

**GÉOLOGIE.** — *Découverte par submersible de sulfures polymétalliques massifs sur la dorsale du Pacifique oriental, par 21° N (projet « Rita »).* Note (\*) de l'équipe scientifique « Cyamex » (Jean Francheteau, David Needham, Pierre Choukroune, Thierry Juteau, Michel Séguret, Robert D. Ballard, Jeffery Fox, William Normark, Arturo Carranza, Diego Cordoba, José Guerrero, Claude Rangin) et de Henri Bougault, Pierre Cambon et Roger Hékinian, présentée par Georges Millot.

- Des minerais polymétalliques composés de sulfures de zinc, de cuivre et de fer ont été découverts à l'axe de la dorsale du Pacifique oriental. Bien que plusieurs chercheurs aient prédit la présence de sulfures sur le plancher océanique profond, ils n'avaient pas été observés jusqu'à présent sur les grandes dorsales médio-océaniques. Ces minerais représentent l'homologue actuel des minerais du type chypriote associés aux pillow-lavas des cortèges ophiolitiques. Les analyses préliminaires montrent qu'ils contiennent jusqu'à 29 % de zinc métal et au moins 3 % de cuivre métal. Cette découverte fournit de nouvelles raisons d'explorer le plancher océanique profond, afin de mieux connaître les concentrations de métaux nobles dans les couches supérieures de la croûte océanique.

- *Massive zinc, copper and iron sulfide ore deposits have been found at the axis of the East Pacific Rise. Although several investigators had predicted their presence on the deep-ocean floor, there was no supporting observational evidence. The East Pacific Rise deposits represent an appealing modern analogue of Cyprus-type ores associated with ophiolitic rocks on land. They contain up to about 29% zinc metal and up to at least nearly 3% metallic copper. Their discovery will provide a new focus for deep-sea exploration, leading to new assessments of the concentration of noble metals in the upper layers of the oceanic crust.*—

**I. INTRODUCTION.** — La zone des dépôts polymétalliques sulfurés décrits dans cette Note a été explorée et échantillonnée en février-mars 1978 par la soucoupe de plongée *Cyana* au cours de l'expédition *Cyamex*. Cette expédition, qui représente le premier programme de plongée avec submersible sur la dorsale du Pacifique oriental, constitue la première partie du projet franco-américano-mexicain « Rita », au cours duquel des recherches géologiques et géophysiques détaillées seront effectuées pendant trois ans sur la dorsale du Pacifique oriental [1].

Les minerais ont été échantillonnés à des profondeurs de l'ordre de 2 620 m à deux sites voisins, près de 21° N 109° O ([1] à [6]), à environ 90 km au Nord de la faille transformante Rivera, et 240 km au Sud de la faille transformante Tamayo (pl. 1). Trois plongées de *Cyana* (CY 78-06, 08 et 12) ont traversé les deux sites échantillonnés, les échantillons ayant été récoltés au cours des plongées 08 et 12. Il convient de signaler que de nombreux signes d'activité hydrothermale ont été observés pendant toutes les plongées sur la zone axiale de la dorsale : colonies fossiles de Moules géantes, champs de « pillow-lavas » fortement colorés à leur base, dépôts colorés sur les escarpements de failles normales et de fissures ouvertes. Nous avons aussi observé des concrétions jaune vif de soufre natif présumé en forme de coraux sur un mur de faille sédimenté à environ 1 km à l'Ouest des sulfures polymétalliques échantillonnés.

**II. MODE DE GISEMENT.** — Les deux sites échantillonnés se situent sur les flancs légèrement sédimentés d'une structure en graben parallèle à l'axe de la dorsale, de 20 à 30 m de profondeur et 20 à 30 m de large, environ 600 m à l'Ouest de l'axe de la zone d'extrusion constituée par les laves les plus récentes. Alors que cette zone d'extrusion consiste essentiellement en une ride discontinue d'une cinquantaine de mètres de hauteur, non sédimentée et dépourvue de fissures ou de failles, la zone structurale à laquelle appartiennent les sulfures polymétalliques est une zone tectonique active large de 1,5 km constituée de horsts et de grabens structurellement orientés parallèlement à l'axe de la dorsale.

