

# Rapport de bord de la campagne OWEN2



Salalah – 15 mars  
Khor Fakkan – 29 mars

2012



## Sommaire

<b>Résumé.....</b>	<b>3</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>4</b>
<b>Equipe embarquée.....</b>	<b>5</b>
Equipe scientifique .....	5
Equipe SHOM (GOA) .....	5
Equipe sismique GENAVIR.....	5
Bord .....	5
Equipe de protection .....	5
Personnel .....	5
Coordination à terre.....	5
Contacts.....	5
<b>Plan de position .....</b>	<b>6</b>
<b>Rappel des objectifs .....</b>	<b>7</b>
Contexte général.....	7
Objectif scientifique .....	7
Outils envisagés .....	7
Travaux précis tels que décrits dans le dossier de campagne .....	8
Résultats escomptés .....	8
<b>Déroulement de la mission .....</b>	<b>9</b>
Outils effectivement déployés.....	9
Zones géographiques couvertes .....	9
Déroulement général.....	10
Tableau de déroulement .....	11
Avaries et pirateries .....	12
La campagne en chiffres .....	12
<b>Acquisition et traitement .....</b>	<b>12</b>
Sismique .....	12
Bathymétrie SMF EM-120.....	18
Sondeur acoustique de sédiment SBP 120.....	19
Magnétométrie.....	22
<b>Premiers résultats.....</b>	<b>25</b>
Anomalies magnétiques .....	25
Bathymétrie multifaisceaux.....	26
Quelques exemples de profils de sondeur de sédiments .....	27
Profils sismiques.....	29
Socle profond du bassin d'Owen .....	33
Socle et couverture sédimentaire de la Ride d'Owen .....	34
<b>Evaluation des résultats obtenus par rapport aux résultats escomptés et résultats nouveaux .....</b>	<b>35</b>

## Résumé

Ces données permettent pour la première fois d'imager en profondeur et de manière extensive le décrochement dextre actif qui forme la frontière entre les plaques Inde et Arabie. Au total, la zone de faille a été recoupée par une série de 23 profils sismiques, permettant sa reconnaissance sur plus de 800 km, en particulier au travers de plusieurs relais extensifs et compressifs. Deux de ces relais ont fait l'objet de profils plus serrés, le B<sup>3</sup> (ou Bassin de Beautemps-Beaupré) à la terminaison sud de la faille et le bassin N20°. Malgré une forte épaisseur sédimentaire du côté est (cône de l'Indus), les profils suggèrent que le système de faille actuel s'est localisé le long d'une paléo-topographie. Le soulèvement de la Ride d'Owen dans sa partie sud est bien identifié par une discordance, dont l'âge Miocène (20 Ma) a été confirmé par forage. Ce nouveau jeu de données permettra de cartographier cette discordance. Le socle du bassin d'Owen a pu être imagé de façon continue dans le sud et le nord de l'étude, et de façon plus discontinue dans la partie centrale sous l'épaisse couverture sédimentaire. La géométrie du socle et celle des sédiments immédiatement au contact suggèrent une origine océanique. Le plancher du bassin d'Owen est affecté par des reliefs faibles suggérant une tectonique décrochante, et des rides volcaniques imposantes de direction méridionale, parfois totalement enfouies. Ces déformations et édifices volcaniques sont à relier à la cinématique de l'Inde au Crétacé, période de remontée rapide de celle-ci vers l'Eurasie. Au large de l'île de Masirah, plusieurs profils recoupent le bassin de Masirah et sa ride marginale. La couverture sédimentaire ne montre pas de déformation significative, posant directement le problème de l'origine allochtone (paléo-bassin jurassique) ou autochtone (plancher du bassin d'Owen) des ophiolites de l'île.

Malgré une campagne courte (11.5 jours d'acquisition), le jeu de données est imposant. Combiné aux campagnes antérieures (AOC 2006 et OWEN 2009), il doit permettre de mieux comprendre l'évolution géologique de cette frontière de plaque majeure et les risques sismiques et tsunamigéniques associés.

## Remerciements

L'équipe scientifique embarquée remercie l'ensemble des organismes qui ont contribué à la réalisation de la campagne OWEN-2 et à son succès.

Le projet scientifique initial remonte à plusieurs années, après la découverte de la faille active d'Owen lors de la campagne AOC en 2006, déjà sur le *BHO Beautemps-Beaupré*. Celui-ci étant le seul navire océanographique français opérant dans ces eaux à pirates, le problème de la portabilité de la sismique s'est immédiatement posé. Sur le plan technique, le *BHO Beautemps-Beaupré* a été conçu dès son neuvage pour un tel portage. Mais il a fallu beaucoup de synergie pour passer de la théorie à la pratique : GENAVIR, IFREMER, le SHOM et la Marine Nationale ont œuvré efficacement pour rendre techniquement possible le projet. Les premiers essais ont été réalisés à Brest fin janvier 2012, quelques semaines avant le départ du BHO, validant les choix techniques. Le succès de la mission vient confirmer que le portage de la sismique SISRAP sur le *BHO Beautemps-Beaupré* est une belle réussite collective, d'ingénieurs, de techniciens, d'hydrographes, de marins et, aux deux bouts de la chaîne, du projet à l'acquisition, de scientifiques heureux.

Nous remercions particulièrement le Commandant Remy de Monteville et tout son équipage, l'IETA Daniel Levieuge et toute l'équipe du SHOM, Serge Louzaouen et l'équipe Genavir, sans oublier le groupe de protection du GIR. A terre, de nombreuses personnes ont également apporté leur concours à la réalisation de cette mission, en particulier François Le Corre, Hubert Lossouarn et Xavier Castrec.



## Equipe embarquée

### Equipe scientifique

**Nicolas CHAMOT-ROOKE**<sup>1</sup>

*Chef de mission*

Matthias DELESCLUSE<sup>1</sup>

Marc FOURNIER<sup>2</sup>

Philippe HUCHON<sup>2</sup>

Mathieu RODRIGUEZ<sup>1 & 2</sup>

1 – Laboratoire de Géologie, Ecole normale supérieure, UMR 8538 CNRS, 24 rue Lhomond, 75005 Paris

2 – IStEP, UMR 7193, Université Pierre et Marie Curie – Sorbonne Universités et CNRS, 4 Place Jussieu BP 129, 75252 PARIS CEDEX 05

### Equipe SHOM (GOA)

**IETA Daniel LEVIEUGE**

*Responsable scientifique*

IETA Yann DUPONT – Chef logistique

PM Stéphane KOK – Chef salle de dessin

MT Benjamin BEAUFILS – Programmeur

MT Pierre BREVINI – Chef d'équipe

MT François JULOU – Hydrographe

MT Remy ROQUEFORT – Hydrographe

SM Stéphane NEZET – Hydrographe

SM Aurélien POMMIER – Hydrographe

SM Jean-Pierre BAUDET – Manœuvrier

QM Matthieu MIOLARD – Mécanicien

### Equipe sismique GENAVIR

**Serge LOUZAOUEN**

*Responsable Sisrap*

Gilles GASCON – Electronicien

Stéphane GUIOMAR – Electronicien

Claude GUEGUEN – Mécanicien

### Bord

**Remy de MONTEVILLE (CF)**

*Commandant*

Jacques LECOMTE (CC) – Second

### Equipe de protection

Groupe d'intervention régional de la Marine (*GIR*)

### Personnel

31 membres d'équipage

20 passagers

7 GIR et renfort

### Coordination à terre

ICETA François LE CORRE  
*SHOM*

Xavier CASTREC  
*IFREMER*

Hubert LOSSOUARN  
*GENAVIR*

### Contacts

[rooke@geologie.ens.fr](mailto:rooke@geologie.ens.fr)  
[marc.fournier@upmc.fr](mailto:marc.fournier@upmc.fr)

## Plan de position

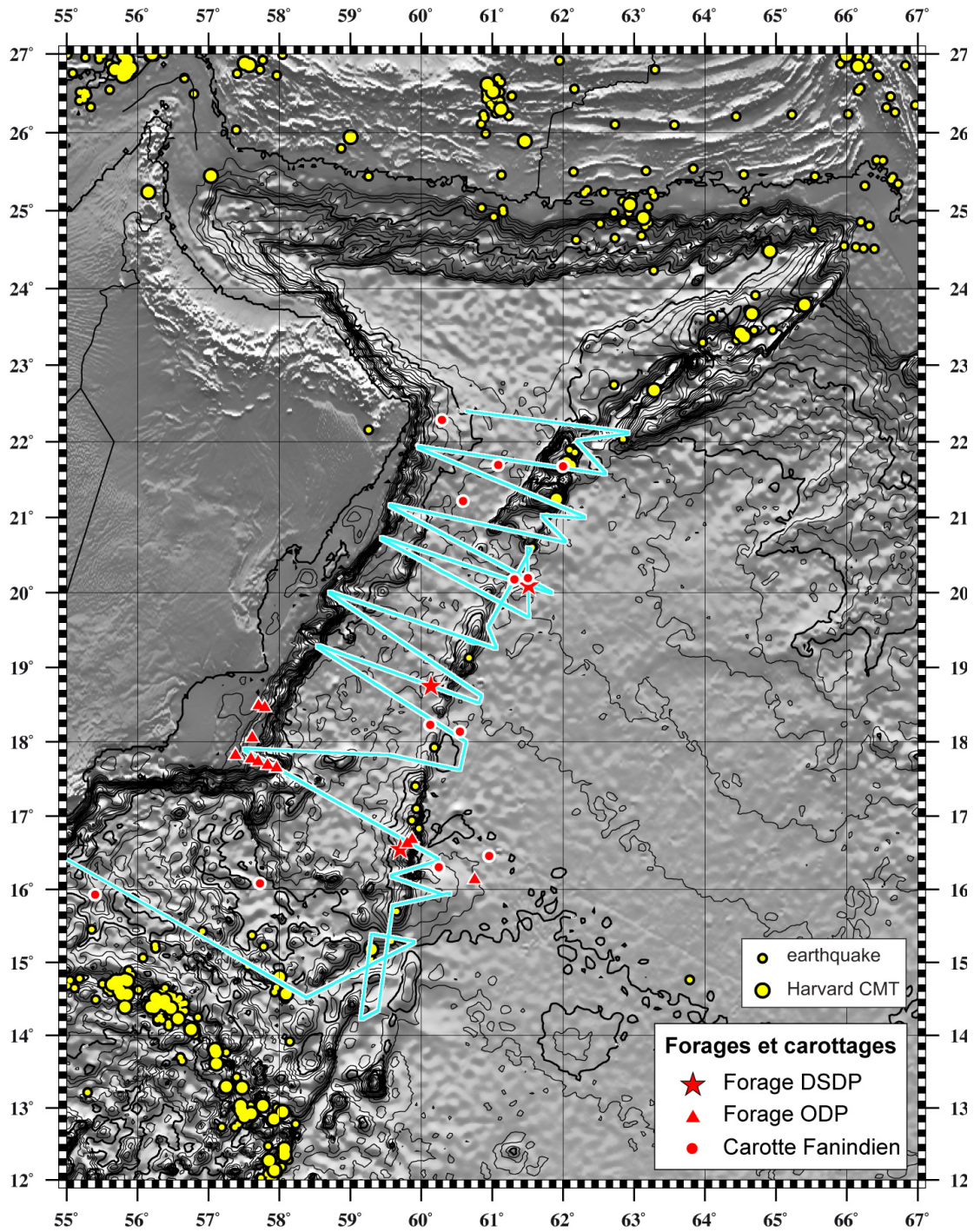


Figure 1 – Plan de position de la campagne OWEN-2

## Rappel des objectifs

### Contexte général

Les campagnes océanographiques menées pendant la dernière décennie dans l’Océan Indien Nord-Ouest par des équipes françaises ont permis des reconnaissances géologiques et géophysiques des éléments tectoniques majeurs : le prisme d’accrétion sédimentaire du Makran, le point triple Arabie-Inde-Somalie à la jonction des dorsales de Sheba et de Carlsberg, la zone de fracture d’Owen (ZFO). Deux de ces campagnes, AOC en 2006 et OWEN en 2009, ont été effectuées à bord du *BHO Beautemps-Beaupré* par notre équipe (chef de mission : Marc Fournier).

Initialement, la campagne OWEN devait comprendre deux volets intégrés en une seule et même campagne : le premier dédié à la cartographie, le second dédié à l’imagerie du sous-sol par la sismique réflexion. Pour des raisons techniques, seul le premier volet a pu être effectué en 2009 (12 jours de mission). En effet, le *BHO Beautemps-Beaupré* étant le seul navire opérant dans la zone en raison des actes de piraterie, une étude de faisabilité du portage de la sismique SISRAP a dû être entreprise. Le portage a pu être réalisé en 2011, grâce aux efforts et à une coordination efficace des parties concernées, en particulier GENAVIR, IFREMER, le SHOM et la Marine Nationale. Les premiers essais, concluants, ont été effectués en janvier 2012 avant le départ de Brest du navire.

### Objectif scientifique

La campagne OWEN-2 vise à compléter l’étude de la frontière active entre les plaques Arabie et Inde par l’acquisition de données de sismique réflexion. L’objectif est d’imager la déformation de sub-surface afin d’étudier l’initiation, la migration et l’activité actuelle d’un grand système de failles sous-marines principalement décrochant, qui, dans cette région de l’Océan Indien, constitue l’élément majeur de la structuration tectonique, de l’activité sismique et du contrôle des flux sédimentaires pour l’actuel comme pour le passé : flux de l’Indus et glissements sous-marins profonds.

L’objectif tectonique majeur est d’étudier les déformations actuelles et récentes associées à la cinématique Inde-Arabie, à la fois à partir de la cartographie de surface des escarpements de failles actifs et de l’imagerie sismique des relais extensifs qui jalonnent cette frontière, le tout calibré par forages et carottes obtenues précédemment. Au terme de cette mission, la frontière active Inde-Arabie et son système de relais extensifs auront été reconnus en surface et en sub-surface sur plus de 800 km.

### Outils envisagés

Pour atteindre cette objectif, la proposition initiale était d’acquérir, en continu, des données bathymétriques (EM120), gravimétriques, magnétiques, des profils de sondeur de sédiment (SBP120), et des profils de sismique réflexion légère (SISRAP) au travers de la ZFO, dans le bassin d’Owen depuis la marge continentale Arabe jusqu’au cône distal de l’Indus. Ces objectifs ont été atteints, à l’exception des données gravimétriques qui n’ont pas pu être acquises.



