

Résultats préliminaires des plongées du *Shinkai 6500* sur la dorsale du Bassin Nord-Fidjien (SW Pacifique) — Programme STARMER

Jean-Marie AUZENDE, Manabu TANAHASHI, Valérie BENDEL, Katsunori FUJIKURA, Patrick GEISTDOERFER, Eulalia GRACIA-MONT, Masato JOSHIMA, Kiyoyuki KISIMOTO, Kyohiko MITSUZAWA, Misturyo MURAI, Yukihiro NOJIRI, Hélène ONDREAS, Christelle PRATT et Étienne RUELLAN

Résumé — La campagne YOKOSUKA 91 du sous-marin japonais *Shinkai 6500* (octobre 1991) a eu pour objectif de retourner sur deux sites hydrothermaux de l'axe de la dorsale du Bassin Nord-Fidjien explorés en 1989 par le *Nautile*. On a pu montrer que les manifestations hydrothermales présentent de grandes variations d'ordre géologique, géochimique ou biologique, sur de très courts espaces de temps. Un nouveau site, situé dans un profond graben de l'axe N160 de la dorsale, présente une activité principalement tectonique le long d'un système de failles jalonné par des dépôts de sulfures.

Preliminary results of *Shinkai 6500* dives on the North Fiji Basin Ridge (SW Pacific) — STARMER

Abstract — The aim of the YOKOSUKA 91 cruise (October 1991) of the Japanese submersible *Shinkai 6500* was to come back on two hydrothermal sites of the axis of the North Fiji Basin ridge which had already been explored by the submersible *Nautile* in 1989. This cruise gave us the opportunity to show that the hydrothermal manifestations vary a lot in terms of geology, geochemistry or biology during a very short time. A new site which is located in a deep graben of the N160 ridge axis showed only activity along a fault system marked by sulphide deposits.

Abridged English Version — The STARMER French-Japanese joint project has allowed the geological, geophysical, geochemical and biological cartography of approximately 900 km of the North Fiji Basin ridge. The complete multibeam bathymetric map which covers the entire North Fiji Basin ridge (Fig. 1) [3], and the results from bottom water sampling were invaluable guides for the selection of diving sites.

The YOKOSUKA 91 cruise carried out in October 1991 with the new Japanese submersible *Shinkai 6500* was devoted to the return to two hydrothermal sites previously explored by the French submersible *Nautile* (STARMER cruise, 1989) and to study new zones. This was the first scientific cruise of the *Shinkai 6500*. Three sites were explored during the 14 dives of the second leg of the cruise.

The first site is located in an unusual area of the accretionary system of the North Fiji Basin. It is the N160 branch of the ridge mapped during the YOKOSUKA 90 cruise [10] where present-day spreading occurs within deep grabens (more than 4,000 m) bounded by 1,000 m high walls. Three dives were conducted in one of these grabens where significant positive concentration anomalies of methane and manganese had been measured during the *R/V Jean-Charcot* SEAPSO 3 cruise in 1985 [4]. The dives showed that the present-day accretion is concentrated on the neovolcanic ridge which cuts the axial part of the main graben. The manifestations of the accretion are mainly tectonic in nature with east-facing faults (a few metres high), located on the eastern edge of the neovolcanic ridge. The fault scarps exhibit sections of lava tubes and pillows (Fig. 2), and some hydrothermal deposits

Note présentée par Jean AUBOUIN.

(stains from oxides and sulphides) were observed along the faults. However, no active hydrothermalism was identified in the area.

The second exploratory site is located in the axial active zone of the ridge around 18°50'S-173°30'E. In this area the axis is characterized by a 300 m high, 7 to 8 km wide dome (Fig. 3).

Between 18°50'500''S and 18°49'S the depth of the axial domain varies from 2,710 m at the top of the dome to 2,730 m on the bottom of the graben. The average active width is about 500 m. It is characterized by foundered lava lakes and basaltic pillars. The observed and sampled lavas are extremely fresh, glassy, draped and lobed. In this area many shimmering water diffusion zones with associated small colonies of living fauna with measured temperatures of a few degrees (2 to 3°C) were explored along the present-day active graben. On the western flank of the graben an alignment of big sulphide chimneys has been observed and sampled.

Between 18°47'700''S and 18°49'S the axis has a constant depth of around 2,700 to 2,710 m and its width is only 70 m. Out of this narrow graben the area is covered by a thin film of sediments. The bottom of the active zone is occupied by lobed, draped lava flows and tubes. In this area the tectonic activity is marked only by fissuration and foundering of lava lakes.

The third site selected for exploration was the active hydrothermal area discovered in 1989 by the *Nautilé* and named "White Lady" [11]. At that time it was a 6 to 7 m high, 30 m wide circular mound consisting of sulphides and oxides. At the top of this mound, a 3 m high bifurcated chimney consisting exclusively of anhydrite and expelling shimmering fluid with a measured temperature of 285°C was observed (Fig. 4a). The foot of the chimney was colonized by gastropods, mussels, crabs and cirripeds.

