

## VASES BATHYALES ET SABLES DETRITIQUES AU LARGE DE MARSEILLE

par Jean J. BLANC

### SOMMAIRE

Etudes sur les sédiments dragués dans la zone profonde du précontinent, au large de Marseille, et dans la vase bathyale au voisinage des canyons de Planier et de la Cassidagne. Caractères minéralogiques et granulométriques. Importance des minéraux lourds, sédiments quaternaires et apports turbides. Mélange des stocks sédimentaires correspondant aux faciès marneux et bio-détritiques en bordure du précontinent.

Durant l'hiver 1962 - 1963, le chalutier de recherches "Antedon", de la Station Marine d'Endoume, a effectué plusieurs séries de prélèvements au large de Marseille (fig. 1). La zone prospectée correspond à un domaine singulier, intermédiaire entre le précontinent au sens strict et l'étage bathyal profond. Ainsi, les sédiments dragués, de -100 m, à -1400 m se répartissent en deux catégories :

1°) d'une part, les sables bio-détritiques du large (sables détritiques du large de J.M. PERES et J. PICARD), sédiments grossiers, polygéniques, à thanatocoenoses quaternaires.

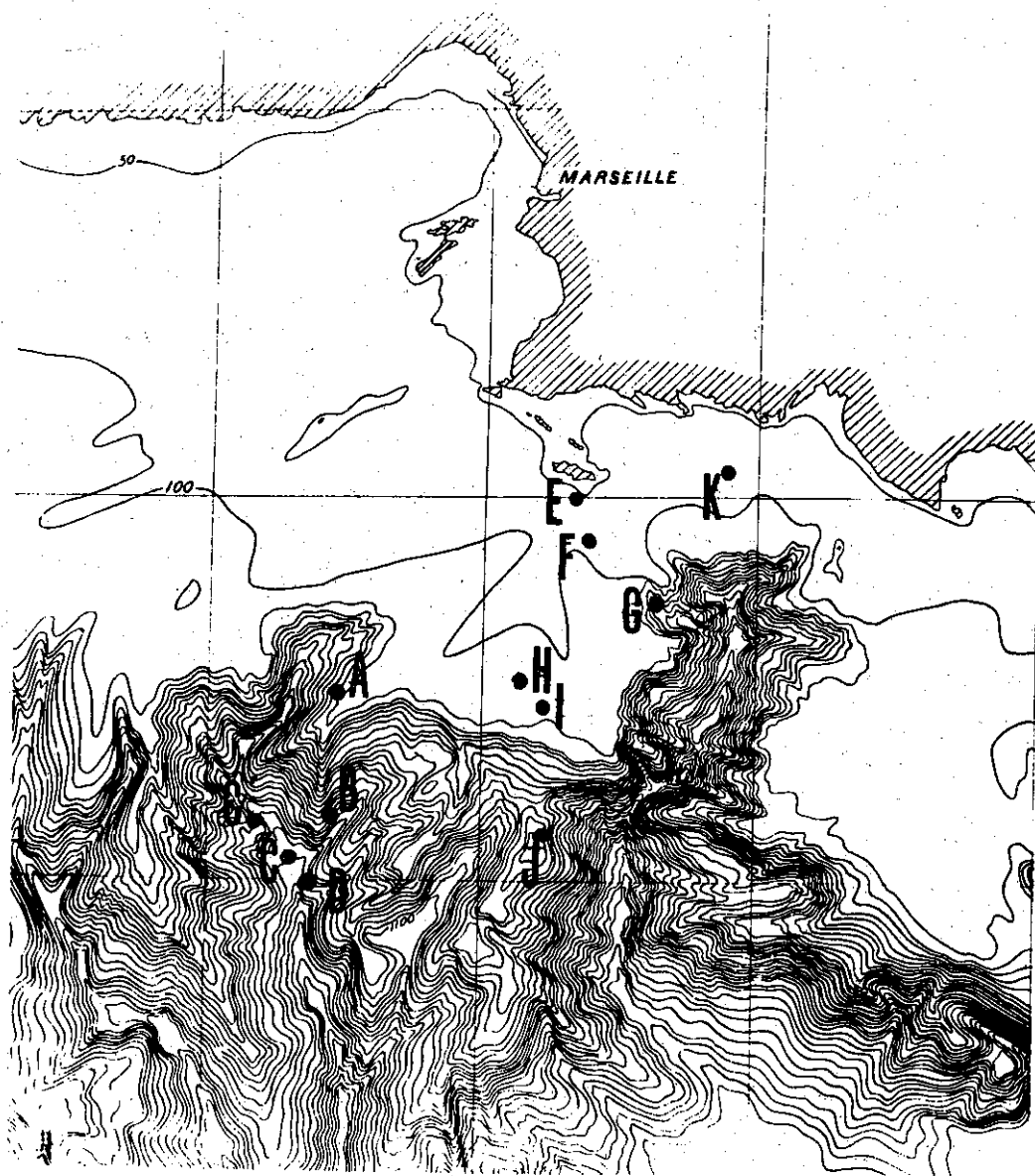
2°) d'autre part, le faciès plus homogène des vases bathyales du rebord précontinental, dans l'axe des canyons de Planier et de Cassidagne, sur les pentes et les interfluves.

L'importance géologique de cette zone intermédiaire est grande, à la limite des sédiments néritiques et bathyaux. A l'exception des remaniements fréquents, la limite des sables bio-détritiques, futures calcarénites, et des vases bathyales (marnes et calcaires marneux) est nette, brutale, conditionnée par la topographie du socle (phyllades) et "l'héritage" géologique.

Il m'appartient de remercier ici Mlle D. BAROKH, collaborateur technique au C.N.R.S. et Mr. H. CHAMLEY, pour leur aide dévouée à la mer et au laboratoire. Des recherches plus détaillées sur cette zone sont actuellement en cours : minéraux argileux (Mr. CHAMLEY) et microfaune (Mme BLANC-VERNET).

Le plan adopté est le suivant :

- 1°) Granulométrie des sédiments sableux : définition et interprétation des faciès.
- 2°) Caractères granulométriques des vases bathyales.
- 3°) Etude minéralogique des sédiments : vases bathyales et sables détritiques du large. Définition des stocks, essai d'interprétation.
- 4°) Analyse par diffraction aux rayons X par H. CHAMLEY.
- 5°) Analyse thermopondérale des sédiments.
- 6°) Radioactivité naturelle des sédiments : procédés de mesure, résultats, essai d'interprétation corrélations.



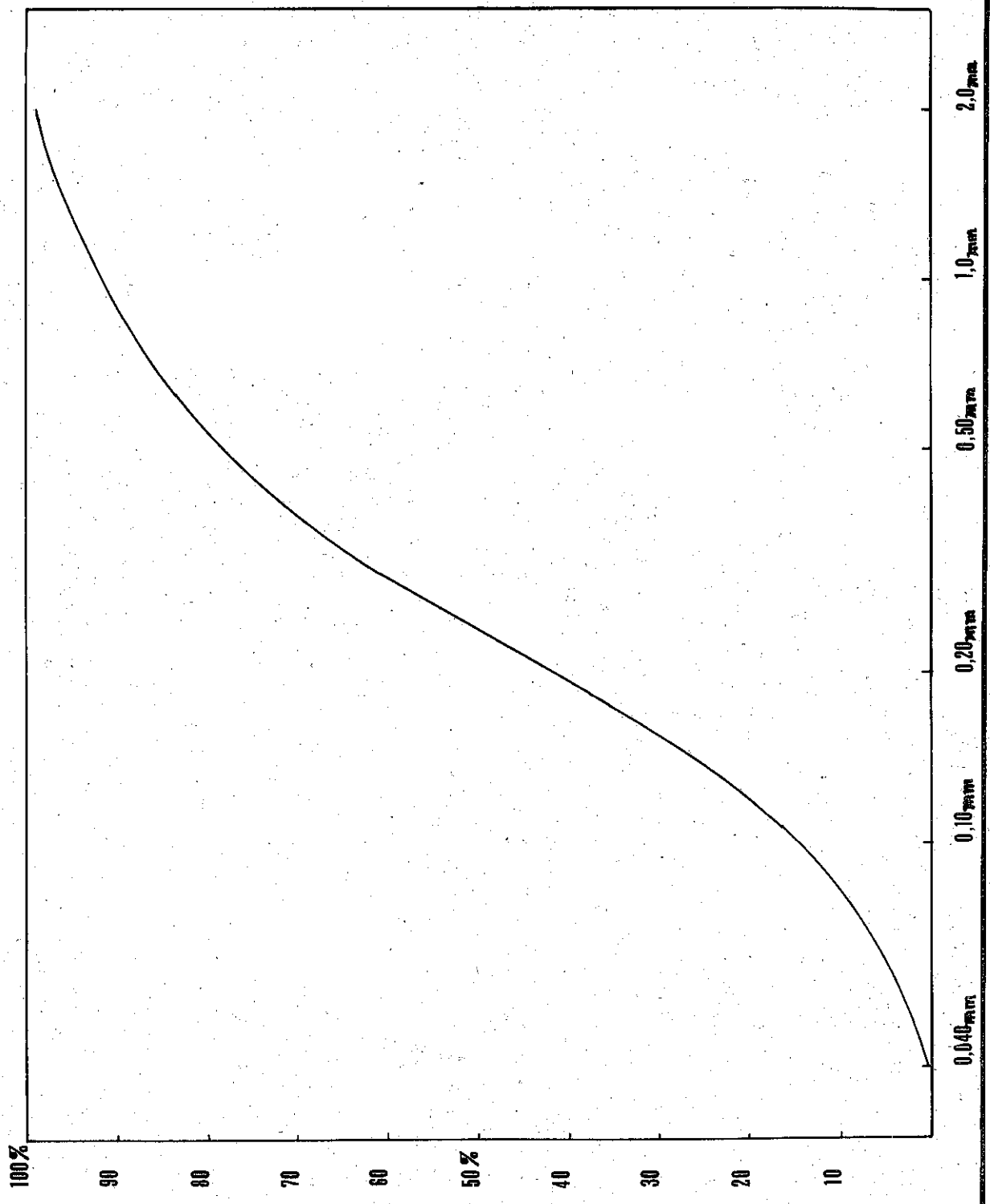
### GRANULOMETRIE DES SEDIMENTS SABLEUX

Il s'agit du faciès des "sables détritiques du large" et de la fraction sableuse des vases bathyales dont la dimension est supérieure à la maille du tamis 350 (45 microns). Pour chacun des cas, on calcule la médiane :  $Q_2$ , les déciles extrêmes  $P_{10}$  et  $P_{90}$ , le coefficient de TRASK :

$$\sqrt{\frac{\varphi_3}{\varphi_1}}$$

la déviation standard :  $\pm \sigma$ , correspondant à la moitié de l'intervalle compris entre les centiles  $P_{16}$  et  $P_{84}$  (environ 68 % des effectifs =  $\pm 2\sigma$ ), l'intervalle de confiance de la mesure, correspondant environ à 95 % des effectifs, exprimé, pour un coefficient de sécurité de 0,95, par l'intervalle des centiles  $P_5$  et  $P_{95}$ . On admettra une distribution proche du type "gaussien".

STATION A - 190 m. Sable Würmien IV



1-) Courbes cumulatives à concavité tournée vers le haut (type parabolique): limitées aux faciès des sables détritiques du large : Stations H et I, à -107 et -134 m. Il en est de même pour la Station E. à -100 m, située au Sud des Impériaux.

