



# ÉCOLE DOCTORALE

## SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

---

### Détection et suivi de grandes baleines par mesures hydroacoustiques et sismologiques. Apport des mesures en fond de mer et dans le canal SOFAR

Directeur : **Crawford Wayne**, (DR CNRS, IPG Paris), [crawford@ipgp.fr](mailto:crawford@ipgp.fr)

Co-directeur : **Barruol Guilhem**, (DR CNRS, IPG Paris), [barruol@ipgp.fr](mailto:barruol@ipgp.fr)

Co-encadrement : **Samaran Flore**, (E/C, ENSTA Bretagne, CNRS LAB-STICC UMR 6285 ),  
[flore.samaran@ensta-bretagne.fr](mailto:flore.samaran@ensta-bretagne.fr)

Co-encadrement : **Royer Jean-Yves**, (DR CNRS-UBO-IUEM Géosciences Océan), [jean-yves.royer@univ-brest.fr](mailto:jean-yves.royer@univ-brest.fr)

Equipe d'accueil : **IPGP- Géosciences Marines**

Financement : Auto-financement

---

#### Contexte

La détection, l'identification et le suivi des populations de grands cétacés est un défi relevé par les biologistes et écologues marins en charge de la surveillance des espèces protégées et/ou en voie de disparition. Cette tâche nécessite des moyens importants pour assurer un suivi à l'échelle des bassins océaniques. De par son efficacité, le suivi par acoustique sous-marine passive a été largement utilisé depuis plusieurs décennies pour acquérir de la connaissance sur les baleines, en détectant leurs émissions sonores qui peuvent se propager sur de grandes distances. Ces dernières années, les stations sismologiques de fond de mer (OBS) ont démontré à leur tour leur potentiel pour détecter et suivre les sources acoustiques.

Des capteurs hydroacoustiques immergés dans la colonne d'eau et déployés sur plusieurs sites permettent d'assurer un suivi saisonnier des espèces et d'observer leur déplacement à l'échelle d'un bassin océanique (e.g. Stafford et al. 1999, 2001, Thomish et al. 2016, Leroy et al. 2016, 2018a, Torterotot et al. 2020). Rarement déployés dans un unique but de suivi des populations de baleines,

ces observatoires sont généralement équipés d'un unique capteur acoustique omnidirectionnel (hydrophone) dont l'aire d'écoute reste mal définie. De cet unique capteur, il est difficile de déduire des informations de distance de détection et d'étudier le comportement d'une baleine à l'échelle locale. Cette notion de distance de détection ou encore d'aire d'écoute est pourtant cruciale pour évaluer correctement les aires de répartition et les densités de populations sur la base des vocalises détectées. Grâce à leurs enregistrements pluri-composantes (3 composantes sismologiques et 1 composante hydroacoustique), les OBS ont montré leur capacité à localiser et suivre les navires, à partir d'une station isolée (thèse A. Trabattoni, IPGP-DGA 2017-2021) et les méthodes développées pourraient être appliquées à la détection et au suivi de plusieurs espèces de grandes baleines (mysticètes).

### **Objectifs de la thèse:**

- Adapter les développements méthodologiques effectués sur le bruit des navires pour estimer les distances de détection et la localisation de sources bioacoustiques par des OBS ; mettre au point une méthode de localisation mono-capteur combinant analyse cepstrale et polarisation (Trabattoni et al., 2019, 2021) ; permettre une meilleure discrimination des espèces et une évaluation du nombre d'individus présents.
- Étendre les méthodes développées sur les OBS aux hydrophones localisés dans la colonne d'eau pour estimer les distances source / capteur. Ce travail se fera dans la continuité des études utilisant les données hydroacoustiques de l'océan Indien (Royer et al., 2015).
- Quantifier les niveaux d'émission à la source des vocalises à partir des distances estimées. Cette information permettrait d'estimer une densité de détection autour des capteurs pour différentes espèces de baleines et éventuellement de mesurer l'effet de la pollution sonore sur leur activité vocale. Ces mesures seront réalisées sur plusieurs individus de chaque espèce et à partir des deux types de capteurs.
- Évaluer la complémentarité des capteurs hydroacoustiques et des sismomètres de fond de mer pour le suivi des sources acoustiques, à partir d'enregistrements simultanés des deux types de réseaux dans une même région.
- Évaluer de façon exploratoire comment les signaux bioacoustiques peuvent être utilisés pour caractériser la structure des fonds marins sous un OBS (par ex. Kuna et Nabelek, 2021) ou la structure de la colonne d'eau au-dessus de l'instrument.

### **Données:**

Ce travail utilisera les nombreuses données existantes dans les différents océans de la planète, en commençant par l'océan Indien où l'on dispose de données hydroacoustiques et sismologiques de qualité dans la même région:

### **Océan Indien:**

- L'observatoire OHA-SIS-BIO (Observatoire HydroAcoustique pour la SISmologie et la BIOlogie) comporte une dizaine de capteurs hydro-acoustiques déployés dans le canal SOFAR dans le sud de l'Océan Indien depuis 2010. Ce réseau a été mis à profit dans plusieurs études relatives à l'étude des vocalises de baleines et au suivi saisonnier des populations (e.g. Leroy et al., 2018b, Torterotot et al 2020...).

