

## **RAPPORT D'ACTIVITE - Janvier 2002**

### **Estimation des possibilités de mesures quasi-continues en mer**

Coordinateur: Jacques Déverchère, maître de conférences à l'Université Pierre et Marie Curie  
Personnel de l'UMR directement concernés : Alain Anglade (AI CNRS), Nicole Béthoux (MCF UNSA), Philippe Charvis (DR IRD), Françoise Courboux (CR CNRS), Anne Deschamps (DR CNRS), Jacques Déverchère (MCF UPMC), Stéphane Gaffet (CR CNRS), Yann Hello (IE IRD), Stéphane Operto (CR CNRS), Françoise Sage (MCF UPMC), Jean Virieux (PR UNSA)

## **1. Préambule**

### **A. Situation nationale et internationale: Evolution des parcs**

Les nombreux séismes destructeurs récents ont rappelé à la communauté scientifique la nécessité d'une surveillance accrue de la sismicité en bordure des continents. Pour cela, des capteurs avec une bande passante plus large et une autonomie de plusieurs mois vont permettre de mettre en œuvre une surveillance de la sismicité similaire à terre et en mer. Une concertation nationale commencée il y a environ 2 ans a abouti à une réunion, à l'initiative de l'INSU, en Juillet 2000 sur la coordination dans la constitution d'un parc OBS à la disposition de la communauté scientifique française. La pression de la communauté nationale des sciences de la terre reste toutefois trop forte pour que les équipes de l'IRD et de l'IFREMER puissent satisfaire les besoins de la communauté tout entière et l'idée de la construction d'un parc OBS national a fait son chemin. Il est fondamental que l'activité sismique la plus proche de France métropolitaine soit bien couverte. L'action menée dans le cadre de DEVINE est à cet égard exemplaire et complémentaire de l'action des autres groupes en France. Le projet de rénovation et de développement du parc OBS dans l'UMR Géosciences Azur et dans le cadre d'un projet national implique que le parc OBS pourra être utilisé pour des opérations spécifiques, dans le cadre de projet nationaux pluri-organismes et dans le cadre des observations en mer Ligure.

### **B. Objectifs de la phase considérée pour les besoins en domaine Ligure**

Dans cette phase du projet, nous souhaitons réunir les conditions permettant de maintenir de manière quasi permanente un réseau de 4 à 5 stations sismologiques de bonne qualité et à enregistrement continu au large de la mer Ligure, en vis-à-vis de la Riviera. Un tel réseau vise à une estimation des effets d'un séisme provenant du domaine sous-marin par l'enregistrement de la microsismicité: identification des failles sismogènes, stabilité et précision des localisations des hypocentres, mécanismes au foyer et variations spatiales du champ de contraintes, répartition des répliques suite à des chocs de magnitude supérieure à 4, régionalisation des retards systématiques des ondes *P* et *S* à la traversée de la marge, calcul des mouvements du sol, amplification et suivi des ondes au passage de la limite continent-océan, rôle de l'interface eau-sol sur l'amplification des mouvements du sol et la propagation des ondes.

Nos objectifs concrets étaient donc les suivants:

1. Assurer une évolution des instruments en terme de fiabilité (pérennisation d'immersion longue, sécurisation des récupérations), de faisabilité (adaptation au calendrier de rotation du navire de l'INSU-CNRS, capacité de réaction à une activité anormale), et de qualité des signaux;

2. Tester la capacité à la relocalisation fine des OBS, au contrôle du temps par tirs, et à une orientation des composantes
3. Permettre une corrélation efficace des signaux d'un OBS à l'autre pour une identification des arrivées et la localisation des séismes;
4. Elargir la bande de fréquence (passage des 3 composantes de 4,5 Hz à 1 Hz), et si possible accroître l'autonomie des OBS à 2 mois ;
5. Etablir une base de données numériques pour une intégration rapide avec les données des stations terrestres et pour envisager une mise à disposition pour la communauté ;
6. Mettre en place les procédures de relocalisation terre-mer à optimiser pour les séismes les plus importants.

## 2. Evolution technologique des OBS: le point sur la définition et la construction des instruments

---

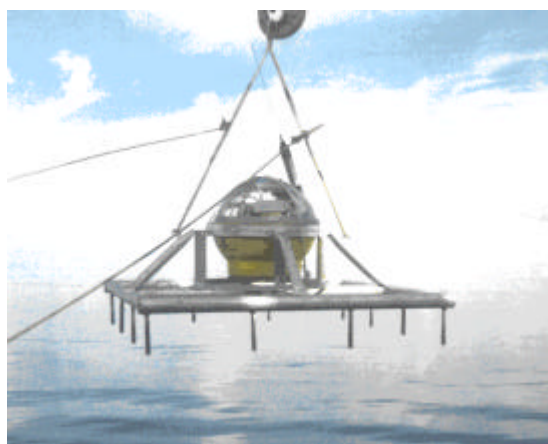
### CHOIX

---

#### *STANDARDISATION*

Géosciences Azur, principalement pour la surveillance en mer ligure et plus largement pour des campagnes en mer Méditerranéenne (réfraction et sismologie) disposait de stations sismiques sous-marines (OBS) appelées GEOPRO. Ces stations acquises il y a plusieurs années dans le cadre des premières campagnes d'enregistrement de la sismicité sous-marine appelées SISBALIG, si elles convenaient encore pour du grand angle, étaient peu adaptées à des immersions de longue durée dans le cadre d'études sismologiques en mer. Pour permettre une évolution de ces OBS vers la sismologie, il fallait évoluer vers une standardisation adaptée des instruments: notre choix s'est porté sur des électroniques d'acquisition SEND déjà utilisées par deux grands groupes de recherches marines Européens Geomar (Kiel Allemagne) et Ifremer (Brest France). Cette électronique d'acquisition est décrite dans l'annexe jointe. Ceci nous garantissait une assise technique solide en même temps qu'une garantie relative pour la maintenance après vente et le suivi du matériel. Une vue avant large de l'instrument est donnée en **Figure 1**.

