



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

C R P G

centre de recherches  
pétrographiques  
et géochimiques



jeudi 22 mars 2007

Présentation de l'article publié dans le numéro du jeudi 22 mars 2007 de la revue Nature :

**SKEW OF MANTLE UPWELLING BENEATH THE EAST  
PACIFIC RISE GOVERNS SEGMENTATION**  
par

**DOUGLAS R. TOOMEY**

Department of Geological Sciences, University of Oregon, Eugene, Oregon 97403, USA

**DAVID JOUSSELIN**

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CRPG-CNRS, BP 20,  
54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, France, Nancy-Université  
Tel: (33) 3 83 59 42 37, jousse@crpg.cnrs-nancy.fr

**ROBERT A. DUNN**

Department of Geology and Geophysics, University of Hawaii-SOEST  
Honolulu, Hawaii, 96822, USA

**WILLIAM S. D. WILCOCK**

School of Oceanography, University of Washington, Seattle, Washington, 98195, USA

**R. S. DETRICK**

Department of Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution  
Woods Hole, Massachusetts, 02543, USA

## L'ARTICLE EN DIAGONALE

Les dorsales océaniques ont été découvertes depuis les années 60 seulement. Depuis, on ne sait toujours pas ce qui se passe dans le manteau sous-jacent pour concentrer une formidable quantité de magma sur ces étroites régions volcaniques, où toute la croûte océanique est formée, et où l'activité hydrothermale a sans doute permis le développement de la vie sur Terre.

La tomographie sismique permet de «voir» le manteau terrestre sur des tranches situées à différentes profondeurs, et de détecter ainsi les zones où se trouve le magma. L'étude de Toomey et ses co-auteurs présente la première image d'une tranche de manteau, à 8 Km de profondeur. Elle révèle que les zones riches en magma ne sont pas toujours exactement à l'aplomb de la dorsale, comme on le croit, mais peuvent s'en écarter de plus de 10 km. Là où les zones riches en magma se trouvent sous la dorsale, les éruptions volcaniques sont plus fréquentes et les phénomènes hydrothermaux plus vigoureux. Il est aussi montré comment les mouvements du manteau influencent le mouvement des plaques tectoniques sus-jacentes.

Michel Champenois : Chargé de communication CRPG/CNRS.

tél : 03 83 59 42 36/06. fax : 03 83 51 17 98

champ@crpg.cnrs-nancy.fr

dossier de presse



jeudi 22 mars 2007

## QUELQUES DÉTAILS SUPPLÉMENTAIRES

### le fond des océans perpétuellement jeune

La croûte continentale est épaisse (30 Km en moyenne) et légère, et flotte sur le manteau depuis trois à quatre milliards d'années. La croûte océanique est fine (6 km en moyenne) et lourde; d'où le fait que le plancher océanique soit souvent plus de trois milles mètres moins élevé que notre bon plancher des vaches. Sa durée de vie ne dépasse pas 200 millions d'années, car passé cet âge, les plaques océaniques s'enfoncent dans le manteau au niveau de grandes fosses sous marines (Chili, Japon, Indonésie...) qu'on appelle les zones de subduction. L'âge de la Terre est de 4.6 milliards d'années, si on la compare à un être de 46 ans, le cycle de la croûte océanique est donc de 2 ans seulement. Pourtant, près des trois quarts de la surface du globe sont constitués de croûte océanique. S'il en est ainsi, c'est que la croûte océanique est produite au même rythme qu'elle disparaît. Cette création a lieu aux fameuses «rides medio-océaniques», appelées aussi dorsales.

Comment la formidable quantité de magma nécessaire à la formation de cette croûte se concentre-t-elle à un rythme effréné aux dorsales? Depuis la découverte de ces centres d'accrétion à la fin des années 60, la question reste sans réponse claire. A la fin des années 80, on découvre que la dorsale Est-Pacifique est structurée sous forme de petits segments plus ou moins alignés, séparés par des zones de relais, nommées par les chercheurs américains «overlapping spreading-centers» (OSC). On a pensé détenir là un indice: chaque centre de segment pourrait correspondre à un centre d'alimentation en profondeur, les extrémités des segments correspondant alors à des zones moins bien alimentées. La dorsale serait donc située au-dessus d'un alignement de diapirs (sortes de petits panaches) de manteau partiellement fondu. Puis cette théorie a été très contestée. La plupart des modèles sont maintenant basés sur le fait que le poids des plaques et l'effet de traction des zones de subductions suffisent à faire s'écarter les plaques; ce mouvement des plaques en surface induit un mouvement vertical du manteau sous-jacent. Le manteau monte donc passivement sous la dorsale. C'est d'autant plus vrai sous les dorsales comme celle de l'Est-Pacifique, qui sont dites «dorsales rapides» car l'écartement des plaques s'y fait à des vitesses allant de 5 à 20 cm/an, relativement rapides, plus à même d'exercer une traction sur le manteau (10 cm/an = 100 Km/million d'années; un million d'années correspondent à 3 jours et demi seulement si on se reporte à nouveau à la comparaison d'un être de 46 ans). Le mouvement de montée crée une décompression adiabatique (sans perte de chaleur) des roches mantelliques, ce qui provoque leur fusion et permet d'alimenter en magma la dorsale le long de toute sa longueur. Dans ce cas, la segmentation est interprétée comme le résultat de processus de surface (fissuration, réarrangement des limites de plaques quand elles changent de direction...).



