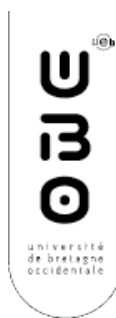


## Rapport de mission CIRCEE-HR

**CIRCEE-HR = Calabrian arc Ionian sea Research and Catastrophic historical EarthquakEs in southern Italy : a High - Resolution seismic survey**

**N/O Le Suroit  
2 - 24 Octobre 2013**

**Leg 1 : Catane 2 Oct. - 10 Oct. Augusta  
Leg 2 : Augusta 11 Oct. - 24 Oct. Catane**



L-UNIVERSITÀ TA' MALTA  
UNIVERSITY OF MALTA



universidade de aveiro

## Resumé du projet de campagne

Le projet de campagne **CIRCEE-HR** propose une étude néo-tectonique de la marge active du Sud de l'Italie (Calabre - Est-Sicile). Cette région a été frappée par plusieurs grands séismes et tsunamis historiques (1693 - 60.000 morts, 1908 - 72.000 morts), parmi les plus meurtriers au monde. Le séisme de 1908 (mécanisme à failles normales dans le détroit de Messine) a généré un important courant turbiditique qui a rompu des câbles sous-marins. L'origine de plusieurs autres séismes puissants (1169, 1542, 1693) reste malheureusement inconnue. Certaines structures crustales majeures ont été proposées comme étant sismogènes (comme l'escarpement de Malte, une faille de déchirure lithosphérique, le plan de faille de la subduction et des "splay faults" associées). Les objectifs principaux de cette campagne sont de déterminer l'activité de ces failles sous la Mer Ionienne au large de la Sicile et de mieux contraindre le degré d'activité du prisme d'accrétion (déformation sédimentaire, activité de fluides, régime thermique) et ainsi son potentiel sismogène. Un autre objectif majeur est d'essayer d'établir la période de récurrence de grands séismes dans cette région (en étudiant les enregistrements sédimentaires par les dépôts de turbidites). Une méga-turbidite (homogénéite de Augias) datée à 3,5 ka recouvre l'ensemble de la plaine abyssale Ionienne avec une épaisseur de 10-15 m et un volume supérieur à 100km<sup>3</sup>. Cette couche servira comme marqueur stratigraphique pour mettre en évidence les déformations récentes dans le domaine abyssal.

Les méthodes appliquées sont de la sismique HR et THR pour imager les couches sédimentaires superficielles, de la cartographie bathymétrique, du carottage gravitaire Kullenberg et carottier d'interface et/ou multitubes pour échantillonner les turbidites récentes avec des mesures de flux de chaleur simultanées. Les images sismiques permettront de choisir les cibles de carottage. Des études de sismique lourde (SMT + OBS) sont envisagées dans un deuxième temps lors de futures demandes de campagne avec des partenaires européens. Les résultats de ces études aideront à mieux estimer l'aléa sismique de cette subduction ultra-lente et pourront être appliqués à des subductions comparables.

Cette étude s'intègre dans un projet européen FP7 intitulé ASTARTE (risque de tsunami en Europe) et dans le chantier INSU prioritaire Méditerranée (programme MISTRALS action TerMEx).

La durée prévue pour la campagne est de 23j avec un départ depuis et retour à un port en Est-Sicile, en priorité Catane. La campagne sera découpée en 2 Legs, 1<sup>er</sup> Leg du 2-10 Oct. et le 2<sup>ème</sup> Leg du 11-24 Oct., avec une escale d'une nuit (du 10 au 11 Oct.) prévue à Augusta pour permettre la relève d'une partie de l'équipe scientifique embarquée.

## English abstract

The aim of the CIRCEE-HR cruise proposal is to conduct a neo-tectonic study of the Calabrian subduction zone offshore Southern Italy, a region struck repeatedly by the most destructive earthquakes in European history. This oceanographic expedition will study the sources of the 1693 Catania earthquake (60,000 killed) and the 1908 Messina earthquake, which produced intensity X-XI shaking and tsunamis. The 1908 (normal faulting mechanism) earthquake triggered a turbidite flow, which ruptured submarine cables. The source of some strong historical earthquakes (1169, 1542, 1693) remains unknown. Several crustal scale structures have been proposed as being seismogenic: the Malta escarpment, a lithospheric tear fault (STEP), the subduction fault plane and other related faults. The main objectives of this cruise are thus to seek evidence of active faults associated with these structures, and to characterize the degree of activity of the Calabria accretionary wedge (sedimentary deformation, dewatering processes and the thermal regime) in order to better assess its seismogenic potential. Another major objective is to try to determine the typical recurrence interval for large earthquakes in the region (by coring and dating of turbidites triggered by great earthquakes). A mega-turbidite dated at 3.5 ka covers the entire floor of the Ionian abyssal plain with a thickness of 10-15m representing a volume of > 100km<sup>3</sup>. This layer will serve as a stratigraphic marker to identify recent deformation in the abyssal domain.

The methods we applied are high-resolution seismics and sub-bottom profiling (chirp), bathymetric swathmapping, gravity coring of the turbidite deposits with simultaneous heat-flow measurements. A deep seismic survey (MCS + OBS) to investigate the crustal structure is planned in the future in cooperation with European partners. The results of these studies will help improve our assessment of seismic hazard in this ultra-slow subduction zone as well as other similar zones.

This study is part of a European FP7 project ASTARTE (tsunami hazard in Europe) as well as part of the French INSU priority research program on the Mediterranean (Mistrals - TerMEx).

The cruise is planned for 23 days. The research vessel will set sail and return to a port in Eastern Sicily, preferably Catania. The cruise will be divided into 2 Legs, 1<sup>st</sup> Leg 2-10 Oct. and the 2<sup>nd</sup> Leg 11-24 Oct., with a port call (overnight from 10 to 11 Oct.) tentatively planned in Augusta in order to allow a rotation of the scientific shipboard party.

## Introduction : Cadre Géodynamique et sismicité historique

La campagne CIRCEE-HR propose d'étudier la marge active du Sud de l'Italie. Cette région, qui comporte l'Est de la Sicile et la subduction sous la Calabre, compte parmi les régions les plus exposées au risque sismique et de tsunami dans le monde (Tinti et al., 2004; Jenny et al., 2006). Les séismes de Catane de 1693 (60.000 morts) (Piatanesi et Tinti, 1998 ; Bianca et al., 1999) et de Messine en 1908 (72.000 morts) (Bottari et al., 1989; Billi et al., 2008) ont produit des tsunamis avec des amplitudes atteignant 5 à 10 m (Fig.1). D'autres séismes destructeurs ont frappé cette région en 1638 (Galli et Bosi, 2003) et en 1783 (Jacques et al., 2001). (Fig. 1). Bien que la majorité de ces séismes historiques soit attribuée à l'activité des failles normales crustales (en extension), pour plusieurs événements parmi les plus puissants (notamment 1693 et 1169) la source reste incertaine (Tinti et al., 2001).

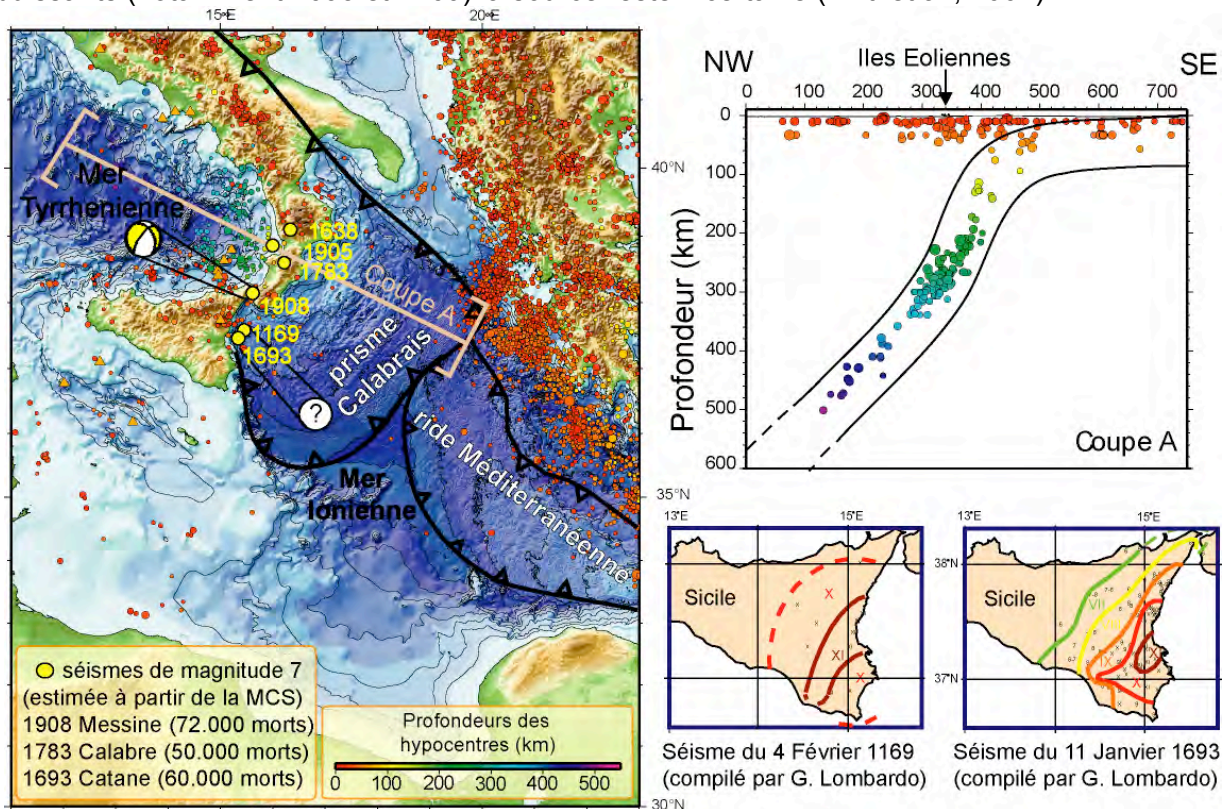


Figure 1 : (à gauche) Carte du relief du Sud de l'Italie avec la sismicité actuelle (USGS/NEIC Catalog  $M > 4$ , 1973-2009) et les grands séismes historiques. (en haut à droite) Coupe de sismicité montrant la subduction à pendage vers le NW. (en bas à droite) Cartes d'isoséistes des séismes de Catane de 1169 et de 1693 (intensités X – XI). Les isoséistes ouverts vers la mer (ainsi que les tsunamis observés) indiquent une source en domaine marin.

English caption: (left) Location map of Southern Italy with relief (topography and bathymetry), recent seismicity (USGS PDE Catalog  $M > 4$ , 1973-2010) and large historical earthquakes. (upper right) Seismicity cross-section showing the NW dipping Wadati-Benioff zone related to the Calabria-Tyrrhenian subduction. (lower right) macro-seismic maps of the Catania earthquakes of 1169 and 1693 (intensity X - XI). The isoseismal pattern (open to the sea) as well as the observed tsunami suggests a source region offshore.

Puisque les isoséistes de ces deux séismes sont ouvertes vers la mer et qu'ils ont généré un tsunami, les sources devraient se situer en mer. La similarité de la forme des isoséistes et des intensités maximales suggère que la source de ces deux séismes est la même (Fig.1). Ceci impliquerait une période de récurrence de l'ordre de plusieurs siècles. La grande magnitude du séisme de 1693 et la polarité négative de l'onde du tsunami observé (reflux) laissent penser que le séisme de 1693, a pu être généré sur le plan de faille de la subduction (Gutscher et al., 2006). L'absence de séismes chevauchants dans l'avant arc Calabrais suggère que si le plan de subduction est à l'origine de ces deux séismes, alors il est actuellement verrouillé (comme dans les subductions de Nankai ou des Cascades). Néanmoins, d'autres hypothèses existent pour expliquer le séisme de 1693, notamment un jeu sur l'escarpement de Malte (une faille normale orientée environ  $N160^\circ E$ ), qui délimite le plateau continental à l'Est et au Sud de la Sicile, des grands fonds plus au large (Piatanesi and Tinti, 1998 ; Bianca et al., 1999 ; Tinti et al., 2001). Une faille de déchirure lithosphérique "STEP" (Subduction Transform Edge Propagator, terme inventé par Govers and Wortel, 2005) a été observé une cinquantaine de km à l'Est de l'escarpement de Malte (Cernobori et al., 1996 ; Hirn et al., 1997 ; Nicolich et al., 2000 ; Chamot-



Rooke et al., 2005). Récemment certains chercheurs ont proposé que cette déchirure puisse avoir généré des grands séismes historiques (Polonia et al., 2011).

La région Calabre - Sicile se situe à cheval sur la limite de plaque entre l'Afrique (plaque Nubienne) et l'Europe (plaque Eurasiatique). On y observe une sismicité crustale modérée allant du NW de la Sicile jusqu'aux Apennins en passant par la Calabre (Fig. 1). La zone de subduction à pendage vers le NW est clairement indiquée par un plan de Wadati-Benioff jusqu'à >500 km de profondeur (Fig. 1), ainsi que par la tomographie (Wortel and Spakman, 2000) et par la présence d'un arc volcanique actif, les îles Eoliennes. Le consensus est que la région a été façonnée par cette subduction qui a fonctionné depuis environ 35 Ma et dont le recul vers le SE a provoqué l'ouverture de plusieurs bassins arrière arc (Golfe du Lion, Mer Tyrrhénienne) (Malinverno and Ryan, 1986 ; Jolivet and Faccenna, 2000 ; Faccenna et al., 2001 ; 2004). Le panneau de lithosphère océanique qui rentre en subduction est devenu étroit (~300 km de large) et selon une étude tomographique serait partiellement détaché au Nord de la Calabre (Neri et al., 2009). D'autres auteurs proposent même que la subduction se soit déjà arrêtée vers 0,5 Ma suite à un tel détachement (Goes et al., 2004) ce qui expliquerait la remontée récente de la Calabre enregistrée par le soulèvement des terrasses marines Quaternaires (Westaway, 1993). Les travaux les plus récents interprètent le soulèvement comme l'expression de flux toroïdaux dans le manteau liées au retrait de l'étroit slab ionien sous la Calabre (Faccenna et al., 2011).

Selon les données GPS le mouvement relatif entre les plaques Eurasie et Nubie est convergent au niveau du Sud de l'Italie, dans une direction SE-NW à environ 5 mm/a (D'Agostino and Selvaggi, 2004). Le champ de vitesse indique la présence de plusieurs micro-blocs intermédiaires, qui se situent entre l'Afrique (Nubie) et l'Eurasie (D'Agostino et al., 2008 ; 2011) (Fig. 2). Le mouvement relatif entre l'Apulie et la région Sud Italienne sur la côte de la Mer Tyrrhénienne s'exprime par de l'extension au niveau de l'Apennin. Dans notre zone d'étude, on observe un bloc Calabrais qui se déplace globalement vers l'Est-Sud-Est dans un référentiel Nubie fixe à des faibles vitesses (3-5 mm/a), un mouvement qui serait induit par le recul de slab ("slab rollback") (D'Agostino et al., 2011) (Fig. 2 gauche).

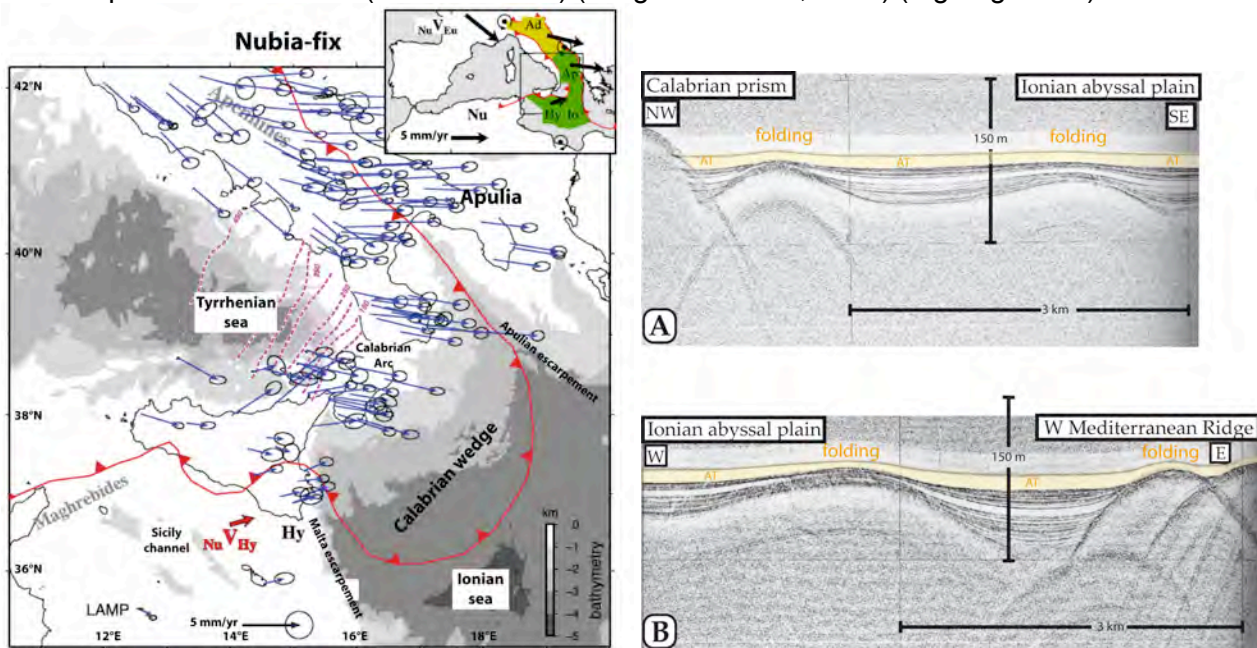


Figure 2 : (à gauche) Cinématique de la région Italienne selon les observations GPS, dans un référentiel Nubie (Afrique) fixe (D'Agostino et al., 2011). Le bloc "Calabrais" se déplace lentement vers l'Est à une vitesse de 3-5 mm/a. (à droite) Indices d'une déformation active dans la plaine abyssale de la Mer Ionienne, qui plisse la turbidite d'Augias (AT) au fronts de déformation A) du prisme Calabrais et B) du prisme de la ride Méditerranéenne (Gutscher et al., 2006)

English caption : Present day kinematics of the Sicily - Calabria - Ionian Sea region from GPS observations, (left) GPS displacement field in a Nubia fixed reference frame (D'Agostino et al., 2011). (right) 3.5 kHz subbottom profile showing the Augias turbidite (AT) and active folding at the toe of the Calabrian prism (A) and the W Mediterranean Ridge (B) (Gutscher et al., 2006).

Pour résumer, le cadre géodynamique de la zone d'étude est complexe. Il y a plusieurs plaques et blocs tectoniques, qui se déplacent à faible vitesse et qui rendent difficile la mise en évidence d'une limite de plaque simple. Les avis sont partagés concernant l'activité de la subduction, mais les mesures GPS (D'Agostino et al., 2011) ainsi que le plissement de jeunes sédiments au front de déformation (Fig. 2A) et démontré par d'autres travaux récents (Polonia et al., 2011), pèsent en faveur d'une activité lente mais qui persiste à l'actuelle.

## English version of introduction: Tectonic setting and historical seismicity

In the Central Mediterranean, Mesozoic oceanic lithosphere (formerly part of the Tethys) subducts beneath Greece and Southern Italy generating abundant seismicity (Fig. 1). The aim of the DIONYSUS project is to study the deep crustal structure of the Ionian Sea; the Calabria subduction zone and the adjacent Tethys margins of Eastern Sicily and offshore Apulia. This part of the Mediterranean has been repeatedly struck by devastating earthquakes and tsunamis in the past 5 centuries (Tinti et al., 2004; Jenny et al., 2006) and is one of the most seismically hazardous regions in Europe. The Catania earthquake of 1693 (60,000 victims) (Piatanesi and Tinti, 1998) and the Messina earthquake of 1908 (72,000 deaths) (Bottari et al., 1989; Jacques et al., 2001) both generated tsunamis with amplitudes of 5 to 10 m (Fig.1). Other destructive earthquakes occurred in 1638 (Galli and Bosi, 2003) and 1783, the latter also triggering a tsunami (Jacques et al., 2001; Tinti and Piatanesi, 2003). (Fig. 1). While the majority of these events are attributed to shallow crustal normal faults, the origin of the earthquakes of 1169 and 1693 (the strongest earthquake in the Italian catalog) remains uncertain (Tinti et al., 2001).

The isoseismal patterns of these two earthquakes are generally similar and open to the sea with a zone of maximum intensity (near Syracuse and Catania) on the coast of Eastern Sicily (Fig.1). Together with the generation of a tsunami, this suggests that the primary fault responsible is located offshore. It further implies that the same fault may be responsible for both events, with a long recurrence interval on the order of 5 centuries. These observations, together with tsunami modeling, led some workers to propose a possible origin on the NW dipping megathrust related to the Calabria subduction zone (Gutscher et al., 2006). The lack of recent shallow seismicity with thrust type focal mechanisms in the Calabria subduction zone implies that if subduction is active, then either there is long-term aseismic creep or, more likely, that the fault plane may be locked and accumulating elastic strain (like the Nankai or Cascadia subduction zones). However, other candidate faults (offshore Eastern Sicily) have also been proposed as possible sources of the 1693 event. Until recently, most researchers thought that a major fault related to the N160°E trending Malta-Hyblean escarpment (which forms the eastern boundary between the continental plateau of Sicily and the deep oceanic domains further east) was the most likely cause of the earthquake (Piatanesi and Tinti, 1998; Bianca et al., 1999; Tinti et al., 2001).

The Southern Italy region straddles the Africa (Nubia) - Eurasia plate boundary, where overall convergence is slow (<1cm/yr) and where a mosaic of micro-plates and blocks are thought to occupy the space between the two major plates (D'Agostino et al., 2008, 2011; Devoti et al., 2011; Palano et al., 2012). According to the geodetic data, slow, but significant relative displacements ( $\geq 3$ mm/yr) are occurring between the Hyblean platform (SE Sicily) and NE Sicily (the Peloritan Mountains domain) and slow movement occurs as well between the Calabria and Apulia blocks. Most of this motion can be related to the Calabria subduction zone and to the SE-directed roll-back of the Calabria - Peloritan block. Yet uncertainty remains how these domains continue offshore, with one model proposing that the Ionian Sea, together with the Hyblean plateau to the SW and the Apulian domain to the NE, forms one single domain (D'Agostino et al., 2011) (Fig. 2 left).

There seems to be a majority consensus that the geodynamic evolution of Southern Italy was largely controlled by a NW dipping subduction zone beneath S France and Iberia, which initiated around 35 Ma. As the slab of Tethys oceanic lithosphere between Africa and Europe retreated to the SE it opened a series of back-arc basins and left several small continental blocks in its wake (e.g. Corsica-Sardinia) (Malinverno and Ryan, 1986; Jolivet and Faccenna, 2000; Faccenna et al., 2001; 2004). Today most of the oceanic lithosphere has subducted and there remains a narrow corridor (at most 300km and perhaps as little as 150 km) connecting the (most probably) oceanic lithosphere beneath the Ionian Sea to the slab and Wadati-Benioff zone beneath the SE Tyrrhenian Sea (Wortel and Spakman, 2000; Giacomuzzi et al., 2012)

Some workers even argued that slab detachment occurred recently, around 0.5 Ma (Goes et al., 2004) and this has also been offered as an explanation for the rapid uplift of Quaternary marine terraces in Calabria (Westaway, 1993). Other explanations, related to mantle flow around a slab edge and the genesis of Mount Etna above this asthenospheric window have been offered as well (Gvirtzman and Nur, 1999a,b; 2000; Faccenna et al., 2011). Thus, we can see that the current geodynamics of the subduction zone remains a topic of heated discussion.

There are two major plates and several tectonic blocks (or micro-plates) in the study area, moving at slow relative motions (< 1 cm/yr) which makes it difficult to clearly identify a discrete plate boundary. There is no clear consensus on the activity of the subduction, though GPS data (D'Agostino et al., 2011), the folding of Holocene turbidite sediments at the deformation front (Fig. 2A) and demonstrated by recent studies (Polonia et al., 2011) support the hypothesis of ongoing activity. Given the past record of destructive earthquakes and tsunamis in Southern Italy (causing 200,000 victims in the past 5 centuries) and the possibility that subduction remains active, there is a strong need for more detailed information on the active seismogenic faults offshore Eastern Sicily and Calabria.



## Objectifs scientifiques :

Cette campagne propose de mieux caractériser la déformation récente liée à l'ensemble des failles proposées comme étant actives ; l'escarpement de Malte, la déchirure lithosphérique, le plan de faille de subduction et d'autres failles ("splay faults") à l'intérieur du prisme d'accrétion. Cette étude se basera principalement sur la sismique HR, des levées bathymétriques ciblées et du carottage qui permettra d'imager les failles actives, d'échantillonner et de dater les séries sédimentaires associées et d'étudier la récurrence d'événements catastrophiques dans la région par datation des coulées turbiditiques. Deux dépôts de glissements sont connus sur zone dans la plaine abyssale Ionienne – la coulée lié au séisme de 1908 qui a rompu des câbles sous-marins et la méga-turbidite d'Augias (avec 10-15m d'épaisseur et un volume total de >100km<sup>3</sup>). Un autre volet comportera l'étude de l'activité hydrologique (analyse des fluides dans les volcans de boue) et du régime thermique de la subduction par mesure de flux de chaleur. (Ces travaux seront détaillés plus bas et dans la section 2 descriptif de la campagne.)

## I- Données de géophysique marine disponibles en Mer Ionienne:

### 1) Données de sismique réflexion et réfraction

Grâce à de nombreuses campagnes italiennes et françaises, il existe une bonne couverture de profils sismiques multitraces dans la zone d'étude (Finetti, 1982 ; Cernobori et al., 1996 ; Sioni, 1996 ; Catalano et al., 2001). Néanmoins ces profils, détenues par différents organismes de recherche, sont de qualité hétérogène et dans la majorité des cas, acquis avec des systèmes qui datent de plus de 15 ans (donc typiquement des flûtes à 96 traces ou moins) (Fig. 3). Deux campagnes plus récentes avec le système 48 traces du N/O Urania (le long de l'escarpement de Malte ou traversant le prisme) ne sont que partiellement publiées (Argnani and Bonazzi, 2005 ; Polonia et al., 2011) (Fig. 3) ou ne traversent pas toutes les structures importantes (la moitié Sud des profils MESC omettent la faille de déchirure). Le système sismique HR de l'Ifremer fournit une résolution nettement supérieure qui permet de mieux aborder les questions concernant l'activité récente et actuelle des failles cartographiées.

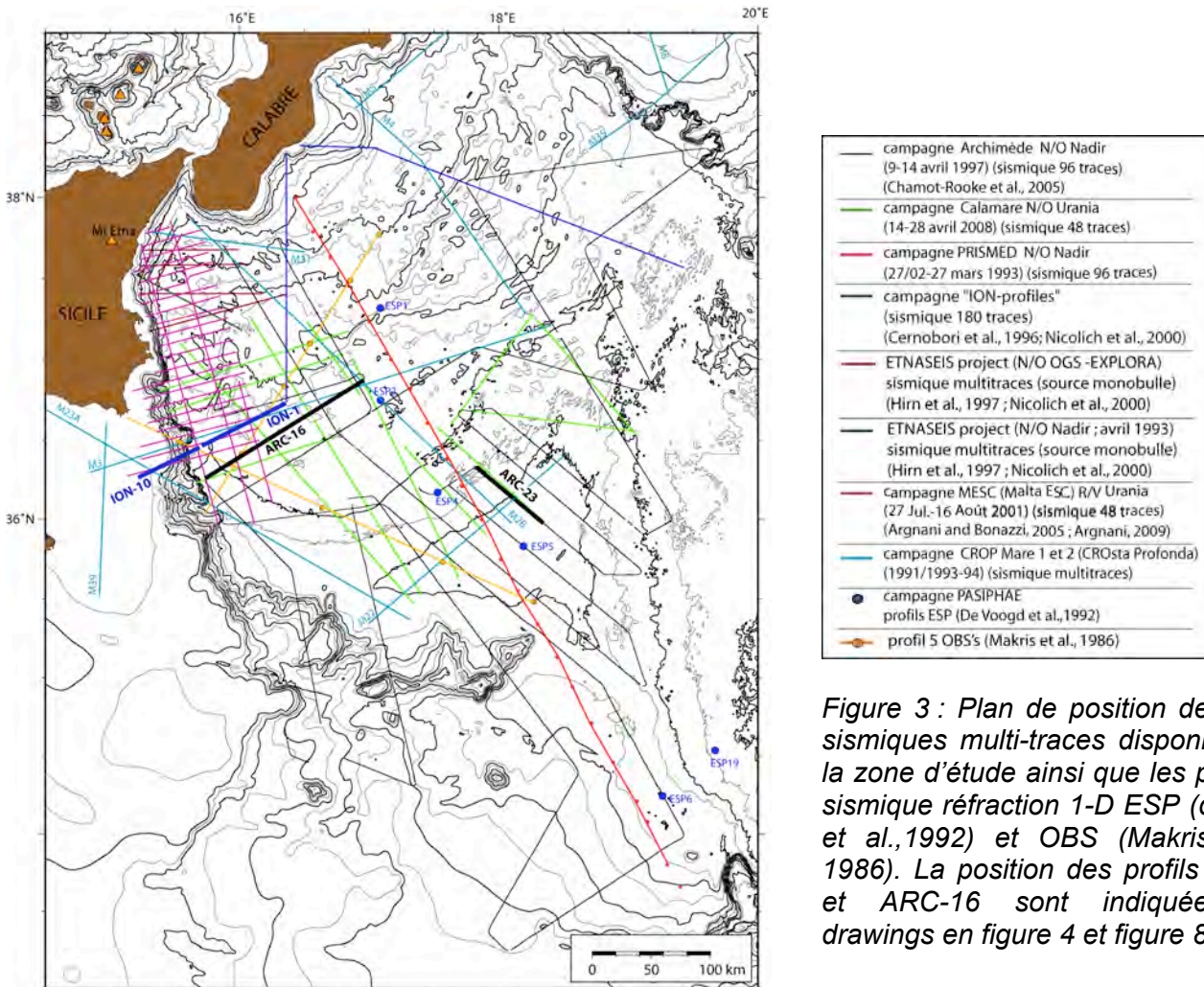


Figure 3 : Plan de position des profils sismiques multi-traces disponibles sur la zone d'étude ainsi que les profils de sismique réfraction 1-D ESP (de Voogd et al., 1992) et OBS (Makris et al., 1986). La position des profils ARC-23 et ARC-16 sont indiquées (line drawings en figure 4 et figure 8).