Ces acquisitions pouvant être équipées de 6 disques durs PCMCIA de 1.2 Gb, il nous est possible d'envisager sur trois voies avec un pas d'échantillonnage de 100hz, une acquisition continue sur 8 mois et demi.



**Figure 1:** OBS au moment de la mise à l'eau. La sphère en verre, contenant les géophones et l'électronique d'acquisition, est fixée sur un châssis métallique servant de lest

---

---

## ADAPTATIONS

---

### **- *Transpondeur***

Les sphères servant de conteneur étanche pour les stations GEOPRO, étaient équipées de transpondeur "pinger" acoustique MORS. Le labo par ailleurs possédant un "deck" de commande, il était judicieux de conserver cet ensemble. En revanche l'alimentation électrique de cette carte s'est faite avec des piles lithium.

### **- *Capteurs***

Dans un souci de cohérence au niveau des équipements OBS sur Villefranche et des caractéristiques des capteurs, les géophones installés dans les sphères ont été remplacés par ceux utilisés par l'IRD : 3 géophones Oyo Géospace 4.5 Hz montés sur une plate-forme à double cardan baignant dans de l'huile à très haute viscosité.

### **- *Signalisation optique***

Le flash de signalisation est remplacé par deux (plus puissants) du même type que ceux qui sont utilisés par l'IRD.

### **- *Châssis électronique***

Un nouveau châssis utilisant le même système de montage que l'IRD a été redessiné. IL permet le maintien de l'électronique d'acquisition en optimisant le montage de packs de piles lithium assemblés en usine (meilleure fiabilité, rapidité d'intervention, sécurité... etc).

### **- *Châssis fond de mer (lest)***

Afin d'assurer un bon couplage fond de mer et de garantir une bonne tenue de l'ensemble dans l'eau lors de la descente, les châssis utilisés comme lests sont ceux qui sont adoptés par de l'IRD depuis presque 20 ans.

---

---

## EVOLUTION

---

### **- *Autonomie***

La taille de la capacité de stockage des données permet une acquisition de plus de 8 mois. Il est possible en utilisant des piles lithium (plus légères, plus énergétiques et de tensions de 3.6 V par éléments au lieu de 1.5v) d'aller jusqu'à des immersions de presque 6 mois. Néanmoins de telles durées d'immersion doivent être l'objet de tests progressifs préalables, afin de surveiller et contrôler le vieillissement et les effets de la corrosion sur des éléments extérieurs comme les connecteurs, la Balise VHF, les éléments Inox de fixation, etc...).

### **- *Capteurs***

Le passage des 3 composantes de 4,5 Hz à 1 Hz n'a pu être réalisé dans le temps imparti pour l'instant, en raison du temps qui a dû être consacré à la standardisation des instruments et aux adaptations, et des incertitudes quant à l'opportunité de mariner tel ou tel capteur. Néanmoins, l'évolution vers des capteurs large-bande est nécessaire, et dans le cadre de ce programme, une enquête approfondie a été faite, que nous résumons ici. Elle va donner lieu dès 2002 à une première marinerisation dans la phase de surveillance semi-permanente qui débute en février 2002 (voir §3.B).

Les capteurs disponibles actuellement sur le marché ont d'abord été évalués:

· Spahrweb : Les capteurs développés par Spahrweb (Wood Holes) sont des Géophones Mark products 1Hz nivelés horizontalement par des moteurs électriques, et utilisant un élargisseur de Bande pour descendre

autour des 30 secondes. Le tout tient dans une sphère benthos de 10" reliée à l'électronique d'acquisition. La sphère est solidaire d'un lourd socle en acier en forme de galette de 40 cm de diamètre environ et le tout est déposé sur le sol par un bras articulé.

· PMD: PMD produit des capteurs électrolytiques utilisant les propriétés d'un fluide à travers une ferrite. Les composantes horizontales sont constituées d'anneaux disposés verticalement à 90 degrés, la ferrite étant placée à la base. La limite d'inclinaison acceptable sans modifications des caractéristiques de ces capteurs est de +/- 10 degrés environ. La composante verticale à la forme d'un diabolos dont la ferrite est située au centre de convergence des deux cônes. Le système est étalonné en pression. La limite d'inclinaison est de +/- 5 degrés. L'ensemble est enfermé dans un conteneur en acier et pèse environ 5 Kg. Pour des applications sous-marines, un réceptacle en PVC est disponible afin de réduire le poids à 3.2 kg. Il existe plusieurs versions de ces capteurs (terrestres, moyennes et faibles consommations, différentes Bandes passantes etc...). Plusieurs organismes ont effectué des tests à partir de leurs OBS, dont UTIG et Scripps avec plus ou moins de succès. Les caractéristiques du constructeur s'avèrent de toutes façons très optimistes, et le bruit à basses fréquences de même que la consommation électrique élevés. Apparemment l'électronique de préamplification est la cause de ces problèmes, plus que la conception même des capteurs. Un nouveau produit utilisant une contre-réaction dans l'amplification existe et est disponible depuis fin 2000. La consommation est réduite d'un facteur 10 et passe à 10 mw. La bande passante est de 0.016 - 30 Hz.

