

Atlantique Sud  
Cénozoïque  
Argiles  
Climats  
Courants

South Atlantic  
Cenozoic  
Clay minerals  
Climate  
Currents

# Climats et courants cénozoïques dans l'Atlantique Sud d'après l'étude des minéraux argileux (legs 3, 39 et 40 DSDP)

C. Robert

Laboratoire de Géologie Marine L.A. CNRS n° 41,  
Centre Universitaire de Luminy, 13288 Marseille Cedex 2

Reçu le 26/12/79, révisé le 27/3/80, accepté le 1/4/80.

## RÉSUMÉ

Dans l'Atlantique Sud, la répartition des minéraux argileux issus des continents est soumise à l'influence permanente du climat, modulée de deux manières successives durant le Cénozoïque :

- influence de l'environnement terrestre : à l'Éocène, les argiles portent l'empreinte d'événements tectoniques et de particularités géomorphologiques. Les apports ont une origine proche;
- influence courantologique marine : depuis l'Oligocène jusqu'à l'Actuel, la proportion des espèces argileuses change en fonction de la latitude. La répartition géographique des minéraux est modifiée par l'action des courants marins, dont l'influence progressive est liée au refroidissement du climat.

*Oceanol. Acta*, 1980, 3, 3, 369-376.

## ABSTRACT

Cenozoic climate and currents in the South Atlantic from clay mineralogical data (DSDP legs 3, 39 and 40)

In the South Atlantic, the composition and distribution of clay minerals issued from the continents is influenced primarily by climate, and has been modified by two major factors during the Cenozoic era:

- influence of terrestrial environment: during the Eocene, clay minerals are marked by tectonic events and geomorphological particularities. The detrital supply is essentially of local origin;
- influence of marine currents: from the Oligocene to the Present, the relative proportion of clay mineral species changes with latitude, and their geographical distribution is modified by marine currents. The progressive influence of the latter is related to climatic cooling.

*Oceanol. Acta*, 1980, 3, 3, 369-376.

## INTRODUCTION

Les changements climatiques qui sont à l'origine des périodes glaciaires semblent accompagnés de modifications importantes des circulations océaniques profondes (Olausson, 1969; Berggrøn, 1972; Berggren, Hollister, 1977). Cela entraîne des changements dans la nature des sédiments océaniques, qu'ils soient d'origine biologique, chimique ou détritique (Kennett, Brunner, 1972). Le but

de la présente étude est de déterminer l'influence des phénomènes climatiques et courantologiques sur la sédimentation argileuse récente, puis de suivre leur évolution au cours du temps depuis l'Éocène. Les forages réalisés dans l'Atlantique Sud lors des legs 3 (Maxwell *et al.*, 1970), 39 (Supko, Perch-Nielsen *et al.*, 1977) et 40 (Bolli, Ryan *et al.*, 1978) DSDP se prêtent particulièrement bien à ce travail : ils sont en effet répartis sur la longueur et la largeur du bassin, dans un domaine

latitudinal bien circonscrit, et comprennent des séries sédimentaires assez continues de l'Éocène au Pléistocène (fig. 1). Leurs caractéristiques figurent sur le tableau. Le sédiment dominant dans tous les forages est une boue à nanfossiles, parfois indurée en craie. Sur la dorsale médioatlantique (leg 3), la teneur en argile du sédiment est faible. Toutefois, des boues marneuses et des argiles sont signalées dans l'Oligocène inférieur et le Miocène des sites les plus profonds (14, 18, 19). Du côté africain, des organismes siliceux sont présents à partir du Miocène sur la ride de Walvis et dans le bassin d'Angola. Côté américain, les sédiments riches en silice biogénique associée à de l'argile dominant dans le bassin d'Argentine depuis l'Éocène supérieur. Les argiles sont également abondantes dans les autres forages réalisés lors du leg 39, à l'exception du site 357 situé sur la ride de Rio Grande (Maxwell *et al.*, 1970; Supko, Perch-Nielsen *et al.*, 1977; Bolli, Ryan *et al.*, 1978).

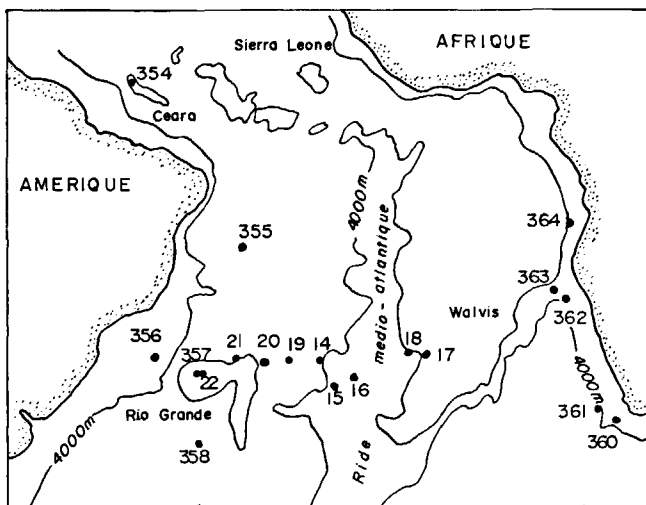


Figure 1  
Plan de localisation.  
Location map.

