

# ÉTUDE GÉOCHIMIQUE DE DEUX CAROTTES DE SÉDIMENT DU BASSIN OCCIDENTAL DE LA MÉDITERRANÉE

par C. COQUEMA\*, R. COULOMB\* et J. ROS\*\*

L'étude géochimique des sédiments marins a connu ces dernières années un essor important grâce aux nouvelles techniques d'analyse qui permettent le dosage quantitatif d'un grand nombre d'éléments.

RANKAMA et SAHAMA (1950) classent les roches sédimentaires, du point de vue géochimique, suivant leur mode de formation : produits de dépôt (« résistates » grossiers et « hydrolyzates » fins), produits de précipitation, d'oxydation et d'évaporation. Les produits d'hydrolyse (hydrolyzates) sont caractérisés par le fait qu'ils existent déjà sous forme de particules solides insolubles à l'endroit même de l'attaque atmosphérique des roches originelles et qu'ils sont transportés vers le lieu de sédimentation par les eaux courantes et autres agents de transport sous forme de particules en suspension. Ils diffèrent des résistates par les dimensions nettement plus petites de leurs particules : les grains de produits d'hydrolyse ayant souvent les dimensions des particules colloïdales.

KUENEN (1950) émet l'hypothèse que la partie d'origine minérale des sédiments pélagiques serait le résultat du dépôt d'une suspension très diluée de grains fins de produits d'hydrolyse d'origine continentale qui restent en suspension dans les océans un temps suffisant pour permettre un mélange uniforme (« Lutite veil »). Selon REVELLE (1944) la texture et la composition minéralogique et chimique de cette suspension serait constante. KUENEN suppose de plus que la quantité de matière minérale déposée par unité de surface et de temps, est pratiquement constante.

ARRHENIUS (1952) prouve l'exactitude de l'hypothèse de KUENEN pour la partie pélagique du Pacifique est, il calcule la teneur en produits d'hydrolyse par la teneur en  $TiO_2$  et se faisant établit une échelle géochronologique relative pour le pléistocène, le facteur de conversion étant donné par les mesure d'âge absolu par le C-14.

Au cours de l'année 1961, nous avons entrepris, à bord de la « Calypso », sous la direction du Prof. J. BOURCART, une campagne de prélèvements de carottes dans le bassin occidental de la Méditerranée (BOURCART et ROS, 1962), cette campagne a été complétée par une autre en 1962.

## Position des carottages.

|      | Lat.     | Long.   | Prof.   | Long. de la carotte |
|------|----------|---------|---------|---------------------|
| C 13 | 41°58' N | 7°05' E | 2 618 m | 146 cm              |
| C 14 | 41°24' N | 7°07' E | 2 673 m | 490 cm              |

La carotte n° 13 a été prélevée sur un relief de 50 mètres environ de hauteur dans la plaine abyssale. La carotte n° 14 a été prélevée dans la plaine.

\* Service de Minéralogie, D.P.R.M. Fontenay-aux-Roses.

\*\* Service d'Electronique physique, Centre d'Études nucléaires de Saclay. Laboratoire des Faibles Radioactivités du C.N.R.S. Gif-sur-Yvette.

