

CAMPAGNE RIDELENTE :  
STRUCTURE DE LA DORSALE ATLANTIQUE  
HETEROGENEITE DU MANTEAU ET HYDROTHERMALISME

Henri BOUGAULT\*, P. APPRIOU<sup>+</sup>, P. BIENVENU<sup>o</sup>, P. CAMBON\*, J.L. CHARLOU\*  
B. COLLETTE<sup>#</sup>, J.P. DONVAL\*, L. DOSSO<sup>o</sup>, G. FLOCH\*, Y. FOUQUET\*,  
M. MORVAN\*, H. PELLE\*, J. PONCIN<sup>+</sup>, D. THIEBLEMONT<sup>\$</sup>,  
A. VANGRIESHEIM\*, et H.D. NEEDHAM\*

(\*) IFREMER - Centre de Brest, B.P. 70, 29263 Plouzané.

(\$) Laboratoire Pr. M. TREUIL (Géochimie), Université Paris VI, 4 Place Jussieu,  
Tour 24-25, 75252 Paris Cedex 05.

(#) Fred. Hendrikstraat 16, 3583 VM Utrecht, The Netherlands.

(°) GDR "Genèse et évolution des domaines océaniques", Université de Bretagne  
Occidentale, 6 avenue Le Gorgeu, 29283 Brest Cedex.

(+) Université de Bretagne Occidentale, 6 avenue Le Gorgeu, 29283 Brest Cedex.

RIDELENTE entre dans le cadre d'une coopération internationale dont l'objectif est l'étude de la dorsale médio-atlantique entre l'équateur et 20°N. Cette partie de la dorsale, certes relativement bien connue d'un point de vue cartographie et structure (1,2,3,4), était jusqu'ici fort peu documentée du point de vue des propriétés chimiques des laves basaltiques constituant le plancher océanique (5). L'activité hydrothermale, pas ou fort peu documentée (6,7,8) sur la dorsale médio-atlantique, constituait le deuxième thème de ce travail.

Cette coopération internationale, basée sur la complémentarité des zones couvertes et des techniques employées, comprenait trois campagnes : deux d'entre elles avaient déjà eu lieu :

- N/O Akademik Boris Petrov (1985), chef de mission : L. Dmitriev (Institut Vernadsky, URSS).

- N/O Conrad (1987), chef de mission : J.G. Schilling (Université de Rhode Island, USA).

- La troisième mission est RIDELENTE.

Les deux thèmes d'études dont relève la campagne RIDELENTE sont

les suivants :

- L'hétérogénéité des propriétés du manteau, telles qu'elles peuvent être décrites par les variations des rapports de certains éléments (magmaphiles) et de certains rapports isotopiques :

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  
 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ,  
 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  
 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  
 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,

dans les laves basaltiques produites à l'axe d'une dorsale et constituant le plancher océanique.

- L'activité hydrothermale sous-marine, associée à la construction de la croûte océanique, telle quelle peut être détectée et décrite à partir des panaches de manganèse, de méthane et d'hélium, éléments ou composés apportés à l'océan par les fluides hydrothermaux.

La mission RIDELENTE comportait deux zones d'étude (Fig. 1) :

- Researcher Ridge, une structure "off-axis" perpendiculaire à l'axe de la dorsale médio-atlantique, ainsi que la zone située entre Researcher Ridge et l'axe de la dorsale.

- L'axe de la dorsale médio-atlantique entre 15° et 20°N.

### I. LEVE CARTOGRAPHIQUE : STRUCTURES AXIALES

L'acquisition de données Seabeam a été faite depuis Fort de France jusqu'à Dakar, pratiquement sans interruption, pour valoriser les transits de site à site, pour la reconnaissance d'un site, pour le relevé cartographique d'une "boîte" et au cours des opérations de dragage et palanquées, le Seabeam servant dans ce dernier cas de contrôle à la navigation.

Trois sites ont été levés :

- Le volcan de boue identifié au cours de la mission BARESNAUT (9), situé sur le transit de Fort de France au premier site RIDELENTE.
- L'intersection sud de l'axe de la dorsale médio-atlantique avec la zone de fracture 15°20'N.
- L'intersection nord de l'axe de la dorsale médio-atlantique avec la zone de fracture 15°20'N.

Le levé cartographique n'était pas un objectif majeur de la mission. RIDELENTE apporte néanmoins, des compléments importants à la compilation cartographique effectuée par H.D. Needham. Les levés aux intersections axe dorsale / zone de fracture apportent un résultat nouveau, particulièrement bien illustré à l'intersection sud axe dorsale / zone de fracture 15°20'N. La figure 2 en présente le schéma structural.

Un haut topographique, à peine allongé dans le sens de l'axe de la dorsale est situé dans l'axe de la vallée axiale, immédiatement sur le bord du mur de la zone de fracture. Cette structure, s'élève à plus de 1 500 m au dessus du plancher interne de la vallée. Ces hauts topographiques, à l'intersection axe dorsale / zone de fracture sont communs, mais en général situés dans le coin d'intersection mur de la vallée du

Rift / zone de fracture. Le découplage, particulièrement bien illustré, à l'intersection sud axe dorsale / zone de fracture 15°20'N démontre que la formation de ces structures n'est pas dépendante de la structure des montagnes du Rift. L'extension du levé cartographique du côté actif de la zone de fracture suggère une périodicité de ce type de structure.

Nous verrons plus loin que ce "diapir" est hydrothermalement actif. Il représente probablement l'illustration de la théorie présentée par T. Francis (10) à propos du rôle de la serpentinitisation aux intersections axe dorsale / zone de fracture. Ainsi, et indépendamment de l'interprétation des mécanismes de mises en place de ces "diapirs", convient-il de remarquer que le mur d'une zone de fracture enregistre nécessairement ce qui s'est produit à l'intersection axe dorsale / zone de fracture : un mur de zone de fracture ne représente donc pas nécessairement une coupe "normale" de la croûte océanique.

Le terme "diapir" doit être utilisé avec précaution. La remontée de matériel mantellique, très probablement due en partie à la serpentinitisation et à l'action hydrothermale, est bien entendu complètement contrôlée par la structure de la vallée axiale.

