

Titre du stage :**Impact de la dynamique à mesoéchelle sur la turbulence de microstructure en Méditerranée Occidentale****Encadrant principal :**Nom prénom (statut), email : Anthony Bosse (Physicien-adjoint CNAP), anthony.bosse@mio.osupytheas.fr

Laboratoire : Institut Méditerranéen d'Océanographie (MIO), Marseille

Lieu(x) du stage : Institut Méditerranéen d'Océanographie (MIO), Marseille

Durée du projet: 6 mois (début janvier-mars)

Présentation du stage :

Le rôle de la dynamique à fine-échelle (meso et sous-mesoéchelle, ie(1-50km) sur les flux (verticaux et horizontaux) de traceurs et d'énergie reste encore largement inconnus et difficile à mesurer sur le terrain. Ils jouent pourtant un rôle crucial dans la structuration des écosystèmes marins (Lévy *et al.*, 2018). Ces flux peuvent résulter des écoulements verticaux activés par la dynamique à (sous)mesoéchelle ou encore par la turbulence à micro-échelle aux effets encore mal connus. Le rôle de la dynamique à (sous)mesoéchelle et des flux associés connectant l'océan superficiel aux couches profondes fait l'objet d'un intérêt majeur au sein de la communauté océanographique. Dans ce contexte, le satellite SWOT lancée en décembre 2022 va permettre de grandes avancées en mesurant pour la première fois la hauteur dynamique de l'océan sur sa large fauchée de 150km et à haute résolution (2km) (Morrow *et al.*, 2019).

BIOSWOT-Med est une des campagnes majeures du consortium international SWOT Adopt-a-Crossover (www.swot-adac.org), un groupe d'étude expérimentale de la fine échelle océanique endossé par CLIVAR qui vise à exploiter la première phase de la mission de SWOT (d'Ovidio *et al.*, 2019). Cette phase (March-Juin 2023) à répétitivité journalière a permis d'avoir pour la première fois des cartes de hauteur dynamique avec haute résolution à la fois dans l'espace et dans le temps. Elle représente donc une occasion unique pour étudier le cycle de vie des structures de circulation de petite taille, invisible dans les cartes altimétriques avant SWOT, et pourtant typiques dans des régions avec petite rayon de Rossby telles que la Méditerranée.

La campagne BioSWOT-Med (<https://doi.org/10.17600/18002392>) s'est déroulée du 21 avril au 15 mai sur le *NO Atalante* au nord des Baléares afin d'étudier le couplage entre des structures physiques à fine-échelle et la biogéochimie et la biologie, en tirant partie de la phase de calibration de SWOT à répétition journalière. La campagne s'est concentrée sur l'échantillonnage de structures frontales séparant des eaux riches et salées provenant du mélange hivernal, et des eaux moins salées et plus pauvres présentes au nord des Baléares. De nombreux instruments ont été utilisés depuis le navire mesurant température et salinité (profils CTD, et « Moving Vessel Profier »), courants (LADCP), oxygène, fluorescence, rétro-diffusion optique, distribution planctonique et particulaire ("Underwater Vision Profiler", UVP), ainsi qu'un échantillonnage dense de mesures biogéochimiques (nutriments, oxygène) et biologiques (diversité par taxonomie et génomique). Des mesures étaient également collectées en continu le long de la trajectoire du bateau (météo, thermosalinographe, courants par ADCP) et cytométrie en flux permettant d'identifier à haute fréquence les communautés phytoplanctoniques de surface.

Un aspect novateur de BioSWOT-Med réside dans l'utilisation importante de planeurs sous-marins (ou glider). Cet instrument de longue autonomie permet un échantillonnage à haute résolution (2km/2h entre profils verticaux à 1000m) (Testor *et al.*, 2019). Cinq planeurs ont ainsi été déployés lors de la campagne: le long de la radiale fixe MOOSE T02 (<https://www.moose-network.fr/>), permettant d'avoir une vision grande échelle de la zone d'étude ; trois déployés spécifiquement autour de la zone de la campagne mesurant température, conductivité, oxygène dissous, fluorescence et rétrodiffusion optique, dont un de l'Université de Bergen (Norvège) équipé de capteurs de microstructure pour la turbulence ; et un Zooglider de la SCRIPPS (USA) avec des capteurs spécifiques à l'étude du plancton (echosondeur et zoocam).