## Travaux précis tels que décrits dans le dossier de campagne

1. Réaliser une série de profils de sismique rapide à travers le système décrochant actif, depuis le bassin d'Owen jusqu'au cône distal de l'Indus ; le but est d'imager les déformations récentes (Miocène à l'actuel) « sous » le système actif.
2. Étendre ces profils jusqu'au pied de la marge omanaise, afin d'identifier des zones décrochantes plus anciennes dans le bassin d'Owen.
3. Réaliser des profils sismiques ciblés sur les bassins en pull-part qui jalonnent le système décrochant (principalement le bassin 20°N, mais aussi le bassin de Beautemps-Beaupré au sud).
4. Établir les relations tectoniques entre le décrochement actif au nord et la queue de cheval extensive du fossé de Dalrymple.

L'objectif n°4 a été partiellement abandonné dès l'établissement du calendrier prévisionnel, le nombre total de jours attribué étant inférieur à ce que nous avons demandé. Il a été décidé de ne pas réaliser les travaux correspondant dans les eaux Pakistanaïses, et de rester dans les eaux Omanaises.

## Résultats escomptés

### 1. Déformation active le long de la ZFO

Nous proposons d'effectuer une série de profils sismique légère au travers de la Zone de Fracture d'Owen afin d'imager la déformation de sub-surface active ou récente. Le calibrage est réalisé à l'aide des forages et des carottages.

### 2. Structure et remplissage des bassins en pull-apart

Le bassin 20°N est partiellement comblé par des sédiments d'origine à la fois pélagique et turbiditique, drainés par les chenaux actifs de l'Indus. Nous proposons d'effectuer une série de profils plus dense dans la région du bassin de 20°N afin de corrélater latéralement les corps sédimentaires et les chenaux et d'en déduire la chronologie d'activation des failles. Le même type de travail est proposé pour le Bassin de Beautemps-Beaupré en terminaison sud de la ZFO. A terme, ces travaux doivent nous permettre de comprendre la formation et l'évolution tectonique de relais extensifs le long d'un grand décrochement, pour lesquels de nombreux modèles existent (analogiques et numériques) mais faiblement contraints par des données de terrain.

### 3. Déstabilisations gravitaires

Le matériel pélagique de la ride d'Owen est épisodiquement déstabilisé par des glissements de terrain sous-marins potentiellement tsunamigéniques, dont les volumes peuvent atteindre 45 km<sup>3</sup>. Les parties les plus distales de ces corps glissés se trouvent dans le Bassin d'Owen. Nous proposons de les suivre par la sismique afin d'obtenir une description complète de ces instabilités en termes de volume et d'âge.

### 4. Structure, nature et âge du Bassin d'Owen et de la marge omanaise

Nous proposons d'étendre les profils sismiques à travers le Bassin d'Owen jusqu'au pied de la marge omanaise. La structure du bassin d'Owen et celle de la marge Arabe seront caractérisées grâce à l'analyse conjointe des données de sismique, de gravimétrie et de magnétisme : principales discontinuités, géométrie des corps sédimentaires (datés par corrélations avec les forages), et éventuellement nature de la croûte sous-jacente. Des profils magnétiques dans le bassin d'Owen viendront compléter les profils existant et permettront peut-être de préciser son âge.

## 5. Age et l'histoire du basculement de la ride d'Owen

Les forages semblent indiquer que les premiers signes de basculement sont d'âge Miocène Inférieur (19 Ma). La faible épaisseur de sédiment sur le dos de la ride doit permettre d'identifier les biseaux sédimentaires liés au basculement. Les profils sismiques sont positionnés de façon à recouper ces sites de forages.

## Déroulement de la mission

### Outils effectivement déployés

Les outils suivants ont été déployés en continu au cours de la mission

- sismique rapide SISRAP (opérateur GENAVIR)
- sondeur bathymétrique multi-faisceaux Kongsberg EM120 (opérateur SHOM)
- sondeur numérique de sédiment Kongsberg SBP120 (opérateur SHOM)
- magnétomètre queue de flûte (opérateur GENAVIR)

Le seul outil manquant par rapport au dossier de campagne est le gravimètre.

Fin 2010, le SHOM a décidé d'effectuer un retro-fitting du gravimètre du *BHO Beautemps-Beaupré*, un Bodenseewerk Geosystem KSS31. L'opération consiste à upgrader l'appareil de KSS31 à KSS32M, une opération qui nécessite une nouvelle électronique tout en conservant le capteur. La nouvelle plate-forme a été reçue mi-décembre et les essais à quai semblaient concluants. A l'occasion des essais recettes en mer réalisés le 19 janvier, une anomalie a été constatée. Le constructeur a diagnostiqué une panne de capteur. La recette ne pouvant se faire sur le *Beautemps-Beaupré* faute de temps, la plate-forme et son nouveau capteur ont été installés sur le N/O Pourquoi-Pas. L'ensemble a été validé, et sera remonté sur le *BHO Beautemps-Beaupré* lorsque le navire sera à Brest en juillet 2012.

Compte tenu des objectifs, profonds, l'absence de données gravimétriques est particulièrement pénalisante : le contrôle gravimétrique nous aurait permis de tester des hypothèses de position du socle et du Moho. La gravimétrie satellitaire ne compense qu'en partie l'absence de données marines, les petits bassins en relais le long de la faille ayant des longueurs d'onde faiblement exprimées dans la mesure altimétrique (< 10-15 km).

Sur le plan des outils, on peut considérer que 20% des objectifs n'ont pas pu être atteints. Par contre, pour ce qui est des outils effectivement mis en œuvre, et compte tenu du taux extrêmement faible d'avarie, 100% des objectifs ont été atteints.

### Zones géographiques couvertes

Les zones géographiques couvertes sont strictement celles qui étaient avancées dans la demande de campagne :

- Au total 33 profils sismiques ont été réalisés, entre 14°N et 22°N : la frontière Inde-Arabie a donc été explorée sur près de 900 km
- 13 grands profils traversiers ont été tirés entre la marge omanaise et le cône distal de l'Indus
- 23 profils recoupent la zone de faille active
- 5 profils sont concentrés dans la région du bassin N20°

- 4 profils sont localisés dans le bassin B<sup>3</sup>, à l'extrémité sud de la zone de fracture
- 2 profils recourent la queue de cheval du fossé de Dalrymple, à l'extrémité nord de la zone de fracture

## Déroulement général

Le départ du port de Salalah a été anticipé de quelques heures. Le *BHO Beautemps-Beaupré* était supposé changer de quai le 14 mars dans l'après-midi, pour le libérer avant le matin du 15. Les modalités de ce mouvement tardant à être mises en place, le Commandant de Monteville a décidé de rester au quai mais de partir dans la nuit. Le navire a quitté le quai à 20h30 Z (00h30 le 15 mars heure locale). Le sondeur (EM120 et SBP120) a été mis en route vers 21h00 Z.

Plusieurs exercices ont été effectués dans la journée du 15 : homme à la mer, tirs d'artillerie, « rescue boat ». La flûte a été mise à l'eau à 18h00 Z, et les premiers tirs ont commencé aussitôt. Sismique, sondeur bathymétrique, sondeur de sédiment et magnétomètre ont fonctionné en continu jusqu'au point de sortie de la mission, le 27 mars.

Le départ anticipé de quelques heures a pour partie compensé une requête de GENAVIR liée à l'utilisation de la sismique rapide pour une autre campagne : plutôt que de débarquer la sismique à Abu Dhabi le 30, il a été décidé de la débarquer un peu plus tôt à Khor Fakkan (à quai le 29 à 8h00) avant acheminement vers La Réunion. Le transit étant plus court, il a donc fallu stopper la sismique un peu plus tôt que prévu afin de laisser le temps au personnel de GENAVIR d'effectuer leur travail de fin de mission sur la flûte, les canons et les compresseurs. Sous l'impulsion de l'équipe GENAVIR à bord, ce délai a été ramené au strict minimum.

Au total, la mission aura donc duré 14 jours (sur les 16 demandés), dont 11.5 jours sur zone. La météo fut très clémente, épargnant hommes et matériels. Et le spectacle époustouflant lorsque le plancton bio-fluorescent brillait sous les étoiles au rythme des canons.



## Tableau de déroulement

LAT	LAT	LON	LON	LAT	LON	VIT	CAP	DISTANCE		DUREE		DATE HEURE	COMMENTAIRE
°	'	°	'	°	°	Nds	°	km	n.m.	Heures	Jours	(GMT)	
16	56,416	54	1,151	16,940	54,019							14-mars 20:30	Départ Salalah 0:30 local
15	9,980	57	14,443	15,166	57,241	9,9	120	396,8	214,2	21,6	0,90	15-mars 18:08	Début profil 1
14	31,303	58	22,429	14,522	58,374	9,7	120	141,3	76,3	7,9	0,33	16-mars 2:00	Fin de profil 1
14	31,422	58	23,204	14,524	58,387	11,4	81	1,4	0,8	0,1	0,00	16-mars 2:04	Début profil 2
15	16,680	59	54,301	15,278	59,905	9,9	63	183,5	99,1	10,0	0,42	16-mars 12:03	Fin de profil 2
15	17,297	59	54,105	15,288	59,902	9,7	343	1,2	0,6	0,1	0,00	16-mars 12:07	Début profil 3
15	23,484	59	18,187	15,391	59,303	10,0	280	65,2	35,2	3,5	0,15	16-mars 15:38	Fin de profil 3
15	23,344	59	17,867	15,389	59,298	10,2	246	0,6	0,3	0,0	0,00	16-mars 15:40	Début profil 4
14	13,398	59	8,711	14,223	59,145	10,0	187	130,7	70,6	7,1	0,30	16-mars 22:45	Fin de profil 4
14	13,306	59	8,864	14,222	59,148	10,5	122	0,3	0,2	0,0	0,00	16-mars 22:46	Début profil 5
14	20,599	59	23,350	14,343	59,389	10,0	63	29,3	15,8	1,6	0,07	17-mars 0:21	Fin de profil 5
14	20,902	59	23,507	14,348	59,392	10,2	27	0,6	0,3	0,0	0,00	17-mars 0:23	Début profil 6
15	46,803	59	35,883	15,780	59,598	9,9	8	160,7	86,8	8,7	0,36	17-mars 9:07	Fin de profil 6
15	46,882	59	36,048	15,781	59,601	10,7	63	0,3	0,2	0,0	0,00	17-mars 9:08	Début profil 7
15	56,208	60	22,989	15,937	60,383	9,9	78	85,5	46,1	4,7	0,19	17-mars 13:48	Fin de profil 7 – retourmt.
15	55,936	60	17,731	15,932	60,296	5,5	267	9,4	5,1	0,9	0,04	17-mars 14:43	Début profil 8
16	10,332	59	34,523	16,172	59,575	9,8	289	81,5	44,0	4,5	0,19	17-mars 19:13	Fin de profil 8
16	11,291	59	34,201	16,188	59,570	8,6	342	1,9	1,0	0,1	0,00	17-mars 19:20	Début profil 9
16	23,669	60	14,659	16,394	60,244	9,9	72	75,5	40,8	4,1	0,17	17-mars 23:26	Fin de profil 9
16	24,243	60	14,894	16,404	60,248	9,3	21	1,1	0,6	0,1	0,00	17-mars 23:30	Début profil 10
17	53,513	57	30,272	17,892	57,505	9,9	300	335,2	181,0	18,2	0,76	18-mars 17:43	Fin de profil 10
17	54,648	57	30,955	17,911	57,516	8,7	30	2,4	1,3	0,1	0,01	18-mars 17:52	Début profil 11
17	49,393	59	32,838	17,823	59,547	9,9	93	215,2	116,2	11,7	0,49	19-mars 5:36	Fin de profil 11
17	49,265	59	33,657	17,821	59,561	11,9	99	1,5	0,8	0,1	0,00	19-mars 5:40	Début profil 12
17	37,480	60	31,708	17,625	60,528	9,9	102	104,8	56,6	5,7	0,24	19-mars 11:23	Fin de profil 12
17	37,880	60	32,725	17,631	60,545	9,0	68	1,9	1,0	0,1	0,00	19-mars 11:30	Début profil 13
17	59,800	60	37,771	17,997	60,630	10,1	12	41,6	22,5	2,2	0,09	19-mars 13:44	Fin de profil 13
18	0,447	60	37,289	18,007	60,621	7,9	325	1,5	0,8	0,1	0,00	19-mars 13:50	Début profil 14
19	16,647	58	32,064	19,277	58,534	9,9	303	261,3	141,1	14,3	0,60	20-mars 4:08	Fin de profil 14
19	17,876	58	32,856	19,298	58,548	6,6	31	2,7	1,4	0,2	0,01	20-mars 4:21	Début profil 15
18	31,594	60	48,028	18,527	60,800	9,8	110	252,0	136,1	13,9	0,58	20-mars 18:17	Fin de profil 15
18	32,092	60	48,906	18,535	60,815	8,3	59	1,8	1,0	0,1	0,00	20-mars 18:24	Début profil 16
18	36,882	60	50,776	18,615	60,846	9,9	20	9,5	5,1	0,5	0,02	20-mars 18:55	Fin de profil 16
18	37,743	60	50,432	18,629	60,841	11,1	339	1,7	0,9	0,1	0,00	20-mars 19:00	Début profil 17
19	59,397	58	42,399	19,990	58,707	10,0	304	270,3	145,9	14,6	0,61	21-mars 9:38	Fin de profil 17
20	0,611	58	43,184	20,010	58,720	5,7	31	2,6	1,4	0,3	0,01	21-mars 9:53	Début profil 18
19	22,260	60	41,580	19,371	60,693	9,9	109	218,5	118,0	12,0	0,50	21-mars 21:51	18 interrompu – retourmt.
19	22,907	60	39,708	19,382	60,662	1,1	290	3,5	1,9	1,7	0,07	21-mars 23:31	Début profil 19
19	16,560	61	3,360	19,276	61,056	9,7	106	43,0	23,2	2,4	0,10	22-mars 1:55	Fin de profil 19
19	16,740	61	3,240	19,279	61,054	12,8	328	0,4	0,2	0,0	0,00	22-mars 1:56	Début profil 20
19	33,120	60	56,700	19,552	60,945	9,9	339	32,4	17,5	1,8	0,07	22-mars 3:42	Fin de profil 20
19	33,240	60	56,760	19,554	60,946	8,0	25	0,2	0,1	0,0	0,00	22-mars 3:43	Début profil 21
20	34,605	61	32,713	20,577	61,545	9,9	29	129,8	70,1	7,0	0,29	22-mars 10:46	Fin de profil 21
20	35,200	61	29,220	20,587	61,487	7,4	280	6,2	3,3	0,5	0,02	22-mars 11:13	Début profil 22
19	41,114	61	31,151	19,685	61,519	10,1	178	100,3	54,2	5,4	0,22	22-mars 16:35	Fin de profil 22
19	40,604	61	30,003	19,677	61,500	7,2	245	2,2	1,2	0,2	0,01	22-mars 16:45	Début profil 23
20	42,689	59	26,493	20,711	59,442	9,8	298	243,7	131,6	13,4	0,56	23-mars 6:10	Fin de profil 23
20	44,040	59	27,000	20,734	59,450	6,1	19	2,7	1,4	0,2	0,01	23-mars 6:24	Début profil 24
20	0,600	61	50,100	20,010	61,835	9,7	108	261,3	141,1	14,5	0,60	23-mars 20:53	Fin de profil 24
20	0,808	61	49,017	20,012	61,832	12,5	305	0,4	0,2	0,0	0,00	23-mars 20:54	Début profil 25
21	10,260	59	34,260	21,171	59,571	9,7	299	268,3	144,9	14,9	0,62	24-mars 11:50	Fin de profil 25
21	10,200	59	34,500	21,170	59,575	13,9	105	0,4	0,2	0,0	0,00	24-mars 11:51	Début profil 26
20	40,486	62	1,161	20,675	62,019	9,9	102	259,8	140,3	14,2	0,59	25-mars 2:00	Fin de profil 26
20	41,820	62	1,614	20,697	62,027	7,6	18	2,6	1,4	0,2	0,01	25-mars 2:11	Début profil 27
21	0,660	61	42,120	21,011	61,702	9,8	316	48,6	26,2	2,7	0,11	25-mars 4:52	Fin de profil 27
21	1,920	61	42,720	21,032	61,712	7,5	24	2,6	1,4	0,2	0,01	25-mars 5:03	Début profil 28
21	0,816	62	17,760	21,014	62,296	9,4	92	60,7	32,7	3,5	0,15	25-mars 8:33	Fin de profil 28
21	0,882	62	17,622	21,015	62,294	5,3	297	0,3	0,1	0,0	0,00	25-mars 8:34	Début profil 29
21	55,020	59	57,660	21,917	59,961	9,7	293	261,4	141,2	14,5	0,61	25-mars 23:06	Fin de profil 29
21	56,340	59	58,194	21,939	59,970	6,6	21	2,6	1,4	0,2	0,01	25-mars 23:19	Début profil 30
21	34,290	62	35,136	21,572	62,586	9,8	99	273,2	147,5	15,0	0,63	26-mars 14:21	Fin de profil 30
21	35,562	62	35,664	21,593	62,594	7,4	21	2,5	1,4	0,2	0,01	26-mars 14:32	Début profil 31
21	59,922	62	11,640	21,999	62,194	9,9	318	61,2	33,1	3,3	0,14	26-mars 17:53	Fin de profil 31
22	1,094	62	12,225	22,018	62,204	7,8	25	2,4	1,3	0,2	0,01	26-mars 18:03	Début profil 32
22	7,675	62	54,353	22,128	62,906	9,4	80	73,4	39,6	4,2	0,18	26-mars 22:17	Fin de profil 32
22	7,710	62	54,054	22,129	62,901	16,8	277	0,5	0,3	0,0	0,00	26-mars 22:18	Début profil 33
22	23,922	60	39,356	22,399	60,656	9,8	277	233,5	126,1	12,9	0,54	27-mars 11:11	Fin de profil 33 - Fin Arrivée Khor Fakkan

