

RECAPITULATIF -1-

Dossier de demande : **ENCENS 2**

Date : Janvier 2001

Titre de la Campagne : ENCENS 2

<p>Année : 2002 Durée (sur zone) : leg 1 de 28 jours et leg 2 de 13 jours soit 41 jours Escalade éventuelle (à justifier)</p> <p>Période (si impératif) : hors mousson (éviter juin à septembre)</p> <p>Zone : Golfe d'Aden - NW Océan Indien</p> <p>Pays dont les eaux territoriales sont concernées : Yemen, Oman</p> <p>Pays dont la zone économique est concernée : Yemen, Oman</p>		Chef de Projet	Chefs de Mission
	Nom Prénom	Marc Fournier	Sylvie Leroy* Philippe Huchon
	Organisme	CNRS - ESA 7072 UPMC	CNRS - ESA 7072 CNRS- UMR 6526
	Laboratoire	Tectonique	Tectonique Géosciences Azur
	Adresse	Case 129 4 place Jussieu 75252 Paris cedex 05	* correspondant UPMC - Case 129 4 place Jussieu 75252 Paris cedex 05
	Téléphone	01 44 27 52 68	01 44 27 34 08
	Fax	01 44 27 50 85	01 44 27 50 85
	E-mail	marc.fournier@lgs.jussieu.fr	sylvie.leroy@lgs.jussieu.fr

<p>Travaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sismique réflexion multitrace numérique • Sismique grand-angle (OBS) et stations terrestres • Bathymétrie multifaisceaux et imagerie, Gravimétrie, Magnétisme <p>Traitement des données et besoins informatiques : Rejeu navigation, traitement bathymétrie et imagerie multifaisceaux, magnétisme, gravimétrie, traitement sismique</p> <p>Navire : Marion Dufresne ou L'Atalante ou autre navire de capacité équivalente</p> <p>Engin(s) : OBS, magnétomètre de surface</p> <p>Gros équipements : Chaîne d'acquisition sismique multitrace numérique</p> <p>Nécessité d'une campagne pour récupération d'engin ? non</p>	<p>Equipe scientifique embarquée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beslier Marie-Odile, CR, Villefranche sur Mer • D'Acremont Elia, Etudiante, Paris VI • Driscoll Neal, CR, SIO • Fournier Marc, MC, Paris VI • Huchon Philippe, Pr, Villefranche sur mer • Khanbari Khaled, MC, Université de Sana'a, Yemen • Leroy Sylvie, CR, Paris VI • Patriat Philippe, DR, IPG Paris • Perrot Julie, MC, IUEM Brest • Robin Cécile, MC, Paris VI • Ruellan Pierre-Yves, Etudiant, Paris VI • Sage Françoise, MC, Villefranche sur mer • Yamada Tomoaki, MC, ERI, Tokyo, Japon • X et Y, ERI, Tokyo, Japon <p>Observateur : • Al Kathiri Ali, MC, Salalah, Oman</p> <p>Equipe scientifique à terre (stations sismologiques) : Petit Carole, Lepvrier Claude, Béthoux Nicole</p> <p>Collaborations : Burov E., Daniel J.M., Dauteuil O., Gente P., Jolivet L., Ruellan E.</p>
---	---

Cette proposition se rattache au(x) programme(s) (nationaux et internationaux) avec comité scientifique :
 (L'avis des comités scientifiques sera sollicité)

GDR Marges

<p>Thèmes scientifiques :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Structure profonde et segmentation des marges et de la dorsale 2. Localisation, nature, structure et formation de la Transition Océan Continent 	<ol style="list-style-type: none"> 3. Comparaison des marges conjuguées : processus d'amincissement crustal, de cassure continentale et de mise en place d'une dorsale active 4. Partitionnement de la déformation pendant le rifting oblique, héritage structural et réactivation
--	--

<p>Reponsable d'unité : Laurent Jolivet Date : 12 janvier 2001 Nombre de dossiers présentés pour 2001 au sein de l'unité : 3 Signature :</p>	<p>Reponsable d'unité : Jean Virieux Date : 12 janvier 2001 Nombre de dossiers présentés pour 2001 au sein de l'unité : 6 Signature :</p>
---	--

RECAPITULATIF -2-

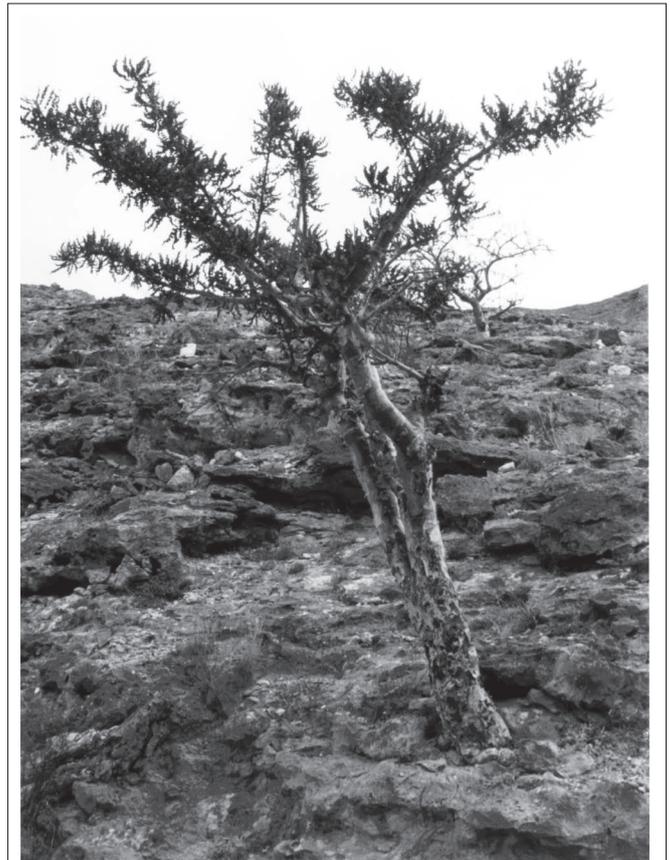
Dossier de demande : **ENCENS 2**

Date : Janvier 2001

RÉSUMÉ

• **Texte synthétique résumant l'ensemble des documents 1 à 6, lisible par un non spécialiste**
(ne pas dépasser 15 lignes)

Les équipes du laboratoire de tectonique de l'Université Pierre et Marie Curie, de Géosciences Azur et de l'Earthquake Research Institute de l'Université de Tokyo présentent le projet de campagne océanographique ENCENS 2 soutenu par le GDR Marges. Cette campagne a pour but d'imager la structure profonde des marges conjuguées du golfe d'Aden au moyen de sismique multitrace et grand angle (OBS). Elle fait suite à la campagne ENCENS-SHEBA de cartographie et relevés géophysiques en couverture totale du golfe d'Aden oriental. L'objectif global est de faire progresser la compréhension des processus d'amincissement crustal, de rupture continentale et de mise en place d'une dorsale océanique active. Les atouts du golfe d'Aden sont de présenter : (1) des marges conjuguées proches et parfaitement corrélables dont l'image en coupe fournira un instantané du rifting ; (2) des marges préservées sous une sédimentation peu épaisse, sans évaporites, pénétrable par la sismique ; (3) des marges qui affleurent en partie à terre et dont l'étude sur le terrain complète l'étude en mer et fournit l'évolution temporelle du champ de contraintes pendant le rifting. Le partitionnement de la déformation et la réactivation de structures héritées pendant le rifting oblique seront étudiés et la structure de la transition océan-continent sera précisée. Ce travail sera mené à bien grâce à des profils de sismique multitrace transverses et parallèles aux marges, et à un profil OBS de marge à marge. Le Marion Dufresne et l'Atalante sont adaptés pour cette mission. L'étude sera réalisée en collaboration avec des équipes omanaise et yéménite. Le traitement des données sera effectué dans les laboratoires demandeurs.+



Pourquoi ENCENS ?

Boswellia sacra (Térébinthacées) est l'un des très rares arbres qui pousse sur les hauts plateaux désertiques du sud du Yémen et de l'Oman. Sa résine aromatique fournit l'encens, à l'origine pour partie de la prospérité du royaume de Saba pendant le III^{ème} millénaire. Avant que la route maritime ne soit rendue sûre, le commerce caravanier remontait la large vallée de l'Hadramaut, jadis irriguée et cultivée, puis la plaine côtière de la Mer Rouge pour rejoindre les riches cités commerçantes de la Méditerranée. Cette route était alors connue sous le nom de Route de l'Encens.

RECAPITULATIF -3-

Dossier de demande : **ENCENS 2**

Date : Janvier 2001

ABSTRACT

• Traduction en Anglais du récapitulatif -2-

The associated scientific teams of the Laboratoire de Tectonique de l'Université Pierre et Marie Curie, Géosciences Azur, and the Earth Research Institute of the University of Tokyo present this project for the ENCENS 2 cruise in the framework of the french Margins research group. We propose to investigate the deep structure of the eastern Gulf of Aden conjugate continental margins collecting deep-penetration multi-channel reflection and OBS refraction data. This project follows upon the ENCENS-SHEBA survey (June-July 2000) of recording of full coverage swath bathymetric and imagery data in the eastern gulf of Aden associated with magnetics and gravity profiles, as well as 3-channels seismic profiles on selected areas of the margins. The proposed work will lead to a better overall understanding of the process of crustal thinning, continental break-up, and formation of new oceanic spreading centers. The Gulf of Aden represents one of the

best locales to study conjugate margin development because it has young continental margins devoid of thick post-rift sedimentary wedges and evaporites. The conjugate margin pair can be confidently correlated using the main transform faults. Field data can be used to constrain the timing and the style of the margin development. The Gulf of Aden also provides a good setting to address the problems related to continent-ocean transition and strain partitioning during oblique rifting. The work will be completed by collecting multichannel seismic profiles across and parallel to the margins and one OBS profile across the oceanic basin. The Marion Dufresne and l'Atalante are suitable for this cruise. The study will be made in collaboration with teams from Oman and Yemen. Data processing will be done at UPMC, Geosciences Azur, and ERI.

PROGRAMME GÉNÉRAL DE RECHERCHES

AVANT PROPOS

ENCENS 2 est la seconde campagne d'un programme d'étude des marges passives jeunes du golfe d'Aden soutenu par le GDR Marges. La première partie de ce programme a été réalisée en juin-juillet 2000 lors de la campagne ENCENS-SHEBA sur le N/O Marion Dufresne par une reconnaissance bathymétrique, sismique, gravimétrique et magnétique du golfe d'Aden oriental. ENCENS 2 fait suite à ENCENS-SHEBA pour imager la structure profonde des marges conjuguées et du bassin océanique au moyen de sismique réflexion multitrace et sismique grand angle (OBS). ENCENS 2 apportera la 3ème dimension aux informations de surface recueillies pendant ENCENS-SHEBA. Ce projet est une collaboration entre le laboratoire de tectonique de l'Université Pierre et Marie Curie, Géosciences Azur et l'ERI.

Le golfe d'Aden, qui a été quelque peu délaissé de la fin des années 70 (campagne du N/O Vema en 1978; Cochran, 1981, 1982) jusqu'à la campagne Tadjouraden en 1995 à l'extrémité occidentale du golfe (N/O l'Atalante; Hébert, 1998; Audin, 1999; Khanbari, 2000), est actuellement l'objet d'un regain d'intérêt de la part de la communauté scientifique internationale puisque, outre ENCENS-SHEBA en juin-juillet 2000, une campagne japonaise dirigée par H. Fujimoto et K. Tamaki (ORI) sur le N/O Hakuho-maru s'y est déroulée en décembre-janvier 2000 et une campagne américaine dirigée par N. Driscoll et J. Diebold sur le R/V Maurice Ewing doit y avoir lieu en septembre-octobre 2001.

La campagne japonaise avait pour but une reconnaissance de sites pour d'éventuels forages ODP sur la marge nord du golfe d'Aden. La reconnaissance a été effectuée par sondeur multifaisceaux, sismique multitrace haute résolution et carottages. Les forages projetés doivent permettre de tester les relations entre l'évolution de l'Homme et l'évolution du climat pendant les cinq derniers millions d'années. Par ailleurs, des OBM ont été déployés sur la zone d'ENCENS-SHEBA et des OBS ont été déposés dans la partie ouest du golfe. La coopération avec l'équipe japonaise est étroite, deux participants français (E. D'Acromont et P. Huchon) ayant pris part à la campagne japonaise. Les données bathymétriques et OBM seront traitées conjointement par les deux équipes.

La campagne américaine est une campagne de sismique multitrace et OBS pour étudier la transition entre marge volcanique et marge non volcanique dans la partie occidentale du golfe d'Aden. Cette campagne est à la fois similaire et complémentaire d'ENCENS 2 car les domaines ciblés sont adjacents. Des coopérations entre les deux équipes sont prévues (participations croisées aux campagnes). Les avantages d'ENCENS 2 sont (1) d'avoir été précédée par une campagne de cartographie de surface en couverture totale et (2) de bénéficier d'une bonne connaissance des marges à terre en Oman et au Yémen grâce aux travaux entrepris depuis plusieurs années par des membres de l'équipe (Fournier, Huchon, Khanbari, Lepvrier).

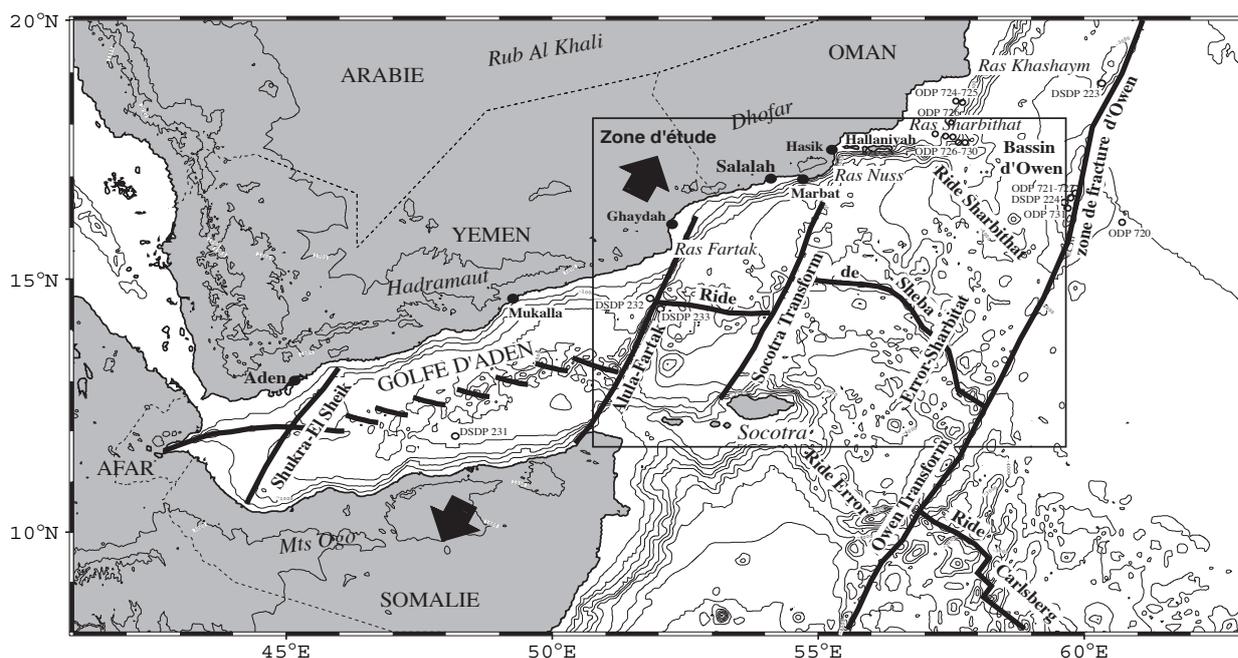


Figure 1: Cadre géodynamique simplifié du golfe d'Aden. Equidistances des courbes bathymétriques = 250m et des courbes topographiques = 500m. (Les données topographiques et bathymétriques sont issues de la compilation de Smith W. et Sandwell D. (1997))

ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA ZONE D'ÉTUDE

SURVOL DE LA ZONE

L'orientation moyenne du golfe d'Aden N75°E est très oblique par rapport à sa direction d'ouverture N30°E indiquée par les failles transformantes (Fig. 1, 2, 4). Le rifting a débuté dans la majeure partie du golfe pendant l'Oligocène et s'est poursuivi jusqu'au Miocène inférieur. L'âge de l'initiation de l'accrétion océanique reste mal contraint. Les anomalies magnétiques de la croûte océanique (Fig. 3) ont été identifiées dans le bassin jusqu'à l'anomalie 5 (11 Ma ; Cochran, 1981). De part et d'autre de la zone à anomalies magnétiques, une zone magnétique calme correspondant à un bassin sédimenté s'étend jusqu'aux premiers reliefs des marges. Son socle acoustique semble de nature océanique jusqu'à la rupture de pente du socle (Cochran, 1982). Un basalte foré dans cette zone au site 231 du Leg 24 DSDP (Fig. 1) a fourni un âge radiométrique de 13 Ma (Shipboard party, 1974). Des travaux magnétiques récents non publiés par Sahota et al. (1995), cités notamment par Watchorn et al. (1998), indiqueraient cependant un début d'accrétion aussi ancien que 18,5 Ma dans la partie orientale du golfe. La cinématique actuelle du golfe d'Aden est décrite par le pôle eulérien de Jestin et al. (1994) qui donne un taux d'ouverture, au niveau de la dorsale d'Aden, de 2,0 cm/an selon la direction N33°E à la longitude 50°E.