Le déploiement de ces planeurs a notamment permis un échantillonnage continu de la turbulence au sein du tourbillon, en particulier lors d'un coup de vent qui a forcé le navire à s'abriter au Sud. Des résultats préliminaires (P. Bouruet Aubertot, R. Rolland) ont montré la génération d'intenses ondes internes à la fréquence proche inertielle suite à cet événement et une augmentation de la turbulence.

Objectifs :

L'objectif principal de ce travail de Master porte sur l'analyse des données collectées par les planeurs sous-marins, mises en relation avec les premières données du satellite SWOT et les données du navire. On s'intéressera dans un premier temps à la reconstruction dynamique du tourbillon (détection du centre, reconstruction des vitesses cyclo-géostrophiques, origine, etc) présent sur la région et échantillonné par plusieurs planeurs (en suivant la méthodologie de *Bosse et al. 2019*). L'impact de ce tourbillon de mesoéchelle sur le mélange vertical, en particulier suite au coup de vent et à la propagation des ondes inertielles générées, sera étudié grâce à cette reconstruction dynamique, à des considérations théoriques (tracé de rayon) et aux données inédites de turbulence à haute résolution par glider. Selon l'avancement de l'étudiant, le couplage de cette structure physique avec la biogéochimie et la biologie pourra être abordé en considérant les données des capteurs optiques, du zooglider, et du navire (nutriments, cytométrie, UVP, echosondeur).

Environnement du stage :

L'étudiant(e) sera intégré(e) à l'équipe OPLC du MIO, et son master sera mené dans le cadre des projets CNES GLISS et LEFE DISTURB menés par A. Bosse au sein du large consortium du projet BioSWOT avec lequel l'étudiant interagira (A. Doglioli, G. Gregori, E. Pulido-Villena, L. Berline, A. Petrenko, S. Barillon + thésarde).

Les jeux de données de planeurs seront préparés avant le début du stage pour que l'étudiant(e) puisse se concentrer sur leur analyse. Des fortes interactions auront lieu avec I. Fer (Université de Bergen, Norvège) spécialiste des mesures de turbulence par glider (*Fer et al., 2014*), avec P. Bouruet Aubertot, R. Rolland et Y. Cuyppers (LOCEAN, Paris) pour les mesures de turbulence en station, F. D'ovidio et L. Rousselet pour les données SWOT, et S. Gastauer (Thünen-Institut, Germany) et M. Ohman (SCRIPPS, USA) pour le zooglider.

Une participation à un leg de 12 jours de la prochaine campagne MOOSE-GE 2024 auquel l'encadrant principal participera, sera envisagée, selon la motivation de l'étudiant(e), afin de compléter le stage par une expérience de terrain en interaction avec des experts de la Méditerranée.

Une poursuite en thèse pourra être discutée en fonction du profil et de la motivation du/de la candidat(e) retenu(e) et des financements (bourse ministérielle, région SUD, CNES, DGA, ...).

Profil du candidat recherché

- cursus universitaire ou d'école d'ingénieur incluant idéalement des cours de dynamique de l'océan, de l'atmosphère ou du climat.
- Bonnes connaissances de la dynamique des fluides géophysiques et la turbulence.
- Maîtrise d'un outil de programmation (Python, Matlab...).
- Motivation pour l'analyse et la collecte de données océanographiques de terrain.
- Intérêt pour le travail multidisciplinaire et ouverture sur la biogéochimie et la biologie.

Références:

Bosse, et al. (2019). Dynamical controls on the longevity of a non-linear vortex: The case of the Lofoten Basin Eddy. Scientific reports.
D'Ovidio, et al. (2019). Frontiers in fine-scale in situ studies: Opportunities during the swot fast sampling phase. Front. in Marine Sciences.
Fer, et al. (2014). Microstructure Measurements from an Underwater Glider in the Turbulent Faroe Bank Channel Overflow. JAOT.
Morrow, et al. (2019). Global Observations of Fine-Scale Ocean Surface Topography With the Surface Water and Ocean Topography (SWOT) Mission. FMS.
Lévy, et al. (2018). The role of submesoscale currents in structuring marine ecosystems. Nature communications.
Testor, et al. (2019). OceanGliders : a component of the integrated GOOS. Front. in Marine Sciences.