

A transmettre par le Département

pour le 7 novembre 2016 au plus tard

en version électronique aux directeurs de départements, copie les assistantes :

ANNEE UNIVERSITAIRE 2017 - 2018

**PROPOSITION DE SUJET DE THESE POUR UNE
DEMANDE DE CONTRAT DOCTORANT**

1. FICHE SYNTHETIQUE

- **Titre du sujet de thèse proposé** : Modélisation et quantification des phénomènes de micro-bullage en fond de mer
- **Directeur de thèse** : Louis Géli
- **Co-directeur de thèse** : Carla Scalabrin
- **Projet contractualisé de rattachement** :
- **Laboratoire/unité, département d'accueil** : GM
- **Ecole doctorale de rattachement**: EDSM
- **Cofinancement envisagé/obtenu (merci d'indiquer la date de l'appel d'offre si un projet a été déposé, les références du projet s'il est obtenu)** : à définir
- **Employeur envisagé** : *IFREMER*
- **Collaborations envisagées**: *University of Dalhousie, Canada (modélisation numérique), ENS Lyon (modélisation analogique), IUEM (propagation d'ondes).*

- Résumé et mots-clés en français (15 lignes) :

Des travaux récents ont montré l'existence de signaux non-sismiques de courte durée (< 1 s) sur les enregistrements réalisés par les sismographes déployés en fond de mer (OBS). Ces signaux caractéristiques, de fréquence comprise entre 10 et 30 Hz (ici appelés : **S**hort **D**uration **E**vents ou SDE) seraient vraisemblablement associés à des phénomènes de dégazage naturel en fond de mer. Ces phénomènes étant très peu connus, l'Ifremer a entrepris de les caractériser, afin d'en évaluer l'importance pour des applications aussi variées que les risques (naturels -séismes, glissements de terrain- ou industriels -stabilité des plateformes de forage en mer, etc.) ou les bilans globaux à l'interface eau/sédiments (quelle est la contribution de ces émissions à la chimie de l'océan ?). Depuis peu, la recherche sur ce sujet s'accélère car les signaux ont été observés dans des contextes géologiques divers, y compris dans des endroits réputés inertes jusqu'à présent (i. e. plaines abyssales). Une rapide estimation montre que la quantité de carbone (sous forme de gaz libre, CH4 ou CO2) produite par ces phénomènes de micro-dégazage pourrait être du même ordre de grandeur que la quantité de carbone fixée à l'interface océan-atmosphère. Pour tester l'hypothèse suivant laquelle les SDE sont effectivement produits par des phénomènes de micro-bullage, un détecteur acoustique de bulles et 2 OBS ont été déployés en 2014 avec le ROV/Victor en Mer de Marmara lors de la campagne MARSITECruise du R/V *Pouquoi pas ?*. Le travail proposé au candidat est d'analyser et modéliser les données acquises (BOB et OBS) afin de mieux comprendre les phénomènes de micro-dégazage en fond de mer et de confirmer (ou infirmer) les relations entre micro-bullage et SDE.

Mots clés : Sismographes de fond de mer, dégazage, micro-bullage de fond de mer

- **Titre, résumé et mots-clés en anglais,**

PhD Title: Modelling and quantification of micro-bubbling processes at the deep seabed

Abstract: Non-seismic microevents have been shown to be commonly recorded by Ocean Bottom Seismometers (OBS). These microevents are characterized by short durations of less than 0.8 s, by frequencies ranging between 4 and 30 Hz, and by highly variable amplitudes. In addition, no correlation between OBSs is observed, except for located 10 m apart. The presence of gas in superficial sediments, together with analogies with laboratory experiments, suggest that gas migration followed by the collapse of fluid-filled cavities or conduits could be the source of the observed microevents. SDEs appear to occur ubiquitously on the ocean floor. A rapid, on-the-back-of-the-envelope, estimation shows that, if the hypothesis that SDEs are due to methane- or carbon dioxide- related processes is proven, then the total mass of carbon released by micro-bubbling processes at the seabed could be of the same order of magnitude than the amount of C captured at the ocean-atmosphere interface. To test the hypothesis that SDEs are produced by micro-bubbling, an exploratory experiment was conducted in the Sea of Marmara in 2014 during the MARSITECRUISE of *R/V Pourquoi pas?*. An acoustic bubble detector (BOB) and 2 OBS were carefully deployed with ROV/Victor on the seafloor, in order to monitor micro-bubbling along with SDEs, for a duration of 11 days. The work proposed within the present PhD is to model the data collected during the experiment in order to decipher the relations between SDE and micro-bubbling.