## Avaries et pirateries

Les avaries ont été extrêmement rares, rapidement diagnostiquées et réparées :

- Au jour 3 (16 mars), une fuite sur le canon bâbord (le plus petit) a nécessité le changement du piston injecteur, un segment étant abimé. Il s'agissait d'une usure normale, certains pistons ayant été changés précédemment mais pas celui-ci. Le canon était réparé 30 minutes après sa remontée, le profil restant en acquisition sur un canon pendant environ 40 minutes.
- Ce même jour, nous avons profité d'une fin de profil pour effectuer un retournement et tester les faisceaux extrêmes du sondeur en double sens, suite à une interrogation sur une dégradation du signal sur ces faisceaux extrêmes. Le test a permis de conclure qu'il n'y avait pas de biais de roulis et que les sondes étaient nominales.
- Au jour 7 (20 mars), un défaut du module électronique en sortie du touret de flûte a entraîné une perte d'acquisition sismique, nécessitant un retournement et une reprise du profil (environ 1h30). Un défaut similaire, avec perte de quelques tirs, s'est produit deux ou trois fois au cours de la mission. Le diagnostic probable est une manipulation accidentelle du câble en plage arrière.
- Au jour 10 (23 mars), l'injecteur du gros canon a lâché. Celui-ci a été remonté en fin de profil, en début de nuit, et réparé rapidement.
- Le sondeur a eu quelques défaillances dans les pentes les plus raides. Les pertes occasionnées ont été très minimes, mais ces décrochages ont nécessité une veille particulière des hydrographes du SHOM à l'approche des pentes.

Deux approches suspectes par des skiffs ont mené à des postes de combat. L'une s'est terminée après des tirs de fusées pour semonce. Dans les deux cas, les équipes scientifiques et GENAVIR ont quitté leur poste (PC ou plage arrière) pour se réfugier en lieu sûr. Les profils ont néanmoins continué, et les routes du navire sont restées inchangées. Ces approches suspectes n'ont donc eu aucune incidence directe sur l'acquisition de données.

## La campagne en chiffres

- 33 profils de sismique réflexion légère SISRAP
- 100221 tirs, soit 11.6 jours d'acquisition et 5000 km de sismique
- 200Go de données de données brutes avant traitement, 380Go avec les traitements bord de la sismique et du SBP 120

## Acquisition et traitement

### Sismique

#### Le système « SISRAP »

« Sisirap » (pour sismique rapide) est un système de sismique multitraces (24 traces) qui présente la particularité de pouvoir être mis en œuvre à 10 nœuds. Il peut être décomposé en trois parties : la source, la flûte sismique, le labo d'acquisition.



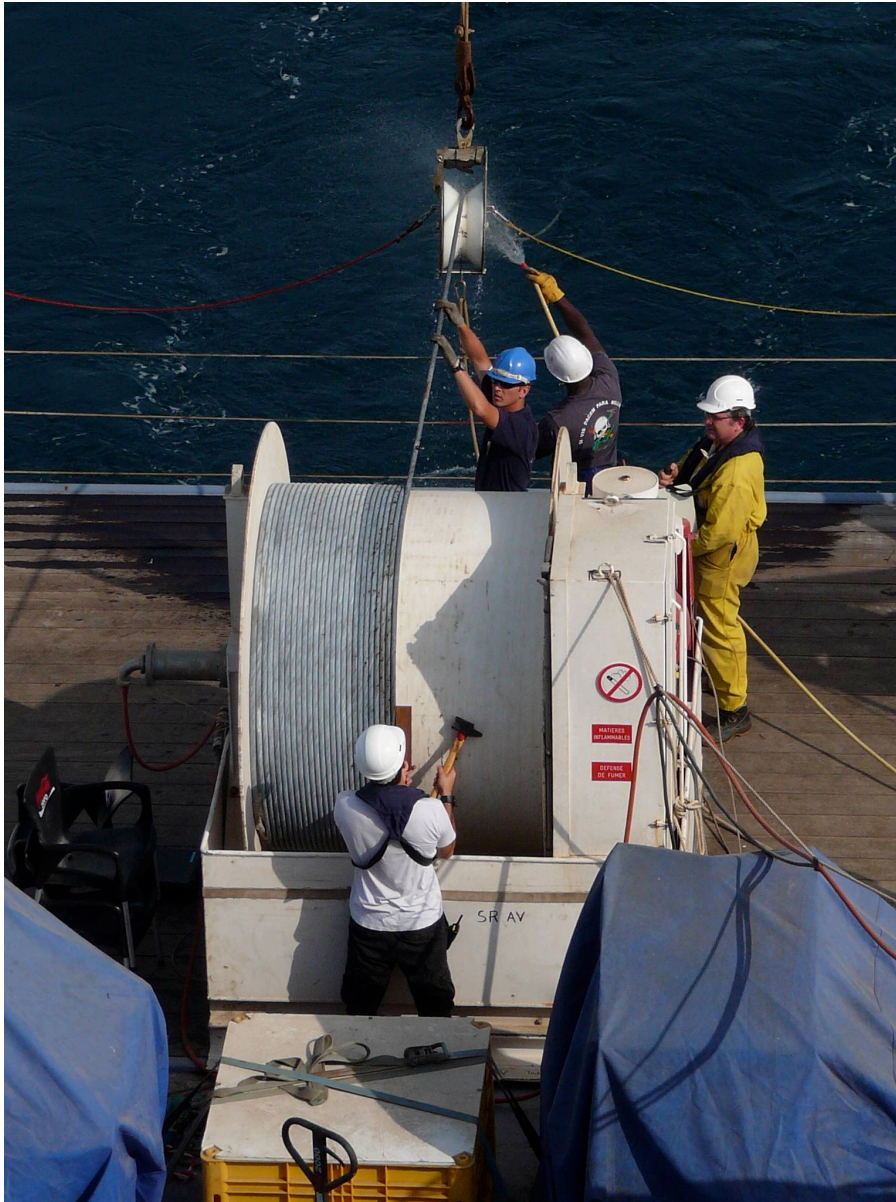
**Figure 2 – Mise à l'eau des canons**

La source est constituée de deux canons Sodera de type G.I. (générateur-injecteur) alimentés par un compresseur Hamworthy (300 m<sup>3</sup>/h) sous une pression de 155 à 160 bars, réduite à 140 bars au niveau du canon. Ils sont espacés de 18 mètres et tractés à 30 mètres du tableau arrière, suspendus à un carénage (voir photo) les maintenant à une immersion de 7 mètres à 10 nœuds. La combinaison d'un canon 105/105 c.i. à tribord et d'un 45/45 c.i. à babord fournit un signal de fréquences comprises entre 15 et 120 Hz. Les canons sont utilisés en mode harmonique (volume générateur = volume injecteur), l'impulsion est de l'ordre de 8 ms et l'oscillation de bulle est négligeable (voir figure). Les canons sont asservis en temps, et non en distance, déclenchés toutes les 10 secondes.



**Figure 3 – Canon Sodera GI**





**Figure 4** – Remontée de la flûte en fin de mission

La flûte sismique numérique Sercel comprend 24 traces de 12,5 mètres réparties sur 6 éléments actifs de 50 m (4 traces par actif, 16 hydrophones par trace), précédées de 3 éléments amortisseurs de 50 mètres et du câble de tête (lead-in) de 50 mètres. Un troisième amortisseur de 50 mètres se trouve en queue devant le câble du magnétomètre. La longueur totale au tableau arrière est de 598 mètres. Deux capteurs de pression, en tête du premier actif et en queue du dernier, fournissent la profondeur d'immersion, de l'ordre de 6 à 7 mètres à la vitesse nominale et par beau temps.

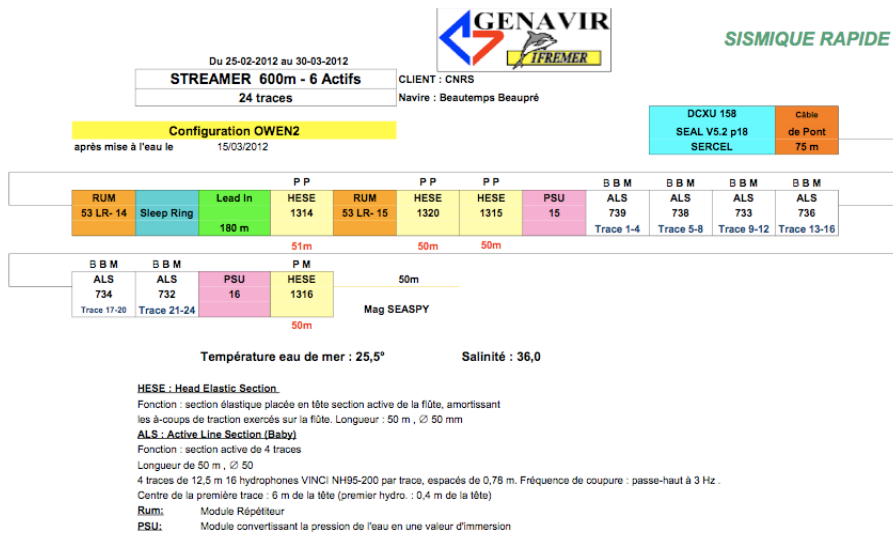


Figure 5 – Paramètres de la flûte

L'électronique d'acquisition SN408 HR permet le contrôle, le suivi et l'archivage des données au format SEG D, converti ensuite en SEG Y. Elle est interfacée avec le positionnement (DGPS, gyrocompas, sonde). Le pas d'échantillonnage est de 1 ms.

### Acquisition et traitement des données

La géométrie de la flûte et la cadence de tir conduisent à une couverture 3, l'inter-tir étant de 50 m et l'inter-trace de 25 m. En conséquence, une analyse de vitesse fiable n'est pas possible et le traitement se résume à une migration post-stack à vitesse constante. La première étape de traitement consiste évidemment en la lecture des fichiers SEG Y fournis par l'équipe SISRAP. Le format est au standard Seismic Unix (SU) : flottants IBM 32 bits et Big Endian. Le fichier SEG Y est converti en fichier SU pour pouvoir être traité par Seismic Unix. Le fichier est organisé en collections de tirs. Chaque collection comprend 26 traces, dont deux auxiliaires. Il faut donc supprimer ces deux traces auxiliaires dans chaque collection de tir pour ne conserver que les 24 traces utiles. Cette étape est effectuée grâce au module de sélection *suwind* avec sélection sur le mot d'entête *cdpt*.