Les hauts topographiques dans la partie interne de la vallée axiale sont communs tout au long de la dorsale. En général, ces structures sont considérées comme des volcans axiaux. Pourtant, au cours de la mission soviétique de l'Akademik Boris Petrov (L. Dmitriev, 1985) et par deux fois au cours de RIDELENTE, des roches ultrabasiques ont été draguées sur de telles structures. Ce résultat montre que la remontée de matériel profond n'est pas limitée au voisinage des intersections avec les zones de fracture. Tectonique, mise en place de laves, hydrothermalisme

conduisent à une structure complexe dans laquelle les éléments du manteau supérieur et les laves basaltiques sont beaucoup plus enchevêtrés que ne le laisse suggérer le modèle simple "couche 2 ..., couche 3". Les très nombreux "affleurements" de roches ultrabasiques rencontrées dans l'Atlantique au cours de DSDP confortent ce schéma. Un modèle tentant d'expliquer la structure de la vallée axiale et la formation des montagnes du Rift doit certainement prendre en compte l'existence de ces "diapirs mantelliques".

## II. DRAGAGES : HETEROGENEITE DU MANTEAU OCEANIQUE

Trente et un dragages ont été réalisés au cours de la mission. Sept d'entre eux, "off-axis", concernent Researcher Ridge et la zone située entre Researcher Ridge et l'axe de la dorsale. Un dragage a été réalisé sur "Royal Trough", une fosse perpendiculaire à l'axe de la dorsale (Fig. 1). Les vingt trois autres concernent l'axe de la dorsale.

Techniquement, les dragages "off-axis" sont plus difficiles à réaliser que les dragages à l'axe. La présence de sédiments ou de dépôts manganésifères rend aléatoire l'échantillonnage de la roche. A l'époque de la navigation précise à l'aide d'une constellation de satellites (système GPS), la technique du dragage, spécifiquement pour les zones "hors-axe", doit être reconsidérée : le développement et la mise en oeuvre d'un système de mini-forage est absolument nécessaire (EOS, vol. 70, n° 6, Feb. 7, 1989).

### 1. Dragages "hors-axe"

Le segment de 14°N, entre Marathon F.Z. et "15°20'N" F.Z. (Fig. 3) est un segment dit "anormal" du point de vue de ses propriétés chimiques (exemple : rapports de certains éléments traces magmaphiles, rapports isotopiques radiogéniques (11, 12). L'objectif du dragage "hors-axe" était de

tester la variation de ces propriétés en fonction de l'âge, c'est-à-dire dans une direction perpendiculaire à l'axe de la dorsale, incluant la structure "Researcher Ridge" (Fig. 1).

Chacun des dragages réalisés dans ce contexte, au nombre de sept, a ramené une petite quantité de matériel. Les calcaires et croûtes de manganèse échantillonnés sur "Researcher Ridge" (Fig. 1) montrent que cette structure n'est probablement pas en cours de formation actuellement. La genèse de Researcher Ridge ne peut donc vraisemblablement être considérée comme étant en relation avec une relocalisation récente du point triple Amérique du Nord, Amérique du sud et Afrique, au voisinage de 15°N (2,3,4).

Quatre dragages ont ramené du basalte plus ou moins altéré. Tous les échantillons de basalte analysés à bord présentent un rapport d'éléments magmaphiles (Nb/Zr) élevé (le rapport de ces deux éléments étant peu sensible à l'altération), caractéristique de l'anomalie du segment de 14°N ; il semble donc que le plancher océanique "off-axis" présente la même caractéristique que de celle du plancher âge zéro à la même latitude (suivant un même "flow line") : ce segment de dorsale âge zéro constitue lui-même une anomalie par rapport aux segments adjacents nord et sud dits "normaux" (rapport Nb/Zr faible). Ce rapport Nb/Zr mesuré à bord constitue une information précieuse : les propriétés de ces laves basaltiques devront néanmoins être précisées, notamment par les mesures d'autres rapports d'éléments magmaphiles et des rapports isotopiques radiogéniques.

### 2. Dragages "le long de l'axe" (Fig. 3)

Vingt trois dragages ont été effectués dans la partie axiale "âge zéro" de la dorsale. Cet échantillonnage démontre le caractère "normal", "appauvri" (rapports d'éléments magmaphiles type Nb/Zr

faibles) de la croûte océanique entre 14°N et 23°N (11). Un passage de l'anomalie de 14°N au caractère "normal" des laves vers le nord, en deux étapes, doit être confirmé par les mesures d'autres paramètres.

L'objectif de cet échantillonnage relativement serré était également d'étudier les variations des propriétés du manteau à une échelle plus locale. L'appréciation de cette variation ne pourra être formulée qu'après mesures de plusieurs paramètres en laboratoire (coopérations de différents laboratoires) pour complémentarité de plusieurs techniques : spectrométrie de fluorescence X (Centre de Brest), analyse par activation neutronique (labo. P. Sue et Université de Rhode Island), spectrométrie de masse (Centre de Brest/GIS).

### 3. Dragages : tectonique axiale et hydrothermalisme

Des roches ultrabasiques ont été échantillonnées à deux reprises sur des structures axiales de la vallée du Rift. L'un des sites est situé à une dizaine de milles de l'intersection nord avec la zone de fracture "15°20'N" (Fig. 1). Sur cette même portion de l'axe, un signal hydrothermal important (panache de méthane et de manganèse) a été détecté sur plus d'une dizaine de milles.

L'environnement de l'intersection axe / zone de fracture est le siège d'une activité tectonique importante ; structures "croisées" et activité tectonique favorisent une circulation profonde d'eau de mer dans la croûte océanique ; la serpentisation (hydratation) diminue la densité des formations ultrabasiques et favorise, tectonique d'expansion aidant, la remontée des blocs serpentinisés. Cette notion de structure croisée est un concept de base pour tous ceux qui recherchent des gisements hydrothermaux : ce concept se trouve donc illustré par les processus hydrothermaux actuels, présents à l'axe de la dorsale atlantique.

Ces résultats confortent les interprétations des résultats obtenus sur la ride Est-Pacifique au cours de la mission HYDROFAST (13) en décembre 1986. Cette campagne a montré que l'activité hydrothermale n'est pas répartie d'une façon aléatoire le long de l'axe de la dorsale ; le segment le plus actif est clairement délimité par deux discontinuités "Overlapping Spreading Centers".

Les formations ultrabasiques, qui semblent clairement associées à l'activité hydrothermale, n'ont pas été rencontrées jusqu'ici à l'axe de la dorsale Est Pacifique. Si ces formations n'affleurent pas, c'est probablement que les mécanismes de construction de la dorsale Est Pacifique, très différents de ceux qui fonctionnent en Atlantique ne le permettent pas ; cela ne signifie nullement que des roches profondes ne soient pas impliquées par une cellule de convection hydrothermale sur la dorsale Est Pacifique. Il convient de rappeler ici que les affleurements hors zone de fracture de ces roches ultrabasiques dans l'Atlantique ont été souvent observés (14,15,16,17) sans qu'on en ait eu donné jusqu'ici une interprétation convenable.