STATION	P <sub>10</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	P <sub>90</sub>	$\sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$	$\pm \sigma$	Interv. de conf.
H (-107 m)	0,09	0,19	0,40	0,73	1,24	1,91	1,48	1,54
I (-134 m)	0,21	0,37	0,71	1,34	1,78	1,90	0,67	1,90
E (-100 m)	0,13	0,21	0,38	0,75	1,27	1,89	0,43	1,48

valeurs en mm

2-) Faciès de type "logarithmique" ou assez voisin d'une droite : Station F : sable détritique du large (-110 m), au Sud des Impériaux :

$$P_{10} = 0,05; Q_1 = 0,10; Q_2 = 0,26; Q_3 = 0,57; P_{90} = 1,01;$$

$$\sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}} = 2,38; \pm \sigma = 0,34; \pm 2\sigma = 1,55.$$

3-) Faciès plus évolué, tendant vers un type hyperbolique :

- Zone profonde des sables détritiques du large : ex. : interfluve oriental du canyon de Planier (Station A : -190 m).
- Phase sableuse décantée de la vase bathyale (Station G à -385 m : versant Ouest du canyon de la Cassidagne).
- Sable détritique du large, précontinent au Sud du Devonson (Station K à -105 m).

STATION	P <sub>10</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	P <sub>90</sub>	$\sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$	$\pm \sigma$	Interv. de conf.
A (-190 m)	0,08	0,13	0,24	0,43	0,87	1,78	0,26	1,24
G (-385 m)	0,07	0,10	0,14	0,27	0,56	1,64	0,15	0,94
K (-105 m)	0,05	0,09	0,15	0,29	0,90	1,75	0,23	0,67

Remarques : Les sables du large constituent, par leurs éléments bio-détritiques, une future calcarénite. Il est intéressant d'étudier la répartition granulométrique de la phase "sable" en fonction de la profondeur. On examinera aussi la fraction sableuse -souvent accidentelle- rencontrée dans le faciès des vases bathyales. Il est possible de présenter les résultats suivants :

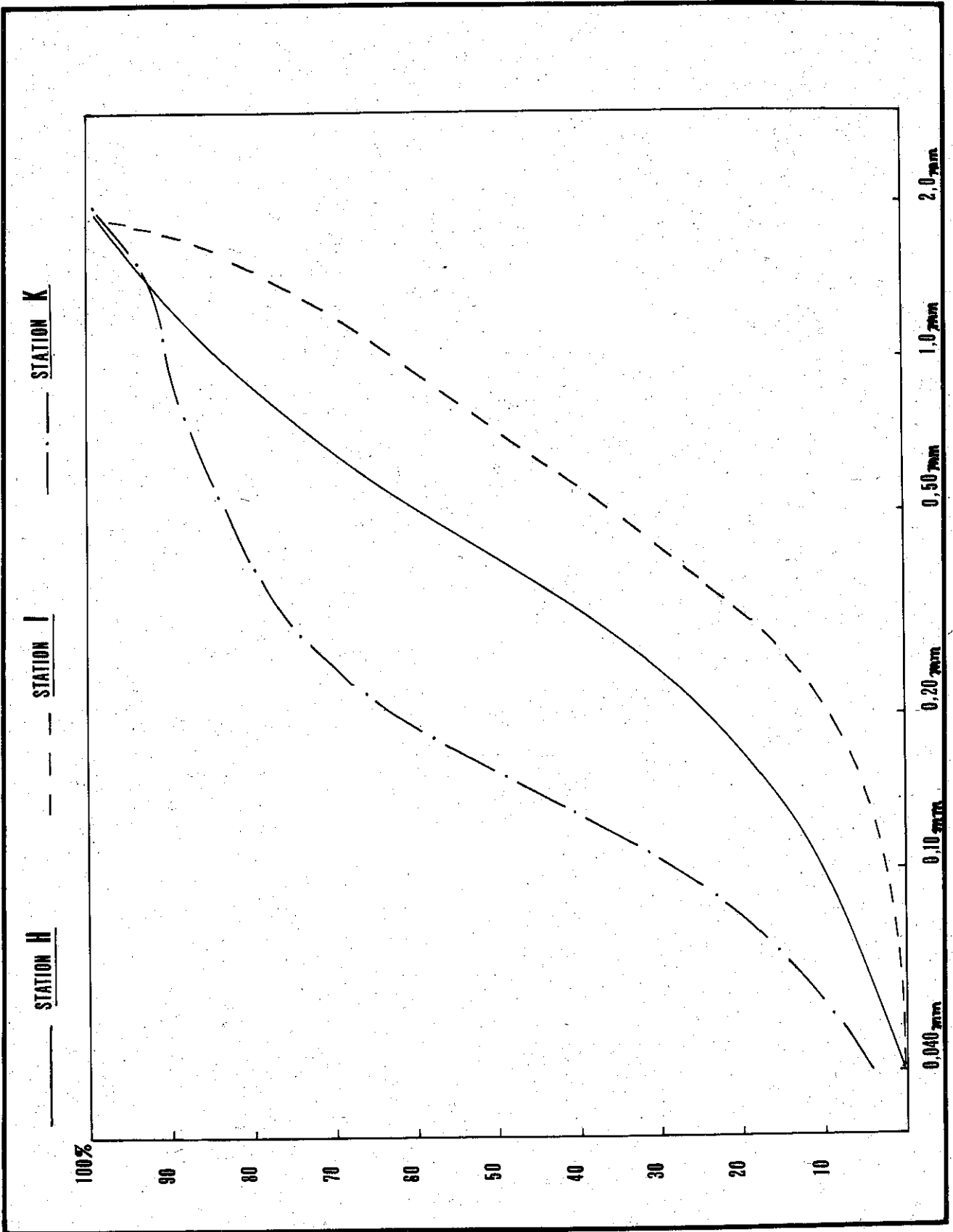
1°) Indépendance de la granulométrie des débris organiques en fonction de la profondeur. On ne peut établir de corrélation valable, on remarquera tout au plus, une plus grande finesse des débris vers la zone profonde du précontinent.

2°) A l'exception d'une station (F), ces calcarénites sont toujours isométriques et très bien classées. Le coefficient de TRASK varie entre 1,64 et 1,91 tandis que l'intervalle de confiance, pour 94 % environ des effectifs, oscille entre 0,67 et 1,90 mm. Ainsi, malgré une dispersion aléatoire importante, liée à la nature relativement grossière des débris, les fractions bio-clastiques du sédiment ont été remarquablement triées sur toute l'étendue de la zone profonde du précontinent, les interfluves ou les versants des canyons.

Les fluctuations du coefficient de TRASK sont aléatoires et indépendantes de la profondeur.

3°) Les faciès granulométriques des courbes cumulatives mises sous la forme semi-logarithmique montrent :

- a) une évolution nulle ou très faible des sables bio-détritiques sur le précontinent tabulaire.



b) certains secteurs localisés peuvent avoir été l'objet de lévigation ou de mélanges de stocks (influence probable des thanatocoenoses quaternaires).

c) les zones du rebord, les interfluves et certains versants de canyons présentent des sables bio-détritiques accumulés (ou noyés dans une matrice de vase bathyale) dont l'évolution certaine tend vers un faciès de décantation. Néanmoins, cette évolution demeure limitée et indépendante de la profondeur.

Les apports turbides généralisés, à la fin du quaternaire, mis en évidence par l'analyse minéralogique, les mélanges dus aux biocoenoses d'âges divers, compliquent l'interprétation des résultats granulométriques bruts. L'importance des facteurs aléatoires difficile à évaluer, demeure prépondérante pour ces formations bio-détritiques d'origines mixtes.

## CARACTERES GRANULOMETRIQUES DES VASES BATHYALES

On distingue trois séries de courbes cumulatives :

1°) Courbes à tendances "parabolique" pour la fraction "fine", de 0,5 à 3 microns (pré-colloïdes et partie fine des poudres).

En général, au-dessus de 3 microns, l'évolution granulométrique suit un type linéaire logarithmique. Ce type n°1 correspond :

- à la fraction fine (inférieure à 45 microns) du faciès des sables détritiques du large.
- à la vase bathyale d'interfluves, zone profonde à -940 m, entre les canyons de Planier et de la Cassidagne.

En outre, le sédiment s'avère extrêmement mal classé, très étalé. Les coefficients de triage varient de 2,54 à 4,22 pour  $\sigma$  variant entre  $\pm$  6,52 à 13 microns.

Le type n°1 paraît caractériser des sédiments peu évolués, quant aux pré-colloïdes - avec cependant des triages par lévigation pour les fractions plus grossières, de 3 à 30 microns.

2°) Courbes en forme de S étiré montrant :

- une allure "parabolique" de 0,5 à 3 microns.
- une allure "hyperbolique" de 3 à 30 microns.

Il s'agit d'un échantillon de comparaison "carotté" par le F.N.R.S. III, à -2600 m, sur la plaine abyssale, au large de la Provence. Les principaux paramètres sont les suivants (exprimés en microns :

$$P_{10} = 0,36; Q_1 = 1,25; Q_2 = 2,3; Q_3 = 5,2; P_{90} = 16,0$$

$$\text{coefficient de Trask} = 2,10 \text{ (meilleur classement)}$$

$$\sigma = \pm 4,62 \text{ microns}$$

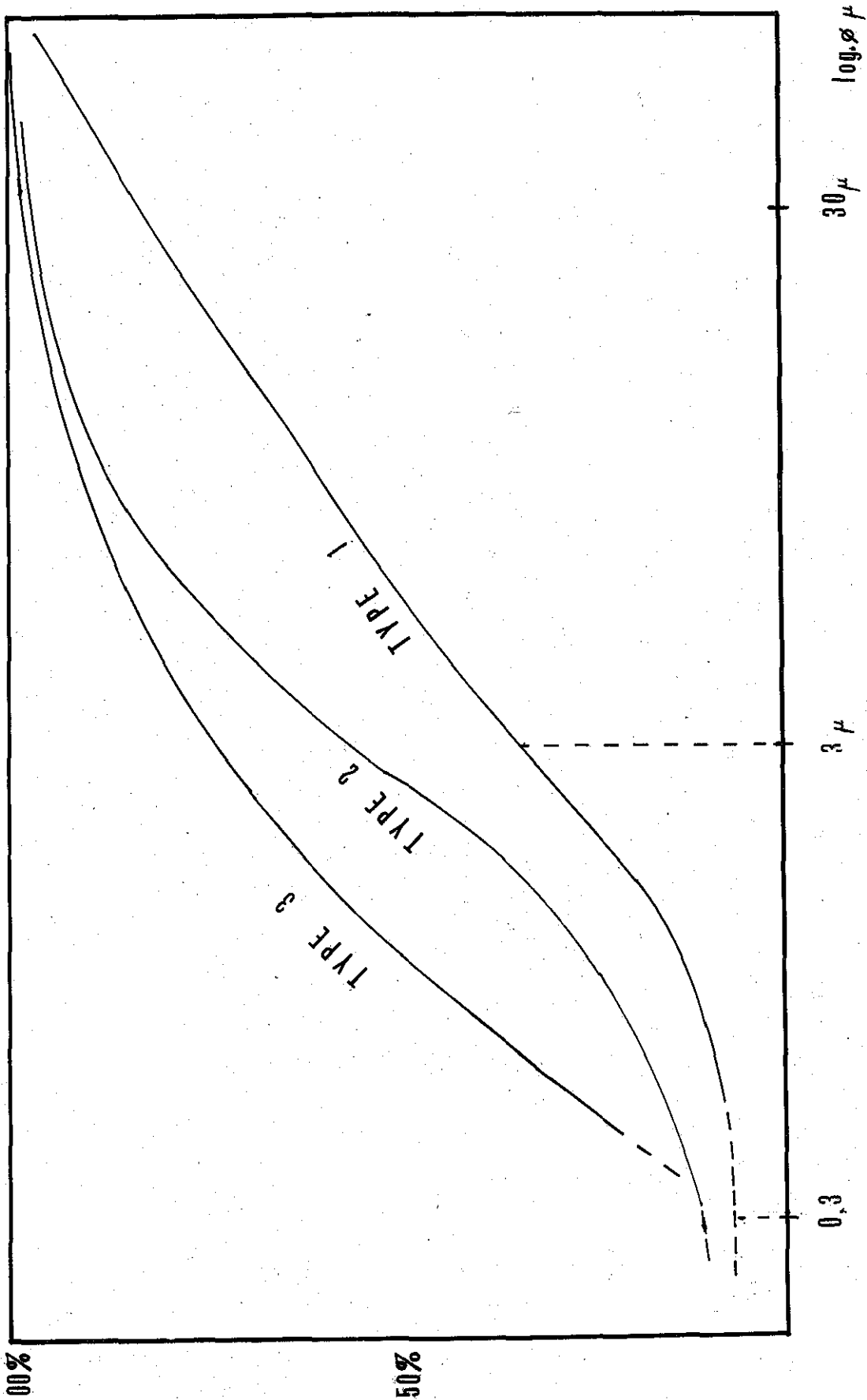
Intervalle de confiance pour un coefficient de sécurité de 0,95 = 24,8 microns.