Les sulfures polymétalliques ont été échantillonnés en différents endroits sur des édifices columnaires très irréguliers de 5 m de diamètre environ. Dans un des sites, exploré plus en détail au cours de la plongée CY 78-08, ces édifices verticaux, espacés de 4-5 m et alignés sur au moins 50 m suivant la direction NO 25°, se localisent dans des canyons entaillant le flanc d'un graben orienté à NO 45° (pl. II, *fig.* 1). Le second site, exploré au cours de la plongée CY 78-12, se situe sur la face Est d'un graben analogue, mais qui pourrait être plus ancien, car il est nettement plus sédimenté que le précédent : les édifices sulfurés y sont beaucoup moins hauts et les concrétions jaunes, en forme de coraux, de soufre natif présumé beaucoup plus fréquentes; ce second site se situe au Nord du premier, à 200-300 m environ. L'extension locale de ces minéralisations dans une direction parallèle à la dorsale n'est pas connue; cependant, au cours de la plongée CY 78-08, le graben a été suivi vers le SSW (N 200°) sur environ 100 m, après lesquels il se rétrécit et passe à une fissure ouverte sur 2-3 m de large, dont les murs de « pillow-lavas » tronqués sont entièrement incrustés de dépôts de couleur ocre à brun-rouge, et dont la lèvres orientale est marquée par de petits édifices (50 cm de haut environ) poreux et de concrétions jaunes en forme de coraux sur les sédiments accumulés entre les pillows. Plus au Sud, la fissure se rétrécit encore et les incrustations hydrothermales disparaissent brusquement.

D'une manière générale, les édifices verticaux sont construits sur des « pillow-lavas » saupoudrés de sédiments, dont la couleur suggère une contribution importante des produits de démantèlement et d'altération des édifices eux-mêmes, dont les couleurs dominantes sont l'ocre, le rouge, le jaune, le brun, le blanc et le noir. Ces édifices sont poreux, et leur masse entière est parcourue d'un labyrinthe de conduits ou tubes séparés par de minces parois. Le squelette des édifices est constitué d'une part de silice amorphe et translucide (qui a été observée dénudée dans un cas), d'autre part de sulfures. La présence d'un orifice ouvert au sommet de ces édifices montre qu'il s'agit de structures construites directement sur la croûte océanique.

Trois autres types de minéralisations accompagnent les spectaculaires édifices verticaux : (1) des incrustations tabulaires, à surface rugueuse et de même structure que les édifices verticaux, recouvrant les pentes modérées; (2) des petits cônes avec un orifice au sommet, de 10 à 20 cm de diamètre et vivement colorés en jaune ou jaune-orange, construits sur les sédiments, vraisemblablement constitués de soufre natif (pl. II, *fig.* 2); (3) des coulées à aspect de travertin, de couleur jaune ou brun-rouge, drapant les escarpements sub-verticaux du graben entourant les édifices verticaux. Aucune anomalie nette de température n'a été observée pendant l'exploration de ces divers sites, ce qui suggère qu'ils ne sont pas actifs actuellement.

III. ÉCHANTILLONS : DONNÉES CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES PRÉLIMINAIRES. — Le matériel récolté dans les deux sites échantillonnés a été classé à bord, en fonction des critères de couleur et de morphologie, soit au total 14 échantillons (3 échantillons provenant de la plongée 08 et 11 échantillons provenant de la plongée 12). Au laboratoire, ces 14 échantillons ont été divisés en 215 spécimens. Ces spécimens sont très hétérogènes et complexes,

#### EXPLICATIONS DES PLANCHES

##### *Planche 1*

Emplacement de la zone d'exploration et d'échantillonnage des minerais polymétalliques sulfurés (cercle) sur la dorsale du Pacifique oriental.

