

ÉTUDE DES " FAECAL-PELLETS " MINÉRALISÉS DES SÉDIMENTS DU PLATEAU CONTINENTAL DE CÔTE D'IVOIRE

Louis MARTIN

Géologue de l'ORSTOM
C.R.O ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

RÉSUMÉ

La fraction grossière de la plupart des sédiments du plateau continental de Côte d'Ivoire est caractérisée par la présence de petits granules ovoïdes dont la couleur varie du vert clair au marron foncé et la taille de 0,6 à 0,1 mm. Compte tenu de leur ressemblance avec des déjections fraîches d'échiuriens, polychètes et gastéropodes, il est vraisemblable qu'ils dérivent de la minéralisation de celles-ci. Les études faites par PORRENGA sur le plateau continental du Nigeria ont montré que ces granules étaient formés de goethite, de berthiérine et de « proto-glaucosite ». On retrouve à peu près la même chose en Côte d'Ivoire ; la berthiérine y est toutefois beaucoup moins développée.

ABSTRACT

The coarse fraction of most of the Ivory Coast's Continental plateau sediments is characterized by the presence of small ovoid granules that range from light green to dark brown, in color and from 0,1 to 0,6 mm, in size. Taking into account their resemblance with fresh echiurian, polychete and gastropod ejecta, they are likely derived from the mineralization of these ejecta. The studies made by PORRENGA concerning the Nigerian continental plateaux have shown that these granules were composed of goethite, berthierite and « proto-glaucosite ». About the same thing is to be found in the Ivory Coast with the berthierite much less developed, however.

Cah. ORSTOM, sér. Géol., vol. IV, n° 2, 1972, 105-120.

ZUSAMMENFASSUNG

Der grobkörnige Anteil der meisten Sedimente des Kontinentalplateaus der Elfenbeinküste ist durch die Gegenwart kleiner eiförmiger Körner charakterisiert, deren Farbe von hellgrün bis dunkelbraun und Grösse von 0,6 bis 0,1 mm variieren. Wenn man die Ähnlichkeit mit den frischen Auswürflingen von polycheten und gasteropoden Echiuriern berücksichtigt, ist es wahrscheinlich, dass sie von der Mineralisierung dieser abstammen. Studien, die von PORRENGA auf dem Kontinentalplateau Nigerias gemacht wurden, haben gezeigt, dass diese Körner aus Goethit, Berthierit und « Proto-Glaukonit » gebildet waren. Man findet ungefähr das gleiche an der Elfenbeinküste wieder ; der Berthierit ist hier jedoch weitaus weniger entwickelt.

РЕЗЮМЕ

Грубая фракция большинства отложений шельфа Берега Слоновой Кости характеризуется наличием мелких яйцевидных зёрен, окраска которых варьирует от светло-зелёного до тёмно-коричневого а размер колеблется между 0,6 и 0,1 мм. Принимая во внимание их сходство со свежими отбросами эхиуридовых, полихетов и гастроподов, можно полагать, что они образуются путём минерализации последних. Исследования проведенные ПОРРЕНГА на шельфе Нигерии показали, что эти зёрна состоят из гётита, бертиерина и « прото-глауконита ». Приблизительно та же картина наблюдается и на Береге Слоновой Кости, но тут бертиерин развит гораздо слабее.

GÉNÉRALITÉS

La plupart des sédiments du plateau continental de Côte d'Ivoire contiennent des granules ovoïdes dont la dimension varie de 100 à 600 μ . Ils se présentent sous une variété de couleurs et des degrés d'induration allant du gris et mou au vert ou marron et dur. Selon leur aspect, on peut les classer grossièrement en trois catégories :

(a) *Granules gris et mous*

Ils ne résistent pas à un tamisage sous l'eau. Ils ont la même couleur que la matrice vaseuse qui les contient et semblent avoir la même composition. Nous avons pu les observer dans les nombreuses carottes prélevées dans les zones vaseuses.

(b) *Granules ovoïdes marron foncé, polis, luisants et durs*

En général, ils ont un diamètre inférieur à 200 μ ; cependant il en existe d'un diamètre voisin de 500 μ . On ne les rencontre pas au-delà de 40 m de profondeur. Associés à des grains de quartz de même dimension, ils peuvent former des sables noirs très fins. On les rencontre également associés à des grains de quartz et à des débris organogènes dans des proportions variables.

(c) *Granules ovoïdes vert clair à vert sombre avec une surface rugueuse, terreuse présentant parfois des craquelures*

En moyenne, ils ont un diamètre compris entre 300 et 500 μ . Au-delà de 40 m de profondeur, ils peuvent former l'essentiel de la fraction grossière du sédiment ou être associés à des grains de quartz et des débris organogènes dans des proportions variables.

On peut considérer ces granules comme étant des déjections d'organismes fousseurs et limnivores, compte tenu de leur ressemblance en grandeur et en forme avec des déjections fraîches de polychètes, échiuriens et gastéropodes. Il est vraisemblable que les granules ont initialement contenu du matériel vaseux consommé puis rejeté par l'animal et agglutiné par la matière organique. Au début, le matériel pratiquement inaltéré est probablement représenté par les granules gris et mous trouvés dans certaines carottes. Pour PORRENGA (1967) la composition chimique des granules gris et mous est très proche de celle de la matrice vaseuse qui les contient ; seule la teneur en matière organique serait plus importante dans les granules. Pour GIRESSÉ (1969), au contraire, les granules gris auraient une composition différente de celle de la

matrice. Il pense que l'organisme responsable de leur formation exerce une sélection alimentaire qui éliminerait la fraction argileuse très fine, c'est-à-dire la kaolinite. Nous n'avons pas pu faire, en Côte d'Ivoire, d'analyse sur les granules gris, mais d'après leur aspect, nous pensons, comme PORRENGA, que leur constitution est très proche de celle de la vase qui les contient.

S'il y a assez d'oxygène dans l'eau de mer, la matière organique est oxydée et disparaît des granules, laissant le matériel détritique inchangé sous forme de granules gris et mous. S'il y a moins d'oxygène, localement un environnement réducteur peut être maintenu dans lequel la minéralisation peut se faire. Bien qu'il ne soit pas possible d'indiquer et de décrire toutes les conditions physico-chimiques favorables à la minéralisation, il est vraisemblable que le potentiel Red/ox joue un rôle important. Cette supposition est basée sur la présence de fer ferreux dans les granules et sur la quantité de fer en général, ce qui indique une mobilisation et une concentration vers le stade réduit. En connexion avec le potentiel Red/ox, dans le micro-environnement des granules, la quantité totale de matière organique et la perméabilité du matériel des granules et du sédiment qui les contient sont également importantes.

MODE DE GISEMENT SUR LE PLATEAU CONTINENTAL DE CÔTE D'IVOIRE

On les rencontre dans la plupart des sédiments avec des concentrations variant de moins de 1 % à plus de 75 % du sédiment total.

Répartition en surface (fig. 1)

Les plus fortes concentrations sont localisées dans trois zones bien distinctes :

- au large de l'embouchure de la Comoé
- au large de l'embouchure du Bandama
- au large de l'embouchure du Sassandra.

Les zones les plus riches en granules marrons sont situées entre 20 et 40 mètres. Au-delà de 70 mètres, nous rencontrons des sédiments dont la fraction grossière est en majeure partie formée de granules verts.

Répartition en profondeur (fig. 2)

L'étude des carottes prélevées sur le plateau continental ivoirien montre que l'épaisseur de la couche de granules minéralisés ne dépasse pas un mètre dans les zones les plus riches. En général, nous rencontrons sous cette couche de « faecal-pellets » minéralisés des

« FAECAL-PELLETS » MINÉRALISÉS DU PLATEAU CONTINENTAL DE CÔTE D'IVOIRE

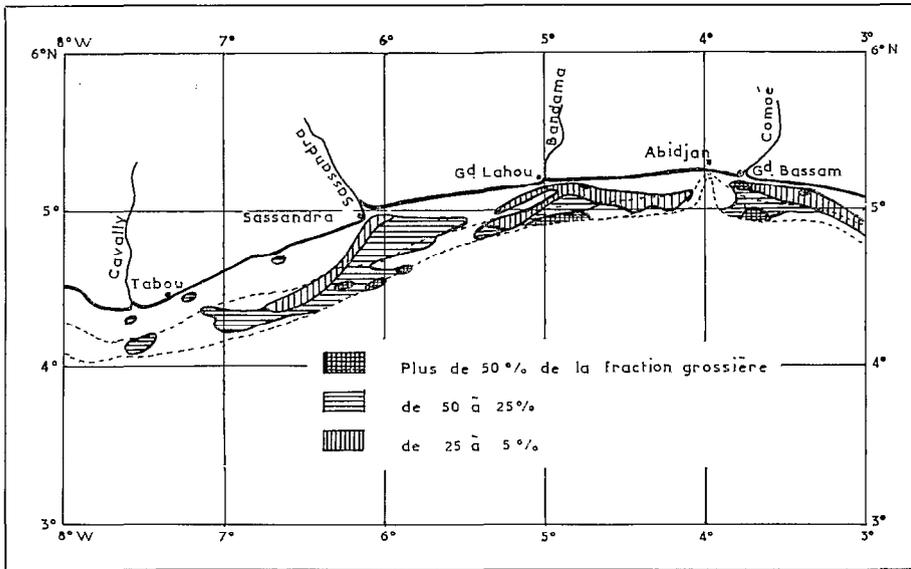


FIG. 1. — Répartition des « faecal-pellets » minéralisés sur le plateau continental de Côte d'Ivoire.

granules gris et mous. Il peut cependant arriver que sur une même verticale nous rencontrions une nouvelle couche de granules minéralisés. L'étude des carottes montre également que les fortes concentrations en granules minéralisés sont situés sur des sédiments vaseux. Etant donnée leur consistance, les granules gris et mous sont obligatoirement en place. Il est logique de penser que les granules minéralisés que l'on rencontre au-dessus des granules gris et mous et qui en dérivent sont également en place. Ceci implique que les conditions physico-chimiques qui régissent leur minéralisation ont varié au cours du dépôt d'une même couche de vase. Par contre, les petits granules marrons que l'on rencontre dans les faibles profondeurs associés à des grains de quartz de même dimension, sont probablement remaniés.