Key words: Seafloor, Micro-bubbling, Ocean-Bottom Seismometers, Bubble detector

- **Profil de candidature souhaitée** (en français **et en anglais** pour affichage sur les sites. Cette information figurera sur l'appel à candidatures et permettra à la source de sélectionner les candidatures les plus adaptées au sujet).

Profil polyvalent avec forte compétence en mathématique et physique. Ingénieur généraliste de grande école.

Skills in mathematics and physics required.

2. PROGRAMME DE RECHERCHE DETAILLE

2.1. Projet/Action Ifremer de rattachement :

Le projet proposé est exploratoire, il n'y a pas de projet contractualisé à proprement parler. Les travaux de Tary, Bayrakci et Leblond (cf références) ont été financés par TOTAL. Les données qui seront utilisées dans le cadre de cette thèse ont été acquises dans le cadre du programme européen MARSITE, clos en avril 2015. Les résultats obtenus bénéficieront indirectement au projet « Abysses » du programme MERLIN (P. I. Anne-Sophie Arnaud Haon) et au projet ANR Maregami (P. I. Louis Géli).

2.2. Exposé du projet :

L'exposé ci-après en anglais comprend :

- *le contexte scientifique ou technologique (avec principales références bibliographiques),*
- *l'intérêt général ainsi que l'intérêt pour l'Ifremer,*
- *l'originalité et le caractère innovant des recherches,*
- *les approches méthodologiques,*
- *identification des avancées qui donneront lieu à publication,*
- *les applications possibles,*
- *les collaborations avec des laboratoires extérieurs.*

I. Scientific background and proposal objective

Detection of Short Duration Events (SDE) using OBSs. Recent work has revealed the systematic existence of non-seismic, Short Duration Events (hereafter called SDE) recorded on Ocean Bottom Seismometers (OBS) deployed on the Marmara seafloor, along the North Anatolian Fault zone, in Western Turkey. SDEs are characterized by durations of less than 0.8-s, by frequencies ranging between 4 and 30 Hz, by highly variable amplitudes and by one single-wave train (e. g. surface wave with no identified P- nor S-wave arrivals). Other studies conducted at Ifremer in different settings (e.g. Gulf of Guinea, Western Mediterranean, South China Sea, etc) confirm that SDEs are found in a variety of geological environments.

Gas emission from the seafloor as possible cause of SDEs. The presence of gas in superficial sediments, together with analogies with laboratory experiments, has lead *Tary et al [2012]* to suggest that SDEs could be produced by gas migration followed by the collapse of fluid-filled cavities or conduits (Fig. 3). To date, however, there is no bullet proof that SDEs are produced by gas-related processes, even though this hypothesis is supported by observational evidence, e.g. : acoustic data from a sea-bottom bubble detector [*Bayrakci et al, 2014*] ; geochemical data from a methane sensor [*Embriaco et al, 2013*] ; and qualitative, preliminary (unpublished) laboratory experiments (Fig. 2).

SDEs and seafloor “micro-bubbling”. Further studies have shown the existence of two groups of SDEs from the Marmara seafloor [*Caselatto, 2014*], including respectively: 1) SDEs related to earthquakes, likely due to gas exsolution from surface sediments pore waters; 2) « background SDEs », occurring at a rate of a few hundred times a day and possibly related to biological processes (e.g. bioturbation) involving bubble formation, if the above hypothesis -that SDEs are related to gas emissions- is true. Because background SDEs are observed in a large variety of environments, including abyssal plains, this could suggest the existence of some kind of ubiquitous “seafloor micro-bubbling”.