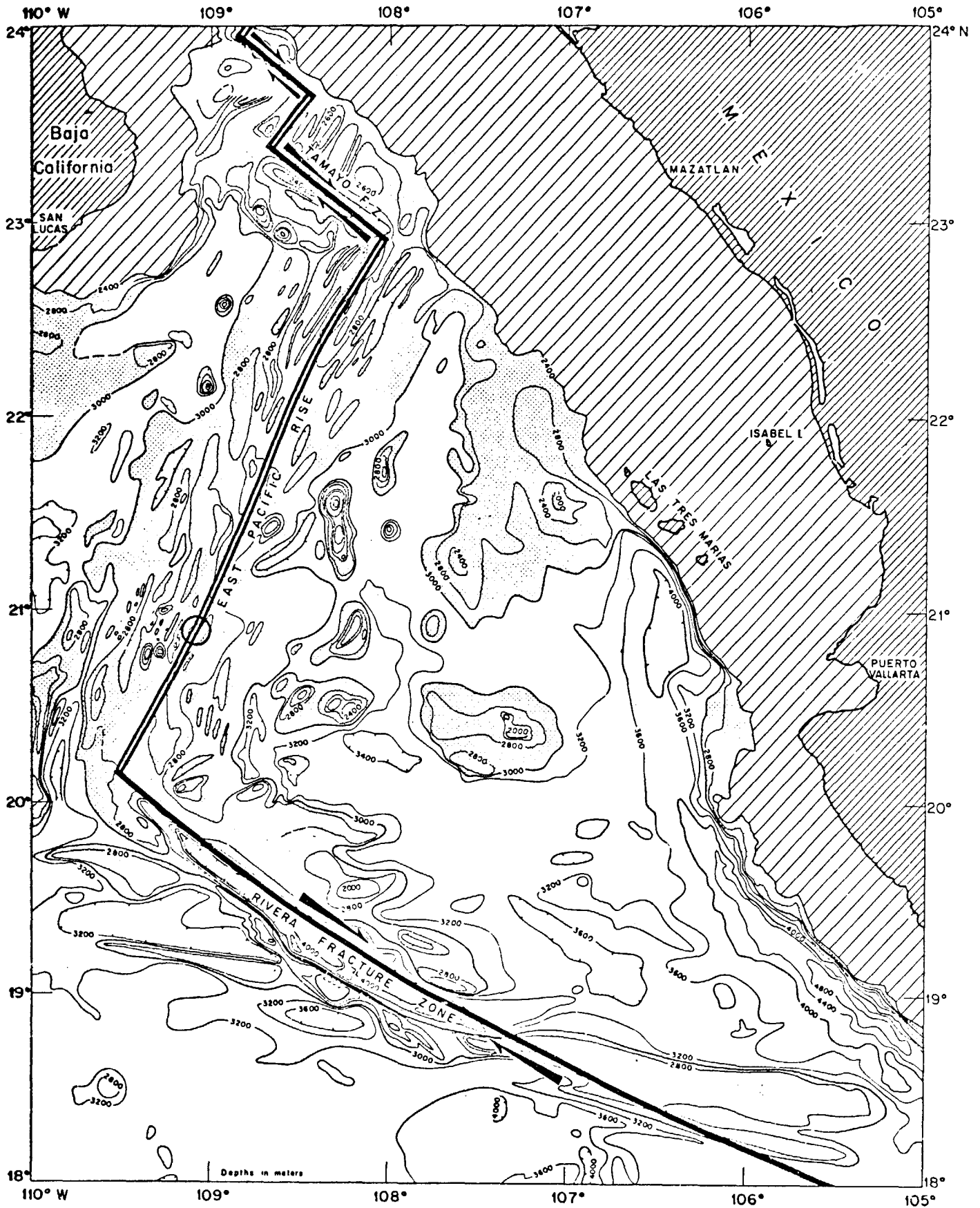


PLANCHE II