Il ressort des études de PORRENGA (1965-66-67) au Nigeria sur des granules analogues, que les gris et mous sont formés d'un matériel détritique tandis que les verts et les marrons sont principalement formés de glauconie, de berthiérine et de goethite. Des résultats analogues ont été décrits par GIRESSÉ (1965-1969) au Gabon.

GÉNÉRALITÉS SUR LES GLAUCONIES

Les géologues de terrain ont traditionnellement employé le mot de glauconie pour décrire des grains argileux riches en fer et pouvant être abondants dans

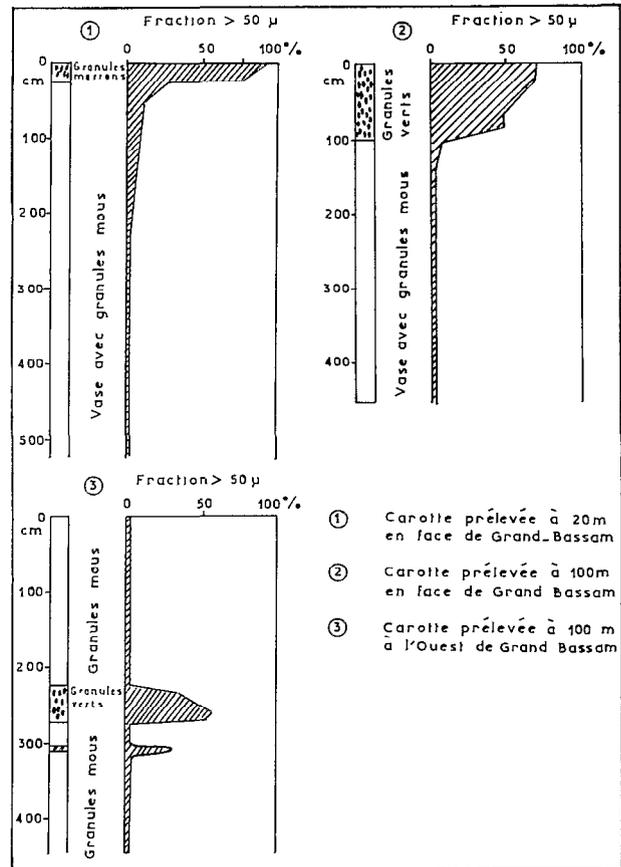


FIG. 2. — Répartition en profondeur des « faecal-pellets » minéralisés.

certaines sédiments marins. BURST (1958 *a* et *b*) a montré que les glauconies sont en fait très variées et ne sont pas toutes constituées comme le minéral décrit par GRUNER (1935) et dont la structure est voisine de celle des illites. BURST a distingué quatre catégories de glauconies :

(*a*) — La première catégorie correspond à la phyllite dioctaédrique décrite par GRUNER et appelée glauconite. Les pics de diffraction sont aigus et symétriques. La structure est régulière. BURST lui a donné le nom de « *Type Ordonné* ». La formule chimique moyenne donnée par HENDRICK et ROSS (1941) est la suivante :

$(\text{OH}_2) (\text{K}, \text{Ca}_{0,5}, \text{Na}) 0,84 (\text{Al}_{0,47} \text{Fe}_{0,97}^{+++}, \text{Fe}_{0,19}^{++}, \text{Mg}_{0,40}) (\text{Si}_{3,65}, \text{Al}_{0,35}) 0,10$.

(*b*) — Le second groupe est également monominéral et micacé, mais les pics sont bas et dissymétriques. La retombée des pics est hésitante et lente du côté des grands angles. L'analyse des radiogrammes indique que l'empilement est désordonné. BURST a donné à ce groupe le nom de « *Type Désordonné* ».

(*c*) — Le troisième groupe est formé de minéraux interstratifiés où la Montmorillonite alterne d'une manière assez désordonnée avec un minéral à 10 Å. BURST a donné à ce groupe le nom de « *Type Interstratifié* ».

(*d*) — Le quatrième groupe présente des mélanges de minéraux qui peuvent être selon les cas : l'illite, la montmorillonite, la chlorite ou des interstratifiés variés.

En accord avec HOOVER (1960), BURST a défini le « *Type Ordonné* » comme étant formé presque entièrement d'un minéral micacé contenant moins de 10 % de feuillet gonflants. Le « *Type Désordonné* » contient de 10 à 20 % de feuillet gonflants, tandis que le « *Type Interstratifié* » en contient plus de 20 %.

Le potassium étant un des composants essentiels des micas, les glauconies qui ont le plus fort pourcentage de feuillet micacés auront également la plus forte teneur en potassium (BURST, 1958). La teneur en potassium peut varier de 2 à 7 %.

Les diffractogrammes de glauconies non traitées ont un pic basal (001) allant d'un peu plus de 10 Å à 15 Å. Le matériel avec un écart réticulaire d'environ 10 Å change très peu après glycolation ou chauffage. Par contre, le matériel à 15 Å gonfle à 17 Å après glycolation et se contracte à environ 10 Å après chauffage à 200° pendant une heure. Ceci indique la présence de matériel gonflant. Des impuretés telles que de la kaolinite, de la chlorite, du quartz, des feldspaths et de la calcite sont également présentes sur certains diffractogrammes de glauconies.

Le terme de glauconie représente donc, tantôt un minéral argileux bien défini qui est l'homéotype ferrique de l'illite, tantôt des produits de nature minéralogique variée et qui ont en commun d'être verts. Il existe donc une ambiguïté du point de vue nomenclature. C'est pourquoi MILLOT (1964) a proposé de distinguer :

— Le terme *Glauconie* (en anglais, *Glauconite*) utile aux géologues. Il désignera les produits verts en grains, en trainées ou en accordéons sans que l'étude minéralogique soit faite et que l'on puisse préciser.

— Le terme *Glauconite* (en anglais « *glauconite mineral* ») défini par les minéralogistes, correspondra au minéral ferrique homéotype de l'illite.

GÉNÉRALITÉS SUR LA BERTHIÉRINE

La berthiérine (en anglais « *chamosite* ») est le minéral principal de nombreux minerais de fer oolithiques anciens. Dans ces roches, la berthiérine se présente sous une forme ovoïde qui, en lame mince, montre un certain nombre de cercles concentriques entourant un grain de quartz ou d'un autre minéral. Elle se rencontre sans ces cercles en inclusions minérales sous forme de boulettes et parfois comme constituant de la matrice. Elle apparaît également dans les pores du squelette d'échinodermes.

A la suite des travaux de BRINDLEY (1951-1961) de CAILLÈRE et HÉNIN (1952-1959), les phyllites des minerais de fer ont pu être classées de la manière suivante.

— *Des phyllites à 7 Å*

Elles sont appelées berthiérines. Elles appartiennent à la série kaolinite-serpentine ; le nombre d'atomes présents dans les trois positions octaédriques est plus voisin de 3 que de 2, on peut donc parler d'isotype de la serpentine, mais les ions représentés dans cette couche octaédrique sont : Mg, Fe⁺⁺⁺, Fe⁺⁺ et Al. On rencontre les berthiérines dans les minerais oolithiques d'âge secondaire.

— *Des phyllites à 14 Å ou chlorites vraies*

Elles sont caractérisées par un espacement basal fixe à 14 Å. On les rencontre presque exclusivement dans les minerais oolithiques d'âge primaire.

— *Des phyllites à 14 Å gonflantes ou chlorites gonflantes*

La couche brucitique est très incomplète, elle est cependant suffisamment garnie pour garantir la stabilité de la raie à 14 Å à la chaleur mais insuffisamment

pour lier les feuillets qui gonflent sous l'influence des polyalcools.