The same site explored by the *Shinkai 6500* shows a significantly different morphology (Fig. 4b). The anhydrite chimney is now much larger with a 2 m high and a 2 to 3 m diameter sized main conduit, and a 1 to 1.5 m high and several centimetres in diameter secondary vent. The shimmering fluid which is being expelled from the vents has the same chemistry but its temperature is 265°C, 20°C less than 2 years ago and its flux is more powerful. The other significant difference is the extension of living animal colonies all around the site and especially towards the top of the mound.

In conclusion, the YOKOSUKA 91 cruise allows us to observe the detail of different stages of accretion, *in situ*; the predominant tectonic manifestations at ST.58 on the N160 ridge have been replaced by fresh magmatism in the other exploratory sites.

INTRODUCTION. — Décrite partiellement pour la première fois en 1986 ([1]-[2]) la dorsale du Bassin Nord-Fidjien est en passe de devenir une des dorsales les mieux connues de l'océan mondial.

Le programme de coopération franco-japonais STARMER a, en effet, permis de réaliser la cartographie géologique, géochimique et biologique de près de 900 km de dorsale. La couverture bathymétrique complète du domaine axial au sondeur multifaisceaux (fig. 1), [3] ainsi que les prélèvements dans la colonne d'eau ([4]-[5]) ont constitué des guides précieux pour la localisation des sites d'exploration *in situ*.

Une première campagne de plongées du *Nautilé* en 1989 (juin-juillet 1989 — campagne STARMER-*Nautilé*) avait permis de réaliser 21 plongées sur deux sites principaux. Le premier, situé autour de 17°S, à l'extrémité septentrionale du segment N15 de la dorsale,

à proximité du point triple de $16^{\circ}50'S$ [6], est caractérisé par un large dôme culminant à moins de 1 900 m de profondeur. Les plongées du *Nautilé* sur ce site (Kaiyo 87-ST.4) ont révélé l'existence d'un domaine hydrothermal actif caractérisé par d'épais dépôts de sulfures et d'oxydes (plusieurs mètres) et d'au moins trois cheminées émettant un fluide hydrothermal de $285^{\circ}C$ de température et très peu chargé en éléments métalliques. La mieux décrite de ces cheminées est la « Dame Blanche » construite exclusivement en anhydrite ([7]-[8]).

Le deuxième site, localisé autour de $18^{\circ}50'S$ sur l'axe, montre une activité volcanique extrêmement récente et une succession de grabens axiaux parallèles à la direction principale NS de la dorsale émettant des fluides de faible température (environ $5^{\circ}C$).

Les deux sites sont remarquables par l'existence de colonies animales associées caractérisées principalement par des gastéropodes, crabes, cirripèdes et crevettes, pour le premier [9], et par d'importantes colonies de moules géantes (*bathymodiollus*) alignées le long des fissures NS, pour le second.

La campagne de plongées YOKOSUKA 91 avec le nouveau submersible japonais *Shinkai 6500*, qui s'est déroulée en octobre 1991, avait pour objet de retourner sur les sites précédemment explorés par le *Nautilé* et d'étudier de nouveaux sites du point de vue tectonique, biologique et géochimique.

Cette campagne est la première campagne scientifique du sous-marin japonais *Shinkai 6500*.

Dans cet article, nous ne parlerons que des résultats acquis pendant le deuxième leg de la campagne autour de 3 sites principaux (*fig. 1*); un premier à $16^{\circ}20'S$ sur la branche N160 de la dorsale, un deuxième dans la partie de l'axe où le taux d'accrétion est supérieur à 7 cm par an à $18^{\circ}50'S$ et le dernier autour de la « Dame blanche » à $17^{\circ}S$.

LE *SHINKAI 6500*. — Il a été lancé en 1989 et a subi, depuis, une série de tests qui l'ont amené en août 1989 jusqu'à la profondeur de 6 527 m. Ses dimensions (L=9,5 m, l=2,7 m et H=3,2 m) en font un submersible comparable au *Nautilé*. Son poids de 26 t, supérieur de 8 t à celui du *Nautilé*, constitue cependant un sérieux handicap. Sa vitesse opérationnelle n'est que de 1 nœud. L'équipage de 3 personnes (2 pilotes et 1 scientifique) prend place dans une sphère de 2,1 m de diamètre. Il est mis en œuvre par le navire YOKOSUKA (105 m de long) construit spécialement à cet effet.

RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE YOKOSUKA 91. — Le premier site exploré se situe dans une zone atypique du système d'accrétion du Bassin Nord-Fidjien. Il s'agit de la branche N160 de la dorsale cartographiée lors de la campagne YOKOSUKA 90 [10]. Sur cet axe, l'accrétion s'effectue dans un système de grabens qui peuvent dépasser 4 000 m de profondeur. Trois plongées ont été consacrées à l'étude d'un de ces grabens dans une zone où une importante anomalie positive de concentration de méthane et de manganèse a été mesurée lors de la campagne SEAPSO 3 du *Jean-Charcot* en 1985 [4]. L'une d'entre elles (plongée 89), sur le mur principal du graben, à l'est (*fig. 2*) montre une succession de marches d'escalier où affleurent essentiellement des pillow-lavas recouverts par une épaisseur constante de sédiments. Cette zone ne montre aucune activité actuelle cependant, une augmentation significative de la température de l'eau de fond ($0,05^{\circ}C$) a été enregistrée en deux points. D'autre part, des dépôts blancs de type hydrothermal ont été observés sur un des replats ensédimentés.