Là encore, nous avons affaire à un sédiment très étalé, relativement évolué. Mais, le prélèvement étant isolé, il est impossible d'en déduire un renseignement précis.

3°) Courbes de type "hyperbolique" très net traduisant un faciès de décantation. Ce sont les stations de vases bathyales typiques : versants de canyons (Cassidagne : -385 m), canyon de Planier (-1150 m), zones profondes dans l'axe du canyon de Planier (-1200 m).

Dans l'ensemble, ce troisième type de courbes cumulatives à faciès hyperbolique, représente les vases bathyales, constituées en majeure partie de Coccolithophoridées et *décantées par plusieurs centaines de mètres de profondeur*. En deçà du précontinent, on drague un sédiment très finement détritique, riche en illite, demeurant réducteur (présence de glauconie authigène moulant les concavités des Foraminifères).

La vase bathyale demeure mal classée au point de vue granulométrique (Indice de TRASK variant aux environs de 3,0). Les pré-colloïdes y correspondent à 40 % de l'ensemble (jusqu'à 2 microns). Les vases les plus profondes étant généralement les plus fines. Les principaux paramètres sont les suivants :



$$P_{10} = 0,95 \text{ à } 1,08$$

$$Q_1 = 1,32 \text{ à } 1,38$$

$$Q_2 = 2,2 \text{ à } 2,6$$

$$Q_3 = 12,5$$

$$P_{90} = 30 \text{ microns}$$

$$\sigma = \pm 8,4 \text{ à } 10,4 \text{ microns}$$

Intervalle de confiance pour environ 95 %  
de l'effectif = 33 à 36 microns.

## ETUDE MINÉRALOGIQUE DES SEDIMENTS

### A - FRACTION LÈGÈRE : $d < 2,99$

#### 1-) Les vases bathyales :

La fraction minéralogique légère, comprise entre 0,25 et 0,040 mm, à l'exception des Foraminifères, est faiblement représentée dans le faciès des vases bathyales. En profondeur, les matériaux détritiques grossiers deviennent rares à l'exception des "versants" et de certains axes de canyons, notamment du canyon de la Cassidagne.

Le "versant" W du canyon de la Cassidagne, à une profondeur de 385 m (Station G), montre, pour la fraction grossière, de nombreux quartz anguleux, des fragments de tests en aragonite, des Foraminifères (Globigerinidae et Textularidae). Deux remarques peuvent être effectuées :

1°) présence de débris organiques silicifiés en opale et calcédonite : Foraminifères (Globigérines), Bryozoaires, piquants d'Echinides.

2°) la plus grande partie du matériel grossier est d'origine bio-détritique, remaniée, souvent épigénisée en silice. Elle provient d'horizons coralligènes et du faciès des sables du large sus-jacents.

#### 2-) Les sables détritiques du large :

Ce faciès correspond à une silicification presque générale de nombreux débris organiques; l'opale ou la calcédonite épigénisent les loges des Bryozoaires remaniés ainsi que des Foraminifères : Globigérinidae (*Globigerina*, *Globigerinoides*, *Orbulina*), *Quinqueloculina*, *Rotaliidae*, *Textulariidae*, *Lagenidae*, etc...

Les débris silicifiés sont accompagnés de nombreux spicules monaxones et tetraxones ainsi que de Diatomées. Plus rarement, se retrouvent silicifiés les genres *Ammodiscus*, *Robulus*, *Uvigerina* et même *Planorbulina mediterraneensis* remanié.

Des grains de quartz anguleux voisinent avec de nombreux débris de tests en aragonite et des fragments de micas flottés. Des rhomboèdres de dolomie ont été aussi rencontrés.

En liaison avec les nombreux débris silicifiés, on relève, en outre, assez fréquemment, des moules de Globigérines secondairement oxydés en limonite. A l'origine ces derniers présentaient des remplissages glauconieux; on a pu observer certaines étapes de cette transformation. L'analyse minéralogique a mis en évidence la présence de glauconie; ce minéral demeure en milieu réducteur et calme (faciès des vases bathyales) tandis qu'il s'altère rapidement et peut disparaître dans les thanatocoenoses oxydées des sables détritiques du large.

#### 3-) Les coccolithes :

L'examen, à fort grossissement, de frottis de sédiment, montre que la fraction calcaire - dans le domaine des poudres - demeure presque exclusivement composée de Coccolithophoridées. Ces dernières pullulent dans le faciès de la vase bathyale. On en retrouve encore en très grandes quantités dans la fraction fine des sables détritiques du large.

### B - FRACTION LOURDE : $d > 2,99$

#### 1-) Les vases bathyales :

Ces dernières sont très pauvres en minéraux (fraction sable). Des assemblages caractéristiques peuvent être relevés sur les flancs du canyon de la Cassidagne. Un comptage de 380 grains a été



effectué (erreur statistique probable, pour une distribution de Poisson : + 3,44 %). Par ordre d'importance on notera :

Muscovite	: 23,94 %
Magnétite	: 11,31 %
Grenat	: 9,20 %
Hématite, Goethite	: 7,36 %
Chlorite	: 5,52 %
non déterminés	: 5,52 %
Chloritoïde	: 3,94 %
Limonite	: 3,68 %
Augite aegyrienne	: 3,15 %

En quantités moindres, du même ordre que les erreurs aléatoires :

Zoïsite	: 2,63 %
Zircon	: 2,36 %
Sillimanite	: 2,10 %
Globules magnétiques	: 1,84 %
Pyrrhotine	: 1,84 %
Disthène	: 1,57 %
Clinozoïsite	: 1,57 %
Pigeonite	: 1,31 %
Biotite	: 1,05 %
Epidote	: 1,05 %
Hypersthène	: 1,05 %
Sphène	: 1,05 %
Olivine	: de 0,78 à moins
Dumortiérite	
Monazite	
Aegyrienne	
Brookite	
Tourmaline	
Apatite	
Rutile	
Glaucophane	
Leucoxène	

Pour cette station G (profondeur -385 m), il est possible de distinguer plusieurs groupes :

a-) **Minéraux métamorphiques** : liés aux massifs des Maures et à l'ensemble drainé par le bassin rhodanien : Cévennes, Belledune, etc... : Muscovite, Grenat, Chlorite, Chloritoïde, oxydes de fer et sesquioxydes; les micas ont été l'objet d'un transport lointain par flottation et dominant (24 à 25 %); comme pour la chlorite et le chloritoïde, leur origine paraît mixte, issue de plusieurs massifs et aboutissant dans un canyon après une très longue chute. En de moindres proportions, des minéraux accompagnateurs tels que : Sillimanite, Disthène, Tourmaline, montrent une origine analogue.

b-) **Minéraux des roches volcaniques** : Seule l'augite aegyrienne se trouve bien représentée (3,15 %). En de très faibles proportions, cette dernière est accompagnée de Pigeonite, Hypersthène, Dumortiérite, Aegyrienne, Olivine. Leur origine est fort imprécise, plusieurs centres de volcanismes s'étant manifestés : au Permien (Toulon, Carqueiranne), à l'Oligocène ou "Pontien" (Bandol, Ollioules), au Quaternaire (Agde, Maguelone), Plio-Quaternaire : Ardèche (Coirons).

c-) **Minéraux d'origine alpine** : tous présents pour de très faibles fréquences : Zoïsite, Clinozoïsite, Epidote, Glaucophane.

d-) **Minéraux de provenances variées** :

- minéraux ubiquistes, non caractéristiques : Zircon, monazite, apatite, etc...
- minéraux d'altération : Leucoxène, épidote, oxydes.
- globules magnétiques sphériques, d'origine probablement météorique (1,84 %) mais forte dispersion aléatoire).
- minéraux métalliques : pyrrhotine.
- minéraux très résistants : sphène, rutile, brookite. Ces derniers peuvent provenir de roches acides cévennoles (granite de l'Aigoual).

## 2-) Les sables détritiques du large :

### 1°) STATION A : sables à thanatocoenoses würmiennes (-190 m)

Muscovite	: 46,03 %
Chloritoïde	: 6,77 %
Chlorite	: 8,18 %
Biotite	: 3,10 %
Grenat	: 3,67 %
Magnétite	: 5,93 %

Rares ou peu abondants :

- sphène, rutile, monazite
- zoïsite, épidote, riebeckite
- sillimanite, andalousite, apatite, tourmaline
- hypersthène, pigeonite, dumortierite, augite aegyrienne, actinote, hornblende brune, (assemblage très varié de minéraux endogènes).

Pour cette station située à -190 m sur un "interfluve" du canyon de Planier, on remarquera :

- présence d'andalousite (1,97 %), d'origine pyrénéenne probable, à dispersion aléatoire.
- minéraux volcaniques très variés *en espèces* mais peu abondants en proportions.
- l'examen minéralogique détaillé, montre, pour la fraction légère, de nombreux accroissements secondaires de silice authigène autour de globules d'opale. Le milieu est favorable à la néoformation de la silice et de la glauconie.
- le cortège des minéraux métamorphiques s'avère plus varié - et mieux conservé - que pour les formations détritiques du delta turonien de La Ciotat (J.J. BLANC, 1963).

### 2°) STATION E : sables du large, précontinent au Sud des Impériaux (-100 m).

Muscovite	: 30,99 %
Staurotide	: 11,33 %
Grenat	: 8,76 %
Chloritoïde	: 5,66 %
Zircon	: 3,09 %

Dominent nettement ici les minéraux du massif paléozoïque des Maures, notamment les beaux échantillons de staurotide. En de moindres fréquences on a : Monazite, apatite, tourmaline, idocrase.