L'association "intersection zone de fracture", "hydrothermalisme paroxysmal" et "affleurement de formations ultrabasiques" à l'axe de la dorsale est certainement le résultat important de la campagne RIDELENTE.

### III. HYDROTHERMALISME SUR LA DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE : STRATEGIE D'APPROCHE

Après les découvertes spectaculaires des sources hydrothermales sur la ride Est Pacifique en 1978 et 1979 (18,19), dorsale à taux d'expansion moyen à rapide, l'existence d'une activité hydrothermale significative sur une dorsale lente (dorsale médio-atlantique) a été très discutée. A la suite des études entreprises sur le segment de 13°N de la dorsale Est Pacifique (20), il a été

suggéré qu'un hydrothermalisme actif ne se met en place que sur les dorsales rapides, allant jusqu'à préciser le cadre structural favorable à l'hydrothermalisme dans le cadre des dorsales rapides (21). Pourtant, les premières observations interprétables en termes d'hydrothermalisme sur une dorsale lente sont bien antérieures aux découvertes spectaculaires sur la ride Est-Pacifique : il s'agit des saumures et des sédiments métallifères découverts en Mer Rouge en 1948 (22).

Après les études sur la zone TAG (Trans Atlantique Geotraverse) au cours des années 70, P. Rona reprenait ses explorations sur la dorsale médioatlantique et mettait en évidence les premières anomalies de manganèse, quoique, inférieures d'un ordre de grandeur à celles du Pacifique (23). En 1985, les premières anomalies de méthane étaient découvertes à l'axe de la dorsale médio-atlantique, lors de la première campagne du nouveau navire de recherche soviétique Akademik Boris Petrov (participation IFREMER DERO/GM (6,24). Des anomalies de méthane très fortes étaient également détectées sur des échantillons prélevés au cours de la mission de P. Rona (contribution IFREMER DERO/GM (25)). Continuant ses investigations dans l'Atlantique P. Rona trouvait le premier site actif sur la dorsale médio-atlantique (7). Le Joides Resolution (programme ODP) découvrait un autre site actif au sud de la zone de fracture Kane (8).

Ces observations ou découvertes, posent les questions suivantes :

- quelle est la répartition comparée des zones hydrothermalement actives le long des dorsales rapides (ex: Est-Pacifique) et lentes (ex: Atlantique) ?

- Les zones hydrothermalement actives sont-elles fonction des traits structuraux majeurs le long de l'axe ? Sont-elles fonction des

structures fines de deuxième ou de troisième ordre ?

- Dans quelle mesure la mise en place d'une cellule de convection hydrothermale dépend-elle des cycles de construction du plancher océanique ? tectonique (ouverture discontinue à l'axe), épisodes volcaniques ... ?

Pour répondre à ces questions, il faut être capable de détecter les sites actifs. Il faut donc disposer d'une méthode capable de fournir une information à une échelle convenable. Essayer de détecter ces sites ou d'en décrire leur répartition avec un moyen optique relève de l'exploration géologique des Alpes de nuit avec une bougie ! Y compris s'il existe un gisement associé de sulfures de plusieurs millions de tonnes. La seule méthode raisonnable, pour l'instant, est la détection des anomalies physiques et chimiques du panache créées par l'apport hydrothermal dans l'océan (température, densité de particules en suspension, manganèse, méthane, hélium, ...).

La différence fondamentale entre les structures des dorsales Est-Pacifique et Atlantique oblige à prévoir des géométries de panaches hydrothermaux différentes. On peut en effet, dans le premier cas, faire l'analogie avec un panache émis dans une plaine, dans le deuxième cas, avec un panache émis dans une vallée encaissée de 2 000 mètres. Il n'était donc pas possible d'utiliser d'emblée la technique des palanquées dynamiques utilisées fin 1986 au cours d'HYDROFAST (13), permettant un échantillonnage continu le long de l'axe ; cette technique suppose en effet connue la géométrie du panache. RIDELENTE a donc utilisé l'approche classique à partir du système classique bathysonde-rosette, bien que ce système conduise à des observations discontinues le long de l'axe.

La stratégie d'échantillonnage le long de l'axe de la dorsale a été établie à partir des résultats ob-

tenus au cours de la mission HYDROFAST (11) sur la ride Est-Pacifique, bien que conscient de la difficulté de transposition des observations en raison de l'influence de la différence des géométries des dorsales. Les résultats obtenus sur la dorsale Est-Pacifique (à partir d'une information continue le long de l'axe) montrent qu'il est possible de détecter une zone très active comme la zone de 13°N, à raison d'une palanquée verticale tous les dix à 20 milles. La modification de la forme du panache due à l'existence d'une vallée axiale profonde sur la dorsale Atlantique devrait plutôt être favorable à l'augmentation de ce pas d'exploration. Cette stratégie est compatible avec la stratégie d'échantillonnage pour l'étude de la variation des propriétés chimiques du manteau, de telle sorte que la mission a été organisée autour de stations réparties le long de l'axe, distantes de 10 à 20 milles. Chaque station comprenait :

- une approche cartographique ;
- un dragage ;
- une palanquée bathysonde-rosette.

#### IV. HYDROTHERMALISME SUR LA DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE : RESULTATS

Les résultats principaux sont les suivants (Fig. 4) :

1. L'activité hydrothermale est probablement un phénomène aussi commun sur la dorsale médio-atlantique qu'il l'est sur la dorsale Est Pacifique. Ce résultat repose sur l'observation suivante : toutes les palanquées réalisées dans le domaine axial de la dorsale présentent une anomalie significative de méthane. Deux palanquées ne présentent pas d'anomalie (Fig. 4) aux latitudes de 23°40' et de 18°15' (points entre parenthèses sur la Fig. 4). L'une a été effectuée dans la zone de Fracture Kane afin de tester l'hypothèse d'une origine de méthane dans la zone fracture.

L'autre a été effectuée volontairement hors axe.

Une comparaison "quantitative" plus précise entre dorsales Pacifique et Atlantique suppose la maîtrise des lois qui gouvernent la géométrie des panaches dans des contextes structuraux très différents.

2. L'activité hydrothermale est paroxysmale au voisinage des intersections avec les zones de fractures majeures : ceci est clairement documenté au voisinage des intersections Nord et Sud avec la zone de fracture "15°20'N". Ce résultat est à mettre en parallèle avec l'existence de massifs ultrabasiques découverts sur les mêmes sites, au voisinage des intersections Nord et Sud (26) de la dorsale avec la zone de fracture "15°20'N".