Les en-têtes SEG Y fournies comprennent, pour chaque trace, les informations de positionnement (latitude, longitude) du tir, le numéro de tir, le numéro de récepteur sur la flûte, la bathymétrie au voisinage du tir. Ces informations sont issues d'une fusion des entêtes SEG D et de la navigation. L'étape suivante consiste à partir de certaines de ces informations basiques à calculer pour chaque trace le numéro de point miroir (CDP) d'après la formule suivante :

$$n_{cdp} = \frac{2 * d_s}{i} * (n_s - 1) + N_r + 1 - n_{tr}$$

avec  $d_s$  la distance inter-tir (50 m),  $i$  la distance inter-trace (12.5 m),  $n_s$  le numéro de tir,  $N_r$  le nombre total de traces sur la flûte (24) et  $n_{tr}$  le numéro de trace. En plus du numéro de CDP, chaque trace se voit attribuer un offset. Pour le calculer, on tient compte des 180 m qui séparent les canons du premier récepteur de la flûte, puis on ajoute 12.5 m par trace. Ce type de calcul n'est valable que pour une géométrie nominale (flûte alignée, vitesse de 9.7

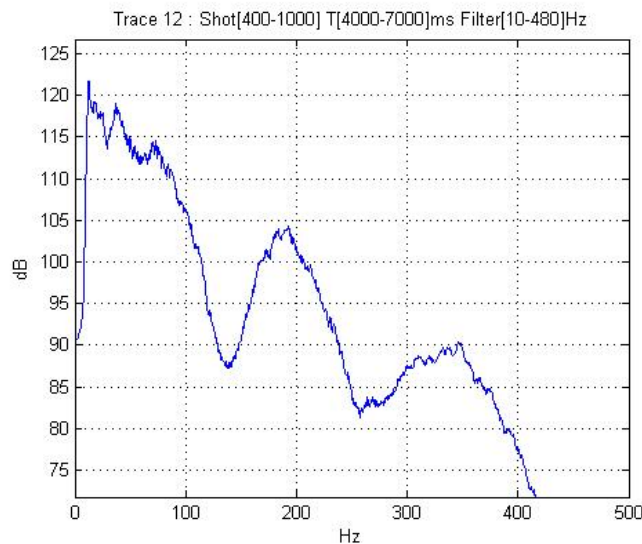
nœuds, tirs tous les 10 secondes). On estime que l'alignement de la flûte est toujours effectif, ce qui est une bonne approximation étant donné sa petite dimension (300 m)

En pratique, ces opérations sont effectuées par une commande *awk*. Le fichier texte qui en résulte est transformé en fichier binaire qui permet d'être lu par le modul *sushw*, lequel retranscrit les nouvelles informations de géométrie dans les entêtes du fichier de données *.su*.

Les données munies de la géométrie adéquate sont maintenant prêtes pour le traitement standard *nmo*, *stack* et *migration post-stack*. Avant cela, il faut tout de même réorganiser l'ordre des traces pour passer de collections de tirs à des collections de CDPs. On veut regrouper les traces correspondant au même CDP, par offset croissant. Ainsi, on peut procéder au *nmo* (*normal move-out*) qui permet de "redresser" les traces comme si elles étaient toutes acquises à incidence normale (offset 0). On applique une vitesse constante pour cette opération. La vitesse de l'eau convient étant donné le faible offset de la flûte et la forte profondeur d'eau. Un filtre passe-haut est appliqué pour supprimer les basses fréquences dues à la houle. Les amplitudes des réflecteurs sous chaque point-miroir peuvent alors être sommées à partir des 3 traces de chaque CDP (*stack*).

La dernière étape du traitement de bord est la migration. On utilise le module *sumigtk* qui permet d'effectuer une migration après sommation simple à la vitesse de l'eau, en domaine fréquentiel.

Le script se termine par la sauvegarde du profil final migré, des fichiers de géométrie, des stacks et la suppression des fichiers temporaires.



**Figure 6** – Spectre des traces brutes



## Script de traitement standard

```

#!/bin/bash
#initialisation
infile="SEGYP/profil"$(1)".seg"
rootout="temp/temp"
i=0

#geometrie acquisition
Nt=24
poff=180
inter=12.5
ishot=50
vmig=1450
intercdp=6.25

#lecture du segy initial
echo " ***** "
echo " lecture du fichier segy "
echo " ***** "
segypread tape=$infile verbose=0 endian=0 | segyclean > $rootout"0.su"

# suppression des traces auxiliaires, recup des shots et traces,
echo " ***** "
echo " Suppression traces auxiliaires "
echo " ***** "
i=$(( i + 1 ))
sufilter < $rootout$((i - 1)).su key=cdpt min=3 max=26 > $rootout$i.su

#calcul du cdp et de l'offset
echo " ***** "
echo " Calcul de la geometrie (cdp et offset) "
echo " ***** "
sugethw < $rootout$i.su output=geom key=fldr,traf > shottrace${1}.head
awk '{i=i+1; print i,i,$1,$2,$3*$ishot/'$sinter'*($1-1)+'$Nt'+1-$2,'$poff'+($2-1)*'$sinter'}' shottrace${1}.head >
geometry${1}.head
a2b n1=6 < geometry${1}.head > geometry.bin

#re-écriture du header avec la geometrie, sort en cdp
echo " ***** "
echo " Ecriture de la geometrie, sort en cdp offset "
echo " ***** "
i=$((i + 1))
sushw key=tracl,tracr,ep,trafc,cdp,offset infile=geometry.bin < $rootout$((i - 1)).su | susort cdp offset > $rootout$i.su

#filtrage, nmo et stack
echo " ***** "
echo " Filtrage, nmo et stack "
echo " ***** "
echo " "
i=$((i + 1))
sufilter < $rootout$((i - 1)).su f=6,10,150,200 | sunmo tnmo=0,9000 vnmo=1500,1500 | sustack key=cdp > $rootout$i.su
cp $rootout$i.su stack${1}.su

#migration tk
echo " ***** "
echo " MIGRATION "
echo " ***** "
echo " "
i=$((i + 1))
sumigtck dxcdp=$intercdp vmig=$vmig < $rootout$((i - 1)).su > $rootout$i.su

#sauvegarde du fichier final
cp $rootout$i.su profil${1}_processed.su
mv geometry${1}.head geom/

#suppr. fichiers temp
#rm -f temp/* geometry.bin

```

## Script d’affichage

```
#!/bin/bash
cdpend=`tail -n24 geom/geometry${1}.head | head -n1 | awk '{print $5}`
cdpstart=`head -n24 geom/geometry${1}.head | tail -n1 | awk '{print $5}`
ncdp=$(( cdpstart - cdpstart ))
tlength=`echo $ncdp"*6.25" | bc`
height=`echo $tlength"*100/65356" | bc`

echo $ncdp "CDPs"
echo "longueur de l'image= "$height" cm"

suwind tmin=2.0 tmax=9.0 < profil${1}_processed.su | sufilter f=6,10,75,100 | sumix mix=1,1,1 | sugain scale=-2 |
supsimage > postscripts/profil_${1}n3.ps f1=2 d1num=0.5 d2=0.00625 d2num=5 height=$height width=15 labelsize=20
label1='TWT (s)' label2='distance (km)' style=normal titlesize=20 title='OWEN '${1} titlesize=20 ybox=0.65 xbox=2.0
verbose=1 wrgb=1.0,1.0,1.0 grgb=0,0,0 brgb=1.0,0.5,0 gridwidth=0.2 grid1=dash grid2=dash bclip=20000 wclip=-1000
```

## Bathymétrie SMF EM-120

### Le sondeur et son équipe

Le sondeur du *BHO Beautemps-Beaupré* est Kongsberg/Simrad EM-120, sondeur grands fonds de « seconde génération ». Comme dans le cas du N/O Pourquoi Pas ?, c’est la technique de la gondole sous coque qui a été retenue.



Figure 7 – Gondole sous-coque du *BHO Beautemps-Beaupré*

La spécificité du *BHO Beautemps-Beaupré* est la présence d’une équipe d’hydrographes du SHOM (GOA – Groupe Océanographique de l’Atlantique) qui assure non seulement les quarts acquisition, mais également le traitement des sondes.

### Traitement de la bathymétrie

Pour des raisons historiques, le SHOM et l’IFREMER utilisent des logiciels de traitement des données multifaisceaux différents. Le SHOM a opté pour le logiciel commercial canadien Caris qui semble faire l’unanimité parmi les hydrographes. IFREMER a choisi de développer son logiciel propre – Caraïbes – largement et gratuitement diffusé dans les laboratoires de l’Université et du CNRS.

Le « nettoyage » des sondes de la campagne OWEN-2 a été effectué par l’équipe des hydrographes du SHOM à l’aide de Caris. En sortie de Caris, deux fichiers ont été spécialement produits (outre les fichiers de base) : un fichier des sondes acceptées pour un traitement avec GMT, un fichier des sondes rejetées pour un traitement dans Caraïbes.

Le sondeur a fonctionné en continue de Salalah à Khor Fakkan. La campagne OWEN-2 étant principalement dédiée à la sismique, la géométrie des profils est peu adaptée à une couverture multifaisceaux complète. Le document bathymétrique de base qui a servi à localiser les profils sismiques d'OWEN-2 est la carte obtenue à l'issue du premier volet d'OWEN (2009). Les nouveaux profils ont été ajoutés à cette base bathymétrique, elle-même enrichie par d'autres campagnes antérieures (FANINDIEN, campagne SHOM de 2009) et quelques profils de transit. La compilation actuelle montre une bonne couverture de toute la zone.

### Sondeur acoustique de sédiment SBP 120

Comme l'EM-120, le sondeur de sédiment est resté en acquisition continue pendant toute la campagne. La fenêtre temporelle d'enregistrement est de 200 ms temps double (TWT), correspondant à environ 150 m. La pénétration est de l'ordre de 70 m. D'une façon générale, et comme pour tous les sondeurs de type 3.5 kHz, les zones de pente ne donnent aucun signal utilisable.

Nous présentons ici le traitement bord que nous avons effectué depuis l'acquisition jusqu'à la production d'images en Post-Script. Cette chaîne de traitement a été établie lors de notre première mission dans la zone avec le *BHO Beautemps-Beaupré* (AOC 2006).

### Mise en œuvre et acquisition

Cette partie est sous le contrôle de l'équipe du SHOM qui fournit des données brutes non traitées au format propriétaire SBP .raw. Les fichiers sont rangés dans des répertoires journaliers. Dans chaque répertoire, les fichiers sont nommés suivant leur date de création (année-mois-jour-hh-mm-ss.raw). Par exemple, le fichier 20120322055123.raw a été créé le 22 mars 2012 à 5h51m23s en heure Zulu, ou GMT. Quand un fichier atteint environ 100 Mo, un autre fichier est créé suivant la même convention de nom. Pour information nous reproduisons les principaux réglages du SBP en cours d'acquisition. Ceux-ci n'ont pas changé pendant la campagne. En particulier, la source est un signal de type « chirp » linéaire de 2,5 kHz à 7 kHz d'une durée de 10 ms et d'amplitude -3 dB. Le taux d'échantillonnage du signal de retour est de 48.8 microsecondes, soit 20480 Hz. Comme la fenêtre temporelle d'acquisition est de 200 ms, il y a 4301 échantillons par trace.

### Relecture, traitement, visualisation et conversion des données brutes

Ces phases ont été réalisées avec le logiciel KM SBP OPU v1.5, sur un PC distinct du PC d'acquisition. Le logiciel est propriété de Kongsberg (KM=Kongsberg Maritime). A l'ouverture, trois fenêtres apparaissent : à gauche pour la visualisation du profil, les deux autres pour la visualisation en mode trace.

**Relecture.** Le logiciel est mis en mode "replay" (et non Survey, Slave ou Convert). On ouvre le fichier désiré .raw en cliquant sur le bouton de lecture (petit triangle noir).

**Traitement.** La chaîne de traitement des données brutes est représentée ci-dessous. On la trouve à l'onglet « Processing ». Nous donnons ici les paramètres de traitements :

```

Gain : option « Enabled » décochée (grisée)
Gain correction : « Enabled » avec « Transmission loss » de 0 dB/km
Filters : « Enabled », type « Matched », corner frequencies « Auto » et « Replica shaping »
Data plotter 1 : option grisée
Attribute processing : « Enabled », avec « Inst. amplitude »
Bottom tracker : « Enabled », avec « Show master depth » et :
    Window start [ms] 3982
    Window length [ms] 20
    Threshold [%] 10
Time varying gain : option « Enabled » décochée (grisée)
Automatic gain control : « Enabled »
    Window length [%] 20
    Apply point [%] 0
    Amp. scaling [%] 70
Process data logger : « Enabled »
Data plotter 2 : option grisée

```

Ces paramètres peuvent être stockés dans un fichier à charger à chaque nouvelle conversion (option « Save configuration » pour le stocker). Le fichier de paramètre est établi en début de mission et reste inchangé. Il est chargé depuis l'onglet « File », « Load configuration » (nom générique : SBPConfig.xml). Les champs "Data plotter" 1 et 2 n'ont pas été utilisés. Ils ne servent qu'à visualiser l'état d'une trace à des étapes intermédiaires du traitement.

**Visualisation.** La fenêtre "Echogram 1" déroule le fichier traité. Les autres fenêtres peuvent être retirées de l'écran via le menu « Display ». Elles peuvent servir à la mise au point de la chaîne de traitement. Pour l'« Echogram 1 », il existe deux modes de display : "Adjust range to current window" et "Adjust to current trace length ». On laisse au lecteur le soin de choisir celui qu'il préfère. Les changements de réglages n'affectent pas l'export des données traitées décrit ci-dessous.

**Conversion des données brutes.** Les données brutes lues, traitées, et visualisées peuvent être sauvegardées au format SEG-Y en appuyant sur le bouton d'enregistrement (point rouge en haut de la fenêtre). Nous conseillons de faire quelques tests préalables car l'usage des deux boutons de lecture et d'enregistrement demande un peu de pratique. En mode « production », le tout peut se faire en trois clics : 1) charger le menu de configuration ; 2) charger le fichier via le triangle noir de défilement ; 3) dès que le défilement est amorcé, entrer un nouveau nom pour le SEG-Y via le bouton rouge d'enregistrement. Ce bouton d'enregistrement est équivalent au menu « Processed data logger » de la chaîne de traitement « Processing chain ». La taille du fichier exporté (.seg) peut y être définie, à fixer à 0 pour conserver inchangée la taille du fichier en entrée (.raw).

Les données ont été systématiquement sauvegardées pendant la campagne en format SEG-Y après application de la chaîne de traitement décrite ci-dessus (nom\_fichier\_acquisition.seg). L'option « Inst. Amplitude » dans l'étape « Attribute processing » permet une visualisation optimale des données (amplitude négative du signal non représentée). Pendant cette étape, nous avons noté manuellement les zones intéressantes (No. de profil sur le plan de position, No. de trace de début et de fin de zone, fenêtre temporelle de la zone).

