

encom 170 B

Variabilité des manifestations hydrothermales actuelles le long d'une dorsale ultra-rapide : Exemple de la Dorsale Est Pacifique entre 17° et 19°S (campagne NAUDUR)

Yves Fouquet, Jean-Marie Auzende, Valérie Ballu, Rodey Batiza, Daniel Bideau, Marie-Hélène Cormier, Patrick Geistdoerfer, Yves Lagabriele, John Sinton et Piera Spadea

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 319, série II,
p. 1399 à 1406,
1994

Résumé 69 nouveaux sites hydrothermaux ont été découverts entre 17°S et 18°40'S sur quatre segments présentant des activités volcaniques et tectoniques contrastées. A 17°10'S, 17°25'S et 18°37'S, la ride forme un dôme et l'activité volcanique est dominante. Les émissions hydrothermales sont d'abord diffuses et de basse température, puis focalisées et de haute température. A 18°15'S la majorité des sites hydrothermaux sont inactifs dans un graben axial dépourvu de laves récentes. A 18°32'S, des laves récentes s'épanchent au fond du graben. Les circuits hydrothermaux réactivés par le nouvel épisode volcanique se traduisent par des diffusions sur les laves récentes et par une reprise des émissions de haute température le long des murs du graben. Ces quatre segments traduisent des épisodes volcano/tectoniques successifs, caractéristiques de l'évolution temporelle des dorsales rapides. Les observations permettent de proposer un nouveau modèle de l'activité hydrothermale. Les circuits hydrothermaux sont diffus, peu structurés, instables et superficiels durant les épisodes volcaniques. Au début des épisodes tectoniques, les failles du graben drainent les fluides chauds en profondeur, puis lorsque le graben s'élargit, l'activité s'interrompt. La reprise de l'activité volcanique réamorçait les circulations profondes le long des failles du graben.

Mots-clés : Hydrothermalisme, Océan, Dorsales rapides, Minéralisations sulfurées.

Abstract Variability of the present-day hydrothermal activity along an ultra-fast spreading ridge: East Pacific Rise between 17° and 19°S (Naudur cruise)

69 new hydrothermal sites were discovered during the Naudur diving cruise. Dives were conducted between 17°S and 18°40'S on four segments showing marked contrast in morphology, volcanic, tectonic and hydrothermal activity. At 17°10'S, 17°25'S and 18°37'S the ridge has a dome shaped cross-section and is dominated by very active volcanic activity. Early widespread low temperature (<50°C) diffuse hydrothermal discharge is followed by focused high temperature black smokers. At 18°15'S tectonic activity is dominant, no recent lava was observed, and only two of the 20 hydrothermal sites are active. At 18°32'S recent lava representing a new volcanic episode partly covers the bottom of the graben. Deep hydrothermal convection is reactivated with new black smokers along the graben wall. Also, there is low temperature shimmering water from cooling lava flows. These three segments can be considered as successive volcanic/tectonic episodes typical of a fast spreading ridge. Further, the observations support a new model for the temporal evolution of episodic hydrothermal activity. Hydrothermal convection is unstable and superficial during the volcanic stage (dykes injection). At the beginning of the tectonic stage (graben formation) faults allow deep circulation and hot fluid to reach the surface. As the graben widens hydrothermal activity is less important and may cease. The heat of a new volcanic episode reactivates the deep hot water circulation along the graben faults completing a cycle.

Keywords : Hydrothermal activity, Ocean, Fast spreading ridges, Sulfides.

Y.F. : IFREMER/CB, BP n° 70,
29280 Plouzané, France ;

J.M.A. : IFREMER/CB, BP n° 70,
29280 Plouzané, France ;
Actuellement à ORSTOM, BP n° A5,
Nouméa, Nouvelle Calédonie ;

V.B. : IPGP, 2, place Jussieu,
75251 Paris Cedex 05, France ;

R.B. et J.S. : SOEST, 2525 Correa road,
Honolulu, HI 96822, USA ;

D.B., IFREMER/CB, BP n° 70,
29280 Plouzané, France ;

M.H.C. : Université de Californie-Santa
Barbara,
Santa Barbara, California 93106-9630,
USA ;

P.G. : Muséum d'Histoire Naturelle,
43, rue Cuvier, 75231 Paris Cedex 05,
France ;

Y.L. : Université de Bretagne
Occidentale,
6, avenue Le-Gorgeu, 29287 Brest
Cedex, France ;

P.S. : Università degli studi di Udine,
Dipartimento di Georisorse e
territorio,
Via Cottonificio, 114, 33100 Udine,
Italia.

Note

présentée par
Jean Aubouin.

remise le 16 mars 1994,
acceptée après révision
le 28 septembre 1994.