Rares ou peu abondants :

- minéraux "alpins" : épidote, zoïsite
- rutile, brookite
- hypersthène, andalousite
- minéraux opaques : magnétite (5,66 %), oxydes de fer (10 %), blende pyrrhotine (TR), ilménite (TR).

### 3°) STATION F. sables du large, précontinent au Sud des Impériaux (-110 m).

Très nombreux minéraux pour cette station, mêlés à des faunes et microfaunes quaternaires remaniées.

Muscovite	: 30,99 %
Grenat	: 13,36 %
Hématite, Goethite	: 7,74 %
Chloritoïde	: 62,39 %
Chlorite	: 6,00 %
Staurotide	: 4,26 %
Sillimanite	: 4,84 %
Limonite	: 3,09 %
Zircon	: 2,09 %

Rares ou peu abondants : apatite, disthène, biotite, hornblende verte, épidote, hornblende basaltique, monazite, clinozoïsite, andalousite, agyrine, actinote, augite aegyrienne, olivine, rutile, anatase, brookite, riebeckite, zoïsite.

On retrouve :

- les minéraux endogènes : hornblende verte, hornblende basaltique, agyrine, actinote, augite, olivine.

- les minéraux "alpains" : épidote, clinozoisite, riebeckite, etc...
- d'autres minéraux du métamorphisme ; disthène, andalousite.
- minéraux opaques : magnétite, limonite, hématite, goethite, pyrrhotine (R), blende (TR), sphérules magnétiques (R).
- en outre : fragments de verre et xénotine (douteux : ou zircon coloré ? ).

4°) STATION H : sables détritiques du large. Précontinent au Sud de Riou (-107 m)

Muscovite	: 20,05 %
Grenat	: 9,42 %
Non déterminés	: 9,42 %
Hématite, Goethite	: 7,29 %
Olivine	: 5,77 %
Magnétite	: 6,98 %
Chlorite	: 4,25 %

Du même ordre que les fluctuations aléatoires : Biotite, chloritoïde, monazite, sphène, hypersthène, rutile, sillimanite, disthène, enstatite, augite, staurotide, tourmaline, hornblende brune, zoisite, clinozoisite, épidote, actinote, glaucophane, leucoxène, limonite, globules magnétiques, oligiste, galène, blende, ilménite.

Ce riche ensemble résulte encore d'un mélange entre les stocks suivants :

- minéraux du métamorphisme (principalement : minéraux des Maures) : Muscovite, grenat, chloritoïde, sillimanite, disthène, staurotide, tourmaline.
- minéraux du volcanisme (basique) : dominant en cette station : Olivine, magnétite, ilménite, augite, enstatite, hornblende brune, etc... Altérations en leucoxène et limonite.
- minéraux "alpains" : épidote, glaucophane, zoisite, clinozoisite.

On remarquera, au large de Riou, la disparition de l'Andalousite.

La Station I montre (-134 m : sables coquillers du large, plateau au Sud de Riou, plus au large) un assemblage plus modeste, mais extrêmement voisin de la Station H.

5°) STATION K : vase détritique passant au faciès des sables du large au Sud des falaises du Devenson (précontinent : -105 m).

Les stocks précités s'y réduisent. On relève :

Limonite	: 50,88 %
Muscovite	: 13,39 %
Hématite, Goethite	: 8,92 %
Glauconie	: 6,24 %

Montrent une dispersion de type aléatoire :

- clinozoisite, épidote
- augite aegyrienne, olivine (2,67 %), magnétite (5,35 %).
- "accompagnateurs" habituels : sillimanite, grenat, apatite
- minéraux opaques et d'altération : leucoxène, pyrrhotine.

### 3-) Essai d'interprétation :

Le faciès des vases bathyales, en deçà de l'abrupt du précontinent, est pauvre en éléments terrigènes grossiers. Ces derniers, sur les versants de canyón, y montrent des mélanges "accidentels", analogues aux assemblages de la zone profonde du précontinent; ils dérivent du remaniement des faciès du sable détritique du large. Certaines anomalies de la microfaune confirment la "descente" épisodique de sédiments grossiers du plateau continental dans les secteurs plus profonds où se dépose la vase bathyale.

De tels mélanges, assez localisés dans le temps ne sont point rares dans les séries "bathyales" anciennes : passées micacées et à zircons du Callovien de Provence (renseignement oral de C. TEMPIER), "laminae" de sables et grès intercalées dans les faciès marneux de l'Aptien et de l'Albien, en Provence et dans les Baronnies (J.J. BLANC, 1960).

Il est nécessaire de préciser l'origine des apports détritiques *minéraux* de la fraction sableuse

du "détritique du large". Il s'agit de riches assemblages, mélanges de stocks variés. En éliminant les espèces ubiquistes et peu caractéristiques, on peut mettre en évidence :

1°) Stock "métamorphique" local : éléments provenant du massif des Maures (zone sous-marine, au large de la Provence calcaire; les canyons de Cassidagne - Sicié étant creusés dans les phyllades; banc des Blauquières (gneiss), etc... Ce sont les apports de micas, chlorite, chloritoïde, staurotide, grenats, disthène, sillimanite.

2°) Stock "métamorphique" allochtone : éléments détritiques provenant d'autres massifs drainés par le bassin rhodanien (Cévennes, Ardèche, Alpes) : micas, chlorite, staurotide, certains grenats. S'y joignent des éléments de roches granitiques du métamorphisme des Cévennes : sphène, rutile, brookite et, probablement, ilménite.

3°) Stock issu de roches éruptives basiques : très riche mais dont l'origine est très difficile à préciser du fait des multiples affleurements : basaltes, "mélaphyres", andésites, dacites, etc... : parmi les Amphiboles : hornblende brune et verte, actinote, riebeckite. Les pyroxènes sont aussi bien représentés : augite, diopside, pigeonite, augite aegyrienne, aegyrienne. Enfin, l'olivine se conserve parfois assez bien dans les sédiments où elle est associée à la magnétite. Il demeure encore délicat d'attribuer une origine précisée à l'Hypersthène (laves andésitiques) repérée sporadiquement en certains points du littoral.

4°) Stock d'origine alpine : bien représenté, ce dernier se réduit au S.SE de l'île Riou : épidote, glaucophane, zoisite, clinozoisite.

5°) Stock d'origine pyrénéenne : très réduit, paraît se terminer au Sud de l'île Riou : andalousite et certains exemplaires de sillimanite.

Les recherches de A. VATAN, VAN ANDEL et C. DUBOUL-RAZAVET ont précisé la nature des apports détritiques dans la région rhodanienne et languedocienne. Dans le delta du Rhône (sédiments actuels et sub-actuels), C. DUBOUL-RAZAVET (1956) a mis en évidence les minéraux suivants :

- dominants : micas, grenats, minéraux opaques et hornblende verte (volcanisme du Massif Central).
- plus rares : épidote, glaucophane, zoisite (d'origine alpine principalement; VAN ANDEL).

Un élément pyrénéen, repris par les transferts, est représenté par l'Andalousite. Ce minéral, ubiquiste en Languedoc, se réduit vers l'Est. Porté "disparu" à l'Est du "they" de la Gracieuse, nous l'avons retrouvé dans les sables du large du plateau et des interfluvés jusqu'au Sud de Riou. Ainsi, la progression vers l'Est des minéraux d'origine pyrénéenne n'a point été complètement arrêtée par l'extension du delta du Rhône.

Enfin, l'olivine et l'hypersthène trouvés par C. DUBOUL-RAZAVET au Grau d'Orgon proviennent du Massif Central tandis que l'augite, très abondante, est à rattacher au volcanisme quaternaire d'Agde et Maguelone (A. VATAN, C. DUBOUL-RAZAVET).

Ainsi, il est possible d'envisager, pour les minéraux des sables détritiques du large, une "constitution" mixte résultant du mélange d'un stock "métamorphique" local avec des apports turbides d'origine occidentale : Rhône, M. Central, Alpes et même Pyrénées. Ces apports devaient être très abondants à la fin des temps quaternaires. Il est probable qu'au Würm - et dans les interstades - de véritables "nuages" denses, formés de boues et de sables se sont répandus sur le précontinent, assez loin vers l'Est (jusqu'au Sud de l'île Riou), modifiant profondément les caractères minéralogiques des sédiments.

## ANALYSE PAR DIFFRACTION AUX RAYONS X

*par Hervé CHAMLEY*

(Analyses effectuées au Laboratoire de Géologie de l'Université de Strasbourg, avec l'aide de J. LUCAS et H. PAQUET).

I - TABLEAU DES RESULTATS : VB = vase bathyale; SDL = sables détritiques du large.

Station	Position	Profondeur	Faciès	Illite	Chlorite	Kaolinite	Ensembles gonflants
A	43°04'35"N 5°14' E	-190m	SDL	7	3	tr	10 -14 <sub>M</sub>
B	43°01'50"N 5°14'20"E	-660m	VB	7 alt.	3 alt.	tr.	10 -14 <sub>M</sub>
C	43°00'25"N 5°13'10"E	-1000m	VB	7 alt.	3 alt.	tr.	10 -14 <sub>M</sub>
C'	43°01'50"N 5°11'30"E	-1100m	VB	5 alt.	4	tr.	14 <sub>c</sub> -14 <sub>M</sub>
D	43°00' N 5°14' E	-1200m	VB	7 peu alt.	3	tr.	10 -14 <sub>M</sub>
E	43°10' E 5°23'40"E	-100m	SDL	7	3	tr.	
F	43°08'20"N 5°23'50"E	-110m	SDL	6 peu alt.	4	tr.	14 <sub>c</sub> -14 <sub>M</sub>
G	43°08'20"N 5°29' E	-385m	VB	6 peu alt.	4	tr.	14 <sub>c</sub> -14 <sub>M</sub>
H	43°06'25"N 5°21' E	-107m	SDL	6 peu alt.	4	tr.	14 <sub>c</sub> -14 <sub>M</sub>
I	43°05' N 5°21'03"E	-134m	SDL	7	3	tr.	tr.
J	43°01'25"N 5°22' E	-940m	VB	6 peu alt.	4	tr.	14 <sub>c</sub> -14 <sub>M</sub>
K	43°10'30"N 5°28'40"E	-105m	SDL	7 peu alt.	3	tr.	14 <sub>c</sub> -14 <sub>M</sub>

### II - REMARQUES

#### 1°) Sables détritiques du large

La fraction inférieure à 2 microns, seule analysée au diffractomètre, correspond à un très faible pourcentage du sédiment (faciès de sable bio-détritique oxydé : cf. calcarénite grossière et calcirudite).

Néanmoins, la composition minéralogique demeure analogue à celle du faciès des vases bathyales :

- Illite, dominante, plus ou moins ouverte
- Chlorite, souvent altérée, sensible au chauffage à 490° C
- Kaolinite, toujours présente, à l'état de traces
- les assemblages interstratifiés montrent une importance irrégulière : édifices apparentés à la chlorite :  $14 \text{ \AA}_C - 14 \text{ \AA}_M$

## 2°) Vases bathyales

- Illite : très abondante, feuilletés ouverts
- Chlorite et kaolinite : distingués sur tous les diagrammes : pic (002) de la kaolinite et (004) de la chlorite distincts à 3,5 Å. Le chauffage à 490° pendant 4 heures élimine la kaolinite (réflexion 001), tandis que subsiste le pic à 14 Å de la chlorite (001).

La chlorite est altérée.