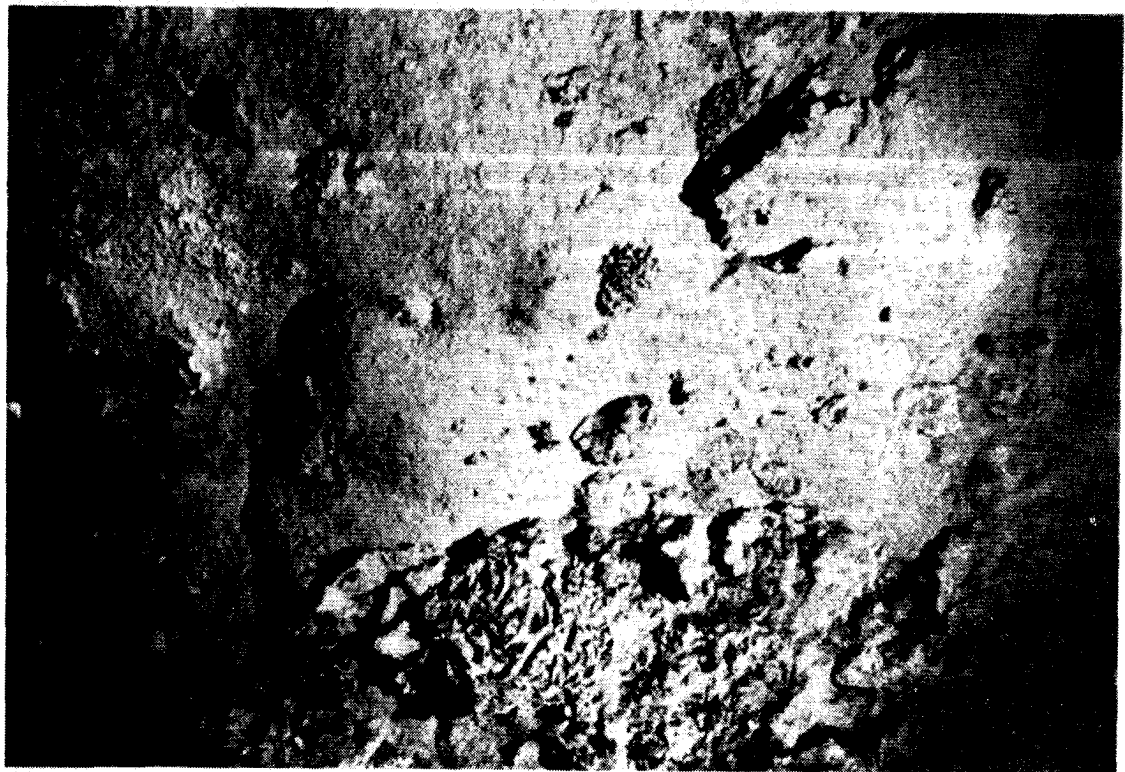
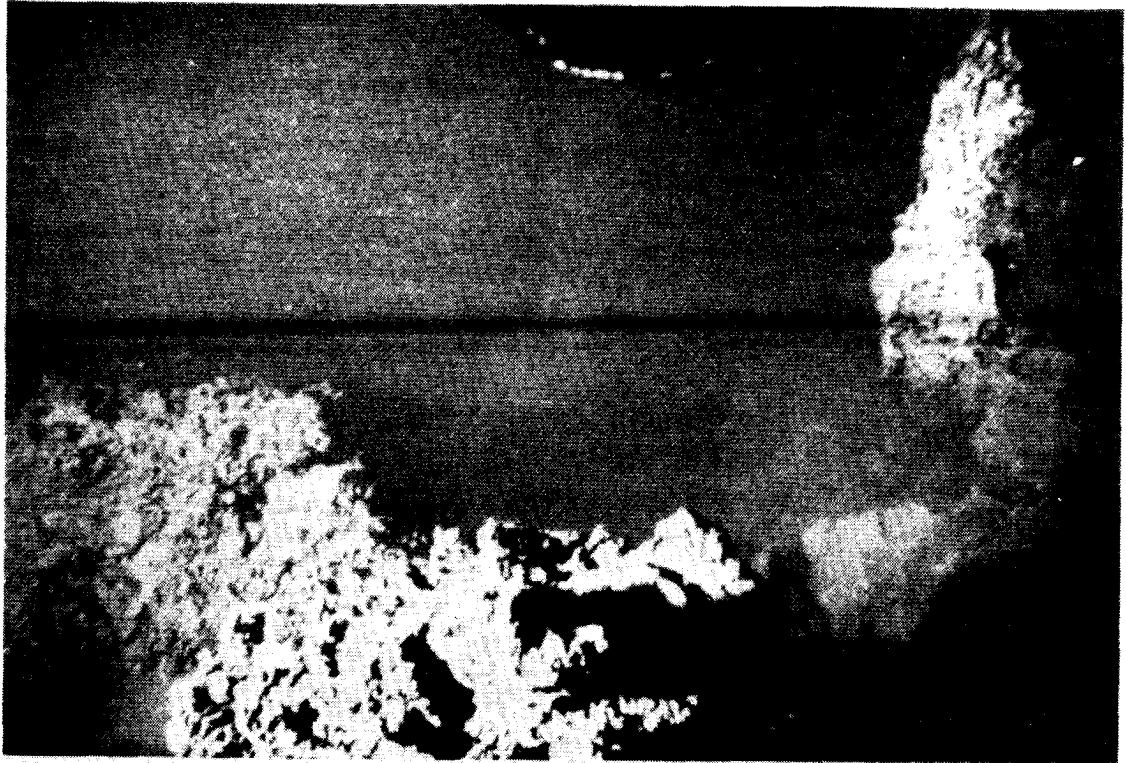


