

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Formulaire demande de financement : ARED - ISblue - ETABLISSEMENTS - ...  
pour dépôt sur le serveur <https://theses.u-bretagne.fr/sml> au format PDF

### Identification du projet

**Acronyme du projet** (8 caractères *maximum*) : MOSAIQUE

**Intitulé du projet en langue française** : Mesure de la dynamique Océanique Sous-mésoéchelle par géolocalisation AcoustIQUE de flotteurs autonomes

**Intitulé du projet en langue anglaise** : Observing ocean submesoscale dynamics with acoustically geolocalized underwater floats

### Domaine d'innovation stratégique (DIS) du projet

**Cocher le DIS prioritaire** au sein duquel le projet de thèse s'intègre.

- DIS 1 : Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative
  - DIS 2 : Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité
  - DIS 3 : Activités maritimes pour une croissance bleue
  - DIS 4 : Technologies pour la société numérique
  - DIS 5 : Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie
  - DIS 6 : Technologies de pointe pour les applications industrielles
  - DIS 7 : Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement
- Si aucun DIS ne correspond, cocher « Projet Blanc ».
- « Projet Blanc »

**Préciser le sous-domaine correspondant** : liste en dernière page de ce document

**DIS secondaire si nécessaire** : D7A – Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des éco-systèmes et de leurs interactions

### Présentation de l'établissement porteur (bénéficiaire de l'aide régionale)

**Établissement porteur du projet** : UBO

**Ecole Doctorale** : EDSML

## Identification du-de la responsable du projet (futur-e directeur-trice de thèse)

**Nom du laboratoire d'accueil :** Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS)

**Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...) :** UMR 6523

**Directeur du Laboratoire :** Fabrice Ardhuin

**Nom de l'équipe de recherche :** Interactions d'échelles océaniques (IEO)

**Nombre HDR dans le laboratoire :** 13

**Nombre de thèses en cours :** 29

**Nombre de post-docs en cours :** 11

**Nom et prénom du directeur de thèse (HDR), porteur du projet :** Roulet Guillaume (PR UBO)

- **e-mail :** roulet@univ-brest.fr

- **Téléphone :** 02 90 91 55 23

- **Publications récentes du directeur-trice de thèse** (*nb total et 5 références max au cours des 5 dernières années*) :

**total = 19**

1. Vic, C., Gula, J., Roulet, G., and Pradillon, F.. Dispersion of deep-sea hydrothermal vent effluents and larvae by submesoscale and tidal currents. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 133:1–18, Mar 2018. ISSN 0967-0637. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2018.01.001>
2. Cimoli, L., Stegner, A. and Roulet, G. Meanders and eddy formation by a buoyant coastal current flowing over a sloping topography. *Ocean Science*, 13(6):905–923, Nov 2017. ISSN 1812-0792. <http://dx.doi.org/10.5194/os-13-905-2017>
3. Roulet, G. (2017). Une vision énergétique de la turbulence océanique. *Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches UBO*. (pdf)
4. Roulet, G., Molemaker, M. J., Ducouso, N. & Dubos, T. (2017). Compact symmetric Poisson equation discretization for non-hydrostatic sigma coordinates ocean model. *Ocean Modelling*, 118, 107-117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.09.001>
5. Vic, C., Capet, X., Roulet, G., & Carton, X. (2017). Western boundary upwelling dynamics off Oman. *Ocean Dynamics*, 67(5), 585-595.

- **Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)**

(nom des doctorants dirigés et en cours et antérieurement, sur les 6 années passées : sujet, financement, date de soutenance, et situation professionnelle actuelle si connue)

- Clément Vic (financement DGA-Région Bretagne) « Western Boundary Dynamics in the Arabian Sea », soutenue le 12 novembre 2015. Actuellement en postdoc au NOC, Southampton avec A. Naveira Garabato.
- Greace Yustisia Crystle (financement UBO – Région Bretagne) « Mélange et dissipation dans l'océan profond », démarrage au 1er octobre 2018.