- minéraux interstratifiés gonflants :
  - type chlorite + montmorillonite, correspondant à une chlorite très altérée :  $14_C - 14_M$
  - type à base illite : entre 11 et 14 Å
- quartz souvent présent en faibles quantités.

## III - CONCLUSIONS PROVISOIRES : Deux résultats :

1°) Homogénéité de l'ensemble des échantillons, quelle que soient les conditions bathymétriques et sédimentologiques : de -100 à -1200 m, vases bathyales ou sables détritiques du large, interfluves, thalwegs ou versants des canyons, zones à courants turbides, etc...

Le stock, se rattachant à la province "ilitique" de Méditerranée occidentale (H. CHAMLEY, 1963), est le suivant :

- dominance nette de l'illite : 6 à 7/10, parfois très altérée (thalweg et versants du canyon de Planier), moyennement ouverte dans le cas général.
- Chlorite et kaolinite présentes toutes deux et nettement dissociables sur les diagrammes, La kaolinite, est moins abondante que la chlorite.
- absence de Montmorillonite.
- présence assez générale d'assemblages interstratifiés gonflants se rapportant à deux types :
  - feuilletés à base d'illite :  $10 - 14_M$
  - feuilletés à base de chlorite :  $14_C - 14_M$
- quartz ubiquiste en faible proportion.

## 2°) Une certaine évolution semblerait se manifester pour les Stations les plus au large

- la chlorite devient plus abondante
- les fractions gonflantes du type  $14_C - 14_M$  deviennent plus abondantes
- l'illite paraît peu modifiée

Il n'est point possible, en l'état actuel, de préciser le sens de cette évolution dans l'espace et dans le temps. Des recherches détaillées et de nombreux prélèvements sont en cours.

## ANALYSE THERMOPONDERALE DES SEDIMENTS

### I - APPAREILLAGE

Thermobalance Stanton, modèle HT. Four en Pt/Rh à programme : montée en température pratiquement linéaire en fonction du temps. Nous avons adopté une durée de chauffe de 7 à 8 heures. Enregistrement simultané des courbes :

- 1 - temps - température : 7 - 8 heures jusqu'à 1100°
- 2 - temps - perte de poids : pour un gramme de sédiment au départ. sensibilité = 1mg.

Les ordonnées expérimentales de température sont exponentielles. Lors de l'interprétation des courbes thermoponderales, on ramène les diagrammes en ordonnées arithmétiques.

## II - METHODE

L'échantillon sera desséché modérément (vers 45° C) au dessus de l'étuve ou sur un radiateur. On préparera trois lots :

1er lot : Echantillon brut  
1 gr. broyé modérément  
Analyse thermopondérale (ATP)

On mettra en évidence les paliers et pertes de la calcite, dolomie, phosphates, glauconie, etc... après étalonnage au diffractomètre.

L'importance quantitative de la calcite sera évaluée par calcimétrie.

- La glauconie montre une courbe thermopondérale très voisine de celle de l'illite (étalons). Les traitements ultérieurs permettront d'apprécier les proportions relatives illite - glauconie s.s., dans la mesure où le pourcentage de glauconie demeure notable (cas des sédiments anciens : marnes glauconieuses de l'Albien).

- La kaolinite, en quantité relativement importante, donnera une inflexion très nette dans le domaine 450° - 550°.

- Dans le cas de mélanges simples, en l'absence de sels de fer et de minéraux argileux ou phosphatés, il sera possible d'évaluer avec une précision de  $\pm 3\%$  les quantités relatives de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  -  $\text{CO}_3\text{Mg}$  pour un sédiment (calcaire) réduit en poudre (25 à 30 microns). On se basera sur un étalonnage précis de produits à l'état pur.

On devra renoncer à cette méthode pour les mélanges complexes : glauconie et minéraux argileux, c'est-à-dire pour la plupart des sédiments sous-marins; calcaires marneux, marnes, marnes sableuses, sables détritiques, vases bathyales en général.

### 2ème lot :

Après tamisage sous l'eau au tamis 350, l'échantillon sera traité à l'acide acétique 30 % à froid, durant plusieurs heures, et renouvelant la solution. Lavage soigné jusqu'à pH neutre. Centrifugation à 3000 t/mn durant 10 minutes. Laisser décanter dans une éprouvette de 500 ml durant 5 mn et recueillir les 20 premiers centimètres de la suspension. La dimension des particules oscillera entre 25 et 30 microns. Séchage à température très modérée, peser 1 gramme d'échantillon, ATP.

On élimine ainsi : calcite, phosphates, une partie des sels de fer et notamment une fraction de la glauconie.

Demeure un mélange complexe de minéraux argileux avec chevauchements possibles des paliers et pertes de poids. Les courbes-étalons et les mélanges devront être vérifiés par analyse aux rayons X et par analyse thermique différentielle. Ceci fait :

- la kaolinite sera identifiable par son inflexion caractéristique.  
- l'ensemble illite-chlorite pourra être évalué mais il sera impossible de distinguer, les proportions respectives de ces deux minéraux. L'ambiguïté avec la glauconie (cf. illite, cf. hydromica) sera levée par les faits suivants :

1°) La glauconie, aisément identifiable au microscope, est par ailleurs soluble dans CH<sub>2</sub> chaud. Elle est pratiquement absente dans la fraction granulométrique de 20 - 30 microns.

2°) Dans le cas où l'on soupçonne la présence de glauconie, on pourra l'évaluer, dans la fraction brute, par triage magnétique et détermination microscopique.

- La montmorillonite subsiste ainsi que le montrent les vérifications au diffractomètre. Les courbes ATP de la montmorillonite ne présentent plus d'ambiguïté avec la calcite; elles peuvent cependant, pour le cas de mélanges naturels, chevaucher avec celles de l'illite ou d'édifices gonflants interstratifiés.

Toute présomption pour la montmorillonite devra être contrôlée par l'analyse aux rayons X. Des essais de coloration pourront être effectués : l'échantillon brut, après lavage et passage au tamis 350 (dimensions inférieures à 45 microns) sera traité à la benzine :

- \* coloration pourpre-bleue : montmorillonite
- \* coloration bleu-vert : nontronite.

Les *palygorskites* montrent des courbes ATP très particulières. Un traitement à  $\text{SO}_4\text{H}_2$  Normal bouillant montre que :

- \* la sépiolite est détruite au bout de 20 mn
- \* l'attapulgitite est détruite au bout de 3 h.

3ème lot :

Après tamisage sous l'eau au tamis 350, l'échantillon est traité à CIH. 12 N ou concentré fumant durant 1 h à 100° C. Il conviendra de prendre les plus grandes précautions durant cette opération qui doit s'effectuer sous hotte fermée et ventilée.

Lavage soigné jusqu'à pH neutre. On recueillera la fraction inférieure à 25-30 microns. Centrifugation et prélèvement à la pipette comme pour le 2ème lot. Séchage très modéré. Peser 1 gr. d'échantillon. ATP.

On éliminera ainsi :

- les chlorites : notamment les chlorites sédimentaires
- les montmorillonites

On pourra distinguer alors :

- la kaolinite dont le "crochet" de déshydratation sera renforcé
- l'illite qui demeure inaltérable à ce traitement.

Par comparaison avec le 2ème lot, on pourra évaluer grossièrement les proportions relatives : illite - chlorite, ou illite - montmorillonite.

La présence de *palygorskites* éventuelles, résistant exceptionnellement à CIH 12 N pourra être distinguée par l'analyse thermique différentielle et l'analyse aux rayons X.

### III - RESULTATS

Tous les échantillons étant contrôlés aux rayons X, il apparaît que la *glauconie* n'a été surtout rencontrée que dans la fraction grossière seulement, supérieure à 30 microns. Il s'agit le plus souvent du remplissage des loges de Foraminifères.

On peut résumer, pour l'ensemble des sédiments étudiés, les caractères suivants :

- Kaolinite** : 50 à 150° : perte modérée  
150 à 350° : palier  
350 à 740° : pertes notables avec une très forte perte, très caractéristique de 450 à 550°.
- Chlorite** : sur échantillons traités à CIH 30 %, à froid ou acide acétique 30 %, à froid :  
50° à 150° : perte assez importantes (1 à 3 %)  
250° à 450° : perte faible  
450° à 550° : perte assez importante (disparaît par traitement à CIH bouillant).  
jusqu'à 750° ou 850° : pertes faibles.
- Illite** : 50° à 150° : perte relativement importante au départ sur échantillons traités à CIH concentré bouillant (2 à 5 %).  
150° à 550° : perte continue, assez faible  
550° à 750° : perte notable (quelques unités %)  
jusqu'à 950° : pertes très faibles (ou facultatives).

Les teneurs en calcaire permettent de distinguer deux groupes :

1°) Sédiments vaseux profonds : de 5 à 35 % de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  : vases bathyales de -900 à -1500 m. La fraction soluble étant constituée principalement de coccolithes et de foraminifères.

2°) Vases bathyales de la pente externe du précontinent et sables détritiques du large : de 45 à 75 % de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . On retrouve toujours les coccolithes et tests de foraminifères, ces derniers abondant particulièrement au large du précontinent (S.D.L.).



## RADIOACTIVITE DES SEDIMENTS

### A - PROCÉDES DE MESURE

Après élimination des matières organiques, l'échantillon *brut* est séché à 110°, puis laissé au repos durant quinze jours. L'étude portera principalement sur la fraction "interquartiles".

Echelle de comptage Saphymo, analyseur de minerai (château de plomb) et pré-amplificateur habituels. Tubes de G. - M. type TGC - 5 pour rayonnements  $\gamma$  et  $\beta$  (à l'exception du rayonnement  $\beta$  de faible énergie). La tension de palier est de 900 V. La pente du palier est de 2% pour 100 V. Temps de résolution : 90 microsecondes.

Méthode de l'échelle. Temps de comptage pré-réglé à 27 minutes pour un échantillon de 100 gr.

Deux mesures consécutives, pour la même tension de palier, donnent des résultats différents par suite de la dispersion aléatoire au cours du temps de désintégration. Augmenter la durée de comptage afin de multiplier le nombre de désintégrations amène une très large variation du mouvement propre. Après de multiples essais nous effectuons 3 à 5 mesures de 27 minutes précédées d'une évaluation du mouvement propre (m.p.), countainers vides, pré-réglée à 27 mn. Il en résulte une activité moyenne portant parfois sur plusieurs milliers de coups - sans trop augmenter pour autant la marge de dispersion du m.p.

Si  $\bar{N}$  représente cette moyenne, traduisant l'activité globale de l'échantillon, la dispersion des résultats de mesures multiples se ramène à une distribution de Gauss dont l'écart type sera :

$$\sigma = \sqrt{\bar{N}}$$

Des mesures nombreuses pour une durée de 10 minutes paraissent concorder assez bien avec la théorie statistique. Les recherches de W. PARRISH (1954) en ce domaine, portant sur trois groupes de 100 mesures, avaient déjà bien souligné cette concordance - mais sans arriver à préciser d'une manière formelle si se produisaient des écarts systématiques en rapport avec une déviation d'origine physique.

Soit  $p$  la probabilité pour qu'une valeur  $N$  mesurée présente par rapport à la valeur exacte, un écart :  $(N - \bar{N})$  inférieur à une valeur prescrite  $\Delta N_p$ .