### Application du délai

Le problème du délai est géré via un script SU, additionné d'un programme fortran qui décode les headers de traces. Outre l'application du délai, le décodage permet de géolocaliser chaque trace. Les positions de fin et début des profils SBP sont systématiquement indiquées dans les .ps. Ceci s'avère très utile, les portions interprétables du SBP étant de taille variable selon les pentes rencontrées.



## Script d'application du délai

```

#!/bin/csh -f
rm -f padded.su

#Lecture du SEG Y du SBP120
segypread >input.su endian=0 tape=$1 over=1 format=5

#Range des parametres des headers de traces
surange <input.su >temp.txt

#Determiner le nombre d'echantillons par trace (nsamp)
set nsamp1=`more temp.txt | grep ns | awk '{print $2}'`
echo 'Nombre d"echantillons par trace : ' $nsamp1
set wind1=$8
set wind2=$9
set dt=0.048

#Padding et calcul des longueurs de profil et positions Lat Long
padder_time << END
input.su
padded.su
$nsamp1
$2 $3 $4
$5 $6 $7
$wind1 $wind2
END

#Relecture du fichier padder.tmp
set ntrac=`more padder.tmp | awk '{print $1}'`
set nsamp2=`more padder.tmp | awk '{print $2}'`
set alat1=`more padder.tmp | awk '{print $3}'`
set alon1=`more padder.tmp | awk '{print $4}'`
set alat2=`more padder.tmp | awk '{print $5}'`
set alon2=`more padder.tmp | awk '{print $6}'`
set alength=`more padder.tmp | awk '{print $7}'`
set px=`more padder.tmp | awk '{print $8}'`
set ho=`more padder.tmp | awk '{print $9}'`
set ialat1=`more padder.tmp | awk '{print $10}'`
set ialat2=`more padder.tmp | awk '{print $11}'`
set ialon1=`more padder.tmp | awk '{print $12}'`
set ialon2=`more padder.tmp | awk '{print $13}'`
set iblat1=`more padder.tmp | awk '{print $14}'`
set iblat2=`more padder.tmp | awk '{print $15}'`
set iblon1=`more padder.tmp | awk '{print $16}'`
set iblon2=`more padder.tmp | awk '{print $17}'`

echo 'Nombre total de traces : ' $ntrac
echo 'Nombre d"echantillons par trace : ' $nsamp2
echo 'Longueur du profil : ' $alength
echo 'Pas de trace (km) : ' $px
echo 'Pas de temps (ms) : ' $dt

set hlong=`echo "$alength*0.32" | bc -l`
echo 'Longueur du plot : ' $hlong
#pour mettre le nom du fichier dans le titre
set temp=`expr substr $1 36 18`
set title=$temp("'$3':'$4'-N'$ialat1'."'$ialat2'""-E'$ialon1'."'$ialon2'"/"$6":"$7"-N'$iblat1'."'$iblat2'""-E'$iblon1'."'$iblon2'""")
echo $title
echo $10

sugain <padded.su >processed.su agc=0 scale=$12

#Sortie postscript
supsimage <processed.su >$10 n1=$nsamp2 f1=$wind1 d1=$dt f2=0 d2=$px n2=$ntrac d2num=5.0 \
height=$hlong width=$11 labelsz=10 label1='TWT (ms)' label2='Distance (km)' \
style=normal titlesz=8 title=$title titlesz=6 ybox=0.65 xbox=2.0 verbose=1 wrgb=1.0,1.0,1.0 grgb=0,0,0 brgb=1.0,0.5,0 \
gridwidth=0.2 grid1=dash grid2=dash bclip=0.94 wclip=0.
kghostview -landscape $10

```

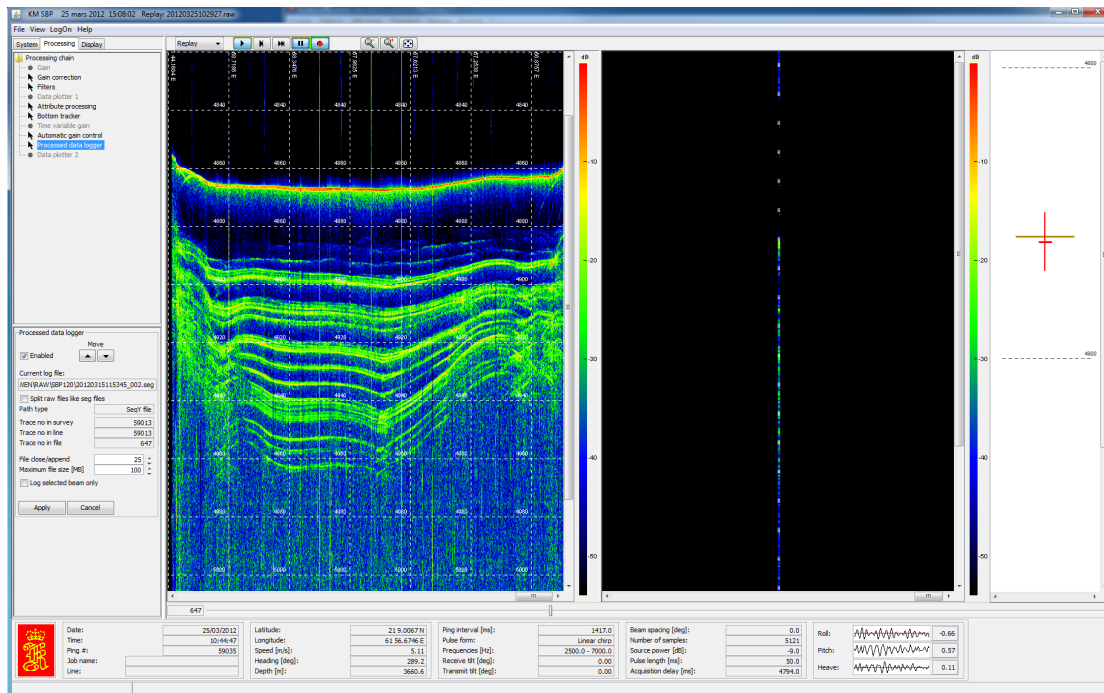


Figure 8 – Copie d'écran de la chaîne de traitement des données brutes

## Magnétométrie

### Acquisition des données

L'instrument utilisé est un magnétomètre marin SeaspY S/N°13045 du type scalaire à effet Overhauser, équipé d'un capteur omnidirectionnel et tracté en queue de flûte sismique. Il mesure donc le champ total.

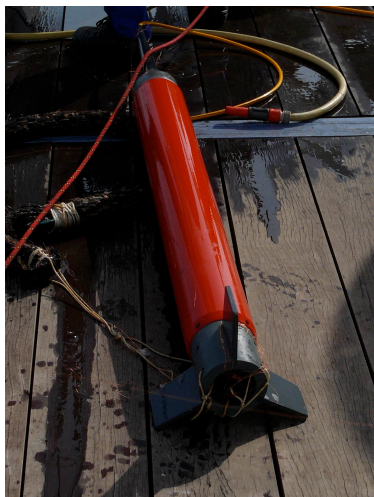


Figure 9 – Magnétomètre de queue de flûte sismique

La donnée passe par un câble intégré à la flûte et par un convertisseur série/UDP pour être transmise et archivée sur le système d'acquisition Techsas du navire, à une cadence de 3 secondes à 4800 bauds La longueur filée (au tableau arrière) est de 598 mètres (48 mètres

derrière l'amortisseur de queue de flûte) et le déport à l'antenne GPS est de 635 mètres (+37 m du tableau arrière à l'antenne GPS).

### Précision et qualité des données

La cadence de mesure de ce magnétomètre est de 3 secondes, la résolution de 0.1 nT. Les mesures aberrantes sont peu nombreuses. Du fait du peu de points de croisement, aucune analyse directe de l'effet de la variation diurne du champ n'a pu être effectuée.

### Traitement des données

Les données sont fournies avec un délai d'une journée dans un fichier "20120315\_LOC\_MAG.txt" sous la forme date heure (Z) champ total :

```
15/03/2012 18:08:31 15.166340 57.240711 039528.5
15/03/2012 18:08:34 15.166316 57.240763 039530.1
15/03/2012 18:08:37 15.166293 57.240817 039525.8
15/03/2012 18:08:40 15.166268 57.240869 039520.8
15/03/2012 18:08:43 15.166244 57.240923 039516.4
```

Le traitement a été assuré par l'équipe scientifique. Les étapes du traitement sont les suivantes :

- Découpage du fichier fourni en profils "P1\_bato.txt", "P2\_bato.txt", etc...
- Correction du déport du magnétomètre de 635 m par rapport à l'antenne GPS, compte tenu de l'absence de GPS de queue de flûte. Le déport correspond approximativement à la distance parcourue en 2 minutes à 10 nœuds (618 m), soit à 40 mesures avec une mesure toutes les 3 secondes. La correction de déport est effectuée avec une commande awk (voir script ci-après).
- Calcul du jour Julien (commande awk).
- Soustraction du champ magnétique de référence (IGRF) et calcul de l'anomalie magnétique avec un programme fortran adapté de igrf11.f de S. Macmillan du British Geological Survey disponible sur le web. Un fichier intermédiaire nommé "P1.txt", "P2.txt" etc... est produit au format : date, heure, longitude, latitude, champ total, IGRF, anomalie.
- Ré-échantillonnage au pas de une minute (commande awk).
- Extraction de la bathymétrie et de la gravimétrie (Sandwell et Smith, V18.1) le long du profil avec GMT.
- Le fichier final produit pour chaque profil, nommé "OWEN2.P1", "OWEN2.P2" etc..., est au format : longitude, latitude, anomalie magnétique, bathy, gravi.

```

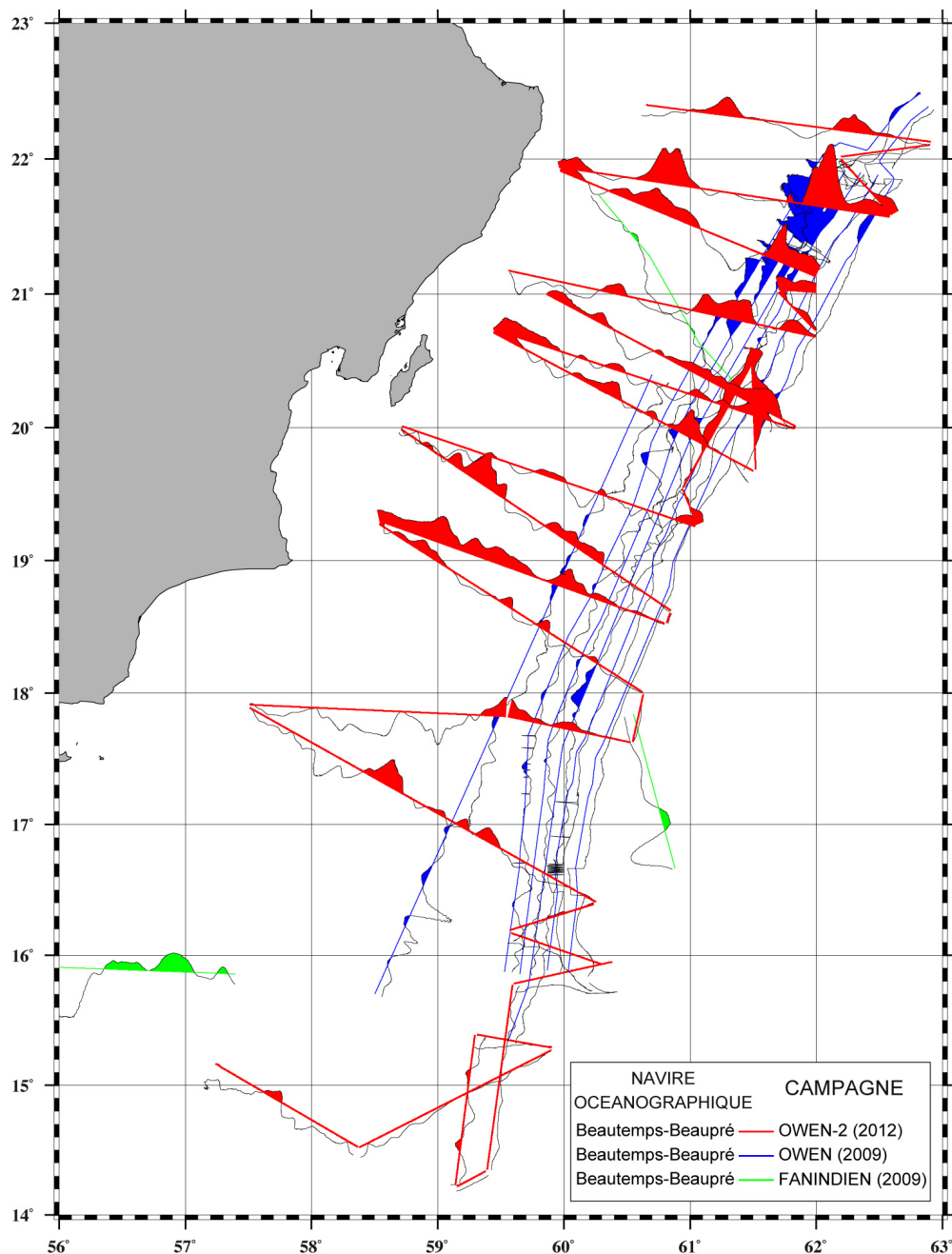
#!/bin/csh
set Profil_debut=25
set Profil_fin=25
set Pr=P
set Trait=_
set Temp=temp
set Bato=bato
set Decal=decal
set Ju=julien
#
set p=$Profil_debut
while ($p <= $Profil_fin)
    echo "Profil : " $Pr$p
    awk '{ n=n+1; lat[n]=$3; lon[n]=$4; { if (n>=41) print $1,$2,lat[n-40],lon[n-40],$5 }}' $Pr$p$Trait$Bato.txt >
$Pr$p$Trait$Temp$Trait$Decal.txt
#
    awk -F "/" '{ j=0; for (i=1; i<=$2-1; i++) { if ($i == 1 || $i == 3 || $i == 5 || $i == 7 || $i == 8 || $i == 10 || $i ==
12) {j = j + 31} else { if ($i == 4 || $i == 6 || $i == 9 || $i == 11) {j = j + 30} else {j =j+29}} } {j = j + $1; print $1,$2,$3,j}}'
$Pr$p$Trait$Temp$Trait$Decal.txt | awk '{ print $8, $5, $6, $7, $1, $2, $3, $4}' > $Pr$p$Trait$Temp$Trait$Ju
#
    set filein=$Pr$p$Trait$Temp$Trait$Ju
    set fileout=$Pr$p.txt
#
    igrf_bato <<FIN
    $filein
    $fileout
    FIN
#
    awk '{ n=n+1; k=(n+19)/20; kk=k-int(k); {if (kk==0) print $5,$6,$9}}' $Pr$p.txt > $Pr$p.ano
    grdtrack $Pr$p.ano -G../owen2.grd -V > $Pr$p$Trait$Temp.xyz
    grdtrack $Pr$p$Trait$Temp.xyz -G../GRAVI/gravi_owen.grd -V > $Pr$p$Trait$Temp.xyg
    awk < $Pr$p$Trait$Temp.xyg '{ print $1, $2, $3, -1*$4, $5 }' > OWEN2.$Pr$p
    @ p = ($p + 1)
end
#
rm -f P?*_temp*