| Profondeur<br>(en cm) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | CaO   | MnO  | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | SiO <sub>2</sub> |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Carotte 13            |                                |                                |      |       |      |                  |                               |                  |                   |                  |
| 0-3                   | 4,25                           | 9,41                           | 3,01 | 26,60 | 0,10 | 0,50             | 0,09                          | 1,50             | 1,88              | 26,21            |
| 3-13                  | 4,40                           | 9,18                           | 3,12 | 27,16 | 0,05 | 0,36             | 0,09                          | 1,50             | 1,55              | 25,95            |
| 13-15                 | 4,40                           | 11,57                          | 2,51 | 25,20 | 0,08 | 0,44             | 0,09                          | 1,81             | 1,55              | 28,37            |
| 15-25                 | 4,60                           | 11,60                          | 3,42 | 23,20 | 0,09 | 0,45             | 0,11                          | 1,87             | 1,35              | 33,10            |
| 25-27                 | 5,60                           | 9,31                           | 3,01 | 19,60 | 0,10 | 0,52             | 0,12                          | 1,99             | 1,55              | 36,23            |
| 30-37                 | 5,20                           | 11,50                          | 1,85 | 21,56 | 0,07 | 0,52             | 0,09                          | 1,99             | 1,75              | 37,02            |
| 37-39                 | 5,00                           | 12,15                          | 2,91 | 19,04 | 0,08 | 0,57             | 0,09                          | 1,93             | 1,35              | 37,54            |
| 39-49                 | 5,40                           | 11,90                          | 2,77 | 20,44 | 0,07 | 0,48             | 0,10                          | 1,93             | 1,55              | 36,10            |
| 49-51                 | 5,04                           | 14,76                          | 2,09 | 19,32 | 0,08 | 0,58             | 0,10                          | 1,99             | 1,55              | 37,52            |
| 51-61                 | 4,60                           | 11,50                          | 2,75 | 20,50 | 0,07 | 0,50             | 0,08                          | 1,93             | 1,55              | 34,56            |
| 61-63                 | 4,40                           | 12,50                          | 2,15 | 21,84 | 0,07 | 0,50             | 0,08                          | 2,05             | 1,55              | 34,97            |
| 63-73                 | 5,00                           | 12,11                          | 1,63 | 19,60 | 0,06 | 0,44             | 0,39                          | 1,80             | 2,22              | 37,41            |
| 73-75                 | 4,80                           | 11,50                          | 2,45 | 20,72 | 0,08 | 0,55             | 0,40                          | 1,74             | 0,94              | 35,49            |
| 75-85                 | 4,80                           | 12,60                          | 2,95 | 19,32 | 0,06 | 0,52             | 0,39                          | 1,80             | 0,94              | 38,60            |
| 85-87                 | 5,60                           | 11,75                          | 3,72 | 17,92 | 0,10 | 0,42             | 0,36                          | 1,80             | 1,14              | 38,47            |
| 87-97                 | 4,60                           | 12,25                          | 2,95 | 17,92 | 0,08 | 0,56             | 0,39                          | 1,87             | 1,14              | 40,06            |
| 97-99                 | 5,20                           | 12,25                          | 2,21 | 17,92 | 0,11 | 0,62             | 0,36                          | 1,80             | 1,48              | 39,21            |
| 99-109                | 5,20                           | 12,50                          | 2,61 | 17,50 | 0,05 | 0,54             | 0,35                          | 1,86             | 1,48              | 38,83            |
| 109-115               | 4,40                           | 11,25                          | 2,61 | 25,76 | 0,11 | 0,53             | 0,40                          | 1,56             | 1,48              | 29,34            |
| 115-125               | 5,20                           | 10,75                          | 3,11 | 25,76 | 0,09 | 0,46             | 0,36                          | 1,56             | 1,35              | 28,12            |
| 125-135               | 5,20                           | 12,50                          | 2,35 | 17,36 | 0,02 | 0,63             | 0,38                          | 1,92             | 1,48              | 40,31            |
| 135-140               | 4,00                           | 10,75                          | 3,31 | 26,28 | 0,08 | 0,45             | 0,31                          | 1,26             | 1,35              | 26,28            |
| Carotte 14            |                                |                                |      |       |      |                  |                               |                  |                   |                  |
| 14-16                 | 4,00                           | 12,50                          | 2,91 | 26,04 | 0,05 | 0,37             | 0,60                          | 1,62             | 1,82              | 26,00            |
| 16-24                 | 4,40                           | 13,00                          | 3,73 | 24,36 | 0,05 | 0,37             | 0,55                          | 1,74             | 1,88              | 29,00            |
| 18-21                 | 4,00                           | 11,22                          | 3,17 | 21,28 | 0,09 | 0,44             | 0,57                          | 1,50             | 1,55              | 37,04            |
| 24-32                 | 3,00                           | 10,35                          | 1,81 | 21,98 | 0,07 | 0,36             | 0,38                          | 1,60             | 1,65              | 37,78            |
| 32-34                 | 3,10                           | 10,96                          | 2,11 | 25,06 | 0,04 | 0,42             | 0,41                          | 1,56             | 1,68              | 30,01            |
| 34-40                 | 3,60                           | 12,10                          | 2,15 | 23,94 | 0,07 | 0,53             | 0,36                          | 1,86             | 1,55              | 30,42            |
| 40-43                 | 3,40                           | 11,10                          | 3,25 | 25,20 | 0,05 | 0,42             | 0,36                          | 1,68             | 1,68              | 26,93            |
| 43-53                 | 3,60                           | 10,30                          | 2,85 | 24,36 | 0,09 | 0,45             | 0,43                          | 1,74             | 1,68              | 28,93            |
| 59-63                 | 3,80                           | 8,80                           | 1,91 | 28,84 | 0,07 | 0,34             | 0,43                          | 1,50             | 1,41              | 27,00            |
| 63-75                 | 3,60                           | 8,70                           | 2,21 | 29,45 | 0,02 | 0,31             | 0,60                          | 1,50             | 1,35              | 20,80            |
| 75-78                 | 4,00                           | 7,70                           | 3,01 | 25,20 | 0,05 | 0,41             | 0,70                          | 1,38             | 1,14              | 34,67            |
| 78-84                 | 4,40                           | 7,40                           | 1,91 | 30,24 | 0,03 | 0,46             | 0,63                          | 1,38             | 1,28              | 25,56            |
| 84-87                 | 4,40                           | 9,20                           | 4,16 | 26,04 | 0,11 | 0,40             | 0,57                          | 1,50             | 1,28              | 27,19            |
| 87-97                 | 4,80                           | 9,20                           | 3,01 | 28,00 | 0,30 | 0,45             | 0,57                          | 1,50             | 1,28              | 26,00            |
| 97-107                | 4,80                           | 9,50                           | 2,21 | 24,92 | 0,18 | 0,40             | 0,52                          | 1,50             | 1,28              | 29,95            |
| 107-110               | 5,00                           | 10,20                          | 1,50 | 22,40 | 0,22 | 0,46             | 0,43                          | 1,74             | 1,14              | 33,75            |