Les profils SMT acquis par le N/O Le Nadir pendant les campagnes Archimède et PrisMed sont parmi les meilleures données de sismique réflexion dans le secteur (Fig. 3). Le traitement de ces données (acquises avec une flûte sismique modeste de 2,5 km et 96 traces) a permis d'imager l'ensemble de la succession sédimentaire, du Mésozoïque au Plio-Quaternaire. (F. Gallais, 2011) (Gallais et al., 2011 ; 2012 ; 2013). On observe les unités Messiniennes et Plio-Quaternaires non-déformées dans le domaine abyssal et ensuite plissées et faillées dans le prisme d'accrétion (suite à la déformation post-Messinienne) (Fig. 4). Localement on peut distinguer le toit du socle à travers les séries pre-Messinienne.

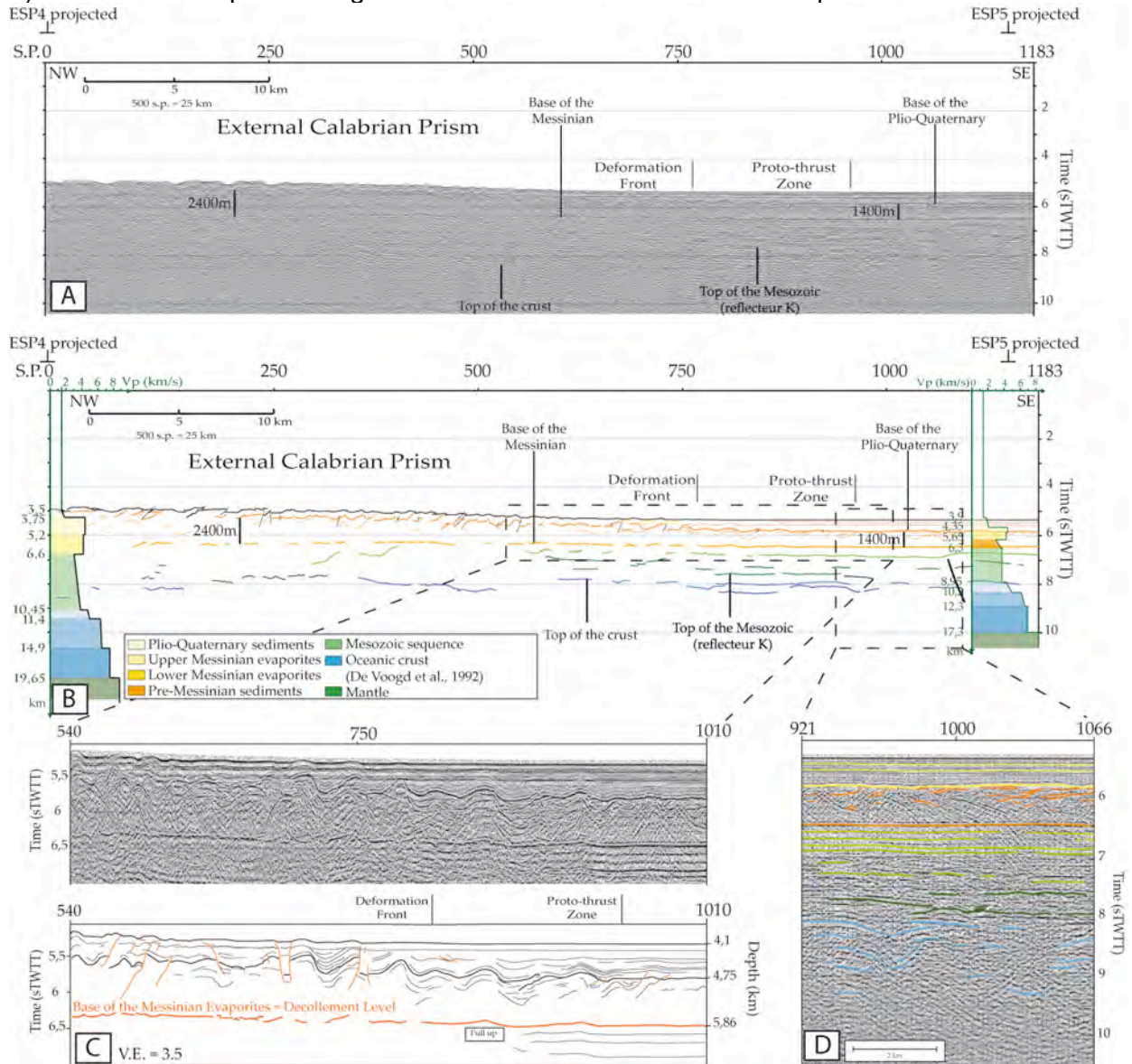


Fig. 4 : Profil sismique réflexion (96 traces) Archimède, (N/O Le Nadir 1997) (Gallais et al., 2009) A) Profil sismique Arc-23, B) line drawing avec les modèles de vitesse 1-D obtenus depuis les ESP5 et ESP4 projetés (deVoogd et al., 1992). La couche de sel Messinienne s'épaissit vers le NW (par plis et failles chevauchantes) et la base du Messinien s'approfondit vers le NW (5,6 km sous ESP5 dans la plaine abyssale Ionienne et 6,6 km sous ESP4 sur le prisme) C) Zoom de la partie frontale du prisme Calabrais D) Stratigraphie en plaine abyssale Ionienne

## 2) Bathymétrie, forages DSDP, carottes et flux de chaleur

Grace à de nombreuses campagnes au cours des derniers 20 ans, la majorité de la zone d'étude a pu être cartographiée par de la bathymétrie multifaisceaux type EM12 ou équivalent (Fig. 5). Les quelques zones manquantes au S et SW du prisme viennent d'être



couverte par des campagnes récentes italiennes (IONIO 2007). Par contre la qualité des levées est hétérogène et dans certains secteurs, inexploitable. En particulier dans la zone entre 1000m et 3000m dans le prisme Central-Est elle n'est pas satisfaisante (problèmes de "tôle ondulée"). La cartographie multi-faisceaux combinée aux profils de sismique HR permettra de choisir des cibles de carottage de part et d'autre des structures majeures qui découpent la zone et qui seront détaillées plus bas. La datation des séries sédimentaires associées devrait permettre de quantifier les taux de sédimentation et/ou la présence d'érosion locale et surtout d'établir une chronologie pour les séries déformées et en déduire l'âge de l'activité des failles/structures en question.

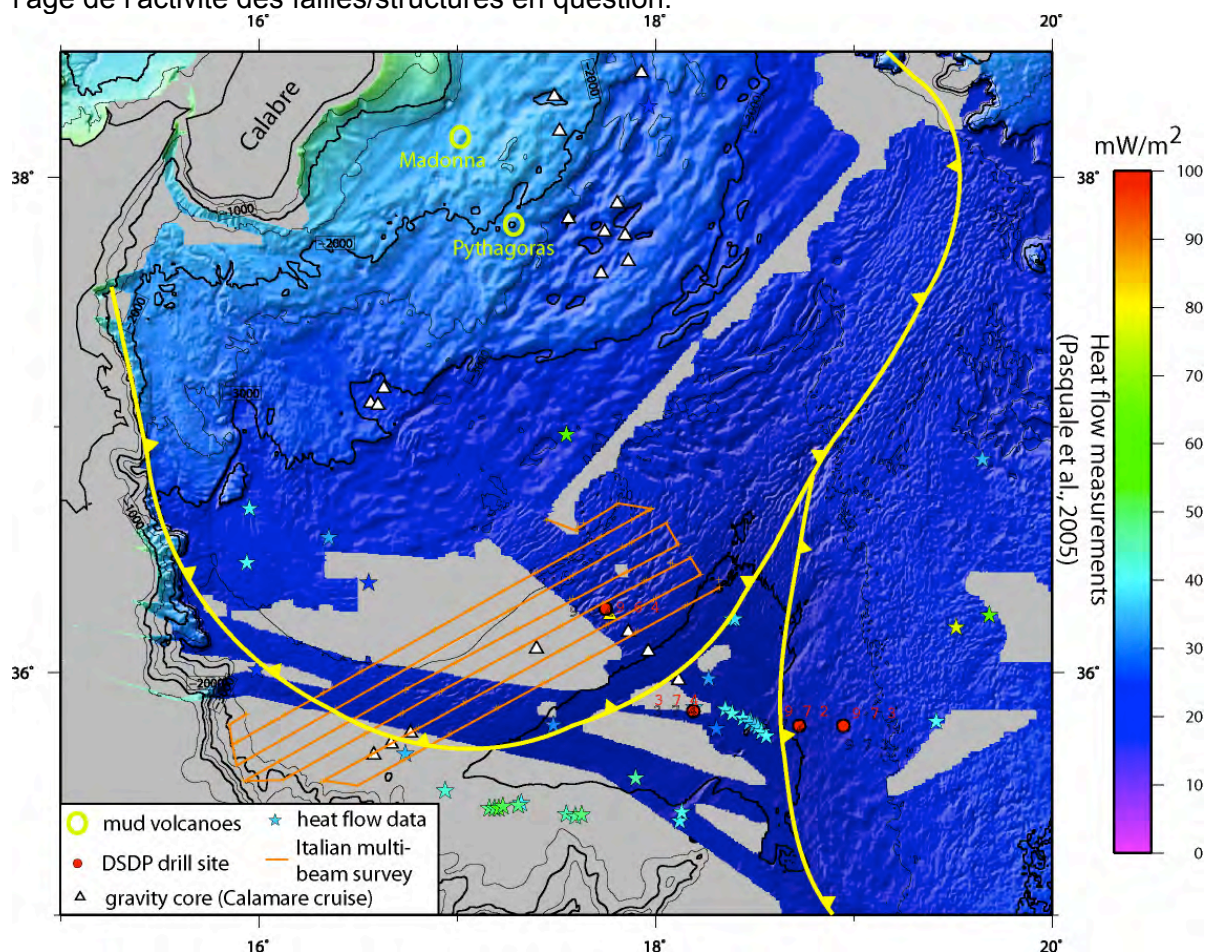


Figure 5 : Carte montrant la couverture bathymétrique multi-faisceaux pre-campagne en mer Ionienne (données MediMap, Loubrieu et al., 2007) avec les sites de carottage récents. La région couverte par les lignes oranges a été récemment cartographiée lors d'une campagne italienne « IONIO 2007 » (non publiées). Les cercles rouges sont des sites de forage DSDP. Deux volcans de boue ont été échantillonnés et identifiés (Praeg et al., 2009).

Deux forages DSPD ont été réalisés dans le secteur Ionien / prisme Calabrais (Fig. 5) et ont échantillonné la série turbiditique et des homogénites dans la plaine abyssale Ionienne ainsi que la couverture héli-pélagique et turbiditique au bas du prisme Calabrais. Grâce à ces données il sera possible d'établir une corrélation stratigraphique des réflecteurs superficiels observés par la sismique (SMT et 3,5 kHz) en utilisant ces forages.

Les données de flux de chaleur dans le secteur se concentrent pour la plupart dans le domaine abyssal, avec quelques mesures sur l'extrémité Ouest du prisme. Il y a donc une lacune de données dans la partie centrale du prisme (une seule mesure). L'acquisition de nouvelles données de flux de chaleur à plusieurs endroits du prisme d'accrétion est donc nécessaire.



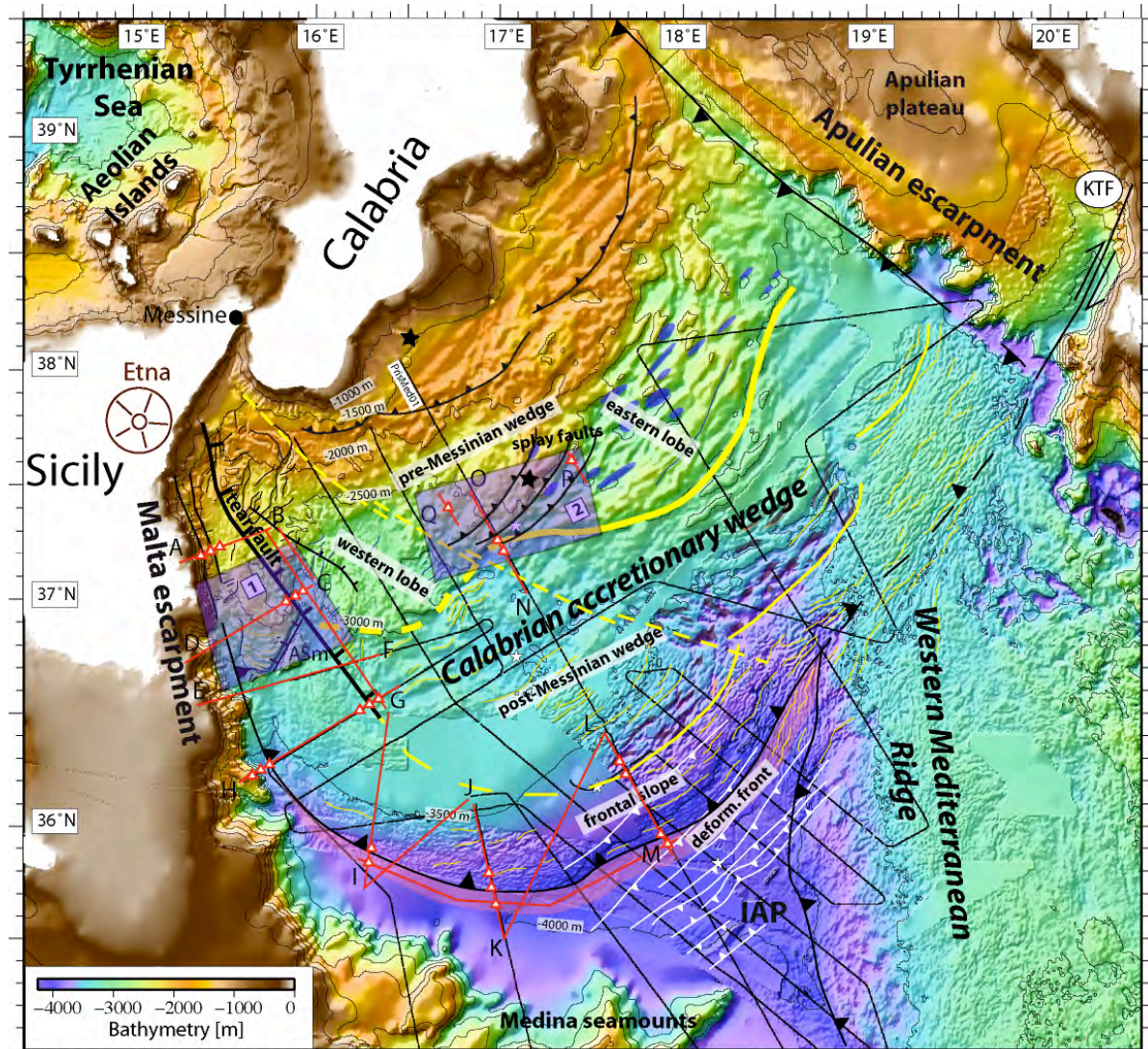


Figure 6 : Projet de campagne sur le fond bathymétrique MediMap (Loubrieu et al., 2007). Les profils sismique HR envisagés sont indiqués (lignes rouges) ainsi que les sites de carottage prévues (triangles rouge/blanc). Les lignes blanches sont les profils SMT (96 traces) des campagnes Archimede et PrisMed (Gallais et al., 2011 ; 2012 ; 2013). Une cartographie bathymétrique multifaisceaux-HR (EM300) est prévue sur deux zones (indiquées en mauve) à profondeur <3000m où la couverture actuelle est insuffisante ou de mauvaise qualité. Zone 1 (à l'Ouest) : Escarpement de Malte, faille déchirure lithosphérique, bordure latérale du prisme et interaction avec Seamount Alfeo (ASm), et vallées de transport turbiditique de 1908. Zone 2 (prisme central) : Le contact entre le prisme Calabrais externe post-Messinien (composé d'évaporites) et le prisme interne pre-Messinien (lignes jaunes épaisses, et les volcans de (comme Pythagoras indiqué par une étoile noire).

## II – Contexte géodynamique et sédimentologique de la zone d'étude

### 1 - Grandes failles crustales à l'Est de la Sicile

Un des objectifs majeur de ce projet sera d'imager la déformation des couches superficielles en traversant deux structures majeures d'échelle crustale, voire lithosphérique (Fig. 6). Plusieurs profils transverses recouperont l'escarpement de Malte (Fig. 7) une structure majeure orienté N160-170°E et proposé par de nombreux auteurs comme étant à l'origine du séisme de Catane de 1693 (Piatanesi and Tinti, 1998 ; Tinti et al. 2001). L'activité actuelle de cette structure reste discutée. Certains auteurs y ont observé des indices d'activité dans la partie Nord, mais une absence d'activité au Sud de la Sicile (Argnani and Bonazzi, 2005). Il semble avoir un consensus que l'escarpement représente une limite



lithosphérique majeure qui marquerait potentiellement la frontière entre un domaine continental à l'Ouest et un domaine potentiellement océanique plus à l'Est (Makris et al., 1986 ; Nicolich et al., 2000 ; Argnani and Bonazzi, 2005).

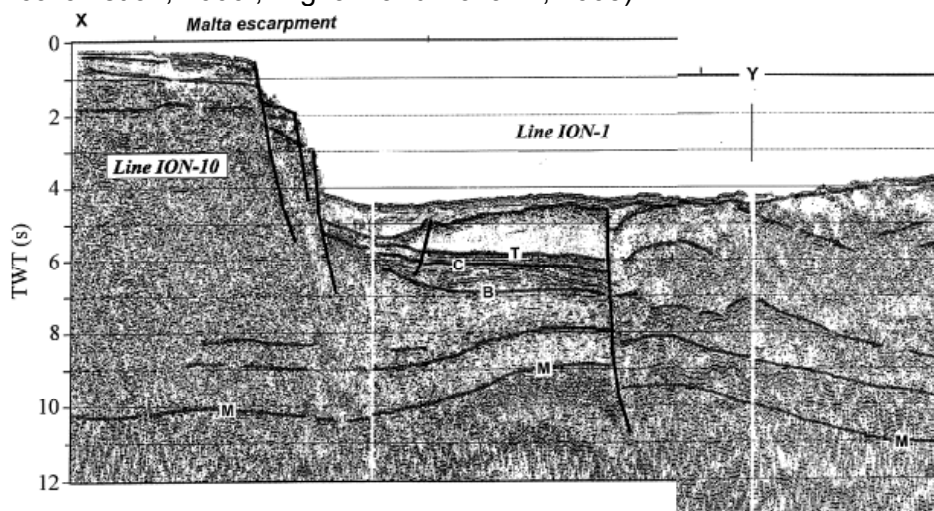


Figure 7 : Profils sismiques ION-10 et ION-1 (Nicolich et al., 2000) montrant l'escarpement de Malte et la "tear fault" (STEP). Pour la position des profils voir Fig. 3.

Une deuxième discontinuité lithosphérique à orientation N150°E a aussi été mise en évidence (Fig. 7) (Hirn et al., 1997 ; Nicolich et al., 2000 ; Argnani and Bonazzi, 2005 ; Argnani, 2009) et pourrait correspondre à la déchirure lithosphérique de style "STEP = Subduction Tear Edge Propagator" qui permet le recul du slab Tyrrhénien et l'avancé du bloc Calabrais vers le SE (Govers and Wortel, 2005). La majorité des profils de sismique HR sont prévus le long des profils sismiques 96 traces existants (acquis lors des campagnes Archimède et PrisMed) et traité dans le cadre de la thèse de F. Gallais (Gallais, 2011). Les profils sismique Archimède (96 traces) imagent le décalage des réflecteurs profonds (par exemple la base du Messinien ou les séries Mésozoïque) au niveau de cette "tear fault" (Fig. 8). L'outil de sismique HR avec sa résolution verticale beaucoup plus fine (de l'ordre de 10m) permettra d'établir la stratigraphie fine des bassins Plio-Quaternaire et des séries syn-tectoniques associées à ces failles. Les carottages fourniront des contraintes sur leur activité temporelle.

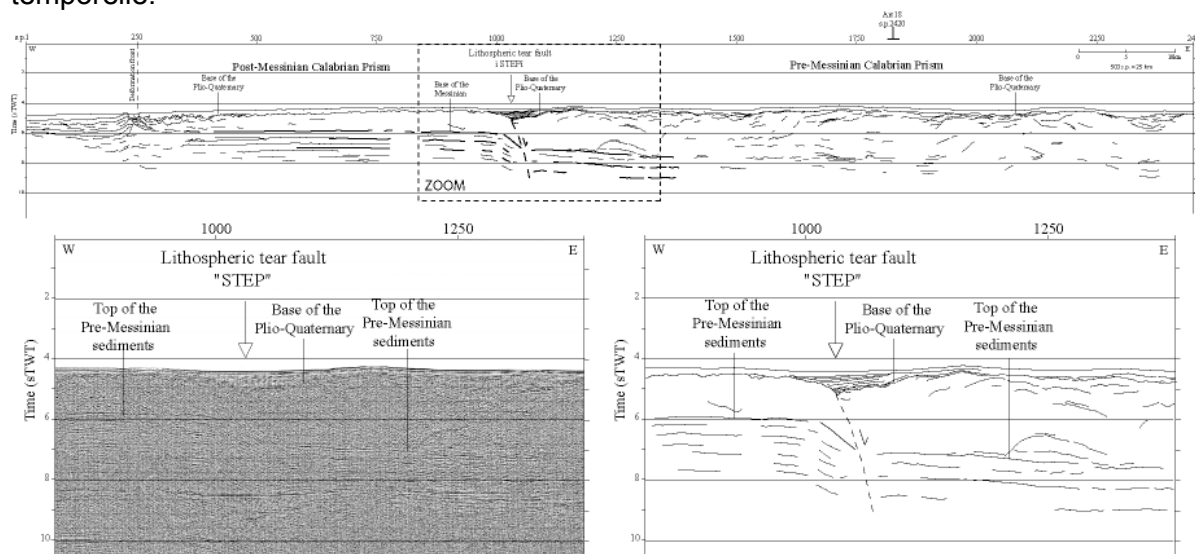


Figure 8 : Profil sismique 96 traces Archimède 16 (N/O Le Nadir 1997) montrant la faille lithosphérique "tear fault" qui décale la base du Messinien d'environ 2 km (Gallais, 2011). Pour la position du profil voir Fig. 3.



## 2 - Sédimentologie : turbidites récentes et récurrence

Pendant cette campagne, il est prévu d'effectuer des prélèvements par carottage des dépôts turbiditiques, pour caractériser la déformation actuelle et mieux contraindre l'aléa sismique dans cette zone de subduction (magnitude maximum des séismes, récurrence). Lors du carottage, des mesures de flux de chaleur seront effectuées pour mieux connaître l'état thermique de la subduction et ainsi évaluer le comportement mécanique du plan de faille principal.

Dans certaines zones, des corrélations ont pu être établies entre des séismes historiques et des dépôts de turbidites en domaine profond. Les travaux les plus exhaustifs ont été menés au large des Cascades (Goldfinger et al., 2003). Grâce à ces recherches, ils ont pu établir que des grands séismes (M9) se produisent à des intervalles allant de 300 à 1500 ans sur la marge des Cascades. En Europe, on a pu démontrer qu'un dépôt de turbidites présent dans la plaine abyssale de Horseshoe, au large du Sud-ouest du Portugal, et avec un volume d'environ 1 km<sup>3</sup>, serait contemporain du séisme de Lisbonne de 1755 selon les datations (Thomson and Weaver, 1994 ; Lebreiro et al., 1997). En mer Ionienne, il a été prouvé que le séisme de Messine de 1908 a déclenché une avalanche sous-marine qui a rompu successivement deux câbles sous-marins (Ryan and Heezen, 1965). Juste après le séisme, le câble qui reliait Gazzì (Sicile) à Gallico (Calabre) à travers le détroit de Messine a été coupé, et 10h plus tard, 200 km plus au Sud, le câble, qui assurait la liaison entre Malte et l'île de Zante (Grèce), a été également rompu (Fig. 12). Le dépôt associé à cette avalanche sous-marine doit se trouver plus en aval, probablement au niveau de la plaine abyssale Ionienne. Ce dépôt turbiditique sera une cible intéressante, ainsi que les dépôts qui pourrait être liés à des événements sismiques plus anciens (1693, 1169 etc.). Une carotte récupérée dans ce secteur par l'équipe du Lamont montre des couches alternant entre des argiles et des silts et sables, typique des séries turbiditiques (Ryan and Heezen, 1965) (Fig. 12).

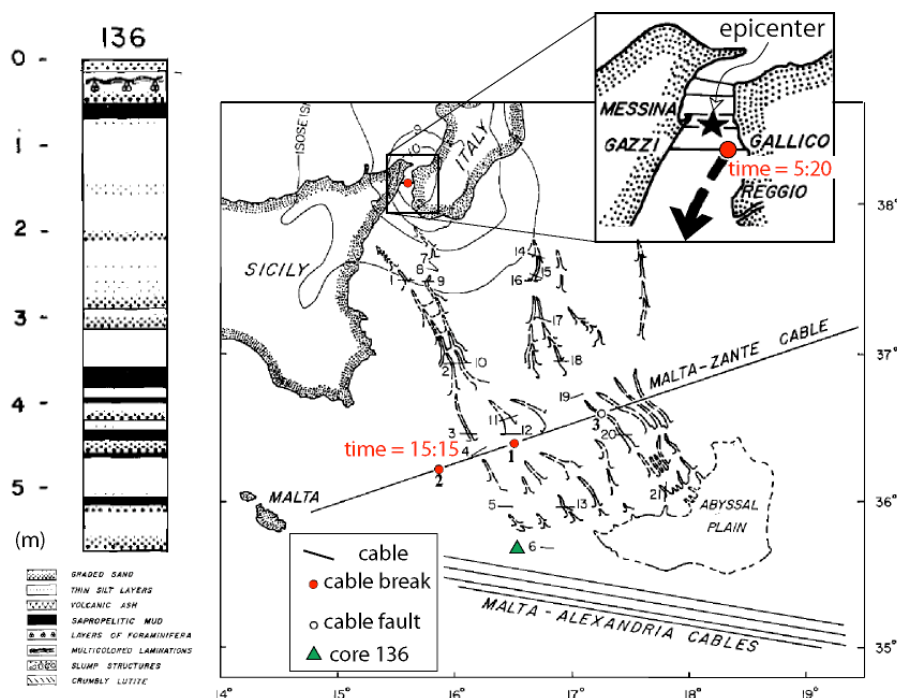


Figure 12 : Carte montrant les ruptures du câble sous-marin en 1908 (Ryan and Heezen, 1965). (à gauche) le log lithologique de la carotte 136 montrant des séries turbiditiques (situé entre les points 5 et 6 de la carte à droite).

Kastens (1984) et Cita and Aloisi (2000) ont proposé des schémas de corrélation de carottes à grande distance, basés sur la reconnaissance de dépôts constituant de vrais marqueurs stratigraphiques : sapropels et tephras associés aux éruptions majeures de l'Etna (Fig. 13). En effet, la zone d'étude est particulièrement favorable pour essayer de mener une

étude des séquences turbiditiques, comme potentiel indicateur de séismes et de leurs récurrences, en s'appuyant sur les nombreuses 'ligne temps' disponibles dans les successions sédimentaires de la zone.

