

LILLE
N° d'ordre: 566

50376
1982
265

50376
1982
265

THESE

présentée à

l'Université des Sciences et Techniques de Lille

**pour obtenir le grade de
DOCTEUR ÈS SCIENCES**

par

Henri MAILLOT

**LES PALEOENVIRONNEMENTS DE L'ATLANTIQUE SUD:
APPORT DE LA GÉOCHIMIE SEDIMENTAIRE.**



Soutenu le 20 décembre 1982 devant la Commission d'examen

MM. J. DER COURT

Président

H. CHAMLEY

P. DEBRABANT

M. STEINBERG

Rapporteurs

C. SALLE

J. C. SIBUET

Examineurs



D 030 144605 0

A Monsieur le Professeur A. BONTE,
A mon Epouse.

AVANT-PROPOS

Lorsqu'en 1974, je fis part à Monsieur le Professeur DEBRABANT de mon désir d'entreprendre une étude sur les sédiments marins, il n'hésita pas à envisager une nouvelle ouverture océanographique pour son laboratoire. Je bénéficiais ainsi, au cours de mes huit années de recherche, de la possibilité de m'initier aux techniques de la géochimie et de participer à la mise au point des critères chimiques qui apportent des informations nouvelles sur les paléoenvironnements, puis de les appliquer ensuite à l'Atlantique sud.

Depuis l'arrivée en 1978 à Lille de Monsieur le Professeur CHAMLEY, son aide quotidienne, ses conseils sur les plans scientifique et humain, les fréquentes discussions scientifiques me furent - au cours de la seconde phase de ce travail - un réconfort permanent. Ce travail lui doit beaucoup.

A H. CHAMLEY et P. DEBRABANT je veux témoigner ma reconnaissance.

Monsieur le Professeur DERCOURT qui, en m'appelant à enseigner à l'Université, m'avait permis de débiter une recherche sur le terrain, m'a ensuite, en 1973-74, guidé sur le choix et l'orientation des thèmes qui devaient conduire au présent mémoire. En outre, il a accepté d'être le Président de ce Jury. Que pour tout cela, il soit remercié.

Monsieur le Professeur BONTE n'a cessé de me conseiller. Ce que j'ai acquis auprès de lui ne peut être mesuré : que ce soit lors de ses cours à la minutieuse pédagogie, ou des conseils qu'il me prodigua tant au laboratoire que sur le terrain. Il éveilla mon goût pour la géologie appliquée, discipline qui commande aujourd'hui, à l'Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille, l'ensemble de ma fonction d'enseignant. Qu'il trouve ici l'expression de mon affectueuse reconnaissance.

Monsieur le Professeur STEINBERG a bien voulu, au côté de Messieurs CHAMLEY et DEBRABANT, rapporter sur ce mémoire, puis participer au Jury. En outre, son accueil lors de mes visites à Orsay fut toujours très cordial. Je suis heureux de lui adresser mes vifs remerciements.

Monsieur SALLE, malgré les nombreuses tâches qui l'assaillent à l'Institut Français du Pétrole, a bien voulu juger ce travail ; je lui en exprime ma profonde gratitude.

A Monsieur SIBUET, qui, dès le début de cette recherche me prodigua conseils et encouragements amicaux, et qui stimula le chercheur en organisant, dès 1976, les réunions pluridisciplinaires I. P. O. D., j'exprime ma reconnaissance, ainsi que pour sa participation au Jury de soutenance.

Monsieur le Professeur CELET m'a constamment et cordialement encouragé, surtout dans les moments difficiles. Codirecteur de l'Equipe de Recherche Associée "Tectonique et Sédimentation" (E. R. A. n° 764 du C. N. R. S.), il m'a toujours fait bénéficier de son appui. De plus, il a accepté la tâche de rapporteur pour la publication de cette thèse dans la série des Mémoires de la Société Géologique du Nord. Que pour tout cela il soit remercié.

Depuis la création de l'E. R. A. n° 764, mon appartenance à cette équipe du C. N. R. S. m'a permis des échanges nombreux avec la plupart de ses membres que j'aimerais pouvoir citer tous. Mais, dans la crainte d'être incomplet dans mes remerciements, je voudrais les associer tous dans le souvenir reconnaissant que je conserverai de ces échanges toujours fructueux.

A ces remerciements, je voudrais, avec émotion, rendre hommage à la mémoire du Professeur Gérard WATERLOT. Il me fit l'honneur, avec le Professeur DERCOURT, de m'appeler à enseigner à l'Université. De surcroît, ses enseignements de stratigraphie régionale et d'hydrogéologie appliquée me sont presque journellement utiles dans ma tâche d'enseignant. Avec une profonde modestie et une grande gentillesse, il m'apprit la rigueur et la minutie scientifiques.

Au laboratoire, la tâche technique fut lourde, souvent ingrate. En effet, le manque absolu de technicien fut, jusqu'en juillet 1981, une de mes préoccupations permanentes. Heureusement, dès 1976, le Centre National d'Exploitation des Océans (C. N. E. X. O.), grâce à la sollicitude et à l'aide scientifique de Messieurs DEBYSER, PAUTOT et SIBUET, et à celles de Mademoiselle MELGUEN, nous accorda par des contrats de recherche, les moyens matériels qui permirent d'alléger cette charge technique.

Mais la géochimie minérale se trouve à l'aval de beaucoup d'autres disciplines océanologiques ou géologiques. Aussi nécessite-t-elle d'étroites et constantes collaborations avec d'autres spécialistes. Ces collaborations furent facilitées par Messieurs SIBUET et MONTADERT qui organisèrent des réunions scientifiques entre participants aux études sur les legs effectués en Atlantique.

Dès 1974-75, des réunions à Brest, Paris, Marseille et Strasbourg me permettaient de rencontrer des géologues marins et en particulier M. MELGUEN et H. CHAMLEY.

La seconde phase de ce travail, c'est-à-dire l'application des critères chimiques à la reconstitution des paléoenvironnements de l'Atlantique sud vit se développer une étroite collaboration scientifique avec C. ROBERT. Sa thèse sur les "Modalités de la sédimentation argileuse en relation avec l'histoire géologique de l'Atlantique sud" soutenue dernièrement à l'Université de Marseille, est soeur jumelle de ce travail.

Géochimies minérale et organique sont étroitement complémentaires. Aussi, de fréquentes rencontres et échanges scientifiques, tant à l'Institut Français du Pétrole qu'à l'Université de Lille, avec G. DEROO et J.-P. HERBIN, permirent d'élaborer des projets de publications communes.

D'autres échanges lors de colloques, réunions spécialisées, rencontres diverses eurent lieu avec Mademoiselle NOEL, Messieurs AUFFRET, BECO, BUSSON, DUEE, NEEDHAM, PASTOURET et PEYPOUQUET. Au laboratoire, de fréquentes discussions scientifiques rassemblèrent Messieurs LEROY, HOLTZAPFFEL, CALATAYUD, DECONINCK, DESPEYROUX.

Episodiquement, les possibilités matérielles offertes par les contrats avec le C.N.E.X.O. ou par l'U. E. R. des Sciences de la Terre, me permirent de bénéficier d'aides techniques de la part de Mesdames PAILLARD, HANTON et LORRAIN-BROCCA pour les préparations, MATHIEU et BREBION pour la vaisselle du matériel chimique, de Monsieur BALLENGHIEN pour la déminéralisation de l'eau et la maintenance du laboratoire. Monsieur DORN assura le polissage des surfaces avant analyse à la microsonde par Monsieur LEMAGUER. Les photographies au microscope électronique furent réalisées par Monsieur PONCHEL. Monsieur RECOURT se chargea du dosage des dernières séries analytiques.

Je veux aussi témoigner de la grande compétence et de l'efficacité des techniciens et secrétaire qui permirent la réalisation matérielle de ce mémoire : Madame BOCQUET réalisa avec promptitude et minutie la quasi totalité des illustrations et les schémas colorés pour la présentation orale ; Monsieur CARPENTIER effectua toutes les réductions et montages photographiques de la figuration. Il avait au préalable accepté de mettre au point un procédé de développement photographique couleurs avec des moyens matériels très réduits. Madame DUJARDIN qui, outre son rôle de bibliothécaire-documentaliste, réalisa en un temps record la frappe soignée du manuscrit. Madame BREBION qui "tire" actuellement le texte sur ses rotatives afin d'en permettre la publication à la S. G. N.

A ce propos, je voudrais remercier Madame le Professeur CORSIN, responsable des publications à la Société Géologie du Nord, pour toute l'aide qu'elle m'apporta dans ce domaine.

Enfin, parmi les personnes ayant assuré leur concours technique, je ne saurais oublier mon épouse, qui pendant des années, accepta, sans se ménager, de m'aider dans ce travail. Les soirées au laboratoire furent souvent longues et pénibles pour elle, les week-end harassants.

Mes activités d'enseignant et la nécessité de contacts fréquents au fonctionnement du Département de "Géotechnique - Génie civil" de l'E. U. D. I. L. me permirent de rencontrer de nombreux responsables, ingénieurs ou techniciens, extérieurs à l'Université, au sein d'organismes publics ou privés (C. E. T. E., B. R. G. M., A. B. A. P., D. D. A.). Je veux témoigner ici du bénéfice que j'ai tiré de tels contacts dans ma vie professionnelle.

Ce travail n'aurait pu voir le jour sans les contrats de recherche avec le C. N. E. X. O. (76.5319, 77.5497, 78.5698, 79.5927, 80.6231) et les actions thématiques programmées du C. N. R. S. (A. T. P. n° 2 680 et 4 235) auxquels je pris part.

Qu'il me soit enfin permis de remercier la "Scripps Institution" pour la facilité d'accès qu'elle m'accorda au matériel carotté par le navire océanographique "Glomar Challenger".

RESUME

Ce mémoire résume les résultats de huit années de recherche orientées pour moitié sur la mise au point de critères chimiques reflétant les principaux événements océaniques, pour moitié sur l'application de ces critères à l'étude des paléoenvironnements de l'Atlantique sud. Il porte essentiellement sur cette application alors que le lecteur est renvoyé aux publications pour la première.

TRAITEMENT DES SÉDIMENTS, MODE D'UTILISATION DES RÉSULTATS GÉOCHIMIQUES

La première partie envisage le mode d'échantillonnage et le traitement des matériels ainsi que l'utilisation des résultats exprimés en valeurs relatives ou normées. On y insiste sur l'utilisation combinée des critères chimiques retenus pour la reconstitution des paléoenvironnements en détaillant leurs significations et leurs limites d'application.

La géochimie minérale apporte des informations sur le caractère oxydo-réducteur du milieu, sur la dissolution des carbonates et la paléoprosfondeur des sites, sur les influences volcaniques générales ou plus locales, sur l'individualisation des grandes masses d'eau et leurs migrations paléogéographiques, sur l'importance des influences détritiques continentales.

APPLICATION À LA RECONSTITUTION DE L'HISTOIRE DE L'ATLANTIQUE SUD

La seconde partie envisage l'application de ces critères chimiques à la reconstitution des paléoenvironnements de l'Atlantique sud. Une étude générale effectuée sur les sédiments de trente cinq forages avec une maille d'échantillonnage lâche et régulière permet de retrouver les épisodes majeurs de l'évolution océanique générale et d'apporter des informations plus localisées.

Ainsi, on envisage dans le détail les apports de la géochimie minérale, associés à ceux d'autres disciplines comme la minéralogie des argiles ou la géochimie organique, à la reconstitution de l'histoire océanique. Sont successivement détaillées les principales phases d'évolution depuis les stades initiaux d'ouverture jusqu'aux stades les plus récents d'élargissement.

GRANDS TRAITS DE L'ÉVOLUTION OcéANIQUE

La géochimie montre que l'environnement chimique au Jurassique moyen était de type exclusivement continental. A l'Oxfordien se perçoivent les premières transgressions mais il faut attendre l'Albo-Aptien pour assister à une forte augmentation de l'oxygénation du milieu. Donc le rôle de barrière des Falklands s'estompe à cette époque. Parallèlement, l'abondance du matériel détritique dilue les précipitations métallifères et masque en partie les influences volcaniques proches sur la sédimentation.

A l'Aptien, le rôle de barrière de l'ensemble du Rio-Grande/Walvis semble important : les sédiments sont confinés dans les bassins nord et sud. Au nord, la mise en communication, dès l'Albien, du bassin d'Angola/Brésil et de l'Atlantique central ou de la Mésogée, est suggérée par la géochimie. Cependant que le caractère fortement détritique de la sédimentation se maintient sur le plateau des Falkland et dans le bassin du Cap, les épisodes franchement euxiniques y disparaissent après l'Albo-Aptien. Dans la région des Falkland, la géochimie traduit l'oxygénation du milieu (ouverture vers l'océan Indien). Dans la sédimentation du bassin du Cap, elle laisse pressentir, à la base du Crétacé supérieur, l'arrivée de minéraux fortement alumineux attestant de l'activité tectonique du continent voisin, ce que confirment les études minéralogiques.

L'élargissement océanique se marque dans la sédimentation par une décroissance globale des apports métalliques occasionnés par la dorsale. Ce schéma s'inscrit dans l'évolution de l'histoire géologique de l'Atlantique sud depuis le Santonien jusqu'au Pléistocène : la constance de la vitesse d'élargissement, matérialisée par la régularité de la décroissance des métallisations, semble être la règle depuis le Santonien. Seul l'épisode oligocène se distingue.

Le développement des courants méridiens, et particulièrement du courant de fond antarctique-atlantique (A. A. B. W.), apparaît dans la chimie de la sédimentation à partir de l'Oligocène. Il se caractérise par un apport de silice biogénique en provenance des hautes latitudes et par des cortèges argileux appauvris en minéraux potassiques. La géochimie contribue ainsi à confirmer le rôle important des masses d'eau dans la sédimentation : on peut en effet traduire leurs influences en termes de répartition géographique, de paléoprofondeur relative et de mise en communication de bassins. Les effets du courant profond antarctique-atlantique s'inscrivent de façon fugace, dès l'Oligocène, sur la sédimentation des sites méridionaux profonds du bassin d'Argentine. Son rôle s'accroît par la suite, mais il ne paraît pas emprunter le chenal de Vema, au moins jusqu'au Miocène inférieur. En revanche, il emprunte clairement ce chenal au Pliocène-Pléistocène.

PARTICULARITES REGIONALES

Sur la partie nord-est de la ride de Walvis, la géochimie laisse pressentir une influence volcanique sur la sédimentation dès l'Albo-Aptien. Ce volcanisme s'atténue ensuite, mais se perçoit encore au Tertiaire. Sur la partie sud-ouest, à partir du Campanien, le comportement chimique des dépôts reflète une influence volcanique sur la sédimentation, distincte de celle de la dorsale médio-atlantique. Au Néogène, le centre de cette activité semble se localiser au Sud de la partie occidentale de la ride de Walvis. Ce comportement témoigne d'une zone fragile de la croûte océanique.

A partir du Miocène moyen, le caractère réducteur du milieu de sédimentation des sites peu profonds de la partie nord-est de la ride de Walvis conduit à proposer l'influence des masses d'eau appauvries en oxygène dissous : cette interprétation est en accord avec celle découlant de l'évolution paléoécologique du milieu.

ABSTRACT

A eight-years study allows to determine geochemical criteria on Jurassic to Recent sediment of the South Atlantic, and to apply them to the reconstruction of paleoenvironments expressed by D. S. D. P. materials.

The first parts of the work deal with the analytical procedures, the selected chemical elements used and the way of expressing paleoenvironmental changes by normative ratios. Applications are proposed in terms of detrital supply, volcanic influences, reduced medium, development of water-masses exchanges, subsidence and other sea-floor morphological changes, etc ...

The rest of the study is devoted to the geographical and chronological evolution of the South Atlantic expressed by geochemistry. Analytic data proceed from the study of thirty-five D. S. D. P. sites (about one sample per core). The geochemical approach is inserted in a more general sedimentological framework, including especially the clay mineralogy and the organic geochemistry.

GENERAL EVOLUTION OF THE SOUTH ATLANTIC

Environmental changes are deduced from the geochemical stratigraphy in both continental and marine paleoenvironments. The continental medium was exclusive until the Middle Jurassic, while discrete marine influences started later on. The marine influences remained moderate until of the Aptian-Albian times, acting in a confined and reduced environment contemporary to the South Atlantic opening and the Falkland Plateau shifting. The development of open marine conditions occurred during the Albian, while volcanogenic influences were still diluted by terrigenous ones.

During the Aptian stage, the Rio-Grande - Walvis relieves acted as a strong barrier against water-masses exchanges, both southern and northern basins being submitted to drastic euxinic conditions. Geochemical parameters suggest the existence of marine communications between the South Atlantic Basins and the Tethys and/or Central Atlantic. Continental influences remained important in the Cape Basin as well as in the Falkland Plateau areas, where typical shallow marine conditions prevailed. The most parts of Cretaceous times were characterized by tectonic rejuvenations of the continental margins, especially expressed by clay mineralogical successions. At the same time oxidations and metallizations developed from the spreading-axes can be followed by geochemical indexes.

From Santonian to Pleistocene most of volcanic influences proceeded from the Mid-Atlantic ridge, whose effects decreased when going away from the central oceanic zones and upwards in the sedimentary column. At Oligocene time, an asymmetric spreading is suggested by geochemical data. A large part of the Cenozoic geochemical successions recovered corresponds to changes in the marine circulations, especially in the Antarctic-Atlantic Bottom water (A. A. B. W.), the development stages and path ways of which are precised. The A. A. B. W. is marked by abundant biogenous silica and potassium-poor argillaceous particulate matter, and its strong effects on the South-Atlantic sedimentation are confirmed and described. The A. A. B. W. influence characterized the Southwestern part of the Argentine basin since the Early Oligocene time, but was evidenced in the North of the Vema Channel during the Plio-Pleistocene only.

REGIONAL PATTERNS OF THE WALVIS RIDGE AREA

A special attention was paid to the Walvis Ridge area, in the North-Eastern part of which volcanic influences strongly appeared from the Aptian-Albian times until the uppermost Cretaceous. Discrete volcanic effects remain expressed in the geochemistry of Cenozoic sediments from the same area. In the South-Western part of the Walvis Ridge, strong volcanic influences started from Santonian times, being due to subaerial and thensubmarine volcanoes. At Neogene times volcanic effects, determined by a local spreading center or hot spot structure, persisted as shown by the geochemistry of sediments. Since the Middle Miocene, the North-Eastern part of the Walvis Ridge was strongly influenced by the presence of a well-developed and widely-distributed oxygen-minimum layer, what agrees with paleoecological data.

PREMIERE PARTIE

GENERALITES

GENERALITES

PREMIER CHAPITRE

INTRODUCTION

Le présent travail a pris corps peu de temps après que les théories de la tectonique globale, qui attribuent à l'océan un rôle essentiel dans l'évolution géologique du globe, aient déterminé le renouveau majeur des Sciences de la Terre : les hypothèses de Wegener (1912) suivies par celles de Hess (1962), Vine et Matthews (1963), Pittman et Heitzler (1966) Mc Kenzie et Parker (1967), Le Pichon (1968), Morgan (1968) et Wilson (1968) démontrent que les moteurs de notre planète sont pour l'essentiel dans les océans et introduisent la tectonique globale.

Cette rupture avec les idées conçues jusqu'alors laisse entrevoir de multiples implications et évolutions dans les processus de mise en place des sédiments, au travers des premières expériences acquises à partir de la sédimentation marine. Arrhenius (1952) ouvre les portes de l'océanographie sédimentaire et montre l'intérêt de l'étude géochimique des sédiments replacés dans leur cadre océanographique. Bramlette (1961) étudie les sédiments pélagiques, Goldberg (1964) envisage l'océan comme un système géologique, Turekian (1965), Turekian et Imbrie (1966), Boström (1969, 1970, ...) commencent à noter l'importance sur la sédimentation marine des apports métalliques provenant des zones actives.

Si nombre d'auteurs envisageaient déjà la sédimentologie sous un angle génétique, les années 1970 marquent la période charnière entre une sédimentologie plutôt descriptive et une sédimentologie qui devient génétique.

En outre, le nombre et l'importance des forages marins réalisés depuis 1968 permettent de commencer à modéliser les conceptions des sédimentologues ; si l'on peut parler de "révolution des Sciences de la terre", celle-ci explique pour une large part le bouleversement des conceptions sédimentologiques.

En Atlantique Sud, les études géochimiques entreprises sur les sédiments évoluent au cours du temps. Celles réalisées sur les échantillons collectés au cours de la phase J.O.I.D.E.S. (Joint Oceanographic Institution for Deep Earth Sampling) et du début de la phase I.P.O.D. (International Phase of Ocean Drilling) du D.S.D.P. (Deep Sea Drilling Project) (figure 1) ont un caractère presque exclusivement analytique. Au fur et à mesure que passent les années et les

campagnes (Legs), on assiste à l'acquisition de données plus synthétiques. Ainsi Pimma (1970a, 1970b) réalise le dosage du carbonate de calcium des sédiments des Legs 3 et 4 (Maxwell et al., 1970 ; Bader et al., 1970). Presley et Kaplan (1970), Sayles (1970) étudient le comportement de l'eau interstitielle et définissent la géochimie systématique des matériels du Leg 4.

Si certaines des études réalisées en 1976 sur les sédiments du plateau des Falkland, des bassins d'Argentine, du Brésil et du Cap (Legs 36, 39 et 40) présentent encore cet aspect purement analytique (Tarney, 1976 ; Tarney et Donnellan, 1976 ; Cameron, 1976 ; Boon et al., 1978 ; Erdman et Schorno, 1978) au contraire, les études d'Emelyanov (1977) sur les sédiments du Leg 39 et surtout celles de Natland (1978) sur ceux du Leg 40 abordent les données de la géochimie en termes de paléoenvironnement : influences de zones volcaniques actives dans le premier cas, implications dans l'établissement des premiers courants et évolution des bassins dans le second.

Les études des nouvelles campagnes réalisées en 1980 et 1981 (Legs 71, 72, 73, 74 et 75) s'inscrivent dans cette évolution. La partie purement analytique demeure, mais on assiste à une accentuation des développements synthétiques dans la plupart des articles en cours de publication. Ainsi Varentsov (sous-presse) envisage l'évolution paléogéographique de la région des Falkland à travers le comportement géochimique des éléments traces et celui des minéraux lourds. A proximité de la dorsale médio-atlantique, Karpoff (sous presse) étudie la signification des sédiments dissous du Miocène et la valeur de l'extension géographique de tels faciès. Dans le bassin d'Angola, les études de Dean et al. (sous presse) envisagent l'importance locale de la géochimie minérale en termes d'oxydation et d'ouverture du milieu océanique.

Conjointement à cette évolution, on assiste à une accentuation de l'importance et du volume des études de géochimie organique (Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse ; Moore, Rabinowitz et al., sous presse ; Hay, Sibuet et al., sous presse). Ces auteurs, parmi lesquels il faut citer Deroo, Herbin et Huc, cherchent à faire la part entre apports de matière organique continentale et d'origine marine ; ils traduisent ces données en termes de : confinement de bassin, effets de barrière, secousses tectoniques et mises en communication avec les bassins voisins ou avec l'océan mondial. Ainsi, géochimies organique et minérale se rejoignent dans l'étude de l'évolution paléocéanographique de l'Atlantique Sud, en mettant en commun des moyens d'études complémentaires.

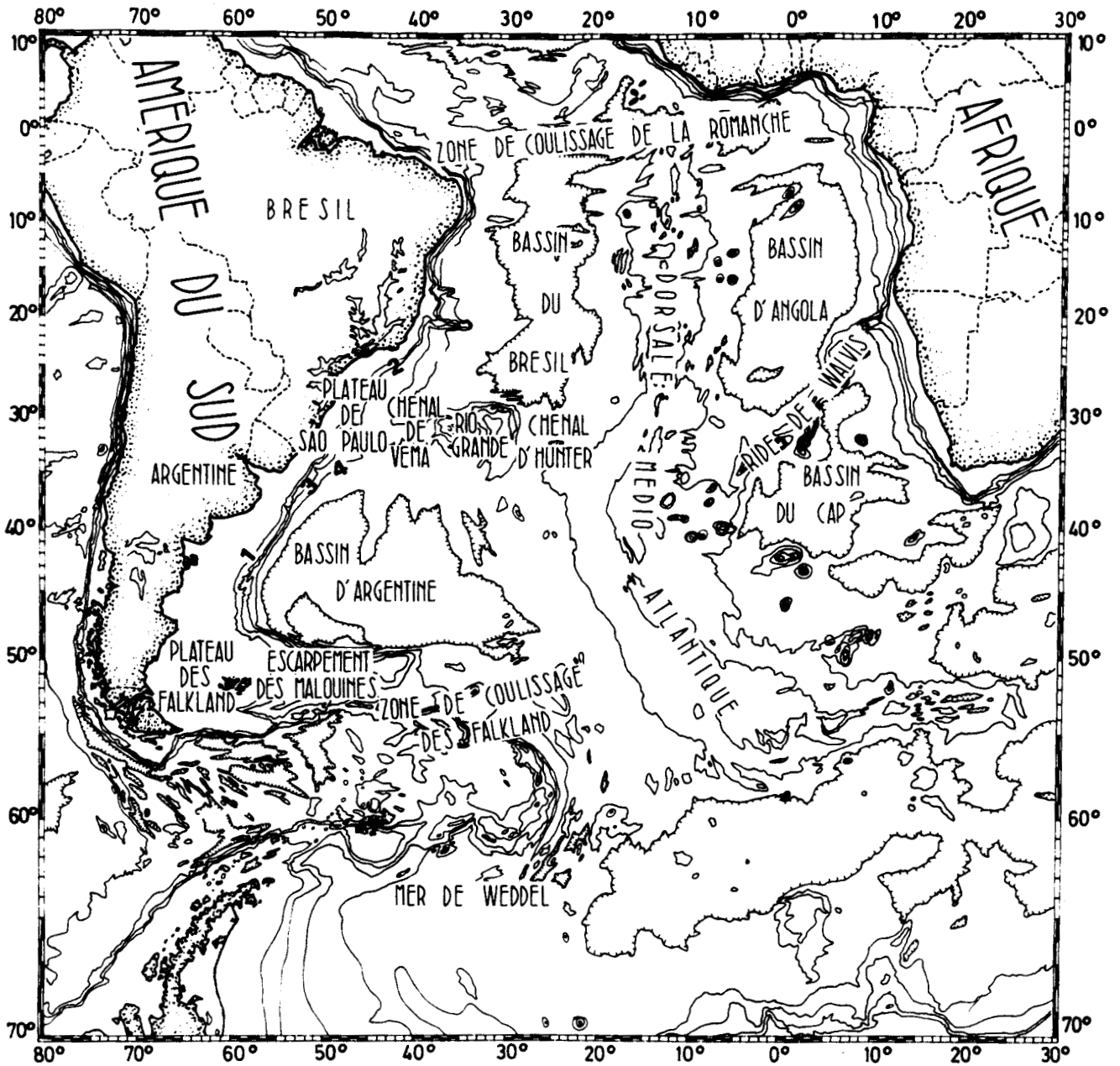


Figure 1.- Localisation des principales unités morphologiques et structurales de l'Atlantique Sud

DEUXIEME CHAPITRE

PRESENTATION DU MEMOIRE

MATERIEL D'ETUDE ET OBJECTIFS INITIAUX

I. PRÉSENTATION DU MÉMOIRE

A mi-chemin entre une étude monographique et une compilation de publications, le présent mémoire a pour but de synthétiser des résultats et interprétations soit personnels, soit obtenus en recherche pluridisciplinaire et pour la plupart déjà publiés.

Focalisée sur l'Atlantique Sud, cette synthèse bénéficie de l'expérience plus large d'un laboratoire qui s'intéressait déjà à l'étude géochimique des marges européennes : Legs 47b, 48 et 12 (Chamley et al., 1978a ; Chamley et al., 1978b ; Maillot et al., 1978 ; Debrabant et al., 1979), de la marge Nord-africaine : Leg 50 (Debrabant et al., 1980) et d'un site de la marge Nord-américaine (résultats non publiés) ; étude à laquelle j'ai eu l'occasion d'être associé.

Le cadre structural et géodynamique de l'Atlantique Sud convient *a priori* pour aborder une étude de géochimie sédimentaire. En effet, la naissance du bassin, puis son évolution sensiblement symétrique par rapport à la dorsale, permettent d'envisager d'une manière simple l'expression géochimique des influences respectives du continent et de l'océan au cours des temps.

En outre, la multiplication des études réalisées par les équipes françaises sur les sondages océaniques a permis un développement privilégié des collaborations scientifiques, d'autant plus nécessaire que la géochimie minérale vient en aval d'un grand nombre d'autres disciplines.

Les limites géographiques de la présente étude sont : la zone de fractures de la Manche pour le Nord ; la zone de coulissage des Falkland pour le Sud (figure 2). Les sédiments analysés proviennent : d'une part des forages profonds réalisés par le Glomar Challenger au cours des Legs 3, 36, 39, 40, 71, 73, 74 et 75 ; d'autre part de la campagne Géobrézil effectuée en 1973 par le navire océanographique J. Charcot (figure 2).

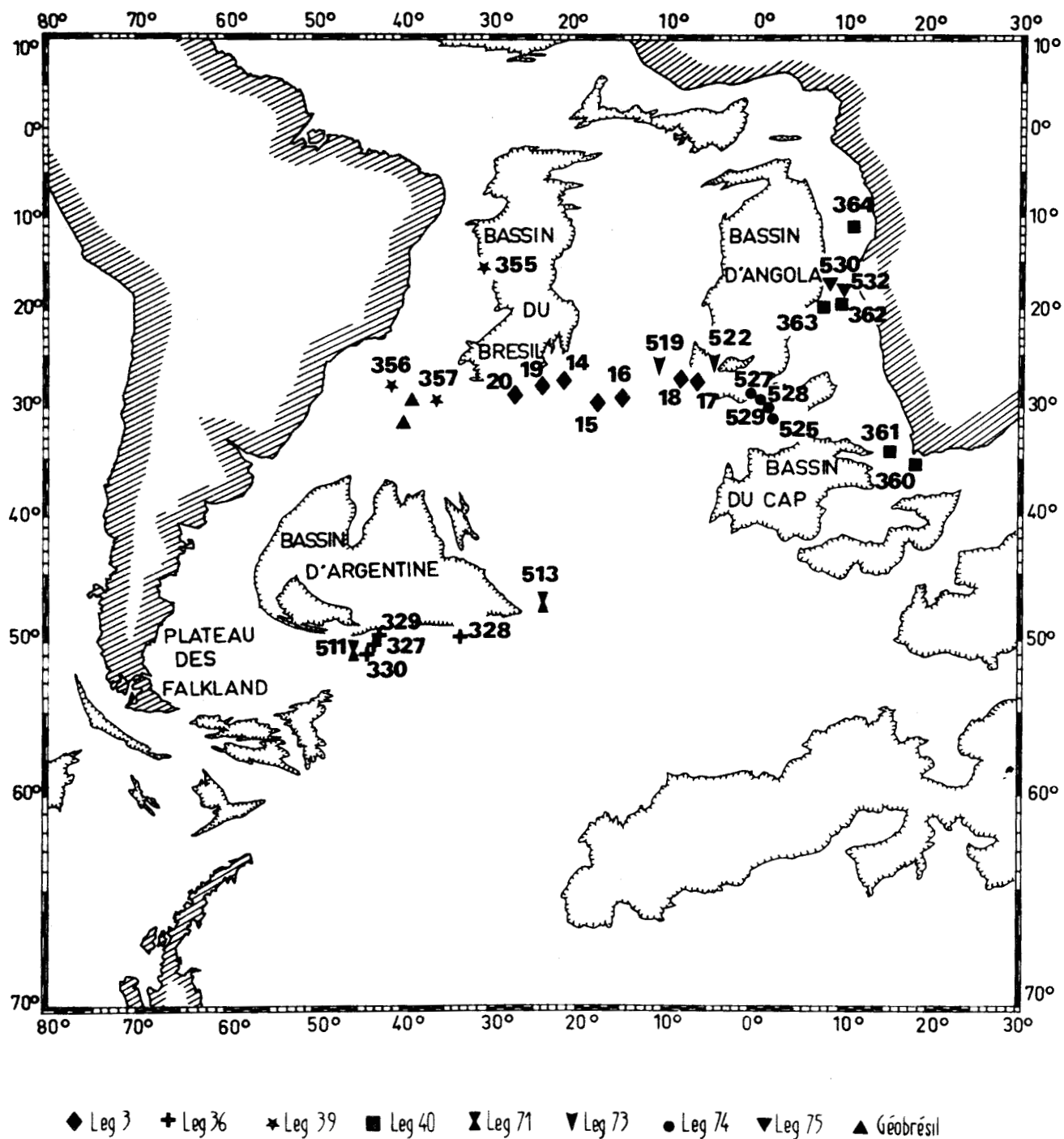


Figure 2 .- Localisation des forages étudiés en fonction des campagnes océanographiques auxquelles ils appartiennent.

Le présent mémoire traite successivement - outre la partie introductive - trois grandes séries de problèmes qui constitueront les principales divisions :

- Deuxième partie : Des particularités techniques de la géochimie minérale: ¹⁾ le traitement des échantillons, ²⁾ la limite de crédibilité des résultats obtenus, ³⁾ l'utilisation des données numériques exprimées en valeurs relatives.

- Troisième partie : Quelques exemples d'application aux sédiments de l'Atlantique Sud qui illustrent : ¹⁾ la naissance de l'océan, ²⁾ l'influence terrigène du continent dans la sédimentation, ³⁾ la transition d'une sédimentation continentale vers une sédimentation marine, ⁴⁾ le confinement des bassins, ⁵⁾ le rôle des courants, ⁶⁾ la paléoprofondeur et la dissolution des carbonates, ⁷⁾ l'ouverture océanique proprement dite et la migration de la colonne sédimentaire.

- Quatrième partie : L'apport de la géochimie minérale à la reconstitution paléogéographique de l'Atlantique Sud, en particulier : ¹⁾ au Jurassique moyen (océan Austral) (165 M. A.), ²⁾ à la transition Jurassique supérieur-Crétacé inférieur (140 M. A.), ³⁾ au Valanginien-Hauterivien (125 M. A.), ⁴⁾ à l'Apt o-Albien (110 M. A.), ⁵⁾ au Cénomaniens (95 M. A.), ⁶⁾ au Santonien (80 M. A.), ⁷⁾ au passage Crétacé/Tertiaire (65 M. A.), ⁸⁾ à l'Eocène moyen et supérieur (50 M. A.), ⁹⁾ à l'Oligocène (36 M. A.), ¹⁰⁾ au Miocène inférieur et moyen (21 M. A.), ¹¹⁾ au Miocène supérieur (10 M. A.), ¹²⁾ au Plio-Pléistocène.

Les études bibliographiques (Le Pichon *et al.*, 1971 ; Mc Coy et Zimmerman, 1977 ...) montrent que l'Atlantique Sud évolue selon une dynamique symétrique et s'ouvre de part et d'autre de la dorsale médio-atlantique en deux bassins : Brésil-Angola et Argentine-Cap séparés par la ride de Rio Grande-Walvis (figure 3).

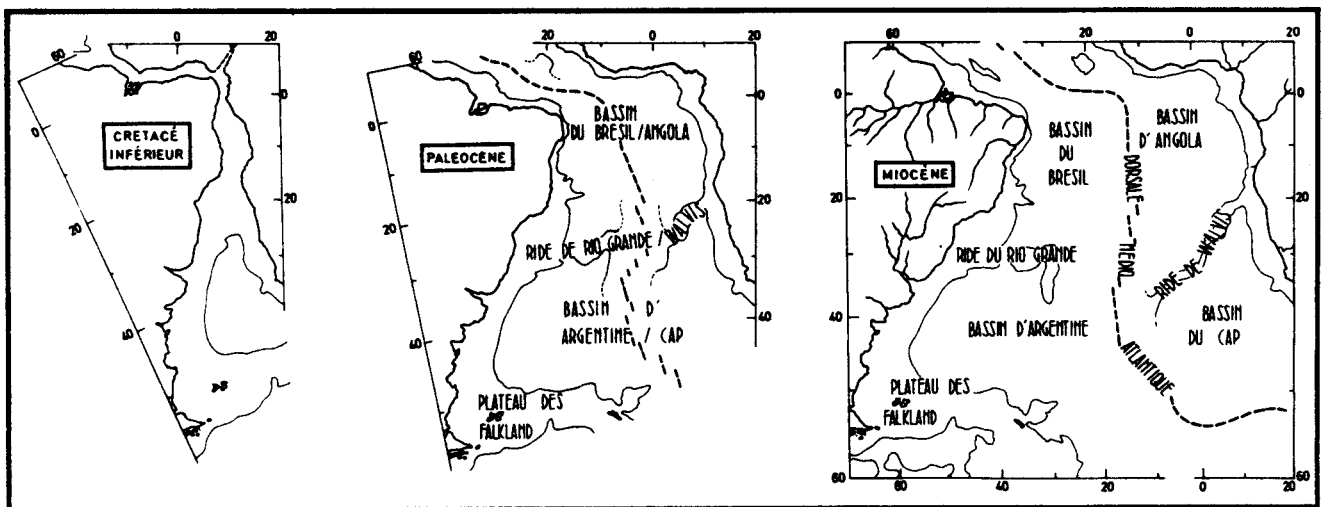


Figure 3 .- Ouverture de l'Atlantique Sud au Crétacé inférieur, au Paléocène et au Miocène. Individualisation des quatre bassins d'après Mc Coy et Zimmerman (1977).

La mise en communication avec l'Atlantique central semble assez précoce (base du Crétacé supérieur), celle avec l'océan Indien se produit plus tôt (base du Crétacé inférieur) par coulisage du plateau des Falkland. Au Paléogène quatre bassins s'individualisent par symétrie Est-Ouest et Nord-Sud : bassins du Brésil et d'Argentine à l'Ouest, bassins d'Angola et du Cap à l'Est (figure 3).

II. MATÉRIEL D'ÉTUDE

Il s'agit uniquement d'échantillons provenant de sondages sous-marins. Au début de cette étude, le matériel sédimentaire disponible provient des premières campagnes du D. S. D. P. (1968, 1974 et 1975) (figure 2). En particulier, un échantillonnage des Legs 3 (transversale au niveau du 27° latitude Sud), 36 (région des Falkland), 39 (ride du Rio-Grande et bassin du Brésil) et 40 (marge africaine) est réalisé. Il est complété par un autre effectué sur les carottes recueillies lors de la campagne Géobrézil (1973) du C. N. E. X. O. Puis d'autres Legs du D. S. D. P. sont programmés en Atlantique Sud et les années 1980-1981 voient se réaliser cinq nouvelles campagnes : Legs 71, 72, 73, 74 et 75. Les carottes de quatre de ces campagnes sont échantillonnées (figure 2) et s'inscrivent dans le cadre des études "post Leg à terre" du D. S. D. P.

Le tableau I résume la répartition et la densité de l'échantillonnage réalisé dans le cadre de cette étude. Au total 1 160 échantillons sont analysés sur trente forages du D.S.D.P. Le maillage de l'échantillonnage retenu, soit en général un échantillon par carotte de 9,50 m ou un échantillon aux principaux changements de faciès, doit suffire à marquer les grandes modifications du paléoenvironnement de l'Atlantique Sud.

III. OBJECTIFS INITIAUX

Initialement j'espérais préciser les grands traits de la géochimie minérale de l'Atlantique Sud au cours des âges, au moyen d'un échantillonnage à grande maille.

En outre, l'analyse géochimique des sédiments semblait pouvoir apporter des informations nouvelles sur :

- les influences de chaque continent dans la sédimentation et la différenciation de leurs effets à travers les apports détritiques africains et américains ;
- la période et l'incidence sur la sédimentation de la mise en communication entre Atlantique Nord et Atlantique Sud ;
- la période et l'incidence sur la sédimentation de la mise en communication avec l'océan Indien d'une part, avec l'océan Pacifique d'autre part ;
- les étapes d'ouverture, d'élargissement et d'approfondissement des principaux bassins ;
- l'évolution des grandes masses d'eau avec en particulier l'influence du courant antarctique profond (Antarctic Atlantic Bottom Water : A. A. B. W.) et celle du courant nord-atlantique (North Atlantic Deep Water : N. A. D. W.) sur la sédimentation.

REGION DE L'ATLANTIQUE SUD	NUMEROS DES LEGS DU D.S.D.P. OU DE LA CAMPAGNE DU C.N.E.X.O.	NUMEROS DES SITES	REGION	LOCALISATION LATITUDE : LONGITUDE	NOMBRE D'ECHANTILLONS ETUDIES	AGE DES ECHANTILLONS	
Marge américaine et ride du Rio Grande	39	355	Bassin du Brésil	15°42.59'S, 30°36.03'W	10	Campanien	
		356		28°17.22'S, 41°05.28'W	51	Albien inférieur à Pléistocène	
	Geobrézil	357	Ride du Rio Grande	30°00.25'S, 35°33.59'W	50	Campanien à Pléistocène	
		-	Rio Grande et Chenal de Vema	30°50.00'S, 38°24.00'W	83	Miocène inférieur à Pléistocène	
Transversale entre le 25° et le 30° lat. Sud	3	17	Flanc est de la dorsale	28°02.74'S, 6°36.15'W	35	Oligocène à Pléistocène	
		18		27°58.72'S, 8°00.70'W	15	Miocène inférieur à Pléistocène	
		14		28°19.89'S, 20°56.46'W	28	Oligocène inférieur à Miocène inférieur	
		15	Flanc ouest de la dorsale	30°53.38'S, 17°58.99'W	34	Miocène inférieur à Plio- Pléistocène	
	16	30°20.15'S, 15°42.79'W		37	Miocène supérieur à Pléistocène		
	73	19		28°32.08'S, 23°40.63'W	46	Eocène moyen à Pléisto- cène	
		20		28°31.47'S, 26°50.73'W	8	Maastrichtien à Paléocène	
		519	Flanc est de la dorsale	26°08.20'S, 11°39.97'W	35	Miocène à Pléistocène	
		522		26°06.84'S, 05°06.78'W	33	Eocène supérieur à Pléistocène	
	Marge africaine et ride de Walvis	40	360	Bassin du Cap	35°50.75'S, 18°05.79'E	30	Eocène inférieur à Pliocène
361				35°03.97'S, 15°26.91'E	40	Aptien inférieur à Eocène supérieur	
362			Ride de Walvis (partie Est)	19°45.45'S, 10°31.95'E	44	Eocène inférieur à Pléistocène	
363				19°38.75'S, 09°02.80'E	23	Aptien inférieur à Miocène	
74		364	Bassin d'Angola	11°34.32'S, 11°58.30'E	25	Aptien supérieur à Pléistocène	
		525		29°04.24'S, 02°52.12'E	47	Campanien à Pléistocène	
		527		28°02.49'S, 01°45.80'E	29	Maastrichtien à Pléis- tocène	
		528	Flanc nord de la ride de Walvis (partie sud-ouest)	28°31.49'S, 02°19.44'E	45	Maastrichtien à Pléis- tocène	
		529		28°55.83'S, 02°46.08'E	13	Maastrichtien à Pléis- tocène	
75		530	Bassin d'Angola	19°11.26'S, 9°23.15'E	82	Albien supérieur à Pléistocène	
		532	Flanc nord de la ride de Walvis	19°44.61'S, 10°31.13'E	34	Miocène supérieur à Pléistocène	
Zone des Falkland et régions voisines		36	327		50°52.28'S, 46°47.02'W	63	Aptien inférieur à Eocène inférieur
			329	Plateau des Falkland	50°39.31'S, 46°05.73'W	11	Paléocène à Pléistocène
	330			50°55.19'S, 46°53.00'W	47	Jurassique moyen et supérieur	
	328			49°48.67'S, 36°39.53'W	54	Turonien supérieur à Eocène	
	71	331	Bassin d'Argentine	37°53.00'S, 38°06.92'W	5	Pléistocène	
		511		51°00.28'S, 46°58.30'W	60	Néocomien à Oligocène	
	513	Flanc ouest de la Dorsale	47°34.99'S, 24°38.40'W	43	Oligocène inférieur à Pléistocène		

Tableau I.- Répartition géographique, densité et âge de l'échantillonnage.



DEUXIEME PARTIE

L' OUTIL GEOCHIMIQUE



L'OUTIL GEOCHIMIQUE

PREMIER CHAPITRE

L'ÉCHANTILLONNAGE ET SON TRAITEMENT

ELEMENTS ANALYSES ET METHODES D'ANALYSE

I. L'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage réalisé sur les sédiments des sondages océaniques doit répondre simultanément à deux impératifs :

- être représentatif de l'ensemble sédimentaire dont il provient ;
- n'être contaminé d'aucune manière entre son prélèvement et son analyse géochimique.

A. REPRÉSENTATIVITÉ DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Une analyse statistique de la répartition des éléments dans les sédiments montre qu'elle peut être arithmétique (majeurs) ou log normale (traces) (Billy, 1954). Dans la pratique, cette constatation conduit à assurer la représentativité d'un échantillon par un prélèvement correspondant à mille fois le poids du plus gros cristal.

Cette règle est respectée pour la plupart des échantillons prélevés sur les carottages du D. S. D. P. En effet, la quantité de sédiment que nous recevons généralement est d'environ 20 g (10 cm³) dont on réserve au moins le tiers pour l'analyse géochimique. Théoriquement suffisante, cette quantité reste faible et la qualité de l'analyse requiert le choix d'un sédiment homogène, ce que garantissent le plus souvent sédimentologues embarqués et responsables de l'échantillonnage au D. S. D. P.

B. POLLUTION DES ÉCHANTILLONS

Les causes potentielles de pollution des échantillons sont traquées à tous les stades de leur manipulation : prélèvement, broyage, homogénéisation, attaques, dilution, ... A cette fin, des précautions sont à prendre à tous les stades de la routine analytique : broyages, attaques sous hotte, contrôle de la propreté du matériel analytique et de la pureté des réactifs (essais à blanc).

II. TRAITEMENT DES ECHANTILLONS

A. ATTAQUE ALCALINE, INSOLUBILISATION ET DOSAGE DE LA SILICE

Ce type d'attaque s'inspire des méthodes préconisées par Pinta (1971). Dans un creuset de platine, un prélèvement de 0,200 g de poudre homogénéisée de sédiment est mélangé à 1,00 g de carbonate double de sodium et de potassium qui sert de fondant. Le tout est porté et maintenu à 1 000° C pendant une heure. Après cette fusion alcaline, la plupart des espèces minérales sauf la silice, sont solubles dans l'acide chlorhydrique.

On plonge alors le creuset dans un bécher contenant de l'eau distillée bouillante, où le culot carbonaté est attaqué par l'acide chlorhydrique (12 N). Pour homogénéiser la reprise, on évapore la solution (plaque chauffante, 150° C) puis on reprend par 5 cm³ d'acide chlorhydrique (12 N) et 25 cm³ d'eau déminéralisée bouillante.

La silice insoluble en milieu acide, précipite à l'état colloïdal et Si se sépare des autres éléments qui restent en solution. La solution est filtrée, le précipité siliceux lavé sur filtre à l'eau bouillante (filtre à filtration lente, sans cendres). Le précipité et le filtre sont calcinés à 1 000° C dans un creuset en platine que l'on pèse (masse P₁). Le résidu de la calcination est alors attaqué par de l'acide fluorhydrique qui volatilise Si sous forme de SiF₄. Après une seconde calcination, on pèse à nouveau le creuset (masse P₂). On peut alors calculer, compte tenu du poids d'échantillon prélevé au départ, le pourcentage de SiO₂ dans la roche totale :

$$\text{SiO}_2 \% = 500(P_1 - P_2)$$

Le filtrat ramené à 100 cm³ par addition d'eau déminéralisée constitue la solution d'attaque qui servira aux dosages du calcium, du magnésium, du phosphore, de l'aluminium, du fer total, du zinc, du manganèse et du strontium par absorption atomique; du phosphore par absorption moléculaire.

B. ATTAQUE ACIDE

A 2,00 g d'échantillon, broyé et homogénéisé, prélevés dans une capsule en téflon, on ajoute successivement 10 cm³ d'eau déminéralisée, 20 cm³ d'acide perchlorique (pour l'oxydation de la matière organique), 20 cm³ d'acide fluorhydrique (pour la destruction des réseaux silicatés et l'élimination de la silice sous forme de SiF₄). On laisse agir les réactifs à froid pendant seize heures, puis l'attaque est accélérée sur bain de sable à la température moyenne de 150° C jusqu'à dessiccation complète. Cette attaque est renouvelée une fois sur le gâteau, lui-même repris par adjonction d'acide perchlorique, pour éliminer complètement l'acide fluorhydrique. Après une dernière dessiccation, le résidu solide est repris par de l'eau déminéralisée additionnée de 10 cm³ d'acide chlorhydrique. La solution est jaugée à 100 cm³ par adjonction d'eau déminéralisée et permet le dosage du potassium et du sodium par émission, du titane par absorption moléculaire, des traces par absorption atomique.

C. TRAITEMENT DE LA FRACTION FINE

Le sédiment est broyé, puis décarbonaté par attaque chlorhydrique ménagée (HCl, N/10) afin de restreindre les risques de lessivage des métaux. L'échantillon est soumis à une défloculation par centrifugation et microhomogénéisation. Un piquetage permet ensuite, en application de la loi de Stokes, d'extraire la fraction du sédiment inférieure à 2 μm . C'est sur cette fraction que l'on peut exactement comparer les données de l'analyse diffractométrique des minéraux argileux d'une part et de l'analyse chimique d'autre part. Cependant, la faible quantité de matière disponible par ce mode de séparation peut obliger le géochimiste à regrouper plusieurs échantillons de même composition minéralogique.

III. ÉLÉMENTS ANALYSÉS ET METHODES D'ANALYSE

Tous les échantillons sont systématiquement soumis à l'analyse de vingt éléments ou oxydes. SiO_2 est dosé par gravimétrie, CaO , MgO , Al_2O_3 et Fe total le sont par spectrométrie d'absorption atomique sur une aliquote de l'attaque alcaline, solution également utilisée pour le dosage de concentrations moyennes à fortes de Mn, Zn et Sr. Na_2O et K_2O sont dosés par spectrométrie d'émission sur une aliquote de l'attaque acide. Cette solution sert aussi au dosage colorimétrique de TiO_2 et au dosage spectrophotométrique (absorption atomique) de Li, Ni, Cr, Co, Cu, Pb, V et Cd (Mn, Zn et Sr dans les milieux peu concentrés). Ces analyses sont complétées par la calcimétrie et parfois par le dosage pyrolytique du carbone organique.

A. PARTICULARITÉ DES DOSAGES SPECTROPHOTOMÉTRIQUES

1. ABSORPTION ATOMIQUE

Réalisés en flamme air-acétylène ou protoxyde d'azote-acétylène (Al, V), ces dosages sont faits grâce à trois appareillages successivement utilisés :

- le modèle monofaisceau de type AC.2.20 Bausch et Lomb ;
- le modèle 503, double faisceau, beaucoup plus performant de Perkin-Elmer ;
- le modèle 5 000, entièrement automatisé également de Perkin-Elmer.

En ce qui concerne la méthode de mesure, je me suis référé aux techniques d'étalonnage et d'atténuation des interactions préconisées par Pinta (1971) :

- pour le dosage des éléments majeurs, les solutions d'attaque et les étalons sont dilués dans une solution de base contenant 50 cm^3 d'HCl et 10,90 g de $(\text{K}, \text{Na})\text{CO}_3$ par litre ;
- pour le dosage des éléments, les solutions "étalons" sont réalisées à partir de solutions complexes, synthétisées dès que sont connus les résultats de l'analyse des éléments majeurs. En règle générale, trois ou quatre types de solutions complexes sont effectués : pour les sédiments carbonatés, silicatés et mixtes. Dans tous les cas, les interactions sont atténuées directement par l'adjonction de 1 % de lanthane (sous forme oxydée). Les solutions-mères d'étalonnage sont renouvelées périodiquement à partir de liqueurs "Titrisols" Merck.

2. ABSORPTION MOLECULAIRE

En absorption moléculaire, le matériel initial de type Stand MV (Jobin Yvon) est complété par un appareillage de mesure en continu Perkin-Elmer de type 55 E. TiO_2 et P_2O_5 sont spécialement dosés par cette technique.

Le dosage de TiO_2 s'effectue à partir d'un complexe coloré rouge élaboré par la méthode dite à l'acide chromotropique (Charlot, 1961). Celui du phosphore fait appel à un complexe coloré bleu, obtenu par réduction du phosphomolybdate et extrait par un solvant organique, l'acétate d'éthyle.

3. EMISSION DANS LA FLAMME

Les appareils utilisés en absorption atomique permettent également d'effectuer des dosages par émission dans la flamme. Le potassium et le sodium sont dosés par cette technique. Une aliquote de la solution d'attaque acide sert à ce dosage après avoir été débarrassée de ses ions métalliques par précipitation alcaline (sulfate d'ammonium et solution ammoniacale).



B. REPRODUCTIBILITÉ DES DOSAGES

La reproductibilité est la qualité essentielle qu'une analyse doit présenter lorsque j'aurai à l'interpréter, puisque les raisonnements développés le seront en termes comparatifs. Un degré de reproductibilité n'est valable que pour un élément donné et on trouvera résumé ci-dessous (tableau II) les erreurs de mesure admises dans les conditions standard (échantillons de sédiments marins de types oxydes, carbonates, silicates simples ou complexes) en admettant une optimisation des conditions analytiques.

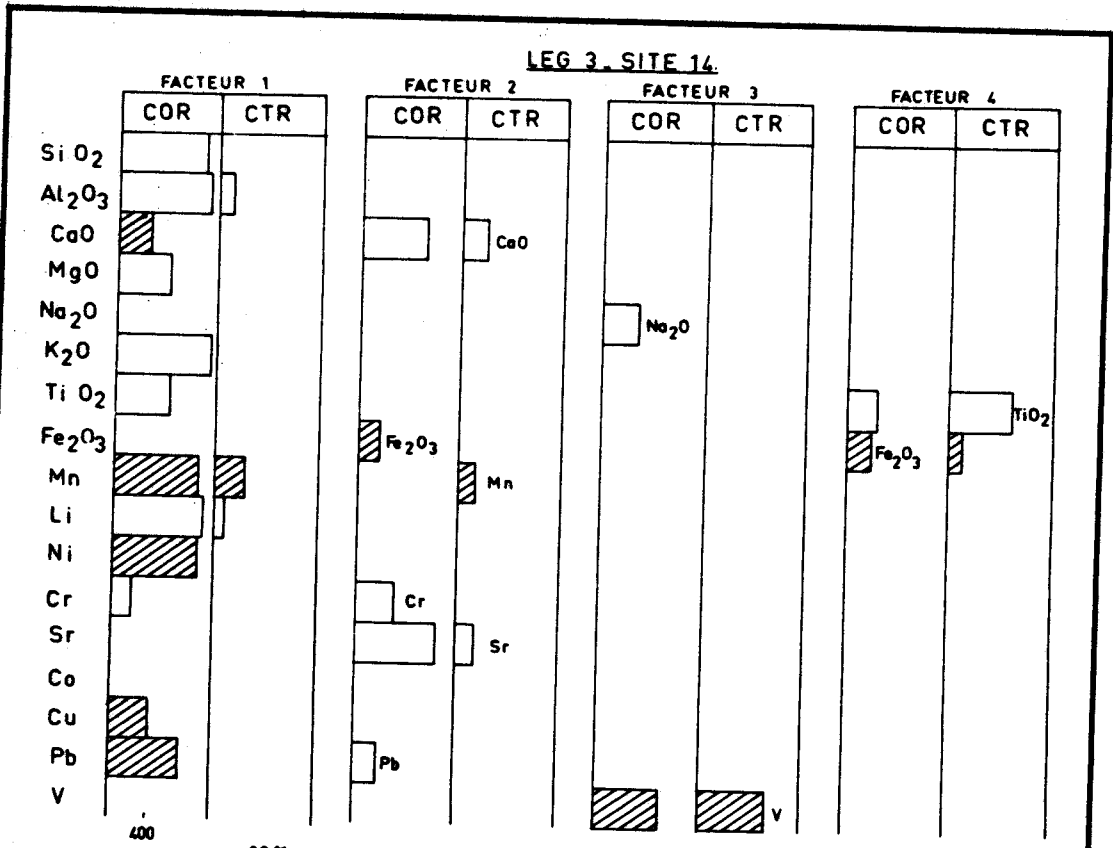
C. TESTS STATISTIQUES

Le nombre des données analytiques disponibles est largement suffisant pour autoriser la recherche statistique de leurs dépendances. La façon la plus simple d'estimer le degré de liaison entre deux éléments est de calculer leur coefficient de corrélation totale, dont la signification est renforcée, suivant le nombre d'observations, par un test de Fischer (Lacroix, 1962) qui précise son taux de probabilité : l'analyse factorielle en mode R (Ben Zecri, 1973a et b) permet d'aller plus loin et de regrouper en facteurs non pas deux, mais l'ensemble des éléments affectés par les mêmes variations et, de ce fait, constituant une même communauté. Une fois ces facteurs réalisés, on peut les définir en leur recherchant des causes

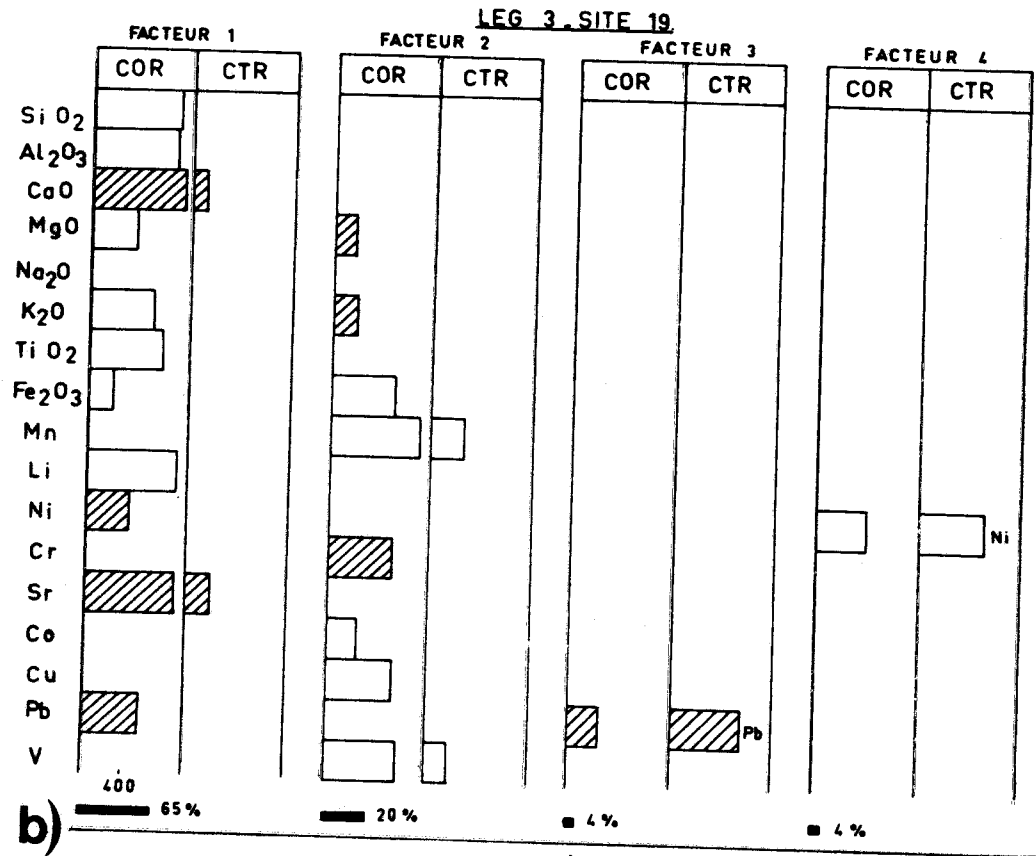
Figure 4 .- Analyse des correspondances, échantillonnage du leg 3 (sites 14 et 19).

	Abscisse des variables > 0	COR \geq 0,200 (corrélation)
	Abscisse des variables < 0	CTR \geq 0,100 (contribution absolue)





a)



b)



Eléments majeurs	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(3)	(3)	(4)
	Al	Fe	Ca	Mg	Si	Na	K	Ti
Reproductibilité de mesure	2 à 3 %	< 2 %	< 2 %	< 1 %	2 à 3 %	2 à 3 %	2 à 3 %	1 %
Eléments traces	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
	Li	Sr	Cu	Zn*	Pb	V	Cr	Mn
Reproductibilité de mesure	5 %	2 à 3 %	6 à 8 %	< 5 %	< 5 %	10 %	< 10 %	< 2 %
								4 %
								4 %

Tableau II : Reproductibilité des dosages réalisés sur les échantillons de sédiments océaniques banals.

- (1) dosage par absorption atomique
- (2) dosage par gravité
- (3) dosage par émission
- (4) dosage par absorption moléculaire

* Le dosage du zinc a été perturbé à plusieurs reprises par des contaminations dues soit aux réactifs, soit au matériel utilisé (verrerie). Ces contaminations sont fréquentes dans le cas du dosage de cet élément (Pinta, 1971, T 2). Cette perturbation des mesures explique l'absence du dosage du zinc dans certains tableaux de résultats chimiques.

minéralogiques et géochimiques. L'utilisation de ces deux types d'analyses statistiques permet de mettre rapidement en évidence quelques types de liaisons ou antagonismes entre éléments ou groupes d'éléments, pratiquement toujours les mêmes. On peut ainsi distinguer :

- la phase silicatée complexe, surtout représentative des argiles et où les liaisons les plus courantes concernent Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 , parfois MgO (figure 4a). Les traces métallifères les plus généralement liées aux argiles sont V et Li ;
- la phase carbonatée calcique où Sr est le plus souvent lié à CaO (figure 4b) ;
- la phase carbonatée magnésienne où MgO est aussi lié à Sr ;
- la phase "métallifère" qui rassemble des éléments tels que Fe, Mn, Ni, Cu, Co sous forme oxydée ;
- la phase réductrice où CaO est lié à Mn ou à Fe.

DEUXIEME CHAPITRE

LES DONNEES GEOCHIMIQUES

I. INTERPRÉTATION DES DOSAGES DE LA ROCHE TOTALE

Les résultats bruts, exprimés en concentrations d'éléments dans la roche totale, permettent de reconstituer le "faciès géochimique" des niveaux analysés. En premier lieu, ils conduisent à préciser le faciès lithologique décrit à bord par les sédimentologues ou lors des études faciologiques ultérieures. En second lieu, ils permettent de participer à la reconstitution du paléoenvironnement océanique, essentiellement par l'interprétation d'anomalies, observées directement ou mises en évidence par des calculs simples. Ainsi, la démarche qui conduit à l'interprétation des analyses géochimiques est double :

- comparer les concentrations d'un élément chimique donné dans divers échantillons de même faciès lithologique en utilisant les données bibliographiques et personnelles ;
- associer les éléments entre eux pour interpréter leur groupement comme un faciès géochimique. Relever ensuite les accumulations et les déficits anormaux par rapport aux mêmes faciès déjà rencontrés en Atlantique Sud.

Aussi, dans le but de détailler pour le lecteur le raisonnement interprétatif suivi à partir des données géochimiques, je préciserai maintenant le comportement général de chaque élément dans les roches sédimentaires, à travers les groupements qui conduisent à la notion de faciès géochimiques. J'insisterai sur l'importance de ces faciès dans les sédiments océaniques

A. LES MARQUEURS DU FACIÈS DÉTRITIQUE

Je retiendrai quatre facteurs principaux qui marquent le comportement chimique du faciès détritique des sédiments.

1. SILICE LIBRE

Dans la roche totale, la mesure d'un fort excès de SiO_2 par rapport aux concentrations généralement rencontrées dans les argiles (rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ voisin de 3 pour les argiles (Deer et al., 1962 ; Boström et al., 1969) laisse pressentir la présence de silice non combinée. Il peut s'agir de silice biodétritique (fraction de quartz détritique par exemple). Ainsi, en Atlantique Sud, le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ permet de pressentir la présence dans la sédimentation d'apports détritiques sous forme figurée.

Nous envisagerons ultérieurement la présence de SiO_2 colloïdale (cherts ou silex) précipitée sur les aires précontinentales, à partir des eaux alcalines issues des continents soumis aux climats hydrolysants, ou de SiO_2 provenant de l'altération de matériel volcanique (verres ou basaltes).

2. ARGILES DETRITIQUES

Dans les faciès sédimentaires marins étudiés, le silicium est généralement combiné à d'autres éléments chimiques et en particulier à l'aluminium, au sodium, au potassium, au titane, parfois au magnésium pour constituer la structure argileuse.

L'appartenance préférentielle des divers éléments chimiques à chacune des principales espèces argileuses peut se déduire aisément d'une représentation sous forme de diagrammes triangulaires aux sommets desquels sont exprimés Al_2O_3 , Fe_2O_3 et MgO (figure 5).

Les relations roche totale/fraction argileuse sur l'analyse exprimée dans la roche totale peuvent être approchées à travers les analyses d'argiles types (tableau III).

Roche	% SiO_2	% Al_2O_3	% Fe_2O_3	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$
ILLITES	50	29	1,5	1,7	0,05
SMECTITES	50	20	0,25	2,5	0,01
BEIDELLITES	50	20	7	2,5	0,35
NONTRONITES	50	20	30	2,5	1,50
KAOLINITES	45	39	0,35	1,2	0,01

Tableau III.- Analyses chimiques moyennes des principales espèces d'argiles (d'après Deer *et al.*, 1962).

Les argiles fibreuses (sépiolites, palygorskites) sont caractérisées par un fort excès de MgO . Les chlorites le sont à la fois par un excès de MgO et de Fe_2O_3 .

Lorsque le pourcentage approximatif d'argile présente dans la roche est évalué (évaluations semi-quantitatives réalisées par analyse diffractométrique sur minéraux orientés), la nature minéralogique de la fraction argileuse conditionne la distribution des éléments chimiques dans

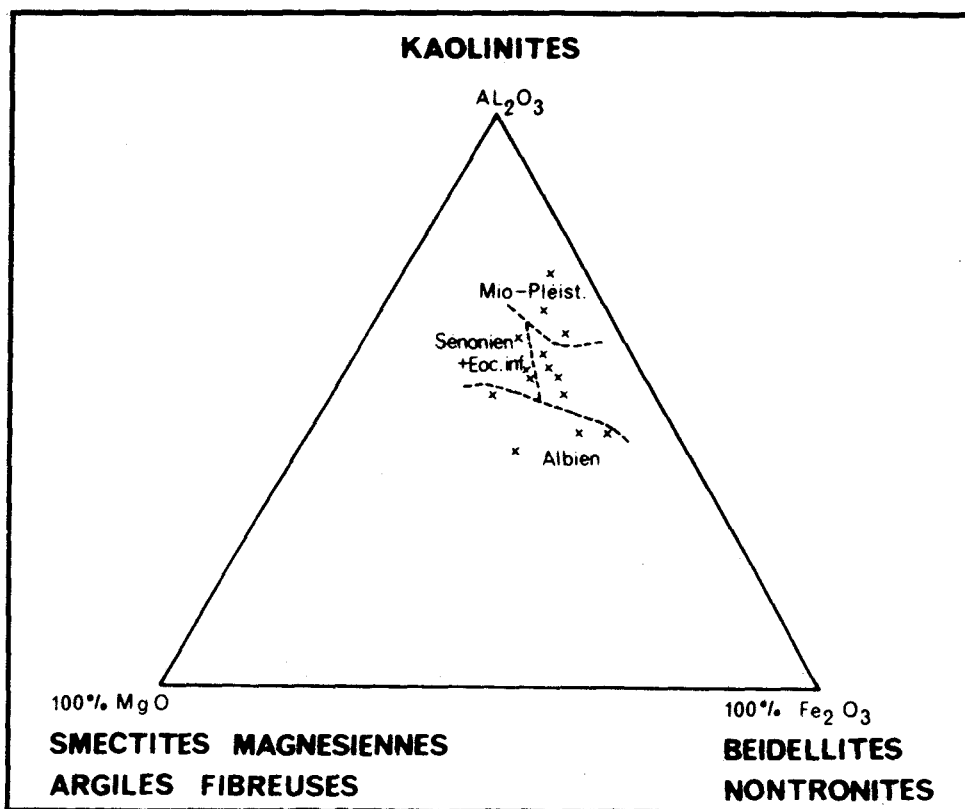


Figure 5 .- Exemple de représentation triangulaire permettant de mettre en évidence les grandes tendances chimiques de la fraction argileuse.

ELEMENTS CHIMIQUES	Li	V	Mn	Cr	Zn	Ni	Cu	Co	Pb	Cd
SHALES	76	120	600	80	90	41	44	19	22	0.8

Tableau IV .- Eléments traces exprimés en p. p. m. dans la roche totale d'après Wedepohl (1978).



		Concentrations exprimées en p. p. m. dans la roche totale				
Type de sédiment	Provenance	Zn	Cu	Ni	Co	Cr
ARGILES MARINES PROFONDES	Atlantique	130	124	70	44	80
	Pacifique Nord	-	320	-	-	-
	Pacifique équatorial	370	740	310	69	-
	Pacifique Sud	-	450	-	-	-
	Indien	-	192	-	-	-

Tableau V .- Variations des éléments chimiques dans les argiles marines en fonction de leur provenance (d'après Wedepohl, 1978, simplifié).

la roche. On voit en effet que la smectite dominante tend à accroître $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ tandis que les valeurs les plus faibles de ce paramètre s'observent pour les dépôts riches en kaolinite. Les sédiments riches en kaolinite présentent une accentuation des taux d'alumine, et en particulier un $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ minimum. En outre, la répartition des éléments traces dans les shales (Wedepohl, 1978) permet de les caractériser géochimiquement (tableau IV).

Des cas de transition existent, ainsi Wedepohl (1978) cite de nombreuses références prouvant la variation des concentrations de certains éléments chimiques suivant l'océan considéré (tableau V). L'importance plus grande des concentrations en éléments de transition provient essentiellement de l'influence dominante volcanogénique (Pacifique) ou détritique (Atlantique), qui marque la sédimentation profonde.

3. TURBIDITES

Une sédimentation autochtone (chimique ou biogénique) peut être fortement perturbée par des venues turbiditiques, essentiellement silicatées, carbonatées ou mixtes. De telles venues peuvent modifier le fond sédimentaire de deux façons :

- la sédimentation autochtone est encore décelable, malgré l'arrivée des turbidites, au travers de la chimie. Elle pourra donc être prise en compte dans la reconstitution du paléoenvironnement océanique ;

- les turbidites calcaires ou silicatées constituent la quasi-totalité de la colonne sédimentaire. Elles masquent la sédimentation autochtone et rendent impossible toute interprétation relative au milieu du dépôt.

4. DEPOTS VOLCANO-DETRITIQUES

Ils sont souvent difficiles à distinguer des altérations *in situ* des basaltes ou des verres volcaniques ; deux schémas peuvent néanmoins s'inscrire dans la chimie du sédiment pour autoriser une distinction dans les dépôts volcano-détritiques :

- Le matériel volcano-sédimentaire d'origine aérienne est, le plus souvent, caractérisé par la présence simultanée de concentrations inhabituelles en magnésium et en fer. Les concentrations résulteraient d'apports de minéraux ferro-magnésiens. Il se distingue des dépôts sous-marins par l'absence de concentrations exceptionnelles en éléments de transition. (L'impossibilité d'une mise en solution de ces éléments excluant leur transfert à partir de l'édifice volcanique émergé).

- Le matériel volcanosédimentaire d'origine sous-marine est généralement caractérisé simultanément par la présence de fer et de magnésium associée à de la silice libre (altération de venue volcanique ou de basaltes en milieu aqueux) et à des concentrations élevées des éléments de transition (altération sous-marine de la croûte océanique).

B. LES MARQUEURS DU FACIÈS BIOGÉNIQUE

Trois principaux faciès biogéniques sont marqués par les variations qu'ils introduisent dans la chimie de la roche totale par le biais de la silice, des carbonates et des phosphates.

1. SILICE BIOGÉNIQUE

La présence importante de radiolaires ou de diatomées dans la sédimentation (essentielle-ment dans les zones de hautes latitudes ou équatoriales) se marque par un excès de SiO_2 ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \gg 4$). Distinguer cette silice biogénique des apports en quartz ou en silice d'altération basaltique nécessite l'examen microscopique du sédiment.

2. CARBONATES BIOGÉNIQUES

Le développement des organismes planctoniques à tests calcaires résulte de bonnes conditions physico-chimiques du milieu (sels nutritifs, oxygénation, photosynthèse, ...) dont les moteurs sont détaillés dans Fairbridge (1966). Après la mort des organismes planctoniques, une grande partie des tests calcaires peut atteindre le fond océanique et s'y accumuler formant une sédimentation riche en CaCO_3 , MgCO_3 . Ce type de sédimentation va se caractériser par un comportement géochimique particulier : CaO et MgO exprimés sous forme carbonatée pourront atteindre au-dessus du N. C. C. (Niveau de Compensation des Carbonates) des concentrations très élevées, diluant considérablement l'effet des autres mécanismes sédimentaires. Les éléments traces qui s'associeront à cette phase majeure sont peu nombreux, voire exceptionnels, on peut citer Sr , Na et Mn . Sr^{++} est en effet piégé dans les carbonates sédimentaires du fait de son isomorphie avec Ca^{++} . Mn^+ peut coprécipiter avec les carbonates de calcium pour former à la

Types de roches	CaO	MgO	Sr
Craie à braarudosphera	50,40 %	0,60 %	1 150 p. p. m.
Boues à nannofaunes et foraminifères	44,20 %	0,80 %	1 400 p. p. m.
Craie marneuse	18,30 %	2,00 %	700 p. p. m.

Tableau VI .- Concentrations moyennes en CaO, MgO et Sr exprimées dans la roche totale. Les âges des roches sont voisins, ce qui permet de supposer un même effet diagénétique.

limite (Michard, 1968) la manganocalcite ou la rhodochrosite (solutions solides). Na provenant de l'eau de mer, abonde dans les sédiments où la solution interstitielle n'est pas expulsée par diagenèse. Na et K peuvent coprécipiter avec l'aragonite (White, 1977).

L'association fréquente de CaO, MgO et Sr est illustrée pour quelques faciès rencontrés en Atlantique Sud (tableau VI) sur les flancs de la dorsale médio-atlantique (Maillot, 1980).

Le strontium lié aux carbonates (Kinsman, 1969 ; Milliman, 1974 ; Veizer, 1977 ; Veizer, et al., 1978) est davantage concentré dans l'aragonite ($\approx 0,95$ % ; Milliman, 1974) que dans la calcite ($\approx 0,14$ %). Le carbonate de calcium est précipité par les organismes, soit sous forme de calcite (foraminifères planctoniques, nannofossiles calcaires), soit sous forme d'aragonite, de calcite magnésienne ou hautement magnésienne instables devant la calcite pure ou faiblement magnésienne (Berner, 1971 ; Milliman, 1974 ; organismes benthiques et Ptéropodes). Ces derniers carbonates, instables, se transforment, pendant la diagenèse, en calcite par dissolution et re-précipitation avec élimination du strontium et formation d'un peu de dolomite (Chave, 1954 ; Sayles et Manheim, 1974 ; Milliman, 1974). Les variations du rapport Sr/Ca à travers une série carbonatée peuvent donc exprimer, entre autres choses, le stade de la diagenèse carbonatée.

3. PHOSPHATES

Leur présence dans les sédiments océaniques s'observe : soit sur les marges où ils reflètent une activité biologique privilégiée par des apports minéraux dus généralement à l'établissement d'upwelling (Lucas et Prévôt, 1975) ; soit dans les sédiments marins profonds (par exemple sous forme de dents de poissons) ; soit encore à proximité des régions d'activité volcanique (Boström, 1969) où leur signification n'est plus biologique.

C. LES MARQUEURS DU FACIÈS MÉTALLIFÈRE

Dans les sédiments marins, outre le fer constitutif des argiles (et particulièrement des smectites : beidellites et nontronites), l'abondance des métaux sous forme d'oxydes présente une très grande importance dans la reconstitution du paléoenvironnement océanique. Sans minimiser le rôle des métaux détritiques dans la sédimentation, la phase métallifère oxydée qui rassemble les éléments de transition (Mn, Fe, Ni, Cu, Co, ...) implique généralement une origine, directe ou indirecte, différente de l'héritage continental (Turekian, 1965 ; Turekian et Imbrie, 1966 ; Boström, 1969 ; Elderfield, 1977, ...). Ceci conduit à envisager le rôle des métallisations résultant d'altérations ou d'émanations volcaniques sous-marines (s. l.) ou le rôle oxydant de certaines masses d'eau.

D. LES MARQUEURS DES FACIÈS VOLCANOGÉNIQUES

Outre les faciès volcanodétritiques déjà évoqués, le lessivage et l'altération de la croûte océanique conduisent à un enrichissement de l'eau de mer en un certain nombre de métaux et spécialement en éléments de transition. Cet enrichissement s'inscrit dans la sédimentation par accentuation des concentrations métalliques par rapport au "fond océanique normal". De plus, les temps de résidence variés (par exemple dix fois plus courts pour Fe que pour Mn) dus essentiellement à des cinétiques d'oxydation différentes (plus lente pour Mn) conduisent à retrouver la localisation de l'apport métallifère.

Les compositions chimiques moyennes des sédiments (clarkes) retenues sont celles proposées par Wedepohl (1978). Les shales marins banals contiennent en moyenne 4,60 % de Fe et 600 p. p. m. de Mn.

Dans certains secteurs océaniques, le phosphore d'origine volcanique, lié au fonctionnement des zones actives, se dépose à proximité immédiate des dorsales (Boström, 1969 ; Maillot, résultats non publiés).

E. LES MARQUEURS DES FACIÈS RÉDUITS

La géochimie de certains éléments est étroitement liée aux variations Eh métriques du milieu. Fixés par précipitation d'oxydes à Eh élevé, ils redeviendront mobiles en milieu réduit.

Dans les milieux réduits, fer et manganèse ont un comportement distinct. Le fer (Fe^{2+}) est rapidement fixé par le soufre issu de la réduction des sulfates marins cependant que le manganèse (Mn^{2+}) est mobilisé plus loin en migrant dans le milieu interstitiel. Lorsque le sulfate vient à manquer, les métaux restants (s'il en subsiste) peuvent précipiter à l'état de carbonates (sidérites, rhodochrosite) si le milieu interstitiel est pauvre en Ca^{2+} (certains black-shales atlantiques proches des dorsales par exemple). Dans ce cas, on passe d'une répartition diffuse du métal à une répartition localisée (discrétisée dans le sens mathématique), des échantillons très riches pourront voisiner avec des échantillons très appauvris (Maillot et Bonte, sous presse). En outre, dans le faciès "black-shales", Vine et Tourtelot (1970) montrent que certains métaux (Zn, Ni, V et Cr) sont préférentiellement concentrés (tableau VII).

ELEMENTS	% C _{org.}	p.p.m. Sr	p.p.m. Ni	p.p.m. Zn	p.p.m. Pb	p.p.m. V	p.p.m. Cr
Concentrations moyennes dans les black-shales	3,20	200	150	300	20	150	100
Concentrations moyennes dans les shales	0	-	70	130	22	120	80

Tableau VII : Concentrations moyennes des éléments chimiques dans les black-shales (d'après Vine et Tourtelot, 1970) comparées à celles des shales d'Atlantique (d'après Wedepohl, 1978).

II. RÉSULTATS OBTENUS À PARTIR DES DOSAGES RÉALISÉS SUR LA FRACTION FINE (< 2 µm) DE CERTAINS ÉCHANTILLONS

Complémentairement à l'étude de la roche totale, celle de la fraction fine permet d'appréhender avec une plus grande précision les variations chimiques liées aux argiles. En effet, la fraction inférieure à 2 µm est le plus souvent dominée par les composants argileux de la roche. La faible quantité disponible de fraction fine nécessite le plus souvent un groupement des échantillons par zone minéralogique. Par comparaison avec le sédiment brut, la fraction fine décarbonatée montre presque toujours une forte augmentation en Fe₂O₃, K₂O, MgO, Ni, Cr, V, Li, parallèlement à celle de SiO₂, Al₂O₃ et TiO₂. En revanche Na₂O, Mn, Sr et Pb diminuent sensiblement en même temps que CaO. Co et Cu présentent un comportement variable.

En d'autres termes, lorsque la roche totale est carbonatée, les éléments liés structurellement aux argiles augmentent en concentrations mesurées, alors que les éléments liés à la phase carbonatée décroissent. L'évolution de Mn est variable : il diminue s'il est partiellement lessivé à partir des oxydes ; il est totalement éliminé lors de l'attaque ménagée s'il est associé aux carbonates ; son comportement est aléatoire s'il se présente sous forme figurée (Chesselet et Lambert, 1977).

Les rapports caractéristiques des silicates et plus particulièrement des minéraux argileux (SiO₂/Al₂O₃, Fe₂O₃/Al₂O₃, MgO/Al₂O₃) sont du même ordre de grandeur qu'ils soient calculés dans la roche totale ou dans la fraction argileuse. Ces rapports, lorsqu'ils sont utilisés sur les résultats de la roche totale, reflètent donc bien les variations des assemblages d'argiles. Ceci constitue une justification de la démarche habituellement suivie, qui consiste à étudier comparativement la géochimie de la roche totale et la minéralogie de la fraction argileuse.

En résumé, l'analyse chimique de la fraction fine apporte des renseignements sur les liaisons (fer) ou les indépendances (manganèse) existant entre certains métaux et la phase silico-alumineuse. D'autres informations sur la dissolution des carbonates ou l'indépendance entre

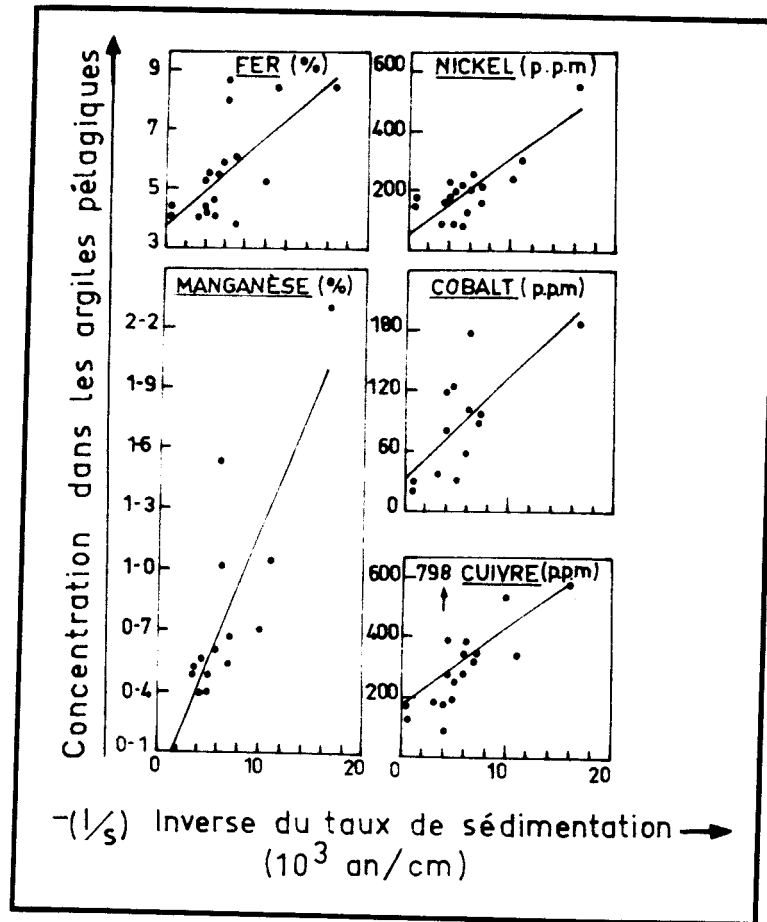


Figure 6 .- Influence du taux de sédimentation sur la concentration de certains éléments chimiques d'après Krishnaswami, (1976).

enrichissements métallifères des zones actives et comportements des argiles se déduisent de la comparaison entre l'analyse de la roche totale et celle de la fraction fine. Elles seront envisagées ultérieurement.

III. LES LIMITES DES CONCENTRATIONS EXPRIMÉES DANS LA ROCHE TOTALE OU LA FRACTION FINE : EFFETS DE MASQUE DE LA FRACTION BIOGÉNIQUE, TAUX DE SÉDIMENTATION

Dans les sédiments marins, les accumulations en fer et manganèse peuvent avoir des causes multiples : détritiques (apports fins ou grossiers), hydrogéniques, biogéniques, volcanogéniques ou diagénétiques (Elderfield, 1977). Il apparaît cependant que les concentrations en fer et en manganèse sont surtout significatives de l'influence des zones volcaniques actives (altération des basaltes ; hydrothermalisme : Turekian, 1965 ; Turekian et Imbrie, 1966 ; Boström et Peterson, 1969, ...). En outre, les sédiments de surface offrent un appauvrissement progressif de ces éléments vers les marges. Ce caractère intéresse particulièrement le manganèse et également d'autres éléments tels le cuivre, le cobalt, le nickel, le zinc et le plomb (Elderfield, 1977). Si les concentrations anormalement élevées des éléments de transition et d'autres métaux permettent de mettre en évidence des gradients chimiques d'ouverture océanique, elles sont souvent masquées par l'importance du taux de sédimentation détritique ou biogénique.

A. EFFET DE MASQUE DE LA FRACTION BIOGÉNIQUE

La sédimentation biogénique masque les phénomènes de métallisation et en particulier les concentrations ferrifères ou manganifères (Turekian, 1965 ; Wedepohl, 1978). On observe souvent que les fluctuations des concentrations métallifères dans la fraction du sédiment "libre de carbonates" sont indépendantes de celles mesurées dans la roche totale.

La "pluie carbonatée ou silicatée" doit donc être extraite par le calcul de l'analyse du sédiment total. C'est ainsi que Turekian et Imbrie (1966) proposent de se référer à une fraction "libre de carbonates". Cette proposition a été reprise par de nombreux géochimistes et je l'applique en diverses occasions dans le présent travail.

B. INFLUENCE DU TAUX DE SÉDIMENTATION

Krishnaswami (1976) a démontré l'influence du taux de sédimentation sur la concentration d'un certain nombre d'éléments. Sans entrer dans le détail, il s'avère (figure 6) que lorsque la vitesse de sédimentation est élevée, l'effet diluant du sédiment atténue les concentrations en certains éléments métallifères. Néanmoins, on peut admettre, en première approximation, que l'évaluation en teneurs relatives des différents éléments permet de s'affranchir de cette influence diluante. C'est ce que je ferai dans l'étude de la roche totale.

En résumé, pour être complète, l'interprétation géochimique devra tenir compte à la fois des concentrations absolues exprimées dans la roche totale et dans la fraction fine, en éliminant les effets de masque de la fraction biogénique ou l'influence du taux de sédimentation.

TROISIEME CHAPITRE

UTILISATION DES RESULTATS EXPRIMES

EN VALEURS RELATIVES

OU EXPRESSIONS NORMEES

I. GÉNÉRALITÉS

De nombreux critères géochimiques ont été testés sur les sédiments de l'Atlantique Sud. Seuls ceux qui présentent une réelle fiabilité d'application au modèle océanique envisagé ont été retenus. Outre les valeurs relatives généralement utilisées dans les travaux de géochimie sédimentaire ($Si^* = SiO_2/Al_2O_3$, $Mg^* = MgO/Al_2O_3$, $Fe^* = Fe_2O_3/Al_2O_3$, $K^* = K_2O/Al_2O_3$, $Na^* = Na_2O/Al_2O_3$) d'autres critères chimiques émanent d'auteurs qui les proposent pour les études géochimiques de sédiments pacifiques ou atlantiques :

- $D^* = Al/Al + Fe + Mn$ préconisé par Boström (1969)

- $Mn^* = \log \left[\frac{Mn \text{ échantillons}}{Mn \text{ shales}} / \frac{Fe \text{ échantillons}}{Fe \text{ shales}} \right]$ modifié d'après un critère crustal (Boström, 1969) par Steinberg et Mpodozis-Marin (1978)

$$II. D^* = \frac{Al}{Al + Fe + Mn}$$

Ce paramètre caractérise l'antagonisme existant entre l'aluminium, peu mobile et continental et les métaux d'origine océanique. En effet, Al est essentiellement associé au matériel détritique terrigène (Boström, 1970 ; Emelyanov, 1977). En revanche, le fer et le manganèse reflètent au moins partiellement l'influence métallifère des zones volcaniques actives ou de zones de sédimentation ralentie. Une influence métallifère importante entraîne une forte diminution de la valeur du paramètre D^* . Lorsqu'au contraire l'influence détritique est importante la proposition précédente s'inverse et D^* est élevée. Dans la pratique, les valeurs relevées en Atlantique Sud s'échelonnent généralement de 0,10 à 0,75.

La valeur de D^* typique des shales continentaux (Boström, 1970 ; Wedepohl, 1978) est de 0,63. Lorsque D^* est nettement moins élevé, son comportement prouve une forte influence métallifère ; lorsqu'il est plus élevé, il témoigne d'apports terrigènes particulièrement intenses.

Ce critère chimique s'applique aux sédiments marins banals de l'Atlantique Sud où l'étude de la fraction fine démontre que viennent s'inscrire dans D^* :

- la nature de l'argile considérée : cet aspect est précieux car D^* présente le même comportement dans la roche totale et dans la fraction fine ;

- les oxydations métalliques liées à l'influence volcanique, difficile à reconnaître par la seule minéralogie des argiles.

Ce critère est fortement amplifié lorsque le sédiment est riche en kaolinites ($D^* > 0,70$). En effet, la nature physico-chimique de ces argiles les conduit à se déposer précocement en mer à la faveur des mécanismes de sédimentation différentielle (Whitehouse *et al.*, 1960).

$$III. Mn^* = \text{LOG} \left[\frac{Mn \text{ ÉCHANTILLON}}{Mn \text{ SHALE DE RÉFÉRENCE}} / \frac{Fe \text{ ÉCHANTILLON}}{Fe \text{ SHALE DE RÉFÉRENCE}} \right]$$

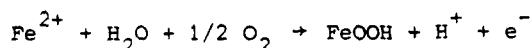
A la notion d'influence détritique vient le plus souvent s'opposer celle d'influence métallifère déjà rencontrée antérieurement. En effet, d'après Krishnaswami (1976) toute concentration d'un élément supérieure à celle des shales de référence marque une origine partiellement authigène du sédiment. A cet effet, la relation Mn^* peut être utilisée. Les données des shales de références ($Mn = 600$ p. p. m., $Fe = 4,60$ %) sont empruntées à Wedepohl (1978) et permettent de simplifier la relation Mn^* et de l'écrire sous la forme :

$$Mn^* = \log \left(76,67 \frac{Mn \text{ échantillon}}{Fe \text{ échantillon}} \right)$$

Dans les sédiments marins et en milieu oxydant, Mn et Fe ont des comportements sensiblement voisins mais peuvent être dissociés par leurs cinétiques d'oxydation : si le phénomène d'oxydation est progressif, Fe précipite bien avant Mn ; ce sont donc des différences dans les variations d'abondance relative de Mn et Fe qui sont, dans ce cas, principalement significatives.

Par ailleurs, en milieu réducteur, Fe^{2+} est rapidement fixé par le soufre issu de la réduction des sulfates tandis que Mn^{2+} s'échappe par la solution interstitielle.

- En milieu oxydant, à proximité immédiate du rift, le fer dissous est rapidement immobilisé par oxygénation selon une réaction de la forme



Dans la relation Mn^* simplifiée, le dénominateur est élevé par rapport au numérateur, et Mn^* décroît jusqu'à des valeurs pouvant être négatives. Mn^{2+} s'oxyde plus lentement, et pour obtenir une oxydation équivalente à celle du fer, il faut atteindre un potentiel oxydo-réducteur deux fois plus élevé dans les conditions standard (Garrels et Christ, 1967).

Donc, à concentration égale, Mn^{2+} se disperse sur une aire géographique beaucoup plus vaste que Fe^{2+} . En outre, comme en milieu oxydant Fe précipite le premier, Mn^{2+} devient prépondérant. Mn^* évolue vers des valeurs franchement positives, parfois supérieures à 1,00.

- En milieu réducteur, Mn est mobilisé sous forme de Mn^{2+} : les concentrations de ce métal dans les sédiments riches en carbone organique sont généralement faibles tandis que le fer demeure piégé sous forme de sulfure insoluble. Aussi Mn^* est presque toujours négative.

A partir des considérations précédentes, le comportement de Mn^* peut être schématiquement résumé de la manière suivante :

$Mn^* < 0$: milieu réducteur ou première phase d'oxydation après enrichissement métallique (en fer et manganèse)

$Mn^* = 0$: milieu normal et typique d'une sédimentation marine "ouverte".

$Mn^* > 0$ ou $\gg 0$: deuxième phase d'oxydation après enrichissement métallique ou accentuation du degré d'oxydation du milieu.

Le seul cas particulier où la relation Mn^* ne s'applique plus est celui où le manganèse est exprimé sous forme de carbonate (rhodochrosite) puisque l'on n'a plus affaire à une réaction d'oxydo-réduction.

IV. $Sr^* = 10^3 Sr/CaO$

Le paramètre Sr^* traduit le comportement relatif de Sr par rapport à la fraction carbonatée du sédiment. Il marque plusieurs types d'évolutions sédimentaires :

- Il peut caractériser l'effet de la diagenèse d'enfouissement sur les carbonates (Bausch, 1968 ; Renard, 1978 ; Chamley et al., 1978 ; Debrabant et al., 1979). La figure 7 représente un exemple de droites de régression de la relation $Sr = f(CaO)$ et leur évolution en fonction de l'âge et de la profondeur du sédiment océanique étudié. Elle illustre la décroissance du strontium des carbonates avec l'âge des sédiments.

- Sr^* peut refléter la composition minéralogique de la fraction carbonatée calcique (Kinsman, 1969 ; Milliman, 1974 ; Veizer, 1974 ; Veizer, 1977 ; Veizer et al., 1978). En effet, Sr est le plus abondant dans les calcites magnésiennes et l'aragonite que dans la calcite *s. s.* La composition du carbonate va donc avoir une influence directe sur la teneur en Sr exprimée dans la roche totale.

- Lorsque l'on s'affranchit des variations liées soit à la diagenèse d'enfouissement, soit à la nature du carbonate en envisageant des ensembles carbonatés de même lithologie, Sr^* est susceptible de confirmer la dissolution et de préciser ses modalités, déjà pressenties par d'autres techniques (Maxwell et al., 1970 ; Van Andel et al., 1977 ; Melquen et al., 1978 ; Le Pichon et al., 1978 ; Berger, 1978) ; ou de faire apparaître les niveaux dissous là où on ne les a pas encore envisagés.

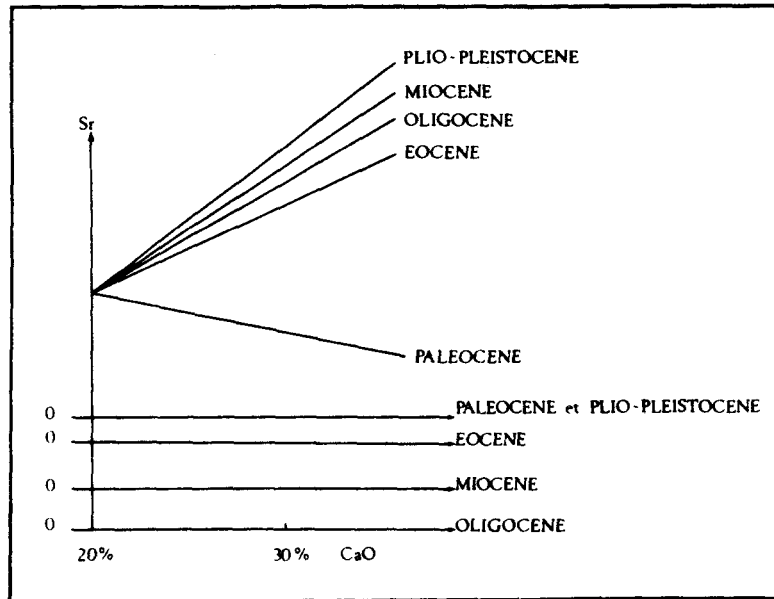


Figure 7 .- Relation $Sr = f(CaO)$ d'après Debrabant (rés. non publ.).

En conclusion, les différents critères chimiques décrits ci-dessus sont discutés en limitant leur domaine d'application au seul Atlantique Sud. Par ailleurs, il est nécessaire de les associer pour envisager une participation à la reconstitution des paléoenvironnements océaniques. Ceci englobe à la fois l'utilisation combinée de ces critères et les concentrations exprimées dans la roche totale ou la fraction fine.

V. UTILISATION COMBINÉE DE CES CRITÈRES POUR LA RECONSTITUTION DES PALÉO-ENVIRONNEMENTS

A. MÉTALLISATIONS EXCEPTIONNELLES : REFLETS DE L'ACTIVITÉ VOLCANIQUE

Une abondance exceptionnelle de métaux, mise en évidence directement ou après suppression des effets de masque (boues carbonatées ou terrigènes), peut indiquer une plus ou moins grande proximité de zones volcaniques actives et s'interpréter en termes d'hydrothermalisme, d'émer-sion ou d'immersion d'ensembles volcaniques ou encore de vitesse d'élargissement océanique.

1. PROXIMITE DE ZONES VOLCANIQUES ACTIVES, HYDROTHERMALISME

Lorsqu'on se trouve dans un océan ouvert, éloigné des sources d'apport terrigène, l'action métallisante des zones actives (par altération des roches basaltiques ou hydrothermalisme) se marque dans la sédimentation par des enrichissements en Fe, Mn, Co, Ni, Cu exprimés dans la fraction libre de carbonates (Elderfield, 1977). En outre, les relations Mn^* et D^* permettent de distinguer deux cas :

- là où D^* est faible et Mn^* négatif, et lorsque la concentration en fer dans la fraction libre de carbonates est élevée, le milieu de sédimentation se trouve au voisinage immédiat de la zone active génératrice des métaux ;

- là où D^* demeure faible alors que Mn^* devient positif, en association avec des concentrations élevées en manganèse dans la fraction libre de carbonates, le milieu sédimentaire s'éloigne de la zone active, mais la sédimentation est encore influencée par cette activité.

L'influence du volcano-hydrothermalisme de la zone active sur la sédimentation disparaît totalement lorsque D^* devient voisin des valeurs typiques des shales détritiques (0,63) et que Mn^* tend vers de plus faibles valeurs.

Ainsi, l'utilisation combinée des paramètres géochimiques Mn^* , D^* et des concentrations métalliques, exprimées dans la fraction libre de carbonates ou dans la roche totale, permet de retrouver dans la chimie du sédiment l'expression de la dynamique d'ouverture océanique.

Dans un contexte marin confiné, là où le milieu est réducteur, la proximité des zones actives se marque moins nettement. En effet, la remobilisation du manganèse rend négative la relation Mn^* . Cependant, lorsque le milieu de sédimentation est éloigné de sources terrigènes, la relation D^* reste faible : le fer se trouvant piégé sous forme de sulfure.

2. EMERSION OU IMMERSION DES ZONES VOLCANIQUES

Lorsque l'altération du basalte se produit dans le milieu marin, c'est-à-dire lorsque l'influence volcanique se traduit par un apport métallifère exceptionnel, de bonnes conditions oxydantes du milieu conduisent à une précipitation des métaux dans la sédimentation, selon le schéma précédemment envisagé.

Lorsqu'au contraire, le volcanisme est sub-aérien ou aérien, il ne semble plus y avoir d'altération directe par l'océan (Robert et Maillot, sous presse ; Debrabant et Chamley, sous presse ; Desprairies, comm. pers.), l'enrichissement en métaux de l'eau de mer et du milieu sédimentaire devient beaucoup plus difficile. Parfois, l'influence secondaire d'un tel volcanisme peut s'inscrire sous forme figurée (volcano-détritique) dans la sédimentation.

3. VITESSE DE L'ELARGISSEMENT OCEANIQUE

En milieu immergé, la chimie de la roche totale permet de traduire la dynamique de l'ouverture océanique. Cependant des perturbations peuvent intervenir : - une augmentation du taux de sédimentation dilue l'influence métallifère de la zone active ; - une variation d'intensité de

l'activité volcanique et hydrothermale se traduit par une variation des concentrations métallifères dans la sédimentation.

Dans le cas le plus favorable où la lithologie et le taux de sédimentation varient peu, si l'activité de la dorsale est constante pendant une longue période, on peut traduire les variations d'amplitude des métallisations en termes de vitesse d'élargissement océanique : plus l'influence persistera, plus l'élargissement sera lent et inversement. La concentration métallifère du sédiment permet ainsi d'évaluer la vitesse d'ouverture océanique.

Les tous premiers stades, durant lesquels la zone de sédimentation s'éloigne des foyers volcaniques, ne sont pas soumis à toutes ces contraintes puisqu'ils se traduisent par le seul accroissement de Mn^{*} lorsque le fer volcanogénique n'arrive plus sur le lieu de la sédimentation.

4. LIMITES D'APPLICATION

En interprétant les métallisations exceptionnelles, j'admets implicitement que l'augmentation absolue ou relative des métaux de transition est le résultat d'une activité volcanique sous marine. En réalité, mon propos doit être nuancé, car deux autres types d'influences peuvent contrarier ce schéma : l'apport des métaux sous forme détritique, le développement et l'accélération des masses d'eau oxydantes. Dans le premier cas, la lithologie du sédiment et la proximité des zones d'alimentation aident à préciser si le contexte est détritique ou non. Le second cas est plus complexe. En effet, une accentuation du pouvoir oxydant du milieu lié à l'établissement ou à la variation d'échanges de courants, peut conduire à une précipitation plus forte des métaux normalement contenus dans l'eau de mer. Les effets enregistrés dans la sédimentation peuvent donc être comparables à ceux occasionnés par l'activité volcanique des dorsales. En réalité, cette indétermination peut parfois être levée car la précipitation concerne avant tout Mn , toujours hypersaturé dans l'océan. Elle jouera donc peu sur D^{*} et se traduira plutôt par l'association d'un indice de détritisme et d'un indice métallifère élevés. Nous envisagerons ultérieurement les mécanismes propres aux oxydations occasionnées par les masses d'eau, en insistant sur les différences avec ceux qui résultent de l'activité du volcanisme sous-marin.

B. APPORTS TERRIGÈNES

L'Atlantique Sud est placé sous influence terrigène élevée. Les sources des apports détritiques sont essentiellement orientales (continent africain) et occidentales (Amérique du Sud). Au Sud, le plateau des Falkland peut jouer un rôle plus modeste dans ce schéma. La géochimie du sédiment permet de retrouver une logique à travers la multiplicité de ces apports en les envisageant sous l'angle : - de proximité des zones d'alimentation ; - de leur signification sur les marges ; - de rajeunissements tectoniques.

1. REFLET DES ZONES D'APPORT DETRITIQUE

Il peut se marquer par une valeur de D^* voisine de celle des shales terrigènes typiques (0,63) ; un accroissement de Si^* lorsque la sédimentation est accompagnée d'arrivées de matériel siliceux, détritique ; une augmentation simultanée de Mg^* et Fe^* lorsqu'il s'agit d'apports volcano-détritiques ; l'accentuation désordonnée des concentrations métallifères (métaux détritiques). Ces comportements peuvent se manifester isolément ou se combiner. Ainsi, en utilisant des critères chimiques voisins de ceux énumérés ci-dessus, Steinberg *et al.* (1977) ; Steinberg et Mpodozis-Marin (1978) font la part de la sédimentation autochtone ou détritique dans les radiolarites et les sédiments hypersiliceux.

2. RELAIS DES INFLUENCES METALLIFERES PAR LE CARACTERE DETRITIQUE

Les concentrations métallifères exceptionnelles caractérisent l'ouverture puis l'élargissement océanique : lorsque $Mn^* < 0$ et $D^* \approx 0,20-0,30$, la colonne sédimentaire se trouve à proximité immédiate de la dorsale ; lorsque $Mn^* \gg 0$ et $D^* \approx 0,30-0,50$, les sédiments sont encore sous influence métallisante de la dorsale, mais celle-ci est plus lointaine ; enfin quand $D^* \rightarrow 0,63$ et $Mn^* \rightarrow 0$, l'influence du volcanisme sous-marin s'estompe totalement et la sédimentation s'effectue sous influence détritique. Cet argument *a contrario*, appliqué à un océan caractérisé par des marges stables, permet de reconstituer les différentes phases de l'évolution de cet océan.

3. RAJEUNISSEMENTS TECTONIQUES

Ils peuvent se manifester soit directement, soit indirectement sur la composition du sédiment. Si le continent voisin se trouve profondément perturbé par un rejeu tectonique, des apports détritiques plus importants concernent directement le site étudié : D^* s'accroît. Si seules les zones péricontinentales sont sollicitées, la composition initiale du sédiment peut être modifiée par des apports d'argiles fibreuses magnésiennes qui fréquemment se développent au Crétacé ou au Cénozoïque inférieur dans les bassins péri-marins. La richesse en magnésium du sédiment peut donc traduire ces événements (accroissement de Mg^* indépendamment de Fe^*).

4. LIMITES D'APPLICATION

Chaque critère géochimique, interprété isolément, présente souvent un comportement ubiquiste. C'est à partir de leur association qu'il faut tenter de reconstituer une part précise du paléoenvironnement. De plus, il est impératif de les replacer dans leur contexte sédimentologique, lithologique et minéralogique défini par ailleurs.

C. OXYDO-RÉDUCTION : MILIEUX CONFINÉS, MILIEUX OUVERTS ET COURANTOLOGIE

Dans les caractères du milieu de sédimentation marine interviennent des conditions physico-chimiques nombreuses, au-dessus et au-dessous de l'interface eau-sédiment, pendant la diagenèse précoce. Parmi ces processus, l'oxydo-réduction régit de nombreuses réactions qui marquent le sédiment : les milieux confinés, les milieux ouverts, où l'évolution des grandes masses d'eau vont ainsi laisser leur empreinte.

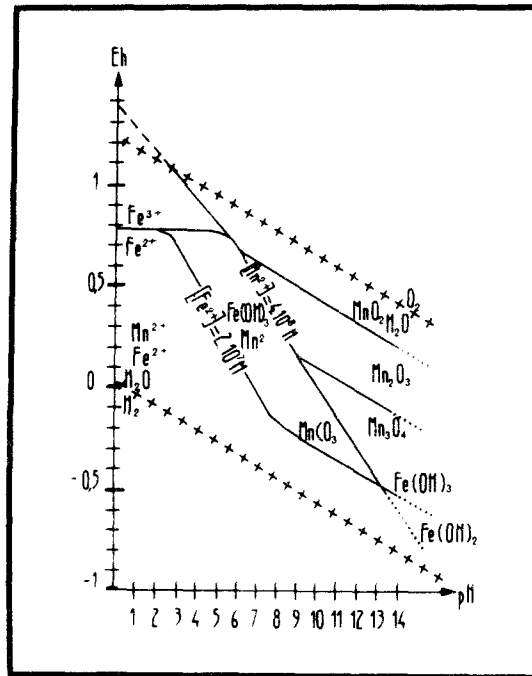


Figure 8 .- Schématisation des domaines de précipitation oxydoréducteur et acidobasique des éléments transitionnels, dans les conditions normales d'après Garrei et Christ, 1976).

1. MILIEUX CONFINES

Dans un milieu confiné, le déficit d'oxygène dissous dans l'eau de mer entraîne la préservation d'une partie de la matière organique, le développement d'un milieu réducteur et la remise en solution des métaux les plus solubles. Le manganèse subit cette remobilisation, tandis que le fer est immédiatement précipité sous forme de sulfure du fait de la réduction simultanée du sulfate marin. Si le pH demeure acide et si le sédiment est dépourvu de Ca^{2+} , l'affaiblissement du Eh peut conduire à la formation de sidérite et de rhodochrosite. Ainsi, le schéma de la figure 8 donne les domaines de précipitation du fer et du manganèse en fonction du pH et du Eh dans les conditions Standard (Garrels et Christ, 1967).

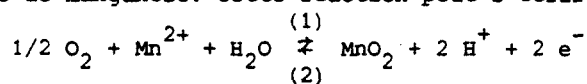
En outre, de nombreux métaux sont concentrés préférentiellement dans les sédiments riches en matière organique (Vine et Tourtelot, 1970). Parmi ceux-ci : Zn, Cu, Ni, Co, Cr et V sont particulièrement abondants, certains de ces métaux étant piégés sous forme de chélates ou d'organoleptiques. De plus, la décomposition de la matière organique dans le milieu anoxique entraîne une production momentanée de CO_2 qui peut déterminer l'attaque des carbonates biogéniques et conduire à un faciès de dissolution dont les mécanismes seront ultérieurement envisagés.

2. MILIEUX OUVERTS

Lorsque le milieu de dépôt est mis en communication avec d'autres milieux, et que les échanges d'eaux sont accentués, le renouvellement continu d'oxygène dissous conduit à la combustion totale de la matière organique et facilite la précipitation d'oxydes métallifères. La quantité d'oxydes précipités est alors essentiellement fonction de la vitesse et de la température des courants ainsi que des apports en éléments dissous dans l'eau de mer (zones volcaniques actives, hydrothermalisme, ...).

3. EFFETS DES COURANTS OU DES MASSES D'EAUX OCEANIQUES

Plusieurs cas peuvent se présenter. Si nous envisageons le rôle d'un courant oxydant sur les métaux dissous dans l'eau de mer en prenant l'exemple du manganèse (métal le plus saturé), Mn précipite en oxyde de manganèse. Cette réaction peut s'écrire sous la forme :



En régime permanent, plus le courant oxydant apporte d'oxygène dissous par unité de temps, plus l'oxydation de Mn est importante, donc plus la concentration de Mn métal dans le sédiment s'élève. Cette précipitation est favorisée par une augmentation de la vitesse du courant qui accroît le débit d'oxygène ou par un refroidissement de ce même courant qui dissout davantage d'oxygène par unité de volume.

Si le courant d'eau est assez fort pour empêcher le dépôt, MnO_2 n'est pas dilué et peut former des "encroûtements". Lorsqu'une ride isismique joue le rôle de barrière, les échanges de masses d'eau entre les deux bassins océaniques vont se faire avec des vitesses plus élevées et celles-ci vont favoriser la précipitation du manganèse.