| 110-128               | 5,20                           | 10,00                          | 3,11 | 20,16 | 0,08 | 0,40             | 0,57                          | 1,62             | 1,35              | 34,56            |
| 110-128b              | 5,20                           | 11,09                          | 2,33 | 20,02 | 0,04 | 0,40             | 0,57                          | 1,80             | 1,01              | 34,13            |
| 128-131               | 6,00                           | 10,70                          | 1,30 | 21,98 | 0,05 | 0,42             | 0,63                          | 1,86             | 1,01              | 33,90            |
| 131-132               | 6,40                           | 10,70                          | 3,01 | 19,60 | 0,04 | 0,53             | 0,52                          | 1,86             | 1,14              | 36,00            |
| 132-135               | 6,20                           | 10,53                          | 2,31 | 19,88 | 0,05 | 0,53             | 0,60                          | 1,81             | 0,94              | 34,45            |
| 135-138               | 5,40                           | 10,83                          | 3,42 | 19,04 | 0,06 | 0,56             | 0,51                          | 1,98             | 0,94              | 36,10            |
| 138-140               | 5,20                           | 11,22                          | 2,61 | 20,16 | 0,06 | 0,56             | 0,60                          | 2,04             | 1,14              | 36,40            |
| 140-156               | 4,80                           | 9,95                           | 0,91 | 24,64 | 0,02 | 0,56             | 0,52                          | 1,81             | 0,94              | 32,12            |
| 156-160               | 4,80                           | 10,20                          | 3,71 | 20,02 | 0,07 | 0,51             | 0,46                          | 1,88             | 0,94              | 37,50            |
| 160-172               | 4,80                           | 10,20                          | 3,31 | 21,28 | 0,07 | 0,66             | 0,46                          | 1,81             | 0,94              | 34,20            |
| 172-174               | 4,80                           | 10,95                          | 3,31 | 19,88 | 0,05 | 0,56             | 0,51                          | 2,17             | 0,81              | 36,40            |
| 174-178               | 5,60                           | 11,73                          | 3,52 | 18,20 | 0,04 | 0,53             | 0,51                          | 2,23             | 0,94              | 35,57            |
| 180-182               | 5,40                           | 10,33                          | 3,03 | 17,64 | 0,06 | 0,50             | 0,51                          | 2,04             | 0,94              | 42,00            |
| 182-200               | 5,40                           | 10,83                          | 3,64 | 21,00 | 0,07 | 0,50             | 0,46                          | 1,92             | 0,94              | 37,20            |
| 200-202               | 5,60                           | 11,22                          | 3,52 | 18,20 | 0,05 | 0,53             | 0,46                          | 1,74             | 1,68              | 38,20            |
| 202-220               | 5,40                           | 10,84                          | 3,82 | 17,78 | 0,05 | 0,50             | 0,41                          | 1,98             | 1,68              | 37,60            |
| 220-222               | 5,60                           | 10,20                          | 2,85 | 17,36 | 0,05 | 0,66             | 0,39                          | 1,92             | 1,68              | 39,00            |
| 222-237               | 5,20                           | 10,84                          | 2,76 | 16,80 | 0,04 | 0,50             | 0,43                          | 1,74             | 1,68              | 40,08            |
| 237-240               | 5,20                           | 10,95                          | 1,61 | 17,36 | 0,07 | 0,56             | 0,35                          | 1,74             | 1,89              | 38,95            |
| 240-260               | 5,60                           | 10,70                          | 2,41 | 17,64 | 0,07 | 0,53             | 0,30                          | 1,74             | 1,68              | 39,70            |
| 260-262               | 5,40                           | 11,10                          | 2,95 | 16,52 | 0,07 | 0,53             | 0,39                          | 1,74             | 1,89              | 40,00            |
| 262-273               | 5,20                           | 10,95                          | 2,95 | 17,92 | 0,05 | 0,63             | 0,41                          | 1,74             | 1,68              | 38,49            |
| 273-275               | 5,00                           | 11,10                          | 2,91 | 19,04 | 0,04 | 0,60             | 0,41                          | 1,62             | 1,89              | 37,70            |
| 275-285               | 5,00                           | 11,10                          | 2,70 | 19,60 | 0,06 | 0,53             | 0,39                          | 1,62             | 1,89              | 37,00            |
| 285-305               | 5,40                           | 10,83                          | 3,71 | 19,32 | 0,04 | 1,00             | 0,46                          | 1,74             | 1,82              | 38,10            |
| 305-310               | 5,20                           | 10,95                          | 3,76 | 19,60 | 0,04 | 0,79             | 0,43                          | 1,56             | 1,48              | 36,60            |
| 310-321               | 4,60                           | 10,60                          | 2,51 | 21,00 | 0,05 | 1,00             | 0,33                          | 1,56             | 1,48              | 34,10            |
| 321-341               | 4,60                           | 10,90                          | 3,25 | 19,60 | 0,03 | 0,87             | 0,37                          | 1,56             | 1,68              | 36,10            |
| 341-346               | 5,20                           | 10,70                          | 2,27 | 20,44 | 0,04 | 1,00             | 0,37                          | 1,68             | 1,62              | 35,40            |
| 346-366               | 5,20                           | 10,95                          | 1,90 | 20,44 | 0,03 | 0,93             | 0,38                          | 1,62             | 1,41              | 35,40            |
| 366-371               | 5,20                           | 11,50                          | 3,21 | 17,92 | 0,05 | 0,75             | 0,38                          | 1,68             | 1,48              | 36,10            |
| 371-391               | 4,80                           | 10,71                          | 2,61 | 18,26 | 0,05 | 0,53             | 0,42                          | 1,56             | 1,41              | 39,00            |
| 391-396               | 5,20                           | 10,95                          | 2,45 | 17,92 | 0,04 | 0,53             | 0,39                          | 1,68             | 1,68              | 36,80            |
| 396-416               | 4,80                           | 12,50                          | 1,91 | 21,84 | 0,03 | 0,90             | 0,42                          | 1,56             | 1,68              | 35,70            |
| 416-421               | 6,40                           | 9,45                           | 1,91 | 24,64 | 0,04 | 0,75             | 0,39                          | 1,50             | 1,48              | 30,83            |
| 421-438               | 6,40                           | 10,20                          | 3,11 | 20,16 | 0,04 | 0,90             | 0,39                          | 1,68             | 1,62              | 36,60            |
| 448-456               | 4,40                           | 15,80                          | 2,41 | 24,64 | 0,04 | 0,78             | 0,38                          | 1,50             | 1,48              | 37,10            |
| 456-459               | 4,80                           | 10,70                          | 1,81 | 21,28 | 0,03 | 0,73             | 0,43                          | 1,56             | 1,62              | 34,55            |
| 468-471               | 4,40                           | 11,20                          | 4,22 | 17,92 | 0,04 | 1,12             | 0,41                          | 1,68             | 1,41              | 35,12            |
| 471-473               | 4,40                           | 8,70                           | 1,91 | 19,04 | 0,05 | 0,93             | 0,43                          | 0,96             | 1,68              | 39,65            |
| 473-490               | 5,20                           | 11,20                          | 2,91 | 17,64 | 0,05 | 1,10             | 0,39                          | 1,86             | 1,95              | 37,20            |

