

GÉOLOGIE MARINE. — *Le Leg 82 du programme international de forages océaniques profonds (I.P.O.D.) : croûte océanique « normale » ou « anormale » sur la ride médio-Atlantique; propriétés géochimiques* ⁽¹⁾. Note (*) de Henri Bougault, Steven Cande et l'équipe scientifique du Leg 82 (Williams Mills, Doris Curtis, Rolf Neuser, David Christie, Marion Rideout, Joël Etoubleau, Nathalie Drake, Joyce Brannon, Barry Weaver, Dorothy Echols, Murlen Clark, Mohamed Javed Khan, Ian Hill), présentée par Jean Aubouin.

Au cours du Leg 82, le *Glomar Challenger* a échantillonné la *croûte océanique* à neuf sites différents à l'ouest et au sud-ouest du *Point Triple des Açores*. Les résultats d'analyse à bord de certains éléments traces montrent que les relations entre caractéristiques chimiques de ces basaltes et leur situation géodynamique ne sont pas aussi évidentes que certaines hypothèses pouvaient le laisser prévoir. En fonction des résultats préliminaires obtenus (exemple : basaltes « appauvris » et basaltes « enrichis » échantillonnés dans le même puits), les études de laboratoire (exemple : mesures de rapports isotopiques) permettront de déduire des informations importantes sur les plans de la géochimie fondamentale, des processus pétrogénétiques et des hétérogénéités du manteau supérieur. Les autres résultats de cette mission sont les suivants : présence de gabbros altérés et de serpentinite par faible profondeur à trois sites; échantillonnage d'une série sédimentaire pratiquement complète depuis l'Oligocène jusqu'au Pléistocène inférieur; découverte du phénomène de déséquilibre de pression d'eau dans la couche basaltique de la *croûte océanique* à 35 Ma.

MARINE GEOLOGY. — Leg 82 of the International Program of Ocean Drilling (I.P.O.D.): Normal or Abnormal Ocean Crust on the Mid-Atlantic Ridge; Geochemical Properties.

On Leg 82, the Glomar Challenger sampled the Ocean crust at nine sites west and southwest of the Azores Triple Junction. Shipboard analysis for key trace elements showed that the relationship between chemical characteristics of basalts and geodynamics are not as simple as predicted by some pre-cruise hypotheses. Preliminary results (example: enriched basalts and depleted basalts recovered in the same hole) allow us to predict that onshore studies (example: isotopes of Sr, Nd and Pb) will provide important information for fundamental geochemistry, magmatic processes and mantle heterogeneity. Additional highlights were the discovery of serpentinite and altered gabbro at three sites at shallow depth; the recovery of an almost complete sediment section from Oligocene through early Pleistocene; the discovery of sea-water underpressure in the basement 35 My old.

INTRODUCTION. — Les basaltes océaniques « transitionnels » produits dans les zones d'accrétion océaniques « anormales » telles que l'Islande ou le Point Triple des Açores se distinguent des basaltes océaniques « typiques » échantillonnés le long des segments de dorsales ne présentant pas de caractères singuliers (morphologiques, bathymétriques, ...) par deux types de paramètres :

- les rapports isotopiques de strontium, néodyme et plomb;
- les abondances relatives des éléments hygromagmaphiles — éléments qui présentent une affinité pour le liquide — ([1] à [4]).

Les basaltes océaniques typiques ou M.O.R.B. (Mid-Oceanic Ridge Basalts) possèdent des rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ faibles et présentent une abondance relative des éléments les plus hygromagmaphiles (exemple : terres rares légères) par rapport à des éléments moins hygromagmaphiles (exemple : terres rares lourdes) « appauvrie » (fig. 1) par comparaison aux basaltes transitionnels ([5], [6]). Ces résultats sont très importants puisque les différences de rapports isotopiques (Sr, Nd et Pb) impliquent des sources mantelliques différentes ([7] à [10]). L'échantillonnage systématique prévu au cours du Leg 82 du *Glomar Challenger* (International Phase for Ocean Drilling) était destiné à l'étude de la zone « anormale » représentée par le Point Triple des Açores, extension géographique et variation en fonction du temps ([11] à [14]). Les dragages à l'axe de la dorsale ont montré qu'une limite entre les deux types de sources mantelliques pouvait exister à « âge zéro » au niveau de la zone de fracture Hayes, située à environ 650 km au sud du Point Triple des Açores ([13], [14]). En forant des puits suivant des directions perpendiculaires à l'axe de la dorsale et suivant des isochrones parallèles à l'axe de la dorsale, les objectifs du Leg 82 devaient permettre de mieux contraindre diverses hypothèses de l'hétérogénéité du manteau — cellules de convection, « hot spot », stratification, ...