Schématiquement dans un océan animé d'échanges verticaux et horizontaux importants, les grandes masses d'eaux marines peuvent donc se différencier avec des critères d'oxydo-réduction.

a. MASSES D'EAU OXYDANTES SUPERFICIELLES ET PROFONDES

Lorsque les masses d'eau superficielles sont fortement brassées (dissolution de l'oxygène de l'atmosphère) et sont le siège d'une forte activité du phytoplancton (photosynthèse), elles sont fortement oxydantes. Les eaux profondes sont d'anciennes eaux superficielles issues de zones où leur refroidissement a provoqué l'accroissement de leur densité et leur plongement. En profondeur, elles ne sont plus réduites par l'action biogénique, très faible à ce niveau. Les eaux profondes en circulation sont d'autant plus oxydantes pour un lieu précis qu'elles sont plus froides et/ou plus rapides. En Atlantique Sud, le courant antarctique profond (A. A. B. W.) et le courant nord atlantique (N. A. D. W.) présentent ces propriétés. Généralement tous deux favorisent l'oxydation des métaux et leur précipitation dans le sédiment.

b. MASSES D'EAU RELATIVEMENT MOINS OXYDANTES ("COUCHE A MINIMUM D'OXYGENE")

Les masses d'eau situées à moyenne profondeur sont souvent appauvries en oxygène dissous ("couche à minimum d'oxygène") (Park, 1966 ; Schlanger et Jenkyns, 1976 ; Thiede et Van Andel, 1977). Ce phénomène peut schématiquement s'expliquer par le fait que l'oxygène dissous dans les masses d'eau superficielles (brassage, photosynthèse) est utilisé par la faune ou le phyto-

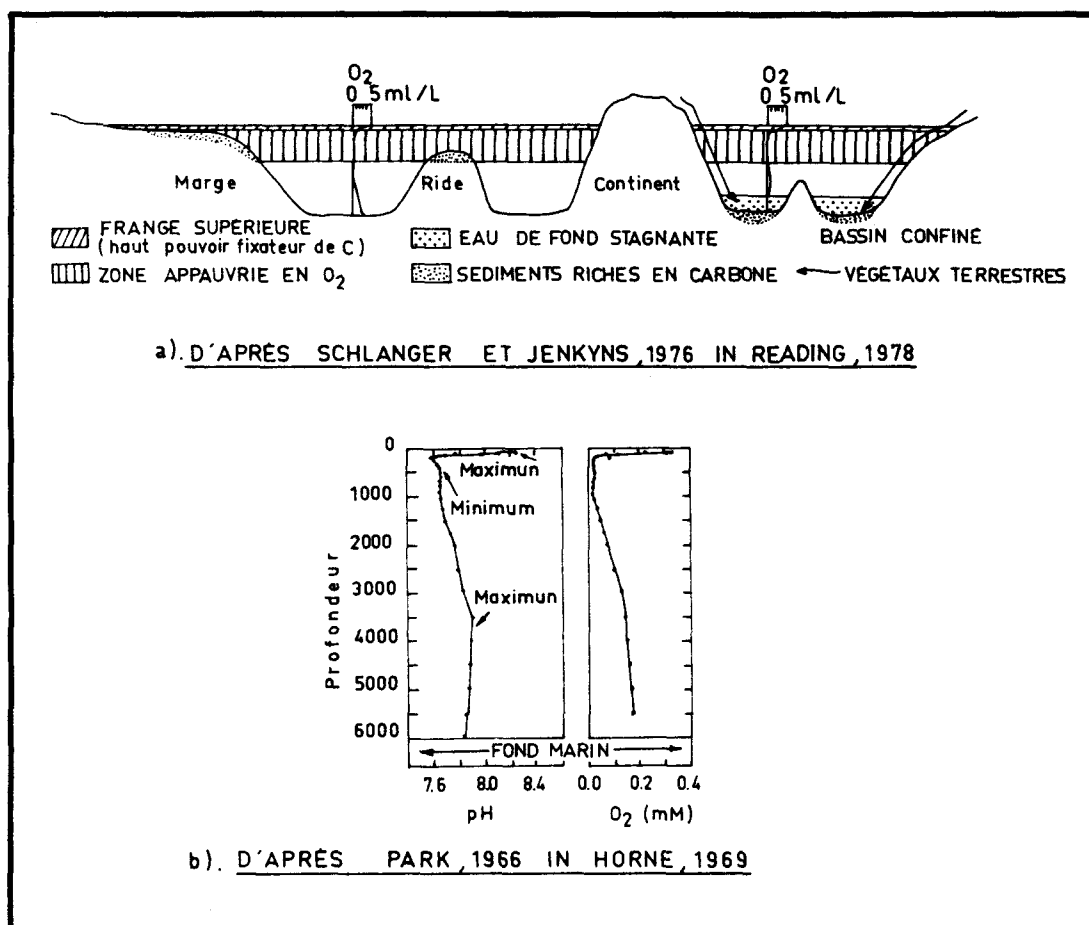


Figure 9 .- Stratification des principales masses d'eau a) d'après Schanger et Jenkyns, 1976 ; b) d'après Park, 1966.

plancton qui abondent en surface ou à quelques dizaines de mètres de la surface.

Les eaux plus profondes (quelques centaines de mètres à un millier de mètres environ - Fairbridge, 1977 ; Park, 1966 ; Thiede et Van Andel, 1977) peuvent ne plus être brassées par des courants océaniques ni être le siège de phénomène de photosynthèse. Aussi, l'appauvrissement relatif en oxygène dissous qui en résulte permet la préservation d'une partie de la matière organique qui provient des cadavres animaux.

Les sédiments qui se déposent au contact de cette frange d'eau (Schlanger et Jenkyns, 1976 ; Thiede et Van Andel, 1977) seront enrichis en carbone organique (figure 9). Ils vont montrer des concentrations en métaux de transition plus faibles car ces éléments sont plus so-

lubles à l'état réduit. Ce comportement direct (absence d'oxydation) ou indirect (remobilisation des métaux) peut se traduire par un déficit métallifère reflété par les valeurs négatives de Mn^* .

4. DIFFUSION DIAGENETIQUE DES METAUX DE TRANSITION

L'importance de l'utilisation des métaux de transition, et en particulier celle du manganèse, nécessite d'évoquer un aspect non négligeable du comportement de ce métal. Berner (1971) et Michard (1971) montrent que les concentrations en Mn peuvent être profondément modifiées sous l'interface eau/sédiment. Sur quelques décimètres, Michard reconnaît trois zones successives qui du haut vers le bas de la colonne sédimentaire conduisent à trois types différents de comportement (figure 10). Dans la zone réductrice créée par la décomposition anaérobie de la matière organique, Mn^{2+} est libéré et passe dans la solution interstitielle qui se concentre. L'application de la loi de Fick montre que Mn^{2+} , libéré en profondeur, remonte par la phase liquide vers la zone d'oxydation moins concentrée où il précipite à nouveau en MnO_2 .

Cette évolution du manganèse dans le sédiment n'est véritablement sensible que si le taux de sédimentation est suffisamment ralenti pour permettre une concentration stratiforme diffuse du MnO_2 précipité.

En fait, plus qu'une limite, elle complète l'action du dépôt direct de Mn^{2+} par les courants et favorise le développement des encroûtements de manganèse dans les zones affectées par des courants rapides et oxydants.

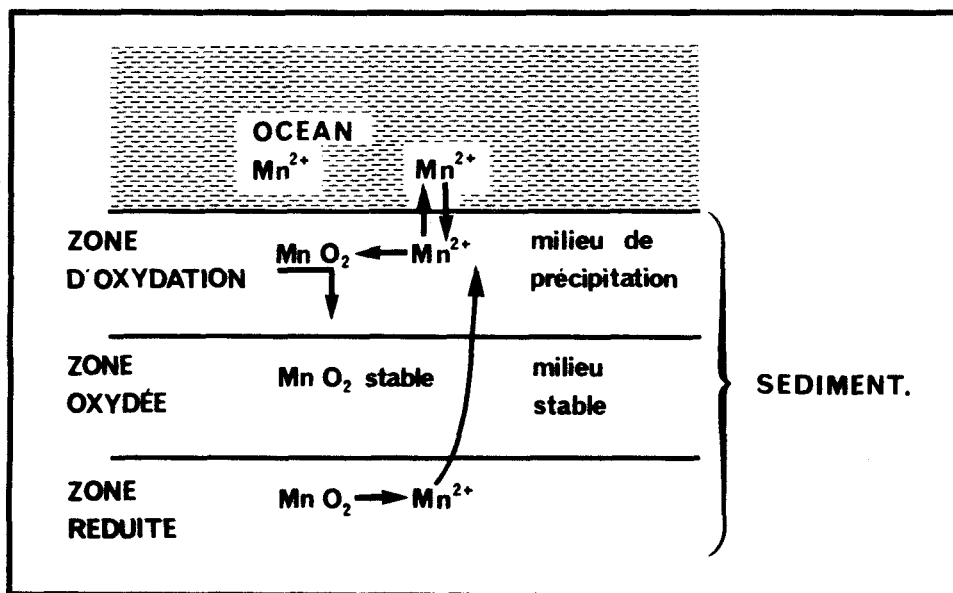


Figure 10 .- Schéma simplifié de l'accumulation du manganèse à l'interface eau-sédiment d'après Michard (1971).

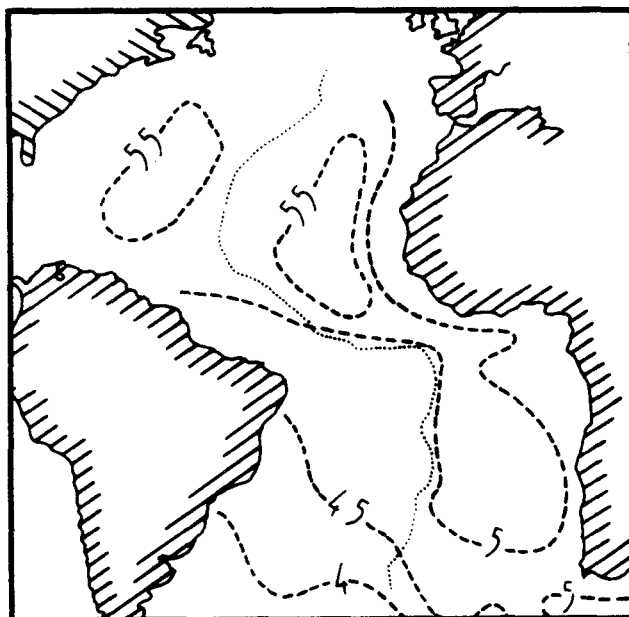


Figure 11 .- Actuelle profondeur du niveau de compensation des carbonates (N. C. C.) en Atlantique (Les profondeurs du N. C. C. sont données en kilomètres).

D. PALÉOPROFONDEUR, CONFINEMENT DU MILIEU ET DISSOLUTION DES CARBONATES

Deux types de dissolution sont à considérer, celle liée à l'approfondissement et celle liée à la diagenèse. Ci-dessous j'envisagerai les critères géochimiques qui permettent une meilleure connaissance de chacune d'elles.

1. DISSOLUTION LIEE A L'APPROFONDISSEMENT

Le terme de niveau de compensation des carbonates "N. C. C." ou "C. C. D." (Calcite Compensation Depth) est introduit par Arrhenius (1952) et précisé par Bramlette (1961) et Berger (1970, 1972, 1974, 1978, ...). Il désigne la profondeur océanique à laquelle il y a compensation entre la vitesse d'apport et la vitesse de dissolution des carbonates. Berger (1970, 1973, ...), Berger et al. (1979) démontrent la présence de lysoclines de profondeurs différentes en fonction des espèces animales ou végétales considérées (lysoclines des foraminifères, des coccolites, ...).

Ces différentes profondeurs d'agression des carbonates sont contrôlées par de nombreux facteurs parmi lesquels : la température des masses d'eau profondes, leur pression et leur concentration en CO_2 , la productivité primaire des masses d'eau de surface, les climats, les quantités d'apports carbonatés.

Le N. C. C. n'est donc pas constant à l'intérieur d'un même océan. Si en Atlantique Sud sa profondeur moyenne est actuellement de 4 500 m, ses variations (figure 11) peuvent atteindre 1 000 m entre deux bassins (bassin d'Angola, bassin du Cap).

En outre, le N. C. C. a varié au cours des temps : à cet égard plusieurs auteurs ont propo-

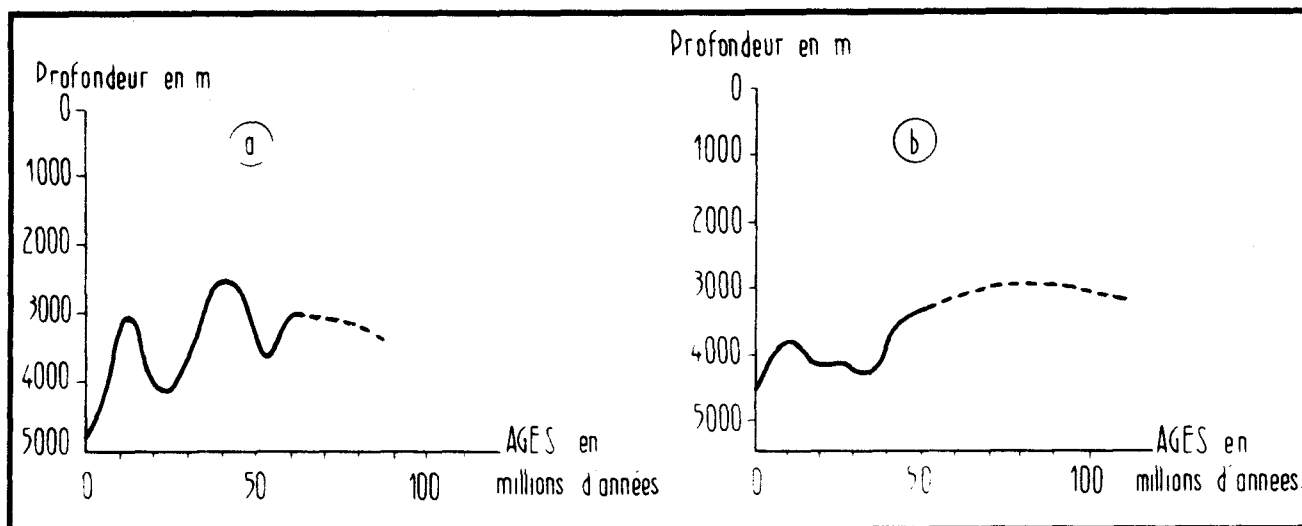


Figure 12 .- Courbes de paléop profondeurs des carbonates a) d'après Melguen et al. (1978b); b) d'après Van Andel et al. (1977).

sé récemment des courbes de paléo N. C. C. basées en partie sur la subsidence thermique (Sclater, 1973). Notons que les variations paléobathymétriques du N. C. C. (figure 12a et b) varient d'un auteur à l'autre. Le paléo N. C. C. permet, si l'on connaît la lithologie des dépôts, de préciser leur paléobathymétrie. De plus, il apporte des indications sur la paléocirculation. Il est donc important de reconstituer avec le maximum d'exactitude les variations spatiales et temporelles du N. C. C. afin de les utiliser dans l'interprétation du paléoenvironnement océanique.

En milieu oxydant, certains critères géochimiques semblent utilisables. A la suite de Turekian (1965), Boström et Peterson (1969), Wedepohl (1970), j'ai précédemment envisagé l'extraction, par le calcul, de la fraction biogénique, permettant de définir les concentrations métallifères accumulées dans le sédiment en excluant l'effet de masque de la "pluie carbonatée". Cet artifice de calcul peut être utilisé également lorsque le sédiment se dépose au-dessous du N. C. C.

La fraction carbonatée biogénique est alors en presque totalité dissoute et les concentrations métallifères exprimées dans la roche totale sont augmentées dans une proportion corrélative. Aussi apparaît-il *a priori*, qu'une accumulation métallifère importante peut être l'expression d'un milieu favorable à la dissolution.

Parallèlement à ce comportement, les éléments liés structurellement à l'édifice carbonaté, et notamment le strontium, peuvent rappeler, au moins localement, l'effet de la dissolution (Turekian, 1964 ; Goldberg et al., 1971 ; Bishop et al., 1977 ; Berner, 1977). J'ai pu constater que, souvent, des valeurs élevées du rapport Sr/Ca correspondent à des milieux fortement dissous. Plusieurs explications peuvent être proposées à cela :

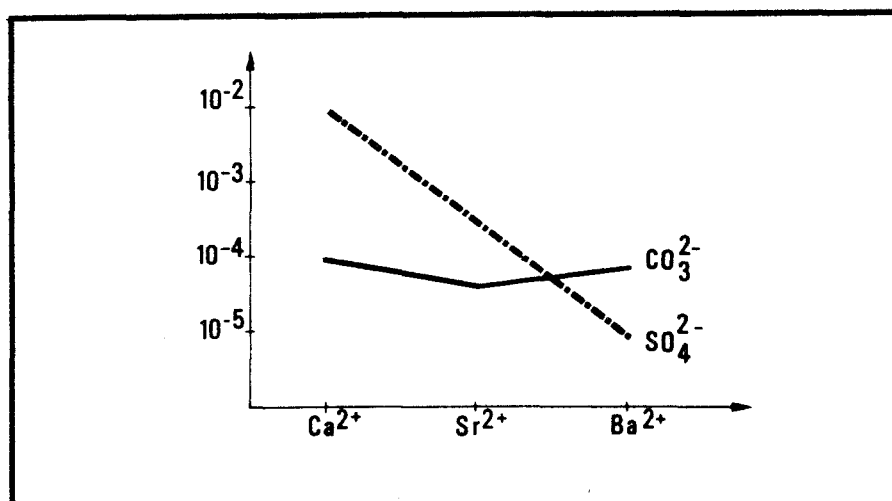


Figure 13 .- Solubilité des sels de Ca et Sr (mole/l de H₂O) d'après Nekrassov (1966).

- Nekrassov (1966) montre que la solubilité du carbonate et du sulfate de Sr est plus faible que la solubilité du carbonate et du sulfate de Ca (figure 13). On peut donc admettre que dans un sédiment partiellement dissous (sous la lysocline mais au-dessus du N. C. C.), le rapport Sr/Ca est plus élevé que dans un sédiment où les carbonates ne le sont pas.

Une autre explication résulte de l'examen du comportement des argiles. Lors de la dissolution des carbonates, Sr semble adsorbé au moins partiellement par la fraction insoluble (mélange essentiellement argileux dans la majorité des cas). J'ai réalisé artificiellement cette dissolution des carbonates par attaque ménagée (HCl, N/10) de sédiments carbonatés biogéniques. Dans ce cas, l'analyse chimique de la roche totale comparée à celle de la fraction fine (< 2 μm) met en évidence le rôle important que joue l'insoluble lors de cette dissolution.

Tout se passe comme si le strontium exprimé sous forme carbonatée dans le sédiment intact était en partie piégé par les argiles de l'insoluble résultant de cette dissolution expérimentale. Pratiquement, les deux explications proposées paraissent pouvoir s'appliquer sans grandes variations depuis le Crétacé supérieur. En effet, pour la période considérée, la concentration du strontium dans l'eau des océans ne semble pas avoir subi de modification sensible (Turekian, 1964).

En résumé, l'augmentation des valeurs de Sr^{*} pourrait caractériser la dissolution partielle (lysocline) ou totale (N. C. C.) d'un sédiment carbonaté biogénique. Généralement, cette évolution de Sr^{*} devrait s'accompagner d'une accentuation des concentrations métallifères.

2. DISSOLUTION LIEE AU CONFINEMENT SYNSEDIMENTAIRE

Lorsque le sédiment est riche en matière organique, le CO_2 produit par altération de ce matériel peut rendre l'eau interstitielle agressive vis-à-vis des carbonates du sédiment. La dissolution de confinement synsédimentaire et celle liée à la profondeur ont parfois été confondues. Or leurs significations dans la reconstitution du paléoenvironnement sont totalement différentes puisque l'une peut indiquer une paléoprosfondeur tandis que l'autre reflète le confinement du milieu sédimentaire (qui est naturellement indépendant de la profondeur). Le premier phénomène est bathymétrique, l'autre diagénétique.

La géochimie du sédiment permet de caractériser les niveaux dissous par confinement synsédimentaire. En effet, le strontium libéré par cette dissolution est en grande partie piégé par la fraction non carbonatée et particulièrement par les argiles. La conservation de Sr et la décroissance de Ca qui passe en solution interstitielle conduisent à accentuer fortement Sr^* . En outre, les métaux piégés par la matière organique (Zn, Ni, Cu, ...) s'associent à l'élévation de Sr^* pour caractériser le milieu et la dissolution qui en résulte (Vine et Tourtelot, 1970).

3. APPLICATIONS ET LIMITES

Le comportement du critère Sr^* , comparé à celui d'autres métaux concentrés par oxydation lorsqu'on se trouve dans les faciès "profonds", remobilisés ou précipités à l'état de sulfures par réduction lorsqu'il s'agit de dissolution synsédimentaire, conduit à envisager quatre possibilités :

- a. Sr^* est voisin du rapport typique du carbonate biogénique considéré, la métallisation est atténuée : le sédiment n'a subi aucune dissolution.
- b. Sr^* montre une valeur légèrement plus élevée que celle qui caractérise le milieu carbonaté biogénique de référence : généralement, ce type d'évolution marque une dissolution partielle de la fraction carbonatée. Une partie du CaCO_3 a subi la dissolution (l'aragonite par exemple) mais Sr est resté piégé dans le sédiment et le rapport Sr/Ca croît légèrement.
- c. Sr^* est davantage enrichi par rapport au milieu carbonaté biogénique de référence et les métaux sont simultanément concentrés : cette évolution marque une forte dissolution due à la hauteur d'eau (sous le N. C. C.). Sr issu de la dissolution serait piégé par l'insoluble.

Dans les trois cas précédents, la dissolution s'effectue dans le milieu marin dans lequel Sr peut se disperser. La fraction de Sr piégée par l'insoluble sera faible, voire nulle : en effet, la lente descente des éléments carbonatés (animaux ou minéraux) subira une agression lente mais totale de la part du milieu aqueux. Carbonates et métaux passeront alors complètement en solution et le déséquilibre entre Sr et Ca ne s'inscrira plus dans la chimie du sédiment.

- d. Sr^* est très fortement développé et varie corrélativement avec Zn, Ni, Cu, ... et une remobilisation de Mn dans un milieu confiné. Les critères chimiques caractérisent une dissolution liée à la diagenèse en milieu réducteur. Sr peut être fortement adsorbé par les argiles puisque la dissolution s'effectue dans le sédiment lui-même.

Ce schéma en quatre points présente des limites qui sont essentiellement contrôlées par trois facteurs :

- l'origine du matériel carbonaté et sa concentration en Sr ;
- la recristallisation diagénétique des carbonates ;
- les apports strontianiques d'origine volcanique.

Ainsi, la présence du carbonate sous forme aragonitique enrichit fortement le sédiment en Sr (Kinsman, 1969 ; Milliman, 1974 ; Veizer, 1977 ; Veizer et al., 1978). Lorsque le carbonate est exprimé sous forme calcitique, cet enrichissement est plus faible.

Par ailleurs, la nature minéralogique du carbonate se traduit par l'amplitude du rapport Sr/Ca. La recristallisation diagénétique des calcites magnésiennes et aragonitiques sédimentaires se manifeste par la diminution progressive de Sr^* en fonction de l'âge et de l'enfouissement du sédiment carbonaté (Debrabant et al., 1979). Enfin, le strontium peut provenir de l'altération sous-marine des basaltes tholéitiques (Wedepohl, 1978). Le rapport isotopique $^{87}Sr/^{86}Sr$ permet alors de différencier ce type d'apport du strontium biogénique.

En conclusion, le rapport Sr/Ca, s'il permet de caractériser le type de dissolution des carbonates, peut être perturbé par l'un ou l'autre des facteurs évoqués ci-dessus. Cependant, il sera possible de tenir compte de leur influence en vérifiant les variations lithologiques des carbonates, en éliminant l'effet diagénétique par le calcul et en déterminant par d'autres paramètres (métallisations) la limite des effets volcanogéniques sur la sédimentation.

On peut donc s'attendre à ce qu'en milieu marin oxydant et profond (sous le N. C. C.), Sr soit le plus souvent totalement dissous dans le milieu aqueux : Sr^* caractérisera alors uniquement le comportement du Sr lié à l'insoluble. Par contre, lorsque la dissolution n'est pas complète, Sr^* permettra de préciser ce début de dissolution. En outre, il sera un bon indicateur de la dissolution synsédimentaire des carbonates en milieu réducteur.

TROISIEME PARTIE

EXEMPLES D' APPLICATION

EXPRESSION DES PRINCIPAUX ASPECTS

DU PALEOENVIRONNEMENT MARIN

EXEMPLES D'APPLICATION, EXPRESSION DES PRINCIPAUX ASPECTS DU PALEOENVIRONNEMENT MARIN

PREMIER CHAPITRE

PREMIERS STADES DE LA SEDIMENTATION OCEANIQUE

Les grandes lignes de l'interprétation des données géochimiques sédimentaires étant précisées, j'insiste maintenant, au moyen de quelques exemples, sur le rôle que la géochimie minérale peut jouer dans la reconstitution des principaux facteurs de l'évolution paléocéanographique : premiers stades de la sédimentation océanique, passage continent/océan, période de réduction océanique, oxygénation et mises en communications de bassins, effets des courants, dissolution des carbonates, élargissement océanique et influence du continent.

I. PREMIERS STADES DE LA SÉDIMENTATION OCÉANIQUE (RIFTING) EN MILIEU RÉDUCTEUR : L'ÉPISODE SÉDIMENTAIRE ALBIEN-SANTONIEN DU BASSIN D'ANGOLA

A. LOCALISATION DU SITE

Foré sur le flanc nord de la ride de Walvis lors du leg 75 (Hay, Sibuet *et al.*, sous presse) en bordure méridionale du bassin d'Angola (figure 14), le site 530 (A + B) a pour coordonnées 19°11.26'S ; 9°23.15'E. Il se trouve immergé sous 4 629 m d'eau et recoupe une série sédimentaire s'échelonnant de l'Albien au Pléistocène.

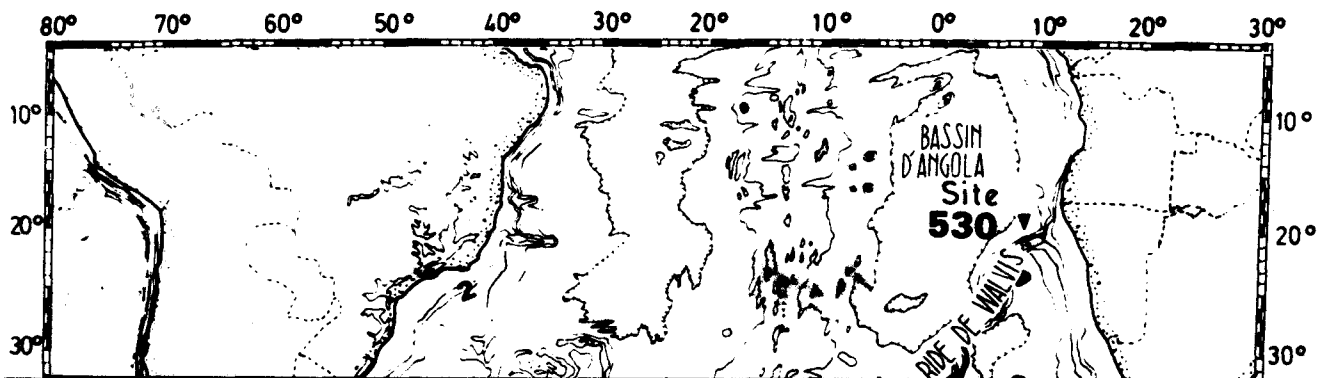


Figure 14 .- Localisation du site 530 (leg 75) d'après Hay, Sibuet *et al.* (sous presse).

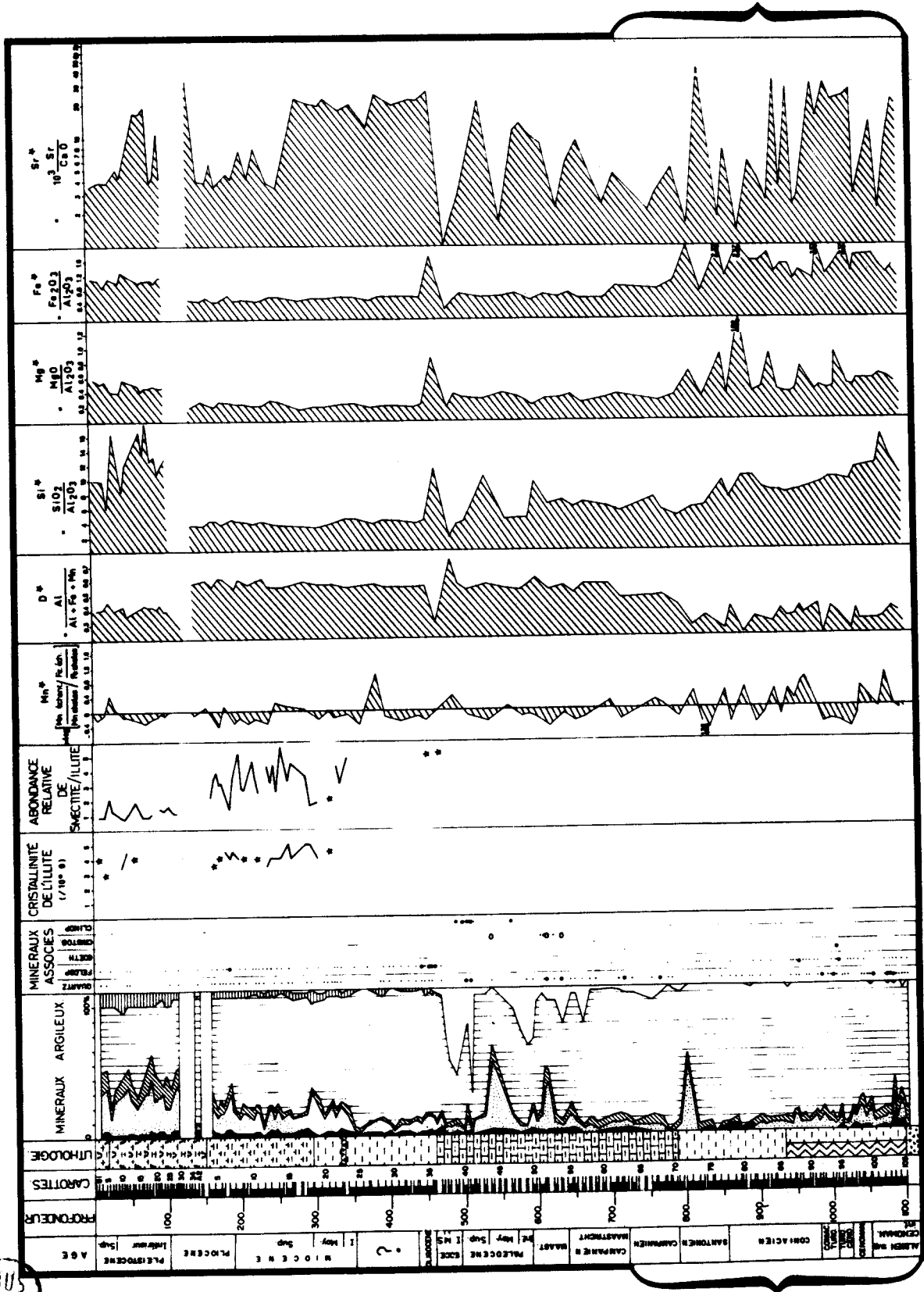


Figure 15 .- Site 530, leg 75, lithologie (d'après Hay, Sibuet et al., sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Maillot et Robert, sous presse b).

B. LITHOLOGIE

L'épisode sédimentaire Albien-Santonien recouvre des basaltes à petits cristaux contenant des veines et lentilles de calcite (Hay, Sibuet et al., sous presse). De l'Albien supérieur au Coniacien inférieur, les sédiments sont composés d'argiles vertes et de marnes alternant avec des niveaux d'argillites noirâtres. La lithologie détaillée de ces niveaux est étudiée par Deroo et Herbin (sous presse). Du Coniacien supérieur au Santonien supérieur, l'intervalle sédimentaire comporte des sables glauconieux, des argiles bariolées, des silts et des grès.

C. DONNÉES GÉOCHIMIQUES

La figure 15 montre de fortes fluctuations des données géochimiques utilisées. De l'Aptien supérieur au Coniacien, les critères chimiques qui traduisent l'évolution du milieu expriment le caractère silicaté ($57\% \text{ SiO}_2$) de la série opposée à la rareté du carbonate de calcium ($2,60\% \text{ CaO}$; tableau LVI, en annexe). Les concentrations en éléments majeurs et traces suggèrent un milieu globalement réducteur (accumulation de Zn, Cu, Ni, Pb, V et Cr; remobilisation de Mn). L'analyse des critères exprimant les variations relatives ou normées des composants minéraux (Mn^* , D^* , Si^* , Mg^* , Fe^* et Sr^* , figure 15) montre de nettes fluctuations positives et négatives des valeurs de Mn^* caractérisant l'instabilité des conditions oxydo-réductrices du milieu sédimentaire. D^* est en moyenne faible (0,34), ce qui marque l'influence volcanique de la proximité de la zone d'accrétion de la croûte océanique, Fe et Mg^* sont relativement élevés (respectivement 1,55 et 0,48) et traduisent la présence de matériel volcano-sédimentaire. Enfin, la forte valeur de Si^* (9,95) et sa décroissance régulière de l'Aptien vers le Coniacien pourraient caractériser la diminution progressive avec la distance des effets de l'altération des basaltes.

Du Santonien au Campanien, la série devient plus calcique ($10\% \text{ CaO}$), les métallisations fluctuent fortement de part et d'autre de zéro : $\text{Mn}^* = 0,11$ dans le Santonien, $\text{Mn}^* = 0,06$ dans le Campanien. Les valeurs de D^* s'accroissent : 0,31 dans le Santonien ; 0,43 dans le Campanien (elles deviennent voisines de 0,60 au passage Crétacé-Tertiaire).

L'influence volcanique, bien qu'amoindrie, est encore perceptible jusqu'au passage de la carotte 64 à 62. Ensuite, les valeurs de Si^* (5,71), Mg^* (0,37) et Fe^* (1,09) décroissent beaucoup. A partir du Campanien supérieur, l'homogénéité du faciès se traduit dans la géochimie par une grande constance des critères chimiques utilisés.

D. INTERPRÉTATION

L'influence volcanique est très forte depuis la base de la colonne sédimentaire (Albien) jusqu'au Campanien. Elle décroît progressivement de la base vers le sommet et se marque au travers de l'évolution de D^* , Mg^* , Fe^* et Si^* .

Si^* , Mg^* et Fe^* d'origine volcanogénique marine sont antagonistes de Al^* détritique continental et s'associent à Mn^* .

Les venues détritiques intenses apportent Al, réduisent Mn et produisent la dissolution synsédimentaire des carbonates.

D* fluctue étroitement avec les argiles primaires. Il montre bien la rythmicité des apports continentaux dus aux saccades de l'ouverture océanique. Cette rythmicité se répercute sur le potentiel oxydo-réducteur synsédimentaire et les à-coups de la dissolution des carbonates.

Ainsi, malgré la mobilisation de certains métaux et la proximité des sources terrigènes, le voisinage de la zone active conduit à accumuler de fortes quantités de fer dans les sédiments. En conséquence, D* et Mn* diminuent.

Ce type de comportement des éléments chimiques n'est pas isolé, mais s'observe aussi sur différents forages effectués en Atlantique Nord (Debrabant, comm. pers.).

II. PREMIERS STADES DE LA SÉDIMENTATION OCÉANIQUE EN MILIEU OXYDANT

On distinguera deux cas selon que le centre d'élargissement océanique est émergé ou immergé.

A. INFLUENCE DES ÉMISSIONS VOLCANIQUES SUBAÉRIENNES : LA PARTIE SUD-OUEST DE LA RIDE DE WALVIS AU CAMPANIEN-PALÉOCÈNE

1. LOCALISATION DU SITE

Le site 525 foré sur la partie haute du compartiment structural de la ride de Walvis (Rabinowitz, Moore et al., sous presse) est localisé au point de coordonnées 29°04.24'S ; 02° 52.12'E (figure 16). Il est recouvert par 2 477 m d'eau et traverse une série qui s'étend du Campanien au Pléistocène.

2. LITHOLOGIE

L'ensemble Campanien-Paléocène est composite. Les intercalations sédimentaires campaniennes dans les passées basaltiques sont constituées par des calcaires marneux, des schistes non

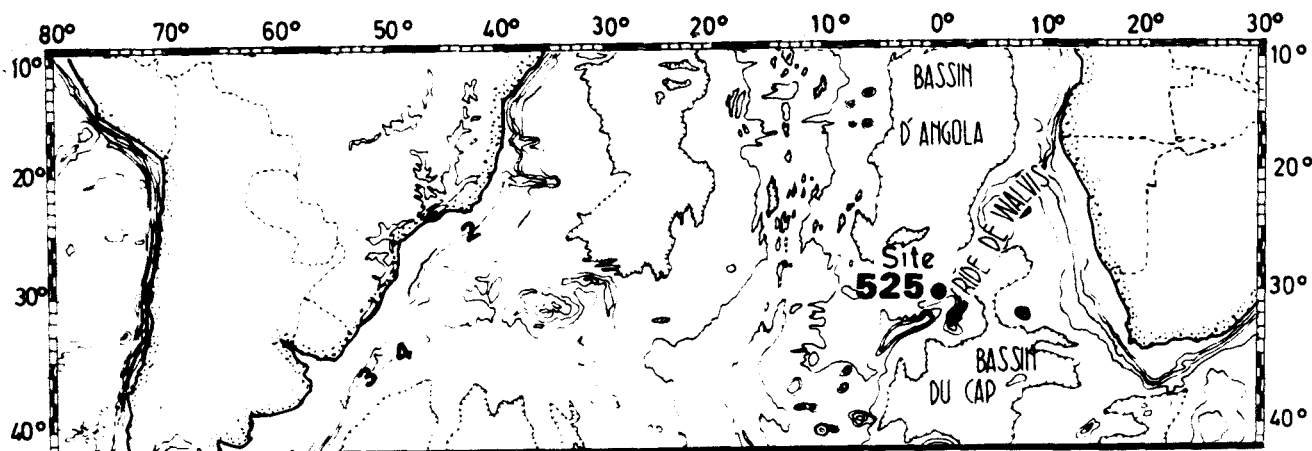


Figure 16 .- Localisation du site 525 (leg 74) d'après Rabinowitz, Moore et al. (sous presse).

calcaires, d'éléments volcanogéniques et de porcellanites (Rabinowitz, Moore *et al.*, sous presse). La série qui s'étend du Campanien supérieur au Maestrichtien montre une sédimentation cyclique : alternance de bancs de craie, de grès calcaireux et de calcaires gréseux et marneux. Les sédiments paléocènes sont formés de boues carbonatées.

3. DONNEES GEOCHIMIQUES

Les concentrations en fer et manganèse exprimées dans la roche totale sont faibles : Mn = 1 000 p. p. m., $Fe_2O_3 = 3 \%$ (tableau LII, en annexe). En outre, les valeurs de Mn^{*} (0,33) sont faibles alors que celles de D^{*} sont élevées (figure 17). Si ces premières valeurs ($Mn^{*} = 0,30$) s'observent souvent à proximité des dorsales, elles témoignent généralement d'une augmentation des concentrations en fer dans la roche totale. Cette augmentation ne s'observe pas dans le cas présent. Ainsi, contrairement aux différents résultats obtenus dans d'autres environnements volcaniques proches d'une dorsale immergée, aucun enrichissement métallifère ne semble s'inscrire dans la géochimie des sédiments.

4. INTERPRETATION

Ces résultats conduisent à envisager deux hypothèses :

- soit le centre d'ouverture océanique, et par conséquent la zone des émissions basaltiques, était éloigné du lieu des dépôts sédimentaires ;
- soit les conditions physico-chimiques du milieu ne permettaient pas la mise en solution et la concentration des métaux issus de l'altération basaltique et par la suite leur précipitation dans les sédiments en cours de dépôt.

La première de ces deux hypothèses peut être immédiatement réfutée, contredite par la proximité du sédiment et des basaltes (cf. lithologie).

La seconde hypothèse suppose, pour être retenue, une évolution volcanique à l'air libre (dorsale émergée par exemple). Elle serait le résultat de plusieurs effets. Si l'émergence favorise le drainage, la percolation et l'apport dans la sédimentation marine voisine d'importantes quantités d'argiles-smectites bien cristallisées dans le cas présent (Maillot et Robert, sous presse b) - elle exclut un contact direct du basalte et de l'eau de mer.

Comme l'abondance de Fe et Mn dans le sédiment semble pour l'essentiel résulter de l'altération du basalte par l'eau de mer, une position émergée de la croûte océanique excluerait cette altération.

Les faibles concentrations en Fe et Mn mesurées dans la roche totale, et surprenantes pour une sédimentation proche d'une dorsale, seraient donc le résultat à la fois de l'absence de l'altération basaltique en phase aqueuse et de l'effet diluant du taux de sédimentation ; résultant de l'abondance du matériel argileux.

L'évolution aérienne ou subaérienne d'une dorsale s'inscrirait dans la sédimentation marine voisine à la fois par un taux de sédimentation élevé, un matériel argileux abondant souvent composé de smectites bien cristallisées et des concentrations faibles en éléments de transition.

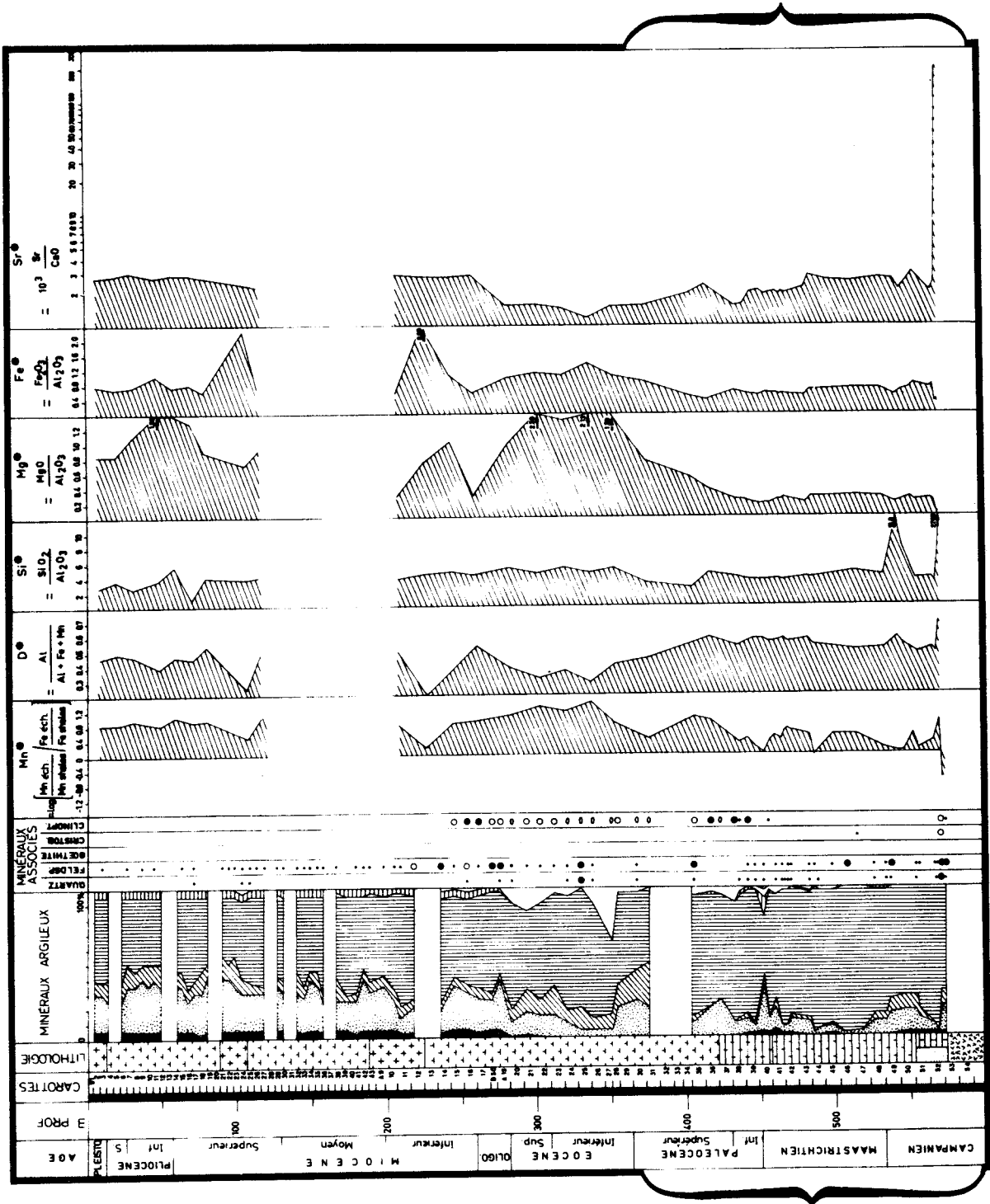


Figure 17 .- Site 525, leg 74, lithologie (d'après Rabinowitz, Moore et al., sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Maillot et Robert, sous presse a).

BUS LILLE

Cette hypothèse est en accord avec les résultats obtenus en Atlantique Sud par Robert, avec ceux de Desprairie (comm. pers.). Elle conduit à proposer l'émergence du site 525 au Campanien en accord avec les conclusions de Rabinowitz, Moore et al., (sous presse).

B. INFLUENCE DES ÉMISSIONS VOLCANIQUES SOUS-MARINES

A nouveau, deux cas peuvent se présenter : la colonne sédimentaire s'accumule au milieu d'un océan déjà ouvert, ou, au contraire, la sédimentation s'effectue à proximité d'un ensemble continental.

1. SITUATION OCEANIQUE FRANCHE : EXEMPLE DE LA SEDIMENTATION EOCENE DU BASSIN DU BRÉSIL

a. LOCALISATION DU SITE

Foré lors du leg 3, le site 19 se trouve sur l'extrémité méridionale du bassin du Brésil (Maxwell et al., 1970). Il est localisé en $28^{\circ}32.08'S$; $23^{\circ}40.63'W$. Il se trouve immergé sous 4 200 m d'eau et traverse une série qui s'étend de l'Eocène moyen au Pléistocène.

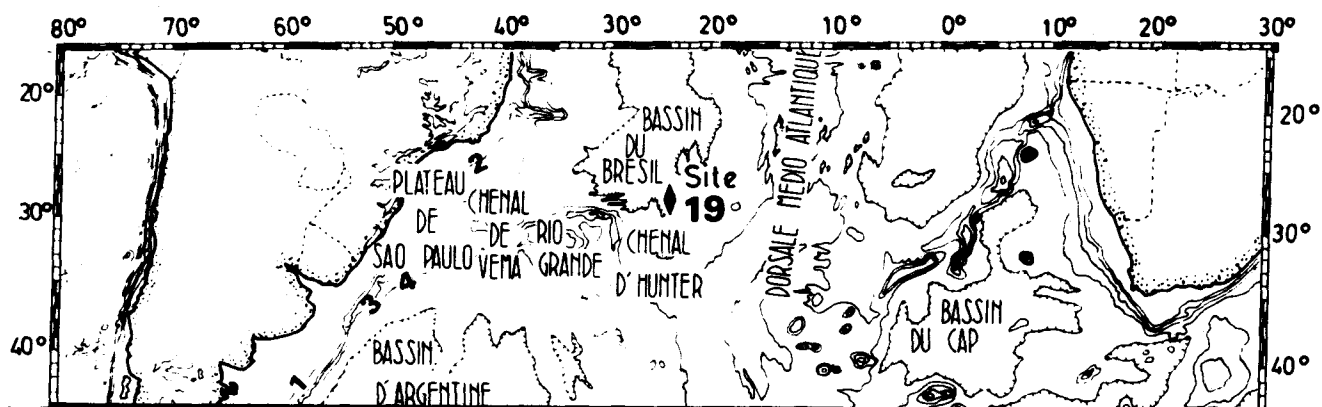
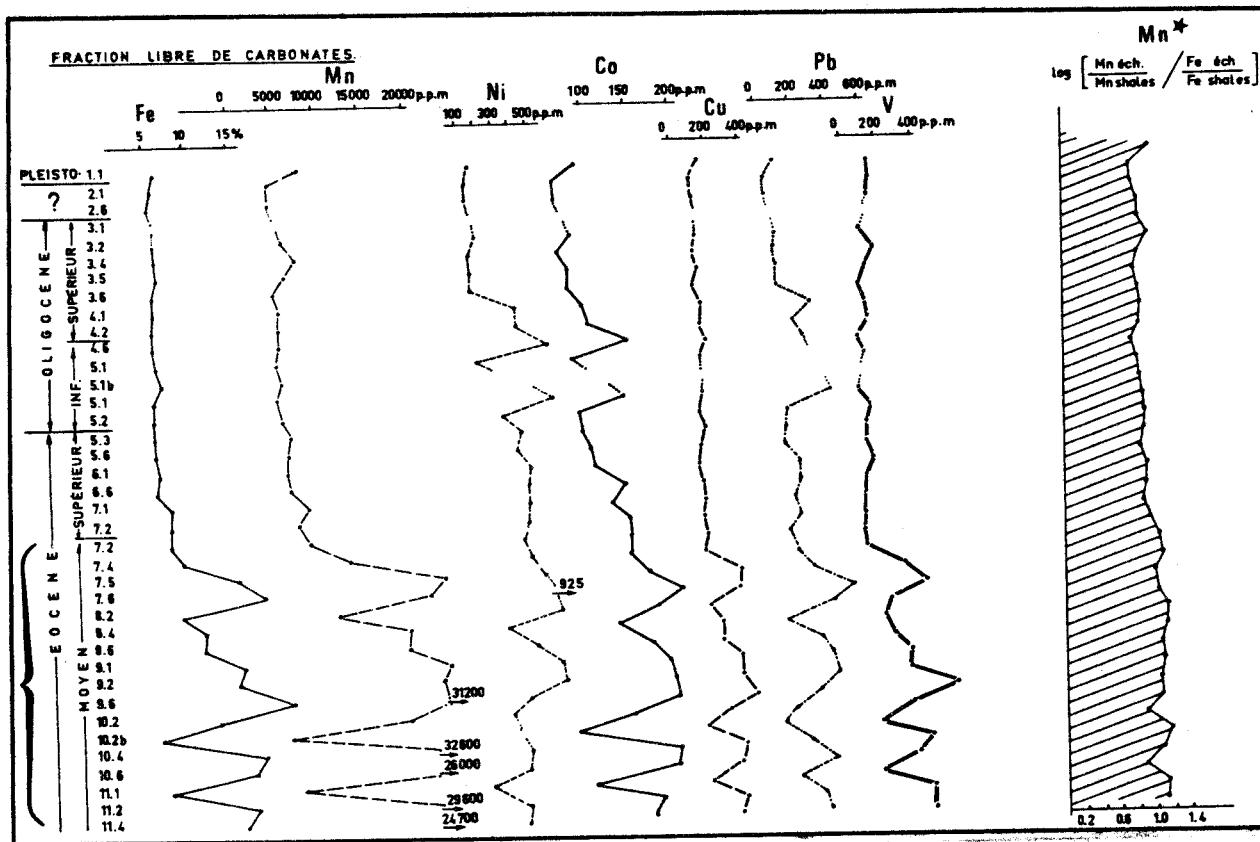


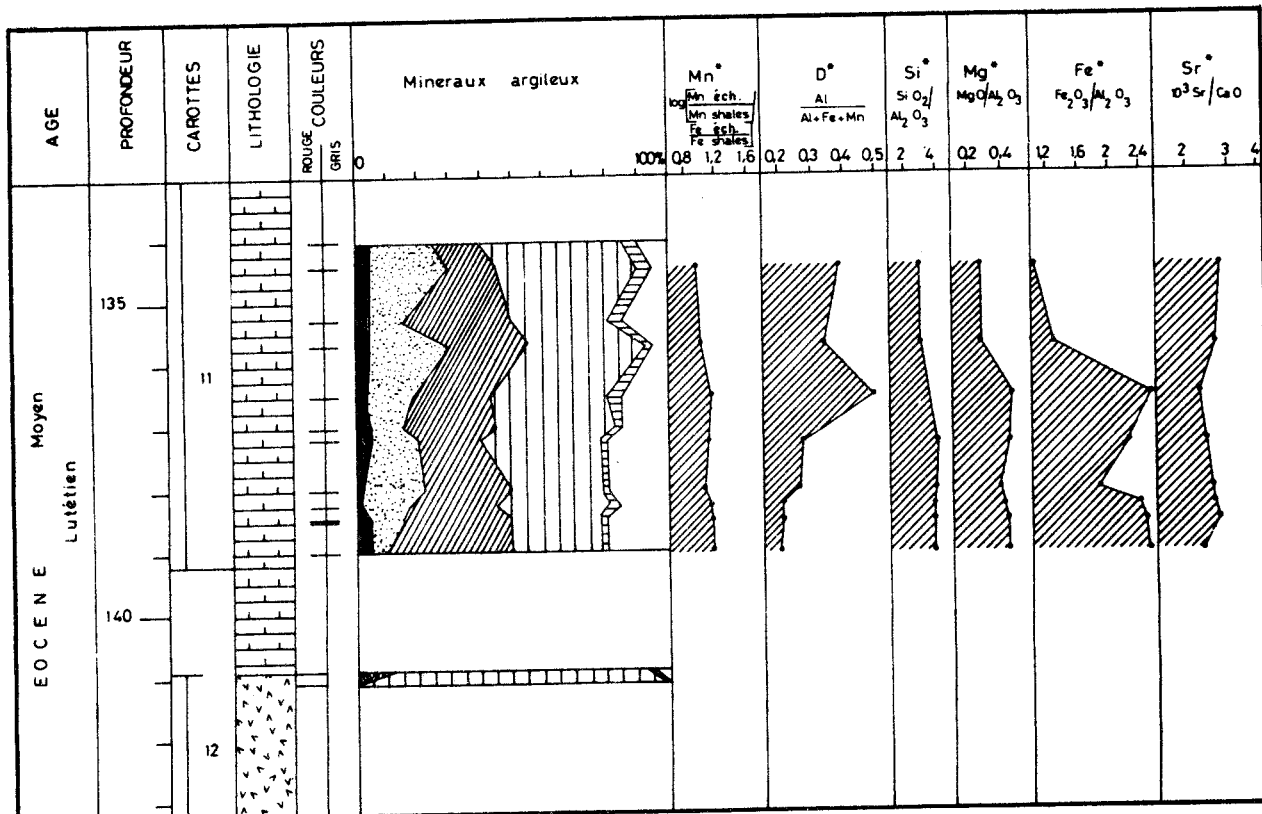
Figure 18 .- Localisation du site 19 (leg 3) d'après Maxwell et al. (1970).

b. LITHOLOGIE

Recouvrant un socle constitué de basalte vésiculaire traversé de veines de calcite, les premiers sédiments d'âge lutétien (carottes 11 à 9) sont composés de craies à nanfossiles. La partie sommitale de l'Eocène moyen et l'Eocène supérieur (carottes 8 à 5) sont constituées par une alternance irrégulière de craies et de marnes à nanfossiles et contiennent des zéolithes vers le sommet (Maxwell et al., 1970). Le contact volcano-sédimentaire s'effectue dans la carotte 12 entre un basalte superficiellement altéré et un sédiment cuit. A 1,60 m au-dessus, la carotte 11 contient une craie brune à nanfossiles également d'âge éocène moyen.



a)



b)



Figure 19 .- Evolution des critères chimiques dans les sédiments du site 19 (leg 3). a) Fraction libre de carbonates et Mn* sur l'ensemble de la colonne sédimentaire, b) détail du contact basalte/sédiment. (Les analyses d'argiles sont figurées d'après Robert, 1982)

c. DONNEES GEOCHIMIQUES

L'ensemble sédimentaire éocène moyen et supérieur est l'objet de deux séries d'analyses chimiques :

- analyse de la roche totale (tableau XXXIII, en annexe).
- analyse de la fraction fine (tableau LXIV, en annexe).

Elles sont susceptibles de caractériser le sédiment ainsi que l'importance relative et les limites géographiques des influences qui président à sa formation : les résultats des deux types d'études sont donnés séparément avec leurs interprétations, puis on propose une interprétation globale.

a) analyse chimique de la roche totale

L'évolution des sédiments du site 19 a pu être étudiée pendant une durée stratigraphique importante (Eocène-Oligocène) (Maillot et Robert, 1980). En outre, l'étude des niveaux proches du basalte a permis d'effectuer la comparaison avec les horizons équivalents des sites 355, 20, 15 et 14 (Maillot, résult. non publ.). Dans le détail, les premiers sédiments recouvrant le basalte (fig. 19b) montrent respectivement des valeurs de Mn^* et D^* reportées comme suit :

Carottes	Mn^*	D^*
11.2.120		
à 11.1. 43	0,98	0,37
11.4. 47		
à 11.3. 47	1,10	0,33
11.4.148		
à 11.4. 73	1.15	0.21

La valeur de Si^* (3,63) est proche de celle des argilites banales (Boström, 1969) ; enfin Sr^* (2,55) caractérise un sédiment carbonaté marin ayant subi une diagenèse normale.

On remarque que, sur l'ensemble de l'Eocène moyen, Mg^* et Fe^* fluctuent simultanément. Les teneurs en éléments de transition dans la fraction libre de carbonates (figure 19a) varient de façon synchrone jusqu'au sommet de l'Eocène moyen (carotte 7.4) et montrent généralement une forte accentuation, qui s'atténue ensuite dans les séries plus récentes.

β) interprétation des analyses chimiques de la roche totale

L'évolution des sédiments analysés (carottes 11.6 à 7.2) présente des caractères francs : l'influence métallifère de la dorsale proche, sur la sédimentation, décroît de la base vers le sommet. Ce comportement des métallisations s'accompagne d'un accroissement du caractère détritique. En fait, l'influence volcanique se présente sous deux formes : hydrothermale (mise en solution dans l'eau de mer des métaux provenant de l'altération des basaltes) ; volcanodétritique (éléments apportants un supplément de fer et de magnésium).

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette évolution :

- les variations d'amplitude de l'activité volcanique, en particulier la diminution de cette activité à partir de l'Eocène supérieur, engendrent des influences métallisantes d'amplitude différente sur la sédimentation ;

- l'élargissement océanique provoque l'éloignement de la colonne sédimentaire de la dorsale : la diminution des métallisations reflète cet éloignement ;

Age	N° d'échantillon fraction fine	Carottes et échantillons D. S. D. P.
Eocène supérieur et moyen	FF.1	7.1. 59
		7.2. 57
		7.2.148
		7.4. 42
Eocène moyen	FF.2	7.5. 98
		7.6.148
		8.2.148
		8.4. 57
Eocène moyen	FF.3	8.6.146
		9.1. 98
		9.2.148
		9.6.124
		10.2. 49
Eocène moyen	FF.4	10.4.149
		10.6. 47
		11.1.108
		11.2. 73
		11.4.125
Eocène moyen	FF.5	11.1.143
		11.2.120
Eocène moyen	FF.6	11.3. 47
		11.3.120
		11.4. 47
Eocène moyen	FF.7	11.4. 73
		11.4. 97
		11.4.148

Tableau IX : Niveaux analysés.

- la vitesse d'ouverture océanique croît brutalement à partir de l'Eocène supérieur et conduit à un éloignement rapide des sédiments par rapport à la zone d'alimentation métallifère.

Ces hypothèses reprises ultérieurement permettront de retrouver la logique d'ouverture et d'élargissement océanique. Toutefois, notons dès à présent l'importance de l'influence des zones volcaniques actives sur la sédimentation et leur enregistrement indiscutable dans la géochimie du sédiment.

γ) analyses chimiques sur la fraction fine

J'ai entrepris l'analyse chimique de la fraction fine en regroupant certains niveaux présentés dans le tableau IX. Ce regroupement est rendu indispensable par la faible quantité de fraction < 2 μm obtenue pour chaque échantillon.

On trouvera dans le tableau X, les moyennes des analyses chimiques de la roche totale et les résultats obtenus sur la fraction fine (décarbonatée).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn
	%	%	%	%	%	%	%	%	p.p.m.
R.T.	7.02	2.03	44.42	0.68	0.94	0.64	0.12	2.83	3 032
F.F.	45.95	12.90	1.21	2.94	0.62	3.04	0.58	17.00	1.95
	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.
R.T.	251	7	54	23	1 174	20	35	41	46
F.F.	373	49	154	68	97	88	177	116	143

Tableau X : Roche totale (R.T.) et fraction fine (F.F.).

. Comparaison des résultats moyens des analyses de la fraction fine et de la roche totale :

Un certain nombre d'éléments sont liés structurellement aux argiles ou sont plus généralement compris dans la fraction inférieure à 2 μm (tableau X). Ce sont : SiO₂, Al₂O₃, MgO, K₂O, TiO₂, Fe₂O₃, Mn, Li. Pour partie, d'autres éléments sont associés à cette phase : Zn, Ni, Cr, Co, Cu, Pb et V. La quantité de chaux liée aux argiles est, dans le cas présent, d'environ 1,20 %. La disparition du carbonate entraîne celle du strontium. Enfin, le potassium est lié à la fraction fine ; ce n'est pas le cas du sodium, à moins que cet élément ne soit lessivé lors de l'attaque ménagée.

. Comparaison entre fraction fine et fraction libre de carbonates

Je compare les données de l'analyse de la fraction fine (< 2 μm) avec les résultats exprimant la fraction libre de carbonates, obtenus sur les moyennes des résultats de l'analyse de la roche totale (tableau XI).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
F.L.C.	47.60	13.70	-	4.61	6.37	4.34	0.81	19.19	2.03
F.F.	45.95	12.90	1.21	2.94	0.62	3.04	0.58	17.00	1.95
	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.
F.L.C.	1 700	48	366	156	7 960	136	238	278	312
F.F.	373	49	154	68	97	88	177	116	143

Tableau XI .- Comparaison entre le calcul des fractions libres de carbonates (F. L. C.) déterminée sur les moyennes de la roche totale (tableau X) et les moyennes des concentrations obtenues expérimentalement sur la fraction fine (F. F. ; < 2 µm).

Les teneurs en SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Mn et Li sont identifiables, ce qui prouve leur appartenance à la fraction à la fois insoluble et la plus fine du sédiment. Ces éléments auront tendance à se concentrer préférentiellement lors de la dissolution des carbonates.

MgO et K₂O, assez voisins dans les deux cas, sont néanmoins légèrement ubiquistes. Une part de MgO carbonaté est mise en solution par l'attaque ménagée de la fraction fine où se situe une classe granulométrique inférieure à 2 µm (ferro-magnésiens par exemple), ainsi qu'une part de K₂O (feldspaths par exemple).

. Comparaison des résultats exprimés en valeurs relatives ou normées :

Un certain nombre de résultats donnés en valeurs relatives ou normées (tableau XII a et b) sont identiques ou très voisins, qu'ils soient exprimés dans la roche totale ou dans la fraction fine : $Mn_{R.T.}^* = 1,06$, $Mn_{F.F.}^* = 1,07$; $D_{R.T.}^* = 0,34$, $D_{F.F.}^* = 0,34$; $Si_{R.T.}^* = 3,45$, $Si_{F.F.}^* = 3,59$. Ce comportement confirme que la phase oxydée est presque essentiellement liée à la fraction fine (Mn^{*}) et que le caractère détritique (D^{*}) marque bien le comportement de cette fraction fine. En outre, Si^{*} exprimé dans la roche totale caractérise surtout la composition de la fraction fine. D'autres critères présentent un comportement différent, suivant qu'ils sont exprimés dans l'une ou l'autre fraction. $Fe_{R.T.}^* = 1,55$, $Fe_{F.F.}^* = 1,37$; $Mg_{R.T.}^* = 0,35$, $Mg_{F.F.}^* = 0,23$. Cette diminution de Fe^{*} et Mg^{*} lorsque l'on passe de la fraction fine à la roche totale montre qu'une partie du magnésium est liée aux carbonates et qu'une partie du fer se rencontre dans les fractions granulométriques supérieures à 2 µm.

Echant.	Mg*	Fe*	Mn*	D*	Sr*	Si*
F.F.1	0,23	0,70	1,02	0,49	5,71	3,31
F.F.2	0,21	0,93	1,09	0,41	9,38	3,49
F.F.3	0,26	1,58	1,13	0,29	10,36	3,57
F.F.4	0,23	1,41	1,16	0,31	9,75	3,31
F.F.5	0,18	1,06	1,07	0,38	4,34	3,46
F.F.6	0,25	1,79	0,94	0,27	7,05	4,10
F.F.7	0,25	2,13	1,11	0,23	7,31	3,86
\bar{M}	0,23	1,37	1,07	0,34	7,70	3,59
Ecartstypes	$\pm 0,03$	$\pm 0,50$	$\pm 0,07$	$\pm 0,09$	$\pm 2,23$	$\pm 0,29$

a)

1	0,28	0,65	0,93	0,51	2,96	2,93
2	0,33	1,16	1,08	0,36	2,69	3,13
3	0,34	1,51	1,08	0,30	2,56	3,37
4	0,36	1,66	1,10	0,28	2,58	3,94
5	0,28	1,17	0,98	0,37	2,74	2,98
6	0,45	2,20	1,10	0,33	2,42	4,00
7	0,43	2,47	1,15	0,21	2,56	3,81
\bar{M}	0,35	1,55	1,06	0,34	2,64	3,45
Ecartstypes	$\pm 0,07$	$\pm 0,63$	$\pm 0,08$	$\pm 0,09$	$\pm 2,23$	$\pm 0,29$

b)

Tableau XII .- Comparaison des résultats exprimés en valeurs relatives ou normées : a) dans la fraction fine (F. F.); b) dans la roche totale (R. T.). Leg 3, site 19.

6) interprétation des analyses géochimiques réalisées sur la roche totale et sur la fraction fine

L'analyse de la fraction fine, exprimée individuellement ou comparée à celle de la roche totale, permet d'apporter un certain nombre d'informations nouvelles sur le comportement du sédiment en contact avec le basalte ou immédiatement sus-jacent.

Mn*, D* et Si* de la fraction fine sont les mêmes que dans la roche totale. En conséquence, la métallisation (Mn*) ou le caractère détritique lié aux argiles héritées (D*) se marquent dans la roche totale au travers du comportement de ces paramètres.

Dans le cas présent, l'effet de la zone volcanique active voisine s'inscrit dans la sédimentation à la fois par hydrothermalisme (s. l.) et par apport vraisemblable de matériels ferro-magnésiens (volcano-détritiques). Ensuite, au fur et à mesure que l'on s'adresse à des sédiments plus récents, l'influence métallisante ou volcano-détritique décroît rapidement.

2. SITUATION PERICONTINENTALE. PLATEAU IMMERGE : EXEMPLE DE LA BORDURE SUD-EST DU BASSIN D'ARGENTINE

a. Localisation du site

Le Site 513 (figure 20) foré sur le flanc ouest de la dorsale médio-atlantique, en bordure du bassin d'Argentine (Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse) est localisé au point de coordonnées 47°34.99'S, 24°38.40'W par 4 380 m de fond. Il traverse 380 m d'une série sédimentaire qui s'étend de l'Oligocène inférieur au Pléistocène.

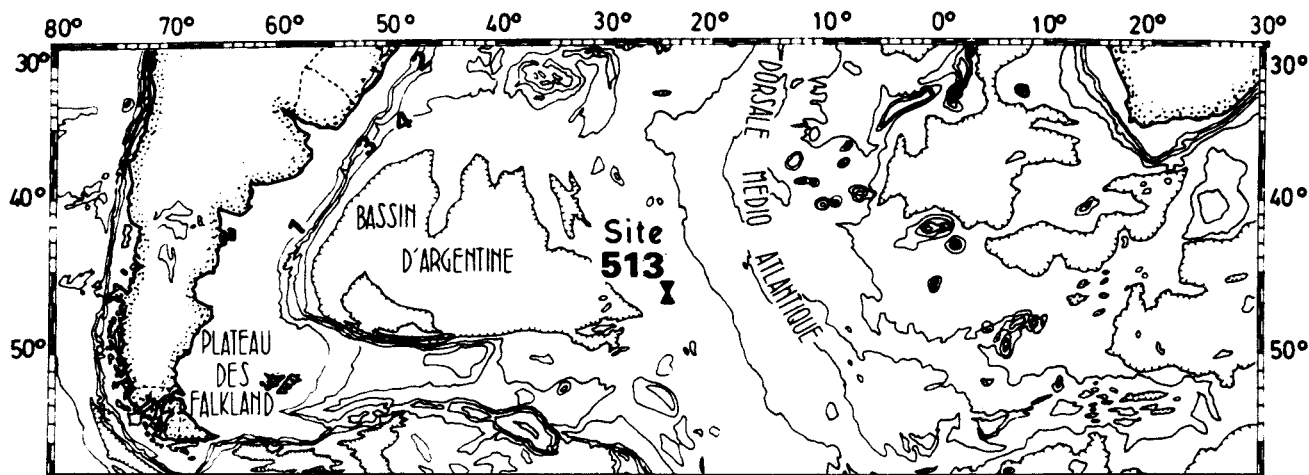


Figure 20 .- Localisation du site 513 (leg 71) d'après Ludwig, Krasheninnikov et al. (sous presse)

b. Lithologie

Des fragments de chert composent la base du forage et recouvrent un socle basaltique d'âge oligocène inférieur. De l'Oligocène inférieur à l'Oligocène supérieur, les sédiments sont des boues à nannofossiles. Des boues à nannofaunes s'intercalent dans des boues à diatomées dans l'Oligocène supérieur et le Miocène inférieur (Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse).

c. Données géochimiques

Au cours de l'Oligocène, D^* est élevé (0,60) et stable (figure 21), voisin de la valeur caractéristique des shales terrigènes typiques (0,63). Si^* varie en fonction de la zone considérée : 16,54 à la base de l'Oligocène inférieur (carottes 33.7 à 30.4) ; 6,73 pour le reste de l'Oligocène (sommet de l'Oligocène inférieur et Oligocène supérieur, carottes 29.2 à 15.2). Les valeurs de Si^* restent du même ordre de grandeur dans le Miocène inférieur. Les fortes valeurs positives de Mn^* à l'Oligocène inférieur (0,82) décroissent progressivement dans l'Oligocène supérieur (0,52). Cette décroissance se poursuit dans le Miocène inférieur. A l'Oligocène inférieur et à la base de l'Oligocène supérieur, Sr^* (2,85) est typique des carbo-

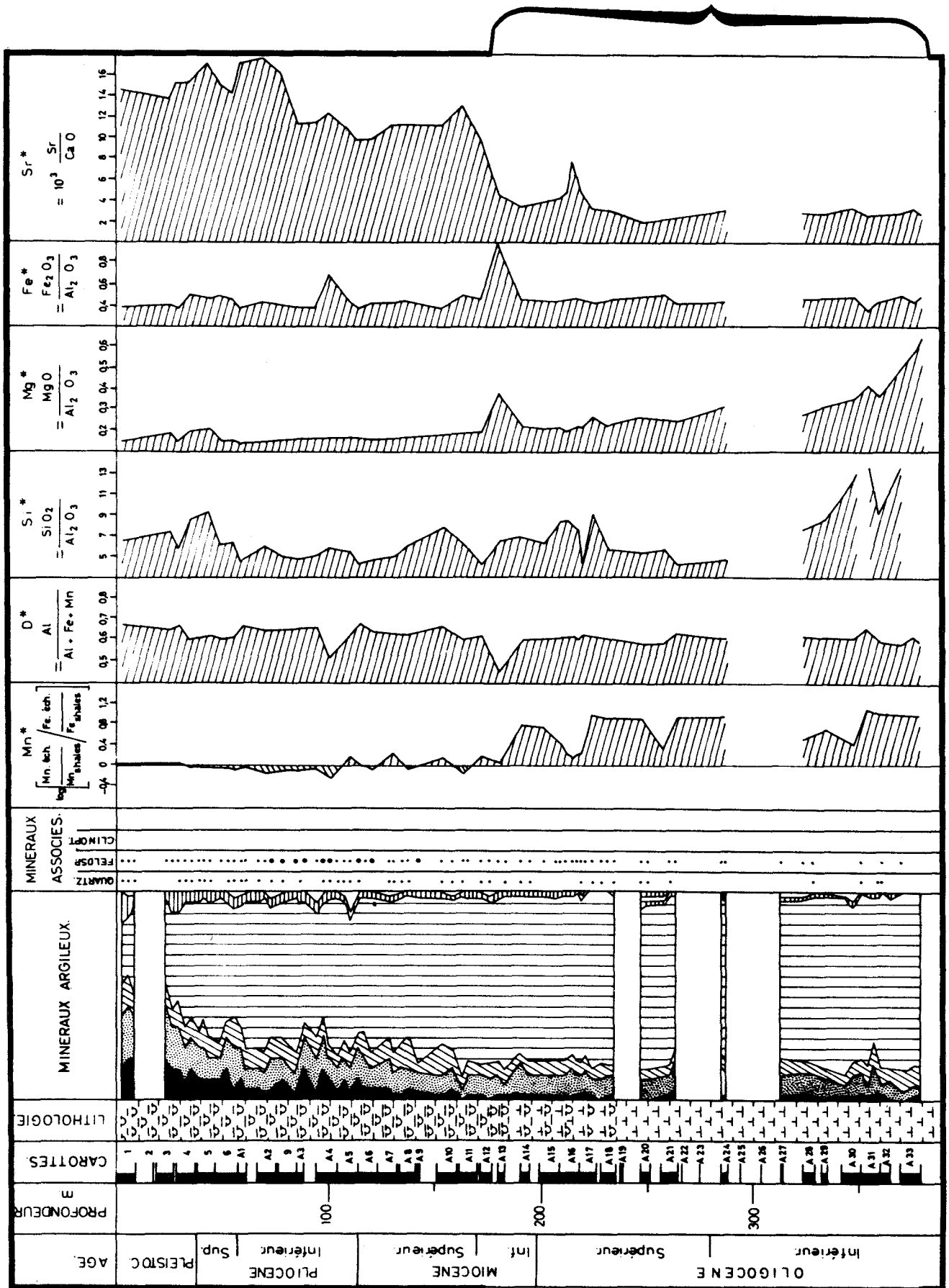


Figure 21.- Site 513, leg 71, lithologie (d'après Ludwig, Krashennikov et al. (sous presse); minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse).

SUP
LILLE

nates marins banals. Enfin si Mg^* montre des accentuations au cours de l'Oligocène inférieur (carottes 33.7.5, 33.5.5, 33.1.5, 31.3.15), celles qui affectent Fe^* sont beaucoup plus faibles, voire inexistantes.

d. Interprétations

A la base de la colonne sédimentaire, l'association d'une forte métallisation des sédiments avec un caractère détritique élevé semble contradictoire.

Or, cette relation s'accompagne d'une forte abondance de silice libre et de magnésium, qui doit correspondre à une altération intense du basalte.

Précédemment, dans le bassin du Brésil (site 19), l'influence métallisante de la dorsale atténuait considérablement le caractère détritique de la sédimentation. Dans le cas présent, nous observons les deux types d'influences : métallisation de la dorsale et apports détritiques importants. La proximité du plateau des Falkland, méridional et immergé, pourrait expliquer cet afflux terrigène. Les précipitations métallifères sous forme oxydée et les apports terrigènes ne sont donc pas forcément antagonistes.

Cet exemple souligne l'influence métallisante d'une zone active sur le milieu sédimentaire, même lorsque celui-ci est perturbé par d'importantes arrivées détritiques émanant d'un ensemble ayant valeur de vieux socle continental.

De façon plus générale, nous pouvons déduire que cette influence de la zone volcanique active sur la sédimentation se marque, en milieu oxydant, dans l'évolution des critères Mn^* , Si^* , Fe^* et Mg^* . Au contraire, l'évolution de D^* reflète davantage le comportement de la fraction fine silicatée complexe (argiles, feldspath, ...).

DEUXIEME CHAPITRE

PASSAGE CONTINENT/OCEAN

I. LOCALISATION DES SITES

Au cours des legs 36 (Barker, Dalziel et al., 1974) et 71 (Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse), quatre forages furent réalisés sur le banc Maurice Ewing (figure 22). Les sédiments recueillis intéressent une séquence stratigraphique qui s'étend du Jurassique au Pléistocène. Le tableau XIII résume les caractéristiques des trois forages ayant recoupé des sédiments du Jurassique moyen au Crétacé supérieur.

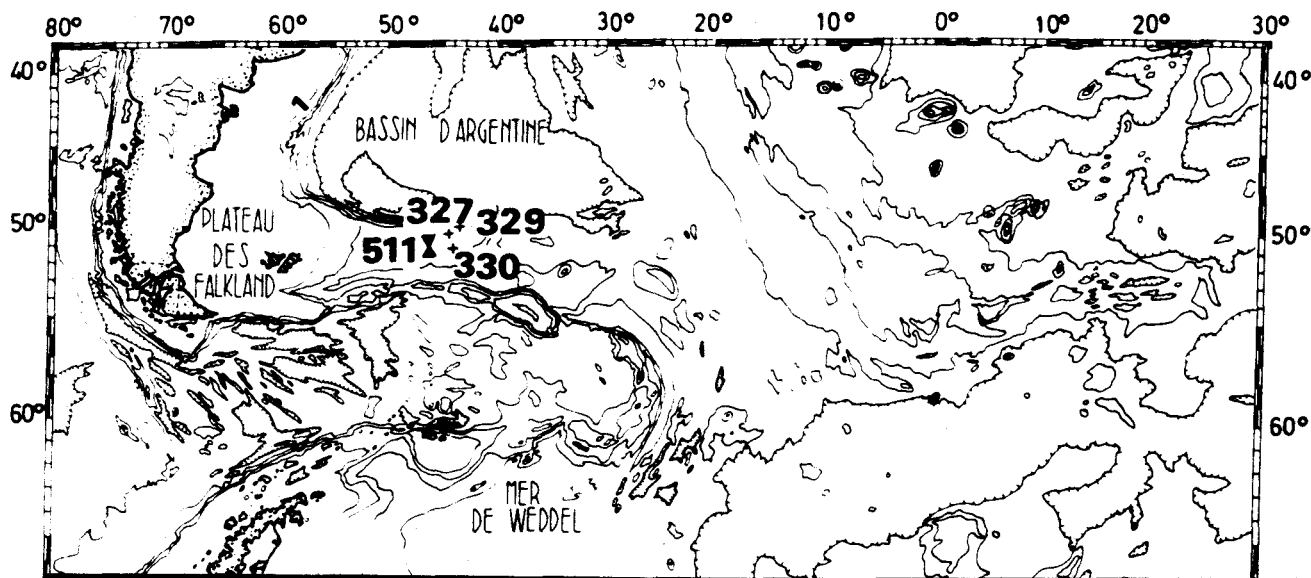


Figure 22 .- Localisation des sites 327 et 330 (leg 36) d'après Barker, Dalziel et al., (1974) ; du site 511 (leg 71) d'après Ludwig, Krasheninnikov et al. (sous presse).

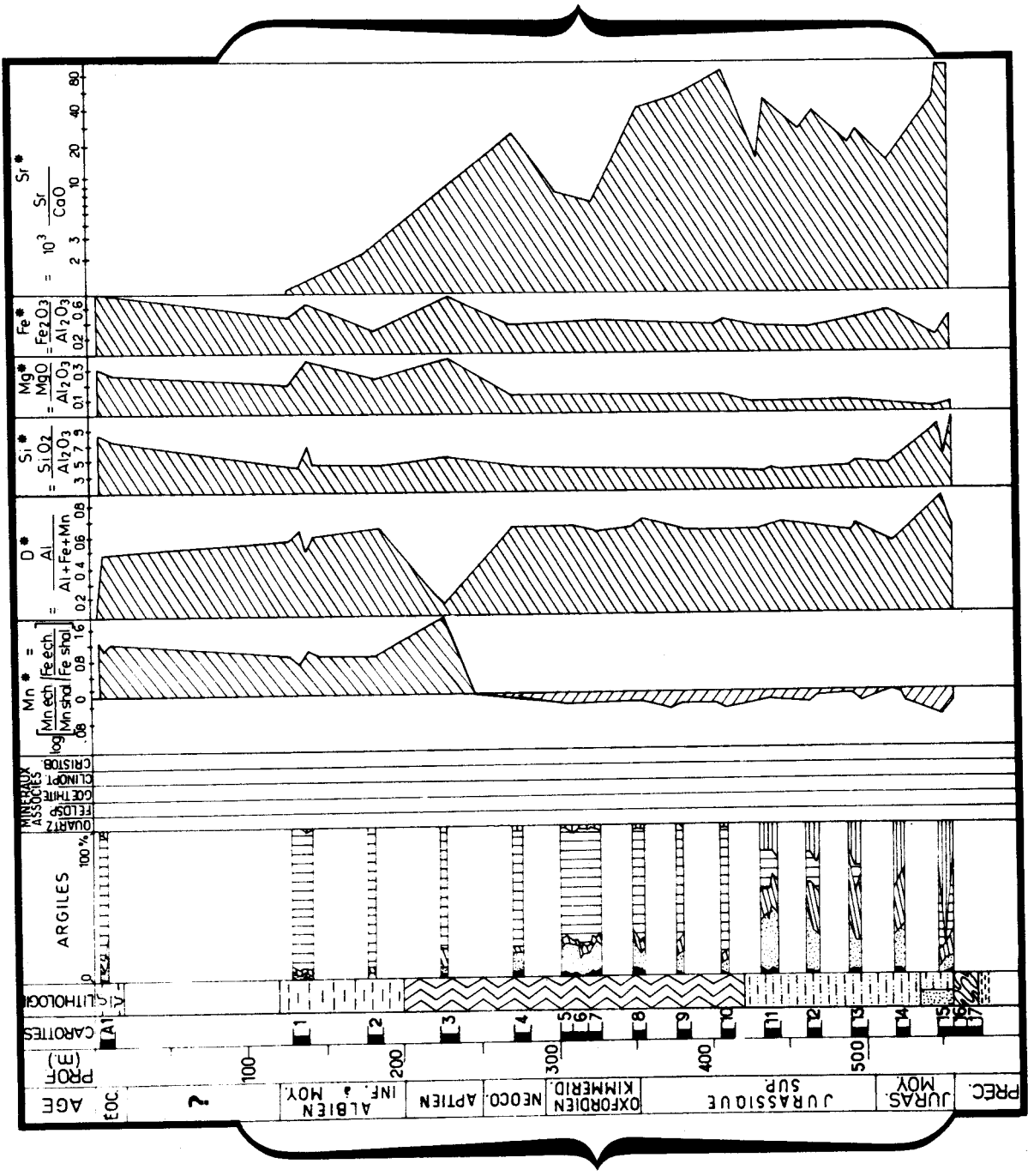


Figure 23 .- Site 330, leg 36, lithologie d'après Barker, Dalziel et al., 1974), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse).



Leg	Sites	Latitude	Longitude	Profondeur d'eau	Pénétration	Plus anciens sédiments
36	327	50°52.28'S	46°47.02'W	2 400 m	475 m	Néocomien
36	330	50°55.19'S	46°53.00'W	2 626 m	576 m	Jurassique moyen
71	511	51°00.28'S	46°58.30'W	2 589 m	632 m	Néocomien

Tableau XIII .- Caractéristiques des sites étudiés.

II. LITHOLOGIE

La base de la séquence sédimentaire des sites 327, 330 et 511 est composée de grès et d'argiles silteuses du Dogger recouvrant des gneiss précambriens (Barker, Dalziel et al., 1974). Le faciès black-shales est présent du Jurassique supérieur à la transition Albo-Aptien : il s'agit de schistes au site 327, schistes et calcaires au site 330, boues à nanfossiles au site 511 (Ludwig, Krashennikov et al., sous presse).

L'intervalle Albien/Coniacien est représenté par des boues à nanfossiles aux sites 327 et 330 et par un mélange de boues calcaires à nanfossiles et de craies au site 511.

Des argiles zéolitiques existent du Santonien au Maastrichtien supérieur ; des boues à nanfossiles et foraminifères et des boues calcaires indifférenciées se développent pendant le Maastrichtien.

III. DONNÉES GÉOCHIMIQUES

Dans les sédiments du Jurassique moyen (site 330, carotte 15 ; figure 23 et tableaux XXXVIII, en annexe), D^* est très élevé (0,81) marquant une influence détritique franche, en partie liée à la présence de la kaolinite (figure 23). Ce minéral est en effet particulièrement riche en Al_2O_3 (Deer et Howie, 1962). Mn^* est négatif (-0,58) et indique un environnement très réducteur. Les acides organiques conduisent à une dissolution complète des carbonates : mais Sr^* est très élevé (31,24) du fait de la rétention du strontium dans le sédiment au moment de la dissolution. Les faibles valeurs de Mg^* (0,03) et de Fe^* (0,19) excluent toute influence volcanodétritique. Dans les sédiments du Jurassique supérieur (site 330, carottes 14 à 8), la valeur élevée de D^* (0,67 à 0,53) suggère un apport détritique continental. La légère décroissance de D^* au sommet du Jurassique supérieur est contemporaine du développement de conditions plus océaniques (Barker, Dalziel et al., 1974).

Mn^* demeure négatif, lié à l'importance d'un environnement réducteur. La valeur élevée de Sr^* s'explique par une dissolution des carbonates induite par la présence de matière organique (cf. 2ème partie).

Du Jurassique supérieur à l'Aptien, Mn^* est toujours négatif, indiquant un environnement réducteur. Sr^* décroît (16,56 à 6,46) et se rapproche des valeurs rencontrées dans les carbonates marins communs. A la fin de l'Aptien supérieur (site 327, figure 24 et tableau XXXV, en annexe) ou au début de l'Albien (site 330, figure 23 et tableau XXXVIII, en annexe ; site 511, figure 25 et tableau XLVIII, en annexe), les valeurs de Sr^* (1,20 à 2,04) deviennent typiques des carbonates marins. D^* (0,55 à 0,61) diminue et démontre la décroissance des influences continentales. Mn^* devient positif (0,56 à 1,12) marquant l'établissement d'un environnement oxydant qui persiste jusqu'au passage Coniacien-Santonien.

Dans les sédiments du Coniacien-Santonien (site 511, figure 25), D^* demeure élevé (0,66), traduisant l'influence des composants détritiques, tandis que Mn^* est faible ou négatif. Ce comportement caractérise un milieu sédimentaire banal.

Au cours du Santonien supérieur, du Campanien et du Maastrichtien inférieur, D^* décroît légèrement (0,62) et Mn^* redevient négatif (- 0,27) (figure 25) indiquant un environnement réducteur lié sans doute à l'existence de récurrences carbonées.

Enfin, au cours du Maastrichtien moyen, Mn^* devient positif (0,61 à 0,78) et traduit sans doute l'établissement de courants oxygénants.

IV. INTERPRÉTATIONS

Dans la reconstitution du continent de Gondwana au Jurassique inférieur, le plateau des Falkland se trouve sous le continent sud-africain, près du plateau du Mozambique (Craddock, 1970 ; Thompson, 1976 ; De Wit, 1977). Les premières incursions marines affectent le banc Maurice Ewing au cours du Jurassique moyen/supérieur (Barker, Dalziel et al., 1974). La géochimie minérale montre que les sédiments de cette période se caractérisent par la prépondérance des composants détritiques terrigènes et une influence majeure de type continental. L'altération de la matière organique d'origine continentale (Herbin et Deroc, 1979 ; Deroc et al., sous presse) favorise la dissolution des carbonates : le strontium libéré par cette dissolution est adsorbé par le sédiment. Aucune influence directe ou indirecte du volcanisme ne se marque dans la sédimentation. Le premier épisode de l'ouverture océanique de cette partie méridionale de l'Atlantique se reflète à travers ces observations, qui corroborent les hypothèses fondées sur les données minéralogiques (Robert et al., 1979 ; Robert et Maillot, sous presse).

De la fin du Jurassique à la transition Aptien-Albien, une diminution importante de l'influence de l'environnement continental s'observe dans la géochimie : Sr^* oscille entre des valeurs rencontrées généralement dans les milieux confinés et celles relevées dans les milieux marins ouverts.

A partir de l'Aptien supérieur (site 327) ou de l'Albien inférieur (sites 330 et 511), D^* décroît, Mn^* devient positif et Sr^* typique des sédiments carbonatés banals. Ceci traduit la subsidence progressive du plateau, ou le relèvement du niveau marin qui conduit à l'établissement de conditions océaniques ouvertes.

Ensuite, l'évolution se marque en termes d'influence et d'importance des masses d'eau oxygénées.

Ainsi, la géochimie minérale traduit, à travers le comportement relatif des critères chimiques (apports détritiques, degré d'oxydo-réduction, dissolution en milieu réducteur, caractéristiques des carbonates), les grands épisodes d'évolution du plateau des Falkland.

Emergé au Dogger, il s'immerge à partir du Jurassique supérieur dans un environnement euxinique imposé par le taux de sédimentation élevé et des apports continentaux riches en matière organique (proximité des sources terrigènes). Ensuite, une influence océanique ouverte s'y développe à partir de l'Albo-Aptien, au fur et à mesure que son coulissage vers l'Ouest se poursuit.

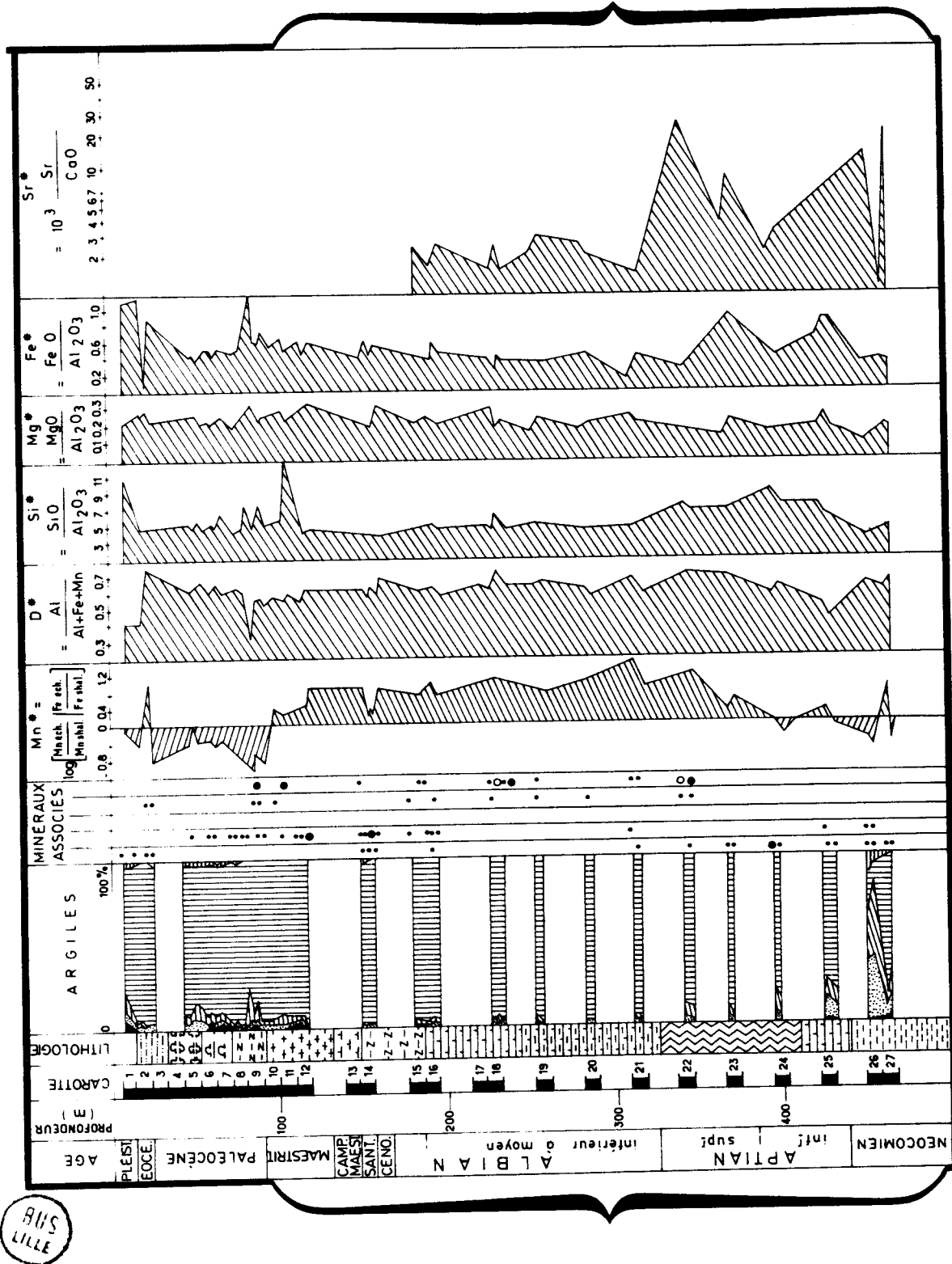


Figure 24 . - Site 327, leg 36, lithologie (d'après Barker, Daiziel et al., 1974), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse).

STRIE
SAB
LILLE

TROISIEME CHAPITRE

BASSINS CONFINES, LE FACIES "BLACK-SHALES"

En Atlantique Sud, plusieurs épisodes sont favorables au développement de bassins à caractères euxiniques (Herbin et Deroo, 1979 ; Robert et al., 1979 ; Robert et Maillot, sous presse ; Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse). A partir du Jurassique supérieur des accumulations et conservations de la matière organique s'observent dans la région des Falkland. On rencontre des conditions voisines dans les bassins du Cap et d'Angola.

Le faciès euxinique disparaît à l'Albo-Aptien dans la région des Falkland (Herbin et Deroo, 1979 ; comm. pers.) alors qu'il persiste jusqu'au Coniacien-Santonien dans le bassin d'Angola (Bolli, Ryan et al., 1978 ; Robert et al., 1979 ; Maillot, 1980 ; Hay, Sibuet et al., sous presse (a) ; Deroo et Herbin, sous presse ; Maillot et Robert, sous presse ; Hay, Sibuet et al. sous presse (b)). Aussi vais-je successivement détailler :

- la signification des faciès black-shales dans la région des Falkland ;
- la signification des faciès black-shales dans les bassins d'Angola et du Cap.

I. LES BLACK-SHALES DU PLATEAU DES FALKLAND*

A. LOCALISATION ET LITHOLOGIE

Rappelons que les sites 330 (leg 36) et 511 (leg 71) (figure 22) sont implantés sur le banc Maurice Ewing où ils traversent une série qui s'étend du Dogger à l'Oligocène (cf. chapitre II) Seuls seront étudiés ci-dessous les niveaux compris entre le Dogger et l'Albien inférieur : ils correspondent à une période euxinique, puis offrent une transition vers un environnement plus ouvert.

B. DONNÉES GÉOCHIMIQUES

Les concentrations en métaux de treize niveaux de black-shales de la base du site 511 (Néocomien à Albien inférieur) sont figurées dans le tableau XIV.

* Une étude commune est actuellement en cours sur ces niveaux entre géochimistes organiciens (Deroo et Herbin) et minéral (Maillot).

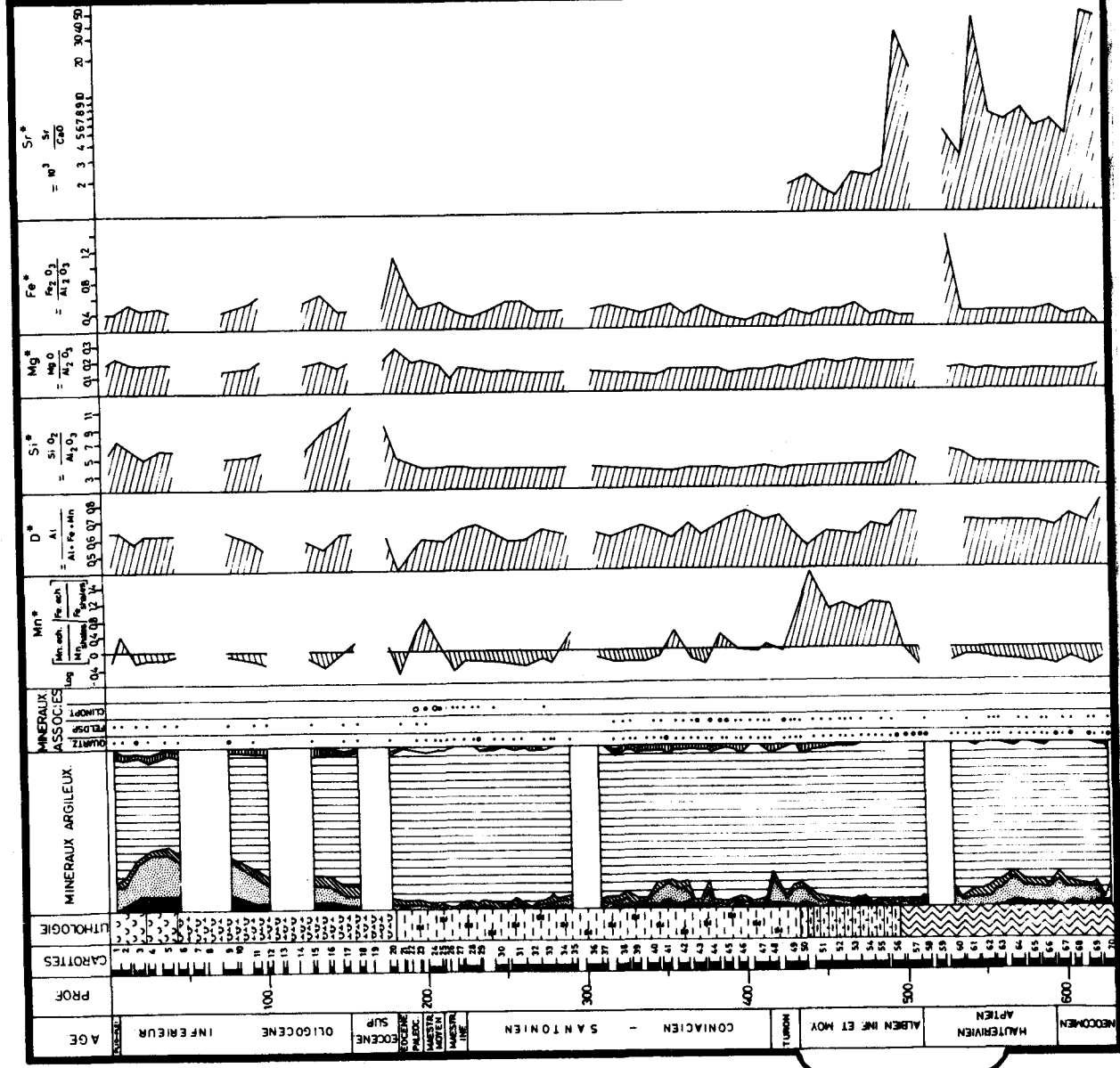


Figure 25 .- Site 511, leg 71, lithologie (d'après Ludwig, Krashennikov et al. sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillet, sous presse).



		Eléments :	Mn :	Zn :	Ni :	Cr :	Cu :	V :	Cd
Carottes		:	:	:	:	:	:	:	:
Albien inf.	57.2.35	:	274	379	272	35	86	121	1
	58.1.38	:	137	300	336	23	13	66	0
Hauterivien/Aptien	60.3.18	:	384	179	331	29	64	329	6
	61.2.80	:	226	337	86	53	36	668	6
	62.2.80	:	316	205	37	152	42	208	1
	63.1.30	:	242	563	72	62	29	621	5
	64.2.75	:	232	511	53	68	32	592	5
	65.2.14	:	205	379	99	63	36	568	4
	66.2.32	:	205	426	130	68	46	713	6
	67.1.90	:	195	532	126	61	49	553	4
	68.1.23	:	221	253	64	82	34	482	3
	69.2.34	:	184	200	47	99	31	221	1
Néocomien	70.2.68	:	179	121	16	85	11	234	1
	Moyennes:	:	231	337	128	68	39	414	3
	Ecart types	:	± 64	±143	±111	± 34	± 20	±224	± 2

Tableau XIV .- Analyses chimiques de la roche totale dans les niveaux de black-shales du site 511 (exprimées en p. p. m.).

Les concentrations moyennes sont voisines de celles présentées par Vine et Tourtelot (1970) et Natland (1978) dans d'autres régions. On peut les ranger dans l'ordre suivant : $V > Zn > Mn > Ni > Cr > Cu$. Exprimé en valeurs relatives ou normées Mn^* est toujours fortement négatif dans les niveaux de "black-shales" alors que Sr^* montre souvent des valeurs très élevées (figure 27).

Les concentrations de quelques métaux analysés dans les niveaux de base du site 330 sont résumées dans le tableau XV .

Mn^* est négatif alors que Sr^* montre toujours des valeurs très élevées (figure 26). Le faciès black-shales se caractérise par le comportement des éléments chimiques : Cr, V et Zn croissent généralement alors que Mn décroît fortement par rapport au faciès des "shales de référence" (Wedepohl, 1978).

Si l'on effectue un calcul normé en utilisant les données de Brunsach et Lew (1982) et le coefficient d'accumulation par rapport aux shales de référence (Wedepohl, 1978), on constate qu'au site 511 il y a une accumulation pour V, Ni et Zn ; au site 330, sont seulement présentes des concentrations anormales en Zn. Au contraire Cu et Ni présentent des déficits.

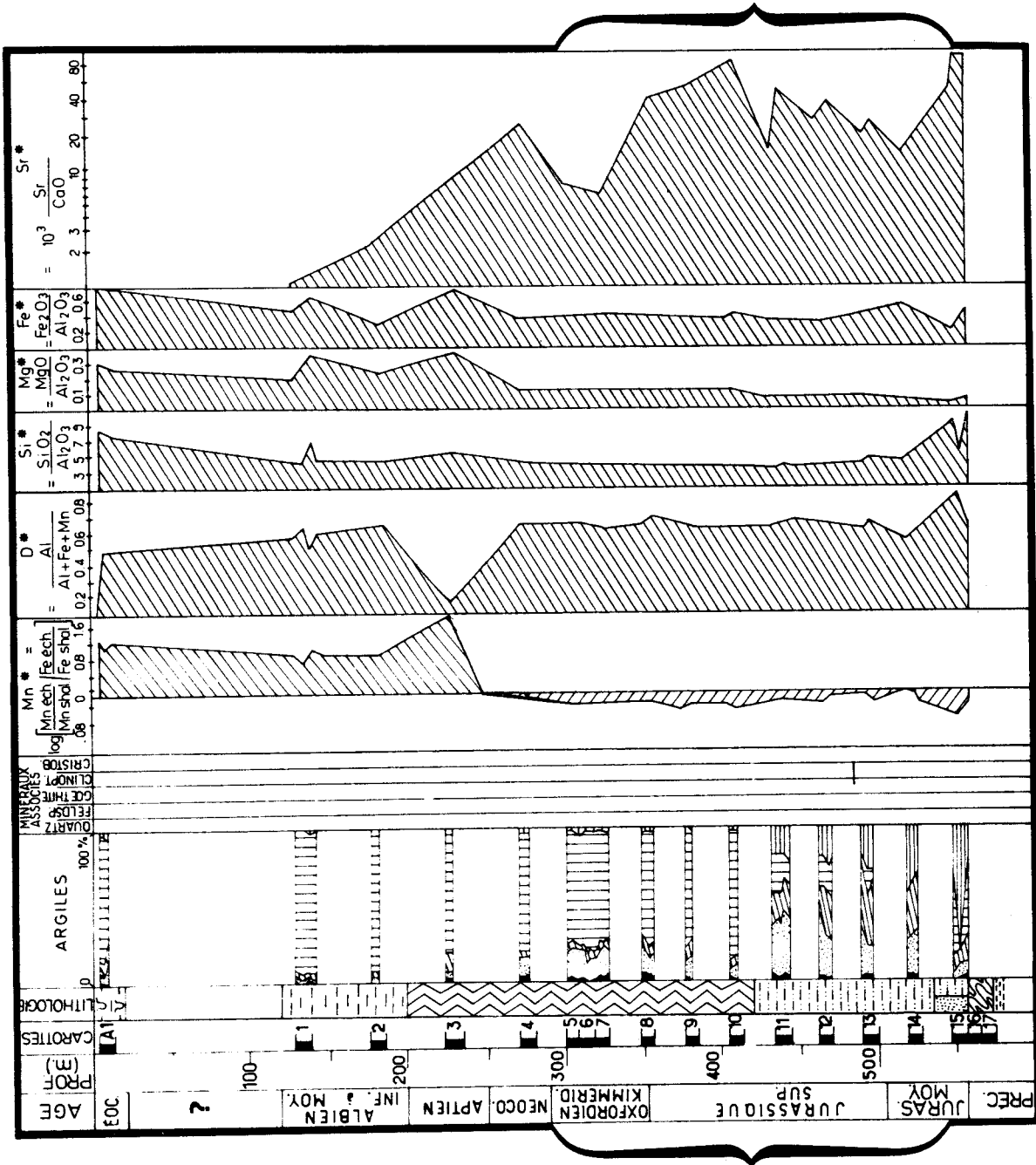


Figure 26.- Valeurs des principaux critères chimiques dans les niveaux de "black-shales" du site 330, leg 36. Lithologie (d'après Barker, Dalziel et al., 1974), minéralogie des argiles (d'après Robert et Maillot). (La représentation lithologique du faciès black-shales ne débute qu'entre les carottes 11 et 10. En réalité, dès la carotte 14, les intercalations de niveaux enrichis en carbone organique sont fréquentes).

7117
S118

Eléments:	Mn	Zn	Ni	Cr	Cu	V	Cd
Carottes	:	:	:	:	:	:	:
8.3. 55	: 226	: 337	: 51	: 113	: 26	: 421	: 3
8.4.104	: 200	: 263	: 19	: 126	: 26	: 211	: 0
9.1.109	: 195	: 277	: 16	: 111	: 22	: 158	: 0
9.2.139	: 232	: 302	: 16	: 102	: 21	: 158	: 0
10.1.103	: 211	: 287	: 100	: 118	: 31	: 189	: 0
10.2.147	: 200	: 361	: 27	: 111	: 19	: 142	: 2
11.1. 64	: 284	: 322	: 21	: 104	: 20	: 168	: 1
11.2. 96	: 258	: 323	: 18	: 113	: 22	: 126	: 1
11.4. 7	: 247	: 357	: 16	: 108	: 19	: 111	: 0
11.5. 47	: 221	: 262	: 11	: 105	: 17	: 89	: 0
11.6.101	: 237	: 376	: 15	: 113	: 20	: 105	: 0
12.1.147	: 258	: 273	: 21	: 100	: 26	: 89	: 0
12.3. 52	: 237	: 267	: 11	: 104	: 23	: 142	: 0
12.4.103	: 295	: 248	: 15	: 113	: 24	: 126	: 0
12.6. 54	: 289	: 207	: 15	: 104	: 23	: 121	: 0
13.1. 97	: 374	: 447	: 11	: 93	: 17	: 95	: 0
13.2.146	: 216	: 232	: 10	: 111	: 7	: 95	: 0
13.4. 46	: 221	: 167	: 5	: 94	: 3	: 95	: 0
14.1. 98	: 626	: 192	: 0	: 103	: 0	: 121	: 0
14.4. 52	: 484	: 188	: 6	: 113	: 5	: 116	: 0
Moyennes	: 276	: 284	: 20	: 108	: 199	: 144	: -
Ecart	: ±107	: ± 71	: ± 20	: ± 8	: ± 8	: ± 73	:
types	:	:	:	:	:	:	:

Tableau XV .- Analyses chimiques de la roche totale dans les niveaux de black-shales du site 330 (exprimées en p. p. m.).

C. INTERPRETATION

La matière organique occasionne la remobilisation ou la précipitation de certains métaux : Mn est remobilisé et entraîne un déficit de Mn*. Le comportement d'autres métaux est variable suivant les sites.

En 511, V > Zn > Mn > Ni > Cr > Cu ; en 330 Zn > Mn > V > Cr > Ni > Cu.

En outre, la forte accentuation de Sr* marque l'agressivité du milieu vis à vis des carbonates, le strontium lié à la fraction carbonatée du sédiment est libéré lors de la dissolution des carbonates, elle-même occasionnée par l'apport de gaz carbonique produit par la décomposition de la matière organique ; Sr reste ensuite piégé dans les niveaux euxiniques.

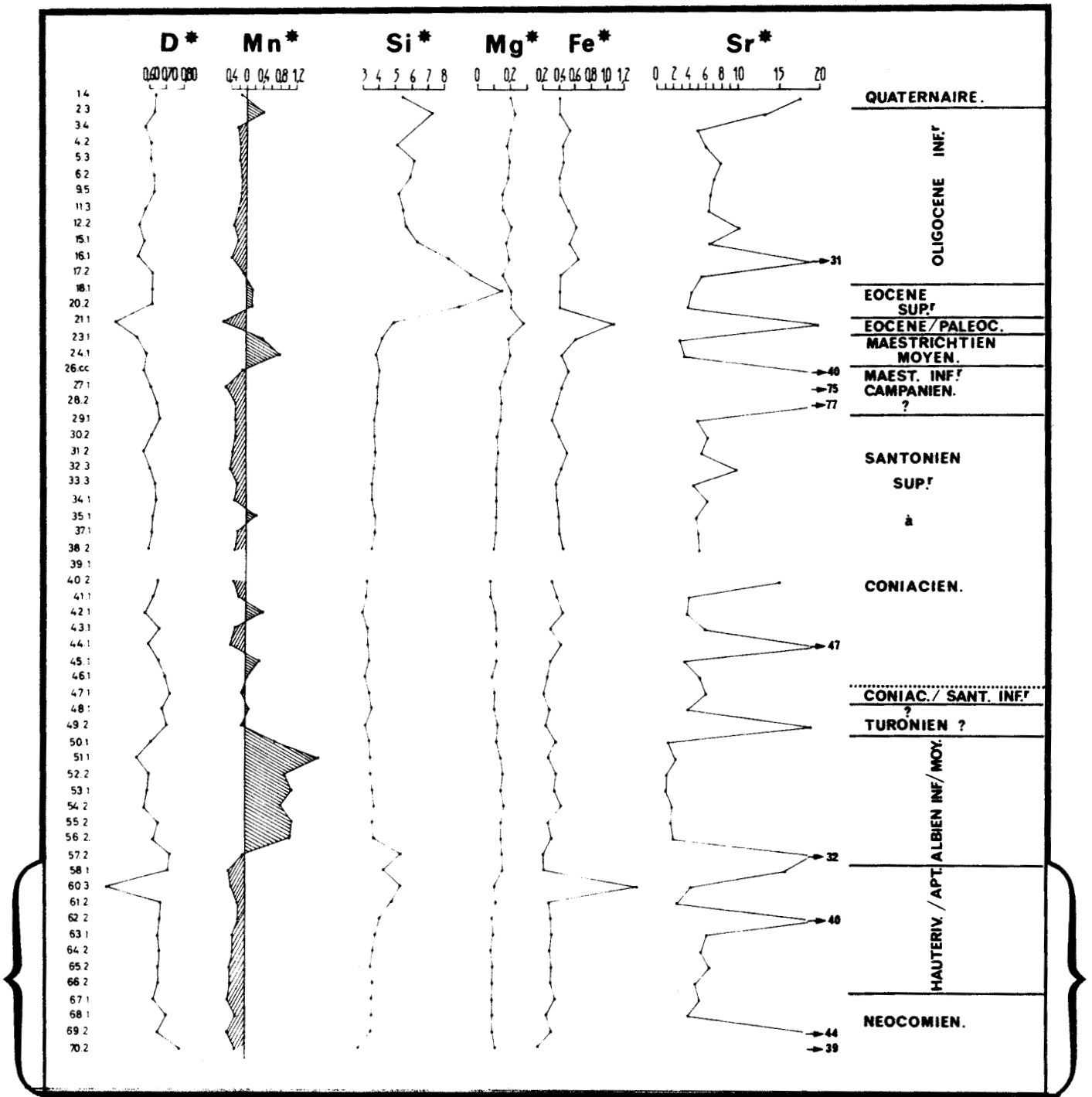


Figure 27 .- Variations des principaux critères chimiques dans les niveaux de black shales du site 511 (leg 71).