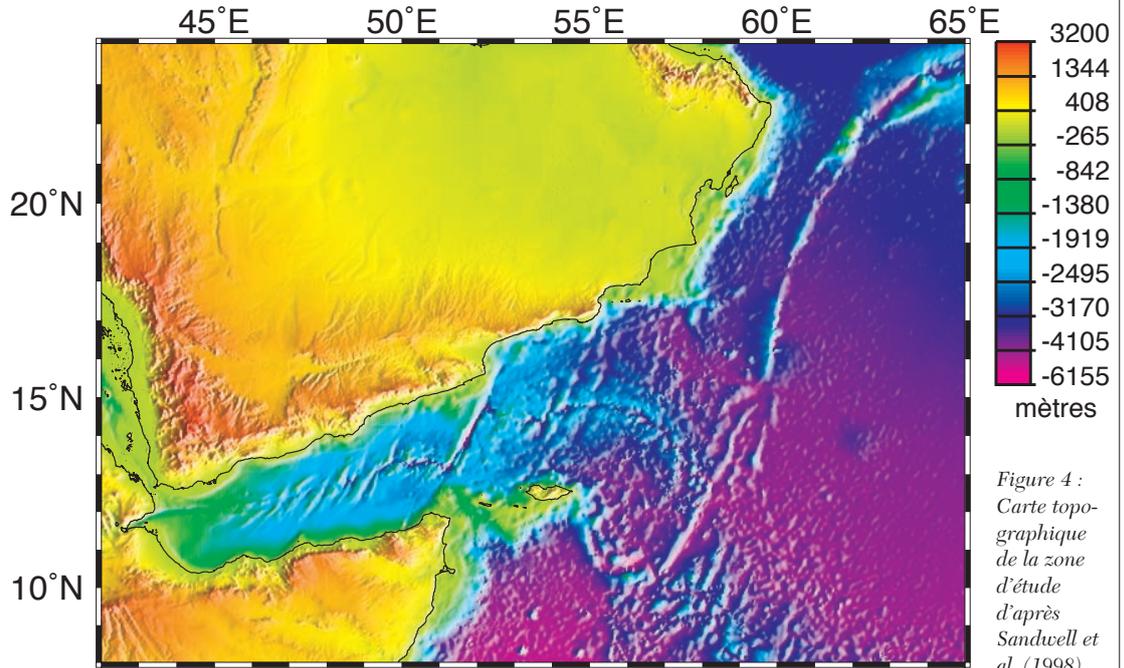


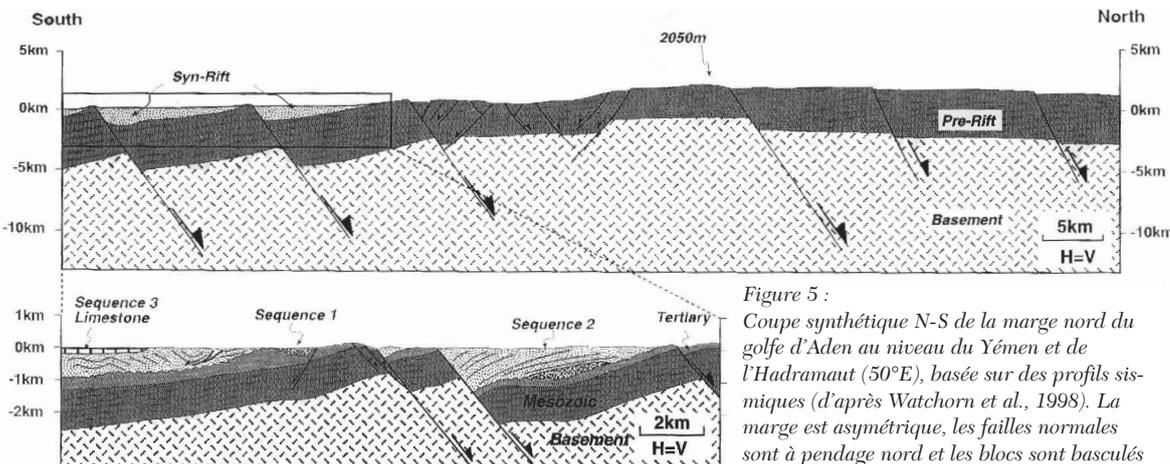
Figure 4 : Carte topographique de la zone d'étude d'après Sandwell et al. (1998).

Sur la marge nord, des séries volcaniques oligo-miocènes d'épaisseur pouvant atteindre 2000 m sont observées à terre et en mer, notamment dans le secteur d'Aden (Tard et al., 1991). Les marges volcaniques sont limitées à l'est par la discontinuité de Shukra-El Sheik (Fig. 1), au-delà de laquelle elles évoluent en marges continentales passives non volcaniques, raides et étroites. Ces marges sont caractérisées à terre par l'existence de plaines côtières longues et étroites, limitées généralement par des failles normales, et dominées par les épaules du rift. Il s'agit au Yémen de la plaine côtière de l'Hadramaut, au Dhofar de la plaine de Salalah et, sur la marge sud, de la plaine côtière de Somalie du nord. Ces plaines sont recouvertes d'alluvions quaternaires transportées par les cours d'eau intermittents (wadis) qui dissèquent profondément les épaules du rift.

LES MARGES À TERRE ET EN MER

MORPHOLOGIE ET TYPOLOGIE DES MARGES À TERRE

Dans la partie occidentale du golfe, les marges sont de type marges volcaniques dominées par l'activité du point chaud Afar.



CADRE STRATIGRAPHIQUE RÉGIONAL (ÉTUDES À TERRE)

Les épaules du rift sont constituées par d'épaisses séries sédimentaires anté-rift d'âge Jurassique à Eocène reposant via une discordance majeure sur un socle métamorphique protérozoïque intrudé par des granites paléozoïques. Le socle affleure peu sur la marge nord (Fig. 5a et 6a) et assez régulièrement sur la marge sud. Cette asymétrie suggère un soulèvement sensiblement plus important de l'épaule sud que de l'épaule nord, dans la mesure où les apports

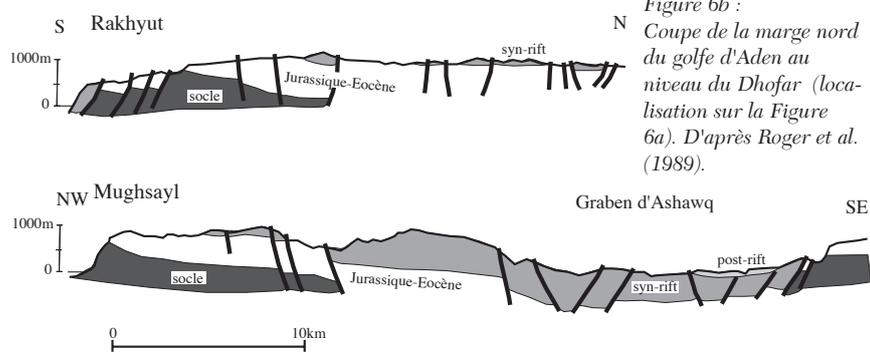
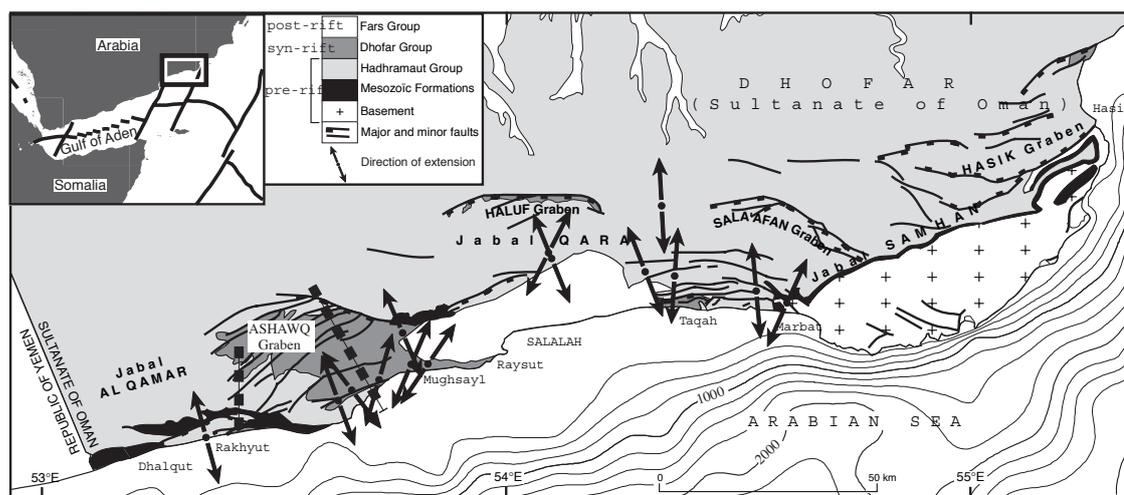


Figure 6b : Coupe de la marge nord du golfe d'Aden au niveau du Dhofar (localisation sur la Figure 6a). D'après Roger et al. (1989).

Figure 6a : Carte géologique simplifiée du Dhofar (Oman sud). Les grabens syn-rift sont contrôlés par des failles normales de direction E-W à N120°E. Les directions d'extension syn-rift déduites de l'analyse des failles sont indiquées par des flèches. Les traits épais dessinés en pointillés indiquent la localisation des coupes de la figure 6b.

sédimentaires semblent d'importance identique. Recouvrant le socle, les séries anté-rift forment un vaste plateau monoclinale légèrement basculé vers le nord sur la marge nord et vers le sud sur la marge sud, conférant au golfe d'Aden son profil de rift caractéristique (profils 2 à 6 de la Fig. 7). Les séries mésozoïques et éocènes du Yémen du sud, d'Oman et de Somalie du nord se sont déposées dans un vaste bassin qui s'approfondissait vers l'est comme en témoigne l'évolution des faciès de plus en plus proximaux vers l'ouest. Ces séries à dominante carbonatée sont parfaitement corrélées de part et d'autre du golfe d'Aden (Fantozzi et Sgavetti, 1998). La puissante formation d'Umm Er Radhuma du Yémen et du Dhofar, formée de calcaires bioclastiques paléocènes, est notamment corrélée avec la formation d'Auradu en Somalie du nord. Ces deux formations morphogènes arment, de part et d'autre du golfe, le sommet de l'escarpement des épaules du rift.

A la fin de l'Eocène, la région du futur golfe d'Aden est émergée et soumise à érosion, ce qui signifie qu'un soulèvement important a précédé les premières manifestations de subsidence attribuées au rifting. Les séries syn-rift qui affleurent sur les marges sont faiblement discordantes sur les séries anté-rift (Fig. 5 et 6) et montrent des faciès qui s'approfondissent vers l'est. Ces séries affleurent dans plusieurs petits bassins au Yémen, au Dhofar, et en Somalie du nord, ainsi que de manière limitée dans les plaines côtières de l'Hadramaut (Fig. 5 et 6a) et de Somalie. La base des formations syn-rift est mal datée, elle est au moins d'âge Chattien et attribuée à l'Oligocène moyen ou supérieur (30 Ma; Hugues et al., 1991; Schüpel et Weinholz,

1990; Watchorn et al., 1998). Dans la partie orientale du golfe (Dhofar), elle est d'âge Eocène supérieur à Oligocène inférieur (Stampien; Roger et al., 1989). L'âge du plus jeune dépôt anté-rift connu est de 42 Ma. Le sommet de la série syn-rift est daté de la fin du Burdigalien entre 21.1 et 17.4 Ma à partir de faunes pélagiques et de datations $87/86\text{Sr}$ de coquilles. La corrélation entre les séries syn-rift à terre (groupe de Shihr au Yémen, groupe du Dhofar en Oman et groupe de Guban en Somalie) et les séries syn-rift oligo-miocènes forcées dans le golfe d'Aden (formations Ghaydah et Hami) est bonne (Bott et al., 1992). Les conditions de dépôt continentales à marines

proximales qui prévalent dans toute la région à l'Oligocène moyen, évoluent rapidement vers des conditions marines profondes dès l'Oligocène supérieur. Le golfe d'Aden était donc déjà largement ouvert dans sa partie centrale à l'Oligocène supérieur.

L'étude des séries syn-rift permet ainsi de dater le début du rifting dans la majeure partie du golfe d'Aden (entre 46°E et 56°E) à l'Oligocène inférieur à moyen (34 à 28 Ma), après une phase de soulèvement Eocène terminal. Le rifting s'est accéléré au Miocène inférieur pour s'achever pendant le Burdigalien aux alentours de 18 Ma. La partie centrale du golfe d'Aden entre le Yémen et la Somalie était déjà un bassin profond à l'Oligocène supérieur. La stratigraphie n'est cependant pas suffisamment précise pour démontrer de manière formelle une progression du rifting d'est en ouest.

Sur les marges, les dépôts post-rift reflètent l'environnement sédimentaire actuel. Il s'agit généralement de dépôts carbonatés marginaux littoraux plus ou moins conglomératiques, discordants sur les séries syn-rift. La base de ces dépôts est datée du Burdigalien. La faible extension horizontale de ces dépôts sur les marges, où ils sont limités aux plaines côtières, suggère que la région avait acquis ses caractéristiques actuelles dès le début du dépôt de la séquence post-rift.

DÉFORMATION DES MARGES À TERRE

La déformation contemporaine du rifting est caractérisée par l'existence sur les marges du golfe d'Aden de petits bassins dans lesquels affleurent les séries syn-rift (Fig. 5a). Ces bassins

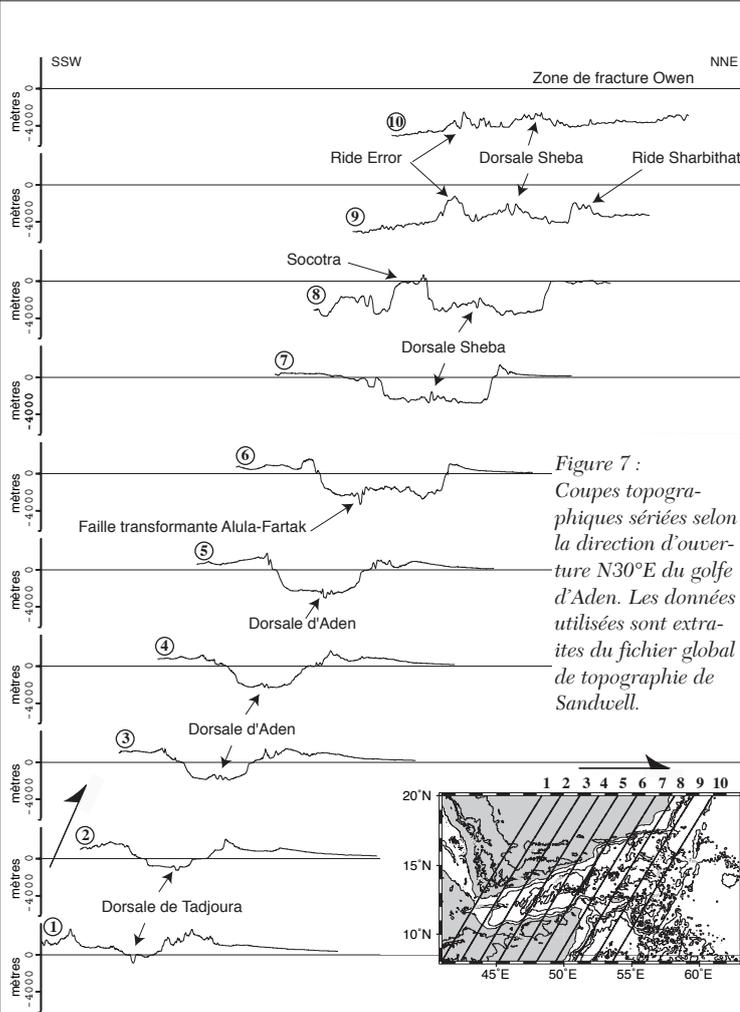


Figure 7 : Coupes topographiques sériees selon la direction d'ouverture N30°E du golfe d'Aden. Les données utilisées sont extraites du fichier global de topographie de Sandwell.

sont contrôlés par des failles normales de direction moyenne E-W à N120°E obliques par rapport à la direction du golfe d'Aden. Une tentative de corrélation géométrique de ces bassins de part et d'autre du golfe d'Aden a été proposée par Fantozzi (1996). Elle suggère que le rifting a été accommodé par formation de bassins de direction moyenne E-W à N120°E et disposés en échelon selon la direction actuelle du golfe d'Aden (N75°E). Leur direction moyenne n'est pas parfaitement perpendiculaire à la direction d'ouverture du golfe d'Aden (N30°E), ce qui est classique en contexte de rifting oblique (Tron et Brun, 1991). Une illustration de ces structures est présentée sur la carte tectonique du Dhofar (Fig. 6a) où une série de grabens E-W recoupe les formations anté-rifts (Platel et Roger, 1989). Le principal bassin syn-rift, le graben d'Ashawq, est de direction N100°E et de pendage axial vers l'est. Une étude de la déformation des séries syn-rift dans cette région a mis en évidence deux phases d'extension de directions N20°E et N160°E, scellées par les dépôts post-rift (Fig. 6a; Bérard, 1998; Lepvrier et al., soumis). La première direction est à peu près parallèle à la direction d'ouverture du golfe d'Aden et la seconde est perpendiculaire à son orientation moyenne. Ces deux directions d'extension syn-rift ont été observées sur toute la marge nord du golfe d'Aden (Huchon et al., 1991; Jestin et Huchon, 1992; Khanbari, 2000). Huchon et al. (1991) et Khanbari (2000) ont observé que des failles normales de direction N110°E avaient été réactivées en failles normales décrochantes compatibles avec l'extension N160°E, suggérant ainsi que la phase d'extension N20°E avait précédé la phase N160°E. La déformation contemporaine du rifting apparaît donc comme une déformation progressive réactivant des

Structural map of the southern coastal Dhofar

from the geological map, field observations, and seismic interpretation

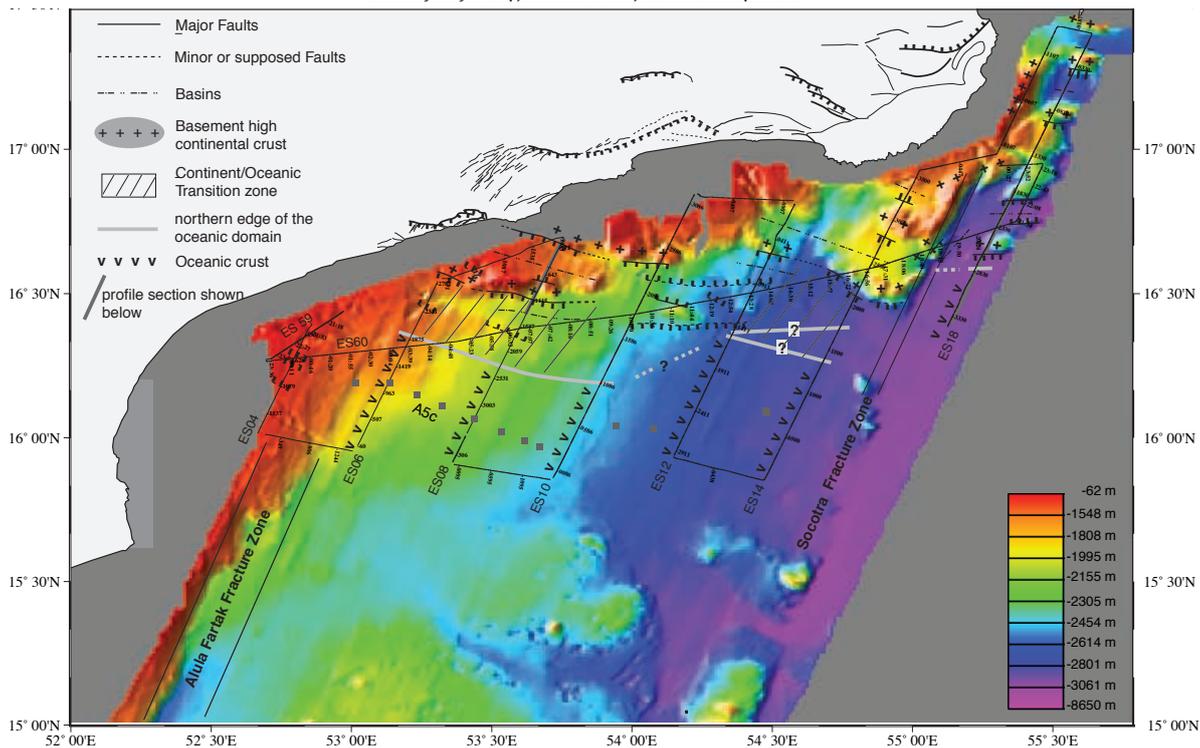


Figure 8 - Schéma structural de la marge Nord, sur fond de carte bathymétrique multifaisceaux de la campagne ENCENS-SHEBA.

failles préexistantes. Les failles qui contrôlent les bassins syn-rifts réactivent peut-être elles-mêmes des failles héritées associées à la formation de grabens jurassiques d'orientation similaire, décrits au Yémen et en Somalie.

L'étude des structures en mer permettra de déterminer l'orientation des structures principales associées au rifting, de prolonger en mer les structures observées à terre, et peut être de préciser la part d'héritage de structures anté-rifts. Des structures peuvent en effet être imagées dans le socle anté-rift dans la mesure où il est constitué par une épaisse série sédimentaire très peu déformée.

LES MARGES EN MER

Dans les paragraphes qui suivent, les résultats de la campagne ENCENS-SHEBA sont consignés en caractères gras.