Parmi onze sites de forage potentiels, le choix d'un site nouveau s'est fait en fonction des concentrations de certains éléments hygromagmaphiles (Nb, Zr, Ti, Y, V) déterminées à

bord par spectrométrie de fluorescence X [conteneur géochimie du CNEXO (²). Le comportement de chacun de ces éléments suit le comportement d'un élément de la série des Terres Rares. Ainsi, le rapport Nb/Zr peut-il être utilisé à la place d'un rapport La/Sm pour apprécier le caractère « appauvri » ou « enrichi » des échantillons prélevés [13]. Lorsque ces rapports sont normés par rapport aux chondrites, pour s'affranchir de l'abondance naturelle des éléments, $(\text{Nb/Zr})_{\text{Ch}}$ et $(\text{La/Sm})_{\text{Ch}}$ sont pratiquement égaux. La valeur 1 correspond, par définition, à la valeur chondritique; une valeur supérieure à 1 correspond à une distribution « enrichie », une valeur inférieure à 1 correspond à une distribution « appauvrie ». Au cours du Leg 82, 163 échantillons ont été analysés (éléments majeurs et traces) permettant de choisir sept sites de forage (au voisinage des anomalies magnétiques 5 et 12) parmi les onze sites potentiels. Dix puits ont été forés (fig. 2).

RÉSULTATS SITE PAR SITE. — Le caractère « appauvri », $(\text{Nb/Zr})_{\text{Ch}} = 0,15-0,3$, des basaltes échantillonnés au site 556 n'était pas prévu par la plupart des hypothèses au départ de la mission. A partir de 96 m de profondeur et jusqu'au fond du puits, deux unités de brèches de serpentinite et de gabbro séparées par une fine couche de basalte ont été forées (82 m). Avant d'atteindre le socle, un gradient géothermique de $36^\circ\text{C}/\text{km}$ a été mesuré dans la couche sédimentaire. Le logging effectué après forage dans le socle basaltique révèle une température constante de 2°C jusqu'à l'interface sédiment-socle interprétée par un flux d'eau de mer entrant à l'intérieur du puits.

En raison de l'ouragan Irène, seuls les 3 premiers mètres de basalte ont pu être forés au site 557 avant d'abandonner le forage. Il s'agit d'un basalte aphyrique, riche en fer et en titane présentant le caractère enrichi, $(\text{Nb/Zr})_{\text{Ch}} = 1,3-1,9$, caractéristique des basaltes du Point Triple.

Au site 558, la couverture sédimentaire, échantillonnée presque en totalité, montre un changement lithologique à la limite Miocène inférieur-Miocène moyen : teneurs en carbonate (90 % dans la partie supérieure, 50 % dans la partie inférieure) et vitesses de sédimentation (20 m/Ma et 8 m/Ma respectivement). La partie supérieure du socle est constituée de neuf unités lithologiques de basaltes aphyriques sous forme de pillows et de brèches. Ensuite, les carottes prélevées représentent deux unités lithologiques de gabbros altérés, de brèches de serpentinite et de mylonite. Le résultat le plus marquant obtenu à ce site est la présence dans le même puits de basaltes dont les abondances relatives en éléments hygromagmaphiles sont « appauvries » $(\text{Nb/Zr})_{\text{Ch}} = 0,4$, « plates » $(\text{Nb/Zr})_{\text{Ch}} = 1$, et « enrichies » $(\text{Nb/Zr})_{\text{Ch}} = 1,6$.

Le puits 559 a pénétré le socle de 63 m rencontrant une seule unité magmatique de basalte aphyrique en « pillow », caractérisée par une distribution « enrichie », $(\text{Nb/Zr})_{\text{Ch}} = 1,65$.