II. LES BLACK SHALES DE LA MARGE ORIENTALE

A. LOCALISATION

Au cours du leg 40 (Bolli^{Ryan} et al., 1978), six sites furent forés ; parmi ceux-ci sont retenus pour l'étude géochimique des black-shales les niveaux albo-aptiens du bassin du Cap (site 361) et ceux de même âge du flanc Nord de la ride de Walvis (site 363) (figure 28 et tableau XVI).

Site	Latitude	Longitude	Profondeur d'eau	Pénétration	Plus anciens sédiments
361	35°03.97'S	15°26.91'E	4 559 m	1 314 m	Aptien inférieur
363	19°38.75'S	09°02.80'E	2 247 m	795 m	Aptien supérieur

Tableau XVI : Localisation des sites où des niveaux de black-shales ont été rencontrés.
(D'après Bolli, Ryan et al., 1978).

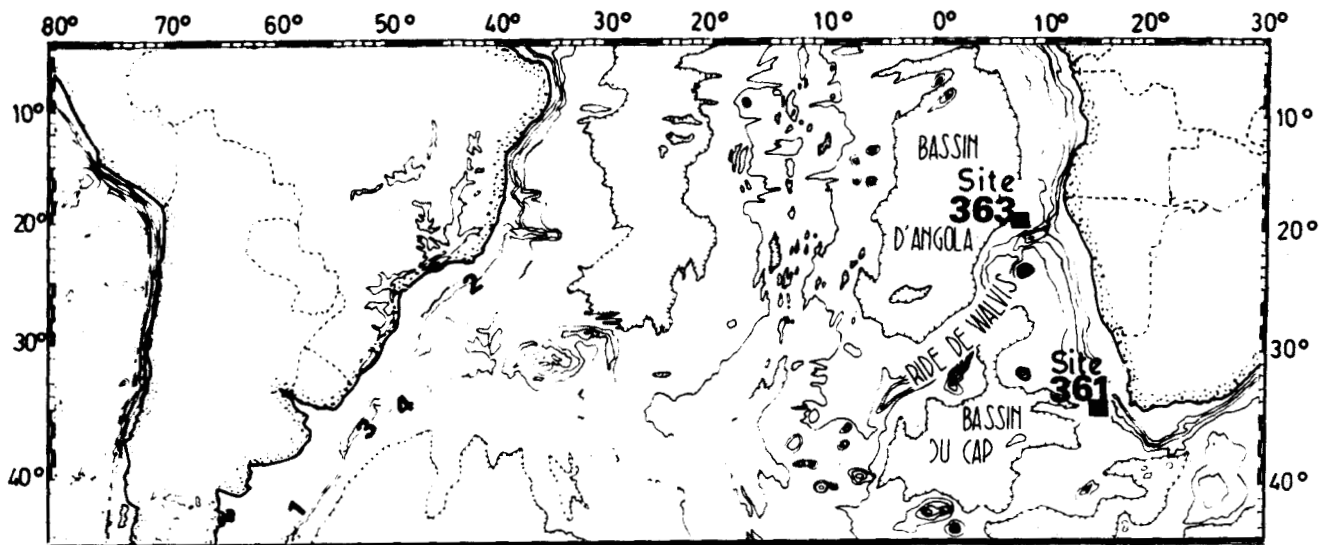


Figure 28 .- Localisation des sites 361 et 363 (leg 40) d'après Bolli, Ryan et al. (1978).

B. LITHOLOGIE

L'essentiel de l'Aptien du site 361 (carottes 49 à 28) est constitué d'une alternance de black-shales schisteux et d'intercalations gréseuses (Bolli, Ryan et al., 1978). A la base, les sédiments demeurent essentiellement carbonés alors qu'ils sont au contraire composés de sables, silts et carbonates plus ou moins marneux au sommet du Crétacé supérieur.

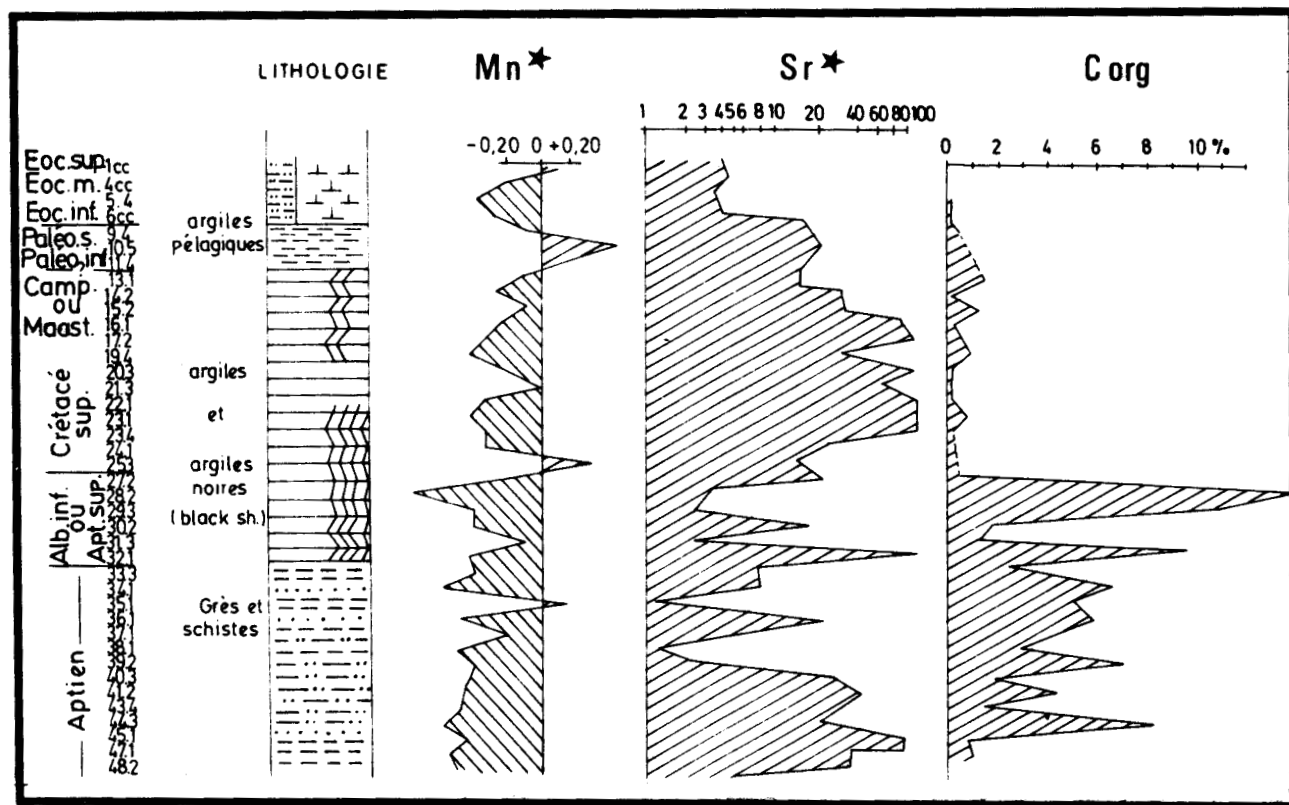


Figure 29 .- Lithologie, évolution des critères chimiques Mn^* et Sr^* , évolution du carbone organique dans les black-shales du site 361 (leg 40).

Sur le flanc nord de la ride de Walvis (site 363) de nombreuses intercalations calcaires s'imbriquent dans les argilites noires qui constituent les black-shales.

C. DONNÉES GÉOCHIMIQUES

Vingt échantillons de black-shales (essentiellement des schistes) ont été analysés. Les concentrations en carbone organique sont figurées sur la figure 29 qui donne aussi les niveaux pris en compte pour le calcul d'une composition chimique moyenne.

A nouveau Mn^* montre des valeurs négatives, Sr^* est très élevé. En comparant ces résultats à ceux de Vine et Tourtelot (1970), on observe peu d'écarts (tableau XVIII). Ni, Zn, Pb et V montrent des concentrations très élevées et directement liées aux concentrations en carbone organique.

Eléments majeurs	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	C org
%	51.48	10.05	1.18	0.90	2.46	0.46	4.54	5.76
	±16.17	± 3.05	± 0.64	± 0.22	± 0.53	± 0.14	± 1.38	± 4.61
Eléments traces	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Pb	V
p.p.m.	218	30	79	91	195	11	39	311
	± 171	± 9	± 79	± 35	± 187	± 6	± 10	± 311

Tableau XVII : Composition chimique moyenne des black-shales (sites 361 et 363).

Eléments	\bar{M} des black-shales (Vine et Tourtelot)	\bar{M} des black-shales (présent travail)
C org	3,20 %	5,76 %
Sr	200 p.p.m.	195 p.p.m.
Ni	50 p.p.m.	79 p.p.m.
Zn	300 p.p.m.	494 p.p.m.
Pb	20 p.p.m.	39 p.p.m.
V	150 p.p.m.	311 p.p.m.
Cr	100 p.p.m.	91 p.p.m.

Tableau XVIII: Moyennes des concentrations des principales traces d'après Vine et Tourtelot (1970) et Maillot (in Maillot et Robert, sous presse(b)).
(Dans l'exemple, le dosage du Zn ne porte que sur deux échantillons).

D. INTERPRETATION

L'étude réalisée sur les niveaux de type black-shales des sites 361 et 363 apporte des résultats voisins de ceux de l'étude précédente (sites 330 et 511 du plateau des Falkland) : l'agression de la matière organique vis-à-vis des carbonates s'observe grâce au comportement de Sr*. Certains métaux sont piégés alors que d'autres (Mn, en particulier) sont remobilisés et exclus du sédiment ou concentrés sporadiquement, de telle manière qu'ils échappent à l'analyse systématique.

III. CONCLUSION SUR LA GÉOCHIMIE DES BLACK-SHALES

Les black-shales se caractérisent bien par un faciès géochimique particulier. Ils sont à la fois marqués par la quasi absence de CaO (généralement due à une dissolution synsédimentaire du carbonate lorsque les dépôts étaient originellement carbonatés), par l'augmentation de Sr^{*}, la faiblesse du critère Mn^{*}, l'augmentation fréquente des concentrations en V, Ni, parfois en Cr et Zn. Les analyses lithologiques ne sont pas suffisamment fines pour permettre d'établir des relations directes entre la lithologie et le comportement géochimique. Toutefois, les conclusions auxquelles j'aboutis ci-dessus rejoignent celles de Lew (1981) et de Brumsach et Lew (1982).

De surcroît, il semble qu'après une évolution complexe qui conduirait à la disparition de la matière organique, un comportement chimique du type de celui détaillé plus haut peut caractériser un milieu euxinique dont les autres traces auraient aujourd'hui disparu.

QUATRIEME CHAPITRE

EFFETS DES COURANTS:

GEOCHIMIE ET MASSES D'EAU DE SURFACE, INTERMEDIAIRES
ET DE FOND

Les sédiments de trois régions seront successivement étudiés pour illustrer l'influence de ces trois types de masses d'eau : ceux de la bordure nord du plateau des Falkland, ceux du bord nord-est de la ride de Walvis et ceux de la région du chenal de Vema.

I. LES MASSES D'EAU DE SURFACE : LE BORD NORD DU PLATEAU DES FALKLAND AU
CRÉTACÉ SUPÉRIEUR

A. LOCALISATION, LITHOLOGIE ET DONNEES GEOCHIMIQUES

Rappelons que les sites 327, 330 (leg 36) et 511 (leg 71) (figure 22) sont implantés sur le banc Maurice Ewing où ils traversent une série qui s'étend du Dogger à l'Oligocène (cf. chapitre II).

Après la période Jurassique moyen-Aptien supérieur, où l'évolution sédimentaire du plateau des Falkland est sous influence continentale (chapitres II, IV), les valeurs de Sr^* (1,20 à 2,04) deviennent le plus souvent typiques des carbonates marins banals dès la fin de l'Aptien supérieur (site 327, figure 30) ou le début de l'Albien (site 330, figure 31 et site 511, figure 32). D^* (0,61 à 0,55) diminue par rapport aux valeurs rencontrées jusqu'alors ($> 0,63$) marquant ainsi la décroissance des influences continentales. Mn^* devient rapidement positif, caractérisant l'établissement d'un environnement oxydant qui persiste jusqu'au passage Coniacien-Santonien.

Dans les sédiments du Santonien, D^* s'accroît (0,66) traduisant le retour de l'influence des composants détritiques. Du Coniacien au Maastrichtien, Mn^* devient faible ou négatif.

B. INTERPRÉTATION

Après une longue période où l'influence continentale est exclusive ou essentielle sur la sédimentation marine, l'ouverture aux influences océaniques du milieu s'inscrit dans la chimie du sédiment à l'Albo-Aptien. En outre, la bonne oxydation des métaux laisse pressentir l'influence des masses d'eau riches en O₂ dissous.

A partir du Coniacien-Santonien, le milieu devient progressivement réducteur et plus détritique, la réduction du milieu semble s'amplifier encore au cours du Campanien et du Maastrichtien (site 511, figure 32). L'interprétation la plus plausible serait qu'au voisinage de la zone considérée de petits mouvements tectoniques favorisent des émergences locales : la présence de tests d'Inocérames dans les sédiments (Barker, Dalziel et al., 1974 ; Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse) constitue un argument en faveur de cette interprétation. En se plaçant dans cette hypothèse, la tectonique locale favoriserait une vitesse de dépôt plus élevée : l'accentuation du taux de sédimentation conduirait à préserver la matière organique.

Une seconde interprétation consisterait à proposer l'influence de masses d'eau appauvries en oxygène dissous sur la sédimentation. L'effet sur la chimie du sédiment serait alors comparable à celui résultant d'une émergence locale et d'apports sédimentaires abondants.

On assisterait alors à une réduction relative du sédiment conduisant à une remobilisation de certains métaux.

Si l'on admet cette seconde hypothèse, la géochimie de la roche totale permet d'envisager l'évolution du milieu sédimentaire soumis à l'influence de masses d'eau intermédiaires (appauvries en oxygène) en opposition à des masses d'eau de surface riches en oxygène dissous.

En effet, l'évolution paléobathymétrique des sites considérés généralement admise par les auteurs, permet d'envisager ces schémas successifs. Durant la période qui s'étend de l'Albo-Aptien au Coniacien, le milieu de dépôt est peu immergé et sous influence de masses d'eau de surface, riches en oxygène dissous. Par la suite, l'augmentation de la bathymétrie place les sites à une profondeur où la diminution d'oxygène dissous dans l'eau de mer favorise une réduction relative du sédiment.

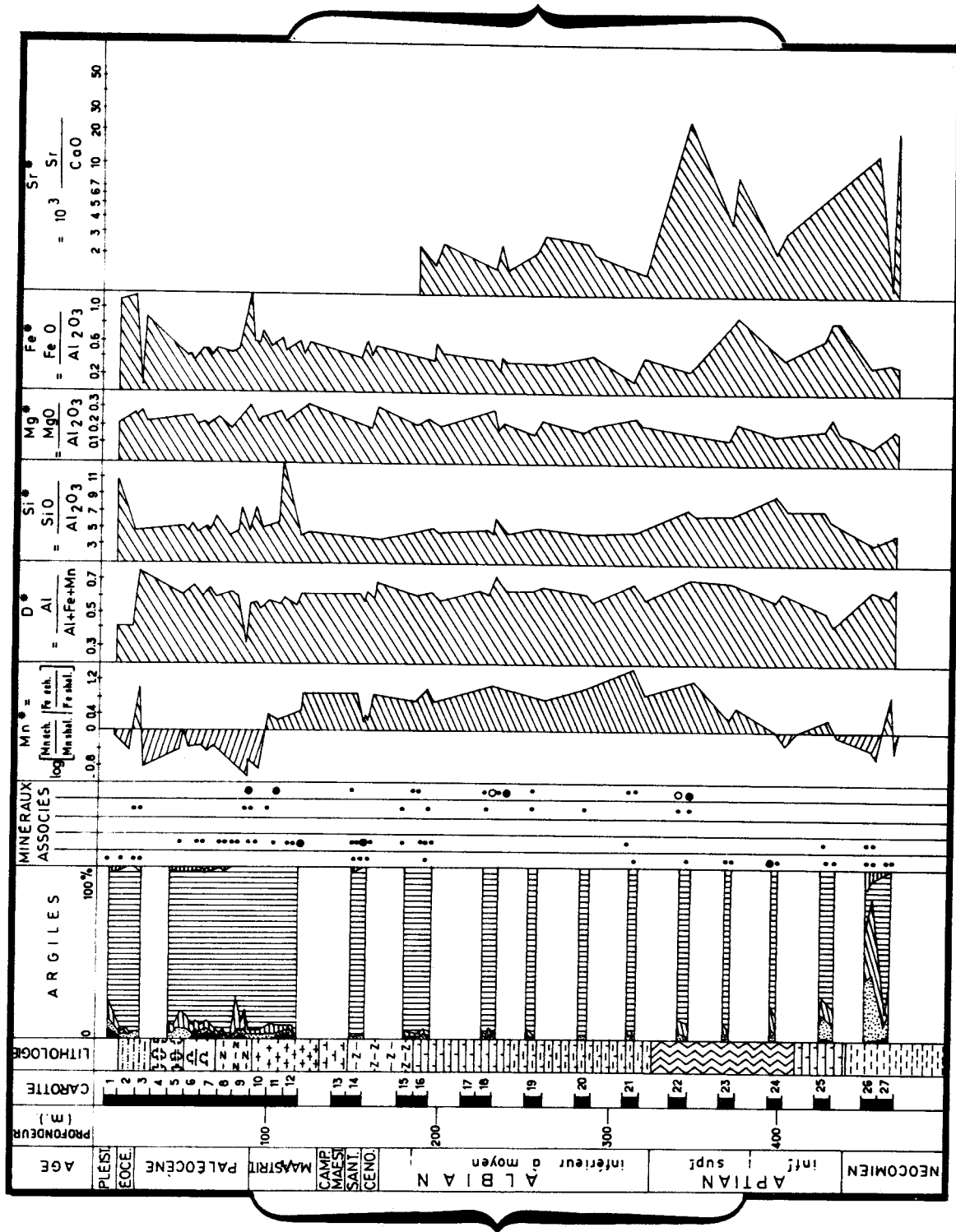


Figure 30 .- Site 327, leg 36, lithologie (d'après Barker, Dalziel et al., 1974), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse).

BUS LILLE

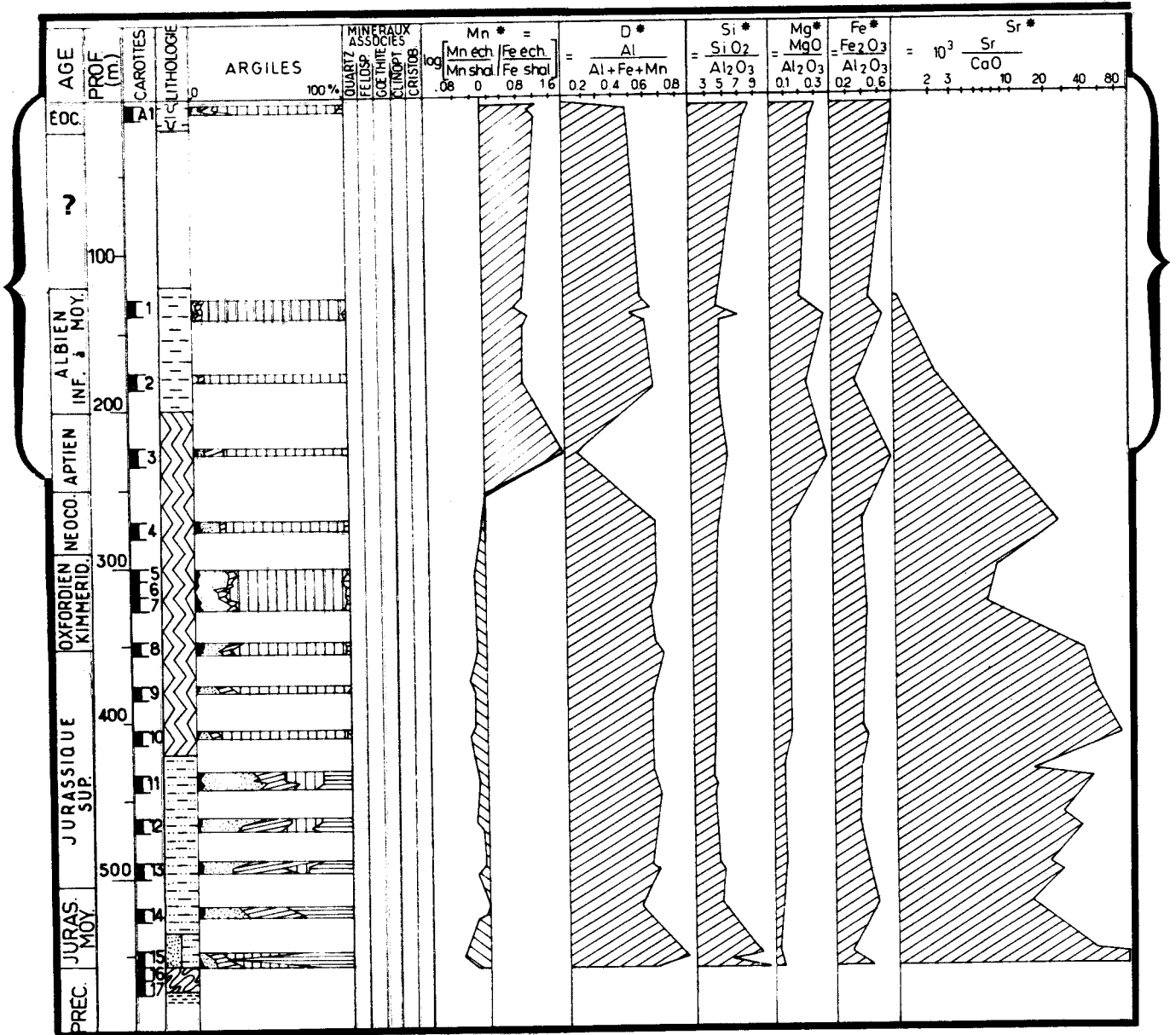


Figure 31 .- Site 330, leg 36, lithologie (d'après Barker, Dalziel et al., 1974), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse).



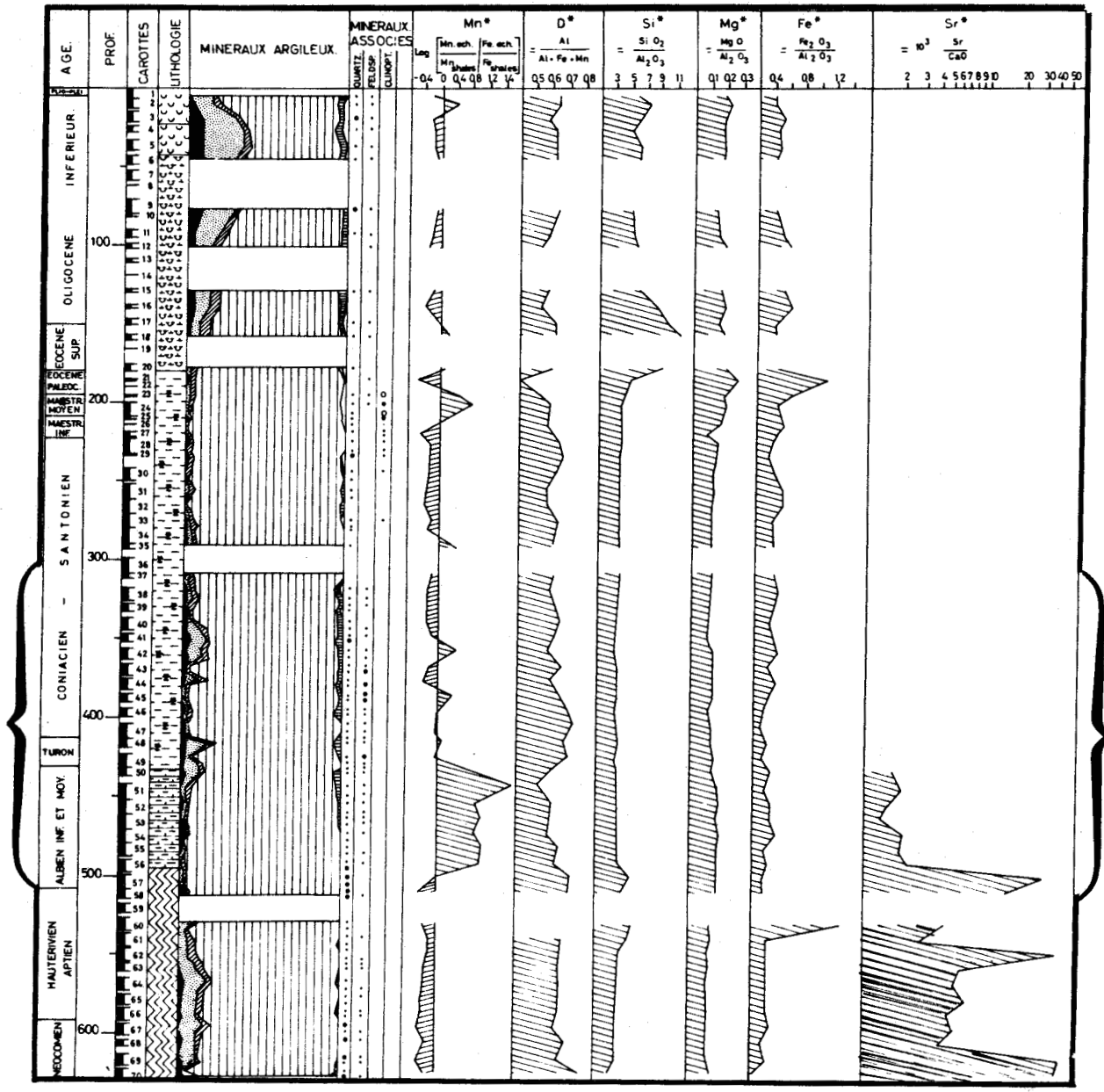


Figure 32 .- Site 511, leg 71, lithologie (d'après Ludwig, Krasheninnikov et al. sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse).



II. LES MASSES D'EAU INTERMÉDIAIRES LE FLANC NORD-EST DE LA RIDE DE WALVIS AU NEOGÈNE

A. LOCALISATION

Forés au cours des leg 40 (Bolli, Ryan *et al.*, 1978) et 75 (Hay, Sibuet *et al.*, sous presse), les sites 362 et 532 sont situés à proximité l'un de l'autre (figure 33).

Le forage 532 présente l'avantage d'avoir été réalisé par carottier à piston stationnaire, ce qui permet une plus grande fiabilité de la position relative des sédiments meubles carottés. Les caractéristiques de chacun des deux sites sont données dans le tableau XIX.

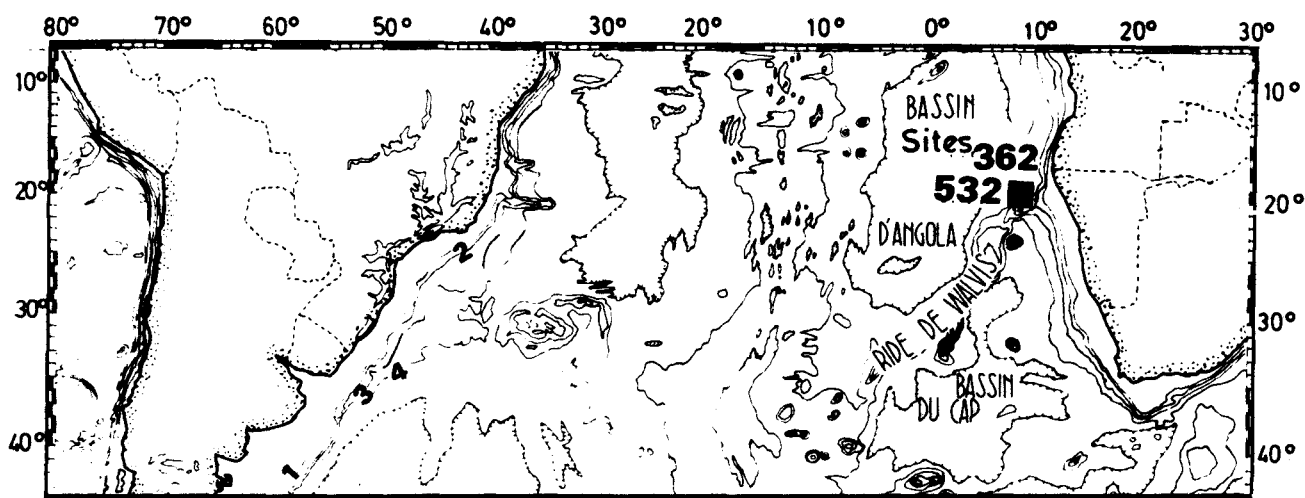


Figure 33 .- Localisation des sites 362 (leg 40) d'après Bolli, Ryan *et al.* (1978) et du site 532 (leg 75) d'après Hay, Sibuet *et al.* (sous presse).

LEG	SITE	LATITUDE	LONGITUDE	PROFONDEUR D'EAU	PENETRATION	PLUS ANCIENS SEDIMENTS FORÉS
40	362	19°45.45'S	10°31.95'E	1 325 m	1 081 m	Eocène inférieur
75	532	19°44.61'S	10°31.13'E	1 331 m	742 m	Miocène supérieur

Tableau XIX .- Caractéristiques des sites 362 (leg 40) et 532 (leg 75).

B. LITHOLOGIE

Les sédiments cénozoïques du site 362 comportent au Miocène inférieur des boues à nannofaunes et foraminifères, du sommet du Miocène inférieur au sommet du Miocène moyen des boues marno-calcaires à nannofaunes, du sommet du Miocène moyen au Pliocène des boues calcaires à nannofaunes et foraminifères. A partir du Pliocène se déposent des boues marno-calcaires à nannofaunes et diatomées (Bolli, Ryan *et al.*, 1978). La lithostratigraphie du site 532 (figure 35) en est très voisine (Hay, Sibuet *et al.*, sous presse) : boues calcaires à nannofossiles, marnes, argiles et faciès à diatomées.

C. DONNÉES GÉOCHIMIQUES

De l'Eocène au Miocène inférieur, la chimie du sédiment (site 362 figure 34 et tableau XLV, en annexe) est caractérisée par une forte concentration en éléments de transition (fraction libre de carbonates) et particulièrement en manganèse qui se traduit par des valeurs élevées de Mn^* . Ces valeurs décroissent au passage Oligocène-Miocène et demeurent négatives à partir du Miocène moyen. Parallèlement, c'est à cette époque que les concentrations en carbone organique deviennent mesurables (Hay, Sibuet *et al.*, sous presse ; Huc, sous presse). Le caractère détritique des dépôts de l'Eocène et de l'Oligocène est relativement faible ($D^* = 0,53$) ; il s'accroît ultérieurement. A partir du Miocène moyen (figure 34) et jusqu'au Pléistocène (figures 34 et 35), les observations précédentes s'inversent : après une transition progressive au Miocène moyen, Mn^* devient très faible et le caractère détritique augmente ($D^*_{362} = 0,61$, $D^*_{532} = 0,58$). L'évolution au cours du temps correspond à une diminution continue de Mn^* (site 532). En effet, pour le Miocène, le Pliocène et le Pléistocène, Mn^* prend successivement les valeurs de - 0,17 ; - 0,25 et - 0,31. La valeur de Si^* (4,50) est voisine de celle des argiles banales, sauf entre le Pliocène supérieur et le Pléistocène inférieur où la valeur élevée de ce critère (6,30) rappelle la présence de diatomées dans les boues carbonatées. En outre, la constance de Sr^* (3,59) caractérise un carbonate marin banal n'ayant subi aucune dissolution. Enfin, Mg^* (0,27) et Fe^* (0,55) marquent généralement, par leur stabilité, un milieu très homogène exempt d'éléments volcano-détritiques, d'argiles fibreuses ou de dolomite.

Deux grandes périodes s'observent donc : la première intéresse les sédiments tertiaires du Paléocène au Miocène moyen ; elle se caractérise par un milieu oxydant ouvert dans lequel les métaux de transition s'accumulent. La seconde débute au Miocène moyen et persiste jusqu'au Pléistocène ; elle évoque un milieu plus réducteur où certains métaux sont remobilisés.

D. INTERPRÉTATION

Les sédiments des sites 362 et 532 comportent des carbonates non affectés par les variations bathymétriques du N. C. C. La profondeur actuelle des sites (1 330 m environ) explique cette observation. Le comportement des éléments chimiques interprétés en valeurs relatives ou normées fait apparaître un passage progressif au niveau du Miocène moyen. Au-dessous, Mn^* est fortement positif et prouve l'influence d'un milieu oxydant sur la sédimentation ; au-dessus, Mn^* devient négatif et suggère l'influence contraire, c'est-à-dire celle d'un milieu réducteur.

BUS LILLE

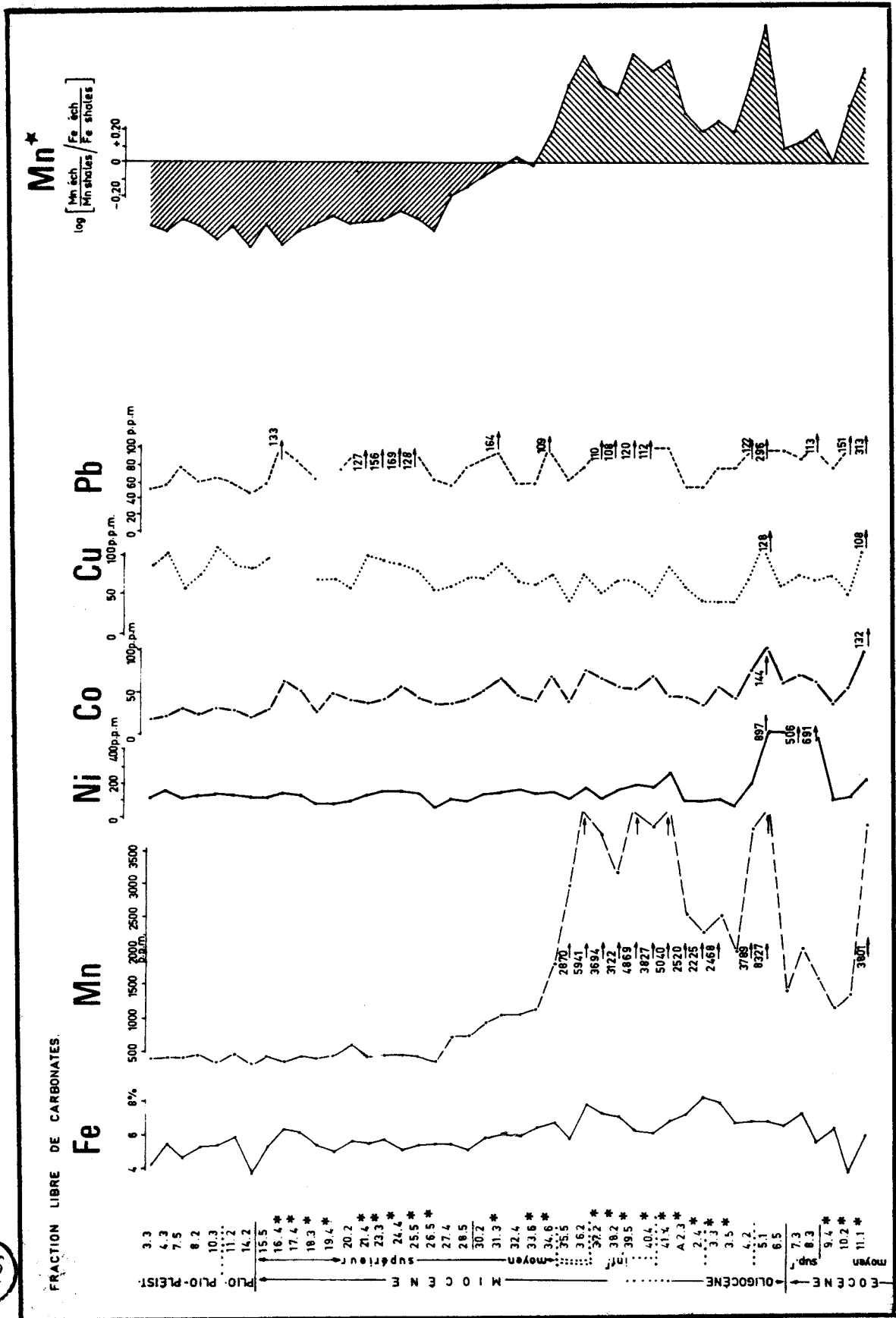


Figure 34 .- Site 362, leg 40 : évolution des métaux exprimés dans la fraction libre de carbonates et de Mn.

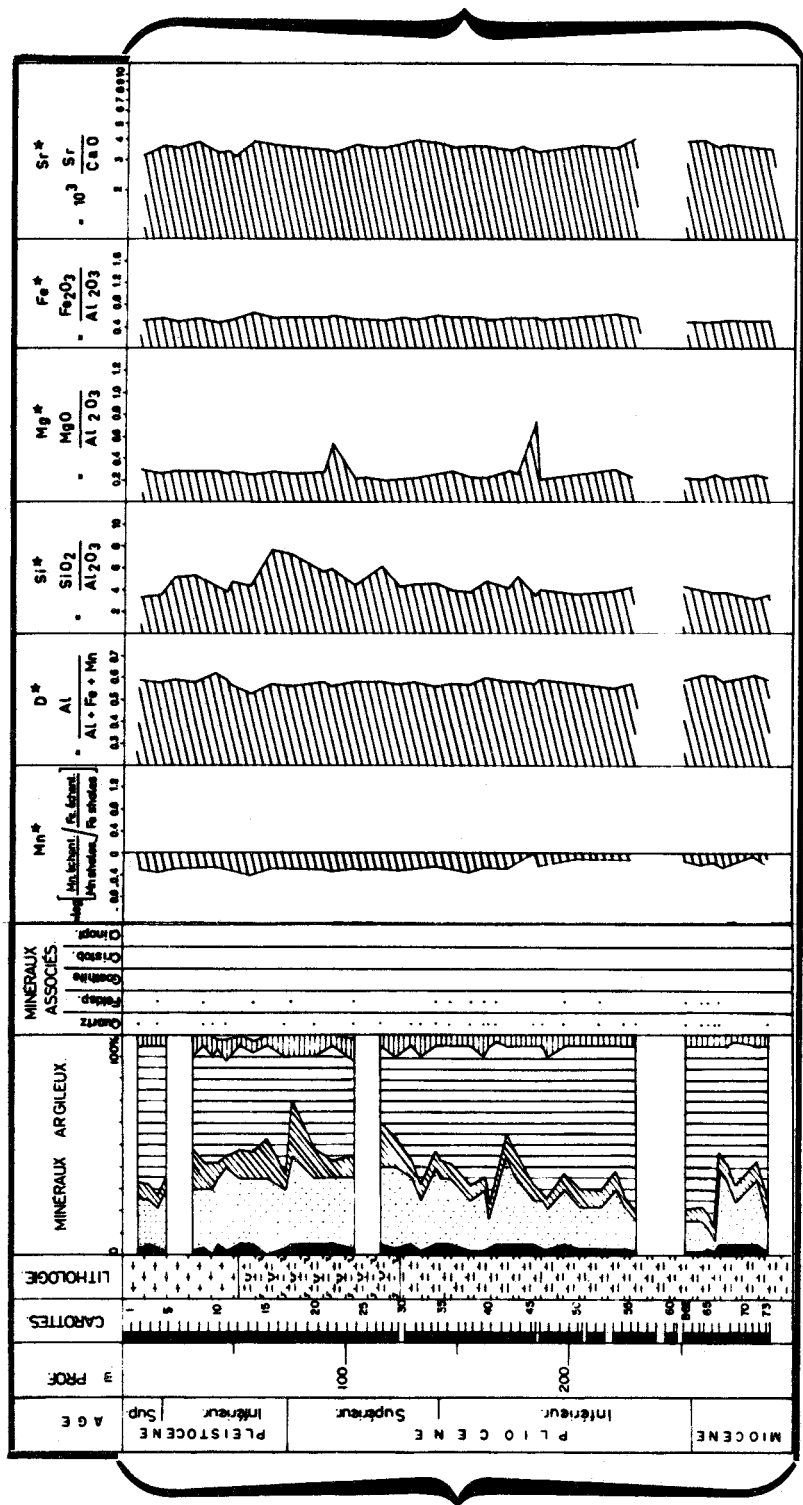


Figure 35 .- Site 532, leg 75, lithologie (d'après Hay, Sibuet et al., sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Maillot et Robert, sous presse b).



Notons que les résultats obtenus à partir de l'étude géochimique des sites 362 et 532, confrontés avec ceux de l'étude des ostracodes menée sur les mêmes sites (Peypouquet et al., sous presse ; Peypouquet, comm. pers.) montrent une forte convergence des conclusions apportées par ces deux méthodologies. En particulier la présence de Krithe sp. D.13 et C.23 vers la fin du Miocène moyen témoigne d'une baisse d'oxygénation certaine. La présence de Parakrithe sp. A22 à vestibules et de faunes de la psychrosphère adaptées aux environnements peu oxygénés démontre qu'entre le Pliocène inférieur et supérieur l'oxygénation du milieu est encore plus faible.

Durant la même période, la chimie du sédiment est caractérisée par un déficit en éléments métallifères ; Mn^* devient négatif et les concentrations en carbone organique s'accroissent simultanément. En raison de la position bathymétrique présumée des sites à cette époque, cette évolution suggère l'influence de masses d'eau appauvries en oxygène dissous sur la sédimentation :

En conséquence, lorsque l'évolution oxydo-réductrice ne peut être imputable à l'établissement d'un bassin confiné, une forte valeur négative de Mn^* conduit à pressentir l'influence de masses d'eau appauvries en oxygène dissous. Ce schéma est en accord avec les propositions de Park (1966) et Schlanger et Jenkyns (1976). Il exclut une quelconque évolution diagénétique.

III. LES MASSES D'EAU DE FOND LE CHENAL DE VEMA AU NEOGÈNE ET AU PLÉISTOCÈNE

A. LOCALISATION

Des carottes de type Kulleberg ont été prélevées dans le chenal de Vema, lors de la campagne Géobrézil (1973) du N. O. J. Charcot à des profondeurs variant entre 2 800 m et 4 800 m (figure 36). Elles pénètrent généralement de quelques mètres dans le sédiment et recoupent des séquences sédimentaires superficielles qui s'échelonnent du Miocène au Pléistocène (tableau XX).

CAROTTES	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)	PROFONDEUR D'EAU (m)	LONGUEUR DES CAROTTES (m)
KS 17	31°01'9	37°59'0	2 888	3,6
KS 19	30°50'	38°24'	3 495	4,5
KS 22	30°30'1	38°55'4	4 020	7,36
KS 24	30°16'3	39°18'9	4 565	4,75
KS 25	30°13'6	39°23'1	4 800	3,45

Tableau XX .- Caractéristiques des carottes prélevées lors de la campagne Géobrézil du C.N.E.X.O.

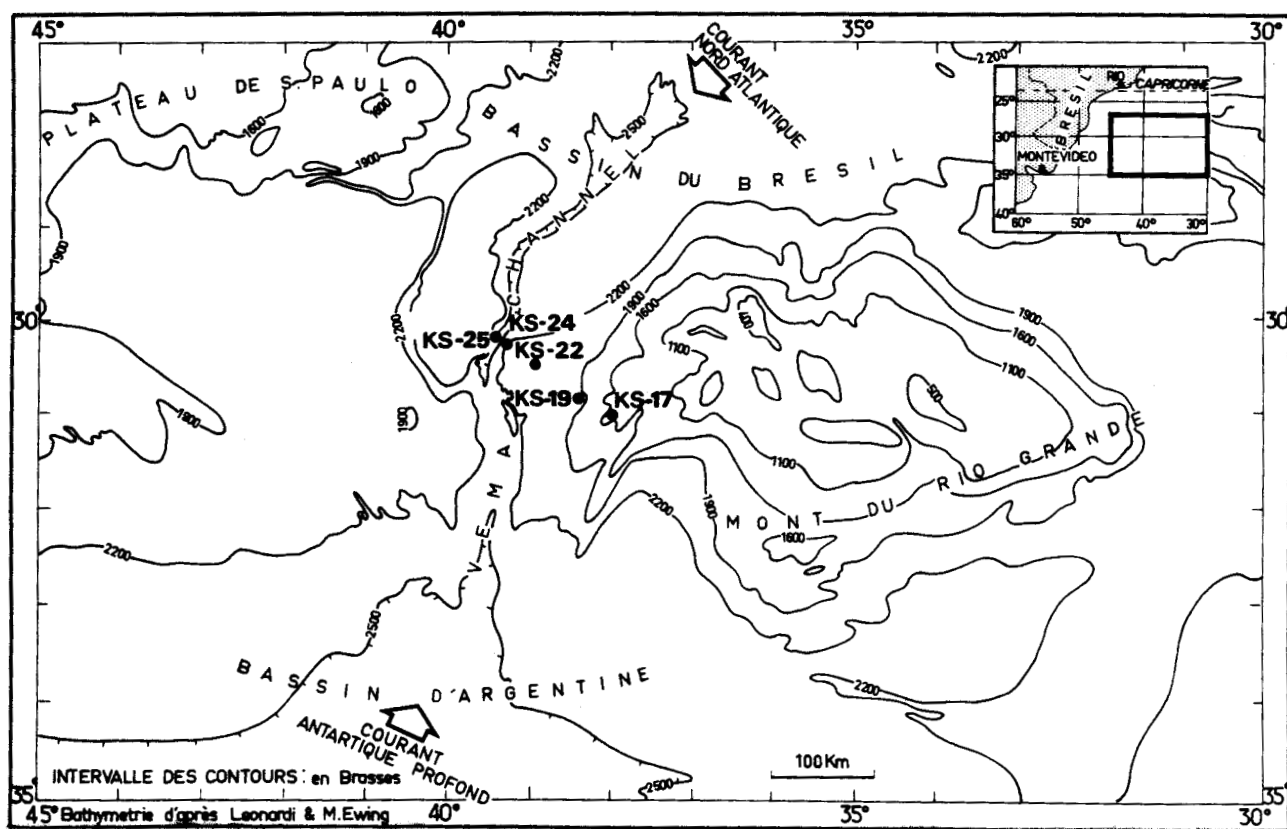


Figure 36 .- Localisation des sites étudiés d'après Melguen *et al.* (1978a). Les courbes de niveau: sont exprimées en brasses (1 brasses = 1,83 m).

B. LITHOLOGIE

Les cinq carottes sont essentiellement formées de sédiments quaternaires : il s'agit surtout de boues carbonatées à foraminifères et nannofossiles, de boues marneuses et de vases carbonatées dont le détail est donné sur la figure 37.

C. DONNÉES GÉOCHIMIQUES

Les caractéristiques géochimiques sont largement détaillées par Melguen *et al.* (1978a). Nous n'envisagerons ci-dessous que des critères de métallisation et de dissolution ou les variations du caractère détritique pour chacune des cinq carottes étudiées (tableaux LVIII à LXII, en annexe).

1. CAROTTES KS 17 ET KS 19

Elles sont toutes deux caractérisées par une forte métallisation (respectivement 0,79 et 0,78), un caractère détritique océanique banal (0,63). Les valeurs de Si^* (respectivement 2,18 et 2,41) sont typiques d'une composition argileuse banale. Mg^* (0,24 et 0,22), Fe^* (0,41 et

0,42) sont caractéristiques des valeurs généralement rencontrées dans un milieu fortement carbonaté sans apport de matériel volcano-détritique, d'argiles fibreuses ou de dolomite. Enfin, Sr^* (2,75 et 2,37) marque des faciès carbonatés marins banals, peu transformés par la diagenèse

2. CAROTTE KS 22

Trois zones géochimiques se distinguent dans cette carotte :

a) La première regroupe les sédiments situés entre 0 et 4,20 m et datés par Melguen du Quaternaire (de 0 à 2,40 m) et du Pliocène (de 2,40 m à 4,20 m) (figure 37). La métallisation est semblable à celle des sédiments des carottes KS 17 et KS 19, le caractère détritique est légèrement plus affirmé que précédemment ($D^* = 0,65$), Si^* (2,68) est typique d'une composition chimique moyenne des assemblages argileux ; Mg^* (0,18) et Fe^* (0,38) ne marquent pas d'enrichissement particulier en Mg et Fe, enfin, Sr^* (2,40) est caractéristique de carbonates pélagiques non dissous.

b) La séquence sédimentaire comprise entre 4,35 m et 6,00 m, d'âge indéterminé^X, montre une métallisation intense ($Mn^* = 0,67$) et un fort caractère détritique ($D^* = 0,70$), une valeur de Si^* typique d'une composition chimique moyenne d'argiles banales. Les valeurs de Mg^* (0,19) et de Fe^* (0,30) sont voisines de celles rencontrées précédemment avec la même signification ; enfin une forte accentuation de Sr^* (5,41) laisse présager une certaine dissolution de carbonates

c) Les sédiments prélevés entre 6,0 m et 7,20 m, d'âge Miocène inférieur (Melguen) sont moins métallisés que les précédents ($Mn^* = 0,30$) ; le caractère détritique y est élevé ($D^* = 0,67$) ; Si^* (3,17) ; Mg^* (0,22) et Fe^* (0,37) suivent la même évolution et présentent la même signification.

3. CAROTTE KS 24

Les sédiments de la carotte KS 24 n'ont pu être datés. Ils présentent une métallisation moins forte que celles observées jusqu'alors ($Mn^* = 0,11$) ; le caractère détritique est typiquement celui des shales de référence ($D^* = 0,63$) ; Si^* s'explique par la composition chimique des argiles : Mg^* (0,18) et Fe^* (0,45) ne reflètent pas d'enrichissement particulier en ces deux métaux ; enfin Sr^* (5,44) traduit une dissolution des carbonates.

4. CAROTTE KS 25

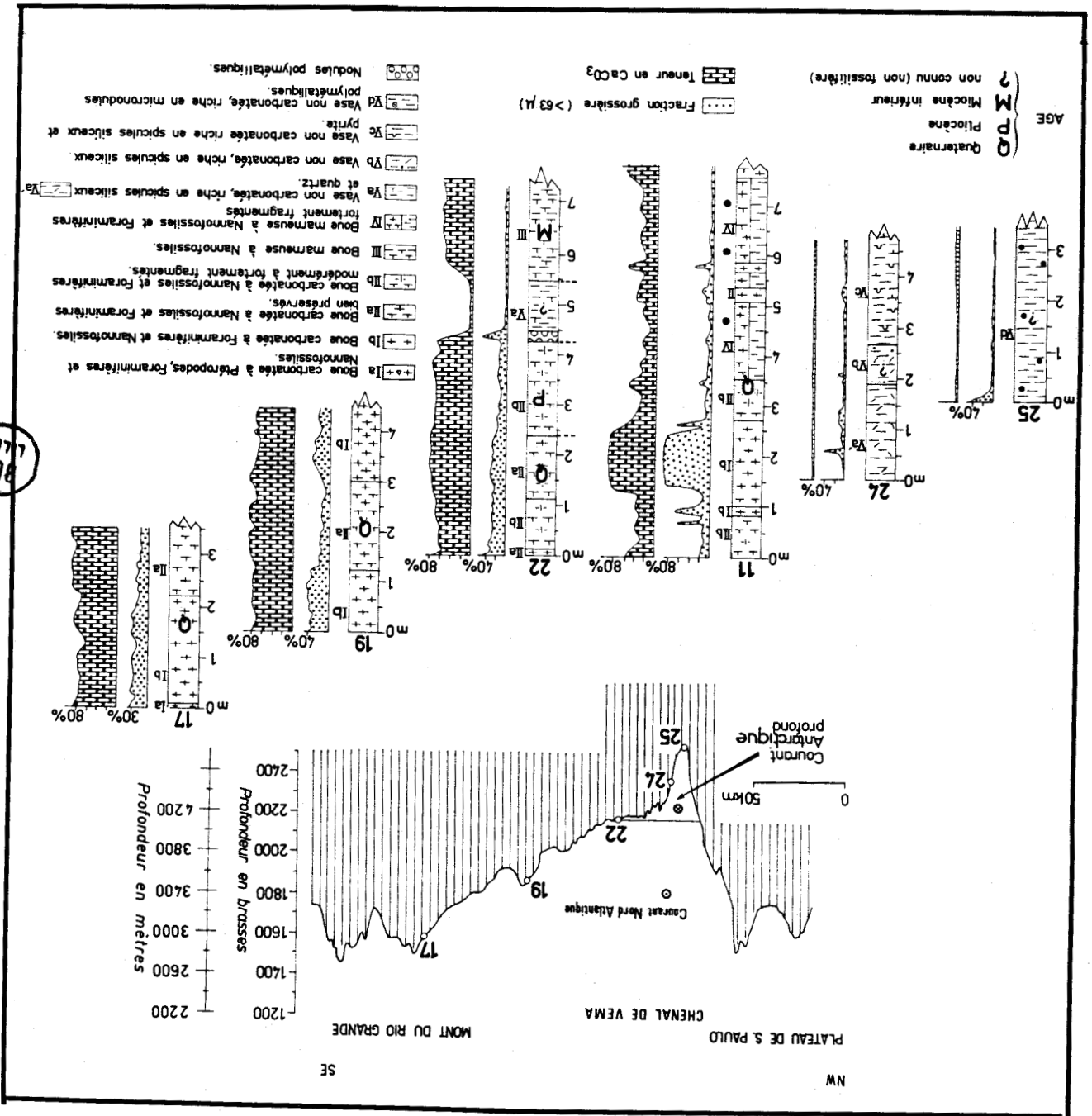
Les considérations formulées sur le comportement chimique des sédiments de la carotte KS 24 s'appliquent à ceux de la carotte KS 25. Toutefois, la métallisation est ici plus poussée ($Mn^* = 0,47$), les autres critères présentent des valeurs voisines : $D^* = 0,64$; $Si^* = 3,74$; $Mg^* = 0,25$; $Fe^* = 0,39$ et $Sr^* = 5,26$. Ces valeurs ont donc même signification que précédemment.

D. INTERPRÉTATION

Un certain nombre de caractéristiques géochimiques sont communes aux différents sédiments ou types sédimentaires analysés. Aussi vais-je les considérer globalement.

^X Si l'on exclut les niveaux particuliers compris entre 4,20 m et 4,35 m qui sont composés de micronodules et enrichis en phillipsite (Melguen *et al.*, 1978a).

Figure 37. - Distribution des types lithologiques, dans les sédiments des carottes prélevées lors de la mission Gébressil (1973) dans le chenal de Vema et sur le flanc ouest de la ride du Rio-Grande (d'après Melguen et al., 1978a).



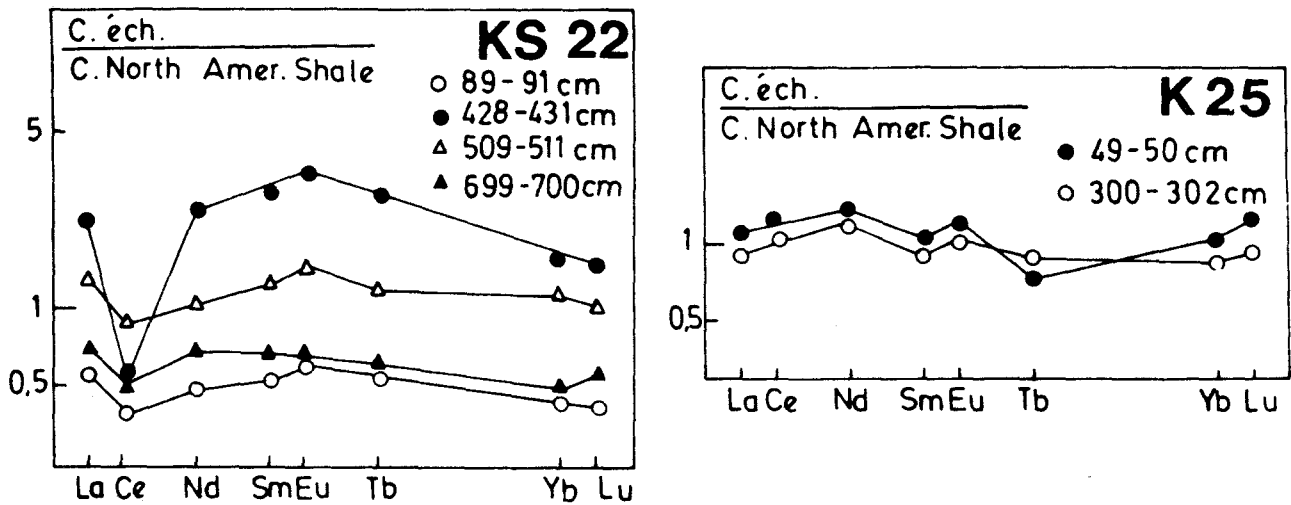


Figure 38 .- Répartition des terres rares le long des carottes KS 22 et KS 25 d'après Courtois in Melguen et al. (1978a).

1. Les argiles semblent toujours héritées ; en effet l'indice de détritisme reste voisin de 0,63, c'est-à-dire de la valeur typique des shales terrigènes (Wedepohl, 1978). Malgré les restrictions formulées à cet égard par Chamley (in Melguen et al., 1978a) suite aux études de Perch-Nielsen, Supko et al. (1975), la base de la carotte KS 22 (580 cm à 720 cm) semble elle aussi présenter ce caractère. Seul le niveau de la carotte KS 22 compris entre 428 cm et 431 cm semble constitué d'argiles néoformées. Courtois (in Melguen et al., 1978a) y note la présence d'une anomalie négative très marquée en cérium (figure 38). A ce niveau, l'influence volcanique sur la sédimentation est d'ailleurs mise en évidence par le comportement chimique de la roche totale : Mn^* (1,90) est exceptionnellement élevé et traduit une influence volcanique ; D^* (0,33) décroît au contraire et caractérise un enrichissement métallifère de la fraction fine ; Mg^* (0,27) et Fe^* (0,77) augmentent simultanément, caractère qui signifie généralement l'arrivée d'apports volcano-détritiques.

Ainsi, à l'exception de ce niveau singulier de la carotte KS 22, toutes les autres argiles des sédiments analysés dans les carottes KS 17, KS 19, KS 22, KS 24 et KS 25 paraissent d'origine détritique : les cortèges argileux reflètent les variations morphologiques, climatiques et les effets des courants de cette région de l'Atlantique Sud aux Néogène et Pléistocène.

2. L'évolution des métallisations semble varier faiblement en fonction de l'âge : les valeurs sont généralement comprises entre 0,79 et 0,67 pour les sédiments d'âge quaternaire et pour les sédiments non datés mais postérieurs au Miocène inférieur.

A ces valeurs très voisines sont associées des valeurs banales de D^* (0,63 à 0,70). Cette évolution, si l'on écarte l'événement volcanogénique de la carotte KS 22 (4,28 m à 4,35), exclut toute influence volcanique importante sur la sédimentation.

Les sédiments du Miocène inférieur (carotte KS 22) sont au contraire caractérisés par une nette décroissance de la métallisation ($Mn^{*} = 0,30$), alors que les autres critères chimiques sont très voisins de ceux précédemment observés. Il semble donc que le milieu, peu propice au Miocène inférieur à la précipitation des oxydes métalliques, le soit devenu davantage ensuite.

3. En conclusion, l'accentuation des métallisations au cours du temps laisse pressentir l'établissement d'un courant favorisant les précipitations de métaux dissous dans l'eau de mer. L'absence quasi permanente d'influences volcanogéniques sur la sédimentation permet en effet de proposer l'influence des courants.

Au Miocène inférieur, l'effet des courants de fond oxydants est faible sinon nul ; les précipitations des oxydes métalliques et principalement du manganèse dissous dans l'eau de mer sont à peine perceptibles.

Ensuite, le pouvoir oxydant du milieu aqueux s'accroît (forte concentration en oxygène dissous, vitesse marquée des courants de fond, refroidissement des masses d'eau) ; ou encore on observe l'augmentation des concentrations en métaux de transition dissous dans l'eau de mer (courant porteur se chargeant au voisinage de zones volcaniques actives lointaines).

Ici, la profondeur des sites considérés (Perck-Nielsen, Supko et al., 1975 ; Le Pichon et al., 1978) exclut toute influence des masses d'eau de surface : les observations précédentes sont donc imputables aux masses d'eau profonde dont les vitesses seraient variables, le refroidissement s'accroîtrait au Plio-Pléistocène (Robert, 1979).

Dans la région du chenal de Vema, de telles masses d'eau pourraient correspondre soit à celles de l'A. A. B. W. (Mc Coy et Zimmerman, 1977 ; Melgou et al., 1978a), soit à celles du N. A. D. W. (Johnson et al., 1977). Je proposerai dans la quatrième partie (chapitres IX à XII) des caractéristiques géochimiques, afin d'essayer de délimiter les fluctuations latitudinales de ces masses d'eau profondes. Remarquons dès à présent que la géochimie du sédiment - à travers les phénomènes d'oxydation des métaux - permet de commencer à appréhender l'évolution et l'influence des grandes masses d'eau de fond.

CINQUIEME CHAPITRE

DISSOLUTION DES CARBONATES

Dans la reconstitution du paléoenvironnement océanique, on rencontre deux types de dissolution qui présentent des caractéristiques et des significations différentes. Il s'agit d'une part de la dissolution syngénétique par agression du milieu encaissant et d'autre part de la dissolution de profondeur. Ces deux types seront envisagés à travers des exemples choisis dans les sédiments de l'Atlantique Sud.

I. DISSOLUTION SYNGÉNÉTIQUE : LES SÉDIMENTS RÉDUITS DU BASSIN D'ANGOLA DE L'ALBIEN AU CONIACIEN

A. LOCALISATION

Le site 530, réalisé lors du leg 75 (Hay, Sibuet et al., sous presse) traverse 1 427 m de sédiments qui s'étendent de l'Albien supérieur au Pléistocène. Il est localisé au point de coordonnées $19^{\circ}11.26'S$; $9^{\circ}23.15'S$ (figure 39) par 4 629 m de fond, c'est-à-dire en bordure méridionale du bassin d'Angola.

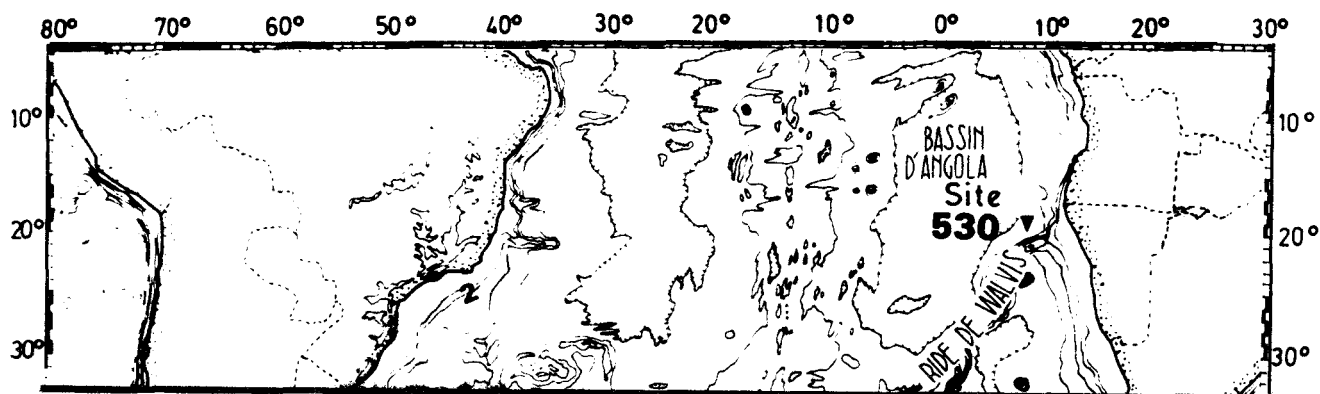


Figure 39 .- Localisation du site 530 (Leg 75) d'après Hay, Sibuet et al. (sous presse).

B. LITHOLOGIE

Recouvrant le basalte (carotte 105), les sédiments albiens, cénomaniens, turoniens et coniaciens (Hay, Sibuet et al., sous presse) sont constitués d'un mélange de black-shales, de silts et d'argile (figure 40). L'étude très détaillée de la matière organique de ces niveaux est actuellement réalisée par Deroo et Herbin (sous presse et comm. pers.). A partir du Coniacien (carotte 86) la série devient plus marneuse et s'enrichit en carbonates.

C. DONNÉES GÉOCHIMIQUES

Les black-shales sont généralement enrichis en zinc, chrome, vanadium, cobalt, nickel et cuivre (tableau LVI, en annexe , voir également chapitre III.3).

% dans la roche : Moyennes		: p.p.m. dans la : Moyennes	
totale	:	roche totale	p.p.m.
	%		
SiO ₂	: 53,44	: Sr	: 170
Al ₂ O ₃	: 6,00	: Cu	: 178
CaO	: 0,73	: Ni	: 214
MgO	: 2,50	: Co	: 135
Na ₂ O	: 1,57	: Zn	: 522
K ₂ O	: 3,12	: Pb	: 32
TiO ₂	: 1,14	: V	: 380
Fe ₂ O ₃	: 10,95	: Cr	: 175
	:		:

Tableau XXI .- Moyennes des éléments chimiques majeurs, mineurs et traces réalisées sur les échantillons 89.4.52, 93.5.26, 94.1.43, 96.4.29 et 98.4.27.

D. INTERPRÉTATION

La moyenne du rapport 10^3 Sr/CaO s'établit à 23,28. L'excès de strontium par rapport au carbonate de calcium peut traduire le résultat d'une dissolution de la fraction carbonatée du sédiment par agression de la matière organique. En effet, une partie du strontium structural des carbonates, libérée à la suite de cette dissolution de faciès demeurerait adsorbée par "l'insoluble". Ce piégeage de strontium par la phase solide, lors d'une dissolution presque totalement intra-sédimentaire, expliquerait la très forte accentuation de Sr*.

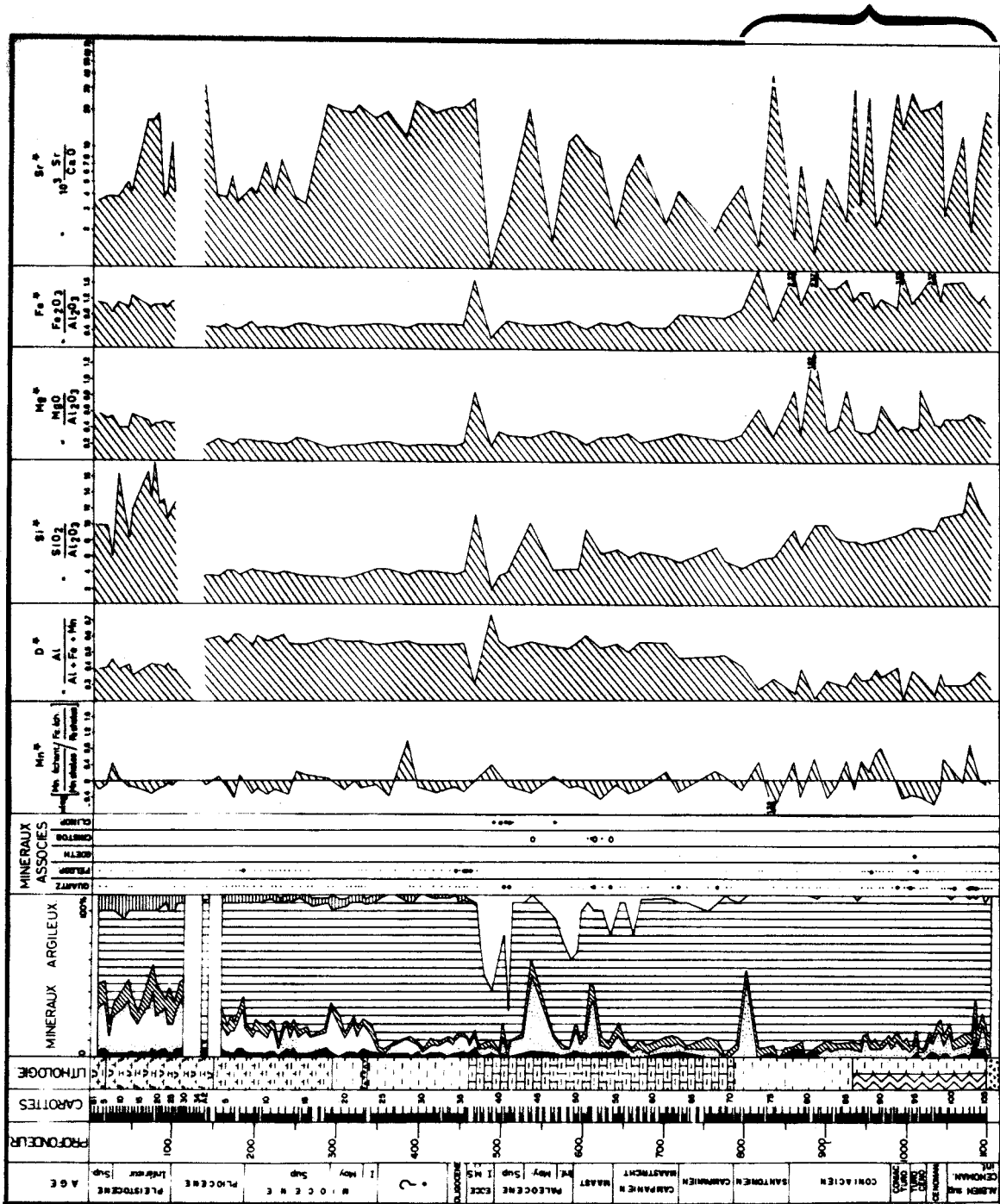


Figure 40 .- Site 530, leg 75, lithologie (d'après Hay, Sibuet et al., sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Maillot et Robert, sous presse b).



II. DISSOLUTION DE PROFONDEUR

Deux cas sont envisagés, le premier correspond à une localisation des dépôts sous la lysocline ; le second sous le niveau de compensation des carbonates (N. C. C.).

A. DISSOLUTION PARTIELLE DU SÉDIMENT : LES SÉDIMENTS NÉOGÈNES DU CHENAL DE VEMA ET LES SÉDIMENTS MIOCÈNES DU FLANC SUD-OUEST DE LA DORSALE MÉDIO-ATLANTIQUE

1. LOCALISATION

On trouvera ci-dessus (chapitre IV-III.A et figure 36) la localisation des sédiments de la carotte KS 22 (campagne Géobrézil du C. N. E. X. O., 1973). Le forage 513 du leg 71 (Ludwig, Krasheninnikov *et al.*, sous presse) est implanté sur le flanc ouest de la dorsale médio-atlantique (figure 41) par 4 380 m de fond en 47°34.99'S ; 24°38.40'W. Il traverse une série sédimentaire d'âge oligocène inférieur à pléistocène.

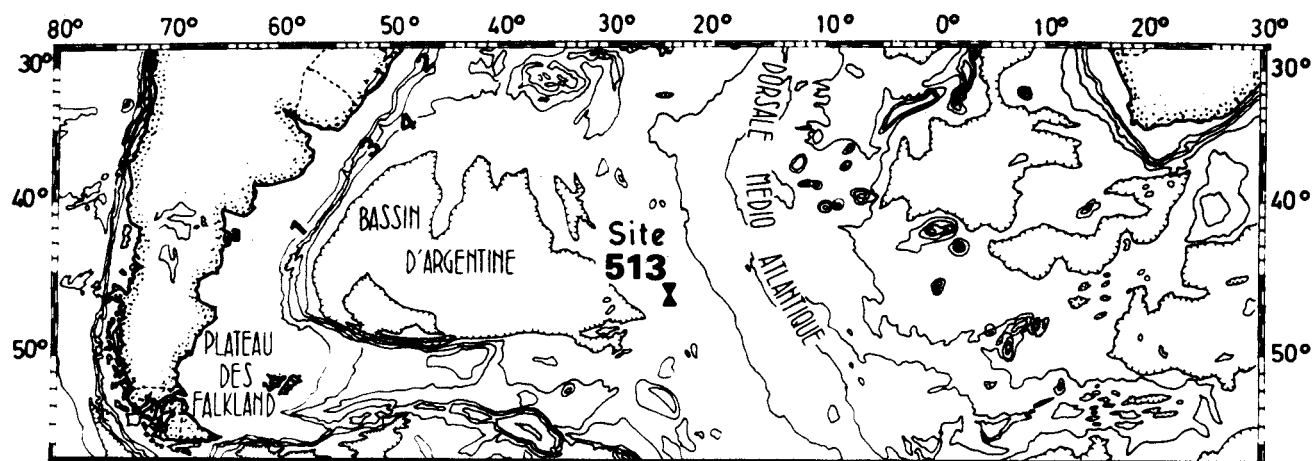


Figure 41 .- Localisation du site 513 (leg 71) d'après Ludwig, Krasheninnikov *et al.* (sous presse)

2. LITHOLOGIE

a) L'étude du degré de fragmentation des foraminifères dans la carotte KS 22 (Melguen *et al.*, 1978a) prouve une dissolution partielle des carbonates des sédiments (figure 37) entre les niveaux 4,35 m et 6,00 m ; au-dessus, les niveaux plio-pléistocènes sont très carbonatés. Au-dessous, ceux du Miocène inférieur sont composés de boues marneuses à nannofossiles.

b) La lithologie du forage 513 (figure 42) montre successivement des fragments de chert recouvrant un socle basaltique d'âge oligocène inférieur (Ludwig, Krasheninnikov *et al.*, sous presse) ; puis, de l'Oligocène inférieur à l'Oligocène supérieur, des boues à nannofossiles ; du sommet de l'Oligocène supérieur au Miocène inférieur, des intercalations de boues à nannofaunes et diatomées ; enfin du Miocène moyen au Pléistocène des boues hétérogènes à diatomées.

3. DONNEES GEOCHIMIQUES

Les principaux caractères géochimiques exprimés en valeurs relatives ou normées (D^* , Mn^* , Si^* , Fe^* et Mg^*) ayant trait aux sédiments de la carotte KS 22 ont été détaillés dans le chapitre IV-III.C auquel je renvoie le lecteur. Les concentrations de certains métaux exprimées dans la fraction libre de carbonates permettent de montrer l'homogénéité des phénomènes d'oxydation.

La géochimie des sédiments du site 513 permet de caractériser plusieurs coupures (figure 42). Au cours de l'Oligocène, D^* est élevé, Si^* est très élevé dans l'Oligocène inférieur (16,54) et décroît ensuite progressivement dans l'Oligocène supérieur (6,73). Ces valeurs suggèrent un apport détritique important, en relation avec la proximité du plateau des Falkland (chapitre II-IV). Les valeurs élevées de Mn^* (0,82) à l'Oligocène inférieur, laissent pressentir l'influence métallisante de la dorsale médio-atlantique. Cette influence s'estompe ensuite au cours du temps (Oligocène supérieur, Miocène inférieur), c'est-à-dire au fur et à mesure que l'élargissement océanique écarte le site de l'axe de la dorsale.

Sr^* est relativement faible dans l'Oligocène (2,85) et présente des valeurs typiques de carbonates marins banals dépourvus de dissolution.

Au contraire, il s'accroît légèrement du sommet de l'Oligocène supérieur à la base du Miocène inférieur (figure 42) et augmente considérablement ensuite (Miocène moyen à Pléistocène).

CAROTTES	MOYENNES	Mn	Ni	Co	Cu	Li
:	:	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.
KS 17	:dans le sédiment:	790	39	16	17	6
	:dans l'insoluble:	3 230	158	64	68	25
KS 19	:dans le sédiment:	807	47	12	20	7
	:dans l'insoluble:	3 440	200	50	87	30
KS 22 sup.	:dans le sédiment:	1 210	50	11	34	12
	:dans l'insoluble:	3 440	140	30	97	34
KS 22 inf.	:dans le sédiment:	640	63	8	24	26
	:dans l'insoluble:	1 320	130	16	49	53

Tableau XXII .- Concentrations moyennes des faciès carbonatés en Mn, Ni, Co, Cu, Li avant et après décarbonatation (in Melguen et al., 1978a).

4. INTERPRETATION

a) En considérant les critères de dissolution des carbonates, on peut distinguer trois séquences dans la colonne sédimentaire de la carotte KS 22 :

- De 0 à 4,20 m, le sédiment d'âge plio-pléistocène est peu affecté par la dissolution. Le faible degré de fragmentation des tests de foraminifères est significatif à cet égard (Melguen, 1975). Les nannofossiles ne sont pas agressés par un quelconque phénomène de dissolution comme en témoigne les photographies prises au M. E. B. (Maillot, résultats non publiés). Sr^* (2,40) caractérise, par sa faible valeur relative, l'absence de dissolution des carbonates.

- De 4,35 à 6,00 m, le sédiment, dont l'âge est compris entre le Pliocène et le Miocène inférieur, reflète l'effet d'une forte dissolution par le degré de fragmentation des tests de foraminifères. (Melguen, comm. pers. ; Melguen et al., 1978a). Cependant, la persistance de légères concentrations en CaO (tableau LX, en annexe) montre que la dissolution n'est que partielle. Sr^* (5,41) caractérise cette forte dissolution de la fraction carbonatée du sédiment, sans doute déposé au voisinage du N. C. C. (Melguen et al., 1978a).

- De 6,00 m à 7,20 m, les sédiments constitués de boues marneuses à Nannofossiles d'âge Miocène inférieur (Melguen et al., 1978a) sont peu dissous : Sr^* (2,90) est voisin des valeurs rencontrées dans les sédiments carbonatés banals. Cette légère dissolution est confirmée par le faible degré de fragmentation des tests de foraminifères (Melguen, 1975).

L'ensemble de ces fluctuations est à lier à l'influence des courants froids de fond qui participent à la remontée du N. C. C. (Melguen et al., 1978a) ; les fluctuations du N. C. C. relevées dans les sédiments de la carotte KS 22 s'inscrivent dans cette logique. Deux explications peuvent être avancées.

- Soit la séquence sédimentaire peut être affectée par une phase de remontée du N. C. C. si l'on considère qu'elle est d'âge Miocène moyen. Cette phase paroxysmale s'observe par ailleurs en Atlantique Sud (Van Andel et al., 1977 ; Le Pichon et al., 1978 ; Melguen et al., 1978b).

- Soit cette même séquence est affectée par une remontée plus locale du N. C. C. induite par le développement des courants froids (A. A. B. W., N. A. D. W. ; Mc Coy et Zimmerman, 1977) au Miocène moyen ou plus récemment.

b) Au site 513 (leg 71), les sédiments de l'Oligocène inférieur et ceux de la base de l'Oligocène supérieur ne sont pas affectés par la dissolution des carbonates : ils se déposent à proximité immédiate de la dorsale à une profondeur largement inférieure à celle du N. C. C. de l'époque (Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse ; Robert et Maillot, sous presse).

Du sommet de l'Oligocène supérieur au Miocène inférieur, une petite augmentation de Sr^* s'explique probablement par une légère dissolution des carbonates : à cette époque, le site était vraisemblablement compris entre les lysoclines et le N. C. C. Cette interprétation est en accord avec l'étude du degré de fragmentation des tests de foraminifères (Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse).

Depuis le sommet du Miocène inférieur jusqu'au Pléistocène, Sr^* augmente fortement. Cette évolution caractérise le passage du site sous le niveau de compensation des carbonates.

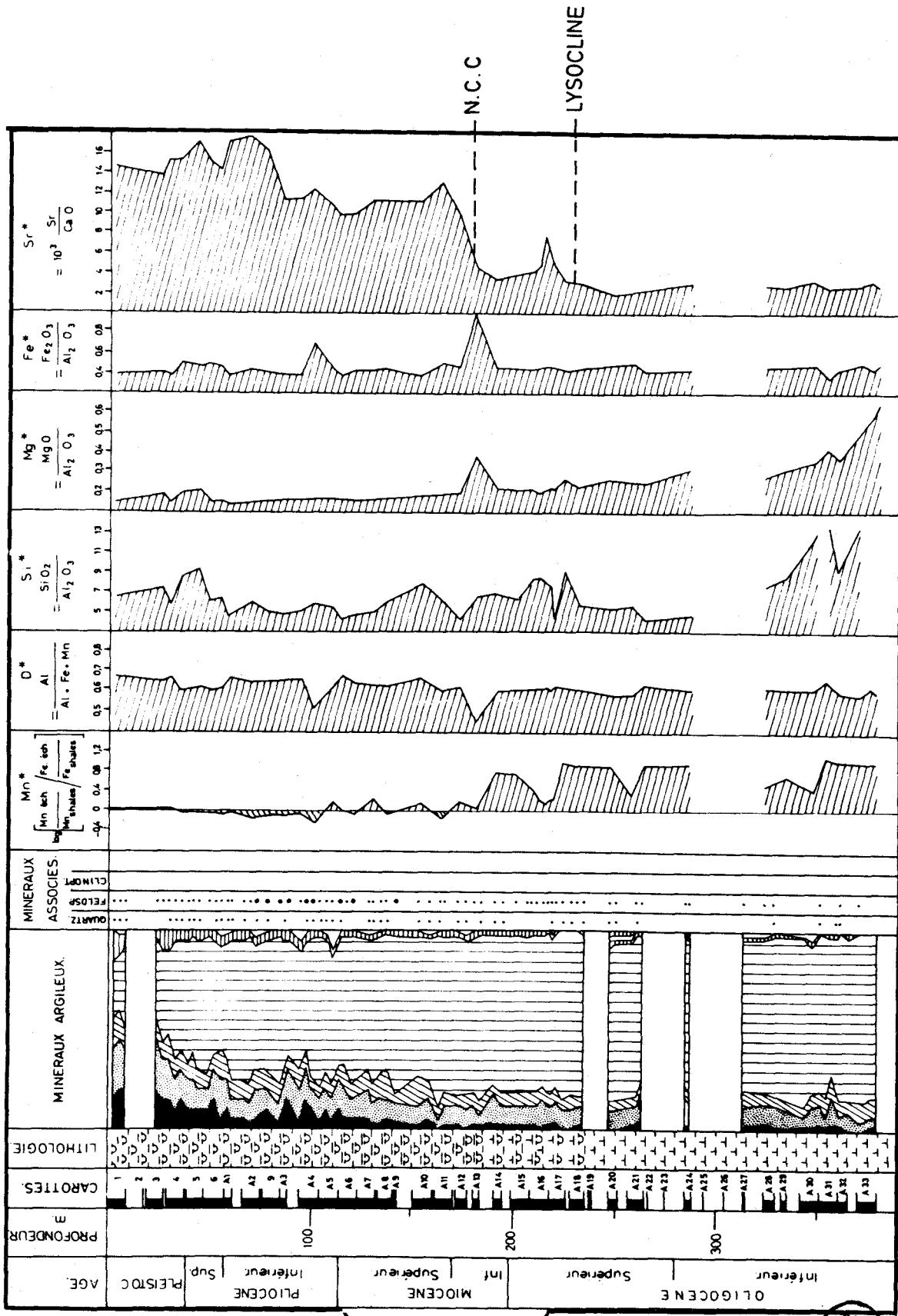


Figure 42 .- Site 513, leg 71, lithologie (d'après Ludwig, Krashennnikov et al., sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse).

Ainsi, la dissolution partielle des carbonates se marque dans les deux exemples choisis par une légère augmentation de Sr^{*} . Elle s'inscrit soit dans les variations paléobathymétriques du site, soit dans celles du niveau de compensation des carbonates de l'époque considérée.

c) Deux interprétations sont donc proposées : pour les sédiments du chenal de Vema, j'envisage l'influence de fluctuations du N. C. C. liées aux masses d'eau, pour ceux du flanc Sud-Ouest de la dorsale médio-atlantique, je propose une dissolution en termes de subsidence conforme au refroidissement de la croûte océanique (Sclater, 1973).

On remarque à la fois les apports de la géochimie minérale et les limites de ces apports : les critères utilisés permettent de préciser l'amplitude de la dissolution. Ils ne sont explicités que lorsqu'ils sont replacés dans une paléoévolution de l'ensemble océanique considéré, et confortés par d'autres interprétations basées sur d'autres techniques d'étude.

B. DISSOLUTION TOTALE DU SÉDIMENT : LES SÉDIMENTS MIO-PLIOCÈNES DU FLANC SUD-OUEST DE LA DORSALE MÉDIO-ATLANTIQUE ET DU CRÉTACÉ SUPÉRIEUR DU BASSIN DU BRÉSIL

Deux sites ont été retenus pour illustrer la dissolution totale de la fraction carbonatée dans un bassin océanique profond. Il s'agit des sites 355 et 513.

1. LOCALISATION ET LITHOLOGIE

Le site 513 est localisé sur le flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique (chapitre V.II.A.1). Il recoupe des sédiments d'âge oligocène à pléistocène dont la lithologie est détaillée dans le chapitre précédent.

Le site 355 du leg 39 (Supko, Perch-Nielsen *et al.*, 1979) est foré en $15^{\circ}42.59'S$ et $30^{\circ}36.03'W$ sous une profondeur d'eau de 4 886 m (figure 43).

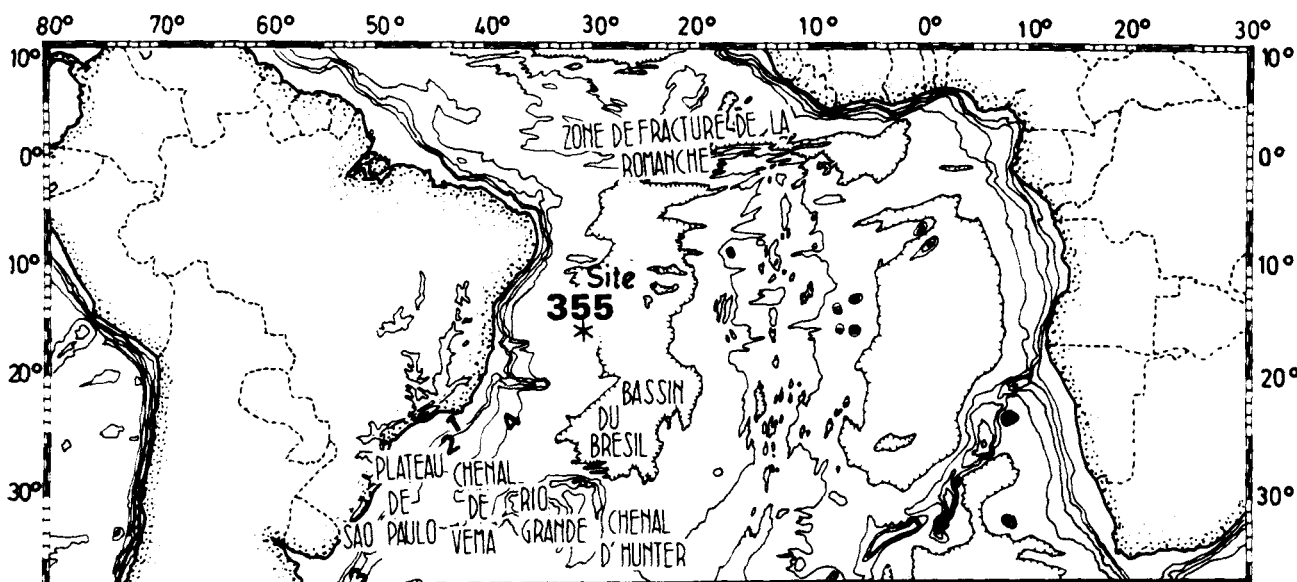


Figure 43 .- Localisation du site 355 (leg 39) d'après Supko, Perch-Nielsen *et al.* (1979).

Les sédiments sont composés de boues à nannofaunes de couleur brune, d'âge campanien. Ils recouvrent des basaltes aphyriques fortement altérés (figure 44).

2. DONNEES GEOCHIMIQUES

a) DISSOLUTION TOTALE DANS LE MILIEU NATUREL : LE MIO-PLIOCENE DU SITE 513

La séquence sédimentaire incluse entre le sommet du Miocène inférieur et le Pléistocène montre un faciès très siliceux, riche en radiolaires et diatomées, où la concentration en CaO exprimée dans la roche totale est voisine de 1 %, c'est-à-dire vraisemblablement liée aux fractions argileuses.

Ces niveaux présentent en outre une forte accentuation de Sr^* qui semble témoigner, dans ce contexte, d'une forte dissolution des carbonates.

b) DISSOLUTION TOTALE REALISEE ARTIFICIELLEMENT :

On envisage successivement les caractéristiques géochimiques correspondant à la roche totale puis à la fraction fine ($< 2 \mu m$).

L'ensemble des niveaux sus-jacents aux basaltes (21.1.50 à 19.1.140, figure 44) montre une forte homogénéité des faciès géochimiques (tableau XL, en annexe). En particulier, les résultats exprimés en valeurs relatives marquent un fort enrichissement métallifère ($Mn^* = 1,26$) lié à l'altération des basaltes sous-jacents.

Le caractère détritique est faible ($D^* = 0,38$) et la fraction carbonatée ne semble pas avoir subi de dissolution lors du dépôt ($Sr^* = 1,89$).

L'analyse chimique de la fraction argileuse ($< 2 \mu m$) est effectuée après décarbonatation totale, sur des niveaux regroupés en raison de la faible quantité de matière disponible :

FF1 : 19.1.140 + 19.2.40 + 19.2.87

FF2 : 19.3.46 + 19.3.138 + 20.1.120 + 20.2.50

FF3 : 20.2.138 + 21.1.10 + 21.1.50

Ce processus de préparation conduit à réaliser une dissolution ménagée artificielle.

Il apparaît (tableau LXV, en annexe) que la concentration en éléments de transition diminue de la base vers le sommet ($Mn^*_{FF3} = 1,34$; $Mn^*_{FF2} = 1,20$; $Mn^*_{FF1} = 0,80$). Simultanément, l'indice de détritisme offre un comportement inverse ($D^*_{FF3} = 0,38$; $D^*_{FF2} = 0,42$; $D^*_{FF1} = 0,48$). Si^* (3,74) est très proche des valeurs généralement rencontrées dans les argilites non enrichies en silice libre. Enfin, les valeurs de Sr^* (50,50) sont très élevées et caractérisent la dissolution des carbonates.

3. INTERPRETATION

L'évolution des sédiments mio-pliocènes et le comportement de Sr^* impliquent le maintien du site 513 sous le niveau de compensation des carbonates, du Miocène inférieur jusqu'au Pléistocène. Cette interprétation est en accord avec celles d'autres auteurs utilisant en particulier le degré de fragmentation des tests de microfossiles (Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse).

3711
SIB

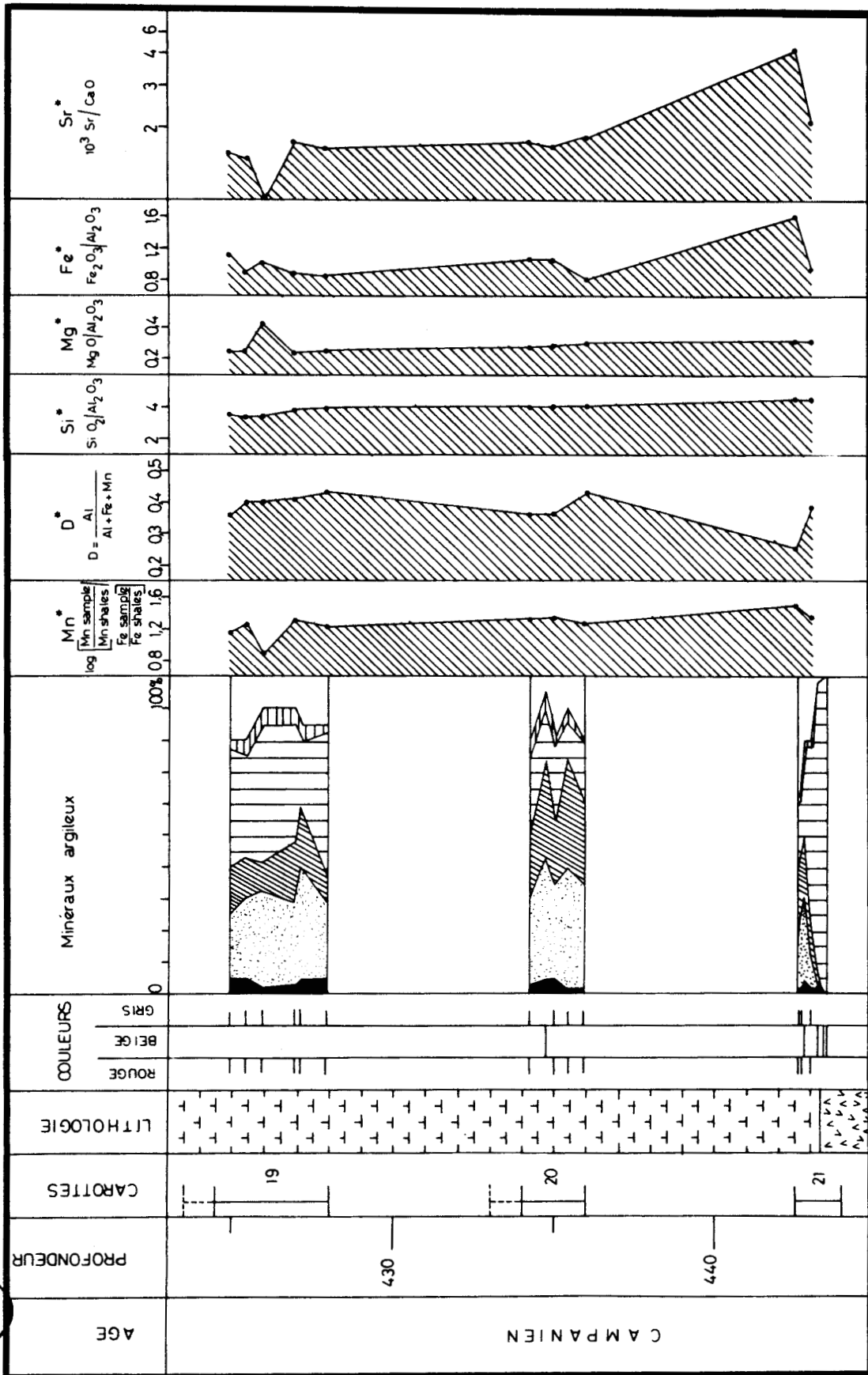


Figure 44 .- Site 355, leg 39, lithologie (d'après Supko, Perch-Nielsen et al., 1979), minéralogie des argiles (d'après Robert, comm. pers.) et géochimie de la roche totale.

L'accroissement du critère Sr^* lors de la dissolution totale des sédiments est expérimentalement démontré sur les carbonates du site 355. L'attaque ménagée (HCl, N/10) réalisée sur ces carbonates est beaucoup plus agressive et rapide que celle qui résulte du milieu naturel (passage sous la lysocline puis sous le N. C. C.).

L'évolution de Sr^* est certainement différente dans le milieu naturel et dans le milieu expérimental.

- Dans le premier cas, la totalité du strontium, lié structurellement aux carbonates, passe en solution dans l'eau de mer lors de la complète dissolution de ces carbonates. Les valeurs de Sr^* (10 à 15) rencontrées alors marquent seulement la caractéristique du faciès "argilite" (rapport du strontium et de la chaux des argiles). Sr^* confirme donc une dissolution complète des carbonates, là où d'autres indices localisent le site à proximité ou sous le niveau de compensation des carbonates de l'époque.

- Dans le second cas, les carbonates sont agressés dans un milieu artificiel. L'attaque est certainement beaucoup plus brutale que dans le milieu naturel. Cependant la solution résultante est maintenue au contact des particules argileuses. Ainsi, lors de cette attaque, une partie du strontium peut se trouver piégée par l'insoluble.

En conclusion, l'indice Sr^* ne permet pas de faire la part entre les argiles résultant d'une dissolution totale et celles déposées dans un milieu sédimentaire non carbonaté. Le comportement de Sr^* autorise en contre-partie à distinguer la dissolution synsédimentaire des carbonates en milieu confiné (chapitre V.1) et la dissolution partielle de ceux-ci au voisinage des lysoclines (chapitre V.II).

SIXIEME CHAPITRE

OUVERTURE OCEANIQUE, VITESSE D'OUVERTURE ET INFLUENCES DU CONTINENT

Pour définir ces différents thèmes, on retient trois sites qui marquent respectivement :

- l'évolution du paléoenvironnement avec l'éloignement depuis la dorsale (site 19) ;
- les variations de vitesse d'ouverture (site 14) ;
- les influences continentales en milieu ouvert (site 360).

I. LOCALISATION

Les sites 14 et 19 du leg 3 (figure 45) sont implantés sur le flanc ouest de la dorsale médio-atlantique (Maxwell et al., 1970) respectivement aux points de coordonnées $28^{\circ}19.89'S$; $20^{\circ}56.46'W$ sous 4 346 m d'eau et $28^{\circ}32.08'S$; $23^{\circ}40.63'W$ sous 4 685 m d'eau. Le site 360 du leg 40 (figure 45) est foré au point de coordonnées $35^{\circ}50.75'S$; $18^{\circ}05.79'E$ par 2 949 m de fond (Bolli, Ryan et al., 1978).

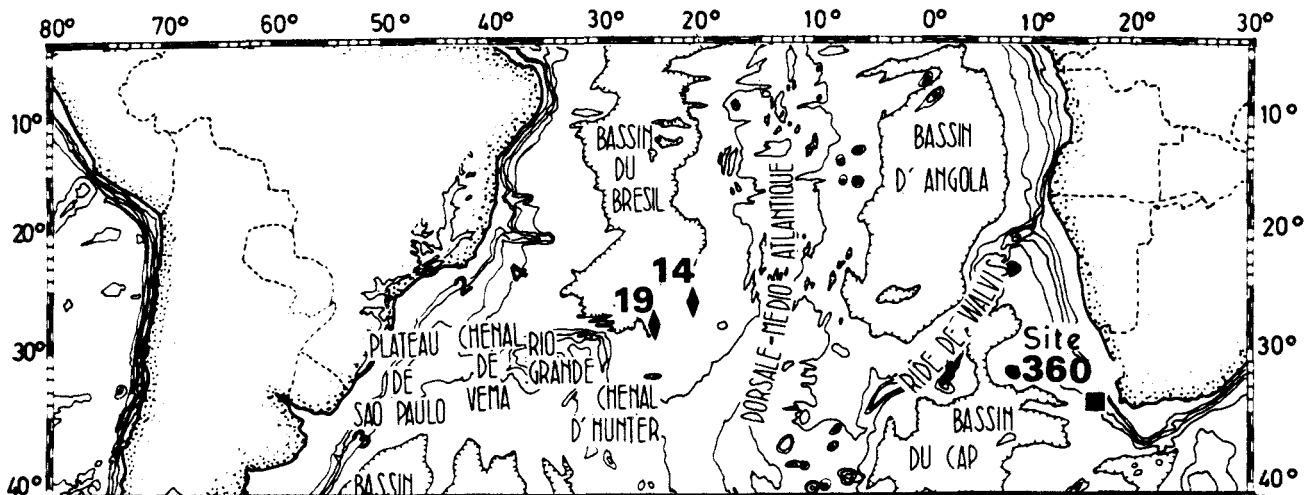


Figure 45 .- Localisation des sites 14 et 19 (leg 3) d'après Maxwell et al. (1970) et du site 360 (leg 40) d'après Bolli, Ryan et al. (1978).

II. LITHOLOGIE

Au-dessus de la croûte basaltique, les sédiments du site 14, compris entre l'Eocène supérieur et l'Oligocène supérieur sont composés d'une alternance de craie à nannofossiles et de marnes. La craie à Braarudosphera de l'Oligocène supérieur est recouverte par des craies à nannofossiles pauvres en foraminifères et d'âge miocène inférieur (Maxwell et al., 1970).

Six formations lithologiques se distinguent parmi les sédiments du site 19. Sur des basaltes en pillow-lavas se déposent des craies à nannofossiles mélangées à des minéraux opaques et du sable. Ces sédiments appartiennent à l'Eocène moyen. Ils sont recouverts par des craies et marnes à nannofossiles de l'Eocène supérieur. L'Oligocène inférieur et supérieur est formé d'une craie brune à jaunâtre dans laquelle s'intercalent, vers le sommet, des niveaux de craie à Braarudosphera. Des boues rouges recouvrent cette craie. Leur âge n'est pas déterminé avec précision, il est compris entre l'Oligocène supérieur et le Pléistocène.

Enfin, le Pléistocène est constitué de boues brunes à nannofaunes (Maxwell et al., 1970).

Les sédiments éocènes du site 360 sont composés d'un mélange de craie et de marnes à nannofaunes sur lesquelles se sont déposées des craies à nannofaunes d'âge Miocène inférieur et moyen. Enfin, le Miocène supérieur et le Pliocène inférieur sont constitués de boues calcaires (Bolli, Ryan et al., 1978).

III. DONNEES GÉOCHIMIQUES

A. SITE 14

La chimie des sédiments du site 14 (figure 46 a et b) ne montre pas de décroissance des mé-tallisations vers les périodes récentes : Mn^* (1,50) reste très élevé. Seuls les métaux de transition exprimés dans la fraction libre de carbonates (figure 46a) présentent une légère décroissance à partir de l'Oligocène supérieur.

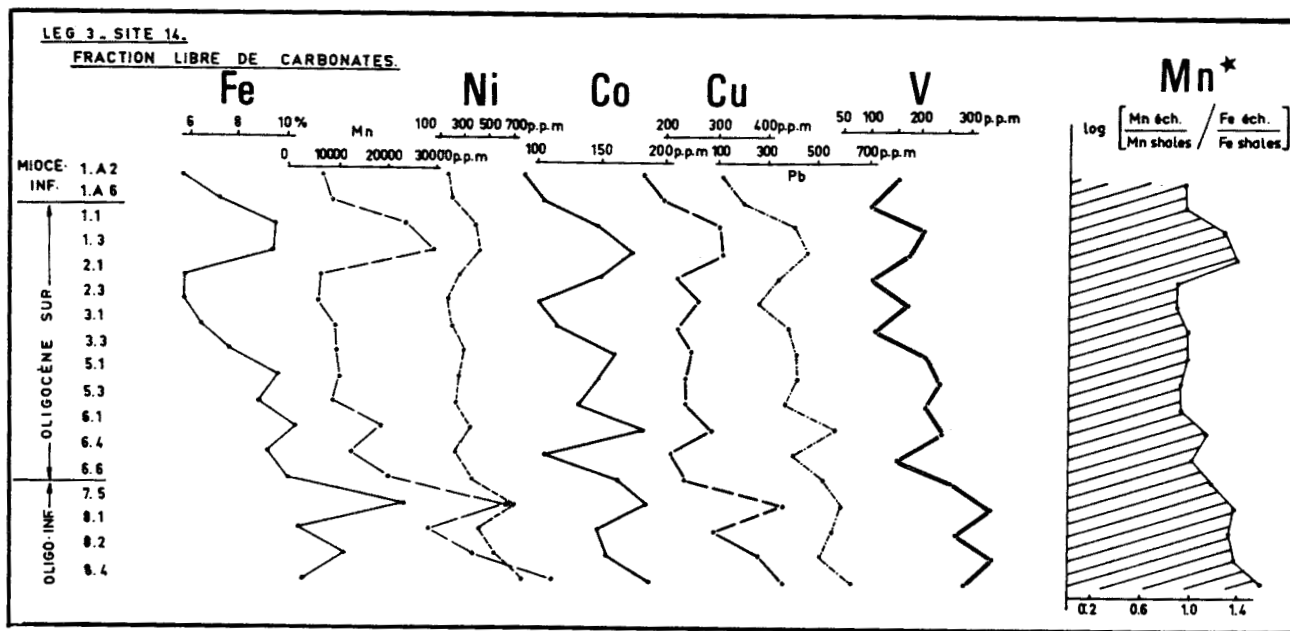
L'étude détaillée des sédiments qui recouvrent directement les basaltes (carottes 9, figure 46b) montre que la fraction argileuse est très influencée par la métallisation ($D^* = 0,20$) qui est encore davantage marquée vers le Burdigalien. Si^* (3,53) reflète la composition chimique moyenne des argiles. Sr^* (2,63) caractérise une sédimentation carbonatée marine sans dissolution.

L'analyse chimique de la fraction fine (tableau LXIII, en annexe) a été réalisée sur les ensembles de niveaux :

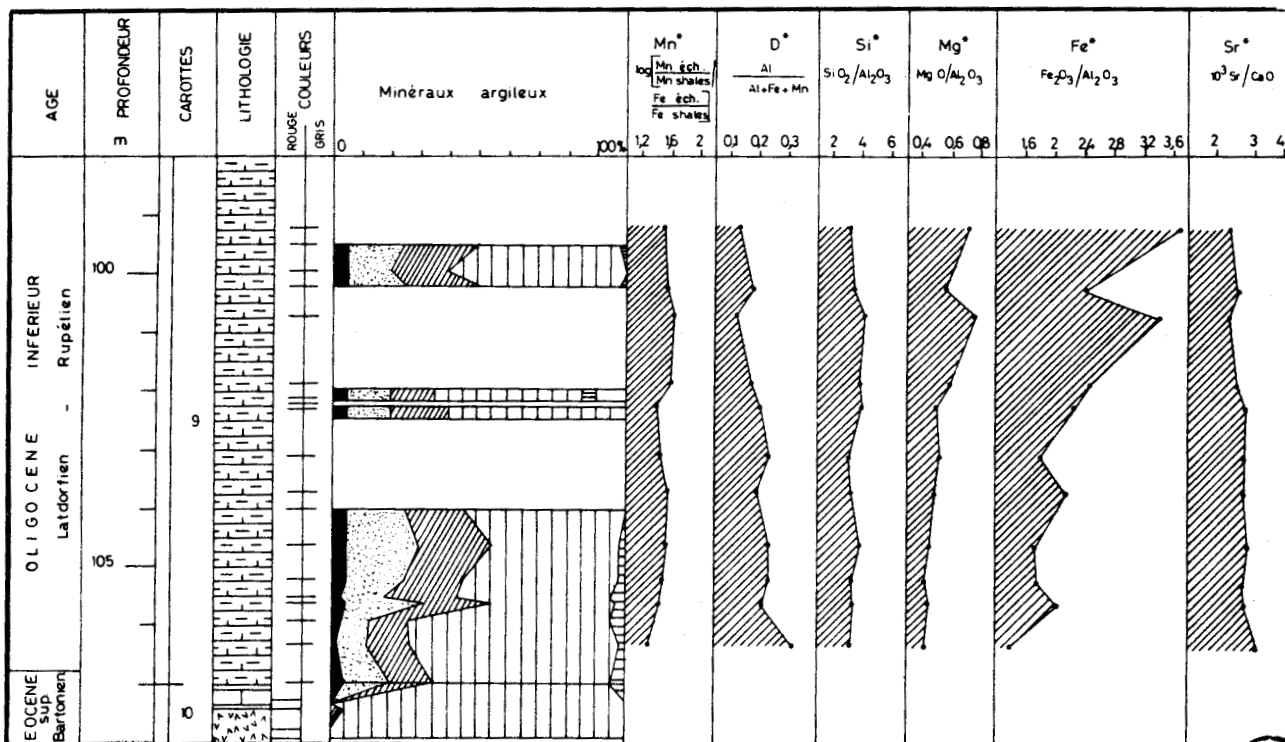
FF1 : 9.1.120 + 9.2.68 + 9.2.120 + 9.3.84 + 9.3.119

FF2 : 9.4.62 + 9.4.120 + 9.5.62 + 9.5.120 + 9.6.9 + 9.6.76

Elle montre également une forte métallisation du milieu de sédimentation ($Mn^*_{FF2} = 1,50$; $Mn^*_{FF1} = 1,64$) et une influence volcanogénique sur la fraction fine ($D^*_{FF2} = 0,27$; $D^*_{FF1} = 0,20$).



a.



b.

BUS
LILLE

Figure 46 .- Evolution des critères chimiques dans les sédiments du site 14 (leg 3). a) Fraction libre de carbonates et Mn* sur l'ensemble de la colonne sédimentaire, b) détail du contact basalte/sédiment. (Les analyses d'argiles sont figurées d'après Robert, 1982)

L'étude d'ensemble de la séquence sédimentaire fait apparaître une accentuation du caractère détritique de la fraction fine qui atteint les valeurs des shales typiques dans le Miocène supérieur et le Pliocène.

B. SITE 19

L'étude détaillée du sédiment prélevé au contact du basalte (figure 47b) montre une forte influence métallisante ($Mn^* = 1,09$) associée à un caractère détritique faible ($D^* = 0,29$). Dans le détail, l'importance des métallisations - en particulier du fer - décroît légèrement vers le haut (figure 47b et tableau XXIII).

Carottes	Mn^*	D^*
11.2.120 à 11.1.43	0,98	0,37
11.4. 47 à 11.3.47	1,10	0,33
11.4.148 à 11.4.73	1,15	0,21

Tableau XXIII .- Comportement de Mn^* et D^* dans les premiers sédiments au contact du basalte (site 19, Leg 3).

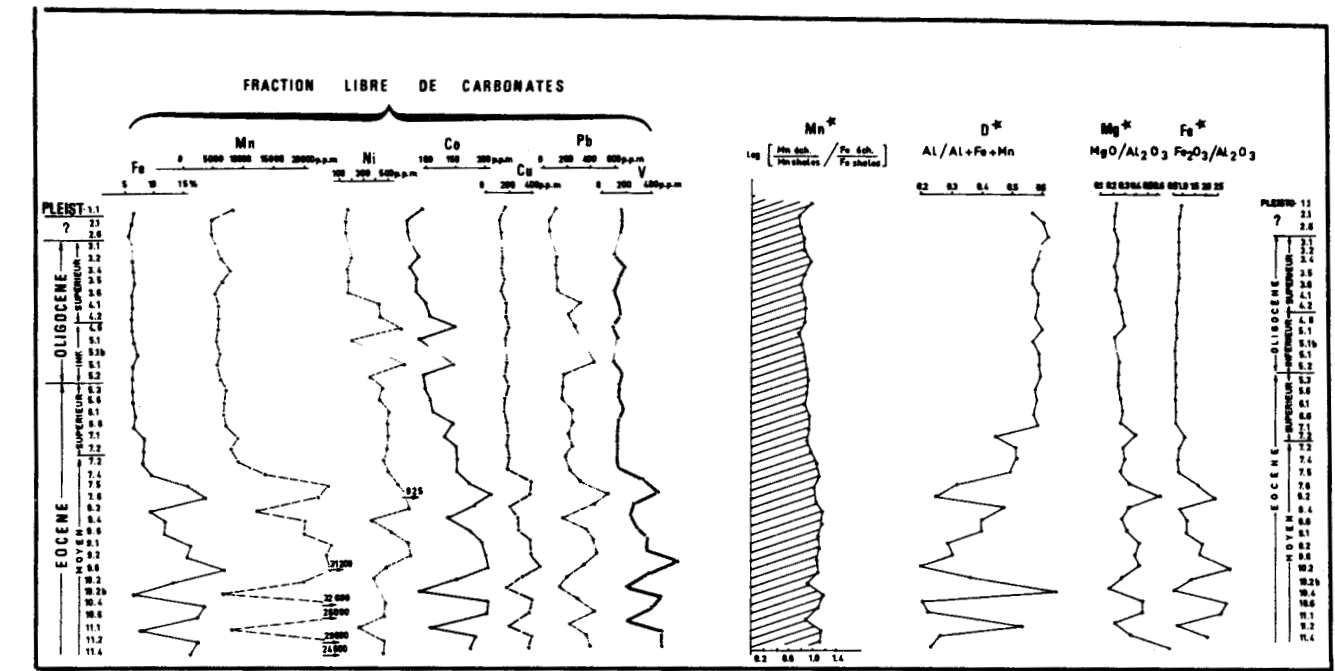
La valeur de Si^* (3,63) est proche de la moyenne des argiles et enfin Sr^* (2,55) caractérise un sédiment carbonaté marin non dissous.