Implications of seafloor “micro-bubbling”. Interest for Ifremer. So far, gas emissions have been studied at specific spots, in relation to hydrothermal vents at mid-ocean ridges or to “cold seeps” at continental margins and subduction zones. Away from hot or cold seeps, on abyssal plains, the ocean seafloor is usually considered as “inert”. This could simply result from our lack of knowledge. In an attempt to explain why chemosynthetic ecosystems are distributed worldwide in fragmented habitats harbouring seemingly highly specialized communities, [*Teixera et al, 2013*] note that « *the prevailing lack of knowledge on the ocean seabed, apart from emblematic ecosystems (chemosynthetic ecosystems, coral reefs or seamounts), [...] might hide wider distributions in overlooked parts of the deep sea* ».

Let us here assume that background SDEs are related to micro-bubbling (possibly related to biological activity near the seabed) and that background SDEs: 1) occur everywhere at depths < 2000 m (which represent 45% of the ocean floor surface) 2) occur at a minimum rate of 100 SDEs/day ; 3) are distributed as one source every 10 m² ; 4) are related to the collapse of cylinders of height L > 10 cm and radius r >

2.5 mm. Then the volume of gas (V) produced by gas emissions from the seafloor is: $V = 345 \times 10^{12} \times 0,45 \times 10^{-1} \times \pi \times (2,5 \times 10^{-3})^2 \times 10^{-1} \times 10^2 \times 365 = 1,1 \times 10^{12}$ m³/year. Assuming that the gas is either methane or carbon dioxide and that the conversion from volume to mass is made at atmospheric temperature, then the mass of C injected as gas emissions from the ocean seafloor is of the order of ~ 1 Giga-ton (Gt) / year. As a matter of comparison, this is much larger than the total amount from methane emissions from cold seeps (estimated to be of 0.02 Gt/y by [Boetjius and Wenzhöfer, 2013]); and of the same order of magnitude than the carbon uptake at the ocean/atmosphere interface (~ 2.5 ±Gt/y after [Le Quéré et al, 2015]).

Proposal objective. All of the above is based on the hypothesis that SDEs are related to gas emissions from the seafloor. If this hypothesis is true, then OBS could be a powerful tool to study micro-bubbling phenomena from the seabed. **The objective of the present proposal is thus to tentatively test the hypothesis that SDEs are actually produced by gas related processes.**

II. The MARSITE 2014 experiment.

Exploratory surveys, conducted in 2009 and 2011 respectively, to study the temporal variations of gas emissions from the Marmara seafloor, along the North Anatolian Fault zone (e. g. [Leblond et al, 2013], [Bayrakci et al, 2014]), using the acoustic bubble detector (BOB), a standalone acoustic module developed by IFREMER allowing the horizontal insonification of the surrounding water column at the seafloor within a volume defined by an angular sector of 7°.

Based on the knowledge acquired in 2009 and 2011, a third exploratory experiment was conducted in the Sea of Marmara, during MARSITECRUISE of *R/V Pourquoi pas?* to decipher the origin of SDEs. Gas emission sources were first identified within the fault zone using the shipboard, multibeam echosounder system RESON 7150 (Figure 4). Then, the acoustic bubble detector (BOB) was deployed with *ROV/Victor* on the seafloor, along with an ADCP current meter and 2 OBSs (see experimental lay-out, Fig. 3), in order to monitor the temporal variability of these sources for a duration of 11 days, from 4 to 15 november 2014.

The acoustic data recorded by BOB are displayed as “echograms” (Fig. 4), which characterize the back-scattered signals within an angular sector of 7°. Echograms represent the volume back-scattering strength (Sv), e.g. the logarithmic expression (in dB) of the volume backscattering coefficient (sv) which is a summation of the contribution from all targets within the sampling volume (see [Leblond et al. 2014]). The x-axis on echograms represents time, the y-axis is the horizontal distance from BOB.