## MÉTHODOLOGIE

L'étude concerne 757 échantillons. Après tamisage à 63  $\mu\text{m}$ , la fraction fine est décalcifiée à l'acide chlorhydrique N/5, puis défloculée par centrifugation et mixage. Les particules inférieures à 2  $\mu\text{m}$  sont isolées par sédimentation, puis soumises aux rayons X sous forme d'agrégats orientés, à trois reprises : échantillon normal, glycolé sous vide primaire et chauffé à 490°C pendant 2 heures. Un diffractomètre CGR Thêta 60 équipé d'un tube au cuivre et d'un monochromateur à cristal de quartz courbe a été utilisé dans des conditions constantes de réglage, avec une vitesse de goniomètre de 1°/2 mn et une fente d'analyse de 1,25 mm pour permettre une meilleure détermination des minéraux mal cristallisés.

Les estimations d'abondance des minéraux argileux, exprimées en pourcentages, ont été effectuées en tenant compte de la hauteur des pics au-dessus du fond continu, ainsi que de leur surface. Le pic 001 de l'illite (diagramme de l'échantillon glycolé) est utilisé comme référence. Par comparaison, la smectite, l'attapulgite, la sépiolite et les interstratifiés subissent une correction positive, alors que la kaolinite bien cristallisée subit une correction négative. Compte tenu des importantes variations d'épaisseur des séries sédimentaires aux différents sites étudiés et du nombre variable d'échantillons disponibles, des moyennes d'abondance des minéraux présents ont été effectuées pour chaque étage considéré. Cette méthode permet d'une part d'atténuer l'effet d'événements locaux et temporaires, d'autre part de faire ressortir les caractères généraux de la sédimentation argileuse. Ces moyennes sont portées sur les figures 2 et 3. Dans le texte, ce sont les abondances extrêmes des différents minéraux qui sont exprimées.

Tableau

Leg	Site	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Pénétration (m)	Épaisseur du sédiment étudié (m)	Échantillons étudiés
3	14	28°19,89'S	20°56,46'W	4 343	107	107	48
	15	30°53,38'S	17°58,99'W	3 927	142	142	66
	16	30°20,15'S	15°42,79'W	3 527	176	176	77
	17 A,B	28°02,74'S	06°36,15'W	4 265 à 4 365	127	127	71
	18	27°58,72'S	08°00,72'W	4 018	178	178	36
	19	28°32,08'S	23°40,63'W	4 677	145	145	64
	20 A,B,C	28°31,57'S	26°50,73'W	4 500 à 4 518	72	65	50
	21 A	28°35,10'S	30°35,85'W	2 113	131	67	15
39	354	05°53,95'N	44°11,78'W	4 052	900	710	60
	355	15°42,59'S	30°36,03'W	4 896	460	400	31
	356	28°17,22'S	41°05,28'W	3 203	741	285	36
	357	30°00,25'S	35°33,59'W	2 109	796	445	60
	358	37°39,31'S	35°57,82'W	5 000	842	760	19
40	360	35°50,75'S	18°05,79'E	2 950	840	840	42
	361	35°03,77'S	15°26,91'E	4 549	1 314	260	10
	362 A	19°45,45'S	10°31,95'E	1 325	1 080	1 080	50
	363	19°38,75'S	09°02,80'E	2 248	715	290	11
	364	11°34,33'S	11°58,30'E	2 448	1 086	340	11

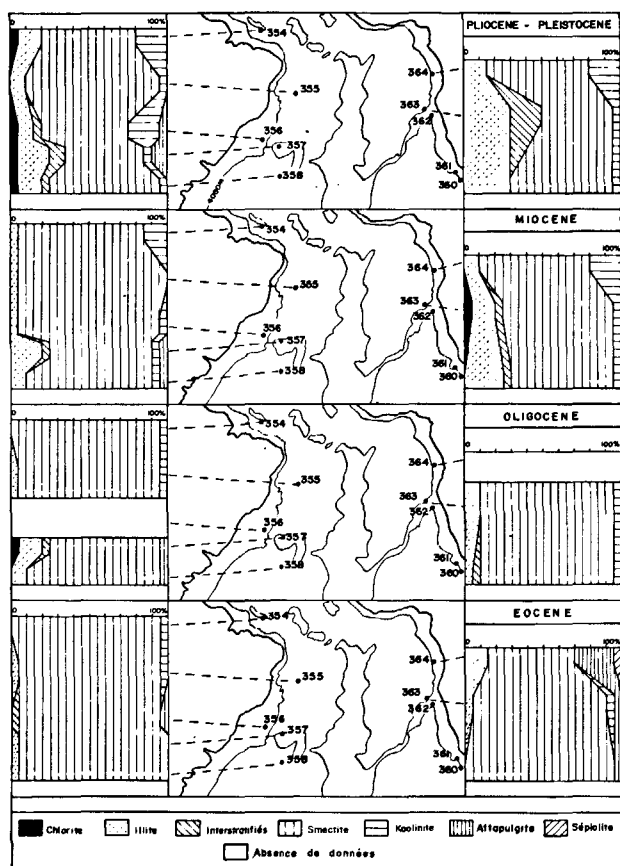


Figure 2  
Minéralogie des argiles : marges africaine et américaine.  
*Clay mineralogy: African and American margins.*

## RÉSULTATS

### Données des sédiments récents

La fraction argileuse des sédiments actuels de l'Atlantique Sud a été étudiée à plusieurs reprises, notamment par Nesteroff et Sabatier (1961), Goldberg et Griffin (1964), Griffin *et al.* (1968), Rateev *et al.* (1969), Bornhold (1973), et plus particulièrement par Biscaye (1965). L'assemblage minéralogique observé comprend chlorite, illite, interstratifiés, smectite, kaolinite. L'abondance relative des divers minéraux paraît être fonction principalement de la latitude :

- la chlorite et l'illite, généralement présentes en faibles quantités, sont relativement abondantes au Sud, vers les zones de climat tempéré à tempéré-froid;
- les interstratifiés, qui suivent une répartition semblable à celle de la chlorite et de l'illite, sont en outre légèrement plus abondants vers l'Ouest;
- la kaolinite, peu abondante vers le Sud, est présente en quantité plus importante dans la zone équatoriale, et particulièrement à proximité des côtes, notamment dans le golfe de Guinée et au large du Brésil;
- l'abondance de la smectite croît vers les basses latitudes, dans les zones correspondant à un climat moyen chaud, aux saisons contrastées.