Vers le haut de la colonne sédimentaire, l'indice D^* augmente : 0,21 ; 0,33 ; 0,37 (tableau XXV). Inversement les valeurs de Fe^* (2,13 ; 1,79 ; 1,06) montrent un appauvrissement sensible des concentrations en fer au fur et à mesure de l'éloignement du site par rapport à la zone active de la dorsale.

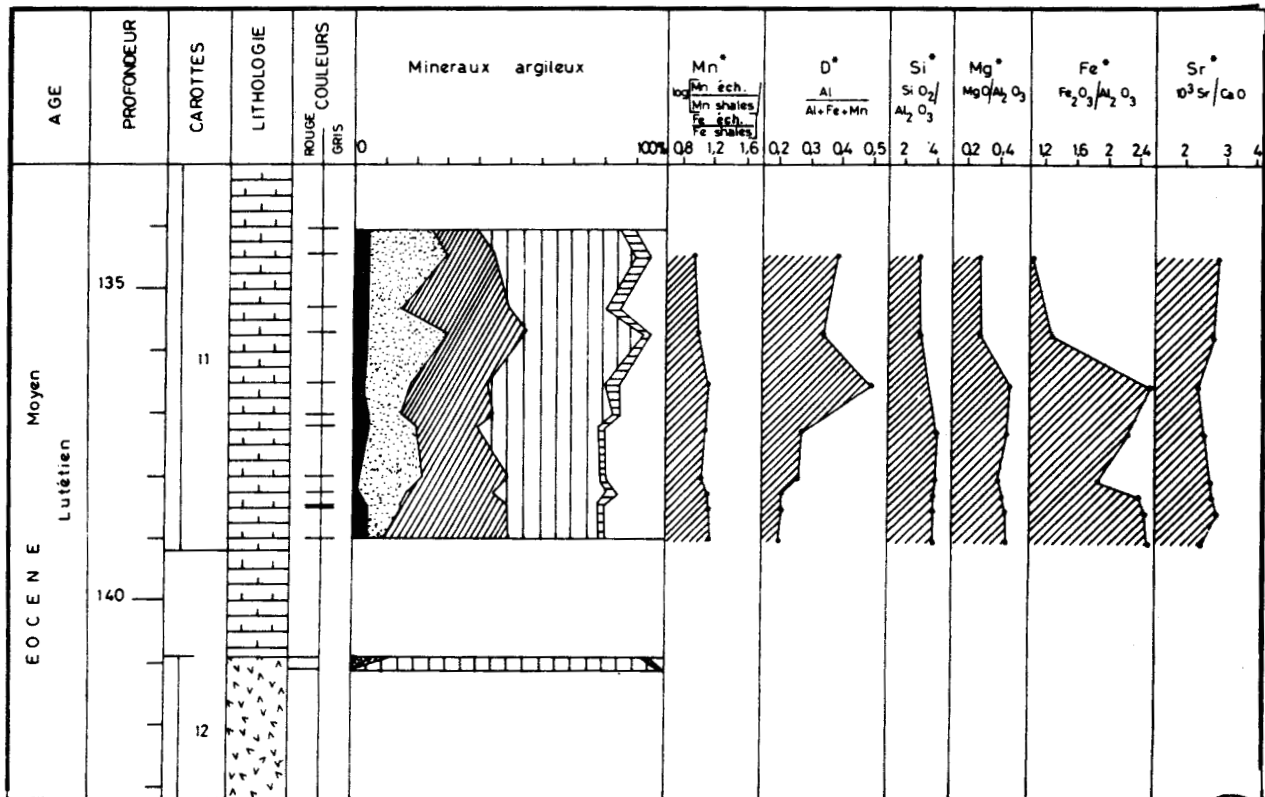
L'étude globale (figure 47a) montre, à partir de l'Eocène moyen et jusqu'à l'Eocène supérieur, à la fois : une forte accentuation des concentrations en éléments de transition (Fe, Mn, Ni, Co, Pb et V), une oscillation synchrone des éléments ferro-magnésiens (Mg^* , Fe^*) et une faible valeur de D^* . Mn^* marque une légère décroissance vers le sommet, mais demeure toujours supérieur à l'unité, prouvant un enrichissement métallifère constant.

Puis, à partir de l'Eocène supérieur et jusqu'au Pléistocène (avec de nombreux hiatus), les concentrations en éléments de transition décroissent et se stabilisent.

Les ferro-magnésiens disparaissent et D^* évolue vers des valeurs typiques des shales de référence (Wedepohl, 1978). Mn^* marque une décroissance par rapport aux valeurs relevées dans l'Eocène moyen mais demeure toujours largement positif.



a.



BUS LILLE

b.

Figure 47 .- Evolution des critères chimiques dans les sédiments du site 19 (leg 3). a) Fraction libre de carbonates, Mn*, D*, Mg* et Fe* sur l'ensemble de la colonne sédimentaire, b) détail du contact basalte/sédiment. (Les analyses d'argiles sont figurées d'après Robert, 1982).

C. SITE 360

Les sédiments éocènes à miocènes du site 360 montrent, par rapport aux sédiments plus océaniques, une diminution très sensible de Mn^{*} qui devient voisin de zéro dans les horizons sommitaux (figure 48). La relation D^{*} présente des valeurs moyennes conformes à celles des "shales" de référence (Wedepohl, 1978), prouvant un caractère détritique banal.

En outre, les éléments de transition, peu abondants, fluctuent sans corrélation. Enfin, Mg^{*} et Fe^{*} ne présentent aucune oscillation synchrone. L'évolution relative de la magnésie n'est plus liée aux apports ferromagnésiens du volcanisme de la dorsale, mais reflète uniquement les épisodes riches en argiles fibreuses.

IV. INTERPRÉTATION

L'influence de la dorsale médio-atlantique se marque bien dans les sédiments du site 19, à l'Eocène moyen. L'abondance des métaux résultant de l'altération des basaltes et celle des éléments volcano-détritiques sous forme figurée se transcrivent dans la géochimie du sédiment.

A partir de l'Eocène supérieur et jusqu'au Pléistocène (site 19), la décroissance des concentrations en métaux de transition (cf. Mn^{*}), ainsi que l'augmentation de D^{*} correspondent à la sédimentation dans un milieu océanique profond, ouvert et en cours d'élargissement. Au fur et à mesure que le site s'éloigne de la dorsale, l'influence volcanogénique s'estompe jusqu'à disparaître pour une distance d'environ 200 km (Maillot et Robert, 1980). Le caractère détritique prend alors le relais.

Les sédiments de l'Eocène au Miocène du site 360 montrent une influence détritique banale sans aucun enrichissement métallifère. La proximité du continent africain voisin estompé totalement la métallisation émanant de la dorsale, d'ailleurs trop éloignée. L'influence terrigène intervient donc seule ici, elle ne s'oppose plus à l'influence volcanique océanique.

Les sédiments du site 14 montrent une forte métallisation qui dilue les particules héritées et semble décroître faiblement vers le sommet de la série. Cela suggère, si l'on écarte l'effet des courants, deux hypothèses :

- soit la mise en place sédimentaire contemporaine de manifestations volcaniques proches et d'intensité variable (moyenne pour les sédiments du site 19, forte pour ceux du site 14) ;
- soit une mise en place sédimentaire dans un bassin proche de manifestations volcaniques d'intensité constante.

La seconde hypothèse suppose des vitesses variables d'élargissement. Or cette variabilité est démontrée par la géophysique (Sibuet et Mascle, 1978 ; Mascle, comm. orale ; Sibuet, comm. pers.).

Donc les fluctuations géochimiques en sont le fruit, et par voie de conséquence le reflet et confirment qu'à l'Oligocène inférieur, la vitesse d'ouverture océanique est plus élevée que du Miocène à nos jours.

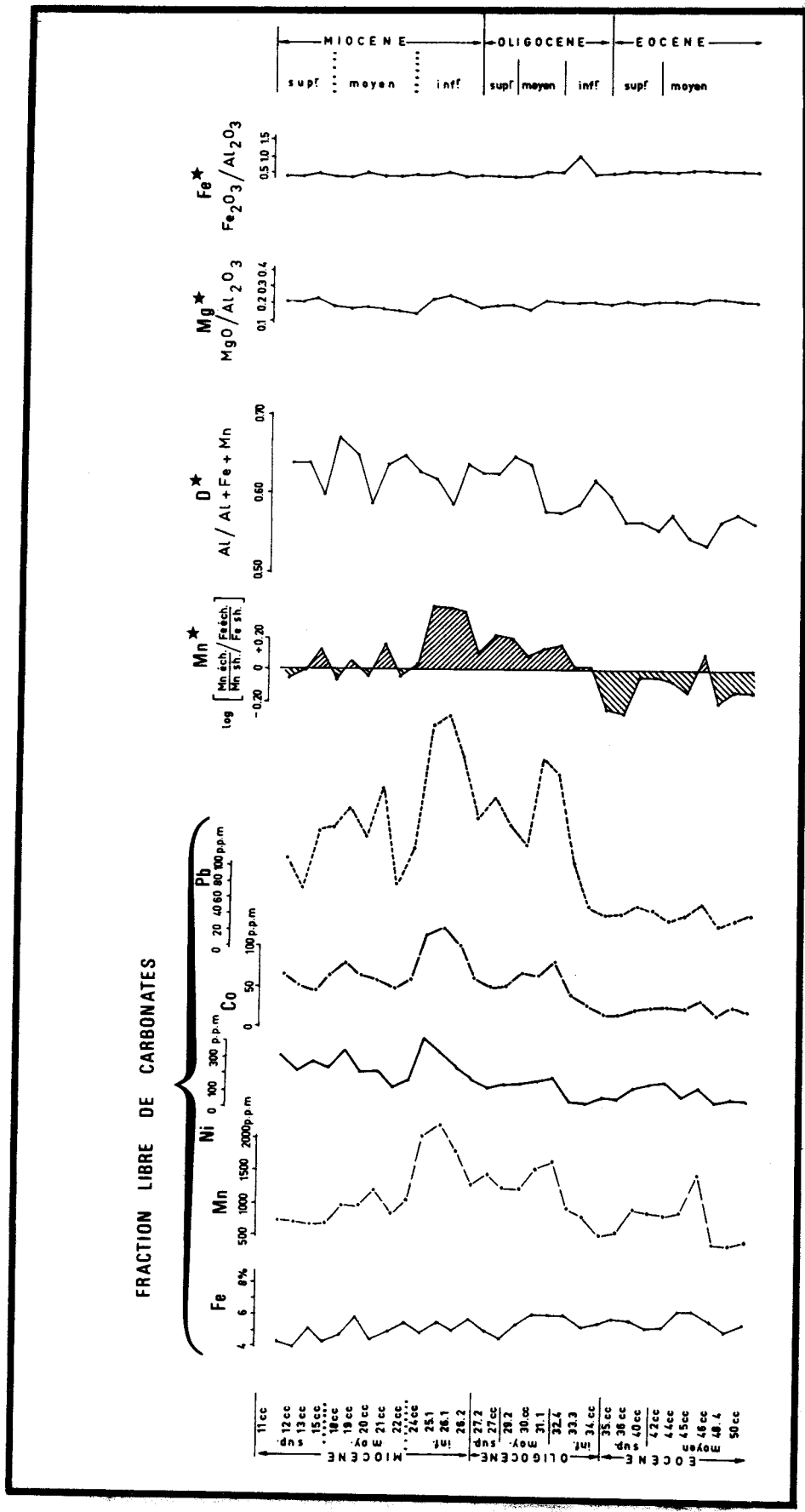


Figure 48 .- Evolution des critères chimiques dans les sédiments du site 360 (leg 40) : fraction libre de carbonates, Mn*, D*, Mg* et Fe* sur l'ensemble de la colonne sédimentaire.



QUATRIEME PARTIE

**APPORT DE LA GEOCHIMIE MINERALE
A LA RECONSTITUTION
PALEOGEOGRAPHIQUE
DE L'ATLANTIQUE SUD**

APPORT DE LA GEOCHIMIE MINERALE A LA RECONSTITUTION PALEOGEOGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE SUD

PREMIER CHAPITRE

JURASSIQUE MOYEN: L'ENVIRONNEMENT CONTINENTAL

Au cours des chapitres précédents, la géochimie minérale est apparue capable de participer à la reconstitution du paléoenvironnement océanique à différentes étapes de l'évolution de l'Atlantique Sud. Aussi vais-je, dans ce qui suit, replacer les résultats de la géochimie dans leur contexte paléogéographique d'ensemble. Pour illustrer mon propos, j'utilise les cartes paléogéographiques proposées pour douze périodes par Sclater et al. (1977).

Les informations apportées par la géochimie minérale sont souvent complémentaires de celles fournies par la minéralogie des argiles ou par la géochimie organique. Aussi, dans les chapitres qui suivent vais-je rappeler un certain nombre de résultats obtenus dans ces deux dernières disciplines respectivement par Robert, d'une part et par Deroo et Herbin d'autre part.

I. DONNEES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIERES INTERPRETATIONS

Seul le site 330, localisé sur le plateau des Falkland (figure 49), recoupe des sédiments d'âge jurassique moyen. Le forage traverse 19 m de gneiss et de granite du socle supposé antécambrien, recouvert de silts argileux à passées ligniteuses du Dogger où s'intercalent des niveaux carbonatés.

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

D^* , très élevé (0,81), est influencé par l'abondance de la kaolinite (Robert et Maillot, sous presse). Il marque la très grande proximité des apports. Mn^* , négatif (-0,58), indique un environnement réducteur, lié au taux de sédimentation élevé. Lors de la diagenèse, le CO_2 libéré par le milieu génère une forte dissolution synsédimentaire des carbonates : Sr^* très élevé (31,24) s'explique par la rétention du strontium dans le sédiment au moment de cette dissolution synsédimentaire (par exemple, par précipitation du sulfate). Mg^* (0,03) et Fe (0,19) présentent de faibles valeurs. Les concentrations exprimées dans la roche totale de Fe, Ni et Cu sont généralement faibles par rapport à celles mesurées habituellement dans les sédiments océaniques. Au contraire Pb présente des valeurs plus élevées.

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES, GÉOCHIMIE ORGANIQUE

La kaolinite est prépondérante dans les sédiments du Dogger (50 % \pm 35 %) (figure 49) (Robert et al., 1979 ; Robert et Maillot, sous presse).

La concentration en carbone organique est comprise entre 2 et 8 % (Herbin et Deroo, 1979). Cet intervalle sédimentaire contient une matière organique principalement d'origine continentale.

II. DISCUSSIONS

Au Dogger, la position du site (figure 49), immédiatement au Sud du socle africain, le place sous *influence sédimentaire franchement continentale*. La sédimentation est peu profonde, voire subaérienne (Herbin et Deroo, 1979 ; Deroo et al., sous presse). L'origine et l'évolution de la matière organique et des éléments minéraux (faibles concentrations en Fe, Ni et Cu par rapport au milieu océanique, forte concentration en Pb) s'accordent avec cette interprétation d'une influence continentale prépondérante. La recherche diffractométrique de sidérite s'est révélée négative. Ceci limite fortement l'éventualité d'apports importants d'eau douce.

En outre : "l'association des minéraux argileux est comparable à celles caractéristiques de l'Aptien inférieur du bassin du Cap et de l'intervalle Aptien supérieur/Albien inférieur du bassin angolais (Robert et al., 1979) où elles caractérisent une instabilité tectonique en relation avec l'ouverture des bassins." L'association des minéraux argileux suggère donc une *importante tectonique voisine* favorisant un taux de sédimentation élevé.

En résumé, le milieu sédimentaire est confiné, peu profond, très détritique, sous influence continentale septentrionale (Afrique) ou occidentale (Falkland). En fait, l'étude du site 330 au Dogger *exclut toute ouverture de l'Atlantique Sud, ou toute transgression importante depuis l'océan Indien*. Si les arguments majeurs de cette interprétation proviennent de la minéralogie des argiles et de la géochimie organique, *la géochimie minérale confirme une forte constance des apports et l'absence d'influences marines*.



JURASSIQUE MOYEN (165 M.A.)

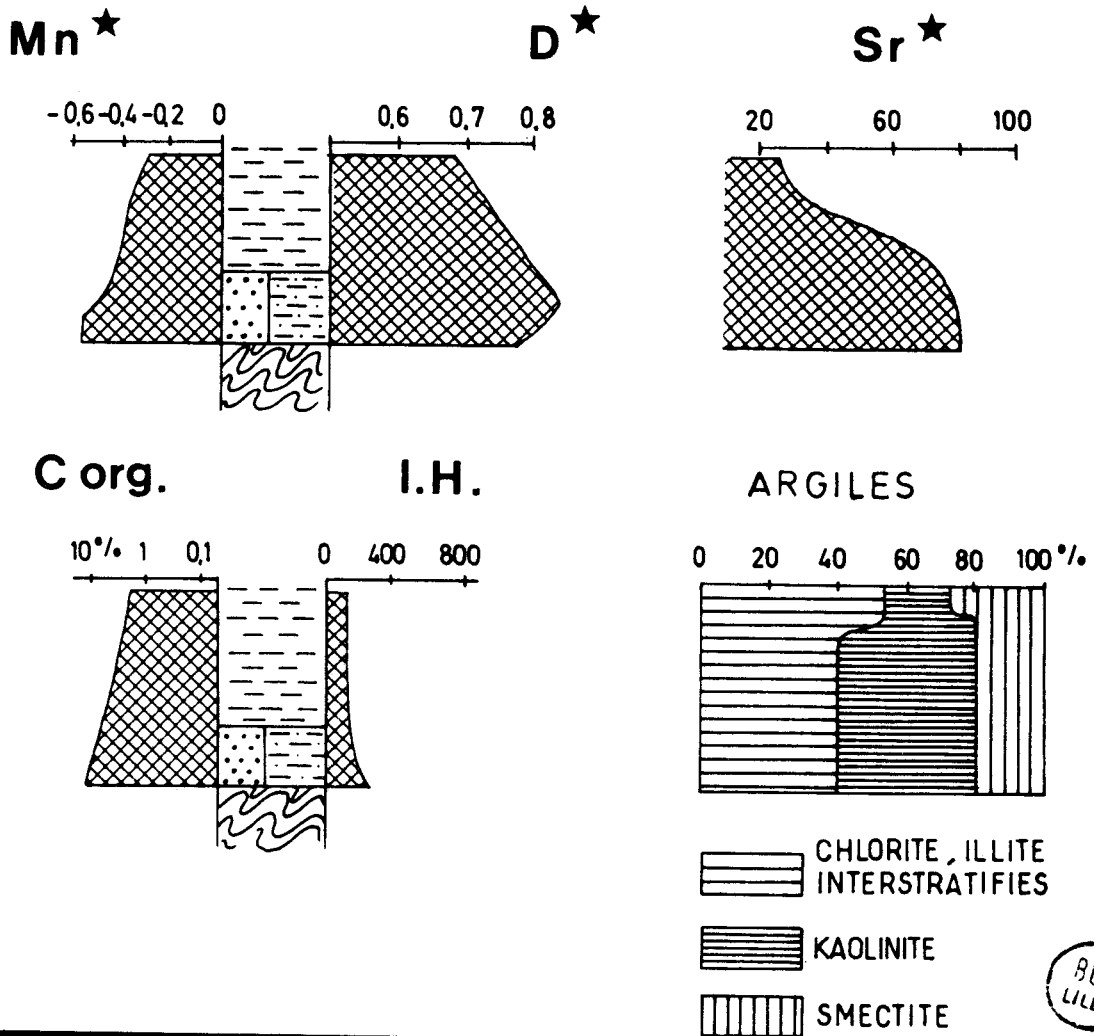


Figure 49 .- Distribution de Mn^{*}, D^{*} et Sr^{*} ; du carbone organique (Corg) et de l'index d'hydrogène (I. H.) d'après Herbin et Deroc (1979) ; des minéraux argileux d'après Robert (1982). Position des continents au Jurassique moyen d'après Sclater et al. (1977).

DEUXIEME CHAPITRE

LA TRANSITION JURASSIQUE-CRETACE:
EBAUCHE DE L'ATLANTIQUE SUD

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

Les horizons du Jurassique supérieur ne sont observables que dans le forage 330 (figure 50). L'imprécision des datations ne permet pas de détailler les étages représentés. Le Jurassique supérieur est composé de schistes et black-shales avec intercalations de passées calcaires.

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

Dans les sédiments du Jurassique supérieur (carottes 13 à 5 ; Barker, Dalziel et al., 1976) la valeur de D^* est élevée (0,67 à 0,53). Elle décroît au sommet de la série (figure 50). Mn^* demeure négatif et caractérise un milieu de sédimentation encore réducteur. L'augmentation de Sr^* peut caractériser la dissolution synsédimentaire des carbonates.

Les concentrations en fer, nickel et cuivre s'accroissent alors que celles en plomb diminuent.

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES ET GÉOCHIMIE ORGANIQUE

De la carotte 13 à la carotte 10 (figure 50), l'assemblage argileux est composé de kaolinite, d'interstratifiés irréguliers, d'illite, de smectite et de chlorite associés à du quartz. A partir de la carotte 10 et dans toute la partie terminale du Jurassique supérieur, la smectite augmente tandis que les autres minéraux argileux décroissent.

Les caractères de la matière organique rencontrée dans les carottes 13 à 11 sont voisins de ceux des sédiments du Dogger : la matière organique est essentiellement d'origine continentale. Plus haut (carottes 10 à 5), le type de matière organique marque la transition entre influences continentales (s. s.) et aquatiques.

II. DISCUSSIONS

Les sédiments du Jurassique supérieur demeurent caractérisés par la *prépondérance des composants détritiques*. Si, à la base, l'influence majeure de type continental prolonge celle observée dans le Dogger, cette influence s'estompe partiellement par la suite (à partir de la carotte 10) et le *relais "océanique" s'amorce*.

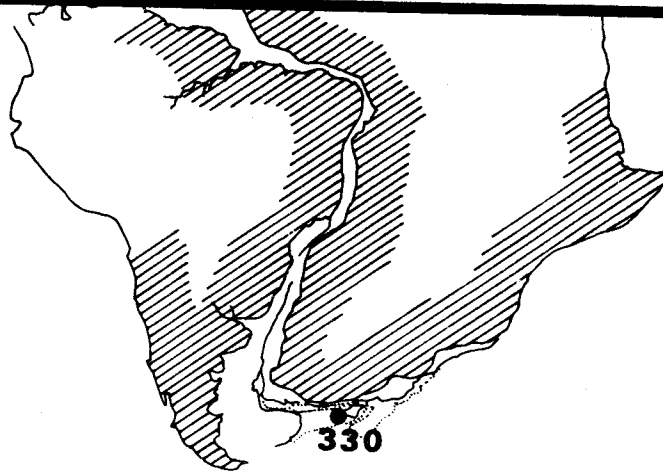
Ce caractère plus marin s'inscrit dans la sédimentation à la fois par une décroissance du caractère détritique, par des concentrations en fer, nickel, cuivre et plomb voisines de celles habituellement observées dans les sédiments marins et par une matière organique plus aquatique.

Ce début de décroissance des influences continentales est contemporain d'une phase de *stabilisation des marges* qui s'inscrit dans le cortège des minéraux argileux (augmentation des smectites essentiellement pédogéniques).

Ces interprétations sont en accord avec celles proposées par d'autres auteurs. Dans la reconstitution du continent de Gondwana au Jurassique inférieur, le plateau des Falkland se trouve au Sud du continent sud-africain, près du plateau du Mozambique (Craddock, 1970 ; Thompson, 1976 ; De Wit, 1977). Les premières incursions marines affectent le banc Maurice Ewing au cours du Jurassique moyen/supérieur (Barker, Dalziel *et al.*, 1976).

Nos propres interprétations, associées à celles de la minéralogie et de la géochimie organique, placeraient plutôt ce *premier épisode franchement marin vers la base de l'Oxfordien*, au niveau des carottes 11/10.

En résumé, si la minéralogie des argiles reflète bien l'évolution morpho-tectonique du continent voisin, la *géochimie minérale apporte des informations sur l'âge des premières incursions franchement marines*.



TRANSITION JURASSIQUE / CRETACE inf! (140 M.A.)

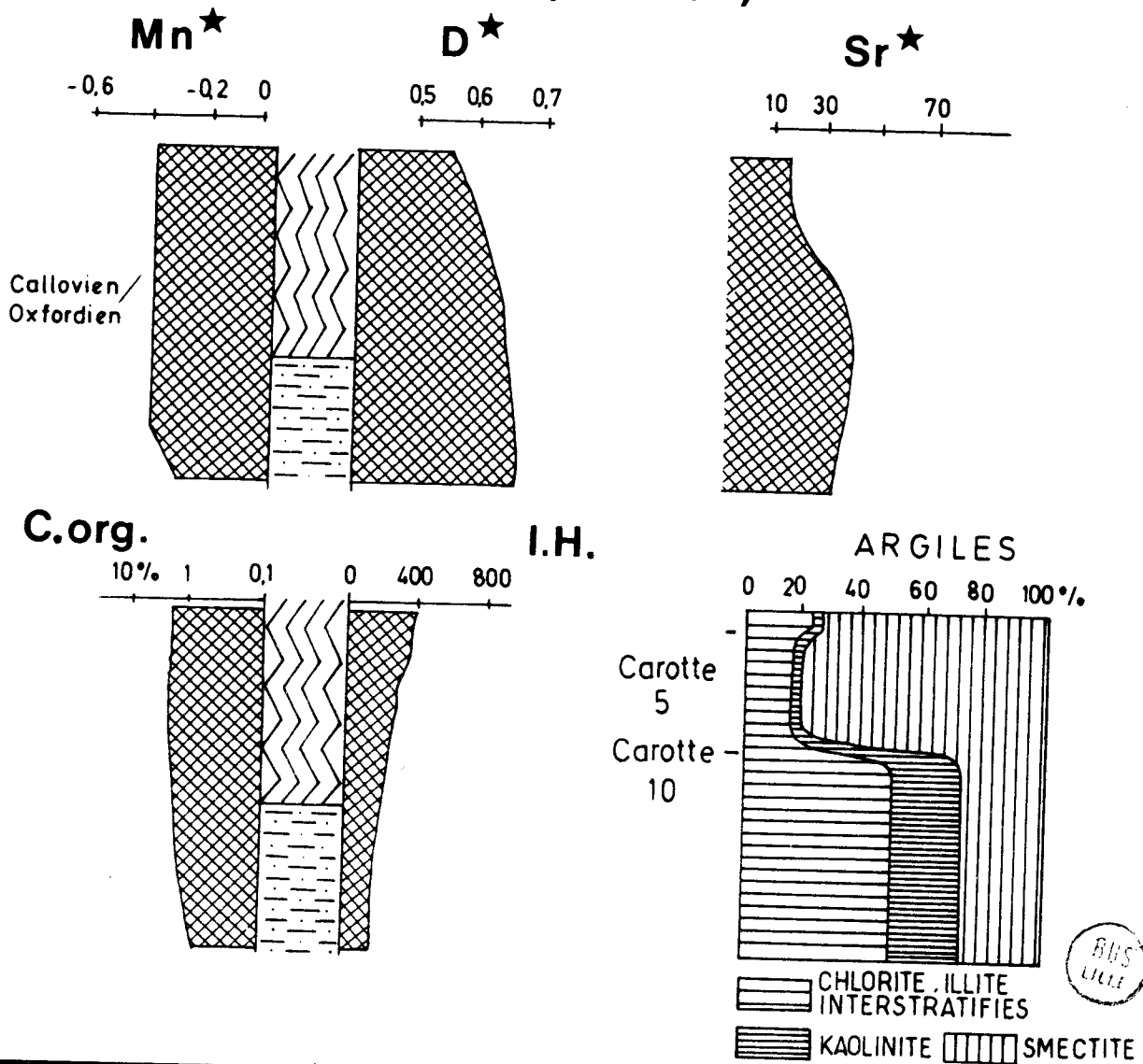


Figure 50 .- Distribution de Mn*, D* et Sr*, du carbone organique et de l'index d'hydrogène d'après Herbin et Deroo (1979) ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) à la transition Jurassique-Crétacé .

TROISIEME CHAPITRE

LA TRANSITION VALANGINIEN-HAUTERIVIEN

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

Le début du Crétacé s'observe en particulier dans les sédiments des sites 327, 330 et 511 (figure 51). Ils sont formés de "black-shales" (sites 330 et 511) dans lesquels s'intercalent des boues marno-calcaires (site 327).

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

Mn* est le plus souvent négatif et indique un environnement réducteur. La moyenne de Sr* décroît (16,56 à 6,46) et se rapproche des valeurs rencontrées dans les carbonates marins communs. Les valeurs de Fe, Ni, Cu et Pb sont proches de celles rencontrées généralement dans les séries marines.

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES, GÉOCHIMIE ORGANIQUE

Dans les horizons hauteriviens et valanginiens, la smectite augmente tandis que l'illite, les interstratifiés et la chlorite diminuent. La kaolinite disparaît (Robert et Maillot, sous presse).

Les concentrations en carbone organique sont maximum au cours du Néocomien (figure 51). Elles s'accompagnent d'un fort indice d'hydrogène. Dans les sites 327, 330 et 511, la matière organique observée est de type aquatique (Herbin et Deroo, 1979 ; Deroo et Herbin, comm. pers.).

II. DISCUSSIONS

La géochimie minérale montre une *évolution marine de plus en plus nette*. L'association du matériel argileux correspond à une décroissance de l'activité tectonique, à une diminution de l'intensité d'érosion et un aplanissement de la morphologie des zones continentales de bordure.

Le phénomène déjà amorcé dans le Jurassique supérieur se poursuit et s'amplifie. L'origine continentale de la matière organique s'estompe au profit d'une origine aquatique.

En résumé, au Néocomien, les influences "océaniques" se développent, sans toutefois devenir prépondérantes. La chimie minérale des sédiments permet de suivre cette évolution marine et d'en mesurer l'amplitude.

HAUTERIVIEN - VALANGINIEN (125 M.A.)

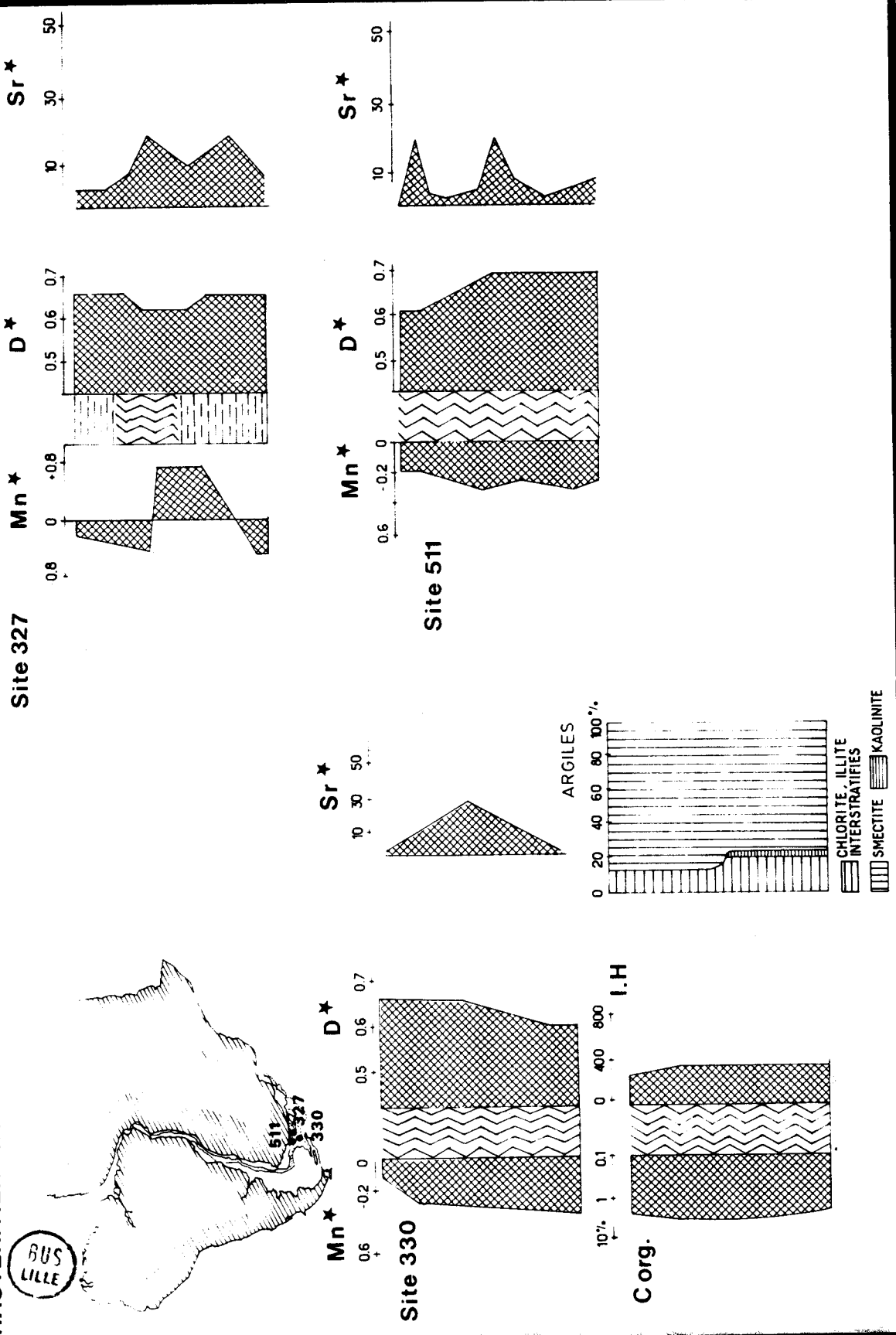


Figure 51 - Distribution de Mn*, D* et Sr* du carbone organique et de l'index d'hydrogène d'après Herbin et Derco (1979) ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) à l'Hauterivien-Valanginien.

QUATRIEME CHAPITRE

**APTIEN-ALBIEN: PREMIERS STADES
D'UNE SEDIMENTATION FRANCHEMENT MARINE**

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

L'Aptien-Albien est représenté par des sédiments prélevés à la fois sur les forages des sites 327, 330, 511 (plateau des Falkland), 361 (bassin du Cap), 363 et 530 (flanc nord de la ride de Walvis), 356 (plateau de Sao-Paulo) et 364 (bassin d'Angola) (figure 52).

Plateau des Falkland : Le faciès "black shales" est largement représenté à la base de l'intervalle Aptien-Albien, constitué essentiellement de schistes et de calcaires. A partir de l'Albien, la lithologie change. Il s'agit de calcaires à nannofossiles aux sites 327 et 330, d'un mélange de schistes et de calcaires à nannofossiles au site 511. Le faciès euxinique est le plus accusé vers la transition Aptien-Albien.

Bassin du Cap : Dans une série de type "black-shales" s'intercalent des niveaux plus siliceux (silts et grès). A la base, les sédiments sont composés d'argiles interstratifiées avec des schistes gréseux. La série s'enrichit en quartz, parfois en feldspaths et micas, dans les niveaux de l'Albien supérieur.

Ride de Walvis/Rio-Grande : Les forages réalisés dans cette région recoupent des niveaux d'âge différent : Aptien supérieur pour le site 363, Albien supérieur pour les sites 530 et 356.

Les sédiments sont plus riches en carbonates (CaCO_3 généralement $> 50 \%$) que ceux du plateau des Falkland.

Bassin d'Angola : Le forage du site 364 a été interrompu dans des dolomies situées au sommet d'une série salifère. Les sédiments les plus anciens offrent une alternance de calcaires dolomitiques et d'argiles noires.

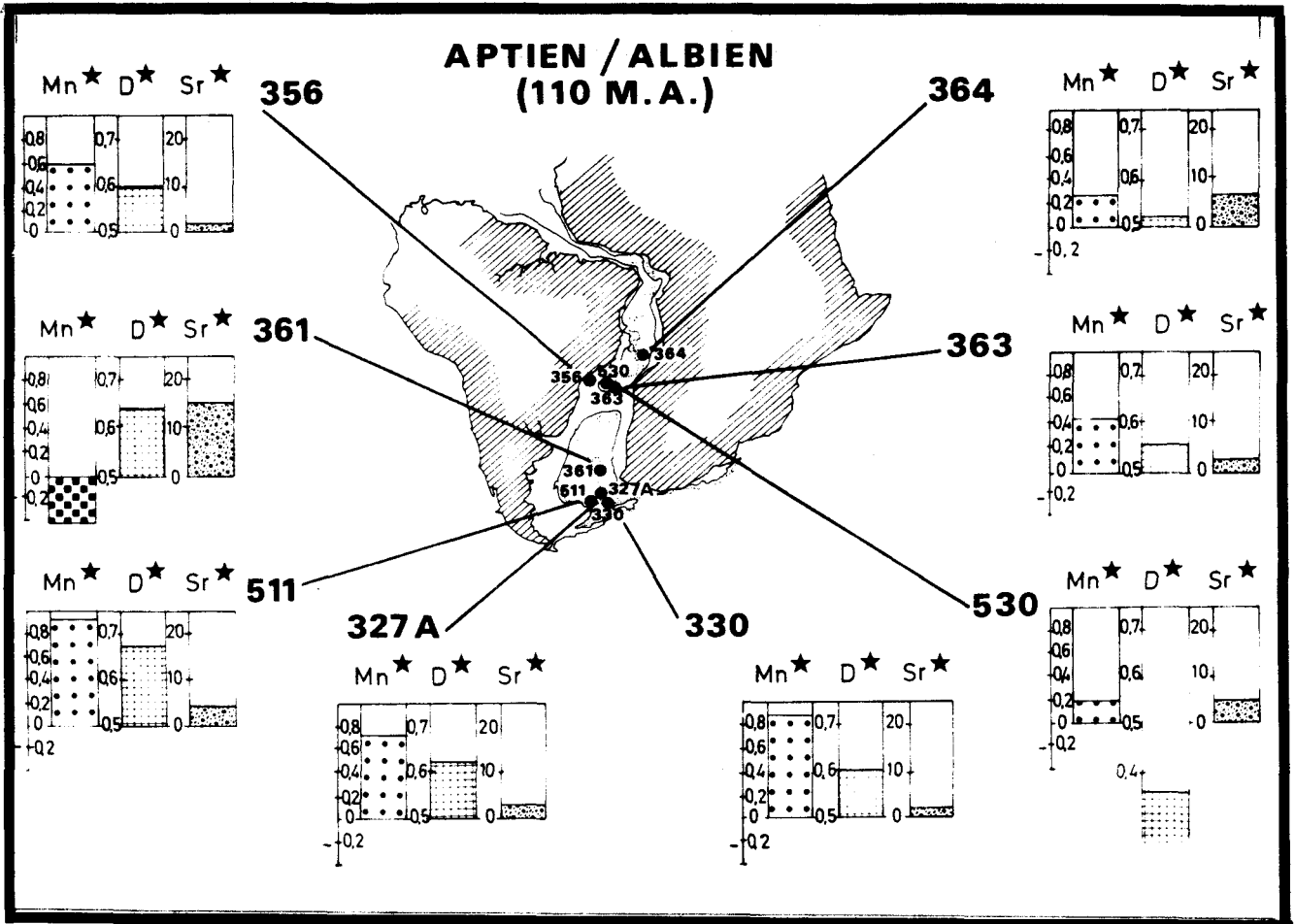


Figure 52 .- Moyennes des critères Mn^* , D^* et Sr^* dans les sédiments albo-aptiens des sondages étudiés.

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

1. PLATEAU DES FALKLAND

Au site 327, les sédiments de la base de l'Aptien montrent de fortes oscillations positives et négatives de Mn^* autour d'une valeur moyenne de 0,07. Globalement, le caractère détritique décroît fortement ($D^* = 0,53$), tandis que Sr^* (1,57) devient typique des sédiments carbonatés pélagiques banals (figure 52). Le sommet de l'Aptien montre une métallisation franche ($Mn^* = 0,56$) alors que le caractère détritique devient typiquement celui des shales banals ($D^* = 0,62$). Sr^* varie beaucoup autour de 5,85 et traduit encore l'existence de récurrences carbonées.

L'Albien est à la fois caractérisé par une forte métallisation ($Mn^* = 1,03$), un caractère détritique atlantique banal (0,63) et une fraction carbonatée pélagique ($Sr^* = 1,97$). Au site 330, les caractéristiques chimiques (figures 52 et 53) sont voisines des précédentes. Le seul échantillon étudié pour l'Aptien supérieur montre une très forte métallisation ($Mn^* = 1,85$) associée à un caractère détritique faible ($D^* = 0,19$).

Ces données suggèrent une forte influence volcanique. Les sédiments d'âge albien présentent eux aussi des caractéristiques chimiques proches de celles du site 327. La métallisation est forte ($Mn^* = 0,88$), le caractère détritique ($D^* = 0,66$), voisin de celui d'un milieu fortement terrigène. Sr^* caractérise à nouveau des carbonates de milieu marin ouvert (1,25).

Au site 511, le même schéma s'observe dans la sédimentation d'âge albien inférieur et moyen (figure 52). En effet, Mn^* (1,12) est élevé ; D^* (0,67) marque un fort caractère détritique et Sr^* (2,04) est typique de carbonates marins.

En résumé, la sédimentation des trois sites semble suivre les mêmes règles générales qui sont : - forte métallisation typique d'une influence volcanique, - fort caractère détritique lié à la proximité de sources terrigènes, - carbonates pélagiques peu modifiés par la diagenèse et dans lesquels s'intercalent des récurrences carbonées.

2. BASSIN DU CAP

Au site 361, l'indice métallifère des sédiments aptiens est toujours négatif ($Mn^* = - 0,44$), le caractère détritique banal ($D^* = 0,63$). Sr^* (17,57) suggère un milieu exempt de carbonates, soit parce qu'ils n'ont jamais existé, soit parcequ'ils ont été dissous (figures 52 et 53).

A l'Albien, les caractéristiques géochimiques varient peu : $Mn^* = - 0,40$; $D^* = 0,63$. Seul Sr^* décroît légèrement (9,45) marquant peut être une diminution de l'agressivité du milieu vis-à-vis de la sédimentation carbonatée (si des carbonates ont pu se former).

3. RIDE DE WALVIS/RIO-GRANDE, PLATEAU DE SAO-PAULO

Sur la ride de Walvis (site 363) la métallisation des sédiments est toujours positive (figures 52 et 53) : $Mn^* = 0,38$ à l'Aptien supérieur et 0,47 à l'Albien. Elle augmente sensiblement dans les niveaux albiens. Le caractère détritique est généralement inférieur à celui des argiles terrigènes typiques ($D^* = 0,55$ pour l'Aptien supérieur et 0,52 pour l'Albien). Enfin, Sr^* (respectivement 1,88 et 1,78) caractérise une sédimentation carbonatée biogénique banale.

Sur le plateau de Sao-Paulo (site 356, figure 52), les caractères géochimiques sont voisins de ceux des sédiments de la ride de Walvis. La métallisation est positive ($Mn^* = 0,59$), le caractère détritique légèrement plus élevé ($D^* = 0,59$). Sr^* (1,45) caractérise à nouveau une sédimentation carbonatée de milieu marin ouvert.

4. BASSIN D'ANGOLA

Les sites 530 et 364 se trouvent respectivement sur le flanc sud de la ride de Walvis et sur la marge africaine du bassin angolais. Les critères géochimiques sont différents dans les deux cas (figure 52). Les sédiments albiens du site 530 montrent de très fortes variations de métallisations (de - 0,09 à 0,93) traduisant l'instabilité des conditions oxydo-réductrices du milieu sédimentaire. D^* est faible et constant (0,35). Il est associé à de fortes valeurs de Fe^* et Mg^* . Il caractérise une forte influence volcanogénique sur la sédimentation. En outre, l'importance de Si^* marque vraisemblablement l'apport de produits d'altération des basaltes (Hart, 1973). Enfin Sr^* (21,75 ; 8,72 et 2,15) confirme l'oscillation des conditions oxydo-réductrices du milieu.

Les sédiments aptiens supérieurs du site 364 ($Mn^* = 0,15$; $D^* = 0,51$ et $Sr^* = 7,90$) ou ceux de l'Albien du même site ($Mn^* = 0,32$; $D^* = 0,51$ et $Sr^* = 5,22$) présentent des évolutions chimiques voisines (figures 52 et 53). Dans les deux cas, la métallisation est en moyenne faible bien que positive. Le caractère détritique est plus faible que celui généralement observé dans les argiles terrigènes. L'évolution de Sr^* traduit un milieu marin ouvert, dans lequel s'observent des récurrences carbonées.

En résumé, *l'influence volcanique* s'inscrit nettement sur la sédimentation des séquences albiennes du site 530 où elle se manifeste par un déficit de l'aluminium par rapport au fer. la sédimentation reste cependant très variée : intercalations de niveaux oxydés ou réduits s'y succèdent. Sur la sédimentation albo-aptienne du site 364, l'influence volcanique est plus faible. Là aussi, l'alternance de niveaux oxydés et réduits est de règle.

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES ET GÉOCHIMIE ORGANIQUE

1. PLATEAU DES FALKLAND

La chlorite, l'illite et les interstratifiés sont relativement abondants depuis la fin du Jurassique jusqu'à la transition albo-aptienne (Robert et Maillot, sous presse). Cette association s'estompe après la transition Aptien/Albien. L'étude des composants organiques des sédiments des sites 330, 327 et 511 (Herbin et Deroo, 1979 ; Robert et al., 1979 ; Deroo et Herbin, comm. pers.) montre que le carbone organique s'estompe après l'Aptien (figure 53). Parallèlement à cette évolution, l'index d'hydrogène décroît fortement.

2. BASSIN DU CAP

Les minéraux primaires, ainsi que la kaolinite, diminuent au profit de la smectite. L'origine de la matière organique est essentiellement marine (Robert et al., 1979). A partir de l'Albien inférieur, les teneurs en carbone organique décroissent très fortement (Herbin et Deroo, 1979) en même temps que s'affaiblissent les index d'hydrogène (figure 53).

3. RIDE DE WALVIS/RIO-GRANDE, PLATEAU DE SAO-PAULO

L'association argileuse est fortement dominée par la smectite alors que les minéraux primaires, la kaolinite et les minéraux fibreux sont présents en faible quantité (figure 53).

Dans cette série, les teneurs en carbone organique sont très faibles et les index d'hydrogène très peu élevés.

4. BASSIN D'ANGOLA

Dans l'Aptien, les minéraux primaires constituent l'essentiel de la fraction argileuse ; ils sont associés à de la kaolinite. A l'Albien, la smectite augmente très fortement au détriment des minéraux précédents (figure 53).

L'abondance de la matière organique est associée à des index d'hydrogène élevés (Robert et al., 1979 ; Herbin et Deroo, 1979).

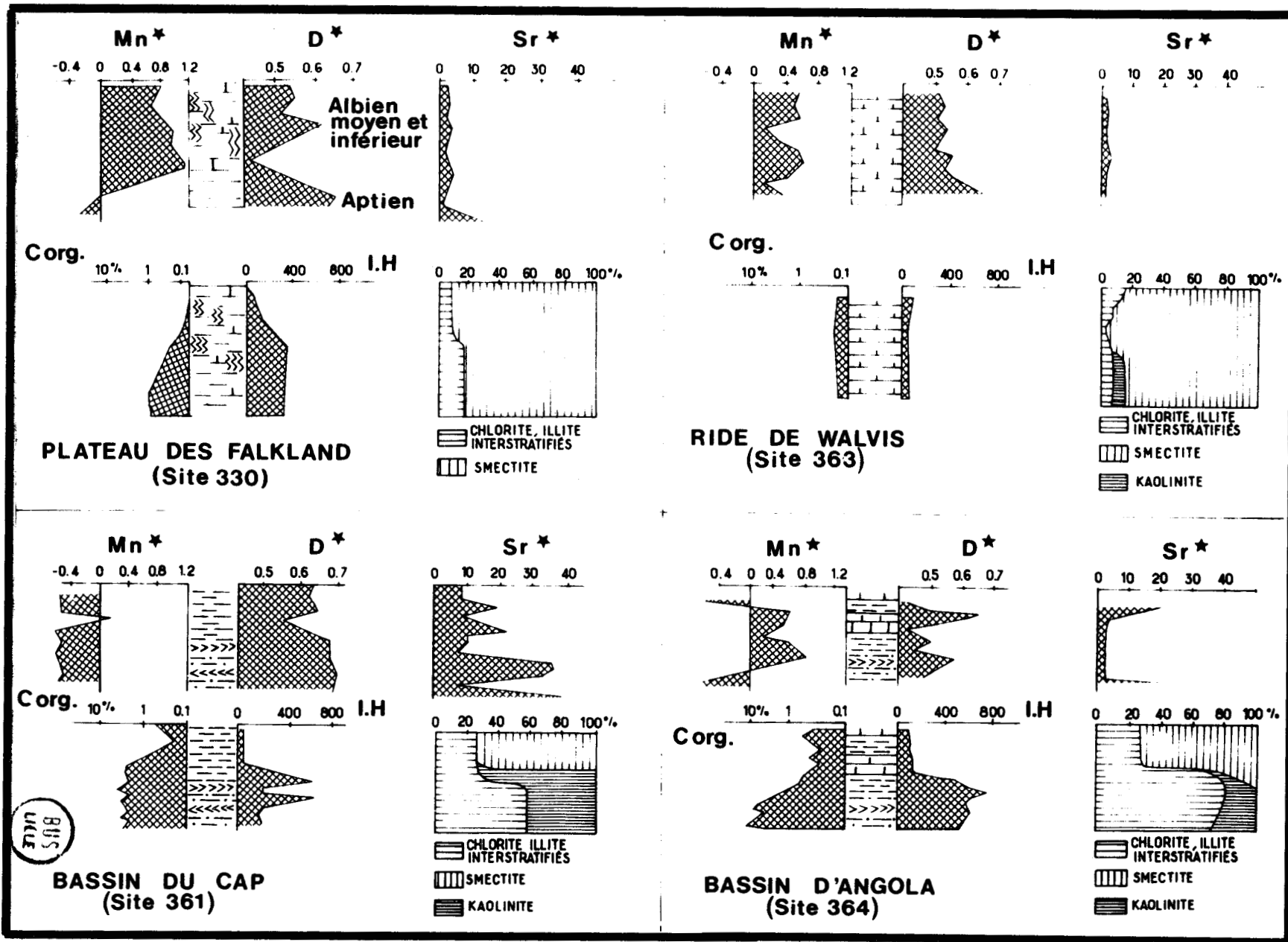


Figure 53. - Variations verticales des critères Mn^* , D^* , Sr^* , du carbone organique et de l'index d'hydrogène d'après Herbin et Derogé (1979) ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) à l'Albo-Aptien.

II. DISCUSSIONS

L'étude comparée des résultats de la géochimie minérale, de la géochimie organique et de la distribution des argiles permet d'envisager *plusieurs phases dans l'évolution* de l'histoire de l'océan Atlantique Sud au cours de l'Albo-Aptien.

A. PLATEAU DES FALKLAND

La géochimie minérale et organique marque le passage entre une sédimentation aptienne réductrice et une sédimentation albienne oxydante. Pendant ce second épisode, le *milieu* devient *franchement ouvert* et se trouve à la fois sous influence détritique et métallifère. Quelques indices (Mn^* , D^*) laissent épisodiquement pressentir *l'influence d'un volcanisme* sur la sédimentation sans que cette influence soit continue : l'importance des apports continentaux et les taux de sédimentation élevés diluent les métallisations qui proviennent de l'activité volcanique du centre d'ouverture océanique voisin.

Les associations des minéraux argileux marquent dans l'Aptien des instabilités locales causées par le coulissage progressif du plateau des Falkland à proximité de la marge sud-africaine. Après la transition Aptien-Albien, les bassins sud-atlantiques sont ouverts et leurs marges stabilisées.

En résumé, comme au Jurassique supérieur, le plateau des Falkland joue à l'Aptien le rôle de barrière. A l'*Aptien supérieur* ou à la transition *albo-aptienne*, suivant les sites, la sédimentation devient soudain *typique d'un milieu marin ouvert*. En d'autres termes, à cette époque l'ouverture par coulissage du plateau des Falkland (Barker, Dalziel *et al.*, 1977) permet le début d'*échanges de masses d'eau* entre le Sud (océan Austral) et le Nord (Bassin du Cap). La géochimie minérale participe à la reconstitution de cette évolution plus océanique.

B. BASSIN DU CAP

La matière organique d'origine mixte (continentale et marine) disparaît à l'Albien (Herbin et Deroo, 1979), cependant que l'importance du taux de sédimentation et l'abondance des apports terrigènes diluent les métaux. Cette abondance des apports terrigènes s'accompagne à l'Aptien de fortes arrivées de kaolinite, traduisant l'instabilité tectonique des continents voisins. A partir de l'Albien, le caractère détritique décroît légèrement : cette évolution correspond à une phase de stabilisation des marges et des bassins (Robert *et al.*, 1979) qui s'illustre par la réduction des apports terrigènes et par l'évolution du matériel argileux : la smectite par exemple devient prépondérante.

C. RIDE DE WALVIS/RIO-GRANDE, PLATEAU DE SAO-PAULO

Cet ensemble, qui prolonge le synclinal de Torres au Brésil et les épanchements du Kaokoveld en Afrique, joue le rôle de barrière à l'Aptien. L'influence détritique y est relativement modérée, et le milieu déjà oxydant, traduit soit une oxygénation par les eaux de surface, soit un stade initial d'échanges de masses d'eau entre les bassins du Cap et d'Angola. A l'Albien, les échanges entre les deux bassins (Cap et Angola) s'accroissent.

D. BASSIN D'ANGOLA

La sédimentation est caractérisée d'une part par une *alternance de niveaux oxydés et réduits*, d'autre part par des *influences volcaniques*.

Deux interprétations peuvent être avancées :

- Si l'on admet que le rôle de barrière de l'ensemble Walvis/Rio-Grande est important, l'oxygénation du milieu - au moins épisodique - pourrait provenir de la mise en communication précoce du bassin angolais avec l'Atlantique central (Albien). Cela s'accorde avec les données paléocéologiques de Wiedmann et Neugebauer (1978), de Moullade et Guérin (sous presse) et de Tambareau (1982).

- La seconde hypothèse consiste à admettre une mise en communication, au moins épisodique, des bassins du Cap et d'Angola au-dessus de la barrière Rio-Grande/Walvis. Cela s'accorde avec les idées émises par Mc Coy et Zimmerman (1977).

L'absence de forage dans la partie septentrionale du bassin angolais empêche actuellement de choisir l'une ou l'autre de ces deux hypothèses.

En résumé, l'histoire géologique de l'Atlantique Sud à l'Albo-Aptien paraît s'être déroulée avec une certaine indépendance pour chacun des deux bassins :

- le bassin du Cap est caractérisé par de forts apports terrigènes (minéraux et organiques) qui conduisent à une bonne préservation de la matière organique mixte, au moins pendant l'Aptien. L'abondance du matériel détritique dilue les métallisations et masque d'éventuelles influences volcaniques sur la sédimentation.

- le bassin d'Angola est beaucoup moins influencé par des apports terrigènes (minéraux et organiques) que celui du Cap. La matière organique est d'origine marine, la sédimentation influencée par le volcanisme. En outre, l'alternance des phénomènes conduit à des oscillations oxydo-réductrices du milieu. Des niveaux réduits, où les métallisations sont remobilisées et concentrées de manière aléatoire, voisinent avec des niveaux oxydés où elles sont plus diffusées.

- Le rôle des barrières - Falkland au Sud, Rio-Grande-Walvis au Centre et Vema-Benin au Nord-est diversement appréciable. Au Sud, l'obstacle que constitue les Falkland est net jusqu'à la transition albo-aptienne ; il s'estompe ensuite. Au centre, celui de l'ensemble Rio Grande/Walvis semble important à l'Aptien ; des chenaux pourraient y permettre des échanges perceptibles localement et qui s'amenuisent ultérieurement. Au Nord, la mise en communication entre le bassin d'Angola et l'Atlantique central ou la Mésogée (via le golfe du Benin) est une éventualité

qui devrait être éprouvée par de nouveaux sondages. La géochimie minérale permet de caractériser l'ouverture des bassins et la diminution du rôle des barrières. Elle perçoit l'influence du volcanisme sur la sédimentation de la région des Falkland, sans doute reflet de l'activité du centre d'ouverture océanique. Enfin, elle marque le faciès "black-shales" par le comportement de certains éléments.

CINQUIEME CHAPITRE

CENOMANIEN : LES EPISODES EUXINIQUES

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

Le Cénomaniens est peu représenté dans l'ensemble des forages réalisés en Atlantique Sud. En effet, il correspond généralement à des séries sédimentaires très réduites ou à des hiatus. Seuls les sites 530 (flanc sud du bassin angolais), 327 (plateau des Falkland) et éventuellement 361 (bassin du Cap) montrent des horizons d'âge cénomaniens (figure 54).

Les sédiments cénomaniens du site 327 sont composés de boues marneuses à nannofossiles. Ceux du site 530 comprennent des alternances de marnes, de calcaires à nannofossiles et de black-shales. Enfin, les sédiments crétacés supérieurs (s. p.) du site 361 sont composés d'une série argileuse monotone, riche en quartz.

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

Le nombre restreint d'échantillons analysés conduit à ne décrire que les grandes évolutions chimiques des trois zones représentées (figure 54).

La géochimie des sédiments de type "black-shales" du flanc sud du bassin d'Angola (site 530) est à la fois caractérisée par la remise en solution du manganèse ($Mn^* = -0,13$), un caractère détritique faible ($D^* = 0,31$) et une valeur élevée de Sr^* (17,75). Dans les sédiments vraisemblablement cénomaniens du bassin du Cap, l'alternance entre milieux oxydants et réducteurs s'inscrit dans la chimie (fluctuations importantes autour de $Mn^* = 0$) le caractère détritique est très élevé ($D^* = 0,72$) et marque des apports riches en kaolinite. En outre, les carbonates sont absents : soit du fait d'une dissolution en milieu organique, soit parce que la sédimentation est essentiellement argileuse ($Sr^* = 19$). Enfin, les sédiments cénomaniens du plateau des Falkland montrent à la fois un caractère détritique banal ($D^* = 0,63$), une forte métallisation ($Mn^* = 0,60$) et une valeur de Sr^* (1,50) typique des carbonates de milieu marin ouvert.

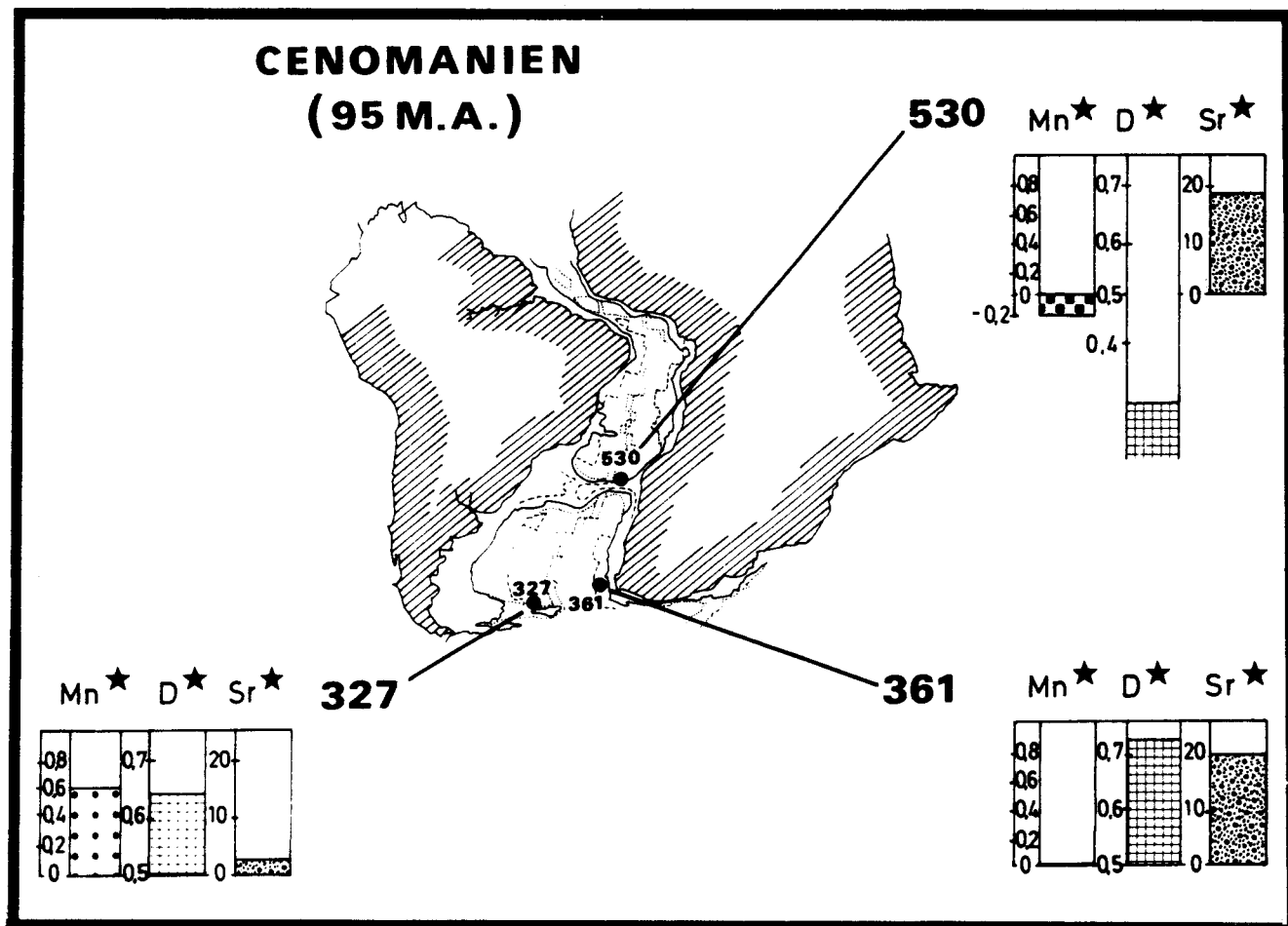


Figure 54 .- Moyennes des critères Mn*, D* et Sr* dans les sédiments cénomaniens des sondages étudiés.

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES, GÉOCHIMIE ORGANIQUE

Les argiles des niveaux cénomaniens du site 530 (bassin d'Angola) comprennent essentiellement de la chlorite, de l'illite et des interstratifiés irréguliers (environ 20 %), associés à des smectites (80 %), (Maillot et Robert, sous presse b). Les argiles des niveaux du Crétacé supérieur (s. p.) du site 361 (bassin du Cap) sont formées des mêmes assemblages auxquels s'ajoute de la kaolinite (Robert et al., 1979).

Sur le plateau des Falkland (site 327) la période cénomaniennne est caractérisée par une augmentation modérée de la chlorite, de l'illite, des interstratifiés et de la kaolinite, sur un fond continu essentiellement composé de smectites (Robert et Maillot, sous presse).

Deroo et Herbin ont réalisé l'étude géochimique fine des niveaux de "black-shales" du site 530 (sous presse et comm. pers.) : ils relèvent un second épisode important d'accumulation de la matière organique, essentiellement d'origine marine, qui s'amorce dès l'Albien supérieur et se poursuit jusqu'au Coniacien. Dans le bassin du Cap (Robert et al., 1979 ; Herbin et Deroo, 1979) la chute des concentrations en carbone organique, associée à des index d'hydrogène fai-

bles et à des index d'oxygène forts, traduit une forte oxygénation du milieu qui ne permet plus la préservation de la matière organique. Le Cénomaniens du site 327 est pauvre en carbone organique et l'index d'hydrogène faible caractérise un milieu peu propice à la conservation de la matière organique.

II. DISCUSSIONS

Les trois zones de l'Atlantique Sud où le Cénomaniens est représenté se différencient nettement sur des critères d'oxydo-réduction et d'influences volcaniques, ou encore sur leurs caractères détritiques en accord avec les variations de la matière organique ou de la fraction argileuse.

A. BASSIN D'ANGOLA

Dans le bassin d'Angola, la sédimentation cénomaniens s'opère en milieu généralement réducteur, favorable à la conservation d'une matière organique d'origine marine. *Les influences volcaniques sont fortement inscrites dans la sédimentation.* La subsidence thermique doit conduire à la préservation de cette matière organique en approfondissant le bassin et en favorisant une sédimentation accélérée. Seules quelques mises en communication épisodiques vers le Sud (bassin du Cap) ou vers le Nord (Atlantique Central ou Mésogée) conduisent à une oxygénation plus forte du milieu. L'assemblage des minéraux argileux traduit des reprises temporaires de l'activité tectonique peut-être liées au coulissage du plateau des Falkland tel que le décrivent Barker, Daiziel *et al.* (1977), et Le Pichon *et al.*, (1978).

B. BASSIN DU CAP

Dans le bassin du Cap, l'ouverture sur l'océan Austral conduit à une meilleure oxygénation du milieu qui favorise la disparition de la matière organique. Cependant, l'importance relative du taux de sédimentation conduit à une dilution partielle des métaux. L'importance du caractère détritique peut laisser pressentir *une activité tectonique affectant les continents voisins.*

C. PLATEAU DES FALKLAND

Sur le plateau des Falkland, les propositions précédentes s'inversent : *le milieu devient franchement oxygéné* et permet la précipitation des métaux, tandis qu'il conduit à la disparition presque totale de la matière organique. Le milieu sédimentaire est détritique banal, sans aucune influence volcanique, tandis que des rejeux tectoniques s'inscrivent plus faiblement dans la sédimentation.

En résumé, malgré l'importance du taux de sédimentation qui masque souvent les métallisations, la géochimie minérale permet de retrouver au Cénomaniens les fortes influences volcaniques sur la sédimentation du bassin d'Angola. Elle atteste d'une activité tectonique affectant l'Afrique du Sud-Ouest. Elle démontre l'oxygénation du milieu océanique dans la région des Falkland.

SIXIEME CHAPITRE

CONIACIEN-SANTONIEN:

L'ELARGISSEMENT OCEANIQUE ET SES EFFETS

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

Cet ensemble sédimentaire discontinu est présent dans le bassin d'Angola (site 364), sur le flanc Nord de la ride de Walvis (site 530), dans le bassin du Cap (où la datation des niveaux n'est cependant pas précise - site 361), sur le plateau des Falkland (sites 327 et 511) et sur la ride de Sao-Paulo/Rio-Grande (sites 356 et 357) (figure 55). Cependant, hachés par de nombreux hiatus (déjà présents dans le Cénomanién), le Turonien et la base du Coniacien sont mal représentés.

Les sédiments de cet intervalle, rencontrés dans le bassin d'Angola, sont constitués de carbonates interstratifiés, de silts et d'argilites. La série présente au site 530 est généralement moins carbonatée que celle du site 364; s'y intercalent jusqu'au Coniacien des niveaux riches en carbone organique.

Les sédiments du site 361 (bassin du Cap), d'âge crétacé supérieur indifférencié, sont composés d'une série argileuse monotone, riche en quartz. Viennent parfois s'y ajouter des feldspaths et des micas (Bolli, Ryan *et al.*, 1978).

Sur le plateau des Falkland, l'intervalle Turonien/Santonien est représenté par des boues à nannofossiles aux sites 327 et 330, des boues et des craies à nannofaunes au site 511. A partir du Santonien apparaissent des argiles zéolitiques.

Du Turonien supérieur au Santonien, les sédiments du site 328 sont composés de schistes "bariolés".

Les sédiments de même âge de la barrière Rio-Grande/Plateau de Sao-Paulo sont essentiellement carbonatés. De nombreux hiatus oblitèrent la plus forte partie du Turonien et du Coniacien.

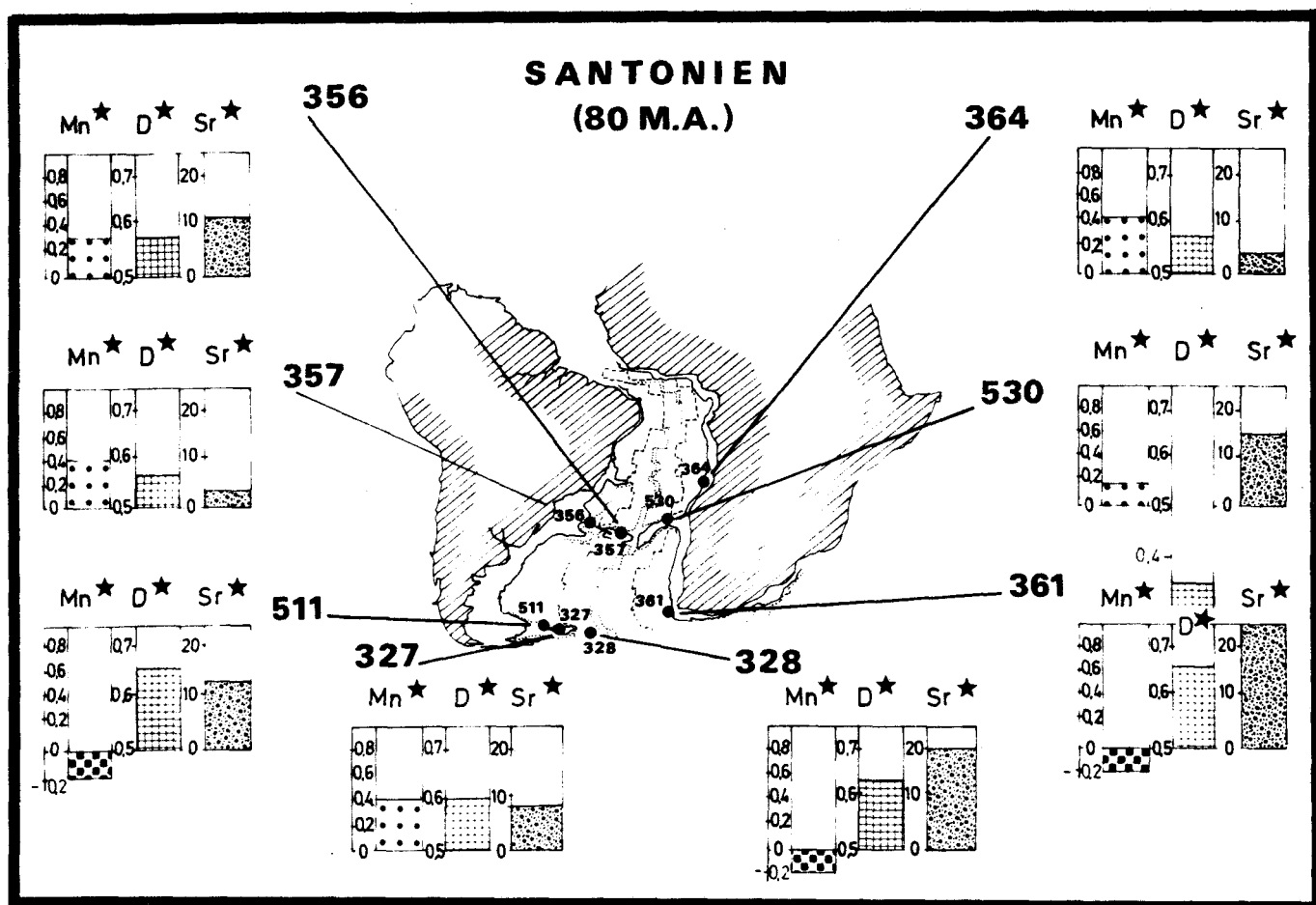


Figure 55 .- Moyennes des critères Mn^* , D^* et Sr^* dans les sédiments santoniens des sondages étudiés.

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

1. BASSIN D'ANGOLA

Dans le bassin d'Angola, la sédimentation du Turonien supérieur au Campanien (site 364) est caractérisée par un accroissement progressif de la métallisation : $Mn^* = 0,00$ pour le Turonien supérieur et 0,60 pour la série sus-jacente (Coniacien à Campanien). Le caractère détritifique ($D^* = 0,56$) est inférieur à celui des shales banals. Enfin, Sr^* (2,03) caractérise toujours une sédimentation carbonatée de milieu marin ouvert, sans trace de dissolution.

2. FLANC NORD DE LA RIDE DE WALVIS

Sur le flanc Nord de la ride de Walvis, en bordure méridionale du bassin d'Angola (site 530), les caractéristiques géochimiques sont différentes de celles observées sur la marge africaine de ce bassin (site 364). La métallisation est faible ($Mn^* = + 0,12$) et fluctuante (figure 56). Le caractère détritifique est généralement peu élevé ($D^* = 0,32$). Sr^* (13,81), très instable au Turonien et à la base du Coniacien se stabilise au Coniacien supérieur et y atteint des valeurs généralement rencontrées dans les carbonates marins non dissous. On retrouve à la base l'empreinte de récurrences carbonées, agressives vis-à-vis de la fraction carbonatée.

3. BASSIN DU CAP

Dans le bassin du Cap, l'indice de métallisation est négatif ($Mn^* = - 0,25$) définissant un milieu peu favorable à la précipitation des oxydes métalliques (figure 55). Le caractère détritique est élevé ($D^* = 0,65$), en particulier entre les carottes 23 et 20 où il marque à la fois la présence de feldspaths (Bolli, Ryan *et al.*, 1978) et celle de kaolinite (Robert *et al.*, 1979). Sr^* est toujours très élevé, caractérisant l'absence de matériel carbonaté ou sa dissolution sous l'action de la matière organique.

4. PLATEAU DES FALKLAND

Sur le plateau des Falkland, de nettes variations chimiques s'observent entre les trois sites étudiés (figure 55) ; les sédiments turoniens supérieurs et sénoniens du site 328 sont caractérisés par une métallisation négative ($Mn^* = - 0,10$) associée à de forts apports en fer. Parallèlement, le caractère détritique ($D^* = 0,63$) correspond exactement à celui des argilites terrigènes. Sr^* (≈ 10) est élevé, démontrant l'absence de matériel carbonaté.

Les sédiments de même âge du site 327 sont marqués par une métallisation relativement élevée ($Mn^* = 0,39$), un caractère détritique moyen ($D^* = 0,60$) et de fortes variations de Sr^* (8,80), marquant tantôt (valeurs faibles) une sédimentation marine sans dissolution des carbonates, tantôt (valeurs élevées) des récurrences de matériel carboné.

Les sédiments du site 511, en position plus occidentale, sont marqués par un caractère très détritique au Turonien inférieur ($D^* = 0,72$), devenant moins important du Turonien supérieur au Santonien (0,64) : le premier épisode peut correspondre à un événement brutal, kaolinique ou feldspathique. Enfin Sr^* fluctue considérablement : les niveaux où Sr^* est faible témoignent d'une sédimentation carbonatée sans dissolution ; ceux où Sr^* s'accroît fortement caractérisent soit des apports plus argileux, soit le résultat d'une dissolution synsédimentaire (altération de la matière organique).

5. PLATEAU DE SAO-PAULO

Sur le plateau de Sao-Paulo (site 356) et sur celui du Rio-Grande (site 357) la sédimentation présente des caractéristiques chimiques voisines (figure 55). Dans les deux cas, le caractère détritique est relativement faible ($D^* = 0,55$) et la métallisation relativement importante ($Mn^* = 0,25$ pour le site 356 ; 0,38 pour le site 357).

Si les sédiments du site 356 montrent encore des récurrences carbonées dans les niveaux turoniens et coniaciens ($Sr^* = 22,1$), voire l'absence complète de carbonates, au Santonien, en revanche, la sédimentation carbonatée devient franchement marine sans trace de dissolution ($Sr^* = 2,83$). Cela s'applique également à l'ensemble des sédiments santoniens du site 357 ($Sr^* = 2,08$) (figure 56).

Dans les deux cas, la sédimentation santonienne semble typique d'un milieu marin ouvert et oxydant dont le caractère détritique est légèrement inférieur à celui des argiles terrigènes classiques.

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES, GÉOCHIMIE ORGANIQUE

1. BASSIN D'ANGOLA

Dans le bassin d'Angola, la smectite dominante est parfois associée à des argiles fibreuses provenant de bassins semi-confinés, et à des minéraux primaires (Robert *et al.*, 1979). Des niveaux riches en matière organique marine s'observent à la base de la série. Ils disparaissent dans le Santonien (Herbin et Deroo, 1979 ; Deroo et Herbin, comm. pers.).

2. BASSIN DU CAP

Dans le bassin du Cap, la smectite domine également ; s'y ajoutent de petits apports épisodiques de minéraux primaires et de kaolinite.

Les concentrations en carbone organique sont faibles, quelques niveaux atteignent des valeurs supérieures à 1 %. Les index d'hydrogène sont très faibles. La matière organique est altérée, le milieu plus oxygéné.

3. PLATEAU DES FALKLAND

Sur le plateau des Falkland, les sédiments turoniens à santoniens contiennent une fraction argileuse essentiellement smectitique. Les autres minéraux argileux ne sont présents que sous forme de traces (Robert et Maillot, sous presse). La matière organique résiduelle disparaît presque complètement et l'index d'hydrogène est très faible.

4. PLATEAUX DE SAO-PAULO ET DU RIO-GRANDE

Sur les plateaux de Sao-Paulo et du Rio Grande, les sédiments montrent des assemblages argileux où prédomine la smectite, associée à quelques minéraux primaires et interstratifiés, un peu de kaolinite et des argiles fibreuses. Le carbone organique est rare dans les séries fortement carbonatées des sites 356 et 357. Les index d'hydrogène sont presque nuls, ceux d'oxygène très élevés.

II. DISCUSSIONS

A. ÉVOLUTION INDÉPENDANTE DE CHAQUE BASSIN

L'épisode *Turono-Santonien* montre la prolongation des fortes variations observées au Cénomaniens dans l'évolution de chaque bassin.

1. AU NORD l'ensemble du Bassin du Brésil/Angola est caractérisé, du Turonien au Cénomaniens, par un milieu marin relativement réducteur. De nombreuses récurrences carbonées s'inscrivent dans la sédimentation, en particulier sur le flanc sud du bassin. Ce n'est qu'au Santonien que le milieu devient plus oxydant. La sédimentation de tendance réductrice peut traduire soit l'accentuation des apports de matériel détritique, soit un confinement épisodique du milieu. Ces variations chimiques correspondent peut-être à des phases saccadées d'ouverture de bassin, soit vers le Nord (Mésogée, Atlantique central), soit vers le Sud (Bassin du Cap/Argentine).

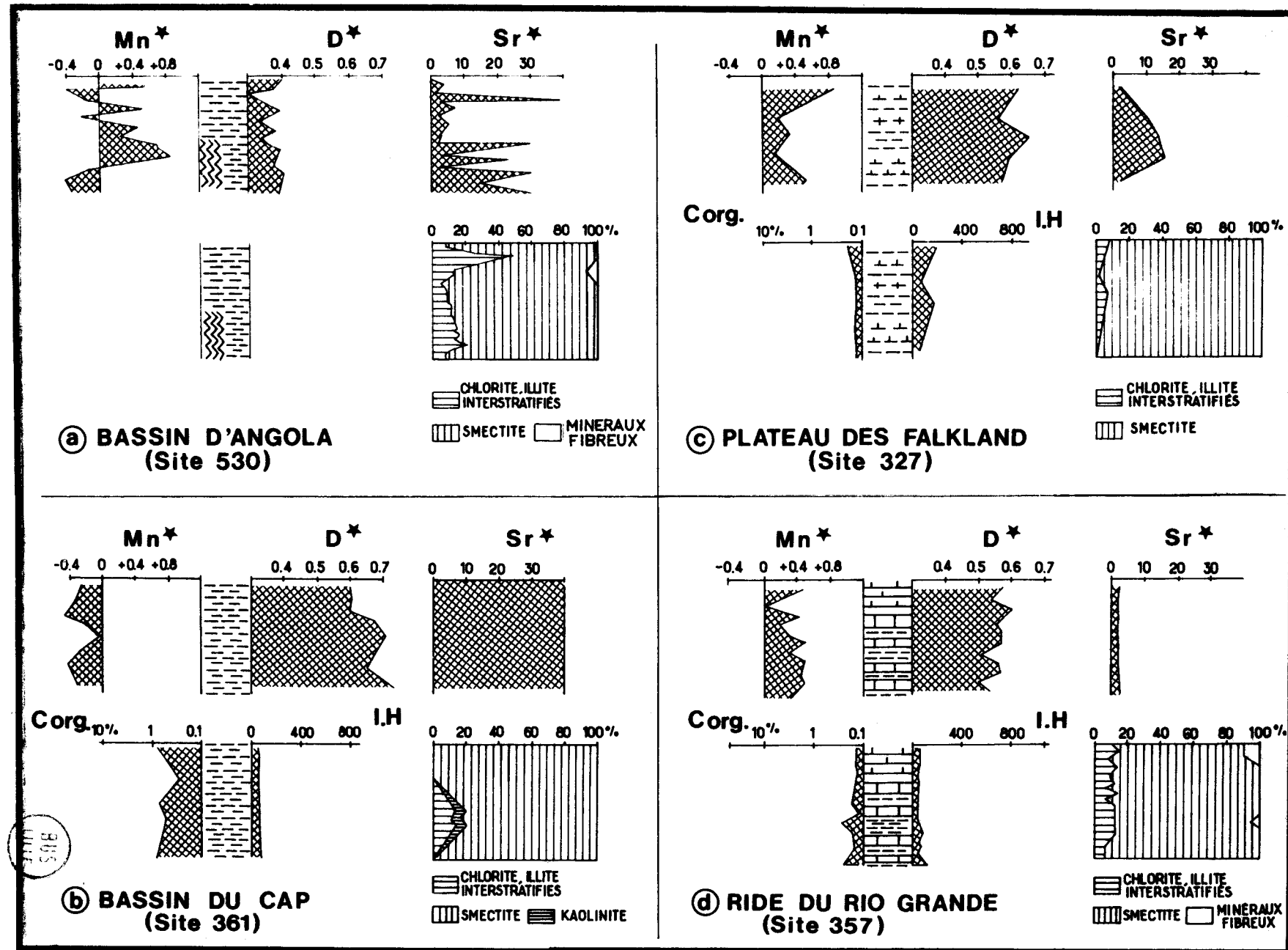


Figure 56.- Variations verticales des critères Mn^* , D^* , Sr^* ; du carbone organique et de l'index d'hydrogène d'après Herbin et Deroo (1979); des minéraux argileux d'après Robert (1982) au Santonien.

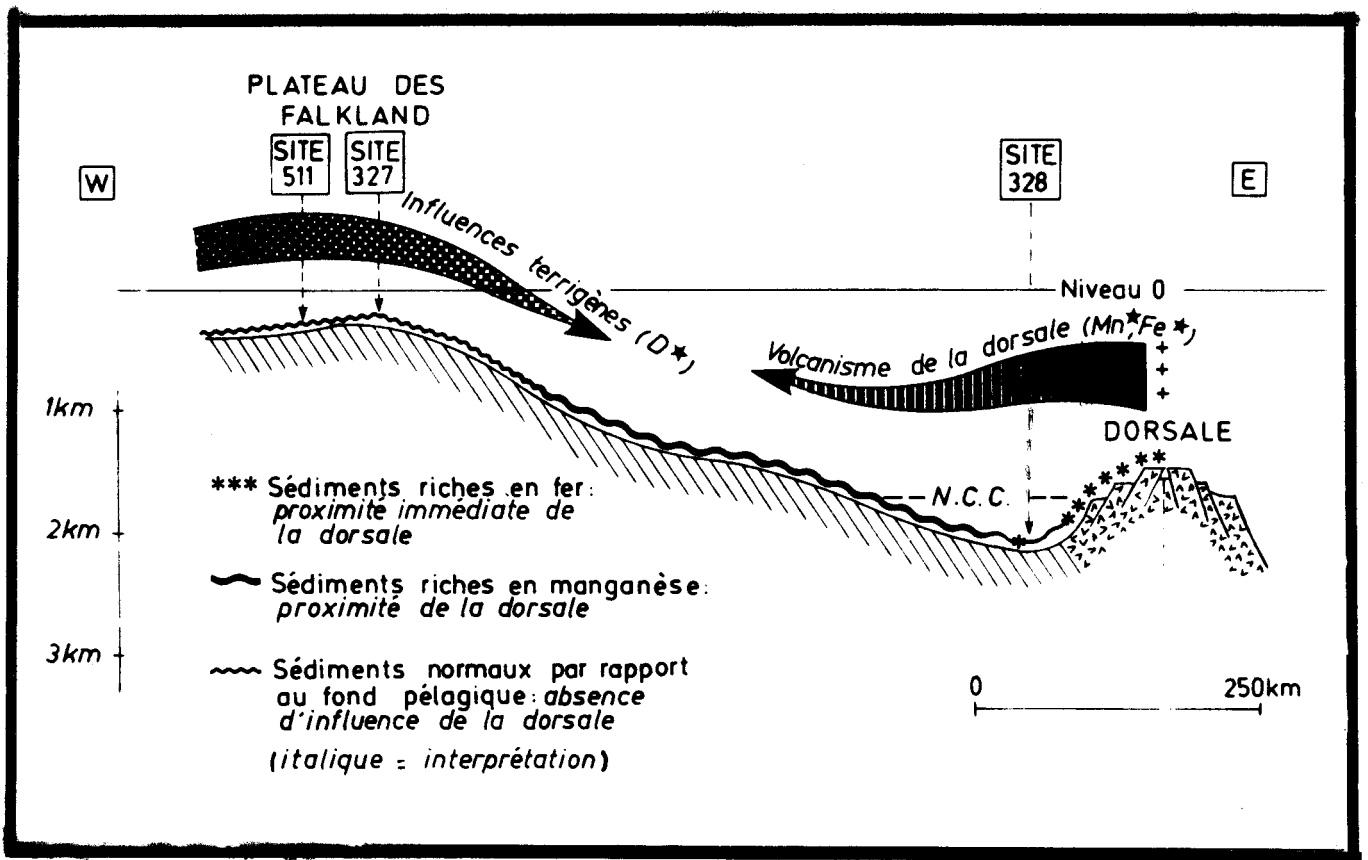


Figure 57 .- Reconstitution paléobathymétrique au Santonien des sites des legs 36 et 71 au niveau du 47° latitude sud. (Courbes paléobathymétriques d'après Sclater *in* Melguen *et al.*, 1978b). Principales influences sur la sédimentation déduites de la géochimie.

2. AU SUD le milieu de sédimentation observé dans le bassin du Cap est très fortement détritique. A la base du Crétacé supérieur (s. p.), la géochimie (D^*) et la minéralogie des argiles montrent la présence de kaolinite et de feldspaths, donc la proximité des sources détritiques.

La matière organique altérée (Herbin et Deroo, 1979) indique une plus forte oxygénation du milieu. Cette interprétation semble en contradiction avec les valeurs négatives de Mn^* et les importantes valeurs de Sr^* , sauf si l'on admet que l'abondance du matériel sédimentaire d'origine détritique dilue l'effet métallisant des masses d'eau oxygénée. Associée à cette évolution sédimentaire, l'arrivée de petits apports épisodiques de minéraux primaires et de kaolinite pourrait marquer de légères reprises tectoniques des continents voisins (Robert *et al.*, 1979).

B. ÉLARGISSEMENT OCÉANIQUE

L'élargissement océanique se marque dans la sédimentation par la décroissance de l'influence métallisante occasionnée par la dorsale et ceci au fur et à mesure que l'océan s'ouvre. A cet égard, les sédiments du plateau des Falkland illustrent avec précision l'influence métallisante de la dorsale et confirment les reconstitutions proposées par Sclater et al. (1977). En particulier, le site 328 (figure 57) est celui qui se trouve sous influence proche de la dorsale, alors que les sites 327 et 511 en sont beaucoup plus éloignés. A cette époque, la ramification de la dorsale médio-atlantique vers le Sud semble démontrée.

C. INFLUENCES VOLCANIQUES LOCALES

Des influences volcaniques locales semblent se distinguer de celle résultant de la proximité de la dorsale médio-atlantique. Elles sont bien perceptibles dans les sédiments du flanc sud du bassin du Brésil/Angola, plus discrètes dans ceux d'âge turonien et coniacien des sédiments plus occidentaux (Rio-Grande, plateau de Sao-Paulo). A l'Est (Ride de Walvis) ces influences volcaniques pourraient résulter de l'activité d'un centre de "points chauds" (Neill, 1976). Les sédiments de même âge du site 364, plus proches de la marge continentale sont moins influencés par cette métallisation.

D. DISSOLUTION DES CARBONATES

La dissolution des carbonates affecte dans le bassin des Falkland les sédiments du site 328 (Sr^* est élevé). En utilisant les courbes de subsidence thermique (Sclater, 1973 ; Melguen et al., 1978a) le site 328 se trouvait vers 2 000 m de profondeur au Santonien. Si l'on exclut une sédimentation uniquement silicatée, ce site se trouvait *sous le N. C. C. de l'époque*. Ce mode de raisonnement permet d'envisager la paléoprofondeur du N. C. C. dans le bassin des Falkland.

En résumé, la géochimie minérale apporte au Turono-Santonien des informations dans quatre domaines : type du milieu de sédimentation, effet de l'élargissement océanique sur la sédimentation, influences volcaniques locales et dissolution des carbonates.

SEPTIEME CHAPITRE

LA TRANSITION CRETACE TERTIAIRE:
DECROISSANCE DE L'INFLUENCE TERRIGENE
DEVELOPPEMENT DES INFLUENCES BIOGENES

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

On rencontre les sédiments campaniens à éocène inférieur à la fois dans le bassin d'Angola (site 364 et 530), dans celui du Brésil (sites 355 et 20), dans celui du Cap (site 361), sur les rides de Walvis (sites 363, 525, 527, 528 et 529), du Rio-Grande (site 357), du plateau de Sao-Paulo (site 356) et du plateau des Falkland (sites 327, 329, 511 et 328). (figure 58).

Les sédiments concernés sont généralement composés de boues carbonatées ou de craies à nanofaunes et foraminifères (bassin du Cap, bassin du Brésil, rides de Walvis et plateau des Falkland : Bolli, Ryan et al. (1978) ; Supko, Perch-Nielsen et al., (1977) ; Barker, Dalziel et al., (1976) ; Ludwig, Krasheminnikov et al., (sous presse) ; Moore, Rabinowitz et al., (sous presse) ; Hay, Sibuet et al., (sous presse). A cette série carbonatée s'ajoutent des silts et sables dans les sédiments de la ride du Rio-Grande, des argiles zéolitiques et diatomites dans le Paléocène et l'Eocène inférieur du plateau des Falkland, des argiles et silts dans les sédiments maastrichtiens et campaniens du bassin du Cap et de la ride de Walvis.

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

De manière générale, si l'on exclut le plateau des Falkland où les récurrences carbonées sont encore perceptibles, la sédimentation carbonatée se dépose en milieu marin ouvert. L'influence du paléoenvironnement marin n'est pas masquée par l'intensité des transformations diagenétiques.

En conséquence s'inscrivent dans la chimie des sédiments : la plus ou moins forte proximité des sources d'apports de métaux (zones actives), la paléoprofondeur des sites traduite par le degré de dissolution des carbonates, la plus ou moins forte influence des apports continentaux, l'influence des grandes masses d'eau. En plus de ces facteurs généraux seront envisagées les éventuelles crises qui peuvent caractériser la transition Crétacé-Tertiaire.

1. PLATEAU DES FALKLAND

La période Campanien-Eocène inférieur marque une rupture dans la chimie du sédiment. Les métallisations du site 328, plus profond, deviennent positives, alors qu'elles étaient négatives dans la séquence sédimentaire précédente. Le caractère détritique décroît par rapport à cette même séquence ($D^* = 0,57$), alors que Sr^* reste très élevé et augmente encore dans l'Eocène inférieur.

Dans les sites moins profonds (327, 329 et 511), les métallisations sont positives au-dessous de la limite Crétacé-Tertiaire et négatives au-dessus (figure 59). Le caractère détritique décroît par rapport aux valeurs relevées au Turono-Sénonien ($D^* = 0,57$).

L'évolution de Sr^* au site 327 (respectivement 2,90 dans le Maastrichtien ; 27,80 dans le Paléocène inférieur ; 4,25 dans le Paléocène supérieur et 13,32 dans l'Eocène inférieur) caractérise les fluctuations paléobathymétriques du site ou encore celles du paléo-N. C. C.

2. BASSIN DU CAP

La chimie des sédiments (site 361, figure 58) caractérise un milieu pélagique "banal". Les moyennes des métallisations sont voisines de zéro ($Mn^* = + 0,05$). Négatives à la base de la série, elles deviennent fortement positives au passage Maastrichtien/Paléocène (figure 59) puis négatives à l'Eocène inférieur. L'importance du caractère détritique ($D^* = 0,58$) s'explique par la position vers la marge continentale du site. Il décroît par rapport à l'épisode sédimentaire précédent.

L'évolution de Sr^* , surtout élevé jusqu'au Paléocène supérieur (15,12) et décroissant fortement ensuite (4,70), peut caractériser soit l'agressivité du milieu vis-à-vis des carbonates, soit une dissolution liée à la profondeur du site.

3. RIDE DE WALVIS

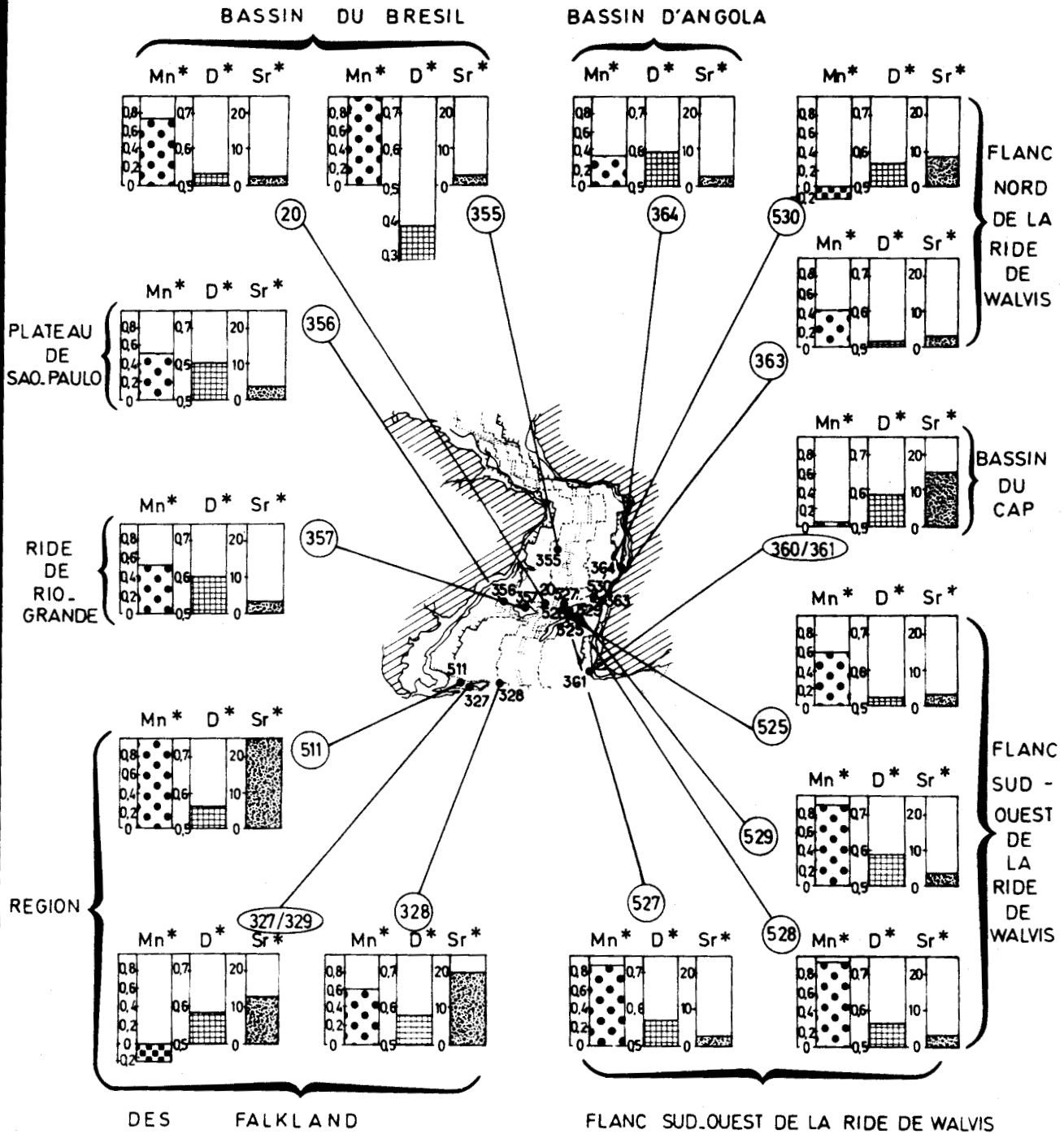
On considère deux régions :

a) SUR LA PARTIE ORIENTALE DE LA RIDE (sites 530 et 363), le caractère détritique est inférieur à celui des argiles terrigènes ($D^* = 0,52$ en 363 ; 0,55 en 530). Le milieu est plus oxydant au site 363 ($Mn^* = 0,40$) qu'au site 530 ($Mn^* = - 0,13$) (figure 58). Dans ce second cas, les influences volcaniques sont beaucoup moins perceptibles que précédemment.

Sr^* est faible au site 363 (1,90) et caractérise une sédimentation carbonatée marine préservée de la dissolution. Au contraire, au site 530, la valeur élevée de Sr (8,05) pourrait caractériser la conservation partielle de la matière organique et la dissolution synsédimentaire qui en résulterait.

b) SUR LA PARTIE SUD-OUEST DE LA RIDE DE WALVIS (leg 74), la chimie des sédiments de la base des sites 525, 527, 528 et 529 a déjà fait l'objet d'une étude de détail (cf. 3ème partie, I, II et Chamley *et al.*, sous presse). Rappelons simplement que la géochimie permet de mettre en évidence l'immersion d'appareils volcaniques et de suivre la mise en place de la croûte océanique, au cours du temps. En outre, elle contribue à montrer l'influence du volcanisme ou de l'altération de cette croûte sur la sédimentation.

TRANSITION CRÉTACÉ/TERTIAIRE (65 MA.)



BUS
LILLE

Figure 58 .- Moyennes des critères Mn*, D* et Sr* dans les sédiments de la transition Crétacé/Tertiaire.

4. PLATEAU DE SAO-PAULO ET RIDE DU RIO-GRANDE

Les sédimentations des deux ensembles y sont très voisines et présentent un caractère détritique voisin de celui des argiles banales ($D^* = 0,60$), supérieur à celui de l'épisode turo-no-sénonien. La métallisation est moyenne ($Mn^* = 0,50$), plus élevée qu'antérieurement. Enfin, les faibles valeurs de Sr^* (3,67 pour le site 356 ; 2,04 pour le site 357) traduisent un milieu marin ouvert où les carbonates marins ne sont pas dissous.

5. BORDURE DE LA RIDE DU RIO-GRANDE ET DU BASSIN DU BRESIL

L'évolution des sédiments du site 20 est la même que précédemment en ce qui concerne Sr^* . La métallisation est plus élevée ($Mn^* = 0,75$) que celle relevée sur les sédiments moins profonds de la ride du Rio-Grande (figure 58), tandis que le caractère détritique plus faible ($D^* = 0,52$) traduit la plus grande proximité de la dorsale médio-atlantique.

6. BASSIN DU BRESIL

L'ensemble des niveaux sus-jacents aux basaltes (site 355) montre une forte homogénéité des faciès géochimiques (figure 59). On y observe un enrichissement métallifère ($Mn^* = 1,26$) lié soit à l'altération des basaltes, soit à l'influence de processus hydrothermaux à proximité du lieu de sédimentation. Le caractère détritique est faible ($D^* = 0,38$) et la fraction carbonatée ne semble pas avoir subi de dissolution lors du dépôt ($Sr^* = 1,89$).

L'analyse chimique de la fraction argileuse ($< 2 \mu m$) a été réalisée sur des niveaux regroupés (cf. 3ème partie). Elle fait apparaître que la concentration en éléments de transition diminue de la base vers le sommet ($Mn^* = 1,34$ (niveaux de base) ; $Mn^* = 1,20$ (niveaux médians) ; $Mn^* = 0,80$ (niveaux sommitaux)) alors que l'indice de détritisme croît en sens inverse (respectivement $D^* = 0,38$; $D^* = 0,42$ et $D^* = 0,48$). Cette évolution est la conséquence de l'élargissement océanique : l'influence métallisante de la dorsale s'estompe au fur et à mesure que la colonne sédimentaire s'en éloigne.

7. BASSIN D'ANGOLA

La sédimentation du site 364 se caractérise par une métallisation d'amplitude moyenne ($Mn^* = 0,36$) et assez constante. Cette métallisation est plus faible que celle relevée durant l'épisode sédimentaire précédent. Au contraire, le caractère détritique croît légèrement ($D^* = 0,59$). Il se rapproche de celui des argiles terrigènes typiques. Sr^* marque une sédimentation carbonatée sans trace de dissolution.

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES

L'étude des assemblages argileux montre que le rejeu tectonique généralisé est surtout important depuis la fin du Santonien jusqu'au Maastrichtien terminal, avec quelques prolongations mal datées jusque dans le Paléocène.

Sur la ride de Walvis, on observe une augmentation généralisée des smectites qui se marque à la limite exacte Maastrichtien-Paléocène (surtout au site moins profond 525) et qui est interprétée par un sursaut volcanique.

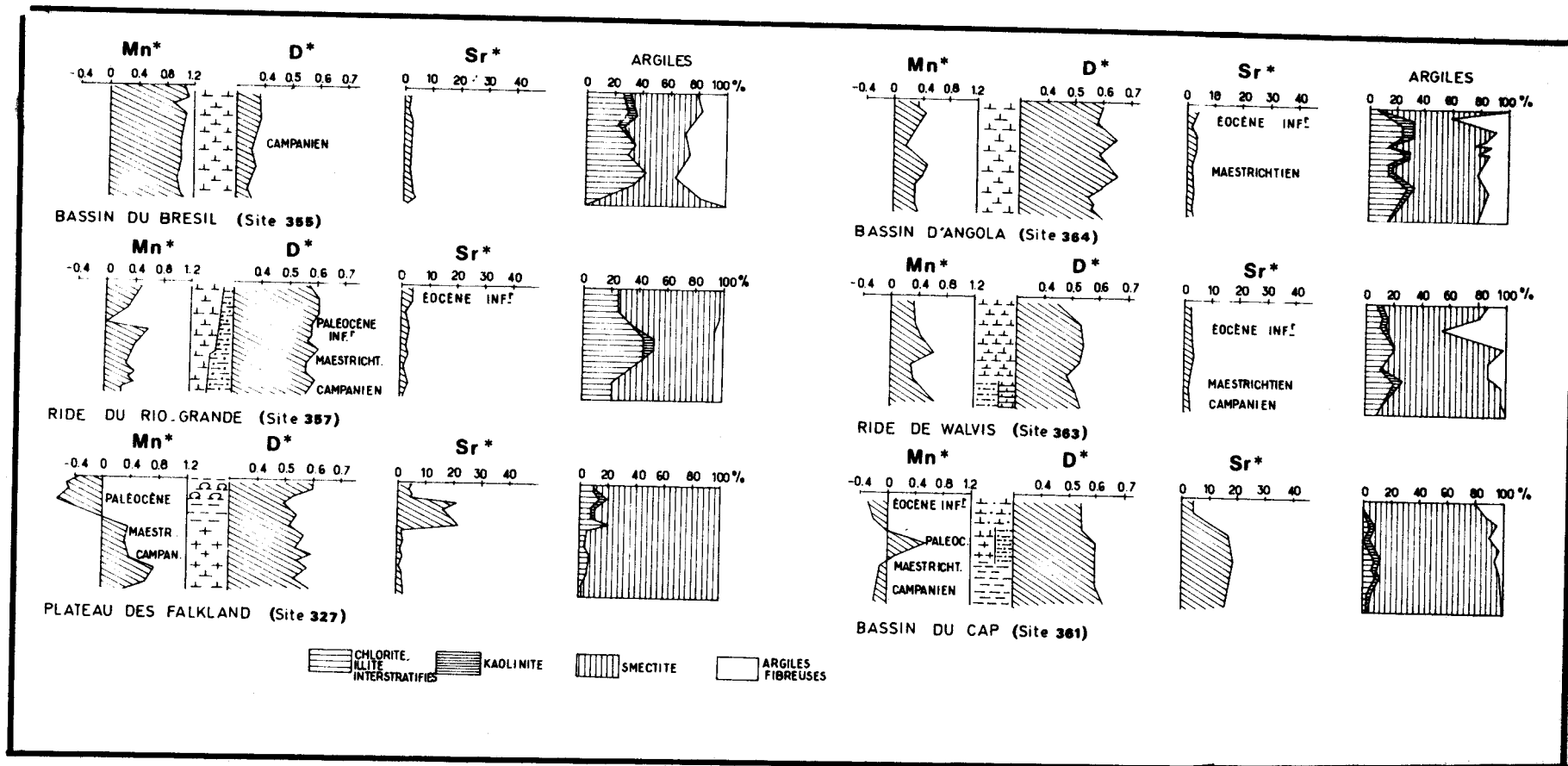


Figure 59 .- Variations verticales des critères Mn*, D*, Sr* ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) et Chamley et al. (sous presse) à la transition Crétacé/Tertiaire.

985
L11E

Au cours du Paléocène inférieur, les smectites augmentent dans les quatre sites, ce qui conduit Chamley et Robert à proposer une pénéplanation continentale.

Bref, les assemblages argileux observés au Crétacé terminal et leurs brutales variations laissent pressentir une déstabilisation tectonique générale au Crétacé terminal (Chamley et Robert, 1979 ; Chamley et al., sous presse ; Robert et al., 1979 ; Robert, 1981 ; Robert et Maillot, sous presse ; Maillot et Robert, sous presse a et b).

II. DISCUSSION

A. ATTÉNUATION DU CARACTÈRE DÉTRITIQUE DE LA SÉDIMENTATION

Partout durant l'intervalle Campanien-Eocène inférieur, *le caractère détritique s'atténue dans la sédimentation*. Melguen et al., (1978) lient la nette diminution de la vitesse de sédimentation (de 60 m/M. A. à l'Albo-Aptien à moins de 6 m/M. A. à la limite Crétacé-Tertiaire) à plusieurs causes dont les décroissances d'apports terrigènes dans l'ensemble de l'Atlantique Sud à la fin du Crétacé supérieur (Barker, Dalziel et al., 1976 ; Supko, Perch-Nielsen et al., 1977 ; Bolli, Ryan et al., 1978) et les remontées importantes du N. C. C. à la limite Crétacé/Tertiaire (Worsley, 1974).

Ceci influence également la géochimie. Moins diluées du fait des apports détritiques atténués, les précipitations métallifères peuvent se concentrer et cela d'autant mieux que le milieu de sédimentation est plus oxygéné et la communication avec l'océan mondial meilleure.

A cet égard, les échanges d'eaux intermédiaires entre l'Atlantique Nord et Sud (Mc Coy et Zimmerman, 1977 ; Robert, 1980 ; Robert, 1981 ; Maillot et Robert, sous presse a) accentuent l'oxygénation du milieu océanique et autorisent le dépôt de boues carbonatées pélagiques (Melguen et al., 1978a).

B. VOLCANISMES EMERGÉS ET IMMERGÉS

Cependant, certaines parties de rides demeurent émergées (Robert, 1980 ; Maillot et Robert, sous presse a). En effet, au Campanien supérieur, lors de son passage au niveau de la ride de Walvis, un centre volcanique actif produit des épanchements volcaniques subaériens, forés lors du leg 74 (Chamley et al., sous presse ; Maillot et Robert, sous presse a). L'altération météorologique de ces volcanites provoque l'apport en abondance de smectites bien cristallisées à l'océan, mais de peu d'oxydes métallifères.

Ensuite, au fur et à mesure de l'élargissement océanique, la subsidence tectonique et thermique immerge les appareils volcaniques, alors susceptibles de fournir, directement à l'océan et indirectement aux sédiments, d'importantes quantités de métaux de transition. Simultanément, le matériel argileux devient plus banal.

Couplée à la minéralogie des argiles, la géochimie minérale permet de distinguer, à travers leurs influences sur la sédimentation, la présence d'édifices volcaniques immergés ou émergés.

C. COUPURE MAASTRICHTIEN-PALÉOCÈNE

La coupure Maastrichtien-Paléocène, si elle s'inscrit bien par la variation qu'elle occasionne dans les assemblages argileux, est *moins nettement marquée dans la chimie des sédiments.*

Les régions où la géochimie apporte des arguments pour confirmer cette coupure sont :

1. LE BASSIN DU CAP

Le bassin du Cap où les sédiments qui se déposent au voisinage de la marge montrent des caractéristiques géochimiques contrastées : réductrice au Campanien-Maastrichtien, oxydantes au Paléocène, réductrices à l'Eocène inférieur. Cette évolution s'accompagne d'une diminution des valeurs du caractère détritique et de Sr^* vers la base du Tertiaire. On peut y voir le résultat d'une sédimentation en zone tectoniquement instable : l'arrivée au Paléocène et à l'Eocène inférieur d'argiles fibreuses (rejeux tectoniques marginaux) confirmerait cette proposition.

2. LE BASSIN D'ANGOLA ET LA RIDE DU RIO-GRANDE

Le bassin d'Angola et la ride du Rio-Grande où les métallisations diminuent sensiblement au passage Crétacé/Tertiaire. Ces diminutions sont localement accompagnées d'une augmentation locale du caractère détritique. On peut envisager un réajustement tectonique des continents qui occasionnerait régionalement des arrivées de matériel détritique plus intenses diluant les métaux.