Cet ensemble de résultats a largement influencé le déroulement de la fin de la mission. Le site actif du "Snake Pit" découvert par le Joides Resolution (8) est situé immédiatement au sud de l'intersection avec la zone de fracture Kane ; la présence de roches ultrabasiques a également été mise en évidence à quelques milles des sites hydrothermaux, sur les murs du rift, lors des plongées de l'Alvin. Il paraissait donc important de "situer" les signaux hydrothermaux obtenus au voisinage des intersections avec la zone de fracture "15°20'N" par rapport au signal correspondant à un site connu. Il a donc été décidé de "monter" jusque 23°N pour obtenir le signal hydrothermal au voisinage du Snake Pit, en utilisant la même stratégie d'approche que celle utilisée jusque là le long de l'axe, c'est-à-dire en ne plaçant pas la palanquée au droit du site connu, mais en choisissant l'emplacement suivant les critères structuraux utilisés jusque là. Ce signal, bien documenté par deux palanquées, est nettement inférieur aux signaux obtenus au voisinage des intersections Nord et Sud de la zone de fracture "15°20'N". Nous avons par contre trouvé au sud du Snake Pit une

anomalie plus élevée (Fig. 4).

Une palanquée a également été effectuée dans la zone de fracture Kane, de façon à lever une ambiguïté possible sur l'origine du panache de méthane au voisinage de l'intersection "axe / zone de fracture". Un "blanc" a été obtenu dans la zone de fracture. Bien que ce résultat mérite d'être conforté, l'ensemble des données obtenues jusqu'ici ainsi que la mise en évidence des sources dans l'axe tend à éliminer une origine dans les zones de fracture.

3. L'anomalie de méthane est bimodale (Fig. 5), confirmant ainsi les résultats obtenus lors de la mission de l'Akademik Boris Petrov en 1985 (6, 24). La position des maxima est située vers 3500 m et 2300 m ; les profondeurs de ces maxima varient quelque peu autour de ces valeurs. L'amplitude la plus grande est pratiquement toujours celle du maximum situé au voisinage de 3500 m. La hauteur de l'anomalie de méthane (à la base du pic) est de l'ordre de 1000 m, alors qu'elle est de 400 m dans le Pacifique. Ainsi que prévu, la géométrie de ce panache est donc différente de celle du panache présent sur la dorsale Est Pacifique (Fig. 5). Le maximum des amplitudes des pics situés vers 3500 m dépasse 80 nl/l au voisinage de l'intersection Nord avec la zone de fracture "15°20'N". En première approximation, on peut considérer que l'amplitude des anomalies de méthane de la ride Est Pacifique et celle de la dorsale médio-atlantique sont comparables ; une comparaison plus précise nécessite, en premier lieu, de tenir compte de la différence de géométrie des deux dorsales.

Si, comme suggéré plus haut, l'existence même d'une vallée axiale et la mise en place des montagnes du Rift sont gouvernées par la tectonique et l'hydrothermalisme, une circulation hydrothermale peut (doit) persister depuis le début de mise en place d'un "diapir" jusqu'à son intégration dans les montagnes du

Rift. Les résultats de forages dans l'Atlantique, notamment les puits 556 et 558 (16) ont clairement démontré la circulation de fluides dans des formations ultrabasiqes affleurant sur le plancher océanique. Le pic de méthane situé par 2300 m pourrait correspondre à un reliquat d'activité hydrothermale au niveau des montagnes du Rift. Au niveau du Snake Pit il existe des dépôts sulfurés basse température au sommet du mur ouest.

Si les anomalies de méthane sur la dorsale médio-atlantique paraissent du même ordre de grandeur que celles relatives à la dorsale Est-Pacifique, par contre les anomalies de manganèse sur la dorsale médio-atlantique peuvent être d'un ordre de grandeur inférieures à celles de la dorsale Est Pacifique. Ces résultats sur les anomalies de manganèse confirment les résultats obtenus par Klinkhammer (23) (Fig. 6).

Les anomalies de méthane dans l'Atlantique et dans le Pacifique sont comparables. Les anomalies de manganèse, plus faibles dans l'Atlantique que celles du Pacifique, ne signifient donc pas que l'activité hydrothermale soit plus faible dans l'Atlantique que dans le Pacifique, interprétation possible à partir des données de manganèse seules.

Une première interprétation avancée pour expliquer cette différence importante sur le manganèse repose sur la différence entre les concentrations en oxygène des eaux de fond des deux océans. Les eaux de fond de l'Atlantique sont deux à trois fois plus riches en oxygène que celles du Pacifique : cette différence importante des teneurs en oxygène peut avoir une influence sur la cinétique d'oxydation des ions  $Mn^{++}$  ; le manganèse précipiterait plus vite dans l'Atlantique que dans le Pacifique.

Une mission américaine récente (P. Rona, août 1988 ; participation de J.L. Charlou et P. Appriou) a mis

en évidence un hydrothermalisme actif sur le "diapir" présent à l'intersection Sud de l'axe de la dorsale avec la zone de fracture 15°20'N (Fig. 2). Les prélèvements effectués au voisinage du fond présentent des concentrations de CH<sub>4</sub> de 400 nl/l. Le manganèse y demeure en faible concentration. De telles concentrations en méthane impliquent des sources hydrothermales à proximité des prélèvements. Le rapport Mn/CH<sub>4</sub> est donc une caractéristique des fluides. Les fluides qui circulent au travers d'un massif ultrabasique présentent donc un rapport Mn/CH<sub>4</sub> beaucoup plus faible que ceux qui circuleraient dans une formation basaltique.

#### ENGLISH ABRIDGED VERSION

Nb/Zr (equivalent to La/Sm) ratios of lavas sampled along a flow line (perpendicular to the ridge axis) at the latitude of 14°N on the mid-atlantic Ridge present the same abnormal value as those of zero age samples. This 14°N anomaly persisted for at least several millions years.

Hydrothermal activity (from CH<sub>4</sub> and Mn profiles) is a process as common along the M.A.R. (between 14 and 23°N) as it is along the E.P.R.. It is paroxysmal close to fracture zone intersections.

Ultrabasic rocks outcrop in the inner floor of the Rift valley. A "diapir" structure is very well defined in the inner floor of the rift valley and adjacent to the fracture zone wall at the south intersection of the Ridge axis / 15°20'N fracture zone. At these locations, hydrothermal activity is maximum.

Among the processes responsible for the construction of the ocean crust, hydrothermal activity should play a key role in the uplift of serpentized "bodies".

#### CONCLUSIONS

L'échantillonnage de la croûte océanique (laves basaltiques) et les mesures effectuées à bord confirment l'anomalie du segment de dorsale de 14°N. Cette anomalie

apparaît avoir persisté dans le temps (en fonction de l'âge de la croûte océanique).