Le matériel foré au site 560 est constitué de gabbros, de serpentinite et de veines de crysotile, sur toute la profondeur de forage dans le « socle » (47 m). En dépit de la faible

EXPLICATION DE LA PLANCHE

Fig. 1. — Diagramme de Coryell-Masuda-Winchester, élargi aux éléments hygromagmaphiles non terres-rares, montrant des exemples de basaltes « enrichis » (croix), « plats » (cercles) et « appauvris » (triangles) de la ride médio-atlantique. A bord, le caractère « appauvri » ou « enrichi » a été apprécié à l'aide des éléments Nb, Zr, Ti, Y et V dont les concentrations sont mesurées par spectrométrie de fluorescence X.

Fig. 1. — *Coryell-Masuda-Winchester plot extended to non rare-earth hygromagmaphile elements: an example of enriched (cross), flat (circles) and depleted basalts from the Mid-Atlantic Ridge. On board, the depleted or enriched character was deduced from Nb, Zr, Ti and V whose concentrations are measured through X-ray fluorescence spectrometry.*

Fig. 2. — Localisation des sites forés au cours du Leg 82 du Glomar Challenger. Le site 335 a été foré au cours du Leg 37. Les sites 556, 558, 559, 563 et 564 sont situés au voisinage des anomalies 12-13 (≈ 35 Ma); les sites 557, 335, 560, 561 et 562 sont situés au voisinage de l'anomalie 5 (≈ 15 Ma).

Fig. 2. — *Location of sites drilled during Leg 82 of the Glomar Challenger; site 335 was drilled during Leg 37. Sites 556, 558, 559, 563 and 564 are located near magnetic anomalies 12-13 (≈ 35 My); sites 557, 335, 560, 561 and 562 are located near magnetic anomaly 5 (≈ 15 My).*