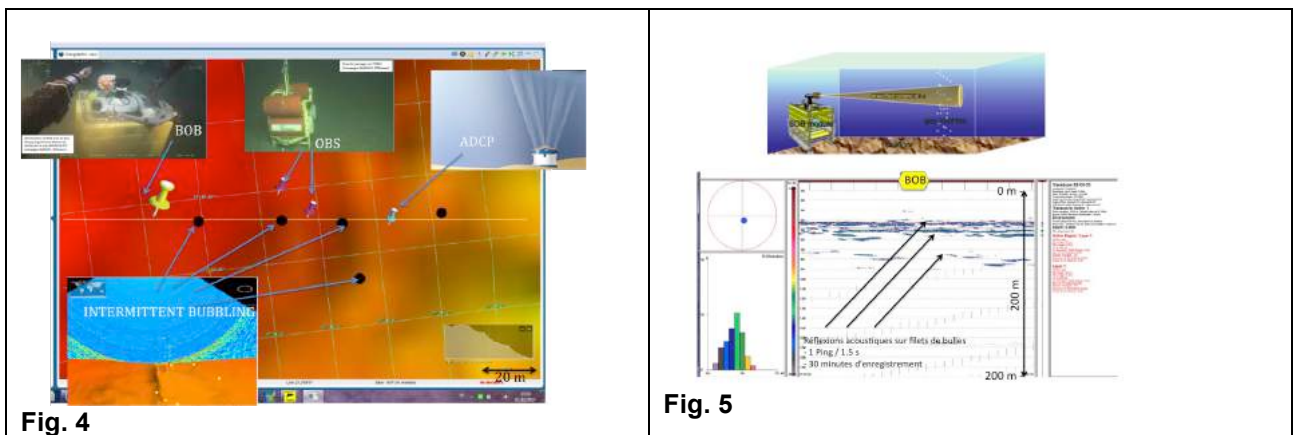
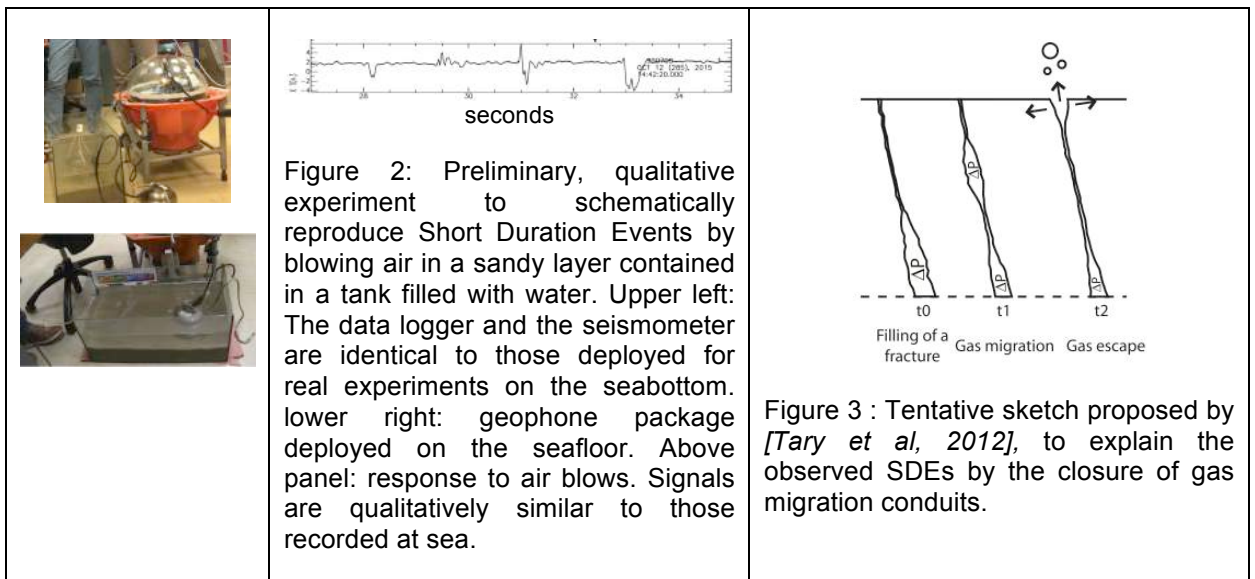
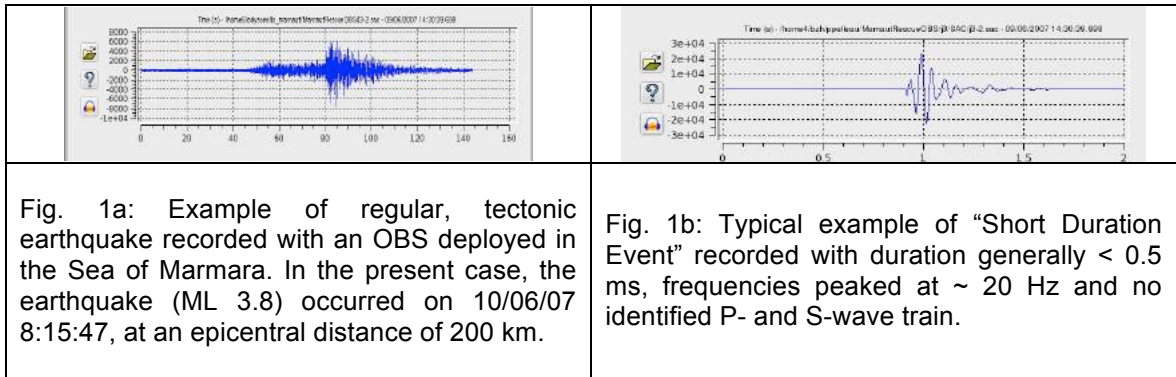
III. Work Proposed and agenda