```



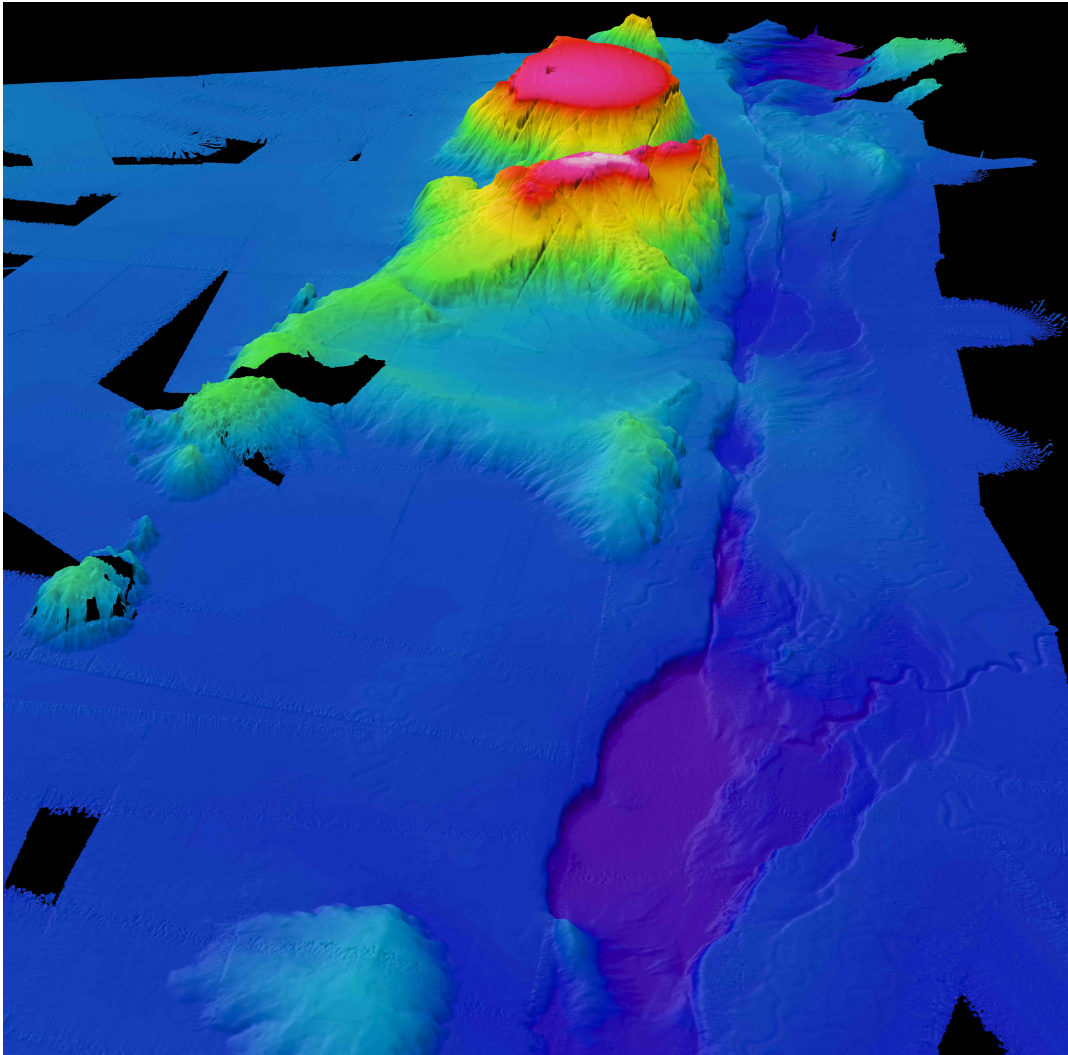
## Premiers résultats

### Anomalies magnétiques



Les anomalies sont de faibles amplitudes (généralement de -100 à +100 nT). Des anomalies de courtes longueurs d'onde sont enregistrées dans le Bassin d'Owen, compatibles avec une origine océanique. La corrélation avec des profils préexistants suggère une direction est-ouest. La Ride d'Owen présente des anomalies plus fortes d'origine probable volcanique. En bordure est de la ride d'Owen, les anomalies sont corrélables aux linéations océaniques reconnues en Mer d'Arabie.

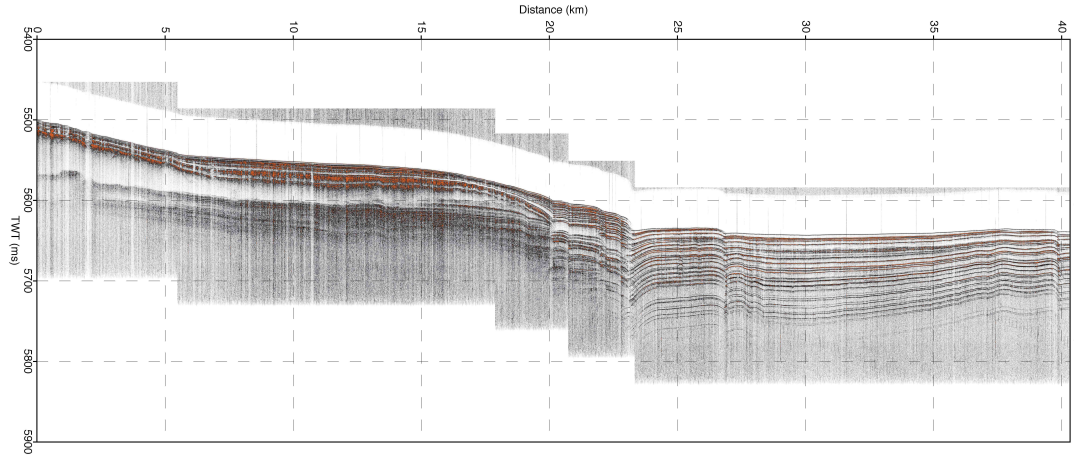
## Bathymétrie multifaisceaux



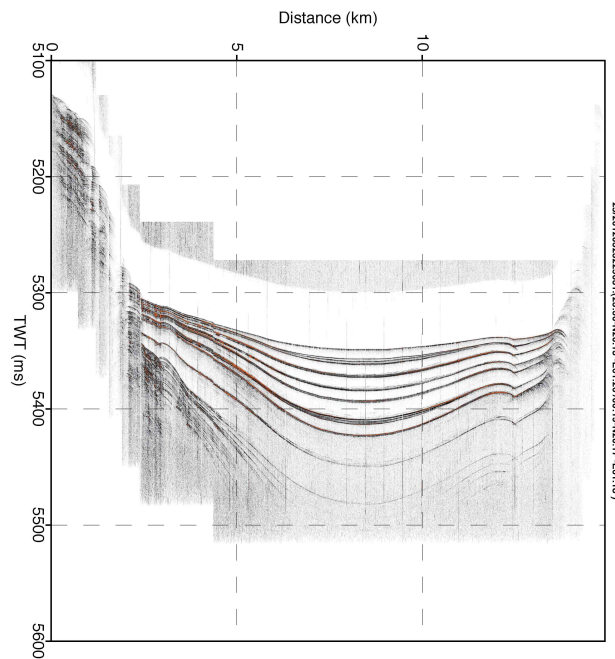
Vue en perspective regard vers le nord de la zone de fracture d'Owen, depuis le bassin N20° jusqu'au Mont Qalhat et la queue de cheval de Dalrymple dans le lointain. On distingue deux rides au sud du Mont Qalhat, dont la branche ouest s'ennoie progressivement enfouie sous les sédiments du bassin d'Owen, et la branche est, en continuité avec la ride d'Owen *sensu stricto*.

Données utilisées : campagnes OWEN et OWEN-2, complétées par des données du SHOM

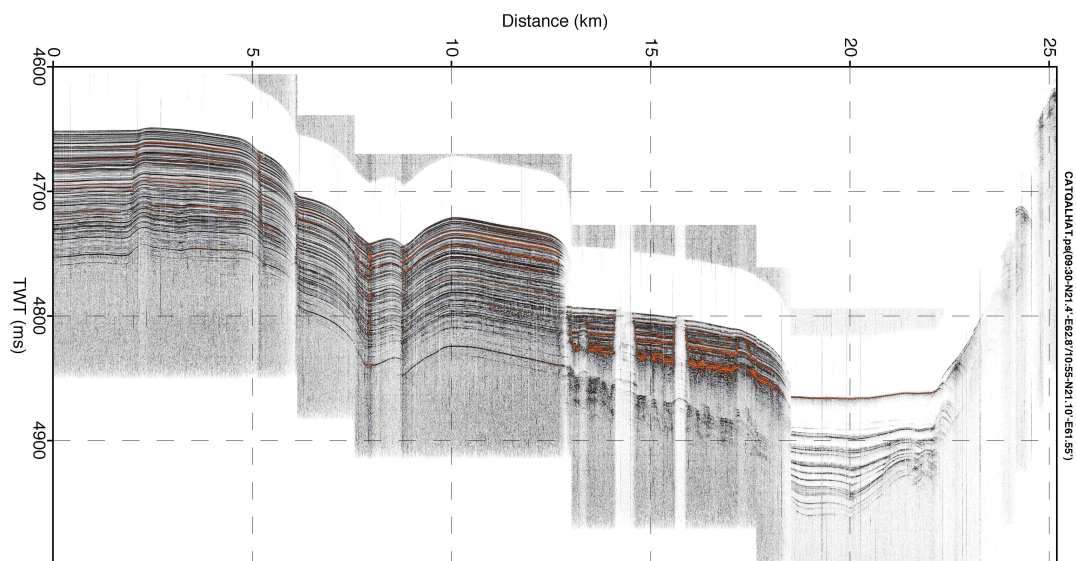
## Quelques exemples de profils de sondeur de sédiments



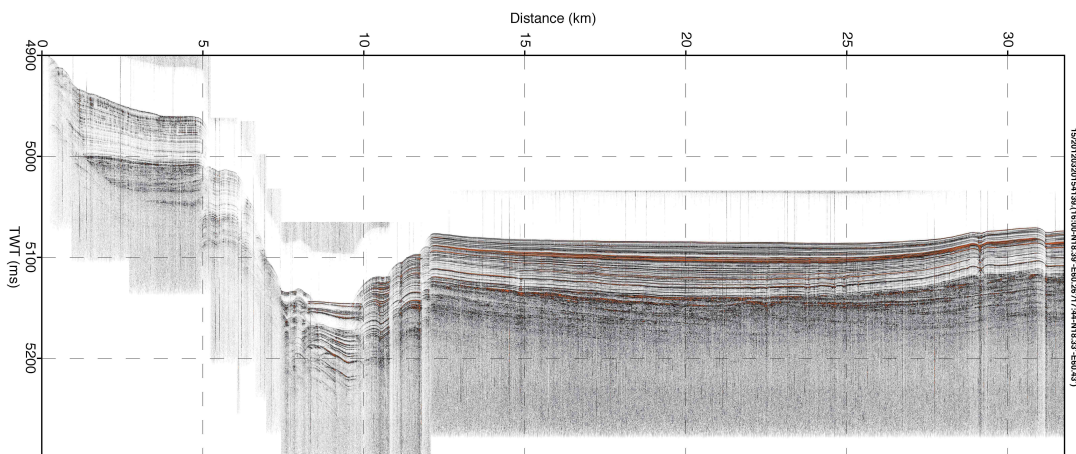
Profil OWEN O4-1 : Profil au travers du bassin Beutemps-Beaupré. Un important dépôt de glissement de terrain est observé en bordure du bassin ; des failles normales syn-sédimentaires affectent les dépôts du bassin.



Profil OWEN 25-3b : Profil au travers du bassin N20° montrant son remplissage turbiditique et sa faille bordière principale.

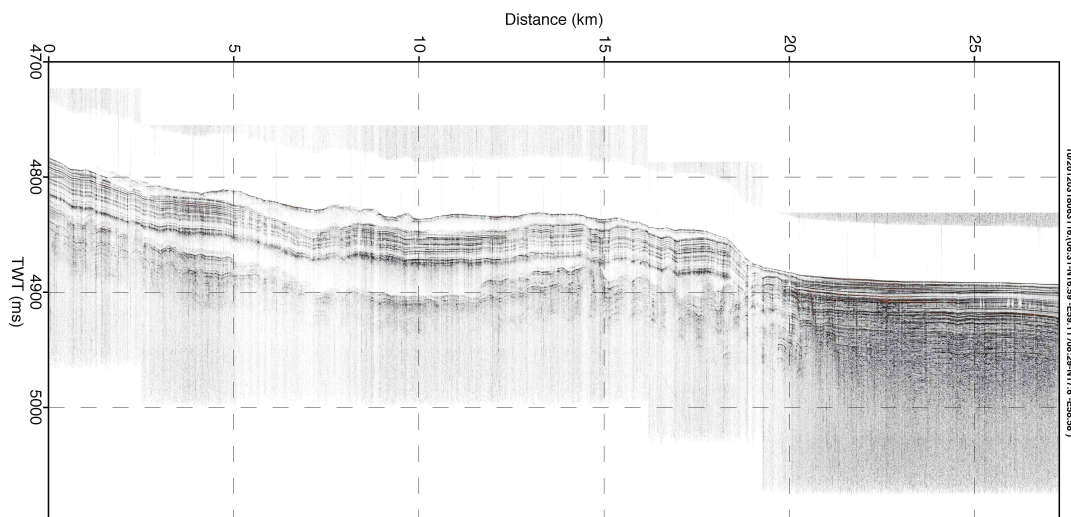


Profil OWEN 04-1 : Profil transverse au bassin pull-apart de Qalhat. Des volcans de boue sont identifiés en bordure du bassin. Le cœur du bassin est comblé par des dépôts de glissement de terrain.

