susceptibles d'avoir contribué à abaisser la salinité primitive de l'étang.

Cette évolution particulière est responsable des processus sédimentologiques et géochimiques régnant dans la lagune.

On observe des variations granulométriques de la sédimentation primitive et actuelle sous l'effet de trois causes prédominantes : les apports fluviaux, les venues marines et l'intervention des vents dominants et des houles résultantes.

Ces différents facteurs commandent les modalités de déplacement des matériaux, leur triage au cours de leur transit et de leur remaniement possible par remise en suspension. Malgré les brassages intenses, les répartitions granulométriques, caractéristiques des zones d'influence, restent toujours localisées aux abords des sources sédimentaires et semblent géographiquement stables durant le remblayage.

L'ensemble des phénomènes décrits ci-dessus ont toujours une action déterminante sur les variations géochimiques de ce milieu lagunaire. Ainsi, une tendance vers des conditions oxydantes se développe surtout dans les couches supérieures soumises à des perturbations hydrodynamiques et climatiques; les niveaux inférieurs, au contraire, restent réducteurs par suite de la continuité des processus sédimentaires.

Rappelons que la chlorinité des eaux interstitielles s'élève vers le sommet des coupes; simultanément les rapports Mg/Ca, Na/K augmentent en suivant les variations des teneurs en Cl.

Le taux de matière organique faible dans les passées oxydées s'accroît vers la profondeur où les produits de dégradation sont également plus évolués. Une régularisation du rapport C/N paraît solidaire de cette augmentation en matière organique et pourrait traduire des conditions primitives de dépôts plus monotones entraînant une évolution continue, beaucoup plus avancée dans les sédiments plus anciens.

Des perturbations locales liées à l'intervention de facteurs dynamiques, physicochimiques effacent localement le caractère général de cette évolution.

RÉSUMÉ

L'auteur examine un cas d'évolution de milieu lagunaire par l'étude sédimentologique et géochimique d'échantillons prélevés par carottages et met en évidence plusieurs phénomènes spécifiques.

Les variations sédimentologiques latérales et verticales montrent la diversité des milieux, l'interpénétration des faciès granulométriques qui se terminent en biseaux et se localisent en fonction

des conditions climatiques et hydrodynamiques locales et des sources sédimentaires fluviales et marines.

Les faciès géochimiques dépendent plus ou moins directement de l'ensemble de ces processus. Les eaux interstitielles conservent leur individualité et leur nature caractérise donc les milieux de sédimentation. Le taux de matière organique dépend aussi des conditions de dépôt et montre une évolution particulière vers la profondeur.

D'une manière générale, les facteurs hydrodynamiques qui favorisent le remblayage de l'étang donnent plus d'emprise aux actions climatiques dont dépend l'évolution même des dépôts.

SUMMARY

The writer examines a case of the evolution of a lagoon environment by the sedimentological and geochemical studies of some samples taken by core-drilling and brings out several specific phenomenons.

The lateral and vertical sedimentological variations show the variety of the areas, the interpenetration of the granulometric facies bevel-ending and localised according to the climatic and hydrodynamic local conditions and to the fluvial and marine sedimentary sources.

The geochemical facies more or less depend on the whole of these processes. The interstitial waters keep their individuality, therefore their nature characterizes the sedimentological environment. The amount of organic matter also depends on the deposit conditions and shows a characteristic evolution towards the depths.

Generally the hydrodynamic factors which further the filling of the mere give more hold to the climatic actions upon which the very evolution of the deposits depends.

ZUSAMMENFASSUNG

Die sedimentologische und geochemische Untersuchung einiger, aus einem in Entwicklung stehenden Lagunengebiet stammende, Bohrproben zeigt verschiedene spezifische Erscheinungen.

Die senkrechten und seitlichen sedimentologischen Variationen unterstreichen die Unterschiedlichkeit zwischen verschiedenen Zonen sowie auch das wechselseitige Ineinandergehen der verschiedenen granulometrischen Lagen, welche in Schrägflächen enden, und von örtlichen klimatischen und hydrodynamischen Verhältnissen sowie der Süß- und Seewasser Ablagerungsquellen lokalisiert werden.

Die geochemischen Fakten hängen mehr oder weniger von der Gesamtheit dieser Faktoren ab. Die verschiedenen Zwischenlücken system-Gewässer behalten ihre Individualität und bestimmen die Sedimentierung. Der Gehalt an organischen Stoffen ist ebenfalls von den Ablagerungsverhältnissen abhängig und weist eine besondere Abstufung der Tiefe gegenüber.

Die hydrodynamischen Verhältnisse von denen die Verlandung der Lagunen begünstigt wird geben im Allgemeinen den klimatischen Verhältnissen, von welchen die Evolution der Ablagerungen abhängt, mehr Macht.

BIBLIOGRAPHIE

- CAHET, G., 1965. Contribution à l'étude des eaux et des sédiments de l'étang de Bages-Sigean (Aude). - III. Réduction des composés soufrés. *Vie Milieu*, 16 (2-B) : 917-981.
- LÉVY, A., 1963. Sédimentologie et étude de la microfaune du littoral et des étangs côtiers du Cap Racou à Port-la-Nouvelle (Roussillon). Thèse, Paris.
- LÉVY, A., 1965. Contribution à l'étude sédimentologique du littoral roussillonnais entre le Cap Racou et Port-la-Nouvelle. *Vie Milieu*, 16 (2 B) : 899-915.
- LAGARDE, E., G. CAHET et M. MOURRUT, 1964. Contribution à l'étude des eaux et des sédiments de l'étang de Bages-Sigean. I. Données climatiques. *Vie Milieu*, suppl. n° 27 : 35-40.
- LAGARDE, E. et G. CAHET, 1964. Contribution à l'étude des eaux et des sédiments de l'étang de Bages-Sigean. II. Recherches physicochimiques et microbiologiques. *Vie Milieu*, suppl. n° 17 : 41-60.
- PETIT, G., 1953. Introduction à l'étude écologique des étangs méditerranéens. *Vie Milieu*, 4 (4) : 569-604.
- PETIT, G. et R. MIZOULE, 1962. Contribution à l'étude écologique du complexe lagunaire Bages-Sigean. *Vie Milieu*, 12 (2) : 205-230.
- RIVIÈRE, A. et S. VERNHET, 1957. Contribution à l'étude physicochimique de la sédimentation calcaire. *C.R. hebd. Séanc. Acad. Sc. Paris*, 244 : 2080-2083.
- RIVIÈRE, A. et S. VERNHET, 1958. Contribution à l'étude géochimique des mécanismes de la sédimentation carbonatée en milieu lagunaire. *C.R. hebd. Séanc. Acad. Sc. Paris*, 246 : 2784-2787.

- RIVIÈRE, A. et S. VERNHET, 1958. Contribution à l'étude sédimentologique de l'étang de Leucate-Salces. *Eclog. geol. Helv.*, 1 (3) : 561-586.
- RIVIÈRE, A. et S. VERNHET, 1962. Régime euxinique et sédimentation carbonatée en milieu lagunaire. *C.R. hebd. Séanc. Acad. Sci. Paris*, 255 : 3013-3015.
- SENEZ, J.C., 1951. Problèmes écologiques concernant les bactéries des sédiments marins. *Vie Milieu*, 2 (1) : 5-43.
- SIMONNEAU, P., 1966. Les grands ensembles écologiques des Pyrénées-Orientales : l'étang de St Nazaire. Carte écologique au 1/500 de l'E.I.D.

Reçu le 11 avril 1968.

LA FAUNE BENTHIQUE DES SUBSTRATS MEUBLES DE BANYULS-SUR-MER PREMIÈRES DONNÉES QUALITATIVES ET QUANTITATIVES *

par Alain GUILLE et Jacques SOYER
Laboratoire Arago, 66 - Banyuls-sur-Mer

SOMMAIRE

Dans cette note préliminaire, les auteurs effectuent l'analyse qualitative et quantitative du macrobenthos et du méiobenthos en six stations échelonnées entre 15 et 91 mètres de profondeur au large de Banyuls-sur-Mer.

La répartition de ces deux contingents faunistiques est étudiée en fonction des deux facteurs qui paraissent prépondérants : la granulométrie du sédiment et la température.

L'évolution des biomasses et les rapports numériques et pondéraux du macrobenthos et du méiobenthos sont également envisagés.

Comme le souligne THORSON (1966), la définition des communautés de substrats meubles est actuellement toute entière fondée sur la macrofaune. Il est en effet difficile d'étudier parallèlement le macrobenthos et le meiobenthos ** car les méthodes de récolte,

* Cette étude a été réalisée dans le cadre de la convention n° 66 00 321 attribuée au Laboratoire Arago par le COMEXO (D.G.R.S.T.) et reprise par le CNEXO.

** Nous avons adopté dans cette note les définitions établies lors du Congrès de Marseille (1963) sur les divisions des organismes benthiques en fonction de leur échelle dimensionnelle.

de tri, sont différentes; d'autre part la systématique des principaux composants de ce dernier est très délicate. La plupart des travaux se rapportent au seul méiobenthos et encore faut-il signaler que les quelques rares études qualitatives sont en général limitées à un seul groupe zoologique.

Il nous a paru intéressant de tenter de voir s'il était possible de superposer à une communauté définie d'après la macrofaune une population méiobenthique, sinon originale, du moins dont le pourcentage des différents éléments, gravellicole, sabulicole, limicole ou eurytope, serait caractéristique. Ce problème nous paraît particulièrement important car l'étude de la méiofaune nous renseignerait de façon très précise sur le biotope, en particulier sa granulométrie et son degré d'hétérogénéité; ce dernier facteur pourrait influencer de façon notable sur la composition qualitative et quantitative de la macrofaune, notamment en autorisant la fixation des larves sans permettre leur développement normal (THORSON, 1946, 1950, 1957, 1960, 1966). De plus les représentants du méiobenthos ont en général des durées de vie courtes, des cycles accélérés qui se déroulent sur des aires réduites ce qui élimine dans une certaine mesure la présence accidentelle d'une espèce dans une zone défavorable. Enfin, dans les zones à macrofaune rare (abyssale ou même bathyale), il serait alors possible par une étude du méiobenthos d'avoir quelques renseignements sur les caractéristiques écologiques des animaux vivants dans ces régions.

Le travail de WIESER (1960) couplé à celui de SANDERS (1960) nous apporte des données fort intéressantes sur le problème de la correspondance macrofaune-meiofaune.

WIESER montre qu'il lui est possible de distinguer une communauté à *Odonthophora-Leptonella* et une communauté à *Terschillingia longicaudata-Trachydemus mainensis* correspondant respectivement aux communautés à *Ampelisca* et à *Nucula proxima-Nephtys incisa*. Cependant, l'auteur rejette le terme communauté car son analyse met en évidence la composition hétérogène des populations de Nématodes, formées en réalité du mélange de trois contingents faunistiques : sabulicole, limicole et eurytope, ayant une répartition en mosaïque en fonction des microhabitats que peut présenter le substrat.

D'autre part, du point de vue quantitatif, THORSON (1966) admet actuellement que l'étude de la biomasse représentée par la macrofaune donne une idée assez exacte de la production. Cependant la recherche d'une meilleure compréhension de la chaîne alimentaire, d'une analyse plus fine de la biocénose (REMANE, 1951; RENAUD-DEBYSER et SALVAT, 1963), la nécessité d'une estimation aussi bonne que possible de la production, l'examen des contenus stomacaux du macrobenthos, en particulier des jeunes poissons

benthiques (SMIDT, 1951; BREGNBALLE, 1961), ont entraîné de nombreux auteurs à envisager les rapports quantitatifs macro-méiofaune. A la suite des travaux de MOORE (1931) dans le Firth of Clyde, de KROGH et SPÄRK (1942) dans les eaux danoises et de MARE (1942) en face de Plymouth, SMIDT au Danemark, SANDERS et WIESER, WIGLEY et MC INTYRE (1964) sur la côte atlantique américaine, MC INTYRE (1961) sur la côte occidentale de l'Ecosse, BACESCO et Coll. (1957-1965) en Mer Noire, nous fournissent de nombreux résultats sur l'importance relative de ces deux contingents faunistiques dans la zone subtidale.

En Méditerranée, mis à part l'Adriatique étudiée par VATOVA (1949), les données quantitatives sur la biomasse du macrobenthos aussi bien que du méiobenthos sont rares. Le bassin oriental et la mer Egée apparaissent les mieux connus grâce aux travaux des auteurs russes (KISELEVA, 1961 et 1964; TCHUKHATCHIN, 1964) qui regroupent généralement dans leurs études le macrobenthos et une partie du méiobenthos. En Méditerranée occidentale, SPÄRK (1931) analyse quatorze prélèvements du golfe de Salerne et dix-huit de la baie de Naples. Lors d'une étude sur les engins de prélèvements, REYS (1965) donne le poids sec de huit échantillons tandis que PÉRÈS (1967 *a* et *b*) présente les résultats du même auteur concernant dix prises effectuées dans cinq biocénoses différentes de la région de Marseille. Les seules estimations de la densité du méiobenthos sont celles de BOUGIS (1946 et 1951) pour une vase de Banyuls-sur-Mer.

Dans le cadre d'une étude beaucoup plus vaste entreprise dès 1963, il nous a paru intéressant d'exposer préliminairement quelques résultats fragmentaires de nos prospections qualitatives et quantitatives sur la macrofaune et la méiofaune.

Six stations ont été choisies, parmi plus de 250, pour des raisons topographiques et également parce qu'elles recourent la plupart des principales communautés que l'on peut rencontrer dans la région de Banyuls quoique n'en présentant pas toujours l'aspect le plus caractéristique. Cette étude est limitée et il n'est pas dans notre propos ici de poser le problème de la notion de biocénose ou de communauté en Méditerranée. Les peuplements de chaque station sont donc comparés à ceux définis dans les travaux antérieurs de bionomie, particulièrement de Méditerranée (PÉRÈS et PICARD, 1964; PICARD, 1965).

S'il nous a été possible d'envisager quantitativement l'ensemble du méiobenthos (Foraminifères exclus), son étude qualitative a été limitée à un des groupes principaux : les Copépodes Harpacticoïdes. Ceux-ci sont représentés dans nos prélèvements par un certain nombre d'espèces inédites dont la description est en instance de

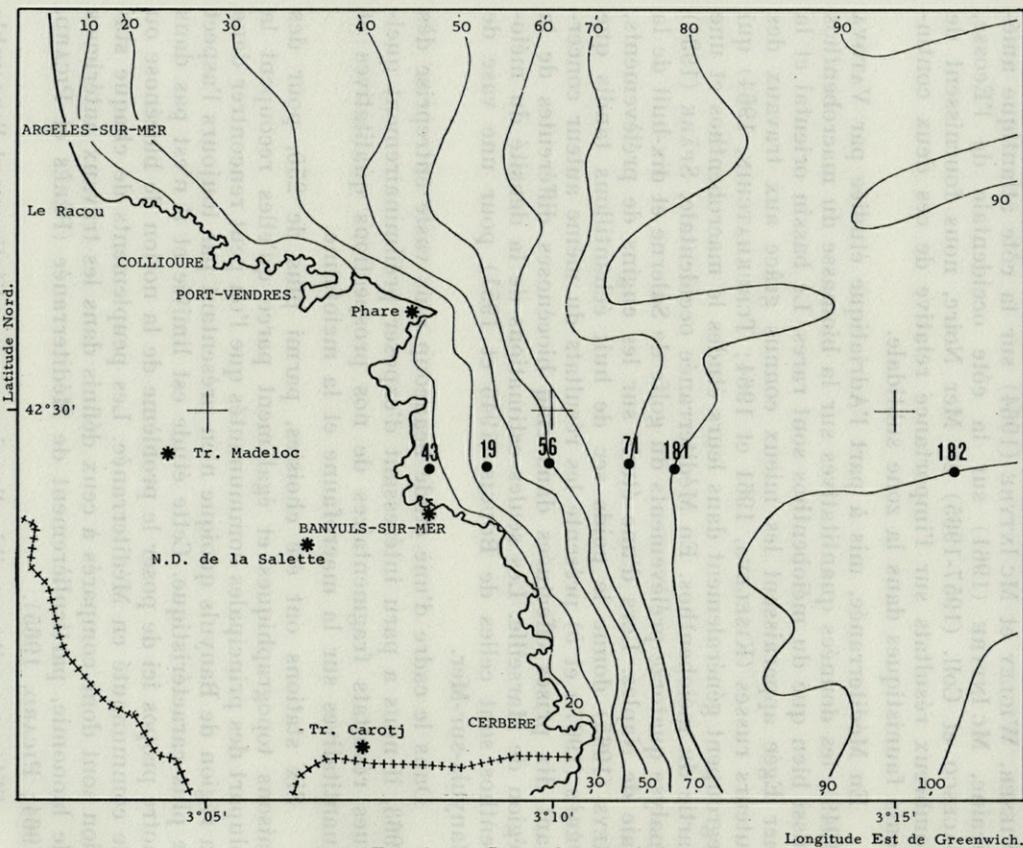


FIG. 1. — Carte des stations.

publication; nous avons donc été dans l'obligation d'affecter au nom de genre un numéro qui permettra ultérieurement de les rattacher à nos descriptions*.

STATIONS

Les six stations prospectées sont réparties sur une radiale Ouest-Est, de la baie de Banyuls vers le large, et s'échelonnent de 15 mètres à 91 mètres de profondeur (Fig. 1). L'étude physico-chi-

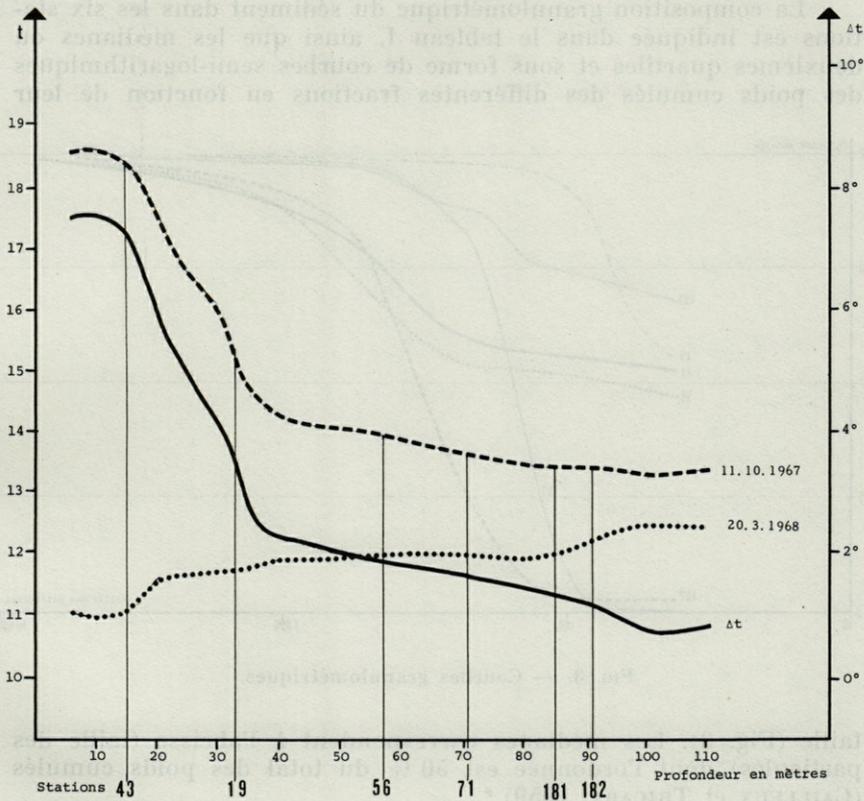


FIG. 2. — Relevé des températures aux différentes stations.

----- 11.10.1967 20.3.68 ——— Δt

* Nous n'avons pas voulu donner à cette note un caractère trop systématique et, pour cette raison, nous n'avons pas signalé les espèces rencontrées pour la première fois en Méditerranée ou sur les côtes de France. L'analyse systématique complète sera donnée dans une publication ultérieure.

mique du sédiment comprend des prises de température ainsi qu'une analyse granulométrique.

Deux séries de mesures de température de l'eau de mer au voisinage immédiat du fond ont été effectuées sur cette radiale, à l'aide de la bouteille de Nansen modifiée (SOYER et GUILLE, 1962), tous les cinq mètres jusqu'à 40 mètres de profondeur, puis tous les 10 mètres jusqu'à 110 mètres de profondeur. Les deux périodes choisies pour ces mesures, la mi-octobre 1967 et la mi-mars 1968, correspondent approximativement au maximum et au minimum de température dans notre région et permettent ainsi une estimation correcte de l'eurythermie (Fig. 2).

La composition granulométrique du sédiment dans les six stations est indiquée dans le tableau I, ainsi que les médianes ou deuxièmes quartiles et sous forme de courbes semi-logarithmiques des poids cumulés des différentes fractions en fonction de leur

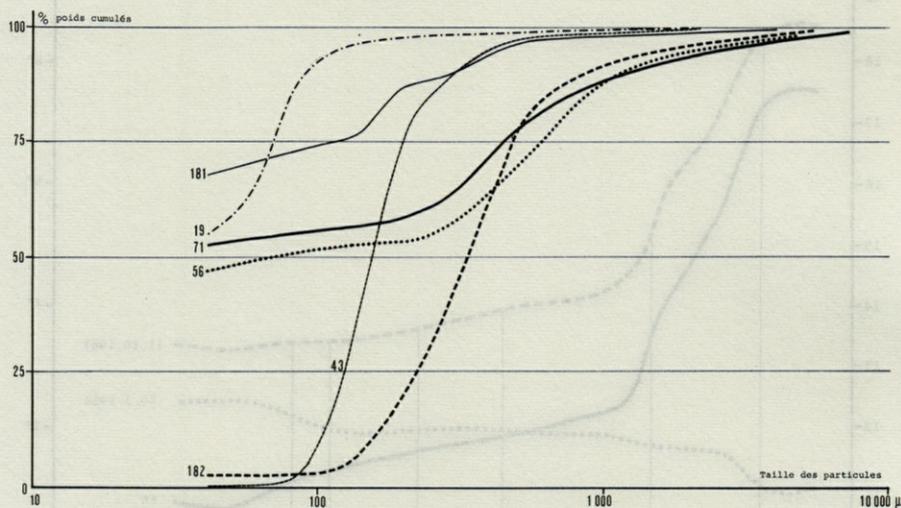


FIG. 3. — Courbes granulométriques.

taille (Fig. 3). Les médianes correspondent à l'abscisse (taille des particules) dont l'ordonnée est 50 % du total des poids cumulés (CAILLEUX et TRICART, 1959) *.

* Ces données sont extraites du travail destiné à dresser la carte sédimentologique du plateau continental au large de la côte française des Albères (GOT, GUILLE, MONACO et SOYER, 1968).

TABLEAU I

Pourcentage des différentes fractions granulométriques et Médiane.

Stations	Graviers	Sables					Poudres	Médiane
		2 - 1 mm	1 - 0,5 mm	0,5 - 0,2 mm	0,2 - 0,1 mm	0,1 - 0,04 mm		
43	-	0,30	1,00	26,60	56,30	6,30	5,80	170 μ
19	0,13	0,47	0,64	1,16	3,09	39,81	54,70	< 40 μ
56	4,68	7,40	17,28	16,80	1,86	4,69	47,22	70 μ
71	6,63	4,42	10,07	18,72	4,63	2,99	52,50	< 40 μ
181	0,88	0,74	1,88	9,17	13,32	6,21	67,70	< 40 μ
182	4,22	4,42	12,67	55,33	19,70	0,66	3,00	330 μ

ÉTUDE QUALITATIVE

MACROFAUNE

a) Méthodes.

Dans chacune des six stations, 5 prélèvements successifs à la benne Van Veen (0,10 mètre carré) ont été effectués le même jour, le bateau ancré. Le tri des animaux se fait sur un tamis de mailles légèrement supérieures au millimètre. Le choix de la dimension des mailles répond à plusieurs exigences : la méiofaune, prélevée au carottier, a été répertoriée pour des tailles inférieures au millimètre et nous voulions cependant tenir compte des animaux dont les dimensions sont comprises entre 1 et 2 mm, qui appartiennent soit au méiobenthos vrai, soit au méiobenthos transitoire. D'autre part, la faune benthique méditerranéenne se caractérise par un certain nanisme. Enfin, dans un même prélèvement, on rencontre généralement un grand nombre d'espèces représentées par un petit nombre d'individus. Le tri des animaux sur un tamis de 1 mm permet donc un meilleur échantillonnage qualitatif et quantitatif, la quasi-totalité des individus entre 1 et 2 mm étant des animaux adultes ou très proches de la maturité sexuelle. Nous n'avons pas tenu compte et d'ailleurs n'avons pas rencontré dans nos tris, d'animaux appartenant au méiobenthos vrai.

b) Répartition qualitative.

La liste des espèces présentes dans chaque station ainsi que leur abondance est donnée dans l'annexe I. Nous ne reviendrons donc ici que sur certaines formes dont la présence ou l'absence, l'abondance, nécessitent quelques remarques complémentaires. Comme nous l'avons déjà indiqué plus haut, chacune des populations est caractérisée par une comparaison avec des travaux antérieurs, principalement marseillais. Toutefois, nous signalons la présence d'espèces, importantes pour la compréhension des populations, qui ont été rencontrées lors de prospections préliminaires à la drague PICARD (1965) mais non retrouvées lors des prélèvements à la benne Van Veen.

Station 43 : elle correspond à la « biocénose des Sables Fins Bien Calibrés » de PÉRÈS et PICARD, étudiée plus particulièrement par GAUTIER (1957) et MASSE (1962). Cette « biocénose » a de nombreuses affinités avec les Sables à *Corbulomya maotica* de BACESCO et la communauté à *Venus gallina* décrite principalement par PETERSEN (1918) et HAGMEIER (1951).

Le peuplement est ici caractérisé par une prédominance des Crustacés qui représentent 58 % de l'ensemble (voir tableau n° II), suivis des Annélides (21 %) et des Mollusques (15,5 %). Ces proportions diffèrent sensiblement de celles de PICARD (respectivement : 24 %, 14 % et 53 %). En réalité, la grande importance des Crustacés et corrélativement le faible pourcentage des Mollusques sont dus essentiellement à l'abondance de trois formes : *Urothoe grimaldi* et *U. pulchella*, que l'on peut considérer comme représentatives du peuplement, et *Lembos websteri*, espèce phytophile bien connue dans les algues infralittorales de substrat dur et pourtant régulièrement rencontrée dans notre station. D'autre part, le Pélécy-pode *Spisula subtruncata* représente toujours l'essentiel des Mollusques dans la biocénose des S.F.B.C., ce qui n'est pas le cas dans notre station même en tenant compte de ses importantes variations annuelles. Le peuplement de la station 43 ne peut donc être considéré comme typique des S.F.B.C. bien que son appartenance à cette biocénose, l'une des mieux définies en Méditerranée, ne puisse faire de doute. Les espèces suivantes, récoltées à la drague Picard précédemment, en sont une preuve supplémentaire : *Venus gallina*, *Mactra corallina*, *Raphitoma attenuata*, *Nassa pygmaea* et *Natica guillemini*, *Siphonocetes dellavallei*, *Pariambus typicus inermis*, *Pontocrates arenarius*.

TABLEAU II

Abondance et dominance des différents groupes de la macrofaune.

Stations	Mollusques		Annélides		Crustacés		Echinodermes		Divers		Nbre total d'individ.	
	Abond.	%	Abond.	%	Abond.	%	Abond.	%	Abond.	%	0,5 m ²	1 m ²
43	57	15,97	77	21,57	206	57,41	13	3,65	5	1,40	357	714
19	10	2,80	306	86,40	16	4,50	13	3,60	9	2,50	354	708
56	7	7,00	55	55,80	7	7,00	15	15,10	15	15,10	99	198
71	11	6,61	134	81,74	15	9,15	2	1,20	2	1,20	164	328
181	11	9,00	70	57,30	21	17,20	5	3,20	16	13,10	124	248
182	2	2,80	38	55,00	26	37,60	3	4,20	-	-	69	138

Station 19 : le substrat de celle-ci est le plus envasé de notre radiale avec 55 % de poudres ou encore avec 93 % de particules inférieures à 0,1 mm. Cette station se situe au large du Cap l'Abeille, juste en avant d'un plateau coralligène, face au courant dominant de Nord, dans une zone à sédimentation rapide. Par ses conditions physico-chimiques et son peuplement, elle se place dans la « bio-

cénose de la Vase Terrigène Côtière » que PICARD (1965) a délimité récemment ou encore dans les communautés atlantiques à *Amphiura*.

Le prélèvement étudié est caractérisé par la prédominance des Annélides (86,4 %). La seule espèce *Scoloplos armiger* représente 31 % du peuplement. A Marseille, dans des stations similaires, PICARD constate que la majorité (61 %) du peuplement est constituée d'Annélides avec cependant encore 22 % de Mollusques. A Banyuls, ceux-ci, représentés essentiellement par *Abra nitida*, n'atteignent pas 3 %. La grande turbidité et la sédimentation très rapide expliquent cette pauvreté.

Complétons la liste des espèces de cette station en signalant les formes suivantes récoltées lors d'autres prélèvements : *Cultellus tenuis*, *Turritella triplicata*, *Venus casina*, *Lumbrineris fragilis*, *Magelona alleni* et *Trachythyone tergestina*.

Les peuplements des trois stations suivantes, 56, 71 et 181 sont comparables à celui-ci de la « biocénose du Détritique Envasé » de PICARD. Nous adoptons ici la distinction récente entre les deux biocénoses méditerranéennes de la Vase Terrigène Côtière et du Détritique Envasé, le caractère limité de cette étude ne nous permettant pas de la discuter.

Ces trois stations se caractérisent granulométriquement par une fraction de vase (50 à 70 %) mêlée à des sables plus grossiers que ceux de la station 19. Les peuplements possèdent de nombreux éléments en commun avec cette dernière mais s'en distinguent toutefois par une diminution importante de la dominance de certaines espèces limicoles et par l'apparition d'espèces liées à la fraction de sable grossier ou à l'augmentation de profondeur.

Station 56 : le sédiment y comprend la plus faible proportion de poudres et de sable fin des trois prélèvements que nous regroupons et inversement les sables grossiers et les graviers dominant. Le pourcentage des Annélides dans le peuplement tombe à 55 % alors que celui des Echinodermes atteint sa plus forte valeur, avec 15 %. La présence de *Marphysa belli*, *Maldane glebifex*, *Brissopsis lyrifera*, récoltés à l'occasion d'autres prélèvements au même point et d'*Asychis gotoi* rencontré ici, se justifie par l'augmentation de profondeur alors que *Leda fragilis*, *Dentalium inaequicostatum*, *Venus ovata*, *Amphictene auricoma*, *Nemertesia antennina* et *Polycarpa gracilis* sont liées à la nature plus grossière du sédiment.

Station 71 : la composition du sédiment de cette station est très comparable à celle de la précédente, toutefois le taux des poudres augmente de 5,5 % avec inversement une diminution de même valeur de celui des sables grossiers. La population d'Annélides est

très importante et représente près de 82 % du peuplement total, suivie des Crustacés et des Mollusques. Ces proportions sont très voisines de celles que nous avons rencontrées à la station 19 et coïncident avec la réapparition d'un certain nombre d'Annélides limicoles ou limicoles tolérantes qui faisaient défaut à la station 56. Le contingent faunistique lié à la fraction grossière du sédiment est en diminution (par exemple disparition de *Caryophylla clavus*). Enfin il faut ajouter à la liste de l'annexe I, les formes suivantes : *Laevicardium crassum*, *Venus ovata*, *Amphictene auricoma*, *Lanice conchylega*, *Owenia fusiformis*, *Amphiura filiformis*, *Brissopsis lyrifera*, *Ophiura texturata*, *Alcyonium palmatum* et *Pteroides griseum*.

Station 181 : les taux de poudres et de sables fins augmentent alors qu'au contraire celui des sables grossiers baisse. Malgré ces différences dans la composition du sédiment, nous retrouvons la plupart des formes présentes dans les deux stations précédentes. Toutefois, l'augmentation de la profondeur entraîne une chute du nombre d'espèces et d'individus et l'apparition de nouvelles espèces froides telle *Auchenoplax crinita*. Les Annélides constituent 57 % du peuplement suivis des Crustacés (17 %) représentés essentiellement par *Ampelisca diadema*, espèce eurytope.

Station 182 : la plus éloignée de la côte, elle se situe dans une zone où le plateau continental a une très faible pente masquée par des vallonnements successifs dont l'amplitude peut atteindre une dizaine de mètres. Le sédiment est peu envasé, constitué essentiellement d'un sable mal classé (de 0,1 à 1 mm) d'origine organogène, avec notamment de nombreux fragments de coquilles de *Venus ovata*.

Le peuplement présente de nombreuses affinités avec la « biocénose du Détritique du Large » de PÉRÈS et PICARD, que l'on retrouve en Atlantique sous différents faciès suivant la nature du sédiment : à *Leptometra*, à grands Hydraires, etc... Toute cette zone du plateau continental se caractérise à Banyuls par une faune très appauvrie, composée pour l'essentiel de trois groupes d'espèces : gravellicoles, à large répartition écologique et « froides ». Les Annélides représentent toujours la majorité du peuplement, suivies par les Crustacés. Dans le prélèvement étudié ici, il nous faut signaler plus particulièrement la présence du *Terebellidae* *Loimia medusa* dont c'est la première récolte dans la mer Catalane, et la synapte *Labidoplax buski*, nouvelle pour la Méditerranée (CHERBONNIER et GUILLE, 1968). A d'autres occasions, nous avons également recueilli les formes suivantes qui nous semblent représentatives de ce peuplement : *Astarte fusca*, *Arca diluvii*, *Asychis gotoi*,

Hyalinoecia bilineata, *Lanice conchylega*, *Nephtys hombergi*, *Amphiura filiformis* et *Caryophyllia clavus*.

Malgré son caractère limité, la description des peuplements de ces six stations nous permet de tirer quelques conclusions :

Trois contingents faunistiques, sabulicoles, gravellicoles et limicoles se répartissent dans les différentes stations suivant la composition du substrat. Il s'y ajoute des espèces dont l'eurytopie est plus ou moins grande ainsi que quelques formes liées au mélange en proportions plus ou moins définies des trois fractions granulométriques. Le second facteur écologique important semble être la bathymétrie ou plus exactement les variations de la température de l'eau de mer qui sont en rapport direct avec la profondeur.

Nous avons comparé la composition faunistique globale de nos six prélèvements par la méthode employée par WIESER et SANDERS (Fig. 4).

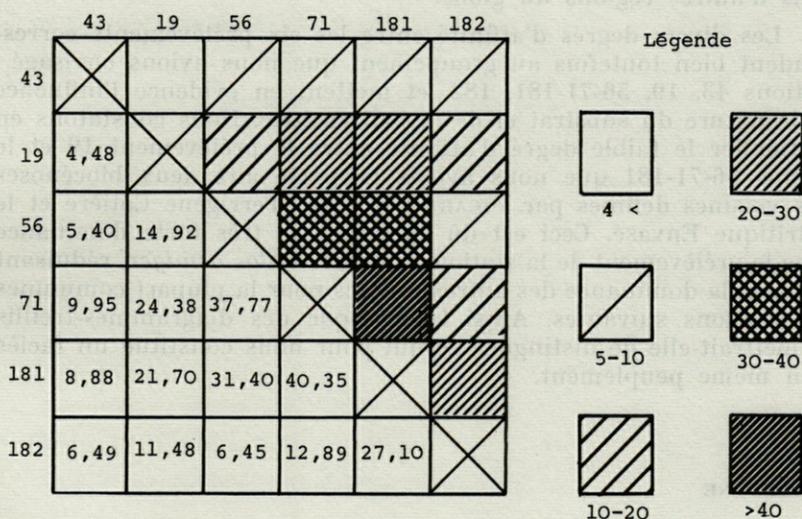


FIG. 4. — « Diagramme-treillis » : degrés d'affinité (pourcentage de faune commune) de la macrofaune dans les six stations.

Celle-ci permet de connaître le « degré d'affinité » entre deux peuplements. Elle consiste à additionner le pourcentage *commun* des espèces communes aux deux prélèvements. Par exemple *Amphicteis gunneri* représente 1,35 % du peuplement de la station 56 et 2 % de celui de la station 71, nous ajoutons donc 1,35 aux autres pourcentages communs aux deux stations.

Malgré ses imperfections, elle rend de grands services dans la délimitation des peuplements benthiques où le très grand nombre d'espèces ne permet pas ou rend très difficile l'emploi des coefficients d'affinité cénotique, espèces prises deux à deux.

Pour nos prélèvements, nous constatons que les degrés d'affinité calculés sont beaucoup plus faibles que ceux qui ont été obtenus par SANDERS dans la Buzzard Bay. Mais les prélèvements de cet auteur ont été effectués dans la même communauté, à *Nephtys incisa* - *Nucula proxima*. D'autre part, si le nombre d'espèces envisagées ici est plus important, le nombre et le volume des prélèvements ne nous a pas permis d'obtenir un échantillonnage parfait. A cette occasion, il nous faut regretter de ne pas encore posséder en bionomie benthique d'engins de prélèvement quantitatif fonctionnant de la même manière dans les différents types de substrat meuble. Enfin, la distinction des communautés marines en Méditerranée, et peut-être plus particulièrement à Banyuls par suite des conditions rhéologiques qui y règnent, apparaît plus complexe que dans d'autres régions du globe.

Les divers degrés d'affinité entre les six prélèvements correspondent bien toutefois au groupement que nous avons envisagé : stations 43, 19, 56-71-181, 182, et mettent en évidence l'influence de la nature du substrat et de la bathymétrie. Nous constatons en particulier le faible degré d'affinité entre le prélèvement 19 et le groupe 56-71-181 que nous avons rapporté aux deux biocénoses très voisines définies par PICARD : la Vase Terrigène Côtière et le Détritique Envasé. Ceci est dû surtout à la très forte dominance dans le prélèvement de la station 19 de *Scoloplos armiger*, réduisant d'autant la dominance des autres espèces pour la plupart communes aux stations suivantes. Ainsi la méthode des diagrammes-treillis permettrait-elle de distinguer ce qui pour nous constitue un faciès d'un même peuplement.

MÉIOFAUNE

Comme nous l'avons indiqué plus haut, il ne nous a pas été possible de traiter qualitativement l'ensemble du méiobenthos et nous avons dû nous limiter au groupe des Copépodes Harpacticoïdes. Ceux-ci font partie du méiobenthos vrai dans lequel ils dominent largement par leur nombre, après les Nématodes, du moins à Banyuls. Ils apparaissent d'autre part comme d'excellents indicateurs écologiques : leur morphologie générale, la structure et la chétotaxie de leurs appendices peuvent fournir d'appréciables renseignements sur leur écologie et leur éthologie (LANG, 1948; NOODT,

1955; DELAMARE, 1960; POR, 1964 et 1965). Les travaux récents semblent indiquer que leur distribution est relativement nette dans les étages circalittoral et bathyal (POR). Enfin, il n'existe pas, mise à part la tentative de BODIN (1964) à Marseille, de travail sur les Copépodes de la zone subtidale comparable à celui de WIESER sur les Nématodes.

a) *Méthodes.*

Les prélèvements effectués à la drague PICARD ont été utilisés. Le sédiment est lavé sur un tamis de 2 mm au niveau duquel la macrofaune est arrêtée. Les particules fines sont recueillies dans un grand récipient puis mises en suspension par agitation. Enfin le méiobenthos est récupéré au moyen d'un filet à plancton à main (maille : 83 μ).

Cette méthode qui peut paraître brutale et surtout peu précise, nous a donné de bons résultats (comparaisons avec les carottes) et reproductibles (comparaison entre deux coups de drague). Elle a surtout l'avantage de permettre d'avoir très rapidement une idée de la composition faunistique d'une large surface, et par là-même, d'autoriser la prospection et la délimitation de grands ensembles faunistiques.

Le travail systématique a été effectué sur 100 individus pris au hasard au fur et à mesure du tri au microscope stéréoscopique. La méthode des fractions aliquotes, qui paraissait devoir nous fournir de meilleures garanties d'objectivité, a été abandonnée, car elle allongeait considérablement le temps de manipulation pour un résultat très voisin. Le nombre de 100 individus a été également choisi par NOODR et BODIN et en fait, au-dessus de 100, le nombre d'espèces n'augmente plus que faiblement. Il faut signaler d'autre part que nous avons effectué plus de 200 prélèvements sur une dizaine de types de fonds dans le cadre de notre étude générale et qu'ainsi nous avons une image assez bonne de la composition qualitative de la population grâce aux listes cumulées des espèces rencontrées. Enfin, ce nombre permet la systématique précise que requiert l'étude de ce groupe; la plupart des exemplaires doivent être montés en lame creuse pour être déterminés. Souvent la dissection est nécessaire, notamment lorsque plusieurs espèces d'un même genre se recroisent dans le même prélèvement, ce qui est fréquent.

Les espèces rencontrées sont indiquées dans l'annexe II.

b) *Répartition qualitative.*

Nous donnons tout d'abord pour chaque station la composition par familles (Fig. 5). Il apparaît en effet que chez les Harpacticoïdes, celles-ci sont relativement spécialisées. Cependant une même famille peut présenter des genres d'écologie différente et une analyse limitée au niveau familial se révèle très rapidement insuffisante et laisserait ignorer les cas de vicariance assez communs dans ce groupe.

Le petit nombre de prélèvements étudiés ici exclut des conclusions définitives. Les travaux antérieurs sur la répartition des Harpacticoïdes (LANG, POR, BODIN) ne comportent pas de données granulométriques précises, or une appréciation visuelle ne peut suffire, nous croyons ici en montrer la nécessité.

