



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2017

Sujet de thèse DGA – IPGP/Ecole Navale 2017

## Détection et suivi des navires par des observations sismologiques et hydroacoustiques de fond de mer dans la gamme UBF [1-50 Hz]. Application au sud-ouest de l'Océan Indien.

Directeur : **Guilhem BARRUOL** (DR CNRS, IPG Paris), barruol@ipgp.fr

Co-directeur : **Abdel BOUDRAA** (MdC HdR, Ecole Navale), boudra@ecole-navale.fr

Equipes d'accueil : **IPGP**- Equipe sismologie (UMR7154), Paris

**IRENav**- groupe MOTIM (EA 3634), Brest

Financement : **50% DGA (sujet déjà retenu et financé) + 50% ED IPGP**

Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : Offres\_de\_thèse  
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale

### Résumé du sujet

Nous proposons d'analyser le bruit des navires enregistré par un réseau de 57 capteurs sismologiques et hydroacoustiques de fond de mer déployé en 2012-2013 dans l'océan Indien, dans une région de fort trafic maritime. Ces données offrent l'unique opportunité de développer des méthodes pour :

- i) la **détection** et la trajectographie des navires par des capteurs passifs et isolés en fond de mer,
- ii) le **suivi de navires** au-dessus d'un réseau sismologique de fond de mer,
- iii) l'utilisation du bruit des navires pour déterminer l'**orientation** et la localisation précise des stations.

### Descriptif

La sismologie de fond de mer est largement utilisée pour investiguer les structures profondes de la Terre par l'enregistrement passif de la sismicité. Les instruments utilisés (**OBS** ≡ Ocean Bottom Seismometers) enregistrent le mouvement du sol selon **3 composantes** dans des gammes de fréquences de 100 Hz à plusieurs centaines de secondes de période. Ces stations enregistrent les tremblements de terre dans la gamme de période de 1 à 300 s, le bruit microsismique lié à l'activité de l'océan dans la gamme 3 à 20 s de période, mais également le **bruit des navires** dans la gamme de **1 à 50 Hz**, qui correspond aux UBF (ultra basses fréquences) pour les acousticiens mais aux hautes fréquences pour les sismologues, et à ce titre peu exploitées.

L'atout fondamental des **3 composantes** des capteurs OBS, est leur potentiel pour le **suivi de sources UBF** par l'analyse de la **polarisation** du signal. Une station hydroacoustique mesure en effet une valeur scalaire de la pression et ne permet pas d'accéder à la localisation et au suivi de sources de bruits, sauf via la mise en œuvre d'antennes. Une station sismologique a l'avantage de mesurer le déplacement du sol selon les 3 directions de l'espace et effectue donc une mesure « vectorielle », qui permet de déterminer l'**azimut et l'angle d'incidence** d'une onde arrivant à la station. Nous proposons de tirer bénéfice de ces propriétés pour localiser et suivre les sources de bruits depuis les grands fonds océaniques (3 à 5000 m de fond), champ d'exploration largement vierge avec des applications comme le suivi des navires, mais également la pollution sonore des océans, la détection de pêche illégale, la détection et le suivi de baleines.

Le bruit des navires peut par ailleurs être d'une aide précieuse pour les sismologues marins pour réorienter les OBS qu'ils déploient. Les OBS sont en effet largués depuis un navire et effectuent une descente passive vers le fond où ils orientent la composante verticale selon la gravité terrestre, mais les deux

composantes horizontales fonctionnent avec des orientations inconnues. Toute expérience de sismologie de fond de mer nécessite donc un premier travail pour retrouver *a posteriori* les **orientations géographiques des composantes horizontales**. Nous avons récemment montré la faisabilité d'utiliser le bruit des navires pour déterminer avec précision l'orientation des capteurs (Barruol et al., 2016; Geay and Bouillon, 2016), mais également leur position au fond, plus précise que le point GPS de largage en surface, travail que nous proposons de poursuivre et d'approfondir dans ce sujet de thèse.