En admettant une distribution de Gauss, on peut établir que l'erreur "probable", c'est-à-dire l'écart  $\Delta N_p$  pour lequel  $p = 50\%$ , est donnée par la formule :

$$\Delta N_{50} = 0,67 \sigma = 0,67 \sqrt{\bar{N}} \approx 0,67 \sqrt{N}$$

L'erreur relative "probable"  $\epsilon_{50}$  de la fréquence  $n$  des coups (pour des temps égaux  $t$ ), calculée est donc :

$$\epsilon_{50} = \frac{\Delta n_{50}}{n} = \frac{\Delta N_{50}/t}{N/t} = \frac{0,67 \sigma}{N}$$

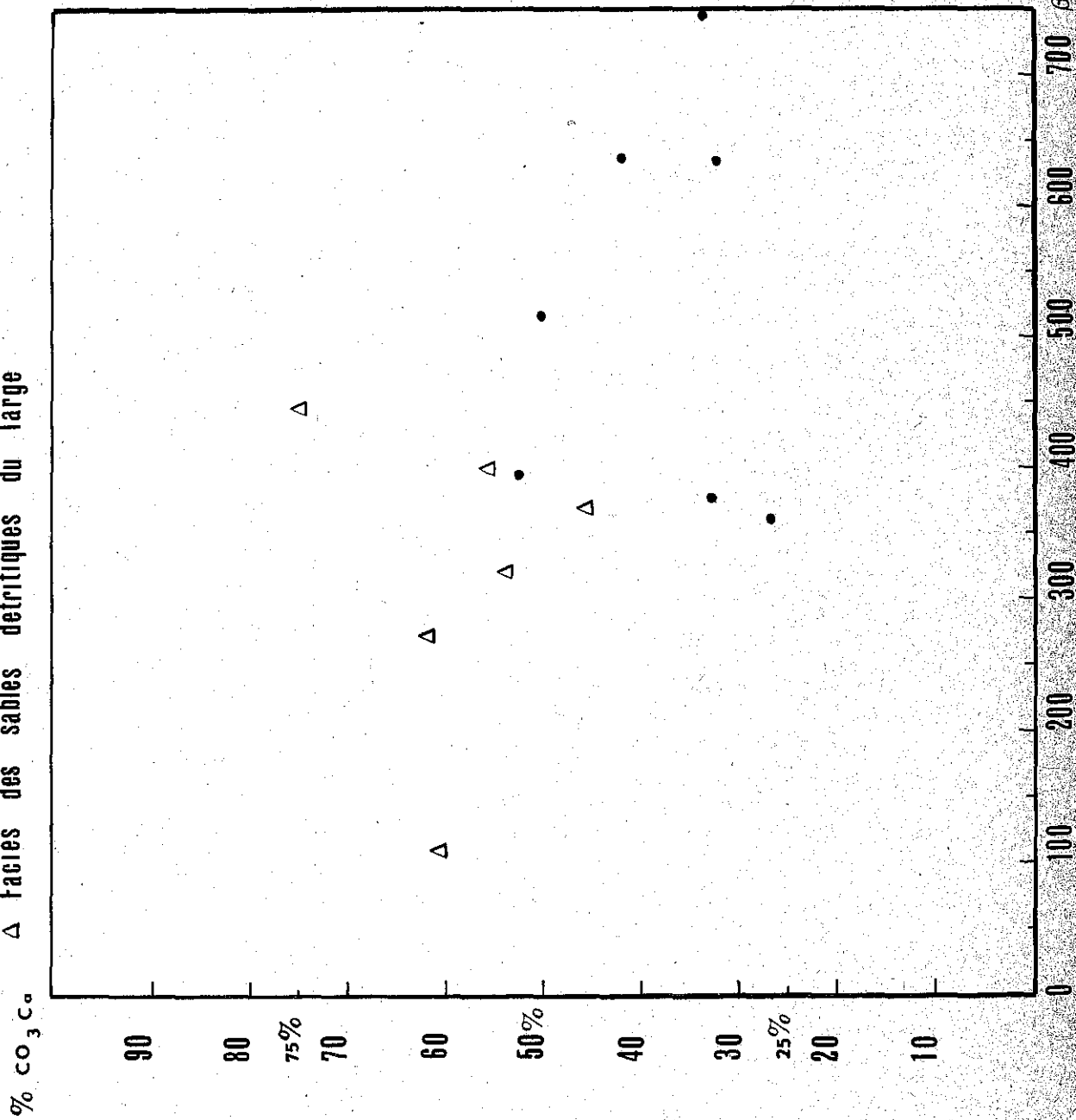
$$\epsilon_{50} = \frac{0,67}{\sqrt{N}}$$

Ainsi, il faudra compter 4.500 impulsions pour que  $\epsilon_{50} = 0,01$ , c'est-à-dire pour obtenir une probabilité de 50% que le résultat diffère de moins de 1% de la valeur exacte (W. PARRISH). En pratique, les conditions expérimentales nous ont amené à chiffrer des erreurs relatives "probables" de l'ordre de  $\pm 2,7\%$  à  $\pm 10,7\%$ .

On calculera, en outre, la "précision" de la mesure, égale à  $\pm \sqrt{2N}$  Si le rapport  $\frac{\Delta N_p}{\bar{N}}$  est égal à  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ,  $\Delta N_p = \sqrt{2N}$ .

Le calcul montre une probabilité de 0,843. En gros, nous aurons 84% de chances pour que la moyenne  $\bar{N}$  choisie soit comprise entre  $N - \sqrt{2N}$  et  $N + \sqrt{2N}$ .

• Faciès des vases bathyales  
△ Faciès des sables détritiques du large



## B - RESULTATS

### 1-) Rayonnement $\beta$ :

On pourra classer les valeurs mesurées en quatre catégories :

1°) **Activité  $\beta$  les plus importantes** : On notera la moyenne de 762 c.p. 27 mn avec une erreur probable de  $\pm 2,4 \%$  et une précision de  $\pm 39,0$  c.p. 27 mn. Il s'agit de la vase bathyale de la Station C', à une profondeur de -1150 m.

C'est un sédiment très décalcifié, riche en illite et glauconie, dans le "thalweg" du canyon de Planier.

### 2°) **Activité $\beta$ relativement importantes**

Stations	c.p. 27 mn	$\frac{0,67}{\sqrt{N}}$	$\pm \sqrt{2N}$ cp 27 mn
Vase profonde au large du Cap Cépet (-2400 m)	637	$\pm 2,7 \%$	$\pm 35,6$
Vase bathyale. Station D (-1200 m)	636	$\pm 2,7 \%$	$\pm 35,6$
Vase bathyale Canyon de Toulon (1050 m)	514	$\pm 3,0 \%$	$\pm 32,1$

De tels sédiments profonds ont en commun les caractères suivants :

a) Décalcification : de 32 à 50 % de carbonates au maximum. Le sédiment présente la composition d'une marne ou d'un calcaire argileux.

b) Illite abondante, chlorite parfois bien représentée. La glauconie est souvent présente.

c) Sédiments très fins, issus de décantations; courbes granulométriques cumulatives de type "hyperbolique".

### 3°) **Activités moyennes**

Stations	c.p. 27 mn	$\frac{0,67}{\sqrt{N}}$	$\pm \sqrt{2N}$ cp 27 mn
Sables détritiques du large Station I, (-134 m)	445	$\pm 3,2 \%$	$\pm 29,8$
Station détritiques du large. St. H Pré-continent au S. de Riou (-107 m)	400	$\pm 3,3 \%$	$\pm 28,3$
Vase bathyale. Station G. (-385 m) Versant W du canyon de Cassid.	395	$\pm 3,4 \%$	$\pm 28,0$
Vase bathyale. Station B. (-660 m)	376	$\pm 3,5 \%$	$\pm 27,4$
Sable détritiques du large. St. E. Au S des Impériaux (-100 m)	369	$\pm 3,6 \%$	$\pm 27,2$
Vase bathyale. Station J. (-940 m) Interfluve C. Cassidagne et C. de Planier	360	$\pm 3,6 \%$	$\pm 26,8$
Sable détritiques du large. S. du Devenson. St. K. (-105 m)	319	$\pm 3,8 \%$	$\pm 25,2$

Les sables détritiques du large montrent les caractères minéralogiques suivants :

- a) Présence généralisée d'illite et de glauconie
- b) Abondance de muscovite, chlorite
- c) Présence de monazite et zircon d'origine rhodanienne probable. Nombreux grenats
- d) Nombreux minéraux opaques, métalliques, d'origine allochtone.

Les vases bathyales renferment toujours de l'illite dominante), des micas et de la glauconie.

4°) Activités faibles :

Stations	c.p. 27 mn	$\frac{0,67}{\sqrt{N}}$	$\pm \sqrt{2N}$
Sables détritiques du large Station F. (-110 m) au Sud des Impériaux	271	$\pm 4,1 \%$	$\pm 23,3$
Sables détritiques du large à faune würmienné. Station A Interfluve C. de Planier (-190 m)	107	$\pm 6,5 \%$	$\pm 14,6$

Il s'agit de sables coquillers grossiers, riches en thanatocoenoses quaternaires. Le matériel est oxydé, lessivé, plus riche en calcaire (61 à 62 %), pauvre en phyllites (illites et glauconie).

2-) Rayonnement  $\gamma$ :

Nous distinguons quatre classes :

1°) Activité notable :

Localisée à la vase bathyale (Station B) du "versant" Est du canyon de Planier (-660 m) avec 510 c.p. 27 mn (erreur probable : + 3,0 %; précision de la mesure pour un intervalle de confiance de 84 % : + 32,2 c.p. 27 mn). On y trouve : illite (A), kaolinite (PA), glauconie et micas. Sédiments argileux très décalcifié (32,5 % de carbonates).

2°) Activités faibles

Stations	C. p. 27 mn	$\frac{0,67}{\sqrt{N}}$	$\pm \sqrt{2N}$
Vase bathyale du canyon de Toulon. (-1050 m)	218	$\pm 4,5 \%$	$\pm 20,9$
Vase bathyale d'interfluves entre les C. de Planier et de la Cas- sidagne. (-940 m)	206	$\pm 4,6 \%$	$\pm 20,3$

De tels sédiments sont très argileux et formeront de véritables "marnes". Leur teneur en calcaire est des plus faibles : jusqu'à 27 %. Le stock des minéraux argileux est banal (illite).

3°) Activités très faibles :

Stations	c.p. 27 mn	$\frac{0,67}{\sqrt{N}}$	$\pm \sqrt{2N}$
Vase bathyale du C. de Planier Station D (-1200 m)	181	$\pm 4,9 \%$	$\pm 19,0$
Sable détritique du large Station A (-190 m)	171	$\pm 5,0 \%$	$\pm 18,5$
Vase profonde au large du Cap Cépet (-2600 m)	132	$\pm 5,8 \%$	$\pm 16,2$
Sable détritique du large Station I (-134 m)	123	$\pm 6,0 \%$	$\pm 15,7$
Sable détritique du large Station F (-110 m)	117	$\pm 6,2 \%$	$\pm 15,3$
Sable détritique du large Station K (-105 m)	105	$\pm 6,4 \%$	$\pm 14,5$

4°) Activités pratiquement nulles ou non significatives :

Stations	c.p. 27 mn	$\frac{0,67}{\sqrt{N}}$	$\pm \sqrt{2N}$
Sables détritiques du large Stations H (-107 m)	89	$\pm 7,1 \%$	$\pm 13,7$
Vase bathyale Station G (-385 m)	87	$\pm 7,2 \%$	$\pm 13,2$
Sable détritique du large Station E (-100 m)	38	$\pm 10,8 \%$	$\pm 8,7$
Vase bathyale : canyon de Planier Stations C' (-1150 m)	34	$\pm 10,9 \%$	$\pm 8,5$

3-) Essai d'interprétation

L'étude de l'émission  $\beta$  paraît la plus significative. L'activité  $\beta$ , pour les sédiments étudiés, est subordonnée aux sédiments riches en phyllites (illite, kaolinite) et glauconieux, toujours relativement décalcifiés.