**Co-directeur-trice de thèse et co-encadrant scientifique :** Aurélien Ponte (chercheur Ifremer, sans HDR)

- **Laboratoire de recherche co-encadrant** (nom + code U/UMR/USR/EA/JE/...) LOPS - UM6523

- **e-mail :** aurelien.ponte@ifremer.fr

- **Téléphone** : 02 98 22 40 73

- **Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)**

Aucune expérience

## Présentation du projet (en langue française ou anglaise, 2 à 3 pages)

### Résumé du projet :

L'étude des mouvements océaniques de **sous-mésoméchelle (<10km)** est actuellement au cœur d'une intense activité de recherche [Ferrari Science 2011, Callies et al. Nat. Commun. 2015]. Les mouvements à sous-mésoméchelle induisent notamment une circulation verticale intense et contrôlent la déformation, la dispersion et les échanges entre l'océan intérieur et la surface de chaleur, sel, carbone et de nutriments [Omand et al. Science 2015]. D'un point de vue biogéochimique et écosystémique, la sous-mésoméchelle conditionne l'environnement dans lequel la vie prospère au sein de l'océan.

La plupart des travaux ayant démontré l'importance de la sous-mésoméchelle pour le fonctionnement physique et biogéochimique de l'océan se fondent sur des simulations numériques de haute résolution. La **validation de ces résultats numériques** grâce à des observations in situ et satellite reste un enjeu majeur des années à venir. Cet enjeu est tel que des missions satellite soient spécifiquement développées : Sentinel3, SWOT (altimétrie large fauchée, date de lancement en 2021). Ces observations satellite restent toutefois superficielles et ne manifestent qu'indirectement la dynamique océanique intérieure. L'**observation in situ** de la circulation fine échelle est donc nécessaire mais rendue compliquée par la rapidité des processus concernés et notre incapacité à obtenir une **vision synoptique 3D** de la circulation avec les moyens classiques (poissons remorqués, ADCP de coque). Des stratégies expérimentales s'appuyant sur le **déploiement de flotteurs dérivants, bas-coût et géolocalisés acoustiquement** pourraient en revanche permettre une percée en la matière [Jaffe et al. 2016, Figure 1] en complémentarité avec les techniques classiques. La thèse proposée ici va contribuer à l'émergence de ce type de stratégie.

**Les objectifs de la thèse** sont précisément de : 1/ développer des techniques de géolocalisation par acoustique de flotteurs dérivants autonomes (cf Figure 1), quantifier leurs performances ; 2/ quantifier l'apport de ce type de stratégie pour la mesure de la variabilité océanique à sous-mésoméchelle ; 3/ déterminer les configurations de déploiement optimales (nombre de sources acoustiques et de flotteurs, géométrie de déploiement, ...). Pour ce faire, la thèse va reposer sur le développement et l'analyse de simulations numériques couplées d'écoulement océanique et de propagation acoustique.

La géolocalisation aux échelles d'environ 10km et dans les gammes de profondeur pertinentes pour l'étude de la dynamique sous-mésoméchelle (<500m) reste un challenge parce que l'écoulement et les variations hydrographiques associées à cette même dynamique affectent la propagation acoustique (Duda et al. 2014, Ponchart 2018). Une amélioration de la précision de la géolocalisation dans cette gamme d'échelle va nécessiter une prise en compte des variations de célérité associée à la dynamique océanique, variations que l'on cherche précisément à mieux mesurer. Le problème est donc dual et invite à une approche intégrée entre sources d'informations (mesures in situ hydrographique et acoustique, mesures satellites) et connaissance a priori de la dynamique océanique.

### Présentation détaillée du projet :

#### 1 - Hypothèse et questions posées, identification des points de blocages scientifiques

L'hypothèse centrale du projet est qu'une stratégie expérimentale s'appuyant sur la géolocalisation et le suivi de flotteurs dérivants rend possible la cartographie in situ de la circulation océanique de sous-mésoméchelle.

Le développement des outils de géolocalisation et la quantification des incertitudes associées vont poser des questions scientifiques originales concernant l'impact de la circulation océanique de sous-mésoméchelle sur la propagation acoustique sous-marine. Cet impact sera quantifié au cours de la thèse et influera sur le design de la stratégie expérimentale à mettre en œuvre pour capturer la structure de l'écoulement sous-mésoméchelle. En d'autres termes, la question centrale serait ici : quelle est, pour une sélection représentative d'écoulements océaniques, la configuration expérimentale optimale (nombre et distribution de flotteurs et de sources acoustiques, utilisation de sources passives ou tractée, combinaison avec les approches classiques de type poisson-remorqué ainsi qu'avec les mesures satellite) à adopter afin de cartographier correctement l'écoulement océanique ?