3. AILLEURS

Ailleurs, *la coupure ne s'inscrit pas de façon franche dans la chimie des sédiments.*

D. DISSOLUTION DES CARBONATES

La dissolution des carbonates se marque dans la *géochimie*. En particulier, la simultanéité des effets de cette dissolution s'observe dans la partie Sud-Ouest de la ride de Walvis. Celle-ci est minime lorsque les sites se trouvent au-dessus de la lysocline, plus marquée lorsqu'ils se trouvent au voisinage du N. C. C. Ceci implique que *la profondeur relative des sites est restée voisine de celle qu'ils occupent actuellement.* En effet, les sédiments sont peu affectés par la dissolution au Crétacé supérieur alors qu'ils le deviennent graduellement depuis le Cénozoïque inférieur.

En résumé, au fur et à mesure que s'accroissent les influences "océaniques" sur la sédimentation, la géochimie fournit des informations de plus en plus étendues et complètes.

Si la coupure Maastrichtien-Paléocène transparaît peu au travers de la chimie des sédiments, au contraire le passage d'une sédimentation plus détritique vers une autre plus biogénique, la réduction du taux de sédimentation, la dissolution des carbonates et la distinction entre volcanisme émergé et immergé se marque bien dans le comportement chimique des sédiments.

HUITIEME CHAPITRE

EOCENE MOYEN ET SUPERIEUR:

VOLCANISME ET DYNAMIQUE D'OUVERTURE OCEANIQUE

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

Les sédiments d'âge éocène moyen et supérieur (figure 60) sont présents sur les flancs ouest (site 19 ; Maxwell et al., 1970), et est (site 522 ; Hsü, La Brecque et al., sous presse) de la dorsale médio-atlantique. On retrouve cette série sédimentaire sur la partie orientale de la ride de Walvis (sites 362, 363 et 530 ; Bolli, Ryan et al., 1978 ; Hay, Sibuet et al., sous presse) et sur sa partie sud-occidentale (sites 525, 529, 528 et 527 ; Moore, Rabinowitz et al., sous presse). Elle est également présente sur la ride du Rio-Grande (site 357 ; Supko, Perch-Nielsen et al., 1977) et sur le plateau de Sao-Paulo (site 356), ainsi que sur le plateau des Falkland (sites 328, 329 et 511 ; Barker, Dalziel et al., 1976 ; Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse). Enfin, l'Eocène est présent sur la marge africaine du bassin du Cap (site 360 et 361 ; Bolli, Ryan et al., 1978).

Remarquons que la limite Eocène-Oligocène est souvent caractérisée par des lacunes dues soit à des hiatus sédimentaires, ou à un carottage incomplet, en particulier lors des premières missions du Glomar Challenger en Atlantique Sud.

Les deux forages implantés sur les flancs ouest (site 19) et est (site 522) de la dorsale médio-atlantique montrent des sédiments respectivement éocènes moyens, composés de craies à nannofossiles, et éocènes supérieurs constitués de calcaires à nannofossiles. Sur la partie orientale de la ride de Walvis (sites 362, 363 et 530), la même période de temps est représentée par des calcaires parfois marneux passant, au sommet du site 530, à des argiles. L'ensemble des sédiments éocènes moyens et supérieurs de la partie sud-ouest de la ride de Walvis est essentiellement constitué de carbonates biogéniques (craies et boues à nannofaunes et foraminifères). Les sédiments d'âge éocène moyen du site 356 sont composés d'un mélange de calcarénites et d'argiles dans lequel s'intercalent des niveaux siliceux (silice authigène enrichie en diatomées et radiolaires). La série éocène supérieure est tronquée par un hiatus. La série sédimentaire plus complète du site 357 (Ride du Rio-Grande) est constituée de boues et craies à nannofaunes et foraminifères dans lesquelles s'intercalent (carotte 25) des fragments basaltiques fortement altérés (Supko, Perch-Nielsen et al., 1977), non étudiés ici.

Les sédiments de même âge recueillis sur le plateau des Falkland sont respectivement constitués de craies et schistes à nannofaunes et d'argiles zéolitiques. Enfin, les sédiments du bassin du Cap (marge africaine) sont composés de boues marneuses ou de boues calcaires à nannofossiles.

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

La chimie du sédiment caractérise dans sa généralité un milieu ouvert (oxydant), présentant un fond pélagique "normal" ($Mn = 0$). Sur ce fond continu viennent se superposer des métallisations, images de l'influence plus ou moins proche de la dorsale médio-atlantique.

La paléoprofondeur des sites s'inscrit dans le sédiment à travers le comportement de Sr^* .

1. DANS LA REGION DES FALKLAND (sites 511, 329 et 328) un net gradient apparaît dans le comportement des critères chimiques.

De l'Est vers l'Ouest, c'est-à-dire du site 328 vers les sites 329 et 511, la métallisation diminue fortement (figure 60) : $Mn^*_{328} = 0,70$; $Mn^*_{329} = 0,40$; $Mn^*_{511} = 0,11$. Simultanément le caractère détritique tend à augmenter : $D^*_{328} = 0,59$; $D^*_{511} = 0,63$. La dissolution des carbonates ou leur absence dans la sédimentation initiale s'inscrit fortement en 328 (Sr^* est très élevé). Dans ce site "profond" Sr^* et Mn^* s'accroissent par rapport aux valeurs relevées pendant l'épisode campanien-éocène inférieur. Les sédiments des sites 329 et 511 montrent au contraire une nette diminution des valeurs de Sr^* par rapport à l'épisode sédimentaire précédent (respectivement 4,00 pour 329 et 4,66 pour 511). La sédimentation carbonatée en ces deux sites à l'Eocène moyen et supérieur se rapproche de plus en plus de conditions marines oxydantes et n'est pas affectée par la dissolution.

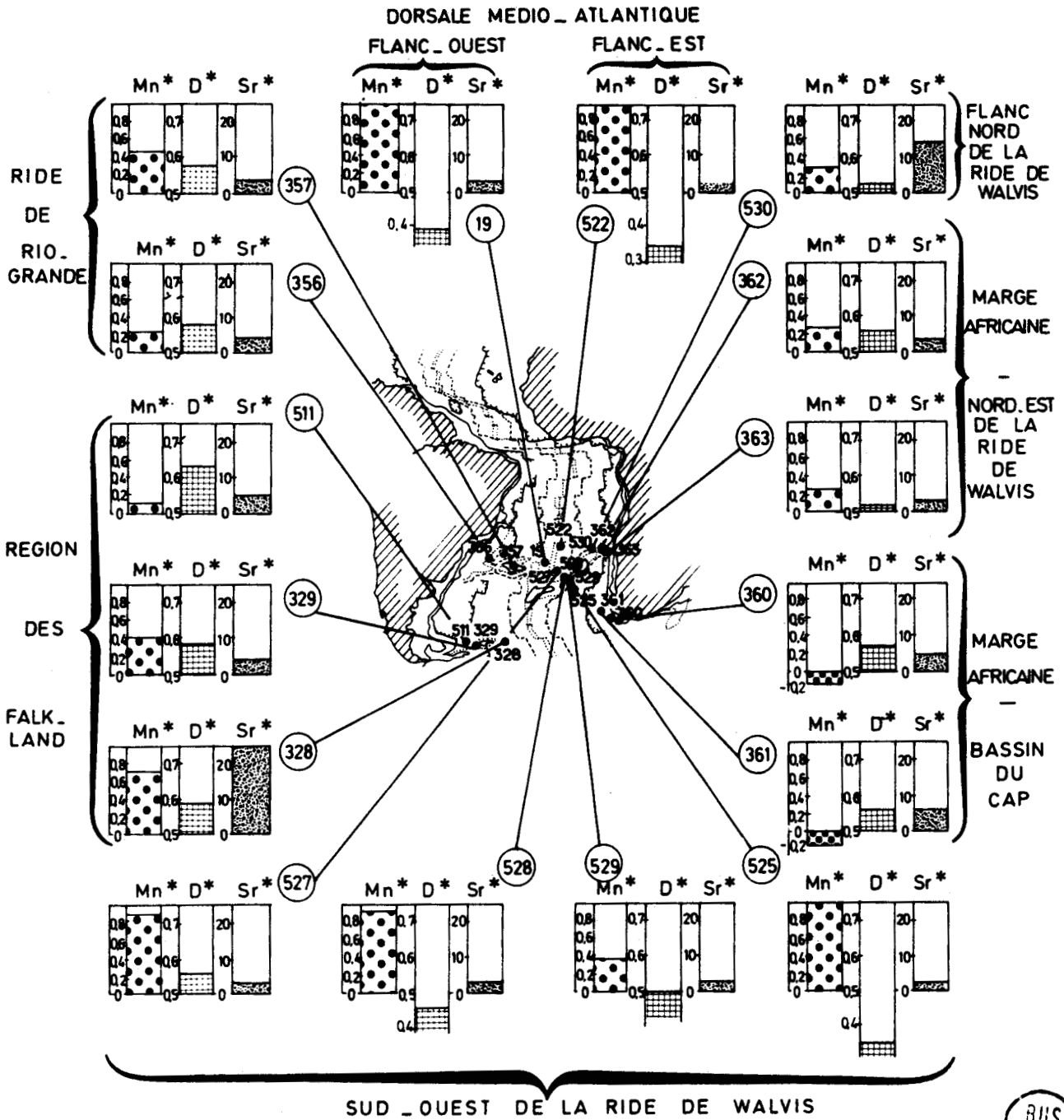
2. SUR LA MARGE AFRICAINE DU BASSIN DU CAP (sites 360 et 361) les métallisations sont presque nulles ($Mn^*_{360} = -0,12$; $Mn^*_{361} = 0,17$). Après une augmentation au Paléocène, les valeurs deviennent négatives à l'Eocène inférieur et moyen, puis positives à l'Eocène supérieur (figure 61). Cette diminution sensible de Mn^* à l'Eocène moyen ne peut s'expliquer que si l'on admet l'arrivée de fer d'origine détritique (latéritique par exemple). Sr^* est généralement assez faible (3,80 en 360 ; 4,30 en 361) avec une valeur un peu plus élevée au site actuellement le plus profond. En outre, les niveaux Eocène moyen du site 361 présentent un Sr^* légèrement plus élevé que ceux de l'Eocène supérieur (figure 60).

3. SUR LA RIDE DE WALVIS, trois zones se distinguent.

a. DANS LA PARTIE NORD-EST, aux sites 362 et 363, la métallisation est relativement faible bien que positive ($Mn^* = 0,25$; figure 60). Le caractère détritique (0,55 pour 362 ; 0,52 pour 363) est plus faible que celui typique des shales (0,63).

b. SUR LE FLANC NORD de la ride de Walvis, le site 530 présente des caractéristiques chimiques voisines de celles des sites précédents ($Mn^* = 0,27$ et $D^* = 0,53$; figure 60). Alors que les métallisations étaient négatives durant le Campanien-Eocène inférieur, elles deviennent légèrement positives ensuite, subissant une nouvelle décroissance à l'Eocène supérieur. Le caractère détritique reste très voisin de celui observé pendant l'épisode sédimentaire précédent.

ÉOCÈNE (50 MA.)



BUS LILLE

Figure 60 .- Moyennes des critères Mn*, D* et Sr* dans les sédiments de l'Eocène moyen et supérieur.

c. DANS LA PARTIE SUD-OUEST de la ride de Walvis, la transversale (sites 525, 529, 528 et 527) montre seulement des sédiments d'âge éocène moyen. Les métallisations sont élevées ou très élevées (respectivement Mn^* = 1,18 ; 0,80 ; 1,03 et 0,99) alors que le caractère détritique est très faible ou moyen (respectivement D^* = 0,36 ; 0,50 ; 0,46 et 0,55 ; figure 60). De telles caractéristiques correspondent généralement à des influences volcanogéniques proches. Si elles existent, elles affectent davantage les sédiments du site 525 alors qu'elles paraissent moins intenses vers le Nord-Ouest.

Les valeurs de Sr^* (respectivement 1,65 ; 1,90 ; 2,03 et 2,15) sont très faibles et caractéristiques d'une sédimentation carbonatée en milieu marin ouvert, elles présentent toutefois une très légère croissance vers les sites les plus profonds actuellement.

4. SUR LE PLATEAU DE SAO-PAULO ET LA RIDE DU RIO GRANDE (sites 356 et 357) les métallisations de la première région sont moins élevées (Mn^* = 0,24) que celles de la seconde (Mn^* = 0,43) alors que le caractère détritique est identique (D^* = 0,57 ; figure 60). Les critères chimiques sont voisins de ceux de l'épisode sédimentaire précédent. On observe seulement une très légère diminution des métallisations.

Chronologiquement, deux épisodes s'individualisent :

a. A LA BASE DE L'EOCENE MOYEN DU SITE 357 (carottes 28 et 27), les fortes valeurs de D^* (respectivement 0,68 et 0,65 ; figure 61) pourraient correspondre à l'arrivée d'un matériel détritique particulièrement enrichi en kaolinite ou en feldspaths. Ces niveaux sont absents en 356.

b. DANS L'EOCENE MOYEN DU SITE 357 (carottes 26 à 23) s'intercale un niveau volcano-détritique, qui se marque dans la chimie du sédiment encaissant par des variations antagonistes de Mn^* croissant et de D^* décroissant (figure 61).

Sr^* présente des valeurs voisines de celles de l'épisode sédimentaire précédent ($Sr^*_{356} = 3,67$; $Sr^*_{357} = 2,97$), mais encore une fois, la valeur la plus élevée appartient au site actuellement le plus profond. Ce comportement laisse pressentir, comme précédemment, une paléoproséquence relative des différents sites voisine de l'actuelle.

5. SUR LES FLANCS DE LA DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE, au niveau du 27° de latitude Sud, deux sites en position symétrique permettent d'appréhender l'influence des métallisations de zone active sur un milieu de sédimentation voisin.

a. A L'OUEST, le site 19 (figure 60) montre une métallisation très élevée (Mn^* = 1,03) qui décroît régulièrement (figure 61) de la base de l'Eocène moyen au sommet de l'Eocène supérieur. Simultanément, le caractère détritique (moyenne de D^* = 0,40) présente un comportement antagoniste (D^* = 0,25 (Eocène moyen) ; D^* = 0,48 (Eocène supérieur)).

b. A L'EST, le site 522 (figure 61), où seuls les horizons de l'Eocène supérieur sont représentés, offre un comportement voisin. Les métallisations sont élevées (Mn^* = 1,28) alors que le caractère détritique est faible (D^* = 0,35). Dans les deux cas, les faibles valeurs de Sr^* montrent que la sédimentation s'effectue dans un milieu bien oxygéné et qu'elle n'est affectée par aucune dissolution. En outre, les valeurs de Sr^* supposent une quasi absence de strontium d'origine volcanique.

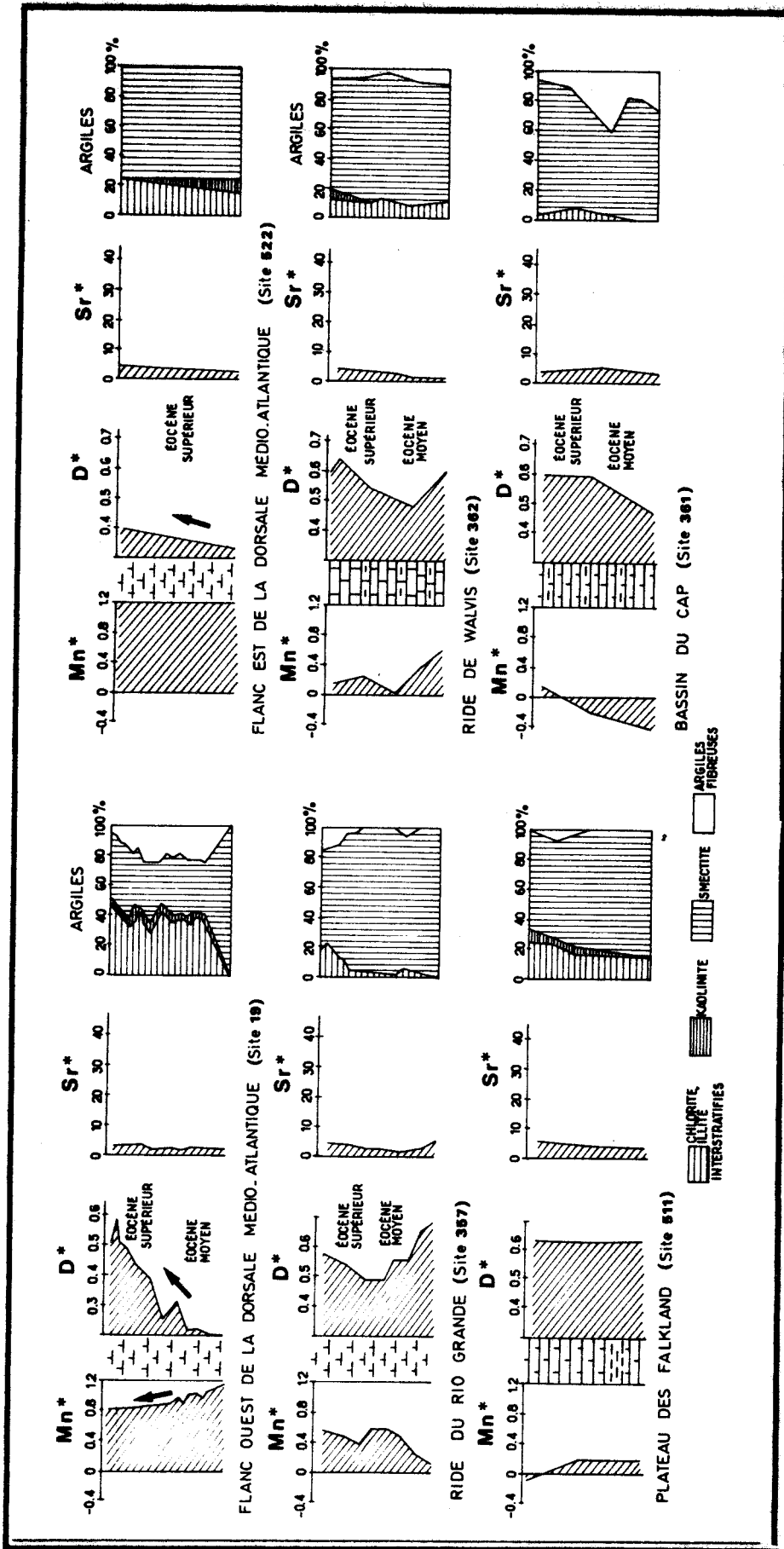


Figure 61.- Variations verticales des critères Mn*, D*, Sr*, des minéraux argileux d'après Robert (1982) à l'Eocène moyen et supérieur.



B. MINÉRALOGIE DES ARGILES

L'épisode éocène moyen-supérieur marque une transition entre la période crétacée-paléocène, où les informations apportées par les assemblages argileux sont principalement d'ordre tectonique et morphologique, et la période éocène-pléistocène où les associations argileuses témoignent davantage de l'influence des courants et des climats.

De façon très générale, l'épisode éocène moyen-supérieur débute par une diminution de la smectite et une augmentation de l'ensemble chlorite, illite et interstratifiés, liés au refroidissement général des climats (Maillot et Robert, 1980 ; Robert, 1980 ; Robert, 1981 ; Robert, 1982).

La palygorskite et la sépiolite diminuent d'abondance, marquant la subsidence des marges sur lesquelles se développaient jusqu'alors les bassins côtiers confinés où ces argiles fibreuses se formaient. Les deux rides asismiques (Rio-Grande/Walvis) sont aussi caractérisées par des associations minérales que l'on peut interpréter par une subsidence importante et une immersion quasi-totale (Robert, 1980 ; Maillot et Robert, sous presse (a)).

II. DISCUSSION

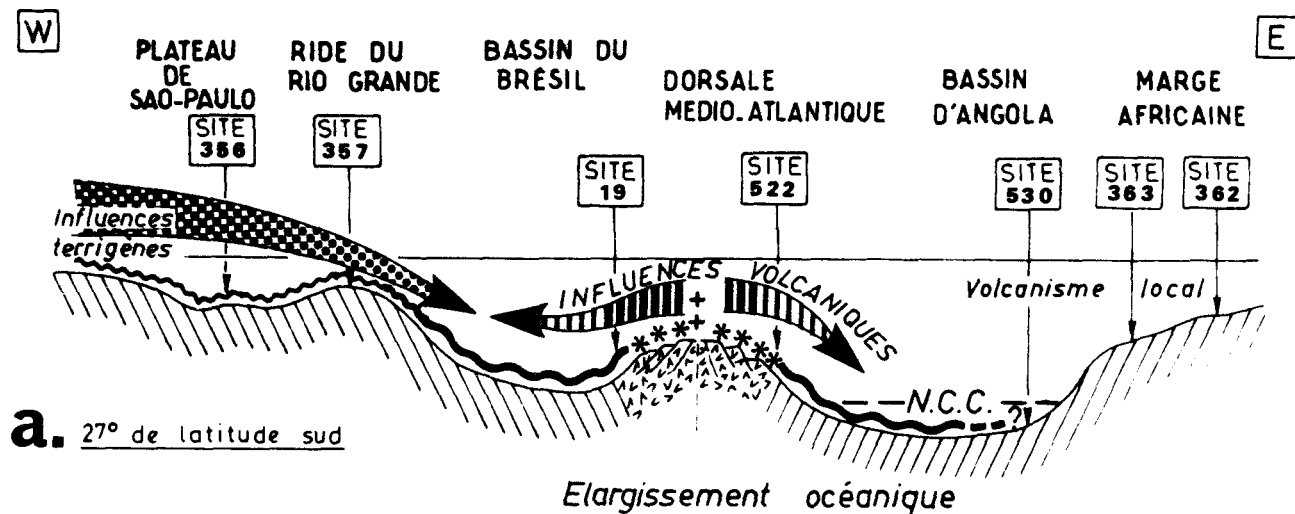
Géochimie minérale et assemblages argileux s'associent pour préciser les grands événements de l'histoire de l'Atlantique Sud depuis la base de l'Eocène moyen jusqu'au sommet de l'Eocène supérieur.

A. ÉLARGISSEMENT OCÉANIQUE

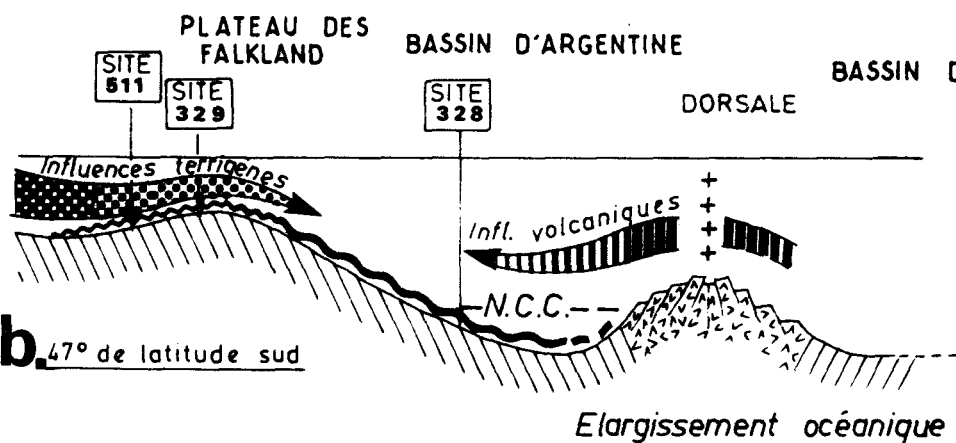
La chimie des sédiments reflète bien *l'expansion océanique ainsi que la localisation du centre d'ouverture* (figure 62a). Sur les flancs de la dorsale (sites 19 et 522), simultanément la forme et la régularité de l'évolution verticale de D^* et Mn^* semblent indiquer *une constance de la vitesse d'élargissement océanique* à cette époque (figure 61). La géochimie confirme la position symétrique des deux sites à l'Eocène supérieur : métallisation forte, caractère détritique faible sont identiques dans les sédiments des deux forages prouvant un éloignement comparable de la source volcanique. En outre, l'absence de dissolution des carbonates à l'Eocène supérieur (période de relèvement du N. C. C. selon Melquen *et al.*, 1978a), sans doute en relation avec une forte transgression marine (Siesser et Dingle, 1981), semble confirmer le rôle de *haut fond méridien* que joue dès cette époque la dorsale médio-atlantique. Cette même logique d'élargissement océanique s'inscrit dans la chimie de sites plus éloignés (sites 357 et 356). Le site 357, en position intermédiaire entre les sites 19 et 356 est aussi celui qui se trouve sous influence métallisante moyenne et détritique élevée. Enfin, le site 356, en position encore plus marginale, n'est plus marqué que par le caractère détritique.

Ainsi, au fur et à mesure de *l'élargissement océanique*, l'influence de la dorsale médio-atlantique se traduit par des *métallisations, qui s'atténuent puis disparaissent lorsque les sites forés s'éloignent de l'axe* par le jeu du renouvellement des fonds océaniques. Ce relais

EOCENE MOYEN ET SUPERIEUR



a. 27° de latitude sud



b. 47° de latitude sud

*** SEDIMENTS RICHES EN FER :
PROXIMITE IMMEDIATE DE LA DORSALE

~ SEDIMENTS RICHES EN MANGANESE :
PROXIMITE DE LA DORSALE

~ SEDIMENTS NORMAUX PAR RAPPORT AU FOND PELAGIQUE :
ABSENCE D'INFLUENCE DE LA DORSALE

(ITALIQUE = INTERPRETATION)



Figure 62 .- Reconstitution paléobathymétrique relative à l'Eocène moyen et supérieur au niveau des 27° et 47° de latitude sud. Principales influences sur la sédimentation déduites de la géochimie.

des influences métallisantes de la dorsale par les influences détritiques continentales se retrouve au niveau du 50° de latitude sud (figure 62b). Le site 328 est à la fois marqué par sa proximité moins grande de la dorsale par rapport à celle du site 19 (métallisation moins élevée, caractère détritique plus fort) et par sa position sous le N. C. C. Les sites 329 et 511 (figure 62b) sont respectivement caractérisés par des influences plus détritiques ou fortement détritiques, associées à l'absence de métallisation.

B. FAIBLESSE DES REJEUX TECTONIQUES

Excepté dans l'épisode éocène moyen de la ride du Rio-Grande, la faiblesse des rejeux tectoniques s'inscrit dans la minéralogie des argiles à travers la quasi-absence d'arrivée de kaolinite. Néanmoins, les apports d'argiles fibreuses (Robert, 1980 ; Robert, 1981 ; Maillot et Robert, sous presse b) témoignent de l'existence de petites secousses qui affectent les marges.

C. SUBSIDENCE DES BASSINS ET DES RIDES ASISMIQUES

La subsidence des bassins et des rides asismiques s'observe : d'une part, à travers l'homogénéisation des dépôts argileux (Robert, 1980 ; Maillot et Robert, sous presse (a)) ; d'autre part, dans l'amorce de dissolution des carbonates qui affecte les sédiments les plus profonds. Cette constatation s'applique, en particulier, au niveau de la ride de Walvis qui perd son rôle de barrière à partir de l'Eocène moyen. A la même époque, la minéralogie des argiles (Robert, 1980) montre que la ride du Rio-Grande est presque entièrement immergée.

D. REFROIDISSEMENT DES CLIMATS

Le refroidissement du globe et le début des glaciations antarctiques (Geitzenauer et al., 1968 ; Schackleton et Kennett, 1975) se traduisent dans la minéralogie des argiles et indirectement dans la géochimie du sédiment. Sur le plateau des Falkland et dans les régions voisines, la diminution de la smectite, l'abondance de chlorite, d'illite et d'interstratifiés à partir de l'Eocène supérieur peuvent être rattachés au début de ce refroidissement général (Maillot et Robert, 1980). La première apparition des faciès biosiliceux (diatomées), à partir du passage Eocène moyen/Eocène supérieur, s'inscrit dans la chimie des sédiments par une élévation anormale des teneurs en silice libre, et précède la véritable mise en place du bouclier glaciaire avec établissement du courant antarctique profond (A. A. B. W. ; Mc Coy et Zimmerman, 1977).

E. INFLUENCES VOLCANIQUES LOCALES

De fortes influences volcanogéniques se marquent dans la sédimentation de la partie sud-occidentale de la ride de Walvis où les sédiments des sites les plus éloignés de la dorsale sont aussi ceux qui sont davantage métallifères. La proximité de la dorsale médio-atlantique ne peut donc à elle seule expliquer l'importance de ces métallisations et surtout leur polarité. Il faut alors envisager soit le relais de ces influences volcanogéniques par des courants, soit - ce qui paraît plus vraisemblable - la proximité d'une zone fragile de la croûte océanique : faille transformante, points chauds (Shaffer, sous presse ; Neill, 1976).

F. ATTÉNUATION DU CARACTÈRE DÉTRITIQUE DE LA SÉDIMENTATION

Un caractère moins détritique du milieu de sédimentations s'observe dans la géochimie des sédiments éocènes moyens et supérieurs. La décroissance de D^* se manifeste naturellement dans les sédiments déposés à proximité de zones volcaniques actives mais aussi dans la sédimentation des marges. Elle s'inscrit dans la logique de l'élargissement océanique : à une sédimentation essentiellement détritique qui caractérise les premiers stades de l'évolution océanique (naissance, début d'élargissement), vient se substituer une sédimentation beaucoup plus biogénique (carbonates pélagiques) lors des phases ultérieures d'élargissement.

En résumé, la géochimie minérale permet de confirmer l'élargissement océanique et la constance de sa vitesse à l'Eocène moyen et supérieur. Elle reflète la subsidence des bassins par la trace qu'elle garde de la dissolution des carbonates. Indirectement, elle traduit le passage progressif d'une sédimentation à dominante terrigène vers une autre à dominante biogène. Enfin, localement, la géochimie marque l'influence d'un volcanisme distinct de celui de la dorsale médio-atlantique dans la sédimentation de la partie sud-occidentale de la ride de Walvis.

NEUVIEME CHAPITRE

OLIGOCENE: DEVELOPPEMENT DES COURANTS MERIDIENS

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

A la hauteur du 27° de latitude sud, la série sédimentaire est présente : sur le flanc ouest de la dorsale médio-atlantique dans deux forages (sites 14 et 19, Maxwell et al., 1970) ; sur le flanc est de cette dorsale au site 522 (Hsü, La Brecque et al., sous presse). Vers le 47° de latitude sud, elle est présente dans le forage du site 513 (Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse). On la rencontre aussi sur la partie nord-est de la ride de Walvis (sites 362, 363 et 530 ; Bolli, Ryan et al., 1978 ; Hay, Sibuet et al., sous presse) et sur sa partie sud-ouest (sites 525, 528 et 527 ; Moore, Rabinowitz et al., sous presse). Dans le bassin du Cap, en bordure de la marge africaine, les sédiments oligocènes sont échantillonnés dans le site 360 (Bolli, Ryan et al., 1978). Sur l'ensemble des Falkland, on les rencontre dans les sites 329, 328 et 511 (Barker, Dalziel et al., 1976 ; Ludwig, Krasheninnikov et al., sous presse). Enfin, le site 357 (Supko, Perch-Nielsen et al., 1977) implanté sur la ride du Rio-Grande, recoupe la même série.

L'ensemble de la sédimentation, essentiellement carbonatée, est constitué de craies et calcaires à nannofaunes et foraminifères (parfois de craie à Braarudosphaera : sites 522, 14, 19 et 362). Dans ces dépôts carbonatés s'intercalent, sur le plateau des Falkland, des boues à diatomées. Elles apparaissent également sur le flanc ouest de la dorsale au sommet de l'Oligocène supérieur (47° latitude sud, site 513).

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

L'ouverture océanique, son élargissement et l'accroissement des influences continentales avec l'éloignement de la dorsale s'inscrivent dans la géochimie du sédiment.

1. SUR LE PLATEAU DES FALKLAND et dans les régions voisines, le caractère détritique est semblable pour les trois sites considérés ($D_{511}^* = 0,60$; $D_{329}^* = 0,61$ et $D_{328}^* = 0,60$; fig. 63). Par rapport à l'épisode précédent (Eocène moyen et supérieur) D^* s'accroît pour les sédiments du site 329. Les métallisations croissent fortement vers le site actuellement le plus profond ($Mn_{511} = - 0,14$, $Mn_{329}^* = + 0,02$ et $Mn_{328}^* = + 0,88$). Sur le plateau des Falkland (sites 511 et 329) les valeurs de Mn^* sont faibles ou négatives et témoignent d'un milieu sédimentaire pélagique banal. Comparées à celles de l'épisode précédent, ces métallisations varient peu, sauf dans les sédiments du site 329 où elles marquent une décroissance.

En outre, au site 511, la valeur relativement élevée de Sr^* (10,44) suppose l'existence de récurrences de matière organique qui ont pu favoriser la dissolution des carbonates. Les valeurs de Si^* sont élevées (6,15 pour 511 ; 9,07 pour 329), celles de K^* sont fortes ou moyennes (0,25 pour 511 ; 0,23 pour 329). La chimie des sédiments oligocènes du site 328, proche de ce qu'elle était à l'Eocène, traduit un milieu sédimentaire sous double influence océanique ouverte et détritique. La dissolution des carbonates y est totale ($Sr^* = 18$). La valeur de Si^* (4,47) est élevée alors que celle de K^* (0,17) est faible.

2. DANS LE BASSIN DU CAP (site 360), la sédimentation est typique des marges, fortement influencée par le caractère détritique continental : $Mn^* = + 0,24$; $D^* = 0,61$. Ce caractère détritique s'accroît par rapport à l'Eocène moyen. En outre les valeurs de Sr^* (3,75) laissent supposer une dissolution nulle ou négligeable.

3. SUR LA RIDE DE WALVIS, deux régions sont successivement envisagées.

a) DANS LE SECTEUR NORD-ORIENTAL (sites 362, 363 et 530) le site actuellement le moins profond montre une métallisation moyenne ($Mn^* = + 0,38$), la métallisation est plus élevée pour le site localisé à profondeur moyenne ($Mn^* = + 0,50$) et faible pour le site le plus profond ($Mn^* = - 0,20$; fig. 63).

Les valeurs qui marquent le caractère détritique sont respectivement pour ces trois sites de $D^* = 0,53$; 0,49 et 0,56, donc généralement moins élevées que dans les sédiments terrigènes de marge. L'évolution par rapport à l'épisode sédimentaire éocène est faible. Les valeurs de Sr^* sont peu élevées dans les deux premiers cas (sites 362 et 363 implantés respectivement à faible et moyenne profondeurs) où elles caractérisent une sédimentation carbonatée non dissoute en milieu marin ouvert (figure 63). Au contraire, le site "profond" (530) montre une valeur élevée de Sr^* (22). Elle s'explique soit par une dissolution liée à la forte profondeur du dépôt, soit par des récurrences de matériel riche en matière organique favorisant une dissolution synsédimentaire.

b) SUR LA PARTIE SUD-OUEST de la ride de Walvis (leg 74), les sédiments oligocènes des sites 525, 528 et 527 sont géochimiquement semblables (figure 63). Les métallisations respectivement égales à 0,91 ; 0,88 et 0,88 sont toujours fortement positives. Le caractère détritique est plus faible que celui des argiles terrigènes (respectivement 0,54 ; 0,58 et 0,57). Enfin, l'accroissement de Sr^* (2,93 ; 2,94 et 3,02) correspond à celui de la profondeur actuelle des sites.

4. SUR LA RIDE DU RIO-GRANDE (site 357), le caractère détritique est plus élevé que partout ailleurs ($D^* = 0,65$). Il croît fortement par rapport à l'épisode sédimentaire précédent. A l'Oligocène supérieur, l'accentuation de D^* laisse pressentir l'arrivée de feldspaths et de kaolinite décrite par Robert (1982). La métallisation est moyenne ($Mn^* = 0,47$) voisine de celle relevée à l'Eocène moyen et supérieur. Sr^* (3,67) suppose la préservation des carbonates. Si^* est moyen (3,81) alors que K^* est fort (0,27).

OLIGOCÈNE (36 MA.)

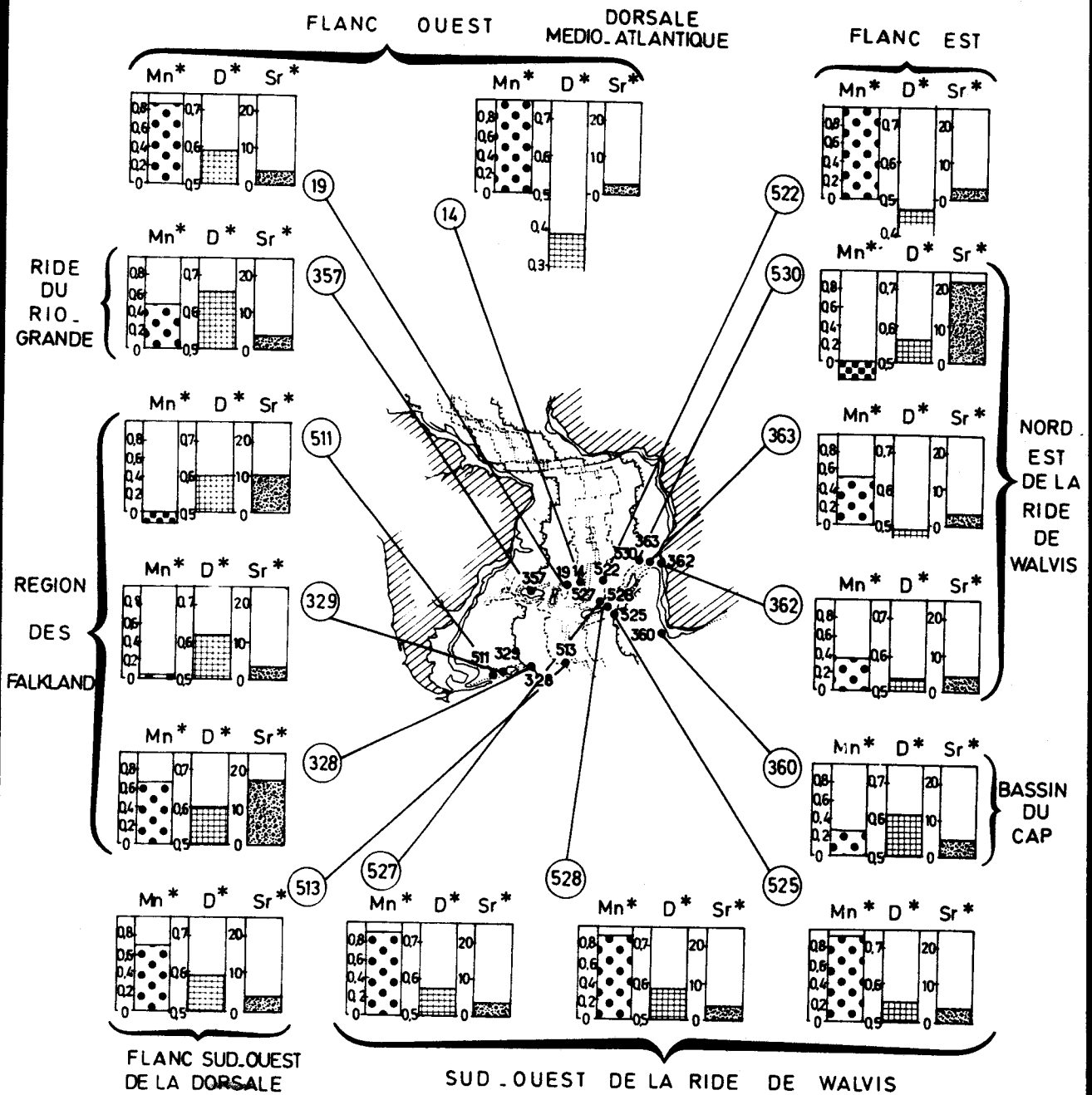


Figure 63 .- Moyennes des critères Mn*, D* et Sr* dans les sédiments de l'Oligocène.



5. SUR LES FLANCS DE LA DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE

a) VERS LE 27° DE LATITUDE SUD, les sites 19, 14 et 522 (figure 63) permettent de suivre l'évolution de la sédimentation en fonction de leur éloignement des zones volcaniques actives. Sur le flanc ouest, le site 14 montre une forte métallisation ($Mn^* = 1,10$), un caractère détritique faible ($D^* = 0,39$), une valeur moyenne de Si^* (3,65) et forte de K^* (0,36). Contrairement aux évolutions des sites précédemment étudiés (355 et 20 au Crétacé supérieur ; 19 à l'Eocène), la chimie des sédiments oligocènes inférieurs du site 14 ne montre pas de décroissance des métallisations vers les périodes plus récentes. Les métallisations mesurées dans les fractions fines des mêmes niveaux évoquent une influence légèrement moins métallisante à la base ($Mn^* = 1,50$) qu'au sommet ($Mn^* = 1,64$). Sr^* (2,67) caractérise une sédimentation carbonatée marine sans dissolution.

A l'Oligocène supérieur, le caractère détritique est celui que l'on observe généralement dans les sédiments qui se déposent à distance croissante de l'axe de la dorsale. Il augmente en effet au cours du temps jusqu'à atteindre les valeurs typiques des argiles terrigènes (figure 64). Durant la même période de temps, la métallisation reste toujours très élevée.

Les sédiments oligocènes du site 19, localisé à environ 400 km à l'Ouest de l'axe de la dorsale, offrent une métallisation encore très élevée ($Mn^* = 0,84$) un caractère détritique déjà proche de celui des argiles terrigènes (0,58), une valeur moyenne de Si^* (3,29) et une autre élevée pour K^* (0,27). Comparés à ceux de l'Eocène moyen et supérieur, les sédiments oligocènes montrent à la fois une forte accentuation du caractère détritique et une diminution des métallisations. Sr^* (3,80) correspond à un milieu sédimentaire ouvert, où la dissolution des carbonates n'intervient pas. Remarquons cependant que les niveaux de l'Oligocène supérieur présentent des valeurs légèrement plus élevées : elles pourraient marquer un début de dissolution des carbonates lors de la subsidence du site.

Sur le flanc est, le site 522 montre une forte métallisation ($Mn^* = 1,03$) qui décroît vers le sommet de la série ($Mn^* = 1,13$ dans les sédiments oligocènes inférieurs ; $Mn^* = 0,89$ dans l'Oligocène supérieur). Le caractère détritique est relativement faible ($D^* = 0,45$). Il s'accroît de l'Oligocène inférieur ($D^* = 0,40$) à l'Oligocène supérieur ($D^* = 0,48$). L'arrivée d'éléments ferromagnésiens s'inscrit dans la sédimentation oligocène inférieure à travers la variation parallèle de Mg^* et de Fe^* . En outre, l'altération du basalte se traduit par une augmentation de Si^* dans les niveaux de base de l'Oligocène inférieur.

b) VERS LE 47° DE LATITUDE SUD, les sédiments du site 513, localisés sur le flanc ouest de la dorsale, présentent un caractère détritique élevé vu sa localisation ($D^* = 0,60$). La valeur de Si^* est d'abord forte (16,54) puis décroît progressivement dans l'Oligocène supérieur (6,73). Il en est de même pour les valeurs de Mn^* (0,82 à 0,52). La valeur de K^* est élevée (0,36). A l'Oligocène inférieur, Sr^* (2,85) est typique des carbonates marins non dissous. Il s'accroît ensuite suggérant alors une légère dissolution de la fraction carbonatée.

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES

La distribution des argiles présente une nette rupture à partir du passage Eocène-Oligocène. A l'Oligocène, elle reflète essentiellement, à travers la diversification des apports détritiques

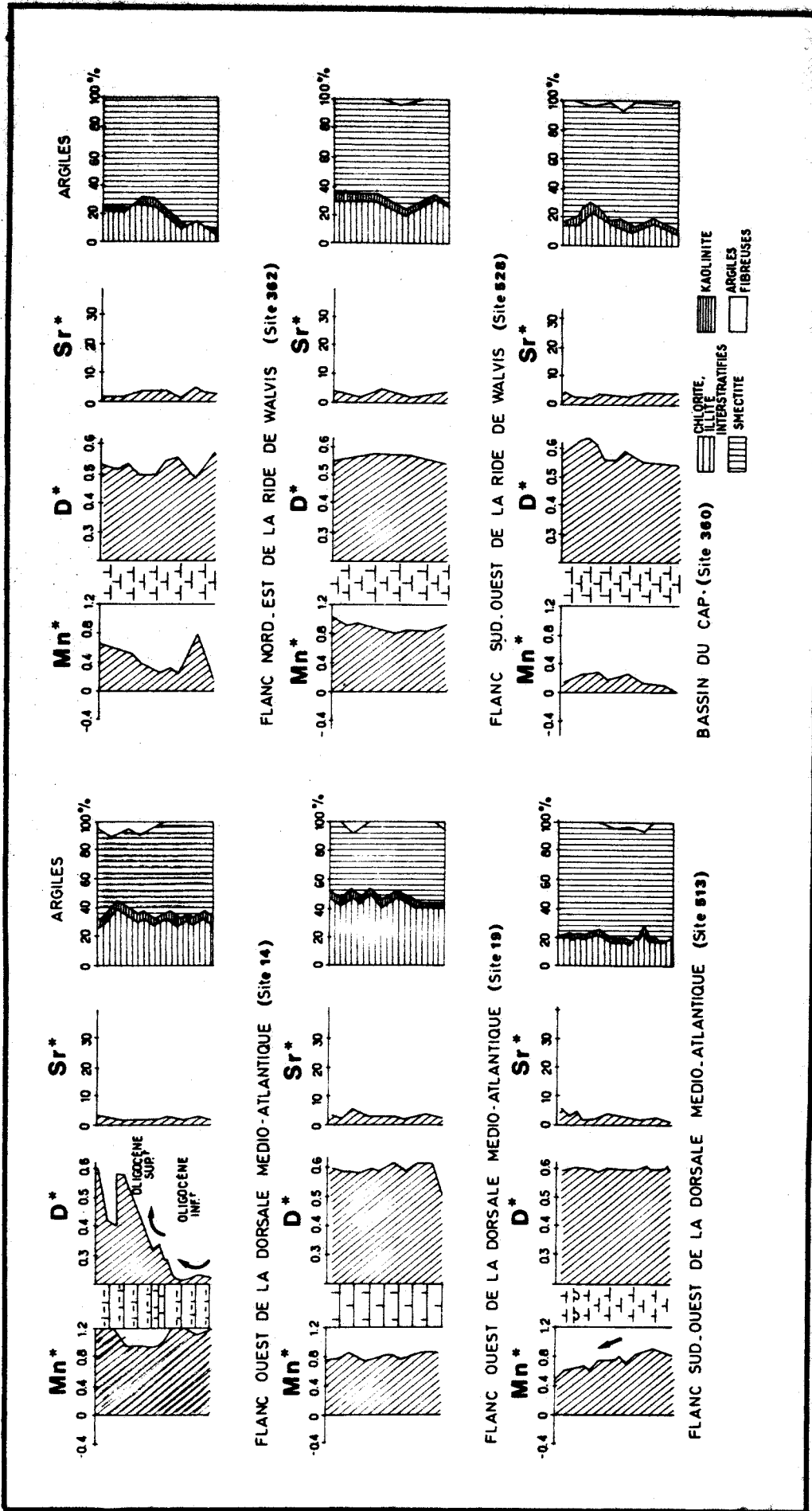


Figure 64 .- Variations verticales des critères Mn*, D*, Sr* ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) A l'Oligocène.



ques, le refroidissement général du climat et les échanges latitudinaux des différentes masses d'eaux océaniques. De légers réchauffements climatiques se marquent à la fin de l'Oligocène supérieur (Robert, 1982). Ils apparaissent dans la composition argileuse par une augmentation des smectites au détriment des illites.

II. DISCUSSIONS

Grâce à deux transversales situées actuellement au niveau des 27° et 47° latitude sud (figure 65a et b), la géochimie minérale permet d'apporter un certain nombre d'arguments à la reconstitution du paléoenvironnement océanique.

A. ÉLARGISSEMENT OCÉANIQUE

L'expansion océanique ainsi que la *localisation du centre d'ouverture* se reflètent parfaitement dans la chimie des sédiments. Cependant, au niveau du 27° de latitude sud, une *anomalie* semble *introduite entre les influences métallisantes de la dorsale*.

Cette constatation peut s'expliquer de plusieurs façons :

- soit la symétrie des flancs de la dorsale par rapport au précédent axe d'ouverture est bouleversée par un changement des pôles de rotation ;
- soit des courants perturbent unilatéralement la distribution des éléments chimiques ;
- soit des influences volcaniques autres que celles de la dorsale médio-atlantique s'inscrivent dans la sédimentation :

La première hypothèse serait en accord partiel avec les données de Sibuet et Mascle (1978) sur le changement des pôles de rotation à l'anomalie 13 (36 M. A.). Mais la répartition symétrique des anomalies magnétiques de part et d'autre de l'axe de la dorsale témoigne que ce changement d'axe des pôles de rotation ne s'est pas accompagné d'asymétrie d'ouverture. Cette première hypothèse doit être abandonnée. La seconde n'est actuellement étayée par aucune proposition résultant des études sur les courants (Mc Coy et Zimmerman, 1977). Enfin, la troisième hypothèse nécessite une activité volcanique proche du flanc occidental de la dorsale et distincte du volcanisme de celle-ci. Un tel volcanisme est connu sur la partie sud-occidentale de la ride de Walvis et perçu dans les sédiments du bassin d'Angola. Je retiendrai cette hypothèse qui conduit à proposer une diminution, voire un arrêt, de l'élargissement océanique à l'Oligocène inférieur.

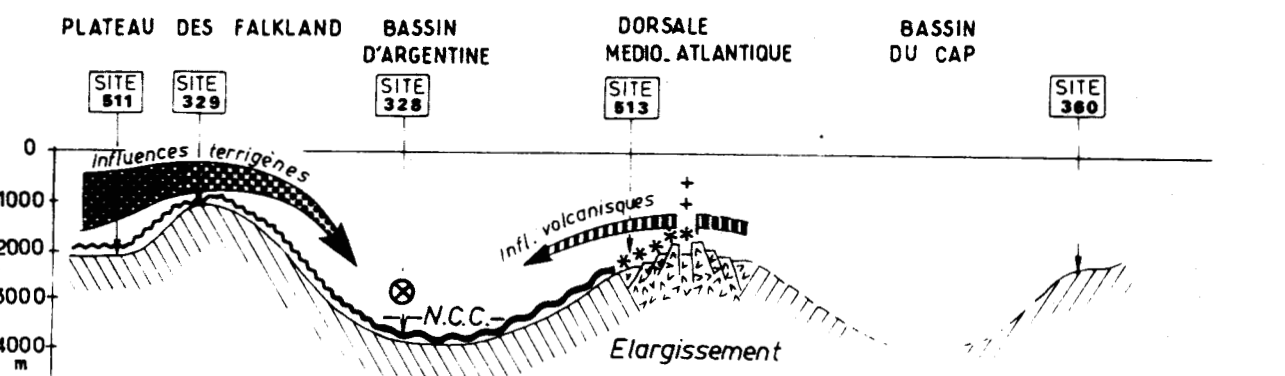
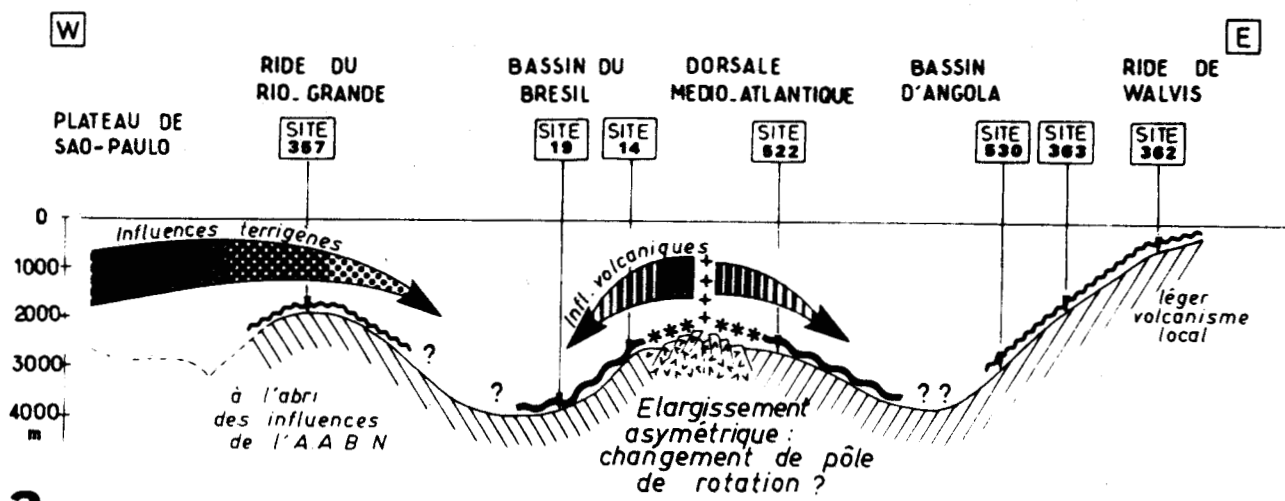
B. RÔLE DES COURANTS MÉRIDIENS

Dans la partie occidentale de l'Atlantique Sud, *le rôle des courants méridiens* (N.A.D.W., A.A.B.W. ; Mc Coy et Zimmerman, 1977 ; Melguen et al., 1978a) *se reflète sur la sédimentation*.

1. AU SUD

Au Sud, le courant antarctique profond transporte des minéraux issus des hautes latitudes (chlorite, illite bien cristallisée, smectite dominante, feldspath, quartz) tandis que le courant nord-atlantique apporte des minéraux issus des basses latitudes (kaolinite, illite mal cristallisée, interstratifiés, ... Melguen et al., 1978a ; Robert, 1982).

OLIGOCÈNE



*** SÉDIMENTS RICHES EN FER: PROXIMITÉ IMMÉDIATE DE LA DORSALE

~ SÉDIMENTS RICHES EN MANGANÈSE: PROXIMITÉ DE LA DORSALE

~ SÉDIMENTS NORMAUX PAR RAPPORT AU FOND PÉLAGIQUE: ABSENCE D'INFLUENCE DE LA DORSALE (ITALIQUE = INTERPRÉTATION)

⊗ MOYENNE

⊗ FORTE

⊗ TRÈS FORTE

INFLUENCE DE L' A A B W.



Figure 65 - Reconstitution paléobathymétrique à l'Oligocène au niveau des 27° et 47° de latitude sud.

Ainsi, l'établissement du courant antarctique profond (Supko et al., 1975 ; Mc Coy et Zimmerman, 1977) induit par le développement de la calotte glaciaire et l'établissement de la circulation circumpolaire (Kennett et al., 1975) entraîne des changements majeurs dans la distribution des faciès sédimentaires (Melguen et al., 1978a) en développant leurs termes siliceux (quartz et silice biogénique) et en transportant un matériel argileux relativement appauvri en illites.

La géochimie confirme ce comportement : l'effet de l'A. A. B. W. se traduit à la fois par un accroissement anormal de Si^{+4} et une décroissance de K^{+} . Cette association n'est perceptible que sur les sédiments du site 328 et peut-être sur ceux du site 513 (figure 66). Elle s'accompagne d'une précipitation des oxydes métalliques marins, sans doute favorisée par le refroidissement occasionné par le courant antarctique.

Les sites plus septentrionaux (357, 19) ou moins profonds (511, 329) semblent abrités des effets de ce courant.

2. AU NORD

Au Nord, les sédiments des sites 357 et 19 (figure 66) montrent à la fois des métallisations et un enrichissement en potassium qui peuvent s'expliquer par l'effet de masses d'eau d'origine septentrionale (N. A. D. W. ?).

C. DISSOLUTION DES CARBONATES

La légère dissolution des carbonates s'inscrit dans la chimie des sédiments. A l'exception du site 530 (implanté sur le flanc nord de la ride de Walvis), cette dissolution est liée à la profondeur relative de chaque site par rapport au N. C. C. Au sud-ouest, la pénétration du

courant antarctique profond dans le bassin d'Argentine favorise une remontée du N. C. C. (Melguen et al., 1978a). Dans ce bassin, le calcul des paléop profondeurs du site 328, effectué d'après les données de Sclater en supposant la croûte d'origine océanique, conduit à proposer une profondeur du N. C. C. au-dessous de 3 800 m, à l'Oligocène inférieur. Ensuite, l'abaissement général du N. C. C. est probablement lié à une augmentation de la productivité océanique, entraînant une extension des faciès carbonatés (Melguen et al., 1978b).

Enfin, sur la ride de Walvis, les légères dissolutions qui affectent les carbonates semblent indiquer que la position relative des sites considérés est proche de celle qu'on leur connaît actuellement.

En résumé, à l'Oligocène la géochimie minérale apporte des informations dans trois domaines :

- L'expansion océanique, ainsi que la localisation du centre d'ouverture s'observent dans la chimie des sédiments des flancs oriental et occidental de la dorsale. Une anomalie des métallisations conduit à proposer un arrêt ou une forte diminution de l'élargissement océanique à l'Oligocène inférieur.

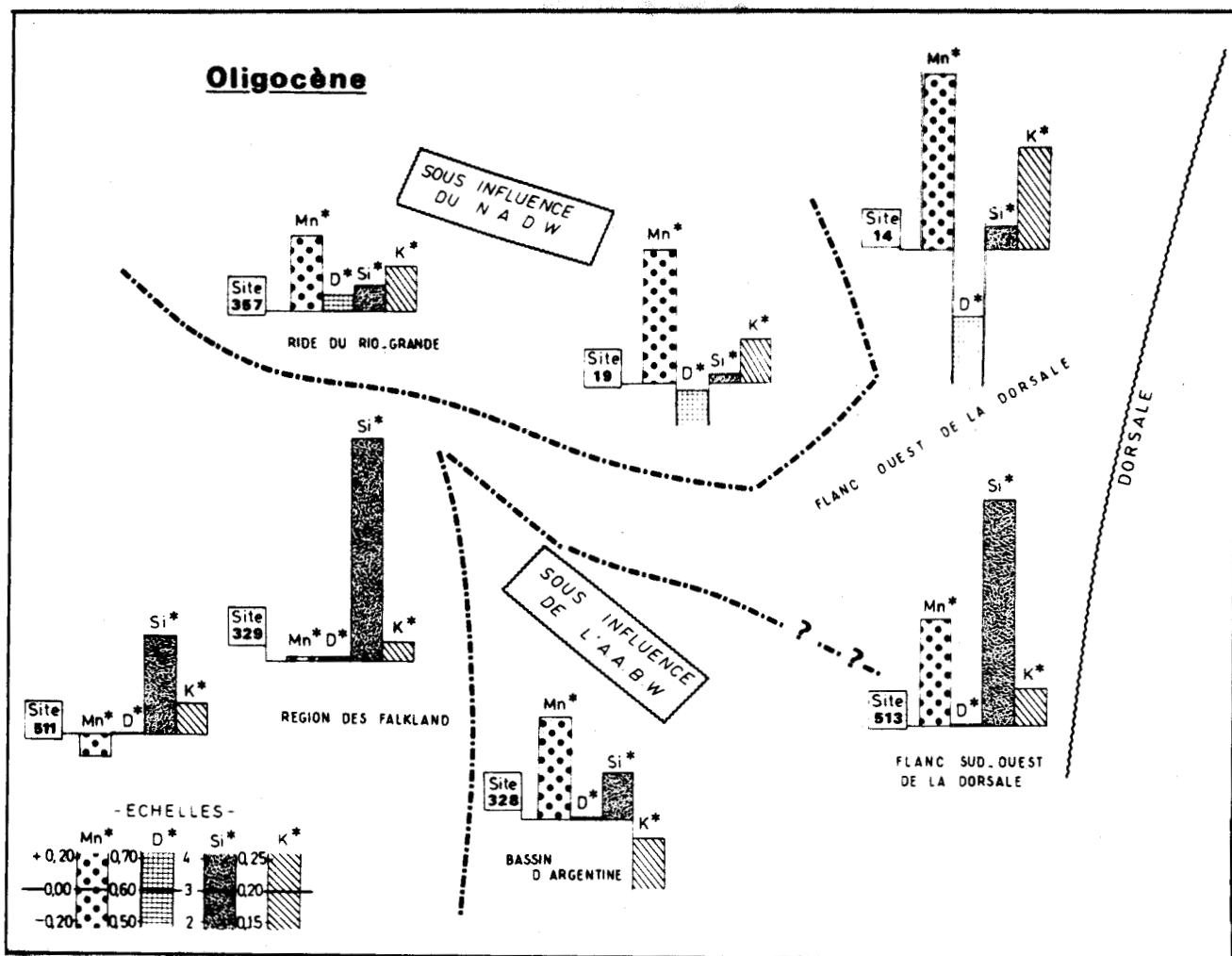


Figure 66 .- Influence de l'A. A. B. W. sur la sédimentation à l'Oligocène.

Sites	14	19	328	329	357	511	513
Critères chimiques							
Mn*	1,10±0,12	0,84±0,13	0,65±0,12	0,02	0,47±0,04	-0,14±0,10	0,67±0,33
D*	0,39±0,09	0,58±0,02	0,60±0,03	0,61	0,65±0,02	0,60±0,04	0,60±0,02
Si*	3,65±0,94	3,29±0,90	4,47±0,37	9,07	3,81±0,40	6,15±0,95	10,13±6,22
K*	0,36±0,04	0,27±0,02	0,17±0,02	0,23	0,27±0,02	0,25±0,02	0,26±0,02

BUS LILLE

Tableau XXIV .- Moyennes et écarts types des critères Mn*, D*, Si* et K* reportés sur la figure 66

- *Le développement des courants méridiens, et en particulier du courant antarctique, se traduit sur la sédimentation des sites profonds du bassin d'Argentine à la fois par un accroissement anormal de Ca^{*} et pour une décroissance de K^{*} associés à une forte valeur de Mn^{*} et une valeur banale de D^{*} .*

Au contraire, les sites plus septentrionaux ou moins profonds sont abrités des effets de ce courant.

- *La dissolution des carbonates s'inscrit dans la chimie sédimentaire. Elle permet en particulier dans le bassin d'Argentine de proposer une paléoprosfondeur du niveau de compensation des carbonates.*

DIXIEME CHAPITRE

MIOCENE INFERIEUR ET MOYEN:

FLUCTUATIONS LATITUDINALES

DES MASSES D'EAU PROFONDES MERIDIENNES

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

A l'Ouest, le site D. S. D. P. 356, la carotte KS 22 (mission Géobrézil) et le site 357 permettent respectivement d'étudier des échantillons d'âge miocène inférieur et moyen sur le plateau de Sao-Paulo, dans le chenal de Vema et sur la ride du Rio-Grande. Les mêmes séries se trouvent sur les flancs de la dorsale, aux sites 19, 14, 15 à l'Ouest et 519, 17, 18, 522 à l'Est. Sur la marge africaine, dans la partie nord-orientale de la ride de Walvis, le Miocène se présente aux sites 530 et 362 (figure 67). Tous ces sites forment une transversale au niveau du 27° de latitude sud, complétée sur la partie sud-ouest de la ride de Walvis par les sites 525 et 528.

Il est possible d'étudier une autre transversale vers le 47° de latitude sud, depuis le plateau des Falkland jusqu'au flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique, grâce aux sites 329, 328 et 513. Cette transversale est complétée par le site 360 implanté dans le bassin du Cap.

La plupart des sites considérés montrent des sédiments constitués de craies, de boues carbonatées à nannofaunes et foraminifères, où s'intercalent parfois des niveaux plus marneux. Seuls les sites 328 et 513 sont constitués de boues siliceuses (à diatomées et radiolaires), auxquelles s'ajoutent des boues calcaires dans les horizons du Miocène inférieur de 513.

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

Le nombre de sites étudiés permet de retrouver dans la sédimentation, outre les témoins de l'élargissement océanique et de l'augmentation des influences détritiques, celui de l'influence présumée des ~~grands~~ courants.

1. SUR LE PLATEAU DES FALKLAND et dans les zones voisines, les trois sites considérés montrent des comportements chimiques différents (figure 67) : le site 329 est marqué à la fois par une faible métallisation ($Mn^* = -0,05$), un caractère détritique typique des argiles terrigènes ($D^* = 0,63$) et une valeur de Sr^* (4,60) propre aux carbonates marins non dissous. Le milieu est fortement enrichi en silice libre ($Si^* = 13,9$) et appauvri en potassium ($K^* = 0,21$).

Le site le plus profond (328) montre, au contraire, une métallisation positive ($Mn^* = +0,52$) un caractère détritique voisin de celui des argiles banales ($D^* = 0,61$) et une valeur élevée de Sr^* (11,50) suggérant une dissolution des carbonates. Si^* (4,05) est relativement élevé par rapport aux valeurs rencontrées jusqu'alors (flanc de la dorsale, régions orientales de l'Atlantique). Le sédiment est appauvri en potassium ($K^* = 0,16$) attestant l'absence d'illite.

Enfin, le site 513, localisé sur le flanc ouest de la dorsale, montre une métallisation plus faible que précédemment ($Mn^* = +0,32$). Le caractère détritique est moyen ($D^* = 0,56$) et Sr^* (5,94) augmente vers le sommet de la colonne sédimentaire (figure 68). Si^* (5,89) est plus élevé que dans les argiles banales. K^* est faible (0,22).

2. DANS LE BASSIN DU CAP, la métallisation est positive ($Mn^* = 0,40$) et le caractère détritique typique de celui des "shales" ($D^* = 0,63$). Le passage du Miocène inférieur au Miocène moyen (figure 68) marque une nette évolution des métallisations. Positives à la base, elles sont ensuite nulles ou voisines de zéro. Le milieu est caractérisé par une valeur peu élevée de Sr^* (3,50), typique de carbonates marins non dissous. Les horizons du Miocène moyen marquent cependant une légère augmentation de Sr^* probablement en relation avec des variations du paléo-N. C. C. Si^* (3,66) et K^* (0,24) présentent des valeurs moyennes.

3. DEUX ZONES SE DISTINGUENT SUR LA RIDE DE WALVIS :

a) SUR LA PARTIE NORD-EST DE LA RIDE (sites 362 et 530), l'évolution de la chimie diffère à chaque site et semble fonction de sa paléoprofondeur. Le site 530, plus profond, est caractérisé par une métallisation nulle ($Mn^* = -0,02$) et un caractère détritique moyen ($D^* = 0,56$) tandis que la valeur élevée de Sr^* (20,5) laisse pressentir une forte dissolution des carbonates. K^* (0,24) et Si^* (3,58) présentent des valeurs moyennes. Avec un caractère détritique identique au précédent ($D^* = 0,56$), le site 362, moins profond, montre au contraire une métallisation différente : toujours positive au Miocène inférieur (figure 68) elle devient négative au Miocène moyen. Cette évolution suggère une réduction, au moins relative et locale du milieu, qui se poursuit jusqu'au Pléistocène et n'entraîne pas de dissolution des carbonates. K^* est très élevé (0,31) et Si^* moyen (3,62).

b) SUR LA PARTIE SUD-OUEST DE LA RIDE DE WALVIS, les métallisations sont fortes ($Mn^* = +0,70$ pour le site 525 et $+1,00$ pour le site 528). Le caractère détritique varie de façon importante d'un site à l'autre ($D^* = 0,38$ pour le site 525 et $0,57$ pour le site 528). Les valeurs de Sr^* (2,88 pour 525 ; 3,36 pour 528) sont typiques de sédiments carbonatés marins peu affectés par la dissolution. Le site, actuellement le moins profond, est aussi celui qui présente les moins fortes valeurs de Sr^* . Si^* est élevé en 525 (4,47), plus faible en 528 (3,19) et K^* présente la même évolution (0,42 en 525 et 0,26 en 528).

MIOCÈNE INFÉRIEUR ET MOYEN (21 M.A.)

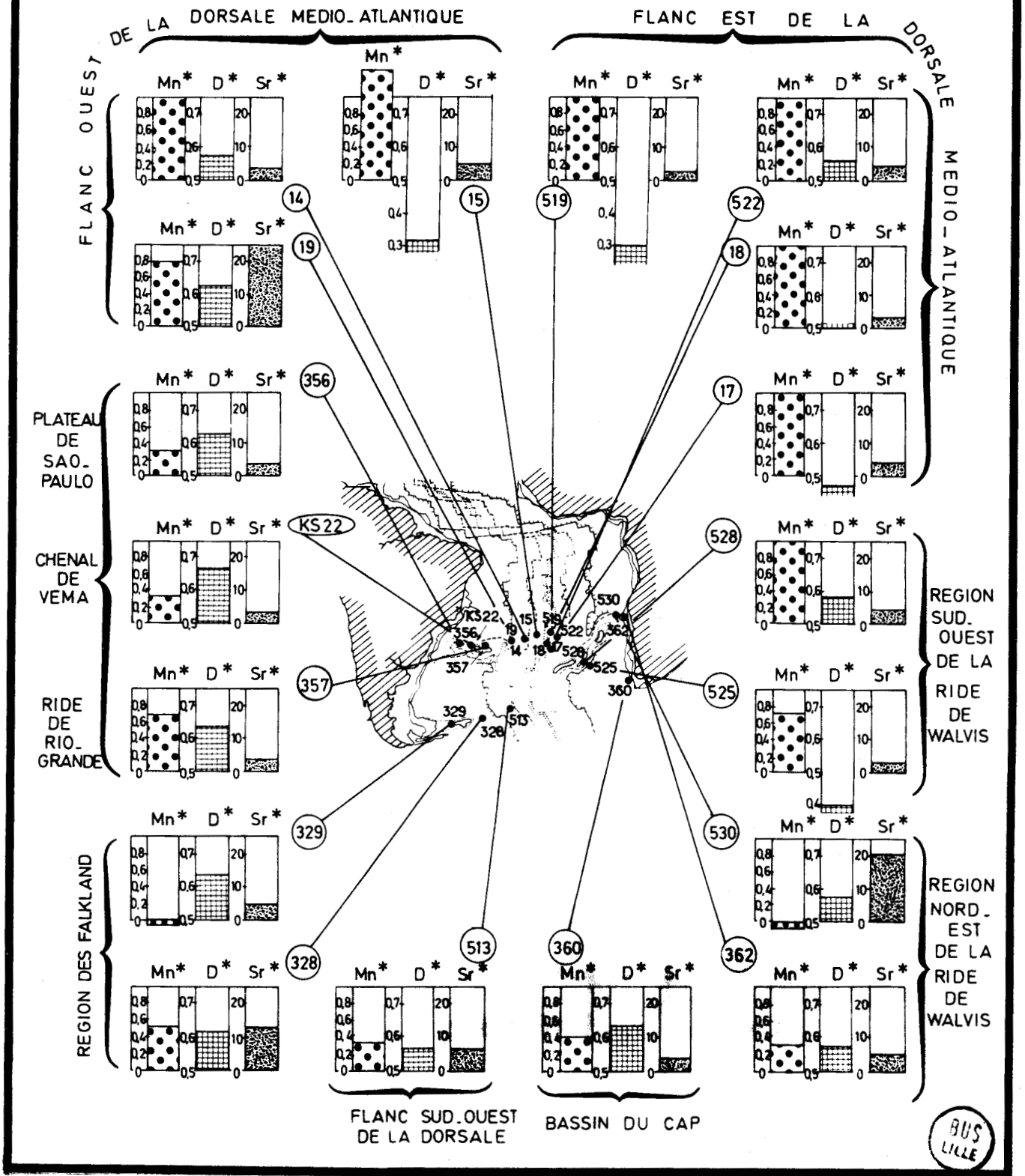


Figure 67 .- Moyennes des critères Mn*, D* et Sr* dans les sédiments du Miocène inférieur et moyen.

4. LE PLATEAU DE SAO-PAULO, LE CHENAL DE VEMA ET LA RIDE DU RIO-GRANDE

Dans ces régions, les sédiments du Miocène inférieur et moyen, forés respectivement aux sites 356, KS 22 (Géobrásil) et 357, montrent des comportements géochimiques voisins. Les métallisations sont les mêmes pour les deux premiers sondages ($Mn^* = 0,30$) et s'accroissent pour le troisième ($Mn^* = 0,66$). Le caractère détritique ($D^* = 0,62$; $0,67$ et $0,63$) est le plus élevé dans le chenal de Vema (figure 67). Si^* est plus élevé en 356 ($4,65$) qu'en KS 22 ($3,17$) ou en 357 ($3,51$). En outre, les valeurs de Sr^* (respectivement $3,48$; $2,90$ et $3,23$) semblent exclure toute dissolution carbonatée. La valeur relative de K^* croît de 356 vers 357 (respectivement $0,24$; $0,26$ et $0,28$).

5. FLANCS DE LA DORSALE

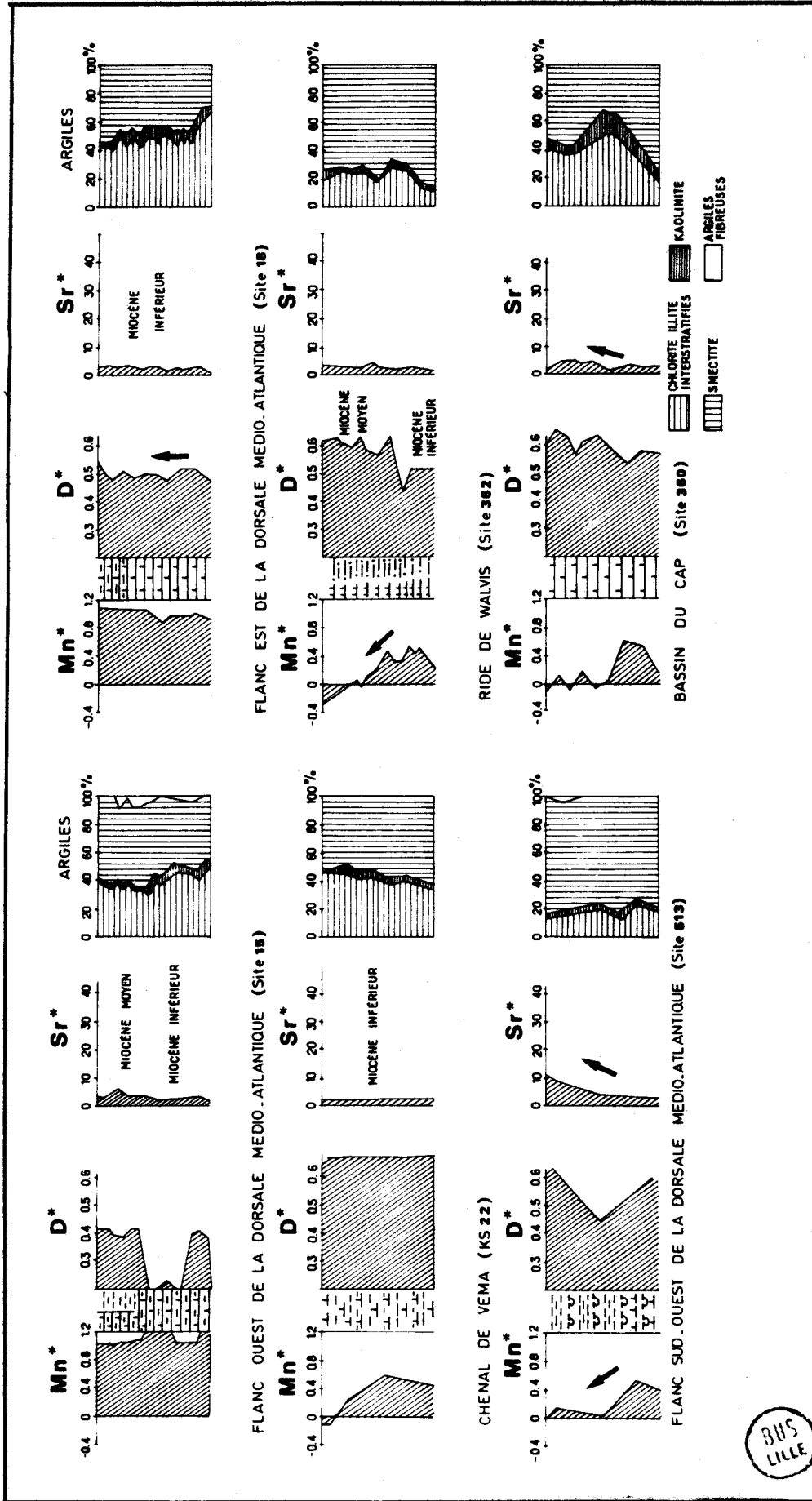
Sur les flancs de la dorsale, sept sites permettent de suivre l'évolution des métallisations et l'éloignement entre le lieu de sédimentation et la zone volcanique. Sur le flanc ouest, cette évolution est particulièrement nette si l'on observe le comportement des sédiments des sites 15, 14 et 19, localisés dans des positions respectivement de plus en plus éloignées de l'axe de la dorsale (figure 67). Exprimées par leurs moyennes, les métallisations (Mn^*) des sites 15, 14 et 19 décroissent régulièrement ($1,34$; $1,00$ et $0,80$). A l'inverse, le caractère détritique (D^*) augmente ($0,32$; $0,57$ et $0,62$). Sr^* montre des valeurs voisines pour les sites 15 et 14 ($4,00$ et $3,50$), ce qui caractérise des sédiments carbonatés non dissous. Les sédiments du site 19 présentent en revanche un Sr^* très élevé ($24,70$) attestant une forte dissolution de la fraction carbonatée. Enfin, les valeurs de Si^* sont respectivement pour les sites 15, 14 et 19 de $2,83$; $3,18$ et $3,13$ c'est-à-dire peu élevées, alors que K^* décroît avec l'éloignement ($0,29$; $0,25$ et $0,22$).

Les sédiments des sites 18, 17 et 522, implantés sur le flanc est de la dorsale ont un comportement chimique voisin de celui des sédiments du flanc ouest. Les métallisations sont fortes ($Mn^* = + 0,98$; $+ 0,99$ et $+ 0,99$) et le caractère détritique est légèrement plus accentué que dans le cas précédent ($D^* = 0,50$; $0,48$ et $0,56$).

Si les métallisations sont encore élevées, les évolutions verticales de Mn^* ne font apparaître aucune décroissance avec l'éloignement de la dorsale ; toutefois un accroissement du caractère détritique se dessine au fur et à mesure. Les valeurs de Sr^* (respectivement $3,20$; $3,90$ et $3,53$) conduisent à exclure toute dissolution importante des carbonates. Si^* ($3,06$; $3,14$ et $3,15$) est voisin des valeurs rencontrées sur le flanc occidental de la dorsale. Enfin K^* ($0,31$; $0,30$ et $0,24$) est élevé et progressivement décroissant, en relation avec l'augmentation des apports alumineux.

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES

Le comportement de la fraction argileuse durant le Miocène inférieur et moyen traduit les variations climatiques ou l'influence des grandes masses d'eau. De façon générale, le réchauffement climatique relatif qui s'amorce dans l'Oligocène supérieur (Robert, 1982) et se marque



BUS LILLE

Figure 68 .- Variations verticales des critères Mn*, D*, Sr* ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) au Miocène inférieur et moyen.

dans l'augmentation de la smectite par rapport à l'illite, se poursuit jusqu'au Miocène inférieur. Ensuite, le climat se refroidit (en particulier dans le Miocène supérieur et le Pliocène inférieur). Sur les flancs de la dorsale, Robert (*in* Maillot et Robert, 1980), interprète l'assemblage argileux comme le résultat d'apports de masses d'eaux intermédiaires venues des hautes et moyennes latitudes et influençant la partie sommitale de la ride médio-atlantique. Dans la région des Falkland, Robert propose deux mécanismes pour expliquer l'assemblage argileux observé : soit une provenance méridionale de la smectite transportée par le courant antarctique profond (A. A. B. W.), soit le début d'une intense érosion occasionnée par le courant circum-antarctique. Dans le bassin du Cap et sur la ride de Walvis, les sites localisés sur les reliefs reçoivent des assemblages argileux plus diversifiés (chlorites, illites, interstratifiés et smectites) que les sites profonds. Robert (1982) attribue ces assemblages à des courants d'origine méridionale ou sud-orientale, favorisant le transport de matériel détritique issu des régions arides sud-africaines. Les sédiments des sites plus profonds s'enrichissent en smectite. Ils seraient sous influence de masses d'eau intermédiaires ou profondes, prenant naissance à la périphérie de l'Antarctique.

II. DISCUSSIONS

A. ÉLARGISSEMENT OCÉANIQUE

L'élargissement océanique se reflète bien dans la chimie des sédiments tant au niveau du 27° que du 47° de latitude sud. Généralement, les métallisations diminuent et le caractère détritique du sédiment augmente au fur et à mesure que l'on s'écarte de l'axe de la dorsale médio-atlantique (figures 67 et 69). Cette observation est particulièrement nette dans l'évolution des sites 15 et 14, sur le flanc ouest de la dorsale. Sur le flanc est, le caractère détritique augmente entre les sites 18 et 522 sans que la forte métallisation ne diminue dans les sédiments plus récents. L'influence volcanique de la dorsale serait relayée par celle de forts courants oxydants ou par un volcanisme distinct (points chauds ou zone de fracture de la ride de Walvis, par exemple).

B. ACCENTUATION DU RÔLE DES COURANTS

Globalement, *l'accentuation du rôle des courants, et en particulier des courants méridiens* (A. A. B. W., N. A. D. W.), semble s'inscrire davantage que précédemment dans la chimie des sédiments miocènes.

1. LE COURANT ANTARCTIQUE PROFOND RELAIE LE COURANT CIRCUM-POLAIRE

Au Miocène inférieur, le courant circum-polaire s'amplifie et le fort développement du bouclier glaciaire accentue le développement de l'A. A. B. W. (Mc Coy et Zimmerman, 1977). Ce courant profond s'établit dans tout le bassin d'Argentine, dans celui du Brésil (Melguen *et al.* 1978b) et jusqu'à la zone de fracture de la Romanche (Sclater et Mc Kenzie, 1973 ; Berggren et Hollister, 1974).

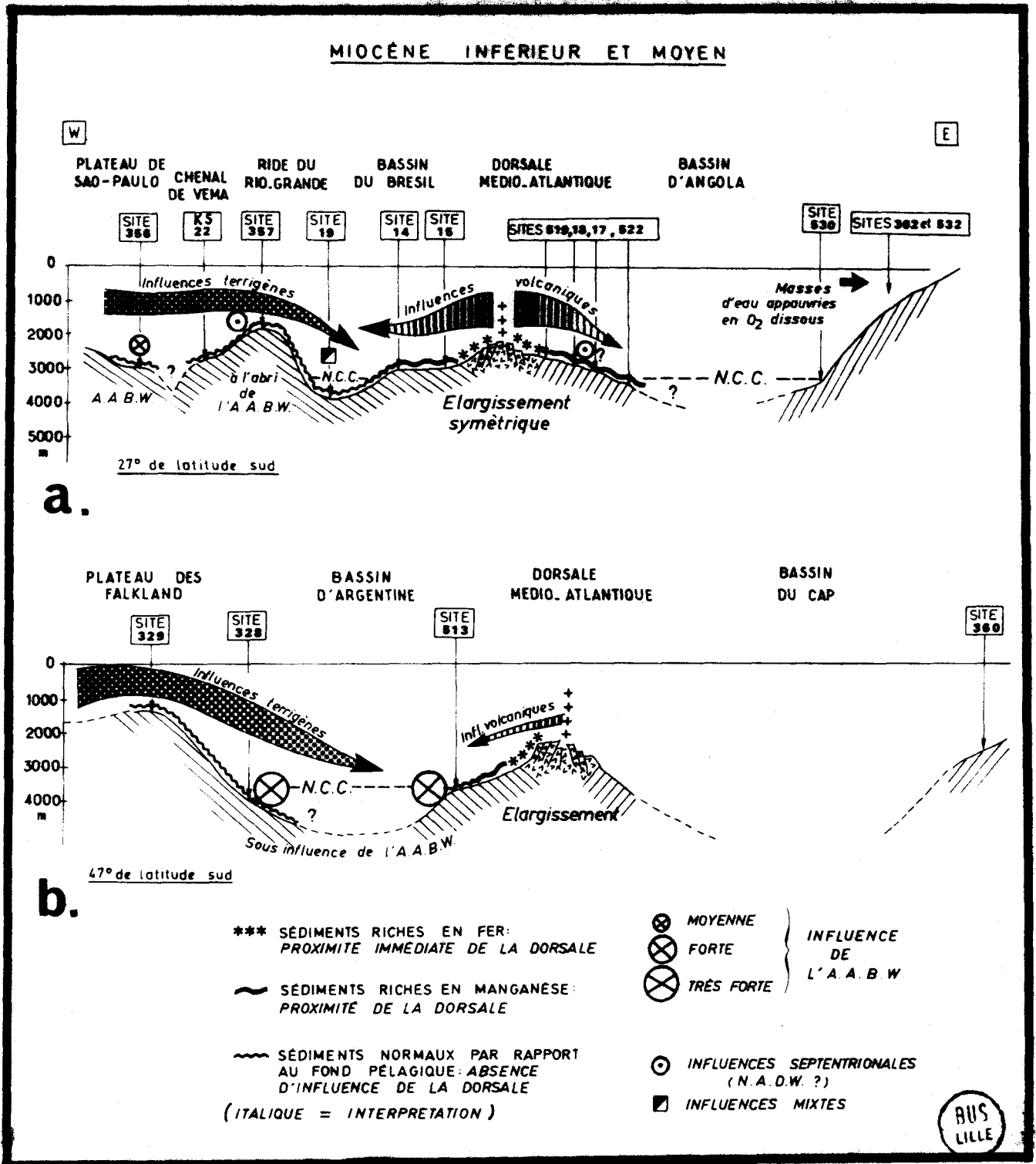


Figure 69 .- Reconstitution paléobathymétrique au Miocène inférieur et moyen au niveau des 27° et 47° de latitude sud. Principales influences sur la sédimentation déduites de la géochimie.

2. CARACTERISTIQUE DU COURANT ANTARCTIQUE PROFOND

La géochimie pourrait traduire l'amplitude de ces courants et leurs limites d'influence. Prenant naissance dans les régions de hautes latitudes, c'est-à-dire dans celles où le refroidissement favorise le développement de la silice biogénique (diatomées), le courant antarctique profond transporte de fines particules siliceuses. Son influence devrait donc se refléter dans la chimie du sédiment par une accentuation de Si^* .

En outre, l'assemblage argileux transporté par l'A. A. B. W. est essentiellement smectitique, alors que celui que transporte le courant nord-atlantique est plus diversifié (chlorite, illite et smectite; Robert, 1982). K_2O étant plus abondant dans l'illite, K^* marquerait cette différence d'origine : ce critère serait plus faible dans les zones soumises à l'A. A. B. W., et plus élevé dans celles qui sont sous influence du N. A. D. W.

De plus, les courants antarctique et nord-atlantique, étant tous deux des courants froids, devraient favoriser la précipitation des métaux contenus dans l'eau de mer.

En résumé :

- l'association de Si^* élevé, K^* faible et Mn^* relativement important pourrait caractériser l'influence de l'A. A. B. W. sur les sédiments ;

- l'association de K^* plus élevé, Si^* faible et Mn^* relativement important permettrait de préciser les limites d'influence du N. A. D. W. sur la sédimentation.

3. LIMITES LATITUDINALES DE L'INFLUENCE DU COURANT ANTARCTIQUE PROFOND

Effectivement, les comportements simultanés de K^* , Si^* et Mn^* permettent de distinguer la stratification et les limites d'influence des principales masses d'eau.

La partie méridionale du bassin d'Argentine (site 328), le flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique (site 513) et le plateau de Sao-Paulo (pro-parte) paraissent influencés par le courant antarctique profond : Si^* est élevé, K^* faible, Mn^* relativement élevé (figure 70).

Sites	14	15	17	18	19	328	329	356
Mn^*	1,00±0,10	1,34±0,16	0,99±0,08	0,98±0,07	0,80±0,04	0,52±0,17	-0,05±0,12	0,30±0,11
D^*	0,57±0,04	0,32±0,17	0,48±0,07	0,50±0,03	0,62±0,01	0,61±0,02	0,63±0,03	0,62±0,02
Si^*	3,18±0,16	2,83±0,37	3,14±0,27	3,06±0,30	3,13±0,04	4,05±0,42	13,90±5,20	4,65±0,44
K^*	0,25±0,02	0,29±0,04	0,30±0,03	0,31±0,02	0,22±0,01	0,16±0,02	0,21±0,02	0,24±0,04

Sites	357	360	362	513	522	525	528	530	KS22
Mn^*	0,66±0,26	0,40±0,21	0,29±0,26	0,32±0,30	0,99±0,03	0,70±0,33	1,00±0,09	-0,02±0,32	0,30±0,21
D^*	0,63±0,04	0,63±0,02	0,56±0,06	0,56±0,09	0,56±0,02	0,38±0,14	0,57±0,01	0,56±0,01	0,67±0,01
Si^*	3,48±0,45	3,66±0,29	3,62±0,45	5,89±1,49	3,15±0,02	4,47±0,43	3,19±0,28	3,58±0,41	3,17±0,28
K^*	0,28±0,03	0,24±0,02	0,31±0,14	0,22±0,02	0,24±0,02	0,42±0,07	0,26±0,02	0,24±0,02	0,26±0,10

Tableau XXV.- Moyennes et écarts types des critères Mn^* , D^* , Si^* et K^* reportés sur la figure 70

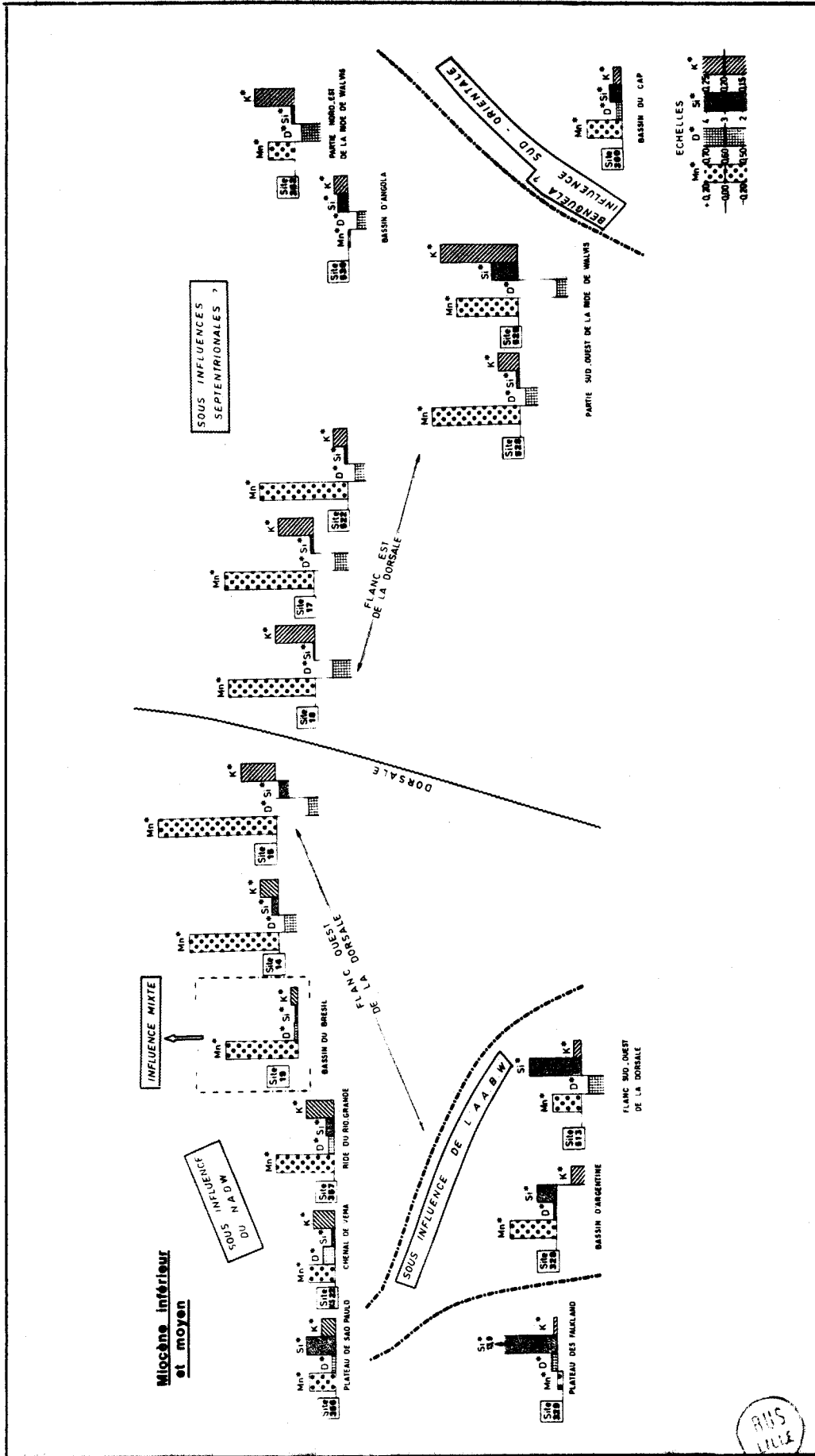


Figure 70 .- Influence des masses d'eau sur la sédimentation au Miocène inférieur et moyen.

Le chenal de Vema (KS 22, Géobrézil), la ride du Rio-Grande (site 357), le flanc ouest de la dorsale médio-atlantique (sites 14 et 15) sont soumis à une influence distincte : Si^* est faible, K^* est important, Mn^* est relativement élevé. Il s'agit vraisemblablement de l'influence septentrionale du N. A. D. W. ; encore qu'une autre influence méridionale - masses d'eau intermédiaires des hautes latitudes - ne puisse a priori être exclue.

Le chenal d'Hunter (site 19) semble se trouver sous influence mixte : Si^* et K^* présentent des valeurs moyennes alors que Mn^* est élevé.

Dans la partie nord-orientale de l'Atlantique sud : flanc est de la dorsale (sites 18, 17, 522), la ride de Walvis (sites 528, 362), la partie méridionale du bassin d'Angola (site 530), Si^* est faible, K^* élevé. L'influence septentrionale du N. A. D. W. est probable (figure 70).

Enfin, les sédiments du bassin du Cap (site 360) semblent se comporter différemment : Si^* est banal, K^* peu accentué. Un autre type d'influence (courant de Benguela, par exemple) est à rechercher.

En résumé, le transport occasionné par le courant antarctique profond est important. Ce courant provient des hautes latitudes, il délaisse le chenal d'Hunter et celui de Vema au Miocène inférieur et emprunte la zone basse du plateau de Sao-Paulo. Cette interprétation est en parfait accord avec celle proposée par Mc Coy et Zimmerman (1977).

Au contraire, les autres sites étudiés, qu'ils soient localisés sur la ride du Rio-Grande, dans le chenal de Vema ou sur les flancs occidentaux ou orientaux de la dorsale médio-atlantique, sont sous une influence distincte de celle de l'A. A. B. W. Il s'agit alors, soit de celle du N. A. D. W., soit de celle des masses d'eau intermédiaires d'origine méridionale.

C. LA RIDE DE WALVIS : INFLUENCES DISTINCTES SUR LA SÉDIMENTATION

L'analyse détaillée des données chimiques relatives à la ride de Walvis conduit à distinguer des variations régionales.

1. FLANC NORD

Sur le flanc nord de la ride de Walvis, deux types d'influences apparaissent : pendant le Miocène inférieur (site 362), le milieu oxydant permet les précipitations métallifères ; à partir du Miocène moyen, le milieu devient progressivement réducteur. L'évolution de Mn^* traduit cette modification des faciès (figure 68). Ce changement progressif des métallisations peut refléter une variation progressive du milieu en relation avec les limites bathymétriques d'influence des masses d'eau. Les sédiments miocènes inférieurs du site 362 seraient sous influence des eaux oxydantes de surface alors que les sédiments miocènes moyens et supérieurs se seraient déposés plus profondément dans une tranche d'eau appauvrie en oxygène.

Cette interprétation est en accord avec celle de Peypouquet (comm. pers.) obtenue à partir de l'étude paléécologique des ostracodes (cf. troisième partie).

2. FLANC SUD-OCCIDENTAL

Sur le flanc sud-occidental de la ride de Walvis, les métallisations plus fortes, le faible caractère détritique et l'arrivée importante de matériel potassique et siliceux (site 525, figures 67 et 70) suggèrent l'influence d'une source volcanique plus méridionale que celle de la dorsale médio-atlantique (zone de fracture ou points chauds localisés au Sud-Ouest de l'actuelle ride de Walvis, Neill, 1976).

D. DISSOLUTION DES CARBONATES

La dissolution des carbonates avec la profondeur s'inscrit dans la chimie des sédiments (évolution des concentrations en Ca et Sr).

1. PLATEAU DES FALKLAND, BASSIN D'ARGENTINE ET FLANC SUD-OUEST DE LA DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE

Sur le plateau des Falkland, dans le bassin d'Argentine et sur le flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique, les sédiments du site 329, proche de la surface, ne sont pas affectés par la dissolution des carbonates ; ceux du site 328 "profond", se déposent sous le niveau de compensation des carbonates et les sédiments du site 513 passent pendant le Miocène inférieur-moyen sous le N. C. C. (subsidence thermique).

2. PLATEAU DE SAO-PAULO, CHENAL DE VEMA ET RIDE DU RIO-GRANDE

Sur le plateau de Sao-Paulo, dans le chenal de Vema et sur la ride du Rio-Grande, les sédiments ne sont pas affectés par la dissolution des carbonates.

3. FLANC DE LA DORSALE

Seul parmi les sites localisés sur les flancs de la dorsale (27° de latitude sud), les sédiments du site 19, en position profonde, sont dissous.

4. RIDE DE WALVIS

Sur la ride de Walvis, les sédiments peu profonds de la partie nord-orientale (site 362) ne sont pas affectés par la dissolution, alors que ceux du site 530 se déposent sous le N. C. C. Au Sud-Ouest, la profondeur relative des sites semble voisine de celle observée actuellement : le site le plus profond (528) est aussi celui qui paraît affecté par une dissolution relativement plus élevée.

En résumé, la géochimie minérale reflète l'élargissement océanique tant au niveau du 27° qu'au 47° de latitude sud. Elle précise dans l'Atlantique sud-occidental les limites d'influence des courants méridiens. Sur le flanc nord-oriental de la ride de Walvis, la géochimie permet la distinction, à partir du Miocène moyen, des effets des masses d'eau appauvries en oxygène dissous sur les sédiments déposés à une profondeur moyenne. Sur la partie sud-occidentale de la ride de Walvis, elle suggère l'influence d'une source volcanique plus méridionale que celle de la dorsale médio-atlantique. Enfin, elle permet de participer à la reconstitution paléobathymétrique des différentes unités morphologiques, grâce au reflet qu'elle apporte de la dissolution des carbonates.

ONZIEME CHAPITRE

MIOGENE SUPERIEUR:

INTENSIFICATION DES CIRCULATIONS PROFONDES

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

Les sédiments d'âge miocène supérieur ont été rencontrés sur les flancs ouest (sites 15 et 16) et est (sites 519 et 522) de la dorsale médio-atlantique. Sur la ride de Walvis, ils sont respectivement présent au Nord-Est (sites 362, 530 et 532) et au Sud-Est (sites 525, 527 et 528). Sur la marge sud-africaine, le site 360 fore cette série. Sur la ride du Rio-Grande, on trouve le Miocène supérieur dans le site 357. Au Sud, seuls deux forages implantés sur le flanc sud-ouest de la dorsale (site 513) et sur le bord oriental de l'escarpement des Falkland (site 328) traversent cette séquence (figure 71).

Sur les flancs de la dorsale, sur les rides du Rio-Grande et de Walvis et dans le bassin du Cap, la sédimentation du Miocène supérieur est essentiellement carbonatée. Les variations locales de faciès sont généralement liées à la profondeur du dépôt (lysoclines, N. C. C.). Dans la partie sud-ouest de l'Atlantique (Falkland, Bassin d'Argentine, flanc ouest de la dorsale), les dépôts comprennent des boues siliceuses riches en diatomées et radiolaires.

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

Dans la géochimie transparaît l'influence des courants et la paléoprosfondeur des dépôts sédimentaires. Une transversale au niveau du 27° de latitude sud permet l'étude de ces différentes influences.

1. FLANC SUD-OUEST DE LA DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE ET PLAINE ABYSSALE VOISINE

Les sites implantés sur le flanc sud-ouest (site 513) de la dorsale médio-atlantique ou dans la plaine abyssale voisine (site 328) montrent tous deux un caractère détritique typique des argiles terrigènes (respectivement $D^* = 0,64$ et $0,62$) et une forte dissolution des carbonates ($Sr^* = 10,90$ et $10,50$). Ils sont tous deux caractérisés par un indice Si^* élevé ($5,73$ et $4,31$), suggérant un apport de silice libre, et par une faible valeur de K^* ($0,21$ à $0,16$).

Ces sites se différencient par les valeurs des indices métallifères : alors que l'importance du taux de sédimentation en 513 conduit à une dilution des apports métallisants ($Mn^* = 0,00$), ceux-ci sont perceptibles dans les sédiments du site 328 ($Mn^* = 0,42$).

2. BASSIN DU CAP

Le bassin du Cap présente des critères chimiques typiques d'un milieu sédimentaire banal : $Mn^* = 0,02$; $D^* = 0,63$. En outre la dissolution des carbonates ne s'inscrit pas dans la chimie du sédiment ($Sr^* = 3,20$). Si^* est plus élevé que les valeurs généralement rencontrées dans les assemblages argileux banals et, bien qu'atténuée, la tendance de K^* est identique.

3. RIDE DU RIO-GRANDE

Sur la ride du Rio-Grande (site 357), on observe une métallisation plus faible que celle relevée sur les flancs de la dorsale ($Mn^* = 0,65$) alors que le caractère détritique correspond exactement à celui des argiles terrigènes ($D^* = 0,63$). Aucun phénomène de dissolution n'affecte les carbonates ($Sr^* = 2,39$). Si^* est faible (2,26) et typique des argiles banales, K^* est élevé (0,29).

4. RIDE DE WALVIS

Les sédiments de la ride de Walvis permettent de distinguer deux ensembles :

a. SUR LA PARTIE NORD-ORIENTALE, les métallisations sont toujours négatives. Pour le site 362, $Mn^* = - 0,34$; pour le site 532, $Mn^* = - 0,17$ et pour le site 530, $Mn^* = - 0,13$. Le caractère détritique est toujours voisin de celui des argiles terrigènes : D^* est respectivement égal à 0,62 ; 0,59 et 0,57. Ce milieu sous influence détritique banale offre une tendance réductrice nette. La distinction entre les sites s'effectue sur des critères de dissolution des carbonates. Alors que 360 et 532 ($Sr^* = 3,20$ et 3,74) ne sont pas affectés par la dissolution, 530 ($Sr^* = 5,06$) montre au contraire des faciès dissous. Les valeurs de Si^* (3,97 ; 3,79 et 3,99) sont légèrement plus élevées que celles rencontrées dans les sites localisés plus au large. K^* est élevé (0,31) sur les sites "peu profonds" (sites 362 et 532) et moins élevé (0,24) pour le site 530 profond.

b. SUR LA PARTIE SUD-OCCIDENTALE (sites 525, 528 et 527) les sédiments montrent respectivement des métallisations (Mn^*) de 1,15 ; 1,12 et 1,11, tandis que le caractère détritique D^* croît du Sud-Est vers le Nord-Ouest (0,46 ; 0,51 et 0,57, figure 71) : cela tendrait à démontrer la présence d'une source d'apports métallifères plus méridionale. Les valeurs de Sr^* (respectivement 2,82 ; 2,06 et 2,97) sont typiquement celles d'une sédimentation carbonatée sans dissolution. La silice libre est très élevée en 525 ($Si^* = 7,86$) et faible en 528 (2,83) et 527 (2,81) où elle reflète simplement la composition chimique des argiles banales. K^* décroît du site 525 au site 527 (respectivement 0,64 ; 0,32 et 0,22), caractérisant un enrichissement en alumine.

MIOCÈNE SUPERIEUR (10 MA)

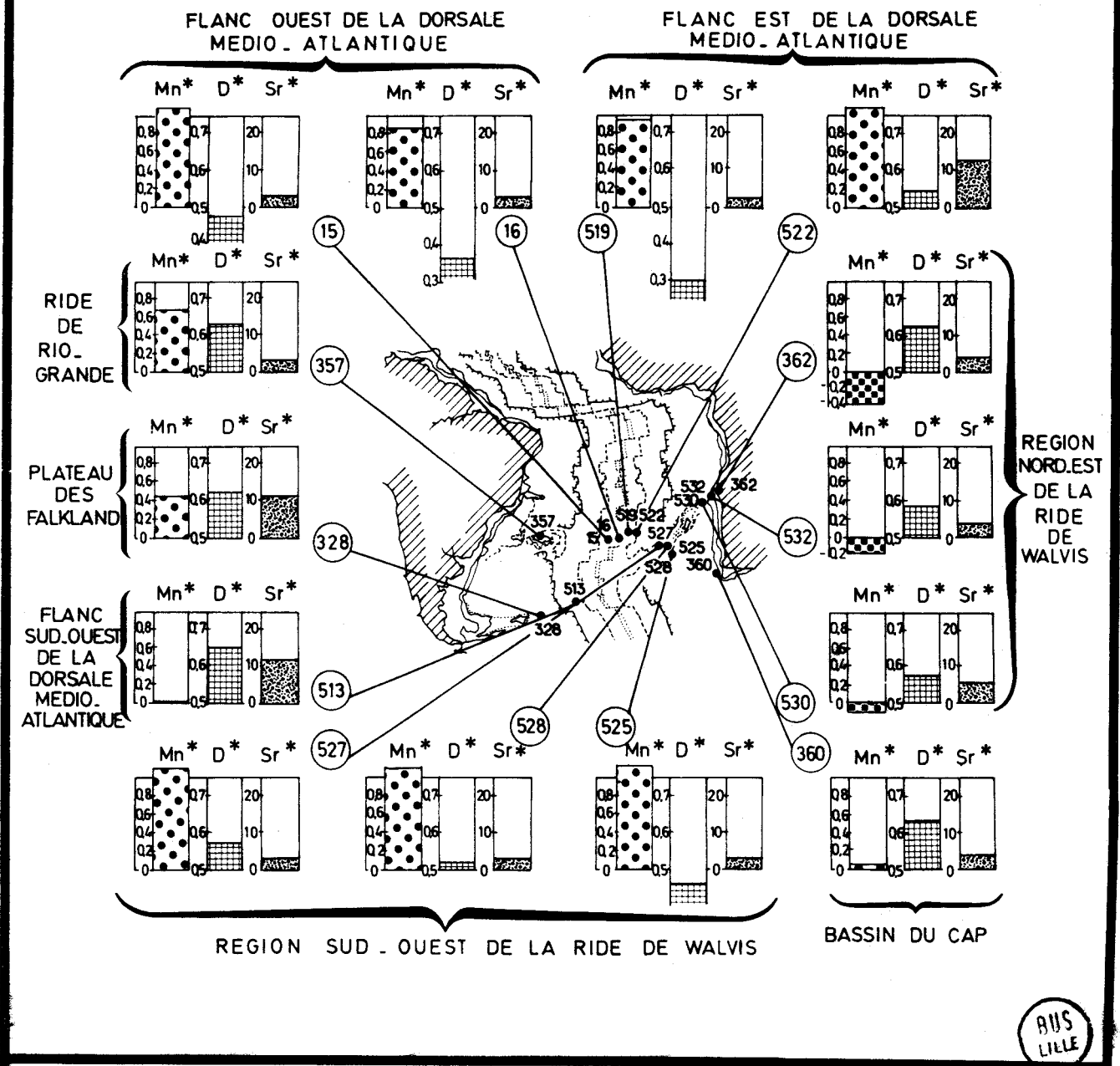


Figure 71 .- Moyennes des critères Mn*, D* et Sr* dans les sédiments du Miocène supérieur.

BUS LILLE

5. FLANC DE LA DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE (27° DE LATITUDE SUD)

a. LES SITES OCCIDENTAUX (sites 15 et 16) montrent une forte métallisation ($Mn^* = 1,07$ pour le site 15 et $0,85$ pour le site 16), le caractère détritique est faible ($D^* = 0,48$ pour le site 15 ; $0,36$ pour le site 16). Les valeurs de Sr^* (respectivement $2,80$ et $2,90$) excluent toute dissolution de la fraction carbonatée. Si^* est faible et identique pour les deux sites ($2,73$). K^* est moyen en 15 ($0,24$), plus élevé en 16 ($0,33$).

b. LES SITES ORIENTAUX (sites 519 et 522) présentent des caractéristiques voisines des précédentes. Les métallisations sont élevées ($Mn^* = 0,96$ pour le site 519 et $1,06$ pour le site 522). Les valeurs de D^* sont légèrement plus élevées ($D^* = 0,29$ pour le site 519 et $0,53$ pour le site 522). Déjà amorcée au Miocène moyen, la dissolution des carbonates s'inscrit fortement dans le comportement de Sr^* au site 522 ($11,27$), tandis que le site 519 n'est pas concerné ($Sr^* = 2,11$).

Les valeurs de Si^* correspondent à celles rencontrées dans les argiles banales (respectivement $3,35$ et $3,05$). K^* présente une valeur élevée en 519 ($0,29$), faible en 522 ($0,20$). Ces valeurs sont symétriques de celles mises en évidence sur le flanc ouest de la dorsale (figures 71, 72 et 73).

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES

Le comportement des assemblages argileux déjà observé dans les sédiments du Miocène inférieur et moyen se poursuit dans le Miocène supérieur et permet les mêmes interprétations. Seule l'évolution du rapport smectite/illite laisse pressentir un refroidissement relatif du climat (Robert, 1982).

II. DISCUSSIONS

L'épisode miocène supérieur ne marque pas de saccades dans l'élargissement océanique qui se traduit jusqu'alors dans la géochimie du sédiment : l'accentuation du rôle des courants et de la stratification des masses d'eau, les influences volcaniques locales sur le flanc sud-occidental de la ride de Walvis en sont les principaux éléments.

A ce qui précède s'ajoute la remontée du N. C. C. (Van Andel et al., 1977 ; Melguen et al., 1978b), par exemple au site 522.

A. INFLUENCE DES MASSES D'EAU

Dans le détail, l'analyse du comportement de D^* , Si^* et K^* permet (figure 73) de distinguer quatre groupes en fonction de l'influence de masses d'eau.