La Figure 7 montre des profils topographiques sériés à travers le golfe d'Aden selon la direction d'ouverture N30°E. Du point de vue morphologique, le plateau continental est étroit et n'excède pas 25 km de large, et le talus continental est abrupt et rejoint rapidement la plaine abyssale. La largeur de la marge est donc limitée. La connaissance des marges en mer repose essentiellement sur des forages pétroliers (Bott et al., 1992), le forage DSDP 232, sur quelques lignes sismiques pétrolières et sur les profils de sismique 3 traces de la campagne ENCENS-SHEBA. Les forages montrent que la série post-rift présente des faciès variés et une épaisseur qui n'excède pas 1300 m. La série syn-rift peut atteindre 2500 m d'épaisseur sur la marge yéménite.

Dans le secteur d'ENCENS-SHEBA, les marges conjuguées, passives et non volcaniques, sont asymétriques. Sur la marge nord (sud de l'Oman et Yémen), large d'une centaine de kilomètres (bassins syn-rift affleurant à terre y compris), le socle continental est structuré en deux rides majeures qui individualisent un bassin perché de haut de pente (Fig. 8). Les sédiments syn-rift sont peu épais et localement observés sur les profils sismiques (Fig. 9 et 10). La zone de transition entre la croûte purement océanique (An 5c identifiée) et la croûte continentale se présente sous la forme d'une bande de 30 km de large (Fig. 8) avec des rides de socle acoustique enfouies sous les sédiments (Fig. 10). La nature du socle y est incertaine : il peut

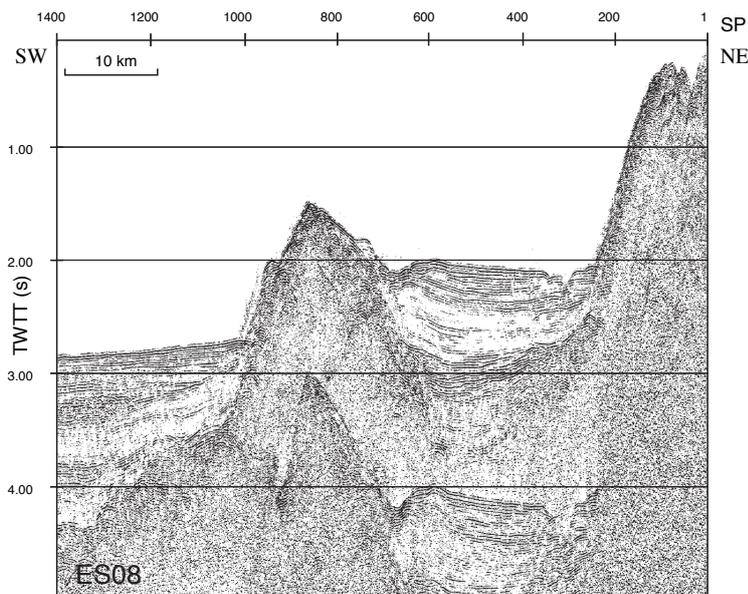


Figure 9 - Profil ES08, rides structurales du haut de pente continentale et bassin rempli de sédiments synrift peu épais et de sédiments post-rift. Le profil est localisé sur la figure 8.

représenter soit de la croûte continentale extrêmement amincie, soit du manteau exhumé pendant le rifting et porté à l'affleurement dans la zone de rupture continentale (axe du paléo-rift), par analogie avec les péridotites serpentinisées échantillonnées dans la transition continent-océan des marges ouest-ibérique et sud-ouest australienne, soit encore de la croûte océanique "anormalement" mince et tectonisée. La direction N90°E à N110°E des structures syn-rift observées à terre (Fig. 8) est bien exprimée en mer par les failles normales, des rides structurales de socle, et la limite septentrionale de la croûte océanique (Fig. 8). Les deux failles transformantes d'Alula-Fartak à l'ouest et de Socotra à l'est semblent se prolonger sur la marge par des structures décrochantes à composante extensive, qui décalent les rides structurales,

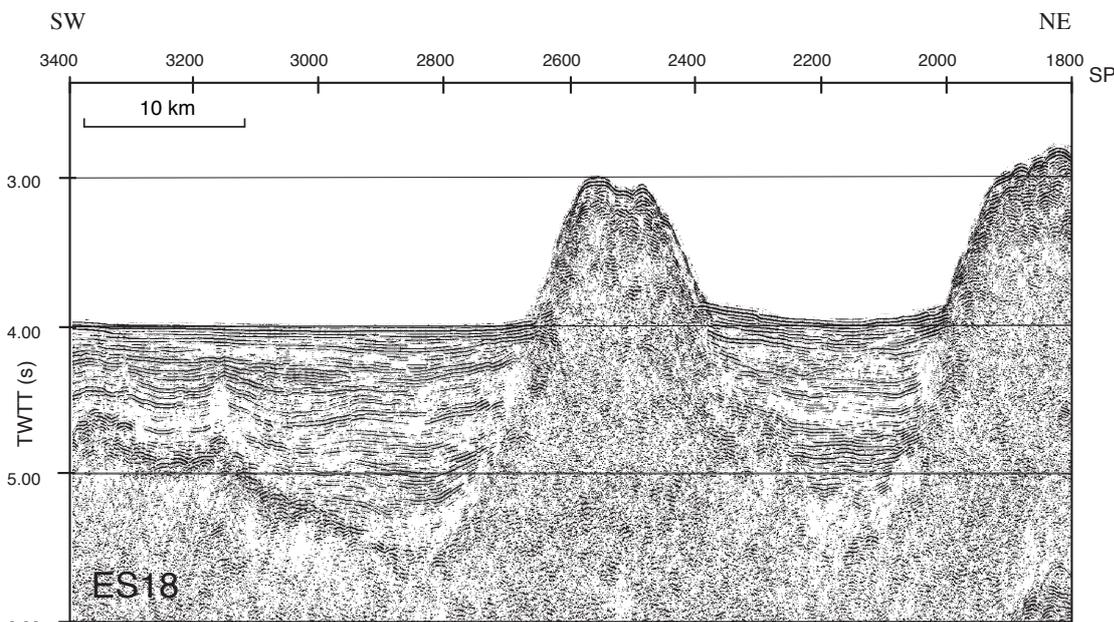


Figure 10 - Profil ES18, rides structurales émergées de pied de pente continentale et transition continent-océan à partir du point de tir 3000, enfouies sous les sédiments. Le profil est localisé sur la figure 8.

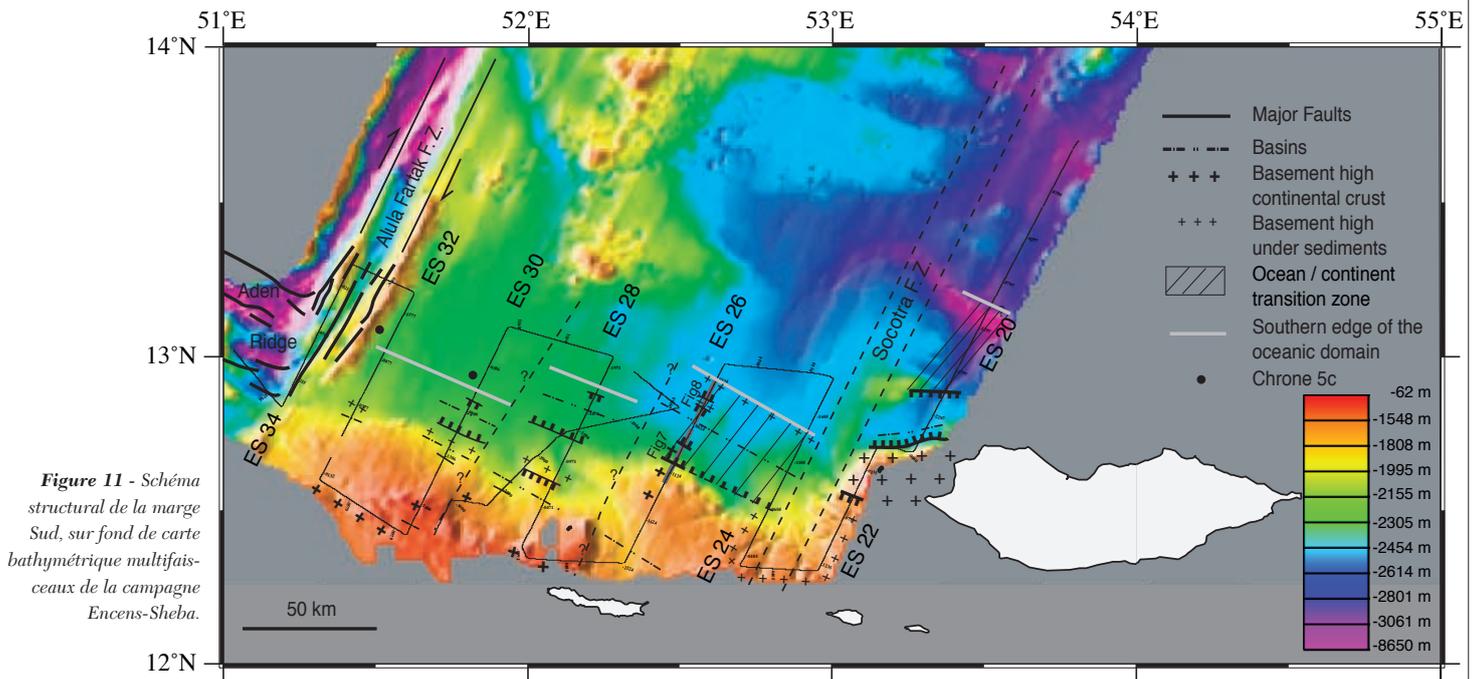


Figure 11 - Schéma structural de la marge Sud, sur fond de carte bathymétrique multifaisceaux de la campagne Encens-Sheba.

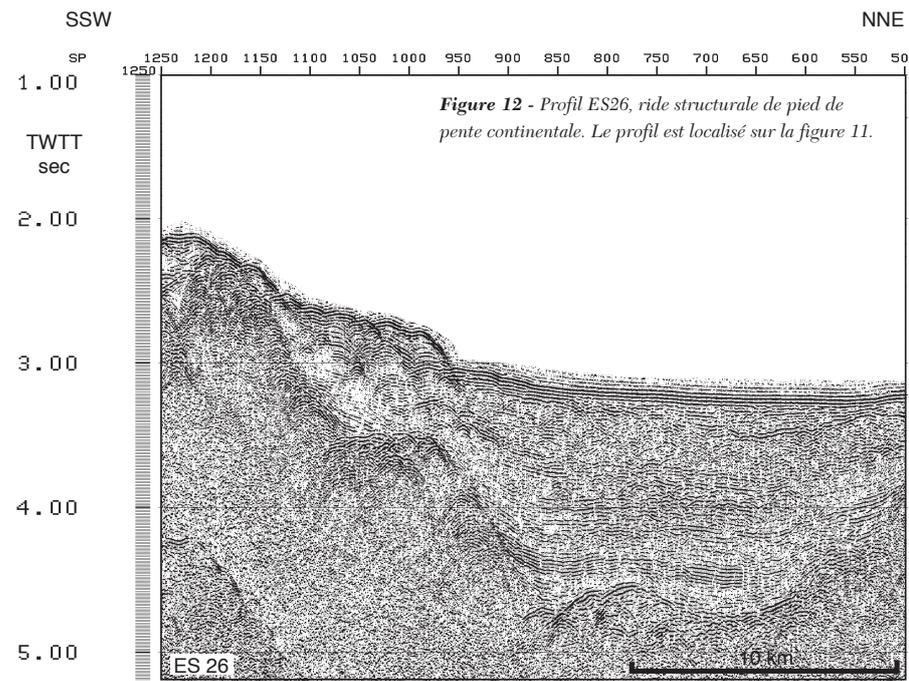


Figure 12 - Profil ES26, ride structurale de pied de pente continentale. Le profil est localisé sur la figure 11.

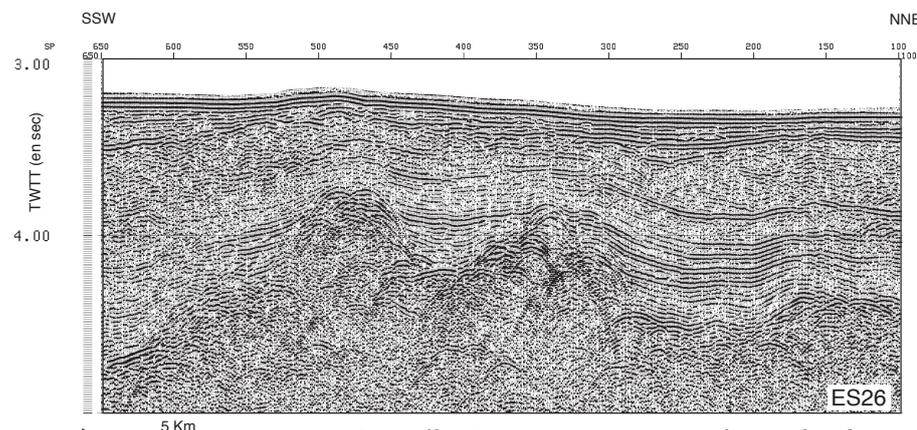


Figure 13 - Profil ES26, transition continent-océan enfouie sous les sédiments. La localisation du profil est indiquée sur la figure 11.

la limite nord de la croûte océanique, et les anomalies magnétiques (~70km; Fig. 8). Une zone de transfert décale les structures de la partie centrale de la marge d'une trentaine de kilomètres (Fig. 8).

La marge sud (ouest de Socotra), également étroite (~100 km ; Fig. 11), a une structure moins classique que la marge nord. Le socle continental en mer y est structuré en un horst constituant le plateau continental, limité au nord par une ou deux failles normales à pendage nord marquant la pente continentale et délimitant un bloc basculé vers le continent en pied de pente (Fig. 12). La direction des failles est N110°E. La localisation de la zone de transition entre la croûte continentale et la croûte océanique est peu aisée sur cette marge (Fig. 11). La figure 13 montre cette transition océan-continent enfouie sous les sédiments. La segmentation majeure est comparable à celle de la marge nord au niveau des failles transformantes d'Alula-Fartak et de Socotra, ainsi que probablement la segmentation de deuxième ordre au centre de la marge (Fig.11).

LA DORSALE DE SHEBA

La dorsale de Sheba est localisée entre les failles transformantes d'Alula-Fartak (14°40'N et 52°E) et d'Owen (13°N et 58°E). La zone transformante d'Alula-Fartak (Figures 1 et 2) est associée à une profonde

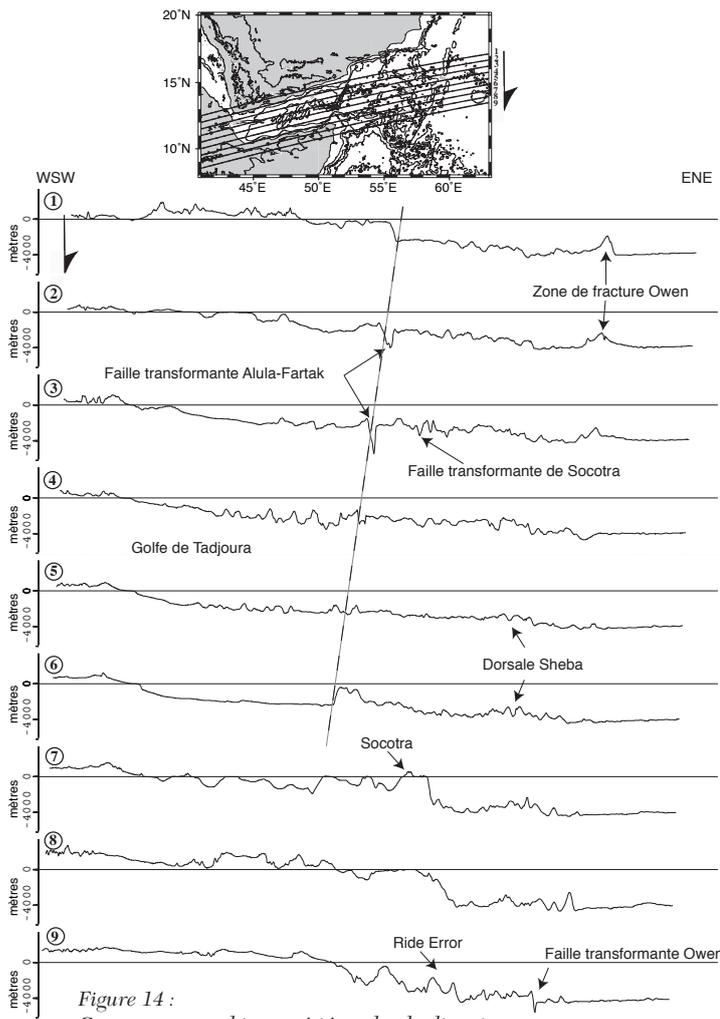


Figure 14 :
Coupes topographiques s riees selon la direction
moyenne du golfe d'Aden (N75°E)

vallée NE-SW de 25 km de large qui décale la dorsale d'environ 200 km (Laughton, 1966; Tamsett et Searle, 1988). Des forages DSDP effectués lors du Leg 24 (Shipboard party, 1974) de part et d'autre de cette transformante (Fig. 1) ont atteint le socle acoustique aux sites 232 et 233. Il est composé de grès du Miocène supérieur au site 232, à l'ouest de la faille au niveau de la marge, et il correspond à des diabases au site 233, à l'est de la faille au niveau de la dorsale Sheba. La dorsale de Sheba est décalée d'environ 50 km entre 54°E et 55°E par la faille transformante de Socotra (Fig. 1 et 14; Huang et Salomon, 1988). Le segment de dorsale situé à l'ouest de la transformante de Socotra présente une morphologie complexe sur les cartes gravimétriques avec le passage d'une vallée à un d me axial. Depuis la faille transformante d'Alula-Fartak jusqu'à la longitude de 56°E, les différents segments de la dorsale de Sheba sont orientés E-W. Plus à l'est, leur direction s'infléchit progressivement vers le SW pour atteindre N140°E à proximité de la zone de fracture d'Owen (Fig. 2). La direction d'expansion étant pratiquement constante et orientée en moyenne N27°E sur la zone d'étude, on passe progressivement le long de la dorsale d'une accrétion oblique à composante dextre à l'ouest de la zone d'étude, à une accrétion normale vers 57°E puis à une accrétion oblique à composante sénestre   proximité de la zone de fracture d'Owen.