Les deux autres plongées (88 et 90) situées dans la partie axiale du graben, au niveau de la ride néovolcanique qui le coupe en son milieu, montrent au contraire des évidences

d'activité tectonique actuelle localisées sur le flanc oriental de l'axe néovolcanique. Cette activité se manifeste essentiellement par des failles dont les miroirs montrent de fraîches sections de pillows et de tubes de lave. Dans la plongée 88, la zone active est marquée par un pierrier d'environ 150 m de hauteur présentant un classement des blocs; les plus gros occupant le bas de l'escarpement. Dans la plongée 90, la zone active est jalonnée de placages et de dépôts hydrothermaux. Il n'a malheureusement pas été possible de localiser de site hydrothermal actif.

Le deuxième site exploré est localisé autour de 18°50'S, sur la partie axiale de la dorsale centrée à ce niveau sur 173°30'E (fig. 3). La caractéristique de l'axe dans cette zone est qu'il est formé par un dôme d'environ 300 m de haut sur 7 à 8 km de large. Les données de l'observation à partir du *Shinkai 6500*, combinées à celles du *Nautilus* en 1989, permettent de distinguer deux domaines.

Au sud, entre 18°51'S et 18°49'S, la profondeur du domaine axial varie latéralement de 2710 m sur le sommet du dôme à 2730 m au fond du graben. Sa largeur active moyenne est de 500 m. Elle est caractérisée par des lacs de lave effondrés dans lesquels apparaissent des piliers, des arches, ... Les laves observées sont principalement des laves drapées extrêmement fraîches dont la surface vitreuse brille. Plus à l'est, le fond du graben axial de direction N05 à N10 est constitué de laves lobées et fissurées et, tout au long de celui-ci, ont été observés des fluides moirés, de basse température (2 à 5°C) associés à de petites colonies animales. A 18°49'S, un évent émet un fluide moiré de basse température (50°C), le long d'une fissure N05; dans le même domaine, un site équivalent a été exploré par le *Nautilus*, en 1989, et appelé « Starmoules » où la température maximale mesurée était alors de 18°C. Sur le flanc ouest du graben axial, un alignement de grandes cheminées fossiles composées de sulfures a été observé et prélevé.

Au nord, entre 18°47,700'S et 18°49'S, la profondeur du domaine axial varie très peu (de 2700 à 2710 m), sa largeur est très réduite (de l'ordre de 70 m); en dehors de cet étroit graben, tout le domaine est couvert par une fine pellicule sédimentaire. Le fond du graben montre, contrairement à la zone sud, une grande variété de laves : laves lobées, laves drapés, tubes de laves... formant des lacs de laves fissurés et effondrés. Dans cette zone, l'activité tectonique est discontinue et se manifeste soit par des lacs de laves effondrés sur toute leur largeurs (70 m), soit par des fissures affectant le toit des lacs de laves en place.

Vers l'ouest une zone hors axe a été explorée; on a pu ainsi constater que, très rapidement, le substratum constitué de tubes de lave et de laves drapées est recouvert par un film sédimentaire continu.

Il semblerait donc que ce site présente, du nord au sud, une variabilité à l'échelle kilométrique de l'activité volcanique et tectonique.

Le troisième site exploré est le site hydrothermal actif découvert par le *Nautilus* en 1989 et décrit sous le nom de « Dame blanche » [11]. Il se présentait alors sous la forme d'un massif circulaire d'environ 30 m de diamètre et de 6 à 7 m de hauteur, composé d'oxydes

EXPLICATIONS DES PLANCHES

Planche I

Fig. 1. — Carte bathymétrique simplifiée de la dorsale du Bassin Nord-Fidjien. Les étoiles indiquent les sites de plongées.

Fig. 1. — *Simplified bathymetric map of the North Fiji Basin ridge. The stars indicate the diving sites.*