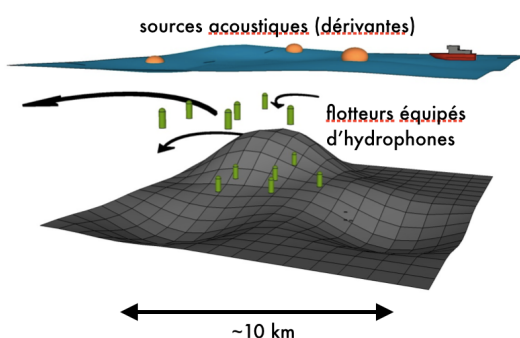


Figure 1. Représentation schématique de la stratégie expérimentale étudiée : lors de campagnes dédiées, des flotteurs autonomes sont déployés en profondeur (<500m) et évoluent au gré des courants. Lors de leurs dérives, les flotteurs enregistrent la température, la pression ainsi que les temps d'arrivée des sons émis par des sources acoustiques flottantes en surface. La position des sources étant connue via GPS, il est possible de trianguler a posteriori l'évolution de la position de chaque flotteur (profondeur connue grâce à la mesure de pression).

La deuxième série de questions posée concerne la quantification de la plus-value scientifique apportée par ce type de stratégie expérimentale : quels sont les processus océaniques capturés ? En plus d'une estimation de la vitesse de l'écoulement ( $u,v,w$ ), nous espérons pouvoir d'accéder à des métriques plus élaborées : dynamique (vorticité, divergence), dispersion, flux, dans quelle mesure est-ce le cas ?

## 2 - Approche méthodologique et techniques envisagées :

La thèse va reposer sur la réalisation et l'analyse de **déploiements synthétiques** du dispositif expérimental d'intérêt (figure 1) dans des simulations numériques couplées de l'écoulement océanique et de propagation acoustique. Ces déploiements *in silico* permettront de varier aisément les configurations de déploiements (nombre de flotteurs, nombre de sources acoustiques ( $>3$ ), conditions de bruits environnemental, ...) et de quantifier la plus-value scientifique du dispositif expérimental pour ces différentes configurations. Le couplage entre les simulations d'écoulement et la propagation acoustique est dit « one-way » car seul l'écoulement influe sur la propagation acoustique. Le couplage est une originalité pour laquelle nous attendons des retombées scientifiques au-delà de la thèse.

Les simulations numériques d'écoulement auront une haute résolution,  $dx=O(100)m$ , et seront potentiellement non-hydrostatique afin de correctement reproduire l'évolution des processus se développant à ces échelles. Ces simulations seront de type réaliste et représentatives de l'écoulement dans plusieurs régions. Ces régions incluront la méditerranée occidentale qui a été sélectionnée pour le déploiement d'un système expérimental pilote en cours de développement à l'Ifremer (LOPS-RDT). La réalisation de ces simulations est une spécialité des encadrants de cette thèse et d'un nombre significatif de chercheurs du LOPS de manière générale.

Les simulations numériques acoustiques consisteront au minimum en du tracé de rayon (code Bellhop). Une expérience sur la mise en œuvre de ces codes a été acquise par les encadrants de thèse lors d'un stage de master 2 (2018). L'expertise acoustique proviendra des collaborations avec le SHOM et l'ISL (voir section 3).

Les simulations numériques seront réalisées grâce au super-calculateur DATAMOR pour lequel les encadrants ont une expertise avancée.

## 3 - Positionnement et environnement scientifique dans le contexte régional, national et international :

L'étude des mouvements océaniques de sous-mésoéchelle ( $<10km$ ) est actuellement au cœur d'une intense activité de recherche au niveau international. Cette activité se traduit concrètement par une multiplication de campagnes expérimentales d'envergure (Iatmix, Carthe, Niskin) visant à mieux caractériser ces processus et leur impact. Une mission satellite (SWOT, projet NASA-CNES, lancement prévu pour 2021) est actuellement en cours de développement afin d'améliorer l'observabilité des processus océaniques de petite échelle dans l'océan.

Lors des 15 dernières années, le Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (historiquement du LPO-LOS) a contribué de manière significative à cet effort de recherche au travers des travaux de modélisations et d'observations spatiales. Ce projet de thèse va renforcer la place sur la scène internationale du laboratoire, de la région et des laboratoires français sur ces thématiques en levant le verrou associé à l'observation *in situ* de ces processus et en développant un travail de recherche innovant à **l'interface entre l'océanographie physique et l'acoustique sous-marine**.