jeudi 22 mars 2007

## voir les mouvements du manteau à 8 km de profondeur grâce à la tomographie sismique

Jusqu'ici, ces modèles étaient basés sur l'étude de la bathymétrie des océans, des données géophysiques sur la structure de la croûte, et des modélisations numériques. On disposait de très peu de données sur le manteau sous-jacent, pourtant à la base de toute la machinerie faisant fonctionner les dorsales. Un outil géophysique essentiel est la tomographie sismique. La tomographie consiste en la cartographie des zones où les vitesses sismiques se propagent lentement ou rapidement. Les ondes sismiques sont générées à partir d'un ensemble d'explosions, et sont recueillies par des sismomètres déposés par bateau au fond de l'océan. Les zones où les ondes se propagent lentement correspondent à des régions chaudes et/ou contenant une portion liquide, tandis que les zones où les ondes se propagent rapidement correspondent à des régions froides et/ou dépourvues de liquide. Le même principe est utilisé en tomographie médicale, où des ondes sont émises à travers le corps pour définir des zones ayant différentes caractéristiques physiques; ces différences sont ensuite interprétées par un médecin pour localiser différents organes.

En 1997, nous avons imaginé un dispositif permettant d'obtenir la première image tomographique du manteau dans une tranche de 8 à 12 Km de profondeur sous la dorsale Est-Pacifique. Après plusieurs années de travail, ces données nous ont permis de visionner enfin la distribution du liquide magmatique venant du manteau, et de donner de nouvelles idées sur la façon dont le manteau s'écoule sous les dorsales. On suppose que l'écoulement vertical correspond aux zones où du magma est présent (vitesse sismique faible), et l'écoulement horizontal est déduit de la direction d'anisotropie sismique. On parle d'anisotropie quand les propriétés physiques ne sont pas les mêmes selon différentes directions de l'espace. Si un son est émis dans l'air ou sous l'eau, sa vitesse est la même quelle que soit la direction. Le milieu est dit isotrope. Ce n'est pas le cas dans les roches du manteau. Le manteau s'écoule à l'état solide, un peu à la manière d'un glacier; ce mouvement entraîne l'alignement des minéraux qui composent la roche mantellique; ces minéraux -l'olivine en particulier- étant très anisotropes, ils rendent la roche elle-même anisotrope, avec une direction de propagation des ondes sismiques plus rapide quand elle est parallèle à la direction d'écoulement.

## le manteau responsable de la segmentation des dorsales

Si le manteau est passivement entraîné par le mouvement des plaques, on s'attend à ce que la direction d'anisotropie soit parallèle à ce mouvement. Nous trouvons au contraire, un écart de 10° entre les deux directions. De plus, une zone à faible vitesse, large d'une dizaine de kilomètre est présente tout le long de la ride; plus exactement, cette zone à faible vitesse est perpendiculaire à la direction d'anisotropie, ce qui la rend oblique par rapport à la ride. En



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

C R P G

centre de recherches  
pétrographiques  
et géochimiques



jeudi 22 mars 2007

# dossier de presse

conséquence, une grande partie de la zone à faible vitesse du manteau ne se trouve pas sous l'axe, mais s'en écarte de plus de 10 Km, jusqu'à une zone de relais en échelon lui permettant de revenir sous l'axe. Cette zone de relais se trouve juste sous l'endroit où la dorsale est segmentée par une OSC. La rotation entre l'axe de dorsale et la zone à faible vitesse est dans le même sens que la rotation qu'est en train de subir l'axe de dorsale depuis quelques millions d'années; cependant le mouvement des plaques semble en retard sur celui du manteau. L'analyse de notre image tomographique conduit à deux autres découvertes. L'intensité de l'activité à la dorsale est dépendante de la distance entre la zone à faible vitesse du manteau et l'axe de la dorsale. Quand la zone à faible vitesse est sous l'axe, les éruptions volcaniques semblent plus fréquentes et l'hydrothermalisme est plus vigoureux. Enfin, à l'intérieur de la zone à faible vitesse, se trouvent des variations de l'intensité de cette anomalie, qui montrent que des secteurs, régulièrement espacés d'une quinzaine de kilomètres, contiennent plus de magma.