La berthiérine a été synthétisée en laboratoire à basse température (CAILLÈRE *et al.*, 1953-55-62 ; CAILLÈRE et HÉNIN, 1960) mais dans les sédiments actuels, la présence de berthiérine n'a été signalée que récemment. Elle a été décrite par PORRENGA (1965-66-67) dans les sédiments peu profonds de l'Orénoque, du delta du Niger et du plateau continental de Sarawak. Elle a également été décrite dans les sédiments des plateaux continentaux du Gabon par GRESSE (1965-1969), de Guinée par VON GAERNER et SCHELLMANN (1966) et dans les sédiments marins du détroit de Malacca entre la Malaisie et Sumatra par KELLER (1966).

Plusieurs hypothèses concernant son origine ont été formulées mais de nombreux auteurs arrivent à la conclusion que la berthiérine s'est formée synsédimentairement ou dans un premier stade de diagenèse dans le sédiment. L'environnement le plus favorable semble être un environnement marin peu profond près d'un continent qui fournit le fer nécessaire. Jusqu'à présent on n'a rencontré des berthiérines actuelles que dans les environnements marins peu profonds sous les tropiques. Ceci peut indiquer qu'une température chaude de l'eau du fond (supérieure à 20 °C) est essentielle (PORRENGA, 1967). L'intersection de la thermocline avec le fond marque la frontière extrême de la présence de la berthiérine et il semble que sa présence coïncide remarquablement bien avec la zone où la masse d'eau supérieure est en contact avec le fond. Il est vraisemblable que l'eau plus chaude est un des facteurs qui a causé l'environnement favorable à la formation de la berthiérine, alors que l'eau plus froide à plus grande profondeur peut être un des facteurs favorables à la formation de la glauconie.

L'observation en plaque mince de berthiérine actuelle ne montre pas de couches concentriques comme on en trouve dans les berthiérines anciennes, excepté pour les couches extérieures de goethite. Il est certain que la berthiérine actuelle, ayant la forme de granules ovoïdes, débute sous la forme de « faecal-pellets » dus aux déjections d'organismes fouisseurs ou limnivores.

La berthiérine contient du fer ferreux, mais il entre dans la mer davantage de fer sous forme ferrique. Celui-ci est souvent présent en pellicules sur les grains de quartz et autres grains minéraux et comme constituant des minéraux argileux. Si le fer ferrique est réduit par la matière organique présente dans les « faecal-pellets » ou dans la couche de surface du sédiment, quelques ions ferriques peuvent devenir mobiles

et être utilisés comme fer ferreux pour la formation de berthiérine. Les granules gris contiennent à peu près la même quantité de fer que la matrice vaseuse qui les contient, alors que la teneur en fer de la berthiérine est beaucoup plus élevée. Il y a donc, pendant la berthiérinisation, une augmentation considérable de la teneur en fer. Puisque la quantité de fer diminue généralement à l'intérieur du sédiment lui-même, le potentiel Red/ox peut baisser assez pour permettre la formation de la berthiérine ; sa formation n'est donc pas synsédimentaire mais postsédimentaire dans un premier stade de diagenèse du sédiment. Si la quantité de matière organique n'est pas suffisante pour maintenir un environnement réducteur, la berthiérine peut être oxydée en goethite. Inversement, le matériel oxydé peut se transformer en berthiérine si les conditions de pH et Eh sont favorables. VON GAERTNER et SCHELLMANN (1965) et SCHELLMANN (1966) admettent que la berthiérine qu'ils trouvent dans les dépôts de plage en Guinée, a remplacé la goethite. La transformation de la chlorite en berthiérine, comme cela a été observé par PORRENGA (1967) dans les échantillons du plateau continental de Sarawak, semble également se réaliser dans un environnement localement réducteur.

Puisque la structure et la composition chimique de la chlorite et de la berthiérine sont presque semblables, on n'a pas à envisager de changements radicaux, alors que de tels changements seraient nécessaires pour transformer la biotite en berthiérine.

Composition chimique moyenne de la glauconite, de la berthiérine et de la goethite

	Glauconite tertiaire	Glauconite récente	Berthiérine	Goethite
SiO	52,64	46,90	30,07	5,15
Al ₂ O ₃	5,78	4,06	17,26	4,49
Fe ₂ O ₃	17,88	27,09	3,66	69,93
FeO	3,85	3,60	37,61	0,95
MnO	—	—	0,2	0,48
TiO ₂	0,16	—	0,12	1,05
CaO	0,12	0,20	—	0,57
MgO	3,34	0,70	1,69	1,05
K ₂ O	7,42	6,16	0,16	0,32
Na ₂ O	0,18	1,28	0,44	0,01
P ₂ O ₅	0,18	—	—	1,23
P.F.	8,79	9,25	9,01	14,44
Total	100,34	99,24	100,04	99,67

In : H.L. JAMES (1960) «Chemistry of the iron rich sedimentary rocks».

ÉTUDE DES FAECAL-PELLETS MINÉRALISÉS PRÉLEVÉS AU LARGE DU DELTA DU NIGER (PORRENGA - 1967)

Près du littoral, dans les eaux de 10 m et moins, tous les « pellets » sont bruns et luisants. Ils sont essentiellement formés de goéthite. Jusqu'à 60 m de profondeur, c'est-à-dire dans la zone du plateau continental recouverte par une masse d'eau chaude permanente ($T > 26^\circ$), les « pellets » verts sont formés de berthiérine. Au-delà de 60 m de profondeur, c'est-à-dire sur les fonds recouverts par une masse d'eau froide ($T < 17^\circ\text{C}$), les « pellets » verts sont surtout formés de glauconie. Il semble que l'intersection de la thermocline avec le fond délimite deux zones : une zone supérieure dans laquelle se développerait la berthiérine et une zone inférieure dans laquelle se développerait la glauconie.

Caractéristiques des « faecal-pellets » prélevés au-delà de 60 m de profondeur

Minéralogiquement aussi bien que chimiquement, la composition des « pellets » diffère de celle de la matrice vaseuse qui les contient.

(a) Minéralogiquement à cause de la plus petite quantité de kaolinite et de la plus grande quantité de montmorillonite (« proto-glauconite ») des « pellets » (fig. 3). De plus, la raie (060) de la « proto-glauconite »

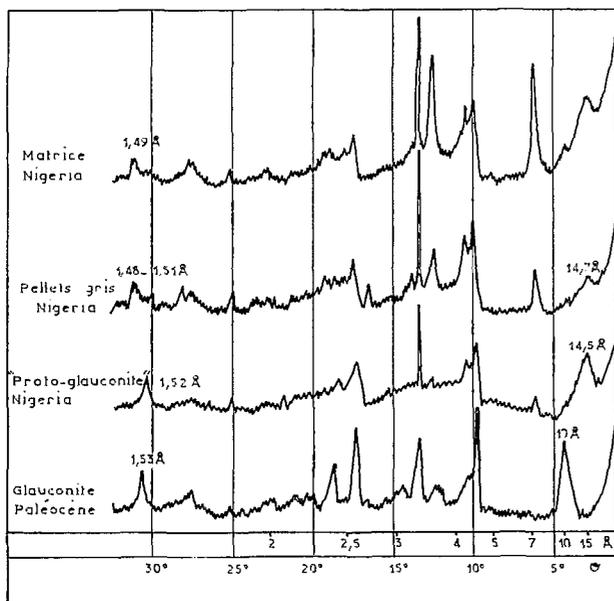


FIG. 3. — Diffractogrammes de la matrice et de « faecal-pellets » du Nigéria comparés à celui d'une glauconite paléocène (PORRENGA, 1967).

des « pellets » est située à 1,525-1,53 Å, ce qui indique que le minéral n'est pas dioctaédrique (habituellement 1,49 à 1,52 Å) mais probablement plus près de trioctaédrique (habituellement 1,53 Å). La raie (060) de la montmorillonite de la matrice vaseuse est d'environ 1,50 Å.

(b) Chimiquement la différence entre les « pellets » et la matrice est aussi frappante : une plus grande quantité de fer, de potassium et de magnésium caractérise les « pellets ».

PORRENGA arrive à la conclusion que les « pellets » ne constituent pas simplement un matériel argileux agglutiné mais doivent représenter un minéral nouvellement formé.

Tableau donnant la composition chimique de la matrice et des pellets du delta du Niger

	Matrice	Pellets gris	Pellets de proto-glau.	Pellets bruns	Pellets de berthiérine
SiO ₂	43,87	50,17	49,95	22,68	52
Al ₂ O ₃	25,36	21,30	14,04	9,14	8
Fe ₂ O ₃	9,86	10,00	17,30	46,82	20
FeO	*	*	2,87	1	*
MnO	0,05	0,05	0,05	0,11	0,2
TiO ₂	1,09	1,20	0,65	0,79	0,4
CaO	0,55	1,00	1,46	1,98	0,5
MgO	1,40	1,03	2,38	2,92	8,4
K ₂ O	1,29	1,48	2,62	0,58	0,5
Na ₂ O	1,18	0,26	0,21	0,24	0,3
P ₂ O ₅	0,24	0,11	0,18	2,64	—
P.F.	15,03	11,68	8,36	12,15	11,4
	98,92	98,28	100,07	101,05	101,7

* Tout le fer est exprimé en Fe₂O₃.