L'activité hydrothermale est un phénomène commun le long de la dorsale médio-atlantique. L'activité paroxysmale paraît localisée au voisinage des zones de fractures.

L'affleurement de roches ultrabasiques, dans le plancher interne de la vallée axiale, est associé à l'activité hydrothermale importante au voisinage des zones de fracture. La couche 3 est sans doute beaucoup plus impliquée par les cellules de convection hydrothermale que nous le pensions jusqu'ici. L'hydrothermalisme joue probablement un rôle déterminant parmi les mécanismes qui permettent l'affleurement de formations ultrabasiques, souvent observés dans l'Atlantique, et qui n'avaient pas reçu jusqu'ici d'interprétation satisfaisante.

L'hydrothermalisme ne serait donc pas seulement un processus important associé à la construction de l'axe de la dorsale, mais passif vis-à-vis de sa construction; l'hydrothermalisme joue un rôle actif dans la construction de la dorsale.

#### REFERENCES

- (1) H.D. Needham. Carte de la dorsale médio-atlantique entre 13° et 21°N, en préparation.
- (2) B.J. Collette, A.P. Sloopweg, J. Kerhoef and W.R. Roest. Geophysical investigations of the floor of the Atlantic Ocean between 10° and 38°N (Kroonvlag Project), Proc. Kon. Akad. Wet. series B87, 1-76, 1984.
- (3) W.R. Roest and B.J. Collette. The fifteen twenty Fracture zone and the North American / South American plate boundary, Geol. Soc. London 143, 833-843, 1986.
- (4) W.R. Roest. Sea-floor spreading pattern of the North Atlantic between 10° and 40°N. A reconstruction based on shipborne measurements and satellite altimeter data. *Geologica Ultraie-*



- tina, Mededelingen van het Instituut voor Aardwetenschappen der Rijksuniversiteit te Utrecht, 121 pages.
- (5) H. Bougault, L. Dmitriev, A. Sobolev, and H.D. Needham, Hot spot at 14°N on the MAR ? Structure and trace element geochemistry. EOS, vol. 67, N° 16, p. 410, 1986.
  - (6) J.L. Charlou, H. Bougault and L. Dmitriev, CH<sub>4</sub> plume between 12° and 15°N over the MAR. EOS, vol. 67, N° 16, p. 365, 1986.
  - (7) P.A. Rona, G. Klinkhammer, T.A. Nelsen, J.H. Trefry and H. Elderfield, Black smokers, massive sulfides and vent biota on the Mid-Atlantic Ridge, Nature, 321, 33-37, 1986.
  - (8) Leg 106 Scientific Party, Drilling the Snake Pit hydrothermal sulfide deposit on the Mid-Atlantic Ridge, lat. 23°22'N, Geology, 14, 1004-1007, 1986.
  - (9) P. Henry, J.P. Foucher, X. Le Pichon, J. Boulègue, F. Avedik, J.L. Charlou. Plongées Nautilie sur un volcan de boue au pied du prisme d'accrétion sédimentaire de la Barbade, RAST Lille, 27-29 avril 1988.
  - (10) T.J.G. Francis. Serpentinization faults and their role in the tectonics of slow spreading ridges, J.G.R., vol. 86, N° B12, p. 11, 616-11, 622, 1981.
  - (11) H. Bougault, L. Dmitriev, J.G. Schilling, A. Sobolev, J.L. Joron and H.D. Needham. Mantle heterogeneity from trace elements ; MAR triple junction near 14°N, Earth and Planet. Sci. Let., in press.
  - (12) L. Dosso and H. Bougault. A hot spot at 14°N on the MAR ? Structure and trace element geochemistry. EOS, vol. 67, N° 16, p. 410, 1986.
  - (13) HYDROFAST. Etude de la répartition de l'activité hydrothermale le long de la dorsale Est-Pacifique en fonction de la structure axiale. Ce volume.
  - (14) F. Aumento, W.G. Melson et al. Init. Rep. of the DSDP, vol. 37, Washington (U.S. Government Printing Office), 1977.
  - (15) W.G. Melson, P.D. Rabinowitz et al. Init. Rep. of the DSDP, vol. 45, Washington (U.S. Government Printing Office), 1978.
  - (16) H. Bougault, S.C. Cande et al. Init. Rep. of the DSDP, vol. 82, Washington (U.S. Government Printing Office), 1985.
  - (17) Leg 106 Scientific Party. Drilling succeeds on bare rock, Geotime, vol. 31, N° 5, 10-12, 1986.
  - (18) J. Francheteau, H.D. Needham, P. Choukroune, T. Juteau, M. Siguret, R.D. Ballard, P.J. Fox, W. Normark, A. Carranza, D. Cordoba, J. Guerrero, C. Rangin, H. Bougault, P. Cambon and R. Hékinian. Massive deep sea sulfide ore deposits discovered on the East Pacific Rise, Nature, vol. 277, 523-528, 1979.
  - (19) F.N. Spiess, K.C. Macdonald, T. Atwater, R. Ballard, A. Carranza, V.M. Diaz Garcia, J. Francheteau, J. Guerrero, J. Hawkins, R. Haymon, R. Hessler, T. Juteau, M. Kastner, R. Larson, B. Luyendyk, J.D. Maccougall, S. Miller, W. Normark, J. Orcutt and C. Rangin (Rise project Group), Hot springs and geophysical experiments, Science 207, 1421-1444, 1980.
  - (20) R. Hékinian, M. Février, F. Avedik, P. Cambon, J.L. Charlou, H.D. Needham, J. Raillard, L. Merlivat, A. Moinet, S. Manganini and A. Lange. East Pacific Rise near 13°N : Geology of new hydrothermal fields, Science, 219, 1321-1324, 1982.
  - (21) J. Francheteau and R.D. Ballard. The East Pacific Rise near 21°N, 13°N and 20°S : inferences for variability of axial processes of the Mid-Ocean Ridge. Earth and Planet. Sci. Let., 64, 93-116, 1983.
  - (22) L. Bruneau, L.G. Jerlov and F. Koczy. Rep. Swedish Deep Sea expedition, XIX-XXX, 1953.
  - (23) G. Klinkhammer, P. Rona, M. Greaves and H. Elderfield. Hydrothermal Manganese plume in the MAR rift valley, Nature, 314, 727-731, 1985.
  - (24) J.L. Charlou, L. Dmitriev, H. Bougault and H.D. Needham. Hy-

drothermal CH<sub>4</sub> between 12° and 15°N over the MAR, Deep Sea Res., v. 35, n° 1A, 121-131, 1988.