La distribution des minéraux dans les sédiments atlantiques correspond à la répartition des différents

types d'altération à la surface des continents voisins (Pedro, 1968) ainsi qu'à la composition minéralogique des suspensions éoliennes (Chester *et al.*, 1972) et des eaux de surface (Behairy *et al.*, 1975) étudiées sur les marges est-atlantiques.

Au large du Brésil (Vema channel), l'étude de prélèvements effectués à proximité les uns des autres mais à des profondeurs différentes, a permis la mise en évidence de variations dans l'abondance relative des différents minéraux en fonction de la profondeur (Chamley, 1975). Ainsi, les sédiments profonds situés dans la zone d'influence des eaux de fond d'origine antarctique possèdent une plus grande abondance de chlorite et interstratifiés issus des hautes latitudes et de smectite provenant des zones tempérées, par rapport aux dépôts moins profonds situés dans une zone sous influence des eaux profondes nord-atlantiques.

Des carottages Küllenbergh, effectués dans le golfe de Guinée (Pastouret *et al.*, 1978) et dans le Vema channel (Melguen *et al.*, 1978), ont permis de montrer que les assemblages de minéraux argileux reconnus en surface se retrouvent dans les sédiments quaternaires plus anciens, avec toutefois des changements dans les abondances relatives. Ces variations sont d'origine climatique dans le golfe de Guinée : alternance de périodes sèches plus riches en smectite et de périodes humides plus riches en kaolinite. Dans le Vema channel, les modifications observées font en outre ressortir des phénomènes

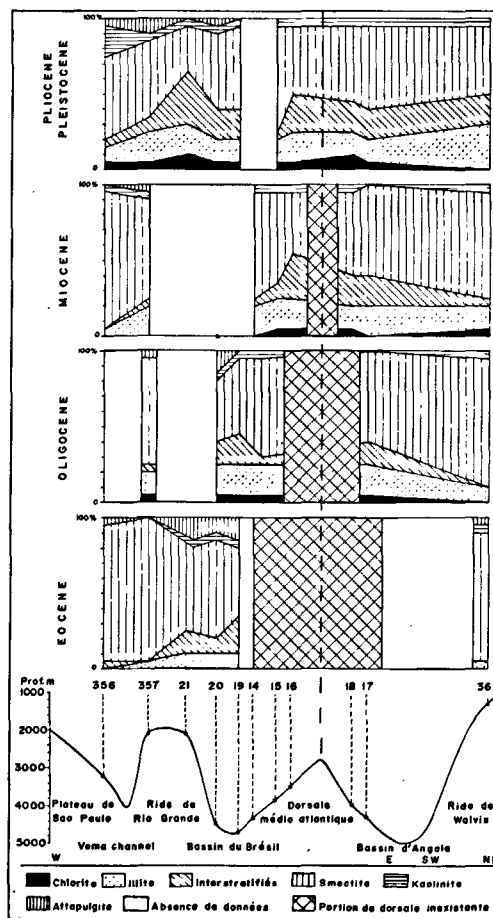


Figure 3  
Minéralogie des argiles : radiale Atlantique Sud.  
*Clay mineralogy: South Atlantic transect.*

d'origine courantologique : alternance de proportions minéralogiques caractéristiques des eaux de fond antarctiques et des eaux profondes nord-atlantiques, qui a été corrélée avec des variations dans le volume du courant de fond antarctique entre les périodes glaciaires et interglaciaires.

### Données des forages DSDP

Les premiers travaux concernant la minéralogie des argiles dans ces forages ont été réalisés par Rex (1970), Zimmerman (1977), ainsi que Siesser et Bremner (1978). Par la réalisation d'un échantillonnage serré sur un plus grand nombre de forages, la présente étude tente de préciser les conclusions de Zimmerman (1977), à propos de la faible influence du refroidissement climatique tertiaire et du courant d'eau de fond antarctique sur la sédimentation argileuse. Les forages étudiés montrent la présence de chlorite, illite, interstratifiés irréguliers (chlorite-vermiculite, chlorite-smectite, illite-vermiculite et illite-smectite), kaolinite, smectite, attapulgite et sépiolite. Y sont associés en abondances variables le quartz, les feldspaths, la cristobalite et la clinoptilolite.

En ce qui concerne le Quaternaire, les moyennes d'abondances relatives effectuées sur les minéraux argileux dans les forages DSDP sont proches de celles exposées ci-dessus. Puis elles s'en écartent de manière sensible dans les dépôts plus anciens (fig. 2 et 3).