· Guralp: Guralp propose des sismomètres dont la qualité n'est plus à démontrer. Leur application en domaine sous-marin et notamment dans des engins libres tels les OBS pose cependant plusieurs problèmes sans même tenir compte de leur coût très élevé. Leur taille, leur poids et surtout leur consommation électrique les orientent plutôt vers des applications type OFM (Observatoire Fond de Mer). Une participation au projet ANTARES au large de Toulon de Géosciences Azur est prévue pour installer ce capteur.

· Capteurs "Martiens": Dérivés des capteurs développés par le CNES afin d'être déployés sur la planète Mars, un capteur du même type mécanique a été développé par l'Insu à moindre coût. Ce prototype qui fonctionne sur le principe de la déformation d'un composant au silicium à l'avantage de travailler sans contraintes de nivellement. Ce capteur n'a pas encore été testé in-situ. Une filiale de Matra serait chargée d'en développer la construction et son coût réel reste inconnu.

· Élargisseurs de bandes: Il serait intéressant de pousser un peu la recherche sur les élargisseurs de bandes à partir des géophones 4.5 Hz utilisés actuellement dans nos stations ou 1 Hz et savoir quelle limite maximale basse fréquence peut-être atteinte.

En conclusion de cette enquête menée, il est clair que dans un futur proche, les capteurs large bande équiperont des OBS pour des durées allant de plusieurs mois à un an. Il apparaît souhaitable de faire jouer la communauté européenne qui pourrait se mobiliser autour de quelques équipes, dans un premier temps, pour proposer des évolutions dans ce domaine. Un pool de travail constitué de Geomar (Kiel, Allemagne), l'UMR Géosciences Azur et l'Ifremer (Villefranche-sur-mer, Brest, France), l'Institut Jaume Almera (CSIC, Barcelone, Espagne) ainsi qu'un partenaire industriel SEND2 (Allemagne) devrait se mobiliser dès 2002 autour d'un projet européen. Si ce projet est financé ce groupe pourra être élargi par la suite à d'autres pays européens qui pourront bénéficier des progrès réalisés par les initiateurs. Notre expérience ainsi que celle de Geomar en matière de sismique grand-angle et en sismologie servira de moteur à ce groupe.

Les perspectives au niveau du pool de surveillance en mer ligurienne concernent donc le choix d'un capteur PMD (2023m/UIP1, 2123m/UIP1, ou 2223m/UIP1) qui sera installé dès le début 2002 dans un des OBS. Nous concevons pour cela un système de nivellement mécanique afin de garantir les caractéristiques du capteur et ce dans un premier temps à l'intérieur d'une seule sphère. Ces essais "large bande" démarrent le premier semestre 2002 avec ce capteur type PMD dans le domaine Ligurien (voir §3.B).

### 3. Test et illustration 1: Opération GEOLIG 2D (fin 1999)

Cette campagne s'est déroulée avec le soutien du Programme national *GEOFRANCE 3D*. Les responsables de la campagne étaient S. OPERTO et N. BETHOUX. Les principaux participants ont été: A. ANGLADE, N. BETHOUX, A. MOREAU et F. SAGE. La période d'intervention a été du 12 au 26 Septembre 1999. Le navire utilisé pour les opérations a été le N/O TETHYS II de l'INSU-CNRS.

#### **A. Justification et objectifs de la mission**

Dans le cadre du programme national *GEOFRANCE 3D* (CNRS-INSU, BRGM), des tirs à l'explosif dédiés à une expérience de sismique profonde ont été effectués dans les Alpes occidentales. Ce type d'opération très lourde et onéreuse est très exceptionnel. Aussi avons-nous voulu tirer au maximum partie des ces tirs, notamment en cherchant à les enregistrer sur la marge Ligure et jusqu'en pied de marge, grâce à l'utilisation d'OBS. Ces tirs, effectués pour mieux connaître la structure profonde des régions Briançonnaise et de la Provence, ont donc permis d'un point de vue instrumental de comparer plus précisément qu'auparavant la réponse à des tirs à distance régionale des différents prototypes d'OBS disponibles en septembre 1999. Ce type de tirs est représentatif de séismes de magnitude 2,5 à 3,5.

En complément des tirs à terre, des profils de sismique marine ont été effectués à partir du NO Téthys avec le canon le plus puissant et basse fréquence dont nous disposons (BOLT, 16 litres), afin d'obtenir une image des structures crustales de cette marge par sismique réfraction/réflexion grand-angle. Ces données nouvelles doivent permettre une meilleure valorisation des nombreux profils de sismique verticale disponibles sur la zone, en associant un modèle de vitesse plus précis aux différentes couches identifiées. La disposition en croix des différents profils (voir figure), qui a permis d'effectuer deux passages au dessus de certains OBSs, a été choisie de manière à améliorer la relocalisation des OBS sur le fond et l'orientation des composantes horizontales par rapport au nord, par inversion des temps de trajet de l'onde directe et analyse de polarisation des composantes horizontales. Cette opération avait donc également un intérêt certain pour la préparation aux opérations de surveillance des séismes dans le cadre du projet DEVINE, pour ce qui concerne la précision de relocalisation des OBS.

Les profils parallèles à la marge (**Figure 2**) ont également été programmées pour développer plusieurs modèles 1-D de la marge le long du profil longitudinal en s'affranchissant autant que possible des effets topographiques (en raison de l'orientation des profils). L'analyse intégrée des profils longitudinal et transverses devraient permettre un meilleur contrôle de la structure 2-D de la marge aux points d'intersection des profils longitudinal et transverses; Enfin, les profils transverses fournissent un éclairage en éventail tri-dimensionnelle de la structure via l'enregistrement des OBSs situés à distance du profil. Dans une phase ultime d'interprétation, cet éclairage plus généralement utilisé à terre sera utilisé pour tenter d'imager les variations 3-D majeures de la structure.