1. BASSIN D'ARGENTINE, FLANC SUD-OUEST DE LA DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE

Dans le bassin d'Argentine et sur le flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique, les

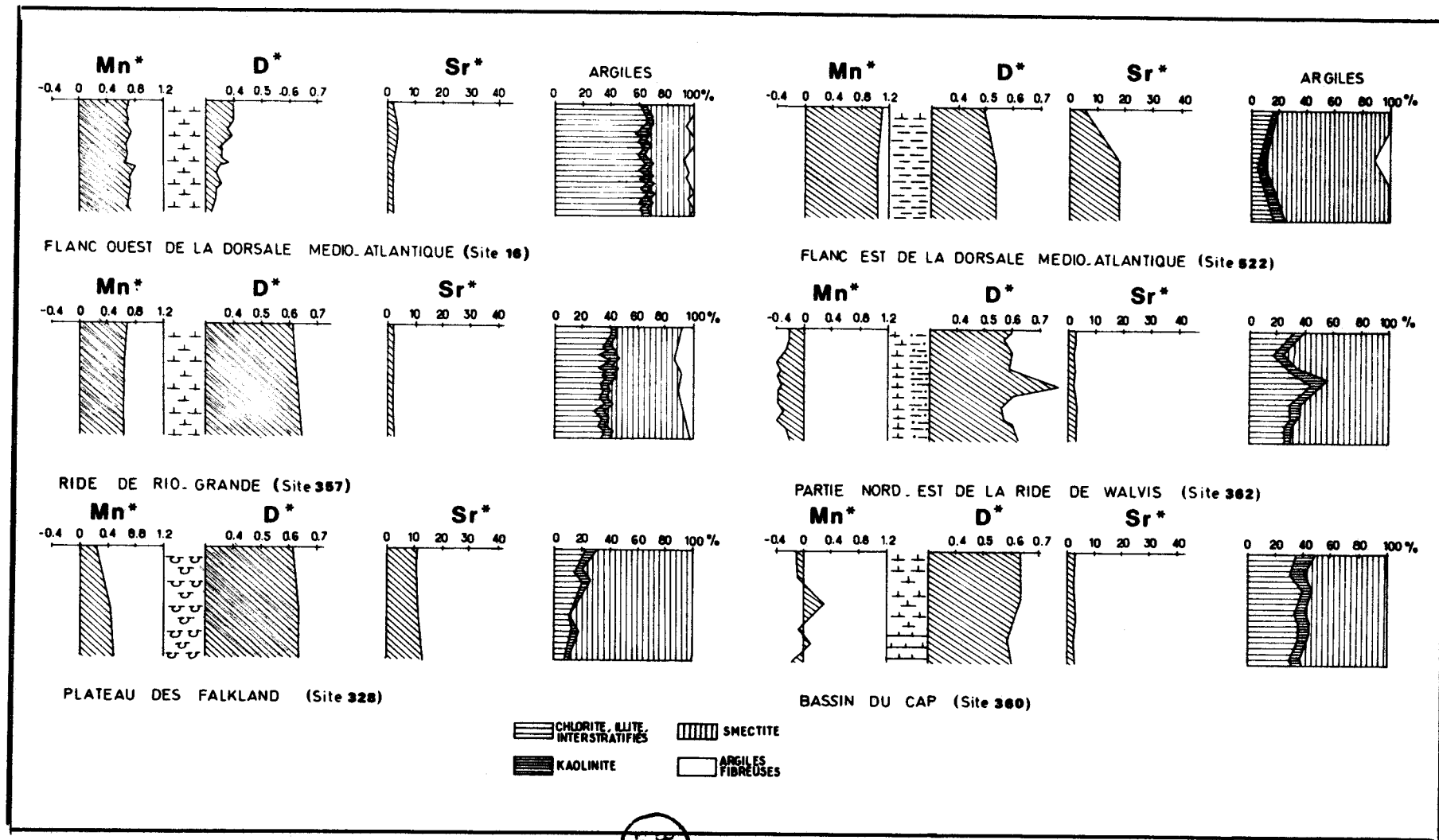


Figure 72 .- Variations verticales des critères Mn^* , D^* , Sr^* ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) au Miocène supérieur.

valeurs élevées de Si^* et faibles de K^* s'expliquent par l'influence du *courant antarctique profond*. Le matériel siliceux transporté y est abondant, alors que l'illite est presque totalement absente du mélange argileux essentiellement smectitique (Robert, 1982).

L'absence d'échantillons plus septentrionaux d'âge miocène supérieur empêche de suivre l'évolution de ce courant vers le Nord et en particulier dans le chenal de Vema.

2. FLANCS ORIENTAL ET OCCIDENTAL DE LA DORSALE

Sur les flancs orientaux et occidentaux de la dorsale, la symétrie des sites deux à deux se marque dans les comportements de Mn^* , D^* , Si^* et K^* (figures 71 et 73). Cette symétrie traduit l'éloignement progressif entre les différents sites et l'axe de la dorsale au fur et à mesure de *l'élargissement océanique*. L'influence directe des courants est masquée puisque ce sont ces mêmes critères qui permettent de les différencier.

3. RIDE DE WALVIS

a. SUR LA PARTIE SUD-OUEST DE LA RIDE DE WALVIS, les sédiments du site 525 montrent des valeurs extrêmement élevées de Si^* et K^* associées aux fortes métallisations et au faible caractère détritique. Ce comportement suppose une influence volcanique proche sur la sédimentation : en effet, l'altération du basalte peut permettre l'incorporation du potassium contenu dans l'eau de mer (Hart, 1972) qui masque les variations d'apports argileux détritiques.

b. SUR LE FLANC SEPTENTRIONAL DE LA PARTIE NORD-EST DE LA RIDE DE WALVIS, les sédiments permettent de pressentir l'influence de masses d'eau appauvries en oxygène dissous. En effet, les indices métallifères sont négatifs (sites 362, 532 et 530), caractérisant un milieu réducteur. Si^* et K^* sont élevés ce qui semble exclure la simple influence de courants septentrionaux (N. A. D. W.). En fait, cette partie de la ride de Walvis est abritée des grandes masses d'eau méridionales ou septentrionales directes. La sédimentation s'effectue sous une *masse d'eau appauvrie en oxygène* ou encore dans une *zone d'upwellings*, vecteurs de carbone organique (Huc, sous presse).

Sites	15	16	328	357	360	362	513
Critères chimiques							
Mn^*	1,07±0,14	0,85±0,04	0,42±0,20	0,65±0,04	0,02±0,10	-0,34±0,09	0,00±0,07
D^*	0,48±0,04	0,36±0,05	0,62±0,03	0,63±0,02	0,63±0,02	0,62±0,07	0,64±0,03
Si^*	2,73±0,16	2,73±0,86	4,31±0,25	2,26±0,98	4,25±0,22	3,97±0,26	5,73±1,24
K^*	0,24±0,01	0,33±0,04	0,16±0,03	0,29±0,04	0,24±0,10	0,31±0,15	0,21±0,02

Sites	519	522	525	527	528	530	532
Critères chimiques							
Mn^*	0,96±0,08	1,06±0,04	1,15	1,11	1,12	-0,13±0,09	-0,17±0,06
D^*	0,29±0,06	0,53±0,02	0,46	0,57	0,51	0,57±0,03	0,59±0,02
Si^*	3,35±0,44	3,05±0,05	7,86	2,81	2,83	3,99±0,30	3,79±0,36
K^*	0,29±0,04	0,20±0,02	0,64	0,22	0,32	0,24±0,01	0,23±0,01

Tableau XXVI .- Moyennes et écarts types des critères Mn^* , D^* , Si^* et K^* reportés sur la figure 73.

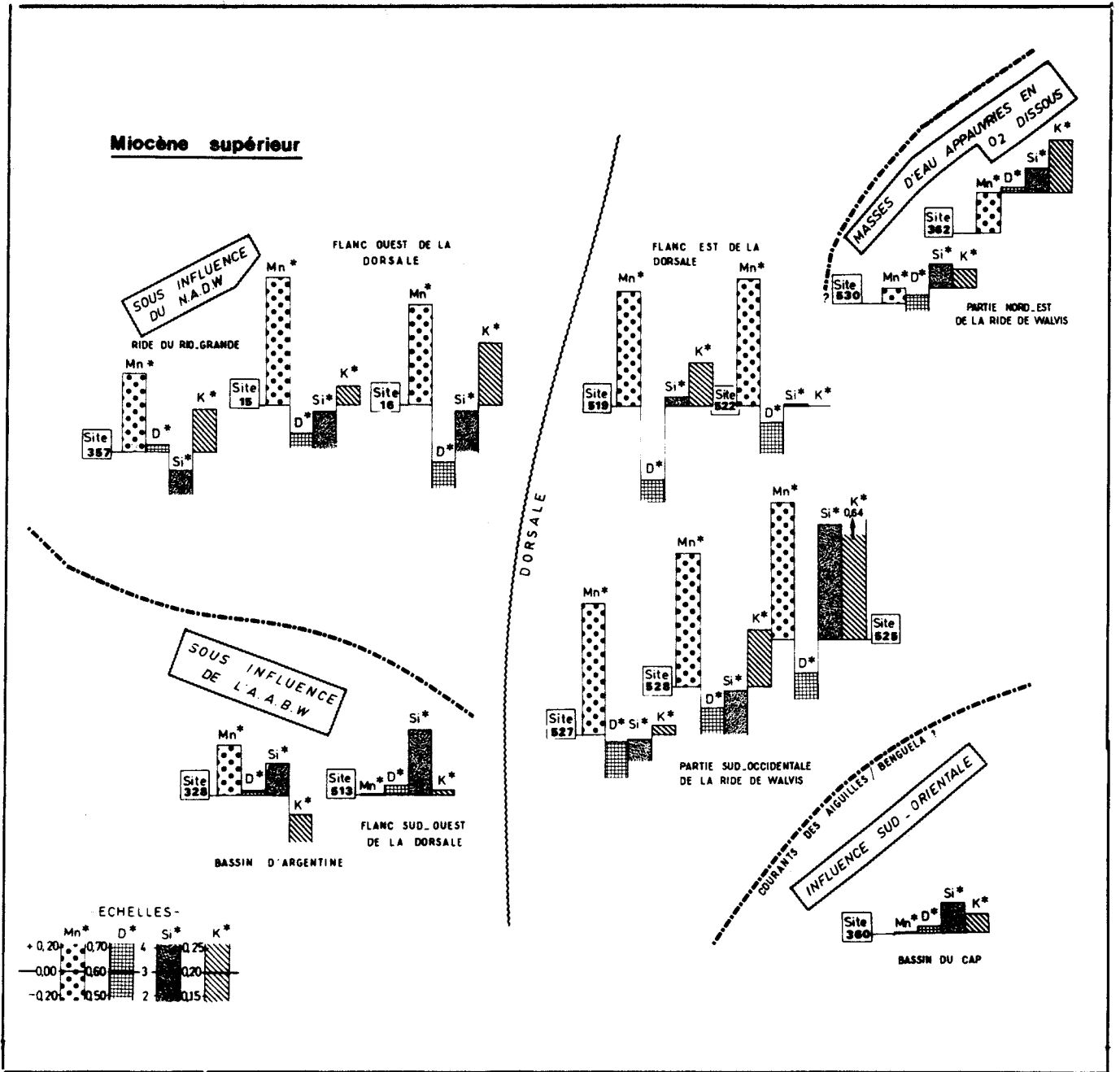


Figure 73 .- Influence des masses d'eau sur la sédimentation au Miocène supérieur.

BUS LILLE

4. MARGE AFRICAINE DU BASSIN DU CAP

Sur la marge africaine du bassin du Cap, les sédiments du seul site foré (360) montrent un comportement particulier (figures 71 et 73). Ils ne sont pas enrichis en métaux, présentent un caractère détritique typique des argiles banales alors que Si^* témoigne d'un excès de silice libre et que K^* est plus élevé que les valeurs relevées sur le passage du courant antarctique profond. Dès lors, une influence directe de ce dernier semble exclue. Il faut proposer : soit une influence septentrionale, soit une *influence sud-orientale*, qui s'intègre mieux aux schémas de reconstitution des paléocourants proposés par Mc Coy et Zimmerman (1977).

B. DISSOLUTION DES CARBONATES, PALÉOPROFONDEUR

Dans le détail, l'analyse du comportement de Sr^* et celle des variations lithologiques permettent de distinguer les zones où la dissolution des carbonates est élevée ou totale.

1. BASSIN D'ANGOLA

La dissolution affecte les sédiments miocènes supérieurs du site 522 et ceux du site 530, tous deux en position profonde. Dans le premier cas, le comportement des critères chimiques pendant l'épisode miocène inférieur et moyen excluait toute dissolution importante : la dissolution miocène supérieure est donc à rapprocher de l'approfondissement du site 522 (subsidence thermique) et de la remontée du N. C. C. à cette époque (Van Andel *et al.*, 1977 ; Melguen *et al.*, 1978b). En effet, après le Miocène supérieur, les sédiments du site 522 ne sont plus affectés par la dissolution des carbonates alors que la subsidence thermique conduirait à proposer un nouvel approfondissement du site. Ceci milite donc en faveur d'une variation dans le temps du N. C. C.

2. BASSIN D'ARGENTINE

Dans le bassin d'Argentine et sur le flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique, les valeurs élevées de Sr^* peuvent traduire deux phénomènes : soit la sédimentation n'a jamais été carbonatée, soit la dissolution des carbonates est totale.

En résumé, la géochimie permet de retrouver dans la sédimentation l'influence des masses d'eau et en particulier de l'A. A. B. W. Elle précise la paléoprofondeur relative des sites à travers la dissolution des carbonates et confirme la remontée du N. C. C. au Miocène supérieur

DOUZIEME CHAPITRE

PLIO-PLÉISTOCENE:

ACQUISITION DEFINITIVE DU SYSTEME ACTUEL
DES COURANTS PROFONDS

I. DONNÉES ANALYTIQUES ET RAPPEL DES PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

La série sédimentaire plio-pléistocène est la mieux représentée dans les sondages de l'Atlantique Sud. Cependant, le mode de prélèvement employé pour réaliser les forages les plus anciens (jusqu'au leg 40 inclus) empêche généralement d'obtenir un échantillonnage complet.

Sur les flancs de la dorsale (figure 74), d'Ouest en Est, les sites 19, 15, 16, 519, 17, 18 et 522, permettent de réaliser une étude transversale. Le site 364 autorise l'étude de la marge africaine du bassin d'Angola. Sur la ride de Walvis, les forages 362, 530 et 532 au Nord-Est, et les forages 525, 528 et 527 au Sud-Ouest, recoupent des sédiments plio-pléistocènes.

Sur l'ensemble du plateau de Sao-Paulo, du chenal de Vema et du plateau de Rio-Grandé, les sites 356 (Pliocène uniquement), les carottes KS 17, KS 19 et KS 22 (missions Géobrézil du C.N.E.X.O.) et le site 357 fournissent le matériel étudié. Enfin, au Sud-Ouest, les sites 328 et 513 permettent l'étude des mises en communication avec l'océan Antarctique.

De façon globale, les sédiments plio-pléistocènes sont voisins de ceux du Miocène supérieur. La sédimentation y est généralement carbonatée. Seule la partie sud-occidentale de l'Atlantique (Bassin d'Argentine, escarpement et fosse des Falkland) présente une sédimentation bio-siliceuse.

A. GÉOCHIMIE MINÉRALE

Au cours du Plio-Pléistocène, l'évolution des critères chimiques déjà envisagée au Miocène supérieur se poursuit presque sans exception. Courants et paléoprofondeur des sites s'inscrivent dans la géochimie. Toutefois, pour les sédiments profonds, l'approfondissement général du N. C. C. au Plio-Pléistocène entraîne une moins forte dissolution des carbonates.

1. FLANC SUD-OUEST DE LA DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE

Sur le flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique, la sédimentation présente un caractère détritique banal ($D^* = 0,63$), avec dissolution totale ou absence originelle de carbonates ($Sr^* = 14,36$) et absence de métallisation ($Mn^* = 0,05$). En outre Si^* , est très élevé (6,13) et K^* faible (0,21). Par rapport à l'épisode précédent du Miocène supérieur, il y a augmentation de Sr^* , qui peut marquer l'approfondissement du milieu.

2. BASSIN D'ARGENTINE

Les quelques échantillons pléistocènes prélevés dans le bassin d'Argentine (site 331) montrent une métallisation presque nulle ($Mn^* = 0,08$), un caractère détritique typique des argiles banales ($D^* = 0,64$) et un critère Sr^* (9,21) prouvant la dissolution totale ou l'absence de sédimentation carbonatée.

3. PLATEAU DE SAO-PAULO, CHENAL DE VEMA ET RIDE DU RIO-GRANDE

L'ensemble du plateau de Sao-Paulo, du chenal de Vema et de la ride du Rio-Grande peut être replacé dans une coupe transversale Est-Ouest, grâce à cinq forages et carottages effectués respectivement par le D. S. D. P. et le C. N. E. X. O.

a. SUR LE PLATEAU DE SAO-PAULO, les sédiments d'âge pliocène inférieur prélevés dans le site 356 (figure 74) montrent à la fois un faible caractère détritique ($D^* = 0,36$), une métallisation peu accentuée ($Mn^* = 0,22$) et une valeur faible du critère Sr^* (2,59). Si^* (2,72) et K^* (0,15) sont très faibles.

b. DANS LE CHENAL DE VEMA

- Les sédiments de la carotte KS 22, plus profonde, sont brièvement affectés au Pliocène inférieur par des influences volcaniques (figure 75). Cet événement est à la fois caractérisé par une forte augmentation de Mn^* (1,90) et une faible valeur de D^* (0,33). Si l'on exclut cet épisode, la sédimentation de KS 22 est marquée par un caractère détritique fort ($D^* = 0,67$) et une métallisation élevée ($Mn^* = 0,68$).

Par ailleurs, tandis qu'à la base de la carotte, Sr^* est relativement élevé (5,64) et suggère la dissolution partielle de la phase carbonatée, au sommet du Pliocène cette dissolution disparaît ($Sr^* = 2,40$). Si^* (2,63) et K^* (0,18) sont peu élevés.

- Les sédiments des carottes KS 19 et KS 17, moins profondes que les précédentes et limitées au Quaternaire, présentent des comportements chimiques voisins de ceux du même âge de la carotte KS 22. Les métallisations sont respectivement de 0,78 et 0,79 ; le caractère détritique est dans les deux cas égal à 0,63 tandis que Sr^* (respectivement 2,37 et 2,75) caractérise une sédimentation sans dissolution des carbonates. Les valeurs de Si^* (respectivement 2,41 et 2,18) sont faibles et celles de K^* (0,25 et 0,24) plus élevées que les précédentes (carottes KS 22 et KS 24).

PLIO - PLÉISTOCÈNE

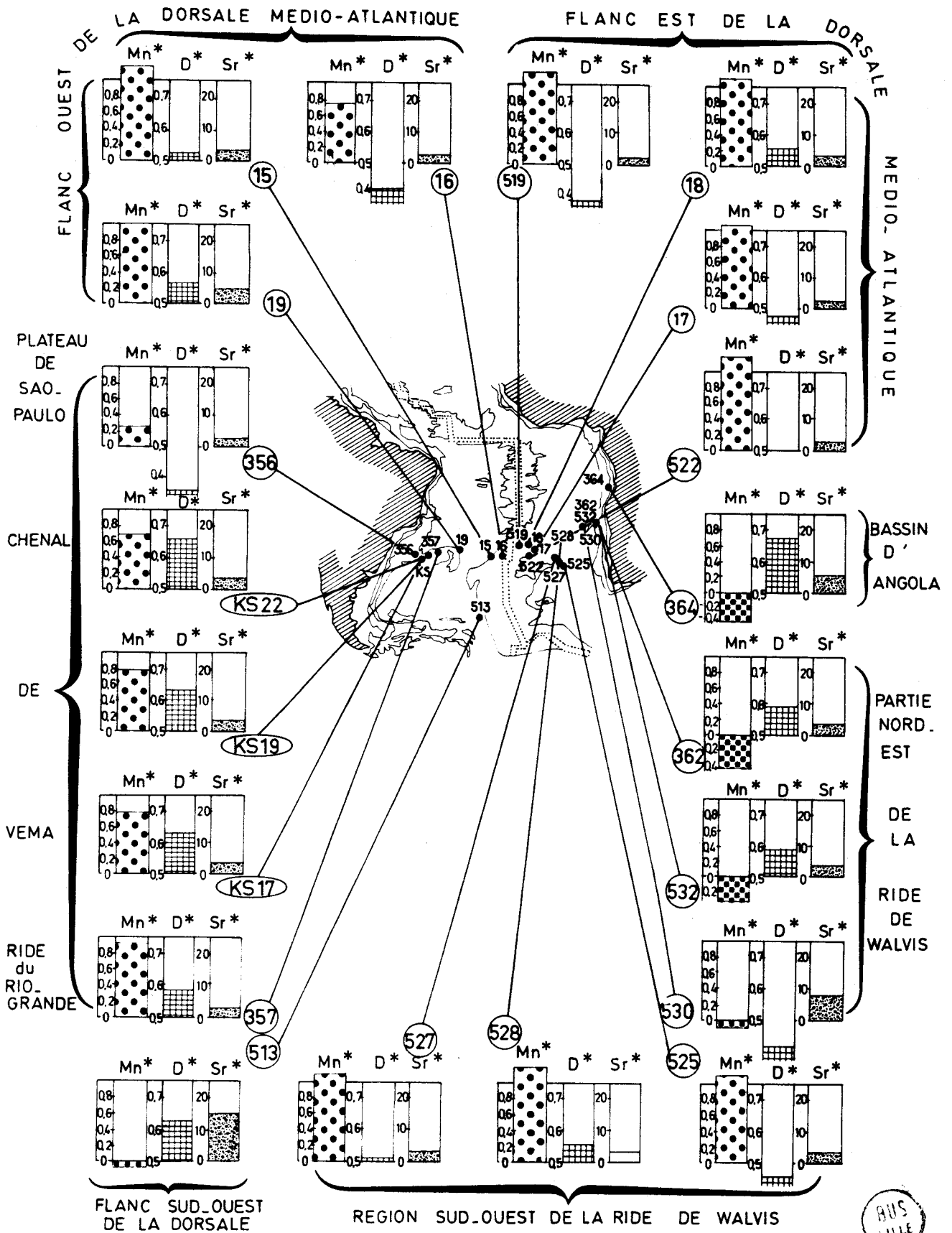


Figure 74 .- Moyennes des critères Mn*, D* et Sr* dans les sédiments du Plio-Pléistocène.

c. SUR LA RIDE DU RIO-GRANDE, le forage du site 357, montre une forte métallisation ($Mn^* = 0,93$) et un caractère détritique légèrement moins fort que dans le chenal de Vema ($D^* = 0,57$). La valeur de Sr^* (2,35) exclut toute dissolution des carbonates. En outre, Si^* (2,40) et K^* (0,29) suivent le même comportement qu'en KS 19 et KS 17.

4. RIDE DE WALVIS

a. SUR LA PARTIE SUD-OCCIDENTALE, les sédiments plio-pléistocènes présentent des critères chimiques très proches de ceux du flanc Est de la dorsale. Les métallisations sont élevées ($Mn^*_{525} = 1,12$; $Mn^*_{527} = 1,10$ et $Mn^*_{528} = 1,21$). Les valeurs du caractère détritique sont relativement moyennes ($D^*_{525} = 0,46$; $D^*_{527} = 0,51$ et $D^*_{528} = 0,55$). Le milieu est fortement oxydant. Si^* est élevé en 525 (7,14), plus faible en 528 (3,72) et en 527 (3,32). K^* évolue dans le même sens (0,64 en 525 ; 0,34 en 528 et 0,29 en 527). Sr^* (2,99 pour le site 525 ; 2,99 pour le site 528 et 2,84 pour le site 527) caractérise l'absence de dissolution des carbonates.

b. SUR LA PARTIE NORD-ORIENTALE, la chimie des sites "profonds" ou "intermédiaires" est différente. Le site 530, actuellement le plus profond, montre une métallisation pratiquement nulle ($Mn^* = -0,07$) et un caractère détritique faible ($D^* = 0,42$). Le milieu est typique d'une sédimentation pélagique en milieu peu oxygéné. Si^* (3,90) peut ici encore s'expliquer par l'assemblage argileux. K^* (0,21) est peu élevé. La dissolution affecte fortement la fraction carbonatée du sédiment ($Sr^* = 7,71$).

Les sédiments des sites 362 et 532, en position moins profonde, montrent un net déficit des métallisations : $Mn^*_{362} = -0,41$ et $Mn^*_{532} = -0,27$. Leur caractère détritique est proche de celui des argiles terrigènes banales avec $D^*_{362} = 0,59$ et $D^*_{532} = 0,58$. Le milieu sédimentaire est plus réducteur que précédemment, en même temps que l'influence détritique s'accroît. Si^* (5,01 et 4,72) suggère la présence de silice libre dans le sédiment, alors que K^* présente une valeur assez élevée (0,25). En outre, les valeurs de Sr^* (respectivement 3,70 et 3,55) excluent toute dissolution des carbonates.

5. FLANCS DE LA DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE

L'ensemble des sites de la dorsale est caractérisé par une forte métallisation : $Mn^* = 1,00$ pour le site 19 ; 1,21 pour le site 15 ; 0,76 pour le site 16 ; 1,14 pour le site 519 ; 1,08 pour le site 18 ; 1,05 pour le site 17 et 1,19 pour le site 522. Parallèlement à ce comportement, les sédiments forés sur le flanc occidental présentent une décroissance de D^* au fur et à mesure qu'on s'approche de l'axe de la dorsale ($D^* = 0,56$ pour le site 19 ; 0,52 pour le site 15 et 0,42 pour le site 16).

Sur le flanc oriental, l'évolution du caractère détritique est plus aléatoire : d'Ouest en Est, $D^* = 0,39$ pour le site 519 ; 0,55 pour le site 18 ; 0,48 pour le site 17 et 0,50 pour le site 522. L'influence détritique est cependant plus faible pour le site le plus proche de l'axe de la dorsale. D'Ouest en Est, si le critère Si^* est généralement faible (3,20 pour le site 15 ; 3,74 pour le site 519 ; 2,78 pour le site 18 ; 3,20 pour le site 17 et 2,75 pour le site 522), K^* présente au contraire des valeurs élevées ou très élevées (0,28 pour le site 15 ; 0,34 pour

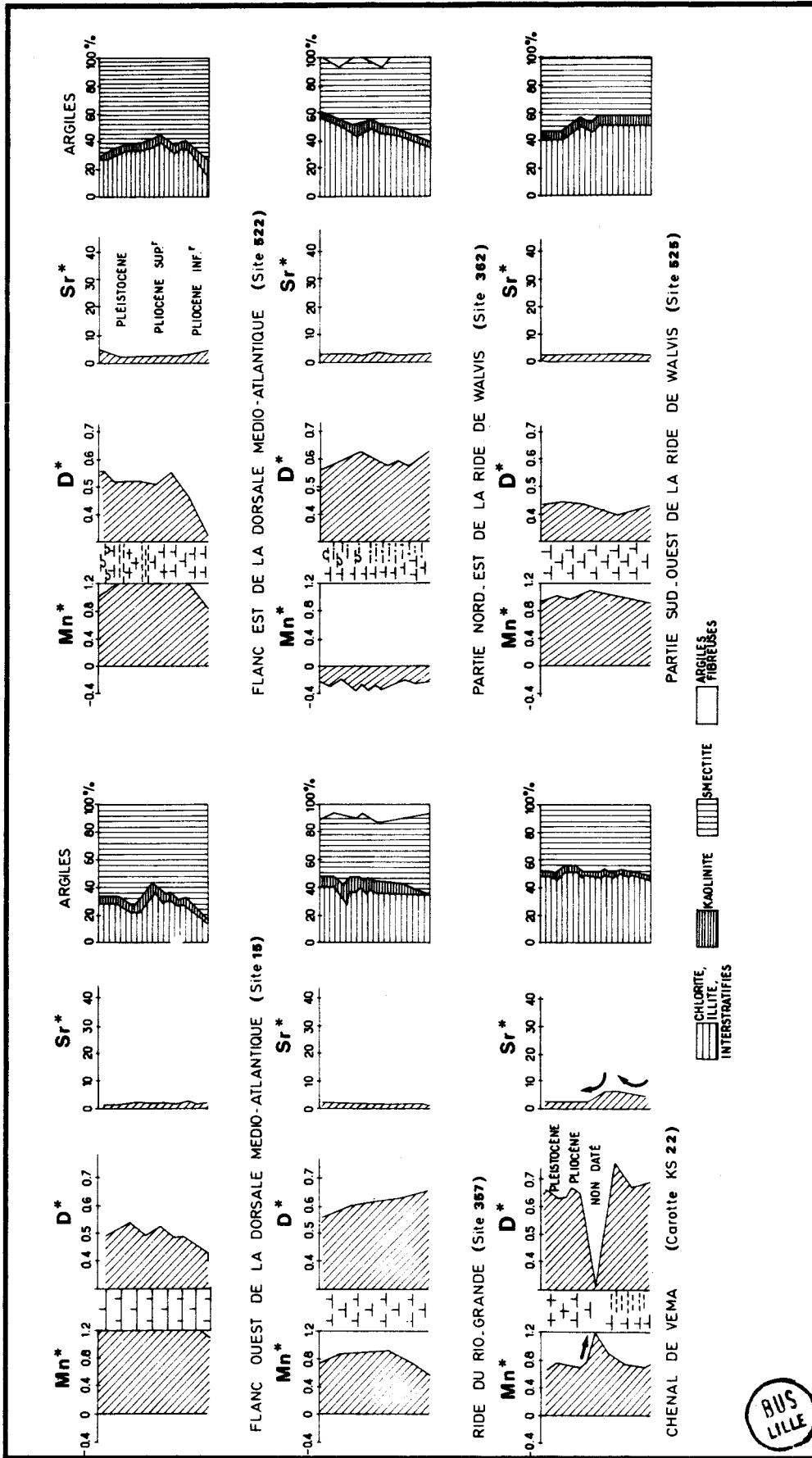


Figure 75 .- Variations verticales des critères Mn*, D*, Sr* ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) au Plio-Pliocène.

le site 16 ; 0,31 pour le site 519 ; 0,23 pour le site 18 ; 0,29 pour le site 17 et 0,29 pour le site 522). Enfin, la plupart des sédiments des sites considérés présentent des valeurs faibles pour Sr^* ($Sr^*_{15} = 3,00$; $Sr^*_{16} = 3,25$; $Sr^*_{515} = 2,28$; $Sr^*_{18} = 3,20$; $Sr^*_{17} = 2,88$ et $Sr^*_{522} = 2,78$). Ces valeurs excluent toute possibilité de dissolution de la fraction carbonatée ; sauf pour le site 19, $Sr^* = 4,50$ peut laisser pressentir une dissolution légère des carbonates.

B. MINÉRALOGIE DES ARGILES

L'important refroidissement climatique amorcé au Miocène supérieur se poursuit au Pliocène inférieur (Robert, 1982). Il entraîne le développement de la calotte glaciaire sur le bouclier antarctique (Mercer, 1978).

C'est dans cette région et dans les régions voisines (bassin d'Argentine, chenal de Vema) que les assemblages argileux caractérisent le mieux les variations climatiques ou les échanges de masses d'eau.

Sur le banc Maurice Ewing, les sédiments plio-pléistocènes montrent un accroissement de l'abondance de la smectite (Robert et Maillot, sous presse) à une période où le courant circumpolaire, qui détermine une lacune sédimentaire, diminue d'intensité, permettant à nouveau de brefs dépôts (Ciesielski et Wise, 1977).

Au cours du Pliocène, l'abondance de la smectite sur le flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique suggère que cette zone était sous l'influence du courant antarctique profond (Robert et Maillot, sous presse). Ce courant s'éloigne vers le Nord par le chenal de Vema ainsi que le laissent pressentir les cortèges de minéraux argileux plus smectitiques des carottes profondes prélevées dans ce chenal (Chamley, 1975 ; Chamley *in* Melguen *et al.*, 1978a). Au contraire, dans les sites moins profonds se dépose un assemblage argileux diversifié où prédominent kaolinite, illite mal cristallisée, interstratifiés chlorite-smectite provenant des latitudes plus basses et transporté par le courant nord-atlantique profond (Chamley, *in* Melguen *et al.*, 1978a). A la fin du Pliocène supérieur, l'abondance en smectite décroît sur le site 513 du flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique suggérant un changement dans la circulation du courant antarctique profond (Robert et Maillot, sous presse).

Sites	15	16	17	18	331	357	362	364	513	519
Critères chimiques										
Mn*	1,21±0,17	0,76±0,04	1,05	1,08±0,05	-0,08±0,01	0,93±0,03	-0,41±0,05	-0,39	-0,05±0,07	1,14±0,16
D*	0,52±0,04	0,42±0,02	0,48	0,55±0,02	0,64±0,01	0,57±0,03	0,59±0,01	0,67	0,63±0,04	0,39±0,08
Si*	2,79±0,38	4,30±0,97	3,20	2,78±0,03	4,22±0,22	2,40±0,27	5,01±0,84	2,38	6,13±1,35	0,31±0,05
K*	0,28±0,03	0,34±0,06	0,29	0,23±0,04	0,19±0,01	0,29±0,01	0,25±0,02	0,14	0,21±0,02	3,74±1,31

Sites	522	525	527	528	530	532	KS17	KS19	KS22	KS24
Critères chimiques										
Mn*	1,19±0,13	1,12	1,10±0,08	1,21±0,23	0,07±0,13	-0,27±0,08	0,79±0,09	0,78±0,05	0,68±0,05	0,11±0,10
D*	0,50±0,07	0,46	0,51±0,02	0,55±0,10	0,42±0,02	0,58±0,02	0,63±0,03	0,63±0,01	0,67±0,01	0,63±0,05
Si*	0,29±0,04	7,14	3,32±0,51	3,72±0,84	3,90±0,38	4,72±1,11	2,18±1,26	2,41±0,34	0,63±0,20	3,98±0,39
K*	2,75±0,54	0,64	0,29±0,03	0,34±0,13	0,21±0,03	0,25±0,02	0,24±0,02	0,25±0,08	0,18±0,01	0,19±0,01

Tableau XXVII.- Moyennes et écarts-types des critères Mn*, D*, Si* et K* reportés sur la figure 76.

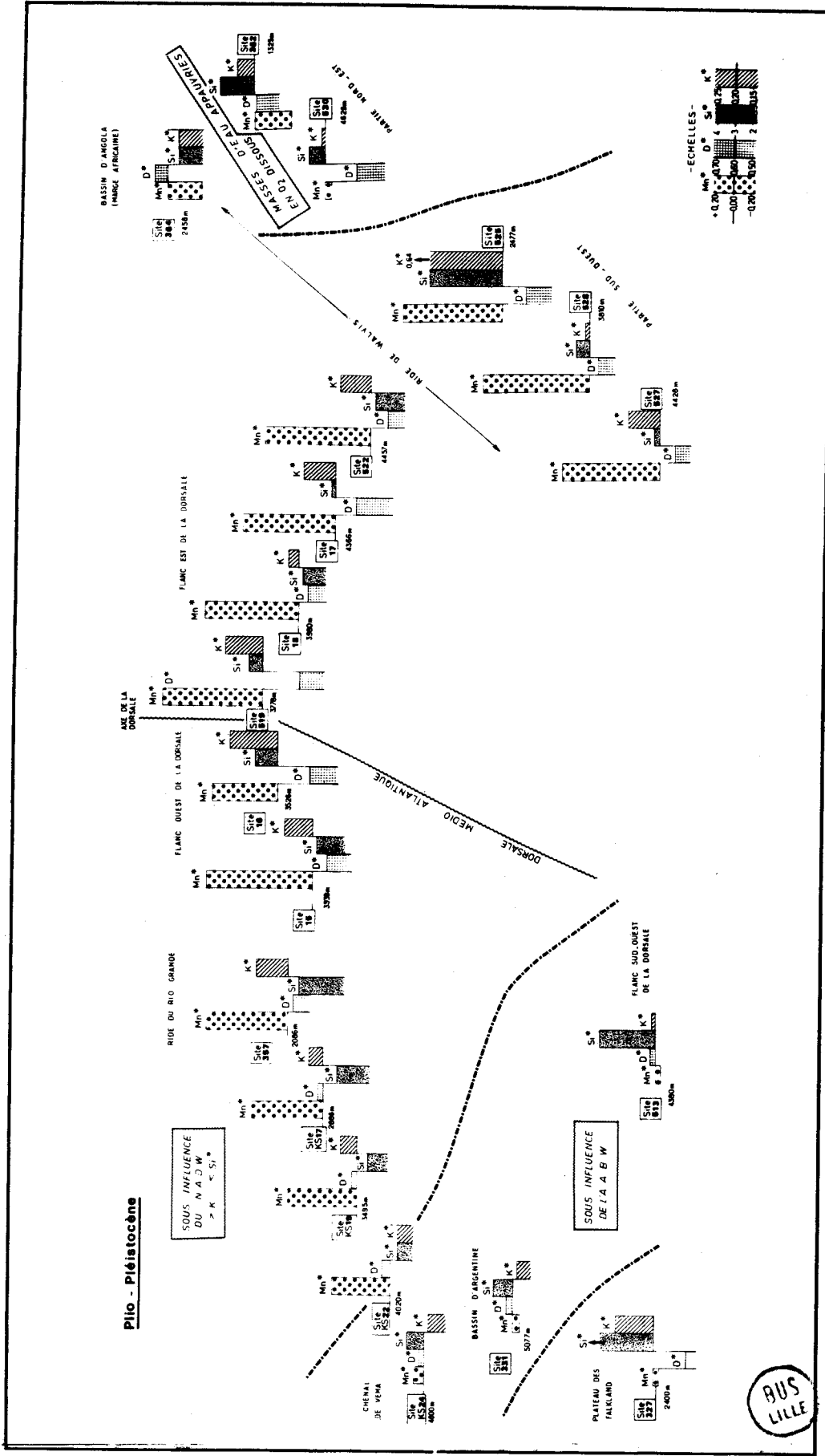


Figure 76 .- Influence des masses d'eau sur la sédimentation au Plio-Pléistocène.

II. DISCUSSIONS

A. INFLUENCE DES MASSES D'EAU PROFONDES

Dans la partie sud-occidentale de l'Atlantique Sud, à savoir le bassin d'Argentine (site 331), le flanc sud-occidental de la dorsale (site 513) et le chenal de Vema (carotte KS 24), l'influence du courant antarctique profond se traduit à la fois par une faible valeur de K^* (absence d'illite, Robert, 1982) et une forte valeur de Si^* (vannage d'organismes biosiliceux provenant des hautes latitudes - figure 76). Simultanément, l'importante charge détritique du courant circumpolaire, relayé par le courant antarctique profond, augmente le taux général de sédimentation. Ceci se traduit sur les sédiments des sites considérés par une "dilution" des précipitations métallifères ($Mn^* = 0$). Si l'influence du courant antarctique profond se manifeste bien sur ces régions, il semble que la carotte KS 22 située sur le flanc oriental du chenal de Vema, par 4 020 m de fond, se trouve à la limite bathymétrique des influences de ce courant et du courant nord-atlantique profond. En effet, la chimie du sédiment dénote à la fois une forte métallisation (influence du N. A. D. W.), de faibles valeurs de Si^* (influence du N. A. D. W.) et de K^* (influence de l'A. A. B. W.).

Au contraire, les carottes pléistocènes KS 19 (3 495 m), KS 17 (2 888 m) et les sédiments du site 357 (2 086 m) localisées sur la ride du Rio-Grande (figure 76) présentent des valeurs élevées de K^* , suggérant l'association d'illite (Robert, 1982) et de faibles valeurs de Si^* . Ces dernières prouvent que le transport de matériel siliceux n'influe plus sur la sédimentation. En outre, les fortes métallisations, comparables à celles observées sur la carotte KS 22, semblent caractériser l'influence du courant nord-atlantique profond. On remarque cependant que, si la géochimie permet de faire la différence entre les types de masses d'eau et leurs limites bathymétriques d'influence, elle ne lève pas l'indétermination relative à l'origine de ces masses d'eau. L'absence de sondage de référence au Nord du 27° de latitude sud n'autorise pas la détermination certaine des caractéristiques du N. A. D. W. Mais ces interprétations sont en accord avec celles émises par Chamley (1975) ; Mc Coy et Zimmerman (1977) ; Melguen *et al.* (1978a et b) et Robert (1982).

B. COURANTS ET INFLUENCES VOLCANIQUES LOCALES

Les sites implantés sur les flancs de la dorsale médio-atlantique au niveau du 27° de latitude sud ou dans les bassins voisins semblent tous influencés par des masses d'eau pauvres en silice, riches en potasse et très oxydantes (origine septentrionale ?). Les associations de minéraux argileux comportent également de l'illite (Maillot et Robert, sous presse a et b ; Robert, 1982).

Seuls les sites 525 et, à moindre titre, 528 présentent un comportement différent (figure 76). Tous deux, localisés sur la partie sud-occidentale de la ride de Walvis, semblent soumis à une influence volcanique voisine (K^* , Si^* et Mn^* sont élevés alors que D^* est faible).

C. MASSES D'EAU APPAUVRIES EN OXYGÈNE DISSOUS

Les sites forés sur *la marge du bassin angolais* sont soumis à l'influence de masses d'eau intermédiaires appauvries en oxygène dissous ($Mn^* < 0$). Ces influences sont particulièrement nettes aux sites les moins profonds (362 et 532). Cette interprétation est en accord avec celle formulée par Peypouquet (comm. pers.). Par ailleurs, viendrait s'ajouter à ces masses d'eau appauvries en oxygène dissous l'effet d'upwellings réducteurs, enrichis en carbone organique (Huc, sous presse). Il n'est guère possible, en se basant uniquement sur la géochimie des sédiments, de distinguer la part des influences respectives de ces deux phénomènes.

En résumé, la chimie des sédiments plio-pléistocènes permet de confirmer le rôle important des masses d'eau dans la sédimentation. On peut traduire ces effets en termes de répartition géographique, de paléoprofondeur relative et de mise en communication de bassins.

On souligne, en particulier, que le courant antarctique profond, qui ne paraît pas emprunter le chenal de Vema au Miocène inférieur, le parcourt certainement au Plio-Pléistocène.

Au Sud-Ouest, les sites profonds sont sous l'influence de masses d'eau profondes d'origine méridionale (A. A. B. W.). Sur les flancs de la dorsale médio-atlantique, et sur la ride du Rio-Grande l'influence de masses d'eau distinctes se perçoit (septentrionales ?). De plus, des phénomènes locaux s'inscrivent dans la chimie des sédiments : volcanisme sur la partie sud-ouest de la ride de Walvis, réductions par des masses d'eau appauvries en oxygène dissous sur la marge africaine du bassin d'Angola.

CINQUIEME PARTIE

CONCLUSION

L'étude géochimique des sédiments provenant de trente cinq forages océaniques, replacés dans leur contexte minéralogique et sédimentologique, permet de contribuer à la reconstitution des paléoenvironnements de l'Atlantique sud depuis le Jurassique moyen.

Un certain nombre d'indices chimiques, utilisant particulièrement les données fournies par l'aluminium, le fer, le manganèse, le silicium, le magnésium, le potassium et le strontium a été testé puis appliqué systématiquement.

Associés aux résultats des analyses effectuées sur la roche totale et aux conclusions proposées par d'autres auteurs (minéralogistes des argiles, géochimistes organiciens), ces divers paramètres chimiques permettent une meilleure compréhension du milieu sédimentaire et plus généralement de l'histoire de l'Atlantique sud. Les principales données et réflexions obtenues, qui reposent sur un échantillonnage à maille lâche et régulière (un échantillon tous les dix mètres en moyenne), sont regroupées sur les figures 77, 78 et 79.

I. GRANDS TRAITES DE L'ÉVOLUTION OcéANIQUE

A. PHASES D'OUVERTURE ET D'ÉLARGISSEMENT

Les informations apportées par la géochimie sont limitées lorsque l'environnement est continental, elles augmentent au fur et à mesure de l'ouverture puis de l'élargissement océaniques.

1. Les données géochimiques confirment le caractère exclusivement continental de la sédimentation dans la région des Falkland, au Jurassique moyen. A l'Oxfordien, tandis que la minéralogie des argiles reflète bien l'évolution morpho-tectonique du continent voisin, l'évolution des paramètres chimiques laisse pressentir une première phase transgressive.

L'accentuation de ces phénomènes au Néocomien suggère le développement des influences océaniques. Il faut attendre l'Albo-Aptien pour assister à une forte augmentation de l'oxygénation du milieu. Donc le rôle de barrière des Falkland s'estompe à cette époque. Parallèlement, l'abondance du matériel détritique dilue les précipitations métallifères et masque en partie les influences volcaniques proches sur la sédimentation. Par ailleurs, s'établit une sédimentation carbonatée marine sans trace de dissolution synsédimentaire.

2. Une certaine indépendance de l'histoire géologique des deux bassins sud-atlantiques s'inscrit dans la géochimie dès l'Albo-Aptien :




- Bien qu'une influence volcanique comparable intervienne, dans les deux cas, sur la sédimentation, le bassin d'Angola-Brésil est beaucoup moins influencé par les apports terrigènes que celui du Cap. En outre, de fortes variations du potentiel d'oxydo-réduction affectent le milieu : des niveaux réduits (black-shales), où les métaux sont remobilisés et concentrés de manière aléatoire, alternent avec des niveaux oxydés où les précipitations métallifères sont plus diffuses. Ces oscillations persistent jusqu'au Santonien : elles correspondent vraisemblablement à des phases saccadées d'ouverture de bassin avec mises en communication vers le Nord ou vers le Sud.

LEGENDE DES FIGURES 77, 78 ET 79

MASSES D'EAU




COURANT ANTARCTIQUE-ATLANTIQUE DE FOND (A. A. B. W.)

(Si* ↗ , K* ↘)

-  INFLUENCE MOYENNE
-  INFLUENCE FORTE
-  INFLUENCE TRES FORTE

MASSES D'EAU SEPTENTRIONALES (N. A. D. W.)

(Si* ↘ , K* ↗)

-  INFLUENCE MOYENNE
-  INFLUENCE FORTE
-  INFLUENCE TRES FORTE

INFLUENCES MIXTES (N et S)



MASSES D'EAU APPAUVRIS EN OXYGENE DISSOUS



(Mn* < 0, [Mn, V, Ni, Cr, Zn] banales)

INFLUENCES TERRIGENES OU VOLCANIQUES SUR LA SEDIMENTATION



INFLUENCES TERRIGENES (D*)



INFLUENCES VOLCANIQUES (Mn*, Fe*)

**** SEDIMENTS RICHES EN FER : PROXIMITE IMMEDIATE DE LA DORSALE
(Fe* ↗ , [Fe] ↗)



SEDIMENTS RICHES EN MANGANESE : PROXIMITE DE LA DORSALE
(Mn* >> 0, [Mn] ↗)



SEDIMENTS BANALS PAR RAPPORT AU FOND PELAGIQUE : ABSENCE D'INFLUENCE DE LA DORSALE SUR LA SEDIMENTATION : D* + 0,63.

B.S.



BLACK-SHALES (Mn* < 0, Sr* >>, [V, Ni, Cr, Zn, ...] ↗)

DISSOLUTION DES CARBONATES ET PALEOPROFONDEUR

--- N.C.C. --- NIVEAU DE COMPENSATION DES CARBONATES (Sr*)

0
1000
2000
3000
m

PALEOPROFONDEUR D'APRES LES COURBES DE SUBSIDENCE THERMIQUE
(SCLATER, 1973)

TRANSVERSALE PROCHE DU 27° DE LATITUDE SUD

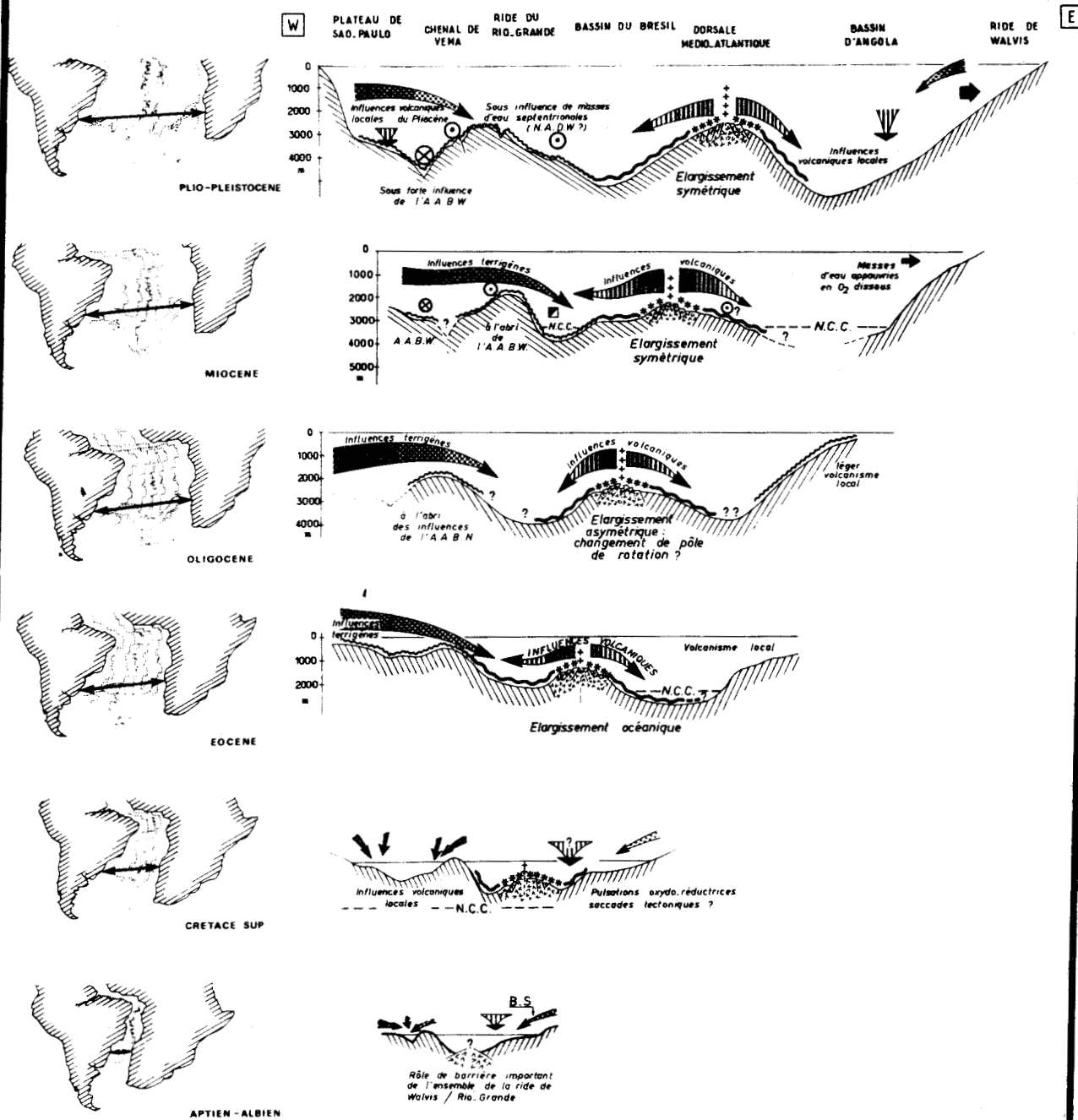


Figure 77 .- Reconstitution des principaux stades d'évolution de l'Atlantique Sud au niveau d'une transversale située aux environs du 27° de latitude sud.

A l'Aptien, le rôle de barrière de l'ensemble du domaine Rio-Grande/Walvis semble important: les sédiments sont confinés à la fois dans les bassins nord et sud. Toutefois des chenaux semblent permettre localement des échanges modestes. Au Nord, la mise en communication, dès cette période, du bassin d'Angola/Brésil et de l'Atlantique central ou de la Mésogée (via le golfe du Bénin) est suggérée par la géochimie mais devra être éprouvée par de nouveaux sondages, par exemple dans le cadre du Projet "Advanced Ocean Drilling Program" du Deep Sea Drilling Project.

- Cependant que le caractère fortement détritique de la sédimentation se maintient sur le plateau des Falkland et dans le bassin du Cap, les épisodes franchement euxiniques y disparaissent après l'Albo-Aptien. Dans la région des Falkland, la géochimie traduit l'oxygénation du milieu (ouverture vers l'océan Indien). Dans la sédimentation du bassin du Cap, elle laisse pressentir, à la base du Crétacé supérieur, l'arrivée de minéraux alumineux attestant de l'activité tectonique du continent voisin, ce que confirment les études minéralogiques.

3. L'élargissement océanique se marque dans la sédimentation par une décroissance globale des apports métalliques occasionnés par la dorsale. Le phénomène se concrétise successivement par :

- une forte concentration en fer : la dorsale est très proche,
- une diminution des concentrations en fer accompagnée d'un relèvement des concentrations relatives en manganèse ; la dorsale est encore proche, mais plus assez pour ne favoriser que la précipitation du fer,
- une valeur du critère détritique se rapprochant de celles des shales de référence : l'influence de la dorsale s'estompe avec l'éloignement.

Ce schéma s'inscrit dans l'évolution de l'histoire géologique de l'Atlantique sud depuis le Santonien jusqu'au Pléistocène. Il permet d'apprécier la distance (200 km environ) jusqu'à laquelle l'influence volcanogénique de la dorsale est élevée.

Deux transversales de sondages réalisées respectivement au niveau des 27° et 47° de latitude sud autorisent à suivre l'élargissement au cours du temps (figures 77 et 78). La constance de la vitesse d'élargissement, matérialisée par la régularité de la décroissance des métallisations, semble être la règle depuis le Santonien. Seul l'épisode oligocène inférieur se distingue : la vitesse d'élargissement s'annule ou devient très faible. Cette interprétation converge avec celles des géophysiciens qui font à la fois apparaître à cette époque un changement dans la position des pôles de rotation des ~~glaces~~ et la répartition symétrique des anomalies magnétiques.

B. INDIVIDUALISATION DES GRANDES MASSES D'EAU

Le développement des courants méridiens et particulièrement du courant de fond antarctique-atlantique (A. A. B. W.) apparaît dans la chimie sédimentaire à partir de l'Oligocène. Il se caractérise par un apport de silice biogénique en provenance des hautes latitudes et par des cortèges argileux appauvris en minéraux potassiques. La géochimie contribue ainsi à confirmer le rôle important des masses d'eau dans la sédimentation : on peut en effet traduire leurs in-

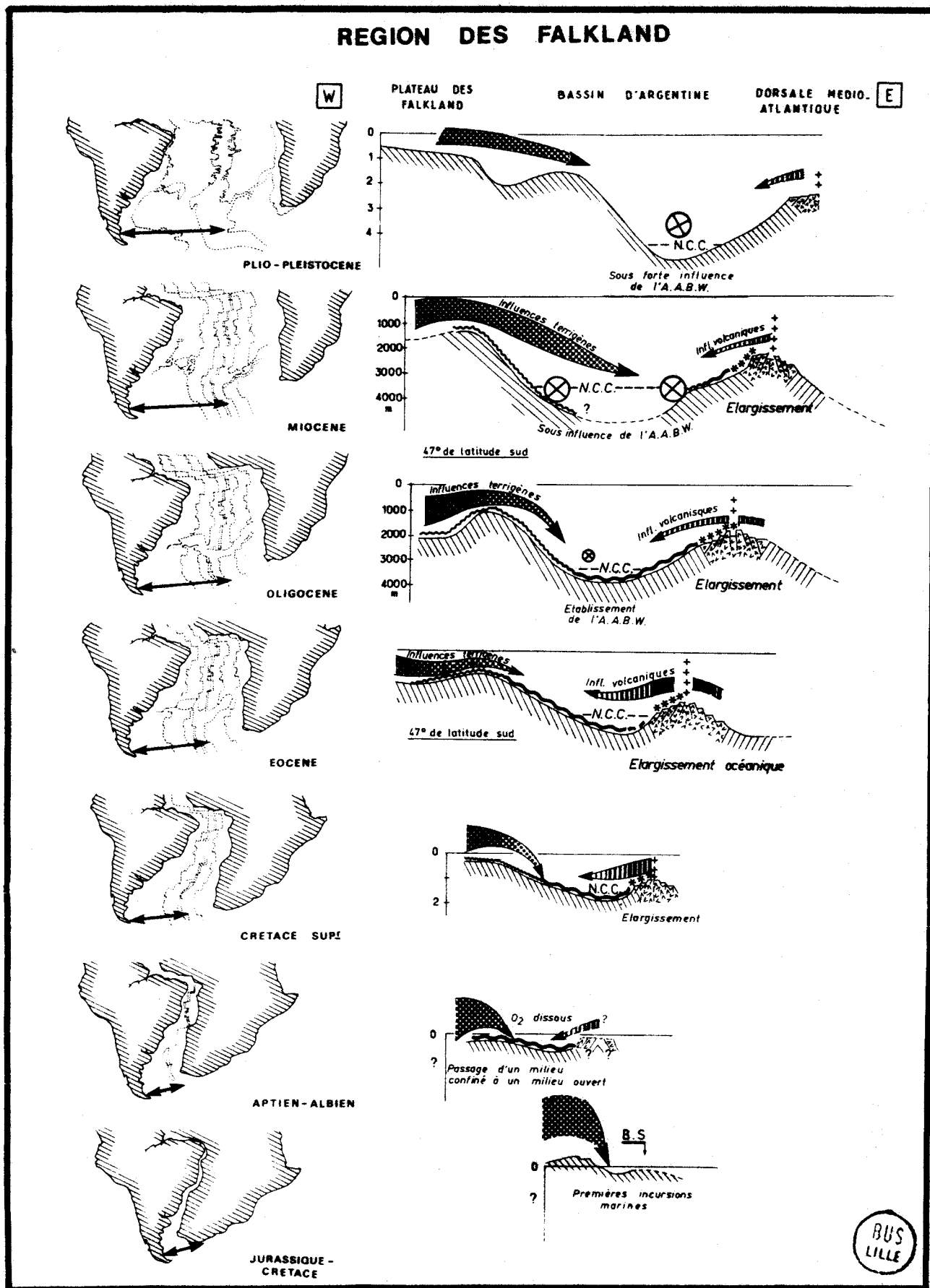


Figure 78 .- Reconstitution des principaux stades d'évolution de la région des Falkland. 47° de latitude sud. (La légende est reportée sur la figure 77).

BUS LILLE

fluences en termes de répartition géographique, de paléoprofondeur relative et de mise en communication de bassins (figures 77 et 78). Les effets du courant antarctique profond s'inscrivent de façon fugace dès l'Oligocène sur la sédimentation des sites méridionaux profonds du bassin d'Argentine. Son rôle s'accroît par la suite, mais ce courant ne paraît pas emprunter le chenal de Vema, au moins jusqu'au Miocène inférieur. En revanche, il parcourt de façon claire ce chenal au Plio-Pléistocène.

Sur le flanc occidental de la dorsale médio-atlantique (27° S) et sur la ride du Rio-Grande, l'influence de masses d'eau oxygénées favorise les précipitations d'oxydes métalliques ainsi que des dépôts riches en potassium et pauvres en silicium : il s'agit peut-être d'influences septentrionales (courant nord-atlantique profond, N. A. D. W.). Cette éventualité devra être confirmée par de nouveaux sondages réalisés dans les bassins du Brésil et d'Angola. Des propositions de localisation de sites sont actuellement faites en ce sens pour l'A. O. D. P.

II. PARTICULARITÉS RÉGIONALES : ÉVOLUTION DE LA RIDE DE WALVIS

A. VOLCANISME CRÉTACÉ ET TERTIAIRE

1. SUR LA PARTIE NORD-EST

Les sédiments de la partie nord-est de la ride de Walvis présentent des caractères chimiques qui suggèrent une influence volcanique sur la sédimentation dès l'Albo-Aptien. Ce volcanisme témoigne vraisemblablement de l'existence d'une zone active qui s'atténue par la suite mais se perçoit encore au Tertiaire (figure 79).

2. SUR LA PARTIE SUD-OUEST

A partir du Campanien, le comportement chimique des dépôts prélevés le long d'une transversale NW-SE, sur la partie sud-occidentale de la ride de Walvis, reflète une influence volcanique sur la sédimentation distincte de celle de la dorsale médio-atlantique (figure 79). Au Campanien, l'émergence des édifices volcaniques semble avoir favorisé l'altération météorique, conduisant à la production abondante de smectites livrées ensuite à la sédimentation. Elle exclut un lessivage direct du basalte par l'eau de mer et la mise en solution des éléments de transition. En effet, les faibles concentrations de ces éléments relevées dans la roche totale, a priori surprenantes pour une sédimentation proche d'une dorsale, seraient le résultat de l'absence d'altération basaltique en phase aqueuse. A cela s'ajouterait l'effet diluant de la sédimentation active, déterminée par le matériel argileux en provenance des appareils volcaniques émergés.

A partir de l'Eocène, la géochimie témoigne à nouveau de la proximité d'un domaine volcanique, cette fois immergé. Au Néogène, le centre de cette activité semble localisé au Sud de la partie occidentale de la ride de Walvis. En effet, les sédiments les plus influencés sont ceux du site le plus méridional de la transversale étudiée. Ce comportement témoigne de l'existence régionale d'une zone fragile de la croûte océanique (failles transformantes, "points chauds" ?)

RIDE DE WALVIS

NW

SE

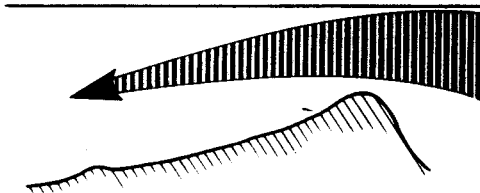
NW

SE

PARTIE SUD-OCCIDENTALE

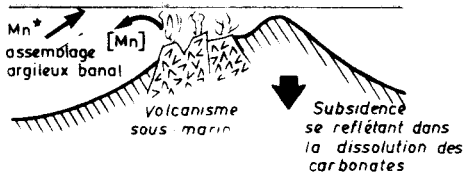
PARTIE NORD-ORIENTALE

BASSIN D'ANGOLA



Forte influence volcanique d'origine meridionale sur la sedimentation

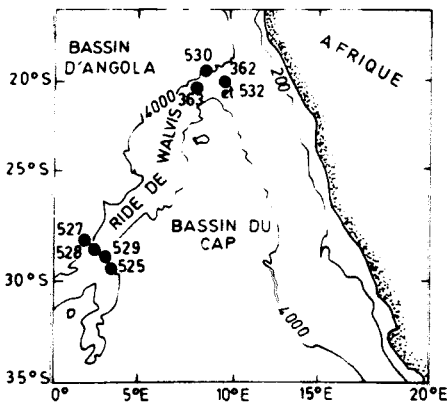
Subsidence generale



Peu de metaux
Smectite abondante
et bien cristallisee

Volcanisme subaerien

POSITION DES SITES ETUDIES



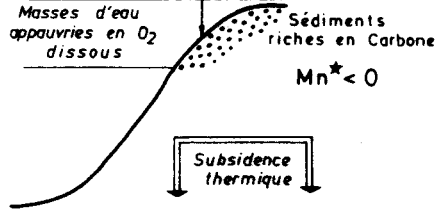
PLIO-
PLEISTOCENE

Sites 362 et 532

BASSIN D'ANGOLA

Masses d'eau superficielles
(haut pouvoir fixateur de C)
Masses d'eau appauvries en O₂ dissous
Sédiments riches en Carbone
Mn* < 0

MIOCENE



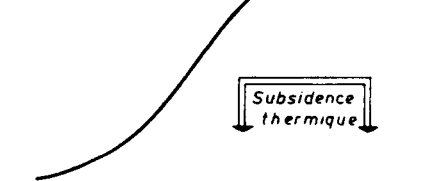
OLIGOCENE

BASSIN D'ANGOLA

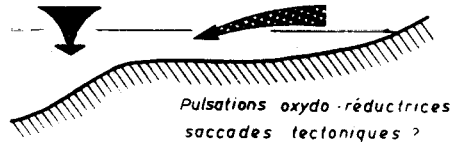
Site 362

Masses d'eau superficielles Mn* ≥ 0

EOCENE



CRETACE SUPERIEUR



Pulsations oxydo-réductrices
saccades tectoniques ?

ALBIEN

B.S

ALBO-APTIEN

APTIEN

Ride de Walvis / Rio-Grande

Rôle de barrière important
de l'ensemble de la Ride

BUS LILLE

Figure 79 .- Reconstitution des principaux stades d'évolution des parties nord-orientale et sud-occidentale de la ride de Walvis. (La légende est reportée sur la figure 77).

B. MASSES D'EAU APPAUVRIES EN OXYGÈNE DISSOUS

A partir du Miocène moyen, la réduction du milieu de sédimentation, alors peu profond, de la partie Nord-Est de la ride, conduit à proposer l'influence de masses d'eau appauvries en oxygène dissous. Cette interprétation est en accord avec celle fondée sur l'évolution paléocéologique du milieu.

A ce stade, il s'avère indispensable de faire le point en comparant les objectifs initiaux aux résultats apportés par la géochimie minérale, associés à ceux de la géochimie organique et de la minéralogie des argiles.

Les informations nouvelles sur les influences de chaque continent dans la sédimentation et la différenciation des effets des apports détritiques africains et américains n'ont que peu progressé grâce aux résultats géochimiques. L'absence d'échantillonnage continu au Nord du 20° latitude sud ne permet pas de retrouver, dans la sédimentation, la période et l'incidence de la mise en communication entre Atlantique Nord et Atlantique Sud.

Au contraire, la géochimie apporte des éléments nouveaux sur :

- la période et l'incidence sur la sédimentation de la mise en communication avec l'océan méridional,
- les étapes d'ouverture, d'élargissement et d'approfondissement des principaux bassins,
- l'évolution des grandes masses d'eau avec, en particulier, l'influence du courant de fond antarctique et celle du courant profond nord-atlantique.

En plus de ce qui était prévu à l'origine, elle permet d'envisager les variations de vitesse relative d'élargissement océanique au cours du Cénozoïque.

Si elles permettent de proposer des interprétations nouvelles ou de confirmer certains phénomènes de l'évolution océanique, les données géochimiques contribuent, au terme de ce travail, à poser trois questions sur l'évolution générale ou locale de l'Atlantique Sud :

- quel est l'âge exact et la nature de la communication avec l'Atlantique central ?
- quels sont les effets des grandes masses d'eau anciennes sur la sédimentation des bassins septentrionaux (bassins du Brésil et d'Angola) ?
- quelle est la cinétique précise de l'évolution structurale de la ride de Walvis au Cénozoïque, telle qu'elle peut être saisie par l'étude des colonnes sédimentaires ?

La réponse à ce type de questions passe par de nouvelles études, qui mettent notamment en oeuvre de nouveaux programmes de forages océaniques dans l'Atlantique Sud et les domaines adjacents.

SIXIEME PARTIE

ANNEXES

LEG 3 SITE 14

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1A.2. 99	15.65	5.10	37.08	1.07	1.31	1.19	1.25	n.d.	2.19	1 800	21	47	24	1 416	24	42	32	42
1A.6.105	11.50	3.48	42.33	0.79	1.31	0.89	0.18	n.d.	2.14	1 750	15	43	18	1 389	21	40	42	21
1. 1. 20	5.35	1.15	46.35	0.56	0.86	0.46	0.12	n.d.	1.40	2 400	6	41	13	1 326	15	31	42	21
1. 3. 95	4.70	1.06	49.15	0.54	0.72	0.44	0.07	n.d.	1.23	2 700	6	40	13	1 263	16	29	42	16
2. 1. 14	5.75	1.78	46.35	0.54	0.96	0.55	0.13	n.d.	0.89	632	9	28	21	1 300	16	24	37	11
2. 3. 98	6.60	2.04	45.65	0.57	0.91	0.60	0.15	n.d.	0.99	684	9	23	17	1 279	12	32	32	21
3. 1. 35	5.20	1.51	48.27	0.46	0.81	0.51	0.13	n.d.	0.90	784	7	22	13	1 405	11	22	37	11
3. 3. 98	3.65	1.15	49.15	0.42	0.74	0.42	0.12	n.d.	0.83	700	5	23	14	1 347	12	19	32	16
5. 1. 33	4.50	1.15	47.05	0.47	0.69	0.41	0.12	n.d.	1.20	889	5	25	14	1 295	13	21	37	21
5. 3. 97	5.20	1.53	45.89	0.50	0.71	0.48	0.07	n.d.	1.27	953	6	25	13	1 342	13	24	37	21
6. 1. 21	3.05	0.79	49.22	0.36	0.69	0.34	0.07	n.d.	0.97	1 226	4	24	9	1 368	12	19	37	16
6. 4.148	5.60	1.45	46.87	0.53	0.69	0.51	0.12	n.d.	1.39	1 350	8	27	12	1 158	11	22	42	16
6. 6. 47	3.95	1.00	46.87	0.46	0.57	0.41	0.12	n.d.	1.14	1 600	6	30	12	1 179	13	19	42	21
7. 5.148	3.20	0.77	45.86	0.50	0.70	0.29	0.03	n.d.	1.11	3 350	4	54	13	1 168	14	33	45	26
8. 1. 30	4.50	1.19	47.43	0.57	0.87	0.45	0.12	n.d.	1.42	2 700	5	41	16	1 195	14	28	53	26
8. 2. 60	4.10	1.10	46.87	0.55	0.81	0.42	0.12	n.d.	1.60	3 400	5	51	9	1 095	14	35	47	32
8. 4.149	3.20	0.64	47.47	0.51	0.98	0.33	0.08	n.d.	1.12	3 900	4	58	9	1 153	14	32	47	21
9. 1.120	1.85	0.58	50.72	0.42	0.98	0.35	0.03	n.d.	2.14	6 200	3	71	22	1 184	13	36	36	46
9. 2. 68	2.75	0.80	50.37	0.45	0.84	0.46	0.05	n.d.	1.93	6 150	4	78	26	1 263	15	33	64	37
9. 2.120	1.90	0.46	51.42	0.35	0.78	0.30	0.03	n.d.	1.57	6 050	3	68	22	1 184	15	27	47	32
9. 3. 84	2.65	0.68	48.62	0.40	0.91	0.42	0.05	n.d.	1.68	6 000	3	65	19	1 205	14	35	32	29
9. 3.119	3.45	0.87	48.94	0.43	0.81	0.49	0.07	n.d.	1.97	4 650	5	75	21	1 337	13	33	49	19
9. 4. 62	1.95	0.63	50.72	0.33	0.82	0.30	0.03	n.d.	1.14	3 000	2	30	17	1 358	11	18	34	35
9. 4.120	2.15	0.66	50.37	0.32	0.82	0.34	0.03	n.d.	1.43	4 700	2	58	14	1 353	12	30	28	42
9. 5. 62	2.95	0.76	50.37	0.34	0.78	0.39	0.03	n.d.	1.32	4 200	3	45	17	1 400	11	24	39	39
9. 5.120	3.05	0.91	49.67	0.37	0.82	0.39	0.05	n.d.	1.61	4 500	4	49	16	1 326	11	33	45	48
9. 6. 9	3.05	0.90	49.67	0.40	0.98	0.38	0.05	n.d.	1.86	4 750	3	62	23	1 326	15	42	41	57
9. 6. 76	4.20	1.30	47.57	0.53	0.78	0.48	0.10	n.d.	1.79	3 200	7	52	22	1 447	14	48	46	45

Tableau XXVIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 14, leg 3.



LEG 3 SITE 15

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1. 1.16	4.65	1.38	46.45	0.54	1.50	0.36	0.12	n.d.	1.00	1 063	6	34	13	1 379	17	32	42	26
1. 6.47	1.60	0.59	49.32	0.31	0.88	0.18	0.03	n.d.	0.33	584	3	23	13	1 495	12	24	42	16
2. 1.34	3.45	1.38	46.59	0.42	1.00	0.33	0.12	n.d.	0.71	916	6	25	13	1 432	15	29	47	26
2. 6.149	2.25	0.68	49.67	0.32	0.73	0.20	0.03	n.d.	0.41	547	3	23	15	1 537	12	22	47	16
3. 1.97	2.35	0.93	49.22	0.38	1.10	0.24	0.03	n.d.	0.56	637	3	21	12	1 389	15	25	37	16
3. 6.102	2.75	1.11	50.02	0.39	0.84	0.29	0.03	n.d.	0.69	800	4	27	7	1 405	15	23	42	16
4. 1.99	1.45	0.55	50.72	0.33	0.79	0.18	0.03	n.d.	0.39	542	3	22	10	1 263	13	19	42	11
5. 2.46	7.95	2.80	43.31	0.64	0.94	0.66	0.17	n.d.	2.03	2 050	10	51	15	1 258	26	34	47	32
5. 4.48	6.70	2.57	45.12	0.60	0.98	0.60	0.13	n.d.	1.63	1 900	10	41	16	1 211	22	33	42	26
6. 1.75	34.15	10.64	15.88	2.19	2.64	2.29	0.52	n.d.	7.79	8 000	48	107	25	863	55	92	63	137
6. 3.99	32.95	10.16	18.22	2.05	2.00	2.12	0.47	n.d.	7.51	9 050	47	134	15	842	53	112	74	137
7. 1.134	9.15	3.21	41.28	0.78	1.01	0.83	0.17	n.d.	2.49	3 000	13	43	19	1 574	21	38	42	47
7. 2.148	6.10	2.04	44.91	0.58	0.89	0.57	0.15	n.d.	1.74	2 500	9	49	14	1 705	18	45	47	42
7. 5.89	4.60	1.62	46.80	0.47	0.84	0.51	0.13	n.d.	1.30	1 663	7	32	15	1 511	16	32	53	26
7. 6.132	11.70	3.80	41.03	0.92	1.10	1.02	0.20	n.d.	2.66	3 100	16	50	27	1 347	21	46	37	53
8. 1.144	2.15	0.83	47.29	0.49	0.74	0.27	0.02	n.d.	3.10	11 650	3	111	8	1 368	23	73	47	95
8. 2.148	1.70	0.77	49.99	0.46	0.79	0.26	0.08	n.d.	2.56	8 600	3	86	9	1 389	19	63	47	74
8. 4.48	2.00	1.04	47.22	0.49	0.84	0.27	0.12	n.d.	2.64	9 250	4	111	13	1 379	19	71	42	74
8. 5.96	1.95	0.72	48.41	0.41	0.79	0.24	0.08	n.d.	2.49	8 150	3	88	5	1 347	21	55	42	74
9. 1.99	6.00	2.00	46.52	0.56	0.83	0.60	0.13	n.d.	1.47	1 511	8	34	15	1 337	15	22	37	36
9. 2.147	5.90	1.89	46.52	0.60	1.02	0.53	0.15	n.d.	1.33	1 558	8	35	16	1 363	15	35	37	26
9. 4.46	6.25	2.19	46.17	0.63	0.78	0.66	0.10	n.d.	1.76	2 300	1	55	11	1 468	19	35	32	26
9. 4.97	10.10	3.37	41.63	0.80	0.99	1.06	0.18	n.d.	2.54	2 900	14	47	31	1 347	13	26	36	62
9. 4.147	2.45	0.90	47.22	0.42	0.91	0.30	0.05	n.d.	3.15	11 000	4	105	17	1 332	18	58	40	107
9. 5.48	2.35	1.00	46.52	0.47	1.15	0.35	0.05	n.d.	4.07	13 800	4	119	12	1 342	19	77	44	126
9. 5.97	2.85	0.96	46.87	0.46	0.78	0.32	0.07	n.d.	2.52	7 950	3	85	6	1 442	22	50	37	63
9. 5.120	1.80	0.80	48.97	0.44	0.90	0.27	0.05	n.d.	2.82	9 250	4	98	15	1 353	15	55	37	89
9. 5.144	2.80	1.09	47.22	0.55	1.35	0.35	0.07	n.d.	2.68	7 450	4	76	25	321	14	43	37	80
9. 6.20	2.70	1.10	47.92	0.52	1.06	0.36	0.05	n.d.	2.72	8 950	4	85	19	1 332	13	43	37	84
9. 6.43	1.85	0.74	50.02	0.43	0.99	0.27	0.03	n.d.	2.22	6 900	3	68	18	1 342	11	33	41	52
9. 6.60	1.45	0.58	49.85	0.37	0.92	0.19	0.03	n.d.	1.57	5 050	1	45	13	1 316	9	23	34	42
9. 6.72	1.90	0.71	48.97	0.41	0.98	0.27	0.03	n.d.	1.97	7 000	3	61	20	1 337	12	33	31	55
9. 6.105	3.25	1.06	43.38	0.72	1.13	0.39	0.05	n.d.	7.22	21 000	4	190	21	1 289	28	188	46	211
9. 6.117	1.55	0.60	50.02	0.44	0.99	0.21	0.05	n.d.	2.68	6 950	2	58	16	1 337	14	45	41	76

Tableau XXIX.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 15, leg 3.

LEG 3 SITE 16

Echant.	SiO ₂ : %	Al ₂ O ₃ : %	CaO : %	MgO : %	Na ₂ O : %	K ₂ O : %	TiO ₂ : %	P ₂ O ₅ : %	Fe ₂ O ₃ : %	Mn : ppm	Li : ppm	Ni : ppm	Cr : ppm	Sr : ppm	Co : ppm	Cu : ppm	Pb : ppm	V : ppm
1. 1.19	3.35	0.91	47.57	0.43	1.42	0.25	0.07	n.d.	0.69	821	2	28	10	1595	16	27	32	16
1. 3.99	2.35	0.66	48.27	0.33	0.96	0.19	0.07	n.d.	0.54	616	2	21	9	1726	13	19	32	11
2. 2.148	2.85	0.59	50.02	0.35	0.78	0.19	0.05	n.d.	0.53	489	2	22	10	1474	11	21	32	11
2. 4.52	2.15	0.59	49.32	0.35	0.78	0.16	0.07	n.d.	0.49	474	2	21	11	1563	12	20	32	11
2. 6.148	1.85	0.49	50.02	0.27	0.74	0.15	0.02	n.d.	0.37	468	1	21	10	1653	9	17	32	11
3. 1.2	2.05	0.42	47.92	0.33	1.18	0.18	0.05	n.d.	0.41	426	1	23	17	1589	12	17	26	5
3. 6.56	1.55	0.43	50.37	0.30	0.78	0.13	0.05	n.d.	0.34	411	1	19	16	1511	11	14	26	5
4. 1.32	1.35	0.38	50.02	0.27	0.84	0.13	0.03	n.d.	0.34	368	1	21	9	1453	11	14	37	11
4. 3.97	1.50	0.30	51.07	0.27	0.67	0.11	0.05	n.d.	0.31	342	1	16	8	1416	10	11	32	11
4. 6.45	1.10	0.17	50.72	0.23	0.68	0.08	0.03	n.d.	0.20	284	1	17	8	1453	11	11	32	5
5. 1.0	2.05	0.04	49.32	0.33	0.96	0.19	0.05	n.d.	0.57	421	2	17	9	1558	12	21	32	11
5. 3.101	2.05	0.66	50.37	0.28	0.78	0.21	0.07	n.d.	0.51	443	3	21	11	1468	13	16	32	16
5. 5.54	2.05	0.49	50.72	0.27	0.67	0.16	0.05	n.d.	0.41	411	2	17	8	1421	11	15	32	16
6. 1.5	2.10	0.62	50.72	0.33	0.94	0.22	0.07	n.d.	0.71	542	2	19	11	1537	11	13	32	21
6. 3.99	1.65	0.32	50.02	0.23	0.68	0.12	0.05	n.d.	0.39	605	1	24	13	1526	9	6	32	11
7. 1.7	1.75	0.47	50.72	0.23	0.67	0.18	0.05	n.d.	0.63	442	1	22	11	1695	12	11	32	21
7. 3.99	1.10	0.36	51.42	0.17	0.78	0.11	0.03	n.d.	0.49	421	1	17	8	1684	11	9	32	16
8. 1.0	1.85	0.45	48.27	0.35	1.35	0.19	0.05	n.d.	0.60	600	2	19	12	1626	11	26	32	16
8. 3.97	0.95	0.53	48.27	0.25	0.78	0.18	0.05	n.d.	0.60	600	2	18	10	1526	9	21	26	16
8. 6.49	1.70	0.68	48.97	0.30	0.73	0.21	0.07	n.d.	0.67	658	3	16	10	1463	11	19	32	16
9. 1.49	1.50	0.68	47.92	0.35	0.84	0.22	0.07	n.d.	0.74	747	3	19	11	1263	12	18	42	21
9. 2.50	0.95	0.70	49.32	0.35	0.85	0.23	0.05	n.d.	0.83	742	3	22	15	1295	14	23	32	16
9. 3.100	2.55	1.04	48.62	0.41	0.78	0.28	0.07	n.d.	1.13	1074	3	23	9	1316	12	25	32	26
9. 4.49	1.35	0.59	50.72	0.27	0.67	0.18	0.07	n.d.	0.76	874	3	21	11	1321	12	19	32	21
9. 6.49	2.40	0.87	49.67	0.35	0.73	0.26	0.07	n.d.	0.83	853	4	20	9	1321	13	20	32	26
10.1.98	1.75	0.74	48.97	0.36	0.74	0.22	0.03	n.d.	0.87	858	3	19	9	1263	12	21	32	16
10.2.49	1.75	0.72	49.32	0.38	0.78	0.22	0.05	n.d.	0.89	916	3	19	11	1300	11	26	32	16
10.3.100	1.50	0.72	51.07	0.35	0.74	0.21	0.07	n.d.	0.87	784	3	16	11	1163	13	20	37	16
10.4.47	1.95	0.64	50.02	0.36	0.78	0.20	0.07	n.d.	0.87	768	2	23	9	1263	12	20	26	16
10.5.99	1.35	0.53	50.72	0.32	0.67	0.17	0.07	n.d.	0.83	847	2	17	11	1079	11	18	32	16
10.6.49	2.50	0.87	48.97	0.38	0.78	0.26	0.07	n.d.	1.14	921	3	22	11	1079	10	24	32	21
11.1.99	1.85	0.79	50.02	0.38	0.73	0.26	0.07	n.d.	0.97	505	3	16	12	1084	16	17	32	16
11.2.49	1.00	0.53	49.32	0.28	0.74	0.19	0.07	n.d.	0.80	611	2	21	9	1042	13	18	32	16
11.3.99	0.60	0.36	51.42	0.27	0.74	0.15	0.05	n.d.	0.56	489	1	16	10	1063	10	13	32	5
11.4.48	0.85	0.47	51.42	0.30	0.72	0.16	0.07	n.d.	0.70	479	2	16	9	1074	10	15	32	11
11.5.99	1.15	0.42	52.12	0.27	0.68	0.14	0.05	n.d.	0.64	484	2	14	8	1021	8	13	26	11
11.6.49	1.80	0.68	50.02	0.33	0.67	0.20	0.07	n.d.	1.07	926	4	17	9	1126	13	23	32	21

Tableau XXX - Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 16, Leg 3.



LEG 3 SITE 17

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1. 1.16	3.20	1.23	47.22	0.43	1.42	0.36	0.07	n.d.	0.73	479	6	25	12	1 400	14	21	42	11
1. 3.98	1.75	0.50	52.12	0.25	0.71	0.10	0.03	n.d.	0.37	421	2	16	13	1 500	11	16	37	11
1. 6.64	1.75	0.53	50.72	0.27	0.87	0.11	0.05	n.d.	0.41	474	2	19	13	1 410	13	19	47	11
2. 1.6	1.00	0.17	51.98	0.27	1.10	0.08	0.02	n.d.	0.23	268	1	12	11	1 290	9	14	32	16
2. 6.48	1.30	0.38	51.60	0.33	0.98	0.11	0.03	n.d.	0.33	379	4	17	11	1 274	13	18	32	16
3. 1.0	6.05	1.74	46.52	0.56	1.16	0.54	0.10	n.d.	1.12	1 000	7	28	17	1 342	14	24	32	32
3. 2.45	5.40	1.84	43.73	0.46	0.92	0.45	0.08	n.d.	1.10	995	6	22	14	1 347	13	21	26	26
3. 3.98	5.10	1.69	47.92	0.46	0.88	0.46	0.08	n.d.	1.03	905	6	32	14	1 395	13	23	32	32
3. 4.46	4.50	1.58	47.61	0.41	0.84	0.45	0.08	n.d.	0.88	689	5	20	15	1 410	11	18	32	26
3. 5.99	5.70	1.84	46.52	0.50	0.96	0.57	0.08	n.d.	1.13	1 037	6	28	17	1 405	15	24	26	26
3. 6.148	4.65	1.50	47.40	0.44	0.78	0.46	0.08	n.d.	1.06	958	6	23	16	1 363	14	23	32	16
4. 1.3	0.65	0.37	52.19	0.39	0.47	0.09	0.02	n.d.	0.27	1 153	1	13	13	1 363	9	7	32	21
4. 3.99	4.45	1.37	48.34	0.41	0.78	0.42	0.03	n.d.	1.00	889	4	29	16	1 337	11	23	37	16

LEG 3 SITE 17 A

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1. 1.1	9.40	2.82	42.03	0.68	1.21	0.86	0.13	n.d.	1.05	1 389	11	47	20	1 616	21	21	26	58
1. 3.97	11.60	3.54	41.28	0.83	1.11	1.05	0.17	n.d.	1.84	1 415	14	44	23	1 432	21	28	32	37
1. 5.97	13.35	4.11	39.00	0.91	1.21	1.20	0.14	n.d.	2.20	1 700	16	43	19	1 505	23	37	26	37
1. 6.149	10.85	3.53	38.79	0.77	1.08	1.04	0.19	n.d.	1.92	1 550	13	40	21	1 558	22	31	26	37
2. 1.99	6.00	1.09	44.95	0.52	0.97	0.60	0.10	n.d.	1.40	1 358	7	34	17	1 463	15	27	32	32
2. 4.45	7.00	2.46	43.73	0.60	0.98	0.64	0.13	n.d.	1.56	1 650	8	39	15	1 563	21	30	26	32
2. 5.104	5.35	1.72	46.52	0.50	0.98	0.46	0.09	n.d.	1.06	826	8	18	13	1 437	13	19	42	21
2. 6.148	5.05	1.63	46.45	0.54	1.09	0.46	0.07	n.d.	1.02	653	8	20	13	1 268	12	22	42	16
3. 1.20	8.60	2.59	43.38	0.75	1.26	0.80	0.14	n.d.	1.64	1 400	11	35	16	1 258	19	29	42	26
3. 2.49	5.05	1.54	46.38	0.48	0.78	0.46	0.08	n.d.	0.84	763	6	24	12	1 426	11	18	42	16
3. 6.49	3.10	0.90	47.57	0.35	0.71	0.27	0.06	n.d.	0.69	611	4	17	13	1 384	12	17	37	16
4. 1.0	3.30	0.98	46.87	0.44	0.84	0.27	0.04	n.d.	0.91	1 079	4	32	12	1 437	12	18	47	16
4. 3.99	3.00	1.00	47.64	0.39	0.85	0.25	0.05	n.d.	0.84	1 026	4	26	13	1 553	12	16	47	21
4. 6.48	4.65	1.26	46.10	0.52	0.98	0.39	0.07	n.d.	1.52	1 279	5	40	12	1 226	13	36	42	26

Tableau XXXI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 17, leg 3.

LEG 3 SITE 17 B

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2. 4.149	4.20	1.44	46.80	0.44	0.84	0.43	0.09	n.d.	0.96	916	5	22	16	1 337	14	23	37	26
2. 6.56	4.65	1.70	46.38	0.50	0.91	0.54	0.09	n.d.	0.97	758	6	22	18	1 411	15	22	32	26
3. 2.46	4.60	1.52	46.94	0.48	0.71	0.45	0.09	n.d.	0.91	889	5	21	18	1 274	14	21	37	21
3. 4.149	6.70	1.98	43.76	0.56	0.88	0.61	0.06	n.d.	1.24	1 237	7	28	18	1 205	14	25	42	26
3. 6.57	6.05	1.92	46.17	0.54	0.78	0.58	0.11	n.d.	1.14	1 010	8	25	18	1 216	15	24	37	26
4. 1.32	6.90	2.21	45.09	0.54	0.87	0.73	0.13	n.d.	1.29	853	8	21	17	1 205	14	23	37	26
4. 4.149	3.15	1.05	50.02	0.35	0.54	0.31	0.04	n.d.	0.76	726	4	21	14	1 142	13	14	42	16
4. 6.47	4.25	1.29	47.36	0.41	0.78	0.42	0.08	n.d.	1.12	1 105	6	41	14	1 374	13	22	42	21

Tableau XXXI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 17, leg 3. (suite)

LEG 3 SITE 18

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1. 1.106	5.25	1.76	45.40	0.52	1.53	0.39	0.08	n.d.	0.97	937	7	27	16	1 337	18	32	42	21
1. 3.104	1.95	0.94	46.87	0.33	1.38	0.19	0.03	n.d.	0.51	663	4	22	14	1 568	16	20	32	21
1. 6.22	5.15	1.57	44.77	0.52	1.92	0.42	0.09	n.d.	0.82	1 089	6	31	16	1 511	18	32	32	26
2. 3.97	5.55	1.98	47.15	0.48	0.88	0.60	0.09	n.d.	1.30	1 495	8	26	13	1 416	17	24	37	32
2. 6.47	6.90	2.13	43.90	0.52	1.04	0.63	0.11	n.d.	1.54	1 650	8	31	16	1 379	19	26	32	32
3. 1.4	3.15	1.06	48.59	0.43	1.06	0.31	0.06	n.d.	0.86	937	3	53	18	1 442	16	21	32	11
3. 3.99	4.85	1.66	45.37	0.49	0.98	0.47	0.09	n.d.	1.20	1 174	5	51	16	1 400	16	21	32	11
3. 6.47	4.20	1.30	48.87	0.43	0.78	0.42	0.07	n.d.	1.00	995	4	67	19	1 384	17	22	32	11
4. 1.91	2.85	1.06	48.52	0.35	0.71	0.34	0.05	n.d.	0.76	484	3	51	17	1 416	12	21	42	21
4. 3.99	4.50	1.30	45.96	0.44	0.90	0.43	0.07	n.d.	0.90	947	4	58	21	1 337	15	20	37	16
5. 1.99	3.05	0.91	48.52	0.38	0.85	0.30	0.05	n.d.	0.67	632	3	47	16	1 284	12	17	42	5
5. 5.99	4.50	1.44	46.49	0.47	0.85	0.46	0.08	n.d.	0.83	668	5	57	19	1 247	11	24	42	5
6. 1.99	4.15	1.45	46.94	0.46	0.85	0.49	0.08	n.d.	0.79	663	4	51	17	1 263	9	18	47	11
6. 5.99	4.95	1.51	46.66	0.46	0.78	0.49	0.08	n.d.	0.86	553	4	56	17	1 289	12	17	47	11
6. 6.148	2.75	1.10	49.04	0.49	0.51	0.34	0.07	n.d.	0.80	511	3	65	17	1 053	11	15	47	11

Tableau XXXII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 18, leg 3.



LEG 3 - SITE 19

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.1.53	40.60	12.53	12.17	2.15	3.72	2.47	0.51	n.d.	6.48	5 700	61	108	51	579	63	109	58	95
2.1.99	53.60	17.00	0.73	2.69	2.68	3.63	0.69	n.d.	7.76	4 100	67	130	79	200	59	93	32	121
2.6.149	53.55	17.25	0.91	2.76	2.59	3.95	0.69	n.d.	7.51	4 200	68	126	68	200	61	111	32	111
3.1.102	22.90	7.50	28.86	1.41	1.85	2.08	0.30	n.d.	3.62	2 300	30	68	42	1 126	29	53	42	37
3.2.148	22.45	7.67	28.93	1.43	1.56	1.96	0.32	n.d.	3.72	2 350	30	77	44	1 105	33	55	37	32
3.4.53	38.45	12.17	13.99	2.20	2.06	3.61	0.50	n.d.	6.29	5 000	57	111	37	658	47	79	58	105
3.5.98	24.60	7.82	27.91	1.46	1.53	2.12	0.37	n.d.	4.15	2 600	32	65	42	1 105	35	60	37	42
3.6.148	24.10	7.54	28.89	1.44	1.42	1.90	0.35	n.d.	3.65	2 050	31	66	48	1 011	33	50	37	26
4.1.129	9.10	3.14	43.55	0.70	0.88	0.83	0.14	n.d.	1.49	921	12	69	25	1 432	16	25	47	16
4.2.48	8.10	2.57	44.14	0.61	0.82	0.72	0.13	n.d.	1.27	811	9	60	23	1 511	15	23	26	16
4.6.97	4.50	1.61	47.99	0.43	0.72	0.45	0.08	n.d.	0.76	484	6	53	18	1 516	13	15	21	5
5.1.23	21.10	6.65	31.27	1.34	1.46	1.55	0.28	n.d.	3.47	1 850	25	68	44	1 153	31	51		32
bis	4.00	1.42	49.21	0.55	-	-	-	n.d.	0.69	395	-	-	-	442	-	-	-	-
5.1.149	5.65	1.95	47.99	0.49	0.67	0.59	0.11	n.d.	0.96	579	6	67	27	1 621	15	16	42	5
5.2.145	10.45	3.50	41.35	0.84	0.94	0.94	0.18	n.d.	1.66	1 116	13	63	28	1 500	17	27	26	21
5.3.96	9.40	3.14	43.17	0.76	0.81	0.87	0.17	n.d.	1.54	1 116	11	74	25	1 437	16	27	21	16
5.6.52	9.85	3.19	42.68	0.79	0.82	0.96	0.18	n.d.	1.62	1 116	10	74	32	1 411	18	23	21	16
6.1.59	7.05	2.42	45.37	0.65	0.72	0.72	0.13	n.d.	1.27	826	7	63	25	1 505	14	17	26	16
6.6.55	6.95	2.31	46.14	0.61	0.80	0.64	0.13	n.d.	1.16	879	7	60	22	1 421	18	19	26	11
7.1.59	8.60	2.03	43.06	0.77	0.84	0.81	0.16	n.d.	1.74	1 274	9	71	26	1 295	19	24	26	11
7.2.57	7.10	2.25	45.16	0.64	0.84	0.66	0.14	n.d.	1.49	979	7	62	23	1 437	19	19	26	11
7.2.148	7.55	2.48	43.86	0.72	0.84	0.84	0.15		1.63	1 253	8	62	25	1 326	21	23	21	11
7.4.42	6.75	2.66	44.35	0.70	0.84	0.67	0.13	n.d.	1.80	1 800	7	64	24	1 158	20	21	26	11
7.5.98	6.20	2.04	43.66	0.70	0.81	0.60	0.13	n.d.	3.00	3 300	6	75	21	1 232	23	49	37	42
7.6.148	2.35	0.87	48.76	0.51	1.00	0.37	0.06	n.d.	1.90	1 605	2	68	25	1 089	15	24	37	32
8.2.148	4.90	1.64	47.05	0.53	0.74	0.52	0.08		1.23	1 142	5	62	24	1 305	17	17	37	21
8.4.57	18.20	5.52	30.71	1.54	1.56	1.48	0.31	n.d.	5.55	6 850	21	111	24	953	45	82	37	68
8.6.146	6.70	2.14	44.42	0.66	0.84	0.67	0.10	n.d.	2.14	2 650	6	68	21	1 189	23	32	42	32
9.1.98	4.75	1.51	45.12	0.62	1.02	0.49	0.09	n.d.	2.49	2 700	5	71	21	1 142	21	37	42	37
9.2.148	5.25	1.53	46.14	0.58	0.75	0.45	0.09	n.d.	2.43	2 650	4	74	23	1 163	22	39	45	37
9.6.124	4.20	1.13	46.70	0.46	0.91	0.27	0.07	n.d.	3.22	3 350	3	46	15	1 216	21	46	32	65
10.2.49	8.90	2.55	43.38	0.69	0.91	0.60	0.14		3.07	3 306	9	56	18	1 063	25	45	26	57
bis	35.30	10.69	17.66	1.82	2.34	1.96	0.48		4.79	3 400	50		42	716	46	75	42	82
10.4.149	4.90	1.06	46.45	0.48	0.91	0.42	0.08	n.d.	2.85	3 650	4	49	15	1 168	22	40	26	51
10.6.47	4.95	1.06	46.45	0.47	0.91	0.42	0.08	n.d.	2.59	2 850	4	46	18	1 132	21	35	42	40
11.1.108	14.80	4.21	37.85	0.90	1.31	1.17	0.23	n.d.	2.52	1 750	18	52	26	1 205	25	41	42	38

Tableau XXXIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 19, leg 3.

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
11.1.143	8.80	2.98	41.98	0.84	1.25	0.90	0.15	n.d.	3.15	2 600	12	40	19	1 158	16	37	42	53
11.2. 73	7.00	1.89	43.38	0.05	1.31	0.58	0.11	n.d.	3.65	4 500	7	65	22	1 195	27	54	47	72
11.2.120	8.35	2.78	42.68	0.78	1.25	0.78	0.15	n.d.	3.57	3 150	9	50	27	1 158	19	35	54	53
11.3. 47	9.65	1.16	47.57	0.56	0.67	0.43	0.07	n.d.	2.86	3 500	4	36	20	1 074	15	31	42	53
11.3.120	5.05	1.25	46.17	0.57	0.84	0.49	0.07	n.d.	2.82	3 150	4	36	28	1 116	17	29	46	53
11.4. 47	6.00	1.51	45.12	0.61	0.84	0.54	0.10	n.d.	2.82	3 050	4	32	25	1 158	16	28	52	50
11.4. 73	6.60	1.74	42.68	0.73	0.92	0.64	0.10	n.d.	4.15	5 050	6	47	27	1 121	22	46	47	78
11.4. 97	4.95	1.30	46.87	0.59	0.83	0.61	0.08	n.d.	3.22	4 050	4	36	28	1 274	18	32	63	59
11.4.125	6.65	1.25	45.82	0.84	0.81	0.38	0.08	n.d.	2.87	3 300	4	56	14	1 095	22	43	47	61
11.4.148	4.10	1.07	47.92	0.48	0.66	0.49	0.07	n.d.	2.72	3 600	3	38	22	1 137	13	26	34	55

Tableau XXXIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 19, leg 3. (suite)

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
6.4. 25	6.40	1.76	46.00	0.62	0.78	0.70	0.10	n.d.	1.39	900	50	6	26	29	1 053	10	18	26	26	3
6.4. 65	7.30	2.08	44.42	0.67	0.92	0.86	0.13	n.d.	1.93	1 250	87	5	27	30	732	8	25	42	42	3
6.4.119	15.85	4.42	36.73	1.47	1.08	1.54	0.25	n.d.	2.36	700	74	12	21	36	711	6	18	31	46	2
6.5. 3	9.10	2.68	43.03	0.83	1.15	0.96	0.17	n.d.	1.86	1 250	171	7	37	26	811	15	23	33	42	3
6.5. 38	11.80	3.21	38.13	0.90	0.76	0.99	0.18	n.d.	1.43	800	66	7	20	31	832	8	12	28	37	3
6.5. 82	5.85	1.87	46.87	0.59	0.81	0.70	0.12	n.d.	1.14	600	45	4	19	27	832	7	8	32	29	4
6.5.123	5.50	1.71	46.87	0.55	0.67	0.71	0.10	n.d.	1.07	450	76	4	31	34	895	9	8	36	29	3
6.5.143	6.45	2.03	46.21	0.66	0.81	0.78	0.13	n.d.	1.43	500	71	8	47	30	747	9	21	44	29	3

Tableau XXXIV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 20, leg 3.



LEG 36 - SITE 327 A

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.2. 51	72.05	6.73	1.41	1.41	1.75	2.11	0.45	n.d.	7.22	568	183	18	80	72	179	32	29	177	53	-
2.1. 88	51.55	10.16	2.20	2.75	3.34	3.01	0.33	0.60	11.47	453	240	48	142	51	226	30	64	53	100	-
2.2. 148	51.30	10.45	1.76	2.74	2.80	2.95	0.23	0.58	11.01	1432	446	50	142	49	221	27	84	44	89	-
2.4. 51	52.80	11.63	1.48	3.32	3.12	2.89	0.49	0.71	10.87	974	356	61	84	44	226	14	82	36	63	-
2.5. 97	52.40	11.22	1.53	2.57	3.25	3.18	0.21	1.09	10.12	144	192	50	86	44	242	16	75	51	84	-
5.1. 20	45.05	8.56	12.00	2.12	3.84	1.60	0.33	n.d.	4.22	158	114	44	4	28	411	1	6	34	16	-
5.2. 98	45.45	10.04	8.50	2.63	4.72	1.93	0.38	n.d.	4.25	458	215	88	45	37	332	11	13	49	53	-
5.3. 148	47.20	8.74	10.00	2.25	4.08	1.69	0.31	n.d.	3.86	195	145	88	25	38	363	9	16	41	42	-
5.5. 51	49.05	9.33	8.22	2.07	4.26	1.70	0.40	n.d.	3.43	153	126	108	37	42	326	13	27	46	79	-
5.6. 97	46.60	10.22	9.51	2.16	3.57	1.87	0.47	n.d.	4.22	184	116	115	34	44	347	10	26	53	63	-
6.3. 51	53.05	10.81	5.00	2.35	4.11	1.90	0.33	n.d.	5.33	274	162	97	33	37	263	11	14	33	63	-
6.4. 97	54.95	10.45	4.07	2.17	3.49	1.79	0.56	n.d.	5.15	221	217	99	25	42	242	9	25	35	68	-
6.5. 148	50.90	10.75	6.65	2.51	4.00	1.97	0.45	n.d.	4.43	158	221	109	38	44	279	9	21	37	37	-
7.2. 51	57.60	9.09	1.28	2.29	4.84	1.85	0.53	n.d.	4.65	211	114	99	28	43	153	7	21	37	16	-
8.2. 148	53.50	13.11	0.87	2.35	3.54	2.62	0.73	n.d.	5.97	137	171	88	19	70	168	9	34	34	74	-
8.4. 49	53.35	11.69	0.65	2.90	3.62	2.67	0.65	n.d.	6.04	126	149	58	23	71	526	8	28	33	63	-
8.5. 97	59.90	8.44	0.76	2.16	2.88	2.21	0.50	n.d.	5.61	100	149	45	18	68	153	4	13	25	42	-
9.1. 148	38.35	8.38	0.63	2.79	3.83	2.29	0.55	n.d.	14.73	132	189	76	79	42	179	7	13	32	32	-
9.3. 49	50.35	11.24	0.92	3.09	4.08	1.87	0.58	n.d.	6.58	158	226	92	42	53	174	7	32	29	79	0
9.4. 103	61.75	8.35	0.48	1.87	2.29	1.51	0.43	n.d.	4.93	89	242	37	43	72	95	4	56	19	53	0
9.5. 148	53.70	10.68	0.73	2.79	3.74	2.80	0.72	n.d.	7.51	116	374	62	92	128	168	23	99	32	132	0
10.3. 48	26.30	4.78	31.38	1.25	1.49	0.79	0.22	n.d.	2.62	663	205	24	43	31	916	17	23	49	132	7
11.1. 58	27.80	4.99	28.93	1.43	2.02	0.76	0.23	n.d.	3.19	574	384	33	37	28	874	14	22	40	132	7
11.2. 122	65.30	2.72	12.24	0.63	1.25	0.60	0.10	n.d.	1.36	279	216	14	21	22	363	8	2	32	0	3
12.2. 48	27.00	6.48	26.58	2.01	2.60	0.95	0.22	n.d.	3.86	958	463	39	33	27	847	15	23	62	132	4
12.3. 97	29.20	7.05	23.89	2.24	3.88	0.76	0.35	n.d.	3.05	721	284	84	41	23	816	15	26	41	158	5

Tableau XXXV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 327, leg 36.

LEG 36 - SITE 327 A

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
12.4.115	16.80	3.59	37.50	1.23	1.69	0.45	0.13	n.d.	2.22	2010	247	18	35	22	1079	18	20	53	53	9
14.1.110	43.60	10.92	13.68	2.40	2.09	1.69	0.47	n.d.	4.55	3063	263	37	83	26	263	22	29	55	158	3
14.2.147	55.25	14.15	1.51	3.04	2.87	1.93	0.60	0.34	8.29	1047	321	54	84	27	174	18	43	40	211	0
14.4.48a	56.25	15.10	1.26	2.86	2.97	1.98	0.55	0.43	6.12	1058	358	62	45	26	174	6	25	40	263	0
14.4.48b	55.75	14.38	1.15	2.81	2.97	2.40	0.58	0.58	7.58	895	253	57	58	37	184	17	43	38	211	0
14.5.96	34.15	8.03	21.76	1.81	1.63	1.72	0.32	n.d.	4.50	1410	258	46	42	23	189	17	24	55	79	3
14.6.148	15.80	3.97	37.78	1.24	1.49	0.57	0.15	n.d.	1.22	863	253	25	32	16	216	19	15	53	53	6
15.2.113	35.20	7.48	21.44	1.68	2.13	1.47	0.33	n.d.	3.15	1832	589	34	41	20	458	25	19	47	53	3
16.1.143	35.00	7.01	22.70	1.75	2.09	0.91	0.52	n.d.	2.79	2874	447	33	52	25	432	35	54	48	53	1
16.3.52	33.90	6.59	24.59	1.62	1.62	0.85	0.27	n.d.	2.54	2605	247	26	43	21	437	32	19	42	79	4
16.4.94	31.25	6.69	24.49	1.62	1.72	1.03	0.33	n.d.	4.07	2063	432	15	34	22	489	21	16	40	53	4
16.6.51	34.05	7.29	22.77	1.55	2.02	1.15	0.27	n.d.	3.57	2037	263	17	38	27	505	31	24	35	53	2
18.1.51	26.80	5.27	30.08	1.18	1.49	0.88	0.18	n.d.	2.04	2368	132	16	33	23	542	19	12	46	105	5
18.2.88	31.15	6.67	25.64	2.06	1.75	0.57	0.18	n.d.	2.19	2747	168	43	72	21	458	47	21	45	26	4
18.3.147	39.35	6.25	21.83	1.11	2.46	1.10	0.20	n.d.	1.47	1842	216	15	30	25	526	14	23	129	79	0
18.5.50	31.05	5.61	26.55	1.23	1.52	1.00	0.22	n.d.	2.36	2489	237	17	35	23	505	19	15	39	132	5
18.6.110	27.75	5.78	28.93	1.37	1.36	0.79	0.25	n.d.	2.14	2363	163	21	41	24	505	21	27	43	79	6
19.1.49	36.00	7.03	22.00	1.20	1.69	1.36	0.30	n.d.	2.64	2116	147	20	34	25	453	17	19	42	79	5
19.2.88	39.75	8.69	17.70	2.08	2.02	1.12	0.27	n.d.	3.15	2237	221	48	73	23	411	45	22	32	26	4
20.1.102	39.55	8.62	18.57	1.62	1.79	1.36	0.33	n.d.	3.72	2184	147	28	45	22	453	21	17	40	0	3
20.2.144	39.15	8.48	17.98	1.77	1.75	1.27	0.35	n.d.	3.86	5050	258	33	49	27	368	32	37	26	26	3
21.1.139	25.30	5.37	30.75	1.38	1.25	0.76	0.25	n.d.	1.19	4900	132	16	43	29	521	20	41	46	105	6
21.3.47	33.60	6.44	25.08	1.43	1.37	0.98	0.27	n.d.	2.54	3050	126	25	44	24	405	19	13	45	79	5
21.4.100	37.35	6.73	21.79	1.50	1.72	0.99	0.27	n.d.	2.97	2900	132	26	32	27	342	14	14	44	79	4
22.2.144	69.40	9.37	1.22	1.51	1.89	1.45	0.42	n.d.	2.86	284	489	40	233	35	284	23	95	34	158	0
22.cc	58.35	8.26	7.24	1.32	1.69	1.36	0.47	n.d.	2.93	4800	679	38	324	35	347	43	64	41	184	0



Tableau XXXV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 327, leg 36. (suite)

LEG 36 - SITE 327 A

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
23.1. 85	67.00	9.69	3.53	1.51	1.35	1.72	0.43	n.d.	3.00	626	368	44	292	41	137	37	56	44	158	0
23.2.142	62.95	8.80	1.78	2.18	1.29	1.72	0.40	n.d.	8.34	3000	379	36	221	34	158	42	89	37	79	2
24.1. 59	60.20	6.37	7.98	1.13	1.04	1.25	0.23	0.32	3.36	416	1000	38	89	106	168	5	122	32	353	33
24.2.103	62.55	7.80	5.11	1.47	1.09	1.28	0.32	0.55	3.50	237	921	39	61	89	168	2	115	29	358	35
25.1.113	26.60	3.42	33.20	0.72	0.67	0.78	0.17	0.28	2.12	321	579	15	95	58	295	14	69	55	421	21
25.2.146	12.40	1.96	41.87	0.56	0.47	0.51	0.12	n.d.	1.76	284	147	7	105	23	258	19	16	42	126	5
25.cc	23.80	4.14	28.89	0.70	0.74	1.08	0.22	n.d.	3.69	263	216	12	129	32	274	23	34	45	147	5
26.1. 48	47.90	12.60	7.70	1.29	1.15	2.77	0.50	n.d.	4.76	258	221	40	189	62	195	9	68	37	111	3
26.2.110	58.10	15.00	0.70	1.82	1.29	3.25	0.67	n.d.	5.90	232	279	49	58	95	105	19	39	29	84	1
27.1.103	23.50	5.31	33.93	1.05	0.55	1.20	0.25	0.46	2.26	1774	195	14	68	44	337	14	21	45	47	3
27.2.132	58.15	13.58	0.77	1.93	1.35	3.19	0.58	n.d.	4.86	179	300	41	58	101	137	11	68	39	79	1

Tableau XXXV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 327, leg 36 (suite)

LEG 36 - SITE 328

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
5.1.135	55.70	15.95	1.01	2.22	3.61	1.84	0.72	n.d.	5.90	184	263	32	45	60	132	12	72	34	116	2
5.3.54	56.90	16.04	1.08	2.31	3.24	2.11	0.52	n.d.	5.26	226	279	31	67	67	147	23	48	50	126	2
6.1.51	57.50	15.36	0.91	1.99	2.39	2.15	0.67	n.d.	6.86	295	263	33	31	63	137	9	43	34	111	1
6.2.98	59.40	15.95	0.94	1.89	2.36	1.81	0.38	n.d.	6.72	216	205	32	37	66	132	19	40	37	100	0
6.3.148	57.75	16.17	0.87	1.99	2.36	1.96	0.67	n.d.	6.79	305	253	36	48	71	132	19	85	42	111	0
7.4.129	56.95	15.70	0.94	1.87	2.19	1.96	0.65	n.d.	7.93	374	337	37	366	75	153	143	32	45	105	0
8.1.50	55.70	18.31	0.84	1.58	1.80	2.02	0.88	n.d.	5.83	337	263	47	150	82	153	87	67	53	137	0
8.2.102	57.50	15.89	1.05	1.63	1.31	1.81	0.75	n.d.	6.79	737	268	33	42	74	168	19	60	39	121	0
9.1.15	58.70	16.42	0.63	1.76	1.60	2.05	0.75	n.d.	7.22	368	226	35	41	73	168	21	58	58	105	1
9.2.52	58.70	16.85	0.59	1.66	1.95	2.02	0.73	n.d.	7.15	389	268	40	52	81	168	23	78	63	142	3
9.4.6	58.20	17.12	0.52	1.87	1.82	2.08	0.88	n.d.	7.12	568	211	36	51	75	153	21	87	34	142	1
9.5.51	58.85	16.78	0.94	1.75	1.83	2.20	0.73	n.d.	7.01	453	247	36	61	72	160	25	67	34	142	0
9.6.101	58.55	15.23	0.66	1.66	1.72	2.02	0.63	n.d.	9.29	647	200	32	49	67	158	25	46	29	105	1
10.6.118	59.30	16.53	0.94	1.72	2.06	2.11	0.63	n.d.	5.36	368	195	42	55	70	195	32	52	26	132	0
11.1.79	68.10	12.28	0.63	1.42	1.63	1.51	0.58	n.d.	4.93	447	179	31	33	55	179	11	37	26	95	0
11.3.82	65.20	13.75	0.84	1.63	1.63	1.80	0.63	n.d.	5.36	337	168	36	39	62	184	11	45	34	111	0
11.4.138	61.00	12.47	0.98	1.67	1.60	1.79	0.58	n.d.	7.69	4200	184	30	41	43	189	12	30	32	132	1
11.6.47	65.70	13.94	0.80	1.60	1.62	1.81	0.63	n.d.	5.22	300	137	36	34	48	189	14	37	87	116	1
12.1.10	68.60	11.81	0.63	1.40	1.33	1.70	0.47	n.d.	5.83	247	126	39	24	53	174	6	13	26	79	0
12.2.50	60.00	15.85	0.91	1.76	1.55	2.35	0.67	n.d.	6.93	489	153	40	58	67	195	32	44	26	126	0
12.6.111	60.20	16.53	0.66	1.76	1.34	1.63	0.75	n.d.	5.72	326	111	44	32	79	179	14	120	42	158	1

Tableau XXXVI.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 328, leg 36.