– Au Pliocène-Pléistocène, la smectite est le minéral le plus abondant (30 à 85 %). Elle est accompagnée d'illite (10 à 30 %), d'interstratifiés (0 à 35 %), de kaolinite (5 à 20 %), de chlorite (0 à 10 %) et d'attapulgite (0 à 10 %). Comme dans les sédiments actuels, la kaolinite augmente lorsqu'on se rapproche du golfe de Guinée (site 364, bassin d'Angola) et des côtes brésiliennes (sites 354 et 356). De même, l'abondance d'illite tend à croître vers les hautes latitudes. La principale différence avec les sédiments actuels réside dans la présence d'attapulgite au voisinage du Vema channel (site 356 sur le plateau de Sao Paulo, site 357 sur la ride de Rio Grande). De plus, la smectite décroît au profit des interstratifiés dans les sites les moins profonds : site 21 sur la ride de Rio Grande, sites 16 et 18 sur la ride médio-atlantique, site 362 sur la ride de Walvis.

– Au Miocène, l'abondance de smectite est plus grande (40 à 95 %). Ce minéral est accompagné d'illite (5 à 25 %), d'interstratifiés (0 à 30 %), de kaolinite (0 à 20 %), de chlorite (0 à 5 %) et d'attapulgite (0 à 5 %). Comme au Plio-Pléistocène, l'illite est plus abondante vers les hautes latitudes, tandis que la kaolinite augmente vers l'équateur. Toutefois, les fortes teneurs en kaolinite sur le plateau de Sao Paulo (site 356), et en interstratifiés sur la ride de Walvis (sites 362 et 363), ont disparu.

– A l'Oligocène, la smectite est largement dominante (50 à 95 %). Elle est accompagnée d'illite (0 à 20 %), d'interstratifiés (0 à 20 %), d'attapulgite (0 à 15 %), de kaolinite (0 à 5 %) et de chlorite (0 à 5 %). Illite et interstratifiés sont toujours un peu plus abondants vers le Sud, tandis que la zonation latitudinale de la kaolinite tend à disparaître.

– A l'Éocène, l'abondance de smectite est plus faible (45 à 95 %), tandis que l'attapulgite est plus abondante (0 à 25 %). Ces minéraux sont accompagnés par les interstratifiés (0 à 25 %), l'illite (0 à 15 %), la kaolinite (0 à 5 %). La sépiolite apparaît (0 à 5 %). La chlorite est absente. La zonation latitudinale des minéraux argileux a disparu. L'attapulgite est abondante dans le bassin d'Angola et au voisinage de la ride de Rio Grande.

### INTERPRÉTATION

La smectite présente dans les forages étudiés n'est pas liée au volcanisme sous-marin. En effet :

– sa distribution est indépendante de la présence ou de l'absence de verre volcanique au site 357, où elle peut toutefois être localement volcanogénique à l'Éocène moyen (Zimmerman, 1977);

– les sédiments proches du basalte ne montrent pas d'accroissement en smectite, mais au contraire sa diminution au profit des minéraux suivants :

– illite et interstratifiés au site 14,

– chlorite et illite au site 15,

– chlorite, illite et interstratifiés au site 18,

– interstratifiés et attapulgite au site 19;

– les spectres de terres rares effectués sur des sédiments provenant du leg 40 montrent une distribution très proche de celle des argiles détritiques des milieux continentaux (Courtois, Chamley, 1978).

Comme par ailleurs il n'existe aucun signe d'évolution diagenétique des argiles au cours de l'enfouissement, les minéraux argileux sont d'origine détritique depuis le Crétacé supérieur dans l'Atlantique Sud (Robert *et al.*, 1979; Maillot, Robert, sous presse), comme ils le sont dans l'Atlantique Nord (Chamley, 1979).

### Éocène (fig. 2 et 3)

La smectite est le minéral dominant à tous les points de forage. Actuellement, elle se forme en abondance dans les sols de zones basses, peu déclives et mal drainées, des bassins-versants continentaux, sous climat chaud aux saisons humide et sèche alternées (Paquet, 1969). L'attapulgite est abondante, et se forme dans les croûtes carbonatées actuelles (Nahon, 1976), ainsi que dans les bassins sédimentaires confinés anciens, sous climat chaud à humidité fortement contrastée (Trauth, 1974).

A l'Éocène, un climat relativement homogène, chaud à humidité saisonnière contrastée, régnait probablement sur le pourtour de l'Atlantique Sud, autorisant la formation de smectite dans les plaines et d'attapulgite dans les zones en voie de subsidence : bassins côtiers africains (Chamley, 1979) et ride de Rio Grande (Robert, sous presse). Ces données sont compatibles avec les résultats obtenus par Boersma et Shackleton (1977) sur les isotopes de l'oxygène, ainsi que par Haq *et al.* (1977) sur les Foraminifères.

Illite et interstratifiés, peu représentés, sont plus abondants au voisinage de la ride de Rio Grande et dans

le bassin d'Angola. Ces minéraux proviennent de l'altération des roches et de sols peu évolués ou en cours d'évolution (Millot, 1964). Deux processus différents peuvent expliquer leur présence :

– hypothèse climatique : température et humidité conditionnent l'intensité de l'hydrolyse et la pédogenèse. Alors qu'un climat chaud et d'humidité variable favorise la formation de smectite, d'attapulгите ou de kaolinite, un climat froid plus ou moins humide est marqué par une plus grande abondance de chlorite, illite et interstratifiés (Chamley, 1971);

– hypothèse tectonique : l'activité tectonique, en accroissant les pentes continentales, provoque une reprise de l'érosion. Ainsi, les sols sont érodés avant d'avoir achevé leur évolution, et les minéraux intermédiaires de l'altération et de la pédogenèse (chlorite, illite et interstratifiés) sont transportés vers les bassins de sédimentation (Chamley, 1979).