## 4 - Pour la région Bretagne: adéquation du projet au regard du DIS de rattachement (et/ou du DIS secondaire).

Ce sujet de thèse vise à améliorer l'observabilité de la circulation océanique notamment à sous-mésoéchelle ( $<O(10km)$ ). L'impact de cette circulation non-seulement pour le fonctionnement de physique globale de l'océan mais également pour la biogéochimie et la vie marine de manière générale légitime à notre sens la pertinence du sujet pour le DIS « Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement » et le DIS secondaire « D7A – Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des éco-systèmes et de leurs interactions ».

5 - Si « projet blanc » (hors DIS), préciser les raisons de ce choix :

6 - Si lien avec projet ERC, préciser lequel :

7 - Autres informations utiles (CPER, FEDER, concernant la politique régionale) :

Le CPER O3DO a contribué au projet COGNAC dans lequel s'inscrit la thèse au travers de l'achat d'une source acoustique. Cette source a permis d'obtenir des résultats positifs au sujet de notre capacité à estimer des distances

source-récepteur à partir de temps de trajet acoustique. L'estimation de ces distances est une 1<sup>ère</sup> étape vers la géolocalisation des flotteurs.

8 - Le cas échéant, précisez le lien du sujet avec les thèmes ISblue

- X la régulation du climat par l'océan
- les interactions entre la Terre et l'océan
- la durabilité des systèmes côtiers
- l'océan vivant et les services écosystémiques
- X les systèmes d'observation à long terme

Le cas échéant (si financement ISblue demandé): en regard de la formation par la recherche du futur docteur, perspectives d'insertion professionnelle dans le milieu académique et non académique

Le futur docteur développera une expertise scientifique et technique à l'interface entre l'océanographie physique et l'acoustique sous-marine. Le sujet scientifique abordé lors de la thèse étant à la pointe des questions scientifiques qui se posent dans chacun de ces deux domaines, le futur docteur pourra naturellement prétendre à un postdoctorat et une carrière scientifique dans l'un de ces domaines ou leur interface. De par la pertinence du sujet pour les problématiques de positionnement sous-marin par acoustique, ce type d'expertise devrait également intéresser les grands groupes industriels dans le domaine de l'offshore et de la défense.

9 - Contexte scientifique et partenarial : éléments généraux

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du **projet COGNAC** (mesure de la Circulation Océanique fine échelle par Géolocalisation Acoustique de flotteurs dérivants autonomes) développé depuis 2016 au sein du LOPS avec des partenaires régionaux : l'Ifremer (LOPS/RDT) et l'ENSTA (département de robotique) pour le développement technologique, le SHOM pour l'acoustique sous-marine (Y. Stéphan, B. Kinba), le LEMAR pour les aspects biogéochimiques (P. Rivière, F. Chenillat). Ces collaborations se sont articulées autour de stages (projet de fin d'étude, master 2) qui ont portés sur : le développement du design mécanique des flotteurs (P. Troadec), l'adaptation d'une électronique existante (E. Argouarch), l'établissement d'un budget d'erreur sur la géolocalisation (M. Ponchart). Les **développements technologiques** autour des flotteurs ont été portés au sein de l'équipe technique du LOPS et de RDT, et, ont été rendus possibles par l'obtention de financement interne LOPS ainsi que d'un projet **LabexMer «Projets Emergence/Interaxe/»**. Ces collaborations devraient s'élargir au niveau national avec le démarrage d'une collaboration avec l'Institut Saint-Louis (ISL) dans le cadre de la soumission d'une **ANR Astrid** en mars 2019. L'ISL va apporter une expertise de pointe sur la propagation acoustique aérienne et la géolocalisation dans un réseau de récepteur distribué vers le domaine sous-marin.

D'un point de vue international le projet fait écho à deux autres projets en cours de développement, notamment du côté américain (Jaffe and Franks à la Scripps, Ommand et Rossby à Woods Hole). Ces projets visent à développer des stratégies expérimentales similaires mais appliquées à des problématiques scientifiques et des échelles sensiblement différentes et donc avec des choix technologiques alternatifs. L'ensemble de ces projets sont in fine complémentaires et pourraient mener à des projets internationaux de campagne expérimentale. Un dialogue entre les trois groupes a été établi pour ce faire et sera avivé par la thèse proposée.

10 - Si projet de co-tutelle, internationale, précisez le pays et l'établissement

11 - Financements Région Bretagne acquis par le porteur au cours des 3 dernières années (titre, montant)

Demi bourse ARED pour la thèse « ABYSSAL » de Greace Crystle, 18 mois de postdoc (dispositif SAD volet 2) pour Noé Lahaye pour le projet « TADOMA » pour un montant de 80k€.