LEG 36 - SITE 328 B

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.1. 98	65.20	11.64	1.71	1.75	3.96	2.08	0.58	n.d.	4.93	2063	105	28	45	41	184	17	84	34	79	1
1.2.142	67.15	10.45	1.47	1.63	3.54	1.93	0.52	n.d.	5.00	2400	126	25	58	42	163	12	88	29	84	1
1.4. 49	66.55	10.13	1.40	1.51	3.50	1.93	0.45	n.d.	4.55	3500	105	25	53	39	158	20	93	24	79	1
1.5. 99	60.40	12.68	1.75	1.99	4.01	2.35	0.63	n.d.	6.08	374	142	31	28	46	205	7	76	21	111	1
2.1. 0	59.25	13.40	1.43	2.25	3.96	2.05	0.65	n.d.	6.29	1663	247	45	48	41	184	19	129	32	105	1
2.2. 49	58.60	13.94	1.64	2.30	3.71	2.23	0.75	n.d.	6.43	2800	168	47	116	46	195	26	179	26	105	1
2.3. 96	57.35	14.08	1.57	2.40	3.65	2.33	0.75	n.d.	6.79	3000	168	49	113	44	200	25	211	32	105	1
2.4.148	57.05	15.13	1.36	2.69	2.74	2.36	0.63	n.d.	7.36	3750	195	70	189	45	211	37	311	39	111	2
2.6. 50	56.50	14.89	1.47	2.90	3.27	2.33	0.68	n.d.	7.01	1750	216	76	84	41	195	27	236	37	100	1
3.1. 94	54.85	13.94	1.47	2.85	4.15	1.99	0.73	n.d.	6.48	1526	347	56	63	41	179	18	111	41	97	0
3.2.148	54.95	13.11	1.40	2.90	4.21	1.93	0.67	n.d.	6.41	2374	258	54	91	38	189	20	105	42	97	0
3.4. 50	57.90	13.11	1.33	2.55	3.57	2.05	0.73	n.d.	6.55	2589	263	54	95	38	184	21	159	25	108	0
3.5. 97	61.10	12.51	1.22	1.95	2.93	2.05	0.67	n.d.	6.29	2295	221	43	82	38	168	22	121	22	111	0
4.1. 51	57.70	13.00	1.01	2.30	3.88	2.47	0.67	n.d.	6.43	1016	258	47	57	62	168	16	67	21	116	0
4.2.100	59.15	14.28	0.73	2.15	2.76	2.56	0.68	n.d.	6.55	4550	247	51	113	58	168	28	65	35	126	0
4.3.148	58.50	14.06	0.59	2.15	2.93	2.83	0.55	n.d.	6.43	5850	289	48	128	53	163	40	61	35	129	0
4.5. 47	62.80	12.39	0.56	2.00	2.93	2.23	0.60	n.d.	5.72	3737	232	53	79	55	137	16	54	26	103	0
5.1. 51	55.90	15.21	0.63	2.65	2.95	2.23	0.63	n.d.	6.98	4450	295	68	81	47	184	28	39	32	111	0
5.2. 97	54.50	14.89	0.63	2.75	2.95	2.47	0.68	n.d.	7.33	4900	295	68	95	46	168	35	44	39	116	0
5.3.148	53.20	14.89	0.49	3.05	3.57	2.71	0.72	n.d.	7.08	2274	337	75	71	52	158	31	45	37	108	0
5.5. 48	53.00	15.89	0.52	2.80	2.96	2.53	0.77	n.d.	7.72	3395	511	64	69	53	168	31	30	36	116	0
5.6. 94	54.00	15.70	0.49	2.95	2.96	2.11	0.58	n.d.	7.55	3650	295	85	71	57	158	26	44	40	116	0
6.1.148	51.85	16.53	0.49	2.70	2.93	2.02	0.72	n.d.	8.01	2316	300	81	73	63	142	29	46	40	132	0
6.3. 51	51.50	17.95	0.42	2.50	2.63	2.23	0.75	n.d.	8.58	2310	263	79	77	68	126	24	47	53	155	0
6.4. 97	52.71	17.95	0.66	2.50	2.46	2.27	0.75	n.d.	8.55	1280	305	89	73	78	116	15	44	46	139	0
6.5.148	51.15	17.68	0.42	2.50	2.75	2.35	0.77	n.d.	8.36	3068	411	85	92	76	126	49	44	48	150	0

Tableau XXXVI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 328, leg 36 (suite)

LEG 36 - SITE 328 B

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
6.cc	50.90	17.63	0.56	2.45	2.91	2.26	0.68	n.d.	8.69	3579	347	83	79	64	132	32	49	60	158	0
7.1. 50	60.20	15.59	0.98	1.80	1.72	2.12	0.88	n.d.	5.93	442	368	43	143	77	174	184	66	76	145	0
7.2. 98	60.90	14.06	0.94	1.65	1.48	2.23	0.73	n.d.	9.22	537	232	34	41	70	163	21	21	39	97	0
7.3.148	60.35	14.64	0.91	1.95	1.79	2.59	0.92	n.d.	7.55	526	237	35	59	77	195	39	28	41	142	0
7.5. 46	62.30	15.23	0.91	1.75	1.58	2.35	0.75	n.d.	5.22	458	421	36	51	73	174	34	101	49	150	0
7.6.101	61.25	14.17	0.84	1.60	1.48	1.99	0.68	n.d.	8.86	611	211	42	51	63	163	27	18	47	92	0
8.cc	58.50	15.46	0.77	1.60	1.60	2.28	0.72	n.d.	9.05	526	284	39	62	74	153	37	14	42	126	0

Tableau XXXVI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 328, leg 36 (suite)

LEG 36 - SITE 329

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
20.4.148	37.40	2.34	26.34	0.60	2.02	0.54	0.08	n.d.	0.97	137	253	8	5	21	958	0	15	11	21	1
20.6. 46	45.85	2.27	21.13	0.70	2.90	0.48	0.10	n.d.	1.07	89	289	10	4	21	811	0	11	13	16	0
21.3. 50	59.65	4.02	9.76	0.90	2.94	0.81	0.23	n.d.	1.57	111	189	18	0	24	495	0	21	11	32	0
22.3. 55	67.40	5.01	4.27	1.05	2.93	1.05	0.25	n.d.	2.07	126	195	25	6	24	300	0	23	7	39	0
23.2.102	24.10	3.08	31.83	1.10	1.49	0.63	0.15	n.d.	1.33	137	153	13	10	25	1410	2	18	20	32	1
25.cc	43.40	3.89	20.57	0.85	1.92	0.78	0.18	n.d.	1.76	126	295	18	9	26	947	0	22	11	37	0
26.3.104	69.95	3.67	1.47	0.90	3.88	0.78	0.15	n.d.	1.62	84	147	19	0	19	211	0	15	0	29	0
31.cc	28.95	3.19	30.05	0.75	0.66	0.73	0.13	n.d.	1.64	342	163	16	12	25	895	2	0	11	18	0
33.1. 97	8.70	2.32	40.61	0.75	0.65	0.43	0.08	n.d.	1.07	316	174	12	15	19	910	5	9	17	8	2
33.2.148	11.90	2.32	36.03	0.75	0.68	0.43	0.05	n.d.	1.12	374	211	10	12	22	979	4	3	22	11	2
33.4. 98	12.35	3.59	33.93	1.05	0.92	0.41	0.17	n.d.	1.40	295	305	15	14	23	963	6	7	13	45	2

Tableau XXXVII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 329, leg 36.



LEG 36 - SITE 330

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.1.46	26.90	6.22	31.47	1.25	1.48	1.99	0.22	n.d.	2.97	1968	174	29	36	26	332	15	16	33	21	0
1.2.103	33.35	7.77	24.99	1.55	1.80	2.20	0.18	n.d.	3.22	1610	253	36	35	26	337	11	28	33	26	0
1.3.148	30.75	6.92	26.84	1.50	2.29	2.21	0.25	n.d.	2.64	1568	332	28	26	26	316	9	19	32	21	1
1.5.47	22.80	5.35	35.17	1.20	1.15	1.61	0.15	n.d.	2.19	2168	263	23	25	25	300	11	13	28	18	0
1.6.96	28.50	6.25	30.54	1.35	1.48	1.91	0.23	n.d.	2.86	2221	268	26	29	26	300	11	12	36	21	0
2.2.139	43.75	10.04	15.04	2.47	2.63	1.69	0.41	n.d.	3.50	2684	243	79	49	31	316	21	6	55	32	5
3.2.86	4.45	0.83	48.45	0.75	0.04	0.12	0.03	n.d.	1.43	9250	491	4	23	19	437	9	15	42	158	20
4.2.142	58.80	14.60	0.42	1.91	0.91	3.70	0.52	n.d.	5.33	379	268	56	23	97	105	4	14	27	132	1
5.2.77	53.50	14.64	1.82	1.79	0.91	2.86	0.52	n.d.	5.65	247	531	50	90	74	142	2	29	31	426	5
5.3.117	50.50	14.05	4.79	1.62	0.81	3.25	0.48	n.d.	5.26	232	394	44	83	61	158	1	26	38	374	4
6.1.48	54.65	14.64	2.94	1.81	0.88	3.61	0.49	n.d.	5.33	237	375	50	80	74	126	2	25	33	311	3
6.2.95	53.75	14.29	3.04	1.76	0.91	3.37	0.48	n.d.	5.43	221	578	47	105	75	158	5	37	35	458	5
6.4.52	54.25	14.50	3.64	1.78	0.94	2.86	0.48	n.d.	5.12	226	660	47	87	67	179	2	22	54	347	6
6.5.102	53.10	14.42	3.50	1.81	0.84	3.40	0.46	n.d.	5.65	232	555	45	83	75	168	2	24	37	516	5
6.6.141	52.80	14.32	3.15	1.80	1.11	3.31	0.43	n.d.	5.86	232	595	49	97	79	137	4	36	35	500	5
7.2.51	54.75	14.81	2.03	1.83	1.01	3.25	0.54	n.d.	6.58	258	572	53	93	83	132	4	27	34	389	3
7.3.94	53.60	14.61	2.52	1.72	1.11	3.37	0.56	n.d.	5.76	237	634	53	91	91	142	3	25	32	553	6
7.4.145	52.80	14.69	2.34	1.79	1.11	3.28	0.48	n.d.	6.43	221	352	58	85	79	126	5	23	31	442	3
7.6.46	47.80	13.11	6.96	1.61	0.88	3.10	0.48	n.d.	5.62	237	442	44	86	74	174	1	28	35	416	5
8.1.91	51.05	14.15	3.71	1.76	1.08	3.25	0.48	n.d.	5.86	221	498	52	80	75	158	5	31	34	421	4
8.3.55	55.60	14.64	1.96	1.90	1.08	3.10	0.35	n.d.	5.26	226	337	51	51	113	158	2	26	32	421	3
8.4.104	57.05	15.08	0.35	1.91	1.08	3.30	0.50	n.d.	5.12	200	263	48	19	126	142	0	26	33	211	0
9.1.109	56.75	14.86	0.73	1.91	1.18	3.19	0.54	n.d.	5.72	195	277	47	16	111	179	0	22	32	158	0
9.2.139	57.40	15.53	0.28	1.94	1.01	3.19	0.52	n.d.	6.19	232	302	54	16	102	153	2	21	36	158	0
10.1.103	57.35	15.48	0.35	2.03	1.42	2.71	0.52	n.d.	5.93	211	287	46	100	118	179	0	31	35	189	0
10.2.147	58.50	15.46	0.17	2.01	1.25	2.89	0.55	n.d.	6.76	200	361	56	27	111	153	3	19	34	142	2

Tableau XXXVIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 330, leg 36.

LEG 36 - SITE 330

Echant.	SiO ₂ : %	Al ₂ O ₃ : %	CaO : %	MgO : %	Na ₂ O : %	K ₂ O : %	TiO ₂ : %	P ₂ O ₅ : %	Fe ₂ O ₃ : %	Mn : ppm	Zn : ppm	Li : ppm	Ni : ppm	Cr : ppm	Sr : ppm	Co : ppm	Cu : ppm	Pb : ppm	V : ppm	Cd : ppm
11-1. 64	53.95	16.89	1.33	1.29	1.04	2.80	0.63	0.56	6.22	284	322	89	21	104	179	8	20	40	168	1
11-2. 96	56.65	16.73	0.35	1.26	0.98	2.98	0.69	n.d.	6.79	258	323	96	18	113	100	11	22	33	126	1
11-4. 7	58.40	16.70	0.21	1.33	1.01	3.13	0.73	n.d.	5.76	247	357	91	16	108	111	6	19	33	111	0
11-5. 47	59.45	15.41	0.31	1.21	0.94	3.07	0.65	n.d.	6.22	221	262	82	11	105	105	5	17	111	89	0
11-6.101	58.00	16.64	0.31	1.15	0.88	2.98	0.74	n.d.	5.72	237	376	94	15	113	95	5	20	39	105	0
12-1.147	57.85	16.95	0.35	1.37	1.15	3.13	0.71	n.d.	5.98	258	273	101	21	100	95	7	26	36	89	0
12-3. 52	58.10	15.93	0.35	1.24	0.91	3.16	0.69	n.d.	6.33	237	267	91	11	104	105	11	23	32	142	0
12-4.103	57.55	15.46	0.31	1.16	0.91	2.74	0.65	n.d.	6.36	295	248	93	15	113	105	6	24	34	126	0
12-6. 54	59.80	15.35	0.28	1.32	0.88	3.04	0.75	n.d.	5.83	289	207	87	15	104	116	10	23	33	121	0
13-1. 97	59.15	14.24	0.56	1.32	1.01	2.74	0.69	n.d.	6.22	374	447	80	11	93	126	6	17	34	95	0
13-2.146	64.90	13.18	0.49	0.99	1.21	2.71	0.71	n.d.	4.65	216	232	63	10	111	105	8	7	44	95	0
13-4. 46	62.60	13.93	0.31	0.99	0.98	2.92	0.79	n.d.	6.55	221	167	54	5	94	89	7	3	31	95	0
14-1. 98	61.70	13.93	0.66	0.88	0.88	3.16	0.82	n.d.	7.83	626	192	52	0	103	95	9	0	32	121	0
14-2.133	58.35	15.69	0.63	0.99	1.04	3.07	0.85	n.d.	7.72	484	188	71	6	113	95	12	5	32	116	0
14-4. 52	55.85	16.79	0.52	1.00	0.91	2.92	0.79	n.d.	8.48	289	209	79	5	118	105	7	11	27	121	0
15-2. 35	75.30	8.08	0.24	0.36	0.74	1.84	0.35	n.d.	1.93	74	105	19	0	39	121	0	0	46	5	0
15.cc	70.95	15.21	0	0.41	0.30	2.86	0.36	n.d.	2.07	32	205	52	0	55	47	0	9	41	21	0
16-1. 31	79.70	7.91	1.01	0.61	0.67	2.20	0.63	n.d.	3.57	111	191	30	0	79	79	0	232	101	42	0

Tableau XXXVIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 330, leg 36 (suite)



LEG 36 - SITE 330 A

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.1. 34	57.05	6.73	4.76	1.97	2.76	1.63	0.15	3.36	10.12	20450	451	34	850	45	511	158	511	121	74	2
1.2.133	61.45	7.66	2.83	2.17	2.66	0.87	0.21	0.47	5.36	4700	300	39	134	37	221	10	55	21	42	0
1.3. 98	62.30	8.21	2.31	2.18	4.72	1.87	0.37	0.71	4.97	6550	368	82	282	53	200	34	157	47	105	1

Tableau XXXVIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 330, leg 36 (suite)

LEG 36 - SITE 331

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.1. 96	58.90	14.99	2.13	2.28	4.15	2.83	0.78	n.d.	6.08	468	253	56	10	55	200	9	35	35	132	1
1.2.142	59.60	14.23	2.10	2.28	3.98	2.80	0.74	n.d.	5.86	426	189	58	4	54	195	7	88	32	126	1
1.4. 51	58.60	14.17	1.82	2.34	4.01	2.83	0.60	n.d.	6.58	447	232	57	11	55	184	9	45	31	126	1
1.5. 98	61.60	13.64	2.31	1.88	3.94	2.44	0.70	n.d.	5.50	468	179	48	0	48	211	3	26	26	105	1
1.6.142	60.60	13.99	2.27	2.10	3.94	2.65	0.76	n.d.	5.86	463	358	55	3	53	211	9	23	34	121	3

Tableau XXXIX .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 331, leg 36.

Echant.	SiO ₂ :	Al ₂ O ₃ :	CaO :	MgO :	Na ₂ O :	K ₂ O :	TiO ₂ :	P ₂ O ₅ :	Fe ₂ O ₃ :	Mn :	Zn :	Li :	Ni :	Cr :	Sr :	Co :	Cu :	Pb :	V :	Cd
:	% :	% :	% :	% :	% :	% :	% :	% :	% :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :
19.1.140	: 5.50:	1.57:47.22:	0.39:	0.57:	0.70:	0.10:	n.d.:	1.75:2	300:	137:	5:	27:	27:	737:	18:	13:	32:	48:	2	
19.2. 40	: 7.80:	2.28:44.77:	0.53:	0.77:	0.99:	0.17:	n.d.:	2.07:3	500:	258:	7:	39:	35:	674:	26:	15:	39:	47:	2	
19.2. 87	: 3.60:	1.06:47.34:	0.44:	0.40:	0.45:	- :	n.d.:	1.07:	753:	421:	3:	11:	17:	353:	5:	4:	38:	17:	2	
19.3. 46	:17.90:	4.72:33.48:	1.13:	1.01:	1.60:	0.30:	n.d.:	4.11:7	800:	658:	14:	77:	30:	589:	47:	39:	49:	75:	1	
19.3.138	:16.90:	4.37:34.69:	1.05:	0.91:	1.51:	0.27:	n.d.:	3.57:5	550:	516:	13:	52:	16:	574:	35:	25:	58:	67:	3	
20.1.120	: 8.95:	2.31:40.51:	0.63:	0.59:	0.92:	0.15:	n.d.:	2.43:4	350:	279:	7:	42:	13:	716:	24:	28:	47:	42:	2	
20.2. 50	: 7.05:	1.74:45.20:	0.49:	0.58:	0.72:	0.12:	n.d.:	1.82:3	700:	326:	5:	39:	18:	763:	21:	21:	59:	24:	2	
20.2.138	: 8.45:	2.09:43.12:	0.63:	0.66:	0.81:	0.15:	n.d.:	1.68:2	750:	568:	7:	26:	14:	789:	17:	16:	53:	20:	1	
21.1. 10	:25.60:	5.69:23.44:	1.74:	1.15:	2.23:	0.42:	n.d.:	9.08:2.55%	500:	20:	179:	24:	1 005:	66:	141:	71:	189:	1		
21.1. 50	:17.30:	3.90:36.02:	1.19:	0.74:	1.51:	0.25:	n.d.:	3.75:7	700:	300:	14:	62:	9:	774:	32:	27:	63:	63:	2	

Tableau XL .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 355, leg 39.



LEG 39 - SITE 356

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A 1.3. 95	32.90	7.78	25.36	1.47	2.45	1.60	0.53	ε	3.26	542	43	9	47	853	9	19	32	55
A 2.3. 95	27.95	5.31	30.82	1.12	2.34	1.61	0.40	n.d.	2.39	647	26	14	43	1084	10	17	32	42
2.3. 95	5.30	1.95	45.89	0.35	1.18	0.30	0.11	n.d.	2.62	400	11	26		1189	13	19	37	21
3.2.138	24.00	5.52	29.87	1.26	2.46	1.36	0.44	ε	2.66	616	39	23	41	905	12	12	32	44
4.3. 95	29.45	6.31	25.15	1.34	2.45	1.57	0.48	n.d.	3.12	558	36	14	47	984	11	16	37	53
5.2. 99	34.05	6.69	22.74	1.29	3.24	1.57	0.45	n.d.	3.05	526	37	15	40	811	11	19	26	55
5.6. 95	40.40	9.47	17.66	1.37	2.68	1.72	0.55	n.d.	4.00	511	53	20	53	737	15	16	32	61
6.3. 95	41.05	7.97	17.11	1.60	2.54	1.72	0.40	n.d.	3.90	747	28	22	50	621	11	17	26	55
7.3. 95	49.00	7.41	12.59	1.62	1.55	1.96	0.63	ε	4.55	432	34	27	61	558	9	18	32	63
8.2. 50	40.95	7.56	18.22	1.70	1.56	1.90	0.57	n.d.	4.62	842	27	37	65	637	12	22	32	67
9.2. 56	41.60	7.27	19.59	1.49	1.97	1.42	0.57	n.d.	4.00	674	24	26	51	689	12	14	32	57
10.2. 55	38.70	8.50	19.17	1.62	1.96	1.81	0.58	n.d.	4.43	784	24	36	63	632	13	12	26	55
10.3. 87	40.60	9.18	18.50	1.70	1.99	1.90	0.65	n.d.	4.55	1 100	29	85	64	689	33	41	32	109
11.2. 95	51.15	8.75	11.89	1.43	1.80	1.72	0.57	n.d.	4.29	900	20	21	79	547	6	14	21	72
12.2. 96	55.95	8.28	11.19	1.45	1.72	1.60	0.57	n.d.	3.90	700	17	23	74	511	7	40	21	76
13.2. 98	54.45	7.52	12.66	1.30	1.60	1.33	0.46	n.d.	3.93	884	16	27	61	474	8	12	21	59
14.1. 96	53.65	6.67	14.90	1.14	1.48	1.17	0.36	n.d.	3.17	1 042	18	19	57	511	7	13	21	57
15.2. 91	57.00	6.80	11.54	1.20	1.60	1.33	0.42	ε	3.30	942	20	33	58	495	7	24	21	69
16.2. 94	47.60	8.01	14.62	1.48	1.83	1.46	0.49	n.d.	3.72	1 250	21	47	78	526	16	55	26	74
17.3. 95	52.95	10.77	8.50	1.86	2.19	2.26	0.83	n.d.	5.26	484	26	55	71	484	18	41	32	93
18.3. 95	43.65	10.09	14.55	1.75	1.99	2.29	0.77	n.d.	4.76	1 500	27	25	67	695	13	25	16	86
19.3. 95	46.95	10.86	12.14	1.91	1.99	2.48	0.78	ε	5.00	895	33	34	69	574	15	37	16	91
20.2. 93	41.45	9.65	16.37	1.61	1.99	2.29	0.71	n.d.	4.33	847	30	37	65	789	15	39	21	91
21.3. 97	40.40	9.92	17.35	1.63	2.09	2.05	0.74	n.d.	4.29	753	24	42	70	737	16	38	21	93
22.3. 95	35.25	7.26	23.89	1.24	1.52	1.60	0.53	n.d.	3.50	1 426	19	28	52	879	13	23	26	61
23.3. 95	35.35	8.01	23.79	1.48	1.56	1.87	0.58	n.d.	4.86	1 211	25	36	62	821	12	11	26	57
24.2. 94	25.80	6.71	32.88	1.36	1.26	1.48	0.45	n.d.	3.36	1 337	20	32	51	953	14	18	32	53
24.5. 95	39.30	7.61	27.00	1.32	1.40	1.69	0.49	n.d.	4.50	1 158	28	35	48	811	15	11	32	51
25.3. 95	24.30	6.84	31.45	1.33	1.15	1.57	0.45	n.d.	3.57	1 621	23	38	45	853	17	9	32	57
26.3. 97	31.40	8.75	22.46	1.41	1.18	1.99	0.48	n.d.	4.69	1 074	29	40	41	800	19	14	21	58
27.3. 94	30.10	8.28	24.14	1.28	1.17	1.81	0.35	n.d.	4.15	1 137	31	37	43	700	20	13	21	53
28.3. 95	32.50	9.03	21.72	1.33	1.15	2.06	0.48	n.d.	4.72	1 147	36	37	50	705	17	7	21	63
29.3. 93	18.05	4.76	35.85	0.82	0.69	1.33	0.23	n.d.	2.14	2 650	16	26	26	900	19	7	21	42
30.3. 95	20.05	5.27	33.44	0.88	0.78	1.49	0.37	n.d.	2.40	1 216	17	13	29	895	15	14	16	63

Tableau XLI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 356, leg 39.

LEG 39 - SITE 356

Echant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
31.3. 97	30.60	7.33	26.20	1.16	1.01	2.05	0.32	n.d.	3.22	937	24	16	33	674	17	27	21	53
32.3. 96	28.90	7.44	25.68	1.24	1.11	2.05	0.47	n.d.	3.26	1 074	24	19	39	695	12	35	42	74
33.3. 96	34.25	8.20	21.13	1.40	1.11	2.47	0.57	n.d.	4.19	874	24	18	48	637	10	18	26	74
34.3. 96	40.55	8.94	19.03	1.60	1.31	2.44	0.42	n.d.	4.40	758	30	27	46	563	12	20	21	89
35.3. 94	42.80	8.33	16.34	1.58	1.25	2.59	0.65	n.d.	3.93	747	33	19	51	658	9	22	16	84
36.3. 98	34.00	7.05	23.58	1.45	1.08	2.15	0.50	n.d.	3.57	974	26	36	53	679	14	22	26	74
37.3. 92	32.20	6.84	24.52	1.51	0.94	2.20	0.67	n.d.	3.83	1 316	25	26	47	642	14	22	21	79
38.2. 96	29.95	6.71	24.59	1.65	0.91	2.37	0.58	n.d.	4.00	1 436	23	37	45	647	19	28	21	74
39.2.110	28.70	5.72	33.72	1.67	0.78	1.87	0.58	n.d.	4.07	1 584	19	13	38	663	12	22	32	74
40.1.121	57.30	12.62	1.47	2.88	1.48	4.04	1.13	n.d.	8.36	511	39	100	82	305	34	28	21	132
40.3. 98	57.85	10.45	4.44	2.16	1.55	3.04	0.85	n.d.	7.15	316	29	44	65	463	16	17	32	105
41.2. 34	63.15	12.39	0.84	2.11	1.56	3.39	1.07	n.d.	5.33	337	49	34	85	295	13	38	21	126
41.5. 93	32.45	6.03	25.50	1.17	0.95	1.82	0.65	n.d.	2.83	1 126	24	6	40	358	11	22	21	79
42.3. 92	31.65	6.01	26.79	1.20	0.92	1.81	0.63	n.d.	3.07	1 168	21	19	39	363	18	28	32	84
43.3. 94	27.90	4.69	29.80	1.02	0.74	1.36	0.43	n.d.	2.26	1 000	19	11	33	374	14	39	26	68
44.3. 92	38.00	6.78	21.06	1.47	1.11	2.02	0.52	n.d.	3.76	842	32	18	38	379	17	61	21	105

Tableau XLI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 356, leg 39 (suite)



Leg 39 Site 357

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.3.95	2.20	0.83	48.52	0.27	0.96	0.24	0.24	n.d.	0.49	358	4	23	8	1289	13	14	21	11
2.3.97	1.25	0.59	54.11	0.23	0.88	0.17	0.13	n.d.	0.30	247	3	24	11	1210	13	12	26	11
3.3.97	1.70	0.70	52.26	0.23	0.81	0.19	0.13	n.d.	0.33	258	3	26	12	1116	14	10	26	11
4.3.93	2.10	1.34	47.36	0.34	1.08	0.42	0.23	n.d.	0.60	258	6	23	11	1089	13	8	21	16
5.3.95	7.35	2.49	44.07	0.46	1.04	0.64	0.30	n.d.	1.02	384	11	26	13	1137	14	11	16	16
6.3.95	4.85	1.76	46.87	0.37	0.94	0.45	0.23	n.d.	0.79	163	8	23	11	1332	12	13	16	11
7.3.95	9.05	2.82	41.28	0.61	1.21	0.69	0.35	n.d.	1.14	237	26	31	15	1400	13	17	16	11
8.3.95	4.50	1.42	46.87	0.32	0.95	0.42	0.22	n.d.	0.60	242	13	23	12	1526	11	8	16	11
9.3.94	1.25	0.40	49.29	0.15	0.74	0.13	0.08	n.d.	0.21	274	5	28	12	1568	13	11	21	5
10.3.95	3.00	0.87	47.64	0.24	0.94	0.24	0.13	n.d.	0.39	242	10	21	8	1563	13	10	21	16
11.2.92	4.85	1.25	47.92	0.24	0.99	0.36	0.15	n.d.	0.51	200	11	18	10	1584	11	11	21	16
12.3.85	4.55	1.15	47.36	0.20	0.94	0.32	0.18	n.d.	0.46	305	11	19	13	1416	11	5	21	11
13.3.121	9.85	2.40	42.82	0.35	1.28	0.69	0.30	n.d.	0.79	284	19	24	17	1379	10	14	21	21
14.2.94	12.10	3.29	40.51	0.47	1.18	0.84	0.43	n.d.	1.26	337	26	24	18	1442	11	17	21	32
15.2.87	11.55	3.10	41.56	0.46	1.18	0.81	0.32	n.d.	1.14	347	23	23	17	1463	12	16	21	26
16.2.93	9.35	2.57	41.84	0.39	1.02	0.66	0.30	n.d.	0.92	226	20	20	16	1558	10	12	21	16
17.3.91	9.55	2.83	40.93	0.42	0.98	0.69	0.38	n.d.	1.06	258	22	23	18	1526	12	11	21	21
18.3.96	7.00	1.81	44.07	0.29	0.88	0.51	0.25	n.d.	0.76	221	13	25	17	1610	14	9	21	16
19.2.85	8.15	1.83	42.40	0.29	0.94	0.54	0.30	n.d.	0.83	211	9	31	16	1589	13	13	21	16
20.2.93	7.95	2.17	45.33	0.56	0.98	0.66	0.18	n.d.	1.14	379	11	21	32	1337	8	8	34	13
21.2.93	9.05	2.15	43.69	0.56	1.01	0.65	0.30	n.d.	1.32	368	11	32	42	1258	12	11	29	21
22.3.95	9.00	2.40	43.97	0.69	0.94	0.49	0.53	n.d.	1.80	405	17	29	49	1242	11	14	45	18
23.3.94	8.35	2.14	44.63	0.67	0.81	0.48	0.48	n.d.	1.62	553	20	27	48	1116	11	9	26	16
24.3.95	9.35	2.44	42.61	0.80	0.94	0.66	0.30	n.d.	1.37	463	22	26	42	1116	10	16	18	18
26.3.98	14.00	2.99	40.93	0.67	0.88	0.57	0.32	n.d.	1.73	474	6	23	39	1074	10	8	18	29
27.3.96	26.55	8.31	29.38	1.02	1.72	1.19	0.08	ε	3.35	553	8	23	36	1042	7	16	16	53
28.3.93	30.70	9.43	24.91	1.52	1.55	0.61	1.10		3.37	426	7	43	40	1074	29	27	24	108
29.2.94	7.85	2.55	44.42	0.48	0.81	0.72	0.17	n.d.	1.19	632	10	29	25	1026	10	15	34	16
30.3.95	7.75	2.61	44.56	0.49	0.81	0.78	0.17	n.d.	1.24	474	8	2	27	726	9	12	32	18
31.3.95	11.20	3.59	41.63	0.58	0.94	1.14	0.23	n.d.	1.84	595	10	23	34	768	9	10	24	29

Tableau XLII - Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 357, leg 39.

LEG 39 Site 357

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
32.3.97	17.65	5.44	36.10	0.95	0.95	1.60	0.40	n.d.	2.39	616	17	22	34	653	9	23	18	32
33.3.97	22.05	6.48	32.71	1.16	1.02	1.96	0.33	n.d.	2.92	689	21	27	42	584	14	9	29	68
34.3.97	19.45	5.48	35.50	0.99	1.00	1.51	0.25	n.d.	2.36	684	18	25	33	726	9	16	16	29
35.3.95	14.30	4.50	39.18	0.74	0.81	1.29	0.32	n.d.	1.89	847	12	28	24	858	11	18	24	32
36.3.95	22.20	4.40	33.30	0.87	0.67	1.79	0.58	n.d.	2.99	647	20	27	47	947	11	12	37	74
37.cc	14.45	4.50	36.73	0.87	0.74	1.26	0.35	n.d.	1.83	721	11	23	36	700	10	12	21	34
39.1.93	25.10	6.63	27.63	2.28	1.00	1.81	0.53	n.d.	3.87	632	14	37	54	584	13	24	37	74
39.cc	26.50	6.86	27.63	2.32	0.66	1.96	0.70	n.d.	3.96	647	15	32	59	584	9	17	37	71
40.3.94	25.25	5.88	31.62	1.17	1.00	1.61	0.55	n.d.	2.99	805	13	32	54	621	11	15	34	55
41.3.96	29.00	6.25	27.77	1.48	1.09	1.69	0.63	n.d.	3.37	884	16	66	55	558	18	32	39	53
42.3.94	39.85	8.58	18.54	2.01	1.35	2.32	1.03	n.d.	5.40	516	22	56	58	479	11	25	32	95
43.3.93	24.50	5.31	32.88	0.97	0.96	1.36	0.45	n.d.	2.64	668	13	51	36	605	13	18	34	53
44.3.92	25.95	6.46	28.23	1.68	1.00	1.80	0.62	n.d.	3.79	568	14	44	51	553	11	18	32	71
45.2.96	21.20	5.01	34.04	0.91	0.81	1.30	0.53	n.d.	2.83	574	9	31	47	589	9	13	39	61
46.3.96	17.50	4.55	37.08	0.87	0.75	1.25	0.35	n.d.	2.50	711	9	29	36	637	8	22	18	42
47.3.97	21.50	5.14	31.45	2.00	0.81	1.34	0.45	n.d.	3.66	721	12	39	44	547	11	19	37	53
48.3.94	23.10	5.08	33.30	1.05	0.81	1.25	0.57	n.d.	2.85	826	12	34	48	621	13	13	45	53
49.3.96	24.90	4.44	32.50	0.88	0.77	1.10	0.45	n.d.	2.47	647	12	28	44	768	11	12	32	45
50.3.94	31.60	3.55	29.77	0.78	0.71	0.93	0.33	n.d.	2.63	763	10	51	39	716	15	13	45	34
51.3.94	32.60	4.36	27.49	0.92	0.81	0.99	0.52	n.d.	2.85	632	14	38	41	721	8	17	29	45

Tableau XLII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 357, leg 39 (suite)



S I T E 360 (Bassin du Cap)

Echantillons:	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
11.c.c.	15.05	3.42	40.75	0.71	0.98	0.84	0.12	n.d.	1.43	170	120	15	55	67	1380	11	16	26	32	
12.c.c.	21.85	4.90	31.27	1.01	1.15	1.17	0.17	n.d.	2.03	250	115	20	50	59	1160	11	28	26	47	
13.c.c.	11.55	2.77	43.73	0.64	0.88	0.68	0.09	n.d.	1.36	230	47	12	76	99	1400	13	13	28	32	
15.c.c.	15.30	3.84	40.25	0.70	1.04	0.87	0.20	n.d.	1.43	160	37	15	42	54	1520	11	17	35	33	
18.c.c.	11.70	3.22	42.74	0.56	0.93	0.75	0.17	n.d.	1.29	180	31	13	51	38	1780	12	15	32	23	
19.c.c.	14.20	3.58	41.65	0.65	0.98	0.87	0.19	n.d.	1.86	220	38	15	36	47	1710	11	18	31	26	
20.c.c.	11.95	2.88	44.56	0.50	0.93	0.71	0.16	n.d.	1.19	220	36	12	32	47	1720	9	14	36	21	
21.c.c.	21.45	6.08	34.30	0.95	0.94	1.55	0.29	n.d.	2.43	290	48	22	26	48	1340	11	12	26	47	
22.c.c.	16.70	4.87	38.85	0.68	0.88	1.10	0.25	n.d.	2.12	290	52	20	31	52	1300	11	12	33	37	
24.c.c.	6.85	1.79	46.03	0.41	0.77	0.44	0.10	n.d.	0.80	230	38	9	41	41	1580	11	12	32	18	
25.1.139	5.30	1.42	46.87	0.36	0.61	0.41	0.13	n.d.	0.71	200		8	30	29	1630	11		26	53	
26.1.140	6.50	1.89	47.36	0.42	0.66	0.46	0.13	n.d.	0.78	205		9	27	25	1360	11		26	53	
26.2.139	12.20	3.78	40.05	0.67	0.64	0.80	0.16	n.d.	1.64	268		17	35	37	1460	12		32	63	
27.2.139	10.95	2.95	43.13	0.56	0.61	0.65	0.16	n.d.	1.27	258		13	22	28	1430	9		32	47	
27.c.c.	10.90	2.89	43.55	0.57	0.67	0.62	0.13	n.d.	1.14	221		13	25	32	1411	9		26	58	
29.2.139	15.40	4.72	37.74	0.78	0.71	1.02	0.23	n.d.	2.00	321		21	39	49	1260	17		32	84	
30.c.c.	8.15	2.24	44.81	0.50	0.67	0.56	0.15	n.d.	1.19	211		10	23	43	1600	9		32	68	
31.1.139	9.00	2.48	43.10	0.51	0.62	0.57	0.15	n.d.	1.30	242		11	28	47	1530	12		32	95	
32.4.139	21.55	5.79	32.78	1.19	0.83	1.25	0.30	n.d.	2.97	316		25	18	66	1260	14		37	95	
33.3.129	31.60	8.33	24.14	1.80	1.13	1.70	0.42	n.d.	3.82	395		39	23	68	1050	14		26	53	
34.c.c.	31.30	7.60	25.17	1.53	1.21	1.67	0.47	n.d.	3.86	280	63	33	39	91	1110	9	24	20	68	
35.c.c.	30.25	6.84	25.90	1.53	1.15	1.61	0.43	n.d.	3.93	280	59	27	38	93	1130	9	18	21	66	
36.c.c.	29.00	6.68	27.41	1.42	1.04	1.54	0.40	n.d.	3.69	430	79	23	61	140	1130	11	27	24	63	
40.c.c.	34.85	6.67	24.05	1.49	1.11	1.46	0.46	n.d.	3.93	470	69	18	84	130	1030	14	24	24	72	
42.c.c.	38.30	8.50	19.88	1.91	1.36	1.88	0.53	n.d.	4.55	510	53	22	99	190	840	17	32	21	82	
44.c.c.	39.35	9.32	18.20	1.96	1.43	1.97	0.58	n.d.	5.72	550	82	24	58	96	880	17	32	26	87	
45.c.c.	34.80	8.14	21.60	1.91	1.18	1.66	0.53	n.d.	5.05	810	71	24	72	59	910	19	26	31	93	
46.c.c.	44.30	10.03	15.05	2.30	1.47	2.15	0.67	n.d.	5.72	470	82	30	36	130	760	13	42	21	105	
48.4.139	43.25	8.97	16.98	1.95	1.31	1.84	0.63	n.d.	4.76	440	102	29	47	108	720	18	47	24	87	
50.c.c.	39.80	8.85	17.85	1.82	1.16	1.93	0.61	n.d.	4.90	460	93	24	42	115	760	16	23	26	92	

Tableau XLIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 360, leg 40.

S I T E 361 (Bassin du Cap)

Echantillons :	SiO ₂ :	Al ₂ O ₃ :	CaO :	MgO :	Na ₂ O :	K ₂ O :	TiO ₂ :	P ₂ O ₅ :	Fe ₂ O ₃ :	Mn :	Zn :	Li :	Ni :	Cr :	Sr :	Co :	Cu :	Pb :	V :
:	% :	% :	% :	% :	% :	% :	% :	% :	% :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :	ppm :
1.c.c.	48.20	10.97	11.65	2.07	2.16	2.26	0.63	n.d.	5.58	910	92	34	59	99	490	13	26	21	53
4.c.c.	57.45	10.50	6.51	2.32	1.72	2.26	1.02	n.d.	5.58	420	61	18	48	110	320	13	2	18	92
5.4.54	51.15	12.05	8.47	4.25	1.53	2.50	0.98	n.d.	10.15	526		19	68	111	330	37		42	158
6.c.c.	55.55	10.62	6.87	2.56	1.79	2.30	0.85	n.d.	6.69	490	67	18	57	145	330	18	2	19	92
9.4.139	54.85	16.99	0.88	2.93	2.16	2.62	0.88	n.d.	9.72	1020	155	70	155	155	155	59	96	19	110
10.5.125	55.75	16.87	0.72	2.80	1.87	3.82	0.88	n.d.	8.44	3500	182	57	100	75	140	47	77	23	84
11.4.116	56.30	15.93	0.76	2.94	1.84	3.52	0.88	n.d.	8.01	1420	175	64	110	84	130	41	66	24	92
13.1.112	59.55	12.63	1.29	1.89	2.17	3.67	0.88	n.d.	6.08	600	720	36	215	175	210	126	52	23	190
14.2.121	59.55	13.70	0.52	4.37	2.02	2.86	0.73	n.d.	10.01	680		37	49	84	160	32		37	142
15.2.53	58.20	12.99	0.49	2.12	2.24	2.63	0.83	n.d.	6.15	640		40	148	124	160	100		37	168
16.1.121	63.15	14.88	0.17	2.23	1.92	2.53	1.15	n.d.	7.04	500		32	59	97	140	29		42	137
17.2.124	59.60	15.29	n.d.	2.46	1.92	2.48	0.90	n.d.	7.40	420		47	53	112	135	29		42	147
19.4.99	55.95	16.71	0.45	2.21	1.62	2.57	0.90	n.d.	8.04	370		60	45	137	150	35		47	179
20.3.130	71.50	11.22	0.14	0.76	2.12	2.18	1.00	n.d.	3.79	300		29	42	73	140	43		47	121
21.3.103	69.45	13.52	0.17	1.14	1.87	2.30	1.01	n.d.	4.22	490		38	42	86	130	15		26	126
22.1.20	68.35	13.17	n.d.	1.07	1.38	2.33	0.80	n.d.	4.93	285		55	33	89	105	18		32	105
23.1.121	63.60	14.53	n.d.	1.24	1.52	2.42	0.70	n.d.	5.86	275		61	49	111	120	38		42	95
23.4.95	72.75	10.57	n.d.	0.69	1.74	2.23	0.65	n.d.	3.65	205		45	27	73	105	18		37	68
24.1.71	75.65	10.86	0.45	0.80	1.65	2.11	0.69	n.d.	3.57	195	92	39	38	120	100	5	7	7	42
25.3.144	70.55	12.74	0.95	1.40	2.02	2.56	0.88	n.d.	3.07	870	131	35	46	110	140	16	26	48	74
27.2.103	72.85	10.27	0.63	1.89	1.48	1.93	0.55	n.d.	3.57	295	560	74	18	50	130	26	70	16	95
28.2.19	39.30	5.08	18.89	0.95	0.49	2.29	0.40	n.d.	2.22	120	880	30	310	72	660	15	340	24	1470
29.3.68	38.20	9.09	7.98	1.05	0.89	2.38	0.36	n.d.	5.43	260		26	23	152	205	17		53	540
30.2.48	64.25	11.57	0.59	0.88	1.06	2.57	0.48	n.d.	4.22	200		32	32	88	105	9		42	126
31.3.76	72.95	6.97	3.85	0.47	0.61	1.51	0.27	n.d.	2.54	260		18	21	62	95	n.d.		31	89
32.1.23	51.00	13.52	n.d.	1.33	1.08	2.86	0.51	n.d.	3.97	175		36	115	147	105	6		47	426
33.3.73	62.45	12.22	1.47	1.04	1.13	2.77	0.47	n.d.	4.43	210		32	70	88	105	6		47	274
34.3.33	53.35	10.04	1.47	0.85	1.01	2.56	0.40	n.d.	5.90	185		28	192	81	105	16		42	168
35.1.138	22.80	4.96	25.82	2.13	0.47	1.19	0.21	n.d.	4.00	740		13	89	74	270	7		42	511
36.1.145	60.15	12.05	0.45	0.87	1.08	2.86	0.51	n.d.	4.54	175		38	37	80	95	10		42	132
37.1.92	22.05	7.14	22.21	2.82	0.51	1.60	0.27	n.d.	7.47	570		21	211	38	275	18		37	253
38.1.90	62.10	12.46	3.85	0.93	1.08	2.94	0.51	n.d.	4.47	180		39	32	76	89	6		37	79
39.2.47	62.00	9.92	0.28	0.71	1.16	2.38	0.40	n.d.	3.93	190		29	26	89	75	5		47	121
40.3.107	69.45	10.16	0.17	0.74	0.91	2.53	0.36	n.d.	3.22	140		28	24	67	80	6		37	147
41.2.30	63.70	10.92	0.42	0.82	1.01	2.57	0.45	n.d.	4.07	170		31	32	79	80	5		31	142
43.4.23	64.90	13.88	n.d.	1.13	0.99	2.91	0.55	n.d.	4.40	170		43	34	81	90	15		42	105
44.3.40	58.60	10.86	n.d.	0.97	0.86	2.50	0.53	n.d.	5.00	160		39	46	94	85	19		58	105
45.1.138	81.05	7.20	0.17	0.58	0.69	1.87	0.27	n.d.	2.29	100		21	9	61	60	3		31	79
47.1.31	77.60	8.03	0.14	0.66	0.83	1.99	0.25	n.d.	2.82	95		23	16	80	53	4		31	105
48.2.141	51.10	15.81	2.10	1.62	0.91	3.16	0.75	n.d.	6.72	240	113	43	87	185	100	13	35	28	280

247



Tableau XLIV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 361, leg 40.

SITE 362 (Ride de Walvis)

Echantillons:	SiO ₂ : %	Al ₂ O ₃ : %	CaO : %	MgO : %	Na ₂ O : %	K ₂ O : %	TiO ₂ : %	P ₂ O ₅ : %	Fe ₂ O ₃ : %	Mn : ppm	Zn : ppm	Li : ppm	Ni : ppm	Cr : ppm	Sr : ppm	Co : ppm	Cu : ppm	Pb : ppm	V : ppm
3.3.139	37.20	5.78	19.08	1.66	2.22	1.42	0.29	n.d.	3.22	170	140	35	62	59	730	9	44	25	42
4.3.139	29.05	6.73	21.00	1.82	2.16	1.63	0.35	n.d.	3.57	170	123	39	68	61	790	9	45	25	42
7.5.129	27.90	5.90	24.15	2.36	1.65	1.48	0.29	n.d.	2.86	165	92	30	46	50	850	12	23	32	42
8.2.139	32.25	7.20	19.88	1.78	2.02	1.72	0.40	n.d.	3.76	195	130	37	57	69	730	11	35	29	47
10.3.139	26.15	4.72	30.29	1.60	1.77	1.29	0.28	n.d.	2.73	120	97	29	45	52	1000	10	37	22	42
11.2.139	29.10	7.14	22.96	1.86	1.85	1.67	0.37	n.d.	3.79	200	120	36	57	70	880	12	38	26	47
14.2.139	28.00	5.07	27.23	1.33	1.68	1.36	0.30	n.d.	2.72	155	135	30	54	54	1070	9	41	23	58
15.5.109	25.60	6.61	28.00	1.58	1.48	1.60	0.35	n.d.	3.07	175	105	38	43	64	1070	11	36	23	66
16.4.139	18.25	4.96	33.93	1.13	1.33	1.08	0.25	n.d.	2.86	116		31	41	73	1350	19		42	79
17.4.139	21.50	5.67	31.31	1.41	1.35	1.17	0.27	n.d.	3.07	147		31	39	77	1200	17		32	53
18.3.139	26.75	6.39	28.23	1.46	1.48	1.49	0.30	n.d.	3.16	168		38	27	75	1100	10	26	26	58
19.4.139	19.85	4.74	34.11	1.09	2.29	2.56	0.27	n.d.	2.39	142		27	23	56	1340	15	21	32	47
20.2.139	17.95	4.84	35.00	1.82	1.18	1.20	0.16	n.d.	2.40	175	89	25	24	34	1230	11	15	27	53
21.4.139	12.40	3.33	39.18	0.88	2.02	1.99	0.22	n.d.	1.80	100		20	26	46	1490	8	21	29	32
23.3.139	12.55	3.17	39.35	0.89	1.13	0.74	0.21	n.d.	1.67	95		19	28	42	1510	8	18	32	32
24.4.139	9.70	2.25	44.43	0.71	1.55	1.36	0.16	n.d.	1.22	80		15	24	39	1540	9	14	29	32
25.5.139	14.40	3.23	39.53	0.86	1.16	0.83	0.21	n.d.	1.73	100		20	28	37	1460	9	17	29	37
26.5.139	34.00	8.28	22.11	1.82	1.42	1.84	0.41	n.d.	4.00	195		44	25	74	930	16	26	32	63
27.4.139	30.00	7.73	26.18	1.78	1.38	1.75	0.31	n.d.	3.62	290	115	40	42	63	1030	15	26	26	71
28.5.139	21.60	5.78	32.03	1.53	1.20	1.42	0.21	n.d.	2.50	220	110	31	28	52	1210	13	22	27	63
30.2.139	16.55	4.48	37.28	1.20	1.10	1.13	0.17	n.d.	2.22	230	85	23	29	35	1490	13	17	360	58
31.3.139	11.70	3.14	41.10	0.89	0.91	0.81	0.19	n.d.	1.62	195		19	24	42	1700	12	16	32	37
32.4.139	28.00	8.26	25.55	1.53	1.13	1.81	0.38	n.d.	3.72	480	100	43	62	56	1180	19	27	26	68
33.6.139	34.20	9.56	18.71	1.92	2.46	4.01	0.45	n.d.	5.25	660		48	71	87	1020	21	33	34	84
34.6.139	21.00	5.55	33.58	1.35	1.03	1.37	0.30	n.d.	3.18	605		31	43	57	1450	22	23	37	53
35.5.139	23.90	9.15	30.87	1.53	0.98	1.63	0.22	n.d.	3.29	1170	89	28	36	50	1200	14	15	26	47
36.2.139	12.60	3.94	40.85	0.85	0.86	0.99	0.19	n.d.	2.40	1300	75	18	32	31	1450	16	15	32	32
37.2.139	18.75	4.91	35.26	1.33	0.91	1.28	0.26	n.d.	3.15	1140		21	27	53	1290	19	12	34	37
38.4.139	16.75	4.63	37.08	1.05	1.70	1.90	0.28	n.d.	2.93	920		24	42	53	1480	15	18	32	42
39.5.139	15.80	3.76	38.48	1.08	1.42	1.69	0.24	n.d.	2.32	1295		19	46	43	1510	13	16	32	37
40.4.139	18.95	4.46	35.33	1.31	2.11	2.80	0.27	n.d.	2.80	1260		23	54	49	1360	21	14	37	37
41.4.148	15.85	3.82	37.08	1.05	0.78	1.08	0.25	n.d.	2.44	1290		24	62	46	1395	10	20	26	47

Tableau XLV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 362, leg 40.

S I T E 362 A (Ride de Walvis)

Echantillons:	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2.3.139	32.30	8.86	22.04	1.82	1.25	2.26	0.43	n.d.	5.36	1325		40	42	83	1080	20	28	29	53
2.4.149	36.35	9.56	18.54	2.07	1.25	2.36	0.52	n.d.	6.79	1320		43	47	90	960	18	22	32	63
3.3.139	25.85	6.61	29.03	1.57	0.91	1.76	0.38	n.d.	4.58	1040		33	34	76	1160	21	15	32	58
3.5.139	28.55	7.56	26.94	1.60	1.82	3.12	0.40	n.d.	4.47	920		31	28	73	1050	18	17	37	58
4.2.90	14.25	3.95	39.90	1.24	0.69	1.05	0.15	n.d.	2.22	900	89	22	33	33	1270	17	15	29	34
5.1.86	6.15	1.77	45.82	0.83	0.40	0.50	0.07	n.d.	1.17	1040	43	9	97	68	670	18	16	37	21
6.5.108	15.70	4.19	37.01	1.12	0.64	1.14	0.18	n.d.	2.46	380	65	19	76	79	1540	16	16	26	55
7.3.90	17.75	4.48	34.28	1.45	0.67	1.20	0.20	n.d.	3.15	550	70	18	92	59	1200	18	19	27	42
8.3.101	15.50	2.95	38.13	1.04	0.61	0.78	0.13	n.d.	1.86	380	51	21	126	46	1300	15	16	28	26
9.4.122	19.20	3.42	37.08	1.34	0.67	0.95	0.28	n.d.	2.47	320		15	23	55	940	10	20	21	32
10.2.119	10.35	1.00	45.30	0.66	1.62	2.45	0.13	n.d.	0.80	225		6	17	29	740	9	8	26	26
11.1.142	4.80	1.36	47.92	0.59	0.20	0.38	0.12	n.d.	0.66	320		5	17	28	810	11	9	26	21

Tableau XLV.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 362, leg 40 (suite)



SITE 363 (Ride de Walvis)

Echantillons:	SiO ₂ : %	Al ₂ O ₃ : %	CaO : %	MgO : %	Na ₂ O : %	K ₂ O : %	TiO ₂ : %	P ₂ O ₅ : %	Fe ₂ O ₃ : %	Mn : ppm	Zn : ppm	Li : ppm	Ni : ppm	Cr : ppm	Sr : ppm	Co : ppm	Cu : ppm	Pb : ppm	V : ppm
1.5.139	9.85	3.07	40.93	0.75	0.98	0.86	0.11	n.d.	1.74	1220	54	12	95	35	1200	19	12	32	26
2.4.129	19.30	5.61	33.30	1.25	1.18	1.45	0.20	n.d.	3.37	1180	115	23	160	44	1030	28	23	26	50
4.3.145	13.15	3.76	38.65	0.95	1.42	1.90	0.27	n.d.	2.61	880		17	39	42	1095	16	17	32	32
7.c.c.	0.25	0.18	50.37	0.58	0.45	0.09	0.01	n.d.	1.72	95	41	1	65	25	730	12	6	37	5
10.5.139	10.85	2.95	40.23	1.16	0.78	0.86	0.13	n.d.	1.94	360	76	11	125	70	1040	18	13	32	26
11.2.139	6.45	1.68	45.82	0.74	0.69	0.56	0.14	n.d.	1.22	260		7	23	28	785	10	13	24	21
12.5.137	5.05	1.34	46.52	0.67	0.56	0.36	0.13	n.d.	0.90	260		6	26	27	825	11	12	34	21
13.4.139	6.15	1.40	45.65	0.73	1.55	1.88	0.14	n.d.	0.92	275		5	22	24	670	12	19	34	21
14.5.139	3.95	1.06	47.29	0.56	0.64	0.35	0.05	n.d.	0.66	230	34	4	67	59	940	14	14	37	10
15.2.129	5.80	1.42	45.02	0.55	0.62	0.50	0.06	n.d.	0.90	450	62	7	98	75	1030	17	10	32	21
18.4.129	4.45	1.06	47.22	0.43	0.44	0.39	0.13	n.d.	0.83	230		4	20	23	840	11	9	29	11
19.4.139	7.30	1.85	46.17	0.64	0.64	0.66	0.19	n.d.	1.29	380		7	27	26	740	13	11	29	16
21.3.125	10.25	2.54	41.80	0.69	0.79	0.75	0.15	n.d.	1.59	610	105	6	49	33	710	16	10	32	29
26.2.77	13.45	2.23	40.75	0.81	1.28	2.08	0.27	n.d.	1.52	750		8	14	27	560	9	5	21	32
28.1.101	17.50	3.48	36.73	1.02	0.62	0.99	0.17	n.d.	2.32	1000	47	9	50	50	600	11	16	32	42
29.3.50	18.30	1.91	40.40	0.69	1.65	2.62	0.27	n.d.	1.32	670		7	17	26	680	12	11	24	32
31.2.112	24.55	5.31	29.56	1.75	0.93	1.57	0.32	n.d.	3.43	570	65	19	81	76	711	16	23	26	63
32.4.77	12.35	2.83	38.65	3.03	0.57	0.81	0.31	n.d.	1.87	490		11	34	27	880	16	17	29	37
34.2.4	8.75	1.77	44.42	0.72	0.44	0.50	0.12	n.d.	1.27	520	32	5	54	58	800	13	5	32	26
35.1.79	11.35	1.53	43.66	0.69	0.34	0.45	0.11	n.d.	0.93	400	27	6	25	22	860	13	13	32	26
37.1.56	14.25	1.81	41.45	1.14	0.34	0.48	0.22	n.d.	1.14	370		6	19	24	830	11	8	26	21
38.2.15	16.30	2.83	39.67	0.96	0.51	0.69	0.18	n.d.	1.70	300	67	8	28	28	630	12	14	26	37
39.3.58	35.15	2.24	31.77	0.61	0.54	0.56	0.23	n.d.	0.86	205	32	6	27	37	500	8	32	30	21

Tableau XLVI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 363, leg 40.

S I T E 364 (Bassin d'Angola)

Echantillons:	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Fe ₂ O ₃ %	Mn ppm	Zn ppm	Li ppm	Ni ppm	Cr ppm	Sr ppm	Co ppm	Cu ppm	Pb ppm	V ppm
1.5.68	42.20	17.70	4.94	2.49	2.53	2.48	0.67	n.d.	6.43	330	160	94	78	155	250	21	52	26	150
4.4.139	47.60	19.95	2.97	2.03	1.84	2.62	0.90	n.d.	7.43	2370		99	103	117	180	44	73	50	200
5.4.139	50.55	18.64	0.88	2.49	1.95	3.01	0.80	n.d.	9.01	4700	590	79	120	140	150	54	64	30	145
6.2.139	60.05	16.28	1.58	1.37	2.66	3.45	0.67	n.d.	4.29	1340	81	43	39	97	260	20	700	27	260
8.2.139	45.15	9.32	13.83	2.84	1.99	2.48	0.59	n.d.	4.55	1130	83	31	58	56	540	18	64	25	75
8.5.139	29.10	5.88	26.66	2.28	1.38	1.57	0.37	n.d.	3.04	950		23	26	46	480	18	49	29	42
9.4.122	21.90	5.38	33.25	1.43	1.04	1.48	0.31	n.d.	2.04	770	60	18	76	76	800	10	18	22	54
10.3.100	27.15	7.55	27.86	1.78	1.15	2.09	0.40	n.d.	3.65	900	75	27	48	39	660	12	19	22	71
10.6.110	35.85	9.22	26.94	3.36	1.42	2.57	0.59	n.d.	5.72	930		36	37	120	375	16	43	32	89
11.4.97	29.10	5.88	25.89	2.13	1.25	1.81	0.40	n.d.	3.25	1440		24	38	52	420	24	18	32	53
13.1.116	34.85	8.61	20.30	2.14	1.48	2.57	0.49	n.d.	4.55	1240	90	27	74	28	400	25	32	44	74
14.4.139	15.60	3.67	38.34	1.02	0.88	1.39	0.30	n.d.	2.06	1020		11	34	29	640	15	20	24	42
15.4.5	16.70	4.02	37.78	1.12	0.91	1.49	0.30	n.d.	1.93	1090		13	33	29	535	13	31	21	195
16.3.139	14.85	3.78	39.66	1.18	0.93	1.19	0.25	n.d.	1.96	980	45	12	48	57	660	11	13	27	33
18.3.88	8.95	2.22	44.17	0.66	0.79	0.72	0.18	n.d.	1.12	530	29	6	29	36	780	12	6	26	21
20.5.116	35.75	8.85	19.39	2.11	1.58	2.64	0.74	n.d.	5.29	630	69	19	49	73	500	17	37	34	96
23.1.139	45.25	9.03	12.52	2.65	1.48	2.44	0.97	n.d.	6.36	820		27	53	78	370	21	52	39	321
24.2.81	48.45	9.68	1.12	2.28	1.68	2.56	0.84	n.d.	9.76	370	750	34	240	160	215	65	160	19	480
25.4.53	52.05	6.61	13.13	1.76	1.35	1.75	0.58	n.d.	4.48	2650	55	29	33	44	300	9	34	21	74
28.3.138	24.40	5.31	30.50	1.50	1.13	1.75	0.39	n.d.	1.97	1020		20	7	29	445	17	363	34	42
33.2.80	20.75	3.56	33.95	1.14	0.83	1.33	0.30	n.d.	3.26	840	55	13	33	48	550	9	28	21	45
34.4.42	14.75	3.38	38.48	1.14	0.75	1.05	0.23	n.d.	2.27	940		11	25	29	590	11	42	26	37
38.1.22	7.40	1.65	44.63	1.03	0.40	0.71	0.15	n.d.	1.29	910	58	5	48	48	488	12	31	26	39
38.5.4	27.20	5.94	25.80	2.46	1.03	2.18	0.49	n.d.	3.26	640	77	22	65	76	440	12	54	18	180
42.5.36	32.65	8.33	3.11	0.58	0.86	3.01	0.75	n.d.	6.55	260		16	183	92	650	20	108	32	758

Tableau XLVII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 364, leg 40.



Leg 71 - Site 511

Echant.	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Fe ₂ O ₃ %	Mn ppm	Zn ppm	Li ppm	Ni ppm	Cr ppm	Sr ppm	Co ppm	Cu ppm	Pb ppm	V ppm	Cd ppm
1.4. 15	58.15	10.75	0.84	2.13	3.61	2.67	0.67	n.d.	4.50	279	142	67	39	58	147	1	35	17	95	1
2.3. 10	60.40	8.27	1.26	1.89	3.98	2.11	0.54	n.d.	3.36	779	105	49	18	45	168	1	19	61	77	1
3.4. 8	55.60	8.77	6.05	1.75	3.40	2.53	0.49	n.d.	4.86	268	258	46	23	62	300	5	28	32	89	2
4.2. 98	57.95	11.16	4.44	1.96	2.73	2.67	0.60	n.d.	5.08	321	116	43	20	56	268	6	23	31	95	2
5.3. 90	62.65	10.10	2.59	2.02	4.70	2.54	0.55	n.d.	4.72	289	111	35	7	48	205	2	16	47	71	1
6.2. 50	56.35	9.45	3.64	1.77	3.67	2.47	0.47	n.d.	3.93	289	105	34	8	44	253	1	24	35	84	3
9.5. 50	49.25	9.33	4.27	1.38	2.70	2.20	0.55	n.d.	4.00	289	105	30	8	48	284	3	16	39	74	2
11.3. 10	56.45	10.20	3.81	1.59	2.59	2.45	0.59	n.d.	5.36	316	111	29	17	49	242	5	20	40	92	3
12.2. 80	57.35	10.04	1.75	2.08	2.39	2.53	0.63	n.d.	6.29	279	147	41	31	77	179	18	20	43	116	2
15.1. 80	57.10	8.90	4.20	1.62	2.93	2.11	0.56	n.d.	4.90	279	121	38	25	51	274	5	22	34	74	2
16.1. 80	65.05	7.79	0.42	1.56	2.56	1.93	0.48	n.d.	5.04	200	121	39	14	63	132	1	25	33	92	1
17.2. 50	61.30	6.35	5.25	1.04	2.56	1.31	0.44	n.d.	2.82	242	105	31	3	38	295	0	13	29	51	1
18.1. 60	59.90	5.14	8.15	1.10	2.95	1.08	0.33	n.d.	2.25	300	158	25	2	33	358	1	7	39	42	2
20.2. 58	57.20	6.35	9.58	1.31	2.12	1.20	0.43	n.d.	2.72	353	116	30	14	37	379	2	23	34	53	2
21.1. 51	56.05	11.04	1.05	3.22	2.31	2.32	0.67	n.d.	12.15	300	300	88	178	101	211	26	27	65	103	2
23.1. 34	32.10	7.44	23.61	1.46	1.82	1.84	0.33	n.d.	4.68	1089	168	53	42	40	711	8	21	39	66	2
24.1. 43	21.75	5.53	33.58	1.17	1.35	1.17	0.27	n.d.	2.54	1495	142	29	31	29	1211	12	37	48	75	3
26.cc	58.05	13.99	0.45	2.51	2.22	2.79	0.72	n.d.	7.65	579	163	61	38	63	179	10	28	45	150	1
27.1. 42	59.50	14.64	0.28	2.24	2.56	2.73	0.72	n.d.	6.68	211	153	46	31	57	211	12	11	59	116	1
28.2. 50	60.15	15.00	0.28	2.46	2.22	2.67	0.72	n.d.	5.93	295	168	49	32	61	216	9	91	55	211	2
29.1. 13	54.85	14.29	4.90	2.09	2.21	2.17	0.73	n.d.	5.04	258	174	36	25	51	263	11	30	55	137	3
30.2. 80	55.55	14.17	4.16	1.85	2.02	2.54	0.65	n.d.	6.15	321	158	32	21	49	274	9	30	50	119	1
31.3. 130	53.95	13.65	4.51	1.95	2.22	2.36	0.63	n.d.	7.36	311	163	31	28	56	263	13	27	61	124	1
32.3. 78	56.75	14.76	2.20	1.95	1.85	2.18	0.68	n.d.	6.79	263	163	33	18	55	221	8	31	52	130	2
33.3. 130	53.25	14.29	5.63	1.83	1.85	2.02	0.69	n.d.	5.68	332	200	34	21	52	268	8	35	47	118	2
34.1. 36	55.15	14.76	3.88	1.92	2.12	2.15	0.72	n.d.	6.08	289	163	36	26	61	253	12	38	43	141	1
35.1. 50	53.30	13.58	6.72	1.70	1.85	2.02	0.68	n.d.	5.83	995	211	32	32	54	347	15	34	61	124	2

Tableau XLVIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 511, leg 71.

Leg 71 - Site 511 (suite)

Echant.	SiO ₂ :Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅ :Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd		
:	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
37.1. 78	:52.20:13.46	:6.86	:1.69	:1.99	:2.06	:0.68	n.d.	:5.86	:353	:142	:26	:53	:379	:13	:35	:47	:126	:2		
38.2. 60	:52.50:14.02	:4.83	:1.63	:1.75	:2.41	:0.69	n.d.	:6.83	:326	:163	:40	:38	:274	:17	:34	:49	:128	:3		
39.1.125	:53.60:14.78	:4.69	:1.66	:1.97	:2.53	:0.75	n.d.	:6.08	:321	:163	:46	:31	:263	:16	:39	:41	:137	:2		
40.2. 14	:57.35:16.53	:1.22	:1.61	:1.74	:2.82	:0.73	n.d.	:6.00	:284	:211	:68	:32	:189	:16	:46	:34	:157	:2		
41.1. 80	:51.80:15.00	:6.02	:1.49	:1.75	:2.95	:0.71	n.d.	:6.33	:400	:226	:76	:32	:263	:19	:18	:47	:104	:2		
42.1. 92	:47.95:15.00	:5.14	:1.97	:1.79	:2.60	:0.57	n.d.	:7.51	:1884	:174	:84	:37	:211	:15	:5	:32	:118	:1		
43.1. 30	:53.85:15.23	:3.22	:2.20	:2.17	:2.24	:0.70	n.d.	:5.40	:284	:174	:42	:39	:205	:20	:13	:38	:103	:1		
44.1. 52	:56.25:15.71	:0.28	:2.16	:1.98	:2.99	:0.52	n.d.	:7.48	:295	:132	:45	:38	:132	:22	:25	:42	:108	:0		
45.1. 94	:51.00:14.05	:6.37	:1.99	:2.00	:2.45	:0.63	n.d.	:5.11	:1042	:179	:38	:25	:247	:17	:18	:35	:108	:1		
46.1. 50	:55.50:16.41	:3.11	:1.78	:1.97	:2.71	:0.71	n.d.	:5.04	:500	:195	:69	:29	:179	:19	:32	:35	:117	:3		
47.1. 38	:57.10:15.71	:3.50	:2.10	:2.16	:2.60	:0.63	n.d.	:4.04	:347	:168	:39	:51	:226	:38	:41	:48	:92	:1		
48.1. 38	:54.65:14.47	:5.49	:1.91	:1.87	:2.62	:0.53	n.d.	:4.86	:542	:153	:49	:44	:226	:17	:31	:41	:68	:1		
49.2. 23	:57.10:16.77	:0.98	:2.59	:2.18	:2.62	:0.70	n.d.	:4.79	:400	:158	:49	:48	:189	:39	:46	:51	:137	:1		
50.1. 23	:44.55:12.20	:12.17	:1.74	:1.87	:3.30	:0.42	n.d.	:4.97	:2521	:168	:45	:35	:19	:226	:28	:2	:48	:68	:2	
51.1.130	:40.30:10.92	:14.52	:1.88	:1.85	:2.17	:0.38	n.d.	:3.57	:2.377	:147	:52	:78	:12	:342	:30	:101	:107	:55	:2	
52.2.100	:37.00	:9.93	:17.84	:1.82	:1.56	:1.79	:0.38	n.d.	:4.11	:3484	:126	:67	:53	:17	:295	:27	:31	:55	:53	:2
53.1.130	:36.45	:9.48	:18.43	:1.60	:1.57	:2.11	:0.37	n.d.	:3.82	:4868	:105	:49	:43	:16	:289	:24	:23	:47	:39	:2
54.2. 25	:42.55:10.72	:12.91	:2.00	:1.79	:1.99	:0.49	n.d.	:5.11	:3447	:142	:53	:53	:19	:295	:28	:13	:47	:42	:3	
55.2. 42	:45.80:11.99	:12.17	:2.04	:1.85	:2.11	:0.35	n.d.	:3.79	:5021	:147	:68	:47	:20	:258	:23	:21	:37	:45	:2	
56.2. 71	:47.45:12.07	:10.77	:2.03	:1.72	:1.51	:0.53	n.d.	:4.47	:5190	:105	:28	:209	:18	:263	:41	:33	:32	:53	:1	
57.2. 35	:67.25:12.02	:0.52	:2.16	:1.87	:1.76	:0.34	n.d.	:3.15	:274	:379	:58	:272	:35	:168	:28	:86	:58	:121	:1	
58.1. 38	:63.20:13.93	:0.52	:2.45	:2.01	:1.26	:0.68	n.d.	:3.90	:137	:300	:48	:336	:23	:184	:22	:13	:25	:66	:0	
60.3. 18	:35.40	:6.31	:14.76	:0.79	:1.08	:1.72	:0.29	n.d.	:8.94	:384	:179	:24	:331	:29	:226	:31	:64	:39	:329	:6
61.2. 80	:54.15:10.72	:5.60	:1.48	:1.57	:2.39	:0.37	n.d.	:3.68	:226	:337	:42	:86	:53	:168	:4	:36	:32	:668	:6	
62.2. 80	:58.60:13.62	:0.38	:1.65	:1.60	:3.25	:0.63	n.d.	:4.86	:316	:205	:42	:37	:152	:153	:5	:42	:20	:208	:1	
63.1. 30	:54.75:13.63	:2.41	:1.76	:1.71	:3.46	:0.52	n.d.	:5.15	:242	:563	:44	:72	:62	:163	:4	:29	:38	:621	:5	
64.2. 75	:54.40:14.05	:2.55	:1.58	:1.48	:4.19	:0.56	n.d.	:4.90	:232	:511	:43	:53	:68	:153	:6	:32	:38	:592	:5	

Tableau XLVIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 511, leg 71 (suite)



Leg 71 - Site 511 (suite)

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
65.2. 14	:52.80:	14.05:	2.24:	1.67:	1.58:	3.73:	0.54:	n.d.:	5.15:	205	: 379	: 43	: 99	: 63	: 158	: 7	: 36	: 42	: 568	: 4
66.2. 32	:52.80:	13.58:	3.15:	1.58:	1.57:	3.46:	0.48:	n.d.:	4.93:	205	: 426	: 40	: 130	: 68	: 168	: 9	: 46	: 40	: 713	: 6
67.1. 90	:51.55:	13.46:	2.94:	1.58:	1.58:	3.46:	0.52:	n.d.:	5.61:	195	: 532	: 41	: 126	: 61	: 174	: 9	: 49	: 47	: 553	: 4
68.1. 23	:53.20:	13.82:	3.99:	1.62:	1.57:	3.30:	0.54:	n.d.:	4.25:	221	: 253	: 41	: 64	: 82	: 174	: 3	: 34	: 49	: 482	: 3
69.2. 34	:57.60:	15.12:	0.31:	1.85:	1.72:	3.46:	0.60:	n.d.:	5.75:	184	: 200	: 49	: 47	: 99	: 137	: 3	: 31	: 40	: 221	: 1
70.2. 68	:54.60:	18.30:	0.63:	2.63:	2.44:	1.78:	0.44:	n.d.:	3.65:	179	: 121	: 45	: 16	: 85	: 247	: 4	: 11	: 44	: 234	: 1

Tableau XLVIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 511, leg 71 (suite)

Leg 71 - Site 513/513 A

Echant.	SiO ₂ :Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
:	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.4.110	:66.20:10.08	:0.94	:1.54	:3.75	:1.96	:0.44	:n.d.	:3.68	:347	:105	:34	:9	:29	:137	:3	:49	:25	:95	:1
3.3.80	:63.45:8.80	:0.91	:1.68	:5.09	:2.02	:0.46	:n.d.	:3.54	:326	:116	:33	:12	:29	:126	:2	:53	:19	:103	:1
4.1.125	:62.55:10.98	:1.08	:1.67	:4.45	:2.32	:0.61	:n.d.	:4.04	:384	:121	:34	:4	:33	:163	:2	:41	:26	:97	:2
4.5.125	:66.30:7.79	:0.87	:1.52	:4.85	:1.78	:0.41	:n.d.	:3.86	:316	:89	:27	:1	:23	:132	:0	:40	:26	:84	:1
5.3.14	:66.10:7.26	:0.77	:1.49	:4.87	:1.78	:0.40	:n.d.	:3.32	:268	:95	:26	:1	:19	:132	:0	:27	:22	:68	:1
6.2.14	:63.65:10.63	:0.98	:1.63	:3.71	:2.17	:0.57	:n.d.	:5.29	:432	:95	:33	:1	:28	:147	:4	:43	:33	:87	:1
6.6.14	:64.95:10.21	:1.12	:1.63	:4.04	:2.12	:0.55	:n.d.	:4.68	:347	:105	:30	:1	:26	:158	:3	:29	:26	:84	:1
9.2.110	:60.10:12.16	:1.08	:1.91	:4.45	:2.44	:0.63	:n.d.	:4.90	:353	:111	:37	:5	:32	:174	:6	:36	:33	:113	:2
Al.1.130	:60.60:13.46	:1.15	:1.88	:3.98	:2.59	:0.70	:n.d.	:5.00	:437	:132	:40	:24	:31	:195	:18	:78	:57	:134	:1
2.3.34	:63.20:10.63	:0.98	:1.58	:4.72	:2.24	:0.48	:n.d.	:4.54	:289	:121	:31	:1	:28	:174	:3	:107	:33	:92	:1
3.1.74	:59.95:12.40	:1.61	:1.98	:4.21	:2.41	:0.60	:n.d.	:4.72	:342	:132	:37	:0	:35	:179	:5	:38	:20	:111	:1
4.1.24	:60.05:11.93	:1.57	:2.00	:4.31	:2.41	:0.58	:n.d.	:4.68	:400	:89	:38	:0	:35	:179	:7	:51	:29	:100	:1
4.5.24	:60.30:10.27	:1.22	:1.78	:3.08	:2.26	:0.54	:n.d.	:7.15	:358	:121	:34	:46	:31	:147	:20	:57	:14	:103	:1
5.3.25	:60.90:11.45	:1.47	:1.93	:3.71	:2.42	:0.58	:n.d.	:5.00	:637	:124	:38	:0	:36	:158	:10	:48	:14	:92	:1
6.1.24	:58.80:13.34	:1.85	:2.11	:3.94	:2.56	:0.68	:n.d.	:4.75	:432	:175	:39	:0	:36	:179	:6	:57	:14	:113	:1
6.5.24	:58.55:12.04	:1.75	:1.92	:4.48	:2.42	:0.63	:n.d.	:5.00	:384	:126	:36	:0	:37	:174	:13	:67	:15	:105	:1
7.6.24	:59.95:12.04	:1.61	:2.02	:3.81	:2.43	:0.58	:n.d.	:5.18	:732	:136	:35	:9	:34	:179	:8	:24	:14	:79	:1
8.3.90	:62.85:10.47	:1.33	:1.82	:3.71	:2.29	:0.51	:n.d.	:4.65	:358	:150	:36	:0	:34	:147	:4	:53	:13	:89	:1
10.2.22	:66.05:8.50	:1.15	:1.51	:4.08	:2.02	:0.43	:n.d.	:3.86	:379	:82	:24	:0	:25	:126	:0	:15	:12	:58	:0
11.2.20	:63.55:10.04	:1.12	:1.87	:2.97	:2.29	:0.50	:n.d.	:5.00	:332	:103	:38	:7	:33	:142	:3	:82	:15	:79	:1

Tableau IL.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 513, leg 71.



Leg 71 - Site 513 A

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd	
:	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
12.2.	4	:54.65	:13.11	: 1.85	: 2.61	: 4.15	: 2.62	: 0.60	: 0.17	: 6.08	: 784	: 132	: 80	: 28	: 33	: 184	: 9	: 120	: 31	: 92	: 1
13.1.	8	:45.40	: 6.93	:13.74	: 2.71	: 3.10	: 1.54	: 0.32	: n.d.	: 6.43	: 647	: 79	: 34	: 19	: 14	: 611	: 3	: 132	: 9	: 45	: 0
14.1.	50	:29.60	: 4.27	:28.68	: 0.98	: 2.53	: 1.04	: 0.20	: n.d.	: 1.97	:1089	: 54	: 19	: 14	: 10	: 984	: 5	: 30	: 15	: 21	: 1
15.2.	20	:30.80	: 4.85	:26.76	: 1.04	: 2.78	: 1.20	: 0.23	: n.d.	: 2.18	:1116	: 82	: 20	: 9	: 11	:1011	: 5	: 13	: 17	: 24	: 1
16.1.	21	:48.55	: 5.79	:15.67	: 1.26	: 3.40	: 1.48	: 0.25	: n.d.	: 2.57	: 600	: 83	: 23	: 17	: 14	: 632	: 7	: 11	: 13	: 66	: 1
16.3.	21	:61.00	: 7.14	: 7.63	: 1.40	: 2.19	: 1.70	: 0.31	: n.d.	: 3.29	: 458	: 121	: 32	: 12	: 20	: 358	: 5	: 14	: 13	: 68	: 3
16.5.	21	:63.40	: 7.97	: 2.55	: 1.71	: 3.88	: 2.00	: 0.40	: n.d.	: 3.68	: 400	: 113	: 35	: 12	: 25	: 200	: 4	: 14	: 12	: 84	: 1
16.7.	26	:58.35	: 7.72	: 6.54	: 1.70	: 3.27	: 1.90	: 0.35	: n.d.	: 3.72	: 526	: 141	: 34	: 15	: 19	: 368	: 6	: 14	: 16	: 58	: 1
17.1.	47	:35.10	: 7.86	:10.28	: 1.74	: 3.44	: 2.02	: 0.40	: n.d.	: 3.57	: 568	: 92	: 36	: 25	: 21	: 484	: 8	: 24	: 11	: 74	: 0
17.5.	47	:26.75	: 2.95	:31.03	: 0.80	: 2.09	: 0.78	: 0.14	: n.d.	: 1.25	: 868	: 79	: 14	: 6	: 9	:1000	: 4	: 21	: 21	: 16	: 2
18.3.	19	:16.95	: 2.95	:38.13	: 0.69	: 1.55	: 0.69	: 0.12	: n.d.	: 1.32	: 874	: 71	: 12	: 10	: 11	:1142	: 7	: 4	: 22	: 24	: 2
20.1.	23	:16.60	: 3.14	:37.95	: 0.85	: 1.60	: 0.78	: 0.15	: n.d.	: 1.54	:1100	: 63	: 16	: 16	: 11	:1111	: 9	: 3	: 22	: 29	: 2
21.1.	143	:36.75	: 6.49	:20.92	: 1.66	: 2.29	: 1.58	: 0.28	: n.d.	: 3.32	: 653	: 113	: 35	: 31	: 16	: 637	: 8	: 15	: 17	: 50	: 0
21.5.	143	:11.70	: 2.69	:41.63	: 0.68	: 1.11	: 0.64	: 0.11	: n.d.	: 1.11	: 774	: 47	: 12	: 11	: 11	:1000	: 9	: 0	: 23	: 47	: 2
24.2.	80	: 8.85	: 1.90	:45.12	: 0.60	: 1.25	: 0.51	: 0.10	: n.d.	: 0.82	: 563	: 54	: 10	: 8	: 9	:1326	: 8	: 27	: 26	: 58	: 3
28.1.	40	:26.20	: 3.45	:31.80	: 0.95	: 1.58	: 0.90	: 0.11	: n.d.	: 1.54	: 453	: 70	: 20	: 18	: 11	: 916	: 8	: 24	: 21	: 18	: 2
29.2.	90	:23.20	: 2.72	:36.73	: 0.87	: 1.28	: 0.72	: 0.13	: n.d.	: 1.25	: 542	: 59	: 20	: 6	: 12	: 989	: 4	: 3	: 23	: 18	: 2
30.4.	20	:41.80	: 3.37	:21.69	: 1.18	: 2.48	: 0.92	: 0.11	: n.d.	: 1.57	: 347	: 81	: 39	: 20	: 9	: 695	: 4	: 8	: 19	: 39	: 0
31.3.	15	:31.95	: 1.42	:31.13	: 0.60	: 1.60	: 0.40	: 0.07	: n.d.	: 0.50	: 547	: 39	: 20	: 5	: 6	: 784	: 2	: 9	: 18	: 24	: 1
31.7.	15	:18.25	: 2.02	:39.53	: 0.75	: 1.06	: 0.55	: 0.10	: n.d.	: 0.89	: 816	: 43	: 22	: 8	: 9	:1032	: 5	: 0	: 13	: 29	: 2
33.1.	5	:21.10	: 1.56	:36.38	: 0.78	: 1.52	: 0.45	: 0.08	: n.d.	: 0.75	: 658	: 106	: 29	: 34	: 7	:1037	: 10	: 25	: 14	: 34	: 2
33.5.	5	:29.85	: 1.54	:32.01	: 0.90	: 1.21	: 0.45	: 0.08	: n.d.	: 0.64	: 484	: 58	: 48	: 17	: 7	:1000	: 7	: 3	: 9	: 63	: 1
33.7.	5	:30.25	: 1.35	:31.83	: 0.86	: 1.45	: 0.42	: 0.07	: n.d.	: 0.64	: 500	: 42	: 38	: 2	: 12	: 916	: 2	: 0	: 7	: 50	: 1

LEG 73 - SITE 519

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.2.49	3.40	0.81	46.58	0.48	1.37	0.23	0.06	0.88	178	137	4	28	11	215	21	34	19	20
2.2.46	2.20	0.46	49.21	0.39	1.18	0.14	0.03	0.49	584	221	2	23	6	341	14	19	32	10
3.2.49	3.35	0.93	46.76	0.48	1.23	0.26	0.06	0.91	994	100	5	28	7	073	17	29	15	10
4.2.49	2.15	0.52	48.47	0.37	1.07	0.15	0.04	0.61	679	121	2	26	20	252	13	25	17	10
5.2.49	1.40	0.47	49.17	0.38	0.80	0.16	0.03	0.44	489	126	2	17	4	084	11	16	12	10
6.2.50	1.50	0.37	49.74	0.32	0.74	0.12	0.03	0.44	484	80	2	25	15	978	12	15	13	10
7.2.48	1.25	0.42	48.92	0.36	0.97	0.15	0.03	0.36	515	84	2	26	15	215	13	15	14	10
8.2.50	1.55	0.45	49.58	0.34	0.69	0.15	0.03	0.58	784	132	2	29	16	994	15	22	14	20
9.2.50	1.70	0.49	48.61	0.35	1.07	0.14	0.03	0.46	458	68	3	31	18	289	12	17	14	-
10.2.50	0.90	0.45	48.82	0.36	1.00	0.15	0.03	0.54	768	153	2	29	24	131	13	16	17	-
11.2.50	1.90	0.56	47.96	0.35	1.00	0.17	0.04	0.32	426	89	3	18	8	121	11	17	14	10
12.2.48	1.50	0.67	49.03	0.38	0.93	0.18	0.04	0.46	679	153	3	37	21	220	16	19	18	10
13.2.49	0.70	0.38	47.61	0.30	0.93	0.12	0.03	0.27	510	63	2	45	14	262	12	15	18	10
14.2.50	1.25	0.76	48.33	0.39	0.80	0.21	0.05	0.70	805	89	3	51	23	999	16	20	16	10
15.2.48	1.60	0.46	48.90	0.33	0.70	0.15	0.03	0.96	626	142	2	46	15	926	14	12	14	10
16.2.47	1.00	0.39	47.39	0.32	0.96	0.14	0.03	0.16	615	546	2	32	5	931	12	16	12	-
17.2.48	1.25	0.36	48.59	0.36	0.82	0.14	0.03	0.33	573	363	1	21	5	068	14	14	14	10
18.2.50	1.60	0.29	47.04	0.30	0.81	0.12	0.02	0.36	463	756	1	8	8	073	13	11	14	-
19.2.50	1.05	0.24	50.18	0.34	0.83	0.10	0.02	0.27	463	268	1	9	5	005	11	9	11	-
20.2.48	2.15	0.29	49.91	0.34	0.84	0.10	0.02	1.29	468	358	1	16	6	931	10	13	11	10
21.2.46	2.45	0.37	48.71	0.32	0.74	0.12	0.03	0.49	542	715	2	16	4	047	11	17	15	10
22.2.51	2.95	0.71	47.18	0.40	0.83	0.21	0.06	0.91	331	316	3	36	10	063	33	31	15	10
23.2.52	1.15	0.31	49.34	0.30	0.74	0.11	0.02	0.22	321	831	2	11	2	073	9	10	17	10
24.2.54	2.30	0.43	43.85	0.39	0.98	0.15	0.03	0.34	389	925	4	13	7	068	7	13	10	10
25.2.53	2.90	0.64	47.35	0.42	1.10	0.18	0.04	0.52	584	689	5	26	6	147	20	25	25	10
26.2.47	3.80	1.06	47.06	0.48	1.01	0.28	0.06	1.33	489	378	4	34	10	126	22	36	25	30
27.2.47	8.10	2.47	42.76	0.70	1.12	0.55	0.13	2.31	440	236	9	48	11	052	32	59	26	50
29.2.41	10.35	3.74	38.24	0.94	1.17	0.73	0.19	4.16	955	210	14	123	11	015	52	114	34	80
30.2.48	2.15	0.71	47.94	0.36	0.71	0.18	0.05	0.74	815	799	3	24	9	821	14	15	16	20
31.2.51	1.80	0.45	50.31	0.36	0.68	0.15	0.04	1.16	663	621	2	16	6	784	12	11	15	10
32.2.51	1.75	0.51	49.52	0.36	0.66	0.16	0.04	0.93	858	573	2	19	4	836	13	14	18	20
33.2.47	2.90	0.82	48.50	0.42	0.81	0.24	0.06	0.88	842	110	4	20	8	005	14	17	17	30
34.2.51	2.35	0.84	46.86	0.42	0.88	0.25	0.07	1.41	057	410	4	23	9	089	16	22	18	40
35.2.47	3.75	1.10	46.66	0.51	0.92	0.29	0.08	2.10	915	046	5	29	7	073	17	34	23	50
36.2.48	10.50	3.59	38.13	1.03	1.13	0.82	0.21	4.73	798	374	15	57	15	041	34	74	28	110

257



Tableau L. Resultats des analyses chimiques effectuees sur les sediments du site 519, leg 73.

LEG 73 - SITE 522

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
:	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.2.46	9.85	3.17	38.58	1.01	2.05	0.69	0.17	1.77	1 878	42	14	67	33	1 315	33	55	51	30
2.2.46	2.10	1.22	47.05	0.50	1.23	0.31	0.07	0.72	973	189	6	39	27	1 368	25	34	40	10
3.2.46	1.90	0.62	48.56	0.37	1.06	0.19	0.04	0.34	605	32	3	30	24	1 331	22	22	39	10
4.2.46	4.25	1.44	46.02	0.54	1.14	0.37	0.08	0.84	1 210	884	6	43	31	1 299	29	39	44	20
5.2.48	1.05	0.48	48.82	0.33	0.95	0.16	0.03	0.27	500	68	2	30	31	1 368	22	20	42	10
6.2.48	1.50	0.57	47.90	0.34	0.90	0.18	0.04	0.29	1 326	26	3	33	28	1 326	20	24	41	10
7.2.48	1.90	0.61	49.19	0.36	0.89	0.19	0.04	0.41	663	11	2	31	24	1 315	21	21	39	10
8.2.48	1.25	0.39	49.19	0.33	0.72	0.13	0.04	0.52	400	21	2	32	34	1 036	18	14	38	-
9.2.48	25.60	8.50	24.75	1.81	1.88	1.80	0.36	5.42	6 400	153	33	178	41	747	98	145	55	80
10.2.48	46.10	14.88	5.37	2.84	2.66	2.49	0.51	8.54	8 700	226	53	199	55	319	118	138	61	120
11.2.48	49.75	16.42	1.17	3.14	2.80	3.46	0.54	9.44	9 250	189	58	196	50	195	118	149	67	140
12.2.48	29.50	9.43	22.83	1.98	1.76	2.18	0.35	4.74	4 000	126	39	114	26	785	54	88	41	70
14.2.48	26.25	8.31	24.67	1.70	1.71	2.02	0.27	4.79	4 450	132	33	132	21	894	62	116	45	70
15.2.44	7.75	2.34	42.74	0.62	1.15	0.72	0.11	1.28	1 168	37	9	38	24	1 131	25	36	43	20
16.2.48	6.65	1.93	44.12	0.56	0.90	0.60	0.10	1.17	1 063	78	8	30	23	1 152	24	29	42	20
17.2.48	10.50	3.41	41.22	0.85	1.22	0.92	0.14	1.89	1 325	74	15	33	21	1 168	23	46	43	20
18.2.48	6.25	2.03	44.18	0.58	1.01	0.62	0.10	1.30	1 220	53	9	31	20	1 142	24	29	44	10
19.2.48	4.50	1.36	45.92	0.45	0.84	0.44	0.08	1.03	1 236	47	5	26	20	757	21	21	40	20
20.2.48	5.50	1.67	44.15	0.55	0.95	0.54	0.10	1.58	1 052	242	7	32	20	1 173	25	38	42	30
21.2.48	4.95	1.50	46.23	0.52	0.81	0.47	0.08	1.13	1 157	163	6	30	18	1 078	23	26	40	20
22.2.48	6.80	2.23	43.70	0.62	0.96	0.64	0.11	1.53	1 347	37	9	34	27	1 094	24	38	42	30
25.2.48	6.15	1.85	44.04	0.54	0.84	0.57	0.09	1.39	1 199	37	8	36	24	1 157	25	31	40	30
26.2.48	4.20	1.09	46.66	0.46	0.81	0.40	0.06	1.05	668	111	4	25	19	1 147	18	20	44	20
27.2.48	3.40	0.95	48.02	0.45	0.78	0.35	0.06	0.71	778	32	4	22	15	1 068	19	17	40	20
28.2.48	3.60	0.92	47.27	0.43	0.82	0.36	0.06	0.71	663	5	5	28	24	1 231	18	18	40	20
29.2.48	4.60	1.24	45.64	0.49	0.80	0.45	0.07	0.81	747	42	6	34	29	1 183	18	19	43	20
30.2.48	4.85	1.29	46.20	0.56	0.90	0.48	0.08	1.05	1 184	1 209	6	26	16	1 131	20	24	44	20
31.2.49	4.55	1.09	47.15	0.52	0.90	0.41	0.07	0.92	1 026	116	5	28	17	1 126	19	18	32	30
32.2.46	2.55	0.57	49.37	0.41	0.70	0.25	0.04	0.58	710	89	3	27	21	899	20	15	38	20
33.2.49	4.25	0.94	46.51	0.50	0.83	0.37	0.06	0.93	1 531	121	5	33	8	999	13	18	14	30
34.2.48	3.90	0.72	47.95	0.44	0.72	0.31	0.05	0.91	984	89	4	23	1	973	10	11	10	30
35.2.48	1.90	0.46	49.31	0.33	0.72	0.21	0.03	0.58	1 063	116	2	23	8	1 094	12	9	17	20
36.2.48	4.15	0.88	44.65	0.45	0.79	0.37	0.06	0.84	1 304	195	4	23	3	1 099	14	16	18	20
37.2.47	4.20	0.89	45.94	0.51	0.75	0.39	0.07	1.14	2 272	158	4	40	10	794	12	19	11	20

258

Tableau LI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 522, leg 73.

LEG 74 - SITE 525 A

Echant.	SiO ₂ :Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂ :Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd			
:	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g			
:	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm			
3.3.100	1.00	0.14	50.66	0.23	0.92	0.09	0.01	0.10	121	395	1	9	13	1	516	7	32	0	2	
6.2.40	1.10	0.14	50.35	0.20	0.80	0.09	0.01	0.10	126	232	1	6	17	1	421	7	3	32	0	2
8.4.50	1.85	0.38	49.89	0.30	1.08	0.16	0.04	0.31	247	289	2	9	15	1	558	9	1	29	0	2
11.2.55	3.30	0.87	47.88	0.36	1.03	0.28	0.05	0.60	347	632	5	9	14	1	400	12	5	51	6	2
13.2.50	1.55	0.35	47.88	0.27	0.59	0.16	0.02	3.18	463	174	2	9	18	1	326	11	5	37	1	2
15.2.63	1.20	0.25	50.52	0.26	0.59	0.12	0.02	0.28	179	795	3	5	16	1	358	9	5	53	5	3
17.1.55	3.10	0.71	49.22	0.29	0.86	0.30	0.01	0.42	305	147	4	12	17	1	442	9	2	41	8	3
20.1.50	1.65	0.31	48.55	0.31	0.86	0.15	0.03	0.31	326	247	1	11	14	1	795	8	2	45	8	3
22.2.50	0.55	0.12	44.19	0.31	0.81	0.06	0.01	0.14	263	158	1	11	16	1	737	7	1	47	4	3
24.2.50	1.45	0.27	49.22	0.36	1.08	0.13	0.03	0.29	395	579	1	11	14	1	758	9	2	47	6	3
26.1.50	0.70	0.15	50.12	0.32	0.78	0.07	0.02	0.21	500	79	1	12	14	1	637	8	2	63	5	3
28.3.30	0.95	0.18	48.88	0.27	0.79	0.12	0.02	0.19	121	137	1	11	13	1	789	7	3	30	2	3
31.2.50	1.20	0.37	49.22	0.29	0.82	0.16	0.02	0.34	79	84	2	14	17	1	795	8	0	47	3	3
35.2.55	1.35	0.52	49.72	0.29	0.76	0.21	0.03	0.28	263	84	3	12	16	1	000	7	0	43	5	4
36.3.84	3.50	0.78	47.54	0.31	0.79	0.30	0.04	0.37	268	100	3	15	18	1	168	9	4	42	6	3
38.4.28	13.70	3.42	40.54	0.86	0.94	0.80	0.30	2.22	411	67	10	17	19	1	663	8	6	21	16	2
39.2.105	11.20	3.00	41.18	0.70	1.00	0.96	0.26	1.75	395	232	7	16	21	1	684	12	5	37	24	3
39.5.99	23.40	6.50	31.76	1.35	1.35	1.40	0.38	3.55	526	111	27	23	24	1	647	8	12	18	26	1
40.3.135	27.40	7.75	27.81	1.45	1.15	2.11	0.43	4.12	405	105	22	15	26	1	600	8	2	22	137	2
40.5.89	15.30	4.25	38.13	0.85	1.04	1.16	0.30	2.50	516	68	14	12	15	1	721	5	4	21	16	2
41.2.102	16.70	4.59	34.72	0.93	1.15	1.48	0.33	2.68	716	116	13	12	25	1	705	7	4	53	48	2
41.5.91	15.30	4.14	37.78	1.04	0.91	0.95	0.33	2.29	547	69	14	9	17	1	789	6	4	36	11	1
42.1.27	10.95	3.14	41.63	0.80	0.74	0.63	0.25	1.64	611	48	10	7	14	1	821	8	4	45	11	1
42.2.42	10.15	2.83	41.98	0.78	0.71	0.56	0.20	1.62	684	50	9	13	15	1	900	8	0	45	16	2
42.3.31	14.80	4.06	36.66	1.04	0.59	1.20	0.24	2.27	837	153	12	17	24	1	742	9	5	48	29	2
43.6.69	23.65	5.91	31.76	1.26	1.28	1.54	0.47	3.15	884	60	14	8	23	1	716	5	4	42	21	0
44.2.42	38.15	9.81	17.73	2.88	1.69	1.26	1.19	6.33	458	305	40	16	39	1	505	11	42	31	232	1
45.4.52	24.05	5.67	29.30	1.67	1.48	1.29	0.33	3.79	100	379	24	6	20	1	768	4	4	46	32	1
47.2.85	23.00	4.96	31.24	1.51	1.33	1.05	0.38	3.57	974	358	20	4	21	1	711	5	3	47	36	1
49.1.107	31.55	7.49	22.36	2.10	1.53	2.02	0.59	5.33	653	247	20	12	43	1	574	5	27	39	101	1
50.1.57	64.25	5.02	10.08	1.00	1.08	1.36	0.27	2.57	247	126	9	15	28	1	274	9	6	27	46	1

Tableau LII.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 525, leg 74.



LEG 74 - SITE 525 A/B

Echant.	SiO ₂ :Al ₂ O ₃ : % : %	CaO : %	MgO : %	Na ₂ O : %	K ₂ O : %	TiO ₂ :Fe ₂ O ₃ : % : %	Mn : ppm	Zn : ppm	Li : ppm	Ni : ppm	Cr : ppm	Sr : ppm	Co : ppm	Cu : ppm	Pb : ppm	V : ppm	Cd : ppm	
50.3. 48	: 49.90	: 6.05:15.33	: 1.41	: 1.21	: 1.66	: 0.39	: 3.79	: 432	: 168	: 11	: 9	: 28	: 405	: 6	: 7	: 38	: 59	: 1
51.1. 20	: 21.45	: 4.33:31.34	: 1.19	: 1.08	: 1.34	: 0.33	: 3.18	: 905	: 295	: 9	: 16	: 28	: 689	: 9	: 9	: 48	: 55	: 3
51.3. 13	: 33.25	: 8.96:18.55	: 2.06	: 1.79	: 2.29	: 0.79	: 7.33	: 837	: 374	: 14	: 17	: 34	: 558	: 15	: 42	: 39	: 114	: 1
52.3.109	: 21.30	: 5.59:30.03	: 1.38	: 1.46	: 1.40	: 1.65	: 3.97	: 758	: 153	: 11	: 14	: 29	: 658	: 7	: 0	: 42	: 73	: 2
52.4.142	: 14.65	: 4.59:35.82	: 0.99	: 1.25	: 0.52	: 0.62	: 3.57:1	: 232	: 279	: 4	: 10	: 33	: 774	: 6	: 0	: 62	: 105	: 3
52.5.129	: 32.55	: 4.71:26.78	: 0.39	: 1.52	: 1.66	: 0.43	: 1.47:1	: 026	: 237	: 4	: 5	: 33	: 668	: 4	: 0	: 45	: -	: 1
53.1.107	: 86.65	: 3.13	: 0.07	: 0.20	: 1.04	: 0.84	: 0.23	: 1.22	: 21	: 3	: 3	: 142	: 66	: 3	: 23	: 52	: 0	: 0
B3.1. 84	: 0.95	: 0.33:48.35	: 0.28	: 1.08	: 0.14	: 0.02	: 0.26	: 158	: 168	: 2	: 12	: 16:1	: 332	: 7	: 8	: 26	: 4	: 3
5.1. 75	: 1.20	: 0.32:49.22	: 0.27	: 0.88	: 0.12	: 0.02	: 0.23	: 153	: 79	: 1	: 11	: 15:1	: 421	: 8	: 8	: 36	: 3	: 3
8.1. 98	: 0.65	: 0.25:48.55	: 0.27	: 0.88	: 0.10	: 0.02	: 0.19	: 147	: 53	: 1	: 11	: 16:1	: 453	: 8	: 3	: 32	: 4	: 3
12.1. 40	: 0.65	: 0.17:51.89	: 0.27	: 0.91	: 0.08	: 0.02	: 0.18	: 111	: 37	: 2	: 1	: 8:1	: 421	: 5	: 1	: 7	: 0	: 2
14.3. 44	: 0.95	: 0.17:50.32	: 0.24	: 0.79	: 0.08	: 0.02	: 0.13	: 126	: 26	: 1	: 0	: 7:1	: 474	: 4	: 1	: 23	: 2	: 3
17.1. 20	: 0.20	: 0.17:50.72	: 0.22	: 0.71	: 0.07	: 0.02	: 0.14	: 111	: 32	: 1	: 0	: 13:1	: 474	: 3	: 0	: 27	: 3	: 2
19.1. 66	: 1.05	: 0.26:51.02	: 0.24	: 0.84	: 0.10	: 0.02	: 0.16	: 126	: 21	: 2	: 7	: 11:1	: 442	: 3	: 1	: 18	: 4	: 3
25.1. 44	: 1.70	: 0.43:49.42	: 0.31	: 1.04	: 0.15	: 0.03	: 0.97	: 258	: 58	: 3	: 11	: 14:1	: 200	: 4	: 0	: 19	: 6	: 2
27.1. 75	: 1.05	: 0.26:49.89	: 0.24	: 0.79	: 0.09	: 0.02	: 0.19	: 184	: 26	: 2	: 4	: 12:1	: 158	: 3	: 0	: 18	: 5	: 2

Tableau LII.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 525, leg 74 (suite)

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.2. 60	2.10	0.55	48.61	0.29	1.09	0.13	0.03	0.31	284	26	3	4	10	442	3	6	42	7	2
3.1. 60	1.55	0.45	48.01	0.27	1.04	0.13	0.03	0.29	332	116	3	5	11	495	5	8	43	9	3
4.1. 60	1.85	0.51	47.68	0.31	0.94	0.15	0.03	0.32	337	84	3	5	9	358	6	8	36	7	3
6.1. 30	0.75	0.30	49.95	0.27	0.81	0.10	0.02	0.19	263	111	1	5	11	263	4	11	34	3	2
8.2. 9	1.35	0.42	49.72	0.27	0.79	0.12	0.02	0.27	358	63	2	3	8	368	5	0	31	3	4
12.1. 70	8.30	2.95	42.15	0.75	1.06	0.64	0.11	1.45	1 689	53	13	49	18	253	24	51	36	24	2
13.3. 60	22.35	7.09	28.93	1.43	1.31	1.55	0.32	3.82	4 000	126	32	87	28	1 074	49	66	32	67	1
15.1. 88	2.90	0.83	48.88	0.32	0.67	0.27	0.05	0.43	326	100	4	9	12	474	7	6	22	4	3
17.2. 05	13.90	4.31	38.00	1.33	1.26	0.60	0.13	1.09	732	111	32	15	13	1 000	6	59	25	10	2
18.3. 70	2.40	0.53	47.71	0.36	0.77	0.22	0.08	0.57	721	68	2	13	12	800	11	7	26	8	4
20.1. 52	1.70	0.30	50.22	0.27	0.71	0.15	0.02	0.19	300	47	1	6	10	737	7	1	30	3	3
22.1. 50	3.05	0.57	49.89	0.42	0.84	0.24	0.04	0.31	247	68	3	4	11	826	3	5	25	0	4
24.4. 16	3.45	0.68	47.71	0.38	0.77	0.27	0.05	0.36	284	58	5	12	12	1 016	6	5	22	1	3
26.1. 102	3.85	0.77	49.42	0.33	0.81	0.28	0.05	0.41	558	74	4	7	17	1 105	6	3	27	3	4
28.4. 80	6.55	1.87	46.94	0.54	0.79	0.54	0.09	1.07	389	37	9	13	15	1 042	6	12	26	8	3
29.2. 8	5.05	1.53	46.17	0.58	0.78	0.54	0.10	1.29	1 684	45	8	21	11	984	18	20	52	11	2
30.1. 99	7.75	2.14	44.28	0.63	0.74	0.93	0.16	1.64	816	36	6	15	12	795	9	20	49	26	2
30.3. 99	9.40	2.89	42.18	0.63	0.82	0.93	0.20	1.97	811	47	9	18	20	632	6	21	24	27	3
31.1. 88	13.50	4.14	36.94	0.99	0.91	1.39	0.30	3.15	2 037	76	14	31	16	532	16	54	51	47	1
31.3. 97	13.75	4.02	38.37	0.92	0.94	1.51	0.30	2.86	1 842	71	13	26	14	537	12	48	46	32	1
32.1. 26	30.00	9.45	23.10	1.65	1.29	2.26	0.48	4.58	1 037	89	27	28	34	389	14	38	22	61	0
32.3. 26	47.70	14.89	6.82	2.46	1.60	3.76	0.69	5.79	2 553	182	53	44	36	242	14	62	18	184	0
33.3. 131	9.80	2.95	40.18	0.69	0.78	0.93	0.09	1.56	953	68	12	12	16	784	5	15	24	13	5
35.4. 27	18.05	5.46	34.15	1.16	0.86	1.61	0.29	2.79	1 121	79	19	13	23	705	4	9	25	47	2
37.1	9.50	2.72	41.85	0.68	0.67	0.96	0.16	1.47	3 000	84	10	18	19	900	5	8	19	55	2
37.3	15.55	4.55	36.49	0.98	0.77	1.51	0.26	2.89	2 150	137	14	24	21	753	5	17	23	44	2
38.1. 101	18.60	5.44	34.15	1.19	0.78	1.81	0.25	3.07	1 710	84	14	26	24	674	5	23	11	44	1
38.4. 49	15.30	4.50	35.82	0.99	0.77	1.58	0.28	3.32	1 784	100	14	31	25	668	5	10	19	60	2
42.1. 54	34.10	9.69	20.19	2.19	1.15	2.63	0.50	4.93	4 000	121	33	34	37	405	7	54	23	62	0



Tableau LIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 527, leg 74.

LEG 74 - SITE 528

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1.2. 70	: 2.55:	0.64:	47.54:	0.31:	1.08:	0.15:	0.03:	0.40:	321:	63:	3	8:	14:1	526:	3:	8:	47:	8:	4
1.5. 70	: 2.40:	0.60:	48.21:	0.31:	1.10:	0.16:	0.04:	0.36:	337:	68:	3:	12:	51:1	574:	6:	7:	39:	9:	4
2.1. 20	: 6.35:	2.14:	44.53:	0.52:	0.77:	0.54:	0.11:	1.07:	789:	68:	8:	23:	20:1	558:	9:	10:	25:	16:	3
4.1. 20	: 4.55:	1.47:	46.70:	0.40:	0.81:	0.37:	0.08:	0.79:	747:	58:	6:	16:	14:1	584:	8:	8:	24:	15:	4
5.4. 53	: 7.45:	2.12:	44.70:	0.48:	0.82:	0.60:	0.10:	1.04:1	179:	53:	9:	28:	17:1	421:	15:	20:	29:	18:	3
7.1. 50	: 4.25:	1.38:	46.84:	0.32:	0.78:	0.39:	0.07:	0.66:	442:	58:	6:	12:	17:1	410:	7:	6:	26:	15:	3
8.4. 60	: 4.45:	1.49:	45.87:	0.36:	0.71:	0.42:	0.08:	0.72:	579:	53:	5:	9:	13:1	495:	8:	8:	35:	13:	3
10.1. 60	: 4.35:	1.34:	46.81:	0.37:	0.86:	0.39:	0.07:	0.66:	458:	58:	6:	19:	17:1	500:	8:	7:	31:	13:	3
12.5. 91	: 2.85::	0.57:	51.19:	0.27:	0.65:	0.21:	0.04:	0.34:	200:	47:	3:	6:	16:1	179:	5:	0:	27:	8:	3
15.2. 80	: 4.50:	1.53:	44.86:	0.50:	0.81:	0.45:	0.08:	1.00:	816:	42:	5:	17:	13:1	126:	13:	18:	55:	13:	2
16.4.102	: 1.85:	0.47:	49.55:	0.33:	0.73:	0.19:	0.03:	0.43:	532:	32:	2:	10:	8:	774:	12:	8:	45:	9:	3
18.1. 70	: 1.40:	0.32:	49.38:	0.32:	0.73:	0.15:	0.03:	0.36:	563:	42:	1:	9:	9:	689:	11:	8:	58:	12:	3
20.1. 70	: 1.30:	0.42:	48.88:	0.26:	0.65:	0.16:	0.02:	0.21:	358:	26:	1:	8:	11:	737:	11:	11:	44:	7:	3
22.1. 87	: 1.45:	0.53:	48.88:	0.30:	0.73:	0.18:	0.02:	0.33:	242:	47:	3:	17:	16:	858:	12:	8:	38:	4:	2
23.4. 78	: 2.80:	0.74:	47.37:	0.30:	0.63:	0.19:	0.03:	0.26:	221:	58:	6:	17:	9:	947:	8:	9:	37:	5:	2
25.1.101	: 3.45:	1.15:	46.67:	0.35:	0.71:	0.30:	0.05:	0.40:	284:	37:	6:	7:	8:1	137:	5:	19:	51:	9:	3
28.1. 21	: 3.85:	1.17:	46.20:	0.34:	0.61:	0.34:	0.06:	0.33:	921:	42:	5:	8:	9:1	132:	5:	9:	42:	18:	3
30.2. 83	:11.55:	3.36:	40.58:	0.93:	0.78:	0.96:	0.25:	2.33:1	105:	84:	12:	21:	15:	537:	12:	27:	45:	32:	1
30.4. 45	:17.20:	5.03:	33.48:	1.24:	1.11:	1.14:	1.17:	2.93:1	316:	84:	23:	22:	17:	484:	19:	42:	21:	34:	3
31.2.120	:19.70:	5.44:	33.13:	1.35:	1.11:	1.64:	0.30:	3.36:1	553:	108:	22:	26:	19:	495:	13:	40:	53:	53:	0
31.5.138	:19.55:	5.97:	32.01:	1.42:	1.15:	1.69:	0.43:	3.50:1	379:	129:	25:	29:	18:	600:	12:	47:	45:	47:	0
32.1.101	:11.90:	3.78:	38.80:	0.83:	0.69:	1.17:	0.54:	1.64:	795:	58:	11:	15:	18:	753:	7:	13:	60:	42:	2
32.5. 67	:12.30:	3.67:	38.83:	0.80:	0.81:	1.37:	0.23:	2.14:	684:	66:	10:	13:	16:	768:	10:	5:	45:	58:	1
33.1.107	:22.55:	6.50:	30.15:	1.45:	0.94:	1.96:	0.36:	3.57:	916:	104:	23:	15:	26:	663:	8:	7:	43:	74:	0
33.5. 71	:13.80:	4.14:	38.30:	0.98:	0.82:	1.29:	0.23:	2.36:1	221:	86:	15:	17:	20:	774:	9:	8:	47:	74:	1

Tableau LIV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 528, leg 74.