L'hypothèse climatique ne peut être retenue ici, pour les raisons suivantes :

– les minéraux caractérisant un climat chaud et plus ou moins humide sont présents partout en abondance;

– la distribution de l'illite et des interstratifiés ne correspond pas à une zonation latitudinale. Sur la marge africaine, ces minéraux augmentent vers les basses latitudes, ce qui s'oppose à un refroidissement vers les pôles. Sur la marge américaine, ces minéraux sont en général peu abondants.

L'hypothèse tectonique semble mieux adaptée. En effet, illite et interstratifiés sont surtout présents en deux endroits, au voisinage de la ride de Rio Grande et dans le bassin d'Angola. Or, à l'Éocène, l'immersion de la ride de Rio Grande est en voie d'achèvement (Robert, sous presse). Même si certaines portions de la ride sont restées émergées sous formes d'îles, ainsi que le suggère Thiede (1977), l'accroissement en illite et interstratifiés peut être également provoqué par une accentuation de la flexure continentale, observée sur le pourtour du golfe de Guinée à l'Éocène (Reyre, 1964). En effet, un tel mouvement pourrait être à l'origine d'une reprise de l'érosion sur les continents qui bordent l'Atlantique Sud.

Enfin, Gibbs (1977) a montré au large du delta de l'Amazone que le phénomène de sédimentation différentielle provoquait une ségrégation minéralogique, les particules de plus petite taille comme la smectite étant plus abondantes vers le large. Dans le cas présent, on assiste à un accroissement simultané en illite (particules de plus grande taille) et interstratifiés (particules généralement de plus petite taille) vers le large, ce qui ne peut être expliqué en totalité par les lois de la sédimentation différentielle. Par contre, l'influence des courants, déjà importants à l'Éocène (Le Pichon *et al.*, 1978) a pu favoriser l'abondance de particules de plus grande taille vers le milieu de l'océan.

### Oligocène (fig. 2 et 3)

Si la smectite domine toujours la fraction argileuse, son abondance diminue, comme celle de l'attapulгите. Par contre, l'importance de l'illite et des interstratifiés

augmente, pendant que la chlorite apparaît. L'augmentation en chlorite, illite et interstratifiés se produit aussi bien sur la marge africaine que sur la marge américaine, ainsi que sur la ride médio-atlantique. De plus, leurs abondances croissent également vers les hautes latitudes. A l'Oligocène, l'hypothèse climatique semble la plus plausible pour expliquer l'accroissement en chlorite, illite et interstratifiés (Maillot, Robert, sous presse) : ces minéraux marquent le début de refroidissement tertiaire mis en évidence par les isotopes de l'oxygène (Shackleton, Kennett, 1975). Au site 354, l'abondance de smectite n'a pas changé par rapport à l'Éocène, ce qui montre l'absence de modification climatique vers l'équateur. A l'Oligocène, les minéraux argileux ne semblent pas avoir été marqués par les épisodes tectoniques signalés sur le pourtour de l'Atlantique Sud (Kroner, 1973; Sibuet, Mascle, 1978) : le façonnement climatique des argiles paraît alors prépondérant.

### Miocène (fig. 2 et 3)

Les sédiments miocènes montrent une nouvelle diminution de l'abondance de smectite au profit de la chlorite, de l'illite et des interstratifiés. Comme précédemment, le phénomène est amplifié vers les hautes latitudes : il marque la progression du refroidissement. Toutefois, un fait nouveau apparaît : vers l'équateur (sites 354 et 364), où la smectite demeure très abondante, la kaolinite apparaît en quantité notable. Or ce minéral, qui comme la smectite est présent sous climat chaud, n'a pas besoin de saisons à humidité contrastée pour se former. Par contre, il se développe préférentiellement dans les zones bien drainées, du fait d'un accroissement des pentes, ou de circulations d'eau plus importantes. Au Miocène, la flexure continentale a joué sur les bordures africaines (Reyre, 1964); mais si ce phénomène avait influencé de façon importante la genèse des argiles, il aurait dû s'accompagner également d'un apport d'illite et d'interstratifiés dans l'océan, comme cela a été observé dans le Crétacé supérieur des bassins du Cap et d'Angola (Robert *et al.*, 1979) ainsi qu'au Nigéria (Chamley *et al.*, 1979). Au Miocène, il semblerait plutôt que l'abondance de kaolinite soit due principalement à un accroissement des précipitations qui, joint à une température suffisante, autorise l'achèvement de sols kaoliniques. De plus, le déplacement du continent africain vers le Nord rapproche la marge africaine des zones équatoriales où la genèse de kaolinite est favorisée (Chamley *et al.*, sous presse), ce qui a pu accroître l'importance de ce minéral au site 364.

### Pliocène-Pléistocène (fig. 2 et 3)

La smectite continue de diminuer partout au bénéfice principalement de la chlorite, de l'illite et des interstratifiés. De nouveau, la kaolinite croît vers l'équateur. Tout ceci marque, à la suite du développement des calottes glaciaires à partir de la fin du Miocène (Kennett, 1977), une nouvelle étape dans le refroidissement du globe terrestre et dans l'accroissement de

l'humidité équatoriale. Toutefois, le phénomène est maintenant plus complexe que précédemment :

- marge américaine (fig. 2) : l'accroissement en illite et interstratifiés visible sur la ride de Rio Grande (site 357) depuis l'Oligocène, atteint ici son amplitude maximale. Un accroissement en kaolinite apparaît au site 356 (Plateau de São Paulo);
- marge africaine (fig. 2) : l'abondance d'interstratifiés augmente sur la ride de Walvis;
- radiale Est-Ouest (fig. 3) : une augmentation de la teneur en illite et interstratifiés s'observe de façon nette sur la ride de Rio Grande ainsi que sur la ride médio-atlantique.