#### **B. Déroulement de la mission**

Cette mission a été scindée en trois legs, dont les deux premiers devaient correspondre au calendrier des tirs terrestres. L'autre contrainte imposée était la mise à disposition du Téthys entre plusieurs périodes de stages étudiants.

N'ayant que cinq OBS à notre disposition, nous avons choisi d'intercaler leur position en deux largages pour réduire l'espacement entre OBSs et, de ce fait, densifier l'"éclairage" sismique du milieu. Quatre profils de 75 km chacun ont été effectués: un profil (PL1) perpendiculaire à la côte et trois profils le long de la marge (PT 2, PT 6-Leg1 et PT 10).

*Premier leg : du 11/09/1999 au 13/09/1999*

Cinq OBS ont été largués le long d'un profil perpendiculaire à la marge au large d'Antibes (**Figure 2**). La position du profil d'OBSs avait été choisie pour être dans l'alignement de stations terrestres installées pour enregistrer d'une part :

- un tir effectué dans le massif de Belledonne. Les OBS se situaient dans l'alignement de stations terrestres (géométrie 2D).
- deux tirs effectués dans le massif du Mercantour. Certains OBS étaient dans la continuité d'un éventail de stations terrestres situé à la distance du « point brillant » où la réflexion sur le Moho a théoriquement l'amplitude maximale.
- Par ailleurs, ce profil coïncidait avec un profil de sismique réflexion multitrace et de réfraction terre-mer de la campagne MALIS. La combinaison des données de sismique réfraction des campagnes MALIS et GEOLIG2D a permis de constituer un jeu de données enregistré par 7 OBSs et 5 stations à terre disposés le long d'un modèle crustal s'étendant du talus continental à la croûte océanique sensu stricto via le domaine de transition continent-océan.

Un profil de 70 km de long a été tiré sur les OBS, puis les deux profils transverses Pt 2 ( 35 km) et PT 6 (75 km) ont été effectués parallèlement à la côte.

*Deuxième leg : du 16/09 au 17/09*

Tout d'abord, les profils transverses tirés au dessus de chaque OBS ont été complétés : profils PT10 (97 km) , PT 4, PT8, puis le profil longitudinal a été retiré car une fuite du canon avait été constatée durant le premier Leg).

Ensuite les OBS ont tous été récupérés. A l'issue des Legs 1 et 2, deux des 5 OBSs (OBSs 2 et 10) ont fourni des enregistrements satisfaisants (seuls ces OBSs sont représentés sur la **Figure 2**).

*Troisième Leg : du 24 au 26/09*

Durant ce leg, il n'y a pas eu de tirs à terre. Cette mission était simplement consacrée à la sismique grand angle marine.

La première partie du leg a été consacrée au largage de cinq OBS. Ensuite, le profil longitudinal, les profils PT 3 puis le profil PT 6-Leg 3 ont été tirés. Nous avons récupéré tous les OBS le 26/09. Quatre des cinq OBSs (OBSs 3, 5, 8, 9) ont fonctionné correctement ce qui porte à six le nombre d'OBSs disponibles sur le profil longitudinal (deux aux Legs 1-2 et quatre au Leg 3).

### **C. Bilan de la mission**

Nous bénéficions d'enregistrements grand-angle dans une géométrie 3D pour la partie de la marge ligurienne située entre l'Esterel et Monaco, soit 300 km de profils directs et inverses qui ont complété très utilement les données de sismique multitrace disponibles sur la zone (campagne MALIS'1995). Elles permettent d'obtenir un modèle de répartition vitesse/profondeur de la marge et de sa transition au bassin. Etant donné la source disponible durant GEOLIG2D (canon Bolt de 16 l), la qualité des données est très satisfaisante bien que nous ne disposons que de 6 enregistrements sur les 10 largages. Des signaux ont été enregistrés jusqu'à 50 km d'offset. La qualité des données enregistrées par les OBS situés sur la pente est moins bonne mais permet néanmoins de suivre l'onde réfractée dans la croûte jusqu'à des distances source-récepteur de 50 km. La réflexion sur le Moho est clairement identifiée sur les OBS situés dans le bassin océanique (OBSs 8, 9, 10).

Nous devons effectuer une tomographie de la structure crustale par inversion itérative des écarts de temps de la première arrivée, en utilisant un code mis récemment au point au laboratoire (C. Ravaut). Cette

analyse des temps de trajet sera complétée par modélisation et possiblement inversion des formes d'onde fondées sur des simulations aux différences finies.

Le bilan concernant l'enregistrement des tirs terrestres est plus mitigé. Le rapport signal sur bruit est généralement très faible. Pour le moment nous n'avons réussi à exploiter uniquement les enregistrements d'un tir du Mercantour sur deux OBS (OBS 2 et 10). Un traitement du signal sophistiqué pourra peut être permettre ultérieurement de mieux valoriser ces données.