En outre, les faciès de décantation, souvent liés aux vases profondes ou franchement "bathyales", favorisent, par leur nature, les concentrations en éléments fins et ultra-fins. L'activité de ces derniers étant proportionnelle à leur surface et à leur nature minéralogique, il s'ensuit des valeurs de 0,12 à 0,10 picocurie par gramme de sédiment (1 p.c = picocurie équivaut à  $3,7 \cdot 10^{-2}$  désintégration par seconde).

En revanche, les sables du large, oxydés, lessivés, triés, mêlés et enrichis de thanatocoenoses d'âge quaternaire, présentent, de par leur âge propre et la dilution dont ils sont l'aboutissement, des activités moyennes ou faibles. Certaines concentrations de micas, monazite et zircon d'origine lointaine peuvent y maintenir cependant une radioactivité "détectable". L'appauvrissement en minéraux micacés, l'oxydation généralisée du sédiment sableux et l'altération de la glauconie, pour les sédiments quaternaires anciens, conduisent à des activités très faibles : 0,06 à 0,02 picocurie par gr.

L'activité  $\gamma$  est plus faible et paraît très délicate à interpréter. La vase bathyale du versant Est du Canyon de Planier (à 0,08 p.c.gr.) est difficile à expliquer. Le stock minéralogique habituel demeurant constant, il est possible d'envisager, à titre d'hypothèse, certaines relations entre cette activité et la teneur en argile; les concentrations étant essentiellement favorisées par une rapide sédimentation, contrairement aux sables détritiques du large. Tel serait alors le cas des vases du canyon de Toulon ou des interfluves et de Cassidagne.

Réciproquement, les sables détritiques du large ont une activité  $\gamma$  très faible ou nulle. Enfin, certaines vases bathyales : Canyons de Planier ou de Cassidagne, *notamment sur les versants des canyons*, montrent une radioactivité  $\gamma$  pratiquement nulle.

### C - CORRELATIONS NEGATIVES DES RAYONNEMENTS $\beta$ et $\gamma$

1°) On calculera le point moyen central. Ce dernier, en c.p. 27 mn se ramène aux valeurs suivantes :

- pour les vases bathyales :  $y = \gamma_m = 195$   
 $x = \beta_m = 525$
- pour les sables détritiques du large :  $y = \gamma_m = 107$   
 $x = \beta_m = 318$

2°) On détermine ensuite, successivement :

$$\begin{aligned} \Sigma (\gamma - \gamma_m) \\ \Sigma (\beta - \beta_m) \end{aligned}$$

pour les vases bathyales et les sables détritiques du large (SDL).

On établit le produit :

$$\Sigma (\gamma - \gamma_m) (\beta - \beta_m)$$

3°) On calcule les variances :

$$\sigma_{\gamma}^2 = \frac{\Sigma (\gamma - \gamma_m)^2}{n} \quad \text{et}$$

$n = \text{nombre de mesures}$

$$\sigma_{\beta}^2 = \frac{\Sigma (\beta - \beta_m)^2}{n}$$

d'où les écarts types  $\sigma_{\gamma}$  et  $\sigma_{\beta}$ .

4°) On calcule le coefficient de corrélations  $r$  :

$$r = \frac{\Sigma (\gamma - \gamma_m) (\beta - \beta_m)}{n \cdot \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\beta}}$$

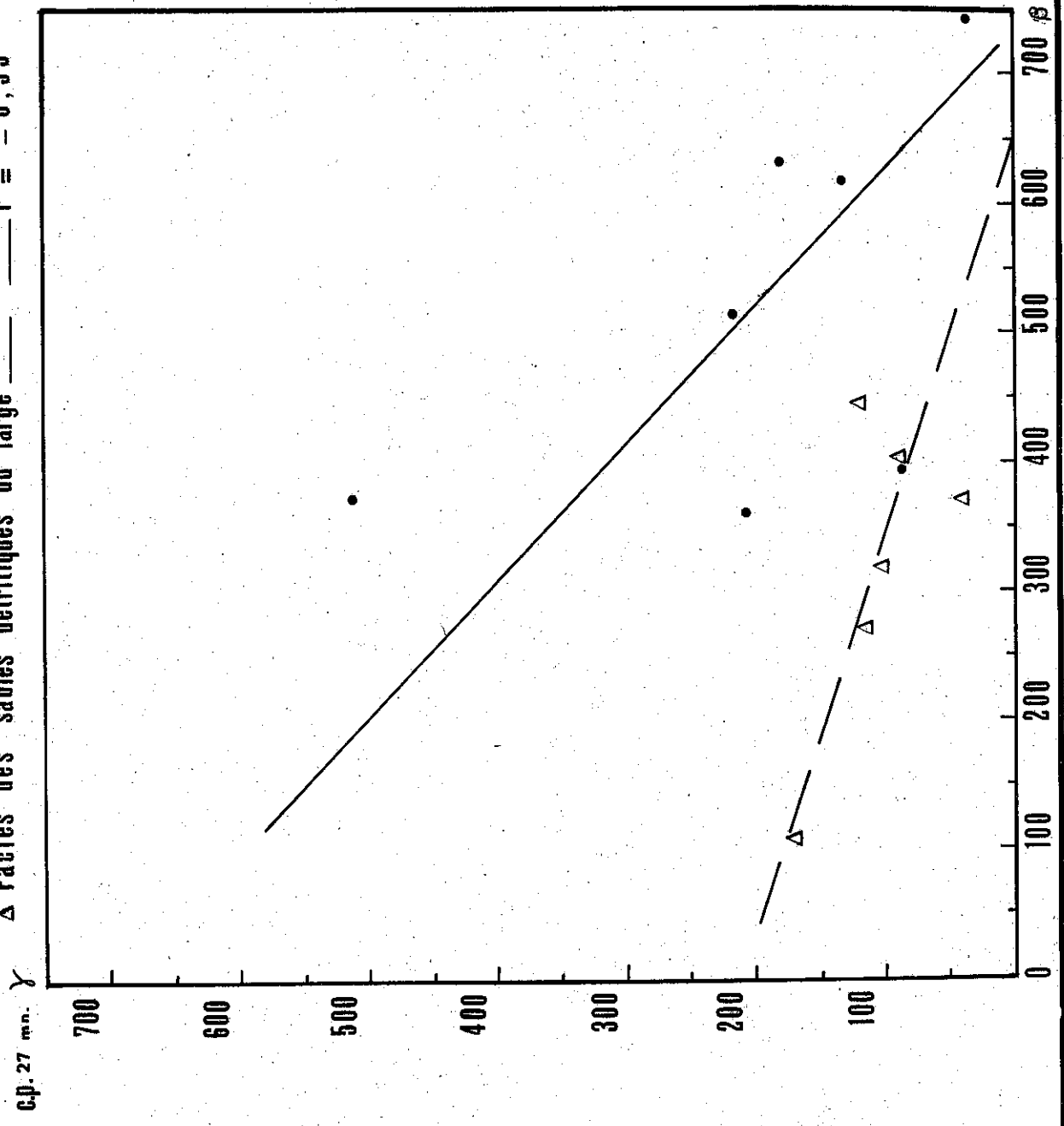
Dans les deux cas, les corrélations des activités  $\gamma$  et  $\beta$  sont négatives et très médiocres; le rayonnement  $\gamma$  diminue, d'une façon générale, lorsque l'activité  $\beta$  augmente. On notera :

- pour les vases bathyales :  $r = -0,90$
- pour les SDL :  $r = -0,99$

Ces derniers montrent une radioactivité beaucoup moins élevée que celle des vases bathyales, (en  $\gamma$  aussi bien qu'en  $\beta$ ). La cause de ceci peut être recherchée dans la "dilution" réalisée par la relative richesse en calcaire des SDL - en corrélation avec la diminution en minéraux argileux et l'âge quaternaire du sédiment. Les sables détritiques du large montrent des thanatocoenoses de macro et microfossiles quaternaires (probablement würmiens) à leur surface. Il s'ensuit, pour ces formations, un taux de sédimentation pratiquement nul et la disparition de tous les radio-éléments à vie courte.

On remarquera une corrélation négative faible entre les activités  $\gamma$  et  $\beta$  pour certains sédiments marneux anciens : marnes, calcaires argileux, Diois et Baronnies). (J.J. BLANC, 1959 et M.T. BURELLE, 1963).

• Faciès des vases bathyales  $r = -0,90$   
△ Faciès des sables détritiques du large  $r = -0,99$



## CONCLUSIONS

1°) Les sables détritiques du large, au S de Marseille, montrent un faciès de calcarénite en formation. La sélection des débris organiques (Foraminifères, Lamellibranches, Algues, Diatomées, etc...) apparaît irrégulière. Tout au plus, on notera un faciès plus évolué, tendant vers un type hyperbolique sur les interfluves de Planier et la zone profonde du rebord.

D'une manière générale, là encore, on constatera l'indépendance de la granulométrie des débris organiques en fonction de la profondeur.

Malgré une forte dispersion aléatoire, les calcarénites (sables détritiques du large) en formation demeurent très bien classés (S.C. = 1,64 à 1,91). Ce triage exceptionnel semble résulter de la profondeur moyenne du dépôt (-100 à -140 m) et de remaniements intraformationnels sur lesquels nous reviendrons.

2°) On retrouve les trois types granulométriques fondamentaux de A. RIVIERE dans le faciès des vases bathyales. L'importance des triages par lévigation apparaît notable pour les fractions les plus grossières (sablons et poudres), de 30 à 3 microns. Un triage par sédimentation différentielle, pour une profondeur de plusieurs centaines de mètres à -1500 m, peut aboutir au même résultat; les pré-colloïdes et colloïdes : 2 microns à moins de 0,5 micron se déposant beaucoup plus tard et généralement ailleurs : zones profondes dans l'axe des canyons. Tel est le cas de la plupart de ces vases bathyales du large, essentiellement constituées de coccolithophoridées et de minéraux argileux (illites), décantées par plusieurs centaines de mètres de profondeur. Le sédiment présente la composition d'une marne ou d'un calcaire marneux très fin et réducteur. La glauconie authigène y moule les cavités de certains Foraminifères.

Les vases les plus profondes apparaissent généralement comme les plus fines.

3°) Les vases bathyales des versants de canyons montrent parfois une fraction grossière accidentelle formée de quartz anguleux, Foraminifères etc... Ce milieu sédimentaire présente des silicifications en opale et calcédonite à partir de débris de Globigérinés, Bryozoaires, Echinides. Il faut noter que les témoins bio-clastiques silicifiés sont remaniés et proviennent du faciès des sables détritiques du large sus-jacents.

4°) La silicification des débris se généralise dans les futures calcarénites bio-détritiques : Foraminifères à loges colmatées par de l'opale et de la calcédonite : Globigerinidae, Miliolidae, Textulariidae, Lagenidae, etc... Des Diatomées et spicules monaxones et tetraxones accompagnent les débris silicifiés.