Fig. 1. — Une vue sur les édifices polymétalliques sulfurés montrant leur structure concrétionnée caractéristique (plongée CY 78-08).

Fig. 2. — Petit cône adventif jaune vif (soufre natif présumé) construit sur les sédiments, au voisinage immédiat des grands édifices polymétalliques dont on voit des blocs de démantèlement dans la partie supérieure de la photographie (plongée CY 78-08).

et nous ne tenterons pas d'en donner une description complète au stade actuel : notre objectif ici est d'indiquer leur composition minéralogique générale et de préciser la composition chimique de quelques spécimens représentatifs.

Le matériel est essentiellement friable et poreux, et peut être aisément fragmenté; il est vivement coloré : jaune, orangé, ocre, avec des reflets métalliques gris, bleus, rouge bronze et blancs. La plupart des spécimens montrent des tubes cylindriques zonés concentriquement, avec des couches externes gris clair et des couches internes gris sombre à blanc; d'autres tubes sont formés de matériel brun clair. Les parois internes de certains tubes sont tapissées de dépôts argentés, brillants, en partie microcristallins, alors que d'autres sont tapissées de dépôts rougeâtres; d'autres, enfin, sont tapissées de dépôts noirâtres à l'intérieur, et gainés à l'extérieur par des matériaux jaunes à ocres. Certains tubes sont remplis par des matériaux noirs. Les dimensions de ces tubes (0,1 à 1,5 cm de diamètre et jusqu'à 8 cm de long) sont variables, et leur distribution tout à fait irrégulière d'un spécimen à l'autre.

5 spécimens choisis pour leur représentativité, provenant de 4 échantillons, ont été examinés à la loupe binoculaire et ont fait l'objet d'analyses chimiques et minéralogiques préliminaires. 4 spécimens (Cyp 78-12-38A2, 38-1-a, 40A-a et 40B) sont denses et sont essentiellement constitués de sulfures; le cinquième spécimen (Cyp 78-08 - 14A-1) est oxydé et beaucoup moins dense que les autres.

La minéralogie de ces 5 spécimens a été déterminée par diffraction X, après examen au microscope polarisant, par réflexion et par transmission. Le matériel de teinte ocre représente essentiellement des oxydes de fer amorphes. Les oxydes sont de teinte rouge et jaune, et se localisent dans les interstices des grains de sulfures, dont ils représentent les produits d'altération secondaire.

La phase sulfurée est essentiellement constituée de blende et de pyrite, avec des quantités mineures de chalcopryrite et de marcassite. Les sulfures se présentent en agrégats très fins de phases cristallines et de phases amorphes étroitement imbriquées. Les sulfures cristallisés montrent communément la forme octaédrique. On y reconnaît aussi des tétraèdres de blende, des cubes de pyrite, des formes bipyramidées ou sphéroïdales caractérisant la chalcopryrite, ainsi que des cristaux tabulaires maclés polysynthétiquement, représentant vraisemblablement la blende. Des amas mal cristallisés globulaires ou réniformes, ayant une composition probable de chalcopryrite et de pyrite accompagné de matériaux argileux, sont fréquemment associés aux sulfures bien cristallisés.

La chimie des 5 spécimens a été déterminée qualitativement par spectrométrie de fluorescence X, et quantitativement par absorption atomique. Les analyses par fluorescence X montrent des quantités importantes de zinc, de fer, de cuivre et de soufre, et la présence d'autres éléments tels que l'argent, le cobalt, le plomb et le cadmium. Les analyses quantitatives montrent deux modes principaux : l'un riche en zinc (23 à 28,7%), l'autre riche en fer (19,9 à 42,7%). 3 spécimens contiennent du cuivre en quantité importante (2,2 à 6%). L'absence totale de manganèse, même à l'état d'élément mineur, est à remarquer.