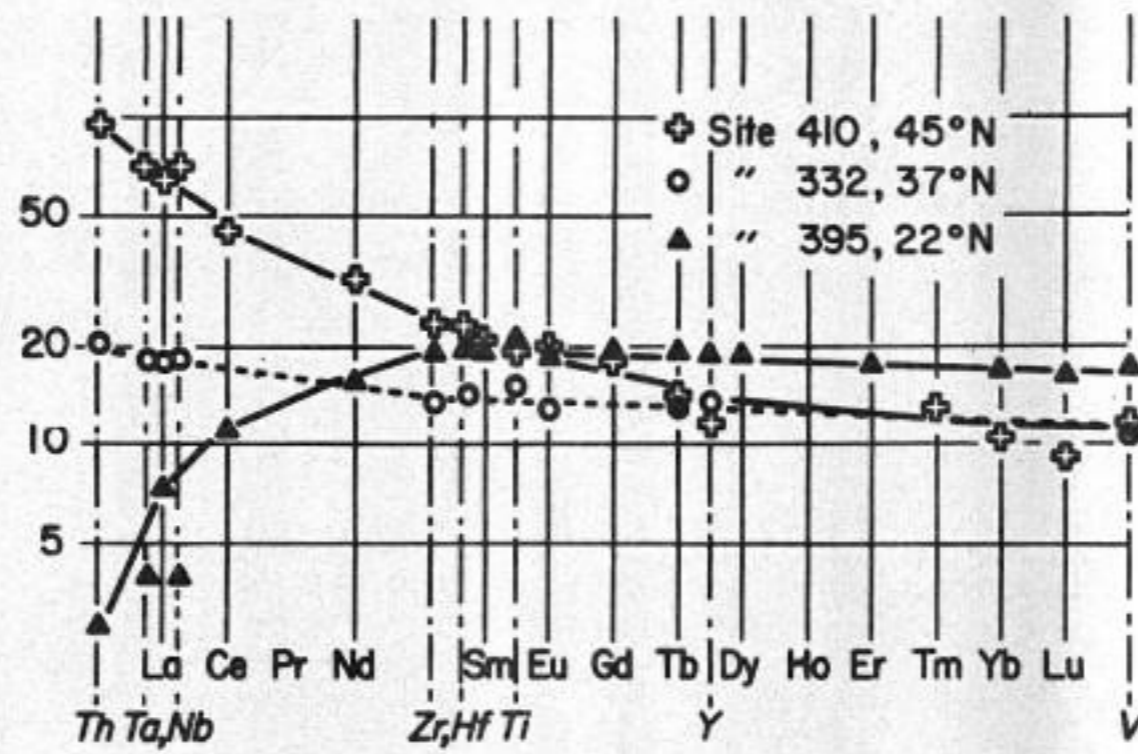


Fig. 1