La dorsale de Sheba, dans la partie levée lors de la campagne ENCENS-SHEBA (Fig. 15), est découpée en trois segments majeurs limités par de petites discontinuités transformantes ou non. Le segment le plus occidental atteint 130 km de long, les deux autres ayant une longueur plus classique de 40 km (Fig. 14 et 15). Les données bathymétriques montrent que les deux segments courts ont une morphologie typique d'une dorsale lente (le taux d'accrétion étant de 2 cm/an), avec une vallée

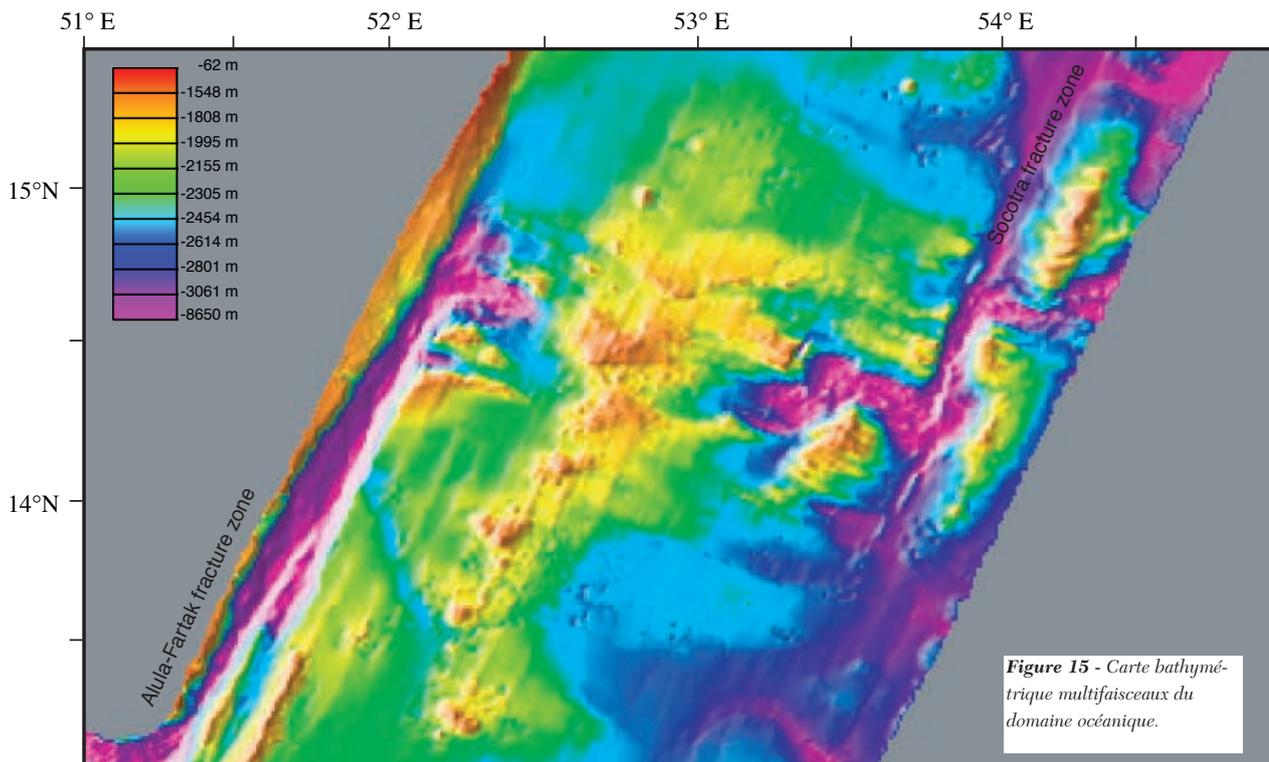


Figure 15 - Carte bathymétrique multifaisceaux du domaine océanique.

axiale bien marquée possédant en son centre une ride néovolcanique, et des extrémités de segments s'approfondissant pour former des bassins nodaux. Les crêtes de part et d'autre des vallées axiales présentent des rides abyssales linéaires ou courbes bien marquées. Ces crêtes sont asymétriques, les coins internes des intersections de l'axe d'accrétion avec les discontinuités étant plus élevés. Le segment principal (Fig. 15) est plus atypique par sa longueur importante et sa morphologie en dôme (le centre culminant à 1100 m de profondeur). De plus, un fort contraste morphologique existe entre la partie centrale du segment et ses extrémités (Fig. 15). La partie centrale est formée de grands dômes qui se succèdent sur les flancs depuis au moins 10 Ma. Ces dômes sont constellés d'une multitude de petits volcans, souvent coalescents. Ces volcans ont une forme cônique et présentent parfois une caldeira axiale bien marquée. Cette partie centrale du segment possède peu d'escarpement de failles en comparaison avec ses extrémités qui se caractérisent, en effet, par des domaines axiaux en graben bordés par des reliefs importants et des flancs qui présentent des rides abyssales limités par des escarpements réguliers. Les plus grands escarpements ont tendance à se prolonger vers le centre du segment en se courbant, resserrant ainsi les murs de chaque côté de l'axe. Cette courbure est peut-être due à un changement de rhéologie vers le centre du segment. A l'ouest, ce segment majeur est bordé par la zone de fracture Alula-Fartak qui décale l'axe de la dorsale d'environ 200 km vers le sud-ouest (Fig. 15).

Les données bathymétriques se corrélient bien avec les données gravimétriques en terme de segmentation de la dorsale et des marges au niveau de la transition océan-

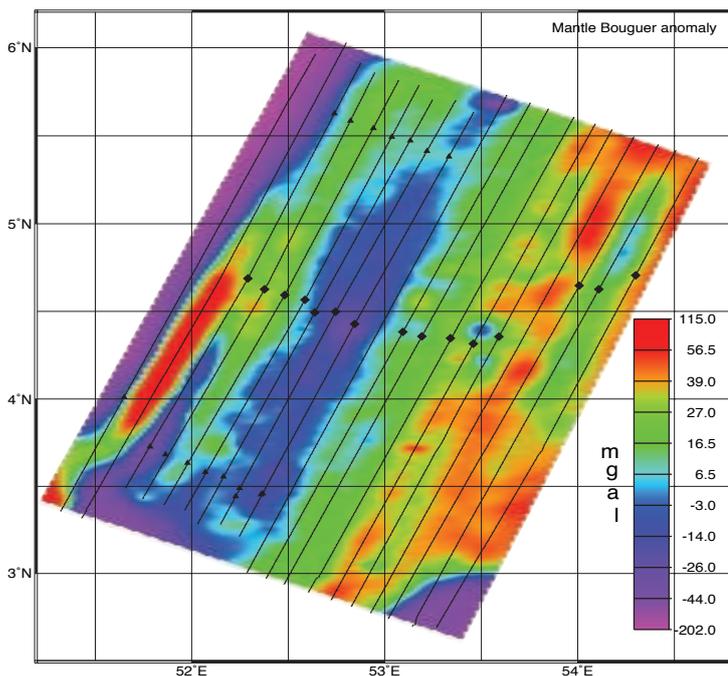


Figure 17 - Carte d'anomalies de Bouguer réduite au manteau du domaine océanique (calcul préliminaire en 2D le long des routes du navire).

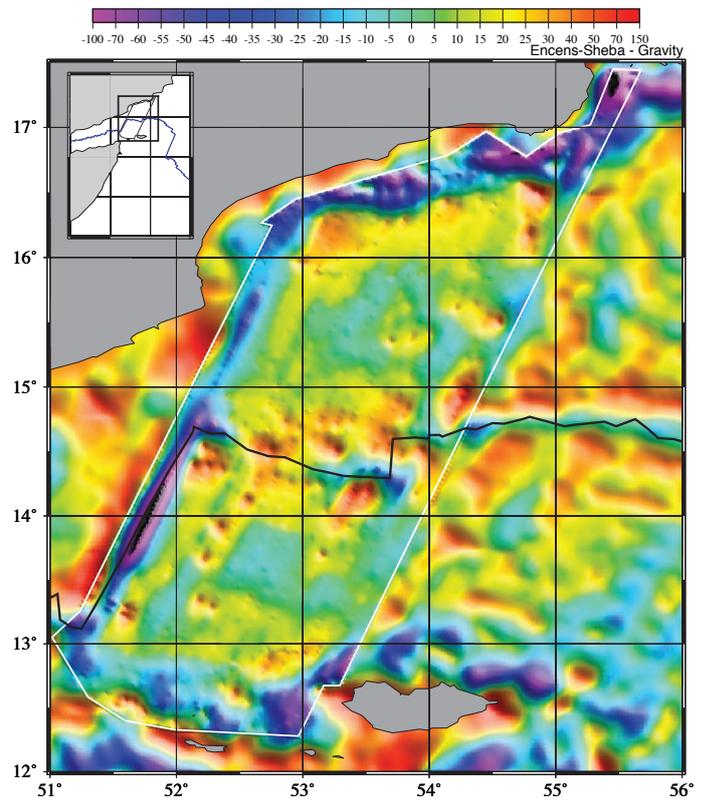


Figure 16 - Carte d'anomalies gravimétriques à l'air libre (campagne Encens-Sheba)

continent (Fig.16). Une très forte anomalie de Bouguer réduite au manteau négative (variation le long de l'axe de l'ordre de 80 mgal; Fig 17) se situe à l'aplomb du segment majeur, volcanique, de la dorsale, les extrémités de ce segment se corréliant à des anomalies positives. Les deux autres segments sont définis par des anomalies de Bouguer réduite au manteau négatives de beaucoup plus faible amplitude, de l'ordre de 30 mgal (Fig. 17). Cette corrélation montre que la forte productivité magmatique déduite de la forme en dôme et de la présence de nombreux édifices volcaniques est associée à une variation d'épaisseur crustale et/ou à une variation de température importante. Cette particularité se suit sur les deux flancs de la dorsale jusqu'au moins 15 Ma.

Les anomalies magnétiques (Fig.18) permettent de bien suivre l'évolution temporelle de la segmentation jusqu'aux deux marges continentales. La longueur des segments semblent rester à peu près constante depuis au moins l'An 5c (~17 Ma; Fig. 19). Toutefois, les anomalies magnétiques présentent une grande asymétrie de part et d'autre de l'axe de la dorsale et la présence de discontinuités obliques sur les flancs de la dorsale autour de l'anomalie 5 suggèrent une évolution plus complexe du domaine océanique qui reste à préciser.

Les anomalies magnétiques 5c à 5e ont été identifiées dans la partie Nord du bassin et portent l'âge du début de l'accrétion à 16-20 Ma au lieu de 12-13 Ma précédemment (Fig. 19). Une étude plus complète et détaillée fournira des contraintes cinématiques précises sur l'ouvertu-

DOCUMENT N°1 suite

Dossier de demande : **ENCENS 2**

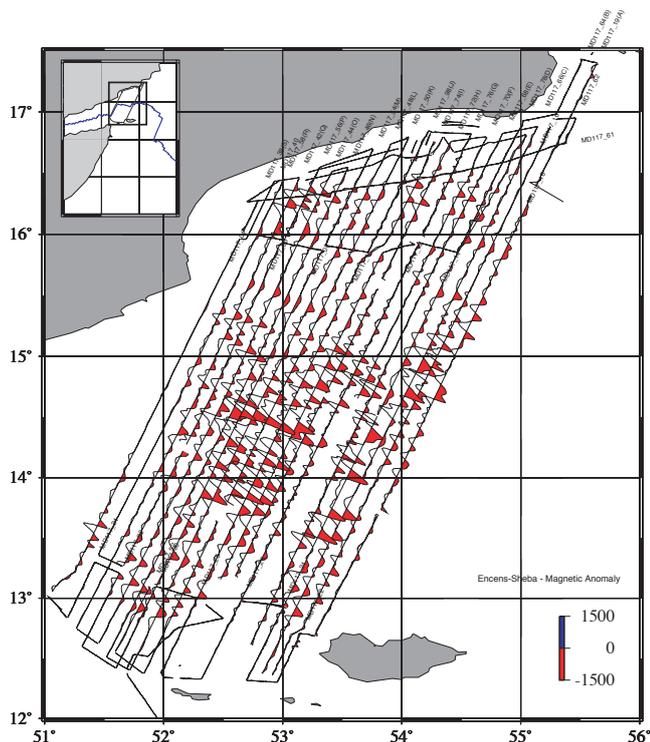


Figure 18 - Carte d'anomalies magnétiques projetées le long des routes de la campagne Encens-Sheba.

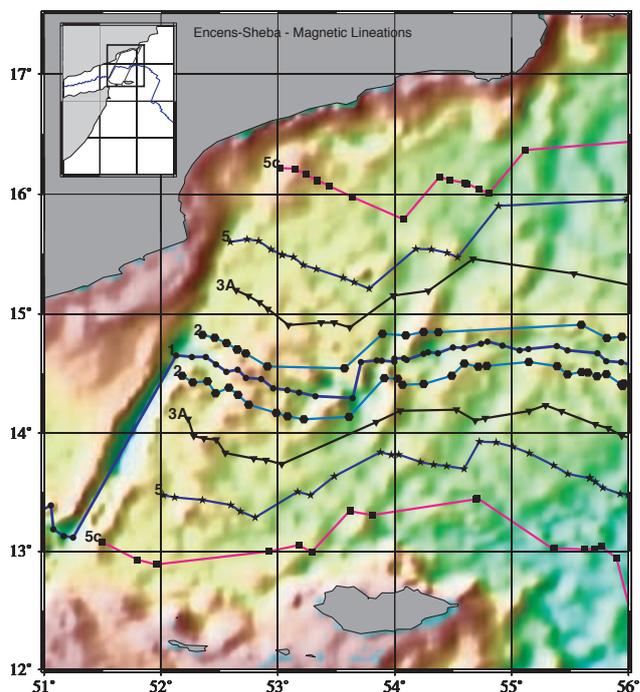


Figure 19 - Carte des lignes isochrones.

re du golfe d'Aden.

Si la segmentation majeure des marges continentales semble assez bien se corrélérer avec celle de la croûte océanique (longueur des segments, continuité des zones de transfert et segments océaniques), l'analyse des données

montre une plus grande complexité pour laquelle les données sismiques apporteront des informations déterminantes.

STRUCTURE DE LA CROÛTE OCÉANIQUE

Les résultats de sismique réfraction (Fig. 20) (Nafe et al. 1959; Laughton et Tramontini, 1969; Cochran, 1982; Seber et al. 1997) ont montré que le plancher du golfe d'Aden de part et d'autre des rides d'Aden et de Sheba possède une structure de croûte océanique d'épaisseur s'échelonnant de 4.8 à 8.4 km. Les expériences de sismique réfraction effectuées au niveau de la zone magnétique calme en pied de marge révèlent un modèle de vitesse complexe avec des variations importantes de vitesses et d'épaisseurs de croûte (Fig. 20). Les vitesses dans la partie supérieure de la croûte s'échelonnent entre 4 et 5.5 km/s et dans la partie inférieure entre 6 et 7.4 km/s. De plus, les épaisseurs crustales de la zone magnétique calme déterminées grâce à trois lignes de réfraction varient de 7.2 à 9.65 km (Laughton et Tramontini, 1969; Nafe et al, 1959). Cette dispersion des valeurs peut être due à des réflecteurs pentés sur les profils directs

SISMIQUE RÉFRACTION DANS LE GOLFE D'ADEN

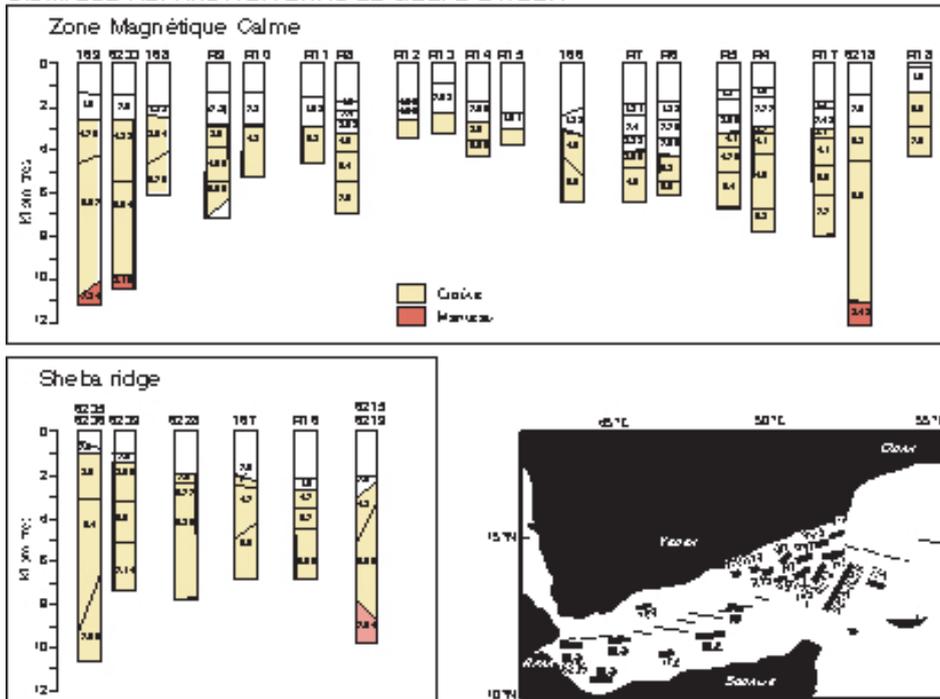


Figure 20 : Profils de sismique réfraction (Cochran, 1982)

des bouées perdues et aux effets des zones de fracture traversées. Cependant, la dispersion des vitesses dans le socle peut refléter également sa réelle hétérogénéité.

MODÈLES D'OUVERTURE DU GOLFE D'ADEN

Outre le modèle de rifting avec des bassins disposés en échelon dextre proposé par Fantozzi (1996), le modèle le plus évolué d'ouverture du golfe d'Aden a été proposé par Manighetti et al. (1997). Selon ce modèle, la ride de Sheba qui progresse vers le NW dans l'océan indien aborde la marge orientale du continent Afrique-Arabie aux alentours de 30Ma. Sa progression s'infléchit alors en direction de la frontière de plaque la plus proche, à savoir dans la direction N255°E, vers la jonction entre le proto-rift africain et le proto-rift Mer Rouge, au dessus du point chaud Afar. Le rifting progresse dès lors vers l'ouest par étapes en marquant des arrêts au niveau des discontinuités d'Alula-Fartak et de Shukra El Sheik.

OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE ENCENS 2

1. STRUCTURE ET SEGMENTATION DES MARGES CONJUGUÉES : SYNTHÈSE STRUCTURALE TERRE-MER

La structure et la segmentation des marges imagées par la sismique à forte pénétration permettront d'établir des cartes structurales des marges corrélées avec les cartes structurales à terre. La géométrie de l'extension en profondeur pourra être étudiée segment par segment et on suivra le mode d'enracinement des discontinuités dans la marge en mer et leur prolongement éventuel à terre. La succession des événements tectoniques sera datée grâce aux corrélations avec les déformations à terre et avec les forages existants dans la zone.

Les relations entre la segmentation des marges et de la dorsale ont été abordées avec les premiers résultats d'ENCENS-SHEBA. Dans le golfe d'Aden, la trace de plusieurs discontinuités océaniques transformantes peut être observée loin de l'axe de la dorsale jusqu'aux marges (Figures 8, 11 et 15). La segmentation à grande longueur d'onde de la lithosphère océanique semble ainsi être contrôlée par la géométrie de la marge. La segmentation à plus courte longueur d'onde (20-100 km) des dorsales océaniques est-elle aussi contrôlée par la géométrie et/ou la segmentation de la marge ?