Abridged

English

Version

TWENTY three dives were made on four volcanic segments of the south EPR where the opening rate is the fastest in the world (up to 162 mm/y) (**figure 1**). At 17°10'S, 17°25'S and 17°37'S the ridge crest is dominated by volcanic activity showing several occurrences of very recent lava. Hydrothermal sites occur along axial fissure systems and related collapsed lava lakes. Three types of hydrothermal discharge are distinguished. 1) Large (> 100 m²) areas of *diffuse discharge* (<50°C) without sessile animals are located at the bottom of the collapsed lava lakes. This discharge is probably due to heating of sea water by recent volcanic extrusions. The fauna are spaghetti worms, crabs and fishes; the only sessile animals are very small Jericho worms. Surrounding waters are often milky and turbid, perhaps due to heavy bacterial production. These sites are very similar to the 9°50N EPR site described by Haymon et al. (1993). 2) *Diffuse discharge with sessile animals* and active chimneys (**figure 2 a, b and f**) are associated with older lava away from the axial collapsed lava lakes. The largest site at 17°25'S is nearly continuous for more than 1 km. Young chimneys up to 6 m high are starting to grow on the lobate flows in the middle of large fields of mussels, clams, cirripeds and anemones (**figure 2 h**) (Geisdoerfer et al., 1994). In many places these zones are covered with recent lava flows coming from the axial lava lakes. Observations made in 1984 at the same spot (Renard et al., 1985) did not show the large fields of mussels, clams, cirripeds and anemones. The size of the mussels suggests an age of about 10 years. 3) In many places *dead chimneys* are partially buried under lava flows (**figure 2 e**). The **northern hump segment** (18°02 to 18°22'S) is characterized by a very wide (800 m) and deep (50 m) axial graben (**figure 1**). No recent lava was observed and tectonic activity is dominant along the graben (Auzende et al., 1994). Twenty hydrothermal sites were discovered along 20 km of the eastern wall at a water depth of 2,660 m. Only two active black smokers (up to 310°C) were seen. This site is characterized by abundant silicic chimneys (**figure 2 g**) and scarcity of animals. The **central hump segment** (18°22' to 18°37'S) has an asymmetric graben

(**figure 1**). Very recent lava related to the beginning of a new volcanic episode partly covers the bottom of the graben (Auzende et al., 1994). Warm water discharges through lobate flows. At the northern part of the segment, where no recent lava was observed, seventeen hydrothermal sites were seen. Three types of site are distinguished on a 2-km survey along the graben wall at 18°26.5'S: 1) *Inactive sulfide mounds* with spires (up to 20 m high) correspond to an old hydrothermal episode, chimneys are often tilted away from the wall towards the graben and outcrops of stockwork (**figure 2 d**) occur in many places; 2) *Shimmering water* (up to 55°C) through the talus along the faults; 3) *Young active chimneys* (up to 310°C) are growing on the talus of the graben wall (**figure 2 c**). The absence of fixed animals and the importance of shimmering waters favours a very recent start of the hydrothermal activity. On the **southern Hump segment** (18°37'S to 19°S) a large area of diffuse discharge covered with animals was observed on the northern tip of the segment. The small size of most of the sites and the coverage by recent lava flows indicate a high degree of temporal instability of the hydrothermal systems on ultra-fast spreading ridges. This is particularly true on volcanically active ridges where no major faults are present to focus the deep hydrothermal discharge. This contrasts with the remarkable stability of hydrothermal discharge on slow spreading ridges (Fouquet et al., 1993). The three segments studied can be considered as representing successive volcanic/tectonic episodes. According to our observations we propose the following scenario for the evolution of hydrothermal activity along ultra-fast spreading ridges (**figure 1**). **1. First stage** (17°25'S): On a volcanics-dominated ridge, large surfaces of shimmering waters are directly associated with new lava flows. No fixed animals and no mineral precipitates are seen. Abundant bacterial production is visible both in the water column and at the surface of the lava flow. This corresponds to short-lived and unstable hydrothermal circulation at shallow depth. Sea water is simply heated by the cooling lavas. **2. Second stage** (17°10' S, 17°25'S, and 17°37'S). Fixed animals

are settling on the large surface of diffusing waters and more focused high temperature discharges start to produce black smoker chimneys with highly reducing fluids related to deeper hydrothermal convection controlled by the cooling dyke. **3. The third stage** (18°15'S) on a tectonics-dominated ridge is characterized by more mature hydrothermal deposits. These sites, controlled by faults, are typically located in a graben structure in areas without any evidence of recent lava flows. Compared to the other sites, very

few vents are active and the hydrothermal activity can stop. **4. The fourth stage** (18°32'S and 18°26'S) corresponds to a new volcanic episode starting at the bottom of a graben structure. The hydrothermal discharge is of two types: diffuse warm water related to the cooling of the recent lava and, at 18°26'S, new black smokers controlled by the graben faults. These are probably related to reactivation of the hydrothermal system by the volcanic activity starting further south on the segment.