The work proposed aims at the interpretation and modelling of the MARSITE 2014 data, in order to describe and understand the relations between SDEs and gas bubbling from the seafloor. The work will be organized in different phases, as listed below:

- **Bubble detection and acoustic data analysis (Months 1-6).** Objective: to finalize the processing of the acoustic data along with the ADCP, in order to produce echograms useable for scientific interpretation.
- **Estimation of gas volumetric relative flow rates (Months 5-12).** Objective: to study the temporal variability of gas emissions, the volume of gas and the bubble size from individual sources, using the methods developed at Ifremer (Leblond et al [2013]), after correction from current effect using ADCP data.
- **SDE processing (Months 12-14).** Objective: to characterize SDEs (occurrence, amplitude, frequency, waveform). The algorithms developed by Bayrakci et al [2014] and Casellato [2014] will be used and qualitative correlations will be proposed between SDE occurrence and gas bubbling in order to prepare the modelling phase.
- **SDE modelling (Months 15-28).** Objective: To find quantitative correlations between SDE characteristics and bubbling. The modelling phase will be guided by the work carried out by Bernard Boudreau and his group at Dalhousie University, on the physics of bubbles in surficial, soft, cohesive sediments (e.g. Boudreau, [2012], Algar et al [2011]). During months 17-18, analogical modelling will be performed at ENS Lyon with Valérie Vidal. The numerical modelling will be carried out during months 18-27. Collaboration with Bernard Boudreau will be sought. Eventually the modelling of seismic wave propagation will be performed during month 28, following the approach of Tary et al [2012].

Interpretation of results and PhD writing (Months 29-36).

FIGURES



References:

- Algar, C.K., Boudreau, B.P., Barry, M.A., (2011). Release of multiple bubbles from cohesive sediments. *Geophysical Research Letters* 38, L08606. <http://dx.doi.org/10.1029/2011GL046870>.
- Bayrakci G., et al, (2014), Acoustic monitoring of gas emissions from the sea floor. Part II : Characterization of gas related processes in shallow sediments, based on the combined interpretation of acoustic and seismological datasets, *Marine Geophysical Researches*, doi:10.1007/s11001-014-9227-7, 2014
- Boetius A. and Wenzhöfer, F., (2013), Seafloor oxygen consumption fuelled by methane from cold seeps, *Nature Geosci.*, 6, 725-734, 2013
- Boudreau, P., (2012), The physics of bubbles in surficial, soft, cohesive sediments, *Marine Pet. Geol.*, **38**, 1-18
- Bourry, C., et al, (2009). Free gas and gas hydrates from the Sea of Marmara, Turkey: Chemical and structural characterization. *Chem. Geol.*, doi:10.1016/j.chemgeo.2009.03.007
- Caselatto, A., (2014), Relations between gas emissions and seismicity within the Sea of Marmara, Rapport de fin d'études d'ingénieur, ENSTA-Bretagne / Mémoire de Stage de Master-2, Université de Bretagne Occidentale
- Dupré S., et al, (2015), Tectonic and sedimentary controls for widespread gas emissions in the Sea of Marmara, Results from systematic, ship-borne multibeam echosounder water column imageries, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1002/2014JB011617
- Embricco, D., et al, (2013), Monitoring of gas and seismic energy release by multiparametric benthic observatory along the North Anatolian Fault in the Sea of Marmara (NW Turkey), *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1093/gji/ggt436
- Géli, L., et al, (2008). Gas emissions and active tectonics within the submerged section of the North Anatolian Fault zone in the Sea of Marmara. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **274(1-2)**: 34-39
- Leblond, I., Scalabrin, C., Berger, L., (2014), Acoustic monitoring of gas emissions from the seafloor. Part I: quantifying the volumetric flow of bubbles, *Mar Geophys Res* **35**: 191. doi:10.1007/s11001-014-9223-y
- Scalabrin, C., (2015), Campagne MARSITE du N/O Pourquoi pas?: compte-rendu du dispositif expérimental BOB, *Rapport Interne Ifremer*
- Tary, J.-B., Géli, L., Guennou, C., Henry, P., Sultan, N., Cagatay, N., Vidal, V., (2012), Microevents produced by gas migration and expulsion at the seabed: a study based on sea bottom recordings from the Sea of Marmara, *Geophysical J. International*, doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05533.x
- Teixeira, S., et al, (2013), High connectivity across the fragmented chemosynthetic ecosystems of the deep Atlantic Equatorial Belt: efficient dispersal mechanisms or questionable endemism?, *Molecular Ecology*, **22**, 4663–4680, doi: 10.1111/mec.12419