L'influence de l'initiation de la segmentation sur la structure de la base d'une marge passive n'a encore jamais été étudiée. Une telle structuration, si elle existe au niveau de la transition continent océan, plaiderait en faveur d'un rifting 'actif', influencé par les remontées mantelliques, tandis qu'à l'inverse sa mise en évidence seulement dans de la croûte océanique plus jeune que cette transition continent-océan confirmerait le rôle plutôt 'passif' des dorsales médio-océaniques. De plus, la nature du socle à la transition continent-océan des marges continentales

passives non volcaniques est un problème qui n'est pas totalement résolu à l'heure actuelle. L'étude de la marge ouest-ibérique dans l'Atlantique Nord a en effet récemment mis en évidence une zone de transition de 30 à 120 km de large (selon les segments de la marge), entre la croûte continentale amincie de la marge et la croûte océanique, où le socle est essentiellement constitué de roches mantelliques (Boillot et al. 1988, 1995; Beslier et al. 1996; Whitmarsh et al., 1995, 1996). Ces péridotites serpentinisées ont été exhumées pendant le rifting et portées à l'affleurement à l'axe du paléo-rift dans la zone de rupture de la croûte continentale (Girardeau et al., 1988; Beslier et al., 1996). En sismique réflexion, le socle dans la zone de transition est structuré par des failles normales limitant des horsts et des bassins. Ceci suggère que la formation de cette large zone de transition est principalement contrôlée par la tectonique, jusqu'à ce que l'accrétion océanique commence (Beslier et al., 1996). Etant donné les propriétés de ces roches mantelliques, très hétérogènes selon leur degré de serpentinisation, les données géophysiques seules (en particulier vitesse acoustique V_p , magnétisme, gravimétrie) ne permettent pas à l'heure actuelle d'identifier ces roches sans ambiguïté. Peu d'exemples de tels affleurements sont pour le moment identifiés (marge sud-ouest australienne, Mer Tyrrhénienne, île de Zabargad en Mer Rouge, Fossé de Cayman), mais ils sont de plus en plus suspectés (marge sud-armoricaine, Bassin Ligure par exemple). Les modèles proposés pour la formation de ces zones de transition demandent ainsi à être testés sur de nouveaux sites d'étude, dont le Golfe d'Aden oriental.

La segmentation de courte longueur d'onde d'une dorsale lente a une origine au moins en partie magmatique. Au niveau des marges, la segmentation est principalement une segmentation tectonique. Un segment de marge par rapport à un autre va se caractériser par une expression différente de l'extension. Deux secteurs de marges voisins subiront une histoire extensive comparable qui sera accommodée différemment en fonction de leur lithologie, de leur profil rhéologique et de l'héritage structural. La marge pourra alors présenter deux morphologies extrêmes : marge abrupte avec des failles normales très redressées, une subsidence importante ou marge en pente plus douce avec des failles listriques, une subsidence plus faible, tous les intermédiaires entre les deux états étant possibles. Ce type de segmentation a par exemple été mis en évidence au niveau des marges du bassin Liguro-Provençal à une échelle de l'ordre de la centaine de kilomètres (Guéguen, 1995), longueur comparable aux cellules d'accrétion d'une dorsale lente.

Dans le cas d'un rifting actif où un bombement semble exister avant la tectonique syn-rift, la structuration de la marge et sa segmentation pourraient être principalement contrôlées par la remontée de l'asthénosphère qui formera ensuite la lithosphère océanique. Si l'on considère que ces remontées initiales sont ponctuelles, comme l'ont suggéré les études sur les dorsales, la marge à l'aplomb de ces remontées aura un profil rhéologique spécifique qui contrôlera sa structuration. On cherchera donc à étudier l'influence de l'initiation de la segmentation de la ride océanique, au début de l'accrétion océanique, sur la structure du pied de la marge. La segmentation de la ride, transverse par

rapport à la direction de la marge, peut en effet être à l'origine de structures observables au niveau de la transition croûte continentale/croûte océanique. La caractéristique essentielle des segments des dorsales lentes est qu'ils sont semblables à des boudins de croûte océanique plus épais en leur centre qu'à leurs extrémités. Les structures observables devraient donc être la variation de profondeur du socle parallèlement à la transition continent-océan. Le pied de marge, de par l'existence d'une épaisse couverture sédimentaire, est un lieu très favorable pour observer, pour la première fois en sismique réflexion, l'épaississement crustal relatif à la segmentation.

2. LOCALISATION, STRUCTURE ET NATURE DE LA TRANSITION CONTINENT-OCÉAN

Jusqu'à la campagne ENCENS-SHEBA, on considérait que la zone de transition continent-océan dans le golfe d'Aden correspondait à une zone magnétique calme de nature indéterminée. Les relevés magnétiques bien orientés d'ENCENS-SHEBA montrent que les anomalies magnétiques sont bien exprimées au niveau de la transition continent-océan jusqu'au pied de la marge continentale. Il est possible que cette zone soit formée de roches mantelliques d'origine sous-continentale exhumées pendant le rifting, comme pour la marge de Galice et la marge sud australienne (Beslier et al., 1995, 1996). Cependant, le style structural des marges très étroites du golfe d'Aden ne semble pas correspondre à celui des marges très étendues de Galice et sud australienne, et une généralisation paraît délicate. Il n'est pas exclu que cette zone magnétique calme corresponde à une croûte océanique vraie, ce que laisse suggérer les profils magnétiques d'ENCENS-SHEBA. Un des objectifs d'ENCENS 2 est de préciser la structure, et si possible la nature, de la zone de transition continent-océan et ses relations avec la marge.

3. COMPARAISON DES MARGES CONJUGUÉES ET RÉGIME DE DÉFORMATION DOMINANT PENDANT LE RIFTING

L'étude des marges passives et particulièrement celle de Galice a permis de mettre en évidence au cours des 10 dernières années l'importance des zones de cisaillement simple dans l'amincissement crustal et la mise à l'affleurement du manteau en pied de marge (Beslier et al., 1995, 1996). Ces travaux, associés aux résultats de modélisation analogique de l'extension de la lithosphère continentale (Brun et Beslier, 1996), ont permis de renouveler le modèle classique d'amincissement homogène de la lithosphère en cisaillement pur.

Les zones de cisaillement simple intra et infra-crustales sont imagées par sismique réflexion (réflecteur S de la marge de Galice (Reston et al., 1996), réflecteur peu penté du Moresby Seamount dans le bassin de Woodlark (Taylor et al., 1999) et leur nature de contact anormal est confirmée par forage, observation en submersible ou dragage dans le cas des marges maigres. Cependant, la comparaison des deux marges conjuguées est généralement impossible car une des deux marges est souvent recouverte d'une épaisse couverture sédimentaire.

C'est le cas notamment de la marge américaine conjuguée de celle de Galice qui est recouverte de plusieurs kilomètres de sédiments. La faible épaisseur de la série post-rift dans le golfe d'Aden combinée à la forte pénétration de la sismique multitraçage mise en œuvre, doit permettre d'imager la totalité de la croûte jusqu'au Moho (voire plus profond) sur les deux marges. Nous obtiendrons ainsi pour la première fois une coupe crustale véritable de la totalité d'un bassin océanique et de ses marges conjuguées. Cette coupe pourra être directement comparée aux modèles analogiques et apportera des informations sur le régime de déformation dominant pendant le rifting.

4. PARTITIONNEMENT DE LA DÉFORMATION PENDANT LE RIFTING OBLIQUE, HÉRITAGE ET RÉACTIVATION

Les structures extensives anté-rift Jurassique et Crétacé observées sur les marges ont-elles été réactivées pendant le rifting oblique du golfe d'Aden? Le rift d'Aden s'est propagé vers le N255°E en direction du point chaud Afar et de la jonction entre la proto-mer Rouge et le proto-rift éthiopien, alors que le mouvement relatif Arabie/Somalie était orientée N30°E. A-t-il réactivé des structures préexistantes d'orientation E-W à N120°E ou ces structures sont-elles néoformées? La sismique profonde pourra peut-être apporter une réponse à cette question s'il est possible d'imager des structures anté-rift ayant rejoué pendant le rifting. La nature du socle anté-rift, formé d'une épaisse série sédimentaire quasiment pas déformée, peut laisser espérer un tel résultat.

Ce problème doit aussi être abordé par l'étude terre-mer. La réalisation d'un modèle numérique de terrain de la marge nord à partir de couples stéréoscopiques SPOT est en cours pour compléter la carte bathymétrique. Cela permettra de dresser un schéma structural complet terre-mer de la marge. L'étude fine de la déformation sur le terrain permet de caractériser, en termes de direction de failles et de réactivation, et de dater les différentes phases de déformation successives depuis le Jurassique. La confrontation des résultats à terre et en mer permettra de discuter les problèmes d'héritage structural et de réactivation.

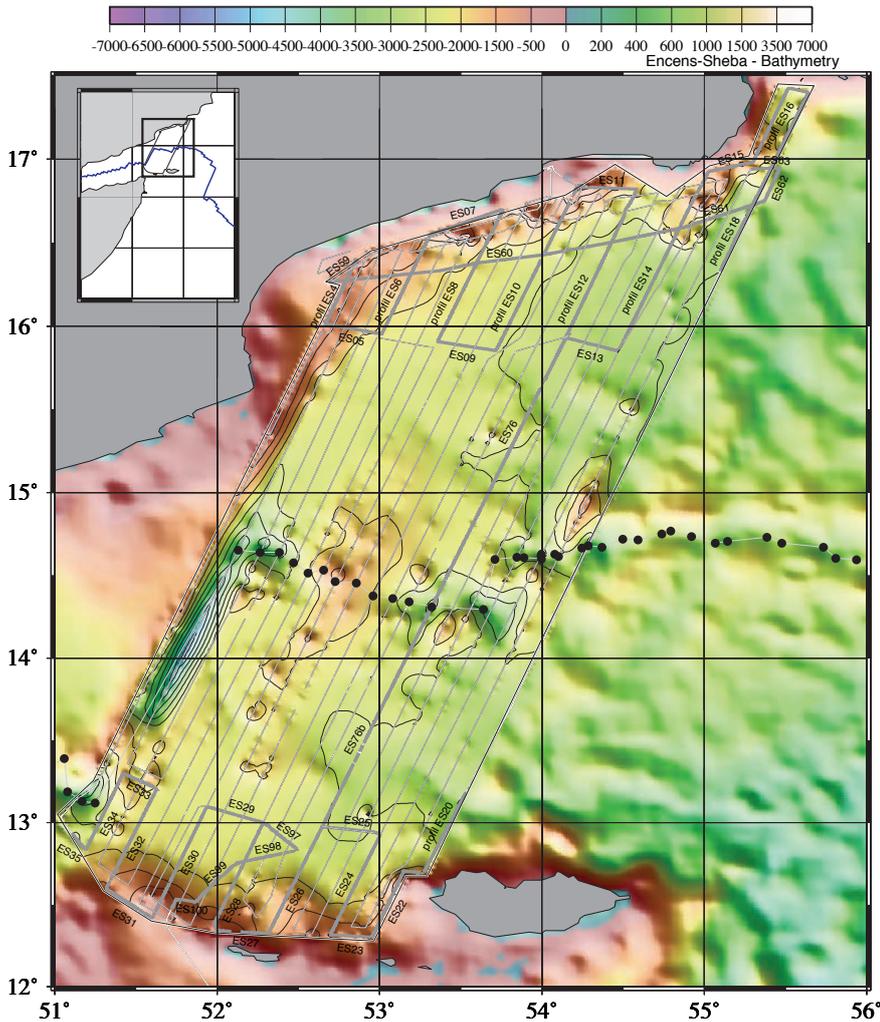


Figure 21 : Plan de position de la campagne ENCENS-SHEBA.
Les traits épais correspondent aux profils de sismique réflexion.
Les profils magnétiques et gravimétriques ont été nommés de A à S d'Est en Ouest.
Les ronds noirs correspondent à la position de l'axe de la dorsale Sheba.

• Campagnes antérieures

Avant Encens-Sheba (Figure 21), les campagnes effectuées antérieurement dans la zone d'étude sont assez anciennes (Figure 22). Les outils géophysiques disponibles à l'époque ne permettaient pas d'obtenir une couverture complète et une bonne image des structures. Néanmoins, toutes ces données sont disponibles et seront utilisées pour un travail de synthèse.

Des profils sismiques pétroliers ont été effectués au Nord de la Somalie (Geco-Prakla). Ils seront intégrés à l'étude, ainsi que ceux tirés au large du sud du Yémen. Ils permettront de compléter l'étude vers la Somalie. De plus, des forages pétroliers publiés existent et seront également utilisés. La figure 22 présente ces campagnes effectuées auparavant dans la zone d'étude. Une seule campagne effectuée en 1995 possédait un seabeam (Figure 22).

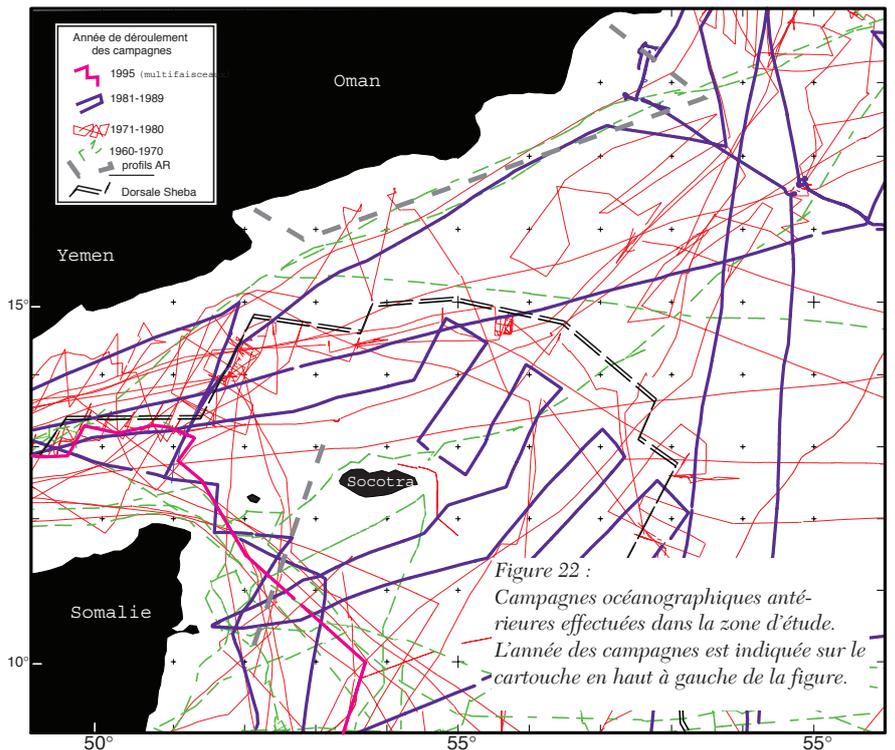


Figure 22 :
Campagnes océanographiques antérieures effectuées dans la zone d'étude.
L'année des campagnes est indiquée sur le cartouche en haut à gauche de la figure.