INTRODUCTION

La portion de la dorsale Est Pacifique étudiée au cours des plongées présente le taux d'ouverture (141 à 162 mm/an) le plus rapide au monde (Cormier et Macdonald, 1994) (figure 1). Les premières minéralisations hydrothermales dans cette zone ont été découvertes au cours des campagnes du *N/O Sonne* (Bäcker et al., 1985) et des plongées du submersible *Cyana* (Renard et al., 1985).

RÉSULTATS

L'objectif de la campagne Naudur du *Nautille* (3-30 décembre 1993) était d'explorer deux secteurs de la Dorsale Est Pacifique. Le premier situé entre 17°10'S et 17°25'S est caractérisé par la faible profondeur du dôme axial (2 600 m). Le second, constituant la zone Hump «la bosse», est situé entre 18°15'S et 18°37'S; il comprend trois segments de 25 à 40 km de long, aux caractéristiques morphostructurales différentes. Au cours de 23 plongées, 69 sites hydrothermaux répartis en six groupes géographiques centrés sur 17°10'S, 17°25'S, 18°15'S, 18°26'S, 18°32'S et 18°37'S (figure 1) ont été découverts.

17°10'S (2 plongées). Le dôme axial (figure 1) où se sont épanchées des laves lobées et drapées très récentes est entaillé de fissures de quelques mètres de profondeur pour une largeur inférieure à 30 m. Les sites hydrothermaux sont étroitement associés aux lacs de lave. Cinq sites correspondant à deux types ont été découverts: 1. *Zones d'émissions dif-*

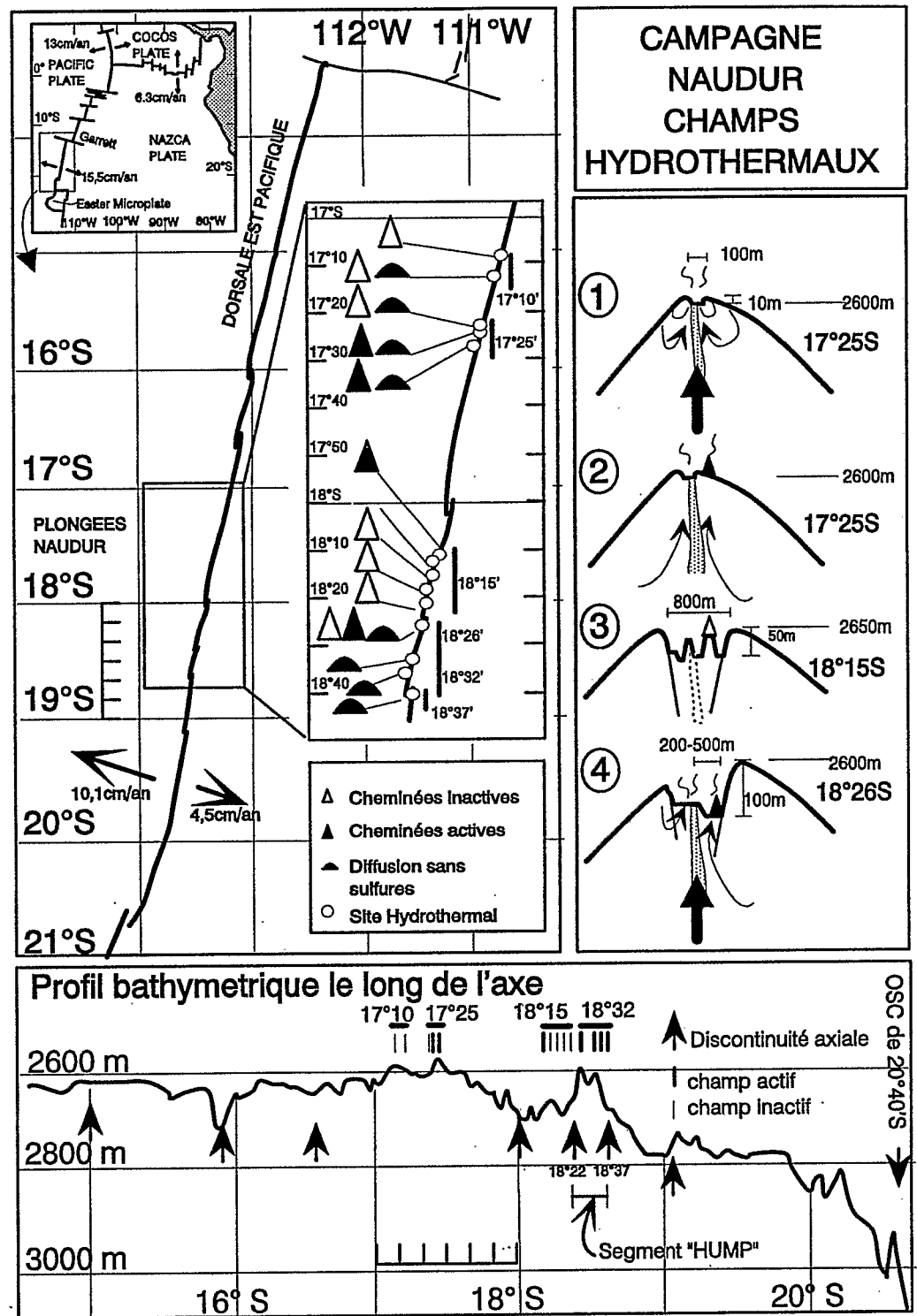
fuses (26°C) sur quelques centaines de mètres carrés. 2. *Petites cheminées sulfurées inactives recouvertes* par les laves récentes (figure 2 e).