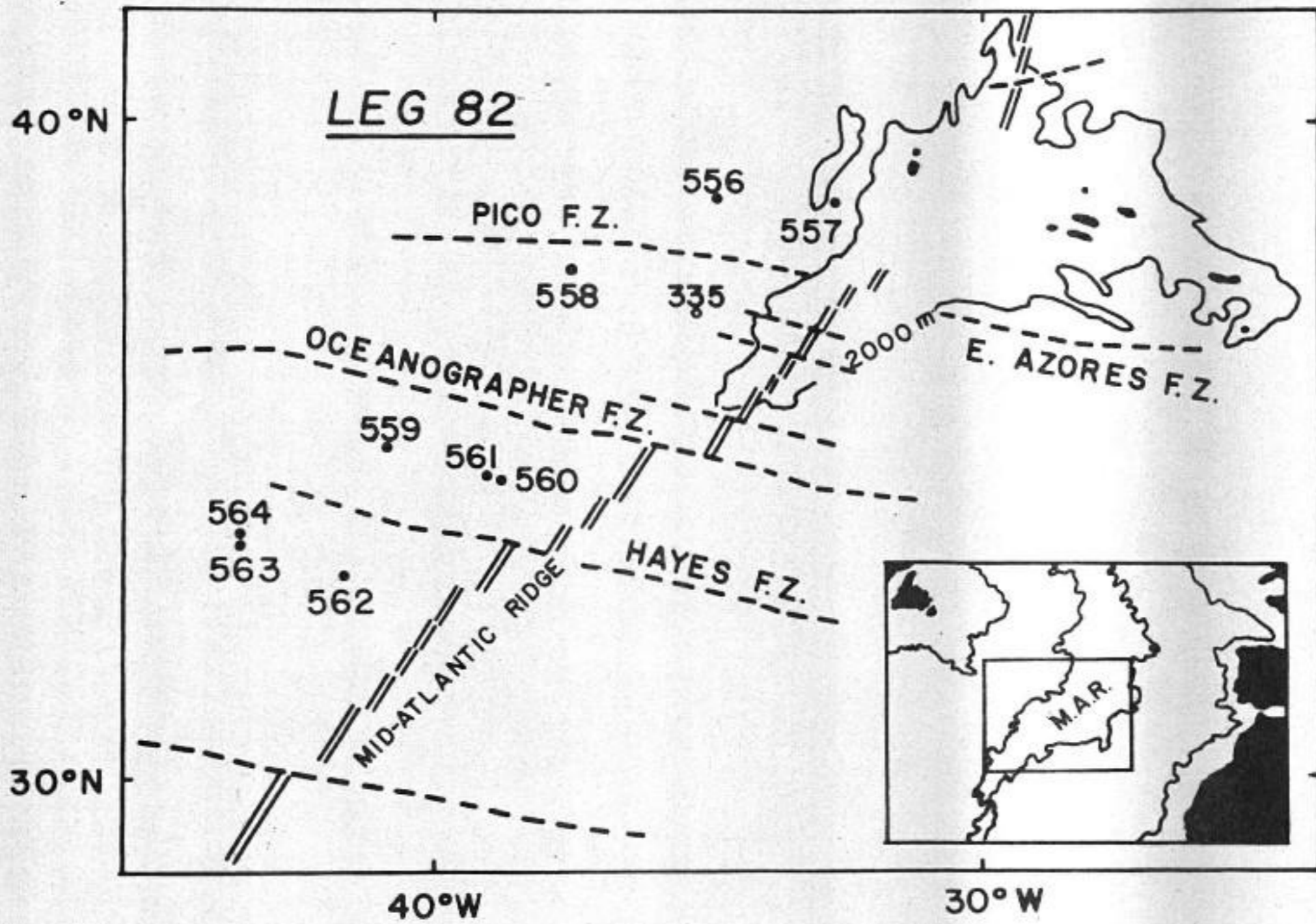
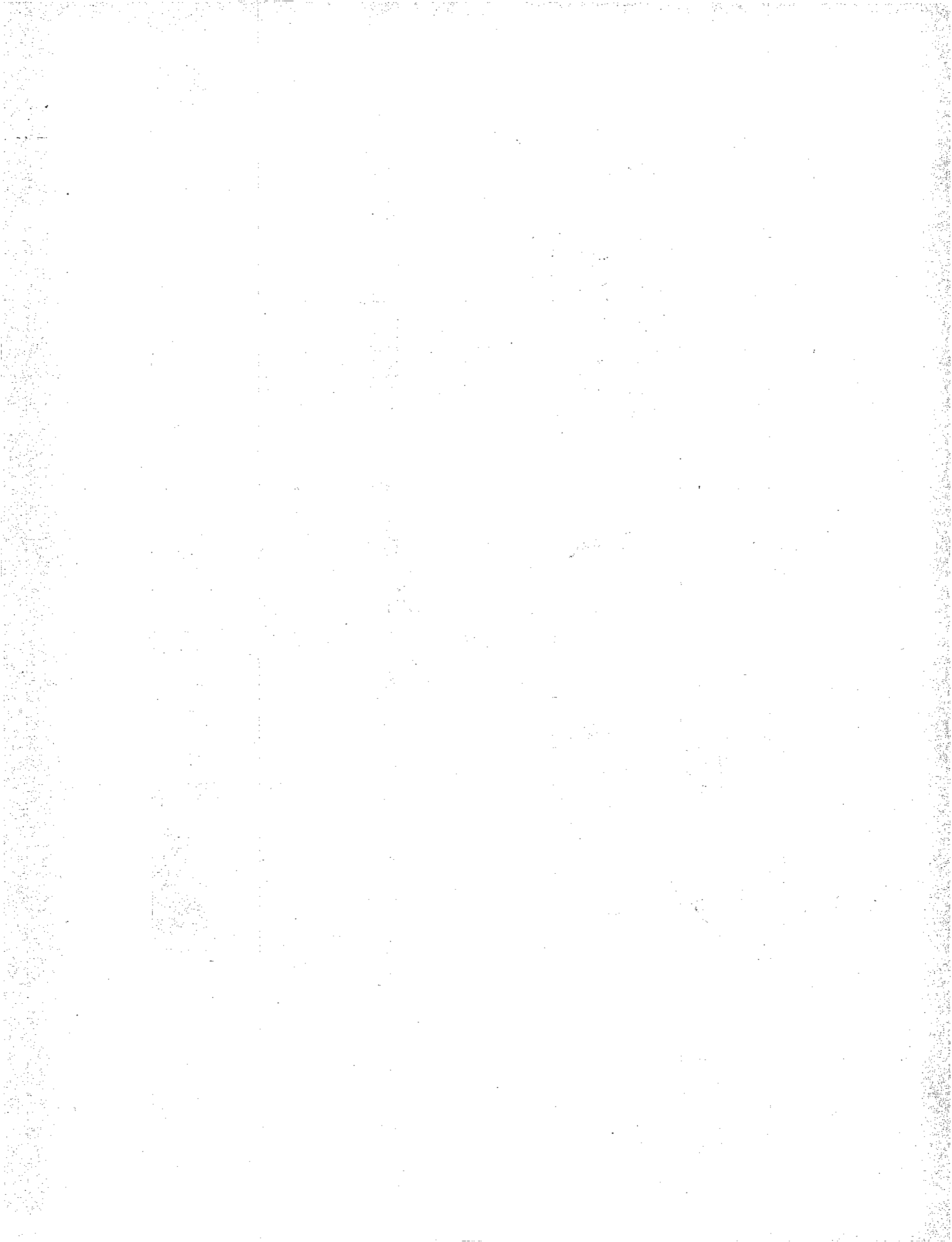