(25) J.L. Charlou, P. Rona and H. Bougault. CH<sub>4</sub> anomalies over Tag hydrothermal field on MAR, Journal of Marine Research, 45, 461-472, 1987.

(26) P.A. Rona, L. Widenfalk and K. Bostrom. Serpentinized ultramafics and hydrothermal activity at the Mid-Atlantic Ridge crest near 15°N, J.G.R., 92, 1417-1427, 1987.

## FIGURES

Figure 1 : zone d'étude de la campagne RIDELENTE : dorsale médio-atlantique, Research Ridge, Royal Trough. Les résultats obtenus en temps réel en cours de mission, notamment pour l'étude de l'activité hydrothermale, ont conduit à étendre la zone géographique jusqu'à la zone de Fracture Kane (23°N).

Figure 2 : Schéma de l'intersection sud de la zone de fracture 15°20'N : le "diapir" est marqué d'une flèche. Les hauts topographiques sont hachurés. Ce diapir est une structure située dans l'axe de la vallée axiale, d'une hauteur de 1500 m au dessus de la partie axiale. Le diapir est localisé immédiatement en bordure de la zone de fracture.

Figure 3 : "Structure chimique de la dorsale médio-atlantique" : l'anomalie de 14°N. Dans la partie inférieure de la figure, sont représentées les variations de deux rapports d'éléments traces dans les laves. En dessous, la variation de profondeur "âge zéro" de l'axe de la dorsale. L'un des objectifs de Ridelente était l'échantillonnage entre 15 et 20°N. Noter l'anomalie de 14°N. L'objectif de RIDELENTE était de déterminer l'évolution de cette anomalie vers le nord : gradient ? discontinuité ?

Figure 4 : Variation d'activité hydrothermale le long de l'axe de la dorsale médio-atlantique entre

14° et 23°N. Sur la gauche de la figure, schéma de la dorsale : les triangles représentent les sites où ont été échantillonnées des laves basaltiques. Les cercles représentent les sites où des roches ultrabasiques ont été échantillonnées.

Sur la droite de la figure : les signaux de méthane dans l'eau de mer (amplitude maximum du signal : voir Fig. 5). Les deux points entre parenthèses correspondent à des prélèvements hors axe de la dorsale.

Figure 5 : Profils verticaux de méthane : Ride Est Pacifique, Dorsale médio-atlantique. Noter la distribution bimodale dans l'Atlantique. Un cas a été observé où le pic de 2300 m est plus important que celui de 3400 m.

Figure 6 : Mn/CH<sub>4</sub> : ride Est Pacifique. La plupart des sites échantillonnés sur la dorsale médio-atlantique présentent des rapports Mn/CH<sub>4</sub> comparables à ceux de la Ride Est Pacifique. Il n'y a pratiquement pas de Mn dans le panache situé à l'intersection sud de 15°20'N F.Z..