TABLE I. — Résultats d'analyses des carottes 13 et 14 en pourcentage du sédiment sec.

## Méthodes analytiques.

|    |   |
|----|---|
| Si | Gravimétrie   |
| Al | Complexométrie, indicateur xylenol orange   |
| Fe | Complexométrie, indicateur tyron  |
| Ca | Complexométrie, indicateur calceïne   |
| Mg | Complexométrie, dosage de Ca + Mg, indicateur acide xylenylphtalei-nebisiminodiacétique |
| Na | Spectrométrie de flamme   |
| K  | Spectrométrie de flamme   |
| Mn | Oxydation par $\text{IO}_4^-$ K et colorimétrie   |
| P  | Formation du complexe phospho molybdo vanadique et colorimétrie                         |
| Ti | Oxydation par $\text{H}_2\text{O}_2$ et colorimétrie                                    |

Nous avons choisi les carottes n° 13 et n° 14 parce que ce sont celles qui présentent le moins grand nombre de lits de sable dus aux courants de turbidité, dans la carotte 13, il n'y en a pas et dans la carotte 14, il y en a six ayant une épaisseur totale de 48 cm, soit environ 10 % de la longueur de la carotte.

L'étude géochimique des sédiments profonds de la Méditerranée occidentale offre maintes difficultés, la principale est que la Méditerranée étant une mer fermée, l'apport de matériau terrigène peut se faire de diverses façons et non pas seulement par l'intermédiaire d'une phase homogène en suspension dans l'eau.

LANDERGREEN (1948) a étudié les sédiments rapportés par l'expédition suédoise de l'« Albatross » en Mer tyrrhénienne. Sur trois carottes, il a étudié la répartition du béryllium et du bore et celle des éléments du groupe du fer (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni).

Étant donné la rareté des renseignements que nous avons sur la Méditerranée, il nous a paru intéressant d'étudier systématiquement les quelques carottes profondes que nous avons pu faire afin de comparer nos résultats à ceux obtenus dans l'Atlantique et le Pacifique.

## Résultats.

Dans le tableau I, nous donnons les résultats d'analyse pour les carottes 13 et 14.

*Silicium, Aluminium et Titanium.*

Le tableau II donne les teneurs moyennes en Si, Al, Fe, Mg, Ca et Ti pour les carottes 13 et 14, libres d'eau et de carbonates, ainsi que les teneurs moyennes données par d'autres auteurs. La figure 1 donne la distribution de pourcentages en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{TiO}_2$  en fonction de la profondeur dans la carotte 13. On observe une relation directement proportionnelle entre ces trois oxydes.

A partir de ces valeurs, nous avons calculé les rapports Si/Al et  $\text{Ti}/\text{Al} \times 100$  (tabl. III). Le rapport Si/Al est utilisé par GOLDBERG et ARRHENIUS (1958) comme indication de la productivité organique de la couche superficielle des océans, ils ont mis en évidence l'augmentation générale de ce rapport dans la zone équatoriale de forte productivité. Le rapport Ti/Al donne une indication sur la contribution des pyroclases basaltiques qui ont une teneur en Ti élevée.

Les valeurs moyennes que nous trouvons pour ces deux rapports sont du même ordre que celles trouvées par les autres auteurs dans différentes régions. Nous avons d'autre part, essayé de vérifier l'hypothèse d'ARRHENIUS sur la constance dans le temps de la teneur en  $\text{TiO}_2$ . Les résultats pour la carotte 13 sont donnés dans le tableau IV. La valeur de la déviation standard,  $\pm 11,4\%$ , de la teneur moyenne permettrait l'utilisation de la teneur en  $\text{TiO}_2$  à des fins géochronologiques. Les mesures d'âge absolu par le C-14 et le rapport Io/Th sont en cours.

*Calcium.*

Le calcium dans les sédiments est principalement d'origine organique. La teneur en Ca<sup>++</sup> est fortement influencée par le pH, la température et la pression partielle de CO<sub>2</sub> dans l'eau. Dans les mers très profondes (profondeur supérieure à 5 000 m), une partie très importante des tests calcaires est dissoute pendant la chute des particules vers le fond. Dans la Méditerranée,

| ORIGINE                                   | Si   | Al   | Fe   | Mg   | Ca    | Ti    | Auteurs                    |
|---|------|------|------|------|-------|-------|----------------------------|
| Roches ignées                             | 28   | 8,13 | 5,0  | 2,09 | 3,63  | 0,44  | RANKAMA et SAHAMA 1960     |
| Produits de dépôt « Résistates »          | 36,7 | 2,53 | 1,0  | 0,71 | 3,95  | 0,096 |                            |
| Produits de dépôt « Hydrolyzates »        | 27   | 8,19 | 4,73 | 1,48 | 2,23  | 0,43  |                            |
| Produit de précipitation « Précipitates » | 24   | 0,43 | 0,40 | 4,77 | 30,45 | —     |                            |
| Sédiments profonds Pacifique              | 26   | 9,8  | 5,7  | 1,77 | 0,32  | 0,50  | REVELLE 1944               |
|   | 23   | 9,2  | 6,5  | 2,1  | 2,9   | 0,73  | GOLDBERG et ARRHENIUS 1958 |
| Atlantique                                | 25   | 12,5 | 4,3  | 0,22 | 1,76  | 0,58  | CORRENS 1937               |
| Atlantique + Pacifique                    | 29   | 9,9  | 6,1  | 1,7  | 0,66  | 0,51  | EL WAKEEL et RILEY 1960    |
| Fosse de la Manche                        | —    | 4,67 | 2,95 | 1,97 | 16    | 0,24  | LANDERGREEN 1954           |
|   |      | 8,0  | 5,1  |      |       | 0,41  |                            |
| Méditerranée tyrrhénienne                 | —    | —    | 6,05 | —    | —     | 0,2   | LANDERGREEN 1948           |
| Méditerranée occidentale C-13             | 24   | 9,2  | 5,1  | 2,4  | 2,1   | 0,46  | Ce travail                 |
|   |      |      |      | 0,8  |       |       |                            |
| C-14                                      | 24,4 | 8,4  | 5,1  | 2,5  | 2,5   | 0,54  |                            |
|   |      |      |      | 0,8  |       |       |                            |

TABLE II. — Teneurs moyennes en Si, Al, Fe, Mg, Ca et Ti, en pourcentage, de sédiment libre d'eau et de CaCO<sub>3</sub>

la dissolution des carbonates de calcium peut avoir lieu, mais c'est un phénomène secondaire. On peut, de plus, s'attendre à trouver une quantité plus ou moins importante de calcaire d'origine terrigène. Nous avons analysé d'une part, le calcium total et d'autre part, le calcium soluble dans une solution d'HCl 1N. Les résultats pour la carotte 13 sont donnés dans le tableau IV.

Les variations dans la teneur en calcium total sont essentiellement dues à des variations de la teneur en calcium soluble.

La courbe de répartition du  $\text{Ca}^{++}$  soluble dans la carotte 13 est donnée figure 1. On observe une répartition inverse de celle de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{TiO}_2$ .