A 17°25'S se situe le point le plus élevé de la dorsale du Pacifique Sud (-2 600 m). La morphologie en dôme est comparable à la précédente. Cinq plongées ont permis de constater d'importants changements de l'activité hydrothermale par rapport aux observations faites en 1984 (Renard et al., 1985). 20 sites hydrothermaux ont été découverts entre 17°21'S et 17°27'S au sommet de la ride, à proximité, ou au fond de lacs de lave effondrés. Les manifestations hydrothermales se rattachent à trois types: 1. *Zones de diffusion sans animaux fixés* (25 et 60°C). En bordure ainsi qu'au fond des lacs de lave effondrés, l'eau hydrothermale percole par les orifices des piliers et les interstices entre les laves. Ces diffusions pourraient résulter d'un mélange d'eau de mer et de fluide hydrothermal, mais l'absence de précipités minéraux suggère plutôt un réchauffement de l'eau de mer au contact des laves encore chaudes. Les animaux observés sont des poissons, des crabes, et des «vers spaghetti worm». Sur quelques sites, des vers de Jericho sont les premiers organismes à se fixer. Aux alentours des laves les plus récentes, les eaux sont souvent turbides ou laiteuses en raison d'une charge bactérienne importante, ce qui rappelle des observations analogues effectuées à l'axe de la dorsale à 9°50'N (Haymon et al., 1993). 2. *Zones de diffusion avec animaux fixés et cheminées*. Le site le plus important, large d'une centaine de mètres, a été suivi en continu sur 1,3 km le long de l'axe. Les zones de diffusion se caractérisent

Figure 1 Localisation des nouveaux sites découverts au cours de la campagne Naudur. Les zones de plongées se situent sur quatre segments présentant des morphologies contrastées (voir les coupes schématiques sur la droite). L'ensemble des zones étudiées se situe sur les points les plus élevés de la dorsale sud Pacifique (Voir profil bathymétrique le long de l'axe). Les champs hydrothermaux se répartissent sur les quatre segments. Les coupes notées 1, 2, 3, 4 schématisent les relations successives entre volcanisme /tectonique et manifestations hydrothermales. 1 : Stade volcanique, injection (flèche) d'un dyke (en pointillé) et épanchement de lave, hydrothermalisme diffus de basse température, convections superficielles liées au réchauffement de l'eau de mer par les laves chaudes. 2 : Refroidissement du dyke, mise en place de cellules convectives profondes contrôlées par les dykes, formation des premières cheminées de sulfures. 3 : Stade tectonique, émissions hydrothermales contrôlées par les failles du graben. Diminution ou arrêt de l'activité en l'absence de nouvelle injection de laves chaudes. 4 : Reprise du volcanisme au fond du graben, injection (flèche) de dykes qui réactivent l'activité hydrothermale sous forme de convections superficielles (voir 1) et convections profondes contrôlées par les failles majeures du graben.

Légende anglaise page suivante.