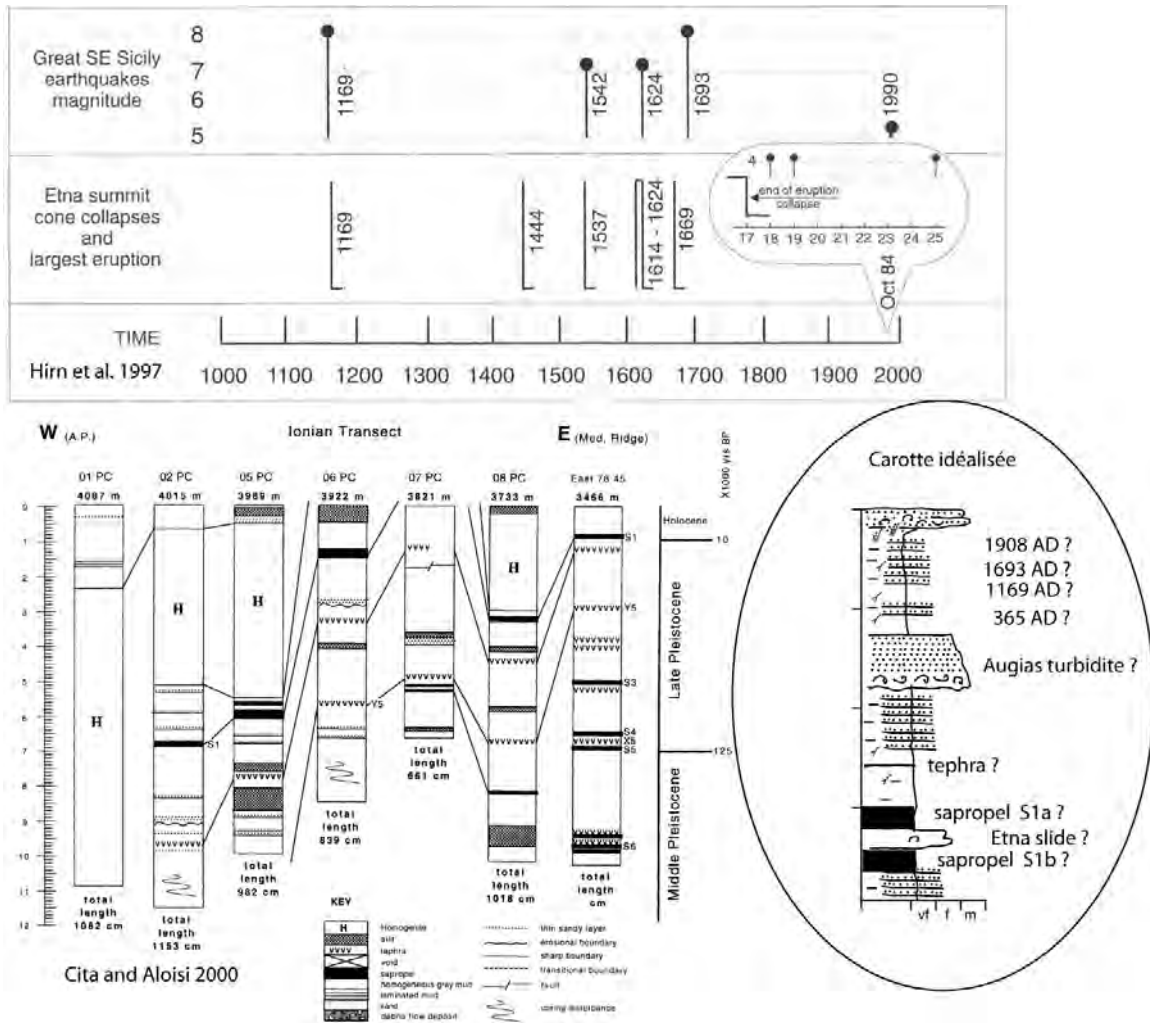


Figure 13 : (En haut) Schéma avec les principaux séismes de Sicile des 1000 derniers ans avec une tentative d'association avec les éruptions du volcan Etna (modifié d'après Hirn et al., 1997). (en bas) Transect de carottes de sédiment montrant le potentiel de corrélation entre dépôts consécutifs à des événements catastrophiques (comme la couche H, liée selon Cita et Aloisi (2000) à l'éruption/effondrement de Santorini il y a 3500 ans).

Les dernières cibles de carottage sont les volcans de boue qui ont été observés sur la partie supérieure du prisme d'accrétion (Praeg et al., 2009). Cela nous permettra de récupérer des brèches de boues pour pouvoir analyser leur composition et celles des clasts qu'ils contiennent.

De plus, la **sismique HR** (et THR chirp) permettra de caractériser la déformation dans les couches sédimentaires superficielles associée aux failles actives ; celles qui sont liées à l'escarpement de Malte, ainsi que celles associées à la subduction. Il est prévu d'imager le front de déformation et les failles chevauchantes frontales et latérales du prisme d'accrétion Calabrais à de nombreux endroits pour chercher des indices de déformations récentes (comme cela a été fait pour la campagne DelSis dans le Golf de Cadix - Gutscher et al., 2009a, 2009b).

En mer Ionienne, il existe une lacune d'observations de **flux de chaleur** sur la partie centrale du prisme d'accrétion. Des nouvelles observations du flux in-situ permettront de



mieux contraindre l'état thermique de la subduction et de son plan de faille (ce qui lié directement à son comportement mécanique et donc sismique).

Ce volet sédimentologique et d'imagerie sismique et bathymétrique à haute résolution devrait fournir des éléments de réponse concernant l'origine des séismes meurtriers de la zone.

### **III- Résultats préliminaires de la campagne CIRCEE-HR (Octobre 2013)**

Géographiquement le Leg 1 s'est concentré sur la région Est-Sicile, Escarpement de Malte et au large sur la faille de déchirure lithosphérique ("STEP" fault) et la bordure latérale (ouest) du prisme d'accrétion Calabrais. Il s'est déroulé en 8 jours en mer du 3 - 10 Octobre au départ de Catane et port d'escale à Augusta.

Le Leg 2 comporta 13 jours en mer, avec un départ de Augusta le 11 Octobre et un retour à Catane le matin du 24 Octobre 2013. Cette seconde partie de la mission concerna principalement la partie SW et Sud du prisme d'accrétion, la plaine abyssale Ionienne, la partie Nord du prisme d'accrétion (province des volcans de boue) et enfin un retour à la zone du premier leg pour compléter une cartographie bathymétrique qui comportait encore quelques lacunes de couverture.

Méthodologiquement les travaux effectués se résument de la manière suivante :

Leg 1 :

- 6 carottages sédimentaires (KCIR-01 - KCIR-06)
- 7 profils sismiques HR (72-traces)
- cartographie bathymétrique d'une partie de l'Escarpement de Malte, Seamount Alfeo, Tear fault et bordure W du prisme
- profils sondeur sédiment (chirp) en route

Leg 2 :

- 11 carottages sédimentaires (KCIR-07 - KCIR-17)
- 11 profils sismiques HR (72-traces)
- cartographie bathymétrique :
  - front de déformation SW et Sud du prisme d'accrétion et plusieurs bandes montants de la plaine abyssale sur la partie inférieure du prisme (profondeurs 3500 - 4080 m),
  - province de volcans de boue (prisme N central)
  - complétion de la cartographie de l'Escarpement de Malte, Seamount Alfeo, Tear fault et bordure W du prisme
- profils sondeur sédiment (chirp) en route
- 9 mesures de flux de chaleur (par sonde thermiques sur le carottier)

Au total pendant la campagne nous avons pu acquérir :

18 profils sismiques HR (72 traces) pour une longueur totale de 1505 km  
17 carottes sédimentaires

Des rapports plus détaillés sur les différentes méthodes se trouvent dans les pages suivantes, ainsi que quelques exemples des données sismiques et bathymétriques acquises.

## Cadre National et International

Cette campagne océanographique et les travaux de recherches associés s'inscrivent dans le programme TopoEurope de la European Science Foundation (ESF) (projet TopoMed) et impliquent de nombreuses collaborations avec des collègues français et italiens. Ils s'inscrivent également dans le projet INSU MISTRALS TerMEx sur le chantier Méditerranée INSU.

Collaborations internationales : Italie - Univ. Catania (**Giovanni Barecca**) ; CNR Bologna (M. Rovere) ; Univ. Roma 3 (C. Faccenna) ; Univ. Roma (F. Chiocci) ; Allemagne - Geomar, Kiel (C. Berndt, H. Kopp, C. Hensen) ; Portugal - Univ. Aveiro, (**Luis Pinheiro**) ; Malte - Univ. Malte (**Aaron Micallef**) (en gras membres de l'équipe embarquée)

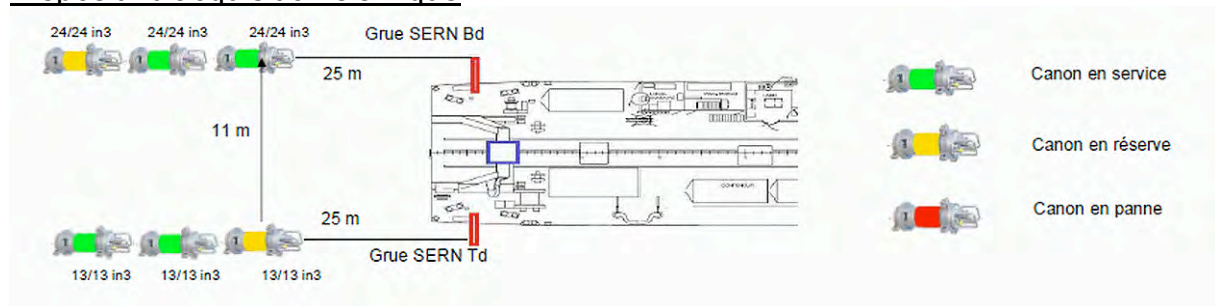
## Equipe embarquée

Nom Prénom	Fonction	Spécialité (géologie, physique, chimie, biologie, mécanique, électronique, informatique, etc.)	Responsabilité et rôle à bord (leg 1 ou leg 2)	Organisme employeur
GUTSCHER Marc-André	Directeur de recherche	géophysique	Chef de mission (leg 1 + 2)	CNRS (Brest)
BABONNEAU Nathalie	Maitre de Conférence	sédimentologie	Carottage (leg 1)	UBO
PENAUD Aurélie	Maitre de Conférence	sédimentologie	Carottage (leg 1)	UBO
SAN PEDRO Laurine	thèse	sédimentologie	Carottage (leg 1 + 2)	UBO
HARDY William	thèse	sédimentologie	Carottage (leg 2)	UBO
MARY Flore	thèse	sédimentologie	Carottage (leg 2)	UPMC Paris 6
GALLAIS Flora	Post-doc	géophysique	Traitement sismique (leg 1)	Ifremer
LE FAOU Yann	Ingénieur recherche	géophysique	Traitement sismique (leg 1)	SHOM
MERCIER DE LEPINAY Bernard	Chargé de recherche	géophysique	Traitement sismique (leg 2)	CNRS (Nice)
DOMINGUEZ Stéphane	Chargé de recherche	géophysique	Bathy/ interp sismique (leg 2)	CNRS, Montpellier
BARECCA Giovanni	Post-doc	géophysique	bathy/ interp sismique (leg 2)	Univ. Catania
PINHEIRO Luis	Professeur	géophysique	Traitement sismique (leg 2)	Univ. Aveiro
MICALLEF Aaron	lecturer	géophysique	Bathy/ interp sismique (leg 1)	Univ. Malte
<b>Nombre TOTAL de scientifiques embarquées, Leg 1 : 7 personnes, Leg 2 : 8 personnes</b>				



# SISMIQUE Haute-Résolution 72 traces, CIRCEE-HR

## Dispositif d'acquisition sismique



Le dispositif d'acquisition comprend six canons, dont quatre sont actifs et deux gardés en réserve (en cas de panne). Les paramètres de géométrie du système sont résumés dans la fiche « survey » (snapshot du logiciel SISPEED)

The screenshot shows the SISPEED software interface for 'SURVEY DESIGN - HR GEOMETRY'. The interface is divided into several sections:

- STREAMER:**
  - Towing Point: dx 0 m, dy -18 m
  - Number of traces: 72
  - Trace distance: 6.25 m
  - SHS section payed out length: 50 m
  - Dist. centre first trace: 103.125 m
  - Number HES (50m): 1
  - Total payed out length: 650 m
  - Number ALS (150m): 3
  - Number TES (50m): 1
  - Tail rope length: 50 m
- DEPTH CONTROLLERS:**

# BIRDS	BIRD	Position	Distance [m]	HEAD
4	BIRD 1	Tail HES 1	97.5	HEAD
	BIRD 2	Head ALS 2	259.2	HEAD
	BIRD 3	Head ALS 3	409.2	HEAD
	BIRD 4	Head TES 1	552.5	TAIL
- SOURCE:**
  - Starboard Source (Green):**
    - Towing Point: dx 5.5 m, dy -13.7 m
    - Source cable payed out length: 25 m
  - Port Side Source (Red):**
    - Towing Point: dx -5.5 m, dy -13 m
    - Source cable payed out length: 25 m
- Source - Traces offset:**
  - min: 83 m
  - max: 527 m
- VESSEL GPS:**
  - Raw GPS: dx -0.5 m, dy 14 m
  - ECOS: integrated: dx 0 m, dy 0 m

Buttons: VIEW, VALID

## Les données brutes

Les données de la sismique HR-traces 72 traces sont fournies dans un format SEG-D. Chaque tir du profil est enregistré dans un fichier séparé, comprenant un

entête général et les informations du signal pour chacun des hydrophones de la flûte et des éléments de localisation du navire, des quatre « poissons » de la flûte. Dix-huit (18) profils ont été levés lors de la campagne CIRCEE-HR (sept pendant le premier leg, onze pendant le second leg), représentant 1505 km de sismique. Pour s'adapter à la puissance limitée de l'ordinateur dédié au traitement, nous avons dû diviser un grand nombre de ces profils en deux ou trois tronçons. Au total, ce sont 31 lignes séparées qui ont été traitées.

Profil#	Nb.bins	m	km
CIR-01	6187	38668,75	
CIR-02-1	7776	48600,00	
CIR-02-2	7344	45900,00	
CIR-03-1	6092	38075,00	
CIR-03-2	5963	37268,75	
CIR-03-3	6031	37693,75	
CIR-04-1	5869	36681,25	
CIR-04-2	6183	38643,75	
CIR-04-3	4641	29006,25	
CIR-05-1	7039	43993,75	
CIR-05-2	6630	41437,50	
CIR-06	3167	19793,75	
CIR-07-1	5902	36887,50	
CIR-07-2	6092	38075,00	
CIR-08-1	7538	47112,50	
CIR-08-2	8346	52162,50	
CIR-09	10045	62781,25	
CIR-10	10740	67125,00	
CIR-11-1	9474	59212,50	
CIR-11-2	9443	59018,75	
CIR-12	11987	74918,75	
CIR-13	14766	92287,50	
CIR-14	11229	70181,25	
CIR-15	10436	65225,00	
CIR-16-1	12177	76106,25	
CIR-16-2	11843	74018,75	
CIR-16-3	11583	72393,75	
CIR-17	4287	26793,75	
CIR-18-1	4938	30862,50	
CIR-18-2	7085	44281,25	
		<b>1505206,25</b>	<b>1 505</b>

### Le logiciel SISPEED

Nous avons utilisé le logiciel SISPEED (IFREMER, Bruno Marsset/Yannick Thomas) pour exploiter ces données SEG-D. Ce logiciel a été mis au point d'abord pour assurer le contrôle de qualité des données, tant en temps quasi-réel pour assurer une saisie de données de bonne qualité, que pour s'assurer que les données satisfèrent aux normes internationales requises. Mais pour permettre ce contrôle de qualité, SISPEED réalise des traitements rapides et efficaces : ainsi, nous avons utilisé le logiciel non seulement comme outil de contrôle de qualité, mais aussi comme outil de traitement, au moins pour les premières étapes, les plus fondamentales. En particulier, SISPEED permet de réaliser le « binning » des données : il s'agit de calculer une trace synthétique pour chaque « pavé » (bin) équidistant le long du profil (ici 6.25m), en utilisant les traces enregistrées au voisinage immédiat du centre du pavé. Ainsi, le profil résultant est régulièrement espacé pour permettre une sommation parfaite.

- 1) Traitement de la navigation ;
- 2) Positionnement des sources ;

- 3) Visualisation et analyse spectrale (collection de tir et profils monotraces) pour contrôle de qualité et choix d'un filtre adapté pour utiliser lors du stack;
- 4) Estimation du délai de la source/synchronisation des canons ;
- 5) Conversion SEGD => SEG Y, avec un filtre large (20-800 Hz) pour préserver à ce niveau l'intégralité du contenu fréquentiel => enregistrement du rapport de pré-traitement ;
- 6) Calcul des CDP, binning (à 6.25m) et détermination de la couverture ;
- 7) Visualisation des CMP pour déterminer la vitesse constante de Normal Move Out (NMO) à utiliser pour le stack : ici, nous avons appliqué pour tous les profils une vitesse de 1540 m/s ;
- 8) Sommation (stack) au long de chaque collection de CMP (CMP gather), avec un filtre 70-425 Hz, déterminé lors de l'analyse spectrale;
- 9) Migration Stolt à vitesse constante (1540 m/s) ;
- 10) Pointé du fond sur la section migrée ;
- 11) Détermination du rapport signal/bruit.

A chaque étape, les paramètres caractéristiques sont notés dans un fichier Excel.

#### Visualisation et impression

La section migrée est alors visualisée et imprimée à des échelles et exagérations verticales contrôlées grâce à des routines utilisant les programmes du package SU/CWP (*Seismic Unix* du *Center of Wave Phenomena* de la *Colorado School of Mines*).

Chaque profil est représenté en A4 accompagné de la carte de navigation correspondante.

#### Fichiers fournis

- Fichier Excel du contrôle de qualité SISPEED
- Plan de position

Pour chaque profil :

- Fiche de profil (tableau pdf)
- Fichier SEGD brut (répertoire CIRCEE-XXX.X)
- Fichier SEG Y original filtré à 20-800 Hz (profilxxx.seg)
- Fichier SEG Y stacké , filtré à 70-425 Hz (stack\_profilxxx\_v1540\_g0.seg)
- Fichier SEG Y, stacké et migré, filtré à 70-425 Hz (mig\_profilxxx\_v1540\_g0.seg)
- Fichier SEG Y, stacké et migré, filtré à 70-425 Hz, muté (CIR-xx.seg), contenant la navigation en coordonnées géographiques (degrés décimaux multipliés par 1000000)
- Fichier NAV : navigation en coordonnées géographiques (lon/lat/bin en ASCII) (CIR-xx.nav)
- Images des fichiers traités : PDF, PNG et PS



NOM DES PROFILS					DATE PROFILS & TRAITEMENTS			NAVIGATION		Display Single Trace		Display Auxiliary Trace		SEG-D to SEG-Y	Prepro	Prepro	Prepro	OBS	PROCESSING : Stack - Migration							Repertoire noisetier		Commentaire			
Nom de profil GENAVIR (SEAL)	Nom de profil SCIENCE	Nom de profil QC	Tot Nbre tirs	Tirs dans fichier	Date fin de profil	Date QC	Opérateur	Tirs écartés	Traitement NAV	Fenêtre temps (s)	Filtre passe-bande (Hz)	Delai source (ms)	Synchro (ms)	Hz	ubar	Prepro Rapport S/B moyen (dB)	Prepro Summary registered		Taille pavé (bin) (m)	Nombre de pavés (xxxx)	Couvert ure moyenn e (fold) (xx)	Stack Mig 70-425 (x)	Vitesse Mig (x)	Pointé fond (x)	Update SEG-Y (lat/lon) (X)	Bruit moyen 70-425 (ubar)	Rapport S/B moyen 70-425 (dB)				
Leg1																															
CIRCEE-001.1	CIR-01	profil001	2347	1-2269	3/10/2013	17/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	2270-2347	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	3.5	26	v														
CIRCEE-002.1	CIR-02-1	profil201	5407	1 - 2699	4/10/2013	17/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	1.8	NaN	v														
	CIR-02-2	profil202		2700 - 5407	4/10/2013	23/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	2	20	v														
CIRCEE-003.1	CIR-03-1	profil301	6672	1 - 2199	4/10/2013	17/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	3.7	19	v														
	CIR-03-2	profil302		2200 - 4400	4/10/2013	17/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	3.9	17	v														
	CIR-03-3	profil303		4401 - 6599	4/10/2013	18/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	6600-6672	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	4.8	31	v														
CIRCEE-004.1	CIR-04-1	profil401	6347	1-2099	9/10/2013	18/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	4.8	26	v														
	CIR-04-2	profil402		2100-4200	9/10/2013	18/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	3.2	17	v														
	CIR-04-3	profil403		4201-5760	9/10/2013	18/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	5761-6347	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	2.6	33	v														
CIRCEE-005.1	CIR-05-1	profil501	4804	1-2400	9/10/2013	18/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	2.4	27	v														
	CIR-05-2	profil502		2401-4680	9/10/2014	18/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	4680-4804	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	2.3	23	v														
CIRCEE-006.1	CIR-06-1	profil601	1235	1-1070	9/10/2015	18/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	1071-1235	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	2.9	21	v														
CIRCEE-007.1	CIR-07-1	profil701	4074	1-1999	10/10/2013	19/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	2.1	21	v														
	CIR-07-2	profil702		2000-4074	10/10/2013	19/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	0-6.8	70-425	19	v	20-800	3	27	v														
Leg2																															
CIRCEE-008.1	CIR-08-1	profil801	5534	1-2552	12/10/2013	19/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	3-7	70-425	19	v	20-800	4.6	18	v														
	CIR-08-2	profil802		2553-5104	12/10/2013	19/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	5105-5534	v	3-7	70-425	19	v	20-800	4.5	16	v														
CIRCEE-009.1	CIR-09-1	profil901	3463	1-3229	12/10/2013	19/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	3230-3463	v	3-7	70-425	19	v	20-800	3.2	18	v														
CIRCEE-101.1	CIR-10-1	profil101	3261	1-3261	13/10/2013	20/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	3-7	70-425	19	v	20-800	3.4	19	v														
CIRCEE-011.1	CIR-11-1	profil111	6333	1-3160	13/10/2013	20/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	3-7	70-425	19	v	20-800	2.5	21	v														
	CIR-11-2	profil112		3161-6105	13/10/2013	20/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	6106-6333	v	3-7	70-425	19	v	20-800	2.1	22	v														
CIRCEE-012.1	CIR-12-1	profil121	3820	1-3602	14/10/2013	21/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	3604-3820	v	3-7	70-425	19	v	20-800	2.2	21	v														
CIRCEE-013.1	CIR-13-1	profil131	4227	1-4205	14/10/2013	21/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	4206-4227	v	3-7	70-425	19	v	20-800	2.5	20	v														
CIRCEE-014.1	CIR-14-1	profil141	3375	1-3320	15/10/2013	21/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	3321-3375	v	3-7	70-425	19	v	20-800	2.6	18	v														
CIRCEE-015.1	CIR-15-1	profil151	3101	1-3101	15/10/2013	22/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	3-7	70-425	19	v	20-800	2.4	13	v														
CIRCEE-016.1	CIR-16-1	profil161	10402	1-3470	19/10/2013	20/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	3-7	70-425	19	v	20-800	6.3	18	v														
	CIR-16-2	profil162		3471-6940	19/10/2013	20/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	3-7	70-425	19	v	20-800	2.5	21	v														
	CIR-16-3	profil163		6941-10402	19/10/2013	21/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	3-7	70-425	19	v	20-800	2.2	23	v														
CIRCEE-016.2	CIR-16-4	profil164	1217	1-1030	19/10/2013	21/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	1031-1217	v	1.5-5.5	70-425	19	v	20-800	1.6	26	v														
CIRCEE-017.1	CIR-17-1	profil171	1661	1-1200	19/10/2013	21/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	1201-1661	v	1.5-5.5	70-425	19	v	20-800	1.9	24	v														
CIRCEE-018.1	CIR-18-1	profil181	3650	1-1559	20/10/2013	21/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	1.5-5.5	70-425	19	v	20-800	2.1	24	v														
	CIR-18-2	profil182		1560-3650	20/10/2013	21/10/2013	L.Pinhoiro / B. de Lepinay	x	v	1.5-5.5	70-425	19	v	20-800	2	24	v														

Il y des tirs qui manquent au milieu de la ligne SP 3938-3996

gyration at end of line

Analyse Signal Bruit pas faite, car le PC disponible ne permet pas de faire le picking du fond en une seule fois

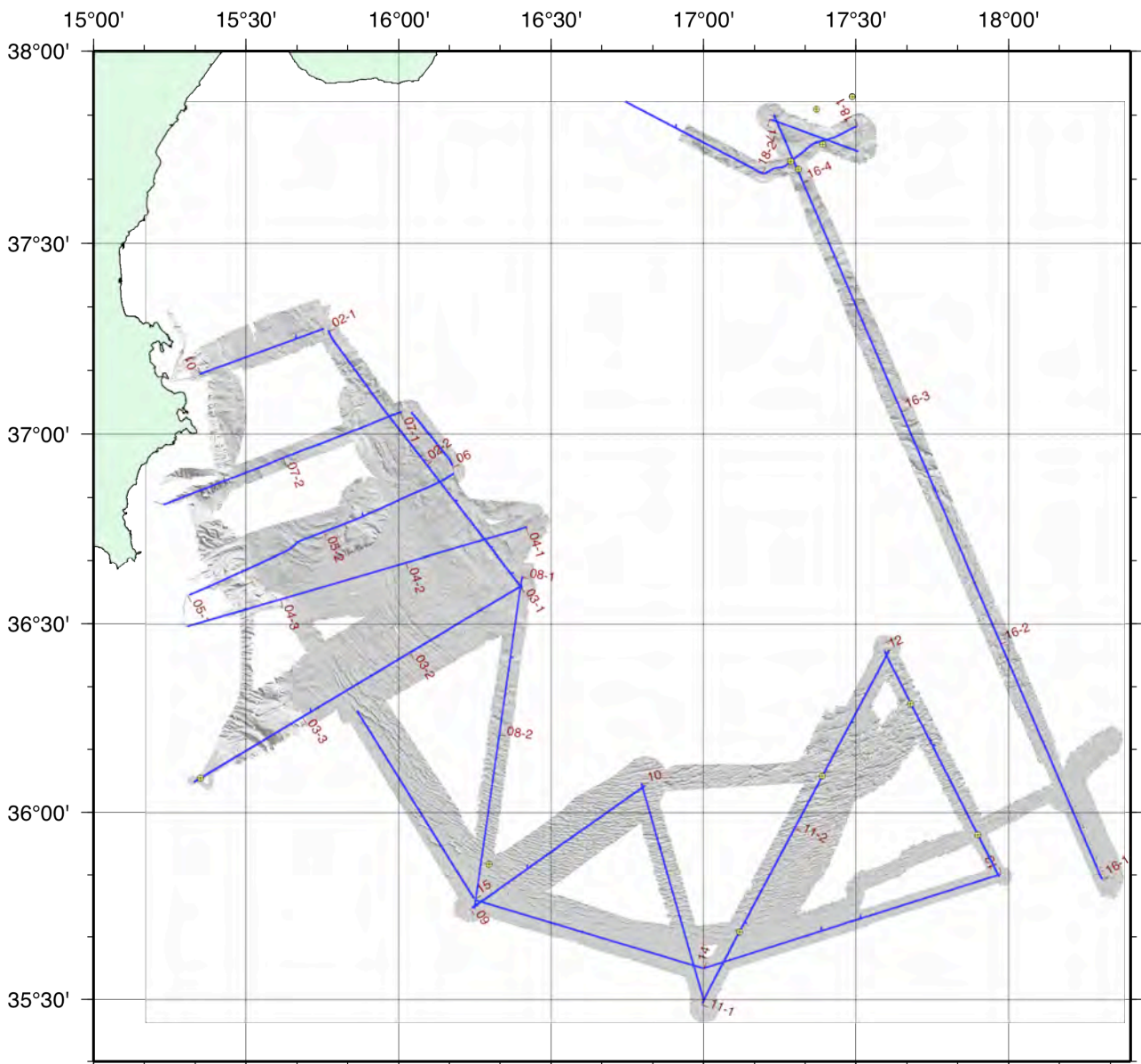
Analyse Signal Bruit pas faite, car le PC disponible ne permet pas de faire le picking du fond en une seule fois; valeur entre parentheses base sur les autres portions lde la ligne.

Analyse Signal Bruit pas faite, car le PC disponible ne permet pas de faire le picking du fond en une seule fois

Analyse Signal Bruit pas faite, car le PC disponible ne permet pas de faire le picking du fond en une seule fois

Changement Sismique Mode superficiel

Navigation tres irreguliere, en segments

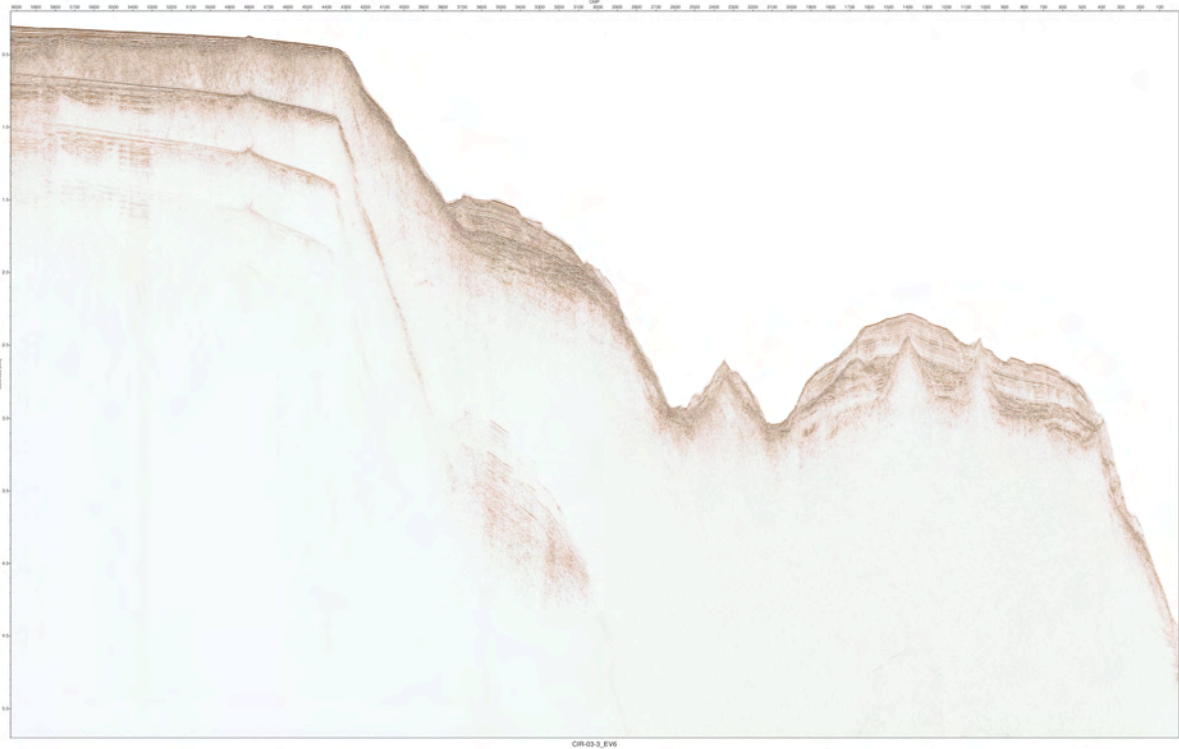


La répartition géographique des profils sismique HR est indiqué sur la figure ci-dessus.  
 (A noter que la couverture bathymétrique est incomplète par rapport à l'ensemble de la mission – les derniers 3 jours de cartographie ne sont pas intégrés sur cette carte.)