12 - Si projet cofinancé, nom du cofinancier (sollicité et ou acquis). Organisme co-financier prévu : UBO

13 - Si cofinancement refusé, autres sources de cofinancement identifiées :

DGA, EUR (sollicités)

## Le – la candidat.e

Profil souhaité du candidat (compétences scientifiques et techniques requises) :

Master 2 en océanographie physique ou géophysique marine. Intérêt pour la dynamique des fluides géophysiques, l'acoustique sous-marine, la modélisation numérique et/ou les méthodes inverses. Programmation avec les langages

scientifiques (Python, Fortran). Forte motivation, capacité à travailler en équipe.

### Projet de thèse en cotutelle internationale

**S'agit-il d'un projet de thèse en cotutelle internationale (oui/non) :** non

**Si oui, préciser l'établissement pressenti (et le pays de rattachement) :**

**Ce projet de thèse fera-t-il l'objet d'un cofinancement international (oui/non) :**

*(Rémunération du doctorant par l'établissement implanté sur le territoire régional (18 mois sur 36 mois), et l'établissement étranger, qui s'engage également à rémunérer le doctorant dans le cadre de son séjour à l'étranger, soit durant 18 mois -a minima-)*

**En cas de cofinancement international, préciser -si vous en avez connaissance- l'organisation du calendrier des périodes de séjour :**

### Financement du projet de thèse

**Part de l'enveloppe financière régionale affectée au projet :**

Financement Région 100 %

Financement Région 50 % (préconisé)

**En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié (oui/non) :** Oui

**Si oui, préciser la nature du cofinancement (ANR, partenaire privé, Ademe, etc.) :** EUR en priorité et sinon UBO

**Si le cofinancement n'est pas encore confirmé, date prévue de réponse du cofinancier :** printemps 2019

**En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée (oui/non) :** DGA

## **Annexe : Domaines et sous-domaines d'innovation stratégique**

### **Domaines d'innovation stratégique**

- 1/ Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative
- 2/ Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité
- 3/ Activités maritimes pour une croissance bleue
- 4/ Technologies pour la société numérique
- 5/ Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie
- 6/ Technologies de pointe pour les applications industrielles
- 7/ Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement

### **Ventilation en sous-domaines**

#### **D1 – Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative**

- 1A- Démarches d'innovation sociale et citoyenne
- 1B- E-éducation et e-learning
- 1C- Patrimoine et tourisme durable
- 1D- Industries créatives et culturelles
- 1E- Transitions et mutations des modèles économiques des filières et des entreprises

#### **D2- Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité**

- 2A- Qualité et sécurité sanitaire des aliments
- 2B- Nouveaux modèles de production agricole
- 2C- Usine agro-alimentaire du futur

#### **D3- Activités maritimes pour une croissance bleue**

- 3A- Energies marines renouvelables
- 3B- Valorisation de la biomasse marine et biotechnologies (pour toutes les applications)
- 3C- Valorisation des ressources minières marines
- 3D- Nouveaux modèles d'exploitation des ressources vivantes aquatiques (pêche et aquacultures)
- 3E- Navire du futur
- 3F- Sécurité et sûreté maritime

#### **D4- Technologies pour la société numérique**

- 4A- Internet du futur : objets communicants, cloud computing et big data
- 4B- Images et contenus
- 4C- Conception logiciels
- 4D- Modélisation numérique
- 4E- Réseaux convergents, fixes mobile broadcast
- 4F- Cybersécurité

#### **D5- Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie**

- 5A- Prévention – santé – bien-être
- 5B- Nouvelles approches thérapeutiques alliant génétique, bio-marqueurs et biomolécules
- 5C- Technologies médicales, diagnostiques et thérapeutiques et e-santé

#### **D6- Technologies de pointe pour les applications industrielles**

- 6A- Photonique et matériaux pour l'optique
- 6B- Matériaux multi-fonctionnels
- 6C- Technologies en environnements sévères
- 6D- Electronique, robotique et cobotique pour l'ingénierie industrielle
- 6E- Systèmes de production avancés de petites et moyennes séries (usine du futur)

#### **D7- Observation et Ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement**

- 7A- Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des éco-systèmes et de leurs inter-actions
- 7B- Réseaux énergétiques intelligents
- 7C- Système constructif performant et durable (éco-construction et éco-rénovation, TIC et bâtiment)
- 7D- Véhicules et mobilités serviciels durables
- 7E- Eco-procédés, éco-produits et matériaux bio-sourcés.