English caption on following page.



par une répartition très homogène des animaux (anémones, moules, clams, cirripèdes) sur les laves lobées (Geistdoerfer

et al., 1994). Des cheminées actives de 5 à 6 m de haut se développent au milieu des animaux (figure 2 a, b, f). A l'approche des

cheminées, les animaux deviennent plus nombreux et les variétés caractéristiques des hautes températures apparaissent (Geistdoerfer *et al.*, 1994). Tous les champs hydrothermaux se rapportant à ce type se situent en dehors des lacs de lave actuels et sur le flanc nord du sommet du dôme, ils sont parfois recouverts de laves plus récentes. Par leur grande taille, les moules et les clams indiqueraient un âge de 10 à 15 ans (D. Desbruyères, communication personnelle), ce qui donne l'ordre de grandeur du temps entre deux coulées. Une plongée effectuée en 1984 (Renard *et al.*, 1985) sur l'extension sud des zones de diffusion actuelles du site principal n'a pas rencontré de champs biologiques d'extension comparable à celle observée durant la campagne Naudur. Ceci démontre que les peuplements biologiques ont moins de 10 ans sur ce site.

3. *Cheminées mortes*. Deux petits sites de cheminées mortes ont été observés au fond et en bordure de petits lacs de lave. Certaines cheminées sont partiellement ensevelies sous les laves récentes.

Le segment nord Hump (la bosse) au Nord de 18°22'S (4 plongées) est caractérisée par un graben de 800 m de large et de 50 m de profondeur (figure 1). L'activité tectonique (Auzende *et al.*, 1994) est prédominante, le graben est intensément découpé par une alternance de petits horsts. Sa partie axiale est occupée par un grand lac de lave effondré de 40 à 50 m de large et de 25 m de profondeur (Auzende *et al.*, 1994). Aucune lave récente n'a été observée sur le segment qui comporte par contre vingt sites hydrothermaux, localisés préférentiellement à l'Est du graben axial, à une profondeur de 2 660 m. Seuls deux sites montrent une activité sous forme de fumeurs noirs dont les températures varient entre 200°C et plus de 310°C. Les zones actives contrastent fortement avec les sites observés sur les autres segments par l'absence de zones de diffusion entre les coulées lobées, et par la rareté des animaux. Tous les sites sont constitués de groupements de grandes colonnes (10 m) oxydées, au pied desquelles de petits monts de sulfures massifs commencent à se développer, à l'inverse des zones associées

aux laves récentes où les cheminées se développent directement sur les laves lobées. Certains sites couvrent des surfaces de plusieurs centaines de mètres carrés. La présence systématique des cheminées sur le flanc est du graben traduit une remarquable continuité de ces champs hydrothermaux sur une vingtaine de kilomètres de long. Des cheminées d'opale (figure 2g), absentes sur les autres segments, sont particulièrement abondantes ici.

Le segment central Hump (la bosse) entre 18°22'S et 18°37'S (6 plongées) présente une morphologie plus complexe avec un graben médian de 200 à 500 m de large, encadré par deux rides asymétriques. La ride orientale culmine à moins de 2 600 m, alors que la profondeur moyenne de la ride occidentale avoisine 2 700 m (figure 1). Dans sa partie nord, une intense activité tectonique est visible sur l'ensemble du domaine axial. Dans sa partie sud (entre 18°34'S et 18°37'S), le domaine axial est constitué par un graben de 50 m de profondeur et 200 m de large, dans lequel s'installe un lac de laves lobées, drapées et des coulées massives subactuelles sur 1,5 km de longueur (Auzende *et al.*, 1994). Ces coulées traduisent une reprise de l'activité volcanique sur le segment. D'un point de vue hydrothermal, les régions nord (activité tectonique) et sud (reprise du volcanisme) du segment présentent un fort contraste.