Ci-dessous quelques exemples des profils sismique HR (72-traces) acquis lors de la campagne CIRCEE.

West

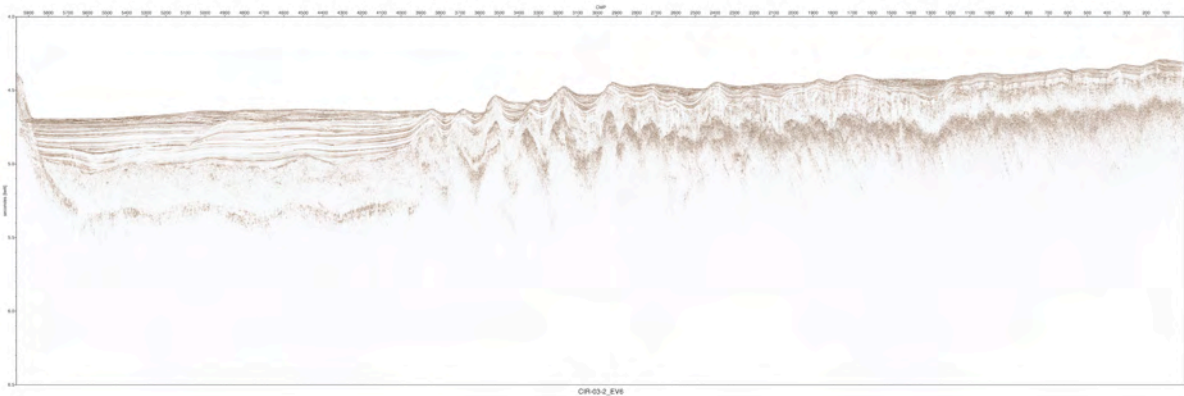
East



Exemple 1A - profil CIR-03\_3 : plateau Hybléen (à gauche) et l'escarpement de Malte

West

East

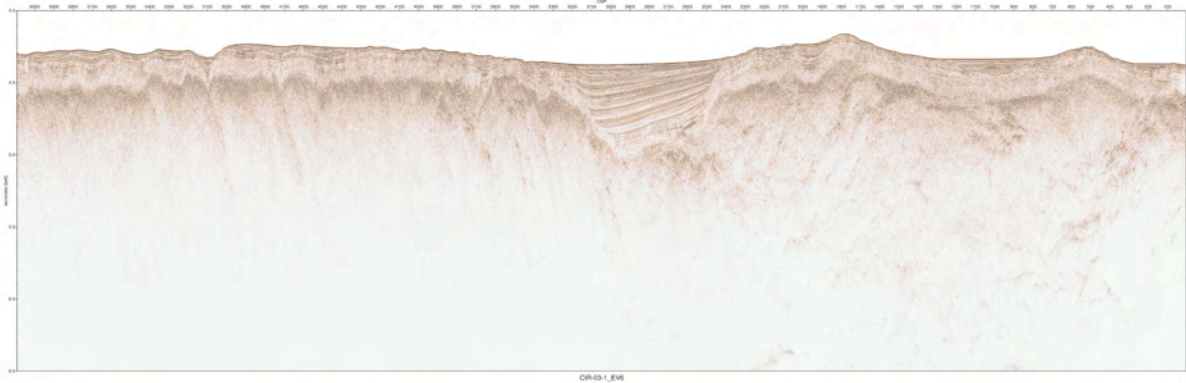


Exemple 1B - profil CIR-03\_2 : base de l'escarpement de Malte, vallée de transport turbidites et rampe latérale du prisme d'accrétion



West

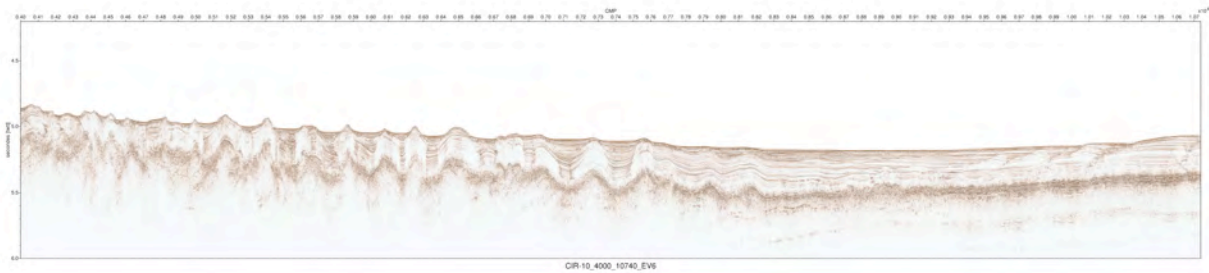
East



Exemple 1C - profil CIR-03\_1 : partie supérieure du prisme d'accrétion et faille "STEP fault" avec bassin syn-tectonique

NNW

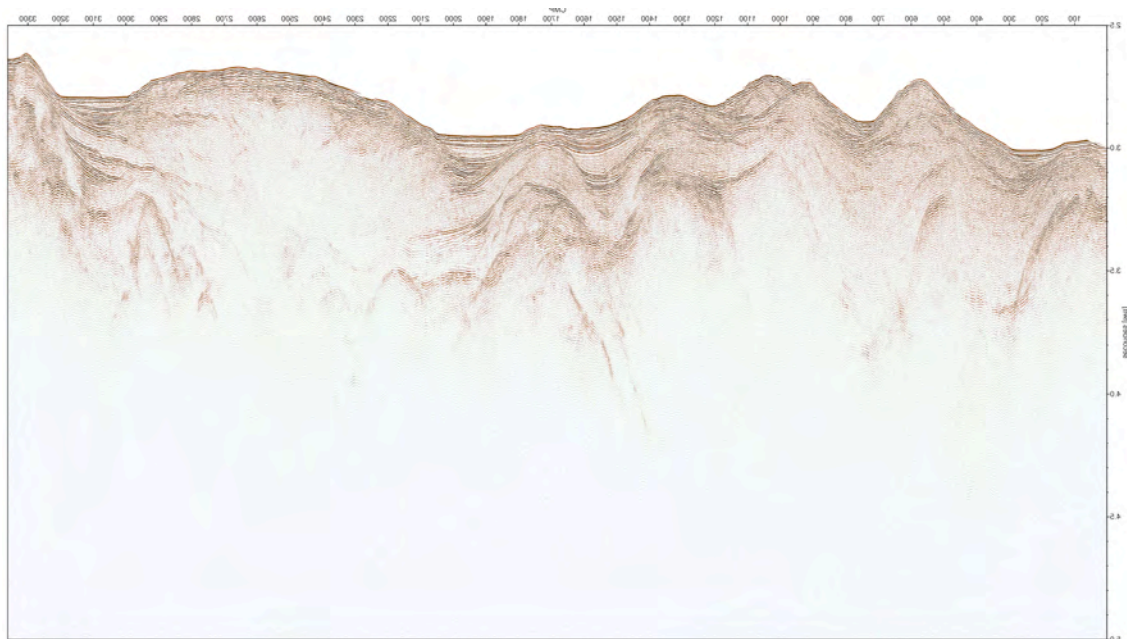
SSE



Exemple 2A - profil CIR-10\_1 : plaine abyssale, front de déformation du prisme d'accrétion

NNW

SSE



Exemple 3 - profil CIR-16\_4 (partie Nord) volcans de boue, avec Pythagoras à gauche (Praeg et al., 2009) et Odysseus et Circee (nouveaux volcans de boue découverts pendant la campagne) à droite

## Chirp (Leg 1)

# Vérification, transformation et utilisation des fichiers issus du Chirp (Yann LE FAOU - SHOM)

## 1. Introduction

Le format SEG-Y est normalisé mais il existe une multitude de formats propriétaires avec pour chacun une gestion des métadonnées différentes. Les fichiers SEG-Y natifs (.SEG) du pénétrateur de sédiments (ou Chirp) sont enregistrés via le logiciel d'acquisition « SUBOP » (version 2.21) développé par l'IFREMER. Ces SEG-Y sont accompagnés de fichiers issus de la centrale d'attitude du navire (.att), renfermant les mouvements de plateforme, notamment celles de pilonnement. Ces valeurs sont indispensables pour la correction à appliquer aux SEG-Y concernant la houle.

## 2. Vérification et transformation des SEG-Y

Le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) a développé une chaîne de transformation, « Sism O Shom » (v1.11), elle permet de :

- vérifier l'intégrité des fichiers SEG-Y natifs (.SEG) ;
- appliquer ou non une correction due à la houle ;
- générer des fichiers SEG-Y normalisés (.sgy) ayant des coordonnées géographiques liées à un système UTM métrique, compatibles avec un logiciel de visualisation/pointage de la sismique de type « Kogeo » ou « 2d-3d PAK – Kingdom Suite » ;
- créer des fichiers de métadonnées contenant notamment la position et la datation de toutes les émissions du Chirp, la vitesse du navire, la profondeur, etc. Ces fichiers sont au format texte tabulé (.csv), lisibles dans un tableur de type « OpenOffice » ou « Excel » pour la création ultérieure d'un système d'information géographique (SIG).

La transformation des fichiers natifs permet d'avoir une visualisation directe des profils de Chirp sans avoir, comme sur l'impression réalisée en direct, des décalages verticaux.

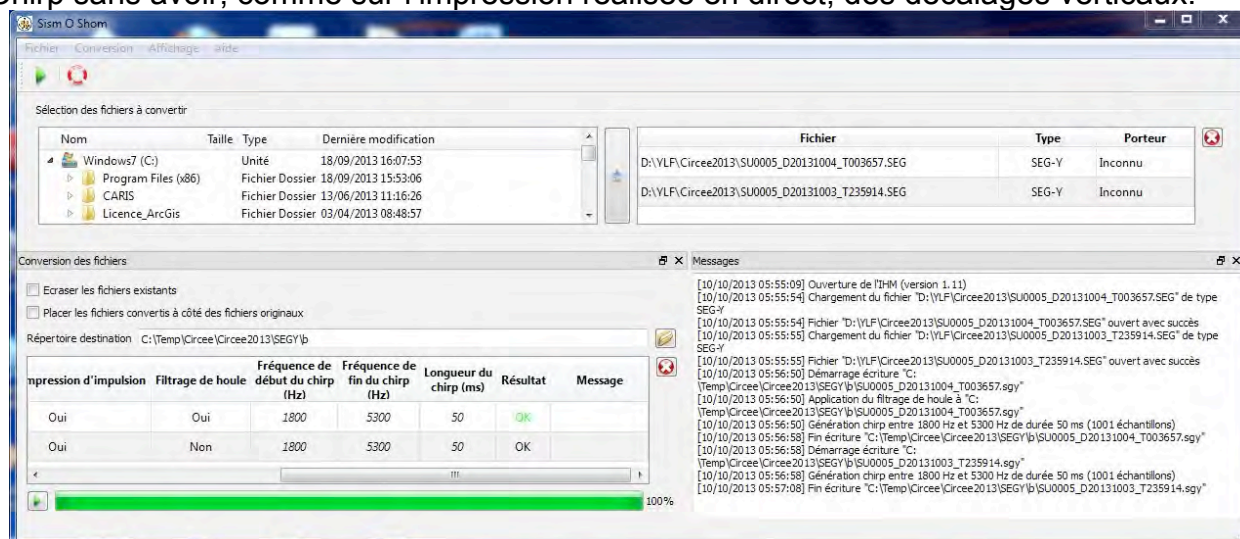


Figure 1 : Chaîne de transformation « Sism O Shom »

### 3. Constitution d'un SIG

La constitution d'un SIG facilite le suivi du levé : l'inventaire des fichiers Chirp, le choix des points de carottage ainsi que l'intercomparaison des profils sismiques ainsi géoréférencés.

Les fichiers de métadonnées des différents fichiers SEGY sont concaténés puis mis en forme avec un tableur. Le logiciel de SIG est « Quantum Gis Desktop » (v1.8.0 - Lisboa) mais pourrait être « Global Mapper » ou « ArcGis ».

Les fichiers tabulés sont importés puis transformés en fichiers de couche (shape, .shp) permettant une compilation des données issues du Chirp, du SMF, des points de carottage (cf. figure 2).

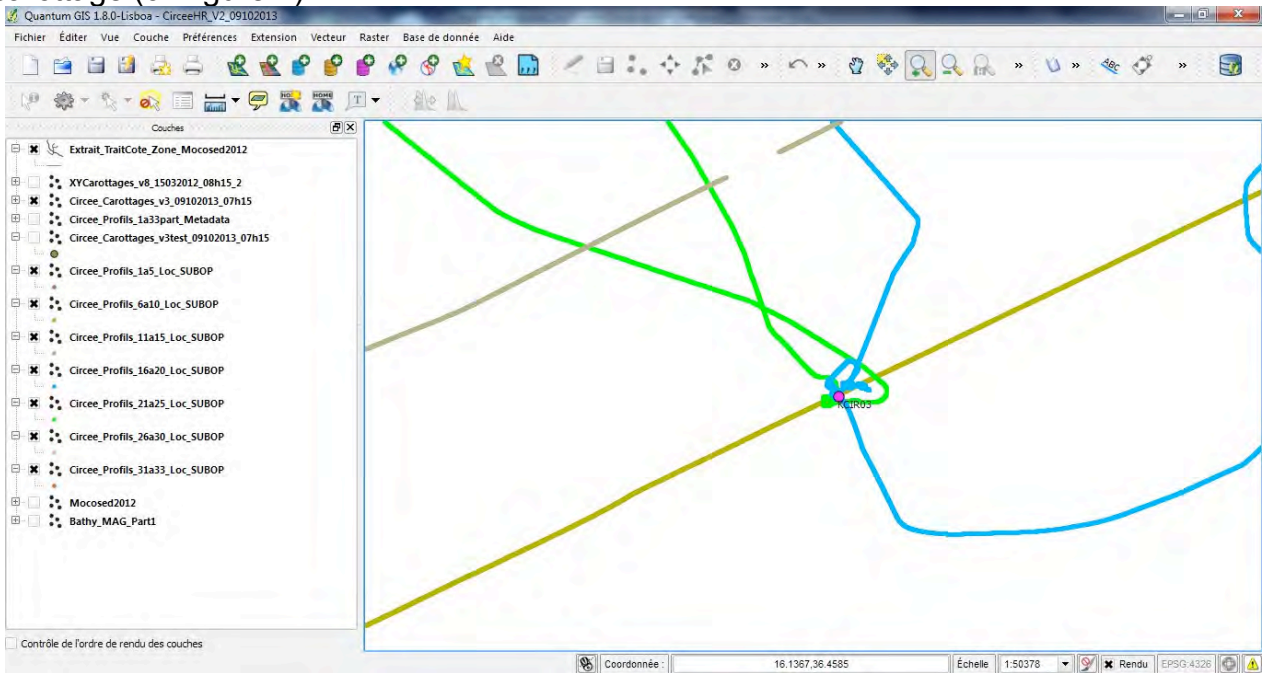


Figure 2 : SIG constitué sous « QGIS » - Profils Chirp et point de carottage KCIR-03

### 4. Positionnement des points de carottage sur les profils Chirp

Les fichiers de métadonnées permettent de connaître précisément la position de chaque ping du Chirp et donc de resituer a posteriori les points de carottages réalisés sur les profils Chirp.

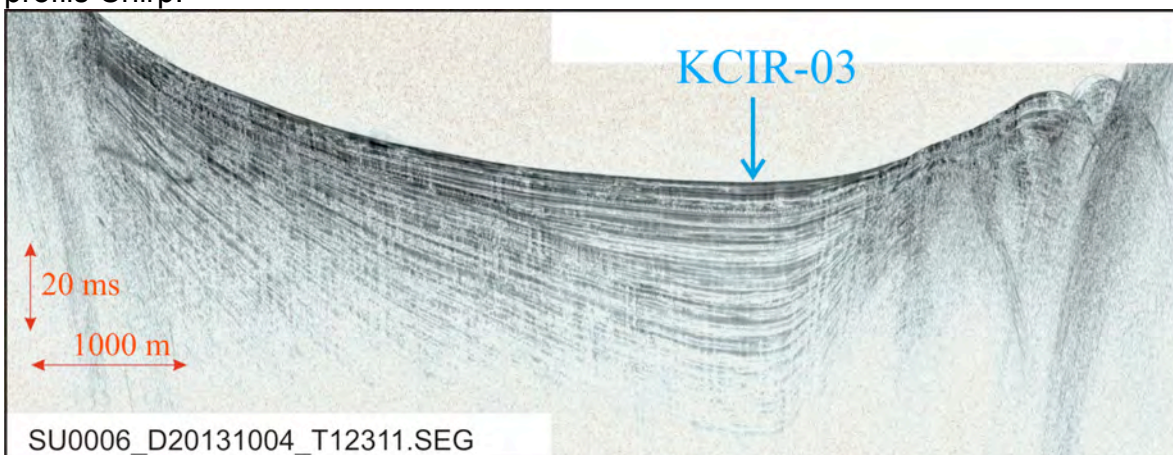


Figure 3 : Situation du point de carottage KCIR-03 sur le profil Chirp



## 5. Carte de positionnement des profils et points de carottages

Durant le premier leg de CIRCEE-HR (3 au 10 octobre 2013) il a été acquis 258 fichiers Chirp, 98 fichiers attitude et réalisé 6 carottages (cf. figures 4 et 5).

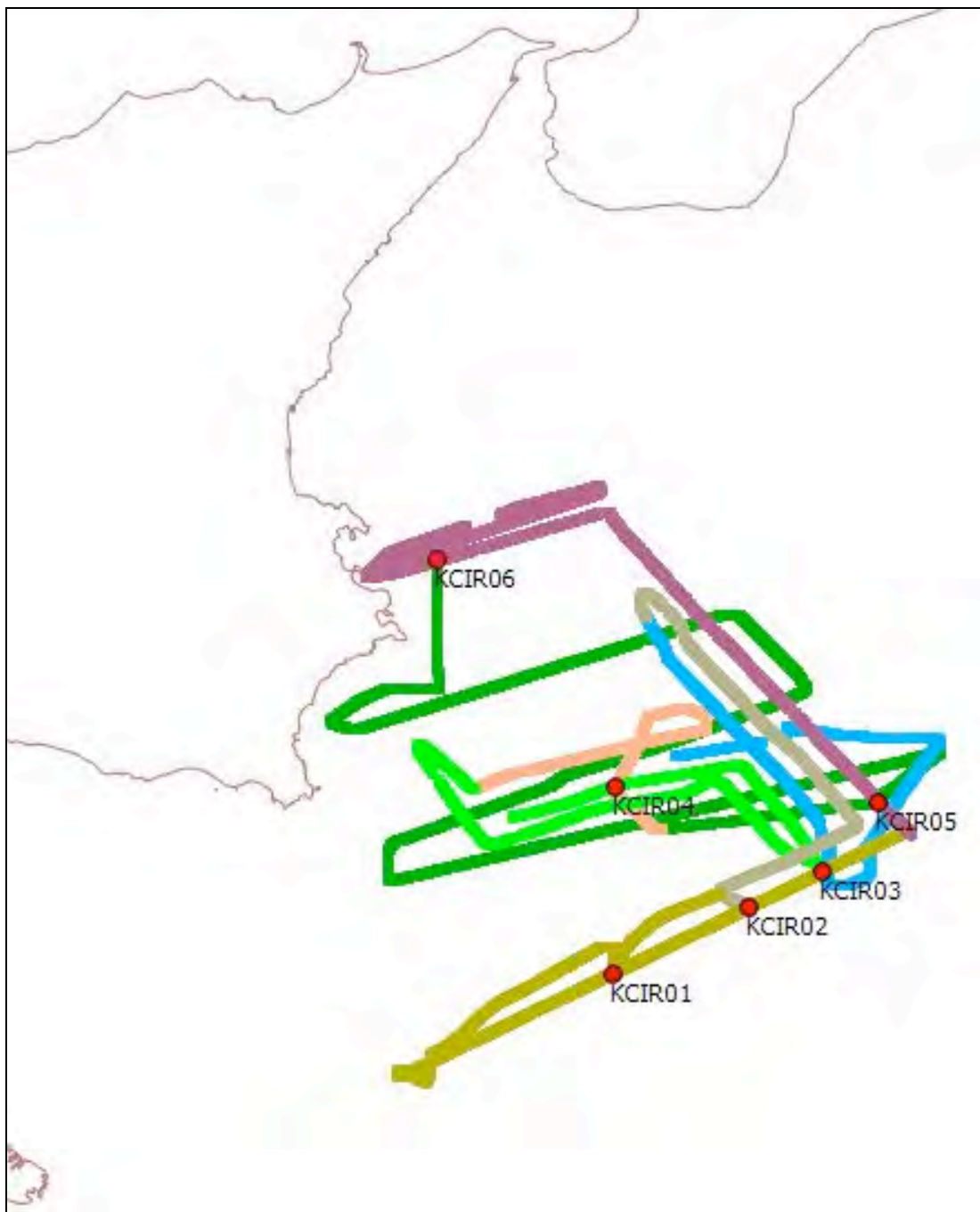


Figure 4 : Plan de situation général du premier leg de CIRCEE-HR (profils Chirp et carottages)

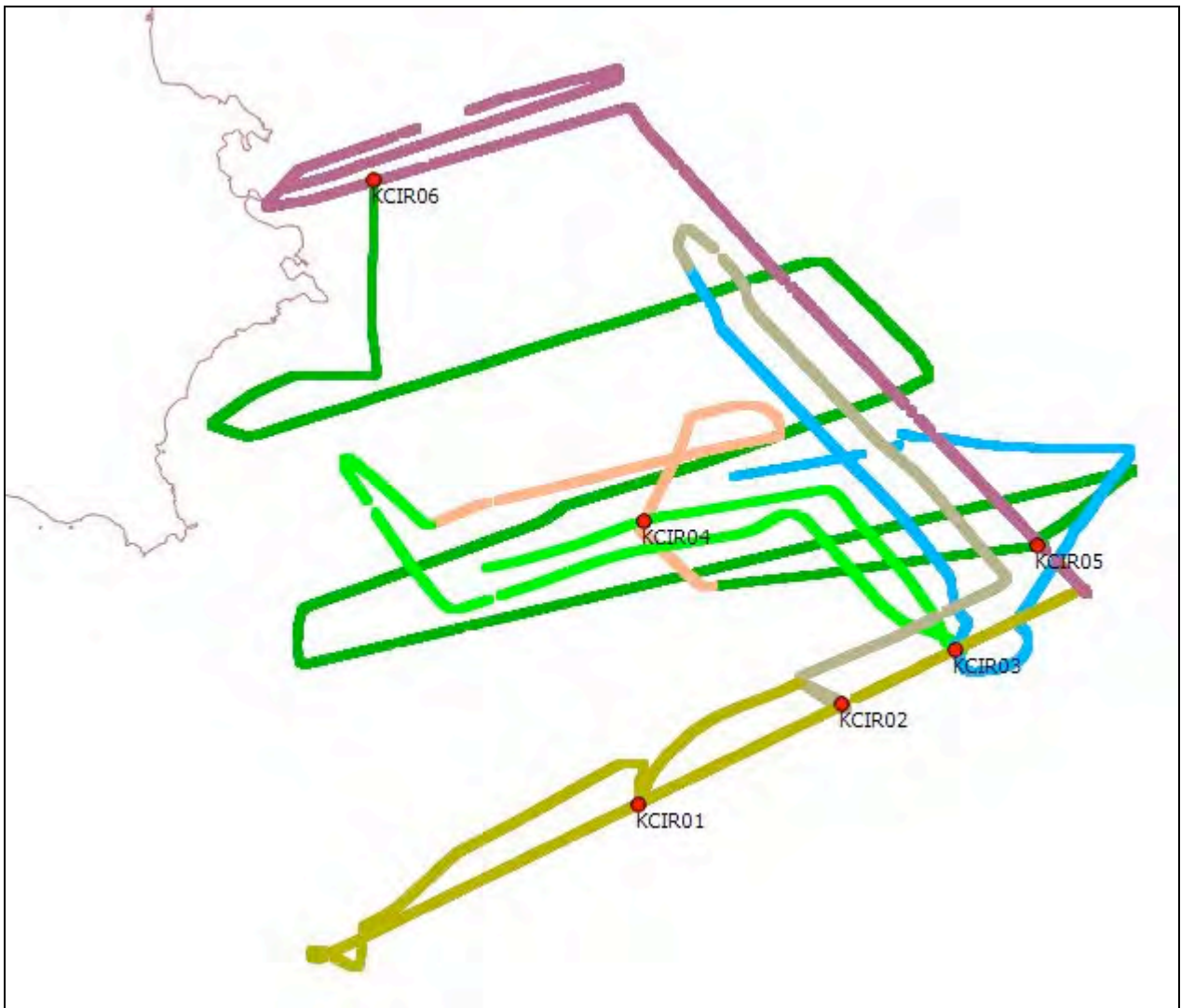


Figure 5 : Plan de situation détaillé du premier leg de CIRCEE-HR (profils Chirp et carottages)

## **Chirp SUBOP (Leg 2)**

(Bernard Mercier de Lepinay, GeoAzur, Nice)

### Le signal Chirp du SUBOP

Le sondeur de sédiments du Suroît (SUBOP) envoie vers le fond de la mer un signal acoustique d'une durée de 50 ms (20 ms par petit fond), d'amplitude continûment variable, et de fréquence variant de 5300 Hz à 1800 Hz. Ce type de signal répété en cadence est communément appelé « chirp » par onomatopée, et est perçu en général désagréablement par l'oreille humaine. Pour limiter le désagrément des personnels, la puissance émise (l'amplitude) est limitée à 80% du maximum du sondeur en opération normale pendant le jour, et à 30% pendant la nuit (de 20h à 8h). La puissance est également réduite lors de passage en zones peu profondes, pour éviter la saturation des données (10% à moins de 50 m, 30% entre 50 et 500 m, 80% au-delà).

La cadence de tir est variable en fonction de de la profondeur : un shot n'est émis qu'après le retour du signal précédent.

### Les fichiers SUBOP

Le système SUBOP fournit des fichiers traduits dans un format SEG Y lisible par des outils classiques.

Le signal est numérisé en 5001 échantillons d'une durée de 50  $\mu$ s, ce qui donne une durée d'écoute de 0,25 s. La valeur de délai indiquant le début de la fenêtre d'écoute est consignée dans l'entête de chaque shot. Ainsi, la taille des fichiers est limitée, malgré la haute densité d'échantillonnage de ces données. Typiquement, chacun des fichiers fournis est d'une taille de 50 Mo (2589 shots), sauf aux fins de profils et en cas de problème (arrêt et re-démarrage du système).

La description du signal émis est contenue dans les entêtes de chaque shot, ainsi que toutes les autres informations nécessaires pour le traitement (vitesse du son dans l'eau, ...).

Ces données ne sont pas corrigées de la houle, mais contiennent dans les entêtes les valeurs de pilonnement du navire (valeurs verticales, sans le roulis/tangage) extraites des fichiers « ShipAttitude » du navire.

Les données de localisation pour chaque shot sont contenues dans les entêtes, en secondes d'arc multipliées par 1000 (sous la forme d'un entier codé sur 8 octets).

Les noms des fichiers fournis sont de la forme `SUxxxx_DYYYYMMDD_Thhmmss`, avec « SU » pour « Suroît », xxxx = numéro séquentiel du profil de 0001 à 9999, puis la date et l'heure du début de l'enregistrement : YYYYMMDD = (année, mois, jour) ; hhmmss (heure, minute, seconde).

### La chaîne de traitement

Les données du SUBOP peuvent efficacement être traitées à l'aide du logiciel SUBOP. Mais lors du deuxième leg, ce logiciel, installé sur le même PC que le logiciel de contrôle de qualité SISPEED, utilisé à plein temps, n'était pas disponible. Nous ne disposions pas non plus du logiciel de traitement utilisé lors du premier leg, qui permettait en outre de réinjecter dans les fichiers SEG Y traités des valeurs de la navigation en UTM métrique. Nous avons donc choisi de traiter des données avec des routines utilisant les programmes du package SU/CWP (*Seismic Unix, Center of Wave Phenomena* de *Colorado School of Mines*), tout aussi rapides, quoique moins conviviales. La chaîne de traitement est donc ainsi construite :

- Vérification de la validité et de l'intégrité des fichiers ;
- Correction de la houle (routine C) ;
- Corrélation du signal reçu avec le signal envoyé reconstitué ;



- Résorption des délais, tout en conservant une fenêtre d'écoute de taille raisonnable ;
- Affichage et écriture de fichiers graphiques (PNG et PDF) ;
- Ecriture du fichier de navigation en coordonnées géographiques (lat/lon/shot) ;
- Ecriture du fichier traité au format SEG Y standard (navigation non « traduite »).