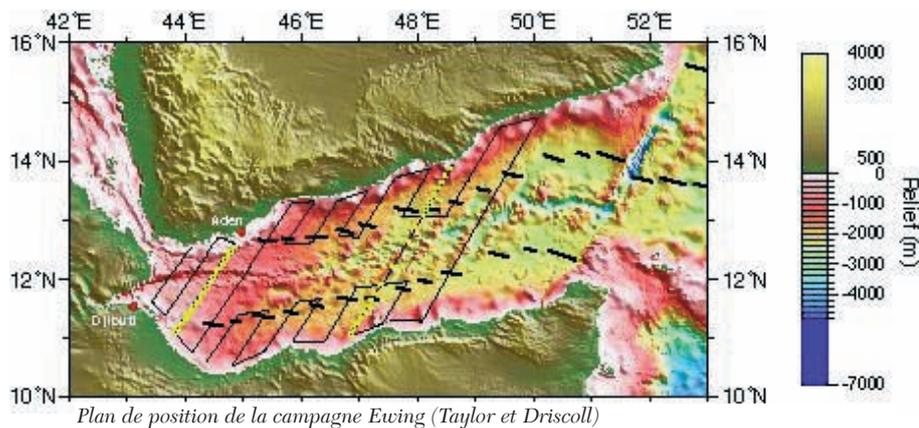
• **Bibliographie sur le sujet**

- Audin, L., Pénétration de la dorsale d'Aden dans la dépression Afar entre 20 et 4 Ma, Thèse de doctorat, Univ. Paris 7, 300p., 1999.
- Beslier, M.-O., Bitri, A., and G. Boillot, Structure de la transition continent-océan d'une marge passive: sismique réflexion multitrace dans la plaine abyssale ibérique (Portugal), C. R. Acad. Sci. Paris, 320, 969-976, 1995.
- Beslier, M.-O., Comen, G. and J. Girardeau, Tectono-metamorphic evolution of the peridotites from the ocean/continent transition of the Iberia abyssal plain margin, Proc. ODP, Sci. Results, 149, 397-412, 1996.
- Bérard, T., Déformation Cénozoïque en Oman, Mémoire de DEA Méthodes Quantitatives et Modélisation des Bassins Sédimentaires, Université P. et M. Curie, 1998.
- Bott, W.F., B.A. Smith, G. Oakes, A.H. Sikander, and A.I. Ibrahim, The tectonic framework and regional hydrocarbon prospectivity of the Gulf of Aden, J. Petrol. Geol., 15, 211-243, 1992.
- Brun, J.P., and M.-O. Beslier, Mantle exhumation at passive margin, Earth Planet. Sci. Lett., 142, 161-173, 1996.
- Cochran, J.R., The Gulf of Aden: structure and evolution of a young ocean basin and continental margin, J. Geophys. Res., 86, 263-287, 1981.
- Cochran, J.R., The magnetic quiet zone in the eastern of the Gulf of Aden: implications for the early development of the continental margin, Geophys. J. Royal Astron. Soc., 68, 171-201, 1982.
- Courtilot, V.E., A. Galdeano, and J.L. Le Mouel, Propagation of an accreting plate boundary: A discussion of new aeromagnetic data in the Gulf of Tadjourah and southern Afar, Earth Planet. Sci. Lett., 47, 144-160, 1980.
- Dauteuil, O., and J.P. Brun, Oblique rifting in a slow spreading ridge, Nature, 361, 145-148, 1993.
- Fantozzi, P.L., Transition from continental to oceanic rifting in the Gulf of Aden: structural evidence from field mapping in Somalia and Yemen, Tectonophysics., 259, 285-311, 1996.
- Fantozzi, P.L. and Sgavetti, M., Tectonic and sedimentary evolution of the eastern Gulf of Aden continental margins: new structural and stratigraphic data from Somalia and Yemen, In Sedimentation and Tectonics of Rift Basins: Red Sea- Gulf of Aden, Edited by B.H. Purser and D.W.J. Bosence, Chapman & Hall, London, 56-76, 1998.
- Fournier, M., P. Patriat, and S. Leroy, Reappraisal of the Arabia-India-Somalia triple junction kinematics, submitted.
- Gente, P., R.A. Pockalny, C. Durand, C. Deplus, M. Maia, G. Ceuleneer, C. Mével, M. Cannat, and C. Laverne, Characteristics and evolution of the segmentation of the Mid-Atlantic ridge between 20°N and 24°N during the last 10 million years., Earth Planet. Sci. Lett., 129, 55-71, 1995.
- Guéguen, E., La méditerranée Occidentale : un véritable océan. Exemple de segmentation des marges et de hiatus cinématiques. Implications sur les processus d'amincissement crustal, Thèse de l'Université de Bretagne Occidentale, 310p, 1995.
- Huang, P.Y., and S.C. Solomon, Centroid depths and mechanisms of mid-ocean ridge earthquakes in Indian ocean, gulf of Aden and Red Sea, J. Geophys. Res., 92, 1361-1382, 1987.
- Hébert, H., Etudes géophysiques d'une dorsale naissante (dorsale d'Aden à l'Ouest de 46°E) et d'une dorsale fossile (dorsale de Wharton) : implications sur les processus de l'accrétion océanique, et la déformation intraplaque de l'Océan Indien, Thèse de doctorat, Univ. Paris 7, 1998
- Huchon, P., F. Jestin, J.M. Cantagrel, J.M. Gaulier, J.M., S. Al Khirbash, and A. Gafaneh, Extensional deformations in Yemen since Oligocene and the Africa-Arabia-Somalia triple junction, Annales Tectonicae, 2, 141-163, 1991.
- Hughes, G.W., O. Varol, and Z.R. Beydoun, Evidence for Middle Oligocene rifting of the gulf of Aden and for Late Oligocene rifting of the Red Sea, Mar. Petr. Geol., 8, 354-358, 1991.
- Jestin, F., and P. Huchon, Cinématique et déformation de la jonction triple mer Rouge - golfe d'Aden - rift éthiopien depuis l'Oligocène, Bull. Soc. Géol. France, 163, 125-133, 1992.
- Jestin, F., P. Huchon, and J.M. Gaulier, The Somalia plate and the East African rift system: Present-day kinematics, Geophys. J. Int., 116, 637-654, 1994.
- Khanbari, K., Propagation d'un rift océanique : Le golfe d' Aden. Ses effets structuraux sur la marge yéménite. Thèse d'université Paris Sud, 221p., 2000.
- Laughton, A.S., The Gulf of Aden, Phil. Trans. Roy. Soc. London, A259, 150-171, 1966.
- Laughton, A.S. and C. Tramontini, Recent studies of the crustal structure of the Gulf of Aden, Tectonophysics., 8, 359-375, 1969.
- Laughton, A.S., R.B. Whitmarsh, and M.T. Jone, The evolution of the Gulf of Aden, Phil. Trans. Roy. Soc. of London, 267, 227-266, 1970.
- Lepvrier, C., M. Fournier, T. Bérard, and J. Roger, Cenozoic extension in coastal Dhofar (southern Oman): implications for the rifting of the Gulf of Aden, submitted to EPSL.
- Lin, J., G.M. Purdy, H. Schouten, J.C. Sempéré, and C. Zervas, Evidence from gravity data for focussed magmatic accretion along the Mid-Atlantic Ridge, Nature, 344, 627-632, 1990.
- Manighetti, I., P. Tapponnier, V. Courtillot, S. Gruszow, and P.Y. Gillot, Propagation of rifting along the Arabia-Somalia plate boundary: The Gulfs of Aden and Tadjourah, J. Geophys. Res., 102, 2681-2710, 1997.
- Manighetti, I., P. Tapponnier, P.Y. Gillot, E. Jacques, V. Courtillot, R. Armijo, R., J.C. Ruegg, and G. King, Propagation of rifting along the Arabia-Somalia plate boundary: Into Afar, J. Geophys. Res., 103, 4947-4974, 1998.
- Mutter, J.C., and J.A. Karson, Structural processes at slow-spreading ridges, Science, 257, 627- 634, 1992.
- Nafe, J.E., J. Hennion, and G. Peter, Geophysical measurements in the Gulf of Aden, Preprints Int. Ocean Congress, 42-43, 1959.
- Platel, J.P. and J. Roger, Evolution géodynamique du Dhofar (Sultanat d'Oman) pendant le Crétacé et le Tertiaire en relation avec l'ouverture du golfe d'Aden, Bull. Soc. Géol. France, 2, 253-263, 1989.
- Reston, T.J., Krawczyk, C.M., and D. Klaeschen, The S reflector west of Galicia (Spain): evidence from pre-stack depth migration for detachment faulting during continental break-up, J. Geophys. Res., 101, 8075-8091, 1996.
- Roger, J., J.P. Platel, C. Cavelier, and C. Bourdillon-de-Grisac, Données nouvelles sur la stratigraphie et l'histoire géologique du Dhofar (Sultanat d'Oman), Bull. Soc. Géol. France, 2, 265-277, 1989.
- Sahota, G., P. Styles, and K. Gerdes, Evolution of the Gulf of Aden and implications for the development of the Red Sea. Proceedings "Rift Sedimentation and Tectonics in the Red Sea-Gulf of Aden Region", University of Sana'a, Yemen, October, p.56, 1995.
- Sandwell, D.T., and W.H.F. Smith, ERS-1 geodetic mission reveals detailed tectonic structures, EOS Trans. AGU, 75, 155, 1994.
- Schüpel, D., and R. Weinholz, The développement of the Tertiary in the Habban-Al Mukalla area, P.D.R. Yemen, Zeitschrift für Geologische Wissenschaften, Berlin, 18, 523-528, 1990.
- Stein C.A. and Cochran J.R., The transition between the Sheba ridge and the Owen basin: rifting of old oceanic lithosphere, Geophys. J. R. astr. Soc., 81, 47-74, 1985.
- Tamsett, D. and R.C. Searle, Structure and development of the midocean ridge plate boundary in the gulf of Aden: evidence from Gloria side scan sonar, J. Geophys. Res., 93, 3157-3178, 1988.
- Tard, F., Masse, P., Walgenwitz, F. and Gruneisen, P., The volcanic passive margin in the vicinity of Aden, Yemen, Bull. Centre Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, 15, 1-9, 1991.
- Taylor, B., A. M. Goodlife, and F. Martinez, How continents break up: Insights from Papua New Guinea, J. Geophys. Res., 104, 7497-7512, 1999.
- Thibaud R., P. Gente, and M. Maia, A systematic analysis of the Mid-Atlantic Ridge morphology and gravity between 15°N and 40°N : constraints of the thermal structure, J. Geophys. Res., 103, 24223-24243, 1998.
- Tisseau, J., Etude structurale du golfe d'Aden et du bassin de Somalie (Océan Indien occidental nord), thèse de doctorat, Univ. Paris Sud, 111p, 1978.
- Tron, V., and J.P. Brun, Experiments on oblique rifting in brittle-ductile systems, Tectonophysics., 188, 71-84, 1991.
- Watchorn, F., G.J. Nichols, and D.W.J. Bosence, Rift-related sedimentation and stratigraphy, southern Yemen (Gulf of Aden), In Sedimentation and Tectonics of Rift Basins: Red Sea- Gulf of Aden, Edited by B.H. Purser and D.W.J. Bosence, Chapman & Hall, London, 165-191, 1998.

• Situation au niveau national et international

Au plan national, cette demande s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre plusieurs laboratoires et plusieurs disciplines. Elle entre dans le groupement thématique du GDR marges : marges jeunes, thermicité, héritage tectonique...

Au plan international, une campagne japonaise sur le R/V Hakuho-maru de l'Université de Tokyo (chefs de mission : K. Tamaki et H. Fujimoto) s'est déroulée dans le golfe d'Aden en décembre 2000-janvier 2001, à laquelle ont pris part P. Huchon et E. D'Acromont (OBM sur la zone d'ENCENS-SHEBA). De plus, une demande NSF de Brian Taylor (Hawaii) et Neal Driscoll (WHOI) sur ce même thème est acceptée. La campagne (MCS-OBS) du R/V M. Ewing est programmée pour septembre-octobre 2001. Une demande de forages ODP est envisagée par les américains. Ces différents projets se déroulent en concertation et en collaboration (participations croisées aux campagnes, traitement commun des données).



Plan de position de la campagne Ewing (Taylor et Driscoll)

• Rattachement aux grands programmes

Cette demande de campagne ENCENS 2 fait partie d'un des chantiers prioritaires du GDR Marges.

À terre, au Yémen et en Oman, les travaux ont été financés en partie par le Ministère des Affaires Etrangères et le programme Peri-Téthys et sont menés en collaboration avec le BRGM. L'installation de stations à terre est envisagée dans le cadre du GDR Marges et de l'INSU et sera couplée avec la présente campagne.

• Cela s'intègre-t-il dans un programme plus large à la mer ? (plusieurs campagnes, récupération de mouillage)

Afin de réaliser une étude approfondie des marges conjuguées du golfe d'Aden, nous proposons, dans le cadre du GDR Marges, un plan de 3 campagnes échelonnées sur plusieurs années et réalisées en totale synergie:

- ENCENS-SHEBA : campagne de reconnaissance géophysique (réalisée en juin 2000)
- ENCENS 2 : campagne de sismique multitrace +OBS (ce projet)
- ENCENS 3 : campagne fluides, thermicité et échantillonnage

Ce plan de campagnes permettra de réaliser une étude complète, pluri-disciplinaire d'un même objet géologique. Rappelons enfin qu'une première campagne a déjà été réalisée dans la partie occidentale du golfe d'Aden (TADJOURADEN; chef de mission: Ph. Huchon).

• Résultats escomptés

Les objectifs et résultats escomptés ont déjà été largement détaillés avant. Concernant les livrables, les données sismiques combinées aux données d'imagerie bathymétrique (ENCENS-SHEBA) permettront d'établir une carte structurale détaillée des marges et du bassin qui pourra être corrélée avec les cartes géologiques à terre. Des coupes terre-mer transverses aux marges seront réalisées le long de transects choisis. Des cartes d'épaisseur des sédiments et de profondeur du socle seront compilées sur les secteurs des marges couverts en sismique.

Les données gravimétriques permettront de compléter la couverture satellitaire, inexistante ou de mauvaise qualité près des côtes. Elles apporteront des contraintes importantes sur la nature et les variations d'épaisseur de croûte ainsi que sur les relations entre la segmentation de la dorsale, la structure de la croûte océanique et la segmentation de la marge. Les modèles de vitesse calculés à partir de la sismique grand-angle seront utilisés pour caler la modélisation gravimétrique 3D du bassin.

L'ensemble des informations recueillies permettra de préciser les modalités de rupture de la croûte continentale pendant la propagation d'un rift et la mise en place d'une dorsale. Les modèles obtenus à partir de ces données seront comparés à ceux réalisés dans la partie occidentale du golfe (Manighetti et al., 1998; Audin, 1999; Hébert, 1998).

STRATÉGIE D'APPROCHE ET MÉTHODES

• **Méthodologie détaillée** et liste précise des travaux pour atteindre les résultats escomptés - stratégie

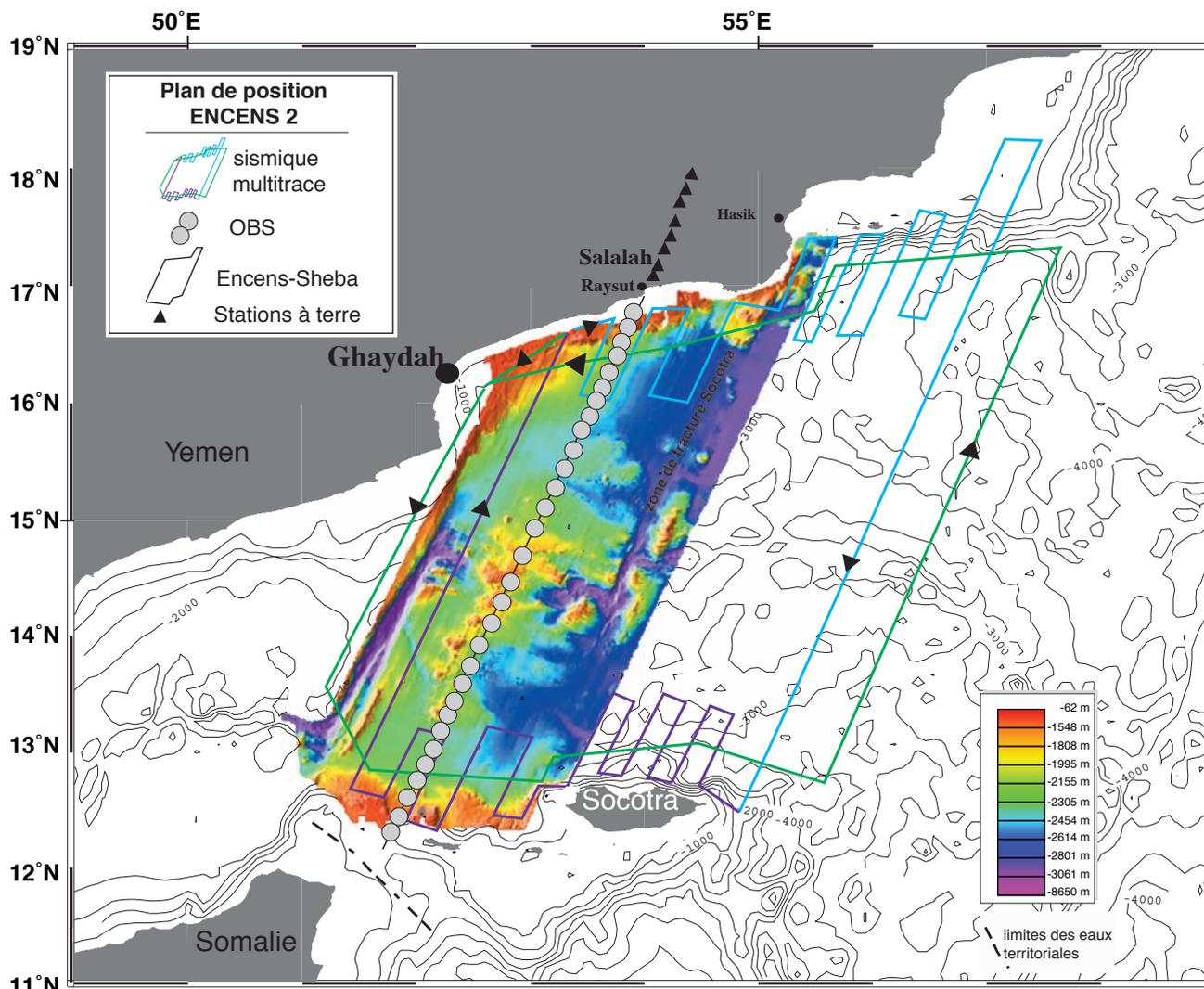


Figure 23 : plan de position de la campagne ENCENS 2. La carte bathymétrique de la campagne Encens-Sheba est complétée par celle extraite du fichier global de Sandwell (1998); l'équidistance des courbes est de 500m

La zone d'étude est divisée en 3 segments de premier ordre par les transformantes d'Alula-Fartak et de Socotra. La stratégie d'approche consiste (Fig. 23) :

1. à lever des profils sériés de sismique multitrace perpendiculaires aux marges et parallèles à la direction d'expansion, de l'anomalie 5B jusqu'à la côte,

2. à recouper les profils précédents par des profils de sismique multitrace perpendiculaires (c'est-à-dire parallèles aux marges et perpendiculaires aux transformantes) pour définir avec précision et corréler les structures crustales. Ce recouplement est indispensable pour la modélisation de la structure profonde du bassin.

3. à lever à travers chaque segment du bassin un profil de sismique multitrace de marge à marge,

4. à réaliser un profil OBS de marge à marge à travers le

ment central pour contraindre les modèles de vitesse et préciser la structure profonde des marges conjuguées, de la transition continent-océan et de la croûte océanique. 30 OBS (15 en provenance de l'IRD-Géosciences Azur et 15 en provenance de l'ERI) seront déployés le long de ce profil. Les signaux sismiques seront enregistrés à terre dans le prolongement du profil OBS, au nord dans la région de Salalah, et au sud grâce à une station OBS déposée en faible profondeur d'eau entre l'île de Socotra et la corne de l'Afrique. À terre sur la marge nord, le profil OBS sera prolongé par 12 stations sismologiques courte période qui enregistreront les tirs émis par le navire jusqu'à une distance de ~100 km de la côte, ce qui permettra d'enregistrer les réfractées profondes (limite croûte-manteau). À partir de la côte, nous disposerons 4, 5, 2 et 1 stations espacées respectivement de 5, 8, 10 et 15 km en recoupant la marge dans le pro-

DOCUMENT N°2 suite

Dossier de demande : **ENCENS 2**

longement du profil OBS en mer. L'accès à l'arrière-pays du Dhofar pour déposer les stations est relativement aisé par la route nationale 31 goudronnée qui relie Salalah à Mascate et par les quelques routes et pistes qui en partent. Nous serons assistés dans cette opération par A. Al Kathiri du Directorate General of Minerals à Salalah. Les stations sismologiques seront demandées au parc Lithoscope de l'INSU; nous utiliserons des stations ATOS ou TITAN courte-période (2Hz) équipées de capteurs trois composantes (Chinois ou LAC). Le financement de la pose des stations terrestres sera pris en charge par le GDR Marges.

La sismique multitrace mise en œuvre est une sismique lourde. 10 canons GI (2000 inch³) en mode harmonique seront déployés avec la flûte numérique 360 traces. L'espacement entre les tirs sera de 50 mètres à une vitesse de 5 nœuds.

Le profil de sismique réfraction OBS sera acquis grâce à une source composée de 8 canons à air Bolt d'un volume de 16 litres avec un tir tous les 150 mètres à une vitesse de 5 nœuds. Ce dispositif permettra d'acquérir des données grand-angle de bonne qualité par des géophones et des hydrophones, quelle que soit la profondeur d'eau (Christenson et al., 1996). Les stations marines seront positionnées sur un fond bathymétrique connu grâce aux levés de la campagne ENCENS-SHEBA. Un profil de sismique réflexion longue écoute sera enregistré avec la flûte 360 traces pendant le profil OBS.

Outre l'acquisition des données sismiques, des levés bathymétriques, magnétiques et gravimétriques seront enregistrés en continu.

• **Déroulement général de la mission**, durée totale, temps sur zone, période souhaitée, escale éventuelle et raisons de ce souhait, carte de situation générale

Compte tenu des outils mis en œuvre (MCS + OBS) et de leurs spécificités propres, la campagne sera organisée en deux parties afin de pouvoir enregistrer les données MCS d'une part, et les données OBS d'autre part, dans les meilleures conditions d'acquisition. Une campagne en 2 legs avec une courte escale intermédiaire est donc envisageable. La durée sur zone nécessaire est de **41 jours**. Le port de départ et d'arrivée peut être Djibouti ou Raysut (Oman). Le temps de transit depuis Djibouti est d'environ 2 jours (AS), et nul depuis Raysut ce qui rend possible une brève escale entre 2 legs.

Objectifs sismique réflexion multitrace

11 profils (de couleur bleue sur le figure 23) seront d'abord réalisés perpendiculairement à la marge nord reliés par 10 profils parallèles à la marge (Fig. 23). Un long profil de marge à marge (Fig. 23) sera réalisé en fin de zone pour rejoindre la marge sud où s'opèrera le même scénario. Des profils (trait violet, Fig. 23) seront perpendiculaires à la marge et reliés par des profils parallèles à la marge (Fig. 23). Un long profil de marge à

marge (Fig. 23, trait violet) terminera cette première rotation.

Une seconde rotation (traits verts) sera réalisée afin de recouper tous les profils précédents perpendiculaires aux marges (et parallèles à la direction d'expansion) pour effectuer les croisements nécessaires aux corrélations des structures. Des profils recouper orthogonalement les transformantes d'Alula Fartak et de Socotra. Deux longs profils de marge à marge en limite ouest et est de la zone d'étude (Fig. 23; trait vert) s'ajouteront aux précédents transects (bleu et violet). A l'issue de l'enregistrement du profil nord (vert), la flûte et les canons seront relevés.

L'ensemble de ces profils nous permettra d'obtenir un levé complet et homogène de cette partie du golfe d'Aden.

Objectifs sismique grand angle

Un seul profil OBS est prévu dans la partie centrale de la zone d'étude, compte tenu du nombre d'OBS disponibles (30), de l'espacement entre deux stations marines imposés par l'objectif d'atteindre les niveaux crustaux profonds, et du temps nécessaire à la mise en place du dispositif.

Le profil combiné réfraction OBS et sismique réflexion sera orienté N30°E perpendiculairement à la structuration majeure des marges, ce qui est préférable pour l'acquisition grand angle. L'équidistance proposé des OBS varie en fonction de la nature du milieu concerné. Sur les marges la distance entre OBS sera de 10 km et atteindra 25 km sur la croûte océanique la plus jeune.