3. ENCADREMENT SCIENTIFIQUE

(A rédiger par les responsables qui s'engagent personnellement à diriger la thèse)

3.1. Proposant du sujet / responsable scientifique de la thèse :
Directeur de la thèse

- Nom, prénom : Géli, Louis
- Fonction et spécialité à l'Ifremer : Cadre de recherche
- Diplôme le plus élevé obtenu : HDR
- Centre Ifremer de : Brest
- Département : REM/GM
- Unité de recherche/Laboratoire : LAD

Tél. : 0298224227

Mel : geli@ifremer.fr

3.2. Expérience d'encadrements d'étudiants :

- Nom des doctorants dirigés antérieurement (*bourses Ifremer et autres*) sur les 7 dernières années; Sujet et date de soutenance de thèse; Situation professionnelle actuelle (*si connue*) :

1. Julien Collot,

- Titre de la thèse : « Evolution géodynamique du domaine offshore de la Nouvelle Calédonie et de ses extensions vers la Nouvelle Zélande »
- Bourse : Ifremer et ADECAL (Agence de Développement de la Nouvelle Calédonie)
- Date de soutenance le 27 mars 2009
- Situation professionnelle : géologue au Service Géologique de Nouvelle Calédonie

2. Jean-Baptiste Tary,

- Titre de la thèse : « Relations entre fluides et sismicité dans le domaine sous-marin à partir de sismographes de fond de mer : étude de cas en Mer de Marmara et Application au Delta du Niger »
- Bourse : Ifremer et TOTAL
- Date de soutenance le 15 mars 2011
- Situation professionnelle : professeur assistant (permanent) à l'Université de Colombie (Bogota)

3. Céline Grall

- Titre de la thèse : « La Faille Nord Anatolienne dans sa portion immergée en mer de Marmara : Evolution du réseau de failles et migration de fluides »
- Bourse : Ifremer et CNRS
- Date de soutenance le 28 mars 2013
- Situation professionnelle : assistante de recherche au Lamont Doherty Earth Observatory, New-York

4. Evangelia Batsi,

- Titre de la thèse : « Signaux sismiques et asismiques en Mer de Marmara »
- Bourse : Ifremer et ARED
- Date de début de thèse : 1^{er} octobre 2014
- Date prévisionnelle de soutenance : décembre 2017

Nom et signature du responsable scientifique



LOUIS GELI

3.3. Co-Directeur de la thèse

- **Nom, prénom** : Scalabrin, Carla
- **Fonction et spécialité** : Cadre de Recherche
- **Diplôme (HDR ou Doctorat d'Etat)** :
- **Ecole doctorale de rattachement** : EDSM
- Pour le Directeur de thèse de l'Ifremer, préciser :***
- **Centre Ifremer de** : Brest
- **Département** : REM/GM
- **Unité de recherche/Laboratoire**: LCG
- **Tél.** : 02 98 22 46 18