## Contexte

Le projet franco-allemand **RHUM-RUM** (Réunion Hotspot and Upper Mantle – Réunions Unterer Mantel, <http://www.rhum-rum.net> ) porté par l'Institut de Physique du Globe de Paris (PI G. Barruol) et l'Université de Munich (PI K. Sigloch) durant la période 2012-2016 a permis le déploiement de **57 stations** sismologiques et hydroacoustiques de fond de mer (OBS) durant la période octobre 2012 - décembre 2013 sur les fonds océaniques du sud-ouest de l'océan Indien.

Cette région est située sur un axe important de transit maritime entre le SE asiatique et l'océan Atlantique Sud. De nombreux navires ont traversé quotidiennement le réseau durant son année de fonctionnement, offrant une opportunité unique d'étudier leur bruit rayonné sur les stations sismologiques installées en fond de mer à des profondeurs de 3000 à 5000 m et dans la gamme UBF [1-50 Hz].

## Objectifs de la thèse

En combinant l'ensemble des **données sismologiques et hydroacoustiques** enregistrées dans le sud-ouest de l'océan Indien ainsi que les **positions AIS** des navires, le sujet de thèse propose de lever les verrous scientifiques concernant :

- i) La **détection et le suivi** de navires par **une station OBS** dans la gamme **UBF**,
- ii) Le **suivi** de navires à travers **un réseau sismologique** de fond de mer,
- iii) L'utilisation du bruit des navires pour déterminer **l'orientation et la localisation** précise des OBS.

Les données sismologiques seront analysées par des outils temps-fréquence (TF). On s'attachera à choisir la représentation TF qui convient le mieux aux données, en termes de résolution, d'interférences et de réglage de paramètres. L'effet **Doppler**, très bien visible dans les données sera pris en compte. Pour la localisation et le suivi des sources, on fera appel au calcul des TDOA et le filtrage de Kalman. On explorera en termes de détection, l'apport des méthodes récentes basées sur les opérateurs d'énergie. Les approches de traitement d'antennes seront également explorées. On s'attachera à exploiter la **polarisation** des signaux du bruit des navires pour localiser et suivre les sources. Des travaux exploratoires ont mis en lumière la qualité et l'énorme potentiel de ces données et ont permis d'adapter et de développer des outils d'analyse de **polarisation** des signaux enregistrés sur les sismomètres.

## Données disponibles

Ce sujet de thèse exploitera les données sismologiques et hydroacoustiques de fond de mer enregistrées dans l'océan indien durant l'expérience RHUM-RUM, données déjà acquises, validées, et disponibles en ligne dans le système d'archivage RESIF <http://seismology.resif.fr>

## Localisation de la thèse

La thèse se déroulera dans l'équipe de sismologie de l'Institut de Physique du Globe de Paris et au laboratoire d'acoustique sous-marine de l'IRENav (EA 3634) à Brest. Du fait du positionnement de ce sujet à la frontière entre deux disciplines (acoustique sous-marine et sismologie), il sera nécessaire que le doctorant effectue des séjours dans les deux équipes à un rythme qui sera défini avec les encadrants.

## Collaborations

Le doctorant sera intégré au projet franco-allemand RHUM-RUM et pourra nourrir sa recherche au contact des autres partenaires du projet, et en particulier :

- les groupes de sismologie de Oxford et Munich (K. Sigloch et H. Igel) qui ont l'expertise en imagerie et en propagation des ondes,
- le groupe de sismologie de l'IPGP qui a l'expertise dans l'analyse du bruit microsismique dans les océans (E. Stutzmann) mais également dans l'aspect instrumental des OBS (W. Crawford) et les mesures de polarisations (F.R. Fontaine).

## Profil recherché

Le sujet couvrant acoustique sous-marine et sismologie, le doctorant pourra avoir une formation en géophysique ou bien en acoustique (Master ou école d'Ingénieur) et aura des compétences en traitement du signal.

Contacts : envoyer CV + Notes dernières années à :

Guilhem Barruol (barruol@ipgp.fr)

Abdel Boudraa (boudra@ecole-navale.fr)

Contraintes : Un dossier est à remplir avant le 20/04 pour bénéficier du soutien de la DGA.

Nationalité européenne requise pour le financement DGA.