### Fichiers fournis

Cette chaîne de traitement conduit à la fabrication de plusieurs types de fichiers :

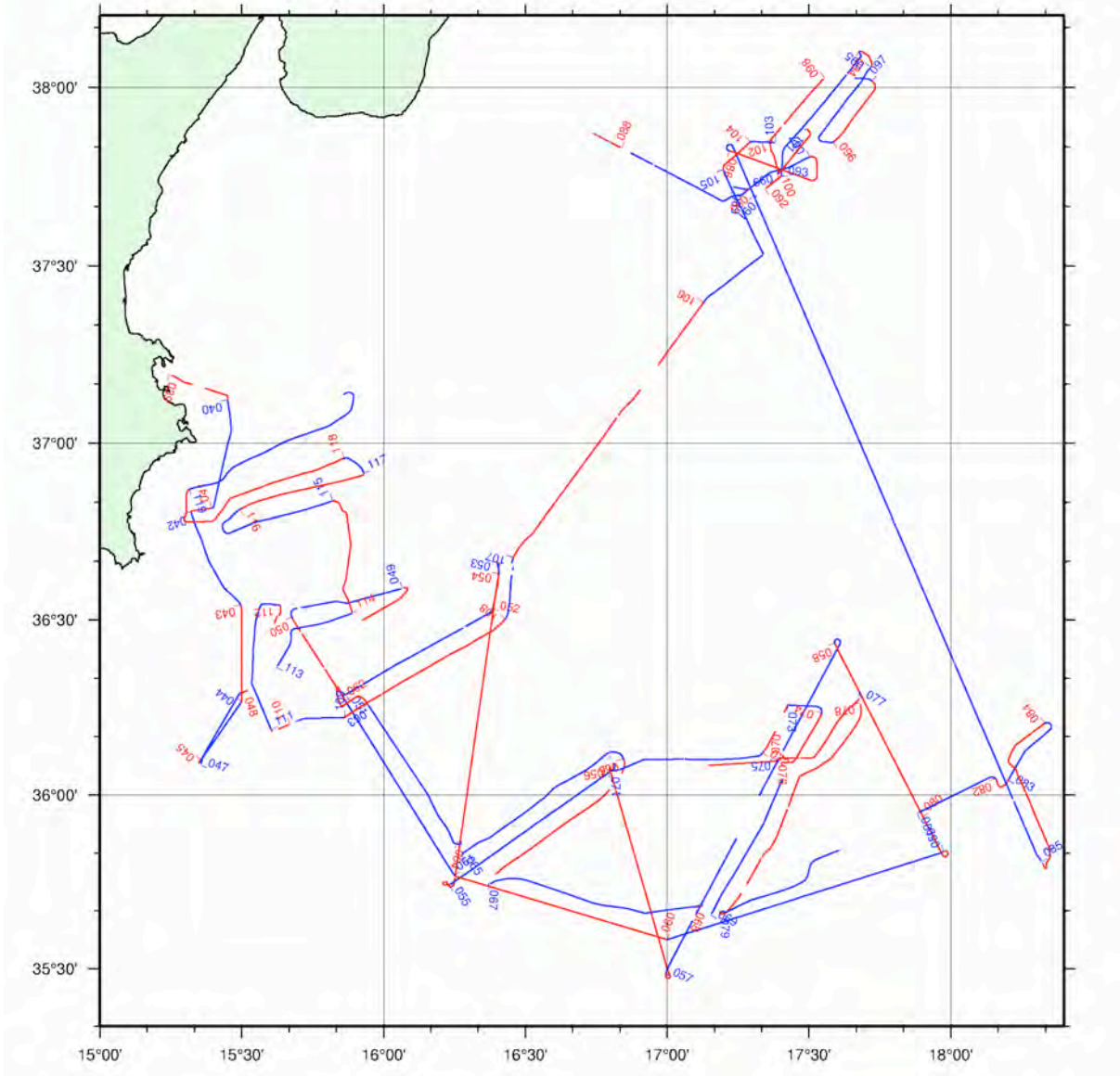
- 1) Fichiers \*.seg : données corrigées de la houle, délai non résorbé ;
- 2) Fichiers \*.sgy : données corrigées de la houle et du délai d'enregistrement. Ces données, avec le fichier de navigation correspondant, peuvent être visualisées directement sur des logiciels classiques (KingDom Suite, Kogeo, SeisSee, ...) ;
- 3) Fichiers \*.nav : fichiers de localisation en coordonnées géographiques (en ASCII) ;
- 4) Fichiers graphiques \*.pdf en format PDF ;
- 5) Fichiers graphiques \*.png en format PNG.

Durant le Leg 2 de la campagne CIRCEE-HR, 480 fichiers SUBOP ont été levés, formant ensemble 131 profils.

Outre la carte générale, des cartes locales de navigation ont été également produites, en utilisant les fichiers \*.nav avec le logiciel GMT (Wessel & Smith, 1992).

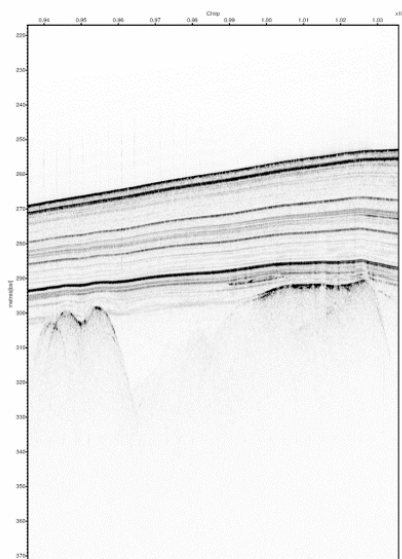
# Carte des profils SUBOP du Leg 2

CIRCEE-HR

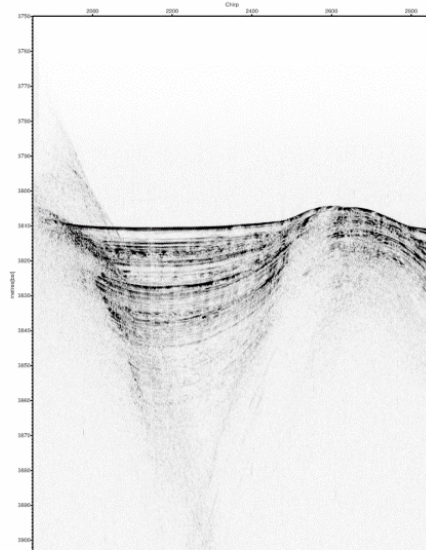


## Positionnement des points de carottage sur les profils SUBOP

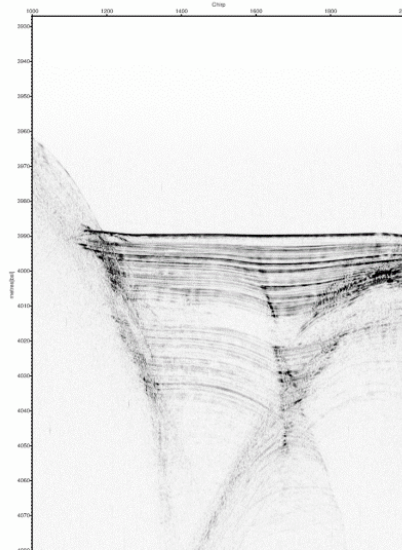
Chaque carottage réalisé est représenté sur le profil SUBOP de la zone correspondante :



KCIR-07

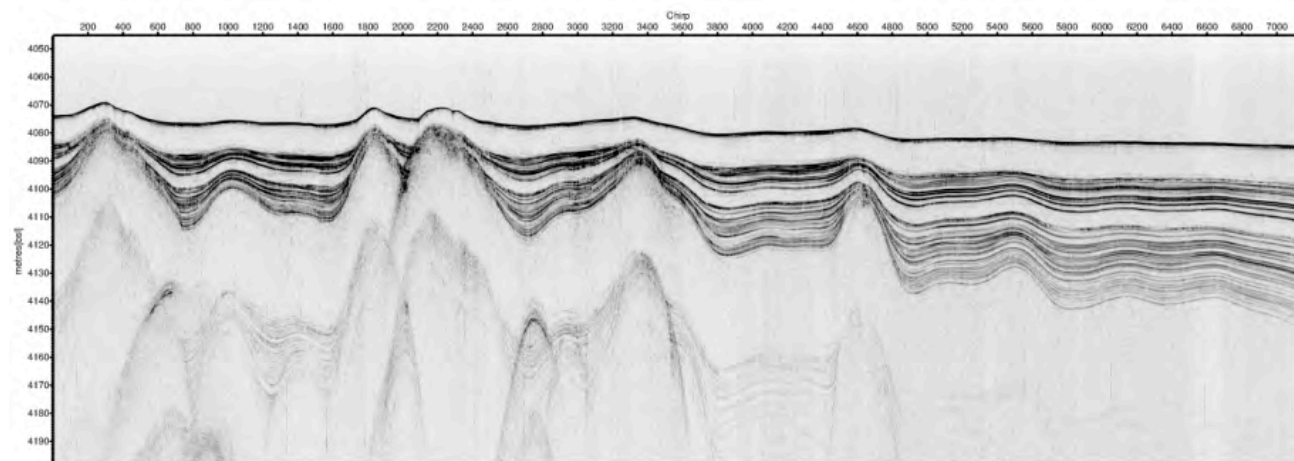


KCIR-08

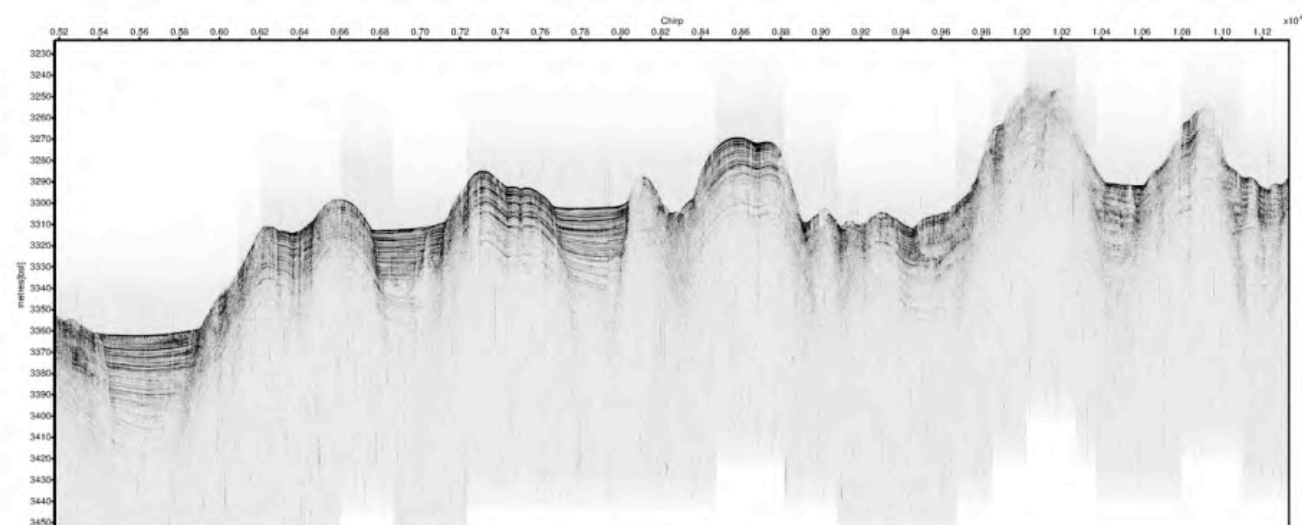


KCIR-09

## Quelques exemples de fichiers

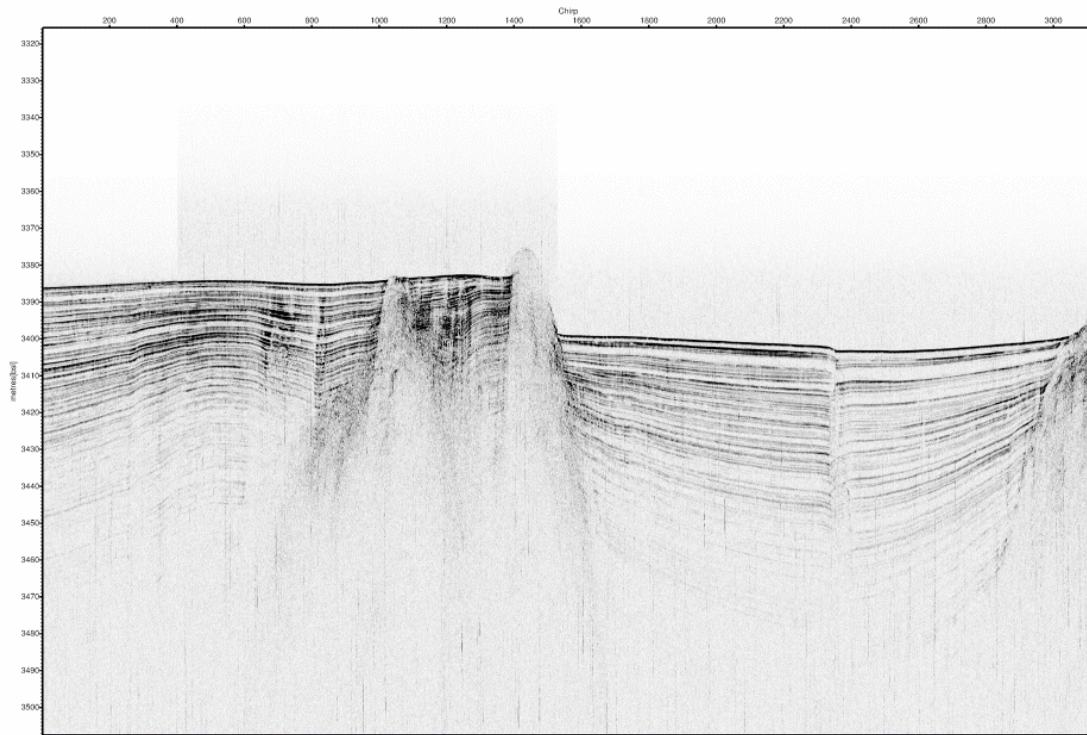


Chirp084\_a4\_EV50

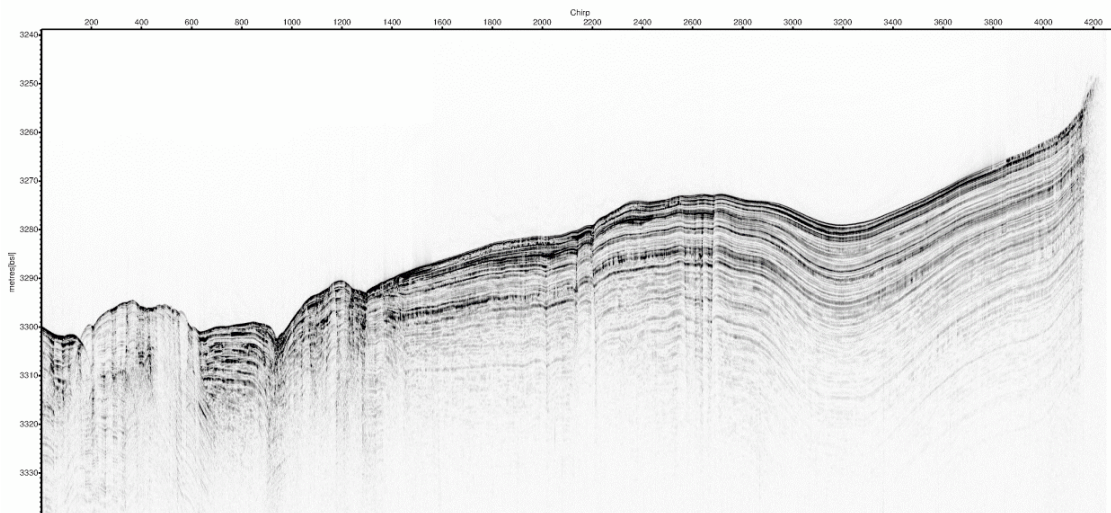


Chirp106-end\_EV50

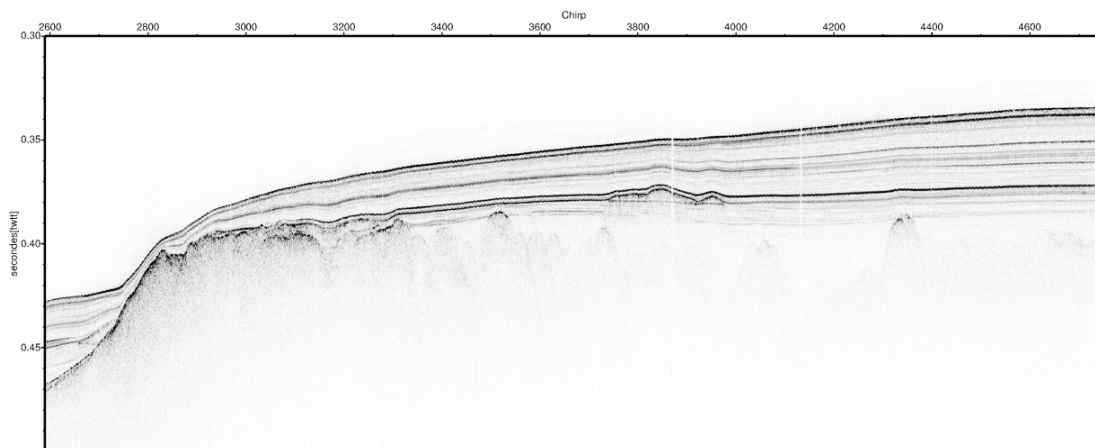




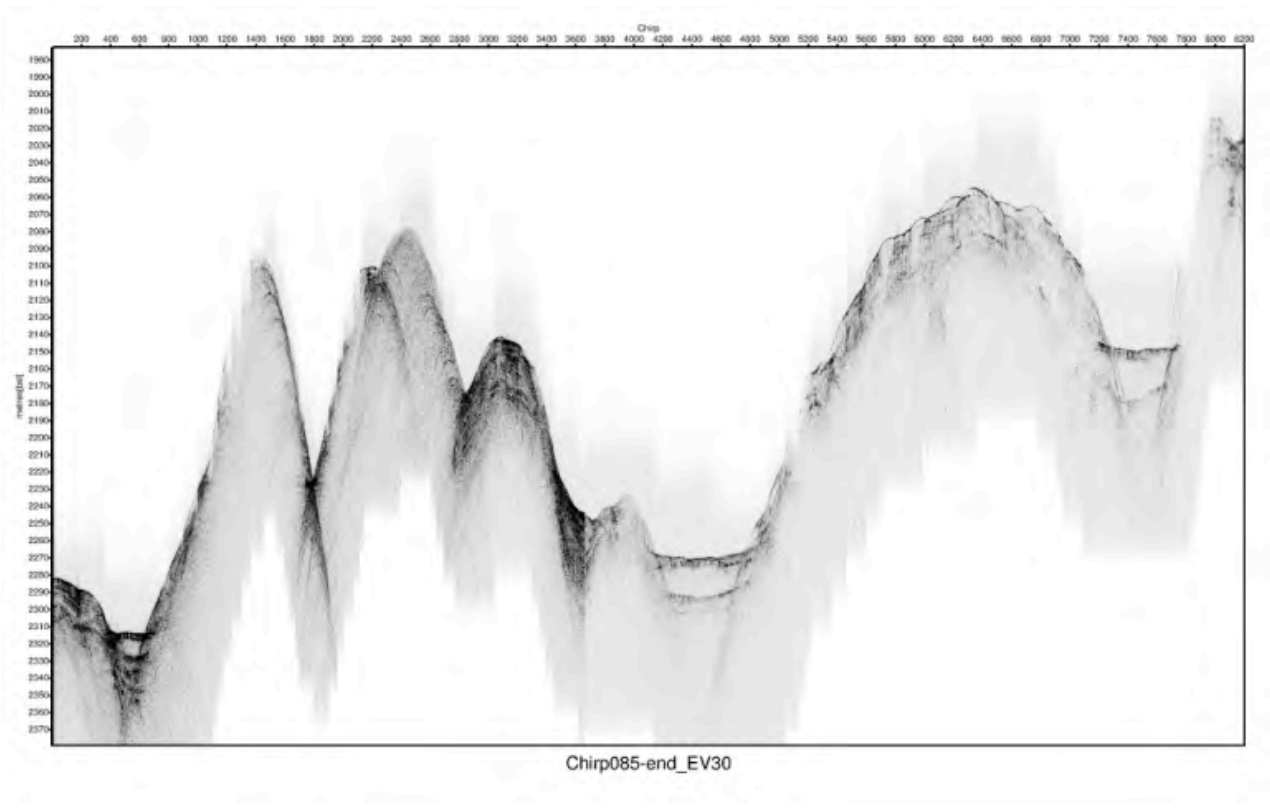
Chirp107\_EV50



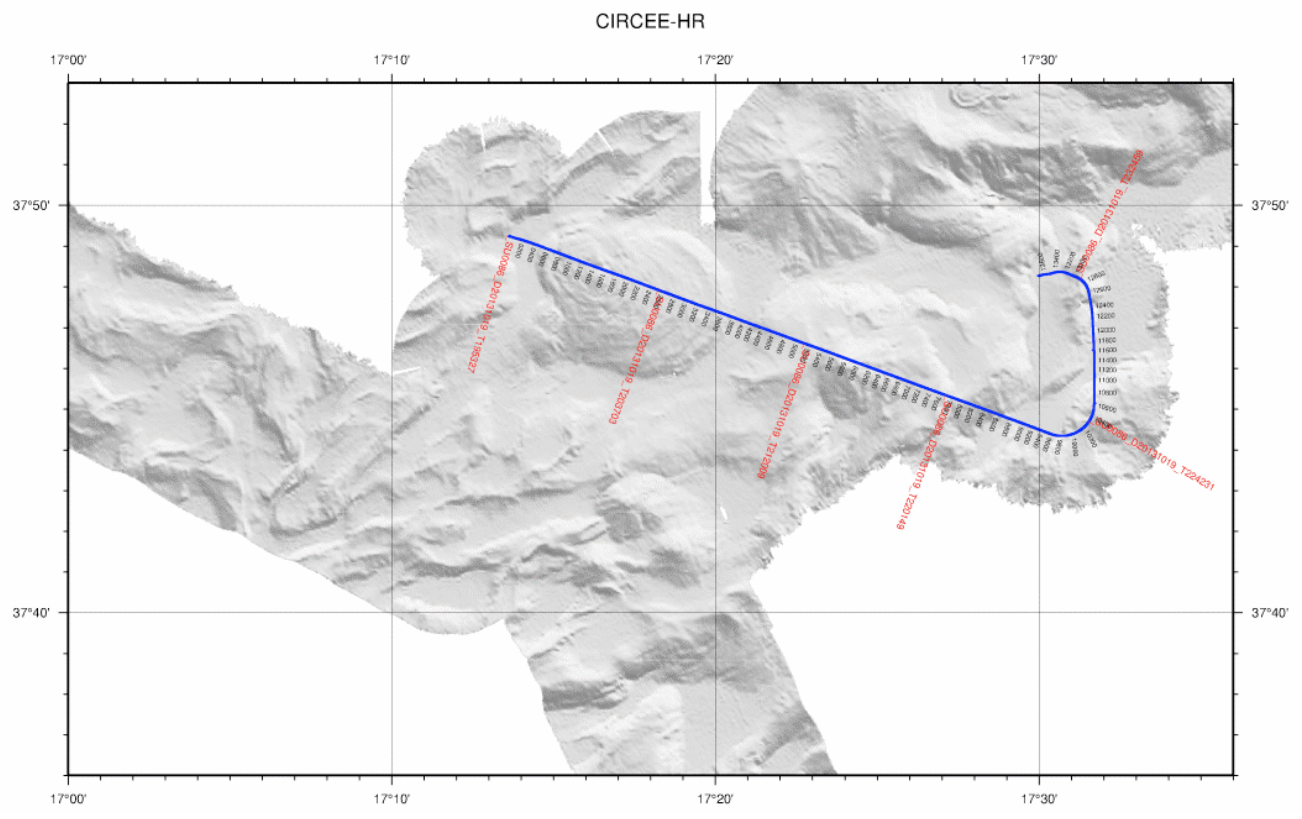
Chirp114-base\_EV90



SU0044\_D20131011\_T142218\_EV20



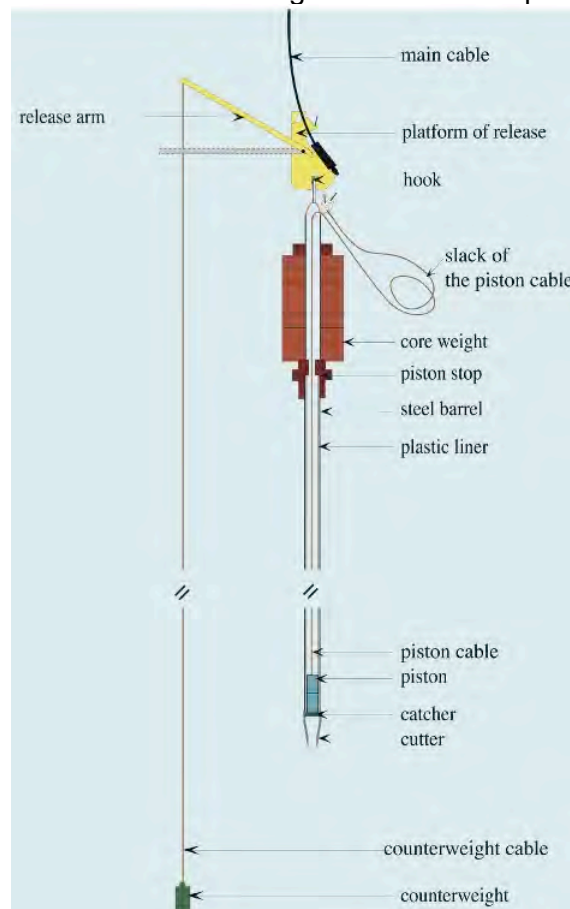
Un exemple de carte de positionnement du chirp :



## 1. Caractéristiques du carottier Kullenberg du Suroit

Le N/O Suroit est équipé d'un carottier à piston de type Kullenberg. Sur la mission CIRCEE-HR, nous avons principalement utilisé le carottier gréé avec un tube de 10 m de long et un lest de 25 galettes. Le poids total du carottier est de 1,8T à l'air et 1,5 T dans l'eau.

Les réglages des longueurs de câble et de câble pilote, qui contrôlent principalement la hauteur de chute libre du carottier, ont été réalisés avec le logiciel CINEMA disponible à bord.



*Schéma d'un carottier Kullenberg, montrant les différents éléments*

## 2. Traitement des carottages à bord

Les carottes prélevées au cours de la mission CIRCEE-HR n'ont pas fait l'objet de traitement à bord. Les sections de 1 m ainsi que les échantillons prélevés dans l'ogive (mis dans des sacs plastiques) ont été stockées dans la caisse palette.