Mel : Carla.Scalabrin@ifremer.fr

3.4. Avis concertés des responsables d'accueil (Unité et Laboratoire/Service Ifremer) :

- Intitulé du laboratoire ou de l'unité : LAD

- Nom du responsable de laboratoire ou d'unité : Bruno Marsset

- Centre Ifremer de : Brest

- Tél. : 02 98 22 41 28

Mel : Bruno.Marsset@ifremer.fr

- Nom de la secrétaire : Alison Chalm

Tél. secrétariat : 02 98 22 42 24

- Intitulé du département : GM

- Nom du responsable de département : Nabil Sultan

- Centre Ifremer de : Brest

- Tél. : 02 98 22 42 59

Mel : Nabil.Sultan@ifremer.fr

- Nom de la secrétaire : Corinne Tarditi

Tél. secrétariat : 02 98 22 42 28

- **Expérience acquise par le laboratoire ou l'unité d'accueil :**

GM a une expérience unique au niveau international dans le domaine de la détection acoustique des bulles en fond de mer (Carla Scalabrin).

Par ailleurs, la recherche sur les signaux de courte durée enregistrés par les sismographes de fond de mer a été initiée par Ifremer/GM (thèse de JB Tary). A notre connaissance GM est en avance sur ce type de recherche ; il n'y a pas de laboratoire concurrent, hormis chez nos collègues de l'Université de Taiwan.

- **Moyens nécessaires et disponibles pour la réalisation du travail :**

GM fournira au candidat l'espace de travail (bureau, avec téléphone et ordinateur) et tous les moyens nécessaires à la réalisation du travail.

- **Période d'accueil envisagée :** Toute la durée de la thèse, hormis les périodes passées par l'étudiant à l'ENS Lyon (2 à 3 mois) et à l'Université de Dalhousie (2 à 3 mois)

- **Avis concertés des responsables de l'unité et du laboratoire/service d'accueil :**

qui s'engagent à accueillir le candidat au cas où une bourse lui serait accordée et à lui fournir les moyens matériels nécessaires à la réalisation du projet proposé.

Nom et signature du responsable de l'unité de recherche et du laboratoire/service d'accueil

3.5. Avis d'autre(s) unité(s) d'accueil (universités, CNRS, autres organismes...) :

Intitulé 1 : Laboratoire de Physique, ENS de Lyon

- **Nom du responsable** : Thierry Dauxois

- **Adresse** : 46 Allée d'Italie, 69364 Lyon cedex 07

Tél. : 04-72-72-81-42

Mel : thierry.dauxois@ens-lyon.fr

- **Nom de la secrétaire** : Nadine Clervaux

Tél. secrétariat : 04-72-72-84-67

- Expérience acquise par cette unité d'accueil :

L'équipe « Matière et Complexité » du Laboratoire de Physique à l'ENS de Lyon compte plusieurs spécialistes des milieux granulaires, secs ou immergés. Valérie Vidal, chercheuse CNRS qui accueillera le doctorant pour réaliser des expériences analogiques, compte parmi ses thématiques de recherche principales l'étude expérimentale de la dynamique de remontée de gaz dans un milieu granulaire immergé. Ces compétences serviront à proposer au doctorant la réalisation d'expériences analogiques « modèles » qui permettront de mieux comprendre les mécanismes en jeu lors du bullage de gaz à travers une couche de sédiments.

- Moyens nécessaires et disponibles pour la réalisation du travail :

Plusieurs dispositifs expérimentaux sont déjà montés dans l'unité d'accueil, et permettront une mise en place rapide des expériences de bullage à travers un milieu granulaire immergé. Le Laboratoire de Physique à l'ENS de Lyon fournira au candidat l'espace de travail et les outils nécessaires (bureau, ordinateur) en plus des moyens expérimentaux déjà présents.

- **Période d'accueil envisagée** : 2 à 3 mois pour des expériences de modélisation analogique sous la supervision de Valérie Vidal.

- Avis du responsable de l'unité d'accueil :

qui s'engage à accueillir le candidat au cas où une bourse lui serait accordée et à lui fournir les moyens matériels nécessaires à la réalisation du projet proposé.

Avis très favorable

Nom et signature du responsable de l'unité d'accueil extérieure à l'Ifremer

Thierry DAUXOIS



3.6. Avis du responsable de projet (si la thèse se déroule dans le cadre d'un projet contractualisé) :

SANS OBJET

3.7. Avis du Directeur de Département:

Nom et signature du Directeur de Département