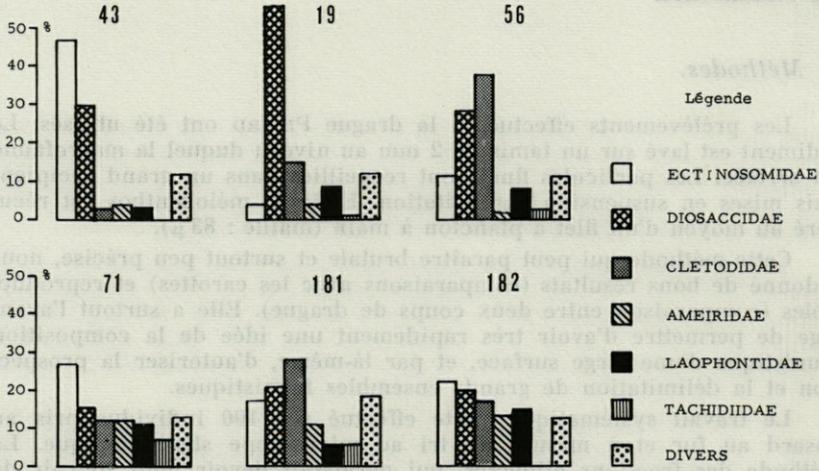


FIG. 5. — Représentation des familles principales de Copépodes Harpacticoïdes dans les six prélèvements.

Station 43 : les populations qui vivent dans les sables littoraux sont généralement extrêmement pauvres qualitativement (MONARD, 1935; LANG, NOODT, 1957; POR, 1954). Dans cette station où les sables fins bien classés (0,1 à 0,25 mm) représentent 73 % du sédiment, nous avons rencontré un nombre relativement élevé d'espèces malgré la forte dominance d'*Halectinosoma herdmani* (19 %) (Tableau III). La présence de ripple-marks en est peut-être l'explication, provoquant en effet l'existence de deux microhabitats bien définis : les sommets des rides, très propres, et les creux, où stagnent au contraire des débris végétaux et où se concentre la fraction la plus grossière du sédiment comme nous l'ont montré des prélèvements effectués en plongée.

Les *Ectinosomidae* et les *Diosaccidae* dominent largement dans ce biotope avec respectivement 45 et 29 % de la population totale. *Longipedia scotti*, *Canuella furcigera*, *Halectinosoma herdmani*, *Haloschizopera conspicua*, *H. exigua*, *Enhydrosoma propinquum*, et *N. quarta* sont des espèces caractéristiques des sables ou des sables vaseux côtiers des mers boréales ou de Méditerranée. Par contre, quatre formes semblent indiquer la présence de menus interstices : *Éctinosoma reductum*, rencontré par Bozic (1954) dans les sables

de Roscoff, une espèce inédite d'*Hastigerella*, genre typiquement interstitiel, et enfin *Robertgurneya oligochaeta* et *Amphiascus varians* fréquemment signalés dans les sables grossiers. *Ameira parvula*, et *Pseudobradya* nous paraissent également caractéristiques des sables fins tandis que *Ectinosoma dentatum* et *Pseudobradya beduina* vivent en général dans les algues. Enfin, il nous faut signaler la présence d'une espèce inédite, proche de *Stenhelia longipilosa* Lang découverte récemment dans les sables de Californie.

Station 19 : elle paraît correspondre aux vases sublittorales des différents auteurs et est caractérisée par l'importance des *Diosaccidae* (56 %) et des *Cletodidae* (15 %). La composition de la population de ce type de substrat semble relativement constante dans toutes les mers du globe. Toutefois, il faut signaler la dominance de *Robertsonia knoxi* (33 %), espèce essentiellement méditerranéenne. A côté de cette espèce, les formes les plus significatives sont l'*Ectinosomidae Bradya scotti*, le *Tachidiidae Danielssenia typica*, le *Tisbidae Zosime major*, les *Diosaccidae Typhlamphiascus luticola* et *Haloschizopera* sp., l'*Ameiridae Proameira simplex* et surtout de nombreux *Cletodidae*, *Cletodes pusillus*, *C. tenuipes*, *Rhizothrix curvata*, *Heteropsyllus dimorphus* et *Stylicletodes longicaudatus*, ainsi que les *Laophontidae*, *Laophonte elongata* et *Normanella mucronata*. *Delavalia normanni*, bien représentée également, se rencontre dans le domaine phytal.

Station 56 : comme dans le cas de la macrofaune, la présence de plusieurs fractions granulométriques se traduit dans cette station et dans les deux suivantes par un mélange de faune sabulicole, limicole et eurytope, entraînant des dominances très faibles.

Les *Ectinosomidae* (11 %), les *Diosaccidae* (29 %) et les *Cletodidae* (39 %) représentent l'essentiel du peuplement. Les espèces les plus importantes qui s'ajoutent ou se substituent à celles que nous avons rencontrées à la station 19, sont les suivantes : *Bradya congenera*, *Zosime gislèni* et *Cletodes longicaudatus*, plus spécialement limicoles, *Sarsameira longiremis*, *Diagoniceps boeckii*, *Tachidiidae* n. g., *H. distinctum* et *E. curvirostre*, qui semblent fréquents dans ces sédiments mélangés ainsi que *Bulbamphiascus imus*. *Stenhelia incerta* remplace *S. normanni*.

Cette station emprunte ses espèces limicoles à la station 19 alors que l'influence de la bathymétrie devient prépondérante dans les deux suivantes 71 et 181.

Station 71 : bien que la granulométrie soit assez voisine de celle de la précédente, la composition faunistique apparaît différente, les dominances sont faibles et seule la famille des *Ectinosomidae* dépasse 20 %.

Halectinosoma canaliculatum, forme très voisine de *H. sarsi*, présente dans les sables vaseux des mers boréales, atteint 12 % de la population totale. Elle est accompagnée de *Bradya congenera* et de *Bradya* sp. 1. La présence de nombreuses formes appartenant à ce que l'on a coutume d'appeler la faune froide apparaît comme le fait marquant dans l'analyse du peuplement de cette station. Ce sont soit des espèces présentes dans l'étage bathyal méditerranéen comme *Cervinia bradyi*, *Danielssenia robusta*, *Typhlamphiascus drachi*, *Paranannopus philistinus*, *Leptocletodes* sp., soit encore des formes connues jusqu'alors comme exclusivement boréales telles *Mesocletodes irrasus* et *Hemimesochra nixe*, où elles fréquentent des profondeurs déjà importantes.

Station 181 : malgré une fraction vaseuse bien caractéristique, toujours mêlée de sables plus ou moins grossiers cependant, les dominances restent faibles et la représentation des familles apparaît équilibrée. L'apparition de formes de la faune froide essentiellement d'exigence écologique limicole s'accroît. La famille des *Cerviniidae* avec *Cerviniella talpa* et *Herdmannia styliifera* ainsi que les *Cletodidae* avec *Eurycletodes aculeatus*, *E. oblongus*, *E. petiti*, *Mesocletodes* sp., *Fultonia bougisi* et *Paranannopus caheti* et également les *Ectinosomidae* avec le genre *Parabradya* alors que les *Ameiridae* représentent 11 % de la population.

Station 182 : dans ce sédiment mal classé dont la quasi-totalité est comprise entre 0,1 et 0,5 mm, les *Ectinosomidae* dominent à nouveau (22 %) mais aux espèces déjà rencontrées dans les trois précédentes stations s'ajoutent des vicariantes appartenant aux genres *Pseudobradya* et *Hastigerella*.

Les *Diosaccidae* (20 %) nous fournissent deux espèces de faune froide du genre *Pseudomesochra*. *Eurycletodes latus* et *Mesocletodes* sp., formes déjà rencontrées dans la zone sublittorale, réapparaissent tandis qu'un *Tetragonicepsidae* nous indique la présence de graviers peu colmatés. Deux genres inédits se rattachent aux *Ameiridae*.

La comparaison, limitée, des populations de ces six stations nous permet de mettre en évidence une partie des problèmes et des particularités que pose l'écologie du méiobenthos.

Le diagramme-treillis (Fig. 6) montre nettement que les stations 43 et 19, à granulométrie nettement définie, apparaissent mieux individualisées que les quatre suivantes et ce sont les seules où l'on observe la forte dominance d'une espèce. Par contre, les stations 56, 71 et 181 possèdent plus de 30 % de faune commune et l'hétérogénéité du substrat se traduit par l'absence de dominances marquées et par la présence d'espèces limicoles, sabulicoles,

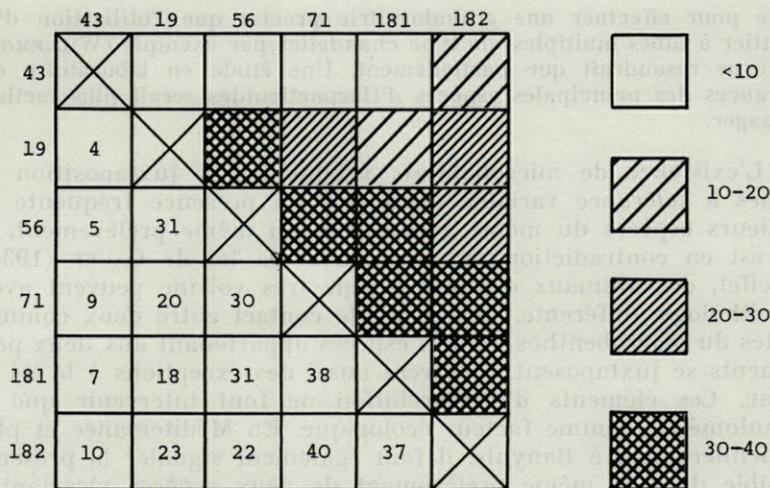


FIG. 6. — « Diagramme-treillis » : degrés d'affinité (pourcentage de faune commune) des populations de Copépodes Harpacticoïdes dans les six stations.

eurytopes. Les éléments limicoles de la station 56 se rencontrent également en 19, tandis que ceux récoltés en 71 et 181 appartiennent déjà à la faune froide. La station 182 offre une répartition par famille très équilibrée malgré une granulométrie grossière, sans doute en relation avec le fait que les espèces sabulicoles présentes, qui devraient dominer, sont plus généralement côtières.

Il nous est donc possible de distinguer plusieurs contingents faunistiques dont l'importance varie suivant la granulométrie et la bathymétrie : un sabulicole côtier riche et varié, un sabulicole profond appauvri, un limicole côtier et un limicole profond, enfin un contingent eurytope et généralement eurybathe. La répartition en mosaïque de ces différents contingents apparaît caractéristique du méiobenthos. WIESER estime que leur présence dans un même prélèvement est due à l'existence de plusieurs microhabitats voisins correspondant à des microvariations du milieu. Ces microbiotopes permettraient l'installation d'animaux de petite taille, se reproduisant sur place, tels les Nématodes et les Harpacticoïdes. Cependant, il pourrait également s'agir de formes dont les tolérances granulométriques seraient variées, ce qui leur permettrait de s'établir sur des substrats ne présentant pas les meilleures conditions de développement.

A notre connaissance aucune étude n'a jamais été entreprise sur la répartition précise, in situ, des Harpacticoïdes de la zone subtidale. Un tel travail se heurte à de nombreuses difficultés techniques : surface minimale de prélèvement, nombre de prélèvements, volume prélevé trop

faible pour effectuer une granulométrie précise que l'utilisation d'un carottier à tubes multiples, de type chandelier par exemple (WILLEMOËS, 1964) ne résoudrait que partiellement. Une étude en laboratoire des tolérances des principales espèces d'Harpacticoïdes serait plus facile à envisager.

L'existence de microhabitats voisins ou la juxtaposition de formes à tolérance variable expliquent la présence fréquente de plusieurs espèces du même genre dans un même prélèvement, ce qui est en contradiction apparente avec la loi de GAUSE (1934). En effet, des animaux de morphologie très voisine peuvent avoir une éthologie différente. Les zones de contact entre deux communautés du macrobenthos, où des espèces appartenant aux deux peuplements se juxtaposent, montrent aussi des exceptions à la loi de GAUSE. Ces éléments d'interprétation ne font intervenir que la granulométrie comme facteur écologique. En Méditerranée et plus particulièrement à Banyuls, il faut également signaler la présence possible dans le même prélèvement de deux espèces vicariantes, forme endémique méditerranéenne ou subtropicale et forme boréale, notamment dans la zone des 50-60 mètres, à la limite d'influence de la thermocline.

Malgré la juxtaposition de tous ces phénomènes, il nous est possible de constater l'existence dans le méiobenthos de peuplements parallèles analogues à ceux qui ont été observés pour le macrobenthos, comme l'avait d'ailleurs signalé POR (1964) dans sa comparaison entre la faunule harpacticoïdienne pontique et levantine. Si l'on se réfère aux travaux précédents (LANG, NOODT, POR, BODIN), les sables fins littoraux semblent occupés par des formes sinon identiques du moins très proches de celles qui ont été rencontrées dans la station 43 sur tous les rivages actuellement prospectés. De même lorsque la fraction fine augmente, on voit apparaître les mêmes espèces et les vases sublittorales ont partout des compositions faunistiques très voisines.

La répartition bathymétrique des différents peuplements en Mer du Nord et à Banyuls a une très grande similitude. Les espèces, déjà reconnues comme bathyales en Méditerranée (POR, SOYER, 1965), existent dans nos prélèvements à des profondeurs très voisines de celles qu'elles occupent dans le Skagerak ou sur des côtes de Norvège (POR, LANG). En Méditerranée orientale, au contraire, ces espèces n'apparaissent que vers 150 mètres de profondeur.

Ces remarques nous amènent à poser le problème de l'origine de la faune profonde méditerranéenne considérée généralement comme une faune relictive de la période Calabro-Sicilienne. Or, nous constatons que cette faune existe aussi bien en Méditerranée qu'en Mer du Nord, à des profondeurs identiques mais à des températures différentes. LANG indique pour la plupart des espèces que nous considérons en Méditerranée

comme faisant partie de la faune froide, une thermopathie de 13 - 14 °C qui correspond à Banyuls à la température moyenne enregistrée durant toute l'année à partir de 50 - 60 mètres de profondeur. POB montre que la faunule harpacticoidienne de type bathyal apparaît sur les côtes d'Israël vers 150 m où la température a encore une valeur très élevée : 18 à 19 °C. Cette faune froide paraît exister en Méditerranée dans les zones où règne une sténothermie relative. La limite supérieure de l'étage bathyal correspondrait en fait à la limite atteinte par la thermocline.

Il est évident cependant qu'avec l'accroissement de profondeur les apports nutritifs diminuent et une partie de la faune rencontrée vers 50 - 60 m et plus, appartenant au contingent faunistique littoral, disparaît pour faire place à une faune bathyale. Il semble qu'à Banyuls la plupart des formes que nous avons rencontrées lors de nos prospections dans l'étage bathyal (jusqu'à 650 m) existent déjà vers 50 - 60 mètres de profondeur.

RAPPORTS QUALITATIFS MACROFAUNE-MÉIOFAUNE

La comparaison des peuplements de la macrofaune et de la méiofaune de nos six stations montre que les deux prélèvements où la granulométrie est la plus homogène présentent la faune la mieux caractérisée, avec des espèces à forte dominance (Stations 43 et 19).

Les trois stations suivantes se distinguent pour le macrobenthos par la juxtaposition de formes limicoles tolérantes et de formes liées à des fractions plus grossières, sables ou graviers, en importance variable. L'analyse du méiobenthos par contre fait apparaître l'existence simultanée de trois contingents faunistiques limicoles, sabulicoles et eurytopes. Ceux-ci soit habitent des microbiotopes différents, soit seraient constitués de formes plus ou moins tolérantes, la composition du mélange pouvant être considérée comme caractéristique de la communauté fondée sur le macrobenthos; WIESER souligne cependant que le terme communauté semble mal convenir à des animaux vivant en fait dans des conditions écologiques différentes.

Ce problème n'est pas spécifique au méiobenthos de substrat meuble et il a été souvent envisagé lors d'études biocénétiques de substrats durs tels les herbiers de Posidonies (DERJUGIN et SOMOVA, 1941) qui présentent généralement des biotopes variés. L'importance de ceux-ci est ressentie le plus directement par les animaux dont la taille est en concordance avec leur développement spatial. Les écologistes terrestres ont reconnu depuis longtemps la nécessité de subdiviser l'ensemble d'une biocénose en sous-ensembles à

caractéristiques micro-écologiques bien définies, les synusies (GISIN, 1943).

De même le méiobenthos paraît se montrer beaucoup plus sensible aux variations granulométriques que le macrobenthos.

Malgré l'existence de ces phénomènes qui compliquent l'interprétation des données, il nous a été possible de confirmer l'existence chez les Harpacticoïdes de communautés ou plutôt de peuplements parallèles tels qu'ils ont été définis par THORSON pour le macrobenthos.

Enfin, l'évolution bathymétrique des peuplements montre que la faunule harpacticoïdienne subit un changement plus net, vers 50-60 mètres, en relation sans doute avec la sténothermie relative qui règne à cette profondeur à Banyuls, que celui qu'il est possible d'observer avec la macrofaune.

ÉTUDE QUANTITATIVE

MACROFAUNE

a) Méthodes.

La biomasse, en poids sec et par espèce, a été obtenue de la manière suivante : les animaux, qui avaient été fixés au formol neutre, une fois déterminés et dénombrés, sont tous placés dans un bain d'acide chlorhydrique à 10 %. Ils sont ensuite lavés à l'eau distillée, puis séchés dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures. Dans la mesure du possible, les « detritic-feeders » ont eu au préalable leur tube digestif vidé de leur contenu. La précision des pesées est le milligramme. Le poids sec de certains exemplaires inférieur au milligramme est signalé dans l'annexe I par un astérisque. Toutefois, leurs poids réels sont compris dans la valeur de la biomasse totale obtenue dans chaque station. Certaines espèces, sessiles et coloniales, n'ont pas été dénombrées (x) et pesées (NP). Le tableau III rassemble la biomasse de chaque groupe zoologique et son pourcentage par rapport à la biomasse totale. A la station 71, le poids sec de deux espèces de grande taille (*Pteroides griseum* et *Phyllophorus urna*) est donné séparément.

b) Résultats.

L'importance de la représentation pondérale de chaque groupe est très différente de celle de leur représentation numérique. Les Echinodermes et les différents groupes classés sous la rubrique Divers se montrent constituer une part de la biomasse totale plus importante que ne le laisse supposer leur nombre. Le phénomène

s'observe également chez les Mollusques. Par contre, la biomasse des Annélides apparaît faible par rapport à leur abondance. Ainsi ce groupe qui forme numériquement plus de 50 % du peuplement de 5 des 6 stations étudiées ne demeure pondéralement dominant que dans deux stations seulement. A la station 19, les Annélides représentent numériquement 86 % du peuplement et 35,4 % de la biomasse totale. La biomasse des Crustacés varie largement mais ces fluctuations sont dues à la présence ou l'absence de formes appartenant aux Décapodes. L'aspect d'un peuplement à la suite d'une étude qualitative ou quantitative numérique change considérablement lors de son étude quantitative pondérale.

La biomasse totale semble augmenter avec l'accroissement du taux en poudres et diminue avec la profondeur; évidemment, l'importance des individus de grande taille s'accroît dans les zones à biomasse faible.

TABLEAU III

Poids sec et pourcentage relatif des différents groupes de la macrofaune.

Stations	Mollusques		Annélides		Crustacés		Echinodermes		Divers		Total	
	Pds sec	%	Pds sec	%	Pds sec	%	Pds sec	%	Pds sec	%	0,5 m ²	1 m ²
43	0,131 g	19,5	0,109 g	16,2	0,087 g	12,9	0,106 g	15,7	0,241 g	35,7	0,674 g	1,348 g
19	0,009 g	0,2	1,187 g	35,4	0,982 g	29,2	1,110 g	33,1	0,064 g	1,9	3,352 g	6,704 g
56	0,025 g	1,2	0,633 g	31,8	0,026 g	1,3	1,167 g	58,6	0,139 g	7,0	1,990 g	3,980 g
71	0,081 g	8,2	0,649 g	66,2	0,053 g	5,4	0,185 g	18,8	0,011 g	1,1	0,979 g	1,958 g
181	0,069 g	8,0	0,339 g	39,6	0,012 g	1,4	0,018 g	2,1	0,417 g	48,7	0,855 g	1,710 g
182	0,049 g	11,5	0,305 g	72,1	0,065 g	15,3	0,004 g	0,9	-	-	2,268 g	0,846 g

Nous limitons la comparaison des résultats que nous avons obtenus dans chacune des stations à ceux de la région de Marseille. Comme nous l'avons déjà souligné, les biomasses sont peu connues en Méditerranée et seules les données très partielles de quelques chercheurs de la Station marine d'Endoume ont été publiées pour des peuplements bien définis dans leur composition faunistique et leurs conditions physico-chimiques.

La biomasse de la station 43, placée dans la « biocénose des S.F.B.C. » est très comparable à celle qu'indiquent REYS et MASSÉ à Marseille et citées par PÉRÈS (1967a et b). MASSÉ aurait étudié la variation de la biomasse au cours d'un cycle annuel : les valeurs passent de 0,38 g/m² en août à 7,5 g/m² en mars. Notre valeur (1,348 g/m²) correspond à un prélèvement effectué en juillet. Comme le signale PÉRÈS, les biomasses dans les sables infralittoraux méditerranéens, à Banyuls comme à Marseille, apparaissent très inférieures à celles qui ont été obtenues en Mer du Nord. Par contre, celles des fonds vaseux ou sablo-vaseux de l'étage circalittoral sont beaucoup plus proches, mais cependant toujours inférieures.

Dans les premiers résultats présentés par PÉRÈS, nous n'avons relevé aucune référence à la « biocénose de la vase Terrigène

Côtière » dans laquelle nous avons placé le peuplement de la station 19. Cependant cet auteur rapporte quelques résultats de SPARCK (1931) à cette biocénose; les valeurs comprises entre 0,6 et 6 g/m² sont inférieures à celle de Banyuls.

Nos résultats des trois prélèvements placés dans la « biocénose du Détritique Envasé » (56, 71, 181) correspondent à ceux de REYS si l'on excepte celui que cet auteur a obtenu dans un faciès particulier à Ascidies dont la biomasse est très élevée.

Nous n'avons relevé aucune référence concernant les fonds du Détritique du Large sinon ceux de VATOVA (1949) en Adriatique. Cependant, le caractère géographique particulier de cette mer, la division des peuplements et enfin la méthodologie employées rendent toute comparaison hasardeuse.

MÉIOFAUNE

a) Méthodes

L'étude quantitative de la méiofaune a été réalisée à partir de carottes obtenues grâce à un préleveur Kullenberg de 4,5 cm de diamètre correspondant donc à une surface de sédiment de 15,70 cm². Seuls les 7 premiers centimètres de la carotte sont utilisés et permettent la récolte de la quasi-totalité du méiobenthos.

Dans les sédiments grossiers, station 43 par exemple, le mauvais fonctionnement de ce type de carottier nous a contraint à effectuer les prélèvements en plongée, à l'aide de 6 tubes de verre de 1,5 cm de diamètre correspondant à une surface totale de 10,56 cm². A la station 182, trop profonde, nous avons été contraints d'employer le carottier à plusieurs reprises pour obtenir une carotte de longueur suffisante.

Les échantillons sont placés dans un bocal d'un litre avec de l'eau de mer. Par agitation, la totalité du sédiment est mise en suspension puis versée sur une colonne composée de deux tamis de 1 mm et 0,088 mm de maille. L'eau de lavage est filtrée avant utilisation de façon à éviter l'apport d'espèces étrangères au prélèvement. La fraction retenue sur le dernier tamis est fixée à l'alcool. Lors du comptage, nous ne colorons pas nos organismes car, avec l'habitude, il est possible de distinguer les Nématodes les plus petits.

A cette occasion, nous avons vérifié l'efficacité de la méthode des fractionnements décrite par BOUGIS (1951). Sur le fond d'un cristallisoir de 8,8 cm de diamètre (surface 60,8 cm²) recouvert d'une épaisseur de 5 à 8 mm de pâte à modeler, nous versons la fraction recueillie sur le dernier tamis préalablement délayée à l'alcool. Le mélange est mis en mouvement à l'aide d'un agitateur en croix puis laissé à reposer. Trois tubes de 3 cm de diamètre (surface 7,06 cm²) sont alors plantés sur le fond du cristallisoir, et le contenu des fractions ainsi isolées est aspiré à l'aide d'une trompe à vide puis examiné. Cette méthode, qui réduit considérablement le temps de travail, apparaît excellente. Les résul-

tats que nous avons obtenus sur ces prélèvements partiels sont identiques à ceux qui ont été effectués sur la totalité à 5 % près environ. Tout au plus, il faut signaler une erreur possible sur certains organismes de taille importante (Annélides en particulier) et peu nombreux. Les résultats, par cette méthode, sont alors à multiplier par 2,9 pour avoir l'ensemble du prélèvement.

Il n'a pas été possible de faire une analyse pondérale par espèces. La plupart des auteurs qui ont étudié la méiofaune ont travaillé à l'aide de poids moyens déterminés par pesées de collections d'individus de même taille. Malheureusement, les biomasses sont généralement exprimées en poids humide. Pour notre part, et pour des raisons de commodité, et de possibilité de comparaison plus rigoureuse avec le macrobenthos, nous exprimons nos biomasses en poids sec.

Des collections d'individus passés à l'étuve à 105 °C pendant 24 h ont été pesées à l'aide d'une balance électromagnétique dont la sensibilité atteint le microgramme. Les qualités de cette balance, d'un emploi très facile, permettent d'effectuer les mesures sur de très petites séries : le poids sec de 4 Copépodes est aisément déterminé. Par contre, les collections de Nématodes doivent être relativement importantes et la pesée des plus petits exemplaires est impossible directement en grande partie à cause du tri et des manipulations. A cette occasion, il nous a été permis de constater la grande rapidité avec laquelle un organisme de petite taille peut se dessécher partiellement. Nous avons dû utiliser pour ceux-ci la méthode des volumes de WIESER et évaluer le poids sec à partir du poids humide obtenu sur la base d'un rapport de 1 à 4 (WIESER).

A titre indicatif, nous donnons quelques poids secs obtenus pour les organismes les plus représentatifs de la méiofaune :

	Poids secs (en µgr)
Nématodes A 1 mm	0,09
B 1 à 2 mm	0,27
C 2 mm	0,48
Annélides larves	2 - 4
1 mm	50 - 100
Harpacticoïdes moyens	1,7 - 1,8
grands (<i>Typhlamphiascus</i>)	3,5 - 3,8
Ostracodes (avec valves)	40 - 59
Amphipodes moyens	450
juvéniles	30
Anisopodes	20
Cumacés juvéniles	14
Echinodermes	1,7 - 2
Halacariens	3 - 4

Ces chiffres correspondent à ceux obtenus par WIESER, RENAUD-DEBYSER et SALVAT, et Mc INTYRE par des méthodes diverses. Si nous

les comparons aux poids moyens humides calculés par les chercheurs soviétiques et cités par BACESCO (1963), il apparaît que les poids secs représentent en fait 10 % des poids humides.

b) Résultats

L'étude quantitative du méiobenthos de ces stations nous a permis d'envisager les rapports numériques et pondéraux des différents groupes mais nous limitons volontairement nos conclusions car des fluctuations numériques dans l'espace et dans le temps ont été déjà mises en évidence par de nombreux auteurs. Seuls des prélèvements répétés nous permettront de mieux connaître la répartition de cette partie de la faune benthique. Cependant, cette étude nous a fait entrevoir un certain nombre de faits qui demanderont une confirmation ultérieure.

Il semble qu'une limite brutale existe entre 50 et 60 mètres de profondeur, limite déjà apparue lors de l'étude qualitative. Les trois prélèvements les plus côtiers, 43, 19 et 56 ont une moyenne de 252 000 individus au mètre carré (maximum : 354 000, minimum : 217 000) et les trois derniers 64 000 (maximum : 111 000, minimum : 38 000). Numériquement le méiobenthos vrai (dont les adultes ne dépassent pas la taille de 2 mm) auquel nous avons inclus les Amphipodes, les Cumacés et les Isopodes car parfois leur taille maximale reste dans ces limites dimensionnelles, subit une diminution régulière avec la bathymétrie jusqu'à la chute nette des 50-60 mètres. Les Nématodes sont les mieux représentés et constituent 50 à 70 % du peuplement, suivis par les Harpacticoïdes (15 à 30 %) (Tableau IV).

L'évolution des biomasses épouse fidèlement celle du nombre d'individus. Dans les prélèvements littoraux, la valeur moyenne de la biomasse s'établit à 530,91 mg/m² puis tombe à 163,89 mg/m² à partir de la station 71 (Tableau V).

Pondéralement, les Nématodes, malgré leur représentation numérique importante, constituent une partie réduite de la biomasse à cause de leur faible poids individuel (à la station 43, la plupart sont de taille inférieure au mm) puisqu'ils n'excèdent jamais 7,13 % du total. Par contre, les Copépodes Harpacticoïdes forment la base pondérale du peuplement avec 24 à 30 % de la biomasse; les valeurs obtenues dans les stations 56 et 181 (14,14 % et 16,79 %) sont dues à l'existence d'un important mixobenthos.

L'apport du méiobenthos transitoire (Polychètes et Mollusques) ne saurait être sous-estimé. Bien que ne représentant numériquement qu'une faible partie de la méiofaune (6,76 à 15,84 %), il constitue de 16,85 à 26,6 % de la biomasse totale dans les prélèvements côtiers (moyenne : 146,39 mg/m²), dans les stations 71

TABLEAU IV

Nombre d'individus/10 cm² (ou en mille/m²).

(Les deux valeurs données pour les nématodes et les Copépodes correspondent, le premier, au pourcentage par rapport au nombre d'individus du méiobenthos vrai, le second au pourcentage par rapport au nombre d'individus total).

	43		19		56		71		181		182	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Nématodes	228	69,08	134	54,94	113	61,02	33	56,76	70	70,70	22	60,94
Copépodes	78	23,63	77	31,57	44	23,76	17	29,24	14	14,14	11	30,47
Ostracodes		21,99		28,49		20,24		24,48		11,47		28,93
Amphipodes	6		3		2		2				1	
Isopodes					4				5			
Cumacés	4				3				1		1	
Echinodères			11		6		6		1			
Halacariens	3		1						1			
Cop. juvéniles	12		12		6		6		3		1	
Total	330		243		184		58		99		6	
Annélides	9		26	9,62	31	15,18	9	15,84	10	10,80		5,26
Lamellibranches	12	6,76			2		2		2			
Gastropodes	3											
Total	26		26		33		11		12			
Grand total	354		269		217		69		111			

TABLEAU V

Biomasse en $\mu\text{gr}/10 \text{ cm}^2$ ou mg/m^2 .

(Les deux valeurs données pour les Nématodes et les Copépodes correspondent, le premier, au pourcentage par rapport à la biomasse du méiobenthos vrai, le second au pourcentage par rapport à la biomasse totale).

	43		19		56		71		181		182	
	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%
Nématodes	29,2	5,27	36,1	6,86	25,9	5,00	8,7	7,13	17,3	6,27	3,3	3,48
Copépodes	156,4	28,30	154,0	5,70	87,0	3,96	33,1	5,32	38,2	5,18	23,4	3,23
Ostracodes		20,80		24,33		13,31		20,30		12,70		22,81
Amphipodes	270,0		203,8		229,3		76,4		102,0		50,0	
Isopodes	76,4		95,6		57,3				101,9			
Cumacés					76,4				8,9		17,8	
Echinodères			22,9		26,7				2,5			
Halacariens	12,0		3,8		11,4				1,9			
Cop. juvéniles	7,2		7,6		3,4		3,4		2,3		0,4	
Total	551,2		523,8		517,4		121,6		275,0		94,9	
Annélides	140,0		106,6	16,85	124,8		33,6		40,7	14,52	7,6	7,44
Lamellibranches	48,0	26,60			7,6	20,27	7,6	25,38	7,6			
Gastropodes	12,0											
Total	200,0		106,6		132,4		41,2		48,3		7,6	
Grand total	751,2		630,4		649,8		162,8		323,3		102,5	

et 181, 10,8 à 25,38 % (moyenne : 44,85 mg/m²). Les variations numériques sont peu importantes : 24,26 et 33 individus pour 10 cm² dans les trois premières stations, 11 et 12 dans les stations 71 et 181, 2 seulement dans les stations 182. Il est permis de penser que cette répartition est relativement indépendante de celle du méiobenthos vrai : biomasse réduite dans les prélèvements riches (43 et 19) et absence de chute entre 50 et 60 mètres de profondeur. Enfin, les variations saisonnières de ce contingent faunistique sont considérables et sa répartition doit être considérée comme irrégulière (larves planctoniques).

A Banyuls donc, le méiobenthos vrai atteint ses valeurs maximales dans les eaux peu profondes. Son importance numérique et sa biomasse suivent les mêmes variations : baisse progressive jusqu'à 50 mètres puis chute brutale. Le méiobenthos transitoire constitue un apport pondéral d'environ 25 %, dans les meilleures conditions et pour une époque de l'année, malgré une présence numérique faible.

Il nous a paru intéressant de comparer nos données avec celles de BOUGIS (1946, 1951). Les valeurs numériques obtenues par l'auteur dans une vase à Turritelles par 30 mètres de profondeur au Nord du cap l'Abeille (donc proche de notre station 19) sont très supérieures aux nôtres : 2,5 fois pour un prélèvement automnal. Cette différence pourrait être due aux variations saisonnières, l'automne correspondant généralement à une augmentation du méiobenthos. Cependant, un autre prélèvement de BOUGIS, en mars, fournit un nombre encore supérieur : 826 000 individus au mètre carré. Si nous convertissons ces valeurs numériques en poids sec, en se fondant sur les poids moyens que nous avons déterminés, la biomasse est particulièrement élevée (1,283 - 1,049 et 1,238 g/m²) et tout à fait comparable aux résultats de Mc INTYRE dans le Loch Nevis et le Fladen provenant pourtant de fonds situés à 101 et 146 mètres de profondeur.

RAPPORTS QUANTITATIFS MÉIOFAUNE-MACROFAUNE

Nos résultats appellent évidemment une confirmation par la multiplication de prélèvements dans une vaste zone. Il semble cependant dès maintenant que les biomasses du méiobenthos de Méditerranée, comme celles du macrobenthos, sont faibles par rapport à celles des autres mers étudiées jusqu'ici.

D'autre part, la comparaison numérique et pondérale laisse apparaître une évolution différente des deux contingents faunistiques dans les six stations étudiées. Le nombre d'individus et la biomasse de la méiofaune subissent une baisse sensible vers 50-

60 mètres de profondeur alors que le même phénomène ne touche la macrofaune que vers 90 mètres avec l'apparition des sables du large.

Les rapports entre les nombres d'individus des deux groupes varient entre 1/210 et 1/1095, et sont donc nettement inférieurs aux données de différents auteurs (WIGLEY et MC INTYRE, THORSON). Aussi les rapports pondéraux paraissent exceptionnellement élevés, oscillant entre 1/2 et 1/12 alors que dans les mers boréales, ils sont généralement compris entre 1/10 et 1/50. THORSON, d'ailleurs, fixe comme limite à ce rapport la valeur de 1/10, limite très rarement dépassée d'après lui.

Ces valeurs élevées peuvent s'expliquer par la faible densité et le nanisme des macrobenthos méditerranéens. D'autre part, le fonctionnement de la benne Van Veen diffère suivant les types de substrat et plus particulièrement le volume prélevé dans les sables fins est très inférieur à celui qui est effectué dans une vase côtière (REYS). Ainsi pour une même surface, les biomasses des sédiments grossiers sont sous-évaluées par rapport à celles des sédiments fins. Les plus fortes valeurs de nos rapports pondéraux entre la macrofaune et la méiofaune sont précisément dans le premier cas. Enfin, les valeurs des auteurs précédents ont été généralement obtenues à partir de poids humides et par des méthodes de prélèvement variées.

WIESER travaille à l'aide d'un carottier et SANDERS avec une drague (!), ils obtiennent une valeur de 1 à 33 du rapport en poids sec macro-méiofaune. D'autre part, l'examen de la composition qualitative de leur méiofaune montre une forte prédominance des Nématodes (89 à 99 %) dont nous avons souligné le faible poids. Rappelons qu'à Banyuls, les Nématodes ne représentent numériquement que 50 à 70 % de l'ensemble du méiofaune.

WIGLEY et MC INTYRE utilisent une benne mais le méiofaune est ensuite prélevé à la surface du sédiment contenu dans l'engin à l'aide d'un tube en plastique. Les poids frais du macrofaune sont mesurés sans décalcification préalable.

Malgré ces remarques, il nous faut admettre que les rapports pondéraux entre le méio- et le macrofaune sont élevés dans notre région, conclusion dont l'importance demande, elle aussi, une extension. MC INTYRE attribue au méiofaune une production annuelle égale à 10 fois le standing crop, le cycle de la majorité de ses composants étant estimé à 3 semaines. THORSON conteste ce chiffre en se fondant sur la biologie des quelques formes de la méiofaune qui ont fait l'objet d'études précises et réduit la production à 3 fois le standing crop. Si nous adoptons cette valeur pour nos six stations, la production annuelle du méiofaune pourrait alors dépasser le standing crop de la macrofaune.

RÉSUMÉ

Les auteurs exposent les premiers résultats d'une analyse qualitative et quantitative du macrobenthos et du méiobenthos de six stations échelonnées entre 15 et 91 mètres au large de Banyuls-sur-Mer.

L'étude qualitative a mis en évidence le rôle prépondérant que jouent les deux facteurs, granulométrie et sténothermie, dans la répartition des peuplements. Le méiobenthos (notre étude a porté particulièrement sur les Copépodes Harpacticoïdes) apparaît plus sensible à ces deux facteurs que le macrobenthos.

Les biomasses totales subissent des variations qui correspondent à l'évolution qualitative.

L'analyse quantitative pondérale par groupes zoologiques donne un aspect différent de celui que laisserait supposer leur importance numérique.

La comparaison des biomasses du macrobenthos et du méiobenthos fournit les premières données de ce type en Méditerranée. Si les rapports numériques correspondent à ceux qui ont été obtenus dans d'autres mers, les rapports pondéraux apparaissent particulièrement élevés. A Banyuls, la participation du méiobenthos à la biomasse totale est importante, et corrélativement sans doute sa production.

SUMMARY

The first results of a macrobenthos and meiobenthos qualitative and quantitative analysis from 6 stations — between 15 and 91 meters depth — off the coast of Banyuls-sur-Mer, are exposed in this article.

The preponderant part played by two factors, granulometry and stenothermy in the population distribution is demonstrated by a qualitative survey.

This study oriented on Harpacticoïd Copepods shows that meiobenthos is more sensitive than macrobenthos to these two factors. The total biomasses undergo variations in relation with the quantitative evolution.

The weight analysis by zoological groups gives a different aspect than the one expected by their numerical analysis.

The comparison of macrobenthos and meiobenthos biomasses is the first of its kind in the Mediterranean. The numerical data are comparable to the ones obtained in other seas, but the weight figures seem particularly high. The participation of meiobenthos to the total biomass in Banyuls, and correlatively may be the production, are rather important.

BIBLIOGRAPHIE

- BACESCU, M., 1963. Méthodes de la recherche du Benthos en Mer Noire et importance des prélèvements directs en scaphandre autonome des échantillons de Benthos pour les études quantitatives. *In Colloque Com. Benthos : Méthodes quant. Et. benthos échel. dimension. Benthotes. Marseille* : 50-62.
- BACESCU, M., H. DUMITRESCO, V. MANEA, F. POR et R. MAYER, 1957. Les sables à *Corbulomya (Aloidis) maeotica* Mil. - base trophique de premier ordre pour les poissons de la Mer Noire. *Trav. Mus. Hist. Nat. « Gr. Antipa »*, I : 305-374.
- BACESCU, M., M.T. GOMOIU, N. BODEANU, A. PETRAN, G. MULLER et S. STANESCU, 1965. Recherches écologiques sur les fonds sablonneux de la Mer Noire (côte roumaine). *Trav. Mus. Hist. Nat. « Gr. Antipa »*, V : 33-82.
- BODIN, P., 1964. Recherches sur la systématique et la distribution des Copépodes Harpacticoïdes des substrats meubles des environs de Marseille. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume*, 33 (51) : 107-183.
- BOUGIS, P., 1946. Analyse quantitative de la microfaune d'une vase marine à Banyuls. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 222 : 1122-1124.
- BOUGIS, P., 1950. Méthode pour l'étude quantitative de la microfaune des fonds marins (méiobenthos). *Vie Milieu*, I (1) : 23-38.
- BOZIC, B., 1954. Copépodes Harpacticoïdes des environs de Roscoff. Description de quelques formes nouvelles. *Arch. Zool. exp. gén.*, 92, N. et R. 1 : 1-12.
- BREGBALLE, F., 1960. Plaice and Flounder as Consumers of the Microscopic Bottom Fauna. *Medd. Damn. Fisk. Havunders N.S.*, 3 (6) : 133-181.
- CAILLEUX, A. et J. TRICART, 1959. Initiation à l'étude des sables et des galets. *C.D.U. éd.*, Paris, 376 p.
- DELMARE DEBOUTTEVILLE, C., 1960. Biologie des Eaux souterraines littorales et continentales. Suppl. 9, *Vie Milieu*, 740 p.
- DERJUGIN, K. et N. SOMOVA, 1941. Contribution to quantitative estimate of the benthonic population Peter The Great Bay (Japan sea). *Invest. of the fareastern seas*, I (E.S.).
- GAUSE, G.F., 1934. The struggle for existence. Williams and Wilkins Co., Baltimore, 163 p.