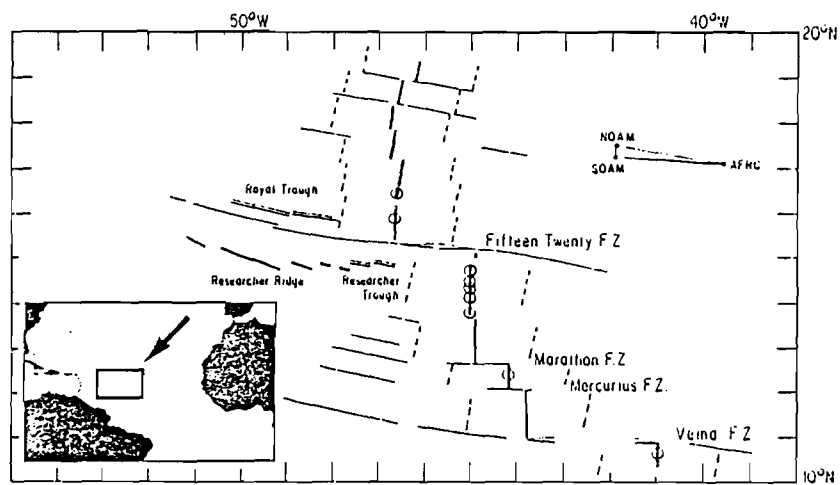


Figure 1 : Bougault et al

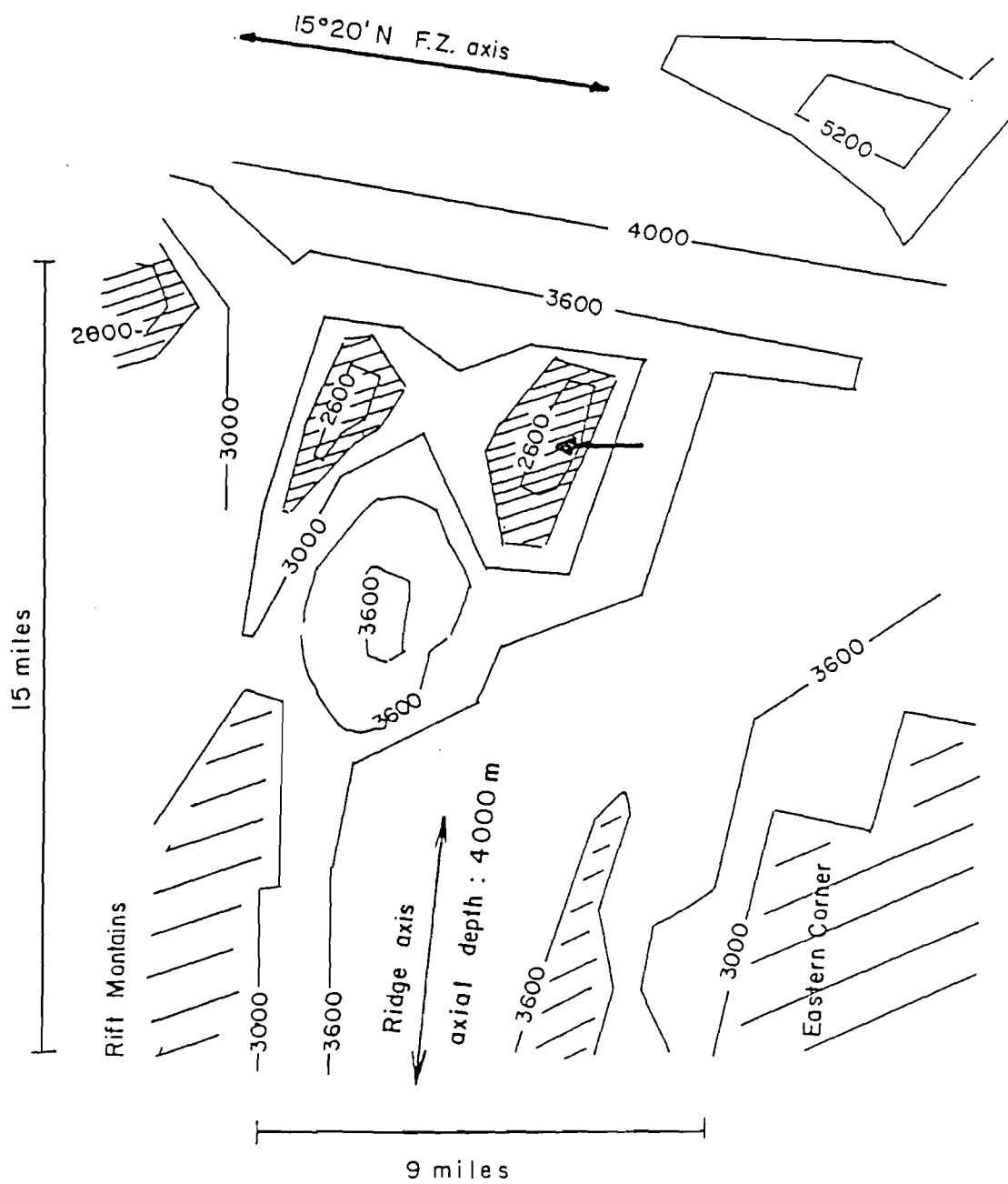


Figure 2 : Bougault et al

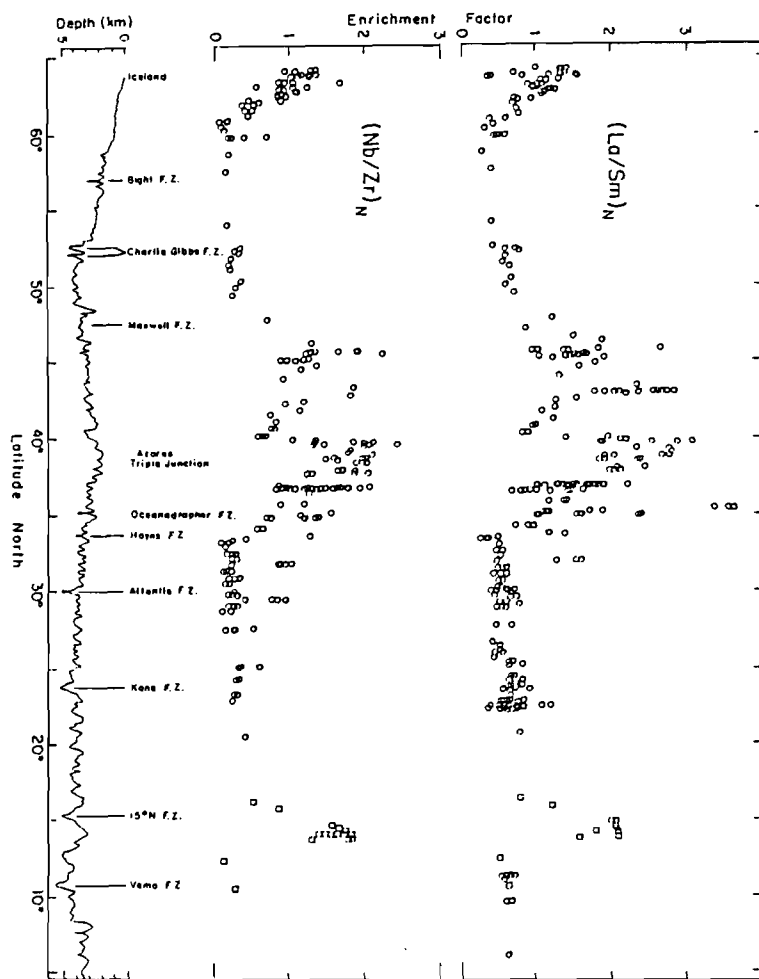


Figure 3 : Bougault et al

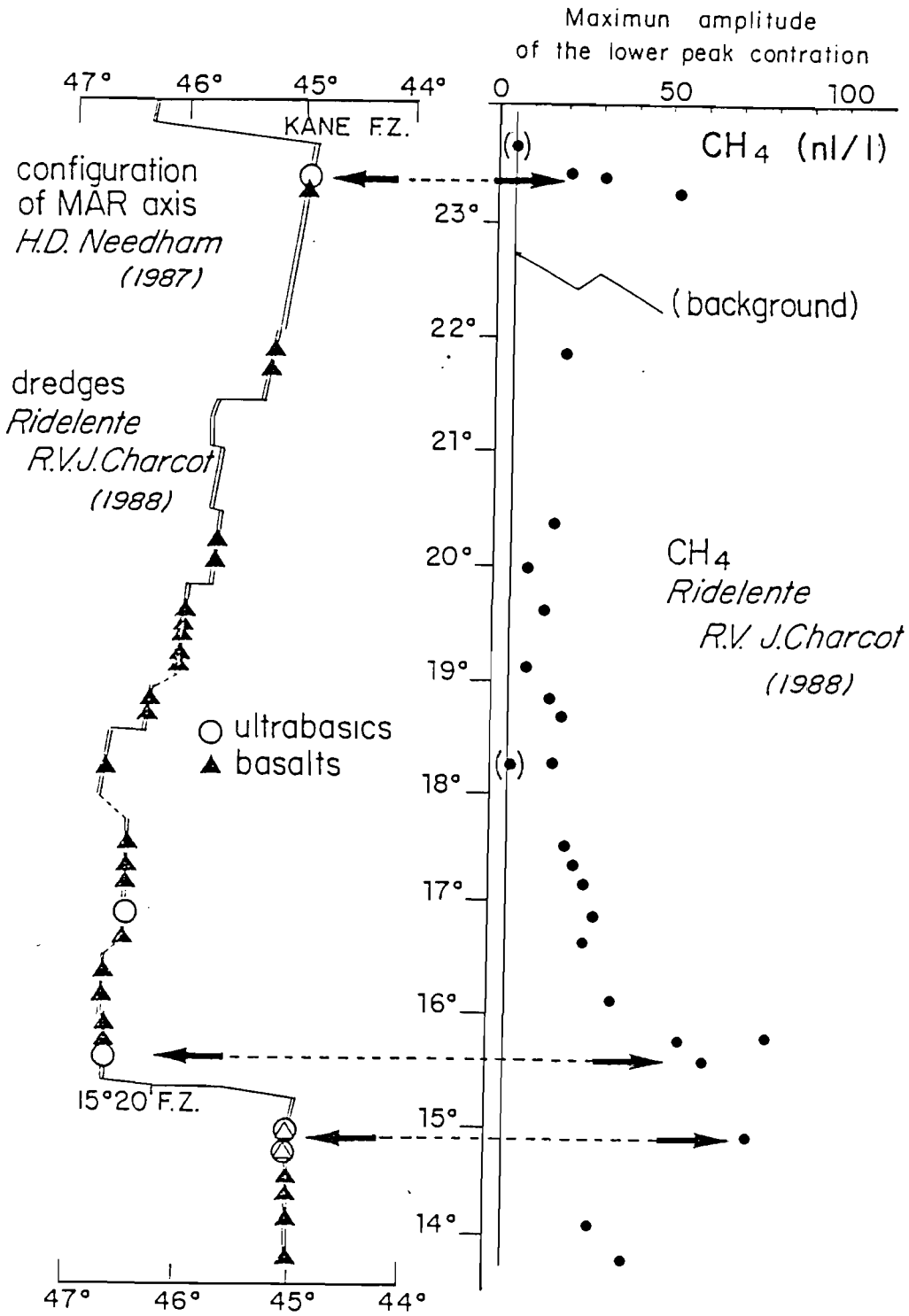