Il s'agit d'un minéral argileux riche en fer. Après traitement à la glycérine, la raie (001) passe à environ 17 Å, ce qui indique un bon gonflement. Après traitement au chlorure de potassium 1N, la raie (001) passe à des valeurs de 11,5-11,7 Å. Le développement d'une raie à 10 Å sur les échantillons chauffés à 350° indique que la structure est plutôt celle d'un minéral gonflant de 10 Å que celle d'une chlorite ou d'une vermiculite de 14 Å. Dans le cas d'une vermiculite, un pic à 14 Å serait remplacé par un pic large à environ 9 Å en chauffant à 450-550°. Dans le cas d'une chlorite, une réflexion à 14 Å se développerait avec une intensité croissante pour des températures croissantes. Les pellets du delta du Niger contiennent environ 2,7 % de potassium. Si nous comparons les propriétés de gonflement et la teneur en potassium de ce minéral

avec celles des glauconies du Type III de BURST (minéraux gonflants avec une structure peu ordonnée et une faible teneur en potassium) nous constatons que le minéral des pellets du delta du Niger représente un tout premier stade de développement. On peut le considérer comme une glauconite en gestation d'où son nom de « proto-glauconite ». A plus grande profondeur à l'intérieur du sédiment, cette « proto-glauconite » est probablement en train de se transformer en glauconite telle que l'a définie GRUNER (1935), HENDRICK et ROSS (1941) avec perte d'eau et des propriétés gonflantes, augmentation de la teneur en potassium et organisation de la structure.

Caractéristiques des « faecal-pellets » verts prélevés au-dessus de 60 m de profondeur (Berthiérine)

Alors que les berthiérines des roches anciennes sont bien ordonnées et donnent des diffractogrammes avec des pics aigus, les berthiérines actuelles donnent seulement quelques réflexions larges. Si on compare un diffractogramme de berthiérine paléozoïque avec celui d'une berthiérine actuelle (fig. 4), on constate que l'échantillon paléozoïque contient de la sidérite (pic à 2,79 Å), tandis que l'échantillon actuel contient du quartz (pic à 3,35 Å), de la goéthite (pic à 4,18 Å) et du mica (pic à 10 Å). L'absence d'une raie à 14 Å montre que la véritable structure de la chlorite n'est pas présente alors que la réflexion (060) à environ 1,54 Å indique le caractère trioctaédrique du minéral. De l'absence de réflexions à 3,58 Å (002) et 1,49 Å (060) on peut conclure à l'absence de la kaolinite. Par contre un critère supplémentaire de la présence de la berthiérine est la présence de la raie (002) à 3,53 Å (HORN - 1964).

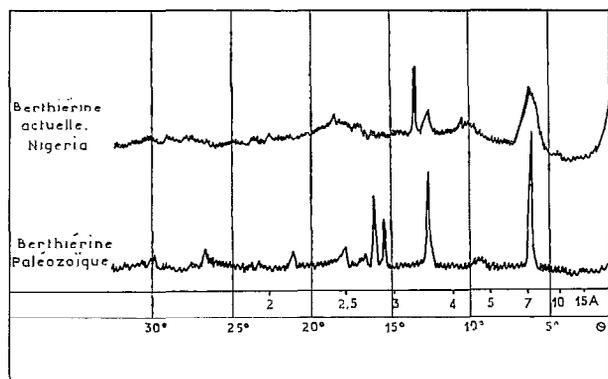


FIG. 4. — Diffractogrammes d'une berthiérine du delta du Niger et d'une berthiérine ancienne (PORRENGA, 1967).

En chauffant à 450°, l'intensité de la réflexion à 7 Å faiblit, indiquant que la décomposition est commencée. A 550°, il n'y a plus de raie à 7 Å alors qu'à 14 Å il n'y a pas de raie visible. Seules persistent les raies du quartz et du mica.

Chimiquement, la composition de la berthiérine se rapproche de celle de la chlorite contenant du fer. La berthiérine faiblement ordonnée possède une quantité élevée de fer ferreux et de magnésium et une faible quantité d'aluminium.

ÉTUDE DES « FAECAL-PELLETS » MINÉRALISÉS DU PLATEAU CONTINENTAL DE CÔTE D'IVOIRE

Nous venons de voir que sur le plateau continental du Nigéria, la constitution des « pellets » variait en fonction de la profondeur. Afin de vérifier si la même zonation bathymétrique existe en Côte d'Ivoire, nous avons étudié une série d'échantillons prélevés à 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 et 250 m de profondeur, sur une même radiale perpendiculaire à la côte située au large de Grand-Bassam. Nous avons également étudié d'autres échantillons prélevés en divers points du plateau continental afin de voir s'il existait des variations latérales (fig. 1).

Méthodes d'étude

Nous avons effectué sur chaque échantillon :

- un dosage chimique des éléments majeurs
- une analyse thermique différentielle
- une analyse thermique pondérale
- une analyse aux RX faite sur :

- . des poudres
- . des agrégats orientés auxquels on a fait subir les tests classiques.

La préparation des agrégats orientés nécessite un certain nombre de traitements préalables destinés à éliminer certains corps gênant l'identification des minéraux argileux. Ainsi on élimine la matière organique par l'eau oxygénée et les carbonates par l'acide chlorhydrique au 1/10. Après ces deux traitements, les diffractogrammes de « pellets » restaient pratiquement plats et ne montraient aucun des pics caractéristiques. Ceux-ci étaient masqués par la forte teneur en oxydes de fer libre des échantillons. Il existe plusieurs méthodes classiques pour se débarrasser des oxydes de fer, mais si elles éliminent effectivement le fer, il n'est pas certain qu'elles n'altèrent pas plus ou moins certains minéraux. Initialement, nous avons éliminé le fer par

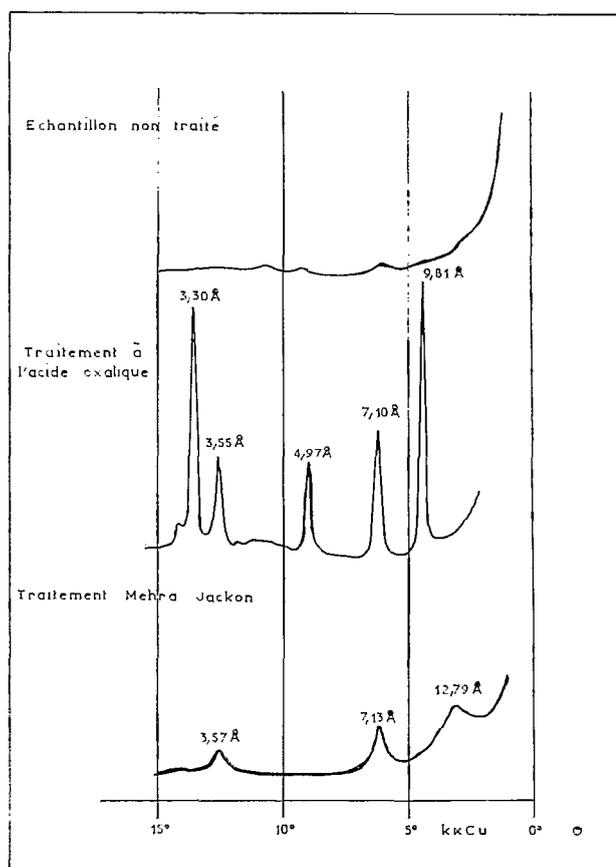


FIG. 5. — Influence des traitements préparatoires sur les diagrammes d'agrégats orientés.

un traitement à l'acide oxalique. Nous avons alors obtenu de très beaux pics à 10 et 7 Å mais rien vers 14 Å (fig. 5). Or nous savions, d'après les diagrammes de poudre, que les échantillons contenaient un minéral à environ 14 Å et pratiquement pas de minéral à 10 Å. En éliminant les oxydes de fer par le traitement (MEHRA-JACKSON, 1960) nous avons obtenu des résultats conformes à ceux des diagrammes de poudre. Cependant il n'est pas impossible que certains minéraux aient subi quelques dommages et en particulier il est probable que la berthiérine a été partiellement ou totalement détruite.

L'identification des minéraux argileux sur leurs seules courbes thermiques devient rapidement impossible dès que l'échantillon contient plusieurs minéraux. Cependant, si on étudie une série d'échantillons, les courbes thermiques peuvent avoir un certain intérêt en indiquant les variations relatives dans la série.