- GAUTIER, Y., 1957. Recherches sur les biocénoses benthiques des côtes de Camargue et du Golfe de Fos. *Rec. Trav. Sta. Mar. Endoume*, 13 (22) : 55-64.
- GISIN, H., 1943. Oekologie und Lebengemeinschaften der Collembolen im schweizerischen Excursions-gebiet Basels. *Rev. Suisse Zool.*, 50 (4) : 131-224.
- GOT, H., A. GUILLE, A. MONACO et J. SOYER. — Carte sédimentologique du plateau continental au large de la côte française des Albères (P.-O.). *Vie Milieu*, 19 (2 B) : 273-290.
- HAGMEIER, H., 1951. Die Nahrung der Meerestiere III-IV. In *Handbuecher Seefischerei Nord-Europa*, Bd 1.
- KISELEVA, M.I., 1961. Répartition qualitative et quantitative du benthos dans la région pré-Dardanelles de la mer Egée. *Trudy Sevastopol' biol. Sta.*, 14 : 135-146.
- KISELEVA, M.I., 1964. Distribution qualitative et quantitative du benthos dans la mer Egée. *Trudy Sevastopol' biol. Sta.*, 16 : 192-200.
- KROGH, A. et R. SPARCK, 1936. A new bottom sampler for investigation of the microfauna of the sea-bottom. *K. danske Vid. Selsk. Biol. Medd.*, 13 (4) : 1-12.
- LANG, K., 1948. Monographie der Harpacticiden. 2 vol., Lund.
- LAUBIER, L., 1966. Le coralligène des Albères. Monographie biocénotique. *Ann. Inst. Océan.*, 43 (2) : 139-317.
- MACFAYDEN, A., 1954. The invertebrate fauna of Jan Mayen Island (East Greenland). *J. Anim. Ecol.*, 23 : 261-297.
- MC INTYRE, A.D., 1961. Quantitative differences in the fauna of boreal mud associations. *J. mar. Biol. Assoc. U.K.*, 41 : 499-616.
- MC INTYRE, A.D., 1964. Meiobenthos of sub-littoral muds. *J. mar. Biol. Assoc. U.K.*, 44 (3) : 665-674.
- MARE, M., 1942. A study of a marine benthic community with special reference to the micro-organisms. *J. mar. biol. Assoc. U.K.*, 25 : 517-554.
- MASSÉ, H., 1962. Cartographie bionomique de quelques fonds meubles de la partie sud orientale du Golfe de Marseille. *Rec. Trav. st. Mar. Endoume*, 27 (42) : 221-260.
- MONARD, A., 1935. Les Harpacticoides marins de la région de Salammbô. *Bull. Sta. Ocean. Salammbô*, 34 : 1-94.
- MOORE, H.B., 1931. The muds of the Clyde sea area. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 17 : 325-358.
- NOODT, W., 1955. Marine Harpacticoida (Crust. Cop.) aus dem Marmara Meer. *Rev. Fac. Univ. Istanbul*, 20 B (1-2) : 49-94.
- NOODT, W., 1957. Zur Okologie der Harpacticoida (Crust. Cop.) des eulitorals der deutschen Meeresküste und der angrenzenden Brackgewässer. *Z. Morph. Okol. Tiere*, 46 : 149-242.
- PÉRÈS, J.M., 1967a. The Mediterranean Benthos. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 5 : 449-534.
- PÉRÈS, J.M., 1967b. Les biocénoses benthiques dans le système phytal. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume*, 42 (58) : 3-114.

- PÉRÈS, J.M. et J. PICARD, 1964. Nouveau manuel de Bionomie Benthique de la Méditerranée. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume*, 31 (47) : 5-137.
- PETERSEN, C.G.J., 1918. The sea bottom and its production of fish food. *Rep. Dan. biol. Stn*, 25 : 1-62.
- PICARD, J., 1965. Recherches qualitatives sur les biocénoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise. *Rec. Trav. St. mar. Endoume*, 36 (52) : 1-158.
- POR, F.D., 1964. A study of the Levantine and Pontic Harpacticoida (Crustacea, Copepoda). *Zool. Verhand.*, 64 : 1-128.
- POR, F.D., 1964. Les Harpacticoides (Crustacea Copepoda) des fonds meubles du Skagerak. *Cah. Biol. Mar.*, 5 : 233-270.
- REMANE, A., 1951. Die Besiedlung des Sandbodens im Meere und die Bedeutung der Lebensformtypen für die Ökologie. *Verh. dtsh. Zool. Ges. Wilhelmshaven* : 327-359.
- RENAUD-DEBYSER, J. et B. SALVAT, 1963. Eléments de prospérité de biotopes des sédiments meubles intertidaux et écologie de leurs populations en macrofaune et microfaune. *Vie Milieu*, 14 (3) : 463-550.
- RENKONNEN, O., 1944. Die Carabiden-und Staphylinidenbestaende eines Seeufers in SW-Finnland. *Ann. Entom. Fenn.*, 10 : 33-104.
- REYS, J.P., 1964. Les prélèvements quantitatifs du benthos des substrats meubles. *La Terre et la Vie*, I : 94-105.
- SANDERS, H.L., 1960. Benthic studies in Buzzard Bay. III. The structure of the soft-bottom Community. *Limn. Ocean.*, 5 (2) : 138-153.
- SMIDT, E., 1951. Animal production in the Danish Waddensea. *Medd. Kommn. Danm. Fisk. Havunders, Fiskeri*, II : 1-151.
- SOYER, J., 1965. Sur la famille des Cletodidae T. Scott (Copepoda, Harpacticoida) dans l'étage bathyal à Banyuls-sur-Mer. *Rap. Proc. Verb. Réun. C.I.E.S.M.M.*, 18 (2) : 163-166.
- SOYER, J. et A. GUILLE, 1963. Sur une modification apportée à la bouteille de Nansen en vue du prélèvement d'échantillons d'eau de mer au voisinage du fond. *Vie Milieu*, 13 (4) : 807-810.
- SPARCK, R., 1931. Some quantitative investigations on the bottom fauna at the west coasts of Italy, in the Bay of Algiers, and at the coast of Portugal. *Rep. Dan. Ocean. Exp. Medit.*, 3 (7) : 1-11.
- TCHUKHTCHIN, V.D., 1964. Répartition quantitative du benthos dans la partie orientale de la Méditerranée. *Trudy Sevastopol' biol. sta.*, 16 : 215-223.
- THORSON, G., 1957. Bottom communities (Sublittoral or shallow shelf). Chapter 17 in : *Geol. Soc. Amer. Memoir.*, 67 (1) : 461-534.
- THORSON, G., 1966. Some factors influencing the recruitment and establishment of marine benthic communities. *Netherlands J. Sea. Res.*, 3 (2) : 267-293.
- VATOVA, A., 1949. La fauna bentonica dell'Alto e Medio Adriatico. *Nova Thalassia*, 1 (3) : 1-110.

- WIESER, W., 1960. Benthic studies in Buzzard Bay. II. The Meiofauna. *Limn. Ocean.*, 5 (2) : 121-137.
- WIGLEY, R.L. et A.D. Mc INTYRE, 1964. Some quantitative comparisons of offshore meiobenthos and macrobenthos south of Martha's vineyard. *Limn. Ocean.*, 9 (4) : 485-493.
- WILLEMOES, M., 1964. A ball-stoppered quantitative sampler for the microbenthos. *Ophelia*, 1 (2) : 235-240.

Reçu le 30 juillet 1968.

ANNEXE I

Liste des espèces rencontrées.

B : biomasse en mgr (poids sec).

A : abondance.

E S P E C E S	43		19		56		71		181		182	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
<i>Abra alba</i> (Wood)	1	2										
<i>Abra nitida</i> (Müller)			7	8					1	1		
<i>Calliostoma granulatum</i> (Bohrn)					1	1						
<i>Cardium aculeatum</i> L.	1	1										
<i>Cardium deshayesi</i> Payraudeau									1	1		
<i>Aroa diluvii</i> Lamarck									1	46		
<i>Corbula gibba</i> (Oliv.)							2	15				
<i>Corbula mediterranea</i> (Costa)			1	1								
<i>Cultellus tenuis</i> (Philippi)					4	19	2	2	1	1		
<i>Dentalium inaequicoostatum</i> Dautz			1	1								
<i>Ensis ensis</i> (L.)	15	26										
<i>Eulimella acicula</i> Philippi					1	1						
<i>Nassa pygmaea</i> (Lamarck)	1	1										
<i>Nucula nucleus</i> (L.)									2	12	2	49
<i>Nucula sulcata</i> Bronn							2	25				
<i>Nucula turgida</i> Leck. Marsh.			1	1								
<i>Pandora inaequivalvis</i> (L.)									1	1		
<i>Pinna pectinata</i> L.	1	7							1	7		
<i>Tellinmya suborbicularis</i> (Mon.)							1	1				
<i>Spisula subtruncata</i> (Da Costa)	36	47										
<i>Tellina distorta</i> Poli	2	54										
<i>Thyasira flexuosa</i> (Montagu)							2	1				
<i>Venus ovata</i> Pennant									3	2		
<i>Zostia chamasolen</i> Da Costa							2	37				
ANNELIDES												
<i>Aglaothamus agilis</i> (Langerhans)	8	8										
<i>Aglaothamus rubella</i> Michaelsen										1	1	
<i>Amaea trilobata</i> (Sars)							2	7		3	15	
<i>Amage adspersa</i> (Grube)							1	*				
<i>Ampharete grubei</i> Malmgren			1	1			7	1	4	1		
<i>Amphiteis gunneri</i> (Sars)					3	11	2	*		1	2	
<i>Amphitrite cirrata</i> (O.F.Muller)										1	10	
<i>Aphrodite aculeata</i> (L.)										1	146	
<i>Arctidea oatherinae</i> Laubier			3	1								
<i>Apychis gotoi</i> Izuka					1	52	1	2				
<i>Arctidea fauveli</i> Hartman									2	NP		
<i>Auchenoplax orinata</i> Ehlers									2	*	1	1
<i>Chaetozone setosa</i> Malmgren	8	3	1	1			4	3	2	4		
<i>Cirratalus chrysothema</i> Clap.			1	44								
<i>Dasybranchus caducus</i> Grube			6	58			1	15				
<i>Dasybranchus gajolae</i> Eisig												
<i>Dialychone acustica</i> Clap.	6	1										
<i>Drilonereis filum</i> (Clap.)			1	12	1	8	2	1	1	1		
<i>Diploctirrus glaucus</i> (Malmg.)			4	2								
<i>Euclymene palermitana</i> (Grube)	2	1			1	50	3	5	5	7		
<i>Glycera convoluta</i> Keferstein	1	1										7
<i>Glycera rourti</i> Audoin & M.Edw.			7	212	4	163	6	17	4	64		
<i>Glycinde nordmanni</i> (Malmgren)							1	1	1	1	3	3
<i>Goniada maculata</i> Oersted										4		4
<i>Harmothoe antillops</i> Mc Intosh					1	NP						
<i>Heteroctrurus caput-esocis</i> St-J.									1	3		
<i>Heteroctrurus bioculatus</i> (Kef.)	1	*										
<i>Heteromastus filiformis</i> (Clap.)			5	3			1	1				
<i>Harmothoe lunulata</i> (D. Chiaje)									1	1		

ANNEXE I (suite)

	43	19	56	71	181	182
<i>Hyalinoceta fauvelii</i> Rioja						2 6
<i>Lagis koreni</i> Malmgren					1 *	
<i>Leanira yhleni</i> Malmgren		1 31				
<i>Laeonereis glauca</i> (Claparède)		5 5				
<i>Lanice conchylega</i> (Pallas)	7 7					
<i>Lumbrineris impatiens</i> (Clap.)	7 2	13 66	1 3	8 5	3 12	
<i>Lumbrineris fragilis</i> (Müller)				1 82		
<i>Lumbrineris latreilli</i> Aud. & M.Ed.		43 30	1 1	1 1	9 25	1 6
<i>Magelona alleni</i> Wilson			1 *	3 4	1 *	
<i>Magelona papillicornis</i> F.Müller	2 1		2 1			
<i>Magelona wilsoni</i> Glémarec						
<i>Laonice cirrata</i> (Sars)		3 2				
<i>Maldane glabifex</i> Grube				1 3		
<i>Mysta picta</i> (Quatrefages)				1 106		
<i>Marphysa bellii</i> (Aud. & M.Edw.)				7 21	2 2	1 *
<i>Nephtys hystericis</i> Mc Intosh		2 12	3 42	4 70	1 3	
<i>Nephtys hombergi</i> Savigny	6 54					
<i>Nephtys incisa</i> Malmgren		3 7		4 69		
<i>Loimia medusa</i> (Savigny)						1 15
<i>Ninoides kinbergi</i> Ehlers				5 3	1 7	
<i>Notomastus latericus</i> Sars	1 2	23 227	2 42	3 35	2 19	10 38
<i>Nothria conchylega</i> (Sars)				2 2		
<i>Ophiodromus flexuosus</i> (D.Ch.)	2 1			1 *		
<i>Notophyllum foliosum</i> Sars						1 *
<i>Paralacydonia paradoxa</i> Fauvel		1 1		1 *		1 3
<i>Paraonis gracilis</i> (Taubert)		4 1				
<i>Pilargis verrucosa</i> St-Joseph		1 7		1 *		
<i>Phyllodoce</i> sp.		1 13				
<i>Pherusa plumosa</i> (O.F.Müller)	1 *					
<i>Pista cristata</i> (Müller)	1 1		3 6	4 19	3 11	
<i>Poecilochaetus serpens</i> Allen	1 *			4 5	2 1	1 2
<i>Polycirrus</i> sp.	9 9					
<i>Potamilla torelli</i> Malmgren			1 2			
<i>Pseudoleiocardia fauveli</i> H.		26 23				
<i>Prazilella gracilis</i> (Sars)		1 4				
<i>Prazilella praetermissa</i> (Malm.)		4 11	3 14		4 7	
<i>Prionospio banyulensis</i> Laubier	3 *					
<i>Prionospio caspersi</i> Laubier	3 *					
<i>Prionospio atrifera</i> Wirén		5 1				
<i>Prionospio pinnata</i> Ehlers		21 99		11 47	3 9	1 1
<i>Soalibregma inflatum</i> Rathke				1 3	4 3	2 18
<i>Soolaridota typica</i> Eisig	1 *					
<i>Soolalepis fuliginosa</i> (Clap.)	1 *					
<i>Scoloplos armiger</i> (Müller)		115 227				
<i>Sigalion mathildae</i> (Aud. & M.Edw)	2 5		1 1	3 *	2 *	
<i>Spiophanes krøyeri reynsi</i> Laubier			5 53	3 97		
<i>Sternaspis scutata</i> (Renier)		2 23		8 2		
<i>Spionidae</i> indét.						
<i>Sthenelais boa</i> (Johnston)	3 7					
<i>Terebellides stroemi</i> Sars		5 8	19 65	14 50	7 118	
<i>Tharyx multibranchis</i> (Grube)	1 *					
<i>Tharyx marioni</i> (St-Joseph)		1 2		13 8	2 5	
<i>Thelepus setosus</i> (Quatrefages)			1 2			
<i>Annélides</i> indét.	x 5	x 36	x 10	x 61	x 34	x 37
CRUSTACES						
<i>Alpheus glaber</i> (Olivier)		3 172	1 9	1 12		
<i>Ampelisca brevicornis</i> (A.Costa)	3 3				3 2	
<i>Ampelisca diadema</i> (A.Costa)	11 3	5 2	2 2	3 3	1 13	5 11 9
<i>Ampelisca serraticaudata</i> Chev.			2 2	2 2	1 1	
<i>Ampelisca typica</i> (Bate)						5 4
<i>Anapagurus bicorniger</i> M.Edw. & B.				1 4		
<i>Anapagurus breviaculatus</i> Fenn.		1 2				
<i>Anapagurus pettiti</i> Dechan. & Forest	1 *					

ANNEXE I (fin)

	43	19	56	71	181	182
<i>Apeudes latreilli mediterraneus</i> Bacescu	7	1				1 1
<i>Apeudes</i> sp.			1 1	1 1		
<i>Aristeomorpha foliacea</i> Risso						1 1
<i>Bathyporeia pelagica</i> Bate	3	1				
<i>Callianassa subterranea</i> Mont.	7	20		4 19		
<i>Cheirocratus sundevalli</i> (Rath.)			1 *			
<i>Conilera cylindracea</i> Montagu						1+8 34
<i>Corophium runcinorne</i> D. Valle	12	2	1 *			
<i>Ebalia granulosa</i> M. Edwards					1 2	1 2
<i>Eusirus longipes</i> Boeck			1 *			
<i>Galathea intermedia</i> Lillj.					1 1	
<i>Goneplax angulata</i> Pennant			2 804	1 15		
<i>Hippomedon denticulatus</i> (Bate)	4	*				
<i>Haploops dellavallei</i> Chev.				1 *		
<i>Iphinoë inermis</i> G.O.Sars	1	*				
<i>Iphinoë serrata</i> Norman		1	*	2 1 1	*	
<i>Iphinoë triapinoea</i> (Goodsir)	4	1				
<i>Lembo websteri</i> Bate	43	4				
<i>Leucothoë inoia</i> Robertson	1	*				
<i>Macropipus pusillus</i> (Leach)	1	1				
<i>Maera grossimana</i> (Montagu)					1 *	
Mysidacé indé.			1 *			
<i>Pagurus cuanensis</i> (Thompson)					1 1	1 1
<i>Pontophilus bipinosus</i> Hailst.	1	2				
<i>Processa parva</i> Holthuis	8	25				
<i>Processa</i> sp.						1 *
<i>Upogebia dertaura</i> (Leach)						1 11
<i>Upogebia typica</i> Nardo ;			1 11			
<i>Urothoë grimaldi</i> Chevreux	55	13				
<i>Urothoë pulchella</i> (A. Costa)	43	11				
ECHINODERMES						
<i>Amphipholis squamata</i> (D.Chiaje)						2 1
<i>Amphitura chiajei</i> Forbes		5	34	6 109		
<i>Amphitura filiformis</i> (O.F.Müller)		1	6	4 25		
<i>Astropecten irregularis</i> (Linck)	1	1				
<i>Echinocardium cordatum</i> (Pennant)	7	103		1 915		
<i>Havelockia inermis</i> (Heller)				1 94		
<i>Leptosynapta inhaerens</i> (O.F.Müll.)					1 12	
<i>Echinocardium flavescens</i> (O.F.Müll.)					1 4	1 3
<i>Neocucumis marioni</i> (Marenzeller)					1 1	
<i>Oerstergrenia digitata</i> (Montagu)		2	21			
<i>Labidoplax buski</i> (M'Intosh)						1 NP
<i>Ophiothrix quinqueaculata</i> (D.Ch.)					1 1	
<i>Ophtura africana</i> (Koehler)	3	1				
<i>Ophtura albida</i> Forbes			1 1			
<i>Ophtura texturata</i> Lamarck	2	1				
<i>Ova canalifera</i> (Lamarck)		1	723			
<i>Phyllophorus urna</i> Grube					1 577	
<i>Thyone cherbonnieri</i> Reys			1 21			
<i>Thyone fusus</i> (O.F.Müller)		2	222			
<i>Pseudothyone raphanus</i> (Düb. & Kor.)			1 2			
<i>Trachythyone elongata</i> (" ")		2	104	1 82		
<i>Trachythyone tergestina</i> (Sars)				1 103		
DIVERS						
<i>Hydractinia carnea exigua</i> Haeckel						x NP
<i>Anemonactis mazeli</i> (Jourdan)					1 203	
<i>Aloyonidium polyoum</i> Hassal			x 1			
<i>Arnoglossus laterna</i> (Walbaum)		1 2				
<i>Aspidosiphon clavatus</i> (De Blainv.)			4 20			
<i>Carinella</i> sp.	1	49				
<i>Caryophyllia clavus</i> (Scacchi)			4 68		13 183	
<i>Edwardia callimorpha</i> Gosse			2 8			
<i>Epizoanthus arenaceus</i> (D.Chiaje)			2 26			
<i>Glandiceps talaboti</i> (Marion)				1 7		
<i>Golfingia elongata</i> (Keferstein)			1 3	1 4		
<i>Golfingia procera</i> (Möbius)		2	5			
<i>Molgula bleizi</i> (Lacaze-Duthiers)	3	171				
<i>Hydractinia aculeata</i> (Wagner)	x	NP				
Némertes indé.	1	18	2 30	1 13		
<i>Golfingia vulgare</i> (Blainville)			1 7		1 10	
Planaires indé.			2 20		1 5	
<i>Pteroides griseum</i> (Bohadsch)					1 1691	
<i>Sertularella polyzonias</i> (Linné)						x NP

ANNEXE II

Liste des Copépodes Harpacticoides rencontrés et leurs dominances.

	STATIONS					
	43	19	56	71	181	182
<i>Longipedia scotti</i> Sars	1					
<i>L. weberi</i> A. Scott		1		1		
<i>Canuella furcigera</i> Sars	2					
<i>Cervinia bradyi</i> Norman				3	2	
<i>Herdmania stylifera</i> I. C. Thompson					1	1
<i>Cerviniella talpa</i> (Por)					1	
<i>Ectinosoma dentatum</i> Steuer	3					
<i>E. normani</i> T. & A. Scott	1					
<i>E. reductum</i> Bozic	4					
<i>Ectinosoma</i> sp. 1		1	2	7	2	4
<i>Halectinosoma herdmani</i> (T. & A. Scott)	19					
<i>H. canaliculatum</i> (Por)	4	1	1	14	3	5
<i>H. distinctum</i> (Sars)			2			
<i>Halectinosoma</i> sp. 1					2	
<i>Halectinosoma</i> sp. 2						1
<i>Bradya scotti</i> Sars		2	1		2	
<i>B. congenera</i> Sars			4	3	2	
<i>B. typica</i> Boeck					3	2
<i>B. (P.) dilatata</i> Sars					2	
<i>Pseudobradya beduina</i> Monard	9					
<i>P. aff. similis</i> (T. & A. Scott)	2					
<i>P. hirsuta</i> (T. & A. Scott)	1					
<i>P. elegans</i> (T. & A. Scott)	2					
<i>P. aff. leptognatha</i> Sars			1			
<i>P. aff. scabriuscula</i> Sars						3
<i>Pseudobradya</i> sp. 1						2
<i>Pseudobradya</i> sp. 2						1
<i>Hastigerella</i> sp. 1	2					
<i>Hastigerella</i> sp. 2						3
<i>Daniellsenia typica</i> Boeck		1	3	4		
<i>D. robusta</i> Sars				2		
Tachidiidae n. g. 1			1	2	3	
<i>Zosime major</i> Sars		3		1		3
<i>Z. gislèni</i> Lang			2			
<i>Z. incrassata</i> Sars					2	
<i>Tachidiella minuta</i> Sars	2					
<i>Diarthrodes minutus</i> (Claus)		3				
<i>Pseudotachidius coronatus</i> T. Scott					2	
<i>Stenhelia reflexa</i> Brady et Robertson	1	4				
<i>S. normani</i> T. Scott		10				
<i>S. incerta</i> Por			6		3	
<i>Stenhelia</i> n. sp. 1	1					
<i>Dioeacus tenuicornis</i> (Claus)	1					
<i>Robertsonia knoxi</i> (Thompson & A. Scott)		33				
<i>Pseudomesochra similis</i> Lang						2
<i>P. latifurca</i> (Sars)						2
<i>Amphiascus varians</i> (Norman & T. Scott)	3					
<i>A. minutus</i> (Claus)		1		1		
<i>A. angustipes</i> Gurney			2			
<i>Bulbamphtiascus imus</i> (Brady)			4			
<i>Robertgurneya oligochaeta</i> Noodt	6					
<i>R. rostrata</i> (Gurney)		2	3			

ANNEXE II (suite)

	43	19	56	71	181	182
<i>Typhlamphiascus luticola</i> Soyer		2	5		6	
<i>T. drachi</i> Soyer				2	4	
<i>Amphiascoides neglectus</i> (Norman & T. Scott)				3		1
<i>A. subdebilis</i> (Wiley)				1		2
<i>Paramphiascella</i> sp. 1						2
<i>Haloschizopera conspicua</i> Por	11					
<i>H. exigua</i> Por	5		1			
<i>H. pontarchis</i> Por		4	2			
<i>H. aff.pontarchis</i> Por		2	4	11	8	11
<i>H. aff.bulbifer</i> (Sars)			2			
<i>Ameira parvula</i> (Claus)	3			1		
<i>Proameira simplex</i> (Norman & T. Scott)		1	2	2		
<i>Proameira</i> sp. 1	1	3		2		1
<i>Pseudameira furcata</i> Sars					2	3
<i>P. mixta</i> Sars					4	2
<i>Sarsameira longiremis</i> (T. Scott)			2	6	3	
<i>S. parva</i> (Boeck)						2
<i>Ameiridae</i> n. g. 2				1	2	
<i>Ameiridae</i> n. g. 4						3
<i>Ameiridae</i> n. g. 5					2	
<i>Ameiridae</i> n. g. 6						2
<i>Diagoniceps boeckii</i> Lang			1			
<i>Tetragoniceps</i> n. sp. 1						2
<i>Mesochra pygmaea</i> (Claus)	9	1	2	3	4	5
<i>Cletodes pusillus</i> Sars		4	7	2	2	2
<i>C. limicola</i> Brady		1	3			2
<i>C. tenuipes</i> T. Scott		2	7			
<i>C. longicaudatum</i> (Boeck)			9	4		
<i>Enhydrosoma propinquum</i> (Brady)	1					
<i>E. curvirostre</i> (T. Scott)			5			
<i>E. longifurcatum</i> Sars				1	2	
<i>Rhisothrix curvata</i> Brady & Robertson		4				
<i>Heteropsyllus dimorphus</i> Por		2	5			
<i>H. nanus</i> Sars				1		
<i>Heteropsyllus</i> sp. 2				1		2
<i>Fultonina bougisi bougisi</i> Soyer					5	
<i>Mesocletodes irrasus</i> (T. & A. Scott)				2	3	
<i>Mesocletodes</i> sp. 1					1	
<i>Mesocletodes</i> ? sp. 3						2
<i>Eurycletodes aculeatus</i> Sars					2	
<i>E. oblongus</i> Sars					3	2
<i>E. latus</i> (T. Scott)						2
<i>E. petiti</i> Soyer					2	
<i>Hemimesochra nize</i> Por				1	2	2
<i>Hemimesochra</i> ?	1					
<i>Leptocletodes</i> sp. 1				1		
<i>Stylicletodes longicaudatus</i> (Brady & Robertson)		2	3			
<i>Paranannopus caheti</i> Soyer					2	
<i>P. philistinus</i> Por				1		3
<i>Acrenhydrosoma perplexum</i> (T. Scott)	1				2	1
<i>Cletodidae</i> n. g. 1						
<i>Laophonte elongata</i> Boeck		2		1		
<i>L. longicaudata</i> Boeck			1			
<i>Paralaophonte brevirostris</i> (Claus)		1				
<i>Normanella confluens</i> Lang	2					
<i>N. quarta</i> Monard	1					
<i>N. mucronata</i> Sars		7	6	1	3	8
<i>Normanella</i> sp. 1			1	9	3	7
	100	100	100	100	100	100

TABLE II (continued)

Year	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1
42	1	1	1	1	1	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1
48	1	1	1	1	1	1	1	1	1
49	1	1	1	1	1	1	1	1	1
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1

1. ...
 2. ...
 3. ...
 4. ...
 5. ...
 6. ...
 7. ...
 8. ...
 9. ...
 10. ...
 11. ...
 12. ...
 13. ...
 14. ...
 15. ...
 16. ...
 17. ...
 18. ...
 19. ...
 20. ...
 21. ...
 22. ...
 23. ...
 24. ...
 25. ...
 26. ...
 27. ...
 28. ...
 29. ...
 30. ...
 31. ...
 32. ...
 33. ...
 34. ...
 35. ...
 36. ...
 37. ...
 38. ...
 39. ...
 40. ...
 41. ...
 42. ...
 43. ...
 44. ...
 45. ...
 46. ...
 47. ...
 48. ...
 49. ...
 50. ...

LES CLADOCÈRES DE MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

I. - CYCLE ET RÉPARTITION DES ESPÈCES DU GENRE *EVADNE* A BANYULS-SUR-MER (GOLFE DU LION), 1967

par Alain THIRIOT
Laboratoire Arago, 66 - Banyuls-sur-Mer

SOMMAIRE

Le genre *Evadne* est représenté dans la zone sud du golfe du Lion par trois espèces : *E. nordmanni*, *E. spinifera*, *E. tergestina*. Leur présence dans le plancton débute à la fin du printemps et se prolonge jusqu'à la fin de l'année. Pendant cette période, les variations quantitatives sont importantes, les caractéristiques saisonnières diffèrent légèrement pour chaque espèce. L'observation de la répartition géographique locale ainsi que celle de la distribution verticale permettent de mettre en évidence des différences importantes de concentration pouvant aboutir à l'existence de véritables essaims.

Les Cladocères marins du genre *Evadne* comprennent à Banyuls trois espèces; bien que l'analyse de leurs variations quantitatives saisonnières ait commencée en 1965, cette première note n'expose que les résultats obtenus en 1967. En effet, cette année s'est révélée particulièrement riche en spécimens des trois espèces et a bénéficié des connaissances acquises au cours des années précédentes, son analyse doit servir de référence à des comparaisons ultérieures.

Les connaissances hydrologiques et plus particulièrement celles concernant les caractéristiques thermiques et halines de la région,

proviennent d'un travail d'équipe sur l'ensemble du plancton, de ses variations et de ses relations avec le milieu. Ces observations sont indispensables à la compréhension de l'écologie de ces trois espèces et à la dynamique de leur population.

Une étude préalable des méthodes de prélèvement utilisées a été également nécessaire pour connaître la marge d'erreur à attribuer à chaque résultat.

Les observations concernant le cycle saisonnier quantitatif en un point côtier, la distribution verticale et son évolution dans le temps, ainsi que la répartition géographique locale, permettent de dégager les principales caractéristiques écologiques de ces trois espèces et de différencier leurs réactions par rapport à certains paramètres du milieu et plus particulièrement vis-à-vis de la température dont l'influence semble prépondérante.

I. — CONDITIONS DE TRAVAIL

A) MÉTHODES DE PRÉLÈVEMENTS

1) *Choix du vide de maille*

La comparaison du pouvoir de pêche de deux filets du type Hensen-egg identiques, à l'exception du vide de maille (330 μ pour l'un, 160 μ pour l'autre) a montré que le vide de maille 160 μ convenait mieux (RAZOULS et THIRIOT, 1968); le rapport des nombres de spécimens récoltés par les deux filets est de 2,9 pour *Evadne* en faveur du maillage le plus fin. Tous les prélèvements étudiés ont donc été effectués avec des filets de vide de maille de 160 μ .

2) *Méthodes de pêche*

Deux types de prélèvements ont été réalisés :

— d'une part des prises verticales depuis le fond jusqu'à la surface (ou de 200 m à la surface pour le point du large), destinées à obtenir l'évaluation quantitative globale des populations sur l'ensemble de la couche d'eau;

— d'autre part des prises horizontales avec des filets fermants à des immersions théoriques de 0, 20, 50 et 90 m, pour étudier la distribution verticale.

3) *Caractéristiques des filets*

Les filets utilisés sont, pour les pêches verticales, du type Hensen-egg de diamètre d'ouverture 73 cm et pour les pêches horizontales, du

type standard méditerranéen (Juday Bogorov modifié) de 50 cm de diamètre d'ouverture.

4) Marges d'erreur

L'analyse du coefficient de variabilité des prélèvements verticaux a été réalisé par RAZOULS et THIRIOT (1968). L'erreur relative de tels prélèvements est sensiblement plus élevée pour les Cladocères que pour les Copépodes (15,7 % - 13,6 %). Une analyse plus détaillée pour la période étudiée sera donnée dans le chapitre des variations quantitatives au point côtier.

La discussion sur l'immersion réelle des prélèvements horizontaux sera envisagée dans le chapitre de la distribution verticale.

B) CHOIX DES POINTS

1) Cycle quantitatif saisonnier

Les observations faites en 1965 et 1966 ont mis en évidence des variations quantitatives très rapides à certaines époques du cycle des *Evadne* en particulier au moment de leur apparition et de leur augmentation numérique. Le rythme d'un prélèvement par semaine s'est avéré insuffisant et nous nous sommes donc astreints, en 1967, à sortir plus souvent et à ne laisser qu'un ou deux jours au maximum entre deux stations. Ceci ne pouvait se faire qu'en un point côtier. Seuls les résultats obtenus en ce point peuvent servir de base à l'établissement du cycle quantitatif; d'autres prélèvements apportent des renseignements complémentaires.

2) Répartition géographique locale.

Les lieux de prélèvements choisis pour cette étude se trouvent sur deux lignes, une radiale perpendiculaire à la côte, comprenant les points A, B, C et E, entre le cap Béar et l'extrémité S-E du rech Lacaze-Duthiers et l'isobathe 55 m comprenant les points B, F, G, H et I entre le cap Béar et le large de l'étang de Barcarès au Nord.

Enfin certaines sorties ont groupé des stations plus proches l'une de l'autre entre l'isobathe 55 m et la côte, soit vers le Nord de Banyuls, soit vers le Sud.

TABLEAU 1
Caractéristiques des différents points, nombre de prélèvements
 (9 mai - 14 décembre).

POINT	FOND	DISTANCE A LA COTE	NOMBRE DE PRELEVEMENTS	
			VERTICAUX	HORIZONTAUX
A	20 m	0,2 mille	13	9 (0-20 m)
B	55	1,5	56	18 (0-20-50 m)
C	95	6	20	16 (0-20-50-90 m)
E	850	12	8	9 (0-50-90 m)
F	55	2	7	
G	55	5,5	7	
H	55	5	7	
I	55	5	7	

Les résultats numériques détaillés de chaque prélèvement sont déposés à la bibliothèque du laboratoire Arago.

C) CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES ET MÉTÉOROLOGIQUES

Les principaux résultats concernant la période de juin 1966 à mai 1967 ont été publiés par JACQUES, RAZOULS et THIRIOT (1968), ceux de la période juin 1967 à mai 1968 le seront ultérieurement.

J'exposerai ici plus particulièrement les caractéristiques thermiques de la période de présence des *Evadne*, c'est-à-dire de mai à décembre 1967.

Pendant cette période, on peut observer la formation de la thermocline à la fin du mois de mai, le maximum thermique des eaux superficielles au début du mois d'août, la rupture de la thermocline et le réchauffement à la côte des eaux proches du fond à la fin du mois d'octobre, le début de la période d'homogénéité verticale à la fin du mois de novembre.

1) Evolution thermique des eaux de surface

a) *Au point B.* — Au début du mois de mai, les températures des eaux superficielles sont légèrement supérieures à 13°; une première période de réchauffement rapide porte cette température à plus de 16° mi-mai, puis ce réchauffement est perturbé par une période de vent : jusqu'au 23 juin les températures ne dépassent guère 17° soit pendant plus d'un mois; de telles perturbations sont normales à cette période de l'année, mais il est rare qu'elles durent aussi longtemps. A partir de la fin du mois de juin, le réchauffement est plus régulier et aboutit à un maximum de 26°6 le 2 août.

Le refroidissement, d'abord assez rapide (18°5 le 13 septembre), présente un palier jusqu'à la fin du mois d'octobre (18°5 le 13 septembre), puis de nouveau une pente plus forte (12°5 le 19 décembre).

b) *Au point C.* — Au début du mois de mai, la température de surface du point C est la même que celle du point B, légèrement supérieure à 13°. On observe les mêmes caractéristiques qu'au point B malgré le nombre plus faible des observations : tout d'abord une période de réchauffement avec des refroidissements jusqu'au 13 juin (15°4), puis le réchauffement devient plus régulier et plus rapide jusqu'à un maximum de 24°3 le 2 août.

De la même façon, le refroidissement est d'abord assez rapide (19°0 le 12 septembre) puis plus lent (18°0 le 28 octobre) et on retrouve des températures voisines de 13° à la fin du mois de décembre.

L'évolution thermique des eaux superficielles au point C est donc très voisine de celle du point B, les valeurs sont cependant légèrement supérieures.

2) *Evolution des eaux proches du fond*

a) *Au point B.* — La température de l'eau de 50 m au point B demeure entre 13° et 15° depuis le début du mois de mai jusqu'à la mi-octobre (le plus souvent inférieure à 14°). A la fin du mois d'octobre, elle se réchauffe et atteint des valeurs proches de celles de surface (le 29 octobre), puis le refroidissement se produit parallèlement à celui des eaux de surface.

b) *au point C.* — A 90 m la température de l'eau varie très peu; si elle est légèrement inférieure à 13° jusqu'au début du mois de juillet, elle ne dépasse 14° par la suite que le 24 novembre. Le réchauffement automnal s'observe plus nettement à 50 m sans atteindre toutefois 16°.

3) *Formation et évolution de la thermocline*

a) *Au point B.* — L'existence d'un gradient thermique est déjà observable le 16 mai vers 10 m, cependant par suite de perturbations dues au vent, ce n'est qu'à partir du début du mois de juillet que la thermocline est nette et constante. La thermocline persiste dans des conditions analogues jusqu'au 18 septembre, ses immersions extrêmes sont à 10 m le 2 août et 40 m le 5 septembre, elle correspond à une différence de 3 à 7° sur une dizaine de mètres d'épaisseur. A la fin du mois de septembre commence une troisième période pendant laquelle on observe toujours des thermoclines, mais de façon très irrégulière, et à la fin du mois d'octobre les 50 premiers mètres présentent une grande homogénéité thermique, la thermocline se trouvant près du fond; elle disparaît à la fin du mois de novembre.

En résumé on peut distinguer trois périodes dans la phase d'hétérogénéité thermique des eaux côtières :

- du début mai au début juillet, formation et variations importantes du gradient thermique;
- du début juillet à la mi-septembre, maximum du gradient thermique (seule l'immersion varie sous l'action des vents et des courants);
- de mi-septembre à fin novembre, homogénéisation de la couche superficielle sur une épaisseur de plus en plus grande aboutissant à la suppression de la thermocline.

b) *Au point C.* — Les variations thermiques sont plus régulières; du début mai au début juillet formation de la thermocline, au début le gradient est assez faible dans les 10 premiers mètres, puis celui-ci devient de plus en plus important et de plus en plus profond (45 m le 28 juin). Du début juillet à mi-septembre le gradient est très important et situé entre 20 et 40 m.

De mi-septembre à fin novembre la diminution du gradient est progressive comme au point B, mais on n'observe pas aussi nettement l'augmentation de l'épaisseur de la couche homogène superficielle.

Il existe donc, comme au point B, trois phases mais les différences y sont beaucoup plus atténuées.

4) *Autres caractéristiques*

a) *Evolution de la salinité.* — Au point B, les salinités des eaux de 50 m sont voisines de 38 ‰ sans grande variation à l'exception d'un maximum de 38,31 ‰ le 18 septembre et d'un minimum de 37,75 ‰ le 30 octobre. En surface les variations sont beaucoup plus importantes; le maximum de 38,31 ‰ le 18 septembre et d'un minimum de 37,75 ‰ le 30 octobre. Plusieurs dessalures se produisent, les plus importantes sont en mai (36,33 ‰), début octobre (37,03 ‰) et fin novembre (35,35 ‰) elles n'intéressent que les premiers mètres de la colonne d'eau, à 5 m la salinité a été toujours supérieure à 37 ‰.

Au point C les variations sont encore plus faibles, en surface le minimum se situe début août (37,51 ‰) et le maximum à la fin du mois de novembre (37,95 ‰).

b) *Evolution de la transparence.* — Les indications de transparence nous sont données par les profondeurs de disparition du disque de Secchi. Au point B ces profondeurs sont voisines de 10 m en mai-juin, elles sont plus importantes (20 m) de fin juin à fin octobre puis diminuent beaucoup par la suite avec un minimum de 1 m le 21 novembre. Au point C la transparence de l'eau est nettement plus grande et la moyenne des profondeurs de disparition du disque est de 20 m avec un maximum de 30 m en octobre et des minimums de 10 m début juin et de 18 m en novembre-décembre.

5) Résumé

L'époque de présence des *Evadne* correspond à la phase d'hétérogénéité thermique verticale, on peut distinguer trois périodes :

- en mai-juin, le réchauffement des eaux superficielles est d'abord rapide, puis très perturbé par le mauvais temps (vent), la thermocline se forme et montre de grandes variations, la moyenne de la profondeur d'extinction du disque de Secchi est de 10 m, on observe une dessalure mi-mai.
- de juillet à septembre se situe le maximum thermique des eaux superficielles, le maximum du gradient thermique, le maximum de salinité et le maximum de profondeur pour le disque.
- d'octobre à décembre les eaux superficielles se refroidissent, par contre les eaux proches du fond à la côte se réchauffent; la couche d'eau devient homogène verticalement, le disque de Secchi donne des valeurs moyennes avec des minimums inférieurs à 5 m au moment des dessalures, dont le plus important se situe mi-novembre.

II. — CARACTÉRISTIQUES SAISONNIÈRES ET VARIATIONS QUANTITATIVES

A) GÉNÉRALITÉS

1) *Les espèces*

Le genre *Evadne* est représenté à Banyuls par trois espèces : *Evadne nordmanni* Loven, *E. spinifera* P.E. Müller et *E. tergestina* Claus. Si l'espèce quantitativement dominante est *E. spinifera*, les deux autres n'en sont pas moins suffisamment abondantes pour que l'on puisse analyser leurs répartitions et leurs variations.