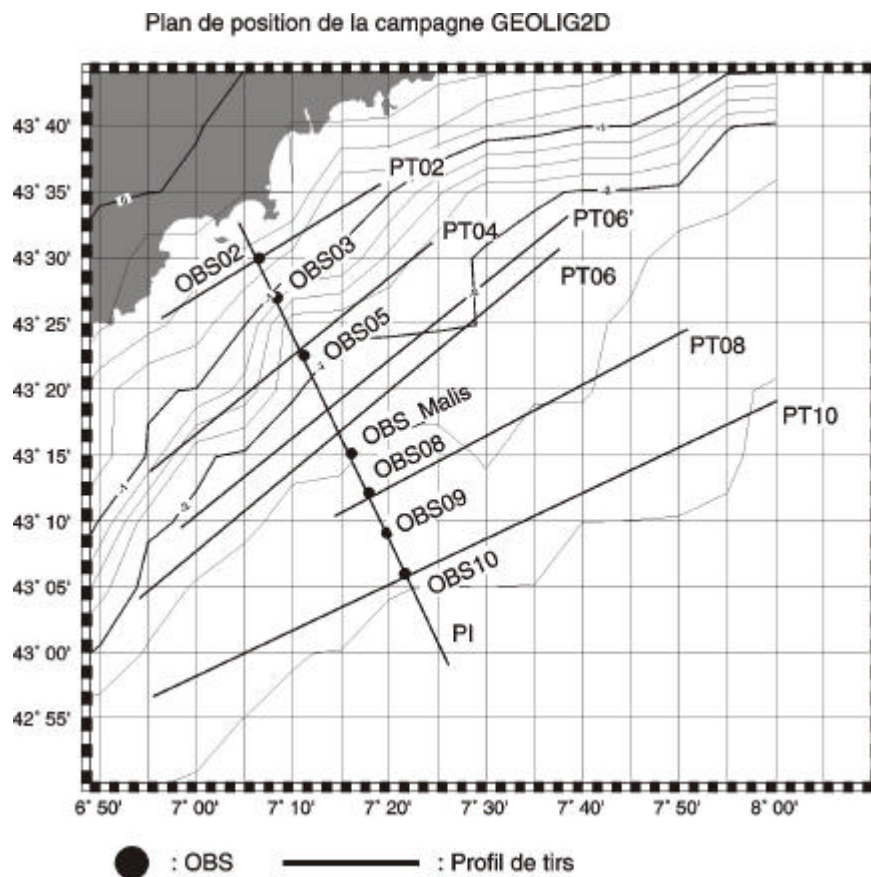
#### D. Valorisation des données

Les premiers résultats ont fait l'objet d'une communication à la Réunion Spécialisée de la Société géologique de France, 1999, "résultats préliminaires de la campagne de sismique grand angle GEOLIG 2D : structure profonde de la marge nord du bassin Ligure.

Le premier traitement a été intégré dans un mémoire de maîtrise de Sciences de la Terre de l'Université de Nice (A. Gailler, "Détermination de la structure profonde des Alpes sud occidentales au pied de la marge ligure par l'étude de données de sismique grand angle", juin 2001).

Les résultats concernant les tirs terrestres ont été intégrés dans un article soumis à Tectonophysics : "The deep structure of southeast France: what do we know? A multi - scale analysis", par Nicole Béthoux, Etienne Bertrand, Anne Deschamps, Christophe Maron, and Didier Brunel.

Figure 2:



## Références:

OPERTO S., SAGE F., BETHOUX N., ANGLADE A., MOREAU N., ROLLET N.- November 1999. Résultats préliminaires de la campagne de sismique grand-angle GEOLIG 2D. Congrès spécialisé de la SGF, Villefranche-sur-mer.

SAGE F., BETHOUX N., ANGLADE A., MOREAU A., ROLLET N.- April 2000. Crustal structure of the Northern Ligurian Basin deduced from refraction and multichannel seismic data. EGS-XXV General Assembly, Nice.

### 3. Test et illustration 2: Opération SALAM (mer)

En vue de valider la possibilité de faire une observation quasi continue de la sismicité à partir d'instruments au fond de mer, 5 OBS ont été largués en deux legs successifs au mois de février et mars 2001. Cette opération a été programmée au même moment que la campagne d'observation SALAM à terre qui se proposait de faire une observation fine de la sismicité sur la bande côtière Est des Alpes Maritimes à partir de 20 instruments temporaires terrestres. Le fait de coordonner les 2 opérations était important d'un point de vue méthodologique pour évaluer finement les apports des instruments en mer et comparer à une densification du réseau à terre.