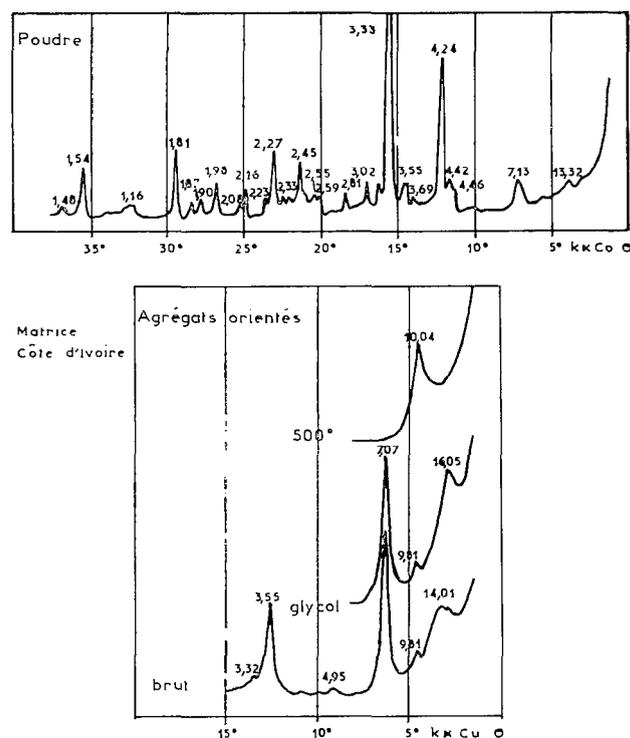


FIG. 6. — Diffractogrammes de la matrice contenant les pellets.

Résultats de l'étude

(a) Composition chimique

La composition chimique de chaque échantillon de « pellets » et celle de la matrice qui les contient est donnée dans les deux tableaux p. 113.

Les « faecal-pellets » sont caractérisés par une plus haute teneur en fer, magnésium et potassium et une plus faible teneur en aluminium. Il est intéressant de noter que tous les pellets, même ceux ne contenant pas de goéthite, contiennent une forte quantité de fer libre.

(b) Composition minéralogique

Au point de vue minéraux argileux, la matrice est formée de kaolinite, de montmorillonite et d'illite. En moyenne ces minéraux se rencontrent dans les proportions suivantes : kaolinite 5, montmorillonite 3 et illite 2. La matrice contient également du quartz et de la calcite (fig. 6).

Les échantillons de pellets 148, 155 et 161 prélevés respectivement à 20, 30 et 40 m présentent des dia-

« FAECAL-PELLETS » MINÉRALISÉS DU PLATEAU CONTINENTAL DE CÔTE D'IVOIRE

Composition chimique de la matrice vaseuse

Prof. (m)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	250
N°	149	155	161	165	171	176	177	182	183	1251	188	1252
SiO ₂	46,60		54,40	54,60	59,90	57,10	60,80	61,80	60,30	57,20		47,00
Al ₂ O ₃	20,88		17,55	16,80	15,57	15,44	13,77	13,67	13,99	14,98		19,48
Fe ₂ O ₃	12,00		7,00	7,50	6,00	6,00	5,25	5,25	5,25	5,25		6,50
FeO	Tout le fer a été exprimé sous forme de Fe ₂ O ₃											
MnO	0,16		0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15		0,15
TiO ₂	1,25		1,23	1,08	1,08	1,05	1,05	1,08	1,08	1,00		0,95
CaO	2,45		4,43	4,37	5,14	5,27	5,31	4,77	4,54	5,48		6,18
MgO	1,25		1,10	1,30	0,77	1,10	0,65	0,70	1,10	0,91		1,03
K ₂ O	0,72		0,60	0,60	0,57	0,59	0,55	0,53	0,56	0,61		0,77
Na ₂ O	1,46		0,94	1,17	1,15	1,05	1,19	1,12	1,23	0,99		1,16
P ₂ O ₅	0,06		0,06	0,07	0,08	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11		0,15
P.F.	13,00		12,05	11,90	11,70	11,70	10,20	10,20	10,90	12,50		16,00
	99,83		99,52	99,64	98,03	99,57	99,04	99,39	99,21	99,18		99,37
Fer libre	3,80		3,40	3,00	2,40	2,60	2,20	2,40	2,20	2,00		2,40

Composition chimique des « faecal-pellets »

Prof. (m)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	250
N°	149	155	161	165	171	176	177	182	183	1251	188	1252
SiO ₂	23,00	27,00	26,10	38,40	42,10	44,80	44,50	46,70	44,90	41,70	44,70	44,70
Al ₂ O ₃	10,50	8,55	15,48	13,17	15,83	16,12	15,67	14,42	13,24	12,27	11,00	16,62
Fe ₂ O ₃	38,40	39,84	32,03	21,95	15,07	13,37	14,79	14,10	20,10	25,37	25,00	15,95
FeO	4,00	1,96	5,83	6,35	5,79	4,62	4,24	3,06	2,16	1,47	1,01	1,85
MnO	0,34	0,31	0,22	0,17	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
TiO ₂	0,56	0,52	0,50	0,58	0,70	0,73	0,68	0,63	0,50	0,50	0,51	0,68
CaO	2,60	2,52	2,16	2,13	3,00	2,85	3,30	2,13	1,23	1,23	1,29	2,16
MgO	4,80	4,41	3,93	3,72	3,15	3,00	2,34	3,06	2,85	2,70	2,34	2,91
K ₂ O	0,42	0,39	0,54	0,58	0,73	0,81	1,18	1,45	2,05	1,99	2,29	1,45
Na ₂ O	0,39	0,29	0,77	0,38	0,38	0,41	0,54	0,64	0,68	0,78	0,59	0,91
P ₂ O ₅	0,66	0,61	0,55	0,14	0,11	0,14	0,13	0,16	0,15	0,34	0,33	0,15
P.F.	13,40	12,80	11,80	12,00	12,50	12,80	12,60	13,30	12,00	11,60	10,50	12,00
	99,07	99,20	99,91	99,57	99,51	99,80	100,12	99,80	100,01	100,10	99,72	99,68
Fer libre	28,00		25,20	16,00	11,80	11,00	10,20	9,00	9,60		13,20	18,00

grammes de RX et des courbes thermiques assez semblables (fig. 7). Sur les diagrammes de poudre, on peut mettre en évidence :

— la goethite avec des pics à 4,18 - 2,67 - 2,45 - 2,18 - 1,71 et 1,56 Å

— le quartz avec des pics à 4,26 - 3,34 - 2,44 - 2,11 - 1,97, - 1,81 et 1,54 Å

— une phyllite à 7 Å avec des pics à 7,13 et 3,54 Å qui peut être soit de la kaolinite soit de la berthierine ou encore un mélange des deux

— un petit pic à 9,68 Å

— un pic à 4,44 Å qui peut appartenir à un minéral (10-14) Å

— un pic à 3,05 Å qui appartient sûrement à la calcite.

Sur les diagrammes d'agrégats orientés, nous pouvons mettre en évidence :

— un pic large à plateau variant de 12 à 14 Å. Ce pic est très net sur le diagramme 155, par contre celui de l'échantillon 149 ne montre qu'un bombement

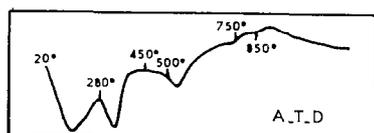
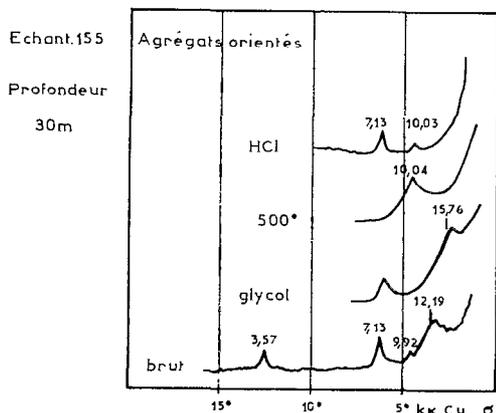
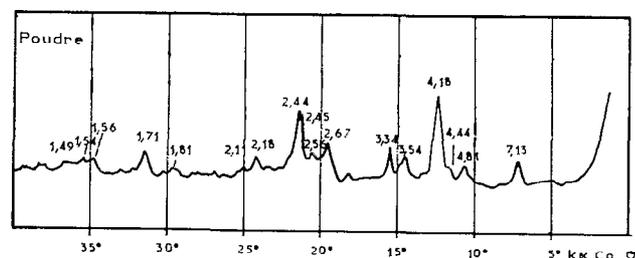


FIG. 7. — Diffractogrammes et courbe d'A.T.D. de l'échantillon 155.

mal défini. Ce pic gonfle au glycol et se contracte à la chaleur.

— les pics d'une phyllite à 7 Å à 7,13 et 3,57 Å qui sont détruits par la chaleur mais ne sont pas détruits par un traitement à l'acide chlorhydrique 2N à l'ébullition pendant 1,30 h.

— un petit pic à environ 10 Å.