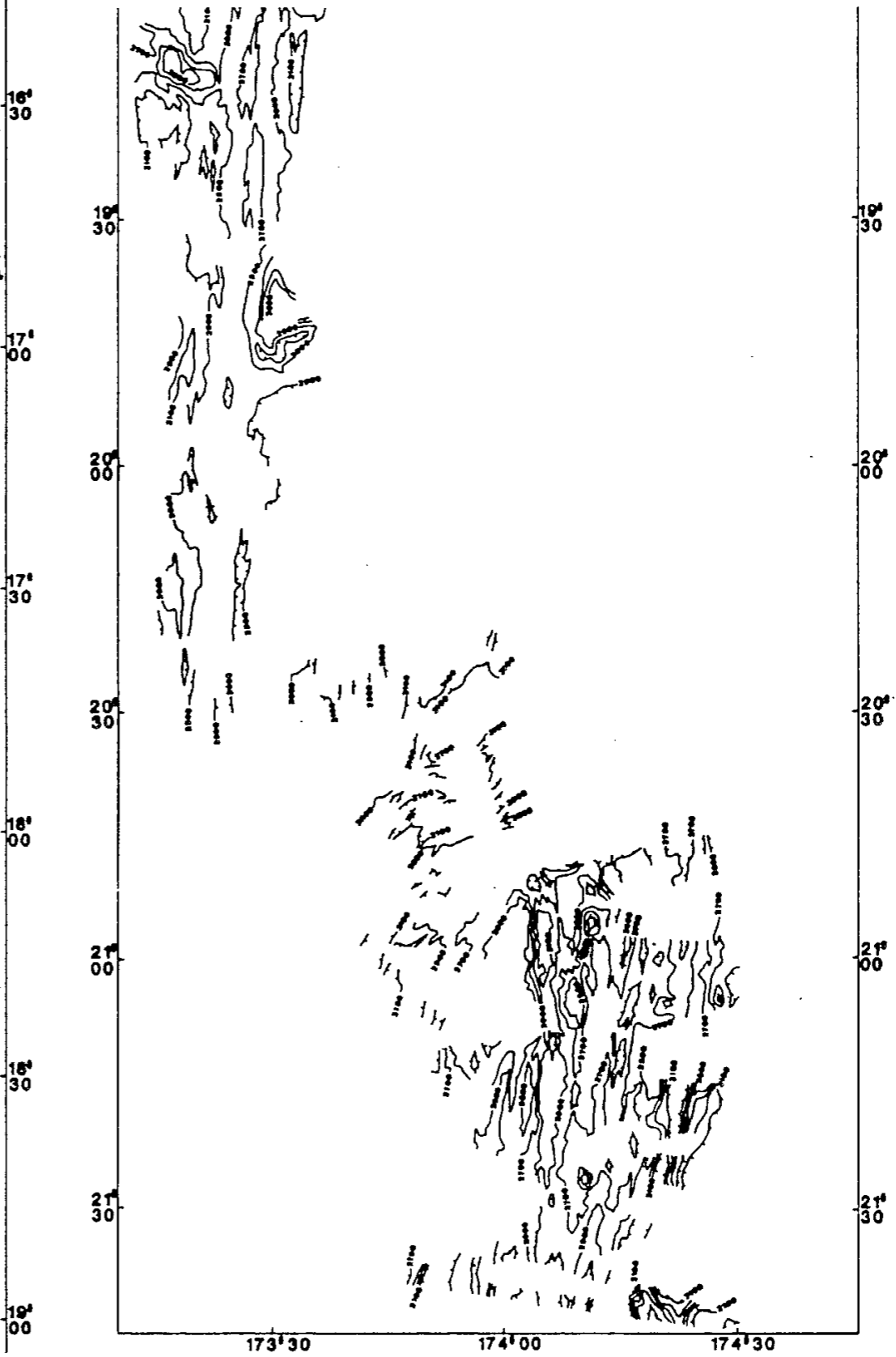
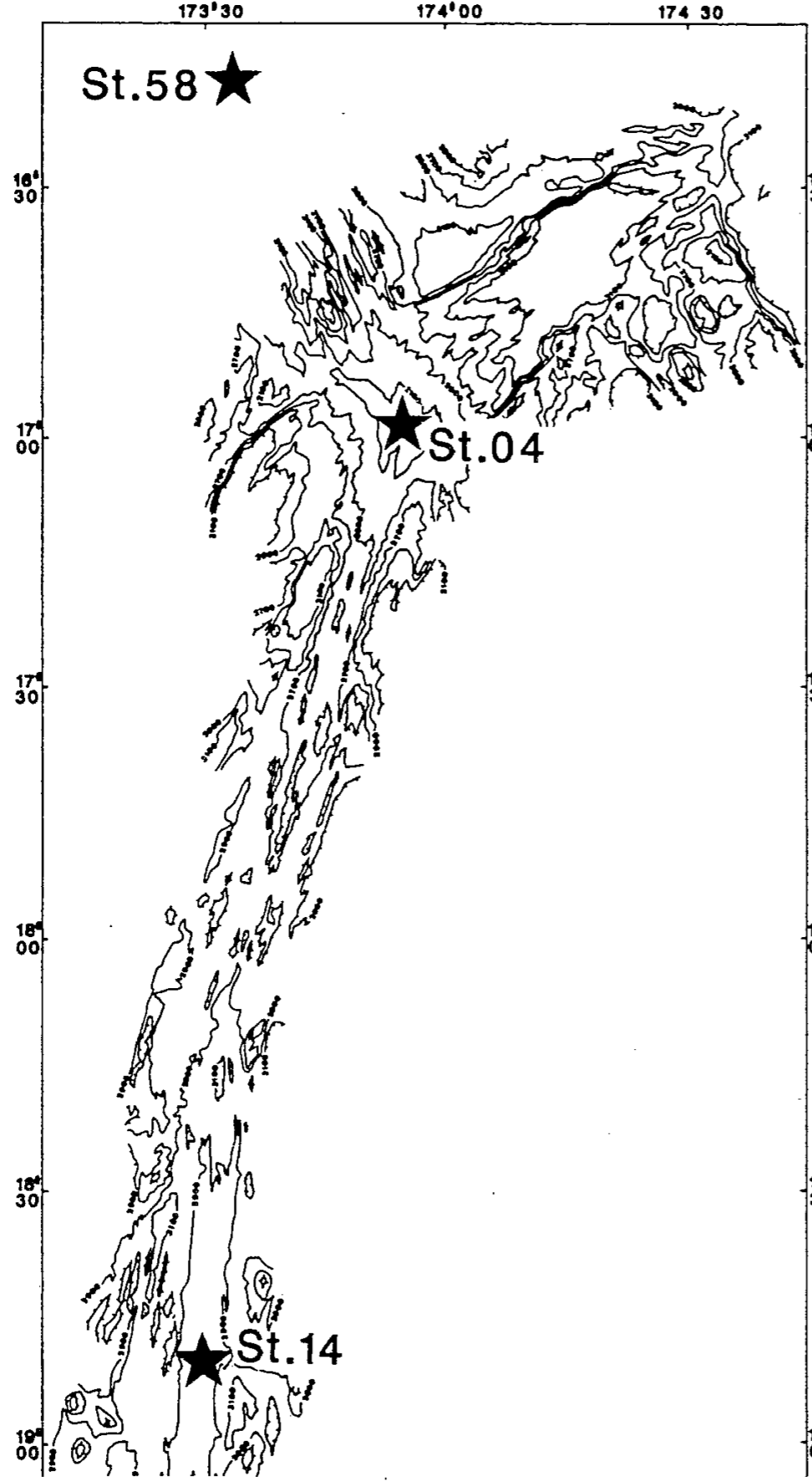