Les sables détritiques du large sont fortement oxydés. Cette oxydation apparaît secondaire pour les thanatocoénoses quaternaires remaniées. On notera l'altération presque totale des moules glauconieux de Foraminifères en limonite.

L'étude minéralogique montre un mélange de plusieurs stocks : minéraux métamorphiques liés au massif des Maures et à l'ensemble du bassin rhodanien, minéraux des roches volcaniques d'âges variés, minéraux d'origine alpine, etc...

Vers -190 m, les interfluves du canyon de Planier montrent la présence d'andalousite, d'origine pyrénéenne, minéraux volcaniques et néoformations de silice authigène autour de globules d'opale. Il en est de même sur le plateau, au Sud de Riou : 100 à -120 m. Au large de Riou, l'andalousite semble disparaître.

Trois remarques peuvent être effectuées :

a) Mélanges de minéraux et de microfaunes au sein des vases bathyales, en provenance des sables détritiques du large situés au rebord du plateau : on peut noter certaines "descentes" sur le rebord occidental du canyon de la Cassidagne, de -110 m à -380 m.

b) Les sables détritiques du large montrent des apports d'origine languedocienne et rhodanienne. Ces stocks ont été déportés vers l'Est beaucoup plus loin qu'on le pensait, jusqu'au Sud de Riou. Ainsi, au Quaternaire, antérieurement à l'extension du delta du Rhône, des apports turbides se sont développés sur le précontinent, assez loin vers l'Est (environ 45 Km). Ces minéraux allochtones se sont mélangés aux stocks originels issus de la composition géologique du socle (phyllades au large



de Cassis, granite et gneiss au banc des Blauquières). De tels assemblages polygéniques se rencontrent essentiellement dans les témoins anciens, très oxydés, à thanatocoenoses d'âge quaternaire récent (probablement Würmiennes) dont la faune a été étudiée par J. PICARD et P. MARS.

c) Cela confirme le taux extrêmement faible de la sédimentation depuis le quaternaire récent, pour la zone profonde du précontinent, au large du littoral rocheux de la Provence. A l'exception du delta rhodanien, les apports sédimentaires d'origine continentale sont presque insignifiants. On peut affirmer alors que les phénomènes de sédimentation s'y déroulent en "circuit fermé", conditionnés par l'héritage géologique et le stock bio-détritique actuel ou fossile (contribution fondamentale, des Coccolithophoridées, Foraminifères, Bryozoaires, Echinodermes, par ordre d'importance).

5°) La composition minéralogique moyenne des argiles constituant une fraction importante des vases bathyales et une très faible proportion des sables détritiques du large, est la suivante :

- Illite : très abondante (6 à 7/10), parfois très altérée au voisinage du canyon de Planier.
- Chlorite : abondante.
- Kaolinite : peu abondante, rare ou très rare selon les cas, mais toujours représentée.
- Edifices gonflants : deux types d'organisation : interstratifiés chlorite-montmorillonite et illite-montmorillonite. Les recherches entreprises par H. CHAMLEY en ce domaine montrent qu'une certaine évolution semblerait se manifester pour les stations les plus au large : chlorite devenant plus abondante ainsi que les interstratifiés du type 14c - 14 M.

6°) Les valeurs, les plus importantes de la radioactivité  $\beta$ , mesurées en château de plomb, concernent les vases bathyales profondes (-1100 m) riches en illite, chlorite, souvent décalcifiées. Les courbes granulométriques montrent des types de décantation. Les sables détritiques du large présentent des radioactivités faibles ou nulles.

L'activité  $\gamma$  maximum a été notée dans les vases bathyales des canyons et des interfluves. On y rencontre : illite (TA), chlorite (A), kaolinite (R), glauconie et micas détritiques. La proportion en carbonates y est relativement faible (33%).

On remarquera une certaine corrélation négative faible entre les activités  $\gamma$  et  $\beta$  des vases bathyales et des sables détritiques du large. Pour ce dernier faciès, riche en calcaire et à taux de sédimentation extrêmement lent, la radioactivité demeure beaucoup plus faible (actions de dilution et disparition des radio-éléments à vie courte).

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDEL T.H. Van 1951 - Petrology of Durance River Sand. *Proc. of Third Int. Congr. of Sediment. Groningen-Wageningen*, 5-12 July 1951.
- ANDEL T.H. Van 1955 - Sediments of Rhone Delta. II : Sources and deposition of heavy minerals. *Overdruk Verhandelingen Van Het Koninklijk Nederlandsch Geologisch Mijnbouwkundig Genotschap Geologische*, serie XV, 3e stuk. blz. 357-556.
- BARNEVELD E.J. Van 1954 - Montages compteurs rapides avec le tube compteur à décades. *Rev. Techn. Philip.* (16), n° 10, pp. 326-337.
- BLANC J.J. 1953 - Premiers résultats des recherches sédimentologiques de la "Calypso" et de la Station Marine d'Endoume à l'archipel de Riou (Marseille). *B. S. G. F.* t. III, 1-3, pp. 133-146.
- BLANC J.J. 1954 - Petits galets du plateau continental provençal. *C.R.s.Ac.Sc.* t. 238, 22 mars, pp. 1334-1336.
- BLANC J.J. 1956 - Etudes géologiques et sédimentologiques. (Etudes sur l'îlot du Grand Congloué). *Résult. Scient. campagnes "Calypso"*, fasc. II, Masson, pp. 123-153.
- BLANC J.J. 1956 - Etudes minéralogiques des sables littoraux du Cap Lardier au Cap Couronne (Provence). *Bull. Museum Hist. Nat. Marseille*, t. XVI, pp. 69-92.

- BLANC J.J. 1958 - Recherches de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale. *Thèses, Fac. Sc. Paris et Ann. Inst. Océano. Paris, Masson, t. 35, fasc. I.*
- BLANC J.J., J.M. PERES & J. PICARD 1959 - Coraux profonds et thanatocoenoses quaternaires en Méditerranée. *Colloques Internationaux du C.N.R.S., LXXXIII : Topographie et Géologie de profondeurs océaniques, Nice Villefranche; 5 à 12 mai 1958.*
- BLANC J.J. 1959 - Recherches sur les vases du golfe de Gênes (région de Portofino). *Résult. Scient. Campagnes de la "Calypso". (1), fasc. IV, Masson, pp. 246 - 270.*
- BLANC J.J. 1962 - Remarques sur divers types de sédiments sous-marins de Méditerranée et leur radio-activité. *Colloque National du C.N.R.S. Villefranche, pp. 171 - 176.*
- BLANC J.J. 1962 - Horizons repères minéralogiques et radio-actifs dans les grès de La Ciotat. (Turronien supérieur et Coniacien). *Recueil Travaux St. Mar. Endoume; Bull. 27, fasc. 42, pp. 269 - 281.*
- BLANC-VERNET L. 1960 - Observations sur la microfaune de quelques grès marins quaternaires. *Recueil Travaux St. Marine Endoume, fasc. 33, bull. 20, pp. 59 - 64.*
- BOURCART J. 1949 - Peut-on étudier directement la géologie du plateau continental? *C.R.s.s.S.G.F. 24 janvier, pp. 12 - 14.*
- BOURCART J. 1952 - Les frontières de l'Océan. *Albin Michel, Paris.*
- BOURCART J. 1950 - Le socle continental de Toulon à la frontière espagnole. *Conf. Centre Rech. Océanogr. n°3, p. 4.*
- BOURCART J. 1955 - Recherches sur le plateau continental de Banyuls-sur-Mer. *Vie et Milieu, t. VII, n°4, pp. 435-524.*
- BOURCART J. 1960 - Carte topographique du fond de la Méditerranée occidentale. *Bull. Inst. Océan. Monaco. n° 1163, 11 janvier 1960.*
- BOURCART J. 1960 - Sur les propriétés physiques des vases profondes de la Méditerranée occidentale. *C.R.s.Ac.Sc. t. 251 pp. 1951-3, 7 nov. 1960.*
- BOURCART J. et F. OTTMANN 1957 - Recherches de Géologie marine dans la région du Cap Corse. *Rev. Géogr. phys. et Géogr. phys. et Géolog. Dyn. Vol. 1 fasc.2, pp. 66-78.*
- BURELLE M.T. 1963 - Contribution à l'étude sédimentologique et paléocéanographique des terrains aptiens et albiens de la Provence aux Baronnies. *A paraître in Rec. Trav. St. Mar. Endoume, fasc. 45, N° 30.*
- CHAMLEY H. 1963 - Contribution à l'étude minéralogique et sédimentologique de vases méditerranéennes. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume, fasc. 44, bull. n° 29, pp. 91 - 195.*
- DUBOUL-RAZAVET C. 1955 - Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du delta du Rhône. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume, fasc. 17, Bull. n°10.*
- EHLMANN A.J., HULINGS N.C. et E.D. GLOVER 1963 - Stages of glauconite formation in modern Foraminiferal sediments. *Journ. of Sed. Petrology, vol. 33, n° 1.*
- MURAOUR P. 1957 - Sédiments et sédimentation au large de la région située entre le cap Téphés et la pointe de l'Ait-Raouana. *Bull. Soc. Aq. Pêche Castiglione n°8.*
- PARRISH W. 1954 - Mesure d'intensités de Rayons X à l'aide de tubes compteurs. *Rev. Techn. Philips, Irvington-on-Hudson, N. York, U.S.A., pp. 3-20.*
- PERES J.M. 1961 - Océanographie biologique et biologie marine T.I. : la vie benthique. *Presses univ. France.*

- RIVIERE A. 1953 - Méthode d'interprétation de la granulométrie des sédiments meubles. *Rev. Inst. Fr. Pétrole*, Vol. VII, n° spécial, pp. 102-107.
- RIVIERE A. 1955 - Sur la radioactivité des sédiments actuels et récents de la côte méditerranéenne. Etude particulière du golfe du Lion. Interprétation sédimentologique *B.S.G.F.* (V), n° 7-9, p. 495.
- VATAN A. 1949 - Premiers résultats d'une étude pétrographique des matériaux du golfe du Lion entre le cap Cerbère et l'embouchure du Rhône. *C.R. som. s.S.G.F.* 4 avril.
- VATAN A. 1949 - Etude pétrographique des matériaux sableux côtiers du Golfe du Lion entre le cap Cerbère et l'embouchure du Rhône. *Sédimentation et Quaternaire* p. 147.

#### LEGENDE DES FIGURES

Fig. 1 - Situation des stations étudiées. Le fond topographique sous-marin a été emprunté à la carte morphologique de Méditerranée occidentale de J. BOURCART.

Fig. 2 - Granulométrie typique de "sables détritiques du large" : station A (thanatocoenose à sable würmien).

Fig. 3 - Types granulométriques du faciès des sables détritiques du large (précontinent).

Fig. 4 - Types granulométriques des vases bathyales non décalcifiées. Zone profonde : de -360 m à -1400 m. Ces trois types résument un ensemble d'échantillons : vases du large à illite dominante.

Fig. 5 - Relation entre la radioactivité bêta, exprimée en nombre de coups pour 27 minutes, et la teneur en calcaire du sédiment - pour les faciès des vases bathyales et les "sables détritiques" du large.

Fig. 6 - Corrélations entre les activités gamma et bêta du sédiment pour les faciès des vases bathyales et des "sables détritiques" du large.