- Le projet RHUM-RUM a déployé un réseau de 57 OBS durant une année (2012-2013) dans l'Océan Indien tropical afin d'étudier la structure du manteau sous l'île de la Réunion. Ces OBS ont permis de démontrer que les observations de fond de mer pouvaient être mises à profit à l'échelle du réseau (2000 x 2000 km<sup>2</sup>) pour l'étude des déplacements saisonniers des populations de baleines, et pour suivre localement des individus à partir de méthodes de localisation multi-capteurs (Dréo et al., 2019, Bouffaut et al., 2018).

### Canal du Mozambique:

- Les récents déploiements d'OBS et de stations hydroacoustiques à proximité de Mayotte (projet REVOSIMA) dédiés à la surveillance sismo-volcanique pourront être exploités.

### Atlantique:

- Les données de l'observatoire EMSO-MOMAR permettront de tester l'applicabilité des méthodes dans un autre océan et d'aborder d'autres populations de baleines.

### Méditerranée:

- Les OBS déployés en mer Ligure dans le cadre du projet AlpArray permettront de détecter les baleines dans des zones à fort trafic maritime.

### **Références:**

- Bouffaut, L., Dreó, R., G., Labat, V., Boudraa, A.O. and Barruol, G., 2018. Passive stochastic matched filter for Antarctic blue whale call detection. *Journal of the Acoustical Society of America*, 144: 955-965, doi:10.1121/1.5050520.
- Dréo, R., Bouffaut, L., Leroy, E., Barruol, G. and Samaran, F., 2019. Baleen Whale distribution and seasonal occurrence Revealed By An Ocean Bottom Seismometer Network In The Western Indian Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 161: 132-144, doi:10.1016/j.dsr2.2018.04.005.
- Kuna, V.M. and Nábělek, J.L., 2021. Seismic crustal imaging using fin whale songs. *Science*, 371(6530): 731--735, doi:10.1126/science.abf3962.
- Leroy, E.C., Royer, J.-Y., Bonnel, J. and Samaran, F., 2018. Long-Term and Seasonal Changes of Large Whale Call Frequency in the Southern Indian Ocean. *J. Geophys. Res.*, 123, doi:10.1029/2018JC014352.
- Leroy, E.C., Samaran, F., Bonnel, J., Royer, J.-Y., 2016. Seasonal and diel vocalization patterns of Antarctic blue whale (*Balaenoptera musculus intermedia*) in the Southern Indian Ocean: a multi-year and multi-site study. *PLoS One* 11 (11).
- Leroy, E.C., Samaran, F., Stafford, K.M., Bonnel, J., Royer, J.-y., 2018b. Broad-scale study of the seasonal and geographic occurrence of blue and fin whales in the Southern Indian Ocean, *Endangered Species Research*, 37, 289-300, doi: 10.3354/esr00927.
- Royer, J.Y., Chateau, R., Dziak, R.P. and Bohnenstiehl, D.R., 2015. Seafloor seismicity, Antarctic ice-sounds, cetacean vocalizations and long-term ambient sound in the Indian Ocean basin. *Geophys. J. Int.*, 202: 748-762, doi:10.1093/gji/ggv178.

- Samaran, F., Stafford, K.M., Branch, T.A., Gedamke, J., Royer, J.Y., Dziak, R.P. and Guinet, C., 2013. Seasonal and Geographic Variation of Southern Blue Whale Subspecies in the Indian Ocean. PLoS ONE, 8(8): e71561, doi:10.1371/journal.pone.0071561.
- Stafford, K.M., Nieukirk, S.L., Fox, C.G., 1999. Low-frequency whale sounds recorded on hydrophones moored in the eastern tropical Pacific. J. Acoust. Soc. Am. 106 (6), 3687–3698.
- Stafford, K.M., Nieukirk, S.L., Fox, C.G., 2001. Geographic and seasonal variation of blue whale calls in the North Pacific. J. Cetacean Res. Manag. 3 (1), 65–76.
- Torterotot, M., Samaran, F., Stafford, K.M. & Royer, J.-Y., 2020. Distribution of blue whale populations in the southern Indian Ocean based on a decade of acoustic monitoring, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 179, 104874, doi: 10.1016/j.dsr2.2020.104874.
- Trabattoni, A., 2021. Détection et suivi de navires par des observations sismologiques et hydroacoustiques de fond de mer Doctorat Thesis, Université de Paris, 136 pp.
- Trabattoni, A., Barruol, G., Dreo, R., G., Boudraa, A.O. and Fontaine, F.R., 2020. Orienting and locating OBS from ship noise analysis. Geophys. J. Int., 220: 1774–1790, doi:10.1093/gji/ggz519.
- Thomisch, K., Boebel, O., Clark, C.W., Hagen, W., Spiesecke, S., Zitterbart, D.P., Van Opzeeland, I., 2016. Spatio-temporal patterns in acoustic presence and distribution of Antarctic blue whales *Balaenoptera musculus intermedia* in the Weddell Sea. Endanger. Species Res. 30 (1), 239–253.