*En résumé*, les spécimens peuvent être classés en 2 types majeurs en fonction de leurs caractéristiques macroscopiques, de leur minéralogie et de leur chimisme : (1) les sulfures de teinte sombre en agrégats massifs, poreux, riches en zinc, fer et cuivre, formés de blende, marcassite, pyrite et chalcopyrite et comprenant un squelette constitué d'une matière blanchâtre non encore identifiée (silice amorphe?); (2) le matériel ocre, fragile, pulvérulent, constitué essentiellement d'oxydes de fer amorphes.

IV. CONCLUSIONS. — La présence de minerais de sulfures sur le plancher océanique dans une zone tectonique active directement liée à une marge en accréation, peut être expliquée par un modèle dans lequel les dépôts se sont formés dans la zone de décharge d'un système de circulation hydrothermale, le fluide convectif étant l'eau de mer ([7], [8]). Une interprétation similaire a été avancée pour la genèse des minerais sulfurés des complexes ophiolitiques émergés, qui présentent de nombreux points communs avec les dépôts de la dorsale du Pacifique oriental, en particulier les gisements de sulfures de l'île de Chypre.

Cette découverte dans la zone « Rita » montre que les dépôts métallifères ne sont pas cantonnés aux océans jeunes tels que la Mer Rouge, et que la zone axiale des dorsales à taux d'expansion moyenne (et peut-être aussi des dorsales à taux d'expansion rapide) est non seulement une usine à fabriquer la croûte océanique et la lithosphère, mais aussi un lieu privilégié pour la concentration des métaux nobles, par lessivage de la croûte océanique dans des zones à haute activité hydrothermale, suivi d'un dépôt sur le plancher océanique.

(\*) Séance du 18 décembre 1978.

[1] CYAMEX Scientific Team, *E.O.S.* (sous presse).

[2] R. L. LARSON et F. N. SPIESS, *Science*, 163, 1969, p. 68-71.

[3] R. L. LARSON, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 82, 1971, p. 823-841.

[4] R. L. LARSON, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 83, 1972, p. 3345-3360.

[5] W. R. NORMARK, *Geology*, 4, 1976, p. 681-685.

[6] K. CRANE et W. R. NORMARK, *J. Geophys. Res.*, 82, 1977, p. 5336-5348.

[7] R. H. SILLITOE, *Trans. Instn. of Min. and Metallurgy*, 81, 1972, p. B 141-B 148.

[8] E. M. PARMENTIER et E. T. C. SPOONER, *Earth Planet. Sc. Letters*, 40, 1978, p. 33-44.

J. F., D. N. : *Centre océanologique de Bretagne*, B. P. n° 337, 29273 Brest Cedex ;

P. C. : *Université de Rennes, Laboratoire de Géologie structurale*,

B. P. n° 25 A, 35031 Rennes Cedex ;

T. J. : *Université Louis-Pasteur, Laboratoire de Minéralogie-Pétrographie*,

1, rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex ;

M. S. : *Université des Sciences et Techniques du Languedoc*,

*Laboratoire de Géologie structurale*,

place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier Cedex ;

R. D. B. : *Woods Hole Oceanographic Institution*,

Woods Hole, Massachusetts, 02543, U.S.A. ;

P. J. F. : *State University of New York at Albany, Albany, New York, 12222, U.S.A. ;*

W. R. N. : *United States Geological Survey*,

*Pacific-Arctic Branch of Marine Geology, Menlo Park, California 94025, U.S.A. ;*

A. C. : *Centro de Ciencias del Mar y Limnología*,

*Ciudad Universitaria, Mexico 20 DF Mexico ;*

D. C., J. G., C. R. : *Instituto de Geología, U.N.A.M.*,

*Ciudad Universitaria, Mexico 20 DF, Mexico ;*

H. B., P. C., R. H. : *Centre océanologique de Bretagne*,

B. P. n° 337, 29273 Brest Cedex.