Ces trois espèces ont en commun plusieurs caractéristiques écologiques qui justifient leur étude simultanée; la principale est leur liaison avec le cycle thermique des eaux superficielles. Cependant elles manifestent des différences sensibles qu'il est nécessaire de préciser et qui rendent obligatoire l'analyse spécifique des populations tant pour l'étude des variations saisonnières que pour celle de leur répartition.

Si le critère du nombre de soies des exopodites des péréiopodes est peu utilisable pour la détermination spécifique dans une étude

de ce type (qui comporte la numération d'un grand nombre de spécimens), la forme du corps, la présence et la longueur de l'épine terminale de la carapace et l'écartement des muscles antennaires rendent relativement facile cette détermination.

E. nordmanni, dont la présence en Méditerranée occidentale a été discutée et que j'avais citée pour la première fois en 1966, a été particulièrement abondante au début de la saison 1967 et j'ai pu ainsi différencier ses exigences écologiques par rapport aux deux autres espèces.

2) Variabilité du filet utilisé

L'erreur relative des résultats obtenus par deux traits verticaux consécutifs, effectués à chaque station, a été calculée pendant toute la durée du premier maximum d'*Evadne*. La moyenne de ces erreurs, correspondant à 31 mesures est de 15,7 %.

Deux stations ont donné des erreurs très nettement supérieures à cette moyenne, le 3 juillet (60,4 %) et le 12 juillet (71,4 %); toutes les deux ont été effectuées dans de mauvaises conditions météorologiques et avec des angles d'inclinaison du câble respectivement de plus de 20° et de 50°.

On peut distinguer deux phases au cours de cette période d'après le calcul des erreurs relatives. Du début au 17 juin (valeurs numériques inférieures à 10 000 Cladocères par prélèvements), l'erreur est très faible (7,3 % pour douze mesures) cela correspond à la phase d'accroissement de la population d'*Evadne*. Du 17 juin à la fin cette erreur est nettement plus élevée (16,7 % pour 17 mesures), cela correspond à la phase du maximum numérique et à la diminution des *Evadne*.

Le calcul d'erreur fait pour chacune des deux espèces présentes (*E. nordmanni* et *E. spinifera*) a donné tantôt une valeur plus forte pour une espèce, tantôt pour l'autre, les deux espèces semblent donc se comporter de façon semblable.

B) EVADNE NORDMANNI

1) Description

Cette espèce apparaît dans les prélèvements du 16 mai et se récolte régulièrement jusqu'au 2 août. Absente complètement tout le mois d'août, on ne trouve par la suite que de très rares spécimens, le 8 septembre et beaucoup plus tard, les 9 et 16 janvier.

On peut distinguer trois phases d'après l'abondance numérique des spécimens et leurs variations : une phase d'apparition et

d'augmentation lente, une phase d'augmentation rapide et d'abondance maximale et une phase de disparition.

a) *Phase d'apparition et d'augmentation lente.* — Entre la première apparition et le 12 juin, le nombre d'*Evadne nordmanni* ne dépasse pas 1 000 spécimens pour l'ensemble de la prise; on peut cependant observer l'amorce d'une augmentation régulière de la population à partir du 27 mai.

Pendant cette période, les valeurs sont également faibles à tous les autres points. Il faut remarquer qu'on trouve déjà des *E. nordmanni* au point du large E dans le prélèvement horizontal de surface du 9 mai en nombre plus grand qu'en surface le 16 mai en B.

D'autre part, le 16 mai correspond à une sortie le long de l'isobathe 55 m (B, F, G, H, I) et seules les pêches au point B ont ramené des *E. nordmanni*.

b) *Phase d'augmentation rapide et d'abondance maximale.* — Les valeurs les plus fortes sont atteintes le 17 et le 26 juin, entre ces deux récoltes d'abondance très voisine on peut observer une diminution brutale (correspondant aux prélèvements des 22 et 23 juin), plus importante que l'erreur inhérente à la méthode ou aux différences de conditions de prélèvements.

On peut constater que les pourcentages d'*Evadne nordmanni* par rapport à la population totale d'*Evadne* diminuent encore plus brutalement; en effet, ces prélèvements correspondent à des concentrations maximales d'*Evadne spinifera*. Ce fait doit être signalé en vue de la discussion d'une éventuelle compétition interspécifique (cf. tableau 2).

Aux autres points c'est également pendant cette période qu'on observe les concentrations les plus importantes. Cependant au point C le 16 juillet la valeur est encore assez élevée.

Le 22 juin au point C, on observe encore plus nettement une diminution d'*E. nordmanni* correspondant à une concentration forte d'*E. spinifera* (cf. tableau 2).

TABLEAU 2

Compétition interspécifique Evadne nordmanni - E. spinifera.

POINT B

	17 JUIN	22	23	26	28
<i>E. nordmanni</i>	4 005	1 594	1 344	4 355	2 302
<i>E. spinifera</i>	8 131	14 342	15 456	6 013	5 634

POINT C

	13 JUIN	22	28
<i>E. nordmanni</i>	1 216	463	4 592
<i>E. spinifera</i>	3 288	22 703	4 976

c) *Phase de disparition.* — La diminution de la population d'*Evadne nordmanni* est rapide et régulière; s'il s'est écoulé un mois entre la date d'apparition et le premier maximum, les *Evadne* ont pratiquement disparu quinze jours après le deuxième maximum.

A toutes les stations le phénomène est identique et on observe des valeurs inférieures à 100 dans presque tous les prélèvements du mois de juillet.

2) *Liaison avec le cycle thermique*

L'apparition des *Evadne nordmanni* au point B correspond pour les températures de l'eau de surface à des valeurs supérieures à 15°.

Au point E le 9 mai, l'eau est également supérieure à 15° en surface.

La phase d'augmentation lente correspond dans le cycle thermique à la période de perturbation du réchauffement des eaux superficielles, la température ne dépassant pas 17°.

La phase d'abondance correspond au réchauffement rapide des eaux de surface, le maximum numérique s'observe pour une température voisine de 19°.

La troisième phase correspond à un réchauffement encore plus grand de l'eau, la disparition d'*Evadne nordmanni* coïncidant avec les températures de 21°.

On peut donc admettre que pour la région de Banyuls, la température nécessaire à l'apparition d'*Evadne nordmanni* est de 15°, l'optimum est de 19° et qu'il y a une limite supérieure située aux environs de 21°.

La répartition verticale de cette espèce apportera des preuves supplémentaires.

Il faut également remarquer que la pêche positive du 8 septembre correspond à une température de surface de nouveau inférieure à 21°.

D'autre part à la sortie du 16 mai aux points B, F, G, H, I, qui n'avait ramené des *E. nordmanni* qu'en B, la température à cette station était de 1° supérieure à celle des autres points.

C) *EVADNE SPINIFERA*

1) *Description*

E. spinifera apparaît en même temps que *E. nordmanni* mais ce n'est qu'après le 12 juin qu'il devient dominant. Les courbes

de variations quantitatives montrent très nettement deux périodes de grande abondance (juin et septembre) entourant une phase de diminution qui correspond au maximum thermique des eaux superficielles du mois d'août.

Cette espèce numériquement de loin la plus importante des trois, domine la population d'*Evadne* pendant toute la saison, elle ne cède la première place à *E. nordmanni* qu'en début de saison et à *E. tergestina* pendant le mois d'août. On la récolte régulièrement jusqu'au mois de décembre.

a) *Première période d'abondance.* — Cette période débute le 16 mai et se prolonge jusqu'au 3 août. Le 16 mai, *E. spinifera* ne représente que 3 % de la population; on observe une phase d'augmentation lente jusqu'au 15 juin comme chez *E. nordmanni*. La deuxième phase aboutit rapidement à des maximums numériques élevés les 22 et 23 juin (15 000 spécimens par prise verticale), le nombre reste supérieur à 5 000 pendant près de 15 jours. La phase de diminution est beaucoup plus irrégulière que chez *E. nordmanni* et on observe des maximums secondaires les 10 et 24 juillet.

Aux autres points, cette première période d'abondance se constate de la même manière, les valeurs sont maximales le 13 juin au point E et le 22 aux points C et A.

Les pourcentages d'*E. spinifera* supérieurs à 50 % sont atteints beaucoup plus tôt aux points du large qu'en B, en effet à la première apparition des *Evadne* (le 9 mai en E en surface), *E. spinifera* représente déjà 74 % de la population; au point C la valeur de 50 % est atteinte dès le 25 mai.

b) *Deuxième période d'abondance.* — Les valeurs numériques ne redeviennent importantes que vers la fin du mois d'août. Cette deuxième période est caractérisée par de grandes variations irrégulières de la population d'*E. spinifera*; sa valeur maximale, le 13 septembre est très voisine de celle de juin, sa durée est plus courte et les valeurs sont de nouveau faibles dès le 18 septembre.

Il n'est pas possible de donner une date précise de disparition des *E. spinifera*, mais on peut cependant considérer que la population se maintient jusqu'au début du mois d'octobre et qu'on ne retrouve par la suite que quelques spécimens jusqu'à la fin du mois de décembre.

Ce deuxième maximum est moins net aux points C et E que près de la côte, mais s'observe cependant.

2) *Liaison avec le cycle thermique*

E. spinifera apparaît à la même température que *E. nordmanni*, mais ce n'est qu'au-dessus de 16° que la population se développe vraiment (il est également possible que le vent ait une action

inhibitrice directe en plus de son influence sur le réchauffement des eaux superficielles comme on le verra par la suite).

Les conditions thermiques optimales sont également voisines de celles de l'espèce précédente. Par contre, les températures les plus élevées ne suffisent pas dans notre région pour faire disparaître tous les *E. spinifera* et la population peut (après cependant avoir subi une forte diminution), de nouveau proliférer lorsque la température des eaux de surface diminue et qu'on retrouve les conditions optimales. Ces conditions ne correspondent d'ailleurs pas à une température précise, mais à une zone thermique comprise entre 16 et 21° et la population atteint des valeurs maximales très rapidement dès qu'on se trouve dans cette zone, 16° en juin, 21° en septembre.

Pendant le mois d'octobre, les températures qui restent supérieures à 18° permettent à la population de se maintenir et d'atteindre certains jours des concentrations relativement élevées bien que la phase d'abondance maximale se soit produite. Certains spécimens résistent à des températures inférieures à 16°, c'est-à-dire après mi-novembre.

En conclusion, pour *Evadne spinifera*, la température nécessaire à son apparition est de 15°, les conditions optimales se trouvent entre 16° et 21°, la limite de 21° n'est pas absolue, enfin quelques spécimens subsistent en dessous de 15°.

D) EVADNE TERGESTINA

1) Description

Les premiers spécimens de *E. tergestina* sont récoltés au point B le 26 juin, mais ils sont très peu nombreux; on ne les trouve régulièrement que dans les pêches de la deuxième moitié du mois de juillet.

Ils ne sont jamais en nombre élevé et leurs variations sont très irrégulières; il n'est pas possible de dégager comme pour les deux espèces précédentes des phases dans leur cycle. Les valeurs maximales se situent fin juillet, début août, et également début septembre. La population se maintient jusqu'en décembre mais avec des valeurs faibles à partir de la fin octobre.

2) Liaison avec le cycle thermique.

Cette espèce est de toute évidence une espèce plus chaude que les deux autres, son apparition et surtout ses maximums corres-

pondent aux valeurs les plus élevées du cycle thermique des eaux de Banyuls. Après la période d'abondance relative, on trouve encore des *E. tergestina* à des températures nettement inférieures à celles correspondant à leur apparition.

On peut assigner à cette espèce une température d'apparition d'environ 20°, une zone optimale pour les températures supérieures à 22° sans limite supérieure à Banyuls et enfin une résistance jusqu'à des valeurs inférieures à 16° à la fin de leur saison.

E) CONCLUSIONS

La figure 1 résume et met en évidence les différentes conclusions de ce chapitre sur le cycle saisonnier des Cladocères du genre *Evadne* et ses liens avec le cycle thermique des eaux.

TABLEAU 3
Exigences thermiques des Evadne.

ESPECES	TEMPERATURES		
	apparition	optimum	disparition
<i>E. nordmanni</i>	15°	19°	21°
<i>E. spinifera</i>	15°	16° - 21°	inf. à 15°
<i>E. tergestina</i>	20°	sup. à 22°	16°

Evadne nordmanni que l'on récolte normalement jusqu'à des latitudes très nordiques (72° sur les côtes de Norvège) est l'espèce la plus froide, en particulier elle ne supporte pas les températures du mois d'août.

Evadne spinifera bien qu'apparaissant en même temps que la précédente, prolifère cependant à des températures légèrement supérieures; sa population diminue pourtant nettement pendant le maximum thermique.

Evadne tergestina, par contre, est l'espèce la plus chaude, son maximum numérique coïncide avec les températures les plus élevées.

Evadne spinifera est de très loin la plus importante numériquement et *E. tergestina* la moins représentée.

Les points de ces courbes correspondent à des valeurs moyennes pour l'ensemble de la région étudiée et par période de dix jours, on peut ainsi constater que les phases de diminution des populations sont toujours sensiblement plus longues que celles d'augmen-

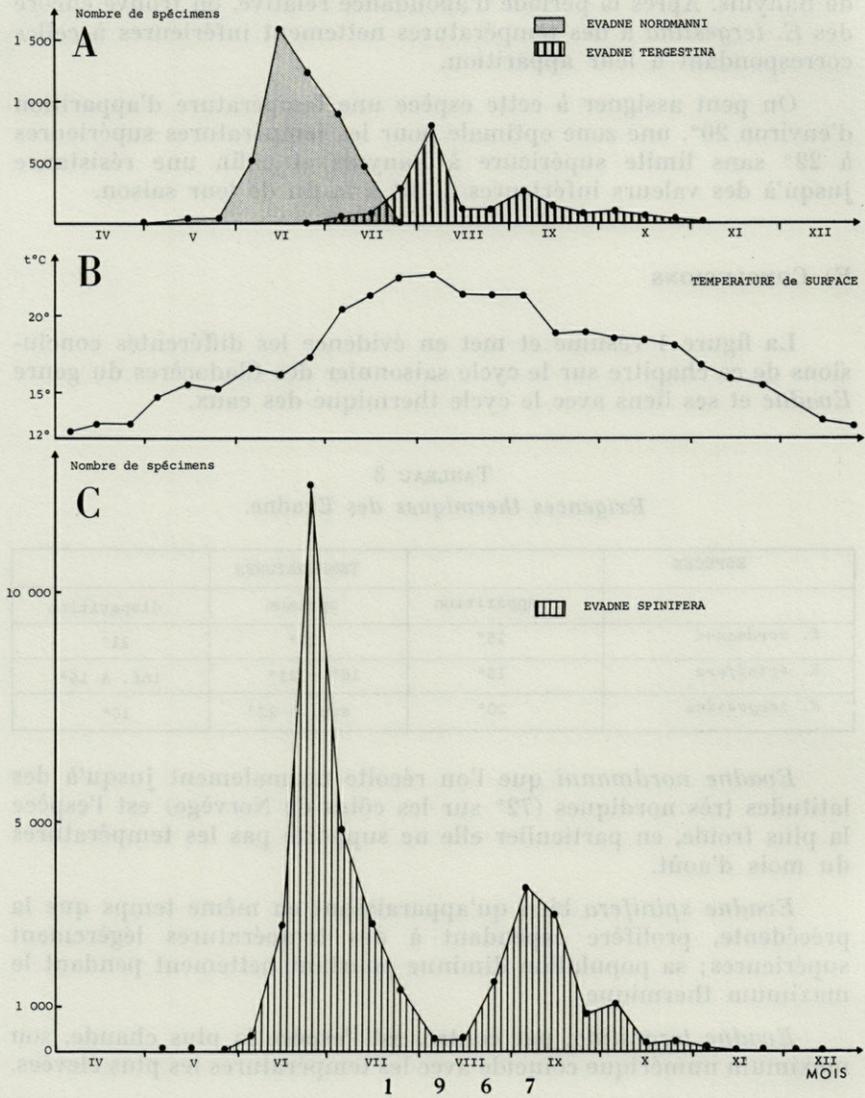


FIG. 1. — Variations quantitatives des *Evadne* et variations thermiques superficielles (valeur moyenne par dix jours et pour l'ensemble des stations).

A *Evadne nordmanni* et *E. tergestina*.

B températures de surface.

C *Evadne spinifera*.

tation, les valeurs maximales étant atteintes en moins d'un mois, et que le deuxième maximum de *E. spinifera* est moins important que le premier.

III. — RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE LOCALE

La zone étudiée s'étend jusqu'à 12 milles du cap Creus vers le large, et 18 milles au nord du cap Béar, le long de la côte. J'envisagerai essentiellement la répartition des *Evadne spinifera* car leur importance numérique et la durée de présence dans le plancton ont permis d'obtenir des données plus nombreuses et plus représentatives que pour les deux autres espèces.

La comparaison des stations est faite uniquement d'après les résultats des pêches verticales, car c'est la seule méthode que nous utilisons qui prélève l'ensemble d'une population à une station donnée avec une marge d'erreur connue.

A) EVADNE SPINIFERA

1) Répartition perpendiculaire à la côte (Tableau n° 4)

Pendant la période de présence d'*E. spinifera*, nous avons effectué sept radiales comprenant les points A, B, C et E. Quatre d'entre elles sont plus particulièrement riches en *Evadne*, deux correspondent au premier maximum numérique (13 juin et 7 juillet), deux au deuxième (1^{er} septembre et 3 octobre); les *Evadne* ne sont pas suffisamment nombreux dans les autres pêches (9 mai, 2 août et 24 octobre) pour en étudier la répartition.

Le nombre total d'*Evadne* à chaque point met en évidence une zone riche, « B » et « C », correspondant à la zone néritique; le point du large « E » est sensiblement moins riche et le point le plus près de la côte, « A » est le plus pauvre.

Analyse plus détaillée. — On peut constater que le maximum numérique se rapproche de la côte au cours de la saison; il est au point E le 13 juin, en C le 6 juillet, en B le 1^{er} septembre et en A le 3 octobre. Lors de chacune de ces radiales, les différences entre deux stations sont plus importantes que la marge d'erreur de la méthode de pêche.

Si je sépare les deux périodes d'abondance de l'espèce et calcule pour chaque point la moyenne de toutes les stations effectuées, certaines précisions supplémentaires apparaissent.

TABLEAU 4
Evadne spinifera, résultats numériques des radiales A-E.

DATE	A	B	C	E
13 JUIN	58	487	3 288	<u>7 691</u>
6 JUILLET	1 999	3 469	<u>11 021</u>	3 337
2 AOUT	16	23	143	116
1 SEPTEMBRE	2 929	<u>9 185</u>	648	368
3 OCTOBRE	<u>4 480</u>	1 664	160	352
24 OCTOBRE	269	-	96	-
T O T A L	9 751	<u>14 828</u>	<u>15 356</u>	11 864

MOYENNE				
JUIN - JUILLET	(7 642)	4 743	7 167	5 514
SEPTEMBRE - OCTOBRE	1 384	1 798	834	240

Pendant la première période. — Le point A devient le plus riche, mais cela n'est dû qu'au résultat d'une seule station (le 22 juin), dont le nombre d'*E. spinifera* récolté est le plus élevé de tous les prélèvements de 1968 (35 600 pour un trait vertical de 20 m, soit environ 4,5 spécimens par litre si on suppose une concentration homogène sur toute la colonne d'eau). Cette station offre un exemple de la possibilité pour *E. spinifera* de former des essaims pendant ses périodes de grande abondance; en effet, comme on le verra par la suite, une série de stations faites le lendemain ne donne plus en A que 250 spécimens et si on fait abstraction du résultat du 22 juin, l'ensemble des autres stations en ce point donne une moyenne très faible (650 spécimens).

La comparaison des autres points montre que C est le plus riche; cependant les différences entre deux points sont assez faibles et on peut admettre que *E. spinifera* est abondant sur l'ensemble de la zone étudiée pendant sa première période d'importance numérique.

Pendant la deuxième période. — Les points C et E sont maintenant nettement les plus pauvres, la zone riche est restreinte à une bande plus côtière qui comprend également le point A dont la moyenne des spécimens récoltés est plus élevée que pendant la première période (1 400 par station), ce qui n'est pas le cas des autres points.

D'une façon générale, les différences entre les points sont plus grandes que pendant la première période.

Conclusions. — L'étude de la répartition sur une distance de 12 milles vers le large permet de faire les remarques suivantes :

— les concentrations moyennes sont plus élevées dans la zone néritique, à l'exclusion des points côtiers;

— l'observation dans le temps montre que les premières concentrations importantes sont d'abord observées au large;

— les différences entre deux points sont plus importantes pendant la deuxième période d'abondance; la zone riche s'étend pratiquement à toute la zone étudiée pendant la première période alors qu'elle se restreint à une zone plus côtière pendant la deuxième.

2) Répartition sur l'isobathe 55 m (Tableau n° 5)

Cette isobathe, à peu près parallèle à la côte s'en éloigne cependant assez sensiblement au nord du cap Béar; les stations ne sont donc pas tout à fait équivalentes, B et F sont plus proches de la côte (moins de 2 milles); les trois autres sont plus éloignées (5 milles).

Pendant la période de présence de l'espèce, sept sorties ont été faites, dont deux à chaque période d'abondance.

TABLEAU 5

Evadne spinifera, résultats numériques des stations de l'isobathe 55 m.

DATE	B	F	G	H	I
16 MAI	3	-	-	-	-
15 JUIN	2 783	1 642	1 679	916	338
12 JUILLET	1 408	1 782	3 683	4 563	3 033
7 AOUT	383	235	318	243	348
13 SEPTEMBRE	13 607	1 824	2 032	4 416	1 456
2 OCTOBRE	1 760	960	1 328	624	344
30 OCTOBRE	320	160	128	32	96
T O T A L	(20 264)	6 603	9 168	10 794	5 619

JUIN + JUILLET	4 191	3 424	5 352	5 479	3 371
SEPTEMBRE + OCTOBRE	(15 687)	2 944	3 488	5 072	1 896

Il est difficile de dégager une règle générale de répartition des *Evadne spinifera* le long de cette ligne : à chaque sortie on obtient des stations riches et des stations pauvres (les différences étant supérieures aux erreurs de méthode), et ces stations ne sont pas toujours les mêmes.

En particulier, la station en B du 13 septembre donne un nouvel exemple des fortes variations quantitatives dans le temps et dans l'espace des populations d'*E. spinifera*. Le nombre d'*Evadne* en « B » à cette date est en effet 10 fois supérieur à celui de la station proche « F » du même jour et surtout entre les 12 et 13 septembre on passe à « B » de 280 spécimens à 13 600.

A l'exception de cette sortie, les variations sont tout de même moins importantes; ce sont les points « G » et « H » qui montrent le plus régulièrement les valeurs numériques les plus élevées.

Les deux premières sorties permettent de se rendre compte qu'au début de sa présence, *Evadne spinifera* apparaît d'abord en « B » (le 16 mai) puis en « B », « F » et « G » (stations les plus riches du 15 juin).

3) Autres stations.

Des sorties particulières ont été faites pour essayer de mieux mettre en évidence cette notion d'essaim et pour observer si le cap Béar, dont l'avancée en mer provoque une concentration du courant et une plus grande agitation de l'eau, avait un effet sur la répartition des *E. spinifera*.

— Stations des 22 et 23 juin. — Cette sortie a été faite au moment du premier maximum numérique; elle permet de montrer que les concentrations sont très voisines en B et F (B : 14 300 le 22, 15 500 le 23, F : 14 500 le 23), et d'augmenter le caractère « aberrant » de la prise du 22 en A (35 600 le 22, 250 le 23). Les résultats observés le 23 montrent nettement la diminution de la concentration près de la côte (les stations en A devant Collioure sont à moins de 200 m de la côte alors que devant Argelès, pour une même profondeur de 20 m, la station se trouve à près de 1 mille).

Il semble bien que l'on puisse invoquer également l'influence de l'état de la mer, très calme le 22, plus agitée avec une houle E.S.E. le 23.

— Stations du 6 octobre. — Cette sortie aux mêmes stations

TABLEAU 6

Influence de l'état de la mer sur la répartition côtière de *E. spinifera*.

		C	B	F	A	Collioure	Argelès
22 JUIN	mer	1	1		1		
	<i>Evadne</i>	22 700	14 300		35 600		
23 JUIN	mer		3	3	2 - 3	2 - 3	2 - 3
	<i>Evadne</i>		15 500	14 500	250	90	10 500

que le 23 juin met en évidence de la même façon la pauvreté des stations les plus côtières, mais moins nettement, car les valeurs numériques sont plus faibles et la mer calme.

Il faut remarquer que cette réaction à l'agitation de l'eau est spécialement marquée chez *E. spinifera* comme on peut le voir d'après les pourcentages de cette espèce par rapport au total des *Evadne*.

TABLEAU 7
Pourcentages côtiers de *E. spinifera*.

	B	F	Argelès	Collioure	A
22 et 23 JUIN	92 %	90 %	94 %	24 %	55 %
6 OCTOBRE	92 %	91 %	67 %	50 %	54 %

Les pourcentages correspondent au rapport du nombre de spécimens d'une espèce sur le nombre total d'*Evadne*.

B) EVADNE NORDMANNI

1) Répartition perpendiculaire à la côte

Trois radiales ont été faites pendant la période de présence d'*E. nordmanni*, mais une seule a des valeurs numériques suffisamment élevées.

La moyenne des stations en chaque point donne des résultats tout à fait voisins de ceux de *E. spinifera* pendant son premier maximum avec cependant une plus grande pauvreté du point E par rapport à B et C.

D'une façon générale *E. nordmanni* semble plus côtière que *E. spinifera*, comme le montrent les variations de son pourcentage par rapport à l'ensemble du genre *Evadne* représenté à cette époque par seulement ces deux espèces.

2) Répartition sur l'isobathe 55 m (Tableau 8)

Trois sorties ont également été faites dont une plus particulièrement riche. La première montre que seule la station en B est positive; la seconde met en évidence une plus grande richesse des stations G, H et I par rapport aux deux autres, ce qui est exactement l'inverse chez *E. spinifera*; le même phénomène se répète le 12 juillet. Ceci peut être un deuxième exemple de compétition spécifique.

TABLEAU 8
Répartition locale de *Evadne nordmanni*.

Perpendiculaire à la côte

Radiale	A		B		C		E	
	Nombre	%						
13 JUIN	38	40 %	1 317	44 %	1 216	27 %	1 149	14 %
6 JUILLET	-	0 %	979	22 %	2 099	16 %	455	12 %
2 AOÛT	12	33 %	77	22 %	-	0 %	4	0,5%
moyenne de toutes les stations	275	39 %	1 233	33 %	1 072	21 %	536	9 %

Parallèle à la côte

	B		F		G		H		I	
	Nombre	%								
16 MAI	95	97 %	-	-	-	-	-	-	-	-
15 JUIN	785	22 %	670	29 %	2 988	64 %	1 948	68 %	1 918	85 %
12 JUILLET	29	2 %	134	7 %	507	21 %	1 155	20 %	816	21 %

3) *Autres stations*. Les 22 et 23 juin

Comme pour *E. spinifera* la station en A du 22 juin est plus riche que celle du 23, mais seulement 5 fois au lieu de près de 150 fois pour *E. spinifera*.

Le caractère plus côtier de *E. nordmanni* est de nouveau manifeste; 60 % de la population en A devant Collioure, moins de 10 % aux trois autres stations.

Les valeurs numériques atteintes par *E. nordmanni* ne sont pas assez élevées pour qu'on puisse envisager une discussion sur l'existence d'essaïms; on peut cependant observer certaines concentrations « aberrantes », comme par exemple au point C le 28 juin, où *E. nordmanni*, très abondant, constitue près de la moitié des *Evadne* ce qui est exceptionnel (22 juin, 463 : 2 %; 28 juin, 4 592 : 48 %; 6 juillet, 2 099 : 16 %).

C) *EVADNE TERGESTINA* (tableau n° 9)

Cette espèce atteint les valeurs numériques les plus importantes pendant trop peu de temps pour qu'il soit possible de caractériser sa répartition. Cependant, elle semble moins côtière que les deux précédentes et distribuée de façon plus homogène sur toute la zone étudiée.

La sortie du 7 août sur l'isobathe 55 m montre, comme pour *E. nordmanni* une inversion des concentrations par rapport à *E. spinifera*.

TABLEAU 9
Répartition locale de *Evadne tergestina*.

Perpendiculaire à la côte

Radiale	A		B		C		E	
	Nombre	%						
2 AOUT	8	22 %	92	48 %	877	86 %	688	85 %
1 SEPTEMBRE	255	8 %	755	8 %	192	23 %	264	42 %
3 OCTOBRE	192	4 %	96	5 %	32	17 %	32	8 %
moyenne de toutes les stations	112	16 %	120	16 %	146	22 %	197	27 %

Parallèle à la côte

	B		F		G		H		I	
12 JUILLET	29	2 %	16	2 %	44	1 %	52	1 %	44	1 %
7 AOUT	469	55 %	947	67 %	1 274	80 %	1 109	82 %	1 484	81 %
13 SEPTEMBRE	137	1 %	224	11 %	112	5 %	192	4 %	256	5 %

CONCLUSION

L'ensemble de ces résultats est représenté par la fig. 2 pour *E. spinifera* et par les fig. 4 et 6 pour *E. nordmanni* et *E. tergestina*. Dans la figure 2, j'ai signalé par des flèches les gradients de concentrations décroissantes, ce qui suggère un mouvement du large vers la côte. La flèche S.N. de la figure 2 A n'est en fait qu'une composante et il est plus vraisemblable de penser que le point I est atteint plus tardivement que B par les populations d'*Evadne* s'étendant de plus en plus du large vers la côte

E. spinifera peut, pendant sa période d'abondance former de véritables essaims. Les prélèvements plus particulièrement riches en *E. spinifera* sont souvent pauvres en représentants des deux autres espèces, même pendant leur période d'abondance.

Ces trois espèces ont un caractère manifestement néritique, surtout *E. nordmanni* qui semble plus côtière alors que la répartition locale au-dessus du plateau continental de *E. tergestina* est plus homogène.

IV. — DISTRIBUTION VERTICALE

La distribution verticale est établie d'après les résultats obtenus par des pêches horizontales de 10 minutes avec des filets fermants. Malheureusement, la méthode est très insatisfaisante pour une

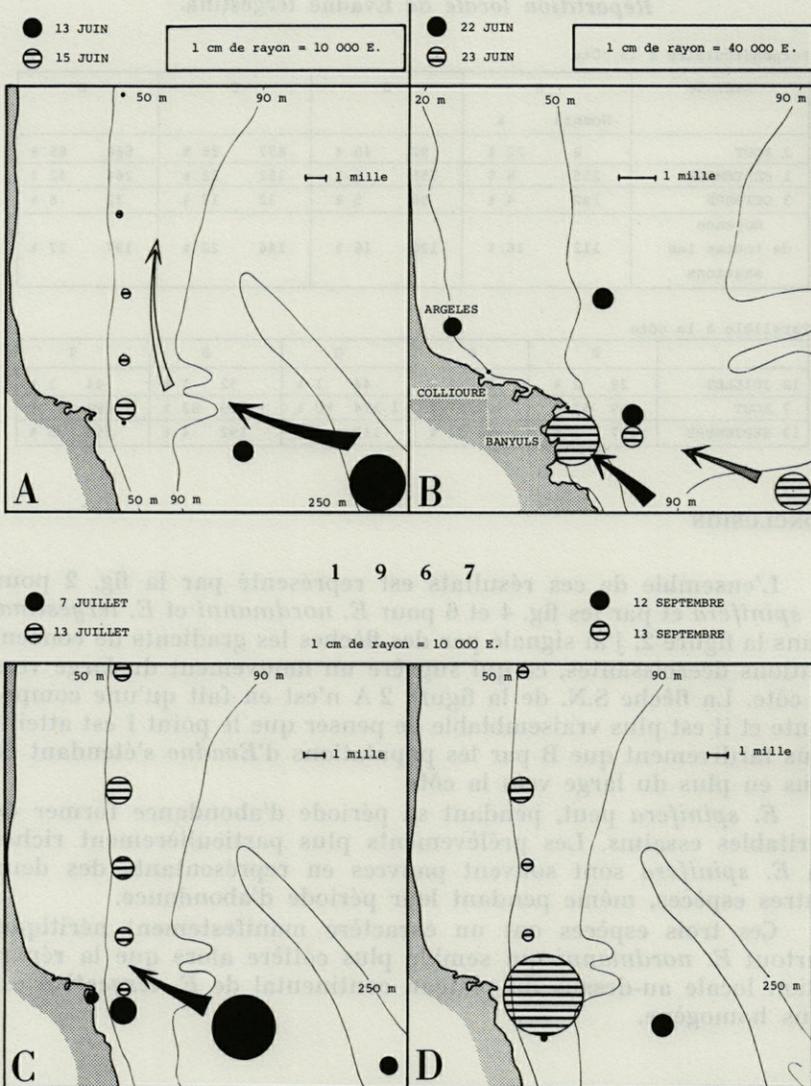


FIG. 2. — Répartition géographique locale de *Evadne spinifera*.

A sorties des 13 et 15 juin, diminution numérique du large vers la côte.

B sorties des 22 et 23 juin, formation d'essaim à la côte.

C sorties des 7 et 13 juillet, maximum néritique.

D sorties des 12 et 13 septembre, maximum néritique, essaim.

étude quantitative, car nous n'avions ni enregistreur de profondeur, ni compteur de débit. Des enregistrements ultérieurs faits dans les mêmes conditions de travail nous ont permis de connaître la profondeur moyenne réelle de pêche et de constater que les filets ne travaillaient pas à la même immersion pendant la durée du trait (cf. tableau n° 10). Nous pouvons donc *a posteriori*, apprécier les profondeurs, mais il reste toujours l'imprécision sur le volume qui peut être assez forte.

TABLEAU 10
Immersion enregistrées des différents traits horizontaux
(Depth Recorder 0-300 m — GM Mfg et Instrument Corp.).

IMMERSION THEORIQUE	IMMERSIONS ENREGISTREES (valeurs moyennes)	
	Début du trait	Fin du trait
20 m	24 m	20 m
50 m	40 m	30 m
90 m	70 m	50 m

Je ne m'attacherai donc pas à l'analyse détaillée des valeurs de chaque prélèvement, mais j'essaierai seulement de dégager les grandes lignes de la distribution verticale de ces trois espèces (les profondeurs indiquées dans le texte et les tableaux sont les valeurs théoriques).

Cette distribution n'est pas identique pour les trois espèces. Plusieurs facteurs semblent intervenir, les plus importants sont la température et la lumière, mais l'agitation de l'eau en surface ou des phénomènes de compétition interspécifique peuvent aussi avoir une influence.

E. spinifera est, de loin, l'espèce la plus superficielle (tableau 11), les deux autres paraissant plus indifférentes.

TABLEAU 11
Distribution verticale, moyennes de l'ensemble des pêches.

	0 m		20 m		50 m		90 m	
	Nombre	%						
<i>E. spinifera</i>	30 000	73 %	10 000	24 %	1 000	2 %	500	1 %
<i>E. nordmanni</i>	600	30 %	400	20 %	400	20 %	600	30 %
<i>E. tergestina</i>	400	24 %	700	41 %	500	29 %	100	6 %

Les pourcentages correspondent au rapport du nombre de spécimens à une immersion sur le nombre total pour une espèce donnée.

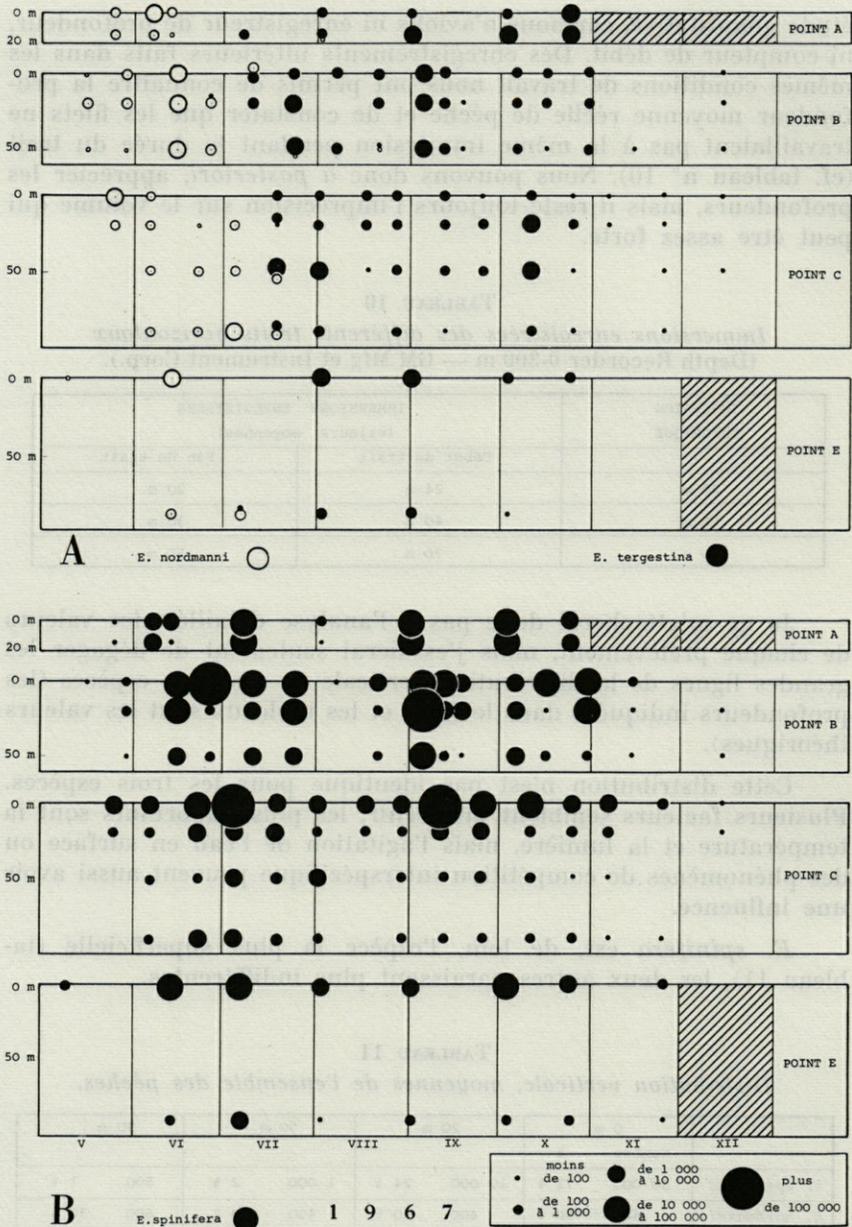


Fig. 3. — Distribution verticale des *Evadne*.
 A *E. nordmanni* et *E. tergestina*.
 B *E. spinifera*.

A) EVADNE NORDMANNI (Tableau n° 12)

Si on envisage les moyennes de l'ensemble des résultats de la saison, *E. nordmanni* semble occuper toute l'épaisseur de la couche d'eau, mais si on calcule ces moyennes chaque mois, on constate une évolution très nette dans le temps.

TABLEAU 12
Distribution verticale mensuelle de Evadne nordmanni.

	0 m		20 m		50 m		90 m	
MAI	568	67 %	252	30 %	26	3 %	-	0 %
JUIN	1 457	39 %	1 105	30 %	809	22 %	355	9 %
JUILLET	30	2 %	64	3 %	474	25 %	1 356	71 %

Pendant le premier mois de présence, la presque totalité de la population se trouve dans les eaux superficielles (97 % au-dessus de 20 m), puis le maximum devient de plus en plus profond et on ne récolte plus que 5 % des *E. nordmanni* au-dessus de 20 m en juillet.

Ce phénomène s'explique par le réchauffement des eaux superficielles : *E. nordmanni* qui est l'espèce la plus froide du genre, se concentre à des immersions de plus en plus profondes au fur et à mesure que les températures deviennent plus élevées en surface. En juillet, les moyennes des températures sont de 22° à 20 m, 19° à 30 m et 14° à 50 m; d'après les températures optimales déduites du cycle saisonnier, il est normal de trouver à cette époque *E. nordmanni* préférentiellement en dessous de 20 m. L'imprécision de la méthode ne permet pas de mieux localiser cette espèce par rapport à la thermocline, mais il est bien évident que celle-ci doit jouer un rôle important dans sa distribution verticale.

B) EVADNE SPINIFERA

Cette espèce est très largement dominante en surface pendant toute la durée de sa présence dans le plancton. Elle y atteint des concentrations importantes, le maximum étant d'environ 10 spécimens par litre, ce qui est considérable (dans ce prélèvement elle représentait 86 % de tout le zooplancton). La valeur de un spécimen par litre a été dépassée trois fois au point C, deux fois en B, une fois seulement en A et jamais en E, ce qui confirme son caractère néritique à une certaine distance de la côte cependant.