Fig. 2



pénétration (15 m) du puits 561 foré à 16 km au nord-ouest du site 560, trois différents groupes chimiques de basaltes aphyriques (pillows) ont été échantillonnés. Comme au site 558, des distributions « appauvries », $(\text{Nb}/\text{Zr})_{\text{Ch}} = 0,3$, et « enrichies », $(\text{Nb}/\text{Zr})_{\text{Ch}} = 2,2$, caractérisent ces groupes.

La couche basaltique du site 562 forée sur 90 m est constituée de deux unités géochimiques de basaltes faiblement porphyriques à plagioclase; les éléments hygromagmaphiles montrent une distribution typiquement « appauvrie », $(\text{Nb}/\text{Zr})_{\text{Ch}} = 0,3$.

La partie supérieure de la colonne sédimentaire du site 563 (156-364 m) a été échantillonnée en continu et montre le même changement de vitesse de sédimentation à la limite Miocène inférieur-Miocène moyen, que celle observée au site 558. Le matériel basaltique échantillonné ne représente qu'une seule unité pétrographique de basalte modérément porphyrique à plagioclase, caractérisé par une distribution « appauvrie » en éléments hygromagmaphiles, $(\text{Nb}/\text{Zr})_{\text{Ch}} = 0,3$.

Au site 564 (5 miles au nord du site 563), la couche basaltique forée sur 81 m est représentée par une seule unité pétrographique de « pillows » interrompus par deux écoulements massifs. Chimiquement, bien qu'un gradient faible soit observé, les basaltes échantillonnés ne forment qu'un seul groupe dont la distribution en éléments hygromagmaphiles est « appauvrie », $(\text{Nb}/\text{Zr})_{\text{Ch}} = 0,37-0,54$. Les deux profils de température réalisés dans ce puits à 10 h d'intervalle sont identiques (équilibre thermique réalisé) et ne représentent qu'une fraction ($5^{\circ}\text{C}/\text{km}$) du gradient géothermique normal (entrée d'eau de mer dans le puits).

LES RÉSULTATS PRINCIPAUX. — 1. La distribution « appauvrie » en éléments hygromagmaphiles des basaltes échantillonnés au site 556 (anomalie 13 à l'ouest du Point Triple des Açores) contraste avec le caractère « enrichi » des échantillons prélevés au voisinage du Point Triple et au site 557 (anomalie 5 D à l'ouest du Point Triple).

2. A deux reprises (sites 558 et 561), des basaltes « appauvris » et des basaltes « enrichis » ont été échantillonnés dans le même puits. Cette observation avait déjà été faite aux sites 413 (Leg 49) [15] et 504 B (Legs 69-70-83) [16]. Un seul échantillon à la base du puits 413 se distinguait de l'ensemble, tandis que seules deux unités basaltiques de quelques mètres chacune se distinguaient des basaltes échantillonnés sur plus de 1.000 m dans le puits 504 B.

Ces résultats sont importants pour deux raisons :

(a) Sur un plan théorique, une différence de rapport isotopique en Sr, Nd ou Pb dans les basaltes reflète l'hétérogénéité des matériaux sources du manteau tandis que des abondances relatives différentes en éléments hygromagmaphiles sont fonction des caractéristiques initiales des matériaux sources et des modes et (ou) taux de fusion partielle. La comparaison des données isotopiques et des abondances relatives des éléments hygromagmaphiles dans les basaltes des puits 558 et 561 présente donc un intérêt fondamental sur le plan géochimie, processus pétrogénétiques et hétérogénéité du manteau.

(b) On ne connaît pas de minéraux capables de modifier l'abondance relative des éléments hygromagmaphiles au cours des processus de cristallisation fractionnée des liquides tholéitiques. Les laves présentant des distributions « appauvries » ou « enrichies » au même site, proviennent donc de liquides initiaux différents et ont été mises en place dans un intervalle de temps n'excédant pas quelques centaines de milliers d'années. Cette observation constitue la preuve de l'existence de chambre magmatiques discrètes en opposition à l'hypothèse d'une chambre magmatique continue le long de l'axe de la dorsale et à grande constante de temps.

3. Il y a fort peu d'exemples de relations cogénétiques possibles entre différentes laves prélevées à un même site. Cette confirmation d'un résultat déjà obtenu au cours des Legs « Croûte Océanique » I.P.O.D. est à mettre en relation avec la conclusion indiquée en 2(b).

4. Des gabbros altérés et des brèches de serpentinite ont été trouvés par faible profondeur à trois sites (556, 558 et 560); il est probable que cette présence est due à l'existence et au fonctionnement des failles normales; les sites de forage ont été choisis, pour des raisons logistiques, à proximité immédiate de ces failles.

5. Pour la première fois, une section complète de sédiment pélagique depuis l'Oligocène inférieur au Pléistocène inférieur a été échantillonnée dans l'Atlantique Nord à l'anomalie 13; elle constitue vraisemblablement une section de référence pour des études biostratigraphiques et magnétostratigraphiques; un accroissement de la vitesse de sédimentation est mise en évidence à partir de la limite Miocène inférieure-Miocène moyen.

6. Les profils de température effectués dans les puits 556 et 564, situés sur l'anomalie magnétique 13, traduisent l'entrée d'eau de mer dans la croûte océanique lorsqu'une communication est établie au travers de la couche sédimentaire. Ce phénomène avait déjà été observé à âge plus jeune (sites 335, 395 et 504). Les observations faites au cours du Leg 82 montrent que le phénomène de « déséquilibre » de pression de l'eau présente dans la croûte océanique est maintenu en fonction du temps.