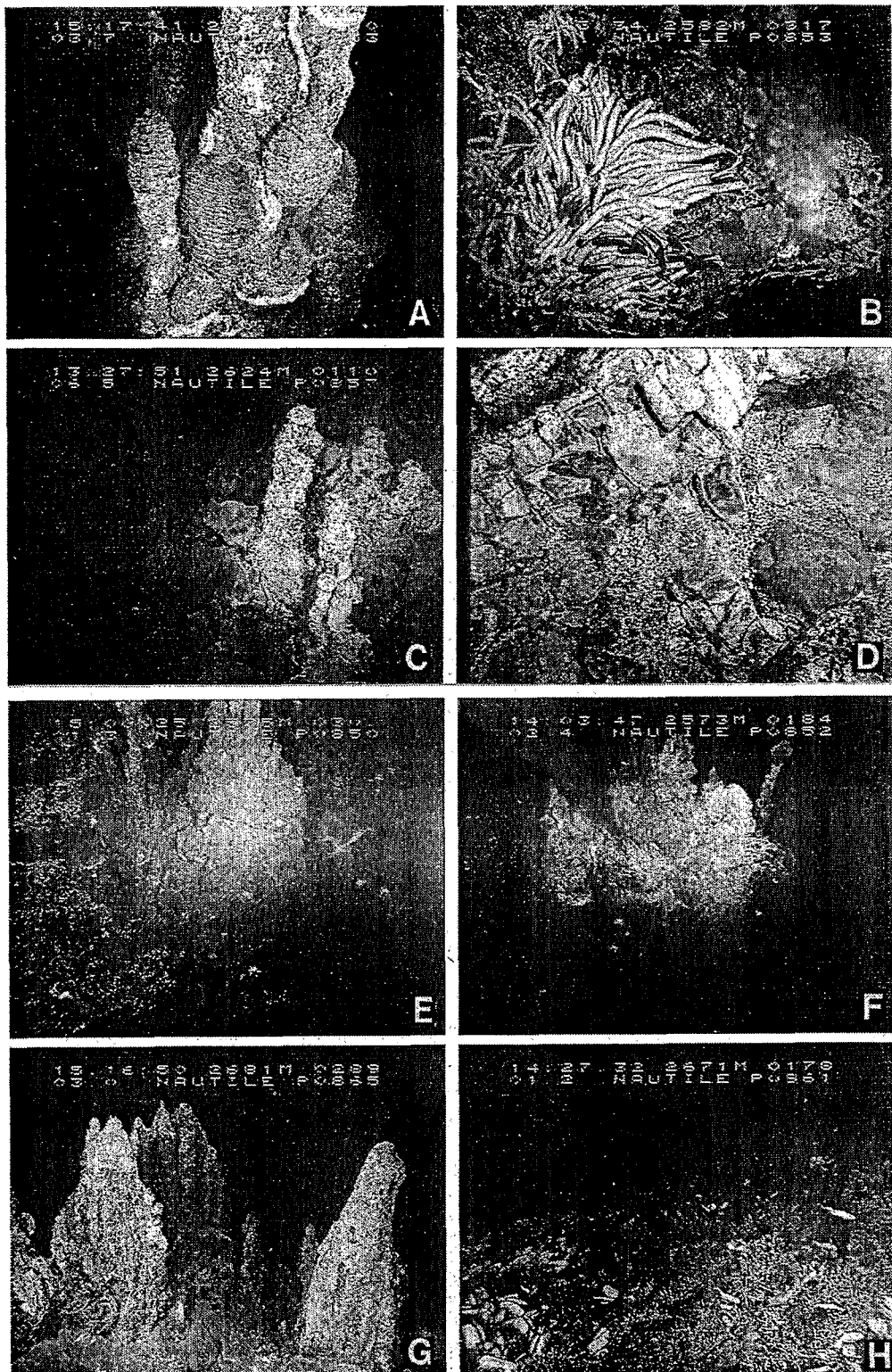
Au Nord du segment (18°26'S), 17 sites hydrothermaux s'alignent sur 2 km le long du mur est du graben qui atteint 100 m de haut. Trois types sont distingués: 1. *Des sites de cheminées mortes*. Ils varient en dimension depuis des groupes de quelques cheminées de quelques mètres de haut, jusqu'à des sites beaucoup plus importants, dans lesquels plusieurs dizaines de colonnes de 10 à 20 m de haut se développent sur un mont de sulfure massif couvrant plusieurs centaines à un millier de mètres carrés. Les cheminées sont souvent basculées vers l'intérieur, en relation avec l'activité tectonique le long du mur qui porte les stockworks à l'affleurement (figure 2d). 2. *Des zones de diffusion* (55°C) sans animaux fixés. Ces sites couvrent les éboulis sur des surfaces de quelques dizaines

Location of the new hydrothermal sites discovered during the Naudur cruise.

Dive sites are on four volcanic segments with contrasted morphologies (see cross-sections on the right). All areas studied are close to the highest point of the ridge (see bathymetric profile along the axis). Hydrothermal fields were found on the four segments. Cross-sections 1, 2, 3, 4 illustrate the successive relations between volcanic / tectonic / and hydrothermal activities.

1: Volcanic stage, injection (arrow) of a dyke (dotted area) and lava flows, low temperature diffuse hydrothermal discharge, shallow convective cells related to the hot lava. 2: Cooling of the dyke, deep convective cells, controlled by dykes, formation of the first high temperature chimneys. 3: Tectonic stage, hydrothermal discharge is controlled by the graben faults, hydrothermal activity may cease. 4: New volcanic episode at the bottom of the graben and dyke injection reactivates both diffuse discharge (similar to 1) and deep convection of hot fluids along major graben faults.