Ce comportement vraisemblablement dû à un phototropisme plus important que pour les deux autres espèces, explique la dimi-

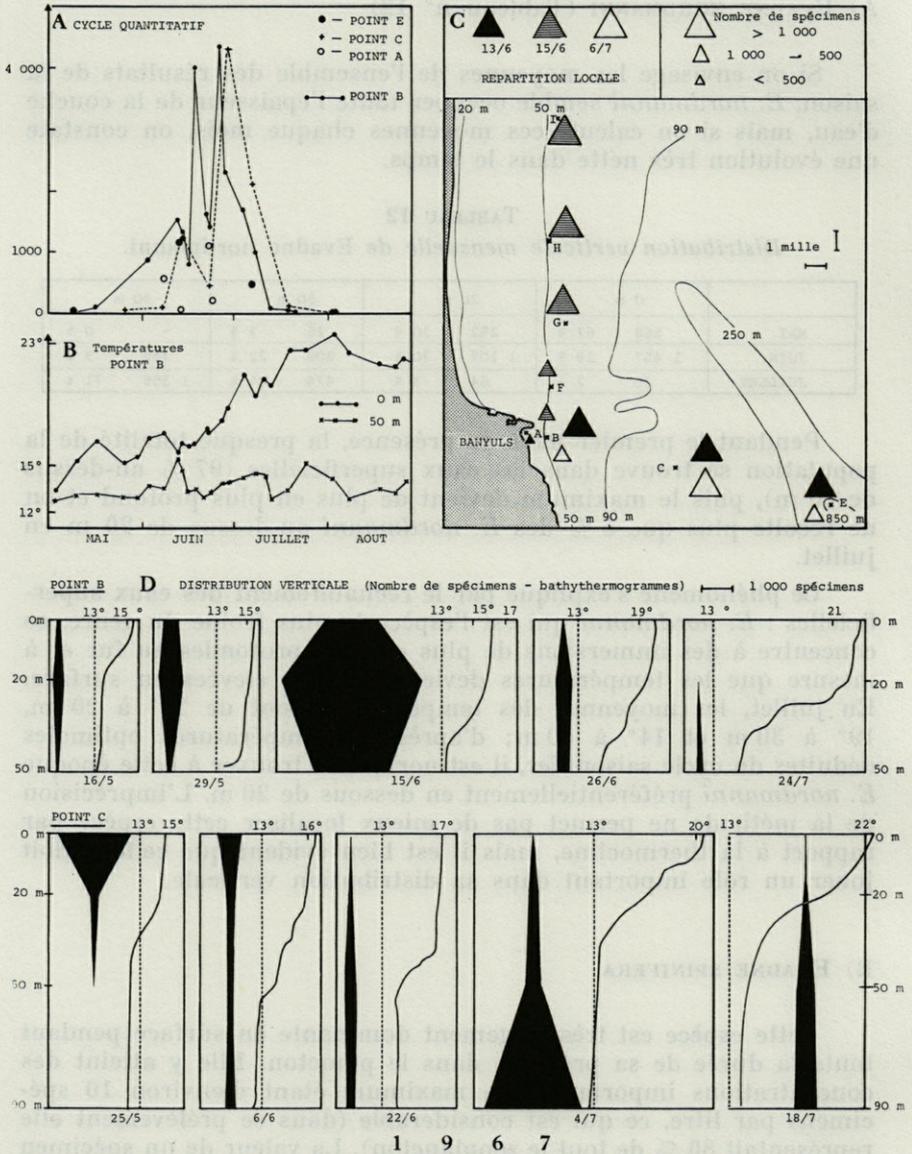


FIG. 4. — Cycle et répartition de *Evadne nordmanni*.

A cycle quantitatif.

B cycle des températures au point B.

C répartition locale, sorties du 13, 15 juin et 6 juillet.

D distribution verticale, diagrammes quantitatifs et bathythermogrammes aux points B et C.

nution numérique au mois d'août, la population, contrairement à celle d'*E. nordmanni*, ne se concentrant pas à des immersions plus grandes où la température leur conviendrait mieux (86 % reste en surface). Seule une certaine agitation de la surface provoque une plongée d'une partie de la population; en effet, on observe une corrélation entre le pourcentage d'*Evadne* en surface et l'état de la mer :

TABLEAU 13

Influence de l'état de la mer sur le pourcentage d'E. spinifera en surface.

ETAT DE LA MER	NOMBRE DE MESURES	% MOYEN EN SURFACE
1	9	91 %
2	9	69 %
3 - 4	9	65 %

Bien que la préférence de cette espèce pour la couche des premiers mètres permette l'existence de fortes concentrations sur les fonds de faible importance près de la côte, on les observe rarement. Ceci peut s'expliquer par sa sensibilité à l'agitation de l'eau, plus forte au voisinage d'une côte rocheuse, en particulier au cap Béar.

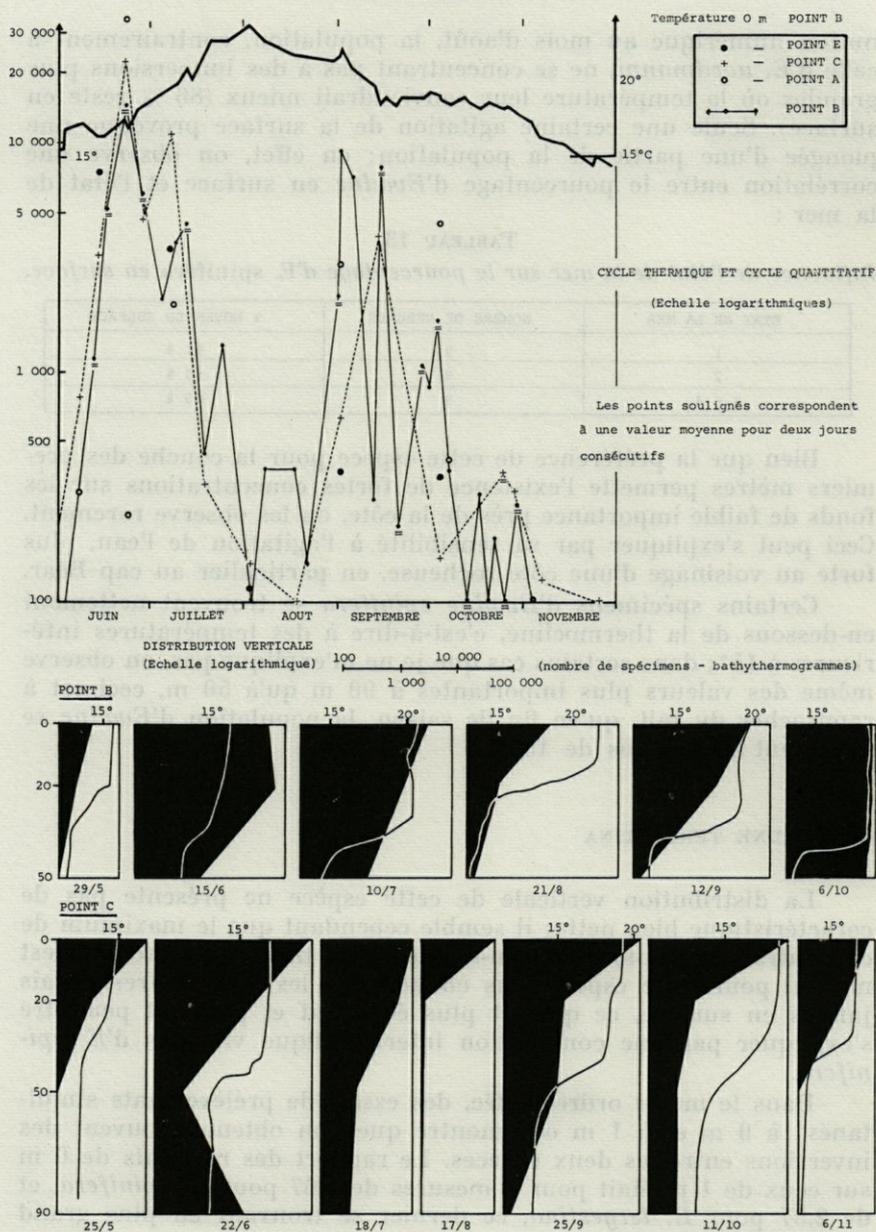
Certains spécimens d'*Evadne spinifera* se trouvent nettement en-dessous de la thermocline, c'est-à-dire à des températures inférieures à 15°; dans certains cas que je ne m'explique pas, on observe même des valeurs plus importantes à 90 m qu'à 50 m, ceci est à rapprocher du fait, qu'en fin de saison, la population d'*Evadne* se maintient en-dessous de 15°.

C) EVADNE TERGESTINA

La distribution verticale de cette espèce ne présente pas de caractéristique bien nette; il semble cependant que le maximum de concentration soit toujours au-dessus de la thermocline (ce qui est normal pour cette espèce plus chaude que les deux autres), mais jamais en surface, ce qui est plus étonnant et pourrait peut-être s'expliquer par une compétition interspécifique vis-à-vis d'*E. spinifera*.

Dans le même ordre d'idée, des essais de prélèvements simultanés à 0 m et à 1 m ont montré que l'on obtenait souvent des inversions entre les deux espèces. Le rapport des résultats de 0 m sur ceux de 1 m était pour 8 mesures de 0,67 pour *E. spinifera*, et de 2,87 pour *E. tergestina*, ce dernier se trouvant en plus grand nombre en surface.

Ces différents résultats, malgré leur imprécision, montrent toute la complexité du phénomène, surtout si l'on considère que tous nos prélèvements ont été effectués de jour.



1 9 6 7
FIG. 5. — Cycle et répartition des *Evadne spinifera*.

A cycle thermique et cycle quantitatif (échelle logarithmique), les points soulignés correspondent à une moyenne pour deux jours consécutifs.
B distribution verticale, nombre de spécimens (échelle logarithmique) et bathythermogrammes, aux points B et C.

Une étude plus fine des distributions des trois espèces doit être envisagée comprenant des prélèvements plus précis de part et d'autre de la thermocline, une analyse des phénomènes en surface par différentes conditions de mer, ainsi que des pêches nocturnes.

V. — CONCLUSION

Les trois espèces du genre *Evadne* constituent une population planctonique superficielle nérétique et estivale dont les réactions à certains paramètres extérieurs sont voisines, avec cependant quelques différences.

La température de l'eau semble avoir une influence prédominante, elle explique en particulier la présence de ces espèces à cette période de l'année, alors que l'ensemble du zooplancton (à l'exception de quelques groupes), montre des valeurs numériques faibles ainsi que le phytoplancton. Cette influence détermine la succession de ces trois espèces, *E. nordmanni*, *E. spinifera* puis *E. tergestina*, elle provoque également l'existence de deux périodes d'abondance chez *E. spinifera*, avant et après le maximum thermique du mois d'août. Enfin, elle permet aussi d'interpréter la plongée de la plus grande partie de la population d'*E. nordmanni* à l'époque où les températures supérieures à 21° se trouvent à des immersions de plus en plus profondes. *E. nordmanni* est donc l'espèce la plus sensible au facteur température, ce qui est normal, car elle se trouve, dans notre région, à la limite sud de sa répartition géographique.

La lumière semble également avoir une grande influence. Les trois espèces manifestent une tendance générale à se concentrer en surface. *E. spinifera* est la plus sensible, son phototropisme domine ses exigences thermiques car on n'observe pas, au mois d'août, de plongées de la population, alors que les températures optimales sont dépassées.

D'autres paramètres influent sur la répartition de ces espèces, comme, par exemple, l'état de la mer et l'agitation de l'eau qui provoquent la diminution des concentrations d'*E. spinifera* en surface et près de la côte par mer agitée.

Une forte concentration d'*E. spinifera* semble être une cause possible de diminution des autres espèces, alors que les conditions externes ne varient pas de façon sensible, il s'agit peut-être là de compétition interspécifique.

La salinité, par contre, n'a pas d'influence nette, bien que ses variations, pendant la période de présence des *Evadne* dans le plancton, soient à plusieurs reprises assez fortes.

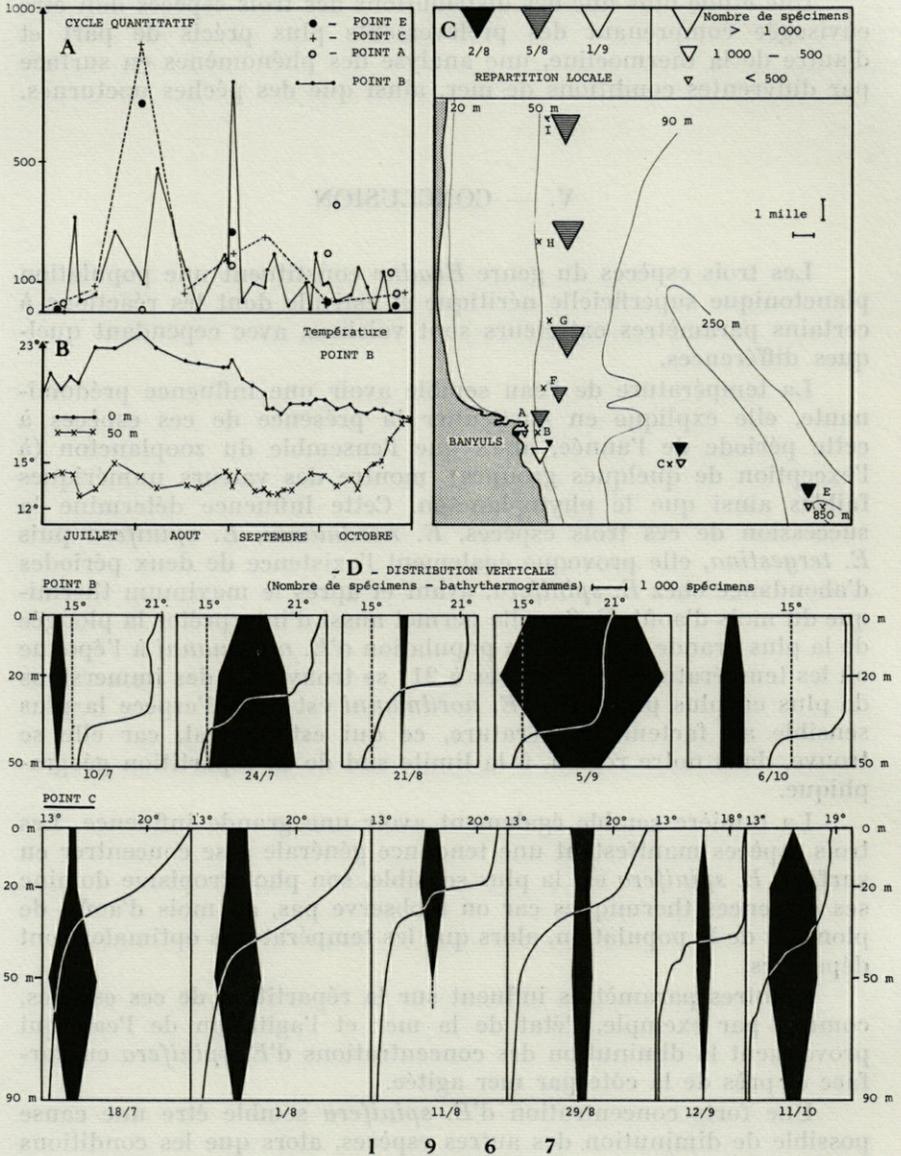


Fig. 6. — Cycle et répartition de *Evadne tergestina*.

A cycle quantitatif.

B cycle des températures au point B.

C répartition locale, sorties des 2, 5 août et du 1^{er} septembre.

D distribution verticale (nombre de spécimens et bathythermogrammes aux points B et C).

E. spinifera est de loin l'espèce numériquement la plus importante, ses concentrations peuvent dépasser 1 spécimen par litre, et on peut même, dans certaines conditions au moment de leur abondance, observer la formation de véritables essaims en surface, ou près de la côte; cette espèce représente alors 80 % de l'ensemble du zooplancton.

Des études en cours doivent apporter des compléments d'information sur les caractéristiques écologiques de ces espèces.

Tout d'abord, une comparaison des résultats de plusieurs années montrera comment réagissent les populations à des conditions de milieu qui ne sont pas semblables à la même époque chaque année.

La distinction et la détermination du nombre de générations parthénogénétiques, la diminution du nombre d'embryons à chaque génération, l'apparition des formes sexuées permettront d'expliquer la dynamique de ces populations et les différences des exigences écologiques en particulier vis-à-vis de la température chez les dernières générations.

Il est intéressant de comparer le comportement de ces espèces avec celui des autres groupes de l'holoplancton et du méroplancton présents à cette époque de l'année, comme par exemple : *Temora longicornis*, *Creseis acicula* ou *Doliolum denticulatum* et *Thalia democratica*; les larves de Décapodes estivales (Alphaeidae, Processidae, Thalassinidae, *Pilumnus hirtellus*, *Thia polita* et *Ethusa mascarone* qui sont les plus abondantes) ou de Gastéropodes (*Bittium reticulatum*), en observant principalement leur distribution verticale en fonction de l'immersion de la thermocline.

Enfin, des campagnes effectuées en Méditerranée occidentale, en particulier au début du printemps tenteront d'expliquer le phénomène général de l'apparition des premières générations d'*Evadne* du large vers la côte.

L'ensemble de ces observations sera comparé aux résultats acquis pour d'autres régions de Méditerranée occidentale, afin d'aboutir à une connaissance plus générale du cycle et de la répartition de ces espèces.

RÉSUMÉ

L'étude des populations du Cladocère *Evadne* a montré les ressemblances et les différences écologiques des trois espèces présentes dans le golfe du Lion.

E. nordmanni apparaît la première, au milieu du mois de mai. On peut distinguer trois phases dans l'évolution de sa population : l'augmentation lente, l'augmentation rapide et la disparition; les températures correspondantes sont de 15° pour l'apparition, 19° pour l'optimum et 21° comme limite supérieure.

E. spinifera apparaît en même temps, mais ne se développe qu'un peu plus tard. On observe deux périodes d'abondance, avant et après le maximum thermique du mois d'août; les conditions thermiques optimales sont entre 16° et 21°.

E. tergestina apparaît la dernière coïncidant avec les températures les plus élevées (optimum au-dessus de 22°).

La répartition géographique locale montre le caractère néritique des populations, à l'exclusion d'une bande très côtière; la formation d'essaims essentiellement chez *E. spinifera*. Enfin, l'hypothèse d'une compétition interspécifique est envisagée.

L'étude de la distribution verticale fait ressortir le caractère superficiel surtout pour *E. spinifera*. En effet, *E. nordmanni* se trouve plus en profondeur lorsque l'eau se réchauffe et *E. tergestina* semble éviter les zones à très fortes concentrations en *E. spinifera*.

La température paraît donc être un facteur écologique dominant ainsi que la lumière mais d'autres paramètres comme l'agitation de l'eau peuvent avoir une influence sur la répartition de ces populations.

SUMMARY

The study of the *Evadne* populations (Cladocera) shows the ecological resemblances and the differences of the three species present in the Golfe du Lion.

First appear *E. nordmanni* in the middle of May. It is possible to discern three periods in its population's development : the slow increase, the fast increase and the disappearing; the corresponding temperatures are of 15 °C for the appearing, 19 °C for the optimum and 21° as upper limit.

At the same time appears *E. spinifera* but its development takes place a little while later. It is possible to observe two periods of abundance, before and after the maximum of temperature in August; the conditions of optimal temperature are between 16 °C and 21 °C.

The last to appear is *E. tergestina* with the highest temperatures (optimum over 22 °C).

The geographical distribution shows the neritic character of the populations, excluding a very coastal part; the formation of swarms more particularly for *E. spinifera*; the hypothesis of an interspecific competition has been fore seen.

The study of the vertical distribution brings out the superficial character principally for *E. spinifera*. As a matter of fact, *E. nordmanni* goes deeper when the water is warming and *E. tergestina* seems to keep out of the *E. spinifera* very high concentrations areas.

Then temperature seems to be an outstanding ecological factor as well as light but other parameters like the water agitation may exercise an influence over the distribution of these populations.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchung von *Evadne* populationen (Cladoceren) konnte die ökologischen Ähnlichkeiten und Unterschiede der drei im Golfe du Lion lebenden Arten aufzeigen.

Als erste Art erscheint Mitte Mai *Evadne nordmanni*; man kann drei Entwicklungsstufen der Population unterscheiden, die langsame Zunahme, die schnelle Zunahme und das Verschwinden. Beim Auftreten der Population beträgt die Temperatur 15°, bei ihrer optimalen Entfaltung 19°, während 21° die obere Grenze darstellt.

Die zur selben Zeit erscheinende *E. spinifera* entwickelt sich etwas später. Es können zwei Perioden einer besonderen Dichte, vor und nach der maximalen Erwärmung im August, beobachtet werden. Die optimalen Temperaturen liegen zwischen 16 und 21°.

Als letzte Art tritt *E. tergestina* auf. Sie bevorzugt hohe Temperaturen, ihr Optimum ist höher als 22°.

Aus der geographischen Verteilung kann, mit Ausnahme eines sehr küstennahen Streifens, auf einen neritischen Charakter der Populationen geschlossen werden. Ebenso konnte die Bildung von Schwärmen, besonders bei *E. spinifera*, festgestellt werden. Die Hypothese einer interpezifischen Kompetition wird erwogen.

Die Resultate der vertikalen Verteilung führen zum Schluss, dass *E. spinifera* vor allem die oberflächlichen Gewässer bevorzugt, während sich *E. nordmanni* bei deren Erwärmung in tiefere Schichten zurückzieht. *E. tergestina* scheint die dichtbesiedelten *E. spinifera*-Zonen zu meiden.

Die Temperatur erscheint somit als ein wichtiger ökologischer Faktor, ebenso das Licht, aber andere Faktoren, wie etwa die Wasserbewegung können die Verteilung dieser Populationen beeinflussen.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- JACQUES, G., C. RAZOULS et A. THIRIOT, 1968. Données météorologiques et hydrologiques de la région de Banyuls-sur-Mer, année 1966-1967. *Vie Milieu*, **XIX**, 1-B : 185-195.
- RAZOULS, C. et A. THIRIOT, 1968. Mise en évidence des variations d'échantillonnage des prélèvements verticaux (flet Hensen). *Ibid.* : 197-223.
- THIRIOT, A., 1966. Composition et variations des populations de Crustacés planctoniques (à l'exception des Copépodes), mai 1965 - août 1966. *Rapp. P. V. Réun. Commn. int. Explor. scient. Mer Méditerr.* (sous presse).

Reçu le 17 avril 1968.

RÉVOLUTION DANS LES SCIENCES DE LA TERRE

par J. Tuzo WILSON

Erindale College, University of Toronto, Ontario, Canada

AVANT-PROPOS

Il y a depuis deux ans chez les géologues et géophysiciens marins un bouillonnement d'idées incroyable au milieu duquel a pris forme un modèle d'évolution tectonique des océans et du globe dans son ensemble, modèle qui a permis de faire des prédictions précises dont certaines ont déjà été vérifiées et d'autres sont en cours de vérification. Cette effervescence intellectuelle a jusqu'ici surtout eu son siège dans les pays de langue anglaise, et principalement aux Etats-Unis. Les chercheurs français n'y ont participé qu'indirectement, limités qu'ils étaient par la modicité des moyens lourds dont ils disposent pour la recherche profonde.

Il nous a donc paru important de faire connaître sur cette véritable « révolution dans la science de la terre » les idées d'un des chercheurs à la pointe de cette recherche, l'auteur de la théorie des failles de transformation, le Professeur WILSON. Celui-ci a bien voulu nous laisser publier la traduction française de deux textes inédits. Le Professeur WILSON analyse la nature de cette révolution scientifique et en examine les conséquences géologiques sur l'évolution des continents. Il s'agit là non seulement d'une contribution originale et d'une synthèse audacieuse des dernières découvertes, mais encore d'une source de références très précieuses. Nous espérons que leur lecture amènera les chercheurs encore peu au fait de ces découvertes à réaliser leur importance.

Il est bien satisfaisant, pour nous océanographes, de penser que c'est de l'océanographie que sont venus en fin de compte les éléments nécessaires à l'élaboration d'un schéma d'ensemble, cohérent, d'évolution du globe terrestre. Ceci devrait nous amener à accentuer encore plus l'importance que prend le programme d'océanographie profonde dans le programme général de la Science de la Terre en France.

Je tiens à remercier le Professeur WILSON pour la permission de publier ces articles et H. LE PICHON pour le travail de traduction souvent difficile qu'elle a su mener à bien.

Xavier LE PICHON.

INTRODUCTION

La publication récente de plusieurs travaux importants a conduit à l'acceptation rapide et générale de la révolution la plus importante dans la science de la terre depuis un siècle. Il semble que nous sachions enfin comment la terre solide se comporte. La croûte est mobile, la dérive des continents existe, et il sera possible de déterminer exactement les mouvements passés des continents au fur et à mesure que les levés magnétiques océaniques progresseront. Bien sûr, il y a des sceptiques, mais la plupart d'entre eux ne sont pas au courant des dernières découvertes.

Pour comprendre comment on fit ces découvertes et pourquoi on les accueille aussi favorablement, il est nécessaire de considérer l'histoire de la science de la terre. Comme dans toute autre science, le progrès s'accomplit en quatre stades. Ce sont la collecte des données, la déduction des lois ou principes, la prévision des conclusions et la vérification de ces prévisions.

Malheureusement pour le développement de la science de la terre, ce que nous savons de la terre est si complexe que la découverte des principes a été beaucoup plus lente que pour des corps plus simples tels que les atomes ou les étoiles. Les géologues et les géophysiciens en sont encore au stade de la collecte des données, sans être capables de les interpréter de manière complète. Si l'on excepte quelques aspects mineurs, les théories géologiques ont été jusqu'ici vagues et incertaines et les théories géophysiques grossièrement simplifiées. On ne savait pas comment la terre se comporte.

La profondeur de notre ignorance et la faiblesse de nos théories sont bien mises en évidence par notre incapacité à arriver à un accord, après un siècle de controverse, sur la dérive des continents. Comment peut-on affirmer quoi que ce soit de précis sur la formation des montagnes, ou des structures riches en pétrole, ou sur l'origine des roches ignées ou la croissance des gîtes de minéraux si cette question fondamentale n'est pas résolue ?

Le changement nouveau et soudain d'opinion vient de ce que VINE et MATHEWS, géologues au Département de géophysique de l'Université de Cambridge et simultanément MORLEY et LARABELLE, géophysiciens au Service géologique du Canada, ont suggéré que les océans croissaient tout en étant marqués par des lignes de croissance dues aux inversions du champ magnétique terrestre.

On accepte maintenant cette hypothèse parce qu'on a démontré récemment l'identité sur toute la surface du globe de trois séries proportionnelles entre elles. On l'accepte d'autant plus facilement que les géologues et les géophysiciens cherchaient une nouvelle approche à l'étude de la terre. Ces séries proportionnelles sont l'échelle des temps des inversions du champ magnétique terrestre, l'échelle des distances des largeurs des anomalies magnétiques sur le fond des océans et l'échelle des profondeurs des inversions dans le magnétisme rémanent des carottes de sédiments marins.

Il apparaît maintenant que le fond des océans se renouvelle continuellement et que l'histoire du mouvement des continents est imprimée magnétiquement dans la croûte neuve ainsi formée. On peut donc la déchiffrer à l'aide de magnétomètres aussi facilement qu'on interprète les anneaux de croissance sur les souches d'arbres.

Ce qui était impensable il y a seulement trois ans est maintenant accepté sans opposition sérieuse. Le Professeur R.F. FLINT de Yale m'a annoncé qu'il allait réécrire ses manuels de géologie immédiatement. Il semble qu'il faille réexaminer dans son ensemble le programme des sciences de la terre et qu'un changement est en cours semblable à celui qui prit place quand la physique moderne remplaça la physique classique dans l'enseignement universitaire. Il nous faut étudier la terre comme un tout, comme un système unique. L'étude de quelques-unes des méthodes les moins efficaces devra faire place aux méthodes plus efficaces d'investigation de la terre.

La tendance principale dans les levés géologiques est déjà en cours de changement, mais on peut s'attendre à ce que ces découvertes accélèrent ce changement en l'orientant vers des méthodes et des idées plus puissantes.

Les conséquences concernant la prospection pétrolière seront sans doute maximales sur le plateau continental (off shore). Si les océans et les plateaux continentaux sont de formation récente, leurs structures ne sont évidemment pas les mêmes que s'ils ont peu changé durant les temps géologiques.

Il est facile de voir quelques-unes des conséquences concernant la prospection minière; par exemple, dans l'interprétation des corps ultrabasiques et des dépôts minéraux associés sur les îles océaniques. Toutefois, il y a une conséquence beaucoup plus importante qui est qu'il est probable que nous aurons bientôt une meilleure compréhension du comportement et de la structure des continents et du phénomène d'accumulation des roches et des minéraux.

I. — NATURE DE LA RÉVOLUTION SCIENTIFIQUE

Pendant plus de cinquante années, les chercheurs, spécialistes des sciences de la terre, se sont demandés si les continents dérivaien et ont discuté ensemble la question de la permanence des bassins océaniques. Cette controverse [1, 2, 3, 4], qui fut longue et chaude, pose plusieurs questions. Pourquoi faut-il tant de temps pour résoudre ce problème ? N'y a-t-il pas quelque expérience définitive qui pourrait résoudre le problème ? Pourquoi ce sujet suscite-t-il de si fortes passions ?

Cet article étudie ces problèmes et en tire la conclusion suivante : WEGENER a ouvert un sujet de discussion plus important qu'il ne l'avait réalisé. Il semble que pour arriver à une solution, nous ayons besoin d'une véritable révolution scientifique dans notre façon de penser. Celle-ci doit prendre la forme d'un changement dans nos doctrines et

d'une conversion dans nos croyances en l'aspect le plus fondamental du comportement de la terre. Commençons par examiner l'état présent des sciences de la terre. C'est l'évidence même : les géologues n'en sont pas satisfaits. Nous discuterons quelques-unes des causes de leur insatisfaction.

POURQUOI LA GÉOLOGIE S'EST-ELLE RÉTRÉCIE ?

Certains se demandent pourquoi il est devenu nécessaire d'inventer des termes ou expressions aussi peu satisfaisants que « la science de la terre » (geoscience) ou « les chercheurs spécialistes de la terre » (earth scientists), alors, qu'il y a un siècle, les mots « géologie » et « géologue » suffisaient. Ceci est dû en partie à ce que le champ de la géologie s'est restreint. Lorsque LYELL [6] traitait des changements de niveau relatifs de la terre et de la mer, des tremblements de terre, de la chaleur terrestre, il faisait autorité en ces matières. Aujourd'hui, les experts en ces matières sont les géodésistes et les géophysiciens et il est peu d'entre eux qui aient eu une formation solide en géologie. Ceci est dû en partie au fait qu'on a découvert de nouvelles méthodes d'étude de la terre, qui ne font pas partie des études géologiques classiques. La réalisation de cartes gravimétriques et magnétiques détaillées de la terre, la détermination isotopique des âges des roches, les méthodes géophysiques de prospection et l'étude du paléomagnétisme sont des sujets que connaissent quelques géologues mais qui sont plus souvent étudiés par les physiciens, et fréquemment dans des sections séparées de celle des géologues.

POURQUOI L'ÉTUDE DE LA TERRE EST-ELLE SI FRAGMENTÉE ?

Cela fait longtemps que l'étude de la terre est divisée en une série de sciences séparées, dont chacune est valable, mais qui ont peu de rapports entre elles. On dit souvent que la première étude scientifique d'une région quelconque de la terre a commencé au XVI^e siècle par les contributions apportées par AGRICOLA à la minéralogie. Les manuels continuent ordinairement l'histoire de la géologie en décrivant la controverse qui eut lieu au XVIII^e siècle entre les « neptunistes » et les « plutonistes » et qui amena le rejet des croyances dans les cataclysmes et le « catastrophisme » et l'établissement des idées modernes par HUTTON, SMITH et LYELL.

Les textes de géologie ne mentionnent ni la démonstration en 1600 de la nature dipolaire du champ magnétique de la terre par William GILBERT, ni la publication des cartes géomagnétiques de

HALLEY, ni non plus la découverte par NEWTON de la théorie de la gravitation et tout ceci pendant le XVI^e siècle [6, 7]. C'étaient pourtant de solides contributions à la science de la terre qui ont précédé la géologie moderne.

Dès le début, la partie forte de la géologie a été l'observation, et non la théorie; au contraire, pendant plus de trois siècles, les géophysiciens ont eu des théories précises sur le géomagnétisme et la gravité, mais, jusqu'à ces trois ou quatre dernières décades, les instruments étaient trop inadéquats et ne permettaient pas de faire des observations rapides et faciles. Jusqu'à ce qu'on les ait améliorés, il était impossible de rattacher la géophysique à la géologie.

Ces sujets sont restés séparés, ont été étudiés par des hommes différents et enseignés à des étudiants différents. L'histoire de ce développement indépendant a eu pour résultat qu'on a souvent étudié et enseigné dans des départements différents des sujets aussi étroitement apparentés que la séismologie et la géotectonique, ou encore la stratigraphie, les déterminations de l'âge isotopique et le paléomagnétisme alors qu'on a toujours traditionnellement enseigné ensemble des sujets ayant aussi peu de rapports entre eux que la minéralogie et la paléontologie.

La géologie se trouve encore divisée pour une autre raison. On fait fort peu de cours sur la géologie à l'échelle mondiale. En général, on traite le sujet comme une série d'études régionales séparées. Nous reviendrons sur ce sujet, mais il en a été assez dit pour montrer que la science de la terre a toujours été fragmentée. Ce qui nous amène à poser une question sacrilège.

Y A-T-IL RÉELLEMENT UNE SCIENCE DE LA TERRE ?

Ou bien y a-t-il seulement une série de sciences des minéraux, des roches, des fossiles, des tremblements de terre, du géomagnétisme et d'autres aspects particuliers de la terre, lesquelles ne sont pas bien intégrées les unes aux autres ? La seule réponse honnête, je crois, est qu'il n'y a pas de véritable science de la terre considérée comme un tout, parce que l'ensemble de ces sciences subsidiaires n'en constitue pas une seule. Le propre d'une science est de permettre de faire des prévisions. L'absence d'une science effective de la terre a été démontrée par la découverte récente et inattendue du système des dorsales médio-océaniques. Jusqu'à il y a douze ans, personne n'avait prévu l'existence de la structure active la plus importante à la surface de la terre. Il y a dix ans, lorsqu'on établit sa continuité sur plus de 60 000 kilomètres, la doctrine classique des continents fixes n'était pas à même d'expliquer sa nature [8-9].

Je suggère l'analogie suivante : si les médecins, après plusieurs centaines d'années de pratique n'avaient pas réussi à découvrir la circulation du sang, on dirait à juste titre que la physiologie n'est guère avancée. Peu importerait à quel point des sciences aussi valables que la dentisterie, la dermatologie et l'anthropologie physique se seraient développées, leur progrès ne changerait pas l'affirmation fondamentale suivant laquelle la médecine dans son ensemble n'est pas bien comprise. Bien que de nombreuses sciences subsidiaires telles que la minéralogie, la chimie des silicates ou le géomagnétisme soient en fort bon état et continuent à se développer, je pense que la science de la terre dans son ensemble n'est pas bien développée. Le fait de n'avoir pu trouver un principe unificateur pour la terre devrait être l'objet du principal souci de tous les chercheurs spécialistes de la terre.

POURQUOI LA GÉOLOGIE A-T-ELLE VU BAISSER SON PRESTIGE ?

En dépit du fait que la géologie a régulièrement accru son potentiel de connaissances et de valeur absolues, il n'en est pas moins vrai qu'elle a baissé quant à son importance et à son prestige. Au Canada, il y a cent ans, les deux chercheurs principaux étaient tous deux des géologues. Sir William LOGAN était un haut fonctionnaire et Sir William DAWSON fut pendant trente ans doyen de l'Université Mc-Gill, alors la plus importante du pays. Ces deux savants et d'autres géologues exploraient activement le pays, fondaient la Société Royale du Canada et encourageaient d'autres projets importants. Aux Etats-Unis, régnait la même situation et en Europe les géologues étaient tenus en haute estime; des noms tels que ceux de LYELL, SEDWICK, HURCHISON, GEIKIE, HEIN, ARGAND et SUSS en sont la preuve. Personne ne peut dire qu'à notre époque les géologues ou les savants chercheurs de la terre occupent une situation aussi éminente que la leur.

Ce déclin relatif est dû en partie à la compétition de nouvelles sciences d'un éclat prestigieux, mais si c'était l'unique explication, pourquoi d'autres sciences anciennes, telle que l'astronomie par exemple, ont-elles pu maintenir leur vie et leur prestige ?

Certains attribuent ce déclin relatif à une publicité de mauvaise qualité et pensent que le public n'a pas su apprécier les contributions de la géologie. Toutefois il est vraisemblable qu'il y a là un symptôme plutôt qu'une cause. Peut-être la triste vérité est-elle que, pendant le siècle qui a suivi la publication par DARWIN de l'« Origine des Espèces », les géologues et les géophysiciens se sont contentés d'amasser les données ? Des données valables certes, mais peu de choses qui puissent exciter un intérêt général ou amener à une

compréhension profonde de la terre. Il faut faire une exception pour les propositions de WEGENER sur la dérive des continents [10]. Cette dérive a toujours intéressé le public, mais, jusqu'à une époque récente, pas les experts.

LE DÉCLIN EN GÉOLOGIE EST-IL DU AU FAIT D'AVOIR NÉGLIGÉ LES MATHÉMATIQUES, LA PHYSIOLOGIE ET LA CHIMIE ?

Aujourd'hui, un groupe important maintient que cette négligence est à l'origine des problèmes de la géologie. Ils font des efforts vigoureux et admirables pour introduire les techniques de la chimie moderne, les instruments de physique et les ordinateurs dans les différentes sections de la géologie. Je n'aurais pas passé ces vingt dernières années en qualité de géologue dans un département de physique sans avoir foi en la valeur finale d'une telle formation, mais je ne crois pas que l'absence de cette formation puisse vraiment fournir une explication complète du déclin de la science de la terre. Il n'a jamais manqué, pour étudier la terre, de mathématiciens, de physiciens ou de chimistes qualifiés. COPERNIC, WILLIAM GILBERT, NEWTON, HALLEY, GAUSS, HELVIN, GOLDSCHMIDT, GUTENBERG et BOWEN, pour ne mentionner que quelques grands noms du passé, ont tous porté beaucoup d'attention à la terre, mais aucun d'entre eux n'a fourni une théorie unificatrice de son comportement.

Les difficultés pour appliquer des méthodes précises à l'étude de la terre se présentent sous deux formes, qui toutes deux proviennent d'une seule cause. C'est que les limitations de l'intelligence et de l'ingéniosité de l'homme sont telles que des résultats précis n'ont été obtenus que pour des systèmes simples. La terre, en elle-même, est loin d'être simple. Un travail précis ne peut donc être fait que, soit sur de petits morceaux isolés de la terre (c'est ce que font la plupart des géologues), soit sur des modèles très simplifiés de terre entière (c'est ce qu'essaient de faire la plupart des physiciens).

Le regretté M. A. PEACOCK me décrivit très bien le premier point de vue. Il me dit qu'il avait cessé d'étudier la géomorphologie de grandes régions [11] parce qu'il ne pouvait obtenir de résultats précis; il s'était alors tourné vers l'identification des minéraux par les rayons X, identification fort précise. Il se rendait bien compte qu'il avait abandonné l'étude de la terre en faveur de l'étude de certains cristaux, mais il préférerait une étude exacte bien que limitée. Malheureusement, bien d'autres savants chercheurs, qui agissent pareillement, s'imaginent encore qu'ils étudient la géologie au sens large du terme. Ce n'est tout simplement pas exact si la géo-

logie est la science de l'étude de la terre. L'examen d'une série quelconque de résumés d'articles géologiques révélera que les études détaillées sont devenues le refuge des géologues. Chaque étude est peut-être admirable en elle-même, mais certains des sujets, même poursuivis pendant des siècles, feraient peu pour nous faire comprendre la terre. C'est là pourtant le but fondamental de la géologie.

Le second point de vue est l'erreur commune des physiciens. L'un d'entre eux peut avoir découvert les propriétés d'environ quatre ou cinq composés siliceux, un autre sait comment résoudre des problèmes d'harmoniques sphériques ou d'équations linéaires différentielles ou comment la chaleur se propage par conduction ou convection des systèmes simples.

Ces hommes sont donc tentés d'affirmer que la terre se comporte à peu près suivant leurs différents modèles, et sont amenés à en tirer des conclusions. Les résultats semblent si précis qu'on a tendance à en accepter les conclusions trop naïvement; les techniques en sont si impressionnantes que bien des géologues en ont éprouvé un complexe d'infériorité.

L'introduction de ces nouvelles techniques fut une chose splendide, mais il est important de ne pas oublier que les modèles théoriques ou de laboratoire sont des simplifications grossières de la terre réelle, reposant ordinairement sur des hypothèses douteuses; il ne faut pas oublier non plus que quelques-unes de ces techniques peuvent apporter plus à l'étude de la terre que certaines autres. Il faudrait accorder autant de réflexion aux méthodes d'étude qu'on en consacre à améliorer aveuglément des techniques traditionnelles.

Je crois qu'il existe une grande confusion à propos de l'expression : « science fondamentale » du fait qu'on ne fait pas la distinction entre ces deux significations. Dans un sens, on l'emploie pour les mathématiques, la physique ou la chimie; dans un autre, on l'utilise pour une approche fondamentale qui va au fond des problèmes; et les deux sens ne sont en aucune façon synonymes. Dans le premier sens, la physique est considérée comme une science plus fondamentale que la géologie, parce que la physique traite de l'énergie, de la matière, des atomes et des fermions qui constituent tout l'univers physique, y compris la terre, tandis que la géologie ne traite que de la surface d'une planète. La physique peut souvent être utile dans l'étude de la géologie. Dans le second sens, une science est fondamentale si elle atteint la racine d'un problème et en permet une plus profonde compréhension. Dans ce sens, je ne crois pas du tout que l'application d'une technique, simplement parce que c'est de la bonne physique, soit nécessairement fondamentale.

Se servir d'un microscope électronique pour étudier une roche est une application d'une science fondamentale dans le premier sens, parce qu'on se sert de la physique et ce peut être de la bonne pétrologie, mais si l'étude particulière ne jette pas de lumière sur le comportement de la terre, ce n'est pas de la géologie fondamentale dans le second sens.