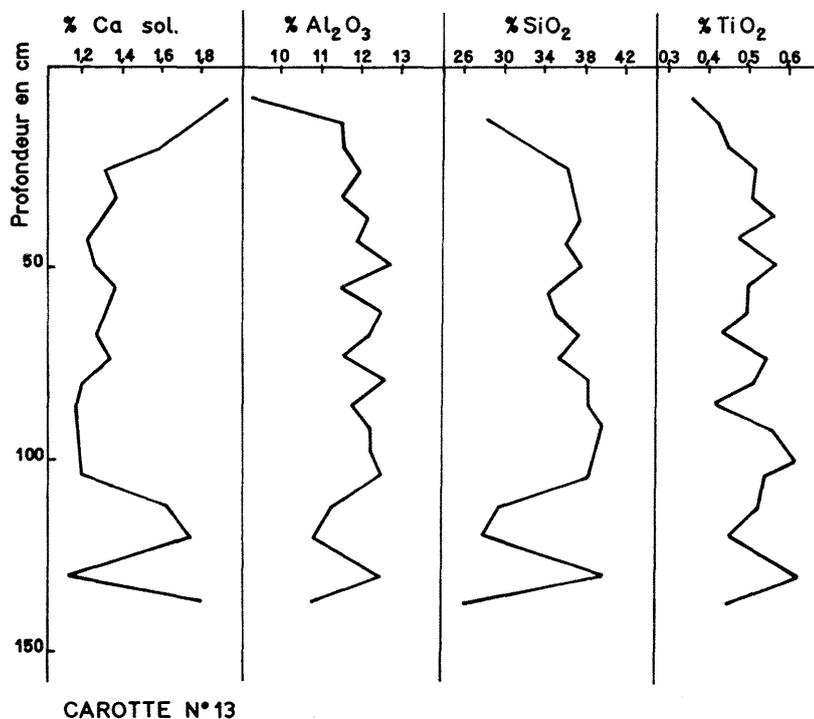


FIG. 1. — Courbes de répartition du  $\text{Ca}^{++}$  soluble,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , et  $\text{TiO}_2$  en fonction de la profondeur dans le sédiment dans la carotte C 13.

### Magnésium.

Le magnésium dans les sédiments a deux origines principales : origine organique et origine minérale.

Les tests de foraminifères contiennent 3 % de Mg et les algues calcaires 4,36 % (CLARKE et WHEELER, 1922).

Dans la partie minérale, le magnésium est lié aux minéraux de l'argile et aux minéraux provenant de la décomposition des pyroxènes (chlorite, serpentine).

Dans la carotte 13, la teneur moyenne en  $\text{Mg}^{++}$  total est de 1,56 %, celle du  $\text{Mg}^{++}$  soluble dans HCl 1N, 1,08 %. Le rapport  $(\text{Mg soluble}/\text{Mg total}) \times 100 = 68$ . Le rapport Ca/Mg pour différents matériaux est donné dans le tableau V.

La fraction soluble dans HCl 1N de la carotte 13 présente le rapport le plus élevé (12,73) qui est comparable à celui des foraminifères. Nous pouvons en déduire que cette fraction est composée presque exclusivement de carbonates d'origine organique, quant à la fraction insoluble, la très faible valeur du rapport (2,8) nous permet de penser qu'il n'y a qu'un très faible apport de calcaire détritique.

| Origine  | Si/Al | Ti/Al × 100 |
|--|-------|-------------|
| Roches ignées  | 3,4   | 5,4         |
| Sédiments du Pacifique (GOLDBERG et ARRHENIUS 1958)                | 2,4   | 7,9         |
| Sédiments du Pacifique (REVELLE 1944)                              | 2,6   | 5,1         |
| Sédiments de l'Atlantique (CORRENS 1937)                           | 2,0   | 4,6         |
| Sédiments de l'Atlantique (WANGERSKY 1962)                         | 1,5   | 3,6         |
| Sédiments Atlantique + Pacifique (EL WAKEEL et RILEY 1961)         | 2,9   | 5,1         |
| Sédiment de la fosse de la Romanche, Atlantique (LANDERGREEN 1954) | —     | 5,1         |
| Méditerranée Carotte 14  | 2,9   | 6,4         |
| Méditerranée Carotte 13  | 2,6   | 4,9         |

TABL. III. — Valeurs des rapports Si/Al et (Ti/Al) × 100 pour divers sédiments.

| Profondeur à partir de la surface (en cm) | TiO <sub>2</sub> .10 <sup>4</sup> | Ca <sup>++</sup> total % | Ca <sup>++</sup> soluble ds HCl 1N % | Ca <sup>++</sup> sol. / Ca <sup>++</sup> tot. × 100 | Ca <sup>++</sup> insoluble % |
|---|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------|
| 3-13                                      | 69                                | 19,28                    | 19,0                                 | 98,5  | 0,28                         |
| 13-15                                     | 77                                | 17,9                     | 17,1                                 | 95,5  | 0,8                          |
| 15-25                                     | 75                                | 16,5                     | 15,6                                 | 94,5  | 0,9                          |
| 25-27                                     | 77                                | 13,9                     | 12,8                                 | 92  | 1,1                          |
| 30-37                                     | 78                                | 15,3                     | 13,4                                 | 87,6  | 1,9                          |
| 37-39                                     | 83                                | 13,5                     | 12,5                                 | 92,6  | 1,0                          |
| 39-49                                     | 68                                | 14,5                     | 11,9                                 | 82,1  | 2,6                          |
| 49-51                                     | 84                                | 13,7                     | 12,3                                 | 89,8  | 1,4                          |
| 51-61                                     | 75                                | 14,5                     | 13,4                                 | 92,4  | 1,1                          |
| 61-63                                     | 74                                | 15,5                     | 12,8                                 | 82,6  | 2,7                          |
| 63-73                                     | 64                                | 13,9                     | 12,4                                 | 89,2  | 1,5                          |
| 73-75                                     | 82                                | 14,7                     | 13,1                                 | 89,1  | 1,6                          |
| 75-85                                     | 74                                | 13,7                     | 11,7                                 | 85,4  | 2,0                          |
| 85-87                                     | 58                                | 12,7                     | 11,3                                 | 88,9  | 1,4                          |
| 87-97                                     | 78                                | 12,7                     | 11,5                                 | 90,5  | 1,2                          |
| 97-99                                     | 88                                | 12,7                     | 11,5                                 | 90,5  | 1,2                          |
| 99-109                                    | 76                                | 12,4                     | 11,6                                 | 93,5  | 0,8                          |
| 109-115                                   | 88                                | 18,2                     | 16,1                                 | 88,5  | 2,1                          |
| 115-125                                   | 80                                | 18,2                     | 17,1                                 | 93,9  | 1,1                          |
| 125-135                                   | 86                                | 12,3                     | 10,7                                 | 87,0  | 1,6                          |
| 135-140                                   | 81                                | 18,6                     | 17,7                                 | 95,1  | 0,9                          |
| Moyenne                                   | 77                                | 14,9                     | 13,5                                 | 90,6  | 1,4                          |
|   | σ = ± 8,8                         |                          |                                      |   |                              |
|   | = ± 11,4 %                        |                          |                                      |   |                              |