Cela peut être expliqué par comparaison avec les données des sédiments actuels ou récents, en tenant compte des informations sur la répartition des masses d'eau et les systèmes de courants océaniques actuels (Sverdrup *et al.*, 1942; Dietrich, 1963; Reid *et al.*, 1977) :

- les points hauts, comme la ride de Rio Grande, la partie supérieure de la ride médio-atlantique et la ride de Walvis, se trouvent soumis à l'influence des eaux intermédiaires venues du Sud (côté Amérique) ou du Sud-Est (côté Afrique). Celles-ci peuvent ainsi favoriser une plus grande abondance vers le Nord de minéraux issus des hautes latitudes, chlorite, illite et interstratifiés. Le phénomène peut être amplifié sur les marges par l'existence des courants de surface des Falkland (côté Amérique) et de Benguela (côté Afrique), également de direction Sud-Nord;
- par contre, les sites profonds situés à l'ouest de l'Atlantique sont davantage soumis aux courants de fond d'eau antarctique. Leur richesse en smectite peut s'expliquer par cette influence courantologique profonde, du reste déjà envisagée par Melguen *et al.* (1978) à propos du Vema channel;
- enfin, l'augmentation de la kaolinite, si elle s'explique aisément aux basses latitudes (site 354), suppose un transport vers le Sud en ce qui concerne le site 356. Ce dernier site est en effet localisé à une position et une profondeur correspondant au trajet de l'eau profonde Nord-Atlantique, qui aurait ainsi pu enrichir d'un peu de kaolinite issue des zones équatoriales cette région plus lointaine.

En remontant dans le temps, il semble donc que l'influence de l'eau profonde nord-atlantique dans l'hémisphère Sud, marquée par la kaolinite lors de son passage dans les zones équatoriales, serait récente, probablement à la suite du développement des glaces arctiques ainsi que de l'élévation de l'isthme de Panama à la base du Pliocène (Berggren, Hollister, 1977). Par contre, l'influence des eaux de fond antarctiques et des eaux intermédiaires marquées par l'illite, les interstratifiés et la smectite sur la sédimentation argileuse serait plus ancienne : son origine, qui remonterait au début du refroidissement tertiaire, est visible à partir de la limite Éocène-Oligocène, et semble s'être établie de façon progressive, en suivant la détérioration du climat. Toutefois, l'influence de l'eau de fond antarctique dans le bassin du Brésil n'est visible qu'à partir du Miocène.

Ces résultats peuvent être comparés aux données obtenues par McCoy et Zimmerman (1977) à partir des lithofaciès, ainsi que par Moore *et al.* (1978) à partir de l'étude des hiatus sédimentaires. L'eau de fond antarctique semble présente très tôt dans le bassin d'Argentine : dès l'Éocène supérieur d'après les données lithologiques (faciès à silice biogénique), à la limite Éocène-Oligocène d'après les données minéralogiques. Dans le bassin du Brésil, les lithofaciès et les argiles reflètent l'arrivée de l'eau de fond antarctique au Miocène. Par contre, l'existence d'un courant d'eau profonde de direction Nord-Sud, sur le plateau de São Paulo et dans le canal de Hunter, indiquée par les lithofaciès dès l'Éocène, n'est pas détectée par les minéraux argileux : la cause pourrait résider dans l'existence d'assemblages minéralogiques très semblables, à smectite dominante, à la fois dans les bassins du Brésil et d'Argentine. Enfin, l'influence de l'eau profonde nord-atlantique, qui transporte la kaolinite depuis les zones équatoriales vers le plateau de São Paulo, ne se produit qu'à partir du Pliocène, ce qui est compatible avec les résultats de Moore *et al.* (1978) : en effet, ces auteurs signalent les premières manifestations de l'eau profonde nord-atlantique en mer de Norvège à la limite Miocène inférieur-Miocène moyen.

## CONCLUSIONS

- Dans les sédiments cénozoïques de l'Atlantique Sud, l'effet de sédimentation différentielle n'apparaît pas nettement.
- Durant la majeure partie du Cénozoïque, les minéraux argileux apparaissent principalement marqués par le climat. A cette cause majeure se superposent des influences secondaires (tectonique, morphologie, courantologie), dont l'importance varie au cours du temps.
- A l'Éocène, ainsi qu'au Crétacé supérieur et au Paléocène (Chamley, Robert, 1979), la sédimentation argileuse marine garde l'empreinte marquée de phénomènes d'origine terrestre : tectonique, morphologie. Toutefois, une légère influence des courants marins éocènes sur la répartition des argiles est soupçonnée.
- A partir de l'Oligocène, la sédimentation argileuse reflète des phénomènes d'origine climatique et courantologique. L'évolution des circulations marines est intimement liée au refroidissement climatique tertiaire. Les conditions climatiques et courantologiques connues dans le milieu marin actuel et quaternaire récent se sont établies progressivement pour atteindre une amplitude maximale à partir du Pliocène.
- L'influence du climat sur les minéraux argileux s'effectue par l'intermédiaire de la pédogenèse, en suivant une zonation latitudinale. L'influence des masses d'eau sur la sédimentation argileuse ne se traduit pas par des cortèges minéraux différents, mais par des enrichissements relatifs, à un site donné, en minéraux issus de zones latitudinales différentes.