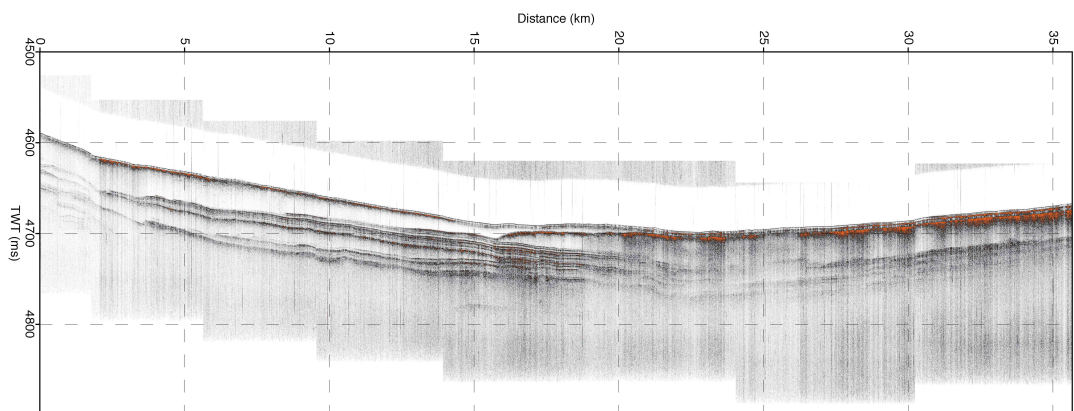


Profil 15-8 : Profil transverse au bassin pull-apart Peanut (à la latitude 18°40'N). Le bassin est asymétrique, avec des dépôts basculés vers l'est. Sur la base des forages à proximité, le taux de sédimentation est de l'ordre de 40m/Ma. L'âge de la base du corps supérieur (facies moins réflectif) serait d'un million d'années.



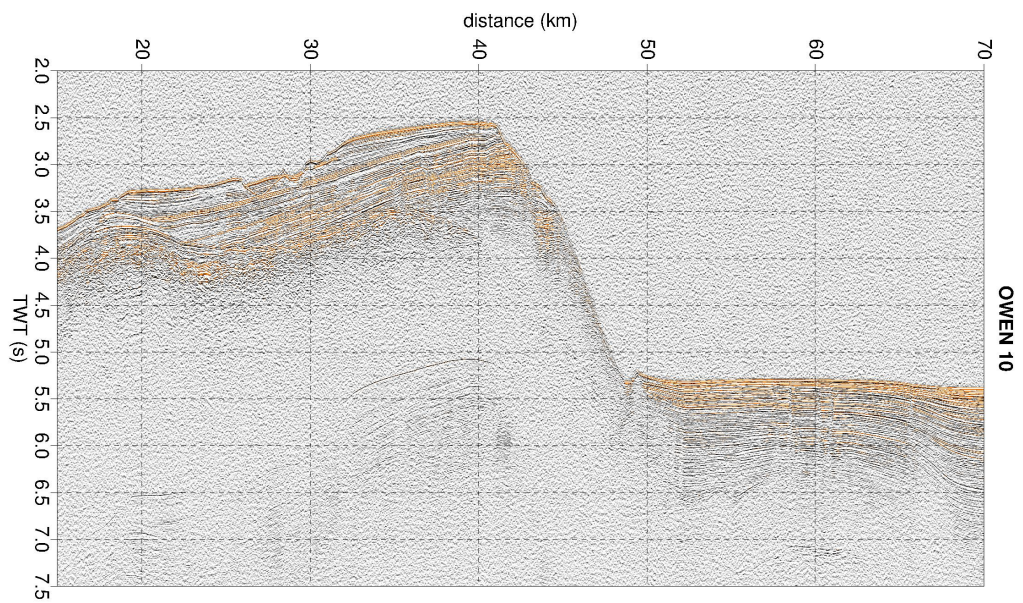
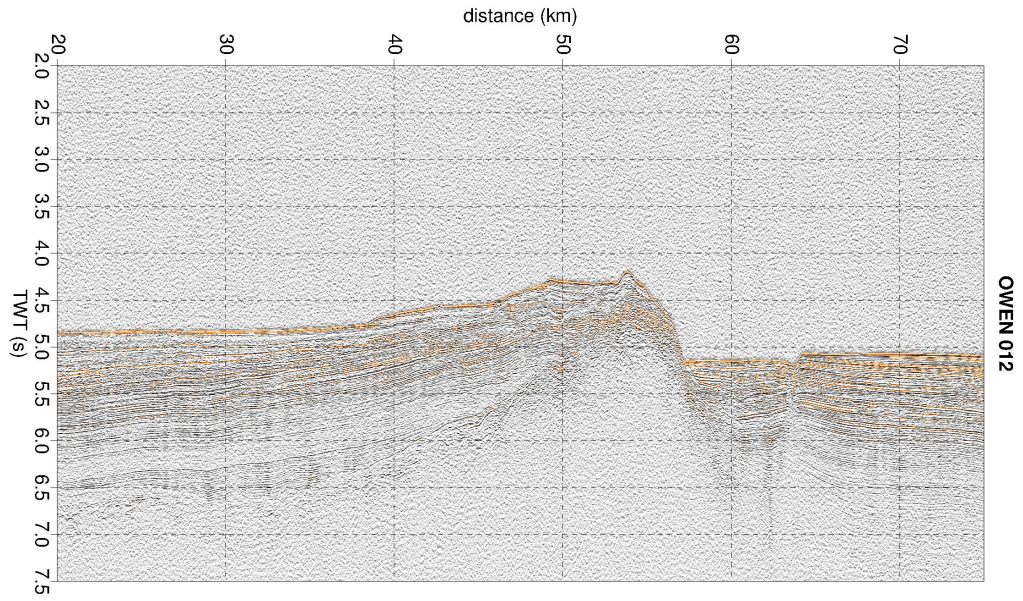


Profil Owen 10-5 : Profil localisé sur le segment sud de la Ride d'Owen recoupant deux générations de glissements de terrain reconnaissables à leur faciès transparent. La série hémipélagique intercalée entre les deux corps glissés permet, au moyen des taux de sédimentation calculés lors du Leg ODP 117, d'estimer la récurrence des glissements de terrains à cet endroit de la Ride d'Owen.



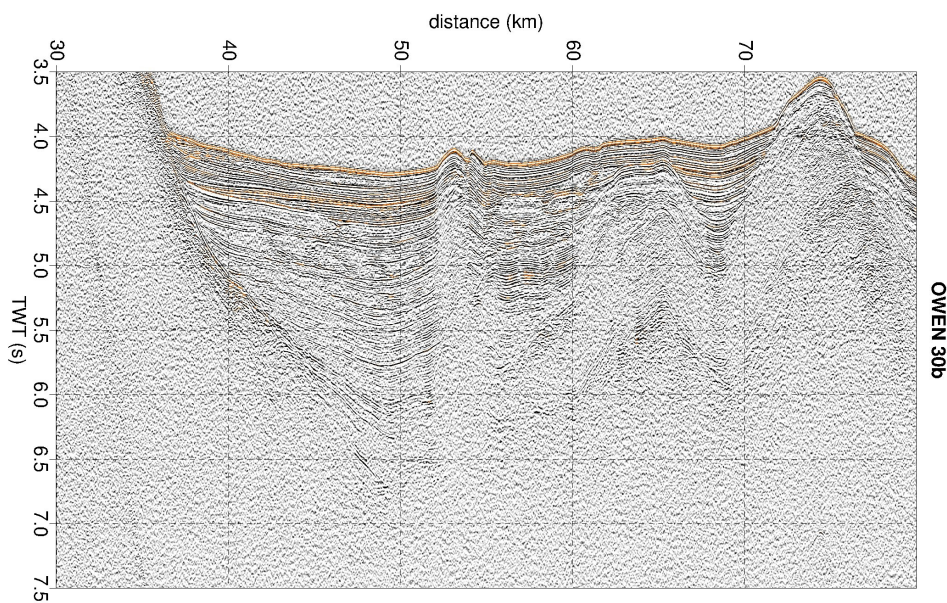
Profil 17-3 : Profil traversant des dépôts de glissement de terrains à l'ouest du segment central de la Ride d'Owen. Les séries hémipélagiques intercalées entre les corps glissés sont de moindre épaisseur que celles identifiées sur le segment sud de la Ride d'Owen (Profil 10-5), suggérant une fréquence plus importante des glissements de terrain à cet endroit de la Ride.

## Profils sismiques

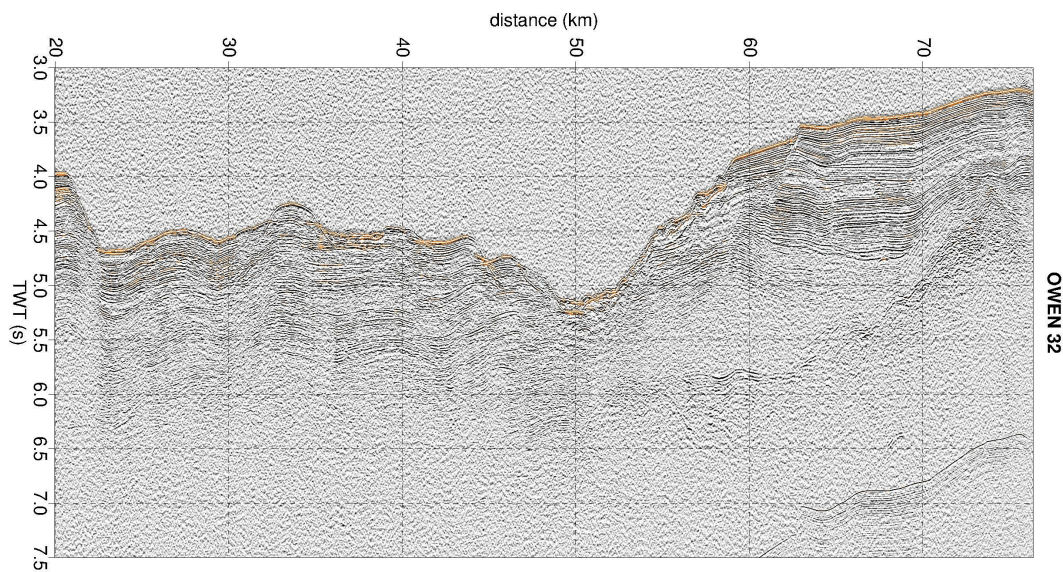


Deux profils sismiques recoupant la zone de fracture d'Owen. La ride d'Owen forme un fort relief au sud qui s'enfouit progressivement vers le nord. Le socle est atteint à 7 s, au niveau d'un bourrelet compressif au pied de la ride (Profil 10).



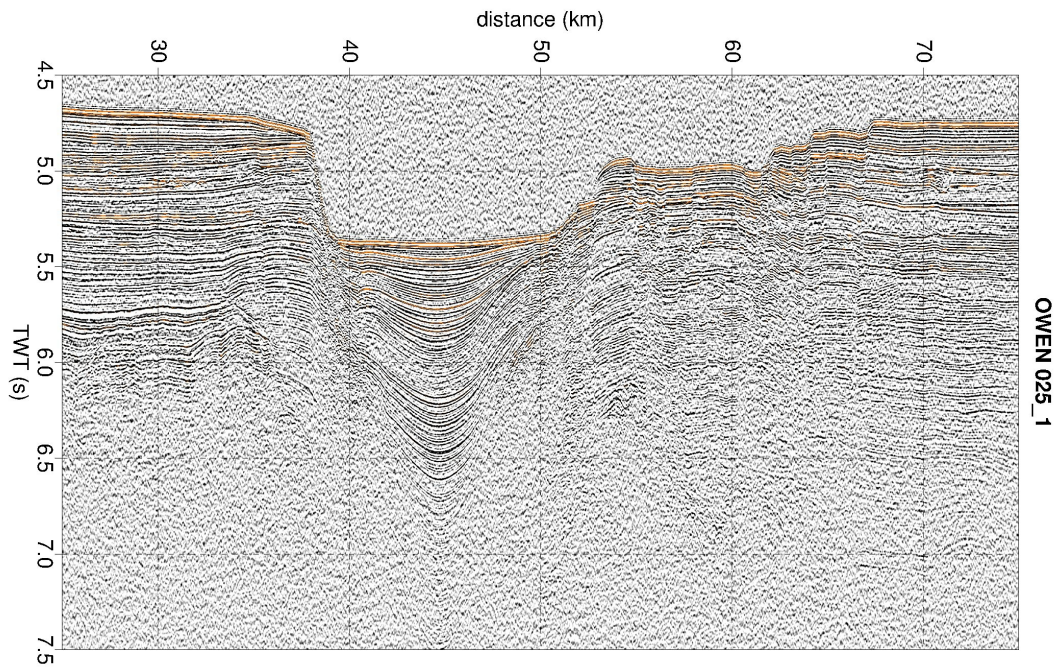


Passage de la zone de fracture d'Owen, montrant une ride de transpression au cœur d'un bassin sédimentaire limité par des hauts de socle appartenant à la ride de Qalhat

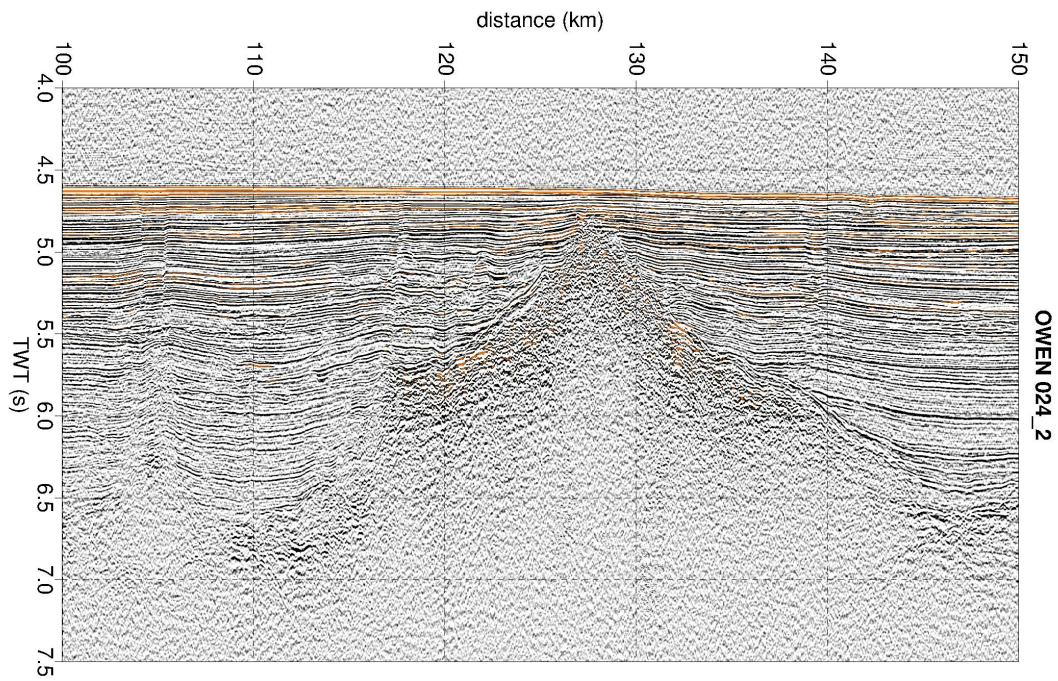


Passage de la queue de cheval de Dalrymple montrant les failles normales à double vergence et la remontée du socle vers la Ride de Murray