TABL. IV. — A différents niveaux de la carotte n° 13, concentrations en TiO<sub>2</sub>.10<sup>4</sup>, teneur moyenne et déviation standard de la moyenne (carotte libre de CO<sub>3</sub>Ca), et teneurs en Ca<sup>++</sup> total, soluble dans HCl 1N et insoluble.

*Fer et Manganèse.*

GOLDBERG (1954) et GOLDBERG et ARRHENIUS (1958) supposent que la majeure partie du fer est précipitée à partir de l'eau de mer sous forme d'oxyde de fer colloïdal hydraté, celui-ci, une fois précipité dans l'inter face eau/sédiment forme une surface fortement active qui catalyse l'oxydation des ions manganèse dissous, formant du MnO<sub>2</sub>. Après précipitation, une partie du MnO<sub>2</sub> peut se combiner avec le catalyseur (fer) formant la ferro-manganite décrite par BUSER et GRUTTER (1956).

| Origine   | Ca <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup> |
|---|------------------------------------|
| Roches ignées (RANKAMA et SAHAMA 1950)                  | 1,73                               |
| Roches calcaires (RANKAMA et SAHAMA 1950)               | 8,96                               |
| Produits d'hydrolyse grossiers (RANKAMA et SAHAMA 1950) | 5,5                                |
| Produits d'hydrolyse fins (RANKAMA et SAHAMA 1950)      | 1,5                                |
| Produits de précipitation (RANKAMA et SAHAMA 1950)      | 6,38                               |
| Tests foraminifères (CLARKE et WHEELER 1922)            | 11,75                              |
| Carotte 13 totale                                       | 9,55                               |
| Carotte 13 fraction soluble dans HCl 1N                 | 12,73                              |
| Carotte 13 fraction insoluble                           | 2,8                                |

Tabl. V. — Rapport Ca/Mg pour différents matériaux.

Le fer se trouve aussi sous forme de minéraux : magnétite, illménite, augite, hornblende et biotite, concentrés dans la partie grossière du sédiment. Il faut signaler la présence, bien que quantitativement peu importante, de fer d'origine cosmique (PETTERSSON et FREDRIKSSON, 1958).

Les concentrations élevées de manganèse dans de nombreux dépôts pélagiques ont motivé un certain nombre d'hypothèses sur le mécanisme de dépôt de cet élément. Il est généralement admis que le manganèse provient du lessivage des roches éruptives. Il est transporté en solution puis précipité dans le milieu de sédimentation. Mais plusieurs hypothèses sont avancées sur la localisation des roches mères et sur le mode de transport et de dépôt du manganèse dissous.

Une source incontestable de manganèse se trouve dans les roches de l'écorce terrestre, toutefois MURRAY et RENARD (1891) suggèrent que la source la plus importante se trouve dans les débris volcaniques du fond de l'océan.

CORRENS (1941) indique la possibilité d'une extraction biologique du manganèse de l'eau de mer par les foraminifères, ce manganèse se fixant dans leurs tests, mais PETTERSSON (1945) fait remarquer que cette extraction n'est pas possible, les vitesses de dépôt et de dissolution des tests de foraminifères devant être trop grandes, mais il semble raisonnable d'accepter la suggestion de CORRENS en ce qui concerne le processus de transport du manganèse.

Selon GOLDBERG, 85 % du manganèse dans l'eau se trouve en solution vraie, sous forme de Mn<sup>++</sup>, en sous saturation. Par contre, dans le sédiment, le manganèse se trouve principalement sous forme de MnO<sub>2</sub>, l'agent d'oxydation, non biologique, étant l'oxygène dissous.

WANGERSKY (1962) trouve dans deux carottes de l'Atlantique central deux maximums dans la répartition du manganèse qu'il explique par une dissolution du manganèse déposé, une migration dans la colonne sédimentaire suivie d'une reprécipitation à un niveau d'oxydation.

Pour que ce mécanisme soit possible, il considère qu'il est nécessaire d'admettre qu'une partie du manganèse arrive au fond sous forme de  $Mn^{++}$  soluble. LANDERGREEN (1954) observe divers maximums isolés de la teneur en manganèse dans les sédiments de la fosse de la Romanche.