Fig. 1

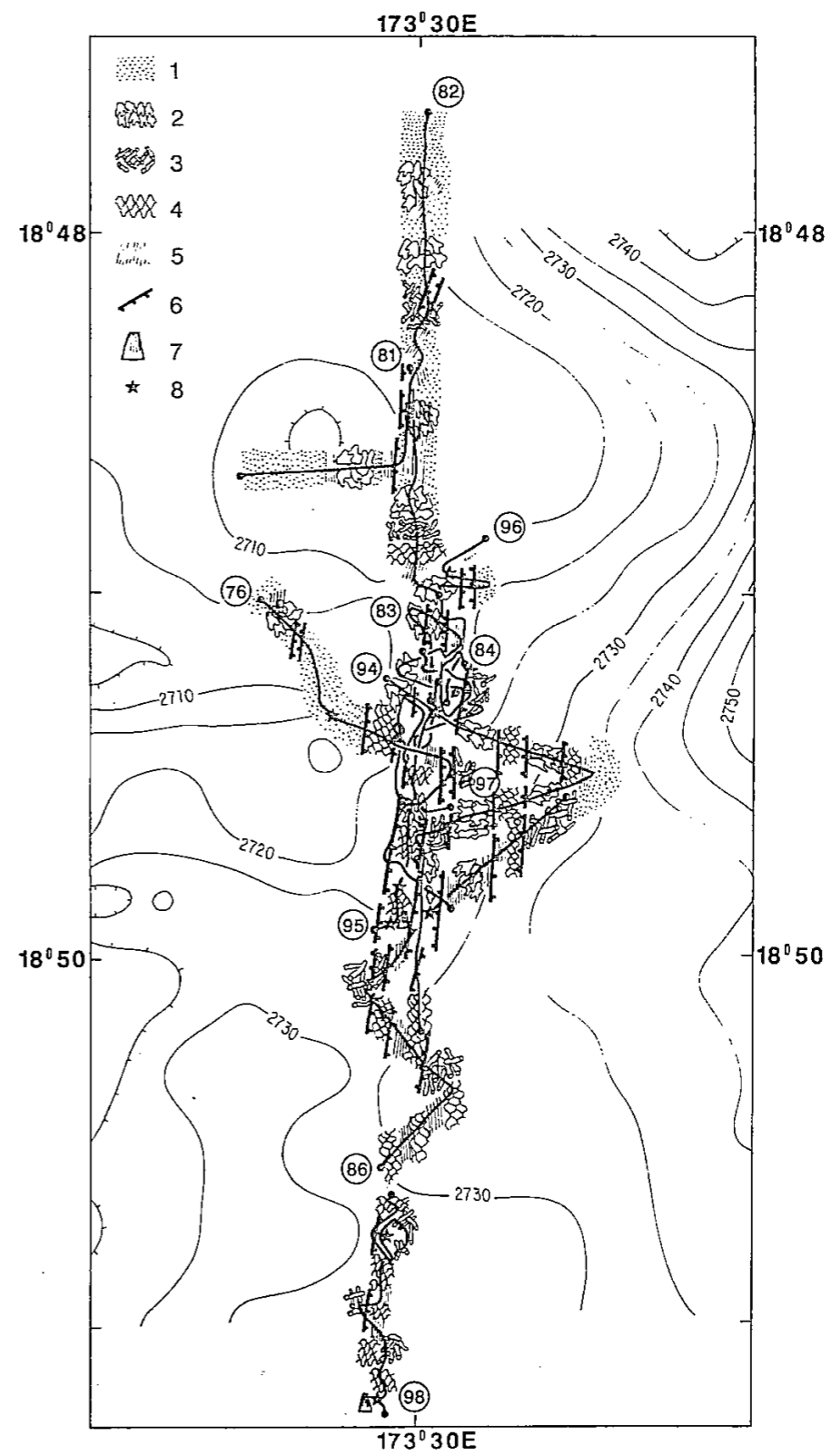
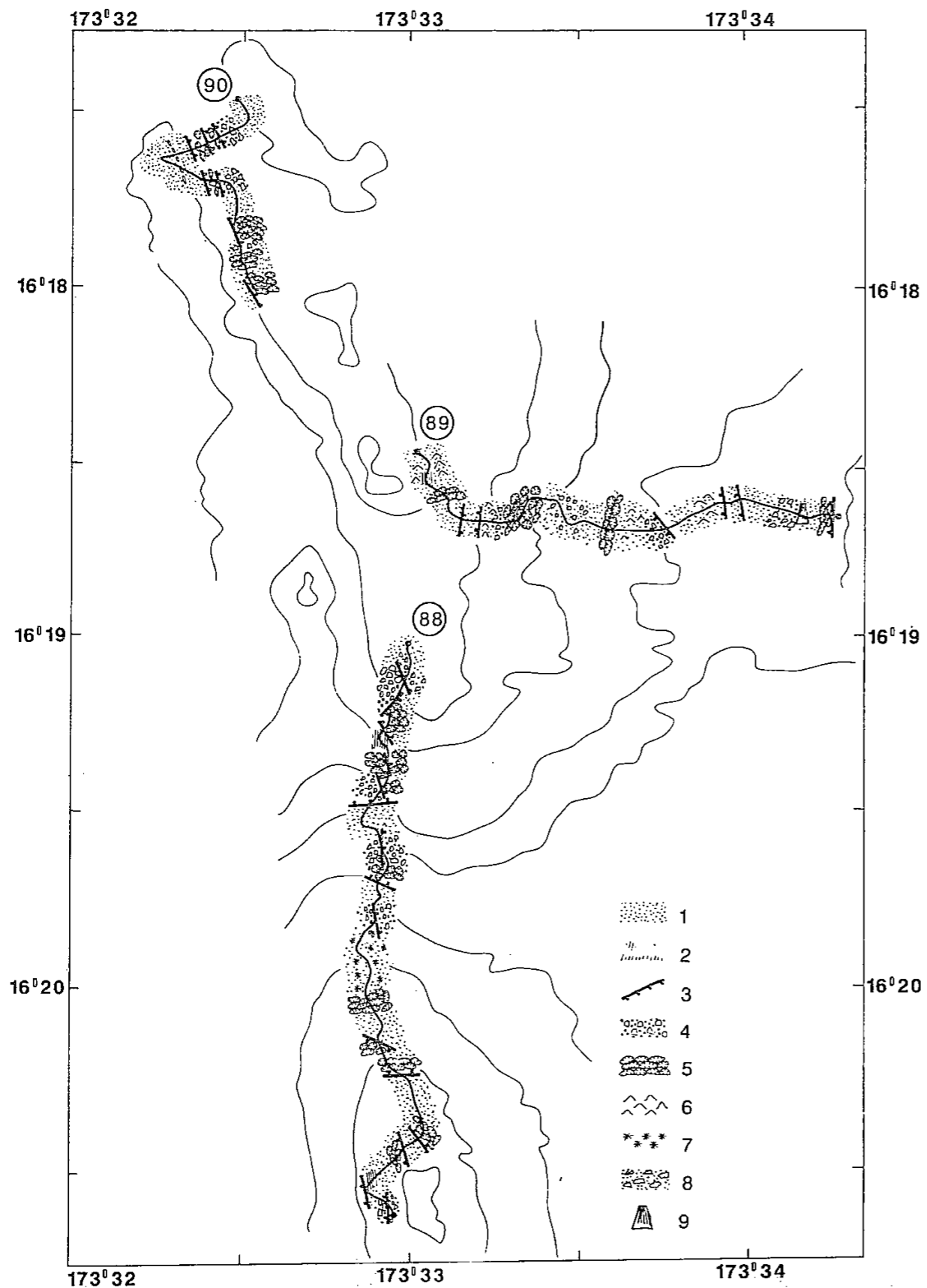


Fig. 3

Planche II

Fig. 2. — Carte géologique des observations faites sur la station 58. 1) Sédiments; 2) Fissures; 3) Escarpement; 4) Talus; 5) Pillow-lavas; 6) Monticule sédimentaire; 7) Verres volcaniques; 8) Dépôts hydrothermaux; 9) Cheminée fossile.

Fig. 2. — Geologic map of in situ observations-station 58. 1) Sediments; 2) Fissures; 3) Scarps; 4) Talus; 5) Pillow-lavas; 6) Sedimentary mound; 7) Volcanic glasses; 8) Hydrothermal deposits; 9) Fossil chimney).

Fig. 3. — Carte géologique des observations faites sur la station 14. 1) sédiments; 2) Laves lobées; 3) Tubes; 4) Laves drapées; 5) Fissures; 6) Escarpements; 7) Cheminée fossile; 8) Site actif.