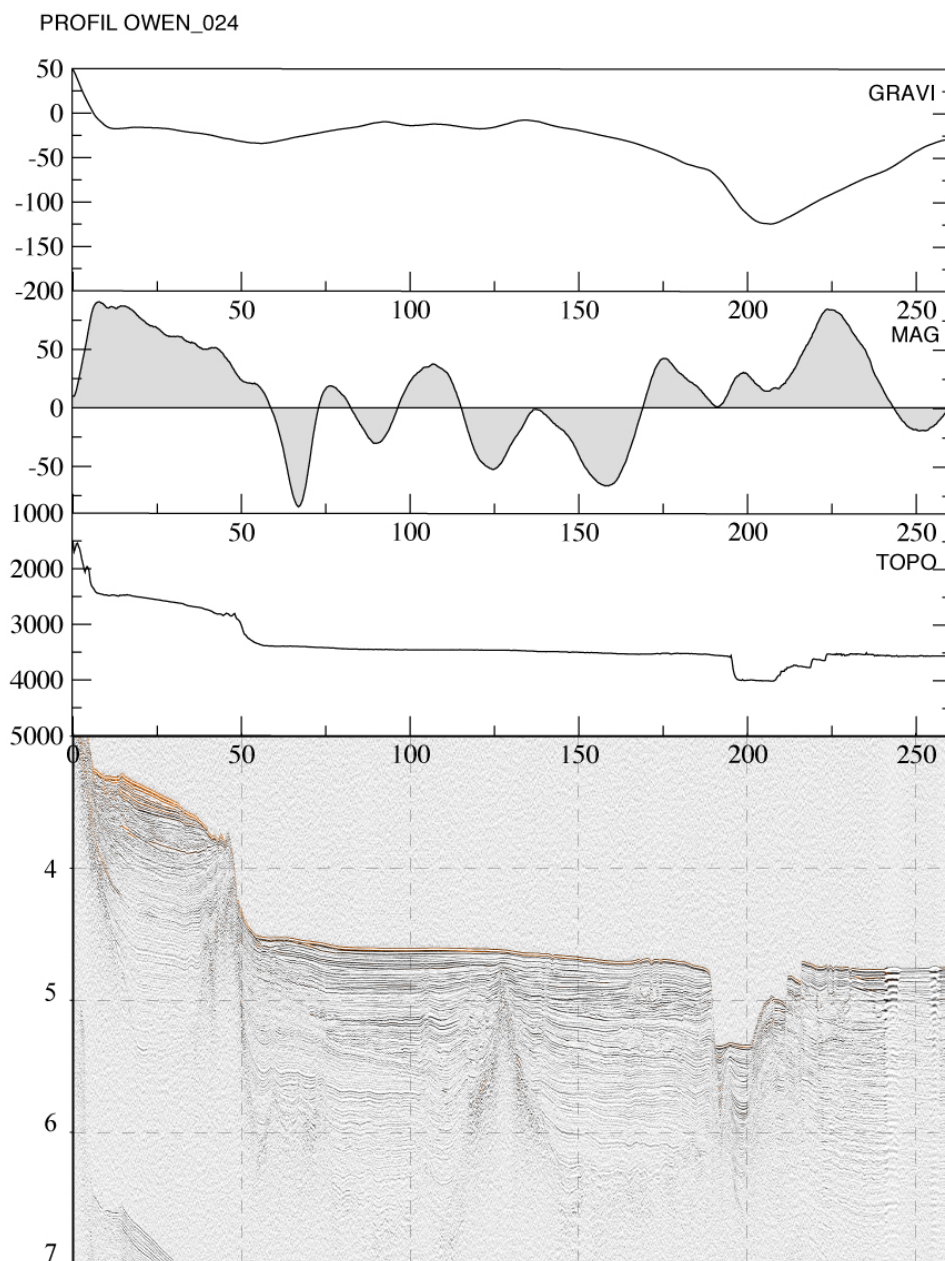
Profil E-W au travers du Bassin N20°, avec sa faille bordière décrochante à l'ouest et une série de failles normales en cuillère à l'est.



Relief prolongeant vers le sud la ride du Mont Qalhat, au centre du bassin d'Owen

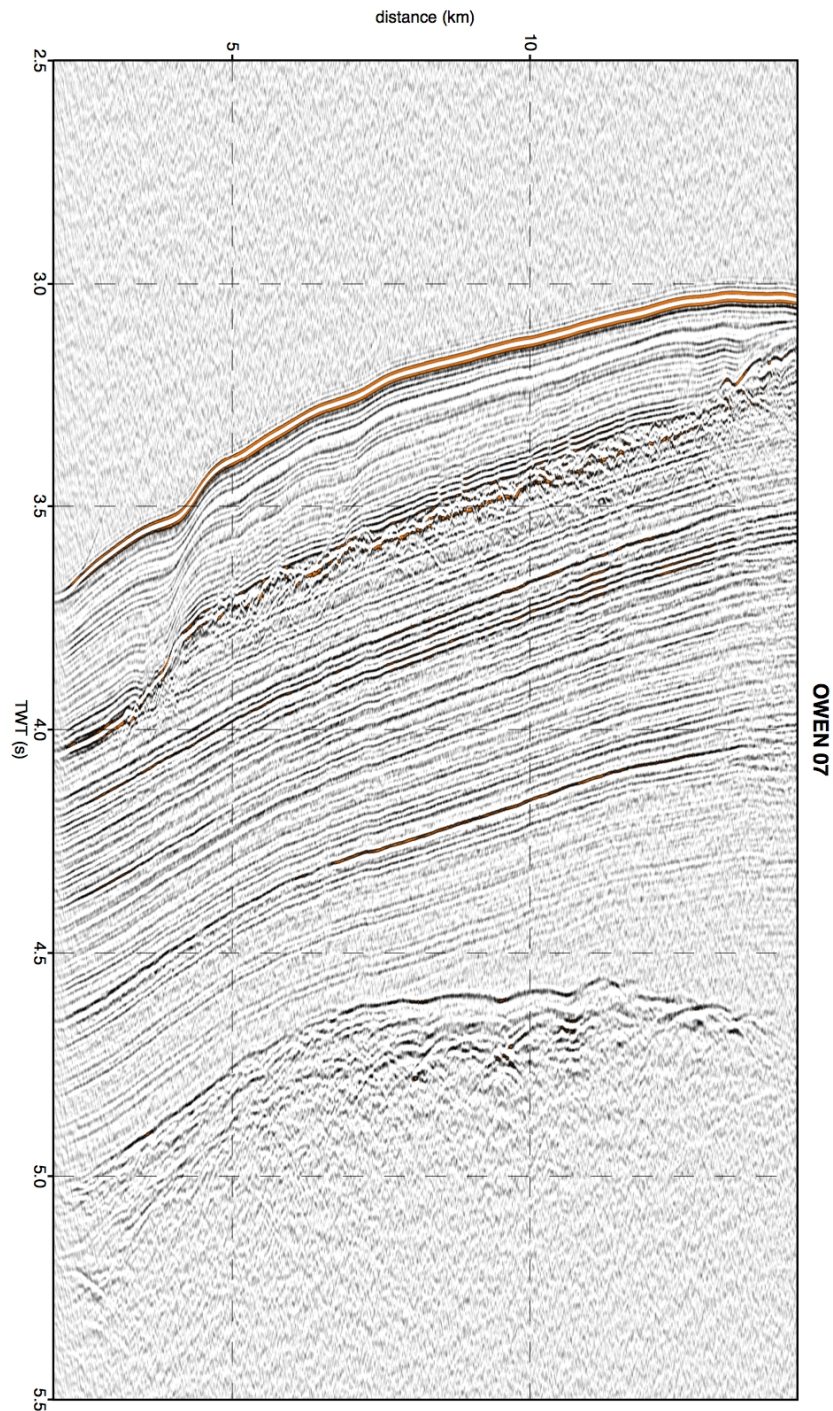


## Socle profond du bassin d'Owen



Exemple de profil traversier recoupant d'ouest en est : la terrasse de Masirah, la ride marginale de Masirah, le bassin d'Owen, le relais extensif N20°. Le socle du bassin d'Owen est visible sous environ 2000m de sédiments, et montre un relief central enfoui qui prolonge vers le sud les reliefs du Mont Qalhat. Les anomalies magnétiques ne semblent pas corrélées à la topographie du socle, ce qui suggère une origine océanique du bassin d'Owen (la courbe du haut est extraite de la gravimétrie satellitaire). L'exagération verticale est de l'ordre de 50 et le profil est décimé (1/16 soit 100m d'inter-trace).

## Socle et couverture sédimentaire de la Ride d'Owen



Exemple de profil recoupant la Ride d'Owen dans sa partie la plus sud, dans la région du site de forage DSDP224. Le socle est atteint sous environ 1000 à 1500m de sédiments. Le corps chaotique marque le soulèvement de la ride et le passage d'une sédimentation turbiditique à une sédimentation hémipélagique, daté à 20 Ma.

## Evaluation des résultats obtenus par rapport aux résultats escomptés et résultats nouveaux

### 1. Déformation active le long de la ZFO

Les profils recoupant la ZFO sont tous d'excellente qualité et imagent clairement la nature de la déformation, décrochante avec une composante compressive ou extensive. Quantitativement, 23 profils ont recoupé la ZFO au lieu de 15 prévus, ce qui permettra une analyse encore plus fine des variations longitudinales. Un résultat inattendu est, dans la partie sud de la ZFO, l'extension plus importante que prévue des plis associés (« restraining bend »), enfouis sous les sédiments et non visible sur la bathymétrie. La partie nord a révélé une variabilité des structures extensives, avec ou sans basculement des couches dans les bassins en pull-apart, avec cependant une faille occidentale systématiquement à plus fort rejet que les failles conjuguées.

### 2. Structure et remplissage des bassins en pull-apart

Les deux bassins de Beautemps-Beaupré (en terminaison sud de la ZFO) et 20°N (pull-apart) ont été imagés, même si le socle n'a pas été atteint au centre du premier, trop profond. Dans le bassin N20°, la série sédimentaire pourra être corrélée grâce au forage DSDP 222 que nous avons recoupé, même si cette série est beaucoup plus épaisse (au moins 2500 à 3000m) que la profondeur atteinte par le forage (1300 mbsf). Cependant, l'âge atteint par le forage (6,5 Ma) est suffisant pour calibrer toute l'histoire du remplissage du bassin N20°, dont l'origine est liée au fonctionnement récente de la ZFO que nous estimons compris entre 4 et 6 Ma.

### 3. Déstabilisations gravitaires

Les zones déstabilisées et leurs produits (« Mass transport deposits ») sont clairement imagés, leurs volumes devraient pouvoir être estimés ainsi que leur âge, du moins dans la partie sud, grâce à la calibration avec les forages.

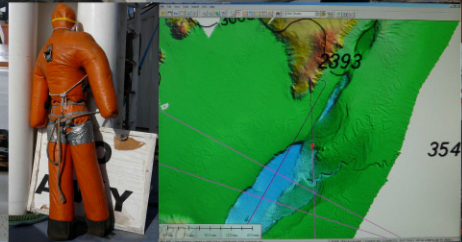
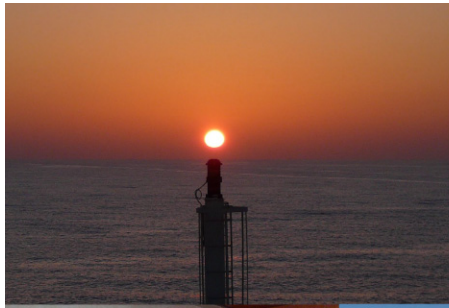
### 4. Structure, nature et âge du Bassin d'Owen et de la marge omanaise

Le socle est atteint presque partout dans le bassin d'Owen, et sa profondeur confirme un âge plutôt Crétacé supérieur, voire paléocène, ce qui exclut l'hypothèse jurassique (mais ne résout pas le problème de l'âge des ophiolites de Masirah). Les anomalies magnétiques sont de relativement courtes longueurs d'onde et ne sont pas corrélées à la profondeur du socle, ce qui va dans le sens d'une origine de type croûte océanique. Les nouveaux profils magnétiques et leur intégration aux profils existants semblent indiquer une direction des linéations plutôt E-W. Un résultat inattendu est l'extension vers le sud, enfouie sous les sédiments au milieu du bassin d'Owen, de la ride sud Qalhat, dont la signification géodynamique est donc sans doute distincte de celle de la ride d'Owen s.s. (parties centrale et méridionale). Plus près de la marge omanaise, les profils sismiques ont montré la continuité, sur 500 km, de la ride marginale de Masirah, dont certaines parties sont enfouies sous les sédiments et donc non visibles en bathymétrie.

### 5. Age et l'histoire du basculement de la ride d'Owen

Dans la partie sud de la ride, la couverture sédimentaire présente toutes les caractéristiques décrites au site de forage DSDP 224 qui a atteint le socle et que nous avons recoupé sur le profil OWEN10. Comme le socle est également observable sur la plupart des profils, la série sédimentaire imagée est donc parfaitement calée en âge.





pour faire de beaux voyages  
et apprendre un métier

**ENGAGEZ-VOUS  
DANS LA MARINE**  
Vous aurez : primes, pecule, retraite  
tout enseignement, école, Ministère Marine plus, sans limite

**DISCIPLINE**