Je ne dis pas cela pour décourager de nouvelles techniques ou déprécier des investigations détaillées, je le dis pour clarifier la pensée et mettre l'accent sur le fait que la science de la terre ne manque pas tellement de techniques élégantes, mais plutôt d'idées unificatrices, bien que toutes deux soient nécessaires.

Heureusement, de nombreux articles récents, en particulier sur les bassins océaniques, montrent que ceci est maintenant reconnu.

LA SCIENCE DE LA TERRE EST-ELLE MÛRE POUR UNE RÉVOLUTION SCIENTIFIQUE ?

Tandis que je réfléchissais à ces problèmes, j'ai eu la chance de lire le livre de T. S. KUHN « Structure des révolutions scientifiques » [12]. La thèse de KUHN est que le cadre dans lequel on regarde un problème en science est peut-être tout aussi important que les techniques que l'on emploie. Par exemple, les astronomes du temps de PTOLÉMÉE firent beaucoup de progrès. Leurs télescopes leur permirent de suivre les planètes avec précision. Ils purent prédire les éclipses et les mouvements des planètes. Le fait de prédire des éclipses impliquait l'utilisation des mouvements épicycliques qui sont plus difficiles à comprendre et à utiliser dans des calculs que les mouvements elliptiques de l'astronomie de COPERNIC. Leur progrès fut arrêté par une croyance religieuse : l'homme et la terre se trouvent au centre de l'univers.

La contribution de COPERNIC fut de suggérer un changement de doctrine et d'indiquer une meilleure façon de considérer le système solaire. Il n'inventa pas de nouveaux instruments, n'améliora pas la théorie mathématique et ne changea pas non plus les observations astronomiques qui s'étaient accumulées pendant des siècles. Ces choses là avaient été suffisamment bonnes pour donner à CERISTARQUE l'idée d'un système solaire héliocentrique 2 000 ans auparavant. Ce que COPERNIC fit, fut de remplacer une croyance qui avait empêché le progrès par une nouvelle doctrine qui pouvait expliquer une plus grande variété d'observations et cependant y faire entrer les anciennes. Ceci amena un grand pas en avant dans la science.

KUHN donne d'autres exemples. Il insiste sur tout ce qui fut accompli grâce à des doctrines considérées maintenant comme

inadéquates dans la chimie phlogistique, la thermodynamique calorifique, la physique classique, mais il montre que dans tous les cas la doctrine, le cadre de référence, auquel il donne le nom de « paradigme » se trouve avoir été le principal obstacle au progrès. Pour avancer, il fallait changer la doctrine précédente en un nouveau paradigme grâce à une révolution scientifique. Les chercheurs devaient se libérer d'une fausse hypothèse dont ils s'étaient encombrés dogmatiquement et sans nécessité. Est-ce là le problème de la science de la terre ? Sommes-nous handicapés par un paradigme faux et démodé ? La science de la terre est-elle mûre pour une révolution ? Je le crois.

QUELLE A ÉTÉ LA DOCTRINE CLASSIQUE OU PARADIGME ?

La dernière révolution scientifique importante dans les sciences de la terre fut, sans aucun doute, marquée par la publication en 1830 des « Principes de Géologie » de LYELL.

Avant cette révolution, les géologues croyaient que toutes les roches (aussi bien les roches ignées que les roches sédimentaires) avaient été précipitées à la suite d'un déluge unique et que les irrégularités étaient la conséquence de cataclysmes. Ces idées avaient aussi une base religieuse. LYELL résuma les apports de nombreux chercheurs quand il déclara que la terre avait évolué lentement par l'opération de phénomènes que nous voyons à l'œuvre aujourd'hui et non pas à la suite de quelques brèves catastrophes.

Comme cela se produit après chaque révolution scientifique, la géologie, en 1830, était dans un état d'effervescence avec la perspective d'un avenir prometteur. On utilisait de nombreuses techniques déjà bien établies pour l'application et l'amélioration de l'étude des roches, des minéraux, des strates et des formes du terrain. Il y avait une doctrine nouvelle et bien définie que bientôt tout le monde accepta. On avait déterminé les méthodes pour dresser les cartes géologiques de toute espèce de régions. La seule chose qui semblât nécessaire pour comprendre l'histoire de la terre, c'était la large application de ces méthodes et de ces idées.

Les services géologiques et les laboratoires universitaires se joignirent bientôt dans cette tâche à des amateurs enthousiastes et ont continué ce travail jusqu'à maintenant. Nous avons appris beaucoup de choses sur les minéraux, les roches, les fossiles, la nature du terrain, ainsi que sur le géomagnétisme, la sismologie et la géochimie. Nous avons aussi des cartes géologiques de tous les pays. Mais où sont l'histoire et la science de la terre que nous attendions ? SUSS, vers 1890, essaya d'en écrire un récit complet. Quelques efforts plus limités et plus spécialisés ont aussi été faits

[13, 14, 15, 16]. Alors que j'étais étudiant, on m'a dit, il m'en souvient encore, que la géologie était un sujet si immense et si difficile, que personne d'autre que SUESS n'avait pu en dominer suffisamment les détails pour écrire une telle œuvre. Cette affirmation m'a toujours rendu perplexe, car elle donne à entendre que la géologie est un sujet plus complexe que l'histoire de l'homme, l'économie, la géographie ou la linguistique, qui ne sont que quelques-uns des sujets traités avec succès à l'échelle mondiale. De même il est étrange qu'alors que des livres sur la géologie de la plupart des continents existent déjà, personne ne semble capable de les synthétiser en un seul ouvrage.

Je ne crois pas que la géologie soit plus complexe, mais je pense qu'elle a moins bien réussi. La raison en est, me semble-t-il, qu'elle a toujours manqué du cadre satisfaisant sur lequel on puisse construire. Dans des sujets limités et sur de petites régions, la géologie a fait de grands progrès. Les géophysiciens et les géochimistes en ont fait également. Mais il y a toujours eu des difficultés lorsque plusieurs sujets ou différentes régions sont comparés.

Après avoir lu KUHN, il devient évident que ce qui est faux, c'est probablement la doctrine, le paradigme. LYELL et tous les manuels classiques depuis son temps, ont enseigné que la terre est quasi-statique avec des continents et des bassins océaniques fixes. Quelques chercheurs ont soulevé des objections tel WEGENER, qui proposa une dérive récente des continents commençant pendant l'Ere mésozoïque [10] ou encore BARRELL [17] et SCHUCHERT [18] avec les terres limitrophes disparues et WILLIS qui proposait des jonctions par isthmes, mais ces manières de voir n'ont jamais été largement acceptées.

Il est important de rappeler que lorsque LYELL établit sa doctrine classique, il se libérait des idées religieuses de déluge et de cataclysmes en adoptant l'opinion que la terre était presque statique. C'était une façon de voir très logique à cause de la croyance naturelle de l'homme en la « terra firma ». En 1830, personne n'avait encore sérieusement soulevé le problème de la dérive des continents sur une terre mobile.

On pourrait aller jusqu'à suggérer que COPERNIC n'avait fait que la moitié du travail nécessaire pour libérer l'homme de croyances primitives très anciennes. Comme le dit DAMPIER, « l'ancienne façon de voir avait pour elle l'opinion communément ressentie que la terre était une base solide et immuable vers laquelle tout tombait. Il y avait aussi l'autorité d'ARISTOTE. L'homme supposait une terre en repos sous ses pieds » [20]. COPERNIC libéra les esprits des hommes en leur faisant réaliser que la terre n'était pas fixe, mais pouvait se mouvoir dans l'espace. Devons-nous suivre maintenant WEGENER et faire un pas en avant en nous rendant

compte que notre doctrine des continents fixes est un héritage du passé dépourvu de preuves et inutile ? Ne serait-il pas plus logique de se faire à l'idée que l'intérieur de la terre n'a pas besoin non plus d'être immobile ?

Un nouveau paradigme est-il possible ? Et si la terre était vraiment mobile, et si les bassins océaniques s'étaient ouverts et refermés à plusieurs reprises, et si les continents s'étaient déplacés lentement ? Notre doctrine serait fautive alors. Est-ce une fautive croyance qui a gêné le progrès ? Est-ce la raison pour laquelle la science de la terre est fragmentée ? Serait-ce pour cela que la géologie n'a pas répondu à ce qu'on en attendait ? Est-ce pour cette raison que les études à grande échelle sont négligées en faveur d'études détaillées ? Si nous avons cru en un paradigme erroné et considéré la terre comme il ne fallait pas le faire, nous nous sommes imposé un blocage mental de notre propre création et nous ne pourrions faire de progrès tant que nous ne l'aurons pas abandonné et remplacé par un paradigme neuf.

Dans la doctrine classique, la terre est essentiellement statique. Le changement évident est de considérer une forme de terre mobile.

Et voici à ce sujet une bonne analogie. Si ceux qui étudient les tourbillons d'eau avaient eu depuis longtemps une doctrine bien arrêtée qui les empêchât de croire que l'eau bougeait dans ces tourbillons, ils ne pourraient alors comprendre la nature réelle des tourbillons d'eau. Peu importe, le soin qu'ils prendraient pour dessiner la forme des tourbillons, pour analyser la pureté de l'eau, faire des études précises de sa viscosité, de sa constance diélectrique ou autres propriétés physiques ; ces mesures ne résoudre jamais le problème des tourbillons d'eau jusqu'à ce qu'on changeât la doctrine. Mais la prise de conscience par les chercheurs du mouvement de l'eau leur permettrait immédiatement de se rendre compte de la nature et du comportement des tourbillons d'eau.

J'irai jusqu'à suggérer que le principal obstacle au progrès dans la science de la terre fut la doctrine d'une terre essentiellement statique. Se rendre compte que la terre est mobile, voilà le nouveau paradigme nécessaire.

Les sceptiques diront qu'il n'y a rien de nouveau, que l'idée d'une dérive des continents a été discutée depuis plus d'un siècle. Ils font remarquer que l'idée de WEGENER d'après laquelle la dérive commença à l'ère Mésozoïque, n'a jamais été prouvée et encore moins cette proposition d'après laquelle cette dérive s'est répétée durant le temps géologique tout entier [21, 22, 23]. Ils ignorent les preuves venant du paléomagnétisme, et exigent d'autres preuves avant de croire à la dérive. On exige, en général, une mesure précise de la vitesse avec laquelle deux continents se séparent. Il est vrai-

semblable que ces mesures seront bientôt faites, mais la démonstration du mouvement ne prouvera pas la dérive des continents. Si on est amené à observer que l'Europe et l'Amérique du Nord s'éloignent l'une de l'autre de, disons, 30 cm en 10 ans, ceci ne prouvera pas qu'elles se sont éloignées de 3 000 km en 100 000 000 d'années. C'est une extrapolation beaucoup trop grande, et il se pourrait que les continents oscillent simplement sur des positions fixes moyennes. S'il était prouvé que des paires de continents ne sont pas en déplacement relatif, cela n'aiderait pas la théorie de la dérive, mais ne le contredirait pas entièrement non plus. Nous ne pouvons pas revivre le passé. Il n'y a pas d'expérience définitive qui puisse prouver, ou bien que les bassins océaniques ont été essentiellement immobiles dans un lointain passé, ou bien qu'ils se sont ouverts et fermés.

Tout ce qu'on peut faire, c'est examiner le corps entier des données géologiques, géophysiques et géochimiques en admettant le principe d'une terre statique et puis celui d'une terre mobile et de décider quelle manière de considérer la terre fournit la meilleure interprétation de toutes les données.

KUHN déclare catégoriquement que ceci entraîne un degré d'arbitraire qui est absent du processus scientifique normal et quotidien et qui semble en vérité peu scientifique. Il écrit que plus les historiens de la science étudient soigneusement par exemple, la dynamique aristotélicienne, la chimie phlogistique ou la thermodynamique calorique, plus ils sont certains que ces vues de la nature communément admises n'étaient en général pas moins scientifiques que celles admises aujourd'hui, et ne dépendaient pas plus de l'idiosyncrasie de l'homme... Il y a toujours un élément apparemment arbitraire dû à des incidences personnelles et historiques, dans les croyances adoptées par une communauté scientifique donnée à un moment donné... Néanmoins, tant que ces croyances gardent un élément d'arbitraire, la nature même de la recherche normale est une garantie que des innovations ne tarderont pas à se faire jour. Parfois, un problème normal, un de ceux que l'on devrait résoudre suivant des règles et des procédés connus, résiste à l'assaut réitéré des plus doués... et, d'une manière ou d'une autre, la science normale commence alors à s'enliser. Et quand cela arrive... on commence des investigations extraordinaires qui conduisent enfin la profession à une nouvelle série de croyances, à une nouvelle base pour la pratique de la science. Les épisodes extraordinaires... sont ceux que l'on nomme révolutions scientifiques.

Il semble que, tant que les géologues ont borné leurs études à la surface des continents, ils se trouvaient dans la position de marins qui examinent en grand détail les ponts des bateaux. Dans

ces deux cas, ni les géologues, ni les marins ne peuvent espérer découvrir grand chose sur les mouvements des continents ou des navires. C'est la venue de la géologie marine, le premier vrai regard jeté par dessus bord qui produisit une richesse de nouvelles données incompatibles avec la vieille croyance en une terre presque immobile. Les fonds océaniques semblent en mouvement et pourtant, si l'on adopte les nouvelles idées de VINE et de MATTHEWS [26, 27], d'HEIRTZLER [28] et de LE PICHON [29], la somme des changements dans la plupart des anciennes idées n'est pas énorme. La surface de la terre n'est pas plastique. En grande partie et la plupart du temps, elle consiste de grandes plaques rigides. C'est aux étroites ceintures montagneuses et aux dorsales médio-océaniques que se trouve confinée cette mobilité. C'est cette rigidité des grandes plaques et l'absence de mouvements à l'intérieur de la plupart des continents qui semblaient si opposées au concept d'une terre mobile et qui ont longtemps empêché d'accepter les idées sur la dérive des continents. Aujourd'hui, les théories de renouvellement des fonds océaniques (ocean floor spreading) sont si bien définies que les taux de croissance le long des dorsales médio-océaniques peuvent être utilisées pour calculer les taux et directions de compression dans les chaînes de montagne [29]. Les faits qui témoignent en faveur de cette mobilité et les conséquences qui en découlent sont examinés ailleurs [5, 30, 31]. En contraste avec ces explications précises que permet la mobilité, l'idée d'une terre statique laisse sans aucune explication bien des observations modernes.

KUHN conclut en proposant que tout nouveau paradigme ou toute nouvelle doctrine « doit paraître résoudre un problème non encore résolu mais reconnu par tous, ce problème ne pouvant être abordé d'aucune autre façon. En second lieu, le nouveau paradigme doit préserver une part relativement importante des possibilités concrètes de résolution des problèmes, possibilités que la science a vu croître avec les précédents paradigmes ». Le fait d'accepter la dérive semble remplir cette condition, car cela ne voudra pas dire que l'on abandonnera grand chose, mais qu'on libèrera des idées et qu'on ouvrira tout entier le vaste sujet sur la façon de récrire la géologie historique.

Une grande similitude existe entre la révolution de COPERNIC et ce que nous pouvons appeler celle de WEGENER. Ces deux hommes ont été des précurseurs qui avaient déjà mis en avant des vues similaires, mais tous deux ont gagné et mérité leur renom parce qu'ils ont exposé leurs idées clairement et d'une façon si opportune qu'ils furent les premiers à avoir une large audience. Durant leur vie, aucun de ces deux hommes ne fut pris au sérieux. On considéra que chacun d'entre eux avait avancé des idées curieuses, mais elles attiraient l'attention pour leur nouveauté et on ne les

considérerait pas comme des doctrines à suivre. Tous deux furent assez heureux pour que, quelque cinquante ou soixante ans plus tard, leurs idées fussent fortement appuyées par de nouvelles découvertes. Ce fut l'invention du télescope et l'emploi qu'en fit GALILÉE pour observer les satellites de Jupiter, les phases de Vénus et autres détails du système solaire qui amena le rejet de l'Astronomie de PTOLÉMÉE et l'acceptation de celle de COPERNIC. De même, avec WEGENER, ce sont la découverte du renouvellement des fonds et la détermination de sa vitesse et de l'histoire récente par l'étude des anomalies magnétiques qui ont convaincu bien des gens, que WEGENER avait raison [8, 26, 32].

Les deux révolutions ont un autre point commun. Ce sont les deux moitiés de l'effort de l'homme pour se libérer de l'idée primitive que la terre est le centre fixe de l'univers. Pour les premiers observateurs, la position centrale et l'importance de la terre semblaient évidentes et naturelles. Réaliser que la terre stable n'était qu'une planète se déplaçant dans l'espace nécessita un grand effort de science et d'imagination.

Aujourd'hui, il faut de même faire violence à son esprit pour admettre que cette planète n'est pas rigide, mais qu'elle a aussi des mouvements internes.

Lorsqu'on jette un regard en arrière, ce qui semble remarquable, est la ténacité avec laquelle nous avons presque tous résisté si longtemps aux idées de WEGENER. Nous savions tous que les lois des dimensions déterminent que de grands corps sont relativement peu résistants. Nous savions tous que l'intérieur de la terre est à une très haute température. Pourquoi aurions-nous supposé pendant si longtemps qu'un tel corps serait forcément rigide ? Ceci n'était-il pas le triomphe d'une technique superficielle d'observation et d'une doctrine archaïque sur le raisonnement scientifique élémentaire et le sens commun.

Il apparaît clairement maintenant que c'était la nature de cette mobilité qui a servi à la si bien cacher. La surface agit comme une mosaïque de plaques comme l'affirment depuis longtemps les géologues en Afrique [24, 33, 34, 35, 36]. Chaque continent est très stable. Les ceintures montagneuses ne le sont pas mais l'interprétation correcte nous a échappé jusqu'à ce qu'on eût découvert et expliqué les dorsales médio-océaniques.

Aujourd'hui, nous devons accepter une certaine forme de dérive des continents. Le concept d'une terre rigide et l'idée d'une terre qui peut céder sont tous deux des hypothèses, mais la seconde théorie peut expliquer presque tout ce que la première a pu faire et en outre bien plus encore. Celui qui continue à penser que la terre est toujours rigide, accepte une explication défectueuse, alors

qu'existe une alternative bien meilleure. Le problème, et c'est une perspective immense et passionnante, c'est d'étudier le détail de la nouvelle théorie. Adapter les données déjà accumulées et y incorporer les nouvelles exige de réviser toute la géologie historique et de récrire tous les manuels classiques. Voici un champ d'action et un travail qui s'ouvrent aux nouvelles techniques.

La géologie, la géophysique et la géochimie ont toutes été des fragments d'une science basée sur la fausse supposition que la terre est essentiellement statique et que la géochimie traite de systèmes fermés. La nouvelle science, car s'en est une, parce qu'elle est basée sur le paradigme très différent d'une terre mobile peut unifier d'anciennes études et pousser en avant de nouvelles investigations. Je crois qu'on éviterait des confusions en lui donnant un nom différent. Ce nom devrait être « géonomie ».

Les idées de cet article se sont développées lentement et au cours de conversations trop nombreuses pour être rappelées en détail ou les reconnaître d'une manière adéquate. Les noms de tous ceux dont j'ai glané les idées sont donnés dans les références de cet article et d'autres cités [5, 30, 31]. J'ai beaucoup appris pendant mes longues visites à Cambridge et aux Universités Nationales Australiennes et dans mes courts voyages dans tous les continents. Le livre de T.S. KUHN m'a fourni l'idée principale et S.J. COLMAN et J. PURDY ont fait un commentaire du manuscrit. Je remercie également pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans mes voyages et mes recherches dans les Universités, le Conseil National de Recherche du Canada (National Research Council of Canada), le Service Géologique du Canada (Geological Survey of Canada), le « United States Vela Project », la Rio Algom Mines-Ltd et l'UNESCO.

RÉFÉRENCES

- [1] VAN WATERSCHOOTVAN DE GRACHT, W.A.J.M. (ed.) Theory of continental drift : a symposium... *Amer. Ass. Petrol. Geol.*, Tulsa, Oklahoma (1928).
- [2] MUNYAN, A.C. (ed.). Polar wandering and continental drift. *Soc. Econ. Paleont. Mineral.*, Spec. publ. no. 10, Tulsa, Oklahoma (1963).
- [3] RUNCORN, S.K. (ed.). *Continental drift*. Academic Press, New York (1962).
- [4] BLACKETT, P.M.S., E.C. BULLARD and S.K. RUNCORN (eds). A symposium on continental drift. *Phil. Trans., Roy. Soc. Lond.*, 258, A, no. 1088 (1965).
- [5] WILSON, J.T. *Cdn. Min. Metall. Bull.*, 61, no. 670 (1968).
- [6] LYELL, C. *Principles of Geology* (7th ed.). J. Murray, London (1847).

- [7] HOLMES, A. *Principles of physical Geology* (2nd ed.). Nelson, London (1965).
- [8] EWING, M. and B.C. HEEZEN. *Amer. Geophys. Union. Geophys. Monog.* no. 1, 75 (1956).
- [9] HILL, M.J. *The Sea*, vol. 3. Interscience Pubs., New York and London (1965).
- [10] WEGENER, A. *The origin of continents and oceans*, Dover Publ. New York (1966).
- [11] PEACOCK, M.A. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 46, 633 (1935).
- [12] KUHN, T.S. *The structure of scientific revolutions*. Univ. Chicago Press (1967).
- [13] SUSS, E. *The face of the earth*. Clarendon Press, Oxford (1904).
- [14] BUCKER, W.H. *Deformation of the earth's crust*. Princeton Univ. Press (1933).
- [15] UMBROVE, J.H.F. *The pulse of the earth* (2nd ed.). Martinus Nijoff, The Hague (1947).
- [16] MUMMEL, B. *History of the Earth*. W.H. Freeman and Co., San Francisco (1961).
- [17] BARRELL, J. *Amer. J., Sci.*, 36, 87 and 225 (1913).
- [18] SCHUCHERT, C. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 34, 151 (1923).
- [19] WILLIS, B. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 43, 917 (1932).
- [20] DAMPIER, W. *A history of science* (4th ed.), 109. Cambridge Univ. Press (1952).
- [21] RUNCORN, S.K. *Nature*, 195, 1248 (1962).
- [22] SUTTON, J. *Nature*, 196, 731 (1963).
- [23] WILSON, J.T. *Nature*, 211, 676 (1966).
- [24] VAIL, J.R. *Tectonophysics* (à l'impression).
- [25] JONES, D.L., and M.W. McELHINNEY. *J. Geophys. Res.*, 72, 4171 (1967).
- [26] VINE, F.J., and D.M. MATTHEWS. *Nature*, 199, 947 (1963).
- [27] VINE, F.J. *Science*, 154, 1405 (1966).
- [28] PITMAN, W.C. III and J.R. HEIRTZLER. *Science*, 154, 1164 (1966).
- [29] LE PICHON, X. *J. Geophys. Res.*, 73, 3661 (1968).
- [30] WILSON, J.T. *Science* (à l'impression).
- [31] WILSON, J.T. *Cdn. J. Earth Sci.* (à l'impression).
- [32] HESS, H.H. History of ocean basins, in ENGEL, A.E.J. (ed.). *Petrologic Studies*, Buddington Volume. *Geol. Soc. Amer.* (1962).
- [33] HOLMES, A. *Intern. Geol. Cong. 18th*, pt. 14, 254 (1951).
- [34] MACGREGOR, A.M. *Geol. Soc. S. Afr. Trans.*, 54, 27 (1951).
- [35] BROCK, B.B. *Geol. Soc. S. Afr. Trans.*, 60, 177 (1956).
- [36] CLIFFORD, T.N. *Geol. Soc. Am. Spec. Papers*, 92 (1967).

II. — LE CYCLE DE VIE DES BASSINS OCÉANIQUES

Des assemblages frappants de traits topographiques, d'anomalies magnétiques, de failles et de lignes sismiques ont été découverts sur le fond des océans. Si certains bassins océaniques croissent le long des dorsales médio-océaniques et d'autres rétrécissent le long des fosses, on peut alors expliquer ces assemblages de manière précise. Si, par contre, les bassins océaniques sont permanents, on ne peut comprendre ni ces assemblages, ni les résultats paléomagnétiques, ni les autres faits avancés en faveur de la dérive des continents. On considère donc que les continents se déplacent comme de grandes plaques semi-permanentes poussées par la croissance ou le rétrécissement des bassins océaniques. Ce mécanisme a sans doute été actif durant la plus grande partie des temps géologiques.

Une modification de doctrine aussi importante a des conséquences qui vont très loin. On peut l'appeler la révolution scientifique Wégénérienne d'après son architecte principal. Un de ses résultats est qu'il est possible de décrire un cycle idéal de croissance et déclin d'un bassin océanique en six stades auxquels correspondent approximativement :

- 1°) les rifts d'Afrique Orientale,
- 2°) la Mer Rouge,
- 3°) l'Océan Atlantique,
- 4°) l'Océan Pacifique,
- 5°) la Mer Méditerranée,
- 6°) les chaînes himalayennes.

A chacun de ces stades correspond un type caractéristique de montagnes, de roches ignées, de sédiments, de conditions climatiques, et la présence ou l'absence d'évaporites, de cônes alluviaux, de klippe et autres traits distinctifs.

Les récentes découvertes dans les bassins océaniques ont convaincu la plupart des géologues et géophysiciens marins de ce que les bassins océaniques croissent et rétrécissent et que les continents se trouvent en conséquence en mouvement. Ces vues sont en accord avec les arguments plus anciens en faveur de la dérive des continents et des continents limitrophes disparus et avec les implications des observations paléomagnétiques. Elles sont incompatibles avec la croyance en des continents et des bassins océaniques immobiles, croyance qui fut la doctrine classique depuis l'époque de

LYELL. Il faut choisir. Ou bien les continents sont immobiles, auquel cas il n'y a pas d'explication disponible pour une grande partie des observations précises qu'on a faites sur les fonds des océans, ou bien les bassins océaniques croissent et rétrécissent avec des conséquences pour la géologie des continents qui sont sans doute beaucoup plus importantes qu'on ne l'a réalisé jusqu'ici.

On accepte cette nouvelle doctrine ou paradigme parce qu'elle peut expliquer une grande part de ce que les hypothèses précédentes expliquaient tout en expliquant d'autres faits que celles-ci ne pouvaient expliquer. Ce changement est énorme. C'est la même différence qu'entre une île et un bateau. En science, le passage à une nouvelle doctrine est une révolution scientifique [1]. On peut appeler celle-ci la révolution Wegerienne d'après son avocat principal. Ceci ne nous force pas nécessairement à accepter toutes ses idées. En particulier, nous regardons la dérive comme un phénomène ancien qui apparaît au Précambrien plutôt que durant l'ère Mésozoïque.

Nous avons déjà discuté la nature de cette révolution Wegenerienne. Dans cet article nous en discutons une conséquence importante, l'évolution apparente des bassins océaniques, montrant comment les bassins peuvent se succéder les uns aux autres dans des cycles lents mais puissants. Nous publions par ailleurs une réinterprétation de la géologie de l'Amérique du Nord dans le cadre de cette dérive des continents [2].

Il y a dix ans encore, le nombre de ceux qui croyaient à la dérive des continents était faible. Si les continents sont comme de grands bateaux, une étude détaillée des ponts (qui est ce qui en fait occupait la plupart des géologues) n'est pas une bonne méthode pour découvrir si les bateaux bougent. Récemment, on a pu mesurer les positions changeantes des divers continents grâce aux observations paléomagnétiques et l'on a pu aussi regarder, pour ainsi dire, par dessus bord vers les fonds océaniques. Ces recherches, commencées et effectuées en grande partie par des chercheurs des universités de Californie, Cambridge, Columbia et Londres et par des expéditions soviétiques, ont montré que la structure des fonds océaniques est très différente de celle des continents. Il ne semble pas nécessaire de reprendre ces résultats qui sont récents, facilement accessibles, bien connus et déjà bien résumés [3]. Les découvertes comprennent les dorsales médio-océaniques [4], d'autres chaînes sous-marines [5, 6], les zones de fracture [7], les mosaïques régulières d'anomalies magnétiques au-dessus des bassins océaniques [8], les failles de transformation [9], le sens des mouvements le long des failles [10], l'épaisseur des sédiments et leur âge [11]. Ces découvertes, associées aux idées sur l'isostasie [12], l'ajustement des continents les uns dans les autres [13], la paléoclimato-

logie [14], le paléomagnétisme [15], la couche à faible vitesse [16], la géochimie de l'intérieur de la terre [17], et les arguments biologiques [18], ont convaincu pratiquement tous les géologues et géophysiciens marins qu'il a dû y avoir un type de dérive des continents.

Les taux supposés de renouvellement des fonds vont jusqu'à 12 cm par an, chiffre semblable à celui observé sur des failles actives comme celle de San Andréas [19].

S'ils sont permanents, de tels mouvements impliquent des déplacements relatifs entre continents de plusieurs milliers de km en 100 millions d'années. De tels taux auraient permis aux océans actuels de s'être formés depuis le Jurassique ou le Crétacé comme WEGENER [20] l'avait supposé. Mais pourquoi la dérive n'aurait-elle pas existé avant cette date ? Il y a plusieurs bonnes raisons pour penser que des mouvements relatifs commencèrent bien plus tôt. Quels sont les traits de la géologie du Mésozoïque moyen qui indiquent un changement radical dans l'évolution du globe ? Supposer un tel changement est contraire au principe d'uniformité. S'il n'y a pas eu de dérive plus ancienne, les montagnes pré-Crétacé doivent avoir été formées différemment. Les géologues n'ont pas noté de différences entre elles. Introduire deux explications là où

TABLEAU 1

Les différents stades dans le cycle de vie des bassins océaniques.

N° du stade	Nom du stade	Exemples actuels
1	En formation	Rifts d'Afrique Orientale
2	Jeune	Mer Rouge, Golfe d'Aden, Mer de Norvège, Baie de Baffin
3	A maturité	Océan Atlantique
4	En rétrécissement	Partie occidentale de l'Océan Pacifique (la dorsale du Pacifique oriental étant complexe)
5	En fermeture	Méditerranée, Mer Noire et Mer Caspienne
6	Fermé	Himalaya et Oural

TABLEAU 2

Les types de montagnes, leurs stades caractéristiques dans le cycle de vie des bassins océaniques et les forces qui les causent.

(On a donné le même numéro à des types différents de montagnes là où l'on considère que l'un vient de l'autre).

Type de montagne	Exemple	Stade au moment de la formation ou de l'activité	Forces orogéniques
1a Plateaux de Rift	Plateau du Kenya	1	Tension horizontale ou diminution de pression accompagnant l'expansion de bassins océaniques (avec soulèvement vertical)
1b Montagne marginale	Ile de Baffin	2	
1c Dorsale médio-océanique	Dorsale médio-Atlantique	2 et 3	
2 Zone de fracture	Zone de fracture de Mendocino	2 et 3	Cisaillement horizontal dans un océan en expansion (avec des mouvements verticaux)
3 Crête latérale	Crête Islande Groënland	2 et 3	Accumulations volcaniques dans des bassins océaniques en expansion (avec enfoncement isostatique)
6a Guirlande d'Iles	Iles des Kouriles	4 et 5	Compression accompagnant le rétrécissement d'un bassin océanique (avec soulèvement vertical)
6b Montagne batholithique	Sierra Nevada	4 et 5	
7 Soulèvement en bloc dans les plate-formes	Black Hills	5	
8 Plateau soulevé	Colorado et Tibet	5 et 6	

une suffit, c'est violer le principe « on ne doit pas introduire la pluralité sans nécessité ».

Si la dérive peut expliquer les résultats paléomagnétiques dans les roches récentes, pourquoi faudrait-il une autre cause que la dérive pour expliquer des résultats similaires obtenus pour des roches plus anciennes ? La dérive durant l'ère paléozoïque peut, à mon avis, expliquer des observations géologiques intrigantes qui restent sinon sans réponse [21], y compris les idées de BARRELL et SCHUCHERT sur les continents limitrophes disparus [22]. Ceci nous

conduit à admettre qu'il est probable que des bassins océaniques se sont successivement ouverts à la surface de la terre pour se fermer ensuite lentement.

Comme des tourbillons en aval d'une cascade dans une rivière ou des courants à la surface d'une marmite qui bout, ces vastes mouvements montants naissent et disparaissent, l'un s'éteignant tandis qu'un autre commence ailleurs. La prise en considération de la nature des océans actuels et de l'histoire géologique de ce qui semble avoir été des bassins océaniques dans les régions Calédonno-Appalachiennes et de la Cordillère [2] suggère que le cycle de vie des bassins océaniques peut se diviser en six stades.

Pour chacun, cet article donne des caractéristiques, des exemples et des types de montagnes formées durant ce stade.

Il existe peu de bassins océaniques qui soient isolés et accomplissent un cycle complet sans interférence, mais ce concept idéalisé peut être utile et est résumé dans le tableau I, tandis que le tableau II donne la liste des types de montagnes et les associe aux différents stades des bassins océaniques.

Stade n° 1 : *Les bassins océaniques en formation (Rifts de l'Afrique Orientale).*

Ce sont des soulèvements avec rifts axiaux qui s'alignent à travers un continent [23, 24]. Le mouvement de séparation le long des rifts est faible et lent [25]. Le volcanisme basaltique et alcalin, les climats continentaux, les cônes alluviaux mineurs et les petits dépôts d'évaporites sont caractéristiques. La force dominante semble être un soulèvement accompagné de tension, de diminution de pression et de cisaillement horizontal local. Puisque les rifts de l'Afrique Orientale ont au moins 10 millions d'années, le soulèvement doit avoir longuement devancé le déplacement horizontal. J.R. VAIL [26] remarque que « les rifts suivent les ceintures orogéniques avec une persistance remarquable », ce qui suggère qu'ils sont les précurseurs des océans dont on sait maintenant qu'ils ont souvent coupé des chaînes de montagnes anciennes en deux.

Le seul type de formation de montagnes caractéristique de ce stade, c'est celui dû à des blocs faillés soulevés verticalement le long des rifts et aux volcans qui les accompagnent.

Stade n° 2 : *Les jeunes bassins océaniques (Mer Rouge, Golfe d'Aden, Mer de Norvège, Baie de Baffin).*

Ce sont des océans étroits en rifts, avec des marges de blocs et plateaux continentaux faillés.

Des montagnes soulevées bordent les côtes des continents adjacents. Le volcanisme basaltique comme les failles de transformation sont communs. Les influences climatiques varient de continentales à maritimes.

Les bassins d'évaporite semblent fréquents, comme la dépression du Danakil aujourd'hui, une grande partie du bassin de la mer Rouge au Miocène, et le Golfe du Mexique au Jurassique [27].

La Mer Rouge et le Golfe d'Aden qui ont plus de 10 millions d'années en sont des exemples. La mer de Norvège est encore plus ancienne puisqu'elle se forma probablement durant le Crétacé. Elle est plus large et a deux crêtes latérales qui joignent l'Islande au Groënland et à la Norvège. L'origine de la baie de Baffin date probablement du Crétacé. Elle s'ouvrit lentement puis devint inactive. Ceci pourrait expliquer l'épaisseur des sédiments, le développement limité de la dorsale axiale, la faible sismicité et la configuration peu caractéristique des anomalies magnétiques. Néanmoins, la linéarité des anomalies magnétiques suggère qu'il s'agit d'une croûte océanique et c'est également l'opinion des savants soviétiques [28]. En suggérant que le fond représente un bloc continental effondré [29] on fait de la baie de Baffin une exception pour laquelle il n'y a pas d'autres raisons, qui est la cause de plusieurs difficultés et qui ignore le décrochement dans le détroit de Nares.

Ce décrochement apparut de manière claire lorsque les manuscrits des cartes géologiques du Canada et du Groënland, préparés d'une manière indépendante par STOCKWELL et BERTHELSEN pour une carte mondiale, furent comparés à la Nouvelle Delhi en 1964. Il n'y a aucune raison pour que le détroit de Nares soit rectiligne à moins qu'il ne suive un décrochement horizontal. Toutefois, les plateaux continentaux de la baie de Baffin sont plus larges qu'on ne l'a souvent reconnu [13], ce qui diminue le décrochement nécessaire.

Les types d'orogénie caractéristiques de ce stade sont les dorsales médio-océaniques, les crêtes latérales et les montagnes marginales soulevées (comme en Erythrée, en Norvège, au Groënland, dans l'île de Baffin et au Labrador). Ce dernier peut représenter un stade plus ancien de montagnes de rift comme les hauteurs d'Afrique Orientale.

Stade n° 3 : *Les bassins océaniques arrivés à maturité (Océan Atlantique).*

Le fond basaltique de l'océan, à partir de la dorsale médio-océanique, s'enfoncé vers la côte et est progressivement recouvert par les sédiments qui s'épaississent en formant les bassins marginaux et les plateaux continentaux. Il n'y a pas de mouvements relatifs le long des marges des continents adjacents. Les soulèvements côtiers ont disparu. Des volcans se sont développés sur la dorsale médio-océanique et ailleurs dans les bassins soit isolément, soit en chaînes linéaires. Les climats sont maritimes. Il ne se forme pas de cônes alluviaux ni de dépôts d'évaporite. Les dépôts profonds et de plateau (miogéosynclinaux) prédominent. Récemment les bassins de l'océan Atlantique ont été surtout cartographiés dans le détail par les Universités de Columbia et de Cambridge et les Instituts de Woods Hole, d'Union Soviétique et de Bedford [3, 4, 5, 7, 11, 30].

Une grande partie de l'océan Atlantique se forma à l'intérieur d'un ancien continent et les côtes opposées peuvent être ajustées l'une à

l'autre. Toutefois, deux sections semblent s'être formées à la limite entre un ancien continent et un bassin océanique plus âgé. C'est du moins l'interprétation qui a été donnée pour la crête de Lomonosov [5] et celle du Sud Floride-Bahamas. On les appelle pour cette raison des crêtes frontières.

Les orogénies caractéristiques de ce stade sont toutes sous-marines. Ce sont les dorsales médio-océaniques, les crêtes frontières entre des bassins océaniques, les crêtes latérales comme celles qui se trouvent de chaque côté de l'Islande et les chaînes linéaires d'îles basaltiques comme les îles de la Société. La différence entre ces deux derniers types semble venir de ce que leurs sources sont situées respectivement sur les dorsales médio-océaniques ou à l'extérieur de ces dorsales.

Stade n° 4 : Les bassins océaniques qui rétrécissent (partie occidentale de l'océan Pacifique actuel, et durant le Paléozoïque inférieur les océans anciens : Calédonien-Appalachien et de la Cordillère).

Si certains bassins océaniques croissent, et s'il n'y a pas eu d'expansion rapide de la terre, d'autres océans doivent avoir rétréci à peu près au même taux formant des fosses et des rides eugéosynclinales là où leurs fonds ont été réabsorbés. L'Océan Pacifique est un exemple actuel mais il est compliqué par le courant ascendant qui correspond à la dorsale du Pacifique Oriental. Quelques instants de réflexion suffisent pour se convaincre que sa croissance à la crête n'empêche pas que le bassin rétrécisse dans son ensemble. On considère que le concept d'une expansion soudaine et rapide de la terre depuis le Mésozoïque, est inutile, d'une validité douteuse, rempli de complications [31] et incapable d'expliquer les orogénies passées.

MENARD [3], HESS [32] et d'autres auteurs [33] ont décrit les traits des bassins pacifiques. La seule partie de croûte ancienne qui reste se trouve dans le Pacifique Oriental. Là, des guirlandes d'îles bordées de fosses océaniques se sont développées [3, 33]. Il y a aussi des fosses le long de l'Amérique du Sud et de l'Amérique Centrale.

Dans le Pacifique Occidental, des plateaux continentaux ont continué à se développer en arrière des guirlandes. Les climats sont maritimes. Il n'y a pas de cônes ni d'évaporites. Les dépôts de plateau continental (miogéosynclinaux) et de guirlande d'îles (eugéosynclinaux) sont caractéristiques. Les systèmes montagneux formés à ce stade sont des guirlandes d'îles et des montagnes batholitiques.

Stade n° 5 : Les bassins qui se ferment (Mer Méditerranée, Mer Noire et Mer Caspienne).

Si un bassin océanique continue à rétrécir, les côtes opposées finissent par entrer en collision. C'est, pense-t-on, ce qui est arrivé durant l'Ordovicien Moyen à l'océan Appalachian-Calédonien en Nouvelle Angleterre [2, 21] et durant l'ère tertiaire à l'océan Téthys [34]. Les flores

se mélangent ainsi que les faunes marines peu profondes et terrestres. Là où des guirlandes glissent sur des blocs continentaux, elles sont soulevées en montagnes et des cônes alluviaux se forment. Des « klippes » peuvent glisser vers l'intérieur comme durant le Paléozoïque dans les états de New-York, New-Foundland et Névada [35]. Des portions d'océan peuvent être isolées et devenir des bassins d'évaporite ou des mers extrêmement salées. La mer Caspienne, les bassins d'évaporite de Nouvelle Ecosse et les bassins Permien du Texas en sont des exemples. Des ajustements horizontaux marquent souvent ce stade, comme en Turquie, Californie, Chili et Nouvelle Zélande de nos jours.

C'est durant ce stade que de grandes chaînes de montagnes compressives comme la chaîne des Himalayas et la chaîne Calédonienne-Appalachienne sont formées par la superposition de deux blocs continentaux. Dans la partie adjacente des continents, cet effet de superposition peut soulever des plateaux comme ceux du Tibet et du Colorado [36] et les pressions qui se propagent vers l'intérieur peuvent créer des soulèvements en blocs (par exemple les « Black Hills »).