La procédure d'échantillonnage adoptée pour la mission CIRCEE-HR a été la suivante :

- 1- Récupération de l'ogive dans un sac à échantillon préalablement labellisé
- 2- Nettoyage de la carotte
- 3-Ajustement du top de la carotte
- 4-Bouchonnage du top de la carotte (polystyrène+bouchon+scotch)
- 5- traçage de la génératrice
- 5-Mesure de la carotte et marquage des sections de 1 m
- 6-Labellisation des sections (Figure)
- 7-Vérification des labels
- 8-Tronçonnage des sections et bouchonnage
- 9-Stockage des sections (+ sac ogive) dans la caisse

Labellisation des sections de carottes : KCIR-xx sx/x (exemple : KCIR-01 s3/4)

## 3. Synthèse des carottages effectués



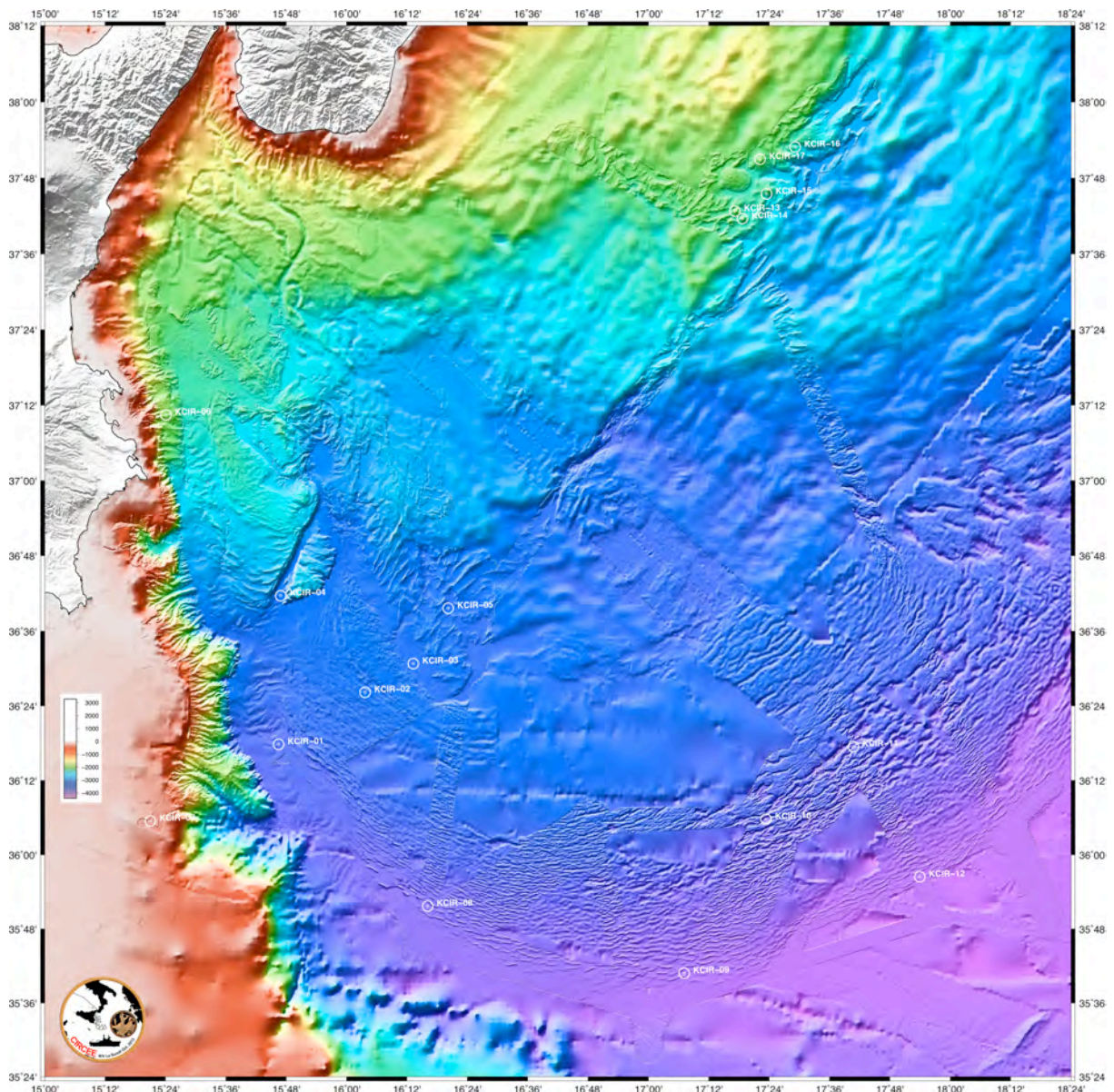
L'ensemble des informations de carottages de la mission CIRCEE-HR est regroupé dans le tableau suivant :

**CIRCEE-HR Leg1**

Carotte	LAT	LONG	Prof	Longueur tube	Longueur carotte	Nombre sections
KCIR-01	36° 17,828	15° 46,491	3558 m	10 m	3,6 m	4
KCIR-02	36° 26,208	16° 03,703	3285 m	10 m	5,1 m	6
KCIR-03	36° 30,82	16° 13,27	3364 m	10 m	3,94 m	4
KCIR-04	36° 41,70	15° 46,90	3225 m	10 m	6,38 m	7
KCIR-05	36° 39,70	15° 20,20	3340 m	10 m	7,95 m	8
KCIR-06	37° 10,462	15° 24,116	1851 m	10 m	6,48 m	7

**CIRCEE-HR Leg2**

Carotte	LAT	LONG	Prof	Longueur tube	Longueur carotte	Nombre sections
KCIR-07	36°05,49	15°20,99	252 m	10 m	7,91 m	9
KCIR-08	35°51,728	16°16,135	3810 m	10 m	7,37 m	8
KCIR-09	35°40,852	17°07,122	3996 m	10 m	7,03 m	7
KCIR-10	36°05,804	17°23,408	3806 m	10 m	9,50 m	10
KCIR-11	36°17,46	17°40,75	3760 m	10 m	8,78 m	10
KCIR-12	35°56,436	17°53,960	4069 m	10 m	8,64 m	9
KCIR-13	37°42,806	17°17,202	2027 m	10 m	2,55 m	3
KCIR-14	37°41,606	17°18,708	2067 m	10 m	Carotte pliée	
KCIR-15	37°45,505	17°23,502	2245 m	5 m	2,86 m	3
KCIR-16	37°52,903	17°29,204	2295 m	5 m	2,37 m	3
KCIR-17	37°51,001	17°22,198	1997 m	5 m	2,95 m	3



*Carte de localisation des carottes*

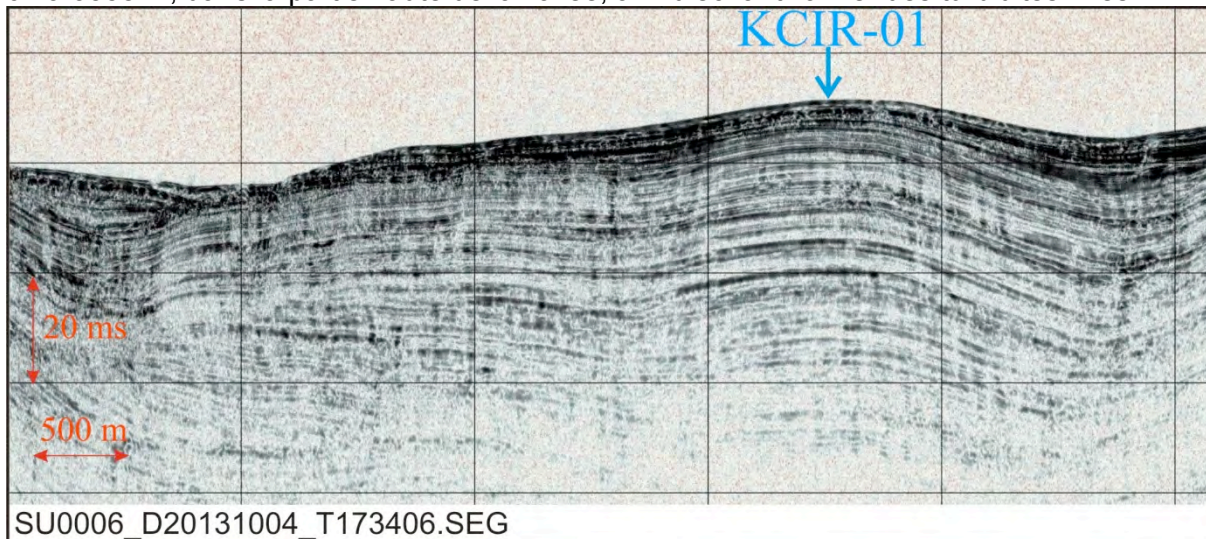


## 4. Objectifs des carottages

### a. Carottes avec les turbidites.

#### Carotte KCIR-01

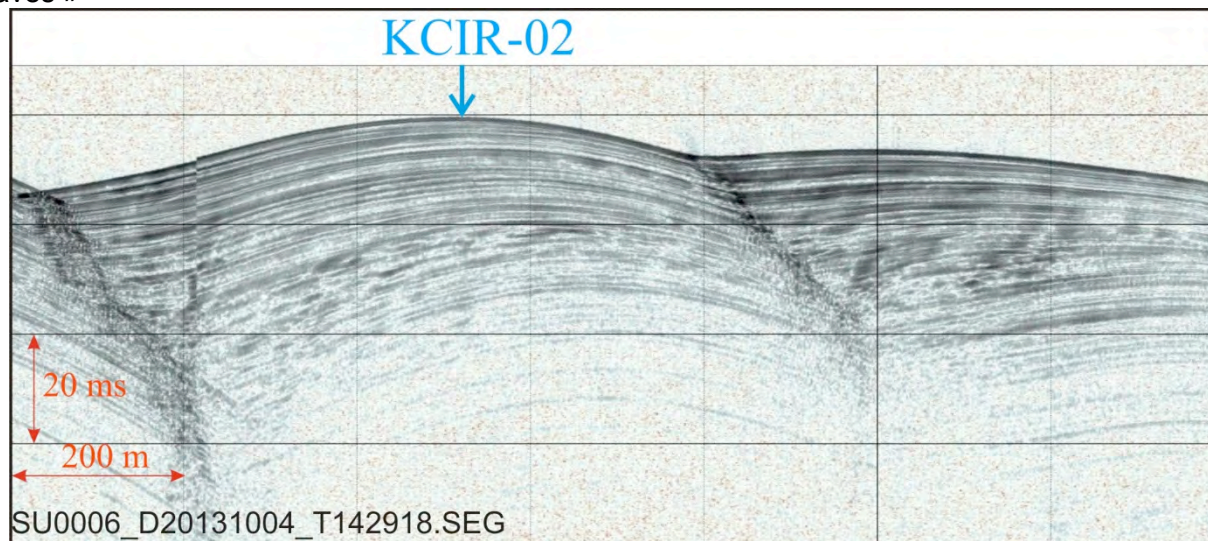
L'objectif de cette carotte était de prélever les sédiments présents dans le bassin situé directement au pied de l'escarpement maltais. D'un point de vue morphologique, une large vallée recueillant des séries sédimentaires d'origine gravitaire s'étend au pied de l'escarpement. Dans cette vallée, les données de sondeur CHIRP (profil SU0006) indique des accumulations de forte amplitude et faible pénétration au pied de l'escarpement suggérant des dépôts potentiellement sableux. Quand on s'éloigne de l'escarpement, le faciès acoustique montre des dépôts stratifiés avec une pénétration plus importante du signal acoustique. Il s'agit probablement de dépôts turbiditiques plus fins en terme de granulométrie et moins épais. Nous avons choisi le site de carottage KCIR-01 à 3558 m, dans la partie haute de la vallée, afin d'échantillonner des turbidites fines.



Profil CHIRP sur le site de carottage KCIR-01 (3558 m)

#### Carotte KCIR-02

L'objectif de la carotte KCIR-02 était de prélever sur un point haut du prisme à proximité de l'escarpement maltais. Le signal acoustique CHIRP sur le profil SU0006 est bien stratifié et pénétrant. Si des dépôts turbiditiques sont présents sur ce site, il s'agit probablement d'événements majeurs débordant largement sur le prisme, étant donnée la position haute du point de carottage à 3285 m. Les structures « ondulées » de cette zone sont encore mal connues. Il pourrait s'agir de structures de déformation ou de structures sédimentaires de type « sédiment waves »

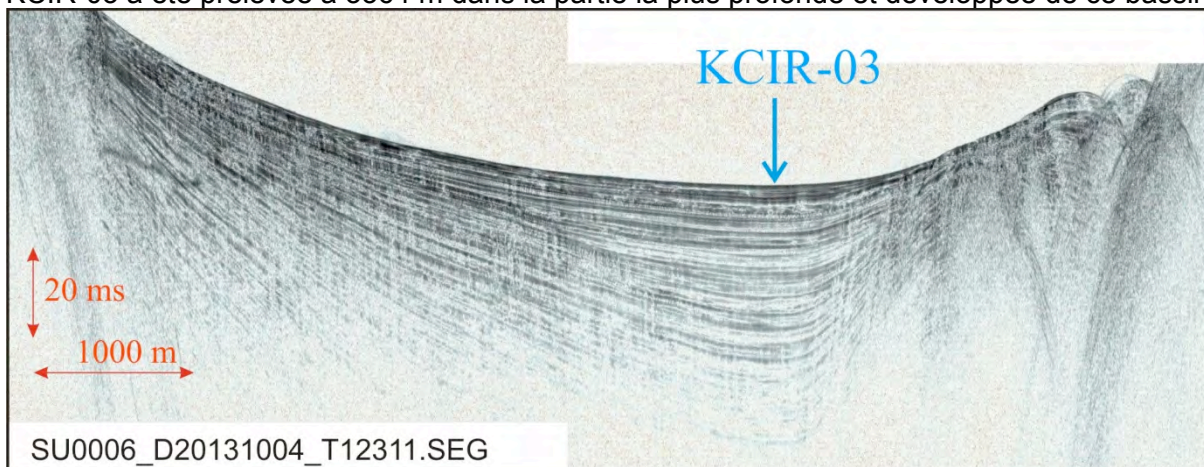


Profil CHIRP sur le site de carottage KCIR-02 (3285 m)

#### Carotte KCIR-03



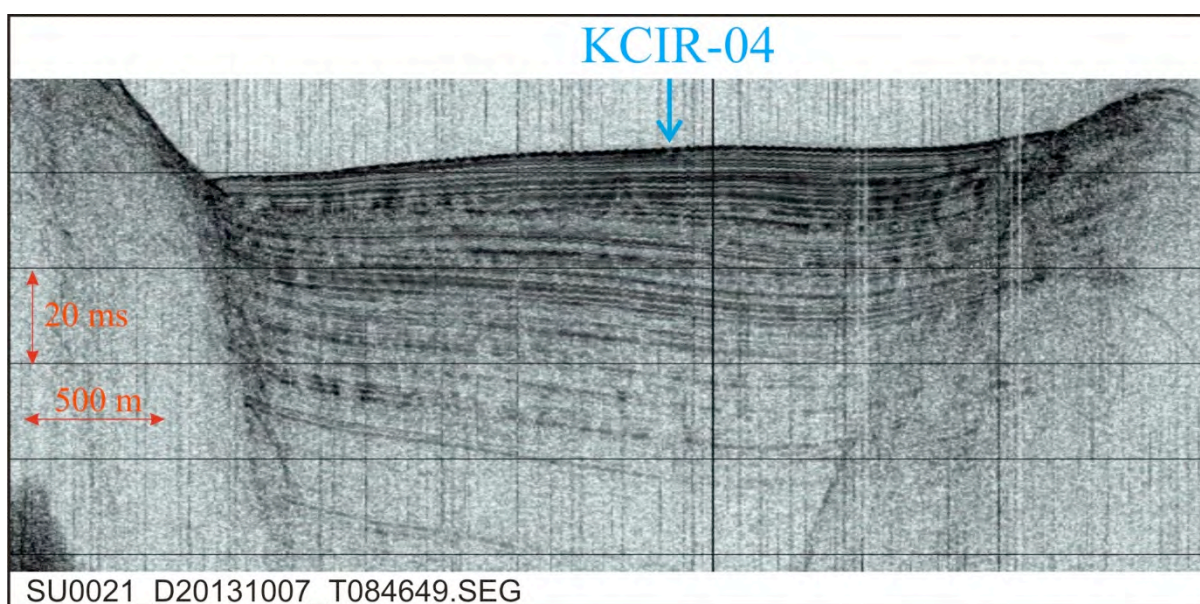
L'objectif de la carotte KCIR-03 était de prélever un bassin situé dans le prisme reconnu sur les données de sondeur CHIRP (profil SU0006). Ce bassin est probablement syn-tectonique et comporte un remplissage en éventail. Le faciès acoustique indiquait une pénétration correcte avec des réflecteurs de surface d'amplitude assez marquée et relativement discontinus. La carotte KCIR-03 a été prélevée à 3364 m dans la partie la plus profonde et développée de ce bassin.



*Profil CHIRP sur le site de carottage KCIR-03 (3364 m)*

#### **Carotte KCIR-04**

L'objectif de la carotte KCIR-04 est d'échantillonner la vallée d'Alfeo. Cette vallée est une structure étroite et rectiligne, d'origine tectonique. Les sédiments qui s'y accumulent ont été reconnus par le profil SU0021. Le faciès acoustique a une pénétration correcte. Cette vallée étant relativement isolée des apports de l'escarpement maltais constitue un objectif de carottage de courants de turbidité en provenance du Nord.



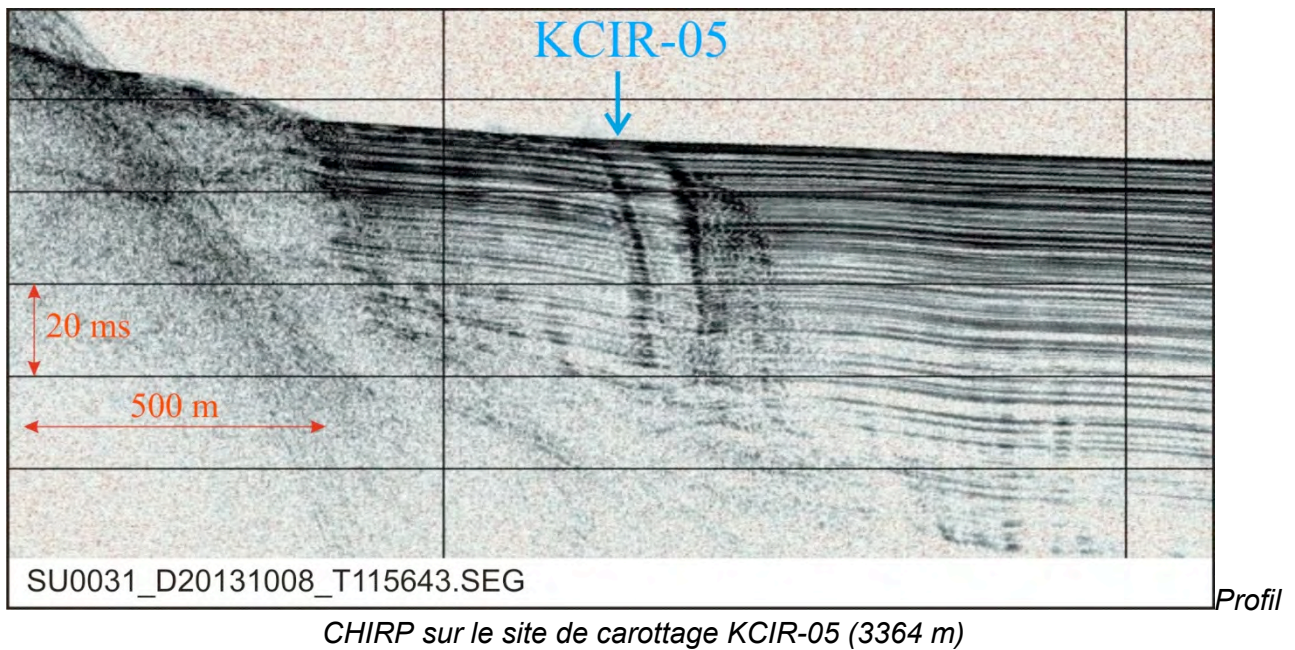
*Profil*

*CHIRP sur le site de carottage KCIR-04 (3225 m)*

#### **Carotte KCIR-05**

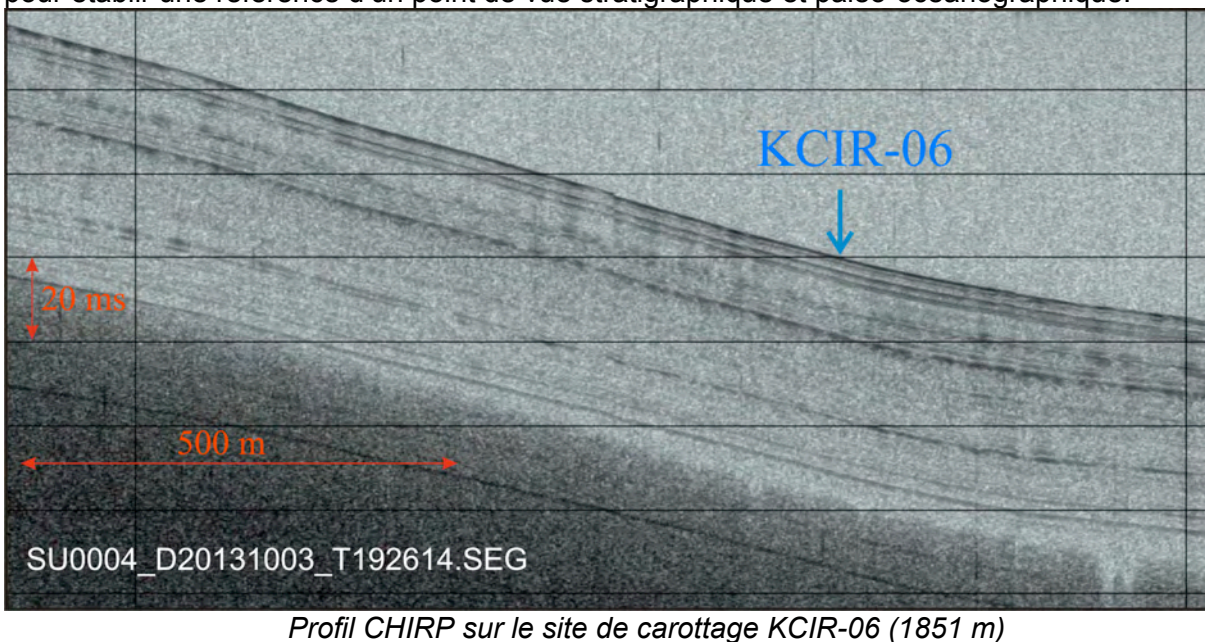
L'objectif de la carotte KCIR-05 est de prélever le fond d'un petit bassin situé dans le prisme. Ce bassin a été reconnu par le profil CHIRP SU0005. Il paraît assez isolé et son remplissage sédimentaire est peu déformé (réflecteurs horizontaux). Les faciès acoustiques montrent une excellente pénétration. On peut donc espérer obtenir une alternance fine de dépôts hémipélagiques et de turbidites fines essentiellement composés par du matériel sédimentaire remanié des pentes hémipélagiques (silt et sable à foraminifères).





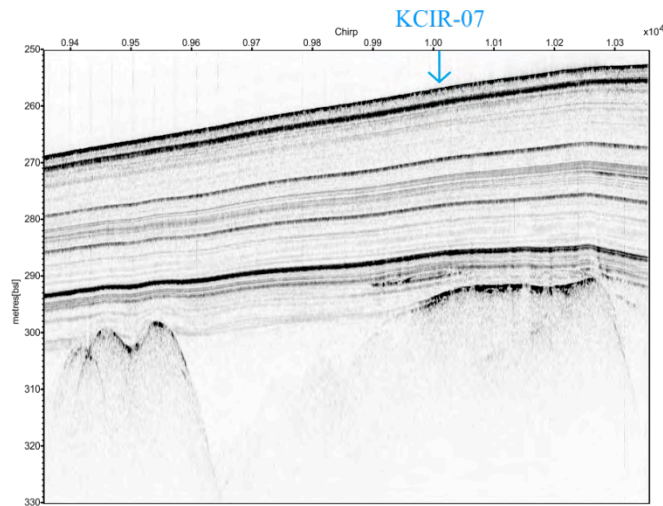
### **Carotte KCIR-06**

L'objectif de la carotte KCIR-06 était de prélever les sédiments hémipélagiques de la pente de l'escarpement de Malte. Cette carotte a été ciblée sur une terrasse située dans la partie basse de la pente à 1851 m, repérée sur le profil CHIRP SU0004. Cette carotte permettra d'obtenir un échantillonnage de la sédimentation hémipélagique (sans turbidité) afin de servir comme référence en terme de taux de sédimentation. On espère y observer les téphras, et niveaux de sapropels pour établir une référence d'un point de vue stratigraphique et paléo-océanographique.



### **Carotte KCIR-07**

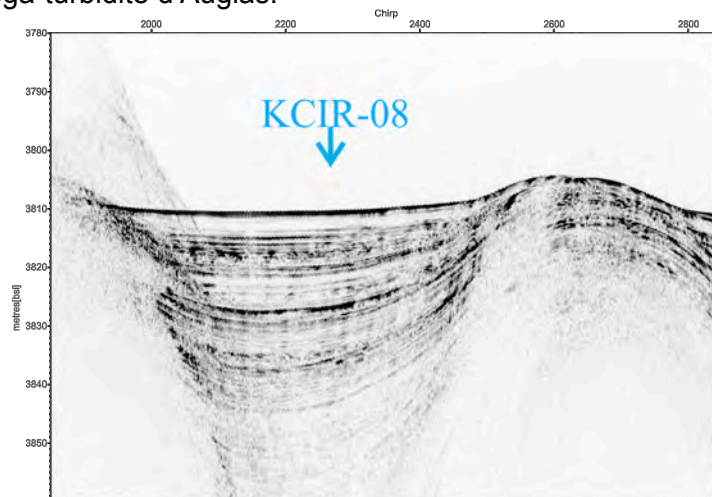
L'objectif de la carotte KCIR-07 était de prélever les sédiments hémipélagiques sur le plateau au sud de la Sicile à 252 mètre de profondeur. Cette carotte a été repérée sur le profil SU006 sur une zone de faible profondeur afin de n'enregistrer que de la sédimentation hémipélagique (éviter l'apport continental). L'objectif de cette carotte est le même que la KCIR-06, c'est à dire échantillonner la sédimentation hémipélagique afin d'avoir une autre référence en terme de taux de sédimentation, de stratigraphie et de paléo-océanographie.



*Profil CHIRP sur le site de carottage KCIR-07 (252 m)*

### **Carotte KCIR-08**

L'objectif de la carotte KCIR-08 était de prélever du sédiment dans un petit bassin à proximité du front de déformation. Il a été repéré sur le profil CHIRP SU0054, où l'on observe une bonne pénétration acoustique dans les faciès sédimentaires. L'enregistrement sédimentaire est peu déformé, on peut donc espérer enregistrer une alternance de turbidite et de sédiment hémipélagique. Sur le profil, on observe une première couche assez épaisse qui pourrait correspondre à la méga-turbidite d'Augias.

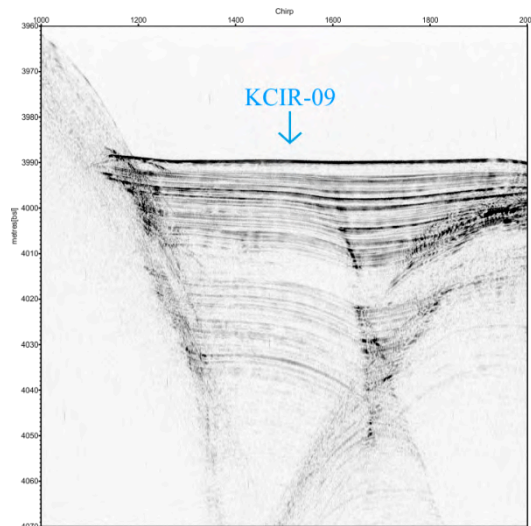


*Profil CHIRP sur le site de carottage KCIR-08 (252 m)*

### **Carotte KCIR-09**

L'objectif de la carotte KCIR-09 est de prélever dans un petit bassin qui se situe entre le front de déformation et la plaine abyssale. Ce bassin a été repéré sur le profil CHIRP SU0057. Les faciès acoustiques ne sont pas déformés ce qui nous permet de penser pouvoir obtenir une alternance de turbidite et de sédiments hémipélagiques.

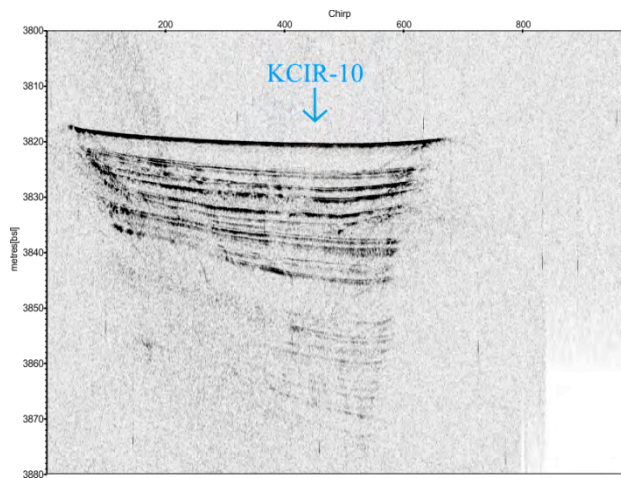




*Profil CHIRP sur le site de carottage KCIR-09 (3996 m)*

### **Carotte KCIR-10**

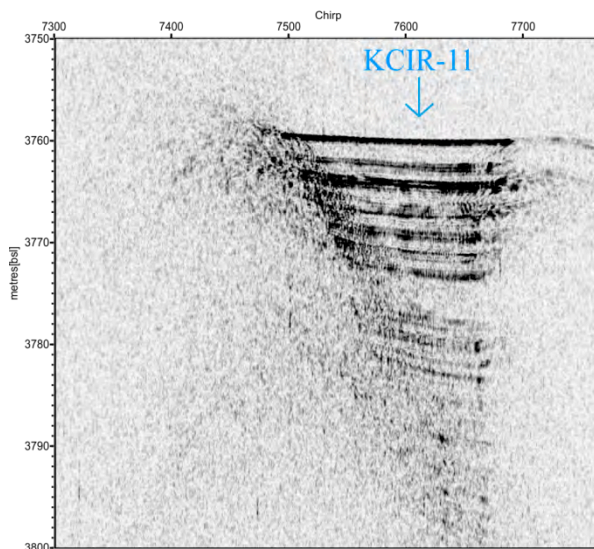
L'objectif de la carotte KCIR-10 est de prélever une alternance de turbidite et de sédiment hémipélagique qui se serait déposé dans un bassin fermé dans le prisme d'accrétion. Ce bassin a été repéré sur le profil CHIRP SU0057. La couche de la méga-turbidite est plus épaisse dans ce bassin mais on espère pouvoir la traverser afin d'enregistrer quelques autres événements turbiditiques antérieur à celle d'Augias. Ce bassin se situe plus au NE que le bassin précédent.



*Profil CHIRP sur le site de carottage KCIR-10 (3806 m)*

### **Carotte KCIR-11**

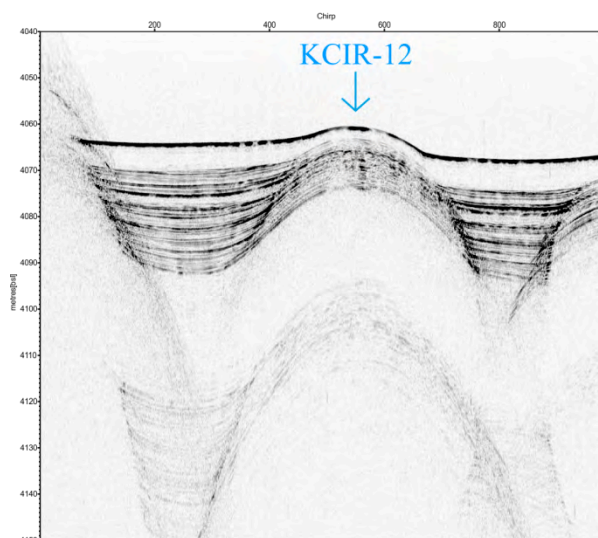
L'objectif de la carotte KCIR-11 est de prélever dans un des bassins fermés qui se situe dans le prisme d'accrétion. Ce bassin a été repéré sur le profil CHIRP SU0058. La pénétration acoustique est plutôt bonne. La méga turbidite d'Augias semble moins épaisse ce qui permet de penser que les enregistrements des turbidites précédent Augias seront prélevés.