• **Scénario et plans détaillés de la mission**

ESTIMATION DU TEMPS NECESSAIRE AUX OPERATIONS

Le tableau ci-dessous indique la longueur des profils en milles nautiques et la figure 23 montre le plan de position proposé pour la campagne ENCENS 2.

	nbre de milles	Nbre de jours	Outil
Mise à l'eau flûte		1	
Marge Nord	1270	10,5	MCS
Marge Sud	793	7	MCS
P25 à 31	1122	9,3	MCS
Remontée flûte		0,5	
Mise à l'eau OBS		2,5	OBS
Mise à l'eau flûte		1	
OBS	293	2,7	OBS - MCS
Remontée flûte		0,5	
Récupération OBS		6	OBS

TOTAL = 41 jours

DOCUMENT N°3

Dossier de demande : **ENCENS 2**

Date : Janvier 2001

MOYENS À METTRE EN ŒUVRE

• Navire support, submersibles et positionnement

Le N/O Marion Dufresne II ou l'Atalante sont des navires support adaptés pour cette campagne.

Le positionnement GPS standard sera utilisé.

• Équipements de base :

matériel mis en oeuvre par GENAVIR, par l'I.F.R.T.P., ou par l'IRD

Sismique multitrace numérique
10 canons GI et 8 canons air BOLT
compresseurs,
flûte numérique
Sondeur multifaisceaux
3.5 kHz
Gravimètre
Magnétomètre à protons
Container de traitement sismique

matériel propre de l'équipe demanderesse

Stations de travail + périphériques pour le prétraitement des données sismiques, bathymétrie multi-faisceaux et gravimétrie.

15 OBS de l'IRD-Géosciences Azur
15 OBS de l'Earthquake Research Institute, Tokyo

• Installations du navire qui doivent être utilisées
celles pour la mise en oeuvre des équipements listés ci-dessus

• Personnel spécialisé

Spécialistes de la sismique réflexion multitrace
Opérateurs acquisition et rejeu du sondeur multifaisceaux

• Besoins en équipements ou matériels complémentaires : quel type ? Quelles spécifications ?
non

• Est-il prévu d'embarquer des produits chimiques ou radioactifs (lesquels) ?
non

• Évaluation du coût de fonctionnement à la charge de l'équipe scientifique

Préparation de la campagne:
communications (fax/tél) et divers : 10000 F
Fret, transport de matériel 50 000 F
(pour OBS voir ci-après)
Voyages équipe scientifique 100000F
soit un total de 160 000 F

ÉVALUATION DU COUT DE FONCTIONNEMENT DES OBS IRD (2002)

Nombre d'OBS 15
Nombre de mise à l'eau 1

Consommable	Quantité	Quantité totale	Prix unitaire (FF)	Remarques	Coût total (FF)
Pack 2x5 piles lithium SL780-T (CPU)	1,00 par OBS	15	1500	Transport avion cargo	22500
Pack de piles alcalines MCA0006, 15 volts	1,00 par mise à l'eau	15	300		4500
Châssis-lest	1,00 par mise à l'eau	15	1000	Embarquement en France	15000
Support magnétique pour sauvegarde	2,00 par mise à l'eau	30	100		3000
Joint butyl (rouleau)	0,30 par mise à l'eau	4,5	300	achat en dollars	1450
Scotch 2M (rouleau)	0,20 par mise à l'eau	3	300	achat en dollars	900
Piles Lithium PCL8050 (3 Volts)	12,00 par OBS	180	130	achat en dollars	23400
Divers (piles alcalines balises...)	1,00 par OBS	15	600		9000
Renouvellement des sphères, connecteurs, balises...	1,00 par OBS	15	4000	achat en dollars	60000
Bouteille azote 00 (UTI)	1,00 par campagne	1	1000	location sur place	1000
Total consommable					140 750 FF

Transport	Quantité	Poids unitaire (kg)	Poids total kg	Prix par kg	Remarques	Coût total (FF)
Sphères	15	50	750	30	par avion cargo	22500
Electronique OBS	15	15	225	30	par avion cargo	6750
Balises HF	15	5	75	30	par avion cargo	2250
Equipement annexe		600		30	par avion cargo	18000
Total	1650	30				49 500
Total transport A/R						99 000

TOTAL OPÉRATION (FF) 239 750
(EUROS) 36 550

NB: le coût de transport et de mise en oeuvre des OBS japonais sera pris en charge par l'ERI.

EQUIPE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Equipe demanderesse

Equipe embarquée

- BESLIER Marie-Odile, CR CNRS, Géosciences Azur Villefranche sur mer, géologue marin
 - D'ACREMONT Elia, Etudiante, Univ. Paris 6,
 - DRISCOLL Neal, CR, SIO, géologue marin
 - FOURNIER Marc, chef de projet, MC, Univ. Paris 6, tectonicien
 - HUCHON Philippe, co-chef de mission, Pr, Géosciences Azur, Villefranche sur mer, géologue-géophysicien
 - KHANBARI Khaled, MC, Univ. Sana
 - LEROY Sylvie, co-chef de mission, CR CNRS, Univ. Paris 6, géologue-géophysicien marin
 - PATRIAT Philippe, DR CNRS, IPG Paris, géophysicien marin
 - PERROT Julie, MC, IUEM Brest, géophysicienne
 - ROBIN Cécile, MC, Paris 6, sédimentologue
 - RUELLAN Pierre-Yves, Etudiant, Univ. Paris 6
 - SAGE Françoise, MC, Villefranche sur mer, géophysicienne
 - YAMADA Tomoaki, MC, ERI, Tokyo, géophysicien
 - X et Y, ERI, Tokyo
- + équipe technique Géosciences Azur pour les OBS

Equipe à terre (stations sismologiques)

- AL KATHIRI Ali, Ministère de l'Industrie, Salalah, Oman
- BETHOUX Nicole, MC, GéoAzur, géophysicienne
- LEPVRIER Claude, MC, Univ. Paris 6, tectonicien
- PETIT Carole, MC, Univ. Paris 6, géophysicienne

Collaborations à terre :

- BUROV Evgenii, Pr, Paris 6, géophysicien
- DANIEL Jean-Marc, CR, IFP, géophysicien
- DAUTEUIL Olivier, CR, Rennes, tectonicien
- GENTE Pascal CR, IUEM, Brest, géologue marin
- JOLIVET Laurent, PR, Univ. Paris 6, tectonicien
- RUELLAN Etienne, Géosciences Azur, géologue marin

Collaborations internationales

- Oman: Ministère du Commerce et de l'Industrie
- Yemen: Université de Sana'a
- Japon: Earthquake Research Institute
- US: Scripps Institution of Oceanography

Présentation des références scientifiques récentes (5 ans) de l'équipe demanderesse.

1) Campagne Casis.

Leroy, S., 1995. Structure et origine de la plaque caraïbe. Implications géodynamiques. Thèse de l'Université de Paris, 240 p.

Leroy, S. and Mauffret, A., 1996. Intraplate deformation in the Caribbean region. *J. Geodynamics*, 21, 113-122.

Leroy, S., Mercier de Lepinay, B., Mauffret, A. and Pubellier, M., 1996. Structure and tectonic evolution of the Eastern Cayman Trough (Caribbean Sea) from seismic reflection data. *Am. Assoc. Petrol. Geol.*

Bull., 80, 222-247.

Leroy, S., Bitri, A., Mauffret, A. 1996. Prestack depth migration velocity analysis applied to the seismic data of the Caribbean volcanic plateau. *Gephys. J. Int.*, 125, 199-213.

Mauffret, A., Mercier de Lepinay, B., Leroy, S., Vila, J.M., Campan, A., Green, C., Gorini, C., Marton, G. and Reyes, J.R., 1994. Premiers résultats de la campagne Casis dans le bassin Caraïbe. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 318, 1379-1386.

Mauffret, A. and Leroy, S., 1997. Seismic stratigraphy and structure of the Caribbean Sea. *Tectonophysics*, 283, 61-104.

Mauffret, A. and Leroy, S., 1999. Structure and tectonics of the Beata Ridge and adjacent areas. In: Mann, P. (Eds), *Caribbean Sedimentary Basins*. vol 4, 629-640.

Pubellier, M., Mauffret, A., Leroy, S. and Vila, J.M., 1999. Plate boundary Readjustements in oblique convergence: example of the Noegene of Hispaniola, Greater Antilles. *Tectonics*, 19, 630-648.

Leroy, S., Mauffret A., Patriat P., & Mercier de Lépinay B., 2000. Alternative interpretation of the Cayman trough evolution from magnetic data. *Geophysical J. Int.*, 141, 539-557.

2) Campagne NAUTICA (1996)

Mauffret, A., Leroy, S., Vila, J.M., Hallot, E., Mercier de Lepinay, B., and Duncan, R., 1998. Diving submersible survey reveals the deep anatomy of the Caribbean igneous province. *J. Geophys. Res.* accepté.

Fournier, M., L. Jolivet, and O. Fabbri, Neogene stress field in SW Japan and mechanism of deformation during the Japan Sea opening, J. Geophys. Res., 100, B12, 24,295-24,314, 1995.

Jolivet, L., H. Shibuya, and M. Fournier, Paleomagnetic rotations and the Japan Sea opening, in Active Margins and Marginal Basins of Western Pacific, Geophys. Monogr. Ser., vol. 88, edited by Brian Taylor and James Natland, pp. 355-369, AGU, Washington, D. C., 1995.

Fabbri, O., J. Charvet, and M. Fournier, Alternate senses of displacement along the Tsushima fault system during the Neogene based on fracture analyses near the western margin of the Japan Sea, Tectonophysics, 257, 275-295, 1996.

Le Pichon, X., S. F. Pollitz, M. Fournier, J. P. Cadet, S. Lallemand, and N. Chamot-Rooke, Distribution of shortening landward and oceanward of the eastern Nankai Trough due to the Izu-Ogasawara ridge collision, Earth Planet Sci. Lett., 137, 145-156, 1996.

Fabbri, O., and Fournier, M., Extension in the southern Ryukyu arc (Japan): Link with oblique subduction and back-arc rifting, Tectonics., 18, 486-497, 1999.

Jolivet, L., C. Faccenna, N. d'Agostino, M. Fournier, and D. Worrall, The kinematics of marginal basins, Geol. Soc. London., 1998.

Lallemand, S., S.-S. Liu, S. Dominguez, P. Schnürle, J. Malavieille, and the ACT scientific crew (including M. Fournier), Trench-parallel stretching and folding of forearc basins and lateral migration of accretionary wedges in the southern Ryukyus: a case of strain partition caused by oblique convergence, Tectonics, accepté 1998.

Sibuet, J.C., B. Deffontaines, S.-K. Hsu, N. Thureau, J.P. Le Formal, C.-S. Liu, and the ACT scientific crew (including M. Fournier), Okinawa Trough backarc basin: Early tectonic and magmatic. J. Geophys. Res., accepté 1998.

Fournier, M., O. Fabri, J. Angelier and JP Cadet, Kinematics and timing of opening of the Okinawa trough: insights from regional seismicity and onland deformation in the Ryukyu arc., JGR, accepté.

DOCUMENT N°4 suite

Dossier de demande : **ENCENS 2**

Fournier, M., P. Patriat, and S. Leroy, Reappraisal of the Arabia-India-Somalia triple junction kinematic, EPSL, accepté.

Belarouchi A., Laverne C., *Gente P.*, Agrinier P. et Cotten J., 1996. Altération à basse température des basaltes en domaine océanique et comportement des terres rares (SEADMA I - ride médio-Atlantique, 20°-24°N), Bull. Soc. Geol. de France, 167, 543-558.

Cannat M. et al. (dont *Gente P.*) 1995 - Thin crust, ultramafic exposures, and rugged faulting patterns at Mid-Atlantic Ridge (22 degrees 24 degrees N). Geology. 23 (1) : 49-52.

Durand C., Ballu V., *Gente P.* et Dubois J., 1996. Horst and graben structures on the flanks of the Mid-Atlantic Ridge. Tectonophysics, 265, 275-297.

Durand, C., *Gente, P.* and *Dauteuil, O.* 1995 - Caractéristiques morphologiques des segment axiaux de la dorsales Médio-atlantique entre 20°N et 24°N. CR. Acad. Sci. Paris, 320, Ila, 411-418.

Gente P et al. (dont *Maia M.* et *Ceuleneer G.*). 1995 Characteristics and evolution of the segmentation of the Mid-Atlantic ridge between 20°N and 24°N during the last 10 million years. Earth and Planetary Science Letters. 129 (1-4) : 55-71.

Gente P., 1995. Segmentation et formation des reliefs des dorsales : implications sur les processus de l'accrétion. Habilitation à diriger les recherches, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 428p.

Gente P., *Ceuleneer G.*, *Dauteuil O.*, *Dyment J.*, *Honsho C.*, *Laverne C.*, *Le Turdu C.*, *Mitchell N.C.*, *Ravilly M.* and *Thibaud R.*, 1996. On- and off-axis submersible investigations on an highly magmatic segment of the Mid-Atlantic Ridge (21°40'N) : the TAMMAR cruise. InterRidge News, 5, 27-31.

Macdonald K.C., *Fox P.J.*, *Alexander R.T.*, *Pockalny R.A.* and *Gente P.*, 1996. Volcanic growth faults and the origin of Pacific abyssal hills, Nature, 380, 125-129.

Maia M. et *Gente P.*, 1998. Three-dimensional gravity and bathymetry analysis of the Mid-Atlantic Ridge between 20° and 24°N : flow geometry and temporal evolution of the segmentation. J. Geophys. Res., 103, 951-974.

German, C.R., Baker, E.T., Mével, C. and Tamaki, K. and the FUJI Scientific team (dont *Patriat Ph.*), 1998 - Hydrothermal activity along the South West Indian Ridge - Nature, 395, 490-493.

Rommevaux-Jestin C., Deplus C. and *Patriat Ph.*, 1997 - Mantle Bouguer anomaly along a super-slow spreading ridge : comparison with Mid-Atlantic Ridge and implications on the accretionary processes - Mar. Geophys. Res., 19/5, 481-503.

Sauter, D., Mendel, V., Rommevaux-Jestin, C., Munsch, M. and *Patriat, Ph.*, 1997 - Propagation of the Southwest Indian Ridge at the Rodrigues Triple Junction - Mar. Geophys. Res., 19/5, 553-567.

Huchon, P., *Nguyen, T.N.H.* & *Chamot-Rooke, N.*, Propagation of continental break-up in the south-western South China Sea, In: *Wilson, R.C.L.*, *Whitmarsh, R.B.*, *Taylor, B.* & *Froitzheim, N* (eds): Non-volcanic rifting of continental margins: a comparison of evidence from land and sea; Geological Society, London, Special Publication, sous presse.

Dauteuil, O., *Huchon, P.*, *Quemeneur, F.* & *Souriot, T.*, Propagation of an oblique rift: the western Gulf of Aden, Tectonophysics, sous presse

Hébert, H., Deplus, C., *Huchon, P.*, *Khanbari, K* & *Audin, L.*, Lithospheric structure of a nascent spreading ridge inferred from gravity data: the western Gulf of Aden, J. Geophys. Res., sous presse

Audin L., *Tapponnier P.*, *Manighetti I.*, *Métivier F.* & *Huchon P.*, Fault propagation and climatic control of sedimentation on the Ghoubbet

Rift floor: insights from the Tadjouraden cruise in the western gulf of Aden, Geophys. J. Int., 144, 1-28, 2001.

Walpersdorf A., *Vigny C.*, *Ruegg J.C.*, *Huchon P.*, *Asfaw L.M.* & *Al Khirbash S.*, 5 years of GPS observations on the Arta-Sana'a baseline across the Afar triple junction, J. of Geodynamics, 28, 2-3, 225-236, 1999.

Taylor B., *Huchon P.*, *Klaus A.* & the Leg 180 Scientific Party, Continental Rifting, Low-angle Normal Faulting and Deep Biosphere: Results of Leg 180 Drilling in the Woodlark Basin JOIDES Journal, 25,1 4-7, 1999.

Taylor B., *Huchon P.*, *Klaus A.* & the Leg 180 Scientific Party, Continental Rifting, Low-angle Normal Faulting and Deep Biosphere: Results of Leg 180 Drilling in the Woodlark Basin MARGINS Newsletter, 3, 8-11, 1999.

Taylor B., *Huchon P.*, *Klaus A.* et al., Proceedings ODP, Initial Reports, leg 180 [CD-ROM] 1999. Available: Ocean Drilling Program, Texas A&M University, College Station, TX 778 45-9547, U.S.A

Geoffroy L., *Huchon P.* & *Khanbari K.*, Did Yemeni tertiary granites intrude neck zones of a stretched continental upper crust ? Terra Nova, 10, 4, 196-200, 1998

Huchon, P., *Nguyen T. N. H.* & *Chamot-Rooke N.* Finite extension across the South Vietnam basins from 3D gravimetric modeling: relation to South China Sea kinematics, Mar. Petrol. Geol., 15, 619-634, 1998

Lallemant S.J., *Taira A.*, *Huchon P.*, *Tokuyama H.*, *Henry P.*, *Mazzotti S.*, *Le Pichon X.* & *KAIKO TOKAI'96* on board scientific party, Shallow decollement at the toe of the Eastern Nankai accretionary wedge revisited, new insights from a deep tow SAR/PASISAR survey (KAIKO TOKAI 1996 cruise), C.R.Acad.Sc., 326, 877-884, 1998

Huchon P., *Tokuyama H.*, *Lallemant S.J.*, *Taira A.*, *Le Pichon X.*, *Mazzotti S.* & *KAIKO TOKAI'96* on board scientific party Pervasive dextral strike-slip faulting within the backstop of the Eastern Nankai wedge confirmed by deep-towed seismic data (KAIKO TOKAI'96 cruise), C.R.Acad.Sc., 326, 869-875, 1998

Marquis, G., *Roques, D.*, *Huchon, P.*, *Coulon, O.*, *Chamot-Rooke N.*, *Rangin, C.* & *Le Pichon, X.*, Amount and timing of extension along the continental margin off central Vietnam, Bull. Soc. géol. Fr., 168, 6, 15-24, 1997

Roques, D., *Rangin, C.* & *Huchon, P.* Geometry and sense of motion along the Vietnam continental margin: onshore / offshore Danang area, Bull. Soc. géol. Fr., 168, 4, 413-422, 1997.

Le Pichon, X., *Lallemant, S.*, *Tokuyama, H.*, *Thoué, F.*, *Huchon, P.* & *Henry, P.*, Structure and evolution of the backstop in the eastern Nankai trough area (Japan) : implications for the soon to come Tokai earthquake, Island arcs, 5, 440-454, 1996

DOCUMENT N°5

Dossier de demande : **ENCENS 2**
Date : Janvier 2001

PLAN D'EXPLOITATION DES DONNÉES

• Calendrier

L'ensemble des données sera traité dans les deux années suivant la campagne.

• Type de traitement des données à bord et à terre : informatique et laboratoire

A bord :

Navigation : contrôle de qualité, traitement (si nécessaire), et archivage des données de navigation.

Sismique multitrace : prétraitement des données sismiques (géovecteur plus). Filtrages, déconvolution, analyse de vitesse, sommation, migration post-sommation.

Sismique grand angle (OBS) : relocalisation des OBS, création des fichiers de tir, modélisation préliminaire des temps de trajet.

Prétraitement des données **gravimétriques** et **magnétiques**

Prétraitement des données **bathymétriques multifaisceaux**

Interprétation préliminaire de l'ensemble des données

A terre:

Traitement de la sismique multitrace

Dans un premier temps, les données sismiques seront traitées de façon conventionnelle (déconvolution, analyse de vitesse, sommation et migration) grâce au logiciel Geovecteur +.