Stade n° 6 : *Les bassins océaniques fermés (les montagnes de l'Himalaya et la Téthys).*

Quand la fermeture d'un océan est achevée, une chaîne inactive de montagnes peut rester au travers d'un continent composite [34, 37]. Les Ourals et les Himalayas semblent être les exemples les plus évidents.

CONCLUSION

Quatre points généraux méritent d'être notés. D'abord, quand deux plaques continentales se séparent, elles tendent à le faire le long de fracture, les dorsales médio-océaniques sont donc généralement des accidents topographiques dus à une tension pure et à une diminution de pression. Cette régularisation simple caractérise également l'Atlantique [7], mais n'apparaît pas dans les rifts africains [23]. Il se peut que les océans n'approchent du cas idéal qu'en croissant. Il est surprenant que les dorsales médio-océaniques s'ouvrent sans cisaillement dans la direction d'une simple diminution de pression. Toutefois les côtes en rapprochement ne sont ni régulières dans leurs formes ni parallèles entre elles. Leur union, en conséquence, combine normalement le cisaillement horizontal avec la compression. Il s'en suit que les derniers stades de construction de la plupart des montagnes sont généralement caractérisés par des cisaillements horizontaux importants comme on le voit de nos jours en Californie, Chili et Turquie. On considère de même que c'est là l'origine des grandes failles de décrochement en Colombie Britannique [24, 38] et le long du système Calédonien-Appalachien tout entier [2]. Il est intéressant de noter que durant les trois pre-

miers stades de formation des bassins océaniques, toutes les formes de montagnes sont dues à un soulèvement combiné à une tension; mais que, durant les trois derniers stades alors que les bassins océaniques se forment, tous les types de montagnes ont dus à une compression combinée à un soulèvement.

En second lieu, deux notes récentes [39] ont discuté le mouvement relatif des principales plaques de la croûte. Il n'était pas nécessaire de distinguer entre les parties océaniques et continentales de ces plaques pour la courte période à laquelle s'intéressaient ces notes.

Pour des périodes plus longues il est important de remarquer que, alors que les fonds océaniques semblent être absorbés dans les fosses océaniques sans grand soulèvement, la collision et la superposition d'un bloc continental par un autre, provoquent un grand soulèvement qui en conséquence s'oppose à leur action. Il y a donc un contraste important entre les fonds océaniques qui croissent simplement et relativement rapidement et qui sont réabsorbés aisément, et les continents qui se développent lentement, d'une manière complexe et qui résistent fortement à tout enfoncement. Il s'en suit que la configuration des continents exerce un mécanisme de contrôle en retour (feed back) qui détermine en partie leurs mouvements.

Les continents tendent à être préservés intacts alors que les bassins océaniques naissent et meurent. C'est là que se trouve le grand obstacle à la reconnaissance et l'acceptation de la dérive des continents. Une fois qu'un continent est établi, les effets de la dérive sur ses régions centrales sont loin d'être évidents.

En troisième lieu, on a proposé dans cette note que l'évolution des bassins océaniques est le phénomène primaire agissant sur la surface de la terre. Dans ce cas, leur croissance et leur déclin sont les événements géologiques les plus majestueux. C'est l'immensité même de cette action qui a empêché que l'on y prête attention. En comparaison, la formation des montagnes et autres mouvements terrestres sont éphémères et mineurs.

On pourrait donc dire que l'orogénie et l'épirogénie ne sont qu'une conséquence de la thalassogénie. De tels mots toutefois prêtent à confusion et ne sont pas plus précis que la simple suggestion que les bassins océaniques en croissant et rétrécissant amènent la formation de montagnes et les changements de niveau.

Finalement, ces idées de grands mouvements, continués durant de longues périodes à la surface de la terre, ne peuvent être acceptées dans la doctrine géologique conventionnelle. La géologie, la géophysique et la géochimie ont toutes été basées sur le concept d'une terre essentiellement statique. On a bien parlé de mouvement, mais on l'a considéré comme une exception récente, une notion à

rejeter et aucun manuel classique n'a encore pris en considération les effets d'un mouvement actif durant de longues périodes. Ceci suppose un changement de doctrine, une nouvelle façon de considérer la terre. Cette conversion, comme l'a montré élégamment KUHN [1] constitue une révolution scientifique. Je crois que les découvertes récentes sur les fonds océaniques ont amené une révolution de la science de la terre telle que le modèle statique de la terre a vécu.

Je suggère qu'on éviterait des confusions en donnant un nouveau nom à la nouvelle doctrine ou paradigme d'une terre entièrement mobile. Avec une doctrine appropriée la science de la terre n'a plus de raisons de rester fragmentée. On devrait l'étudier dans son entier comme une science unique pour laquelle un nom approprié, qu'on a souvent suggéré dans le passé, serait la géonomie.

Les idées incorporées dans cet article sont nées lentement durant de longues visites à Cambridge et aux universités nationales australiennes, durant de nombreuses autres visites plus courtes et des conversations en particulier avec F.W. BEALES, E.C. BULLARD, HILLARY, J. HARRINGTON, H.H. HESS, P.B. KING, M.S. KRISHNAN, R. MELVILLE, L.W. MORLEY, E.R.W. NEALE, C.H. SMITH, F.J. VINE, J.B. WATERHOUSE et J.O. WHEELER. Ma femme et E.A. ROBINSON ont relu le manuscrit. A tous j'adresse mes remerciements.

J'ai essayé de mentionner mes différentes sources, mais il n'est pas possible de le faire parfaitement. On oublie et n'arrive pas à mentionner l'aide de tant de personnes. Je tiens à mentionner l'aide apportée à ma recherche et mes voyages par des universités, le *National Research Council* du Canada, le *Geological Survey* du Canada, le programme *Vela Uniform* des Etats-Unis, l'*Unesco* et *Rio Algom Mines Ltd.*

REFERENCES

- [1] KUHN, T.S. *The Structure of scientific revolutions*. Phoenix Books, Univ. Chicago Press, 1967.
- [2] WILSON, J.T. *Cdn. Min. Metal. Bull.* (à l'impression).
WILSON, J.T. *Nature* (à l'impression).
WILSON, J.T. *Cdn. J. Earth Sci.* (à l'impression).
- [3] HEEZEN, B.C., M. THARP and M. EWING. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 65, 1959.
RUNCORN, S.K. (ed.). *Continental Drift*. Academic Press, London, 1962.
MENARD, H.W. *Marine Geology of the Pacific*. McGraw-Hill Book Co., New York, 1964.
TALWANI, M. *Marine Geol.*, 2, 29, 1964.
UDINTSEV, G.B. *Chart of the Pacific Ocean*. Soviet Inst. Oceanol. Moscow, 1964.

- HILL, M.N. (ed.). *The Sea*, Interscience Pubs. New York, 1965.
- BLACKETT, P.M.S., E.C. BULLARD and S.K. RUNCORN (eds). *Phil. Trans. Royal Soc. London*, A 258, 1965.
- GASKELL, T.F. (ed.). *The Earth's Mantle*. Academic Press, London, 1967.
- [4] HEEZEN, B.C. and M. EWING. *Science*, 131, 1977, 1960.
- [5] KING, E.R., I. ZIETZ and L.B. ALLDREDGE. *Science*, 144, 1551, 1964.
- ATLASOV, I.P. *Dok. Akad. Nauk. S.S.S.R.*, 156, 1341, 1964, transl. E.R. Hope, *Def. Res. Bd. Can.*, T412R, 1964.
- [6] WILSON, J.T. *Nature*, 207, 907, 1965.
- [7] MENARD, H.W. and R.S. DIETZ. *J. Geol.*, 60, 766, 1952.
- HEEZEN, B.C., E.T. BUNCE, J.B. HERSEY and M. THARP. *Deep-Sea Res.*, 11, 11, 1964.
- [8] RAFF, A.D. and R.G. MASON. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 72, 1259, 1961.
- VACQUIER, V. *Phil. Trans. A* 258, 1965.
- VINE, F.J. and D.H. MATTHEWS. *Nature*, 199, 947, 1963.
- BULLARD, E.C. and R.G. MASON in *The Sea*, 3. M.N. Hill, ed., Interscience Pubs., New York, 1963.
- HEITZLER, J.R. and X. LE PICHON. *J. Geophys. Res.*, 70, 4013, 1965.
- PITMAN, W.C., III and J.R. HEITZLER. *Science*, 154, 1164, 1966.
- VINE, F.J. *Science*, 154, 1405, 1966.
- LE PICHON, X. *J. Geophys. Res.*, 73, 3661, 1968.
- [9] WILSON. *Nature*, 207, 343, 1965.
- [10] SYKES, L.R. *J. Geophys. Res.*, 72, 2131, 1967.
- [11] FUNNELL, B.M. *Geol. Mag.*, 101, 421, 1964.
- RIEDEL, W.R. and B.M. FUNNELL. *Q.J. Geol. Soc. Lond.*, 120, 305, 1964.
- SAITO, T., M. EWING and L.H. BURCKLE. *Science*, 151, 1075, 1966.
- OPDYKE, N., B. GLASS, J.D. HAYS and J. FOSTER. *Science*, 154, 349, 1966.
- EWING, M. and J. EWING. *Science*, 156, 1590, 1967.
- [12] MCCONNELL, R.K., Jr. *J. Geophys. Res.*, 70, 5171, 1965.
- [13] BULLARD, E.C., J.E. EVERETT and A.G. SMITH. *Phil. Trans.*, A 258, 41, 1965.
- [14] MAIRN, A.E.M., ed. *Problems in Palaeoclimatology*. Interscience Pubs., London, 1964.
- [15] IRVING, E. *Paleomagnetism*. J. Wiley and Sons, New York, 1964.
- [16] ANDERSON, D.L. *Science*, 151, 321, 1966.
- LEHMANN, I., in T.F. GASKELL, ed. *The Earth's Mantle*. Academic Press, London, 1967.
- [17] RINGWOOD, A.E. et al. Petrology of the Upper Mantle. *Australian Nat. Univ. Publ.*, 444, 1966.
- BELL, P.M. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 48, 666, 1967.
- [18] DARLINGTON, P.J., Jr. *Biogeography of the southern end of the world*. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1965.
- BRUNDIN, L. *Kungl. Svenska Vetenskap. Hendl.*, Fjorde Ser., 11, nr. 1, 1966.

- [19] HAMILTON, W. and W.B. MYERS. *Geol. Surv. Canada Paper*, 66-14, 291, 1966.
- [20] WEGENER, A. *The origin of continents and oceans*, 4th ed., Dover Pubns. Inc., New York, 1966.
- [21] RUNCORN, S.K. *Nature*, 195, 1248, 1962.
SUTTON, J. *Nature*, 198, 731, 1963.
GOUGH, D.I., M.D. OPDYKE and M.I.J. McELHINNY. *J. Geophys. Res.*, 69, 2509, 1964.
CREER, K.M. *Nature*, 204, 369, 1964.
DEARNLEY, R. *Phys. Chem. of the Earth*, 7, 1, 1966.
WILSON, J.T. *Rev. Soc. Can. Spec. Pubs.*, 10, 94, 1967.
BRIDEN, J.C. *Nature*, 215, 1334, 1967.
- [22] BARRELL, J. *Amer. J. Sci.*, 4th Ser., 36, 87 and 225, 1913.
SCHUCHERT, C. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 34, 951, 1923.
- [23] HUNTER, A.N. *Rept. UNESCO Seminar on East Africa Rift System*. Univ. Coll. Nairobi, 1965.
- [24] T.N. IRVINE, ed. *Geol. Surv. Canada Paper*, 66-14, 1966.
- [25] MOHR, P.A. *Bull. Geophys. Obs. Haile Selassie Univ., Ethiopia*, 11, 1, 1964.
- [26] VAIL, J.R. *Res. Inst. African Geol. Univ. Leeds Ann. Rept.*, 11, 33, 1967.
- [27] DURHAM, C.O. and G.E. MURRAY. *Geol. Soc. Amer. Program 1967 Ann. Meet.*, 52, 1967.
- [28] GODBY, E.A., R.C. BAKER, M.F. BOWER and P.J. HOOD. *J. Geophys. Res.*, 71, 511, 1966.
VINE, F.J. and W.J. MORGAN. *Geol. Soc. Amer. Program 1967 Ann. Meet.*, 228, 1967.
PUMINOV, A.P. *Dok. Akad. Nauk SSR*, 175, 901, 1967, *Trans. Canada Def. Sci. Inf. Serv.*, T487R, 1967.
- [29] KERR, J.W. *Earth and Planet. Sci. Let.*, 2, 283, 1967.
- [30] POOLE, W.H., ed. *Geol. Surv. Canada Paper*, 66-15, 1966.
- [31] BIRCH, F. *J. Geophys. Res.*, 69, 4377, 1964.
LE PICHON, X. *J. Geophys. Res.*, 73, 3661, 1968.
- [32] HESS, H.H. *Amer. J. Sci.*, 224, 772, 1946.
HESS, H.H. in A.E.J. ENGEL, ed. *Petrologic Studies*, 599. *Geol. Soc. Amer.*, 1962.
HESS, H.H. in W.F. WHITTARD and R. BRADSHAW, eds. *Submarine Geology and Geophysics*, 317. Butterworths, London, 1965.
- [33] PUSHCHAROVSKY, Ya. M. *Tectonophysics*, 4, 571, 1967.
- [35] KING, P.B. *The evolution of North America*. Princeton Univ. Press, 1959.
CLARK, T.H. and C.W. STEARN. *The geological evolution of North America*. Ronald Press, New York, 1960.
GILLULY, J. and O. GATES. — *U.S. Geol. Surv. Paper*, 465, 1965.
- [36] GILLULY, J. *Q. J. Geol. Soc. Lond.*, 119, 133, 1963.

- [37] KROPOTKIN, P.A. *Eurasia as a composite continent* in I.U.G.S.-U.N.E.S.C.O. Symposium on Continental Drift, Montevideo (in press).
- [38] WHEELER, J.O. *Tectonics*, in C.H. SMITH, ed. *Geol. Surv. Canada Paper*, 67-41, 3, 1967.
- [39] MCKENZIE, D.P. and PARKER, R.L. *Nature*, 216, 1276, 1967.
LE PICHON, X. *J. Geophys. Res.*, 73, 3661, 1968.

Reçu le 3 mai 1968.

DOCUMENTS FAUNISTIQUES ET ÉCOLOGIQUES

SIBOGLINUM ATLANTICUM,

POGONOPHORE NOUVEAU

POUR LE GOLFE DE GASCOGNE

Durant la mission Gestatlante II du navire océanographique « Jean Charcot » (juillet 1967) (1), une vingtaine de dragages ont été réalisés sur la pente continentale du Golfe de Gascogne. Un exemplaire de *Siboglinum atlanticum* Southward et Southward, 1958, dont la détermination est due à l'aimable obligeance du Dr. E.C. SOUTHWARD, a été récolté à 850 mètres de profondeur environ, à 46°17'8" de latitude N et 04°21' de longitude W. Parmi la faune associée, citons la présence des Pélécy-podes *Thyasira ferruginea* Winckworth et *Yoldiella tomlini* Winckworth, espèces également bathyales. Plusieurs tubes de ce même Pogonophore ont été notés dans trois autres dragages, réalisés également sur sable envasé.

46°17' N - 04°28' W entre 1 150 et 1 200 mètres,

45°46' N - 03°51' W à 1 200 mètres,

45°54'8" N - 03°52'8" W à 420 mètres.

Cette espèce a été découverte en 1957 dans quatre stations situées très au large de l'entrée de la Manche, à l'ouest du 7°57' W et au nord du 47°50' N entre 956 et 1 326 mètres. E.C. et A.J. SOUTHWARD ont retrouvé en 1964 plusieurs spécimens aux alentours du 48°29' N - 10°20' W entre 1 300 et 1 500 mètres.

(1) N.B. Je tiens à remercier M. F. LE LANN qui a récolté ce matériel à bord du « Jean Charcot ».

On peut noter que le *Siboglinum atlanticum* vit moins profondément dans le Golfe de Gascogne qu'au large de la Mer Celtique. Sans doute, y a-t-il là une explication basée sur un facteur édaphique mais cette différence n'a peut-être aussi aucune signification et provient de ce que nous n'ayons encore trop peu de données sur la répartition géographique et écologique de cette espèce. La migration en profondeur, en allant de la zone lusitanienne vers la zone boréale, serait d'ailleurs difficilement explicitée par un facteur climatique, car elle est inverse de celles des espèces boréales sténothermes (comme le peuvent être les Pogonophores) s'enfonçant en profondeur lorsque la latitude décroît.

Cette espèce n'est donc plus seulement localisée au large de la Mer Celtique, elle est boréo-lusitanienne. Des recherches ultérieures dans le Golfe de Gascogne devraient permettre de préciser la répartition du *Siboglinum atlanticum*, ainsi que celles des autres Pogonophores de la côte nord-est de l'Océan Atlantique qui, en zone boréale, cohabitent avec *S. atlanticum* : *S. holmei* Southward, *S. ekmani* Jägersten, *S. inerme* Southward et Southward, *Diplobranchia capillaris* (Southward). Cette dernière espèce a d'ailleurs été signalée par E. SOUTHWARD au large de la côte d'Espagne.

Toute la bibliographie correspondant à ce groupe pour la région intéressée est incluse dans l'article suivant : SOUTHWARD, E.C. et SOUTHWARD, A.J., 1967. The distribution of Pogonophora in the Atlantic Ocean. Symp. zool. Soc., London, n° 19, 145-158.

Michel GLÉMAREC.

PRÉSENCE AU PORTUGAL DE DEUX ANNÉLIDES POLYCHÈTES INTERSTITIELLES

Dans le cadre d'une étude faunistique et écologique plus générale des peuplements interstitiels des plages du nord du Portugal, M^{lle} M.-H. GALHANO m'a confié pour identification quelques spécimens d'Annélides Polychètes. J'ai rencontré dans ses prélèvements trois espèces de Polychètes errantes, dont deux appartiennent strictement à la microfaune des sables marins, et n'avaient encore jamais été signalées sur les côtes lusitaniennes.

La plupart des prélèvements ont été effectués sur la plage de Francelos, située à 7,5 km au sud de l'embouchure du Douro, en

utilisant la méthode qualitative aujourd'hui classique de Karaman. Un unique échantillon recueilli sur la plage de Cabedelo, à 1 km à peine au sud de l'embouchure, a également fourni quelques spécimens de l'une des deux espèces interstitielles.

1. — *Hesionides arenaria* Friedrich, 1937

Cette espèce a été signalée en de nombreux points du littoral européen, et en diverses régions beaucoup plus éloignées du globe (voir à ce sujet LAUBIER, 1965 et plus récemment WESTHEIDE, 1967 et LAUBIER, 1968). Toutefois, il n'existait jusqu'à présent aucune signalisation sur les côtes de la péninsule ibérique, et la découverte de cette espèce au Portugal vient combler le vide existant entre le golfe de Gascogne (côtes des Landes) et le golfe du Lion (région de Banyuls-sur-Mer). L'espèce est fréquente, et dix prélèvements faits à Francelos ont fourni plus de cent cinquante individus.

Le genre *Hesionides* comprend actuellement trois espèces, dont l'une, *H. maxima*, a été récemment créée par WESTHEIDE (1967) sur des critères essentiellement quantitatifs, et dont la valeur spécifique peut paraître contestable. En particulier, cet auteur invoque dans le tableau d'identification qu'il propose pour ces trois espèces (p. 126) la largeur du corps (moins de 0,1 mm chez *H. arenaria* et *H. gohari*, 0,2 mm chez *H. maxima*), dimension qui dépend fortement de la contraction lors de la fixation. Ainsi, certains spécimens portugais de grande taille et contractés, que je rapporte à *H. arenaria*, mesureraient plus de 0,2 mm de largeur, parapodes non comptés. WESTHEIDE, il est vrai, fait intervenir également un caractère qualitatif : présence ou absence de taches pigmentaires à la face antérieure des parapodes.

2. — *Petitia amphophthalma* Siewing, 1956

Ce petit Syllidien interstitiel est beaucoup moins fréquent que *H. arenaria* : six prélèvements effectués sur la plage de Francelos ont fourni une dizaine d'individus en assez mauvais état, mais facilement identifiables.

Comme pour l'espèce précédente, la découverte de cette forme sur les côtes portugaises fournit la première station intermédiaire entre la localité originale (golfe de Gascogne) et les stations du golfe du Lion en Méditerranée. La répartition géographique de *P. amphophthalma* n'est pas aussi vaste que celle de *H. arenaria*, mais s'accroît rapidement et l'image que nous pouvons en donner actuellement n'est certainement pas complète : Atlantique Nord (golfe de Gascogne, côtes du Portugal), Atlantique tropical (Baha-

mas, Côte d'Ivoire, LAUBIER, 1968), Méditerranée occidentale (golfe du Lion, Corse) et Mer Rouge.

P. amphophthalma, comme *H. arenaria*, peut supporter d'importantes variations de salinité, et l'espèce est plus commune dans les eaux interstitielles littorales que dans les sables marins submergés. Ces deux zones sont très souvent récoltées dans les mêmes prélèvements, et leur association caractérise des stations typiquement interstitielles.

Lucien LAUBIER.

REFERENCES CITEES

- LAUBIER, L., 1965. Deux Polychètes interstitielles des plages de Corse. *Vie Milieu*, 15 (3) : 813-815.
- LAUBIER, L., 1968. Quelques Annélides Polychètes interstitielles d'une plage de Côte d'Ivoire. *Vie Milieu*, 18 (3 A) : 573-594.
- WESTHEIDE, W., 1967. Monographie der Gattungen *Hesionides* Friedrich und *Microphthalmus* Mecznikow (*Polychaeta*, *Hesionidae*). *Z. Morph. Tiere*, 61 : 1-159.

ANALYSES D'OUVRAGES

RIEDL (R.). — Biologie der Meereshöhlen. Topographie, Faunistik und Oekologie eines unterseeischen Lebensraumes. Eine Monographie. Un volume, 636 p., 328 fig., 16 pl. en couleurs, 30 tabl. Paul Parey, Hamburg édit., 1966.

Un livre aussi volumineux, consacré à la biologie des seules grottes sous-marines, peut, à priori, surprendre. Et ceci d'autant plus que les monographies biocénétiques de substrats durs plus importants tant par leur étendue que par leur caractère cosmopolite sont encore rares. Mais la portée de cet ouvrage dépasse largement le cadre des grottes sous-marines. A bien des points de vue, les problèmes traités et leur solution s'appliquent aussi bien aux fonds rocheux littoraux en général.

RIEDL expose la totalité des connaissances actuelles sur les grottes sous-marines, dont une très large part est d'ailleurs due à ses propres recherches. Ce biotope particulier, dont l'exploration est devenue possible avec la plongée en scaphandre autonome, offre un domaine de choix pour la plupart des problèmes d'océanographie biologique, par ses dimensions restreintes qui exagèrent les gradients de variations.

Chez RIEDL, le souci de l'analyse détaillée n'a d'égal que le soin de résumer à chaque instant les résultats et de les intégrer dans les connaissances acquises. Il s'agit d'un travail extrêmement structuré, comme en témoigne la table des matières. L'édifice est logique, mais peut-être trop fragmenté au point que la lecture devient parfois irritante. En même temps qu'une monographie biocénétique, cet ouvrage se veut un traité de méthodologie.

Le très bel allemand dans lequel le livre est rédigé — et qui est d'autant plus appréciable qu'il est devenu rarissime dans les publications scientifiques — ne facilitera pas la tâche de ceux qui ne possèdent pas bien cette langue.

Le livre est richement illustré. Des graphiques et des tableaux précis facilitent souvent l'assimilation des notions et résultats exposés; certains sont cependant d'une complication telle qu'ils risquent de troubler le lecteur; enfin, de nombreux schémas fonctionnels ont un caractère trop subjectif. L'ouvrage peut s'enorgueillir à juste titre de magnifiques photos en couleurs, dont tous les détails techniques sont indiqués.

L'auteur a divisé son œuvre en 7 grands chapitres. Le premier est consacré aux problèmes et aux méthodes de récolte et de travail. Les cinq suivants traitent des différents aspects, topographique, faunistique, écologique, etc., des grottes sous-marines. Enfin, dans un dernier chapitre, les grottes sont considérées comme partie du littoral rocheux. Une importante bibliographie (25 p.), un index alphabétique des auteurs et des espèces, terminent l'ouvrage.

L'exploration systématique du littoral, et en particulier des grottes, s'est développée avec l'essor de la plongée, ce qui sous-entend des avantages et des inconvénients : l'observation directe, la récolte précise, opposées aux limites temporelles, soit à l'échelle d'une plongée (une heure d'affilée au maximum), soit à l'échelle des saisons (pas de plongée pendant 7 mois de l'année).

Les résultats exposés ont été acquis en majeure partie, pendant l'expédition autrichienne « Tyrrhenia » en juillet-octobre 1952. Les grottes choisies sont celles, très nombreuses, de la péninsule de Sorrente. Elles sont situées dans une région bien connue, le Golfe de Naples, ce qui a permis d'apprécier rapidement les particularités des grottes.

Trois types de récoltes ont été effectuées :

Les récoltes principales, où la faune, la flore et les concrétions d'un carré de 25/25 cm sont entièrement enlevées jusqu'à la roche nue; les échantillons secondaires qui servent à compléter l'inventaire d'un groupe zoologique en vue d'une étude détaillée par un spécialiste; enfin, les récoltes de contrôle, quantitatives comme les récoltes principales, mais limitées à un carré de 5/5 cm. L'analyse quantitative des échantillons fait intervenir la dominance de chaque espèce (% du nombre d'individus de l'espèce considérée par rapport au nombre total d'individus), une moyenne de dominance et une expression de la variation de dominance entre une paire d'échantillons, ce qui permet de déterminer finalement un coefficient d'homogénéité. Le peuplement est une notion pratique, de terrain, correspondant à l'espèce de taille moyenne largement dominante. RIEDL a également tenté d'apprécier un certain nombre de paramètres : si les facteurs topographiques ont pu être mesurés objectivement, il n'en est pas de même pour l'agitation de l'eau et l'éclairement par exemple, qui sont évalués subjectivement.

Les données qualitatives et quantitatives concernant la majorité des groupes étudiés ont déjà été publiées (p. 44); l'ouvrage de RIEDL constitue, à ce point de vue, une synthèse.

L'auteur mentionne également les recherches réalisées après l'expédition « Tyrrhenia » et passe en revue les travaux effectués en Méditerranée et dans les autres mers.

Avant de livrer ses résultats, l'auteur s'attache à présenter les problèmes et les hypothèses de travail qui ont guidé ses recherches; son œuvre se veut justifiée et « pensée ». Elle l'est, parfois exagérément.

Les premières explorations avaient révélé la variété et la richesse de la faune des grottes sous-marines, ce qui les oppose à la faune des eaux souterraines, pauvre en individus et en espèces, mais riche en caractères adaptatifs. L'auteur s'insurge donc contre l'opinion des spéléologues les plus avertis, qui tiennent les grottes sous-marines comme totalement dépourvues d'intérêt.

Deux hypothèses, l'existence des lois compliquées et subtiles de distribution et l'existence d'une communauté de consommateurs, ont été confirmées.

Deux hypothèses sont infirmées : absence de formes de profondeur, absence de types zoologiques nouveaux (tels qu'il en existe dans les eaux souterraines).

Le chapitre II porte le titre : « Topographie des grottes sous-marines ». Les grottes font partie du littoral rocheux et c'est de lui qu'il est tout d'abord question. Du littoral rocheux en général, l'auteur passe aux grottes. Elles sont particulièrement nombreuses dans le calcaire, sur des parois étendues de côtes accores. L'auteur discute ensuite de la taille des grottes (il choisit comme limite pratique inférieure 1 m^3) et de leur forme : la largeur d'entrée ne doit pas dépasser la largeur moyenne de l'intérieur. Les grottes géantes ont un volume supérieur à 20 m^3 ; pour les petites et très petites grottes, la limite de 1 m^3 peut être réduite, et ce sont des critères faunistiques qui valent. Les niches et les parois surplombantes constituent des cas limites. Il existe même des grottes mobiles.

La naissance et la disparition des grottes sont expliquées. La plupart des grottes du sublittoral sont des grottes terrestres immergées, donc situées dans des régions de transgression. Lorsque le niveau de la mer s'élève, les grottes déjà existantes sont élargies par les forces d'érosion et de corrosion de l'eau, de nouvelles grottes sont creusées. Lorsque l'apport d'eau douce cessera, ou lorsque les algues seront éliminées par l'enfoncement progressif de la grotte sous le niveau d'eau, une faune de ressac s'installera. Dans les régions de régression, les grottes, au fur et à mesure qu'elles seront débarrassées des sédiments fins, seront envahies par une faune venant de zones plus profondes. Les grottes actuelles peuvent disparaître, soit par un excès d'érosion qui conduit à la destruction, soit par un abaissement, même faible, du niveau d'eau.

L'âge des grottes est nécessairement inférieur à celui du littoral rocheux, c'est-à-dire à 25 000 ans.

On distingue plusieurs types de grottes :

- selon la forme (suivant le rapport entre la largeur d'entrée et la profondeur et le nombre d'entrées).
- selon la profondeur de l'entrée (grottes, tunnels, grottes avec une coupole d'air).

RIEDL énumère 12 types qui sont résumés sur la figure 60, accompagnés des notations d'éclaircissement et d'agitation théorique correspondantes.

La définition topographique de la grotte est la suivante : *les grottes sous-marines sont des espaces situés entièrement ou partiellement sous le niveau d'eau, entourés de parties suffisamment stables du littoral rocheux, ayant au moins un volume de 1 m^3 , dont la largeur d'entrée ne dépasse généralement pas la largeur moyenne intérieure, mais garantit une communication suffisante avec la mer ouverte.*

Le chapitre III est consacré aux habitants des grottes sous-marines. Il est composé de trois parties traitant respectivement de la flore, de la faune et de questions faunistiques.

Les algues sont limitées à l'entrée des grottes, la diminution de la lumière ne leur permettant pas de peupler leur intérieur. Il s'agit presque exclusivement de Rhodophycées, représentées par de nombreuses espèces.

A l'intérieur, à la disparition des algues s'oppose l'exubérance de la faune et en particulier de la faune sessile.

RIEDL divise la faune en 5 groupes : Sédentaires primitifs, Vers, Arthropodes, autres Invertébrés, Vertébrés.

Les Protozoaires, les Eponges et les Cnidaires font partie du premier groupe, les deux derniers constituent souvent l'élément fondamental du peuplement cavernicole. Les Spongiaires occupent, en Méditerranée, la première place en ce qui concerne le nombre d'espèces, la biomasse et l'étendue de la surface couverte. Le problème de la place disponible se posant chez eux avec acuité, ils se prêtent bien à l'étude de la concurrence interspécifique. Les Hydraires sont également bien représentés dans les grottes. La même espèce change de forme selon l'emplacement, et la forme devient un indicateur hydrodynamique, puisqu'elle dépend de l'agitation de l'eau.

Dans les parties profondes, les Eponges sont en partie remplacées par les Anthozoaires, qui participent toujours à la formation des concrétions.

Si la majorité des classes de Vers est présente dans les grottes, 4 y jouent un rôle important. Les Turbellariés constituent à eux seuls plus de la moitié de la microfaune errante découverte dans les grottes. Ils fournissent un matériel de choix pour démontrer l'existence de lignées adaptatives. Dans les grottes où les espèces encroûtantes bâtissent de grands interstices, les Némertes se rencontrent en nombre élevé, jusqu'à 3 500 individus par m². Les Nématodes font partie de la microfaune de toutes les grottes; grâce à leur richesse en espèces, leur rôle comme consommateurs et comme nourriture ne saurait être négligé. Les Polychètes sont richement représentés en nombre d'espèces et en nombre d'individus (jusqu'à 40 000/m²). Les errantes appartiennent en majeure partie à l'endofaune des concrétions, les sédentaires sont elles-mêmes constructrices. Si presque toutes les familles de Polychètes errantes ont conquis les grottes, parmi les sédentaires, 3 familles seulement y ont pénétré avec plusieurs espèces. Il est regrettable de relever dans cette partie une erreur d'identification : *Hermodice carunculata* (Amphinomidae) identifiée comme *Eunice harassii* (Eunicidae) (Fig. 95 et 237).

12 groupes d'Arthropodes ont été récoltés dans les grottes. Les Copépodes Harpacticoïdes fournissent probablement la part la plus importante de la microfaune cavernicole (10 000 individus/m² en moyenne). La densité de la population augmente de l'entrée vers l'intérieur des grottes. Peu d'Ostracodes ont été recueillis. Parmi les Cirripèdes, dont plusieurs espèces habitent les grottes, *Balanus perforatus* mérite une attention particulière. En effet, *B. p.* est souvent l'unique constructeur de la croûte. Jusqu'à 16 000 animaux ont été dénombrés par m² avec des épaisseurs allant jusqu'à 50 cm de hauteur. Le système des interstices bâti par *B. p.* abrite la majorité de la microfaune des

grottes tyrrhéniennes. Ce phénomène est assez commun chez les Cirripèdes, dans les ceintures littorales : par exemple, les *Tetraclyta*.

Le rôle joué par les Décapodes dans la biocénose cavernicole reste à préciser. Les Isopodes sont bien représentés, mais encore mal connus. Les Amphipodes sont également assez nombreux. On constate, chez eux, une diminution très nette en espèces et en individus, de la zone phytale vers l'intérieur de la grotte.

Dans le quatrième groupe figurent les Mollusques, les Bryozoaires, les Echinodermes et les Ascidies.

Les Mollusques sont bien représentés. Certaines espèces sont des endolithes très efficaces, dominant souvent les Spongiaires et les Polychètes. Mais c'est surtout leur activité de constructeurs qu'il faut retenir. C'est notamment le cas des Lamellibranches et des Vermets. Les Mollusques fournissent en outre une part non négligeable de l'épifaune errante. Les rapports des différents groupes avec le biotope sont variés. Les Prosobranches préfèrent très nettement la région végétale des entrées, les Lamellibranches, au contraire, prolifèrent à l'intérieur. Signalons en passant, que le Céphalopode désigné comme *Eledone moschata* (Fig. 111) est un *Octopus vulgaris*.

Les Bryozoaires, encore insuffisamment connus, contribuent faiblement à l'élaboration des concrétions, mais en certaines zones obscures de l'entrée, ils sont parfois seuls à les construire. Chez certaines espèces, il existe une relation très étroite entre l'emplacement et la forme de croissance. Plusieurs espèces sont représentées sur le substrat dur secondaire, en profondeur et dans les grottes, et manquent dans les régions intermédiaires trop éclairées. Ceci avait déjà été observé sur les fonds coralligènes.

Parmi les Echinodermes, les petites Ophiures peuplent en grand nombre les interstices. Quant aux Ascidies, elles sont rares dans les grottes exposées, plus fréquentes dans les grottes abritées.

Parmi les Vertébrés, les problèmes sont évidemment différents; ils se posaient déjà, dans une certaine mesure, pour les Décapodes et les Céphalopodes. A leur égard, il faut parler d'éthologie plutôt que d'écologie, le comportement devient prédominant.

La troisième partie de ce chapitre traite de questions faunistiques. L'auteur donne d'abord un aperçu de l'état des connaissances actuelles et des lacunes (formes à stades pélagiques, parasites et commensaux, immigrants terrestres).

Un tableau (p. 203) groupe les classes du règne animal d'après l'importance qu'elles jouent dans la vie des grottes. Quatre embranchements manquent totalement dans les grottes : Entéropeustes, Cténophores, Chaetognathes, Acraniens. De 780 espèces originales connues des grottes, 60 seulement, soit 7,6 % ont été décrites pendant les 15 dernières années.

L'auteur se préoccupe ensuite de l'importance et des limites des espèces cavernicoles. Il n'existe très probablement pas d'espèces troglobies. Le nombre d'espèces troglaphiles est par contre très élevé. Ce sont en premier lieu les espèces sessiles des fonds durs primaires (roche nue) qui fuient la concurrence des algues.

Le problème des grottes « marginales » est évoqué. Ce sont des grottes d'origine marine où tout échange d'organismes avec la mer ouverte est coupé, où l'échange d'eau ne se manifeste plus que dans les variations de la pression hydrostatique, pendant une durée limitée; la salinité est encore celle de la mer. Dans les grottes plus anciennes (les plus nombreuses), toute influence marine a disparu, la circulation d'eau s'effectue dans le sens terre-mer, l'eau de la grotte est saumâtre. S'ils ont franchi le seuil faunistique que constitue une telle grotte, les organismes peuvent pénétrer dans l'eau douce. Ce seuil ne fonctionne dans l'autre direction que tout à fait exceptionnellement. La naissance de troglobies de grottes marginales (les seules vraies troglobies marines; on en connaît près d'une vingtaine d'espèces) exige l'interruption de la panmixie avec les populations de la mer libre. Les conditions de vie changent alors : le substrat se transforme par le retrait des formes sessiles, l'apport nutritif est suspendu, la salinité baisse. Ces transformations, même si elles se produisent lentement, demandent un très grand pouvoir d'adaptation aux organismes.

La question de la trogloxénie est posée. En Méditerranée, de 1/6 à 1/10 des organismes connus peuplent les grottes. Les facteurs qui excluent une vie cavernicole sont d'ordre édaphique, trophique et climatologique. Faunistiquement, la définition des vraies grottes sous-marines est plus nette vis-à-vis des grottes marginales (absence ou présence d'organismes troglobies ou troglaphiles) que vis-à-vis du littoral rocheux. Elle est formulée comme suit : *les grottes sous-marines proprement dites sont des espaces définis topographiquement qui accueillent en grand nombre des espèces troglaphiles appartenant en majeure partie au littoral rocheux, les espèces troglobies faisant défaut.*

« La distribution des peuplements cavernicoles » est le titre du chapitre IV. Il y sera question de la distribution d'une grotte typique, les faunes de différentes grottes seront ensuite comparées. L'auteur traitera finalement des changements temporels et géographiques.

Dans une grotte typique, la densité des algues baisse parallèlement à la diminution de l'éclairement. La faune sessile s'épanouit à partir du phytal vers l'intérieur. La zonation des différents groupes dépend des gradients de la lumière, de l'agitation de l'eau et de la concurrence de l'espace vital. Pour l'épifaune, la zonation semble être inexistante; la densité de l'endofaune dépend de celle des espèces encroûtantes ou encore de la distribution du sédiment. Pour la majorité des groupes, la plus grande densité est atteinte dans les parties centrales. La distribution est également sous la dépendance de l'inclinaison du substrat. Au fond des grottes, en obscurité et en eau calme, à inclinaison égale, ce sont les dépôts de sédiment qui interviennent sur la distribution des animaux.

Lorsqu'on compare les faunes de différentes grottes, 3 aspects retiennent l'attention : la profondeur de la grotte, sa taille et sa forme.

Par rapport à une grotte superficielle, on observe dans une grotte profonde : une diminution extrêmement accusée de la faune et de la flore, une concentration de la faune autour de l'entrée, le fond non habité (« quart vide ») de la grotte s'accroît, à une plus grande profondeur

encore, certaines espèces quittent la grotte, d'autres, au contraire, y entrent.

La taille de la grotte joue un rôle dans la distribution des organismes s'il s'agit de grottes moyennes et grandes. Dans ce dernier cas le « quart vide » devient plus important.

La forme de la grotte intervient de façon décisive dans la distribution des organismes. La zonation est très régulière dans les grottes en cul de sac et, si elle est complète, on peut distinguer 6 zones allant du phytal au « quart vide ». La zonation dans les grottes sensu stricto est peu différente, mais par le fait d'une corrélation moins rigoureuse entre les gradients de lumière et d'agitation de l'eau, certaines zones sont plus étendues. Dans les passages et arcades, où l'agitation de l'eau est constante, mais l'éclairement très variable, il est difficile de déceler une zonation. Le cas des niches et des surplombs démontre clairement que les peuplements cavernicoles s'installent en fonction de la protection contre la lumière. Les limites des peuplements cavernicoles sont discutées; le « quart vide » est caractérisé par le manque d'espèces sessiles (la roche est nue), la présence de quelques formes errantes, la grande distance de l'entrée. Son existence tient à l'apport d'eau douce, le manque de nourriture, la pollution de l'eau.

La faune cavernicole est sujette à des variations indépendantes du type des grottes; les unes se produisent à l'échelle d'une grotte (dynamique du peuplement cavernicole, rythmes journaliers ou annuels) et les autres à l'échelle géographique.

Comme beaucoup de peuplements de substrat dur, celui des grottes est stratifié. Les endolithes constituent la strate profonde (I). Les espèces foreuses attaquent la roche nue et s'y installent. La strate intermédiaire, la plus importante (II), est construite par les espèces encroûtantes, espèces à test calcaire entraînant avec eux des formes secondaires qui habitent les tests morts (du même type que les (I)) d'une part, et les éponges et Ascidies (formes massives) d'autre part. Les formes de la strate élevée (III) s'installent avant tout sur les espèces à test calcaire.

D'après RIEDL, les premiers occupants d'une surface vierge sont inconnus, toutes les formes sessiles ayant théoriquement la même chance de s'établir. Les endolithes, qui n'entrent pas en concurrence entre eux, se développent très rapidement. La concurrence pour l'espace vital commence après quelques mois. Un équilibre s'installe au bout d'un à deux ans.

Les variations journalières se résument dans le rythme d'activité. Les variations annuelles sont peu connues (plongées limitées à l'été); on peut cependant observer un rapport entre les conditions cavernicoles et la période de reproduction.

En ce qui concerne les modifications de grottes situées dans des régions ou mers différentes, elles se manifestent, soit par la disparition pure et simple d'un peuplement dans certaines grottes, soit par le remplacement par d'autres espèces appartenant au même groupe, soit enfin par la différence de profondeur à laquelle une même espèce ou un même peuplement est récolté.