Fig. 3. — Geologic map of the in situ observations-station 14. 1) Sediments; 2) Lobed lavas; 3) Lava tubes; 4) Draped lavas; 5) Fissures; 6) Scarps; 7, Fossil Chimney; 8) Active hydrothermal site.

et de sulfures. Au sommet de ce massif, une cheminée bifide, de couleur blanche parce que constituée principalement d'anhydrite, de 3 m de haut, émettait un liquide moiré de 285°C de température (fig. 4a). Au pied de cette cheminée principale, 5 à 6 événements secondaires étaient colonisés par une association de gastéropodes, de moules, de crabes et de cirripédés. Lors de son exploration par le *Nautile*, le site « Dame blanche » avait été modifié par les prélèvements d'animaux et de sulfures et par la rupture d'une de ses branches. D'autre part, en 1990, le *N/O Sonne* a prélevé une bonne partie des restes de la « Dame blanche » à l'aide de son « Grab ».

L'exploration du même site par le *Shinkai 6500* a montré qu'il s'était reconstitué sous une forme différente (fig. 4b). La cheminée d'anhydrite a pris un aspect beaucoup plus

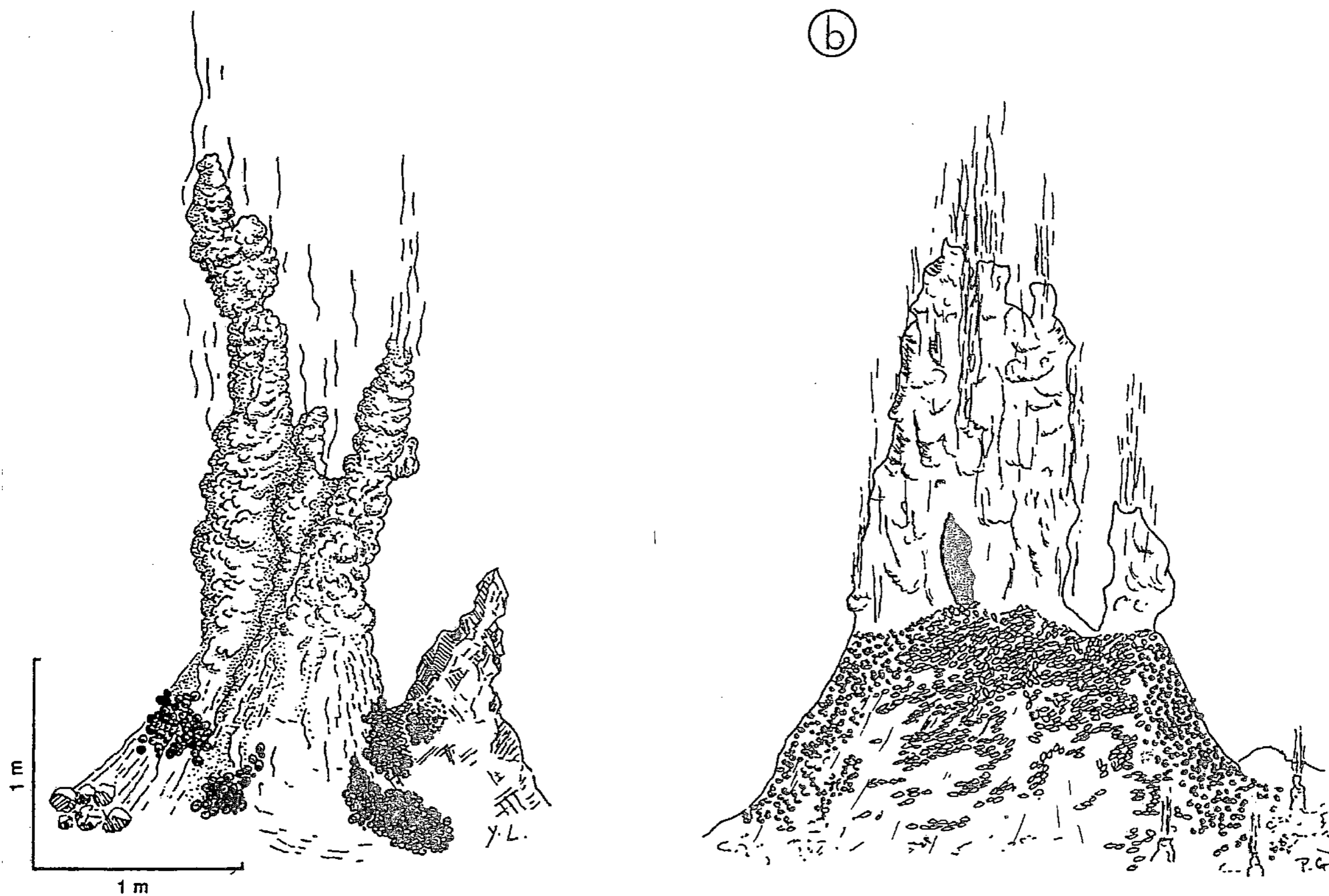


Fig. 4. — a) La « Dame Blanche » observée par le *Nautile* en 1989 (dessin : Y. Lagabrielle).

b) La « Dame Blanche » observée par le *Shinkai 6500* en 1991 (dessin : P. Geistdoerfer).