L'analyse thermique différentielle met en évidence, en dehors d'une importante inflexion à basse température, deux autres crochets bien marqués débutant à 280° et 450° avec un changement de direction vers 500°. Il apparaît un accident exothermique très écrasé entre 850° et 950°. On peut attribuer le crochet à 280° à la déshydratation de la goethite. Les courbes d'analyse thermique pondérale mettent en évidence des pertes de poids variant de 12,8 à 12 %. Les pertes de poids entre 150 et 350° qui sont respectivement de 5,2 pour 149, 4,8 pour 155 et de 3,8 % pour 161,

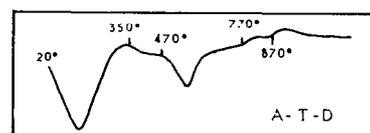
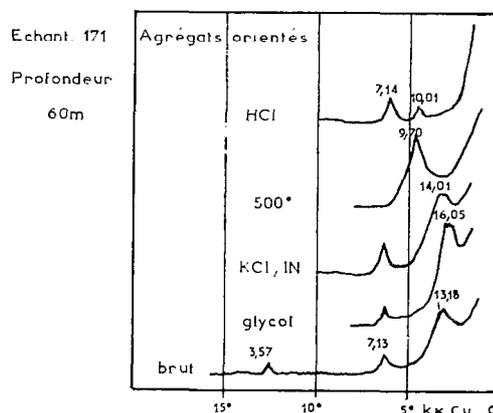
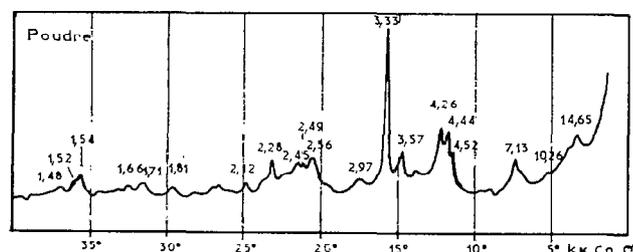


FIG. 8. — Diffractogrammes et courbe d'A.T.D. de l'échantillon 171.

laissent supposer que la goethite constitue au maximum 52, 48 et 38 % de ces échantillons.

Les échantillons 165 - 171 - 176 - 177 - 182 - 183 respectivement prélevés à 50, 60, 70, 80, 90 et 100 m, présentent des diagrammes de RX assez semblables (fig. 8). Toutefois les pics de la goethite n'y apparaissent plus et ceux du minéral à (10-14) Å deviennent très nets. Ce dernier constitue alors le minéral dominant. Les courbes d'analyse thermique différentielle montrent la disparition du crochet à 280° caractéristique de la goethite. Par contre, il apparaît une inflexion large et peu profonde entre 320 et 550°. Les courbes d'analyse thermique pondérale révèlent toujours des pertes de poids du même ordre (12 à 13 %), mais elles ne montrent plus de paliers bien définis. On note toutefois une augmentation très nette de la perte de poids de basse température probablement liée à l'augmentation de la quantité du minéral (10-14) Å.

Les échantillons 1251 et 188 respectivement pré-

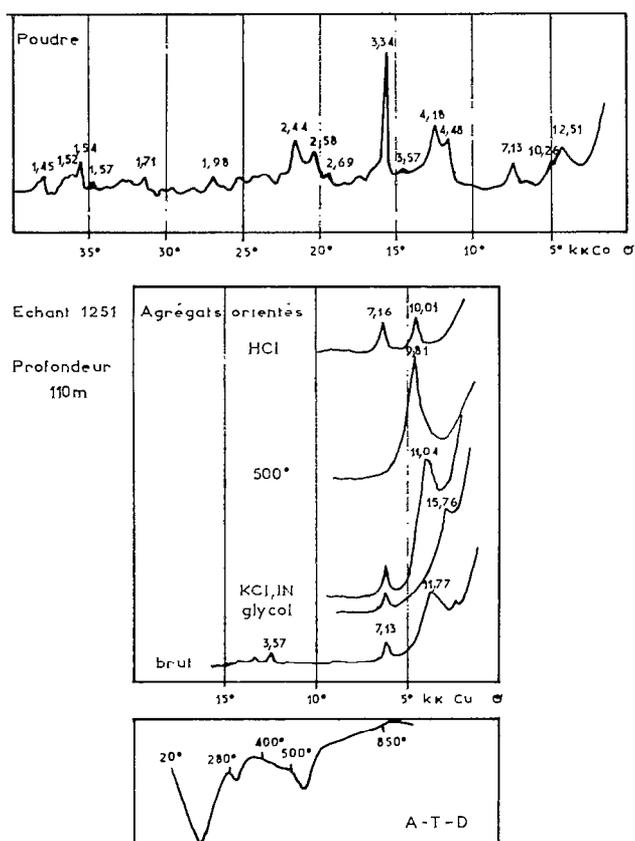


FIG. 9. — Diffractogrammes et courbe d'A.T.D. de l'échantillon 1251.

levés à 110 et 120 m, présentent des diagrammes de RX caractérisés par la réapparition des pics de la goéthite (fig. 9), mais celle-ci est moins abondante que dans les échantillons 149, 155 et 161, le minéral dominant restant le minéral à (10-14) Å. Les courbes d'analyse thermique différentielle possèdent le crochet à 280° caractéristique de la goéthite. La perte de poids entre 150 et 350° indiquée par l'analyse thermique pondérale laisse supposer que la goéthite constitue 20 % de l'échantillon.

L'échantillon 1252, prélevé à 250 m de profondeur, est caractérisé par la disparition de la goéthite. Il présente des caractéristiques assez semblables à celles de l'échantillon 183.

Interprétation des résultats

La goéthite

L'étude des diagrammes de poudre montre qu'elle existe dans les échantillons 148, 155, 161, 1251 et 188.

Les courbes d'analyse thermique différentielle possèdent un crochet endothermique caractéristique, débutant aux environs de 280°. Si l'on se réfère aux pertes de poids indiquées par les courbes d'analyse thermopondérales entre 150 et 350°, la goéthite constituerait 52 % de l'échantillon 149, 48 % de l'échantillon 155, 38 % de l'échantillon 161 et 20 % des échantillons 1251 et 188. Si l'on considère les résultats de l'analyse chimique des « pellets », on constate que la teneur en Fe_2O_3 qui était de 38,40 - 37,99 et 32,03 % pour les trois premiers échantillons passe à 21,95 % pour l'échantillon 165 et à 15,07 % pour l'échantillon 171. La teneur en Fe_2O_3 remonte à 25,37 et 27,00 % pour les échantillons 188 et 1252. De même la teneur en MnO passe de 0,34-0,56 et 0,22 % à 0,15 %, ce qui est la valeur moyenne de la matrice. La teneur en P_2O_5 des trois premiers échantillons est également plus élevée que dans les autres échantillons.

Phyllite à 7 Å

On note sur tous les diagrammes de RX la présence de pics à 7 Å qui peuvent être dus, soit à la kaolinite, soit à la berthiérine, soit encore à un mélange de ces deux minéraux.

Après traitement à l'acide chlorhydrique 2N à l'ébullition pendant 1,30 h, la raie à 7 Å persiste sur tous les diagrammes d'agrégats orientés or : « les chlorites en particules fines sont décomposées par ce traitement ainsi que les serpentines et les minéraux à 7 Å tels que la berthiérine et la grenalite, alors que la kaolinite n'est pas détruite » (BRINDLEY *in* BROWN, 1961) ; il est donc vraisemblable que tous les échantillons contiennent de la kaolinite, mais cela ne signifie pas qu'ils ne contiennent pas de la berthiérine.

Nous avons vu qu'il était possible de séparer la raie (060) de la berthiérine à 1,55 Å de celle de la kaolinite à 1,48 Å. De même il est parfois possible de séparer la raie (002) de la kaolinite à 3,57 Å de celle de la berthiérine à 3,52 Å. Ainsi sur les diagrammes de poudre des échantillons 149, 155, 161 et 165 on note, très nettement, l'existence de la raie (060) à 1,55 Å de la berthiérine. A partir de l'échantillon 171 (60 m), cette raie disparaît des diagrammes (fig. 10). Nous avons repassé aux RX entre 34 et 38° θ les échantillons en diminuant la vitesse de rotation de la platine et en utilisant des fentes plus grandes. Nous avons eu confirmation de la présence de la raie (060) de la berthiérine sur les échantillons 149, 155, 161 et 165 et de la raie (060) de la kaolinite sur tous les échantillons.

Il est vraisemblable que la berthiérine fragile et mal cristallisée a été détruite par le traitement MEHRA-

profonds), il devient ensuite le constituant majeur des granules verts. Le premier pic n'apparaît pas sur les diagrammes de poudre des échantillons 149, 155 et 161, par contre on le met en évidence sur les diagrammes d'agrégats orientés. Au début nous avons un bombement large et mal défini. Ensuite les pics deviennent très nets mais restent larges et présentent des plateaux. Cependant, dans les trois derniers échantillons, les plateaux ont tendance à faire place à un pic unique aux environs de 12 Å.

Si nous observons le comportement de ce minéral aux trois tests classiques (échantillon normal, glycolé et chauffé), nous constatons qu'il gonfle au glycol, en général au-delà de 16 Å, et qu'il se contracte à la chaleur, en moyenne à 9,81 Å. Il réagit donc comme une montmorillonite au sens large et étant donné la forte teneur en fer, comme un nontronite. Cependant vu la forme des pics, il est vraisemblable que nous avons affaire à un interstratifié irrégulier. Si nous nous reportons au tableau d'identification de LATOUCHE (1968), nous voyons que les échantillons normaux présentent « une raie large entre 10 et 15 Å », les échantillons glycolés « une raie large entre 10 et 16 Å » et les échantillons chauffés « une raie fine entre 9,5 et 10 Å », ce qui caractérise un interstratifié illite-montmorillonite.