*Profil CHIRP sur le site de carottage KCIR-11 (3760 m)*

### **Carotte KCIR-12**

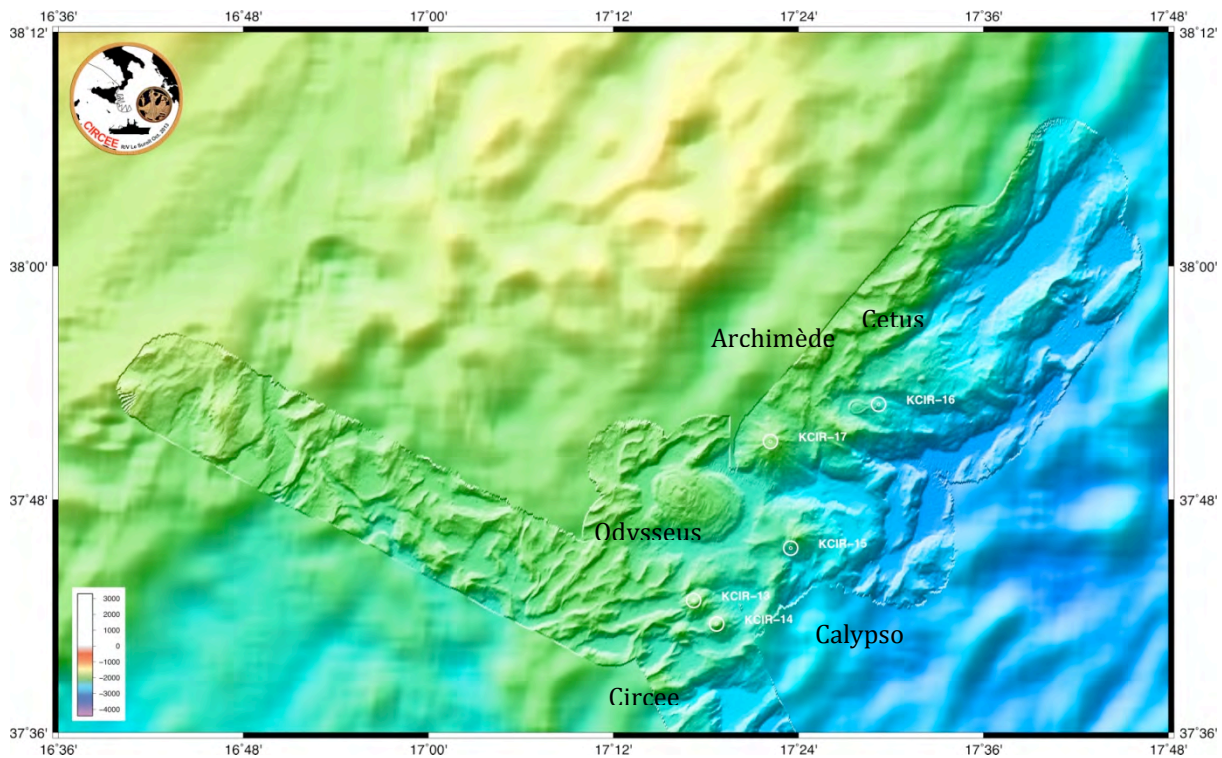
L'objectif de la carotte KCIR-12 est de prélever le sommet d'une bosse afin d'avoir des séries sédimentaires moins épaisses que dans les carottes précédentes. Cela afin de remonter plus loin dans le temps. Cette bosse se situe au niveau d'un bassin en bordure du prisme d'accrétion. La pénétration dans les facies acoustiques est plutôt bonne. Elle a été repéré sur le profil CHIRP SU0058. A son sommet, une couche particulièrement importante est repérable (il s'agit sûrement de la méga-turbidite d'Augias).



*Profil CHIRP sur le site de carottage KCIR-12 (4069 m)*

#### b. Carottes des volcans de boue

Les dernières carottes (KCIR-13, KCIR-14, KCIR-15, KCIR-16 et KCIR-17) ont été réalisées dans plusieurs volcans de boue situés au nord de la mer Ionienne. L'objectif principal de ces carottes est de vérifier qu'il s'agit bien de volcans de boue mais aussi de ramener des échantillons de ces structures. Ils ont tous été repérés grâce aux données de bathymétrie. Aucun profil chirp est montré des sites de carottage puisque la pénétration du sondeur était très faible et la nature du fond ne permettait pas d'obtenir d'images claires.



Carte avec position des volcans de boue où ont été réalisées les carottes.

#### **Carotte KCIR-13**

L'objectif de la carotte KCIR-13 est d'échantillonner un relief positif qui pourrait être un volcan de boue nommé *Odysseus*. Celui-ci a été repéré principalement sur la bathymétrie à 2027 m de profondeur. La carotte a été faite à son sommet cela afin de confirmer s'il s'agit bien d'un volcan. L'échantillonnage proche du sommet permettrait peut être aussi d'observer les différentes périodes d'activités du volcan.

#### **Carotte KCIR-14**

L'objectif de cette carotte est d'aussi d'échantillonner le sommet d'un volcan de boue nommé *Circee* situé à 2067 m de profondeur. La carotte a été pliée car elle a rencontré une couche de silt très compacte quasiment consolidé. A son sommet une certaine épaisseur d'argile hémipélagique a pu être récupéré et stocké dans des sacs plastiques.

#### **Carotte KCIR-15**

L'objectif de cette carotte est d'échantillonner dans une coulée du volcan de boue *Calypso* se situant sur le flanc SSW. Cela afin de récupérer plus de matériel (le sédiment doit être moins compact que sur le sommet d'un volcan). Mais aussi, d'enregistrer plusieurs coulées témoignant ainsi des différentes phases d'activité du volcan. La carotte a été réalisé à 2245 m de profondeur.

#### **Carotte KCIR-16**

L'objectif de cette carotte est le même que la KCIR-16, c'est-à-dire échantillonner une coulée du volcan de boue *Cetus*. Elle a été réalisé à 2295 m de profondeur sur le flanc est du volcan.

#### **Carotte KCIR-17**

L'objectif de cette carotte est d'échantillonner un autre volcan de boue, nommé *Archimède*, à son sommet, au niveau de son cratère. La carotte a été réalisée à 1997 m de profondeur.



**NOM de la CAROTTE : KCIR-01**

Contexte : Pied de pente de l'escarpement de Malte

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 10,06 m  
Hauteur de chute : 5 m  
Longueur du câble : 21,61 m  
Longueur du câble pilote : 17,92 m

2. Opérations de carottage Date : 05/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 05h13 (TU)  
Heure du déclenchement : 07h07 (TU)

**LATITUDE : N 36°17,828' LONGITUDE : E 15°46,491**  
**Profondeur : 3558 m**

Longueur filée : 3585 m  
Arrachement (en T) : 3,8 T  
Heure « carottier à bord » : 08h43 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : >10 m  
Longueur de la carotte récupérée : 3,6 m  
Nombre de sections : 4

Commentaires, incidents :

- Pénétration jusqu'au lest
- Déclenchement avec un palier, arrachement correct
- Piston cassé et eau sur le sommet de la carotte
- Sédiment silteux et sableux fin dans l'ogive

**NOM de la CAROTTE : KCIR-02**

Contexte : Haut topographique, toit de chevauchement dans le prisme

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 05/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 11h55 (TU)  
Heure du déclenchement : 14h01 (TU)

**LATITUDE : N 36°26,208' LONGITUDE : E 16°03,707'**  
**Profondeur : 3285 m**

Longueur filée : 3307 m  
Arrachement (en T) : 3,6 T  
Heure « carottier à bord » : 17h53 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 6,60 m  
Longueur de la carotte récupérée : 5,1 m  
Nombre de sections : 6

Commentaires, incidents :

- Piston cassé, eau sous piston
- Fluage de la première section, de 50 cm
- Sédiment argileux faiblement silteux en base de carotte

**NOM de la CAROTTE : KCIR-03**

Contexte : Bassin syn-tectonique dans le prisme

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 07/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 12h08 (TU)  
Heure du déclenchement : 14h08 (TU)

**LATITUDE : N 36°30,82'    LONGITUDE : E 15°13,27**  
**Profondeur : 3364 m**

Longueur filée : 3387 m  
Arrachement (en T) : 3,3 T  
Heure « carottier à bord » : 16h07 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 5 m  
Longueur de la carotte récupérée : 3,94 m  
Nombre de sections : 4

Commentaires, incidents :

- Arrachement assez faible
- Piston cassé
- Ogive presque vide, sédiment silteux à sableux fins
- Fluage de la première section.



**NOM de la CAROTTE : KCIR-04**

Contexte : Vallée d'Alfeo

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 08/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 05h41 (TU)  
Heure du déclenchement : 07h13 (TU)

**LATITUDE : N 36°41,70'    LONGITUDE : E 15°46,90**  
**Profondeur : 3225 m**

Longueur filée : 3245m  
Arrachement (en T) : 4,1 T  
Heure « carottier à bord » : 08h43 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 5,5 m  
Longueur de la carotte récupérée : 6,38 m  
Nombre de sections : 7

Commentaires, incidents :

- Piston cassé
- Sédiment sableux dans l'ogive (sable à foraminifères).

**NOM de la CAROTTE : KCIR-05**

Contexte : Bassin syn-tectonique dans le prisme

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 08/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 12h46 (TU)  
Heure du déclenchement : 14h13 (TU)

LATITUDE : N 36°39,70 LONGITUDE : E 16° 20,20  
Profondeur : 3340 m

Longueur filée : 3364 m  
Arrachement (en T) : 3,8 T  
Heure « carottier à bord » : 16h05 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 5,5 m  
Longueur de la carotte récupérée : 7,95 m  
Nombre de sections : 8

Commentaires, incidents :

- Longueur de carotte supérieure à pénétration apparente.
- Piston cassé.
- Vase légèrement silteuse à la base, sommet vaseux très fluide.

## NOM de la CAROTTE : KCIR-06

Contexte : Pente au large de la ville d'Augusta, sur un petit plateau à 1800-1900 m

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 10/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 7h26 (TU)  
Heure du déclenchement : 8h22 (TU)

LATITUDE : N 37°10,462 LONGITUDE : E 15° 24,116  
Profondeur : 1851 m

Longueur filée : 1860 m  
Arrachement (en T) : 3,8 T  
Heure « carottier à bord » : 9h29 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : jusqu'au lest  
Longueur de la carotte récupérée : 6,48 m  
Nombre de sections : 7

Commentaires, incidents :  
- Accrochage d'un filet

**\*\*Fin du Leg 1\*\***



**NOM de la CAROTTE : KCIR-07**

Contexte : plate forme au sud de la Sicile sur une zone de faible profondeur.

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 1,72 m  
Hauteur de chute : 1 m  
Longueur du câble : 13,92 m  
Longueur du câble pilote : 13,27 m

2. Opérations de carottage Date : 11/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 15h06 (TU)  
Heure du déclenchement : 15h29 (TU)

**LATITUDE : N 36°05,49      LONGITUDE : E 15° 20,99**  
**Profondeur : 252 m**

Longueur filée : 242 m  
Arrachement (en T) : 3,1 T  
Heure « carottier à bord » : 16h01 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : jusqu'au lest  
Longueur de la carotte récupérée : 7,91 m  
Nombre de sections : 9

Commentaires, incidents :

- Première section divisée en deux parties : une de 31 cm, l'autre de 61 cm
- Sur les 20 premiers centimètres, l'interface a coulé et a donc été récupéré dans un sac.

## NOM de la CAROTTE : KCIR-08

Contexte : Dans un bassin entre le front de déformation et la plaine abyssale, plus au sud.

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 15/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 14h23 (TU)  
Heure du déclenchement : 16h14 (TU)

LATITUDE : N 35°51,728 LONGITUDE : E 16°16.135  
Profondeur : 3810 m

Longueur filée : 3837 m  
Arrachement (en T) : 4.3 T  
Heure « carottier à bord » : 18h15 (TU)  
Heure reprise filage : 16h24

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 9,30 m  
Longueur de la carotte récupérée : 7,37 m  
Nombre de sections : 8

### Commentaires, incidents :

Sondes thermiques fixées sur le carottier. : resté 10 min en station  
10 premier cm récupéré dans un sachet ; argile très fluide sur plusieurs mètres.  
Erreur sur découpage tronçon : 1<sup>ère</sup> section = 1m10, 2<sup>ème</sup> section = 90cm

**NOM de la CAROTTE : KCIR-09**

Contexte : Dans un petit bassin entre front de déformation et la plaine abyssale, plus au nord.

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 16/10/2013  
Heure de mise à l'eau : (TU)  
Heure du déclenchement : (TU)

**LATITUDE : N 35°40,852 LONGITUDE : E 17°07,122**  
**Profondeur : 3996 m**

Longueur filée : 4021 m  
Arrachement (en T) : 4,5 T  
Heure « carottier à bord » : 10h20 (TU)  
Heure reprise filage : 8h38

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 6m50  
Longueur de la carotte récupérée : 7m03  
Nombre de sections : 7

Commentaires, incidents :

Sondes thermiques fixées sur le carottier. : resté dans le sédiment 9 min.  
Argile très fluide sur les premiers mètres (jusqu'à environ 4m).



**NOM de la CAROTTE : KCIR-10**

Contexte : Bassin fermé sur le prisme d'accrétion.

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 17/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 05h17 (TU)  
Heure du déclenchement : 07h04 (TU)

**LATITUDE : N35°05.804    LONGITUDE : E 17°23.408**  
**Profondeur : 3806 m**

Longueur filée : 3835 m  
Arrachement (en T) : 4.67 T  
Heure « carottier à bord » : 8h48 (TU)  
Heure reprise filage : 7h11

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 6 m (mais présence d'argile jusqu'à 10m environ)  
Longueur de la carotte récupérée : 9,50m  
Nombre de sections : 10

Commentaires, incidents :

Sondes thermiques fixées sur le carottier.

Dans le 1<sup>er</sup> tronçon : interface étalé ; Tr2 = 90cm ; Tr3 = 1m10, à cause d'une première entaille faite dans le tube

Possibilité de tephra dans le sachet peau d'orange.

**NOM de la CAROTTE : KCIR-11**

Contexte : Bassin fermé sur le prisme d'accrétion, plus à l'est que la KCIR-10.

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 17/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 11h46 (TU)  
Heure du déclenchement : 14h36 (TU)

**LATITUDE : N 36°17.46      LONGITUDE : E 17°40.75**  
**Profondeur : 3760 m**

Longueur filée : 3788 m  
Arrachement (en T) : 4.56 T  
Heure « carottier à bord » : 16h39(TU)  
Heure reprise filage : 14h49

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 5 m (mais présence d'argile jusqu'à 8m)  
Longueur de la carotte récupérée : 8,78m  
Nombre de sections : 10

Commentaires, incidents :

Sondes thermiques fixées sur le carottier. : resté 13 min.  
1ere section = 38 cm (interface un peu étalé dedans).

**NOM de la CAROTTE : KCIR-12**

Contexte : Au bord du front de déformation, au sud, sur le sommet d'une bosse.

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 18/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 5h15 (TU)  
Heure du déclenchement : 7h30 (TU)

**LATITUDE : N35°56.436    LONGITUDE : E 17°53.960**  
**Profondeur : 4069 m**

Longueur filée : 4094 m  
Arrachement (en T) : 4,9 T  
Heure « carottier à bord » : 9h23 (TU)  
Heure reprise filage : 7h38 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 6 m  
Longueur de la carotte récupérée : 8,64m  
Nombre de sections : 9

Commentaires, incidents :

Sondes thermiques fixées sur le carottier. : resté 8 min



**NOM de la CAROTTE : KCIR-13**

Contexte : Au sommet du volcan de boue Odysseus (Nord)

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 20/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 12h03 (TU)  
Heure du déclenchement : 13h04 (TU)

**LATITUDE : N37°42.806    LONGITUDE : E 17°17.202**  
**Profondeur : 2027 m**

Longueur filée : 2057 m  
Arrachement (en T) : 6.2 T  
Heure « carottier à bord » : 14h20 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 4 m  
Longueur de la carotte récupérée : 2,55m  
Nombre de sections : 3

Commentaires, incidents :

Sondes thermiques non programmées, arrachement rapide à cause de palanques (de pêche) a proximité et crainte qu'ils puissent s'emmêler dans l'hélice

**NOM de la CAROTTE : KCIR-14**

Contexte : Au sommet du volcan de boue Circee (SE)

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 10 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 18,50 m  
Longueur du câble pilote : 15,90 m

2. Opérations de carottage Date : 20/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 15h26 (TU)  
Heure du déclenchement : 16h27 (TU)

**LATITUDE : N37°41.606    LONGITUDE : E 17°18.708**  
**Profondeur : 2067 m**

Longueur filée : 2072 m  
Arrachement (en T) : 2,5 T  
Heure « carottier à bord » : 17h40 (TU)  
Heure reprise filage : 16h35 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 2,50 m  
Longueur de la carotte récupérée :  
Nombre de sections :

Commentaires, incidents :

CAROTTE PLIEE : Ogive pleine, avec du silt très compacté et consolidé + 1 section de 30 cm de la base ; interface argileuse récupérée dans divers sacs plastiques  
Sondes thermiques fixées sur le carottier. : resté 8 min

**NOM de la CAROTTE : KCIR-15**

Contexte : Flan SSW du volcan Calypso, sur une coulée de boue

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 5 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 13,26 m  
Longueur du câble pilote : 10,92 m

2. Opérations de carottage Date : 21/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 5h49 (TU)  
Heure du déclenchement : 6h53 (TU)

**LATITUDE : N 37°45.505 LONGITUDE : E 17°23.502**  
**Profondeur : 2245 m**

Longueur filée : 2249 m  
Arrachement (en T) : 4.3 T  
Heure « carottier à bord » : 8h03 (TU)  
Heure reprise filage : 7h06 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : jusqu'au sommet du lest  
Longueur de la carotte récupérée : 2,86 m  
Nombre de sections : 3

Commentaires, incidents :

Sondes thermiques fixées sur le carottier. : resté 13 min sur station  
Ogive pleine d'argile fine, de sable et de claste  
Pas de peau d'orange mis dans le carottier

**NOM de la CAROTTE : KCIR-16**

Contexte : Sur une coulée du volcan de boue Cetus (petit poisson)

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 5 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 13,26 m  
Longueur du câble pilote : 10,92 m

2. Opérations de carottage Date : 21/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 9h27 (TU)  
Heure du déclenchement : 10h34 (TU)

**LATITUDE : N 37°52.903 LONGITUDE : E 17°29.204**  
**Profondeur : 2295 m**

Longueur filée : 2312 m  
Arrachement (en T) : 4,8 T  
Heure « carottier à bord » : 12h00 (TU)  
Heure reprise filage : 10h42 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : 5 m  
Longueur de la carotte récupérée : 2,37 m  
Nombre de sections : 3

Commentaires, incidents :

Sondes thermiques fixées sur le carottier. : resté 8 min sur station  
Déclenchement avec un rebond



**NOM de la CAROTTE : KCIR-17**

Contexte : sommet d'un cratère du volcan de boue Archimède.

1. Caractéristiques du carottier : Longueur du tube : 5 m  
Masse du carottier : 1,8 T  
Longueur de boucle : 7 m  
Hauteur de chute : 3 m  
Longueur du câble : 13,26 m  
Longueur du câble pilote : 10,92 m

2. Opérations de carottage Date : 21/10/2013  
Heure de mise à l'eau : 12h57 (TU)  
Heure du déclenchement : 13h55 (TU)

**LATITUDE : N37°51.001    LONGITUDE : E17°22.198**  
**Profondeur : 1997 m**

Longueur filée : 2007 m  
Arrachement (en T) : 4.2 T  
Heure « carottier à bord » : 15h (TU)  
Heure reprise filage : 14h03 (TU)

3. Récupération de la carotte : Pénétration apparente : A sommet du lest  
Longueur de la carotte récupérée : 2,95 m  
Nombre de sections : 3

Commentaires, incidents :

Sondes thermiques fixées sur le carottier. : resté 8 min sur station  
Pas de peau d'orange dans le carottier

## Flux de chaleur

Des mesures de flux de chaleur ont été effectuées lors de la majorité des carottages du 2<sup>ème</sup> leg. Les mesures sont faites par des sondes affixées sur l'extérieur du carottier Kulleberg.



Un exemple de la sonde est présenté ci-dessus.

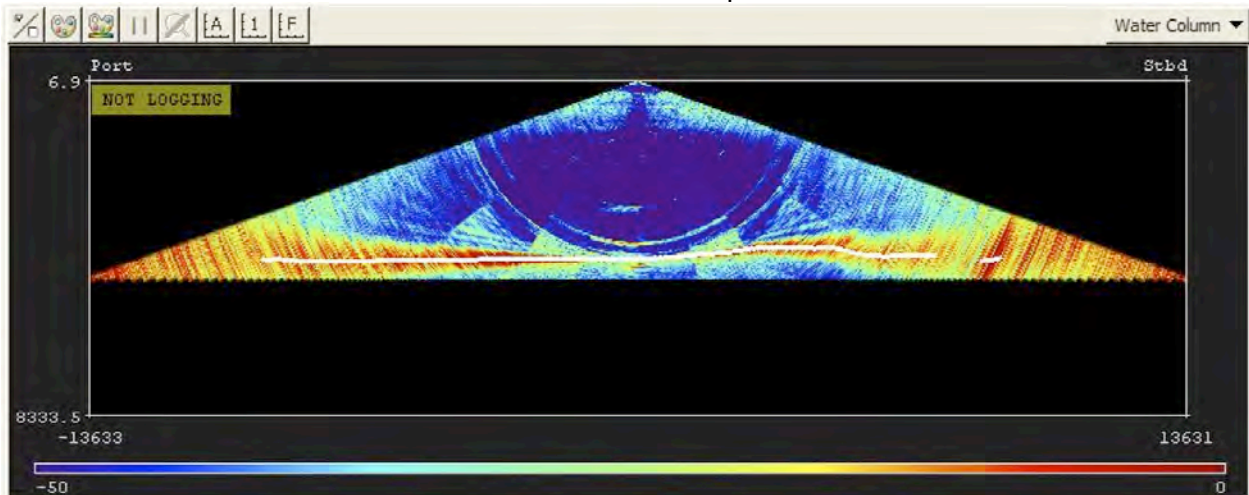
La carte avec les sites mesurés est présenté ci-dessus.

Pour les carottes KCIR-08 - KCIR-12 la longueur du carottier était 10m et la pénétration était entre 6m et 9m, avec 5 sondes montés à l'extérieur et a priori les mesures ont bien marché. Pour les carottes dans les volcans de boue (KCIR-13 - KCIR-17) les pénétrations étaient < 3m, avec un carottier plié et majoritairement des carottiers de 5m de longueur (avec que 3 sondes sur le carottier). Il est probable que ces mesures ne sont pas exploitables vu la faible pénétration.

## Cartographie bathymétrique multi-faisceaux

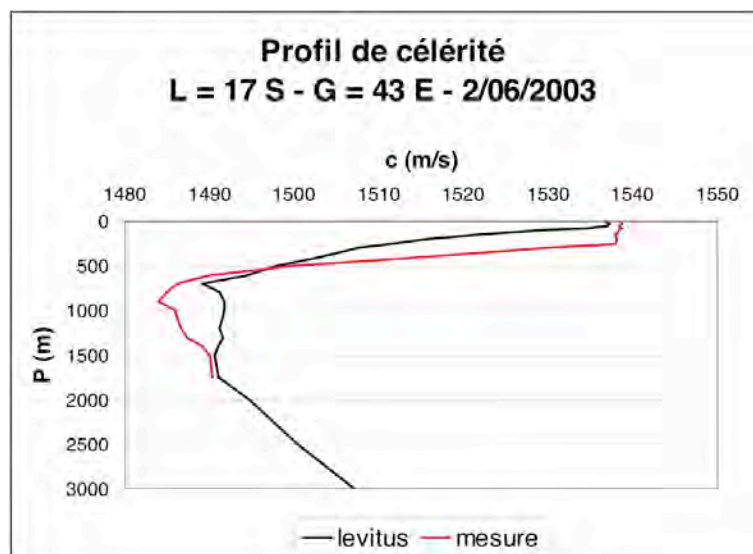
Le sondeur multifaisceaux qui fait partie des équipements du N/O Le Suroit est le système Kongsberg (ancien Simrad) EM302. Ce système récent (installation complétée en Février 2012) représente une grande amélioration par rapport à l'ancien sondeur EM300 qui ne pouvait opérer dans des profondeurs au delà de 3000m. Le EM302, avec ses 860 faisceaux permet d'obtenir une fauchée d'environ 6km de large dans une gamme de profondeurs de 2000m à 4000m. La résolution dans ces profondeurs est souvent meilleure que 20m (selon la vitesse du navire lors de l'acquisition).

L'acquisition est surveillée en permanence par un électronicien Genavir et à l'écran on peut suivre la fauchée avec l'ensemble des faisceaux et leur point de réflexion au fond de la mer.



Exemple d'une acquisition bathymétrique avec sondeur multi-faisceaux montrant la fauchée et indiquant le point de réflexion des faisceaux avec le fond de la mer. Pour la partie centrale de la fauchée (environ les 20% des sondes) la profondeur du fond de la mer est calculé utilisant l'amplitude des ondes réfléchies. Pour les 40% des faisceaux bâbord ou tribord, le fond de la mer est établi principalement par une identification de la phase des ondes.

Des mesures de célérité de l'eau (vitesse de propagation d'ondes acoustiques) sont effectuées en moyenne une fois par jour par sonde thermique jetable (eXpendable Bathy-Thermograph) XBT (souvent nommé Sippican pour la marque de ces sondes jetable). Il est important d'avoir une bonne connaissance de la célérité puisque celle ci est utilisée pour convertir les temps d'arrivées des sondes multi-faisceaux en profondeur (en m) (voir figures ci-dessous).

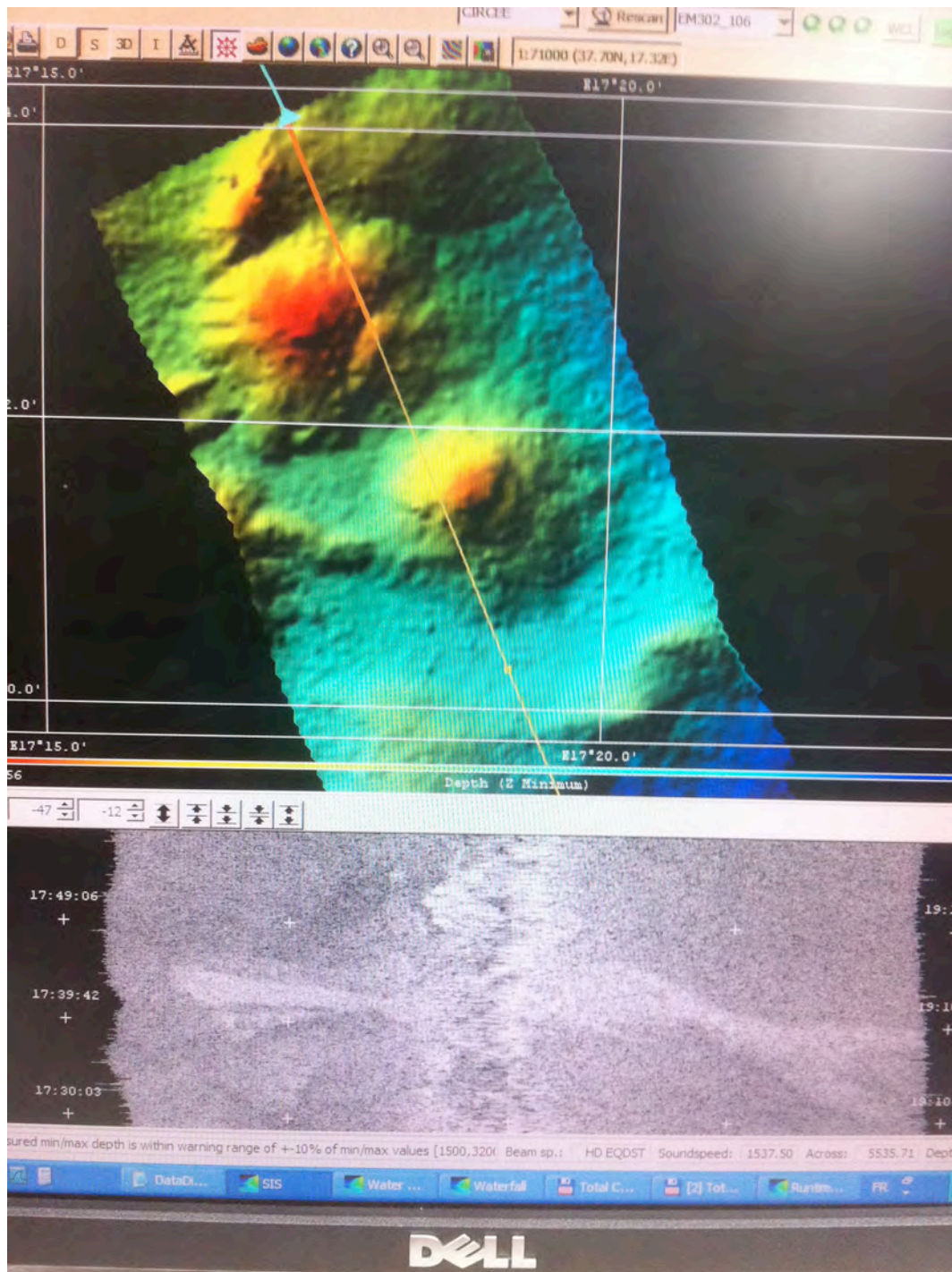


(à gauche) sonde jetable XBT et lanceur, (à droite) profil de célérité mesuré (en rouge) et célérité moyenne selon la base de donnée Levitus



En Méditerranée le niveau de salinité étant plus élevé qu'en Atlantique (38 PSU plutôt que 35 en Nord-Est Atlantique en surface) il est encore plus important d'avoir de bonnes données de célérité mesurée. En profondeur les données mesurées sont complétées par les catalogues de célérité de la banque de données Levitus. (voir figures ci-dessus)

On peut suivre l'acquisition de la bande bathymétrique cartographiée en temps réel à l'écran ce qui permet d'ajuster la trajectoire du navire lors des passages successifs pour assurer un recouvrement adéquat. Un exemple de l'écran lors de l'acquisition est présenté ci-dessous.