Fig. 4. — a) The « White Lady » observed by the *Nautile* in 1989 (drawing: Y. Lagabrielle).

b) The « White Lady » observed by the *Shinkai 6500* in 1991 (drawing: P. Geistdoerfer).

massif avec un conduit principal de 2 m de hauteur et de 2 à 3 m de diamètre, et un conduit annexe de 1 à 1,5 m de haut sur quelques dizaines de centimètres de diamètre. Ces conduits émettent le même fluide transparent, mais le flux est beaucoup plus puissant. La température mesurée est de 265°C, soit 20° de moins qu'en 1989. Enfin, une autre modification importante concerne les colonies animales dont le nombre d'individus de chacune des espèces reconnues en 1989 est aujourd'hui beaucoup plus important.

Ces constatations confirment, si besoin était, le fait que les sites hydrothermaux ont une vitesse d'évolution extrêmement rapide, des variations significatives ayant été observées à l'échelle annuelle à pluriannuelle.

CONCLUSION. — L'exploration par le *Shinkai 6500* de 3 zones différentes de la dorsale du Bassin Nord Fidjien permet de préciser le détail de son fonctionnement.

Au nord, sur la branche N160, on a pu montrer que l'accrétion était située dans un profond graben (3 900 m), dont les murs atteignent 1 000 m de hauteur, sur une ride néovolcanique axiale. Les manifestations de l'activité actuelle sont, dans le domaine exploré, essentiellement tectoniques (failles, fissures,...). Les dépôts hydrothermaux observés suggèrent l'existence d'une activité récente qui n'a pu être reconnue lors de cette campagne.

Dans la partie sud de la dorsale (18°50'S), l'accrétion est plus rapide (7 à 8 cm/an) et ses manifestations sont essentiellement magmatiques avec des laves lobées, drapées et scoriacées très fraîches. L'hydrothermalisme actif est caractérisé par des diffusions de fluides de basse température (environ 5°C) le long des fissures, et aussi par la colonisation de ces fissures par des moules géantes (*Bathymodiolus*). Dans cette zone, les dépôts hydrothermaux sont représentés par des placages et un alignement de grandes cheminées de sulfures fossiles sur le flanc ouest du graben axial. Dans l'axe, aucun dépôt n'a été observé. La raison pourrait en être que l'extrême jeunesse magmatique du domaine axial n'a pas encore permis le développement d'une circulation hydrothermale plus significative.

Enfin, l'exploration de la « Dame blanche » confirme la variabilité à une échelle annuelle à pluriannuelle des sites hydrothermaux.

Note remise le 9 décembre 1991, acceptée le 16 janvier 1992.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] P. MAILLET et coll., *C. R. Acad. Sci. Paris*, 303, série II, 1986, p. 135-140.
- [2] J. M. AUZENDE et coll., *C. R. Acad. Sci. Paris*, 303, série II, 1986, p. 93-98.
- [3] J. M. AUZENDE et coll., *Bathymetric map of the North Fiji Basin Ridge between 16°10'S and 21°40'S*, Pub. IFREMER, Science and Technology Agency of Japan, 6 coloured plates, 1/200 000°, 1990.
- [4] J. M. AUZENDE et coll., *Tectonophysics*, 146, 1988, p. 317-351.
- [5] Kaiyo 87, 88, 89 Shipboard parties, confidential cruise reports.
- [6] Y. LAFOY et coll., *Mar. Geophys. Res.*, 12, 1990, p. 285-296.
- [7] V. BENDEL et coll., *Economic Geology* (sous presse).
- [8] D. GRIMAUD et coll., *Geochemical Journal* (sous presse).
- [9] D. DESBRUYÈRES et coll., *C. R. Acad. Sci. Paris* (en préparation).
- [10] J.-M. AUZENDE, *La Recherche*, 237, 22, 1991, p. 1362-1363.
- [11] J.-M. AUZENDE et coll., *Mar. Geology*, 98, 1991, p. 259-269.

J.-M. A. et H. O. : Département D.R.O./G.M., IFREMER, Centre de Brest, B.P. n° 70, 29280 Plouzané Cedex; V. B. et E. G.-M. : U.B.O., C/O, IFREMER, Brest, B.P. n° 70, 29280 Plouzané Cedex; K. F. et K. M. : J.A.M.S.T.E.C., 2-15, Natsushima-Cho, Yokosuka 237, Japon; P. G. : Laboratoire d'Ichtyologie, M.H.N., 61, rue Buffon, 75005 Paris; M. J., K. K. et M. T. : G.S.J., 1-1-3 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japon; M. M. : Hydrographic Department of Japan, Tsukiji 5-3-1, Chuo-Ku, Tokyo 104, Japon; Y. N. : N.I.E.S.-J.E.A., 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japon; C. P. : Department of Mineral Resources, Private Mail Bag, G.P.O. Suva, Fiji; E. R. : C.N.R.S., rue Albert-Einstein, Sophia-Antipolis, 06560 Valbonne;