#### A. Opération et bilan (février-mars 2001)

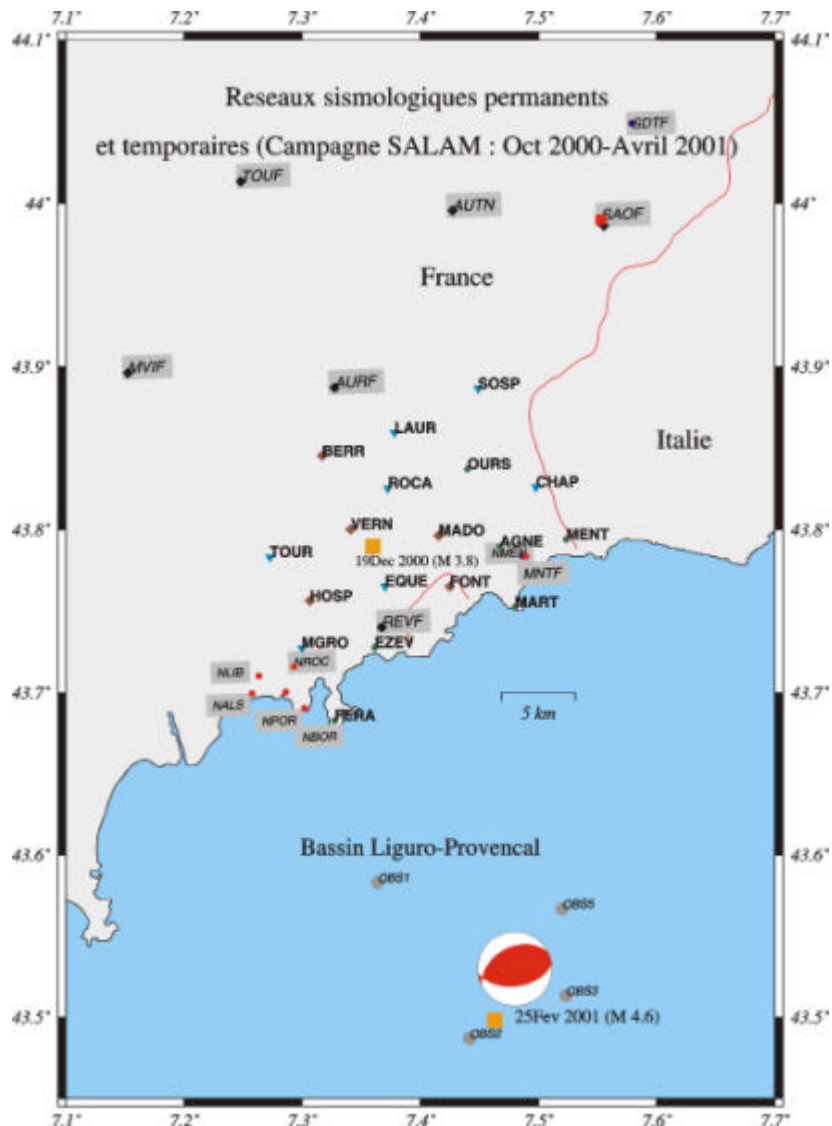
Les opérations se sont déroulées en 2 legs de 3 semaines chaque (31 janvier-20 février, 28 février-17 mars 2001) et ont été menées par les ingénieurs et chercheurs de Géosciences Azur sur le site de Villefranche sur Mer. A chaque fois 5 OBS ont été largués (**Figure 3**), et tous les instruments ont été récupérés. Ils ont tous enregistré le signal du capteur sismologique sur au moins 12 jours. On a pu attribuer des arrêts précoces de l'enregistrement à des problèmes d'alimentation.

Cette expérience a montré qu'un enregistrement réellement continu est fondamental dans le cas d'enregistrement de la sismicité dans la mer Ligure : la date d'occurrence des séismes est complètement aléatoire et la sismicité n'est pas d'un niveau suffisant pour que l'on puisse perdre des informations.

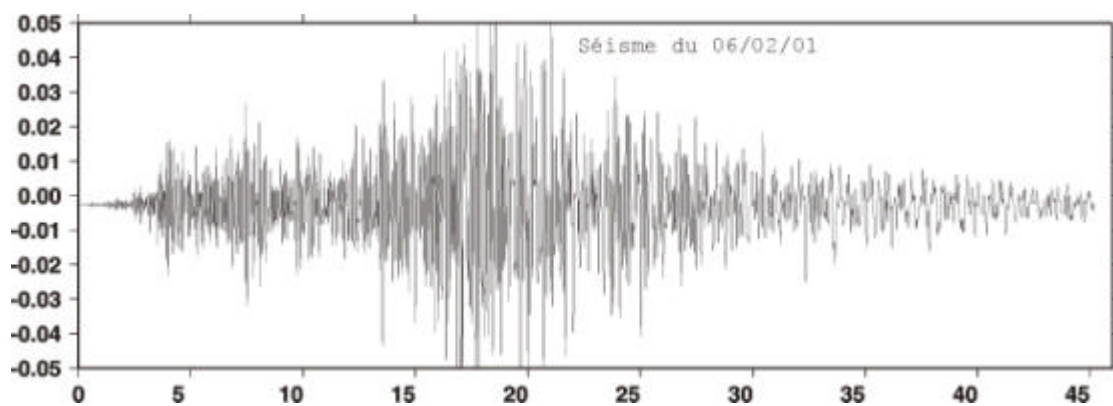
Durant le premier leg, la configuration du réseau d'OBS était établie pour compléter le réseau terrestre tout le long de la bande côtière entre Nice et Menton à une dizaine de kilomètres de la côte. Quelques beaux signaux ont été enregistrés sur tous les OBS. On peut citer l'événement du golfe de Gênes de magnitude 4.4, qui s'est produit le 6 Février (localisé à 4.08°N et 8.59° E, **Figure 4**) ou un séisme dans le bassin (42.89° N, 7.63° E), de magnitude 3.1, le 9 Février. Les données sont en cours d'analyse dans le cadre de l'analyse de la campagne SALAM.

Par malchance, le séisme du 25 février 2001 de magnitude 4.8 à 30 km au large de Nice, a eu lieu dans la période où les instruments étaient remontés. Malgré tout, les OBS ont été largués le plus rapidement possible et ce dans une configuration déterminée par la position du séisme. Cinq répliques ont été enregistrées dans la première journée (**Figure 5**) et la répartition des OBS permet d'obtenir pour la première fois des localisations précises d'événements sismiques au pied de la marge Ligure. En particulier, nous pouvons contraindre la profondeur de ces événements: les foyers des répliques sont localisés autour de 15 km, soit beaucoup plus profonds que tous les séismes enregistrés à terre au cours de la campagne. Ces informations permettent d'aller plus loin que les évaluations antérieures pour la localisation en profondeur des zones sismogènes (*Béthoux et al., 1992*); elles sont importantes dans l'évaluation du risque sismique plus précise de la bande côtière des Alpes Maritimes. Elles sont en cours de traitement et sont en tout cas très encourageantes pour l'avenir.





**Figure 3 :** Réseau de stations temporaires et marines disposées pendant la campagne SALAM, et mécanisme au foyer du principal séisme enregistré en mer (25 février 2001, magnitude 4,6).