Figure 2 De gauche à droite. a : Ensemble de cheminées actives en forme de ruches où la température est de 45°C à la base, 210°C au sommet et 320°C au cœur (17°25'S, 2 575 m). b : Fumeur blanc (eaux moirées visibles à droite de la photo) associé à un groupe de pogonophores (17°25'S, 2 575 m). c : Jeunes cheminées de sulfures se développant sur les éboulis au pied du mur Est du graben (18°37'S, 2 624 m). d : Affleurement du stockwork dans le mur du graben. Noter l'intense altération blanche, parfois concentrique dans les fragments de basalte. Les zones sombres sont des veines de sulfures (18°37'S, 2 624 m). e : Petit groupe de cheminées inactives recouvertes de laves lobées plus récentes. Noter à droite de la photo une génération antérieure de laves lobées recouvertes de serpules blanches (17°10'S, 2 575 m). f : Très jeune site de petites cheminées au sommet du dôme axial. Noter l'absence d'animaux fixés ainsi que l'absence d'oxydation sur ces cheminées (17°10'S, 2 573 m). g : Groupe de cheminées de silice marquant la fin de l'activité hydrothermale (18°15'S, 2 681 m). h : Zone de diffusion de basse température sur des laves, lobées. Noter la densité de la couverture de clams et de cirripèdes (18°37'S, 2 671 m.)



From left to right. a: Active beehive structures, temperature is 45°C at the base, 210°C at the top and 320°C at the core (17°25'S, 2,575 m). b: White smoker, (see shimmering water on the right) associated with a group of Pogonophore worms (17°25'S, 2,575 m). c: Young chimneys growing on talus of the eastern graben wall (18°37'S, 2,624 m). d: Outcrop of stockwork. See concentric white alteration in basalt, dark color is sulfide veins (18°37'S, 2,624 m). e: Small group of inactive chimneys partially buried under a lava flow (17°10'S, 2,575 m). f: Very young chimneys near the top of the axial dome. Note the absence of fixed animals and the absence of oxidation on chimneys (17°10'S, 2,573 m). g: Group of siliceous chimneys representing the end of a hydrothermal episode (18°15'S, 2,681 m). h: Area of low temperature diffusion, note the high density of clams and cirripeds, and the absence of chimneys (18°37'S, 2,671 m).

à quelques centaines de mètres carrés. Mises à part des colorations blanches d'origine bactérienne, aucun dépôt actuel ne leur est associé. Il n'existe pas d'animaux fixés; par contre, poissons et crabes sont très abondants. 3. *Des cheminées actives* (210 à 300°C) de type fumeurs noirs. Les cheminées de 4 à 5 m de haut sont très effilées et recouvertes de vers *Alvinella* sur une bonne partie de leur hauteur. Les autres espèces animales sont des crabes et des poissons (Geisdoerfer *et al.*, 1994). L'espacement moyen entre les sites actifs est compris entre 50 et 150 m. Leur localisation sur les éboulis du mur indique qu'ils (figure 2 c) sont contrôlés par la faille principale du graben.

Dans le Sud du segment (18°32' S) sur le bord oriental du graben, de l'eau chaude transparente percole uniformément au travers des laves fraîches. Ce type de manifestation est à rattacher au type *diffusion sans animaux fixés* déjà observé à 17°25' S. La température mesurée dans de petites fissures actives atteint 160°C. Dans cette zone, la température ambiante s'est élevée de 25°C à 2 m du fond, en raison d'un réchauffement de l'eau lié au refroidissement des laves. Seuls des crabes et des poissons occupent la zone. Aucun dépôt hydrothermal n'est présent. Toutes ces observations traduisent une éruption très récente.

Le segment sud Hump à 18°37' S montre un site très important présentant une activité biologique exubérante et a été découvert à l'extrémité nord d'un nouveau segment volcanique. Ce site, sans dépôts minéraux associés, est tout à fait semblable aux sites de *diffusion avec animaux fixés* (figure 2 h) décrits dans le segment de 17°25' S (Geisdoerfer *et al.*, 1994). Il se situe également sur un segment ayant une morphologie de dôme.

CONCLUSIONS

Le nombre et la variété des sites trouvés sur les trois segments permettent de mieux analyser les liens existant entre volcanisme, tectonique, activité hydrothermale et type de dépôts à l'axe des dorsales rapides. Tous les