Dans un deuxième temps, les données seront traitées avec la méthode de migration avant sommation en profondeur, disponible au laboratoire de tectonique de l'UPMC (Leroy et al., 1996). Pour ce type de traitement, des zones clés seront sélectionnées. D'autres traitements spécifiques seront effectués (DMO, anti-multiples) en fonction du type de données récoltées.

Traitement des OBS

Le premier objectif du traitement de la sismique grand angle est de déterminer un modèle de vitesse 2D de la structure crustale. Ce modèle sera, par ailleurs, utilisé pour le traitement des données de sismique réflexion. Pour déterminer ce modèle, nous utiliserons des méthodes de tomographie des écarts de temps de trajet.

L'UMR Géosciences Azur et l'ERI possèdent l'expérience de ce type de données et les logiciels nécessaires à leur traitement.

Traitement des données **magnétiques** et **gravimétriques**, modélisations 2D et 3D

Interprétation de l'ensemble des données pour constituer un **schéma structural** complet

Modélisation à l'échelle du golfe d'Aden.

• Coût et financement de l'exploitation des données à terre

Une demande de financement sera déposée à l'INSU (groupe ad hoc Océans)

• Moyens complémentaires demandés (budget, origine du financement, acquis ou envisagé)

Néant

• Prévision et calendrier de publication des résultats

court article préliminaire dans l'année suivant la campagne
articles complets dans les 2-3 ans

préparation de mémoires de DEA et d'une ou plusieurs thèses

• Problèmes particuliers

Néant

DOCUMENT N°6

Dossier de demande : **ENCENS 2**
Date : Janvier 2001

INTÉGRATION AU NIVEAU NATIONAL ET INTERNATIONAL

• **Distinction entre travaux Eaux internationales - ZEE - Eaux territoriales**

La partie Nord de la campagne se situe dans les eaux territoriales et ZEE du Yemen et Oman.

La partie Sud intéresse les eaux territoriales et ZEE du Yemen (Socotra et îles voisines).

• **Contacts préliminaires éventuellement pris et interlocuteurs privilégiés des pays riverains**

• Oman: Ministère du Commerce et de l'Industrie

Hilal Mohammed Al-Azri
Deputy Director General of Minerals
Ministry of Commerce & Industry
Muscat, Sultanate of Oman

• Yemen: Université de Sana'a

Khaled Khanbari, qui a soutenu sa thèse à l'Ecole Normale Supérieure en 2000

• **Personnel étranger invité**

Oman (1), Yémen (1), Japon (3), US (1)

• **Manifestations éventuelles post-campagnes (colloques, conférences, échanges de personnel)**

Présentations des résultats dans des congrès nationaux et internationaux.

• **Engagements contractuels dans le cadre de programmes européens**

non

DOCUMENT N°7

Dossier de demande : **ENCENS 2**

Date : Janvier 2001

CURRICULUM VITÆ DU CHEF DE PROJET ET DES CO-CHEF DE MISSION

Marc FOURNIER

né le 3 Mai 1966 à Saint-Cloud (92), français, 2 enfants
unité de rattachement : ESA 7072 Tectonique, UPMC,
Case 129, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

1990-94 Doctorat de l'Université P. et M. Curie effectué à
l'Ecole Normale Supérieure

1992-93 CSN à l'Université de Tokyo, Japon (16 mois)

1994-96 ATER à l'Université de Cergy-Pontoise puis à
l'Université P. et M. Curie

1996 Maître de conférences à l'Université P. et M. Curie

CAMPAGNES OCEANOGRAPHIQUES

1992 RV Yokosuka (JAMSTEC), plongées en Shinkai
6500 sur le prisme de Nankai

1992 RV Natsushima (JAMSTEC), plongées en Shinkai
2000 sur le prisme de Nankai

1996 ACT (S. Lallemand), L'Atalante, zone de collision de
Taiwan

2000 Encens-Sheba (S. Leroy et P. Gente), Marion-
Dufresne, golfe d'Aden oriental

Sylvie LEROY

née le 27 Mars 1970 à Douai (59), française, 2 enfants
unité de rattachement : ESA 7072 Tectonique, UPMC,
Case 129, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

1992-95 Doctorat de l'Université P. et M. Curie (Paris VI),
spécialité Géophysique et Géodynamique,

1996 Stage Post-doctoral à l'Ecole Normale Supérieure,
Laboratoire de Géologie.

1996-97 ATER à l'Université de Paris VI, Laboratoire de
Géotectonique.

1997 CR2 CNRS (section 11) à l'URA 1759 devenue
l'ESA 7072 (1998) Tectonique.

CAMPAGNES OCEANOGRAPHIQUES

1992 SUMENTA II (J. Malod), Baruna Jaya III (SCS),
bassin avant-arc de Sumatra (Indonésie)

1995 EW9502 (J. Diebold, N. Driscoll), Ewing
(MCS, Sonobuoy), Bassin Caraïbe

1995 BRÉTANE (A. Mauffret), L'Atalante (Simrad), El Asnam

1996 NAUTICA (A. Mauffret), Nadir (Nautile), ride de
Beata (Caraïbes)

1996 RINALIG (J. Deverchère), Téthys II (OBS), mer
Ligure

1999 CASIS II (A. Mauffret), Nadir (MCS), ride de
Beata, Nicaragua, bassin de Colombie (Caraïbes)

2000 Encens-Sheba (S. Leroy et P. Gente), Marion-
Dufresne, golfe d'Aden oriental

Philippe HUCHON

né le 1er octobre 1956 à Argenteuil (Val d'Oise), français,
marié, 2 enfants

Directeur de recherche 2ème classe au CNRS, Professeur à
l'Université Pierre et Marie Curie.

Unité de rattachement : UMR6526 "Géosciences Azur",
Observatoire de Villefranche sur mer, France.

1982 Thèse de 3ème cycle à l'Université Paris 6

1995 Thèse d'Etat

CAMPAGNES A LA MER

*Participation à 15 campagnes, dont 6 en tant que chef de
mission.*

Dernières campagnes réalisées:

KH005, décembre 2000, Hakuho Maru, golfe d'Aden cen-
tral

ODP LEG 180, Juin-Août 1998, co-chef de mission, D/V
Joides Resolution (bassin de Woodlark, étude par forage d'une
faille normale active)

KAIKO-TOKAI leg 2, Avril 1996, co-chef de mission, R/V
L'Atalante (étude du prisme de Nankai par bathymétrie multi-
faisceaux, SAR et sismique près du fond PASISAR)

TADJOURADEN, Septembre 1995, chef de mission, R/V
L'Atalante (étude de la terminaison occidentale du golfe d'Aden
par bathymétrie multifaisceaux, sismique, gravimétrie et magné-
tisme)

Campagnes de sismique multitrace

PHEDRE, 1991, R/V Marion Dufresne (Océan indien cen-
tral, imagerie sismique de la déformation compressive intra-
plaque océanique)

PASIPHAE, 1988, co-chef de mission, R/V Jean Charcot et
R/V Le Noroit (étude de la structure crustale de la Méditerranée
orientale par sismique réfraction et réflexion grand angle à deux
bateaux)

KAIKO 88, R/V Daigo Kaiko Maru (imagerie sismique de la
ride de Zenisu et du prisme d'accrétion de Nankai, Japon)

DOCUMENT N°8

Dossier de demande : **ENCENS 2**

Date : Janvier 2001

ACCORD DES CHERCHEURS

(chaque chercheur devra indiquer les campagnes pour lesquelles il a donné son accord)

Marc Fournier

Philippe Patriat

Sylvie Leroy

Julie Perrot

Philippe Huchon

Carole Petit

Marie Odile Beslier

Cécile Robin

Nicole Béthoux

Ruellan Pierre-Yves

Driscoll Neal

Françoise Sage

D'Acremont Elia

Yamada Tomoaki

Claude Lepvrier

DOCUMENT N°9

Dossier de demande : **ENCENS 2**

Date : Janvier 2001

FICHE IFRTP

A ne remplir que si la campagne nécessite la mise en œuvre du Marion Dufresne

BUDGET DEMANDÉ A L'IFRTP (MATÉRIEL) :

1. Achats demandés à l'IFRTP en investissement (KF)

Liste détaillée le cas échéant.

2. Achats demandés à l'IFRTP en fonctionnement (KF)

Liste détaillée le cas échéant.

Consommables (Cassettes...)	10 kF
Préparation de campagne (tirages, tél...)	20 kF

3. Frais annexes (mentionner le poids -kg- dans chaque cas) :

Transport routier, SNCF :

Transport maritime (autre que "MD") :

Transport avion : fret 100 kF

Participations financières autres (laboratoires, organismes)

Nom, adresse, téléphone et fax, budget accordé.

Budget prévisionnel demandé à l'IFRTP (matériel)

. Investissement (KF) :
. Fonctionnement (KF) : 30 kF
. Transport (KF) : 100 kF

PERSONNEL

DOCUMENT N°10

Dossier de demande : **ENCENS 2**

Date : Janvier 2001

FICHE IFRTP

A ne remplir que si la campagne nécessite la mise en œuvre du Marion Dufresne

PERSONNEL DEMANDÉ

A - PERSONNEL SALARIÉ :

NOM - PRÉNOM	ORGANISME(CNRS, UNIVERSITÉ...)	INDICE	SITUATION DE FAMILLE	RÉSERVÉ IFRTP
LEROY SYLVIE	CNRS	CR2	Célibataire	
FOURNIER MARC	Paris 6	MC1	Célibataire	
HUCHON Philippe	Paris 6	PR2	Marié	
PATRIAT PHILIPPE	CNRS	DR2	Marié	
ROBIN CECILE	Paris 6	MC1	Célibataire	
LEPVRIER CLAUDE	Paris 6	MCex	Marié	
SAGE FRANCOISE	Paris 6	MC2	Mariée	
BESLIER MARIE ODILE	CNRS	CR1	Célibataire	
DRISCOLL NEAL	SIO	CR1	Marié	
YAMADA TOMOAKI	ERI	MC		
PERROT Julie	UBO	MF2	Célibataire	

B - ÉTUDIANTS (NOMBRE) : 2

C - INVITÉS (NOMS) :

2 ou 4 invités Yémenites et Omanais

D - BILLETS D'AVION (nombre, lieu de départ et d'arrivée) :

Voyages depuis Djibouti

13 voyages AR Paris-Djibouti

1 voyages AR Brest-Paris

4 voyages AR Nice-Paris

Voyages depuis l'Oman :

13 voyages AR Paris-Salalah (Raysut)

1 voyages AR Brest-Paris

4 voyages AR Nice-Paris

APPLICATION ABSTRACT

PART 1

Dossier de demande : **ENCENS 2**
Date : Janvier 2001

CADRE IFREMER/IFRTP/ORSTOM

NAME OF RESEARCH SHIP : Marion Dufresne - Atalante

DATES :

GEOGRAPHICAL AREA IN WHICH SHIP WILL OPERATE :

name, reference in latitude and longitude

East of gulf of Aden : 12°N - 18°N/ 51°E-60°E

BRIEF DESCRIPTION OF PURPOSE OF CRUISE :

Multichannel seismic, wide angle OBS, multibeam bathymetry, gravity, magnetics data are collected to investigate the structure and evolution of the continental margins, the adjacent transition ocean-continent of the east of the gulf of Aden, and the Sheba ridge.

CHIEF SCIENTIST IN CHARGE :

name and address

Marc Fournier - email : marc.fournier@lgs.jussieu.fr

Sylvie Leroy - email : sylvie.leroy@lgs.jussieu.fr

Lab. Tectonique - UPMC - Case 129 - 4 place Jussieu - 75 252 Paris Cedex 05- France

Philippe Huchon - email : huchon@obs-vlfr.fr

UMR Géosciences Azur, BP 48, 06235 Villefranche sur mer

NB OF SCIENTISTS : 15

INSTITUTE SUPPORTING OPERATION

INSU-CNRS

OPERATION AUTHORITY : IFREMER * Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer* Siège social : 155 rue Jean-Jacques Rousseau - 92138 Issy-Les-Moulineaux cedex - Tél.: (33) 1 46 48 21 00 - fax: (33) 1 46 48 22 24

OPERATION AUTHORITY : I.F.R.T.P. *Institut Français pour la Recherche et la Technologie Polaire* Siège social : Technopôle Brest Iroise B.P. 75 - 29280 Plouzané - Tél.: (33) 2 98 05 65 00 - fax: (33) 2 98 05 65 55

OPERATION AUTHORITY : IRD *Institut de Recherche en Développement * Siège social :209-213 rue Lafayette - 75480 Paris Cedex 10 - Tél.: (33) 1 48 03 77 77 - fax: (33) 1 48 03 08 29

APPLICATION ABSTRACT

PART 2 (1)

Dossier de demande : **ENCENS 2**
Date : Janvier 2001

DETAIL

INTRODUCTION

The ENCENS 2 cruise is the second constituent of a large project dealing with the gulf of Aden conjugate margins and the Sheba Ridge. The first cruise (ENCENS-SHEBA) in 2000 has established the structural and geophysical framework using bathymetric swathmapping and underway geophysics. The ENCENS 2 cruise will attempt to image the crust and determine its velocity structure using multichannel seismic profiling and ocean bottom seismometers (OBS). The whole project is supported by the "GDR Marges" (French Margins Research Group) and coordinated with other projects in the same area within the framework of InterMARGINS.

RATIONALE

The gulf of Aden is one of the few oceanic basins in the world where the two conjugate passive margins are preserved beneath a thin post-rift sedimentary cover and can be correlated within a lateral error smaller than 10 km. It is also one of the few basins where the structures can be followed from the oceanic ridge to the margins. It is therefore an adequate site to compare conjugate margins and to study the oceanisation process from the continental break-up to the emplacement of an active spreading ridge.

The ENCENS 2 cruise will focus on the eastern part of the gulf of Aden. The survey area is limited to the north by the southern margins of Yemen and Oman, and to the south by the Socotra margin (Yemen, Figure 1). The northern margin has already been studied onshore by several members of the team (Fournier, Huchon, Lepvrier, Roger) from a sedimentary and a tectonic point of view. Some other important works have been done onshore and offshore by several French teams in the western part of the gulf of Aden (Hébert 1998; Audin, 1999; Khanbari, 2000).

The ENCENS 2 project addresses the classical topics of continental margins and ridges studies (structure and segmentation of the margins and of the oceanic ridge, tectonic control of sedimentation, timing of opening of the basin) as well as specific topics related to this particular site: comparison of the conjugate margins, relationship between the segmentation of the margins and that of the ridge, amount of deformation due to reactivation of earlier structures during the oblique rifting. The link between onshore and offshore studies of the margin is another original feature of this project. The northern margin shows excellent outcropping conditions in Yemen and Oman. The stratigraphical, sedimentological and structural knowledge acquired onland will be integrated with the results from the offshore study.

OVERVIEW OF THE EASTERN GULF OF ADEN

The gulf of Aden is a recent oceanic basin segmented by numerous transform faults (Figure 1). Its average strike N75°E is very oblique to the average opening direction N30°E. The rifting started in the main part of the gulf during the Oligocene and continued until the Early Miocene. The age of the beginning of the accretion is not well constrained. The magnetic anomalies of the oceanic crust (Figure 3) have been identified in the basin until the anomaly 5 (11 Ma, Cochran, 1981). Outside of the typical oceanic crust area, a magnetic quiet zone corresponding to a deep sedimentary basin extends to the base of the main scarp limiting the margin. Its acoustic basement seems to be oceanic until the slope break of the basement (Cochran, 1982). A basalt sample drilled in this zone at site 231 of the DSDP Leg 24 (Figure 1) provided a radiometric age of 13 Ma (Shipboard party, 1974). However, unpublished recent works by Sahota et al. (1995), quoted by Watchorn et al. (1998), rather indicate the onset of the accretion to be older than 18,5 Ma in the eastern part of the gulf. The opening kinematics has been constrained by the major transform faults that allow to close the gulf and to precisely correlate conjugate margins. The current kinematics is described by the Euler pole of Jestin et al. (1994) which gives an opening rate of 2.0 cm/yr and direction of N33°E at 50°E longitude.

OBJECTIVES OF THE ENCENS 2 CRUISE

1. Deep structure and segmentation of conjugate margins : onshore and offshore structural synthesis.
2. Localization, structure and nature of the continent-ocean boundary.
3. Comparison of conjugate margins and deformation regime during rifting.
4. Deformation partitioning during oblique rifting; reactivation of inherited faults.

EXPECTED RESULTS

Multichannel seismic reflection profiles will be processed and analyzed in order to image the structure of the margins. Correlation of horizons with existing profiles and drill holes should allow to precise the timing of rifting and beginning of spreading. Maps of sedimentary thickness and basement depth will be compiled. The data will be integrated with those of the ENCENS-SHEBA cruise (bathymetry, magnetics, gravity) to draw a detailed structural map of the margins that will be correlated to geological maps onshore. The nature of the magnetic quiet zone will be clarified using the seismic and magnetic profiles.

The long MCS-OBS profile will provide the first complete

APPLICATION ABSTRACT

PART 2 (2)

Dossier de demande : **ENCENS 2**
Date : Janvier 2001

DETAIL

velocity cross section from margin to margin. The crustal structure, especially at the continent-ocean transition, will be determined and checked using gravimetric data that in turn will be used to further constrain the crustal structure along the margin.

All these informations will allow to precise the modality of continental break-up during the propagation of a rift and the birth of a ridge. Models obtained from these data will be compared to those realised in the western part of the gulf (Manighetti et al., 1997, 1998; Audin, 1999).

METHODOLOGY-STRATEGY

Several multichannel seismic reflection (MCS) profiles and one OBS refraction profile will be shot based on the results of the swathmapping ENCENS-SHEBA cruise.

The MCS profiles will be shot both perpendicular and parallel to the margins in order to get a nearly 3D description of their structure. Profiles with an approximate 50-km spacing will be restricted to the northern and southern margins, with only 4 profiles crossing the whole gulf. Profiles parallel to the margins and perpendicular to the transform faults will be shot to allow correlation between profiles. The acquisition system will include a 360-channels digital streamer and 10 GI guns shot in harmonic mode, totaling 2000 c.i.. At 5 knots, shot spacing will be 50 meters.

One single MCS-OBS profile will be shot across the whole gulf, between the Alula-Fartak and Socotra transform faults. 30 OBS will be deployed with a larger spacing on the oceanic crust and a smaller one (10 km) on the margins. The objective is to get a detailed description of the velocity structure, especially at the continent-ocean boundary. Vertical seismic data will be recorded in the same time as the refraction and wide-angle reflection data. A few seismic stations will also be deployed on land in order to increase the wide-angle coverage.

GENERAL SKETCH OF THE SURVEY

Duration: 41 days

Port calls: Djibouti (2 days transit) or Raysut (no transit).

The survey will be divided in two parts. It will start with the multichannel seismic profiling for the first 28 days. The single OBS profile will require an additional 13 days. The timing is detailed in the table of page 20 and the profiles are shown on figure 23.

On board research team

Co-chief scientists :

Sylvie Leroy (CNRS-University of Paris 6)
Philippe Huchon (University of Paris 6)

Participating laboratories

Laboratoire de Tectonique, Paris 6
Géosciences Azur, Villefranche s/mer
Institut de Physique du globe, Paris
Institut Universitaire Européen de la mer, Brest
Lab de Stratigraphie et Sédimentologie, Paris 6
Ministry of Commerce and Industry, Oman
CNRS
University of Sana'a (Yemen)
Earthquake Research Institute, Tokyo (Japan)