## Remerciements

L'étude des sédiments des legs 3, 39 et 40 a été possible grâce à l'autorisation de la National Science Foundation (USA). L'aide financière a été apportée par le Centre National pour l'Exploitation des Océans ainsi que par le Centre National de la Recherche Scientifique (ATP n° 3240). La collaboration technique a été assurée par M. Acquaviva et C. H. Froget. Ce travail a bénéficié des conseils et critiques de H. Chamley. Le manuscrit a été revu par L. Pastouret et J. C. Sibuet. A tous, j'adresse mes remerciements.

## RÉFÉRENCES

- Behairy A. K., Chester R., Griffiths A. J., Johnson L. R., Stoner J. H., 1975. The clay mineralogy of particulate material from some surface seawaters of the Eastern Atlantic Ocean, *Mar. Geol.*, **18**, 4, M45-M56.
- Berggren W. A., 1972. Late Pliocene-Pleistocene glaciation, in: *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. XII*, edited by Laughton A.S., Berggren W.A. et al., US Gov. Print. Office, Washington, 953-963.
- Berggren W. A., Hollister C. D., 1977. Plate tectonics and paleocirculation commotion in the ocean, *Tectonophysics*, **38**, 11-48.
- Biscaye P. E., 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **76**, 803-832.
- Boersma A., Shackleton N., 1977. Tertiary oxygen and carbon isotope stratigraphy, site 357 (mid-latitude South Atlantic), in: *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. XXXIX*, edited by Supko P.R., Perch-Nielsen K. et al., US Gov. Print. Office, Washington, 911-924.
- Bolli H. M., Ryan W. B. F. et al., 1978. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. XL*, US Gov. Print. Office, Washington, 1067 p.
- Bornhold B. D., 1973. *Late Quaternary sedimentation in the Eastern Angola basin*, Woods Hole Oceanographic Institution, unpublished manuscript n° 73-80, 213 p.
- Chamley H., 1971. Recherches sur la sédimentation argileuse en Méditerranée, *Sci. Géol.*, Strasbourg, Mém. 35, 225 p.
- Chamley H., 1975. Influence des courants profonds au large du Brésil sur la sédimentation argileuse récente. 9<sup>e</sup> Congrès International de Sédimentologie, Nice, **8**, 13-21.
- Chamley H., 1979. North Atlantic clay sedimentation and paleoenvironment since the late Jurassic, in: *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: continental margins and paleoenvironment*, edited by Talwani M., Hay W., Ryan W. B. F., Am. Geophys. Union, Washington D.C., 342-360.
- Chamley H., Enu E., Moullade M., Robert C., 1979. La sédimentation argileuse du bassin de la Bénoué au Nigeria, reflet de la tectonique du Crétacé supérieur, *C. R. Acad. Sci. Paris*, série D, **288**, 1143-1146.
- Chamley H., Robert C., 1979. Late Cretaceous to Early Paleocene environmental evolution expressed by the Atlantic clay sedimentation, in: *Cretaceous-Tertiary Boundary Events Symposium*, edited by Christensen W.K., Birkelund T., Copenhagen, vol. 2, Proceedings, 71-77.
- Chamley H., Debrabant P., Foulon J., Leroy P., Contribution de la minéralogie et de la géochimie à l'histoire méso-cénozoïque des marges Nord-atlantiques (sites 105 et 367 DSDP), *Bull. Soc. Géol. France*, sous presse.
- Chester R., Griffin J. J., Padgham R. C., 1972. Eolian dust along the Eastern margins of the Atlantic Ocean, *Mar. Geol.*, **13**, 2, 91-106.
- Courtois C., Chamley H., 1978. Terres rares et minéraux argileux dans le Crétacé et le Cénozoïque de la marge atlantique orientale, *C. R. Acad. Sci. Paris*, série D, **286**, 671-674.
- Dietrich G., 1963. *General oceanography, an introduction*, Interscience Publishers, J. Wiley and sons, New York, 588 p.
- Gibbs R. J., 1977. Clay mineral segregation in the marine environment, *J. Sediment. Petrol.*, **47**, 1, 237-243.
- Goldberg E. D., Griffin J. J., 1964. Sedimentation rates and mineralogy in the South Atlantic, *J. Geophys. Res.*, **69**, 4293-4309.
- Griffin J. J., Windom H., Goldberg E. D., 1968. The distribution of clay minerals in the world ocean, *Deep-Sea Res.*, **15**, 4, 433-460.
- Haq B. U., Premoli-Silva I., Lohmann G. P., 1977. Calcareous plankton paleobiogeographic evidence for major climatic fluctuations in the Early Cenozoic Atlantic Ocean, *J. Geophys. Res.*, **82**, 27, 3861-3876.
- Kennett J. P., Brunner C. A., 1972. Associations between antarctic glacial history and bottom water activity, *Antarct. J. US*, **7**, 5, 204-205.
- Kennett J. P., 1977. Cenozoic evolution of antarctic glaciation, the circum-antarctic ocean, and their impact on global paleoceanography, *J. Geophys. Res.*, **82**, 27, 3843-3860.
- Kröner A., 1973. Comments on "Is the African plate stationary?", *Nature*, **243**, 5401, 31-32.
- Le Pichon X., Melguen M., Sibuet J. C., 1978. A schematic model for the evolution of the South Atlantic, in: *Advances in Oceanography*, edited by Charnock and Deacon, Plenum Publ. Comp., 1-48.
- McCoy F. W., Zimmerman H. B., 1977. A history of sediment lithofacies in the South Atlantic Ocean, in: *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. XXXIX*, edited by Supko P.R., Perch-Nielsen K. et al. US Gov. Print. Office, Washington, 1047-1080.
- Maillot H., Robert C. Minéralogie et géochimie des sédiments créacés et cénozoïques dans l'océan Atlantique Sud (marge africaine, ride médioatlantique), *Bull. Soc. Géol. France*, sous presse.
- Maxwell A. E. et al., 1970. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, vol. III, US Gov. Print. Office, Washington, 806 p.
- Melguen M., Debrabant P., Chamley H., Maillot H., Hoffert M., Courtois C., 1978. Influence des courants profonds sur les faciès sédimentaires du Vema channel (Atlantique Sud) à la fin du Cénozoïque, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **20**, 2, 121-136.
- Millot G., 1964. *Géologie des argiles*, Masson, Paris, 499 p.
- Moore T. C., Van Andel T. J., Sancetta C., Pisias N., 1978. Cenozoic hiatuses in pelagic sediments, *Micropaleontology*, **24**, 2, 113-138.
- Nahon D., 1976. Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence, *Thèse Doct. Etat*, Univ. Aix-Marseille 3, 220 p.
- Nesteroff W. D., Sabatier G., 1961. Apport et néogenèse dans la formation des argiles des grands fonds marins, in: *Genèse et synthèse des argiles*, Colloq. Int. CNRS n° 105, 149-158.
- Olausson E., 1969. Le climat au Pléistocène et la circulation des océans, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, **11**, 3, 251-264.
- Paquet H., 1969. Évolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées, *Sci. Géol.*, Strasbourg, Mém. 30, 210 p.
- Pastouret L., Chamley H., Delibrias G., Duplessy J. C., Thiede J., 1978. Late Quaternary climatic changes in Western Tropical Africa deduced from deep-sea sedimentation off the Niger delta, *Oceanol. Acta*, **1**, 2, 217-232.
- Pedro G., 1968. Distribution des principaux types d'altération chimique à la surface du globe. Présentation d'une esquisse géographique, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, **10**, 5, 457-470.
- Rateev M. A., Gorbunova Z. N., Lisitzyn A. P., Nosov G. L., 1969. The distribution of clay minerals in the ocean, *Sedimentology*, **13**, 1-2, 21-45.
- Reid J. L., Nowlin W. D., Patzert W. C., 1977. On the characteristics and circulation of the Southwestern Atlantic Ocean, *J. Phys. Oceanogr.*, **7**, 1, 62-91.
- Rex R. W., 1970. X-Ray mineralogy studies, leg 3, in: *Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project, vol. III*, edited by Maxwell A. E. et al., US Gov. Print. Office, Washington, 509-582.
- Reyre D., 1964. Particularités géologiques des bassins côtiers de l'Ouest Africain, in: *Bassins sédimentaires du littoral africain*, vol. 1, *Littoral atlantique*, Symposium New Delhi, edited by Reyre D. Assoc. Serv. Géol. Africains, Paris, 253-301.
- Robert C., Herbin J. P., Deroo G., Giroud d'Argoud G., Chamley H., 1979. L'Atlantique Sud au Crétacé d'après l'étude des minéraux argileux et de la matière organique (legs 39 et 40 DSDP), *Oceanol. Acta*, **2**, 2, 209-218.
- Robert C. Paleogeographic evolution of Rio Grande Rise (South Atlantic) from Santonian to Eocene, from clay mineralogical data (legs 3 and 39 DSDP), *Paleogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, in press.
- Shackleton N., Kennett J. P., 1975. Paleotemperature history of the Cenozoic and the initiation of antarctic glaciation: oxygen and carbon isotope analysis in DSDP sites 277, 279 and 281, in: *Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project, vol. XXIX*, edited by Kennett J.P., Houtz R.E. et al., US Gov. Print. Office, Washington, 743-756.