(¹) N° 778 de contribution du Centre Océanologique de Bretagne.

(²) La réalisation et la mise en œuvre de ce conteneur ont été possibles grâce à une action concertée du CNEXO, du C.N.R.S. (A.T.P., I.P.O.D.), de la D.G.R.S.T. et de l'Enseignement Supérieur. A ce jour, dans le cadre I.P.O.D., ce conteneur a été mis en œuvre pendant 14 missions « croûte océanique » du Glomar Challenger.

(*) Remise le 29 novembre 1982.

- [1] S. R. HART, J. G. SCHILLING et J. L. POWELL, *Nature, Phys. Sc.*, 268, 1973, p. 707.
- [2] R. K. O'NIONS, R. J. PANKHURST et K. GRONVOLD, *J. Petrol.*, 17, 1976, p. 315.
- [3] J. G. SCHILLING, *Nature*, 242, 1973, p. 565.
- [4] W. M. WHITE, J. G. SCHILLING et S. R. HART, *Nature*, 263, 1976, p. 659.
- [5] B. DUPRÉ et C. J. ALLÈGRE, *Nature*, 286, 1980, p. 17.
- [6] H. BOUGAULT, J. L. JORON et M. TREUIL, *Phil. Trans. R. Soc. London*, A 297, 1980, p. 203.
- [7] C. J. ALLÈGRE, O. BREVART, B. DUPRÉ et J. F. MINSTER, *Phil. Trans. R. Soc. London*, A 297, 1980, p. 310.
- [8] R. K. O'NIONS, P. J. HAMILTON et N. M. EVENSEN, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 34, 1977, p. 13.
- [9] R. K. O'NIONS, N. M. EVENSEN, P. J. HAMILTON et S. R. CARTER, *Phil. Trans. R. Soc. London*, A 258, 1978, p. 546.
- [10] S. S. SUN, *Ph. D. Thesis*, Columbia University, 1973.
- [11] W. M. WHITE et J. G. SCHILLING, *Geodin. Cosmochim. Acta*, 42, 1978, p. 1501.
- [12] J. G. SCHILLING, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 25, 1975, p. 103.
- [13] H. BOUGAULT et M. TREUIL, *Nature*, 986, 1980 a, p. 209.
- [14] H. BOUGAULT et M. TREUIL, *Comptes rendus*, 290, série D, 1980, p. 1389.
- [15] D. A. WOOD, J. TARNEY, J. VARET, A. A. SAUNDERS, H. BOUGAULT, J. L. JORON, M. TREUIL et J. CANN, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 42, 1979, p. 77.
- [16] J. ETOUBLEAU, O. CORRE, J. L. JORON, H. BOUGAULT et M. TREUIL, *Initial Reports of D.S.D.P.*, 69-70 (in press).
- [17] ANONYME, *Geotimes*, avril 1980, p. 16.

H. B. : Centre Océanologique de Bretagne, CNEXO, B. P. n° 337, 29273 Brest Cedex;

S. C. : Lamont-Doherty Geological Observatory, Columbia University, Palisades, New York, U.S.A.;

W. M. : D.S.D.P. A-031, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, U.S.A.;

D. C. : Curtis and Echols, Geological Consultants, Houston, Texas, U.S.A.;

R. N. : Ruhr Universität Bochum, Institut für Geologie, Bochum, F.R.G.;

D. C. : Hawaii Institute of Geophysics, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, U.S.A.;

M. R. : School of Oceanography, University of Rhode Island, Kingston, Rhode Island, U.S.A.

J. E. : Centre Océanologique de Bretagne, CNEXO, B. P. n° 337, 29273 Brest Cedex;

N. D. : Department of Geology, University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts, U.S.A.

J. B. : Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University, St. Louis, Missouri, U.S.A.;

B. W. : Department of Geology, University of Leicester, Leicester, England;

D. E. : Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University, St. Louis, Missouri, U.S.A.

M. C. : Department of Geology, Florida State University, Tallahassee, Florida, U.S.A.

M. J. K. : Lamont-Doherty Geological Observatory, Columbia University, Palisades, New York, U.S.A.;

I. H. : Department of Geology, University of Leicester, Leicester, England.