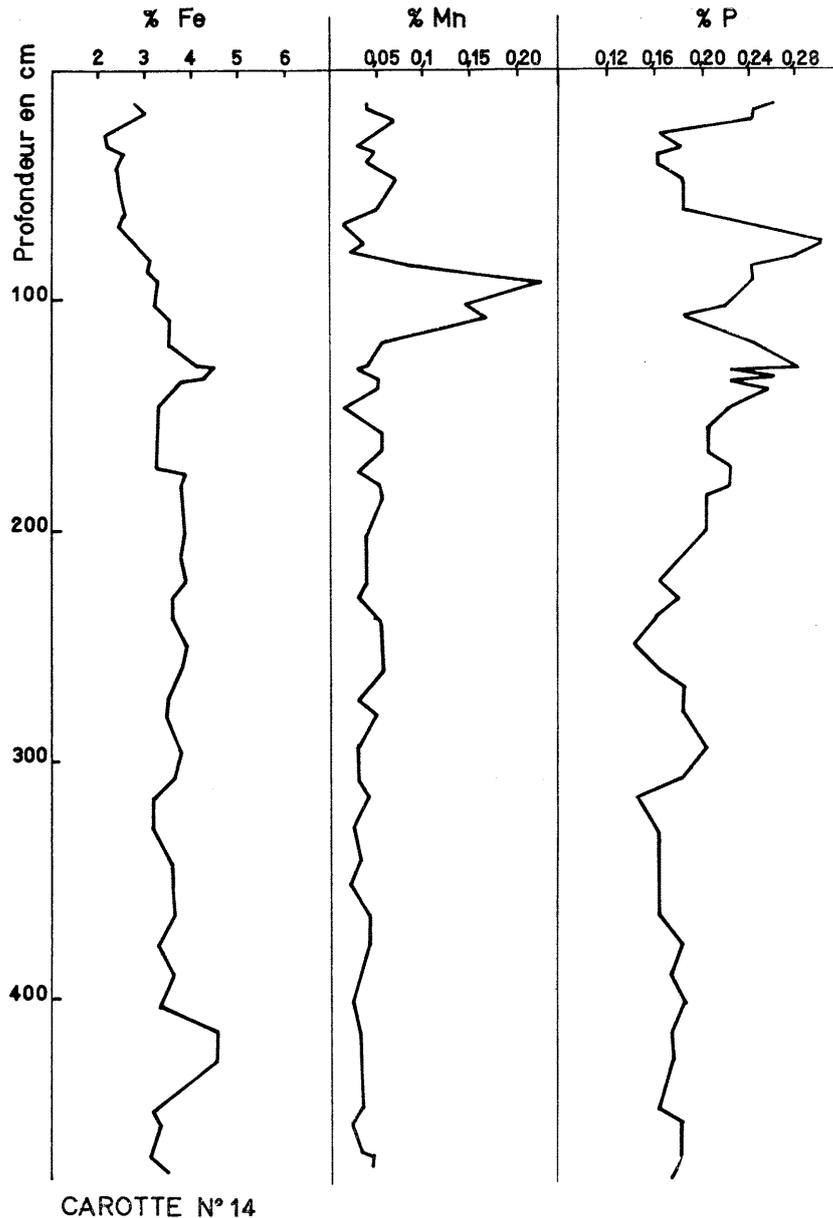


FIG. 2 — Courbes de répartition de Fe, Mn et P en fonction de la profondeur dans le sédiment dans la carotte C 14.

La répartition du manganèse dans la carotte 14 est presque constante (fig. 2), mais une zone de forte teneur (environ quatre fois la teneur moyenne du reste de la carotte) existe entre 90 et 110 centimètres.

La teneur en fer, 0,51 %, pour les deux carottes est analogue à celle trouvée pour d'autres régions, mais la teneur en manganèse 0,08 % est nettement inférieure.

Le tableau VI donne un résumé de la teneur en Mn et Fe et du rapport Mn/Fe de différents sédiments.

| Origine  | Mn (ppm) | Fe (ppm) | Mn/Fe $\times$ 100 |
|--|----------|----------|--------------------|
| Roches éruptives   | 1 000    | 50 000   | 2,0                |
| Produits d'hydrolyse                                       | 620      | 47 300   | 1,93               |
| Sédiments Atlantique (CORRENS 1937)                        | 1 600    | 51 100   | 6,28               |
| Argiles rouges (CLARKE 1924)                               | 7 670    | 67 100   | 11,4               |
| Sédiments Pacifique (GOLDBERG et ARRHENIUS 1958)           | 12 500   | 65 000   | 19,2               |
| Sédiments Atlantique + Pacifique (EL WAKEEL et RILEY 1961) | 4 800    | 61 000   | 7,8                |
| Sédiments Pacifique (REVELLE 1944)                         | 5 200    | 57 100   | 9,1                |
| Sédiments Pacifique (LANDERGREEN 1954)                     | 9 430    | 67 500   | 17,8               |
| Sédiments Atlantique, La Romanche (LANDERGREEN 1954)       | 2 400    | 29 500   | 8,2                |
| Mer Tyrrhénienne (LANDERGREEN 1948)                        | 1 300    | 61 000   | 2,18               |
| Carotte 13   | 900      | 51 000   | 1,76               |
| Carotte 14   | 700      | 51 000   | 1,37               |

TABLE. VI. — Teneurs en Mn, Fe et rapport Mn/Fe pour divers sédiments libres de CaCO<sub>3</sub>.

### Sodium et Potassium.

Il faut noter que les teneurs en sodium et potassium données ici contiennent le sodium et le potassium dissous de l'eau interstitielle.

| Origine  | K %  | Na % |
|--|------|------|
| Roches éruptives                                 | 2,5  | 2,8  |
| Granites   | 3,4  | 2,6  |
| Sédiments Pacifique (REVELLE 1944)               | 2,8  | 0,97 |
| Sédiments Pacifique (CLARKE 1924)                | 2,36 | 1,5  |
| Sédiments Pacifique (GOLDBERG et ARRHENIUS 1958) | 2,5  | 4,0  |
| Sédiments Atlantique (CORRENS 1937)              | 1,95 | 1,67 |
| Sédiments Atlantique (EL WAKEEL et RILEY 1961)   | 2,8  | 1,26 |
| Carotte 13                                       | 2,2  | 1,60 |
| Carotte 14                                       | 2,0  | 1,59 |

TABLE. VII. — Teneur en sodium et potassium des sédiments libres de CO<sub>3</sub>Ca.

Les minéraux de l'argile (groupe de l'illite) contiennent la plupart du potassium et une grande quantité de sodium. Les micas contiennent aussi du potassium.

Les teneurs moyennes en potassium et sodium dans les carottes 13 et 14 ainsi que celles indiquées par différents auteurs sont données dans le tableau VII. On voit que ces teneurs sont du même ordre de grandeur.

*Phosphore.*

CORRENS (1937) démontre que le carbonate de calcium des tests d'organismes planctoniques est associé à 0,08 % de  $P_2O_5$  et que le phosphore est largement retenu dans le sédiment si le carbonate est dissous.