**Sibuet J. C., Mascle J.**, 1978. Plate kinematic implications of Atlantic equatorial fracture zone trends, *J. Geophys. Res.*, **83**, 3401-3421.

**Siesser W. G., Bremner J. M.**, 1978. X-Ray mineralogy of cores from leg 40, Deep Sea Drilling Project, in: *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, vol. *XL*, edited by Bolli H. M., Ryan W. B. F. et al., US Gov. Print. Office, Washington, 541-548.

**Supko P. R., Perch-Nielsen K. et al.**, 1977. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, vol. *XXXIX*, US Gov. Print. Office, Washington, 1138 p.

**Sverdrup H. U., Johnson M. W., Fleming R. H.**, 1942. *The oceans: their physics, chemistry and general biology*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs NJ, 1060 p.

**Thiede J.**, 1977. Subsidence of aseismic ridges: evidence from sediments on Rio Grande Rise (Southwest Atlantic Ocean), *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, **61**, 6, 929-940.

**Trauth N.**, 1974. Argiles évaporitiques dans la sédimentation carbonatée continentale tertiaire. Bassins de Paris, de Mormoiron et de Salinelles (France), Jbel Ghassoul (Maroc), *Thèse Sci. Nat.*, Univ. Strasbourg, 309 p.

**Zimmerman H. B.**, 1977. Clay mineral stratigraphy and distribution in the South Atlantic Ocean, in: *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, vol. *XXXIX*, edited by Supko P. R., Perch-Nielsen K. et al., US Gov. Print. Office, Washington, 395-406.

---