**Figure 4 :** Signal sismologique d'un séisme sous-marin enregistré par un OBS au cours de la campagne SALAM le 6 février 2002.

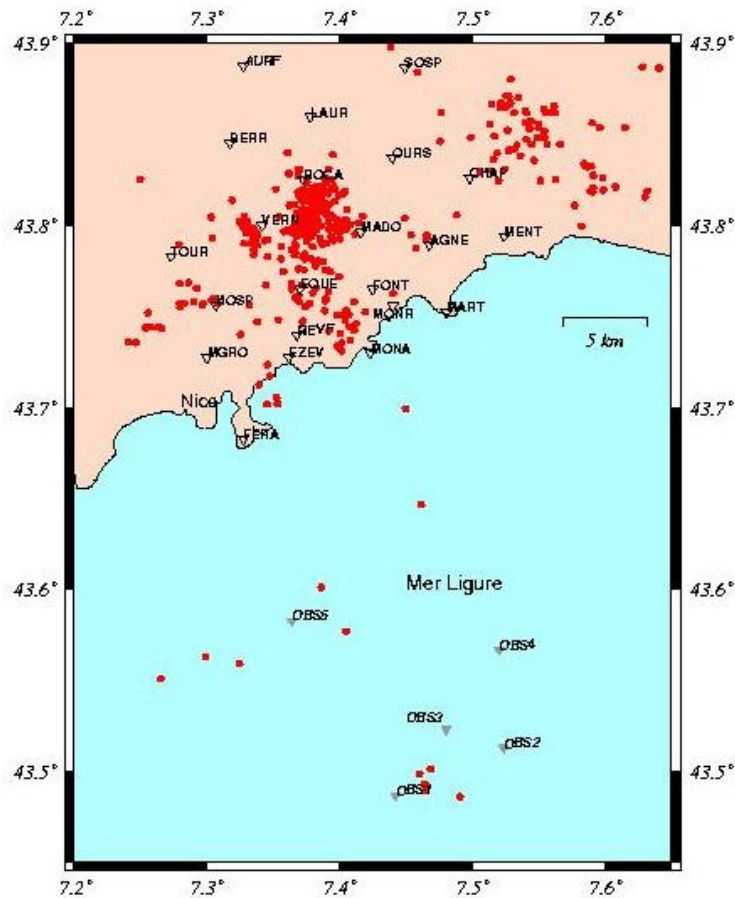


Figure 5: Localisation préliminaire des principaux séismes locaux lors de la campagne SALAM.

## B. La suite du projet: le réseau 2002 à court terme

Nous réalisons, à partir de février 2002, la mise à l'eau récurrente de 4 OBS sur la marge Ligure, entre Nice et Menton, dans la zone sismogène. La période d'enregistrement sera de 4 à 6 semaines. Cette opération sera répétée le plus régulièrement possible pour un minimum de 6 mois d'enregistrement en 2002. Trois des OBS seront munis de capteurs 3C Oyo Géospace 4.5 Hz, et l'un d'entre eux sera équipé pour la première fois d'un capteur PMD.

Pour chaque largage de ces OBS nous avons besoin d'une journée de bateau. Pour la récupération, nous privilégions la sortie nocturne car les stations sont équipées d'émetteurs lumineux permettant de mieux les repérer à la surface de l'eau. La récupération peut s'avérer beaucoup plus longue que le largage. Nous prévoyons une nuit et une journée complète pour cette opération. Il nous faut quelques jours (au minimum deux) pour reconfigurer les stations après avoir sauvegardé les données et vérifié leur qualité et la bonne marche du matériel, puis une autre journée pour larguer de nouveau les OBS, soit :

- une journée de largage (12 heures maximum)
- une journée de récupération (une nuit + une journée)

Ceci tous les mois environ, soit 12 à 16 jours de mer par an environ.

Compte tenu des congés des marins et des temps d'immobilisation des bateaux, nous espérons un rythme de 8 largages par an, afin de minimiser les périodes sans observation.

En fonction des résultats obtenus en 2002, nous proposerons une évolution pour les années suivantes en terme de durée d'enregistrement et de couverture spatiale par le réseau.

#### Campagnes antérieures :

Campagnes SISBALIG I (Deverchère et al., 1991), SISBALIG II (Ferrandini et al., 1994, Shapiro et al., 1996), SISBALIG III, MALIGU (Fontaine, 1996), RINALIG (Nardin, 1995), GEOLIG2D (1999), SALAM (2001)

#### - Bibliographie en rapport aux campagnes en domaine sous-marin

**Baroux, E., Béthoux, N., and Bellier, O.,** - 2001 - Analyses of the stress field in southeastern France from earthquake focal mechanisms, *Geophys. J. Int.*, 145, 336-348.

**Béthoux N., Fréchet J., Guyoton F., Thouvenot F., Cattaneo M., Eva C., Feignier B., Nicolas M., Granet M.,** -1992 -A closing Ligurian sea? *Pure and Applied Geophysics*, 139, 2, 179-194.

**Béthoux N., Bertrand E., Deschamps A., Maron C., and Brunel D.,** -2002 - The deep structure of southeast France: what do we know? A multi - scale analysis", soumis à *Tectonophysics*.

**Courboux , F., A. Deschamps, M. Cattaneo, F. Costi, J. Deverchère, J. Virieux, P. Augliera, V. Lanza, and D. Spallarossa,** 1998, Source study and tectonic implications of the April 21, 1995, Ventimiglia (border of Italy and France) earthquake (Ml=4.7), *Tectonophysics*, 290, 245 – 257.