Figure 4 : Bougault et al

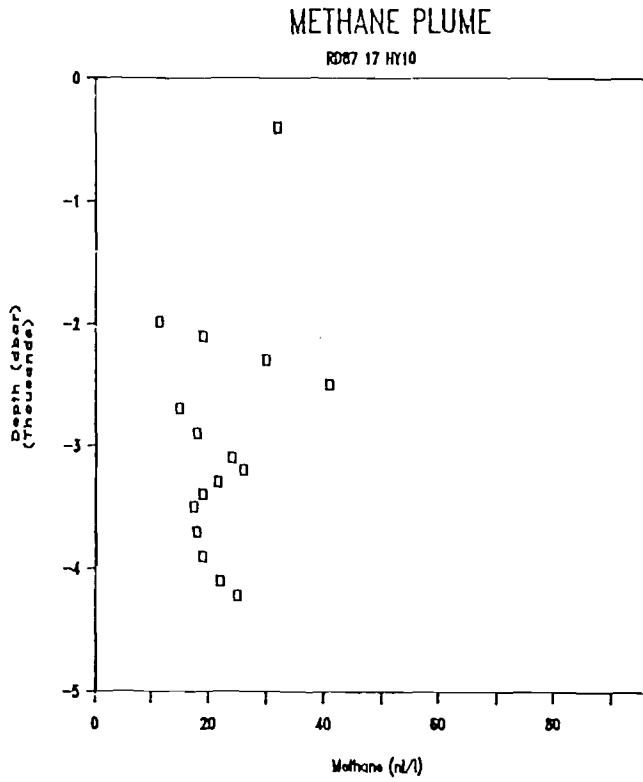
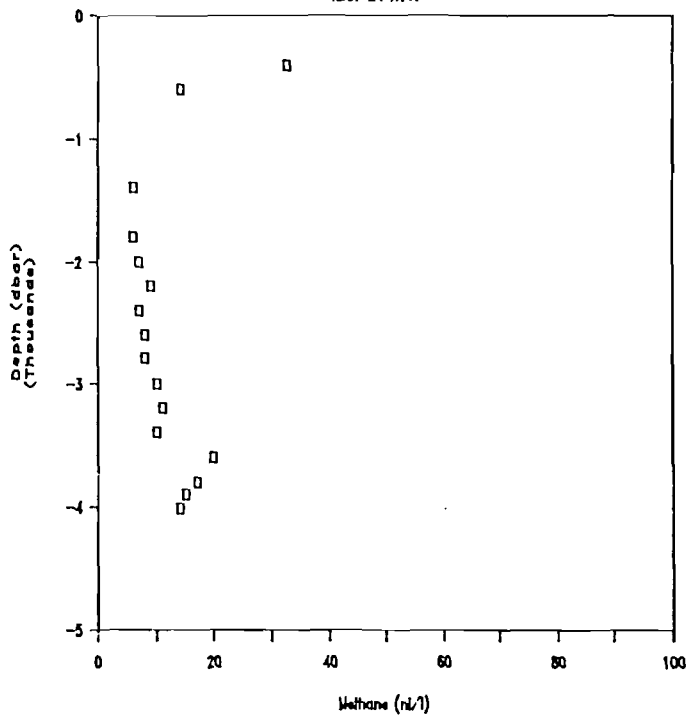


Figure 5

# METHANE PLUME

PD87 24 HY17



: Bougault et al



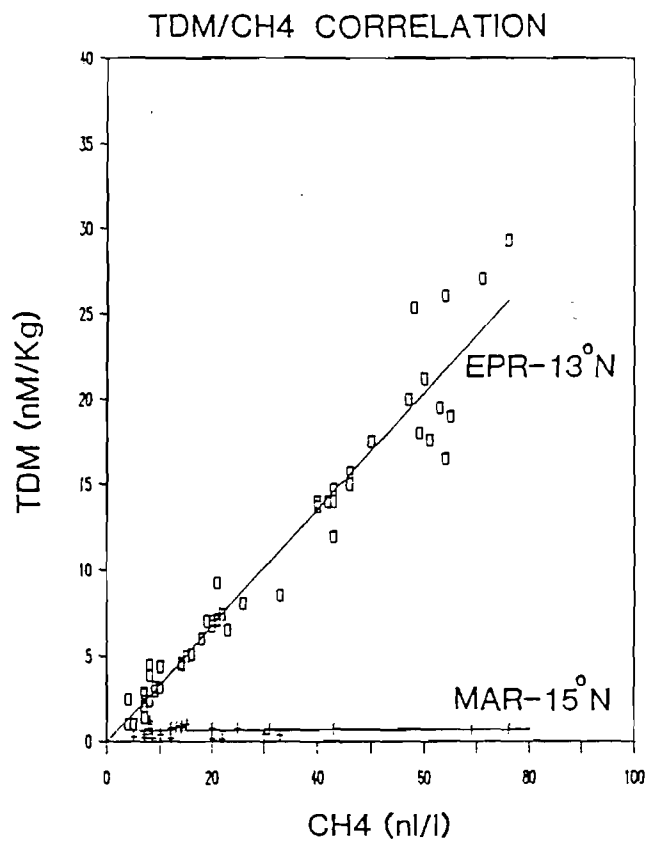


Figure 6 : Bougault et al