Il pourrait cependant s'agir d'un interstratifié illite-vermiculite gonflante. En effet, on sait que la vermiculite gonflante présente à peu près les mêmes réactions que la montmorillonite. Cependant, la saturation préalable en chlorure de magnésium bloque l'équidistance basale de ces minéraux à 14 Å et il ne se produit plus de gonflement au glycol. Si on traite de cette manière les échantillons du plateau continental de Côte d'Ivoire, on constate qu'il se produit un gonflement plus ou moins fort. On observe un léger gonflement pour les échantillons 149 et 161 mais celui-ci est assez difficile à définir car on n'a pas des pics mais des bombements. Le gonflement semble être plus important pour l'échantillon 155 qui présente un pic à plateau bien marqué. Ensuite les échantillons 165, 171, 176 et 177 présentent très peu ou pas de gonflement. A partir de l'échantillon 182 (90 m) le gonflement au glycol après saturation au chlorure de magnésium est aussi important que pour l'échantillon normal glycolé. Ce minéral réagit, tantôt comme un interstratifié illite-montmorillonite, tantôt comme un interstratifié illite-vermiculite gonflante. Ce comportement ne doit pas nous étonner car il ne faut pas oublier que :

« Les vermiculites sont des minéraux à 15 Å qui ne sont pas des chlorites car l'espacement réticulaire

tombe à 10 Å sous l'action de la chaleur et ce ne sont pas des montmorillonites car elles ne gonflent pas au-delà de 14 Å environ après saturation au chlorure de magnésium et traitement au glycol. Les argiles vermiculitiques sont des édifices dioctaédriques ou trioctaédriques dont la liaison entre feuillets est moins bien assurée que dans les micas, mais mieux que dans les montmorillonites. Il est certain actuellement que tous les intermédiaires existent. Mon opinion est aujourd'hui comme il y a quinze ans, qu'ils nous arrive de séparer arbitrairement, sous des noms différents, des édifices qui passent les uns aux autres par transition insensible. Tout dépend du degré de libération qui se trouve réalisé entre les feuillets de style micacé » MILLOT (1964).

Phyllite à 10 Å

Sur la plupart des diagrammes de poudre, on observe la présence d'un petit pic aux environs de 10 Å. Il est possible qu'il s'agisse de glauconite car nous observons également des pics à 4,52 et 2,58 Å. Toutefois, ce diagnostic doit être pris avec la plus grande réserve car il peut tout simplement s'agir de faibles quantités de micas ou d'illite qui existent dans la matrice vaseuse.

Quartz

Les diagrammes de poudre nous montrent que le quartz est présent dans tous les échantillons.

Calcite

Elle est présente (petit pic à 3,03 Å) dans certains échantillons.

Gibbsite

L'échantillon 155 (pics à 4,82 - 4,37 et 2,38 Å) semble en contenir une faible quantité.

COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS OBTENUS PAR PORRENGA AU NIGERIA

Goethite

Les échantillons de Côte d'Ivoire les moins profonds en contiennent d'assez fortes proportions. Nous n'avons pas analysé d'échantillons de très faible profondeur, mais il est vraisemblable que leur teneur en goethite doit être plus élevée.

Il ne semble donc pas y avoir de différences notables avec les résultats du Nigéria.

Berthiérine

Il n'existe pas en Côte d'Ivoire d'échantillons essentiellement formés de berthiérine, comme c'est le cas au Nigéria pour les granules verts prélevés au-dessus de 60 m de profondeur. En Côte d'Ivoire, tous les échantillons contiennent de la kaolinite et un interstratifié (10-14) Å. Cependant les échantillons 149 (20 m), 155 (30 m), 161 (40 m) et 165 (50 m) contiennent également de la berthiérine.

Constatant que la présence de berthiérine sur le plateau continental du Nigéria coïncidait avec une zone recouverte en permanence par des eaux chaudes, PORRENGA a émis l'hypothèse qu'une température élevée de l'eau de mer était un des facteurs régissant la formation de la berthiérine. Le fait que l'on ne trouve pas en Côte d'Ivoire d'échantillons exclusivement formés de berthiérine peut s'expliquer peut-être par l'hydrologie très différente du plateau continental de Côte d'Ivoire. En effet, alors que le plateau du Nigéria est recouvert en permanence, jusqu'à une profondeur de 40-50 m, par une masse d'eau chaude (température supérieure à 26 °C), celui de Côte d'Ivoire est recouvert pendant une partie de l'année par une masse d'eau froide (la température à 10 m peut être inférieure à 17°).

Interstratifié (10-14) Å

Ce minéral présente exactement les mêmes caractéristiques physiques et chimiques que le minéral décrit par PORRENGA au Nigéria et auquel il a donné le nom de « Proto-glaucinite » car il pense qu'il représente un des premiers stades d'évolution vers la glaucinite. Ce minéral présente également les caractéristiques des glaucinites du type III (interstratifié) de BURST. L'évolution se ferait de la montmorillonite vers la glaucinite en passant par des stades d'interstratifié illite-montmorillonite et illite-vermiculite gonflante.

Les Russes qui ont étudié à la suite de leurs croisières sur les côtes d'Afrique, des granules analogues prélevés notamment au large du Congo, pensent qu'il s'agit d'hydrobiotite (interstratifié régulier illite-vermiculite) (EMEL'YANOV, 1971).

VARIATIONS LATÉRALES

Des échantillons prélevés au large de Grand-Lahou, Sassandra et Grand-Berreby ne présentent pas de différences notables par rapport aux échantillons pré-

levés à des profondeurs comparables au large de Grand-Bassam.

CONCLUSION

L'étude des gisements actuels de « faecal-pellets » minéralisés présente un grand intérêt car ils doivent constituer un des stades initial de la formation des gisements de fer sédimentaires du type « minette de Lorraine ».

Initialement, les divers pellets dérivent de granules ovoïdes gris et mous rejetés par nombre d'organismes fouisseurs et limnivores tels que les échiuriens, les polychètes et les gastéropodes. Ensuite, selon les conditions physico-chimiques, ces granules gris dont la constitution est très proche de celle de la matrice vaseuse qui les contient, évoluent ou n'évoluent pas vers de nouveaux minéraux.

PETRANEK (1964), en étudiant les gisements de fer oolithiques, arrive à la conclusion que ceux-ci sont lenticulaires et qu'ils ne sont pas formés d'un banc unique mais de plusieurs séries verticales et qu'il existe une zonation chimique à partir du rivage. Ainsi, de la côte vers le large, on rencontre une zone oxydée superficielle caractérisée par la présence de goethite et qui correspond à la « couche rouge » puis une zone intermédiaire où subsistent simultanément les grains de goethite et de berthiérine, caractéristique de la « couche grise » et enfin une zone où l'on ne trouve que des silicates ferrifères et qui correspond à la « couche verte ».

On retrouve très bien cette zonation au Nigéria. Dans les petits fonds on a essentiellement des pellets de goethite, ensuite un mélange de pellets de goethite et de berthiérine et enfin des pellets de « proto-glaucinite ». Ce minéral constituerait un des premiers stades de la glaucinitisation. On retrouve en Côte d'Ivoire une zonation à peu près semblable, mais les conditions hydrologiques et donc physico-chimiques étant différentes, la berthiérine y est beaucoup moins développée. On rencontre la zone de goethite puis celle à goethite et berthiérine et enfin la zone à « proto-glaucinite ». Par contre la zone à berthiérine pure n'existe pas.

La « proto-glaucinite », qui est en fait un interstratifié illite-vermiculite ou illite-montmorillonite, possède exactement les mêmes caractéristiques physico-chimiques en Côte d'Ivoire et au Nigéria. Si on considère la classification de Burst, il s'agit d'une glaucinite du groupe III. Il est vraisemblable que son évolution ultérieure conduira à une glaucinite du type I c'est-à-dire à une glaucinite.