Ces découvertes nous ont conduit à proposer un nouveau modèle d'écoulement du manteau et de nouvelles explications sur les variations d'activité le long de la dorsale et sur les causes de sa segmentation. Dans ce modèle, la segmentation de la dorsale Est-Pacifique par des OSCs est la conséquence directe de l'organisation en échelon de zones de montée du manteau; les OSC se forment car la géométrie du système de plaques rigides n'est pas cohérente avec l'orientation et la disposition des régions où le manteau monte vers la surface et conduit son liquide magmatique. La différence d'orientation entre l'axe de dorsale et la zone où le magma arrive a une autre conséquence. Le volume de la chambre magmatique est relativement constant le long de la dorsale, mais quand le magma arrive loin de l'axe, il se dégage, se différencie et s'alourdit avant d'atteindre la chambre magmatique sous la ride. Ces modifications le rendent moins à même de faire des éruptions fréquentes. L'intensité des manifestations magmatiques et hydrothermales ne dépend donc pas de la quantité de magma présent dans la chambre magmatique, mais plutôt du chemin parcouru par le magma. Enfin, des zones de montée ponctuelles plus rapides, et plus riches en magma, sont présentes au sein de la large zone en échelon. Ces petites zones régulièrement espacées rappellent certaines observations dans l'ophiolite d'Oman. Une ophiolite est un morceau du plancher océanique, qui, par le jeu de la tectonique, s'est échoué sur le continent. L'ophiolite d'Oman, avec ses 500 Km de long sur 50 à 100 Km de large représente une formidable opportunité d'étudier à pied sec les roches du fond des océans. Dans le manteau ainsi exposé, on a découvert des zones où l'écoulement était vertical, et où la circulation de liquide magmatique avait été très importante. Ces structures, interprétées comme des diapirs de manteau, ont moins de 10 Km de large et sont espacées d'une quinzaine de kilomètres, comme les anomalies ponctuelles du manteau de la dorsale Est-Pacifique. Prochainement, nous espérons étudier ces structures en Oman pour comprendre comment le magma migre jusqu'à la dorsale, et mesurer l'évolution de sa



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

C R P G

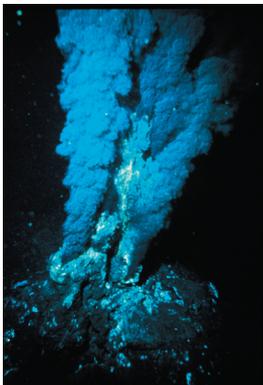
centre de recherches  
pétrographiques  
et géochimiques



jeudi 22 mars 2007

# dossier de presse

composition pendant la migration. Sachant que l'apparition de la vie sur Terre est probablement liée à l'activité des sources hydrothermales océaniques, les montagnes d'Oman cachent peut-être des indices sur la compréhension de nos très lointaines origines...fond des océans. Dans le manteau ainsi exposé, on a découvert des zones où l'écoulement était vertical, et où la circulation de liquide magmatique avait été très importante. Ces structures, interprétées comme des petites zones de montée du manteau, ont moins de 10 Km de large et sont espacées d'une quinzaine de kilomètres, comme les anomalies ponctuelles du manteau de la dorsale Est-Pacifique. Prochainement, nous espérons étudier ces structures en Oman pour comprendre comment le magma migre jusqu'à la dorsale, et mesurer l'évolution de sa composition pendant la migration. Sachant que l'apparition de la vie sur Terre est probablement liée à l'activité des sources hydrothermales océaniques, les montagnes d'Oman cachent peut-être des indices sur la compréhension de nos très lointaines origines...



*Fumeur noir: ce phénomène spectaculaire est du à la rencontre de l'eau de mer et d'une activité magmatique intense au niveau des dorsales océaniques. Ces sources hydrothermales abritent des écosystèmes primitifs. Dans le nouveau modèle proposé, l'intensité de l'activité hydrothermale et magmatique est liée à la géométrie de la convection du manteau*

*Montagnes désertiques d'Oman, composées de péridotite (la roche du manteau) dans lesquelles se trouvent des fragments de rides océaniques remontés à la surface et intégré au continent par des processus tectoniques.*