**Déverchère, J., Béthoux, N., Hello, Y., Louat, R., and Eva, C.** (1991), Déploiement d'un réseau de sismographes sous-marins et terrestres en domaine ligure (Méditerranée): campagne SISBALIG I, *C. R. Acad. Sci., Paris*, 313, 1023-1030.

**Ferrandini J., Béthoux N., Gauthier A., Fréchet J., Thouvenot F. et Fontaine C.,** -1994.- Première tentative d'étude sismotectonique de la Corse à partir des données d'un réseau sismologique régional et de la campagne SISBALIG II, Comptes Rendus à l' Académie des Sciences, 319, II,705-712.

**Fontaine C.** 1996, Sismicité et structure en vitesse de la bordure cotière de la marge nord ligure à partir des données de la campagne à terre et en mer SISBALIG II, Thèse Univ; P et M Curie, 226 p.

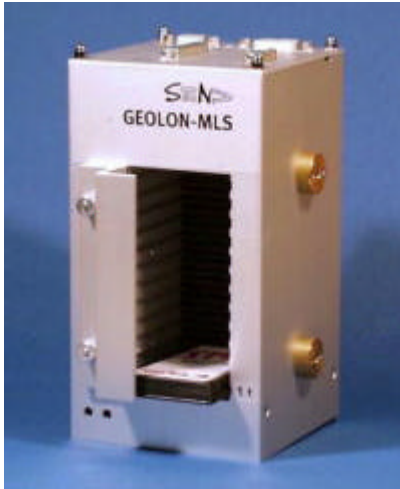
**Nardin M.,** 1995, Propagation acoustique et sismique sous-marine en mer Ligure, Rapport de stage ingénieur E.N.S.I.E.G.

**Rollet N., Déverchère J., Beslier M-O., Guennoc P., Réhault J-P., Sosson M., and Truffert C.,** -2002-, Tectonic inheritance, volcanism and back-arc extension: The Ligurian ocean, Mediterranean Sea Tectonics, sous presse.

**Shapiro N., Béthoux N., Campillo M., and Paul A.,** -1996- Lg wave blockage across the Ligurian sea and its margins. - Physics of the Earth and Planetary Interiors, 93, 257-268.

## ANNEXE: Présentation de la nouvelle électronique d'acquisition

### \* *Marine Longtime Seismocorder*



GEOLON-MLS is one of the new generation instruments for acquisition, processing, and storage of seismic signals. It was developed by SEND GmbH, the signal integrity experts, for autonomous long-time operation on the ocean bottom. Therefore, the following properties have been optimized:

- power consumption
- size
- data storage capacity
- time base stability

The analog front-end has four input channels. It is plug-replaceable depending on the interface requirements of the sensors used. Three channels are prepared for seismometers. The fourth channel is prepared for hydrophones or pressure sensors based on strain-gauges. The input sensitivity of its low-noise preamplifier can be set via switches.

### \* *Compact Physical Dimensions*

The compact size of the GEOLON-MLS allows its installation e.g. in a pressure cylinder of 15 cm inside diameter. (Its mechanical interface is fully compatible with the seismocorder [METHUSALEM-MBS.](#)) Its length is only 19 cm. Its weight without batteries and PCMCIA memory modules is 1.5 kg.

### \* *Application also for Land Seismology*

Due to its compact size and simple handling the instrument can also be used for continuous land seismology recording. Protected by a suitable housing, e.g. a sealed tube, it may be buried in the ground. Thus invisible it is well suited for long time stand-alone operation. The precision oscillator may be resynchronized after regular time intervals using the GPS receiver option.

### \* *Functional Description*

#### **Preparation for measurement campaign**

The instrument can be parameterized using an ASCII terminal via its RS232 interface. The high precision oscillator is synchronized using DCF77 compatible pulses.

#### **Data recording**

After low pass filtering, the signals of the four input channels are digitized using Sigma-Delta A/D converters. A final decimating sharp digital low-pass filter is realized in software by a Digital Signal Processor. The effective signal resolution depends on the sample rate as shown in the table below. Finally the samples are permanently stored on PCMCIA flash- or hard-disk memory modules.

#### **Data analysis**

The recorded data is played back by plugging the PCMCIA storage modules into a PC. The software package which supports the play back of the data onto the PC hard disk drive is part of the standard deliverables. The PASSCAL format is used as standard data transfer format allowing the generation of the SEG-Y format. Different data formats can be made available on request.

### \* *Sample Rates and Resolution*

Samples per Second	f-3 dB (Hz)	Resolution (Bits)	Signal-to-Noise Ratio (dB)
--------------------	-------------	-------------------	----------------------------

1	0.3	21	120
2	0.7	21	120
5	1.7	21	120
10	3.3	20	114
20	6.7	20	110
30	10.0	19	106
50	16.7	18	100
100 *	33	17	96
200 *	67	14	78

\* optional

\* *Technical Data*

Analog inputs:	3 channels
Analog inputs	custom configurable
- Seismometer:	1 channel with low-noise preamplifier (gain switch-selectable)
Input sensitivity	
- Hydrophone (or pressure sensor):	
Time base stability:	<0.05 ppm, <1.5 sec/year (0 ... 30°C)
Synchronization:	DCF77 or single pulse
Storage medium:	PCMCIA flashdisk/harddisk
Storage capacity:	12 PCMCIA slots type 2 or 6 PCMCIA slots Type 3 (at present approx. 6 GBytes)
Power supply:	6.2 V ... 16.5 V
- external:	3 AA alkaline cells to ease handling after synchronization
- internal:	
Power consumption:	depends on sample rate, <250 mW @ 50 sps <100 mW standby
Weight:	1.5 kg without batteries and PCMCIA modules