Manuscrit reçu au SCD le 5 décembre 1972

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN (J.R.L.), 1964. — The nigerian continental margin : bottom sediments, submarine morphology and geological evolution. *Marine Geology*, 1, pp. 289-332.
- BENTOR (Y.K.), and KASTNER (M.), 1965. — Notes on the mineralogy and origin of glauconite. *Sed. Petr.*, 35, pp. 155-166.
- BERTHOIS (L.) et LE CALVEZ (Y.), 1966. — Etude sédimentologique des dépôts à Jullienella faetida de la région d'Abidjan. *Bull. BRGM*, vol. I, 45-55.
- BORCHERT (H.), 1960. — Genesis of marine sedimentary iron ores. Transaction of the Institution of Mining and Metallurgy, 69, pp. 261-279.
- BORCHERT (H.), 1965. — Formation of marine sedimentary iron ores. In : Chemical oceanography, Riley-Skirrow, London, 2, pp. 159-204.
- BRINDLEY (G.W.), 1951. — The crystal structure of some chamosite minerals. *Miner. Mag.*, 29, pp. 502-525.
- BRINDLEY (G.W.), 1961. — Kaolin, serpentine and kindred minerals. In : The X-ray identification and crystal structures of clays minerals, G. Brown editor, Mineralogical Society (Clay mineral group) London, pp. 51-131.
- BROWN (G.), 1961. — The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. Mineralogical Society (Clay mineral group) London.
- BUBENICEK (L.), 1960. — Recherches sur la constitution et la répartition du minerai de fer dans l'Alaénien de Lorraine. Thèse Nancy et Sciences de la Terre, t. VIII, pp. 5-204, 39 tabl., 16 pl.
- BURST (J.F.), 1958. — « Glauconite » pellets : their mineral nature and application to stratigraphic interpretations. *Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol.*, 42, pp. 310-327.
- BURST (J.F.), 1958. — Mineral heterogeneity in « glauconite » pellets. *Am. Mineralogist*, 43, pp. 481-497.
- CAILLERE (S.) et GIRESSÉ (P.), 1967. — Etude minéralogique de diverses « glauconites » actuelles. Nouvelle contribution à la genèse des minerais de fer sédimentaires. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 263, pp. 1804-1807.
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.), 1952. — Extraction et étude minéralogique des phyllites des minerais de fer. XIX^e Congr. Géol. Intern. Alger CIPEA, pp. 57-64.
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.), 1959. — Les phyllites des minerais de fer sédimentaires et leur conditions de genèse. XX^e Congr. Géol. Intern. Mexico (1956), pp. 9-20.
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.), 1960. — Propriétés des ions et conditions des synthèses des minéraux argileux : le cas du fer. Congr. Géol. Intern. Norden, 24, pp. 73-79.
- CAILLERE (S.), HENIN (S.) et ESQUEVIN (J.), 1953. — Synthèse à basse température de phyllites ferrifères. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 237, pp. 1424-1426.
- CAILLERE (S.), HENIN (S.) et ESQUEVIN (J.), 1955. — Synthèse à basse température de quelques minéraux ferrifères (silicates et oxydes). *Bull. Soc. Fr. Min. Crist.*, 78, pp. 227-242.
- CAILLERE (S.) et KRAUT (F.), 1954. — Les gisements de fer du bassin de Lorraine. *Mem. Muséum Nouvelle série, S.C.*, 4, fasc. 1, 175 p.
- CAILLERE (S.) et LAMBOY (M.), 1970. — Etude minéralogique de la glauconite du plateau continental du nord-ouest de l'Espagne. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 270, pp. 2057-2059.
- CAILLERE (S.) et MARTIN (L.), 1972. — Etude minéralogique d'ovoïdes minéralisés des sédiments du plateau continental de Côte d'Ivoire. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 274, pp. 2273-2275.
- CAYEUX (L.), 1909. — Les minerais de fer oolithiques de France. Imprimerie Nationale Paris.
- CLOUD (P.E.), 1955. — Physical limits of glauconite formation. *Bull. Am. Assoc. Petr. Geol.*, 39, pp. 484-492.
- CORRENS (C.W.) et THIEL (R.), 1963. — Zum system alpha FeOOH - alpha AlOOH. *Die Naturwissenschaften*, 50, p. 16.
- DIADTCHENKO (M.G.) et HATUNTSEVA (A.I.), 1955. — Sur la genèse de la glauconie (en Russe). *Dokl. Akad. Nauk. URSS*, 101, pp. 151-153.
- EHLMANN (A.J.), HULINGS (N.C.) et GLOVER (E.D.), 1963. — Stages of glauconite formation in modern foraminiferal sediments. *Ded. Petr.* 33, pp. 87-96.
- EMELYANOV (E.M.), 1971. — The composition of the glauconitic and hydrogoethite-chamosite-glauconite sediments of the west African shelf. ICSU/SCOR Working Party 31 symposium, Cambridge 1970 : The geology of the East Atlantic Continental Margin, Delany editor. Report 70/16Inst. Geol. Sci. London, pp. 99-103.
- GAILLITER (E.W.), 1935. — Geology of glaucinite. *Bull. Am. Ass. Petr. Geol.*, 19, pp. 1569-1601.
- GIRESSÉ (P.), 1965a. — Oolithes ferrugineuses en voie de formation au large du Cap Lopez (Gabon). *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 260, pp. 2550-2552.
- GIRESSÉ (P.), 1965b. — Observations sur la présence de « glauconie » actuelle dans les sédiments ferrugineux peu profonds du bassin gabonais. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 260, pp. 5597-5600.
- GIRESSÉ (P.), 1969a. — Etude des différents grains ferrugineux authigènes des sédiments sous-marins au large du delta de l'Ogoué. *Sciences de la terre*, t. XIV, n° 1, pp. 27-62, 4 fig., 1 pl. h.t.
- GIRESSÉ (P.), 1969b. — Essais de sédimentologie comparée des milieux fluviomarins du Gabon, de la Catalogne et du sud Cotentin. Thèse université de Caen.
- GRUNER (J.W.), 1935. — The structural relationship of glauconite and mica. *Am. Mineralogist*, 20, pp. 699-714.
- HENDRICKS (S.B.), and ROSS (C.S.), 1941. — Chemical composition and genesis of glauconite and celadonite. *Am. Mineralogist*, 26, pp. 683-708.
- HOOVER (J.), 1961. — Some factors concerning the nature and origin of glauconite. *Am. Mineralogist*, 46, pp. 313-334.
- JAMES (H.L.), 1966. — Chemistry of the iron-rich sedimentary rocks. Data of Geochemistry, 6th ed, chapter W, U.S. Geol. Survey Prof. Paper 440W, p. 62.
- LATOCHE (C.), 1968. — Etude des minéraux argileux de quelques sols nord-aquitains. *Bull. Inst. de Geol. du Bassin d'Aquitaine*, n° 4, pp. 3-188.

- LECLAIR (L.), 1964. — Contribution à l'étude des conditions physico-chimiques favorables à la genèse de la glauconie dans le détroit de Sicile. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 258, pp. 5020-5022.
- LENEUF (N.), 1962. — Les pseudo-oolithes ferrugineuses des plages de Côte d'Ivoire. *C.R. Somm. des Scé. Soc. Geol. Fr.*, fasc. 5, pp. 145-146.
- MARTIN (L.), 1969. — Introduction à l'étude géologique du plateau continental de Côte d'Ivoire - Premiers résultats. *Doc. Sci. Provisoire*, n° 034, CRO, Abidjan, p. 165.
- MARTIN (L.), 1971. — The Continental margin from Cape Palmas to Lagos : bottom sediments and submarine morphology. ICSU/SCOR working party 31 syposium, Cambridge 1970 : the geology of the east Atlantic continental margin. 4. Africa. Delany editor. Rep. n° 70/16 Inst. Geol. Sci., pp. 81-95.
- MEHRA (O.P.), and JACKSON (M.L.), 1960. — Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and clay minerals*, Pergamon Press, pp. 317-327.
- MILLOT (G.), 1964. — Géologie des argiles. Masson, Paris, p. 499.
- NICOLAS (J.), 1962. — Sur la présence de « glauconie » en Bretagne Centrale. In : Genèse et synthèse des argiles, pp. 197-206. Coll. Intern. CNRS 105, Paris.
- ODIN (G.S.), 1971. — Sur la genèse de glauconies et leur signification sédimentologique d'après l'étude détaillée du sondage du Mont Cassel. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 272, pp. 697-699.
- PETRANEK (J.), 1964. — Shallow-water origin of early paleozoic oolitic ores. *Developments in Sed.*, vol. I : Deltaic and shallow-marine deposits, Elsevier, Amsterdam, pp. 319-322.
- PORRENGA (D.H.), 1965. — Chamosite in recent sediments of the Niger and Orinoco deltas. *Geologie in Mijnbouw*, 44, pp. 400-403.
- PORRENGA (D.H.), 1966. — Clay minerals in recent sediments of the Niger delta. *Clays and clay minerals*, Proc. 14th, Natl. Conf., pp. 221-233.
- PORRENGA (D.H.), 1967a. — Clay mineralogy and geochemistry of recent marine sediments in tropical areas. *Stolk, Dordt, Amsterdam*, 145 p.
- PORRENGA (D.H.), 1967b. — Glauconite and chamosite as depth indicators in the marine environment. *Marine Geology*, vol. 5, n° 5-6, pp. 495-501.
- PRATT (W.L.), 1961. — The origin and distribution of glauconite and related clay mineral aggregates off Southern California. First. Natl. Coastal and shallow-water Research Conf. pp. 656-658.
- SABATIER (G.), 1949. — Recherches sur la glauconie. *Bull. Soc. Fr. Miner. et Cristal.*, t. 72, pp. 475-541.
- SHELLMANN (W.), 1966. — Secondary formation of chamosite from goethite. *Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhüttenwesen*, 19, pp. 302-305.
- TRIPLEHORN (D.M.), 1966. — Morphology, internal structure and origin of Glauconite pellets. *Sedimentology*, vol. 6, n° 4.
- VON GAERTNER (H.R.), und SHELLMANN (W.), 1965. — Rezente sedimente im Küstenbereich der Halbinsel Kaloum, Guinea. *Min. Petr. Mitt.*, III, 10, pp. 349-367.