LEG 74 - SITE 528 (suite)

Echant.	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Mn ppm	Zn ppm	Li ppm	Ni ppm	Cr ppm	Sr ppm	Co ppm	Cu ppm	Pb ppm	V ppm	Cd ppm
34.1. 57	:12.10:	3.72:	38.80:	0.84:	0.71:	1.10:	0.22:	1.86:	1 010:	58:	13:	14:	16:	821:	7:	10:	35:	37:	2
35.1. 53	: 7.05:	2.42:	42.85:	0.58:	0.66:	0.78:	0.13:	0.79:	742:	47:	7:	10:	15:	874:	5:	9:	35:	29:	2
36.1.132	: 5.95:	1.93:	44.36:	0.53:	0.60:	0.63:	0.12:	0.90:	1 705:	37:	6:	11:	13:	832:	5:	4:	61:	18:	3
36.3. 34	: 6.20:	2.02:	43.86:	0.52:	0.62:	0.66:	0.13:	0.83:	2 326:	53:	5:	9:	- :	879:	6:	10:	50:	- :	2
37.1.140	:19.60:	5.54:	31.74:	1.49:	0.89:	1.81:	0.25:	2.79:	2 705:	63:	16:	4:	27:	611:	9:	0:	19:	52:	2
37.5. 54	:14.25:	4.18:	36.33:	1.04:	0.71:	1.52:	0.25:	2.19:	1 947:	58:	12:	12:	24:	716:	11:	9:	34:	23:	3
38.2. 62	:20.50:	5.67:	30.30:	1.61:	0.91:	1.93:	0.35:	3.43:	2 384:	74:	19:	13:	35:	689:	10:	19:	47:	51:	2
39.1. 27	:18.25:	5.06:	32.74:	1.31:	0.86:	1.70:	0.35:	3.33:	2 926:	68:	14:	28:	26:	647:	14:	13:	37:	37:	3
42.3.103	:25.15:	6.73:	26.25:	2.12:	0.98:	2.05:	0.48:	4.79:	3 000:	105:	17:	20:	34:	500:	13:	31:	42:	74:	2
43.1. 98	:19.20:	4.84:	31.64:	1.87:	0.91:	1.42:	0.32:	3.72:	2 232:	79:	18:	9:	23:	684:	11:	27:	46:	52:	2
44.1. 64	:22.35:	5.78:	27.96:	1.79:	0.81:	1.71:	0.37:	4.50:	2 237:	79:	16:	24:	33:	505:	8:	32:	24:	47:	2
46.2. 46	:24.25:	5.61:	28.46:	1.91:	1.13:	1.64:	0.40:	4.65:	1 868:	79:	19:	12:	26:	642:	11:	25:	24:	49:	2
46.5. 54	:20.75:	4.67:	31.47:	1.49:	0.91:	1.64:	0.37:	4.43:	1 884:	63:	14:	14:	27:	642:	11:	28:	39:	53:	2

Tableau LIV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 528, leg 74 (suite)



LEG 74 - SITE 528A

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2.1. 28	2.65	0.87	47.84	0.40	1.18	0.22	0.03	0.54	416	32	4	14	16:1	600	7	13	42	14	3
5.3. 49	1.20	0.34	48.68	0.27	0.91	0.12	0.02	0.19	284	21	2	13	15:1	458	6	10	31	3	3
8.1. 60	1.35	0.26	48.55	0.27	0.98	0.11	0.01	0.07	221	21	1	3	11:1	468	6	7	46	4	2
11.1. 60	1.10	0.30	48.21	0.29	0.91	0.15	0.02	0.07	211	21	1	4	12:1	337	7	5	39	6	3
16.1.100	0.70	0.25	48.85	0.27	1.01	0.15	0.01	0.29	268	21	2	4	11:1	432	8	3	40	8	3
21.1. 88	1.00	0.40	47.88	0.27	0.78	0.15	0.02	0.26	300	26	2	6	12:1	337	8	3	42	9	2
25.1. 98	1.50	0.53	48.45	0.29	0.71	0.17	0.02	0.33	405	26	3	10	17:1	000	12	8	28	4	2

Tableau LIV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 528, leg 74 (suite)

LEG 74 - SITE 529

Echant.	SiO ₂ :Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂ :Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd		
:	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
24.5. 60	: 2.35:	0.57:	48.21:	0.36:	0.92:	0.18:	0.07:	0.36:	237:	42:	2:	7:	11:	816:	8:	6:	26:	5:	3
27.4. 50	: 0.55:	0.17:	49.28:	0.30:	0.56:	0.10:	0.01:	0.07:	253:	58:	1:	6:	9:	632:	10:	4:	32:	5:	3
29.3. 44	: 2.00:	0.53:	48.21:	0.32:	0.67:	0.20:	0.03:	0.29:	158:	53:	3:	5:	11:	874:	8:	5:	35:	5:	3
33.1. 84	: 6.30:	1.47:	44.13:	0.36:	0.71:	0.42:	0.10:	0.54:	363:	53:	6:	7:	14:	1 079:	7:	11:	29:	12:	2
36.1. 58	: 8.05:	1.95:	42.85:	0.47:	0.67:	0.43:	0.10:	0.61:	389:	74:	7:	15:	15:	1 037:	9:	17:	34:	14:	2
38.1. 24	: 7.70:	1.93:	43.83:	0.47:	0.72:	0.45:	0.12:	0.86:	521:	58:	6:	10:	15:	779:	7:	10:	32:	18:	2
40.1. 35	: 14.40:	3.25:	39.53:	0.70:	0.98:	0.86:	0.27:	1.76:	642:	92:	8:	14:	17:	574:	7:	8:	47:	63:	1
41.1.110	: 20.05:	4.84:	34.63:	1.05:	1.26:	1.19:	0.37:	2.83:	663:	91:	15:	22:	22:	605:	9:	10:	45:	63:	1
41.1.120	: 17.95:	1.47:	34.82:	1.07:	0.89:	0.98:	0.33:	2.04:	968:	147:	14:	16:	27:	458:	12:	14:	39:	47:	2
42.2. 73	: 12.30:	3.65:	39.91:	0.76:	0.78:	1.05:	0.23:	1.64:	679:	55:	8:	11:	19:	705:	8:	4:	47:	63:	1
42.5. 73	: 12.05:	3.40:	40.40:	0.73:	0.74:	0.87:	0.23:	1.69:	605:	59:	9:	17:	18:	726:	9:	7:	47:	79:	1
43.1. 70	: 10.00:	2.95:	42.68:	0.70:	0.61:	0.86:	0.19:	1.79:	505:	56:	6:	8:	14:	758:	9:	2:	52:	84:	1
43.4. 70	: 9.35:	2.83:	41.28:	0.58:	0.59:	0.60:	0.17:	1.26:	605:	132:	7:	7:	16:	711:	6:	6:	43:	24:	2

Tableau LV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 529, leg 74.



LEG 75 - SITE 530A

Echantillon	SiO ₂ :Al ₂ O ₃		CaO	MgO		Na ₂ O:K ₂ O		TiO ₂ :Fe ₂ O ₃		Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%		%	%	%	%	%	%											
2.2.	57.65	15.70	0.47	2.94	2.17	2.89	0.55	8.51	600	142	49	109	137	153	28	37	7	121	1	
4.4.	140	23.50	6.73	29.16	1.74	1.42	1.28	3.36	411	126	37	17	71	132	13	24	81	53	2	
5.5.	20	36.35	8.41	16.20	1.85	1.85	1.93	5.00	258	132	41	45	76	611	11	21	34	68	2	
6.2.	136	51.55	12.05	4.99	2.39	2.62	1.48	5.83	237	118	55	41	121	268	6	23	20	89	1	
7.4.	121	17.75	4.74	34.72	1.21	1.25	1.14	0.24	2.23	305	73	28	16	53	210	7	19	39	63	1
8.5.	7	48.65	10.86	5.29	2.63	2.36	2.59	0.38	7.04	305	133	68	60	105	237	7	31	13	84	0
9.1.	111	41.40	9.73	12.89	2.24	2.06	2.26	0.29	4.93	300	117	72	40	81	526	7	34	32	63	1
10.6.	5	51.05	12.53	2.64	2.90	2.37	3.01	0.71	7.01	274	127	59	118	195	6	35	19	105	0	
11.5.	32	40.00	10.28	14.20	2.21	1.92	2.47	0.56	5.36	326	118	48	42	81	568	12	27	31	89	1
12.5.	10	54.65	13.11	2.38	2.69	2.37	3.18	0.73	6.22	263	126	70	41	137	184	8	23	17	95	0
13.3.	93	49.30	12.05	5.39	2.50	2.33	2.80	0.65	7.15	342	120	66	84	123	305	9	25	19	89	1
14.3.	64	15.70	4.14	35.89	1.14	1.08	1.01	0.21	2.50	421	75	23	19	41	353	10	22	45	53	2
15.5.	105	17.75	4.84	33.81	1.25	1.04	1.20	0.25	2.93	437	73	26	32	48	142	13	17	50	53	2
18.5.	43	54.55	15.59	0.47	2.71	1.95	3.73	0.71	8.15	868	126	69	51	103	105	13	41	25	95	0
20.3.	60	53.05	15.59	0.50	2.99	2.12	3.75	0.77	8.94	474	162	91	65	134	100	23	39	22	89	0
21.5.	125	53.75	14.64	0.50	2.83	2.09	3.75	0.75	8.40	789	168	74	88	113	95	22	47	18	111	0
22.4.	85	54.00	14.28	0.47	2.79	1.95	3.72	0.74	8.22	500	137	61	42	122	105	13	38	27	111	0
24.6.	73	56.50	12.53	0.67	2.83	2.43	2.80	0.69	7.72	600	161	50	55	105	116	17	27	15	126	0
26.3.	51	57.00	12.64	0.64	2.90	2.37	2.87	0.73	7.40	347	137	44	38	111	126	11	87	29	100	0
28.5.	25	55.60	14.42	1.00	2.65	2.56	3.88	0.90	7.15	7	500	151	66	158	121	32	77	27	132	0
30.2.	17	56.65	13.23	0.57	2.61	2.44	2.84	0.73	8.15	458	119	35	44	115	137	16	26	27	95	0
32.3.	8	56.95	13.47	0.67	2.72	2.19	3.34	0.76	8.40	384	148	49	47	123	132	19	25	35	84	0
34.6.	66	56.00	14.64	0.60	2.69	2.16	3.61	0.78	9.08	616	162	64	42	114	132	12	26	25	89	0
36.1.	82	57.55	13.58	0.64	2.97	2.07	3.34	0.79	7.86	379	128	53	35	111	137	12	23	25	84	0
37.3.	41	54.05	4.78	1.74	4.10	2.16	3.13	0.54	8.22	779	285	58	68	103	447	16	48	29	84	0
39.2.	83	24.05	12.05	29.09	2.24	0.96	1.20	0.33	3.04	663	138	23	24	47	189	9	25	42	37	2
40.4.	39	16.55	4.36	35.15	1.60	0.78	1.07	0.26	2.39	342	77	24	18	33	621	7	38	51	26	3
41.3.	122	27.90	6.78	25.91	2.15	1.18	1.75	0.40	4.58	342	116	35	42	74	747	9	81	36	42	2
44.2.	44	75.05	7.33	0.44	2.03	1.28	1.87	0.38	4.18	237	116	34	98	82	95	15	16	21	37	0
49 cc		55.50	12.28	1.67	4.02	2.06	3.23	0.84	8.33	489	195	52	55	116	189	17	39	30	95	3
50.4.	90	56.15	12.53	1.84	3.46	2.49	3.57	0.92	7.22	542	213	52	58	97	242	19	77	42	132	0
51.5.	120	72.90	7.67	1.71	1.58	2.02	2.06	0.43	3.65	232	167	27	13	61	184	3	26	25	26	0
53.2.	63	61.30	9.45	3.11	2.86	2.02	2.68	0.80	6.18	221	147	47	48	67	263	17	132	32	168	1
55.5.	63	48.00	6.86	14.87	2.10	1.38	2.02	0.52	4.11	263	139	38	32	62	326	14	39	41	74	1
57.2.	68	58.85	9.69	4.08	3.32	2.04	3.01	0.84	6.97	253	147	62	32	79	237	11	21	26	100	0
59.2.	24	65.40	9.69	2.75	2.30	2.56	2.62	1.13	5.47	316	122	34	19	122	247	5	20	28	105	0
62.4.	63	48.55	8.03	13.59	2.40	1.45	2.09	0.38	4.47	689	192	33	31	58	326	12	121	51	89	1

Tableau LVI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 530, leg 75.

LEG 75 - SITE 530A (suite)

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
64.2.118	:52.65:	9.69:	6.36:	3.40:	1.93:	2.70:	0.88:	8.29:	442:	116:	31:	50:	80:	284:	22:	30:	31:	158:	0
68.5.30	:49.50:	6.86:	13.83:	1.82:	1.36:	1.60:	0.84:	5.50:	947:	118:	26:	36:	58:	295:	15:	49:	45:	84:	1
70.2.57	:48.05:	8.62:	12.05:	2.14:	1.75:	2.26:	0.83:	6.79:	832:	118:	23:	44:	57:	368:	23:	206:	40:	89:	1
72.2.54	:49.25:	10.64:	5.02:	3.48:	1.82:	4.62:	1.36:	10.87:	647:	96:	13:	96:	64:	253:	30:	78:	29:	211:	0
74.2.28	:28.60:	5.00:	21.55:	3.29:	1.75:	0.27:	1.75:	10.01:	2 484:	191:	30:	47:	63:	347:	32:	83:	12:	226:	1
76.1.102	:55.30:	9.19:	1.05:	2.83:	2.49:	0.30:	—	6.72:	58:	126:	17:	106:	236:	437:	96:	89:	40:	256:	0
78.4.59	:39.25:	4.19:	16.02:	3.67:	1.31:	1.75:	0.79:	9.36:	2 237:	140:	20:	65:	68:	289:	27:	2:	13:	185:	0
79.5.9	:52.25:	7.31:	6.09:	2.47:	2.14:	1.45:	1.83:	8.26:	284:	171:	19:	58:	59:	447:	23:	90:	17:	168:	0
81.1.119	:32.95:	3.25:	18.26:	5.91:	1.18:	1.45:	0.75:	8.36:	2 658:	142:	15:	45:	46:	247:	29:	2:	13:	94:	0
82.5.14	:57.55:	5.75:	5.46:	2.11:	1.69:	2.65:	0.52:	8.94:	284:	168:	30:	62:	77:	321:	12:	12:	25:	114:	0
84.2.21	:49.00:	5.81:	9.48:	2.47:	1.85:	2.65:	1.23:	9.11:	563:	127:	34:	73:	85:	395:	13:	63:	29:	111:	0
86.1.18	:42.15:	5.26:	10.88:	4.61:	1.45:	2.65:	0.92:	9.29:	2 500:	153:	21:	66:	59:	279:	28:	24:	40:	106:	1
87.4.67	:57.65:	7.23:	0.70:	2.88:	2.07:	3.67:	1.46:	9.01:	537:	116:	30:	144:	123:	226:	21:	68:	27:	184:	0
88.2.114	:48.45:	6.38:	8.92:	2.38:	1.55:	3.34:	0.99:	9.29:	2 537:	123:	26:	46:	81:	311:	11:	32:	35:	129:	0
89.4.52	:56.85:	7.25:	0.73:	2.59:	1.72:	3.91:	1.36:	10.51:	1 579:	232:	28:	74:	111:	200:	16:	53:	36:	174:	0
90.3.28	:57.90:	7.22:	0.84:	2.96:	1.73:	3.61:	1.23:	7.72:	3 500:	112:	31:	98:	100:	200:	55:	109:	29:	188:	0
91.2.89	:48.65:	5.94:	6.72:	4.20:	1.45:	3.01:	1.06:	7.65:	4 500:	162:	25:	49:	74:	195:	16:	18:	35:	127:	0
93.5.26	:59.35:	6.72:	0.70:	2.59:	1.69:	3.22:	1.21:	7.15:	463:	271:	30:	143:	147:	211:	141:	208:	31:	297:	0
94.1.43	:38.95:	4.31:	0.87:	1.99:	1.23:	2.26:	0.80:	15.23:	453:	1 500:	26:	562:	212:	132:	323:	375:	34:	858:	7
95.4.100	:63.20:	6.53:	0.59:	2.67:	1.72:	3.01:	1.19:	7.65:	311:	129:	37:	51:	97:	179:	19:	139:	22:	221:	0
96.4.29	:59.50:	6.13:	0.80:	2.66:	1.67:	2.77:	1.23:	8.58:	268:	232:	36:	88:	166:	174:	35:	121:	17:	321:	0
98.4.27	:52.55:	5.59:	0.56:	2.67:	1.55:	3.46:	1.08:	13.26:	347:	375:	31:	206:	242:	132:	158:	132:	43:	253:	0
99.5.91	:66.75:	6.06:	0.45:	2.74:	1.38:	2.98:	0.99:	7.51:	379:	181:	32:	28:	72:	121:	5:	63:	12:	128:	0
100.1.129	:58.70:	5.31:	5.39:	2.87:	1.09:	2.86:	0.71:	8.79:	2 747:	163:	27:	43:	54:	158:	14:	42:	19:	100:	0
102.6.32	:64.70:	5.59:	0.77:	3.01:	1.11:	2.96:	0.88:	9.54:	968:	90:	20:	44:	65:	105:	8:	67:	8:	117:	0
103.4.121	:56.80:	3.63:	11.26:	2.21:	0.81:	1.83:	0.48:	5.15:	4 000:	92:	34:	15:	39:	242:	5:	34:	21:	74:	0
104.3.51	:66.35:	5.29:	1.33:	2.98:	1.17:	2.80:	0.83:	6.43:	574:	111:	37:	22:	56:	116:	5:	53:	18:	107:	0
105.4.76	:62.75:	5.66:	0.63:	2.78:	1.60:	3.49:	1.50:	8.04:	621:	100:	44:	41:	64:	137:	16:	60:	24:	130:	0

Tableau LVI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 530, leg 75 (suite)



LEG 75 - SITE 530B

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2.1. 71	:30.40:	3.06:	19.87:	1.74:	3.03:	0.95:	0.19:	3.50:	242:	113:	27:	37:	51:	711:	0:	36:	3:	39:	0
4.3.112	:34.60:	3.50:	18.22:	1.81:	3.10:	1.61:	0.33:	3.79:	305:	111:	41:	52:	82:	705:	0:	42:	12:	59:	0
6.3. 29	:11.15:	1.81:	10.16:	0.99:	1.75:	0.69:	0.15:	1.57:	395:	60:	22:	28:	44:	553:	8:	26:	25:	40:	2
8.2. 73	:51.90:	3.17:	7.84:	1.30:	1.82:	0.70:	0.13:	3.57:	379:	102:	15:	19:	54:	300:	0:	20:	11:	26:	0
11.2. 47	:50.55:	6.00:	4.23:	2.40:	3.07:	2.47:	0.58:	6.08:	400:	123:	60:	48:	127:	211:	4:	37:	15:	84:	0
12.2.122	:52.05:	4.44:	5.53:	2.53:	3.07:	2.21:	0.42:	5.79:	368:	107:	43:	42:	122:	237:	3:	25:	17:	84:	0
16.2. 79	:63.30:	3.81:	0.73:	1.86:	3.44:	1.63:	0.38:	4.00:	205:	118:	40:	49:	128:	121:	0:	36:	11:	58:	0
17.3. 37	:62.05:	4.56:	0.45:	1.88:	3.37:	1.96:	0.44:	4.54:	242:	113:	47:	54:	105:	74:	3:	55:	13:	68:	0
18.1.102	:65.15:	3.66:	0.45:	1.64:	3.44:	1.55:	0.33:	3.79:	200:	97:	39:	46:	96:	74:	0:	39:	13:	55:	0
20.2. 7	:59.65:	4.74:	0.45:	2.17:	2.66:	1.75:	0.32:	5.00:	268:	147:	44:	58:	105:	84:	3:	65:	19:	83:	0
22.3. 71	:53.45:	4.06:	6.96:	1.96:	3.20:	1.81:	0.37:	4.40:	332:	116:	45:	53:	87:	263:	7:	60:	16:	68:	0
25.2. 98	:53.40:	5.00:	6.72:	2.31:	2.70:	2.29:	0.45:	5.00:	395:	135:	56:	58:	97:	284:	11:	47:	20:	97:	0
26.2. 85	:60.60:	4.94:	0.77:	2.21:	3.07:	2.23:	0.47:	5.72:	358:	135:	57:	64:	111:	84:	7:	53:	5:	92:	0
27.2. 36	:51.25:	3.97:	9.79:	1.81:	2.70:	1.90:	0.38:	4.65:	368:	122:	44:	61:	97:	421:	8:	43:	18:	87:	0
39.2. 57	:30.45:	3.25:	26.24:	1.68:	1.95:	1.48:	0.27:	3.04:	258:	92:	39:	21:	71:	1 000:	4:	29:	20:	66:	1
44.2.116	:29.10:	4.13:	25.96:	2.01:	1.52:	1.90:	0.33:	3.75:	442:	87:	42:	25:	69:	979:	4:	15:	29:	65:	1

Tableau LVI - Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 530, leg 75 (suite)

LEG 75 - SITE 532

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2.3. 86	:17.25:	5.18:	31.20:	1.48:	1.83:	1.20:	0.26:	2.68:	116:	288:	47:	62:	97:	995:	7:	44:	35:	65:	2
4.3.105	:22.90:	6.41:	25.36:	1.71:	2.02:	1.51:	0.31:	3.54:	142:	147:	38:	56:	89:	916:	5:	23:	16:	49:	2
6.2. 52	:25.00:	4.78:	25.61:	1.39:	2.26:	1.17:	0.23:	2.50:	116:	124:	33:	65:	74:	895:	3:	47:	17:	51:	2
8.2.104	:29.90:	5.69:	17.73:	1.60:	2.07:	1.37:	0.31:	3.15:	147:	115:	39:	64:	95:	684:	4:	34:	15:	54:	2
10.3. 55	:21.50:	4.82:	31.48:	1.33:	1.65:	1.16:	0.23:	2.25:	111:	789:	29:	55:	68:	1 042:	6:	19:	28:	37:	3
11.3.147	:24.40:	6.44:	22.74:	1.62:	2.07:	1.58:	0.31:	3.32:	147:	118:	52:	72:	89:	768:	4:	59:	25:	60:	3
12.1. 80	:28.10:	6.01:	25.19:	1.60:	2.00:	1.45:	0.30:	3.47:	147:	551:	45:	72:	92:	784:	5:	33:	26:	52:	3
14.2. 33	:38.20:	8.75:	11.47:	2.18:	2.36:	2.14:	0.46:	5.79:	205:	155:	70:	98:	108:	447:	2:	81:	18:	74:	2
16.1.116	:29.35:	3.85:	26.97:	1.06:	2.12:	1.02:	0.20:	2.14:	95:	82:	25:	51:	68:	984:	4:	25:	26:	41:	3
18.2.106	:41.50:	5.72:	17.07:	1.49:	2.49:	1.55:	0.29:	3.32:	147:	100:	39:	55:	68:	611:	1:	42:	24:	52:	2
21.3. 77	:26.80:	4.69:	28.26:	1.25:	1.82:	1.20:	0.24:	2.54:	116:	78:	27:	31:	55:	979:	6:	21:	39:	53:	1
22.2.141	:31.80:	5.31:	20.11:	2.93:	2.01:	1.42:	0.26:	3.15:	132:	101:	33:	52:	56:	674:	3:	40:	24:	57:	1
24.3. 80	:33.05:	7.50:	18.40:	1.60:	2.01:	1.88:	0.35:	4.11:	200:	109:	45:	52:	83:	684:	4:	53:	63:	74:	1
25.2. 48	:35.35:	6.97:	18.92:	1.50:	2.02:	1.79:	0.34:	3.75:	168:	100:	42:	39:	66:	674:	4:	33:	21:	63:	1
27.2.130	:43.60:	7.09:	14.97:	1.45:	2.12:	1.82:	0.33:	3.79:	179:	95:	44:	28:	66:	526:	1:	31:	13:	59:	2
29.3. 19	:35.80:	8.50:	14.69:	1.81:	2.19:	2.16:	0.42:	4.83:	205:	125:	61:	64:	97:	547:	5:	68:	21:	79:	1
31.3. 15	:26.70:	6.03:	26.72:	1.31:	1.58:	1.51:	0.29:	3.22:	153:	370:	37:	41:	88:	1 021:	7:	24:	23:	54:	2
34.2. 51	:32.90:	7.29:	19.17:	1.84:	1.87:	1.88:	0.42:	4.29:	184:	124:	48:	73:	114:	721:	6:	44:	16:	65:	1
36.1. 69	:23.35:	5.86:	28.51:	1.67:	1.53:	1.51:	0.30:	3.32:	158:	106:	35:	43:	80:	1 021:	7:	27:	16:	57:	2
38.2. 36	:29.40:	7.77:	21.72:	1.70:	1.62:	1.93:	0.35:	4.47:	179:	256:	44:	59:	98:	784:	6:	45:	9:	74:	1
40.2. 48	:28.60:	6.01:	26.76:	1.33:	1.65:	1.87:	0.44:	3.04:	163:	141:	49:	66:	111:	953:	7:	45:	26:	71:	1
42.2. 82	:23.45:	5.65:	29.98:	1.59:	1.35:	1.43:	0.28:	3.11:	147:	200:	32:	30:	60:	1 021:	11:	19:	8:	51:	2
43.2. 77	:20.65:	3.97:	32.36:	1.04:	1.50:	1.01:	0.19:	2.14:	132:	77:	23:	32:	53:	1 158:	9:	21:	24:	51:	3
45.2. 39	:14.20:	4.14:	33.23:	3.03:	1.15:	1.05:	0.18:	2.32:	211:	71:	25:	15:	49:	1 105:	8:	8:	17:	55:	3
46.2. 46	:31.90:	8.09:	20.29:	1.69:	1.43:	1.48:	0.29:	4.29:	189:	407:	39:	33:	77:	789:	9:	18:	13:	63:	2
50.1. 6	:21.85:	6.25:	29.63:	1.53:	1.36:	1.51:	0.31:	3.57:	247:	378:	36:	33:	77:	1 074:	11:	21:	24:	65:	2
54.1. 87	:11.05:	2.93:	40.23:	0.84:	1.15:	0.72:	0.15:	1.82:	126:	83:	19:	29:	46:	1 442:	5:	18:	16:	42:	3
56.2. 24	:27.05:	6.44:	25.33:	1.50:	1.45:	1.61:	0.35:	3.65:	242:	136:	49:	44:	82:	1 021:	9:	33:	11:	77:	2
62.1.120	:27.05:	6.33:	26.24:	1.38:	1.33:	1.48:	0.34:	3.32:	205:	163:	43:	35:	71:	1 021:	8:	25:	21:	68:	2
64.2. 14	:23.35:	5.88:	29.56:	1.26:	1.33:	1.33:	0.31:	2.82:	158:	184:	36:	25:	65:	1 168:	7:	18:	38:	62:	3
66.1. 69	:21.60:	5.91:	30.78:	1.48:	1.16:	1.22:	0.28:	2.79:	174:	68:	36:	24:	58:	1 126:	7:	10:	24:	62:	2
67.2. 51	:26.45:	7.07:	25.47:	1.48:	1.42:	1.55:	0.33:	3.79:	189:	102:	43:	48:	67:	953:	7:	44:	22:	95:	3
71.2. 83	:11.05:	3.46:	40.23:	0.82:	1.06:	0.78:	0.15:	1.68:	126:	418:	19:	23:	43:	1 432:	6:	17:	24:	39:	3
73.2. 20	:1 570:	4.50:	35.68:	0.99:	1.08:	1.02:	0.27:	2.36:	132:	78:	28:	30:	54:	1 247:	7:	20:	16:	59:	3



Tableau LVIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 532, leg 75.

GEOBRESIL - SITE KS 17

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0.05	4.50	-	-	0.72	-	-	-	-	0.93	651	-	4	34	-	-	15	10	-	-
0.25	11.35	-	-	0.92	-	-	-	-	1.33	1008	-	8	55	-	-	19	13	-	-
1.05	3.65	2.84	44.43	0.70	1.64	0.63	0.15	0.07	0.73	840	21	6	36	11	200	16	24	-	27
3.10	10.30	3.35	40.17	0.75	1.88	0.83	0.21	0.05	1.06	662	29	7	30	24	120	13	20	-	29

Tableau LVIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments de la carotte KS 17, Géobrésil.

GEOBRESIL - SITE KS 19

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	M	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0.05	6.42	-	-	0.61	-	-	-	-	0.81	732	-	5	48	-	-	18	13	-	-
0.20	6.65	-	-	0.76	-	-	-	-	1.19	932	-	7	53	-	-	14	16	-	-
0.25	14.15	-	-	0.95	-	-	-	-	1.50	1029	-	9	57	-	-	13	15	-	-
0.30	10.00	4.35	41.60	0.87	1.88	0.80	0.22	0.06	1.23	955	30	8	39	28	940	16	25	-	28
1.30	10.40	4.63	40.14	0.97	1.89	1.00	0.25	0.06	1.35	937	35	9	44	32	950	8	31	-	28
2.50	3.05	1.40	51.16	0.37	1.10	0.30	1.08	0.04	0.43	390	7	3	22	0	230	5	14	-	7
3.75	13.25	4.54	38.56	0.97	1.93	1.68	0.21	0.07	1.33	977	33	9	65	44	940	8	29	-	39

Tableau LIX .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments de la carotte KS 19, Géobrésil.

GEOBRESIL - SITE KS 22

Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
0.05	14.55	5.20	36.15	0.97	1.91	0.95	0.23	0.08	1.48	950	37	9	40	25	880	13	34	-	40	
0.50	18.10	7.65	35.00	1.29	1.93	1.33	0.32	0.08	1.93	492	50	15	53	53	780	11	45	-	58	
1.50	12.00	4.58	39.16	0.91	1.80	0.88	0.22	0.07	1.29	977	32	9	38	30	910	13	31	-	38	
2.50	16.95	5.95	35.04	1.06	1.85	1.20	0.32	0.08	1.66	200	44	11	47	34	910	8	44	-	46	
3.50	16.80	6.76	35.60	1.09	1.78	1.25	0.30	0.10	1.65	375	45	11	50	36	870	5	36	-	38	
3.90	15.40	-	-	0.95	-	-	-	-	1.98	302	-	11	69	-	-	16	15	-	-	
4.20	19.35	-	-	1.14	-	-	-	-	1.98	763	-	15	111	-	-	26	24	-	-	
4.25	44.30	13.64	1.89	3.70	3.45	3.59	0.63	0.28	7.30	7.75%	120	69	3	450	79	120	750	1	935	
4.35	51.25	17.48	3.99	2.44	4.06	4.85	0.63	1.82	2.60	2	822	140	41	263	248	231	39	111	-	61
4.50	48.00	14.84	7.27	3.05	-	-	-	-	3.58	2	472	-	40	180	-	-	39	109	-	-
4.60	58.55	17.29	2.79	3.28	3.60	3.32	0.58	1.04	4.03	2	617	170	46	168	115	151	36	90	-	83
5.05	50.50	-	-	3.23	-	-	-	-	4.05	323	-	49	113	-	-	14	21	-	-	
5.50	55.80	17.00	2.63	3.47	5.15	3.37	0.63	0.50	3.95	2	802	170	70	132	78	132	32	77	-	84
6.05	26.75	-	-	1.72	-	-	-	-	2.05	240	-	29	68	-	-	0	15	-	-	
6.30	26.40	7.84	29.39	1.77	2.25	2.90	0.40	0.25	2.05	460	65	25	38	55	830	3	29	-	43	
6.60	25.35	-	-	1.68	-	-	-	-	2.12	1	076	-	24	92	-	-	18	17	-	-
7.20	24.15	8.13	27.99	1.67	2.30	1.83	0.40	0.22	2.05	797	72	26	55	58	830	11	34	-	46	

Tableau LX.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments de la carotte KS 22, Géobrésil.



GEOBRÉSIL - SITE KS 24

Echant. : cm	SiO ₂ : %	Al ₂ O ₃ : %	CaO : %	MgO : %	Na ₂ O : %	K ₂ O : %	TiO ₂ : %	P ₂ O ₅ : %	Fe : %	Mn : ppm	Zn : ppm	Li : ppm	Ni : ppm	Cr : ppm	Sr : ppm	Co : ppm	Cu : ppm	Pb : ppm	V : ppm
0.10	-	-	-	2.64	-	-	-	0.13	4.28	800	-	31	110	-	-	20	28	-	-
0.20	59.25	-	-	2.79	-	-	-	0.12	3.80	969	-	31	110	-	-	19	36	-	-
0.25	55.50	17.96	0.91	2.73	3.95	3.27	0.50	0.11	4.50	430	110	35	66	162	71	23	54	-	118
0.50	56.70	14.93	1.10	3.16	4.10	2.85	0.58	0.09	5.60	621	130	33	78	162	93	26	76	-	155
0.70	60.90	14.40	1.42	2.93	3.50	2.82	0.61	0.10	6.50	639	110	26	95	185	76	23	21	-	122
0.85	64.00	14.40	1.82	2.71	4.05	2.82	0.61	0.11	5.37	621	100	29	80	146	86	16	30	-	115
1.25	62.00	16.28	1.92	2.81	3.95	2.95	0.53	0.14	5.50	773	120	30	95	169	81	16	58	-	116
1.70	62.20	15.72	1.64	3.01	4.05	2.93	0.63	0.12	4.87	875	110	27	81	154	84	16	55	-	132
1.90	57.25	-	-	3.07	-	-	-	0.16	5.00	742	-	32	110	-	-	19	47	-	-
2.00	62.70	14.73	1.81	2.93	3.90	2.73	0.68	0.12	5.30	1 083	100	29	88	172	89	16	36	-	122
2.10	56.50	-	-	3.22	-	-	-	0	5.88	1 016	-	31	65	-	-	17	4	-	-
2.25	61.75	16.52	1.94	2.87	3.35	3.17	0.65	0.12	4.12	623	120	33	120	159	101	33	58	-	146
2.40	57.00	-	-	3.00	-	-	-	-	4.68	258	-	34	105	-	-	35	24	-	-
2.80	64.05	16.05	1.77	2.79	4.12	2.95	0.65	0.12	4.10	752	110	35	68	152	86	20	56	-	127
3.50	67.50	15.20	1.86	2.79	3.75	3.07	0.61	0.11	3.87	965	120	33	83	146	91	21	61	-	115
4.25	63.00	15.81	2.00	2.87	3.85	3.05	0.68	0.12	3.87	963	120	34	73	147	86	18	52	-	129

Tableau LXI.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments de la carotte KS 24, Géobrésil.

GEOBRESIL - SITE KS 25

Echant. cm	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Fe %	Mn ppm	Zn ppm	Li ppm	Ni ppm	Cr ppm	Sr ppm	Co ppm	Cu ppm	Pb ppm	V ppm
0.05	:57.55:	-	-	:4.04:	-	-	-	:0.18:	3.65:2	500:	-	:77:	140:	-	-	:21:	65:	-	-
0.15	:54.90:	-	-	:3.56:	-	-	-	:0.22:	3.90:1	640:	-	:68:	110:	-	-	:19:	50:	-	-
0.25	:57.75:	14.40:	1.96:	:4.05:	3.75:	2.47:	0.74:	:0.19:	6.82:2.92%	200:	70:	870:	165:	120:	220:	261:	-	-	159
0.35	:57.60:	-	-	:3.35:	-	-	-	:0.16:	3.73:1	825:	-	:84:	270:	-	-	:18:	85:	-	-
0.45	:57.10:	-	-	:4.19:	-	-	-	:0.08:	3.98:	260:	-	:76:	120:	-	-	:5:	57:	-	-
0.60	:56.90:	-	-	:3.53:	-	-	-	:0.08:	2.80:3	380:	-	:82:	350:	-	-	:27:	90:	-	-
0.65	:58.75:	-	-	:3.56:	-	-	-	:0.07:	3.90:	220:	-	:78:	170:	-	-	:7:	44:	-	-
0.75	:54.50:	-	-	:3.07:	-	-	-	:0.12:	4.15:3	695:	-	:75:	280:	-	-	:22:	71:	-	-
0.85	:53.00:	-	-	:3.02:	-	-	-	:0.12:	4.23:3	025:	-	:78:	240:	-	-	:21:	76:	-	-
0.95	:56.80:	-	-	:3.50:	-	-	-	:0.35:	3.68:2	400:	-	:75:	220:	-	-	:18:	73:	-	-
1.05	:60.00:	16.52:	1.81:	:4.19:	4.50:	2.40:	0.65:	:0.16:	3.87:1	635:	140:	74:	110:	148:	80:	21:	59:	-	90
2.05	:60.95:	16.76:	1.66:	:4.23:	4.30:	2.60:	0.58:	:0.10:	4.07:2	573:	130:	74:	84:	148:	72:	29:	56:	-	94
2.55	:62.65:	16.99:	1.60:	:4.03:	4.07:	2.22:	0.61:	:0.20:	3.50:2	595:	130:	75:	154:	151:	112:	26:	46:	-	78
2.70	:57.35:	-	-	:3.50:	-	-	-	:0.16:	3.75:2	350:	-	:72:	200:	-	-	:23:	54:	-	-
2.80	:57.60:	-	-	:3.42:	-	-	-	:0.13:	3.98:1	570:	-	:73:	110:	-	-	:23:	52:	-	-
2.90	:55.40:	-	-	:3.76:	-	-	-	:0.17:	3.70:	450:	-	:76:	120:	-	-	:12:	51:	-	-
3.20	:55.50:	-	-	:4.21:	-	-	-	:0.15:	4.00:	240:	-	:74:	160:	-	-	:12:	46:	-	-
3.25	:62:35:	16.70:	1.54:	:4.05:	4.20:	2.50:	0.65:	:0.16:	3.75:	320:	130:	70:	62:	161:	68:	10:	61:	-	99

Tableau LXII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments de la carotte KS 25, Géobrésil.



Echant.	S ₂ O ₃ :Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂ :Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
9.1.120																	
9.2.68																	
9.2.120	37.65:10.49	1.05	2.32	0.43	2.72	0.50:20.12	8.00	400	48	778	98	126	991	287	133	480	0
9.3.84																	
9.3.119																	
9.4.62																	
9.4.120																	
9.5.62	44.25	11.13	0.87	2.55	2.71	0.51	16.41	4.70	1260	57	545	261	100	65	271	102	322
9.5.120																	0
9.6.9																	
9.6.76																	
9.4.97																	
9.4.147	38.95:13.28	0.66	2.20	0.53	2.82	0.49:18.59	5.75	302	62	479	179	116	47	221	97	421	0
9.5.48																	
9.5.120																	
9.5.144	33.25	10.16	0.87	2.01	2.14	0.48	22.59	8.25	684	46	716	128	116	94	324	126	454
9.6.20																	0
9.6.43																	
9.6.60																	
9.6.72	24.65	7.73	1.19	1.62	0.54	0.37	29.67	11.25	180	32	783	124	100	107	544	134	710
9.6.105																	0
9.6.117																	

Tableau LXIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur la fraction fine (< 2 µm) des sédiments sus-jacents au basalte, sites 14 et 15, leg 3.

Echant.	SiO ₂ :Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O:K ₂ O	TiO ₂ :Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd				
	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm				
11.1.143	49.60	14.34	1.15	2.55	0.68	3.47	0.60	15.19	1.63%	305	68	177	113	89	55	166	79	202	0	
11.2.120																				
11.3.47																				
11.3.120	46.85	11.43	1.05	2.84	0.34	2.14	0.42	20.42	2.18%	322	36	186	61	74	107	219	90	345	0	
11.4.47																				
11.4.73																				
11.4.97	41.75	10.81	1.08	2.68	0.30	1.73	0.38	23.06	2.70%	340	31	181	51	79	101	233	109	369	0	
11.4.25																				
6.4.119																				
6.5.3	56.00	14.89	0.98	3.32	0.51	3.07	0.58	8.22	1.750%	180	41	114	164	74	21	90	9	293	0	
6.5.38																				
6.5.82																				
6.5.123	55.75	14.28	0.94	2.88	0.31	1.99	0.41	10.01	2.000%	218	44	93	187	63	13	113	4	469	0	
6.5.143																				

Tableau LXIV - Résultats des analyses chimiques effectuées sur la fraction fine (< 2 µm) des sédiments sus-jacents au basalte, sites 19 et 20, leg 3.





Echant.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
19.1.140	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
19.2. 40	:52.65	:14.64	:0.80	:2.45	:0.30	:1.99	:0.41	:10.89	:7 500	:211	:51	:84	:180	:205	:33	:76	:18	:538	:0
19.2. 87	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
19.3. 46	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
19.3.138	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
20.1.120	:51.85	:13.70	:0.87	:2.56	:0.40	:2.84	:0.56	:11.62	:1.70	:239	:46	:209	:105	:421	:91	:114	:62	:486	:0
20.2. 50	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
20.2.138	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
21.1. 10	:50.05	:13.00	:0.87	:2.85	:0.54	:3.76	:0.69	:12.51	:2.50	:255	:45	:225	:89	:674	:96	:131	:66	:279	:0
21.1. 50	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Tableau LXV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur la fraction fine (< 2 µm) des sédiments sus-jacents au basalte, site 355, leg 39.

Echant.	SiO ₂ : %	Al ₂ O ₃ : %	CaO : %	MgO : %	Na ₂ O : %	K ₂ O : %	TiO ₂ : %	P ₂ O ₅ : %	Fe ₂ O ₃ : %	Mn : ppm	Zn : ppm	Li : ppm	Ni : ppm	Cr : ppm	Sr : ppm	Co : ppm	Cu : ppm	Pb : ppm	V : ppm
8.2.50	57.35	14.91	1.22	3.18	0.22	2.05	0.86	n.d.	8.51	321	297	38	54	95	105	18	21	16	105
11.2.95	66.70	11.69	1.82	2.06	0.39	1.85	0.82	n.d.	5.97	374	403	24	33	101	242	7	21	36	84
13.2.98	68.85	11.22	0.91	2.03	0.22	1.49	0.67	n.d.	6.29	358	242	21	45	96	137	8	16	32	63
15.2.91	71.70	9.45	0.70	1.80	0.18	1.26	0.57	n.d.	5.04	221	332	25	35	93	126	8	20	15	74
17.3.95	60.75	13.70	0.87	2.70	0.25	2.02	0.79	n.d.	7.51	337	367	35	44	115	100	13	31	18	116
24.5.95	53.50	16.06	1.54	3.15	0.30	2.64	0.89	n.d.	10.58	816	457	58	94	103	116	25	27	36	105
32.3.96	55.85	16.12	1.22	3.48	0.62	3.01	0.81	n.d.	8.44	379	360	49	60	82	137	24	33	27	147
38.2.96	53.20	12.75	5.11	3.85	0.36	3.43	0.86	n.d.	8.22	700	386	39	71	84	179	27	33	37	158
42.3.92	57.70	12.04	5.35	2.85	0.88	2.80	0.90	n.d.	6.29	526	307	40	47	86	132	18	45	28	116

Tableau LXVI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur la fraction fine (< 2 µm) des sédiments du site 356, leg 39.



Echant.	SiO ₂ :Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O:K ₂ O	TiO ₂ :Fe ₂ O ₃	Mn	Zn	Li	Ni	Cr	Sr	Co	Cu	Pb	V	Cd
	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
3.3. 97																
5.3. 95																
7.3. 95																
13.3.121	56.55	11.54	6.00	2.23	0.80	5.76	332	247	28	66	363	18	47	38	132	0
15.2. 87																
17.3. 91																
19.2. 85																
21.2. 93																
23.3. 94																
26.3. 94	55.80	13.91	3.26	2.53	1.00	6.79	284	300	33	86	168	20	39	37	158	0
28.3. 93																
30.3. 95																
32.3. 97	51.90	17.14	1.74	2.79	0.98	8.19	400	347	58	84	71	463	26	30	49	132
34.4. 97																
36.3. 95																
40.3. 94																
42.3. 94	56.00	13.85	2.87	2.52	1.50	6.15	126	211	33	63	55	526	23	28	28	132
44.3. 92																
46.3. 96																
48.3. 94	55.85	14.76	1.37	3.22	0.93	7.15	553	284	117	104	73	211	33	54	39	132
50.3. 94																

Tableau LXVII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur la fraction fine (< 2 µm) des sédiments sus-jacents au basalte, site 357, leg 39.

4115
11111

BIBLIOGRAPHIE

- ARRHENIUS G. (1952) .- Sediment cores from the East Pacific. *Reps. Swed. Deep-Sea Exped.*, vol. 5, Göteborg.
- BADER G. R., GERARD R. D., BENSON W. E., BOLLI H. M., HAY W. W., ROTHWELL W. J., RUEF M. H., RIEDEL W. R. et SAYLES F. L. (1969) .- *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 4, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- BARKER P., DALZIEL I. W. et al., (1974) .- Evolution of the southwestern Atlantic ocean Basin : Results of Leg 36, Deep Sea Drilling Project. *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 36, p. 993-1 014, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- BAUSCH W. M. (1968) .- Recent developments in carbonate sedimentology in Central Europe. In Muller G. et Friedman G. M., p. 106-115, Springer-Verlag Ed., Berlin.
- BENZECRI J. P. (1973a) .- L'analyse des données : la taxinomie. T. I, Dunod Edit., Paris.
- BENZECRI J. P. (1973b) .- L'analyse des correspondances. T. II, Dunod Edit., Paris.
- BERGER W. H. (1970) .- Planktonic foraminifera : selective solution and the lysocline. *Marine Geol.*, vol. 8, p. 111-138.
- BERGER W. H. (1972) .- Deep-sea carbonates : Dissolution facies and age-depth constancy. *Nature* vol. 236, p. 392-395.
- BERGER W. H. (1973- .- Cenozoic sedimentation in the eastern tropical Pacific. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 84, p. 1 941-1 954.
- BERGER W. H. (1974) .- Deep-sea sedimentation in the geology of continental margins. p. 213-242, Springer-Verlag Ed., Berlin.
- BERGER W. H. (1978) .- Sedimentation of deep-sea carbonate : maps and models of variations and fluctuations. *Journ. of Foram. Res.*, vol. 8, n° 4, p. 286-302.
- BERGER W. H., EKDALE A. A., BRYANT P. P., 1979 .- Selective preservation of burrows in deep-sea carbonates. *Marine Geol.*, vol. 32, p. 205-230.
- BERGGREN W. A., HOLLISTER C. D. (1974) .- Paleogeography, paleobiogeography and the history of circulation in Atlantic Ocean. In Studies in Paleo-oceanography. Hay W. W. (ed.). *Soc. Econ. Paleont. Min.*, spec. publ., n° 20, p. 126-186.
- BERNER R. A. (1971) .- Principles of chemical sedimentology. Mc Graw-Hill Cie Ed., New-York.
- BERNER R. A. (1977) .- The fate of fossils fuel CO₂. In Anderson N. R. et Malakoff, Plenum Press, New-York.
- BILLY G. (1954) .- Etude des courbes normales de dispersion. Eléments de statistique à l'usage des naturalistes. Centre de document. Univ. edit., Paris.
- BISHOP J. K., EDMOND J. M., KETTEN D. R., BACON M. P. et SILKER W. B. (1977) .- The chemistry, biology and vertical flux of particulate matter from the upper 400 m of the equatorial Atlantic ocean. *Deep Sea Res.*, vol. 24.
- BOLLI H. M., RYAN W. B. F., MCKNIGHT B. K., KAGAMI H., MELGUEN M., SIESSER W. G., NATLAND J. H., LONGORIA J. F., DECIMA F. P., FOPESMAN J. B. et HOTTMAN W. E. (1978) .- *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 40, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- BOON J. J., v. MEER F. W., SCHUYL P. J. W., de LEEYW J. W., SCHENCK P. A. et BURLINGAME A. L. (1978) .- Organic geochemical analyses of core samples from site 362, Walvis Ridge, D. S. D. P. leg 40. In Bolli H. M., Ryan W. B. F. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 40, p. 627-638, Washington (U. S. Gov. Print. off.).
- BOSTROM K. et PETERSON M. N. (1969) .- The origin of the aluminium poor ferromanganoan sediments in areas of high heat flow in the East Pacific rise. *Marine Geol.*, vol. 7, p. 427-447.

- BOSTROM K. et BONATTIE (1969) .- Variations of the geochemistry and mineralogy of Caribbean Deep Sea sediments during the Pleistocene. *Rés. Comm. VII Congr. INQUA*, Paris, T. 66.
- BOSTROM K. (1970) .- Submarine volcanism as a source of iron. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, vol. 9, p. 348-354.
- BRAMLETTE M. N. (1961) .- Pelagic sediments. *Amer. Assoc. Adv. Sci. Publ.*, vol. 67, Washington D. C.
- BRUNSACK H. J. et LEW M. (1982) .- Inorganic geochemistry of Atlantic ocean sediments with special reference to Cretaceous black-shales. In *Geology of the Northwest African continental margin*, p. 661-685. Edit. by Von Rad et al., Springer-Verlag Ed., Berlin.
- CAMERON D. H. (1976) .- Grain-size and carbone/carbonate analyses, leg 36. In Barker P. F., Dalziel I. W. D. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 36, p. 1 047, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- CHAMLEY H. (1975) .- Influence des courants profonds au large du Brésil sur la sédimentation argileuse récente. *9ème Congr. Intern. Sedim.*, Nice, vol. 8, p. 13-21.
- CHAMLEY H., DEBRABANT P., FOULON J. et MAILLOT H. (1978a) .- Minéralogie et géochimie des sédiments secondaires et cénozoïques de la marge atlantique Nord-orientale. (Leg 47B, 48 et 50, D. S. D. P.), *Bull. Soc. géol. France*, 7ème sér., vol. XX, fasc. 4, p. 401-410.
- CHAMLEY H., GIROUD D'ARGOUD G. et ROBERT C. (1978b) .- Clay mineralogy of cretaceous and cenozoic sediments of the Morocco margin (leg 50 - D. S. D. P.). *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 50, p. 715-723, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- CHAMLEY H. et ROBERT C. (1979) .- Late Cretaceous to early Paleogene environmental evolution expressed by the atlantic clay sedimentation. In *Cretaceous-Tertiary boundary events symposium*. W. K. Christensen and T. Birkelund, vol. II Proceedings, p. 71-77, Univ. Copenhagen
- CHAMLEY H., MAILLOT H., DUEE G. et ROBERT C. (sous presse) .- Paleoenvironmental history of the Walvis ridge at the Cretaceous-Tertiary transition, from mineralogical and geochemical investigations. (Leg 74 - D. S. D. P.). In Moore T. C., Rabinowitz P. D. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 74, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- CHARLOT G. (1961) .- Dosages colorimétriques des éléments minéraux. Masson Ed., Paris.
- CHAVE K. E. (1954) .- Aspects of the biochemistry of Mg. 1. Calcareous marine organisms. *J. Geol.*, vol. 62, p. 266-283. 2. Calcareous sediments and rocks. *J. Geol.*, vol. 62, p. 587-599.
- CHESSELET R. et LAMBERT C. (1977) .- L'aluminium, le fer et le manganèse dans les particules en suspension à l'approche de l'interface eau-sédiment dans l'Atlantique et le Pacifique. *Bull. Soc. géol. France*, 7ème sér. vol. XIX, p. 235-241.
- CIESIELSKI P. F. et WISE S. W. (1977) .- Geologic history of the Maurice Ewing Bank of the Falkland Plateau (Southwest Atlantic section of the Southern ocean) based on piston and drill cores. *Marine Geol.*, vol. 25, p. 175-207.
- CRADDOCK C. (1970) .- Antarctic geology and Gondwanaland. *Antarctic Journ. U. S.*, vol. 5, p. 53-57.
- DEAN W. et al. (sous presse) .- Inorganic geochemistry of sediments recovered at site 530. In Hay W. W., Sibuet J.-C. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 75, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- DEBRABANT P., CHAMLEY H., FOULON J. et MAILLOT H. (1979) .- Mineralogy and geochemistry of upper cretaceous and cenozoic sediments from north Biscay-Bay and Rockall Plateau (Eastern North Atlantic) leg 48 D. S. D. P. In Montadert L., Roberts D. G. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 48, p. 703-725, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- DEBRABANT P., FOULON J. et MAILLOT H. (1980) .- Mathematical treatment of geochemical data, Deep Sea Drilling Project. Sites 415 and 416. In Lancelot Y., Winterer E. L., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 50, p. 695-704, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- DEBRABANT P. et CHAMLEY H. (1982) .- Paléoenvironnements comparés de l'Atlantique nord-ouest et du golfe du Mexique oriental, depuis le Jurassique supérieur : contribution de la minéralogie et de la géochimie. Séance spéc. Lille 1981, *Bull. Soc. géol. France*, 7ème sér., vol. XXIV, fasc. 3, p. 473-486.

- DEER W. A., HOWIE R. A. et ZUSSMAN J. (1962) .- Rock forming minerals : sheet silicates. Vol. 1. Longmans, Green and Co Ed., Londres.
- DEROO G. et HERBIN J. P. (sous presse a).- Study of sedimentation of black-shales and sedimentology of Cretaceous organic matter. In Ludwig W. J., Krasheninnikow V. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 71, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- DEROO G. et HERBIN J. P. (sous presse b).- Organic matter in late Cretaceous black-shales at site 530. In Hay W. H., Sibuet J. C. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 75, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- DE WITT M. J. (1977) .- The evolution of the Scotia arc as a key to the reconstruction of South western Gondwanaland. *Tectonophysics*, vol. 48, T. 1-3, p. 53-81.
- ELDEPFIELD H. (1977) .- The form of manganese and iron in marine sediments. In Marine manganese deposits, Glasby G. P. Ed., p. 269-289, Elsevier, Amsterdam.
- EMEL'YANOV P. P. (1977) .- Geochemistry of sediments in the Western Central Atlantic D. S. D. P. leg 39. In Supko P. R. et Perch-Nielsen K. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 39, p. 477-492, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- ERDMAN J. G. et SCHORNO K. S. (1978) .- Geochemistry of carbon : Deep Sea Drilling Project leg 40. In Bolli H. M., Ryan W. B. F. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 40, p. 651-658, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- FAIRBRIDGE R. W. (1966) .- The Encyclopedia of oceanography. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg.
- FAIRBRIDGE R. W. (1977) .- The Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg.
- GARRELS R. M. et CHRIST C. L. (1967) .- Equilibre des minéraux et de leurs solutions aqueuses. Gauthier-Villars Ed., Paris.
- GEITZENAUER K. R., MARGOLIS S. V. et EDWARD D. S. (1968) .- Evidence consistent with Eocene glaciation in a South Pacific deep-sea sedimentary core. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, vol. 4, p. 173-177.
- GOLDBERG E. D. (1964) .- The ocean as a geological system. *New York Academy of Sciences*, vol. 27, n° 1, p. 7-19.
- HART R. A. (1973) .- A model for chemical exchange in the basalt-sea water system of oceanic layer II. *Can. Journ. Earth Sciences*, vol. 10, p. 799-816.
- HAY W. W., SIBUET J. C., BARRON E. J., BOYCE R. E., BRESSELL S., DEAN W. E., HUC A. Y., KEATING B. H., MEYERS P. A., NOHARA M., McNULTY C. L., SCHALLREUTER R. E., STEINMETZ J. C., STOW D. et STRADNER H. (sous presse a).- *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 75, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- HAY W. W., SIBUET J. C., BARRON E. J., BOYCE R. E., BRASSELL S., DEAN W. E., HUC A. Y., KEATING B. H., McNULTY C. L., MEYERS P. A., NOHARA M., SCHALLREUTER R. E., STEINMETZ J. C., STOW D. et STRADNER H. (sous presse b) .- Sedimentation and accumulation of organic carbon in the Angola basin and on Walvis ridge : preliminary results of Deep Sea Drilling Project - Leg 75. *Bull. Soc. géol. Amer.*
- HERBIN J. P. et DEROO G. (1979) .- Etude sédimentologique de la matière organique dans les argiles noires crétacées de l'Atlantique sud. *Docum. Lab. géol. Fac. Sci. Lyon*, n° 75, p. 71-87.
- HESS H. M. (1962) .- History of the ocean basins. In Petrologic studies, Buddington Memorial volume, p. 599-620, geol. Soc. Am., New-York.
- HSU K. J., LA BRECQUE J. L., CARMAN M. F., GOMBOS A. M., KARPOFF A. M., MCKENZIE J. A., PERCIVAL S. F., PETERSEN N. P., PISCICOTTO K. A., POORE R. Z., SCHREIBER E., TAUXE L. TUCKER P., WEISSERT H. J. et WRIGHT R. (sous presse) .- *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 73, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- HUC A. Y., MILLER R. et SAHA P. (sous presse a).- Organic geochemistry of sediments related on the Benguela upwelling system history (sites 530, 532). In Hay W. W., Sibuet J. C. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 75, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).

- HUC A. Y., DEROO G. et HERBIN J. P. (sous presse).- Organic matter in late Cretaceous black-shales at site 530. In Hay W. W., Sibuet J. C. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 75, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- JOHNSON D. A., LEDBETTER M. et BURCKLE L. H. (1977) .- Vema Channel paleo-oceanography Pleistocene dissolution cycles and episodic bottom water flow. *Marine Geol.*, vol. 23, p. 1-33.
- KARPOFF A. M. (sous presse) .- Miocene red clays of south Atlantic : dissolution facies of calcareous oozes at sites 519 to 523, leg 73 of D. S. D. P. In Hsü K. J., La Brecque J. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 73, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- KENNETT J. P., HOUTZ R. E., ANDREWS P. V., EDWARDS A. R., GOSTIN V. A., HAJOS N., HAMPTON M., JENKINS D. G., MARGOLIS S. V., OVENSINE A. T. et PERCH-NIELSEN K. (1975) .- Cenozoic paleoceanography in the southwest Pacific ocean and the development of the circum-antarctic current. In Kennett J. P. et Houtz R. E., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 29, p. 1 155-1 170, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- KINSMAN D. J. (1969) .- Interprétation of Sr^{2+} concentrations in carbonate minerals and rocks. *Journ. Sedim. Petrol.*, vol. 39, n° 2, p. 486-508.
- KRISHNASWAMI S. (1976) .- Authigenic transition elements in Pacific pelagic clays. *Geochim. Cosmoch. Acta*, vol. 40, n° 4, p. 425-434.
- LACROIX Y. (1962) .- Analyse chimique. Interprétation des résultats par le calcul statistique. Masson Ed., Paris.
- LE PICHON X. (1968) .- Sea floor spreading and continental drift. *Journ. geophys. Res.*, vol. 73, p. 3 661-3 697.
- LE PICHON X., EITREIM S. L. et LUDWIG W. J. (1971) .- Sediment transport and distribution in the Argentine basin. 1. Antarctic bottom current passage through the Falkland fracture zone. In physics and chemistry of the earth. In Ahrens L. H., Press F., Runcorn S. K. et Urey Ed., part 8, p. 3-27, Pergamon Press, Oxford.
- LE PICHON X., MELGUEN M. et SIBUET J. C. (1978) .- A schematic model of the evolution of the south Atlantic. In Charnock et Deacon Ed., *Advances in oceanography*, p. 1-48, Plenum Publ. Comp.
- LEW M. (1981) .- The distribution of some major and trace elements in sediments of the Atlantic ocean (D. S. D. P. samples). 1. The distribution of sulphur, sulphur isotopes, and Mn, Fe, Zn and Cu. *Chem. Geol.*, vol. 33, p. 205-224.
- LEW M. (1981) .- The distribution of some major and trace elements in sediments of the Atlantic ocean (D. S. D. P. samples). 2. The distribution of total, fixed and organic nitrogen. *Chem. Geol.*, vol. 33, p. 225-235.
- LUCAS J. et PREVOT L. (1975) .- Les marges continentales pièges géochimiques ; l'exemple de la marge atlantique de l'Afrique à la limite Crétacé-Tertiaire. *Bull. Soc. géol. France*, 7ème sér., vol. XVII, fasc. 4, p. 496-501.
- LUDWIG W. J., KRASHENINIKOV V., USHER J. L., ROBERT C., BORNHOLD B., GOLDSTEIN E. H., BASOV I. A., WISE S. W., CIESIELSKI P. F., WEAVER F. M., SALLOWAY J., BLOEMENDAL J., BAYER U. et von der DICK H. (sous presse) .- *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 71, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- MCKENZIE D. P. et PARKER R. L. (1967) .- The North Pacific : an example of a tectonics on a sphere. *Nature*, vol. 216, p. 1 276-1 280.
- MAILLOT H., DEBRABANT P. et FOULON J. (1978) .- Caractéristiques géochimiques des marges atlantiques nord-orientales. *8ème R. A. S. T.*, p. 261, Orsay.
- MAILLOT H. (1980) .- Géochimie des sédiments crétacés et cénozoïques de la marge atlantique sud-orientale (leg 40 - D. S. D. P.). *Rev. géol. dyn. et géogr. phys.*, vol. XXII, fasc. 1, p. 75-83.
- MAILLOT H. et ROBERT C. (1980) .- Minéralogie et géochimie des sédiments crétacés et cénozoïques dans l'océan Atlantique sud (marge africaine, dorsale médio-atlantique). *Bull. Soc. géol. France*, 7ème sér., vol. XXII, fasc. 5, p. 777-788.
- MAILLOT H. et BONTE A. (sous presse) .- Cone in cone texture from D. S. D. P. site 511 (leg 71) south-west Atlantic Falkland plateau. In Ludwig W. J., Krasheninnikov V. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 71, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).

- MAILLOT H. et ROBERT C. (sous presse a).- Paleoenvironmental evolution of the Walvis Ridge deduced from inorganic geochemical and clay mineralogical data (D. S. D. P. - leg 74, south-east Atlantic). In Moore T. C., Rabinowitz P. D. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 74, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- MAILLOT H. et ROBERT C. (sous presse b).- Paleoenvironmental significance of clay mineralogical and inorganic geochemical data. Angola basin and Walvis ridge (D. S. D. P. - leg 75). In Hay W. W., Sibuet J. C. et al., vol. 75, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- MAXWELL A. E. et VON HERZEN R. (1970) .- *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 3, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- McCOY F. W. et ZIMMERMAN H. B. (1977) .- A history of sediment lithofacies in the south Atlantic ocean. In Perch-Nielsen K., Supko P. R. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 39, p. 1 047-1 079, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- MELGUEN M. et THIEDE J. (1975) .- Influence des courants profonds au large du Brésil sur la distribution des faciès sédimentaires récents. *9ème Congr. Intern. Sédim.*, Nice, vol. VIII, p. 4.
- MELGUEN M., DEBRABANT P., CHAMLEY H., MAILLOT H., HOFFERT M. et COURTOIS C. (1978a).- Influence des courants profonds sur les faciès sédimentaires du Vema Channel (Atlantique sud) à la fin du Cénozoïque. *Bull. Soc. géol. France*, 7ème sér., vol. XX, fasc. 2, p. 121-136.
- MELGUEN M., LE PICHON X. et SIBUET J.-C. (1978b).- Paléoenvironnement de l'Atlantique sud. *Bull. Soc. géol. France*, 7ème sér., vol. XX, fasc. 3, p. 471-489.
- MERCER J. H. (1978) .- Glacial development and temperature trends in the Antarctic and in south America. In Van Zinderen Bakker E. M. A. A., *Antarctic glacial history and world paleoenvironments*, p. 73-94, Balkema Ed., Rotterdam.
- MICHARD G. (1968) .- Coprecipitation de l'ion manganéux avec le carbonate de calcium. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, T. 267, sér. D, p. 1 685-1 688.
- MICHARD G., 1971 .- Theoretical model for manganese distribution in calcareous sediments cores. *Journ. geophys. Res.*, vol. 76, n° 9, p. 2 179-2 186.
- MILLIMAN J. D. (1974) .- Recent sedimentary carbonates : Marine carbonates. Springer-Verlag Ed., New-York.
- MOORE T. C., RABINOWITZ P. D., BORELLA P. E., DUEE G., FUTTERER D. K., LEVER A., BOERSMA A., JIANG M. J., MANIVIT H., SHACKLETON N. J., CHAVE A. D., O'CONNELL S., RICHARDSON S. H. et KLEINERT K. (sous presse) .- *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 74, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- MORGAN W. J. (1968) .- Rises, trenches, great faults and cristal blocks. *Journ. geophys. Res.*, vol. 73, p. 1 959-1 982.
- MOULLADE M. et GUERIN S. (sous presse) .- Le problème des relations de l'Atlantique sud et de l'Atlantique central au Crétacé moyen : nouvelles données microfauniques d'après les forages D. S. D. P. Séance spéc. Lille 1981, *Bull. Soc. géol. France*.
- NATLAND J. H. (1978) .- Composition, provenance and diagenesis of cretaceous clastic sediments drilled on the atlantic continental rise off southern Africa, D. S. D. P. site 361. Implications for the early circulation of the south Atlantic. In Bolli H. M., Ryan W. B. F. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 40, p. 1 025-1 061, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- NEILL W. M. (1976) .- Mesozoic epirogeny at the south Atlantic margin and the Tristan hot spot. *Geol.*, vol. 4, p. 495-498.
- NEKRASSOV B. (1966) .- Chimie minérale : généralités et études des éléments. Editions de Moscou
- PERCH-NIELSEN K., SUPKO P. R., NEPROCHNOV Y. P., ZIMMERMAN H. B., McCOY F., KUMAR N., THIEDE J., BONATTI E., FODOR R., BOERSMA A., DINKELMAN M. G. et CARLSON R. L. (1975) .- Leg 39 - Examines facies changes in South Atlantic. *Geotimes*, vol. 20, p. 26-28.
- PERCH-NIELSEN K., SUPKO P. R., NEPROCHNOV Y. P., ZIMMERMAN H. B., McCOY F., KUMAR N., THIEDE J., BONATTI E., FODOR R., BOERSMA A., DINKELMAN M. G. et CARLSON R. L. (1977) .- *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 39, 1 139 p., Washington (U. S. Gov. Print. Off.).

- PEYPOUQUET J. P. et BENSON R. H. (à paraître) .- Les ostracodes et l'évolution des paléoenvironnements de la Walvis ridge depuis le Crétacé - éléments de paléohydrologie profonde.
- PIMM A. C. (1970) .- Carbon carbonate results, leg 3. In Maxwell A. E. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 8, p. 495-508, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- PIMM A. C. (1970) .- Carbon carbonate results, leg 4. In Bader R. G. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 4, p. 307-314, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- PINTA M. (1971) .- Spectrométrie d'absorption atomique. T. 1, Masson Ed., Paris.
- PINTA M. (1971) .- Spectrométrie d'absorption atomique. T. 2, Masson Ed., Paris.
- PITMAN W. C. et HEJRTZLER J. R. (1966) .- Magnetic anomalies over the Pacific-Antarctic ridge. *Science*, vol. 154, p. 164-171.
- PRESLEY B. J. et KAPLAN I. R. (1970) .- Interstitial water chemistry : Deep Sea Drilling Project - leg 4. In Bader R. G. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 4, p. 415-430, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- RENARD M. (1978) .- Teneurs en strontium, manganèse, fer et composition isotopique de l'oxygène et du carbone des carbonates des legs 47B (site 398 D) et 48 (site 400 A). *Bull. Soc. géol. France*, 7ème sér., vol. XX, fasc. 4, p. 429-440.
- ROBERT C., HERBIN J.-P., DEROO G., GIROUD D'ARGOUD G. et CHAMLEY H. (1979) .- L'Atlantique sud au Crétacé d'après l'étude des minéraux argileux et de la matière organique (legs 39 et 40 D. S. D. P.). *Oceanol. Acta*, vol. 2, n° 2, p. 209-218.
- ROBERT C. (1980) .- Climats et courants cénozoïques dans l'Atlantique sud d'après l'étude des minéraux argileux (legs 3, 39 et 40 D. S. D. P.). *Oceanol. Acta*, vol. 3, p. 369-376.
- ROBERT C. (1981) .- Santonian to Eocene palaeogeographic evolution of the Rio-Grande rise (south Atlantic) deduced from clay mineralogical data (D. S. D. P. - legs 3 and 39). *Paleo-geogr., -climat., -eol.*, vol. 33, p. 311-325.
- ROBERT C. (1982) .- Modalité de la sédimentation argileuse en relation avec l'histoire géologique de l'Atlantique sud. Thèse d'Etat, vol. ronéot., 190 p., Marseille.
- ROBERT C. et MAILLOT H. (sous presse) .- Paleoenvironmental significance of clay mineralogical and geochemical data, south-west Atlantic (D. S. D. P. legs 36 and 71). In Ludwig W. J., Krasheninnikov V. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 71, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- SAYLES F. L. (1970) .- Preliminary geochemistry. In Bader R. G. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 4, p. 645-658, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- SAYLES F. L. et MANHEIM F. T. (1975) .- Interstitial solutions and diagenesis in deeply buried marine sediments : results from the Deep Sea Drilling Project. *Geochim. Cosmoch. Acta*, vol. 39, p. 103-107.
- SCHLANGER J. O. et JENKYN H. C. (1976) .- Cretaceous oceanic anoxic events : causes and consequences. *Geol. en Mijnbouw*, vol. 55, p. 179-184.
- SCLATER J. G. et MCKENZIE D. P. (1973) .- Paleobathymetry of the south Atlantic. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 84, p. 203-215.
- SCLATER J. G., HELLINGER S. et TAPSCOTT C. (1977) .- The paleobathymetry of the Atlantic ocean from the Jurassic to the Present. *J. Geol.*, vol. 85, p. 509-552.
- SHACKLETON N. et KENNETT J. P. (1975) .- Paleotemperature history of the Cenozoic and the initiation of Antarctic glaciation : oxygen and carbon isotope analysis in D. S. D. P. sites 277, 279 and 281. In Kennett J. P., Houtz R. E. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 29, p. 743-756, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- SHAFFER F. R. (sous presse) .- The origin of the Walvis ridge : sediment/basalt compensation during crustal separation. *Paleogeogr., -climat., -eol.*
- SIBUET J. C. et MASCLE J. (1978) .- Plate kinematic implications of Atlantic equatorial fracture zone trends. *Journ. geophys. Res.*, vol. 83, n° B.7, p. 3401-3421.
- SIESSER W. G. et DINGLE R. V. (1981) .- Tertiary sea-level movements around southern Africa. *J. Geol.*, vol. 89, p. 83-97.

- STEINBERG M., DESPRAIRIES A., FOGELGESANG J. P., MARTIN A., CARON A. et BLANCHET D. (1977) .- Radiolarites et sédiments hypersiliceux océaniques : une comparaison. *Sedimentology*, T. 24, p. 547-563.
- STEINBERG M. et MPODOZIS-MARIN C. (1978) .- Caractérisation géochimique des radiolarites, signification paléo-océanographique. *6ème R. A. S. T.*, p. 376, Orsay.
- TAMBAREAU Y. (1982) .- Les ostracodes et l'histoire géologique de l'Atlantique sud au Crétacé. *Bull. Centre Rech. Expl. Prod. Elf-Aq.*, vol. 6, fasc. 1, p. 1-37.
- TARNEY J. (1976) .- Petrology, mineralogy and geochemistry of the Falkland plateau basement rocks, site 330, Deep Sea Drill. Proj. In Barker P. F., Dalziel I. W. D. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 36, p. 893-922, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- TARNEY J. et DONNELLAN N. C. B. (1976) .- Minor element geochemistry of sediments at site 328, Falkland outer basin and site 329, Falkland plateau, leg 36, Deep Sea Drilling Project. In Barker P. F., Dalziel I. W. D. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 36, p. 929-940, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- THIEDE J. et VAN ANDEL T. H. (1977) .- The paleoenvironment of anaerobic sediments in the late Mesozoic south Atlantic ocean. *Earth Planet. Sci. Letter*, vol. 33, p. 301-309.
- THOMPSON R. W. (1976) .- Mesozoic sedimentation on the eastern Falkland plateau. In Barker P.F., Dalziel I. W. D. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 36, p. 877-892, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- TUREKIAN K. K. (1965) .- Some aspects of the geochemistry of marine sediments. In Riley J. P. and Skirrow G. Ed., *Chemical oceanography*, vol. 2, p. 81-126, Acad. Press, London.
- TUREKIAN K. K. et IMBRIE J., 1966 .- The distribution of trace elements in deep-sea sediments of the Atlantic ocean. *Earth Planet. Sci. Letter*, vol. 1, p. 161-168.
- VAN ANDEL T. H., THIEDE J., SCLATER J. G. et HAY W. W. (1977) .- Depositional history of the south Atlantic ocean during the last 125 million years. *J. Geol.*, vol. 85, p. 651-698.
- VARENTSOV I. M. (sous presse) .- Geochemistry of heavy metals and trace elements in post-jurassic sediments. In Ludwig W. J., Krasheninnikov V. et al., *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 71, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).
- VEIZER J. et DEMOVIC R. (1974) .- Strontium as a tool in facies analysis. *Journ. Sedim. Petrol.*, vol. 44, p. 93-115.
- VEIZER J. (1977) .- Diagenesis of pre-quaternary carbonates as indicated by tracer studies. *Journ. Sedim. Petrol.*, vol. 47, n° 2, p. 564-582.
- VEIZER J., LEMIEUX J., JONES B., GIBLING M. R. et SAVELE J. (1978) .- Paleosalinity and dolomitization of a lower Paleozoic carbonate sequence, Somerset and Prince of Wales Islands, Arctic Canada. *Canad. Journ. Earth Sciences*, vol. 15, n° 9, p. 1448-1461.
- VINE F. J. et MATTHEWS O. M. (1963) .- Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature*, vol. 199, p. 947-949.
- VINE J. D. et TOURTELOT E. R. (1970) .- Geochemistry of black shale deposits. A summary report. *Econ. Geol.*, vol. 65, p. 253-272.
- WEDEPOHL K. H. (1970) .- Handbook of geochemistry. T. 2, part 1, Springer-Verlag Ed., Berlin.
- WEDEPOHL K. H. (1978) .- Handbook of geochemistry. Springer-Verlag Ed., Berlin.
- WEGENER A. (1912) .- Die Entstehung der Kontinente. Petermanns mitteilungen. p. 185-195, 253-256 et 305-309. Trad., 1966 : The origin of continents and oceans. 4th Ed., Dover Pub. Inc. New-York.
- WHITE A. F. (1977) .- Sodium and potassium coprecipitation in aragonite. *Geochim. Cosmoch. Acta.*, vol. 41, p. 613-625.
- WHITEHOUSE V. G., LEFFREY L. L. et DEBRECHT J. A. (1960) .- Differential settling tendencies of clay minerals in saline waters. *Clays Clay Min.*, 7th nat. conf., p. 1-80.
- WIEDMANN J. et NEUGEBAUER J. (1978) .- Lower Cretaceous ammonites from the south Atlantic leg 40 (D. S. D. P.), their stratigraphic value and sedimentological properties. *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, suppl. to vol. 40, p. 709-735, Washington (U. S. Gov. Print. Off.).

WILSON J. T. (1968) .- Révolution dans les sciences de la terre. *In* "Vie et Milieu", sér. B, Océanographie, T. XIX, fasc. 2.B, p. 395-424.

WORSLEY T. (1974) .- The Cretaceous-Tertiary boundary events in the ocean. *In* studies in paleoceanography. Hay ed., Soc. Econ. Pal. Min., spec. publ., p. 94-120.

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 .- Localisation des principales unités morphologiques et structurales de l'Atlantique Sud	13
Figure 2 .- Localisation des forages étudiés en fonction des campagnes océanographiques auxquelles ils appartiennent	15
Figure 3 .- Ouverture de l'Atlantique Sud au Crétacé inférieur, au Paléocène et au Miocène. Individualisation des quatre bassins d'après Mc Coy et Zimmerman (1977)	16
Figure 4 .- Analyse des correspondances, échantillonnage du leg 3 (sites 14 et 19) ...	25
Figure 5 .- Exemple de représentation triangulaire permettant de mettre en évidence les grandes tendances chimiques de la fraction argileuse	29
Figure 6 .- Influence du taux de sédimentation sur la concentration de certains éléments chimiques (d'après Krishnaswami, 1976)	35
Figure 7 .- Relation $Sr = f(CaO)$ d'après Debrabant (rés. non publ.)	40
Figure 8 .- Schématisation des domaines de précipitation oxydoréducteur et acidobasique des éléments transitionnels, dans les conditions normales (d'après Garrel et Christ, 1967)	44
Figure 9 .- Stratification des principales masses d'eau a) d'après Schanger et Jenkyns 1976 ; b) d'après Park, 1966	46
Figure 10 .- Schéma simplifié de l'accumulation du manganèse à l'interface eau-sédiment d'après Michard (1971)	47
Figure 11 .- Actuelle profondeur du niveau de compensation des carbonates (N. C. C.) en Atlantique (les profondeurs du N. C. C. sont données en kilomètres)	48
Figure 12 .- Courbes de paléop profondeurs des carbonates a) d'après Melguen <u>et al.</u> (1978a), b) d'après Van Andel <u>et al.</u> , (1977)	49
Figure 13 .- Solubilité des sels de Ca et Sr (mole/l de H ₂ O) d'après Nekrassov (1966) .	50
Figure 14 .- Localisation du site 530 (leg 75) d'après Hay, Sibuet <u>et al.</u> (sous presse)	55
Figure 15 .- Site 530, leg 75, lithologie (d'après Hay, Sibuet <u>et al.</u> , sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Maillot et Robert, sous presse b)	56
Figure 16 .- Localisation du site 525 (leg 74) d'après Rabinowitz, Moore <u>et al.</u> (sous presse)	58
Figure 17 .- Site 525, leg 74, lithologie (d'après Rabinowitz, Moore <u>et al.</u> , sous presse) minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Maillot et Robert, sous presse a)	60
Figure 18 .- Localisation du site 19 (leg 3) d'après Maxwell <u>et al.</u> (1970)	61
Figure 19 .- Evolution des critères chimiques dans les sédiments du site 19 (leg 3). a) Fraction libre de carbonates et Mn [*] sur l'ensemble de la colonne sédimentaire, b) détail du contact basalte/sédiment. (Les analyses d'argiles sont figurées d'après Robert, 1982)	62
Figure 20 .- Localisation du site 513 (leg 71) d'après Ludwig, Krasheninnikov <u>et al.</u> (sous presse)	68
Figure 21 .- Site 513, leg 71, lithologie (d'après Ludwig, Krasheninnikov <u>et al.</u> (sous presse) minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse)	69
Figure 22 .- Localisation des sites 327 et 330 (leg 36) d'après Barker, Dalziel <u>et al.</u> , (1974) ; du site 511 (leg 71) d'après Ludwig, Krasheninnikov <u>et al.</u> , (sous presse)	71

Figure 23 .-	Site 330, leg 36, lithologie (d'après Barker, Dalziel <u>et al.</u> , 1974), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse)	72
Figure 24 .-	Site 327, leg 36, lithologie (d'après Barker, Dalziel <u>et al.</u> , 1974), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse)	76
Figure 25 .-	Site 511, leg 71, lithologie (d'après Ludwig, Krasheninnikov <u>et al.</u> , sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse)	78
Figure 26 .-	Valeurs des principaux critères chimiques dans les niveaux de "black-shales" du site 330, leg 36. Lithologie (d'après Barker, Dalziel <u>et al.</u> , 1974), minéralogie des argiles (d'après Robert et Maillot). (La représentation lithologique du faciès black-shales ne débute qu'entre les carottes 11 et 10. En réalité, dès la carotte 14, les intercalations de niveaux enrichis en carbone organique sont fréquentes)	80
Figure 27 .-	Variations des principaux critères chimiques dans les niveaux de "black-shales" du site 511 (leg 71)	82
Figure 28 .-	Localisation des sites 361 et 363 (leg 40) d'après Bolli, Ryan <u>et al.</u> (1978)	83
Figure 29 .-	Lithologie, évolution des critères chimiques Mn* et Sr*, évolution du carbone organique dans les "black-shales" du site 361 (leg 40)	84
Figure 30 .-	Site 327, leg 36, lithologie (d'après Barker, Dalziel <u>et al.</u> , 1974), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse)	89
Figure 31 .-	Site 330, leg 36, lithologie (d'après Barker, Dalziel <u>et al.</u> , 1974), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse)	90
Figure 32 .-	Site 511, leg 71, lithologie (d'après Ludwig, Krasheninnikov <u>et al.</u> , sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse)	91
Figure 33 .-	Localisation des sites 362 (leg 40) d'après Bolli, Ryan <u>et al.</u> (1978) et du site 532 (leg 75) d'après Hay, Sibuet <u>et al.</u> (sous presse)	92
Figure 34 .-	Site 362, leg 40 : évolution des métaux exprimés dans la fraction libre de carbonates et de Mn*	94
Figure 35 .-	Site 532, leg 75, lithologie (d'après Hay, Sibuet <u>et al.</u> , sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Maillot et Robert, sous presse b)	95
Figure 36 .-	Localisation des sites étudiés d'après Melguen <u>et al.</u> (1978a). (Les courbes de niveau sont exprimées en brasses, 1 brasse = 1,83 m)	97
Figure 37 .-	Distribution des types lithologiques, dans les sédiments des carottes prélevées lors de la mission Géobrézil (1973) dans le chenal de Vema et sur le flanc ouest de la ride du Rio-Grande (d'après Melguen <u>et al.</u> , 1978a)	99
Figure 38 .-	Répartition des terres rares le long des carottes KS 22 et KS 25 d'après Courtois <u>in</u> Melguen <u>et al.</u> (1978a)	100
Figure 39 .-	Localisation du site 530 (leg 75) d'après Hay, Sibuet <u>et al.</u> (sous presse).	103
Figure 40 .-	Site 530, leg 75, lithologie (d'après Hay, Sibuet <u>et al.</u> , sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Maillot et Robert, sous presse b)	105
Figure 41 .-	Localisation du site 513 (leg 71) d'après Ludwig, Krasheninnikov <u>et al.</u> (sous presse)	106

	Pages
Figure 42 .- Site 513, leg 71, lithologie (d'après Ludwig, Krasheninnikov <u>et al.</u> , sous presse), minéralogie des argiles et géochimie de la roche totale (d'après Robert et Maillot, sous presse)	109
Figure 43 .- Localisation du site 355 (leg 39) d'après Supko, Perch-Nielsen <u>et al.</u> (1979)	110
Figure 44 .- Site 355, leg 39, lithologie (d'après Supko, Perch-Nielsen <u>et al.</u> , 1979), minéralogie des argiles (d'après Robert, comm. pers.) et géochimie de la roche totale	112
Figure 45 .- Localisation des sites 14 et 19 (leg 3) d'après Maxwell <u>et al.</u> (1970) et du site 360 (leg 40) d'après Bolli, Ryan <u>et al.</u> (1978)	115
Figure 46 .- Evolution des critères chimiques dans les sédiments du site 14 (leg 3) a) Fraction libre de carbonates et Mn [*] sur l'ensemble de la colonne sédimentaire, b) détail du contact basalte/sédiment. (Les analyses d'argile sont figurées d'après Robert, 1982)	117
Figure 47 .- Evolution des critères chimiques dans les sédiments du site 19 (leg 3) a) Fraction libre de carbonates, Mn [*] , D [*] , Mg [*] et Fe [*] sur l'ensemble de la colonne sédimentaire, b) détail du contact basalte/sédiment. (Les analyses d'argiles sont figurées d'après Robert, 1982)	119
Figure 48 .- Evolution des critères chimiques dans les sédiments du site 360 (leg 40): fraction libre de carbonates, Mn [*] , D [*] , Mg [*] et Fe [*] sur l'ensemble de la colonne sédimentaire	121
Figure 49 .- Distribution de Mn [*] , D [*] et Sr [*] ; du carbone organique (Corg) et de l'index d'hydrogène (I. H.) d'après Herbin et Deroo (1979); des minéraux argileux d'après Robert (1982). Position des continents au Jurassique moyen d'après Sclater <u>et al.</u> (1977)	127
Figure 50 .- Distribution de Mn [*] , D [*] et Sr [*] , du carbone organique et de l'index d'hydrogène d'après Herbin et Deroo (1979); des minéraux argileux d'après Robert (1982) à la transition jurassique-Crétacée	131
Figure 51 .- Distribution de Mn [*] , D [*] et Sr [*] , du carbone organique et de l'index d'hydrogène d'après Herbin et Deroo (1979); des minéraux argileux d'après Robert (1982) à l'Hauterivien-Valanginien	134
Figure 52 .- Moyennes des critères Mn [*] , D [*] et Sr [*] dans les sédiments albo-aptiens des sondages étudiés	136
Figure 53 .- Variations verticales des critères Mn [*] , D [*] , Sr [*] , du carbone organique et de l'index d'hydrogène d'après Herbin et Deroo (1979); des minéraux argileux d'après Robert (1982) à l'Albo-Aptien	139
Figure 54 .- Moyennes des critères Mn [*] , D [*] et Sr [*] dans les sédiments cénomaniens des sondages étudiés	144
Figure 55 .- Moyennes des critères Mn [*] , D [*] et Sr [*] dans les sédiments santoniens des sondages étudiés	148
Figure 56 .- Variations verticales des critères Mn [*] , D [*] , Sr [*] ; du carbone organique et de l'index d'hydrogène d'après Herbin et Deroo (1979), des minéraux argileux d'après Robert (1982) au Santonien	151
Figure 57 .- Reconstitution paléobathymétrique au Santonien des sites des legs 36 et 71 au niveau du 47° latitude sud. (Courbes paléobathymétriques d'après Sclater <u>in</u> Melguen <u>et al.</u> , 1978b). Principales influences sur la sédimentation déduites de la géochimie	152
Figure 58 .- Moyennes des critères Mn [*] , D [*] et Sr [*] dans les sédiments de la transition Crétacé/Tertiaire	157
Figure 59 .- Variations verticales des critères Mn [*] , D [*] , Sr [*] ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) et Chamley <u>et al.</u> (sous presse) à la transition Crétacé/Tertiaire	159

	Pages
Figure 60 .- Moyennes des critères Mn [*] , D [*] et Sr [*] dans les sédiments de l'Eocène moyen et supérieur	165
Figure 61 .- Variations verticales des critères Mn [*] , D [*] , Sr [*] ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) à l'Eocène moyen et supérieur	167
Figure 62 .- Reconstitution paléobathymétrique relative à l'Eocène moyen et supérieur au niveau des 27° et 47° de latitude sud. Principales influences sur la sédimentation déduites de la géochimie	169
Figure 63 .- Moyennes des critères Mn [*] , D [*] et Sr [*] dans les sédiments de l'Oligocène ...	175
Figure 64 .- Variations verticales des critères Mn [*] , D [*] , Sr [*] ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) à l'Oligocène	177
Figure 65 .- Reconstitution paléobathymétrique à l'Oligocène au niveau des 27° et 47° de latitude sud	179
Figure 66 .- Influence de l'A. A. B. W. sur la sédimentation à l'Oligocène	181
Figure 67 .- Moyennes des critères Mn [*] , D [*] et Sr [*] dans les sédiments du Miocène inférieur et moyen	185
Figure 68 .- Variations verticales des critères Mn [*] , D [*] , Sr [*] ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) au Miocène inférieur et moyen	187
Figure 69 .- Reconstitution paléobathymétrique au Miocène inférieur et moyen au niveau des 27° et 47° de latitude sud. Principales influences sur la sédimentation déduites de la géochimie	189
Figure 70 .- Influence des masses d'eau sur la sédimentation au Miocène inférieur et moyen	191
Figure 71 .- Moyennes des critères Mn [*] , D [*] et Sr [*] dans les sédiments du Miocène supérieur	197
Figure 72 .- Variations verticales des critères Mn [*] , D [*] , Sr [*] ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) au Miocène supérieur	199
Figure 73 .- Influence des masses d'eau sur la sédimentation au Miocène supérieur	201
Figure 74 .- Moyennes des critères Mn [*] , D [*] et Sr [*] dans les sédiments du Plio-Pléistocène	205
Figure 75 .- Variations verticales des critères Mn [*] , D [*] , St [*] ; des minéraux argileux d'après Robert (1982) au Plio-Pléistocène	207
Figure 76 .- Influence des masses d'eau sur la sédimentation au Plio-Pléistocène	209
Figure 77 .- Reconstitution des principaux stades d'évolution de l'Atlantique sud au niveau d'une transversale située aux environs du 27° de latitude sud	217
Figure 78 .- Reconstitution des principaux stades d'évolution de la région des Falkland, 47° latitude sud. (La légende est reportée sur la figure 77).....	219
Figure 79 .- Reconstitution des principaux stades d'évolution des parties nord-orientale et sud-occidentale de la ride de Walvis. (La légende est reportée sur la figure 77).....	221

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I	18
Tableau II	26
Tableau III	28
Tableau IV	29
Tableau V	30
Tableau VI	32
Tableau VII	34
Tableau VIII	63
Tableau IX	64
Tableau X	65
Tableau XI	66
Tableau XII	67
Tableau XIII	73
Tableau XIV	79
Tableau XV	81
Tableau XVI	83
Tableau XVII	85
Tableau XVIII	85
Tableau XIX	92
Tableau XX	96
Tableau XXI	104
Tableau XXII	107

	Pages
Tableau XXIII .- Comportement de Mn* et D* dans les premiers sédiments au contact du basalte (site 19, leg 3)	118
Tableau XXIV .- Moyennes et écarts types des critères Mn*, D*, Si* et K* reportés sur la figure 66	181
Tableau XXV .- Moyennes et écarts types des critères Mn*, D*, Si* et K* reportés sur la figure 70	190
Tableau XXVI .- Moyennes et écarts types des critères Mn*, D*, Si* et K* reportés sur la figure 73	200
Tableau XXVII .- Moyennes et écarts types des critères Mn*, D*, Si* et K* reportés sur la figure 76	208
Tableau XXVIII.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 14, leg 3	225
Tableau XXIX .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 15, leg 3	226
Tableau XXX .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 16, leg 3	227
Tableau XXXI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 17, leg 3	228
Tableau XXXII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 18, leg 3	229
Tableau XXXIII.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 19, leg 3	230
Tableau XXXIV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 20, leg 3	231
Tableau XXXV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 327, leg 36	232
Tableau XXXVI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 328, leg 36	235
Tableau XXXVII.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 329, leg 36	237
Tableau XXXVIII.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 330, leg 36	238
Tableau XXXIX .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 331, leg 36	240
Tableau XL .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 355, leg 39	241
Tableau XLI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 356, leg 39	242
Tableau XLII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 357, leg 39	244
Tableau XLIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 360, leg 40	246
Tableau XLIV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 361, leg 40	247
Tableau XLV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 362, leg 40	248
Tableau XLVI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 363, leg 40	250
Tableau XLVII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 364, leg 40	251
Tableau XLVIII.- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 511, leg 71	252

	Pages
Tableau II .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 513, leg 71	255
Tableau L .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 519, leg 73	257
Tableau LI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 522, leg 73	258
Tableau LII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 525, leg 74	259
Tableau LIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 527, leg 74	261
Tableau LIV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 528, leg 74	262
Tableau LV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 529, leg 74	265
Tableau LVI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 530, leg 75	266
Tableau LVII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments du site 532, leg 75	269
Tableau LVIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments de la carotte KS 17, Géobrézil	270
Tableau LIX .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments de la carotte KS 19, Géobrézil	270
Tableau LX .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments de la carotte KS 22, Géobrézil	271
Tableau LXI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments de la carotte KS 24, Géobrézil	272
Tableau LXII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur les sédiments de la carotte KS 25, Géobrézil	273
Tableau LXIII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur la fraction fine (< 2 µm) des sédiments sus-jacents au basalte, sites 14 et 15, leg 3 ..	274
Tableau LXIV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur la fraction fine (< 2 µm) des sédiments sus-jacents au basalte, site 19 et 20 leg 3	275
Tableau LXV .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur la fraction fine (< 2 µm) des sédiments sus-jacents au basalte, site 355, leg 39	276
Tableau LXVI .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur la fraction fine (< 2 µm) des sédiments du site 356, leg 39	277
Tableau LXVII .- Résultats des analyses chimiques effectuées sur la fraction fine (< 2 µm) des sédiments du site 357, leg 39	278



TABLE DES MATIERES

	Pages
AVANT-PROPOS	3
RESUME	5
SUMMARY	7

PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS

PREMIER CHAPITRE : INTRODUCTION	11
DEUXIEME CHAPITRE : PRESENTATION DU MEMOIRE, MATERIEL D'ETUDE ET OBJECTIFS INITIAUX	14
I. Présentation du mémoire	14
II. Matériel d'étude	17
III. Objectifs initiaux	17

DEUXIÈME PARTIE : L'OUTIL GÉOCHIMIQUE

PREMIER CHAPITRE : L'ECHANTILLONNAGE ET SON TRAITEMENT, ELEMENTS ANALYSES ET METHODES D'ANALYSE	21
I. L'échantillonnage	21
A. Représentativité de l'échantillonnage	21
B. Pollution des échantillons	21
II. Traitement des échantillons	22
A. Attaque alcaline, insolubilisation et dosage de la silice	22
B. Attaque acide	22
C. Traitement de la fraction fine	23

	Pages
III. Eléments analysés et méthodes d'analyse	23
A. Particularité des dosages spectrophotométriques	23
1. Absorption atomique	23
2. Absorption moléculaire	24
3. Emission dans la flamme	24
B. Reproductibilité des dosages	24
C. Tests statistiques	24
 DEUXIEME CHAPITRE : LES DONNEES GEOCHIMIQUES	 27
I. Interprétation des dosages de la roche totale	27
A. Les marqueurs du faciès détritique	27
1. Silice libre	27
2. Argiles détritiques	28
3. Turbidites	30
4. Dépôts volcano-détritiques	31
B. Les marqueurs du faciès biogénique	31
1. Silice biogénique	31
2. Carbonates biogéniques	31
3. Phosphates	32
C. Les marqueurs du faciès métallifère	33
D. Les marqueurs des faciès volcanogéniques	33
E. Les marqueurs des faciès réduits	33
II. Résultats obtenus à partir des dosages réalisés sur la fraction fine (< 2 µm) de certains échantillons	34
III. Les limites des concentrations exprimées dans la roche totale de la fraction fine : effets de masque de la fraction biogénique, taux de sédimentation	36
A. Effet de masque de la fraction biogénique	36
B. Influence du taux de sédimentation	36

TROISIEME CHAPITRE : L'UTILISATION DES RESULTATS EXPRIMES EN VALEURS RELATIVES OU EXPRESSIONS NORMEES	37
I. Généralités	37
II. $D^* = Al/Al + Fe + Mn$	37
III. $Mn^* = \log \left[\frac{Mn \text{ échantillon}}{Mn \text{ shale de référence}} / \frac{Fe \text{ échantillon}}{Fe \text{ shale de référence}} \right]$	38
IV. $Sr^* = 10^3 Sr/CaO$	39
V. Utilisation combinée de ces critères pour la reconstitution des paléoenvironnements	40
A. Métallisations exceptionnelles : reflets de l'activité volcanique	40
1. Proximité de zones volcaniques actives, hydrothermalisme	41
2. Emersion ou immersion des zones volcaniques	41
3. Vitesse d'élargissement océanique	41
4. Limites d'application	42
B. Apports terrigènes	42
1. Reflet des zones d'apport détritique	42
2. Relais des influences métallifères par caractère détritique .	43
3. Rajeunissements tectoniques	43
4. Limites d'application	43
C. Oxydo-réduction : milieux confinés, milieux ouverts et courantologie	43
1. Milieux confinés	44
2. Milieux ouverts	45
3. Effets de courants ou des masses d'eaux océaniques	45
a. Masses d'eau oxydantes superficielles et profondes	45
b. Masses d'eau relativement moins oxydantes ("couche à minimum d'oxygène")	45
4. Diffusion diagénétique des métaux de transition	47
D. Paléoprofondeur, confinement du milieu et dissolution des carbonates	48
1. Dissolution liée à l'approfondissement	48
2. Dissolution liée au confinement synsédimentaire	51
3. Applications et limites	51

TROISIÈME PARTIE : EXEMPLES D'APPLICATION,
EXPRESSION DES PRINCIPAUX ASPECTS DU PALÉOENVIRONNEMENT MARIN

PREMIER CHAPITRE :	PREMIERS STADES DE LA SEDIMENTATION OCEANIQUE	55
I.	Premiers stades de la sédimentation océanique (rifting) en milieu réducteur : l'épisode sédimentaire Albien-Santonien du bassin d'Angola	55
A.	Localisation du site	55
B.	Lithologie	57
C.	Données géochimiques	57
D.	Interprétations	57
II.	Premiers stades de la sédimentation marine	58
A.	Influence des émissions volcaniques subaériennes : la partie sud-ouest de la ride de Walvis au Campanien-Paléocène	58
1.	Localisation du site	58
2.	Lithologie	58
3.	Données géochimiques	59
4.	Interprétations	59
B.	Influence des émissions volcaniques sous-marines	61
1.	Situation océanique franche : exemple de la sédimentation éocène du bassin du Brésil	61
a.	Localisation du site	61
b.	Lithologie	61
c.	Données géochimiques	63
d.	Interprétations	63
2.	Situation péricontinentale : plateau immergé : exemple de la bordure sud-est du bassin d'Argentine	68
a.	Localisation du site	68
b.	Lithologie	68
c.	Données géochimiques	68
d.	Interprétations	70

	Pages
DEUXIEME CHAPITRE : PASSAGE CONTINENT/OCEAN	71
I. Localisation des sites	71
II. Lithologie	73
III. Données géochimiques	73
IV. Interprétations	74
TROISIEME CHAPITRE : BASSINS CONFINES : LE FACIES "BLACK-SHALES"	77
I. Les "Black-Shales" du plateau des Falkland	77
A. Localisation et lithologie	77
B. Données géochimiques	77
C. Interprétations	81
II. Les "Black-Shales" de la marge orientale	83
A. Localisation	83
B. Lithologie	83
C. Données géochimiques	84
D. Interprétations	85
III. Conclusion sur la géochimie des "Black-Shales"	86
QUATRIEME CHAPITRE : EFFETS DES COURANTS : GEOCHIMIE ET MASSES D'EAU DE SURFACE, INTERMEDIAIRES ET DE FOND	87
I. Masses d'eau de surface : le bord nord du plateau des Falkland au Crétacé supérieur	87
A. Localisation, lithologie et données géochimiques	87
B. Interprétations	88
II. Masses d'eau intermédiaires : le flanc nord de la ride de Walvis au Néogène	92

	Pages
A. Localisation	92
B. Lithologie	93
C. Données géochimiques	93
D. Interprétations	93
III. Masses d'eau de fond : le chenal de Vema au Néogène et au Pléistocène	96
A. Localisation	96
B. Lithologie	97
C. Données géochimiques	97
1. Carottes KS17 et KS19	96
2. Carotte KS22	97
3. Carotte KS24	97
4. Carotte KS25	97
D. Interprétations	98
CINQUIEME CHAPITRE : DISSOLUTION DES CARBONATES	103
I. Dissolution synsédimentaire : les sédiments réduits du bassin d'Angola de l'Albien au Coniacien	103
A. Localisation	103
B. Lithologie	104
C. Données géochimiques	104
D. Interprétations	104
II. Dissolution de profondeur	106
A. Dissolution partielle des carbonates : les sédiments néogènes du chenal de Vema et les sédiments miocènes du flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique	106
1. Localisation	106
2. Lithologie	106
3. Données géochimiques	107
4. Interprétations	108

B. Dissolution totale du sédiment : les sédiments mio-pliocène du flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique et du Crétacé supérieur du bassin du Brésil	110
1. Localisation et lithologie	110
2. Données géochimiques	111
a. Dissolution totale dans le milieu naturel	111
b. Dissolution totale réalisée artificiellement	111
3. Interprétations	112
SIXIEME CHAPITRE : OUVERTURE OCEANIQUE, VITESSE D'OUVERTURE ET INFLUENCES DU CONTINENT	115
I. Localisation	115
II. Lithologie	116
III. Données géochimiques	116
A. Site 14	116
B. Site 19	118
C. Site 360	120
IV. Interprétation	120
QUATRIÈME PARTIE : APPORT DE LA GÉOCHIMIE MINÉRALE A LA RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE SUD	
PREMIER CHAPITRE : JURASSIQUE MOYEN : L'ENVIRONNEMENT CONTINENTAL	125
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	125
A. Géochimie minérale	125
B. Minéralogie des argiles et géochimie organique	126
II. Discussions	126
DEUXIEME CHAPITRE : LA TRANSITION JURASSIQUE/CRETACE : EBAUCHE DE L'ATLANTIQUE SUD	129

	Pages
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	129
A. Géochimie minérale	129
B. Minéralogie des argiles et géochimie organique	129
II. Discussions	130
TROISIEME CHAPITRE : LA TRANSITION HAUTERIVIEN-VALANGINIEN	133
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	133
A. Géochimie minérale	133
B. Minéralogie des argiles, géochimie minérale	133
II. Discussions	133
QUATRIEME CHAPITRE : APTIEN-ALBIEN - PREMIERS STADES D'UNE SEDIMENTATION	
FRANCHEMENT MARINE	135
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	135
A. Géochimie minérale	136
1. Plateau des Falkland	136
2. Bassin du Cap	137
3. Ride de Walvis/Rio-Grande	137
4. Bassin d'Angola	137
B. Minéralogie des argiles et géochimie organique	138
1. Plateau des Falkland	138
2. Bassin du Cap	138
3. Ride de Walvis/Rio-Grande	138
4. Bassin d'Angola	138
II. Discussions	140
A. Plateau des Falkland	140
B. Bassin du Cap	140
C. Ride de Walvis/Rio-Grande, Plateau de Sao-Paulo	140
D. Bassin d'Angola	141

	Pages
CINQUIEME CHAPITRE : CENOMANIEN : LES EPISODES EUXINIQUES	143
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	143
A. Géochimie minérale	143
B. Minéralogie des argiles et géochimie organique	144
II. Discussions	145
A. Bassin d'Angola	145
B. Bassin du Cap	145
C. Plateau des Falkland	145
SIXIEME CHAPITRE : CONIACIEN-SANTONIEN : L'ELARGISSEMENT OCEANIQUE ET SES EFFETS	147
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	147
A. Géochimie minérale	148
1. Bassin d'Angola	148
2. Sur le flanc nord de la ride de Walvis	148
3. Bassin du Cap	149
4. Plateau des Falkland	149
5. Plateau de Sao-Paulo et ride du Rio-Grande	149
B. Minéralogie des argiles et géochimie organique	150
1. Bassin d'Angola	150
2. Bassin du Cap	150
3. Plateau des Falkland	150
4. Plateau de Sao-Paulo et ride du Rio-Grande	150
II. Discussions	150
A. Evolution indépendante de chaque bassin	150
1. Au nord	150
2. Au sud	152
B. Elargissement océanique	153
C. Influences volcaniques locales	153
D. Dissolution des carbonates	153

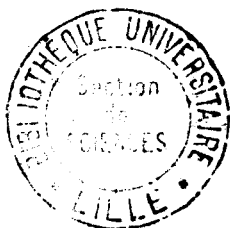
	Pages
SEPTIEME CHAPITRE : LA TRANSITION CRETACE/TERTIAIRE : DECROISSANCE DE L'INFLUENCE TERRIGENE, DEVELOPPEMENT DES INFLUENCES BIOGENES	155
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	155
A. Géochimie minérale	155
1. Plateau des Falkland	156
2. Bassin du Cap	156
3. Ride de Walvis	156
a. Sur la partie orientale	156
b. Sur la partie sud-ouest	156
4. Plateau de Sao-Paulo et ride du Rio-Grande	158
5. La bordure de la ride du Rio-Grande et du bassin du Brésil .	158
6. Le bassin du Brésil	158
7. Bassin d'Angola	158
B. Minéralogie des argiles	158
II. Discussions	160
A. Atténuation du caractère détritique de la sédimentation	160
B. Volcanismes émergés et immergés	160
C. Coupure Maastrichtien-Paléocène	161
1. Le bassin du Cap	161
2. Le bassin d'Angola et la ride du Rio-Grande	161
3. Ailleurs	161
D. Dissolution des carbonates	161
HUITIEME CHAPITRE : EOCENE MOYEN ET SUPERIEUR : VOLCANISME ET DYNAMIQUE D'OUVERTURE OCEANIQUE	163
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	163
A. Géochimie minérale	163
1. Dans la région des Falkland	163
2. Sur la marge africaine du bassin du Cap	163
3. Sur la ride de Walvis	163
a. Dans la partie nord-est	163
b. Sur le flanc nord	163
c. Dans la partie sud-ouest	166
4. Sur le plateau de Sao-Paulo et la ride du Rio-Grande	166
a. A la base de l'Eocène moyen du site 357	166
b. Dans l'Eocène moyen du site 357	166

	Pages
5. Sur les flancs de la dorsale médio-atlantique	166
a. A l'ouest	166
b. A l'est	166
B. Minéralogie des argiles	168
II. Discussions	168
A. Elargissement océanique	168
B. Faiblesse des rejeux tectoniques	170
C. Subsidence des bassins et des rides asismiques	170
D. Refroidissement des climats	170
E. Influences volcaniques locales	170
F. Atténuation du caractère détritique sur la sédimentation	171
NEUVIEME CHAPITRE : OLIGOCENE : DEVELOPPEMENT DES COURANTS MERIDIENS	173
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	173
A. Géochimie minérale	173
1. Sur le plateau des Falkland	173
2. Dans le bassin du Cap	174
3. Sur la ride de Walvis	174
a. Dans le secteur nord-oriental	174
b. Sur la partie sud-ouest	174
4. Sur la ride du Rio-Grande	174
5. Sur les flancs de la dorsale médio-atlantique	176
a. Vers le 27° de latitude sud	176
b. Vers le 47° de latitude sud	176
B. Minéralogie des argiles	176
II. Discussions	178
A. Elargissement océanique	178
B. Rôle des courants méridiens	178
1. Au sud	178
2. Au nord	180
C. Dissolution des carbonates	180

	Pages
DIXIEME CHAPITRE : MIOCENE INFERIEUR ET MOYEN : FLUCTUATIONS LATITUDINALES DES MASSES D'EAU PROFONDES MERIDIENNES	183
I. Rappel des données analytiques et rappel des premières interpréta- tions	183
A. Géochimie minérale	183
1. Sur le plateau des Falkland	184
2. Dans le bassin du Cap	184
3. Sur la ride de Walvis	184
a. Sur la partie nord-est	184
b. Sur la partie sud-ouest	184
4. Sur le plateau de Sao-Paulo, le chenal de Vema et la ride du Rio-Grande	186
5. Sur les flancs de la dorsale	186
B. Minéralogie des argiles	186
II. Discussions	188
A. Elargissement océanique	188
B. Accentuation du rôle des courants	188
1. Le courant antarctique profond relaie le courant circum-po- laire	188
2. Caractéristiques du courant antarctique profond	190
3. Limites latitudinales de l'influence du courant antarctique profond	190
C. La ride de Walvis : influences distinctes sur la sédimentation .	192
1. Sur le flanc nord	192
2. Sur le flanc sud-occidental	193
D. Dissolution des carbonates	193
1. Sur le plateau des Falkland, dans le bassin d'Argentine et sur le flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique	193
2. Sur le plateau de Sao-Paulo, dans le chenal de Vema et sur la ride du Rio-Grande	193
3. Sur les flancs de la dorsale	193
4. Sur la ride de Walvis	193
ONZIEME CHAPITRE : MIOCENE SUPERIEUR : INTENSIFICATION DES CIRCULATIONS PROFONDES	195
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	195

	Pages
A. Géochimie minérale	195
1. Flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique et plaine abyssale voisine	195
2. Bassin du Cap	196
3. Ride du Rio-Grande	196
4. Ride de Walvis	196
a. Sur la partie nord-orientale	196
b. Sur la partie sud-occidentale	196
5. Flanc de la dorsale médio-atlantique (27° de latitude sud) .	198
B. Minéralogie des argiles	198
II. Discussions	198
A. Influence des masses d'eau	198
1. Dans le bassin d'Argentine et sur le flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique	198
2. Sur les flancs orientaux et occidentaux de la dorsale	200
3. Sur la ride de Walvis	200
a. Sur la partie sud-ouest	200
b. Sur le flanc septentrional de la partie nord-est	200
4. Sur la marge africaine du bassin du Cap	202
B. Dissolution des carbonates	202
DOUZIEME CHAPITRE : PLIO-PLAISTOCENE : ACQUISITION DEFINITIVE DU SYSTEME ACTUEL DES COURANTS PROFONDS	
	203
I. Données analytiques et rappel des premières interprétations	203
A. Géochimie minérale	203
1. Sur le flanc sud-ouest de la dorsale médio-atlantique	204
2. Dans le bassin d'Argentine	204
3. Sur le plateau de Sao-Paulo, dans le chenal de Vema et sur la ride du Rio-Grande	204
a. Sur le plateau de Sao-Paulo	204
b. Dans le chenal de Vema	204
c. Sur la ride du Rio-Grande	206
4. Ride de Walvis	206
a. Sur la partie sud-occidentale	206
b. Sur la partie nord-orientale	206
5. Sur les flancs de la dorsale médio-atlantique	206
B. Minéralogie des argiles	208

	Pages
II. Discussions	210
A. Influence des masses d'eau profondes	210
B. Courants et influences volcaniques locales	210
C. Masses d'eau appauvries en oxygène dissous	211
 CINQUIÈME PARTIE : CONCLUSION	
CONCLUSION	215
 SIXIÈME PARTIE : ANNEXES	
ANNEXES	225
 BIBLIOGRAPHIE	
BIBLIOGRAPHIE	281
 LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	291
LISTE DES TABLEAUX	297
 TABLE DES MATIÈRES	
TABLE DES MATIERES	303



Résumé :

L'étude présentée expose les résultats d'une recherche effectuée sur les sédiments marins jurassiques à récents prélevés en Atlantique Sud par le navire de forage Glomar Challenger. La première partie est consacrée à la définition et à l'étude critique de critères chimiques qui reflètent les principaux événements océaniques. La seconde partie traite de l'application de ces critères à la reconstitution des paléoenvironnements de l'Atlantique Sud.

Elle conduit à restituer, en replaçant les données de la géochimie minérale dans son contexte sédimentologique, les épisodes majeurs de l'évolution océanique générale, ainsi qu'à apporter des informations plus localisées.

Mots clés :

Atlantique Sud, géologie marine, sédiments, géochimie minérale, paléoenvironnements, Mésozoïque, Cénozoïque.