sites observés sont proches de l'axe volcanique actif et sont généralement associés aux coulées les plus fluides; seuls 7 des 69 sites sont associés à des laves en coussin. Le nombre de sites découverts, leur dimension réduite et l'observation de leur recouvrement par des coulées récentes, indiquent que les phénomènes hydrothermaux sur une dorsale ultra-rapide sont particulièrement éphémères et instables dans l'espace et dans le temps. Partant d'un épisode volcanique dont l'instant zéro serait l'injection d'un dyke et l'émission d'une coulée sur une ride en dôme, nous proposons la succession suivante pour les manifestations hydrothermales sur une dorsale ultra-rapide (figure 1). 1. **Première étape** (17°25' S). Des diffusions d'eaux moirées (50°C) sur de grandes surfaces font suite immédiatement à la coulée et à l'effondrement des laves. Aucun animal fixé n'est observé, aucune précipitation minérale n'est apparente. Une importante production bactérienne est visible dans l'eau et sur les laves fraîches. Cette étape se caractérise par des circuits hydrothermaux courts, peu profonds et instables, le long desquels l'eau de mer est simplement réchauffée par les laves en cours de refroidissement. Cette étape est très proche des observations faites à 9°50' N sur la dorsale pacifique (Haymon *et al.*, 1993). Comparativement, l'absence de cheminées sur les laves les plus récentes indiquerait que la dernière éruption s'est produite il y a moins d'un an. 2. **Deuxième étape** (17°25' S et 17°10' S et 18°37' S). Les animaux fixés s'installent sur les zones de diffusion et les circuits hydrothermaux se stabilisent. Les fumeurs noirs apparaissent; ils traduisent la remontée de fluides profonds non mélangés à l'eau de mer et contrôlés par les dykes en cours de refroidissement. Les dimensions des moules, la taille des cheminées, ainsi que les données obtenues en 1984 indiquent que l'activité sur ces sites existerait depuis une dizaine d'années. Les laves très récentes viennent recouvrir les champs d'animaux fixés, ce qui permet de conclure que, sur une même zone, deux coulées successives se sont produites en une dizaine d'années. 3. **Troisième étape** (18°15' S). Elle corres-

pond à la formation d'un graben; elle est marquée par la disparition des zones de diffusion et la maturation des édifices sulfurés. Les émissions hydrothermales sont maintenant contrôlées par les failles du graben. En l'absence de nouvelle injection de dyke, l'activité hydrothermale diminue et peut s'arrêter. La dimension des cheminées ainsi que l'existence de monts de sulfures indiquent que l'activité a probablement duré quelques dizaines d'années. 4. **Quatrième étape** (18°37'S). Elle est caractérisée par une reprise de l'activité volcanique au fond d'un

graben. Deux types de manifestations hydrothermales lui sont liés. La première se rattache à l'étape 1 décrite ci-dessus. La seconde traduit une reprise de l'activité hydrothermale de haute température qui est immédiatement contrôlée par les failles profondes constituant le mur du graben. L'existence de sites anciens sur les mêmes failles indiquent qu'elles jouent le rôle de drain pour plusieurs épisodes hydrothermaux successifs, ce qui contraste avec la forte instabilité des systèmes au cours des étapes 1 et 2.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUZENDE, J.M., BALLU, V., BATIZA, R., BIDEAU, D., CORMIER, M.H., FOUQUET, Y., GEISTDOERFER, P., LAGABRIELLE, Y., SINTON J., et SPADEA, P., 1994. Activité magmatique, Tectonique et Hydrothermale actuelle sur la dorsale Est Pacifique entre 17°S et 19°S (Campagne Naudur), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 319, série II, 1994, p. 811-818.
- BÄCKER, H., LANGE, J. et MARCHIG, V., 1985. Hydrothermal activity and sulfide formation in axial valleys of the East Pacific Rise crest between 18° and 22°S, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 72, p. 9-22.
- CORMIER, M.H. et MACDONALD, K.C., 1994. East Pacific Rise 18°-19°S: asymmetric spreading and ridge reorientation by ultra-fast migration of axial discontinuities, *J. Geophys. Res.*, 99, B1, p 543-564.
- GEISTDOERFER P., AUZENDE J.M., BALLU, V., BATIZA, R., BIDEAU, D., CORMIER, M.H., FOUQUET, Y., LAGABRIELLE, Y., SINTON J. et SPADEA, P., 1994. Activité Hydrothermale et communautés animales associées sur la dorsale du Pacifique Oriental entre 17°S et 19°S (Campagne Naudur, décembre 1993), *C. R. Acad. Sci. Paris* (soumis).
- HAYMON, R.M. et al., 1993. Volcanic eruption of the mid-oceanic ridge along the East Pacific Rise crest at 9°45-52': direct submersible observations of seafloor phenomena associated with an eruption event in April, 1991, *Earth Plan. Sci. Lett.*, 119, p. 85-101.
- RENARD, V., HÉKINIAN, R., FRANCHETEAU, J., BALLARD, R.D., et BÄCKER, H., 1985. Submersible observations at the axis of the ultra-fast-spreading East Pacific Rise (17°30' to 21°30'S), *Earth Planet. Sci. Lett.*, 75, p. 339-353.