Exemple d'acquisition bathymétrique de la campagne CIRCEE sur les volcans de boue (Leg 2). La bathymétrie est en haut et la réflectivité en bas. On note une augmentation de la réflectivité sur les coulées récentes des volcans de boue.



Les données brut du sondeur EM302, incluant la navigation et déjà corrigées pour l'attitude du navire (roulis, tangage et houle) sont convertit en fichier mbg en utilisant le logiciel Caraïbes (version 4.0). Ensuite ces données ont été contrôlées et traitées (identification et nettoyage de sondes erronées) avec le logiciel Caraïbes. Les fichiers bathymétriques du premier leg (fichiers 1-279) ont été traités à bord par Pierre Le Meur hydrographe Genavir.

La majorité des fichiers mbg du 2<sup>ème</sup> leg (fichiers 281 - 700) ont été nettoyés à bord par M-A Gutscher (acquisition jusqu'au 21 Octobre 2013 incluant les volcans de boue). Les fichiers mbg 701 - 850 seront traités/nettoyés ultérieurement mais l'ensemble de tous les fichiers sont inclus dans la compilation bathymétrique de la zone couverte lors de la campagne CIRCEE.

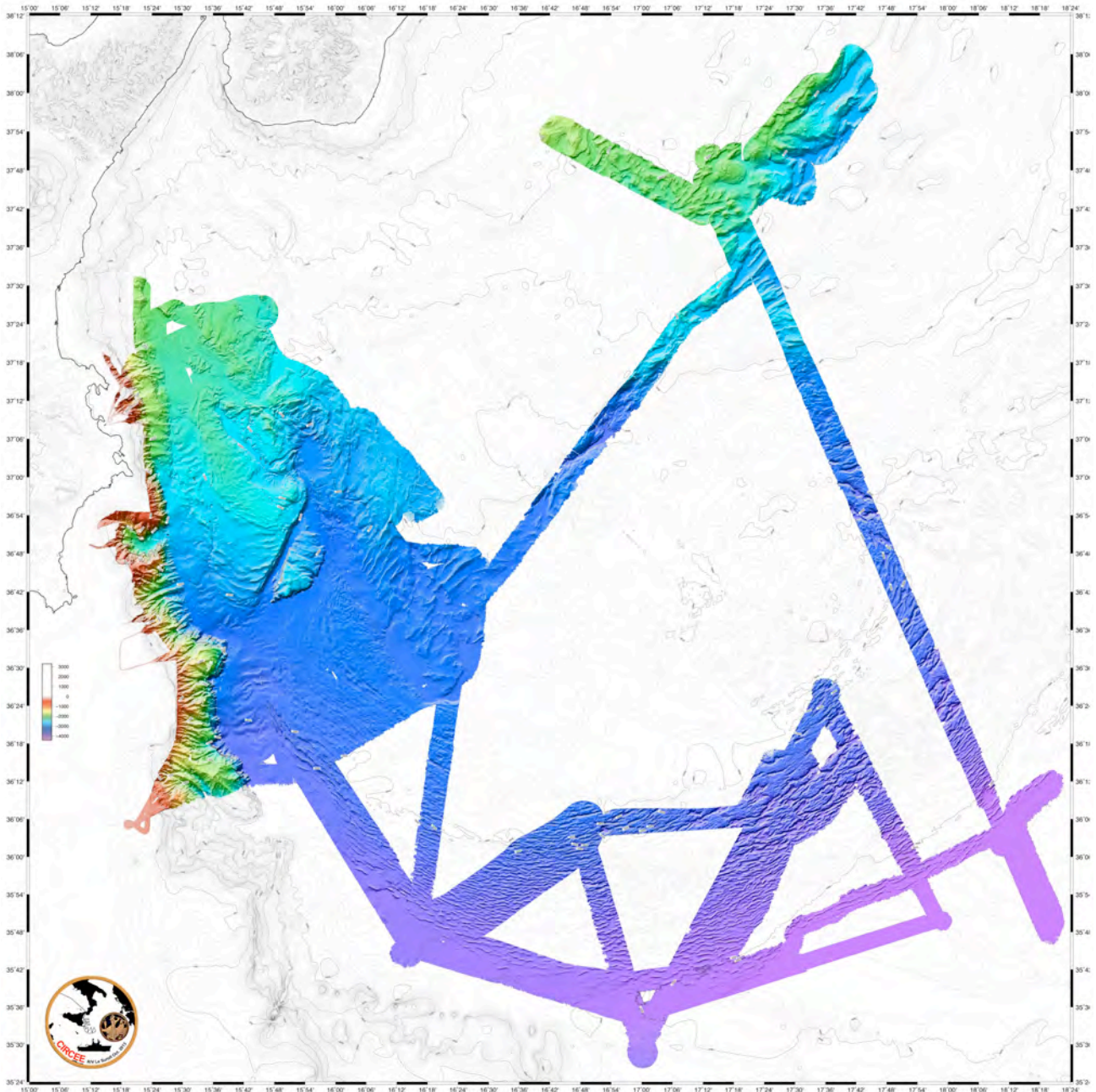


Figure montrant l'ensemble des données bathymétriques EM302 acquises lors de la campagne CIRCEE.



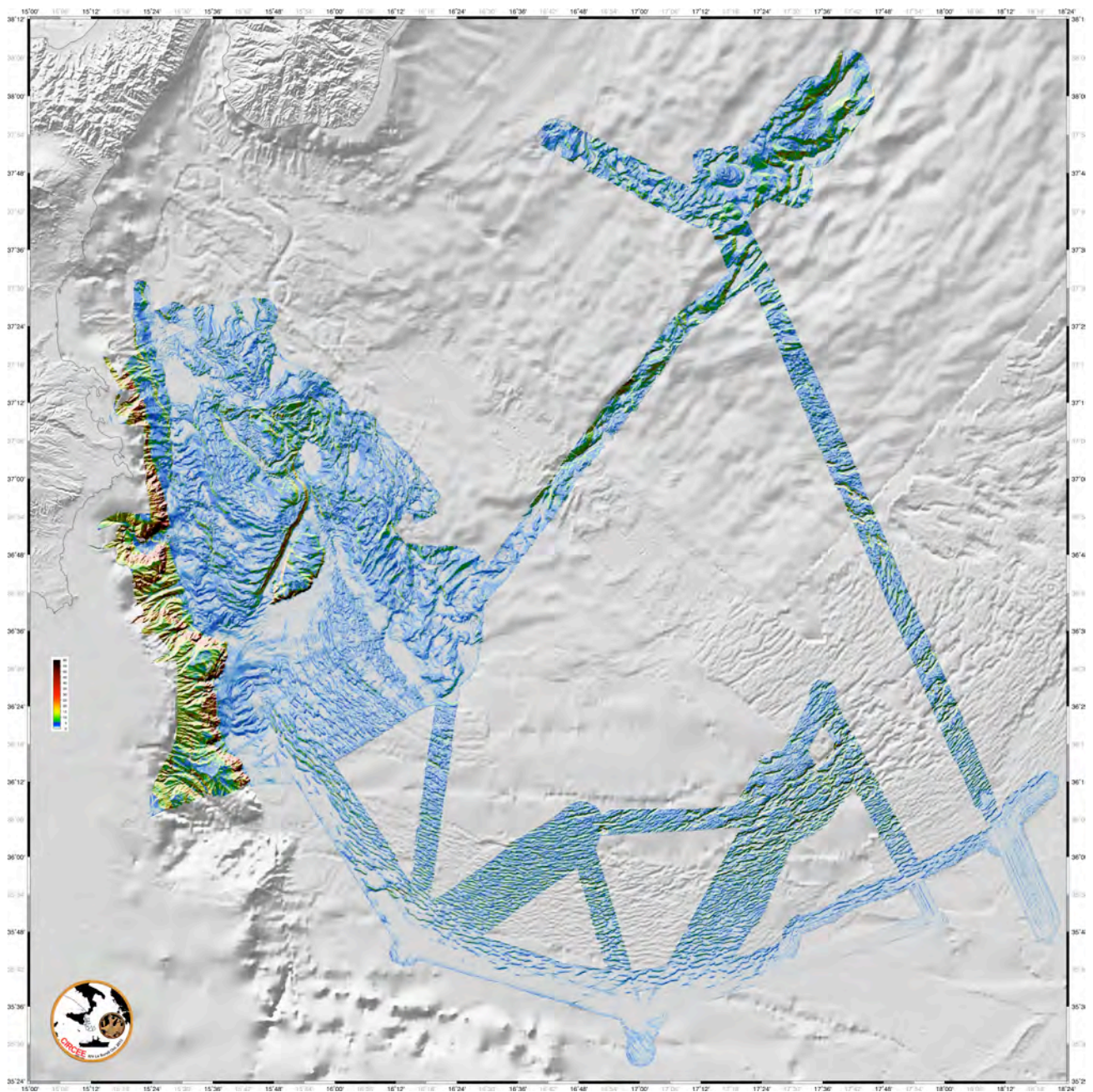


Figure montrant le gradient du relief (l'angle de pente) des données bathymétriques EM302 acquises lors de la campagne CIRCEE. En arrière plan en gris est affiché le relief ombré depuis les compilations bathymétriques existantes publiées (MediMap Loubrieux et al., 2010) et la grille mondiale à 1min de Gebco.

## Bibliographie :

- Argnani, A., and C. Bonazzi, 2005. Malta Escarpment fault zone offshore eastern Sicily: Pliocene-Quaternary tectonic evolution based on new multichannel seismic data, *Tectonics*, 24, TC4009, doi:10.1029/2004TC001656.
- Argnani A., Brancolini G., Bonazzi C., Rovere M., Accaino F., Zgur F., Lodolo E., 2009a. The results of the Taormina 2006 seismic survey: Possible implications for active tectonics in the Messina Straits. *Tectonophysics* 476, 159-169.
- Argnani, A., et al. , 2009b. Comment on "On the cause of the 1908 Messina tsunami, southern Italy" by Andrea Billi et al., *Geophys. Res. Lett.*, 36, L13307, doi:10.1029/2009GL037332.
- Barbano, M.S., 1985. The Val di Noto earthquake of January 11, 1693. In: Postpischl, D. (Ed.), *Atlas of Isoseismal Maps of Italian Earthquakes*. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, Roma: 48-49.
- Bianca M., C. Monaco, L. Tortorici and L. Cernobori, 1999. Quaternary normal faulting in southeastern Sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake, *Geophys. J. Int.*, 139, 370-394.
- Billi A., R. Funicciello, L. M. Minelli, C. Faccenna, G. Neri, B. Orecchio and D. Presti, 2008. ' On the cause of the 1908 Messina tsunami, Southern Italy, *Geophys. Res. Letters*, 35, L06301, doi:10.1029/2008GL033251.
- Bottari, A., Capuano, P., de Natale, G., Gasparini, P., Neri, G., Pingue, F., and Scarpa, R., 1989. Source parameters of earthquakes in the Strait of Messina, Italy, during this century. *Tectonophysics.*, v. 166, p. 221-234.
- Byrne, D.E., D.M. Davis, and L.R. Sykes, 1988. Loci and maximum size of thrust earthquakes and the mechanics of the shallow region of subduction zones. *Tectonics*, 7, 833-857.
- Catalano, R., Doglioni, C., and Merlini, S., 2001. On the Mesozoic Ionian Basin. *Geophysical Journal International*, 144, 49-64.
- Cernobori, L., A. Hirn, J.H. McBride, R. Nicolich, L. Petronio, M. Romanelli, and STREAMERS/PROFILES Working Groups, 1996. Crustal image of the Ionian basin and its Calabrian margins, *Tectonophysics.*, 264, 175-189.
- Cita M.B., Aloisi G., 2000. Deep-sea tsunami deposits triggered by the explosion of Santorini (3500 y BP), eastern Mediterranean. *Sedimentary Geology* 135, 181-203.
- D'Agostino, N., and Selvaggi, G., 2004. Crustal motion along the Eurasia-Nubia plate boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements, *J. Geophys. Res.*, 109, B11402.
- D'Agostino, N., Avallone, A., Cheloni, D., D'Anastasio, E., Mantenuto, S. and Selvaggi, G., 2008. Active tectonics of the Adriatic region from GPS and earthquake slip vectors, *J. Geophys. Res.*, v. 113, B12413, doi:10.1029/2008JB005860.
- D'Agostino, N., D'Anastasio, E., Gervasi, A., Guerra, I., Nedimovic, M.R., Seeber, L. and Steckler, M., 2011. Forearc extension and slow rollback of the Calabrian arc from GPS measurements, *Geophys. Res. Lett.*, v. 38, L17304, doi:10.1029/2011GL048270.
- deVoogd, B., Truffert, C., Chamot-Rooke, N., Huchon, P., Lallemand, S., Le Pichon, X., 1992. Two-ship deep seismic soundings in the basins of the Eastern Mediterranean, *Geophysical Journal International*, v. 109, 536-552.
- Faccenna, C., T.W. Becker, F. Pio Lucente, L. Jolivet, and F. Rosetti, 2001. History of subduction and back-arc extension in the Central Mediterranean, *Geophys. J. Int.*, 145, 809-820.
- Faccenna, C., Piromallo, C., Crespo-Blanc, A., Jolivet, L., Rossetti, F., 2004. Lateral slab deformation and the origin of the Western Mediterranean arcs. *Tectonics* 23, doi:10.1029/2002TC001488.
- Ferranti L., Monaco C., Antonioli F., Maschio L., Kershaw S., Verrubbi V., 2007. The contribution of regional uplift and coseismic slip to the vertical crustal motion in the Messina Straits, southern Italy: Evidence from raised Late Holocene shorelines, *Journal of Geophysical Research*, 112, B06401, doi:10.1029/2006JB004473
- Finetti I., 1982. Structure, stratigraphy and evolution of Central Mediterranean, *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, XXIV, 96, 247-312.
- Galili, E., L. K. Horwitz, I. Hershkovitz, V. Eshed, A. Salamon, D. Zviely, M. Weinstein-Evron, and H. Greenfield, 2008. Comment on "Holocene tsunamis from Mount Etna and the fate of Israeli Neolithic communities" by Maria Teresa Pareschi, Enzo Boschi, and Massimiliano Favalli, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L08311, doi:10.1029/2008GL033445.
- Gallais, F., Gutscher, M.-A., Graindorge, D., Chamot-Rooke, N., and Klaeschen, D., 2011. A Miocene tectonic inversion in the Ionian Sea (Central Mediterranean): evidence from multi-channel seismic data. *JGR*, v. 116, B12108, doi:10.1029/2011JB008505.
- Gallais, F., Gutscher, M.-A., Klaeschen, D., and Graindorge, D., 2012. Two-stage growth of the Calabrian accretionary wedge in the Ionian Sea (Central Mediterranean): Constraints from depth migrated multi-channel seismic data. *Marine Geology*, v. 326-328, p. 28-45, doi: 10.1016/j.margeo.2012.08.006.



- Gallais, F., Graindorge, D., Gutscher, M.-A., and Klaeschen, D., 2013. Propagation of a lithospheric tear fault (STEP) through the western boundary of the Calabrian accretionary wedge offshore eastern Sicily (southern Italy). *Tectonophysics*, v. 602, p. 141-152 doi:10.1016/j.tecto.2012.12.026.
- Gallais, F., 2011. Structure profonde, déformation et évolution récente de la marge active au Sud de l'Italie : le prisme d'accrétion Calabrais et son avant pays, la plaine abyssale Ionienne, PhD thesis Univ. Brest.
- Galli, P., Bosi, V., 2003. Catastrophic 1638 earthquakes in Calabria (southern Italy): New insights from paleoseismological investigation. *J. Geophys. Res.*, v. 108, n. B1, 2004.
- Goes, S., Giardini, D., Jenny, S., Hollenstein, C., Kahle, H.-G., and Geiger, A., 2004. A recent reorganization in the south-central Mediterranean. *Earth and Planetary Science Letters*, 226, 335-345, doi :10.1016/j.epsl.2004.07.038
- Goldfinger, C., Nelson, C.H., Johnson, J.E., and Shipboard Scientific Party, 2003. Holocene earthquake records from the Cascadia subduction zone and northern San Andreas Fault based on precise dating of offshore turbidites. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 31, 555-577.
- Gutscher, M.-A., and Peacock, S.M., 2003. Thermal models of flat subduction and the rupture zone of great subduction earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, v. 108, n. B1, 2009, doi:10.1029/2001JB000787.
- Gutscher, M.-A., Roger, J., Baptista, M.A., Miranda, J.M., and Tinti, S., 2006. The source of the 1693 Catania earthquake and tsunami (Southern Italy): New evidence from tsunami modeling of a locked subduction fault plane. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n.8, L08309 10.1029/2005GL025442.
- Hensen, C., Wallmann, K., Schmidt, M., Ranero, C. & Suess, E., 2004. Fluid expulsion related to mud extrusion off Costa Rica - A window to the subducting slab.- *Geology*, 32, 201-204.
- Hensen, C., Nuzzo, M., Hornibrook, E.R.C., Pinheiro, L., Bock, B., Magalhaes, V.H. and Brückmann, W., 2007. Sources of mud volcano fluids in the Gulf of Cadiz - indications for hydrothermal input, *Geochim. Cosmochim. Acta*, v.71, 1232-1248 doi:10.1016/j.gca.2006.11.022.
- Hieke, W., Hirschleber, H.B. and Dehghani, G.A., 2005. The Ionian Abyssal Plain (central Mediterranean Sea): Morphology, subbottom structures and geodynamic history – an inventory, *Marine Geophysical Researches*, 24, 279-310.
- Hirn A., Nicolich R., Gallart J., Laigle M., Cernobori L., ETNASEIS Scientific Group, 1997. Roots of Etna volcano in faults of great earthquakes. *Earth and Planetary Science Letters* 148, 171-191.
- Jacques, E., C. Monaco, P. Tapponnier, L. Tortorici, and T. Winter, 2001. Faulting and earthquake triggering during the 1783 Calabria seismic sequence, *Geophys. J. Int.*, 145, 809-820.
- Jenny, S., Goes, S., Giardini, D., Kahle, H.-G., 2006. Seismic potential of Southern Italy. *Tectonophysics*, 415, 81-101 doi:10.1016/j.tecto.2005.12.003.
- Jolivet, L., Faccenna, C., 2000. Mediterranean extension and the Africa–Eurasia collision. *Tectonics* 19, 1095–1106.
- Kastens K.A., 1984. Earthquakes as a triggering mechanism for debris flows and turbidites on the Calabrian Ridge. *Marine Geology* 55, 13-33.
- Kodaira, S., Iidaka, T., Nakanishi, A., Park, J.O., Iwasaki, T., Kaneda, Y., 2005. Onshore-offshore seismic transect from the eastern Nankai Trough to Central Japan crossing a zone of the Tokai slow slip event. *Earth Planets and Space*, v. 57, 943-959.
- Lebreiro, S.M., McCave, I.N., and Weaver, P., 1997. Late Quaternary turbidite emplacement on the Horseshoe abyssal plain (Iberian margin), *Journal of Sedimentary Research*: v. 67, p. 856-870.
- Lombardo, G., 1985. The Catania earthquake of February 4, 1169. In: Postpischl, D. (Ed.), *Atlas of Isoseismal Maps of Italian Earthquakes*. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, Roma: 12-13.
- Loubrieu, B., Mascle, J., et al. (19 authors), "Medimap Group" 2007. Morpho-bathymetry of the Mediterranean Sea. Ifremer and CIESM, scale 1/3 000 000, ISBN 92-990003-2-1.
- Makris J., Nicolich R., Weigel W., 1986. A seismic study in the Western Ionian Sea, *Annales Geophysicae*, 4, B6, 665-678.
- Malinverno, A., and W.B. Ryan, 1986. Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere, *Tectonics*, 5, 227-245.
- Minelli, L. and Faccenna, C., 2010. Evolution of the Calabrian Accretionary wedge (Central Mediterranean). *Tectonics*, 29: doi:10.1029/2009TC002562.
- Neri, G., Orecchio, B., Totaro, C., Falcone, G. and Presti, D., 2009. Subduction Beneath Southern Italy Close the Ending: Results from Seismic Tomography. *Seismological Research Letters*, 80, doi: 10.1785/gssrl.80.1.63(1)
- Nicolich, R., Laigle, M., Hirn, A., L., C. and Gallart, J., 2000. Crustal structure of the Ionian margin of Sicily: Etna volcano in the frame of regional evolution. *Tectonophysics*, 329: 121-139
- Oleskevich, D.A., Hyndman, R.D. and Wang, K., 1999. The updip and downdip limits to great subduction earthquakes: Thermal and structural models of Cascadia, south Alaska, SW Japan, and Chile. *J. Geophys. Res.*, 104, 14,965-14,991.
- Pareschi M.T., Boschi E., Mazzarini F., Favalli M., 2006. Large submarine landslides offshore Mt. Etna. *Geoph. Res. Lett.* 33, L13302, doi:10.1029/2006GL026064.



- Piatanesi, A., and Tinti, S., 1998. A revision of the 1693 Sicily earthquake and tsunami. *J. Geophys. Res.*, v. 103, p. 2749-2758.
- Polonia, A., Torelli, L., Mussoni, P., Gasperini, L., Artoni, A., Klaeschen, D., 2011. The Calabrian arc subduction complex in the Ionian Sea: regional architecture, active deformation and seismic hazard. *Tectonics*, doi:10.1029/2010TC002821.
- Praeg, D., Ceramicola, S., Barbieri, R., Unnithan, V., Wardell, N., 2009. Tectonically-driven mud volcanism since the late Pliocene on the Calabrian accretionary prism, Central Mediterranean Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 26, 1849-1865, doi:10.1016/j.marpetgeo.2009.03.008.
- Rabaute, A. and Chamot-Rooke, N., 2007. Quantitative mapping of active mud volcanism at the western Mediterranean Ridge-backstop contact. *Marine Geophysical Researches*, 28: 271-295, doi 10.1007/s11001-007-9031-8.
- Ryan, W.B.F. and Heezen, B.C., 1965. Ionian Sea submarine canyons and the 1908 Messina turbidity current. *Geological Society of America Bulletin.*, v. 76, p. 915-932.
- Sioni S., 1996. *Mer Ionienne et Apulie depuis l'ouverture de l'Océan Alpin*, Ph-D, Université de Bretagne Occidentale Brest, 241 pp.
- Thomson, J., and Weaver, P., 1994. An AMS radiocarbon method to determine the emplacement time of recent deep-sea turbidites: *Sedimentary Geology*, v. 89, p. 1-7.
- Tinti, S., Armigliato, A., Bortolucci, E., 2001. Contribution of tsunami data analysis to constrain the seismic source: the case of the 1693 eastern Sicily earthquake, *J. Seismology*, 5, 41-61.
- Tinti, S., Maramai, A., Graziani, L., 2004, The new catalogue of the Italian tsunamis, *Natural Hazards*, 33, 439-465.
- Vigliotti, L., 2008. Comment on "Lost tsunami" by Maria Teresa Pareschi et al., *Geophys. Res. Lett.*, 35, L02608, doi:10.1029/2007GL031155.
- Westaway R., 1993. Quaternary uplift of Southern Italy, *Journal of Geophysical Research*, 98, B12, 21741-21772.
- Wortel, M.J.R. and Spakman, W., 2000. Subduction and slab detachment in the Mediterranean-Carpathian region: *Science*, v. 290, p. 1910-1917.

\*\*\*\*\*



Vue de la Sicile et le Mont Etna le matin du 24 Octobre 2013 au levé du soleil depuis le N/O Le Suroit.



Vue du Mont Etna le matin du 26 Octobre 2013 avant le levé du soleil depuis le N/O Le Suroit (au port de Catane)

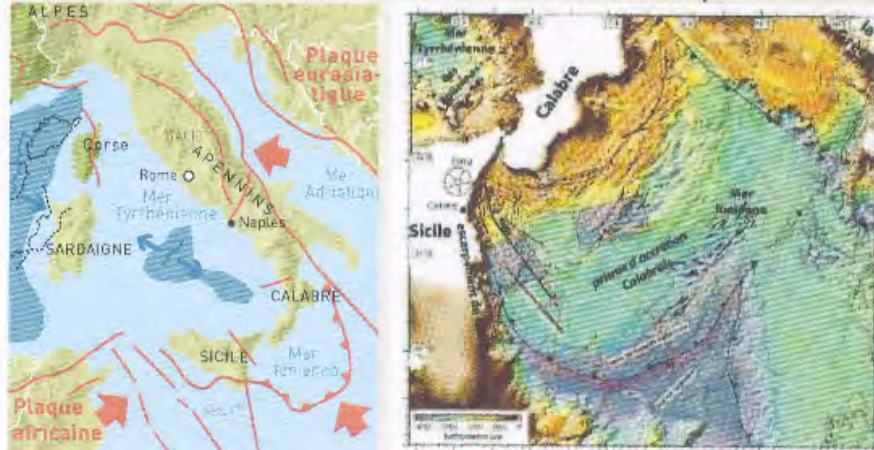


# Séisme et tsunami.

## Six chercheurs brestois en Italie

À quand les prochains séisme et tsunami majeurs en Méditerranée ? Une équipe de six chercheurs brestois (IUEM, Ifremer, Shom) ont embarqué mardi pour le sud de l'Italie.

### > La Méditerranée fracturée entre Eurasie et Afrique



Les lignes noires (avec les dents ou des petits traits) sont des failles cartographiées.  
 - les lignes rouges montrent les profils sismiques que Ifremer va acquérir  
 - les triangles rouges indiquent les sites de carottages sédimentaire prévus  
 - les rectangles mauves indiquent des zones où une cartographie bathymétrique haute résolution sera effectuée

Ils s'apprentent à réaliser une campagne d'observation sous-marine de 23 jours à bord d'un navire d'Ifremer, le Suroît. Objectif : en savoir davantage sur les failles majeures créées par le chevauchement des plaques européenne et africaine dans l'est de la Sicile.

#### Le dernier séisme majeur en 1908

Et ce n'est pas un hasard s'ils ont choisi de concentrer leurs efforts dans ce secteur maritime. « Il s'agit de la zone européenne la plus touchée par les séismes et les tsunamis associés, et assurément la plus meurtrière depuis les cinq derniers siècles, puisqu'on évalue à 200.000 le nombre de victimes dans cette région de l'Italie » résume Marc-André Gutsher, géologue marin à l'Institut universitaire

européen de la mer (IUEM).

Le dernier séisme de grande ampleur (autour de 7,5 sur l'échelle de Richter) date du 10 décembre 1908. Il a frappé la région de Messine et aurait fait autour de 72.000 morts.

« Nous sommes dans un secteur à déplacement lent des plaques, sans grand bruit et sans activité clairement visible ». On parle volontiers de zone traître et mal connue, d'un endroit qui peut à tout moment déclencher un séisme majeur mais sans doute pas au-dessus de 7,5 d'après la taille des failles connues.

D'ailleurs, les chercheurs ne sont pas complètement d'accord sur celles qui présentent le plus de risque. « Nous allons nous efforcer de travailler au-dessus des plus grosses failles, autour de celles

qui à notre avis pourraient déclencher les prochains cataclysmes ».

#### Cartographier et carotter

À l'aide de sondeurs multifaisceaux, l'équipe internationale composée d'une dizaine de Français va étudier précisément la couche superficielle des sédiments. Puis, à travers de puissantes ondes acoustiques, ils tenteront de mieux représenter la première couche de sédiments. Une opération de carottage essaiera de remonter encore dans le temps en tentant d'affiner la périodicité de ces séismes majeurs, au-delà des traces écrites laissées par l'homme. L'idée d'un grand séisme tous les siècles fait trembler des Italiens, épargnés depuis 1908.

Le sujet est vital pour les villes côtières du sud de l'Italie comme

celles de Malte et de la côte occidentale de la Grèce. « Si on imagine un séisme d'une puissance maximum de 7,5, la vague du tsunami pourrait atteindre entre 3 et 5 mètres, à l'image du terrible cataclysme de Catane (60.000 morts en 1693), dont l'origine reste encore à éclaircir ».

#### Un peu moins risqué sur la côte d'Azur

Et le risque le long des côtes du Sud de la France ? « Il existe mais dans une moindre mesure et surtout pour une intensité moins forte qu'au large de la Sicile », résume le chercheur brestois pressé de se rendre sur une des zones sismiques les plus préoccupantes de la planète.

Stéphane Jézéquel