La définition écologique des grottes annule en partie la définition topographique, et notamment les notions de volume minimal et de

formes : *Les grottes sous-marines sont des biotopes aphytaux des fonds durs primaires du Sublittoral, principalement peuplées, en entier ou à l'entrée, de formes sessiles rhéophiles et photophobes et de leur faune errante associée.*

Le chapitre V s'intitule : « Les facteurs de la colonisation des grottes ». Il existe deux groupes de facteurs dont dépend la vie dans les grottes, les inorganiques et les organiques. Les premiers sont au nombre de trois, dont deux très importants : lumière et agitation de l'eau et un autre, secondaire, substrat et milieu. L'auteur parle d'abord de l'exposition à la lumière et à l'agitation de l'eau, il en discute ensuite les effets.

L'exposition à la lumière d'une grotte est déterminée par cinq facteurs, l'éclairement à la surface, la profondeur de l'eau, la situation de la grotte par rapport aux points cardinaux, l'angle solide de l'ouverture et l'inclinaison de son axe. Les trois derniers sont responsables de la protection contre la lumière. La profondeur de l'eau intervient dans la dispersion et l'absorption de la lumière.

La lumière agit de façon multiple sur les peuplements cavernicoles. Tout d'abord, elle les limite vers l'extérieur, soit directement, soit indirectement, en favorisant la croissance des algues. Cette limite se situe à 0,5 - 1 % de la lumière de surface. Les différentes espèces animales se groupent en zones d'éclairement.

L'agitation de l'eau d'un point déterminé est sous la dépendance de quatre facteurs : l'exposition de la côte, et son profil, la profondeur de l'eau, la forme et la structure du substrat (important pour la faune des interstices). L'agitation de l'eau est accélérée ou ralentie selon la forme de la grotte (canaux étroits ou élargissements); sa valeur peut être déduite de la distribution d'espèces réagissant différemment aux courants (Hydrides, p. ex.) et d'après les formes d'érosion.

Dans les zones d'agitation forte s'installent les mangeurs de plancton passifs. Dans un même genre, une petite espèce peuple la zone de ressac, les espèces de taille moyenne se trouvent dans la zone des oscillations, et les grandes espèces préfèrent la zone de courant.

Les sept zones d'exposition au mouvement d'eau que l'auteur avait distinguées pour le littoral rocheux se retrouvent dans les différentes parties des grottes, étendues ou rapprochées près de l'ouverture, selon la forme et la profondeur. Le développement de peuplements cavernicoles exige une agitation qui comporte au moins 2 - 10 % de celle de la surface. La nature du substrat et les qualités de l'eau n'interviennent pas dans la limitation des peuplements cavernicoles vers l'extérieur, mais ils peuvent jouer un rôle dans la distribution à l'intérieur de la grotte.

La deuxième partie du chapitre est consacrée aux facteurs organiques qui sont liés aux conditions limites des facteurs inorganiques bien qu'ils constituent souvent les causes immédiates du peuplement. Un des facteurs, ou complexe des facteurs est la concurrence pour l'espace. Dans les régions phytiales ouvertes, les animaux sessiles sont menacés, seules les espèces de petite taille à développement rapide ont des chances. Dans le phytal obscur, les prairies d'algues laissent la place aux

algues encroûtantes et aux éponges. A l'intérieur des grottes, la lutte se livre entre les animaux sessiles.

Il existe un lien entre la nature du substrat et le mode de locomotion de ses habitants. Le substrat sert d'abri et là encore, les hôtes diffèrent selon sa nature. De nombreux animaux sont liés à des organismes benthiques parce qu'ils s'en nourrissent.

Un troisième facteur organique se trouve être l'eau en tant que milieu de suspension du plancton. La richesse du plancton de la mer ouverte est environ 100 fois supérieure à celle de l'eau des grottes. Les animaux sessiles cavernicoles appartiennent en majorité au type primaire de nutrition, ils sont mangeurs de plancton. Ils sont filtreurs actifs (Spongiaires, Lamellibranches), filtreurs semi-passifs (Cirripèdes) ou filtreurs passifs (Cnidaires). Une concurrence pour la nourriture est exclue, les premiers se nourrissant d'organismes d'une taille de 0,5 - 0,8 μ , les seconds mangeant du plancton de 2 μ - 1 mm, les troisièmes étant spécialisés dans le zooplancton.

La relation entre la quantité d'eau filtrée par les organismes cavernicoles (tabl. 17, p. 390) et la réserve d'eau d'une grotte est une question qui se pose avec acuité. Les grandes grottes sont avantagées. Une grotte de 10 m de longueur possède des réserves nutritives pour une heure, une grotte de la même forme mais d'un mètre de longueur pour huit minutes seulement. Il faut donc que l'eau de cette dernière soit renouvelée 7,5 fois par heure.

Mais les facteurs du milieu ne sont pas seuls à déterminer la vie cavernicole. Le comportement de la macrofaune errante joue également un rôle. La présence des Poissons et des grands Invertébrés dans les grottes est fonction de leurs liens avec le substrat. La durée de séjour dans les grottes et quelques comportements particuliers (natation, fuite, etc...) indiquent le degré de relation entre les poissons et la grotte. Les grottes se révèlent en premier lieu comme abri (vis-à-vis de l'éclaircissement et du contact), ensuite comme endroit de repos.

Les interactions très complexes des facteurs externes abiotiques, et biotiques et des facteurs endogènes qui déterminent la vie cavernicole sont schématisées dans une figure (fig. 255). Le jeu de huit facteurs est finalement nécessaire pour créer des conditions de vie en grotte. Six sont inorganiques : l'agitation de l'eau, l'absence de sédiment, la stabilité et l'emplacement du substrat, l'angle de protection qu'il forme et la direction de celui-ci par rapport aux points cardinaux. Deux sont organiques, la nourriture disponible et les états de stimulation.

La définition fonctionnelle de la grotte sous-marine est la suivante : *dans la zone éclairée du littoral rocheux, des grottes sous-marines se présentent comme biotope lorsqu'un éclaircissement comportant 0,1 - 1 % de la lumière de surface, un substrat stable et recevant 2 - 10 % de l'agitation de l'eau en surface et un plancton suffisamment abondant permettent aux formes sessiles et à leurs habitants ultérieurs de s'établir ou lorsqu'un état de stimulation rend attractives les conditions d'éclaircissement et de contact aux formes plus évoluées.*

Si les chapitres II-V peuvent être considérés comme un minutieux exposé des résultats acquis, exposé qui suit des lignes directrices rigou-

reuses, les deux derniers chapitres constituent la véritable synthèse. Il est nécessaire de dire que certaines des considérations exposées dans cette dernière partie vont bien au-delà des éléments concrets dont dispose l'auteur pour conduire sa réflexion.

Le chapitre VI porte le titre « La faune cavernicole comme système ». L'unité des peuplements de grottes laisse présumer que l'équilibre n'est pas dû aux seuls facteurs externes, mais au contraire créé par des relations interspécifiques. Dès lors, la question de l'existence d'un système biocénotique, terme que l'auteur a soigneusement évité dans les chapitres précédents, se pose.

Les résultats peuvent être acquis par voie analytique (synécologie) ou par voie de synthèse (autécologie). Pour la première, trois étapes ont été parcourues : détermination de peuplements, d'associations, et finalement de la biocénose, ce qui implique que l'on connaît la nature des liens interspécifiques. RIEDL ne reconnaît qu'une valeur réduite à ces deux derniers termes.

Les peuplements de Spongiaires sont peu homogènes. Les gradients les plus accusés de leur distribution sont fonction de l'agitation de l'eau, en deuxième lieu de la lumière et de la sédimentation. Ces trois facteurs se superposent différemment dans les diverses grottes. Il y a peu d'associations. Par contre, les peuplements d'Hydraires sont plus homogènes, les zones sont très marquées et les associations nombreuses. Les peuplements d'Anthozoaires, pauvres en espèces, sont également uniformes, à gradients nets. L'homogénéité des Turbellariés est très haute, elle varie entre 60 et 80 %. Les conditions de vie de ce groupe sont intimement liées au substrat. Quatre associations de Turbellariés ont pu être mises en évidence. Les Némertiens sont encore plus indépendants des facteurs qui n'agissent pas au niveau du substrat; leur peuplement sont très homogènes. L'homogénéité des Mollusques atteint 60 % dans les grottes, mais leurs groupes systématiques sont écologiquement très différents.

En résumé, des associations plus ou moins nettes, existent dans tous les groupes examinés, les gradients sont plus ou moins marqués.

En majorité, les limites des associations se situent à l'entrée des grottes; la faune cavernicole est donc distincte de celle du littoral rocheux. Mais la limite est différente pour chaque groupe, les distributions des formes éthologiquement proches étant les plus semblables. Quatre types éthologiques peuvent être distingués :

- Les filtreurs actifs, largement indépendants des gradients de facteurs climatiques; c'est le substrat, et plus particulièrement la concurrence pour l'espace vital, qui détermine leur développement.
- Les filtreurs passifs, dépendant étroitement des facteurs climatiques et surtout de l'agitation de l'eau, le substrat ne jouant qu'un rôle secondaire.
- L'épifaune errante, assez indépendante des facteurs climatiques, se trouve intimement liée aux conditions de surface, c'est-à-dire aux espèces sessiles.
- L'endofaune errante est fonction des organismes qui constituent les couches I et II du substrat.

Les modalités des liens entre les organismes qui forment les associations sont exposées. RIEDL distingue cinq degrés d'associations (quantitativement) allant de l'association régulière à l'absence totale d'associations. Les origines des associations appartiennent à quatre groupes :

- les facteurs climatiques externes,
- le climat des organismes,
- les liens biotiques par de tierces espèces,
- les facteurs climatiques externes,

Les degrés et les causes d'associations sont examinés à partir des éléments primaires jusqu'à l'unité la plus large afin de déterminer quelles unités sont les plus importantes. Pour ce qui est des liens entre les éléments appartenant aux sept groupes écologiques constituant l'association, on constate que chez les sessiles, les liens ont des causes d'ordre inorganique, que la tendance à l'association grandit depuis les endolithes vers la strate élevée avec la dépendance croissante des facteurs externes, que les associations des errantes se font le plus souvent par de tierces formes, les relations interspécifiques directes étant rares (fig. 270).

Les liens à l'intérieur des groupes éthologiques sont ensuite étudiés et confrontés avec le degré et les causes des liens qui existent entre les éléments primaires.

Trois unités supérieures sont distinguées, les peuplements de base, ceux de la surface et ceux de la strate élevée. Les quatre possibilités de dépendance citées plus haut sont modérément développées, rares ou absentes; seuls chez les peuplements de la strate élevée, des liens réguliers entre le substrat et les formes errantes existent.

Les relations de ces trois peuplements principaux sont largement déterminées par les liens interspécifiques et les effets climatiques intérieurs. Il n'existe pas de lien assuré par des espèces d'un autre peuplement principal.

Les liens à l'intérieur de l'association totale deviennent nuls. L'importance des causes d'association est graduellement réduite lorsque l'on monte l'échelle des liens entre éléments primaires jusqu'aux liens entre peuplements. Il en résulte que la faune cavernicole entière n'est que la somme de ses éléments, et ne peut pas prétendre au caractère de système.

Les associations cavernicoles sont-elles ouvertes ou fermées ? Si la notion de biocénose implique la présence de producteurs, consommateurs et d'agents de dégradation, établissant un équilibre entre eux, le peuplement de grottes ne correspond pas à une biocénose. C'est un peuplement de consommateurs, en majeure partie des filtreurs de plancton. Les agents de dégradation, sans doute les bactéries benthiques, produisent trop de phosphates et nitrates pour une utilisation sur place.

La nourriture est fournie par l'eau qui circule et emporte le CO_2 , les nitrates et les phosphates. Une grotte moyennement peuplée d'un mètre cube filtre $1,5 \text{ m}^3$ d'eau par heure.

La majorité des animaux cavernicoles passent une partie de leur vie à l'extérieur (larves planctoniques). La chance de quitter la grotte augmente avec la durée de vie larvaire, mais théoriquement, la durée d'une heure est suffisante. Une partie de ces larves retourne aux grottes et si

elle ne parvient pas à s'y établir, elle sert de nourriture aux autres organismes. Le peuplement des grottes est donc une biocénose ouverte.

Les causes et les effets des associations sont ensuite analysés. En ce qui concerne les facteurs exogènes, il convient de signaler surtout leur degré de corrélation. Des associations climatiques directes existent si les organismes dépendent à un degré rigoureusement identique d'un même facteur primaire. Des associations climatiques indirectes se forment si deux facteurs primaires de deux espèces sont différents, mais absolument liés par un autre facteur externe. D'autre part, l'unité physiographique garantissant une permanence de certains facteurs externes, permet l'établissement d'associations. Dans une perspective évolutive, des rencontres plus ou moins accidentelles de deux espèces peuvent créer un lien biotique.

Les relations endogènes (directes entre deux espèces ou indirectes par une troisième) naissent, au moins chez les formes sessiles, de liens exogènes. Dans l'élaboration de ces relations, trois paliers peuvent être distingués : un niveau préliminaire où un lien entre une espèce et un groupe devient préférentiel mais non exclusif, un palier de formation où ce lien devient exclusif, enfin le palier de maturation où l'espèce est plus particulièrement liée à une seule espèce du groupe, en subissant des adaptations.

Les différentes formes à convergence éthologique ne montrent pas la même aptitude à développer des liens endogènes. D'une façon générale les errantes y sont plus disposées que les sessiles. Les corrélations s'établissent plus souvent entre formes de groupes éthologiques différents.

RIEDL revient à la question posée au début du chapitre, celle du caractère de système des associations cavernicoles. Les peuplements des grottes sont plus qu'une cohabitation d'espèces déterminée par des facteurs externes, des facteurs endogènes agissent également. Ces peuplements sont une combinaison d'espèces qui ont une influence réciproque mais qui n'ont pas de caractère de régulation et qui, abstraction faite de quelques prédateurs, ne peuvent pas se maintenir elles-mêmes. Cette combinaison d'espèces n'a pas le caractère d'un superorganisme.

Les formes cavernicoles sont relativement jeunes. Les unités systématiques ne dépassent pas la famille, alors que dans les substrats meubles il existe des ordres et des classes, dans le domaine pélagique des embranchements. La jeunesse des peuplements cavernicoles est liée aux conditions relativement récentes des grottes.

Un principe tendant à former une biocénose ne peut être trouvé ni dans l'origine des caractères adaptatifs, ni dans la formation ou le développement des diverses associations. Les espèces ne tendent pas à un équilibre de l'ensemble qu'elles constituent, mais à leur propre survie.

La définition biocénotique de la grotte est la suivante : *les grottes sont des biotopes du littoral rocheux éclairé, peuplées par des biocénoses ouvertes d'associations presque exclusivement consommatrices (dont le premier et principal membre est constitué par les filtres planctoniques) qui dépendent de l'échange trophique avec les régions voisines, et dont le changement de biotope est obligatoire pour les individus.*

Les peuplements cavernicoles ne peuvent être compris qu'en étroite

relation avec le système dont ils font partie, le littoral rocheux; leur connaissance contribuera d'autre part à mieux interpréter le système littoral en général. Tel est le double but de ce dernier chapitre, divisé en deux parties : l'origine de la faune cavernicole et la division du système littoral.

Quelques définitions s'imposent. Il faut distinguer les corrélations simples : celles des caractères d'une espèce avec son biotope et les corrélations multiples : celles des caractères des groupes avec leur biotope. Il existe deux groupes d'espèces, le groupe éthologique, réunissant des espèces non apparentées mais appartenant à un même type fonctionnel (types éthologiques), et le groupe systématique, contenant des espèces systématiquement proches dont les relations avec le biotope ont souvent des raisons historiques (types écologiques).

Les lignées adaptatives se créent à partir de formes dont la destruction en tant qu'espèce va de pair avec le développement de caractères adaptatifs et l'isolement géographique. Les types écologiques se forment à partir de quelques représentants de lignées adaptatives lorsque celles-ci, par le développement de caractères adaptatifs, ont acquis une multitude de formes qui leur est propre. Les types éthologiques naissent de la réunion de formes éthologiques convergentes provenant de lignées adaptatives d'origine différente. On distingue les lignées adaptatives morphologiques, des lignées biologiques et des lignées éthologiques.

Dans les lignées adaptatives éthologiques, les corrélations fonctionnelles sont particulièrement précises. Le meilleur exemple est le gradient de densité et le changement de forme de croissance en fonction de l'agitation de l'eau chez les Hydraires et les Algues.

Dans le cas des types écologiques, après une analyse détaillée des principaux biotopes d'une classe ou d'un ordre, on constate que dans la composition des différentes faunes, des espèces d'unités systématiques bien déterminées dominent. Ces particularités de la faune sont appelées spectres faunistiques. Dans chaque unité systématique, une sous-unité prévaut par le nombre d'espèces et d'individus. Ces lignées écologiques sont illustrées par l'exemple des Turbellariés et des Némertiens (fig. 300). Les voies qui lient les spectres faunistiques et les biotopes, selon leur degré de ressemblance, correspondent à la parenté naturelle des groupes.

RIEDL recherche les causes de l'existence des types écologiques et arrive à formuler une théorie à partir des réponses aux questions suivantes :

- Les grottes comme biotopes d'origine ou biotopes de refuge. La première hypothèse est de loin la plus vraisemblable, la deuxième ne saurait expliquer l'évolution parallèle des lignées écologiques et systématiques, surtout s'il s'agit de longues lignées.
- L'existence de biotopes primitifs (d'origine). Si pour les Turbellariés et les Némertiens, les formes primitives habitent les anciens biotopes, chez d'autres groupes, Crustacés Décapodes, Prosobranches, les formes primitives ont d'abord peuplé les biotopes plus jeunes et ont pénétré dans les anciens plus tard.
- La parenté des groupes et la ressemblance des biotopes. La séparation d'une population ne change pas le caractère des biotopes.

Deux populations, au début de leur développement, peuvent donc habiter un biotope rigoureusement identique. Mais plus tard, des adaptations à des régions voisines du premier biotope peuvent se manifester différemment.

La conception du type écologique implique que, constamment et régulièrement, des caractères disparaissent du potentiel adaptatif de l'espèce, qu'ils se fixent, au moment même où ils sont devenus la base de caractères nouveaux. Il n'existe alors plus de possibilité d'évolution pour ces espèces et leurs exigences vis-à-vis du biotope sont strictes.

La théorie des types écologiques peut donc se concevoir de la façon suivante : les lignées des types morpho-écologiques ne peuvent pas s'expliquer fonctionnellement. Elles ne sont pas le résultat de manifestations adaptatives récentes, mais celui de caractères fixés lors de processus adaptatifs anciens. Il s'agit de lignées historiques.

L'origine des peuplements cavernicoles a des causes fonctionnelles et historiques. Les relations fonctionnelles sont au nombre de quatre. La majorité des lignées adaptatives et écologiques conduisant vers les grottes doit tenir compte de la dynamique du milieu (forme de croissance, etc.). La solidité du substrat est importante (suppression du stade méduses chez les Campanulariidés, etc.). Des adaptations nutritives sont mises en évidence par la morphologie du pharynx de certains Turbellariés.

La seconde partie de ce chapitre est consacrée à l'étude générale du système littoral et de facteurs inorganiques et organiques qui le déterminent; elle n'apporte rien de fondamentalement nouveau au sujet des grottes, et le chapitre se termine par la définition systématique des grottes : *Les grottes sous-marines sont, à l'intérieur du système littoral, l'environnement relativement jeune des zones de production secondaire pures et développées à leur maximum qui se forment dans les conditions fondamentales du niveau supérieur de l'agitation de l'eau et du niveau inférieur d'éclairement. Cet environnement favorise la sélection et l'adaptation de formes sessiles qui sont également disposées vis-à-vis de la dynamique du milieu et de la grande stabilité du substrat et de ceux des habitants qui peuvent s'adapter aux conditions de ce substrat.*

L'ouvrage que nous propose RIEDL est le fruit de vingt ans d'observations, d'explorations et de réflexions; incontestablement, il s'agit d'un traité magistral indispensable, au-delà des grottes sous-marines, à tous ceux qui s'intéressent aux peuplements marins de substrat dur. Le caractère synthétique de ce livre, joint à l'esprit de l'auteur visiblement attiré vers des considérations quasi philosophiques, rend sa totale compréhension difficile à tous ceux qui ne connaissent pas les travaux originaux à partir desquels a été faite cette synthèse, en particulier l'ensemble de l'appareil méthodologique utilisé.

La présentation de l'ouvrage est en tous points impeccable. Les photographies en couleurs illustrent magnifiquement ce biotope peu connu, et sont complétées par un très grand nombre de clichés en noir et blanc et de schémas et diagrammes explicatifs.

Le choix de la typographie et les nombreux passages en petits caractères ou en italiques facilitent la consultation et la lecture.

Lucien LAUBIER et Katharina MANGOLD.

Henri LACOMBE. — Les énergies de la mer. « Que Sais-je ? », n° 431. Presses Universitaires de France, 128 p.

Le problème des échanges d'énergie entre l'atmosphère et l'océan domine l'océanographie physique moderne. On sait que ce sera un des thèmes directeurs de l'effort d'océanographie en France dans les années qui viennent. Le Laboratoire d'océanographie physique que dirige le Professeur Henri LACOMBE s'y intéresse depuis plus de cinq ans. L'auteur est donc particulièrement qualifié pour replacer le problème des échanges océan-atmosphère dans une analyse d'ensemble des énergies de la mer et plus particulièrement de l'immense machine thermique que constitue le système océan-atmosphère.

En un peu plus de cent pages, sans développements théorique ni bibliographique poussés, l'auteur traite successivement des échanges d'énergies thermique et mécanique et de l'énergie de la marée. Deux pages sont consacrées pour mémoire à l'énergie électromagnétique, le chapitre final faisant le bilan des énergies dissipées dans la mer ou par la mer. Le livre fait ressortir clairement « combien peu d'énergie mécanique l'océan et même l'atmosphère créent à partir de l'énergie du rayonnement solaire », l'océan et l'atmosphère étant essentiellement des « réflecteurs » de l'énergie thermique.

Ce livre est précieux, non seulement pour informer le lecteur cultivé, mais surtout pour aider l'océanographe, ayant, à quelque titre que ce soit, affaire aux masses d'eau océaniques, à replacer le problème qu'il étudie dans une plus juste perspective. Le traitement du sujet difficile à exposer qu'est le transfert de l'énergie mécanique de l'atmosphère à la mer est particulièrement clair. En résumé, l'auteur a su exposer simplement l'essentiel de ce problème et, ne serait-ce que pour cela, ce petit livre a sa place dans une bibliothèque d'océanographe.

X. LE PICHON.

Deep-Sea Photography, 1967. Edité par John Brackett Hersey, Woods Hole Oceanographic Institution. 310 p. The Johns Hopkins Oceanographic studies, number 3. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

J.B. HERSEY a dirigé la réalisation d'un important ouvrage sur l'utilisation de la photographie sous-marine dans différents domaines de recherche. Parmi les nombreux auteurs des quelques 25 chapitres, on peut citer quelques-uns des grands noms de l'Océanographie Nord-Américaine : M. EWING, H.E. EDGERTON, C.J. SHIPEK, D.M. OWEN, K.O. EMERY, etc...

Ce livre ne traite que de photographie profonde à l'aide de caméras immergées, guidées de la surface ou équipant des submersibles de recherche, à l'exclusion de tout procédé mettant en œuvre des plongeurs sous-marins.

Les quatre premiers chapitres sont consacrés, après un bref rappel historique (BOUTAN, BEEBE) à la physique de la photographie en profondeur, aux différents types d'instruments utilisés et à la manipulation de caméras immergées, en particulier à la localisation des engins par rapport au fond par écholocation ou par d'autres techniques, faisant essentiellement appel à l'expérience acquise par les auteurs au cours de leurs recherches.

Les vingt-et-un chapitres suivants qui comportent, comme les précédents, une très abondante iconographie, exposent diverses utilisations de la photographie sous-marine en océanographie :

— Application de la stéréophotographie à l'étude des microreliefs et en particulier des ripple marks pour l'étude des courants.

— Programmes de recherches, aléatoires ou dirigées, avec de très passionnantes références à la recherche d'épaves (plus précisément celle du sous-marin Tresher).

— Etudes courantométriques et néphélogométriques, estimation de la dureté des fonds, sont autant d'applications possibles.

Le biologiste trouvera plusieurs chapitres concernant l'étude des faunes profondes; en dépit de la difficulté de déterminer des animaux sur une photographie, cette technique se révèle d'un grand intérêt pour l'étude du benthos de substrat rocheux : c'est en effet une des rares techniques d'approche de ces milieux sur lesquels les engins de prélèvement sont trop souvent inefficaces.

Etude des populations benthiques et estimations quantitatives : la photographie sous-marine peut apporter une aide précieuse à la solution de ces problèmes mais ne semble pouvoir en aucun cas être suffisante; il faut associer cette technique à des prélèvements (dragues, bennes) pour obtenir des résultats satisfaisants.

Un important chapitre est consacré à l'étude des traces d'animaux visibles sur les fonds. Beaucoup de ces traces observées sur des photographies et souvent connues des géologues dans des couches fossiles sont encore énigmatiques. La recherche et la découverte par la photographie d'une trace et de l'animal qui la laisse présentent un intérêt certain, que ce soit pour l'étude des peuplements actuels (en effet, un grand nombre de photographies montrent de telles traces et la connaissance de l'espèce responsable serait précieuse pour interpréter ces documents), ou l'étude de traces fossiles qui, par référence aux traces actuelles, conduiraient à connaître les conditions paléocéologiques lors de leur formation.

Le dernier chapitre expose les techniques d'étude des déplacements des animaux à partir de photographies successives (expérience réalisée sur le bathyscaphe Trieste).

Ce livre n'est pas un traité de photographie sous-marine, mais il résume les recherches de différents chercheurs, montre les résultats déjà obtenus et ouvre un certain nombre de directions de travaux futurs.

D'une très bonne présentation, admirablement illustré (notons en particulier la belle série de photographies stéréoscopiques), cet ouvrage est un outil de travail important par les voies nouvelles de recherche qu'il indique.

D. R.

John MAUCLINE and Leonard R. FISHER. — Distribution of the Euphausiid Crustacean *Meganyctiphanes norvegica* (M. Sars), fascicule 13 de Serial Atlas of the Marine Environment. The American Geographical Society, Broadway, New York. Prix du fascicule : \$ 5.00, non relié; \$ 9.00, relié.

Meganyctiphanes norvegica est le plus grand, et dans de nombreuses zones, le plus commun des Euphausiacés présents dans l'Atlantique Nord. Ce fascicule contient des cartes de distribution de cette espèce pour toute son aire de présence, à partir des latitudes nord de l'Islande au Cap Hatteras au sud-ouest, et au sud-est de toute la Méditerranée septentrionale jusqu'à la mer de Marmara. Les observations de présence des adultes et des larves sont représentées séparément. Les traits généraux de sa biologie sont décrits : centres de reproduction, différences géographiques dans les taux de croissance, époques de reproduction et développement des larves. Les observations d'essaims en surface de cette espèce sont passées en revue et les zones et les mois de l'année où ces essaims ont été observés sont indiqués sur les cartes.

Robert CUSHMAN MURPHY. — Distribution of North Atlantic Pelagic Birds, fascicule 14 de Serial Atlas of the Marine Environment. The American Geographical Society, Broadway, New York. Prix du fascicule : \$ 8.000, non relié; \$ 13.00, relié.

Le fascicule 14 traite des oiseaux des hautes mers qui se distinguent de la majeure partie des espèces côtières et de celles limitées aux eaux recouvrant les plateaux continentaux. Les faunes aviennes de ces régions océaniques s'excluent mutuellement dans une grande mesure, même si on peut trouver certaines espèces d'oiseaux dans les deux zones.

Les oiseaux pélagiques de l'Atlantique Nord proviennent d'aires de reproduction situées dans chaque zone de vie climatique de l'Arctique à l'Antarctique. Un nombre de reproducteurs des plus hautes latitudes soit de l'hémisphère nord soit de l'hémisphère sud, émigrent en passant par les régions tropicales et subtropicales et atteignent les hautes latitudes de l'hémisphère opposé. L'Atlantique Nord, par suite de son rétrécissement au niveau des latitudes subarctique et tropicale est biogéographiquement moins schématique que les autres océans, en particulier que ceux de l'hémisphère sud. Les influences météorologiques et océanographiques se joignent au récent comblement géologique des larges voies d'eau de l'Arctique et de l'Amérique Centrale avec l'Océan Pacifique pour produire des types de distribution complexes et même quelque peu exceptionnels.

Sur la base de données convenables encore insuffisantes, les huit planches de ce fascicule décrivent, dans toute la mesure du possible, les aires de reproduction et les zones océaniques de 35 oiseaux pélagiques.

Ces résultats jettent une nouvelle lumière sur la systématique et l'histoire évolutive de certains oiseaux de l'Atlantique Nord par rapport aux formes proches, des autres océans. Les processus et même l'âge relatif de la spéciation sont dans certains cas d'une évidence convaincante. Ceci est particulièrement vrai quand on peut démontrer que des unités actuellement isolées de populations uniques à l'origine, n'ont pas eu l'occasion de se mêler ou au contraire de se superposer depuis la période pléistocène.

Le fascicule 11 traite des oiseaux des hautes mers qui se distinguent de la majeure partie des espèces côtières et de celles limitées aux eaux recouvrant les plateaux continentaux. Les données avancées de ces régions océaniques s'échelonnent naturellement dans une grande mesure, même si on peut trouver certaines espèces d'oiseaux dans les deux zones.

Robert CURRIE MITCHELL. — Distribution of North Atlantic Pelagic Birds. Fascicule 11 de *Serial Atlas of the Marine Environment*. The American Geographical Society, Broadway, New York City. In fascicule : \$ 8.000, non relié : \$ 13.000, relié.

Les oiseaux pélagiques de l'Atlantique Nord proviennent d'aires de reproduction situées dans chaque zone de vie climatique de l'Arctique à l'Antarctique. En nombre de reproducteurs des plus hautes latitudes soit de l'hémisphère nord soit de l'hémisphère sud, émigrent en passant par les régions tropicales et subtropicales et affaiblissent les hautes latitudes de l'hémisphère opposé. L'Atlantique Nord, par suite de son étirement au niveau des latitudes subarctique et tropicale est biologiquement moins schématisé que les autres océans, en particulier que ceux de l'hémisphère sud. Les influences météorologiques et océanographiques se joignent au récent complètement géologique des lignes voies d'air de l'Arctique et de l'Amérique Centrale avec l'Océan Pacifique pour produire des types de distribution complexes, et même plus que par exceptionnels.

Sur la base de données convergentes encore insuffisantes, les huit planches de ce fascicule décrivent, dans toute la mesure du possible, les aires de reproduction et les zones océaniques de 35 oiseaux pélagiques.

TABLE DES MATIÈRES

XIX — Série B

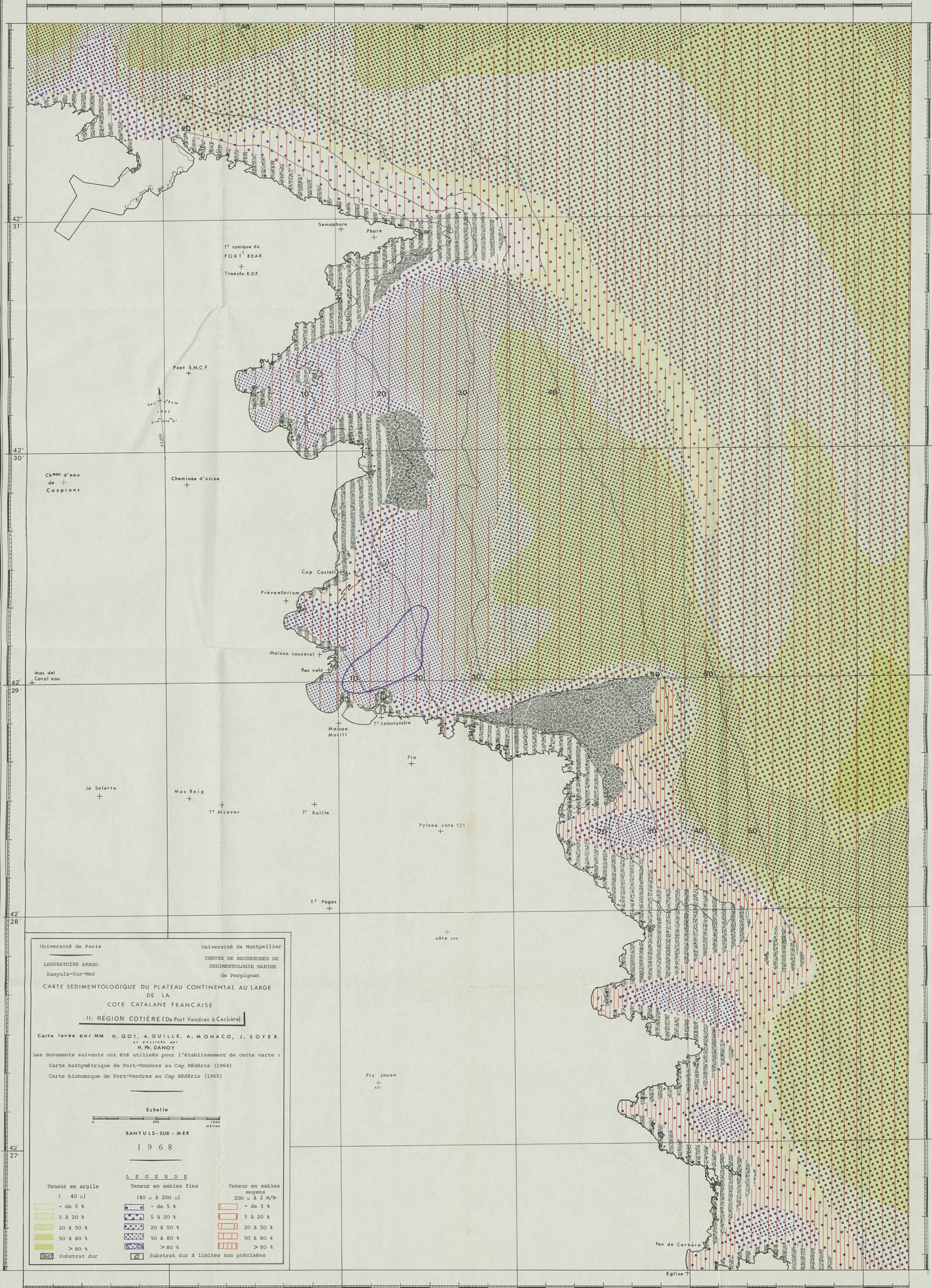
<i>Analyses d'ouvrages</i>	429
F. GADEL. — Sur un exemple d'évolution lagunaire : l'étang de Saint-Nazaire (Roussillon)	291
GLÉMAREC. — <i>Siboglinum atlanticum</i> , Pogonophore nouveau pour le golfe de Gascogne	425
Henri GOT et Lucien LAUBIER. — Prospections sismiques au large des Albères : nature du substrat originel des fonds coralligènes	9
H. GOT, A. GUILLE, A. MONACO et J. SOYER. — Carte sédimentologique du plateau continental au large de la côte catalane française (P.-O.)	273
A. GUILLE. — Cf. H. GOT	273
Alain GUILLE et Jacques SOYER. — La faune benthique des substrats meubles de Banyuls-sur-Mer. Premières données qualitatives et quantitatives	323
G. JACQUES. — Aspects quantitatifs du phytoplancton de Banyuls-sur-Mer (golfe du Lion). II. - Cycle des Flagellés nanoplanktoniques (juin 1965 - juin 1967)	17
Guy JACQUES, Claude RAZOULS et Alain THIRIOT. — Données météorologiques et hydrologiques de la région de Banyuls-sur-Mer. Année 1966-1967	185
Lucien LAUBIER. — Cf. Henri GOT	9
Lucien LAUBIER. — Présence au Portugal de deux Annélides Polychètes interstitielles	426
A. MONACO. — Cf. H. GOT	273
Claude RAZOULS et Alain THIRIOT. — Mise en évidence des variations d'échantillonnage des prélèvements verticaux (filet Hensen)	197
Claude RAZOULS. — Cf. Guy JACQUES	185

Suzanne RAZOULS et Alain THIRIOT. — Le macroplankton de la région de Banyuls-sur-Mer (golfe du Lion)	133
B. SAINT-GUILY. — Effet de la thermocline sur la diffusion d'une substance à partir d'une source	1
B. SAINT-GUILY. — Diffusion verticale dans les eaux superficielles de l'Ouest de la Mer Méditerranée et du Sud de la Mer Rouge	225
E. SENTZ-BRACONNOT. — Relation entre les larves planctoniques et les jeunes stades fixés chez les Lamellibranches, dans la rade de Villefranche-sur-Mer (Alpes-Maritimes) .	85
E. SENTZ-BRACONNOT. — Données écologiques et biologiques sur la fixation des <i>Serpulidae</i> , dans la rade de Villefranche-sur-Mer (Alpes-Maritimes)	109
J. SOYER. — Cf. H. GOT	273
Jacques SOYER. — Cf. Alain GUILLE	323
Alain THIRIOT. — Cf. Suzanne RAZOULS	133
Alain THIRIOT. — Cf. Guy JACQUES	186
Alain THIRIOT. — Cf. Claude RAZOULS	197
Alain THIRIOT. — Les Cladocères de Méditerranée occidentale. I. - Cycle et répartition des espèces du genre <i>Evadne</i> à Banyuls-sur-Mer (golfe du Lion), 1967	361
Catherine THIRIOT-QUIÉVREUX. — Variations saisonnières des Mollusques dans le plancton de la région de Banyuls-sur-Mer (zone sud du golfe du Lion), novembre 1965 - décembre 1967	35
Colette VERGNAUD GRAZZINI. — Analyses isotopiques de faunes malacologiques plio-pléistocènes des environs de Pise. (La Paléocéologie de quelques faunes à Gastéropodes et Lamellibranches durant la période de transition plio-pléistocène d'après les analyses isotopiques de l'oxygène des tests)	233
J. Tuzo WILSON. — Révolution dans les Sciences de la Terre.	395

Le Directeur de la publication : P. DRACH

Dépôt légal n° 4404. Date de parution : mars 1969 — N° d'impression : 73-1969

Imprimerie LOUIS-JEAN — Typo-Offset — 05-GAP



Université de Paris
 LABORATOIRE ARAGO
 Banyuls-Sur-Mer

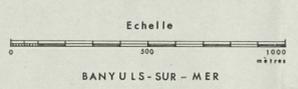
Université de Montpellier
 CENTRE DE RECHERCHES DE
 SEDIMENTOLOGIE MARINE
 de Perpignan

**CARTE SEDIMENTOLOGIQUE DU PLATEAU CONTINENTAL AU LARGE
 DE LA
 COTE CATALANE FRANÇAISE**

-II- RÉGION COTIÈRE (De Port Vendres à Cerbère)

Carte levée par MM H. GOT, A. GUILLE, A. MONACO, J. SOYER,
 et assistés par
 H. Ph. DANOY

Les documents suivants ont été utilisés pour l'établissement de cette carte :
 Carte bathymétrique de Port-Vendres au Cap Rédérès (1964)
 Carte bionomique de Port-Vendres au Cap Rédérès (1965)



Teneur en argile (< 40 μ)		Teneur en sables fins (40 μ à 200 μ)		Teneur en sables moyens 200 μ à 2 m/m	
	- de 5 %		- de 5 %		- de 5 %
	5 à 20 %		5 à 20 %		5 à 20 %
	20 à 50 %		20 à 50 %		20 à 50 %
	50 à 80 %		50 à 80 %		50 à 80 %
	> 80 %		> 80 %		> 80 %
	Substrat dur		Substrat dur à limites non précises		

Carte sédimentologique du plateau continental au large de la côte catalane
française (P.-O.)

par H. GOT, A. GUILLE, A. MONACO et J. SOYER.

CARTE II. — Région côtière (de Port-Vendres à Cerbère).

VIE ET MILIEU

BULLETIN DU LABORATOIRE ARAGO

SÉRIE B : OCÉANOGRAPHIE

VOLUME XIX

YEAR 1968

PART 2 - B

CONTENTS

B. SAINT-GUILY. Vertical diffusion in the superficial waters of the western Mediterranean and the Southern Red Sea	225
Colette VERGNAUD GRAZZINI. Isotopic analysis of the plio-pleistocene malacological faunas in the Pisa area. (Paleoecology in a few lamellibranch and gasteropod faunas during the plio-pleistocene transitory period according to isotopic analysis of oxygen)	233
H. GOT, A. GUILLE, A. MONACO and J. SOYER. A sedimentological map of the continental shelf off the French Catalan Coast (Pyrénées-Orientales).	273
F. GADEL. On an example of a lagoon evolution: the Saint-Nazaire pond (Roussillon)	291
Alain GUILLE et Jacques SOYER. — The benthic fauna of soft bottoms at Banyuls-sur-Mer. A preliminary quantitative and qualitative study	323
Alain THIRIOT. — The Cladocera of the western Mediterranean. I. - The life-cycle and distribution of the species of the genus <i>Evadne</i> at Banyuls-sur-Mer (Golfe du Lion), 1967	361
J. TUZO WILSON. — Revolution in the Earth Sciences	395
<i>Faunistic and ecological records:</i>	
GLÉMAREC. <i>Siboglinum atlanticum</i> , a pogonophoran new to the gulf of Gascony	425
Lucien LAUBIER. Occurrence in Portugal of two interstitial polychaetous annelids	426
<i>Book Reviews</i>	429

MASSON & Cy

120, Bd St-Germain, Paris-VI

Published Bi-monthly