REVELLE (1944) signale pour les sédiments calcaires du Pacifique sud-est, une relation étroite entre les concentrations de phosphore et celles du manganèse.

RANKAMA et SAHAMA (1950) envisagent la redistribution du phosphore dans la colonne sédimentaire par action de l'ammoniaque produit par la décomposition des organismes marins.

ARRHENIUS (1952) trouve que les dépôts du Pacifique oriental et ceux de la dorsale orientale du Pacifique sont anormalement riches en phosphore. Il trouve la même relation que REVELLE entre le phosphore et le manganèse.

| Origine  | Phosphore (ppm) |
|--|-----------------|
| Roches éruptives                               | 1 200           |
| Sédiments Pacifique (REVELLE 1944)             | 800             |
| Sédiments Pacifique (CLARKE 1924)              | 1 300           |
| Sédiment Pacifique (ARRHENIUS 1952)            | 1 300-4 300     |
| Sédiments Atlantique (MURRAY et RENARD 1891)   | 2 800           |
| Sédiments Atlantique (CORRENS 1937)            | 1 700           |
| Sédiments Atlantique (EL WAKEEL et RILEY 1961) | 1 400           |
| Méditerranée Carotte 13                        | 1 500           |
| Méditerranée Carotte 14                        | 3 000           |
| Méditerranée moyenne                           | 1 500           |

TABLE VIII. — Teneur en phosphore pour des sédiments de diverses origines libres de  $CaCO_3$ .

Le tableau VIII donne les résultats d'analyse pour les carottes 13 et 14, ainsi que ceux obtenus par d'autres auteurs dans des régions différentes. Les valeurs moyennes trouvées pour la carotte 13 sont d'accord avec les données des autres auteurs, mais celles de la carotte 14 sont un peu élevées (valeurs doubles). Nous avons essayé de vérifier ces résultats et nous avons analysé quatre carottes de la même région, soit au total 110 analyses de phosphore, la valeur moyenne serait 1 500 p.p.m de P, ce qui est en accord avec les valeurs trouvées dans les autres régions.

Les courbes de répartition du manganèse et du phosphore (fig. 2) pour la carotte 14 présentent une analogie évidente. Le maximum isolé du manganèse se trouve encadré par deux maximums de phosphore. L'explication de ces deux maximums du phosphore et du manganèse pourrait être la migration des ions P et Mn. La migration du phosphore serait due à l'ammoniaque et celle du manganèse à la présence de  $Mn^{++}$  soluble.

**Conclusions.**

Les sédiments étudiés sont composés d'une partie biogène et d'une partie minérale.

La partie biogène est composée presque exclusivement du carbonate de calcium provenant des tests de foraminifères et des ptéropodes.

La partie minérale, pour les éléments principaux, a une composition chimique analogue à celles du Pacifique et de l'Atlantique et ne présente pas de calcaire détritique en quantité appréciable.

La faible teneur en manganèse des sédiments analysés peut être due à la plus grande vitesse de sédimentation en Méditerranée que dans les océans.

Les pics observés dans la distribution du manganèse et du phosphore peuvent être dus à la migration de ces ions dans la colonne sédimentaire.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARRHENIUS (G.), 1952. — Sediment cores from the East Pacific Swedish. — *Deep Sea Exp.* (1947-48) *Repts*, **5** (1).
- BOURCART (J.) et ROS (J.), 1962. — Sur le remplissage sédimentaire de la partie centrale de la Méditerranée Occidentale. — *C.R. Acad. Sci.*, **254**, p. 2897.
- BUSER (W.) et GRUTTER (A.), 1956. — Ueber die Natur der Manganknollen Schweiz. — *Min. Petrogr. Mitt.*, **36**, p. 49-62.
- CLARKE (F.), 1924. — The data of geochemistry. — *U.S. Geol. Surv. Bul.*, **770**.
- CLARKE (F.) et WHEELER (W.), 1922. — The inorganic constituents of marine invertebrates. — *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, n° 124, paragraphe 1-62.
- CORRENS (C.), 1957. — Die sedimente des Aquatoriale Atlantischen Ozeans. — *Deutschen Atl. Exp. Meteor.* 1925-1927.
- 1941. — *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen Math. Phys. Kl.*, **5**, 219.
- EL WAKEEI (S.) et RILEY (J.), 1961. — Chemical and mineralogical studies of deep sea sediments. — *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, **25**, p. 110-146.
- GOLDBERG (E.), 1954. — Marine geochemistry I. Chemical scavengers of the sea. — *J. Geol.*, **62**, p. 249-265.
- GOLDBERG (E.) et ARRHENIUS (G.), 1958. — Chemistry of Pacific pelagic sediments. — *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, **13**, p. 153-213.
- KUENEN (Ph.), 1950. — *Marine geology*.
- LANDERGREEN (S.), 1948. — On the geochemistry of mediterranean sediments. — *Göteborg Kgl. Vet. Witt. Samb. Handl.*, Ser. B, **5** (13).
- 1954. — On the geochemistry of the North Atlantic sediment core, n° 238. — *Rep. Swedish Deep Sea Exp.* 1947-48, **7** (2).
- MURRAY (J.) et RENARD (A.), 1891. — Deep sea deposits. — « Challenger » Rep., London.
- PETTERSSON (H.), 1945. — Iron and manganese on the ocean floor. — *Medd. Oceanogr. Inst. Göteborg*, **3** (8), p. 1-37.
- PETTERSSON (H.) et FREDRIKSSON (K.), 1958. — Magnetic spherules in deep sea deposits Pacific Science, **12**.
- RANKAMA (K.) et SAHAMA (T.), 1960. — *Geochemistry*, Chicago Univ. Press.
- REVELLE (R.), 1944. — Marine bottom samples collected in the Pacific ocean by the Carnegie on its seventh cruise. — *Carnegie Inst. Wash.* Publi. 556.
- SVERDRUP (H.), JOHNSON (M.) et FLEMING (R.), 1942. — *The Oceans*, Prentice Hall.
- WANGERSKY (P.), 1962. — Sedimentation in three carbonate cores. — *J. Geology*, **70**, p. 364.
-

