STAGE DE RECHERCHE de MASTER 2ème ANNEE

Année Universitaire 2026-2027

« Détection des cheminées inertielles en mer Méditerranée et impact sur la turbulence en profondeur »

Laboratoire : LOCEAN, Sorbonne Université, équipe PROTEO
Encadrants : Pascale Bouruet-Aubertot Pascale (pascale.bouruet-aubertot@locean.ipsl.fr), Yannis Cuypers (yannis.cuypers@locean.ipsl.fr) et Julien Lenne (julien.lenne@locean.ipsl.fr)
Collaborations : Jean-Baptiste Roustan (SHOM), Andrea Doglioli (MIO), Francesco D'Ovidio (LOCEAN).

NATURE DU SUJET :

Théorie	Un peu
Modélisation num.	Pas du tout
Expérimentation	Pas du tout
Analyse de données	Beaucoup
Instrumentation	Pas du tout

Résumé

Les mesures recueillies lors de campagnes récentes ainsi que des simulations réalistes en Méditerranée ont révélé la focalisation et le piégeage d'ondes de fréquence proche-inertielle générées par le vent dans des structures de fine-échelle anticycloniques intenses. Ce processus, dénommé « cheminée inertielle » à l'image des ondes dont la propagation en profondeur est canalisée à l'intérieur de la structure dynamique, est bien identifié dans les tourbillons anticycloniques de méso-échelle. Les mesures récoltées à fine-échelle et les simulations à haute résolution ont révélé l'existence de ces cheminées inertielles dans des structures de sous-méso échelle et de faible durée de vie. Ces résultats suggèrent que la turbulence générée par le vent dans l'océan stratifié a été sous-estimée du fait du non échantillonnage de ces fine-échelles spatiales. Le stage s'appuiera sur les sorties des simulations eNATL60 du modèle océanique NEMO sur l'ensemble de la Méditerranée pour détecter de potentielles cheminées inertielles et en estimer l'impact sur la turbulence en profondeur.

Contexte :

Les interactions ondes-tourbillons sont essentielles vis-à-vis de la propagation en profondeur des ondes générées par le vent. En l'absence de structures de vorticité anticyclonique ces ondes sont relativement inefficaces vis-à-vis de la génération de turbulence en profondeur car leur propagation est quasi-horizontale du fait de leur fréquence proche de la fréquence d'inertie. Ces interactions en focalisant les ondes dans les structures de vorticité anticyclonique favorisent donc leur propagation en profondeur et in-fine la génération de turbulence. Ces processus ont été mis en évidence dans des tourbillons de méso-échelle dans des régions de niveau d'énergie cinétique élevé (i.e. le Gulf-Stream). Tout récemment l'importance de ces processus dans des régions de niveau d'énergie cinétique modéré et dans des structures en vorticité à plus petite échelle (tourbillons et front de sous-méso-échelle) a été identifiée en mer Méditerranée: d'une part dans des sorties de modèle haute résolution et d'autre part lors de la campagne en mer BioSWOT-Med s'appuyant sur les mesures d'altimétrie à fine-échelle fournies par SWOT. Les résultats obtenus par R. Rolland durant sa thèse mettent en évidence une intensification de la turbulence (d'un facteur 100 environ) dans ces régions anticycloniques de fine-échelle. Ce résultat est d'une portée particulière en mer Méditerranée où la principale source de turbulence dans l'intérieur stratifié est apporté par le vent via le déferlement des ondes de fréquence proche-inertielle du fait du très faible forçage des ondes par la marée hormis dans quelques détroits. Ces résultats nous conduisent à poursuivre les investigations sur toute la Méditerranée en vue d'un bilan global de l'énergie apportée par ces ondes dans ces structures anticycloniques à l'échelle de la Méditerranée.

Objectifs :

Les objectifs principaux du stage sont :

- d'identifier les lieux d'interactions ondes-tourbillons en mer Méditerranée

-de caractériser l'énergie des ondes de fréquence proche-inertielle à différentes profondeurs jusqu'à la base des tourbillons

-d'estimer l'efficacité du transfert d'énergie depuis la surface vers l'intérieur stratifié

-d'apporter des éléments pour un bilan de la turbulence dans l'océan de surface avec une estimation du taux de dissipation d'énergie cinétique turbulente

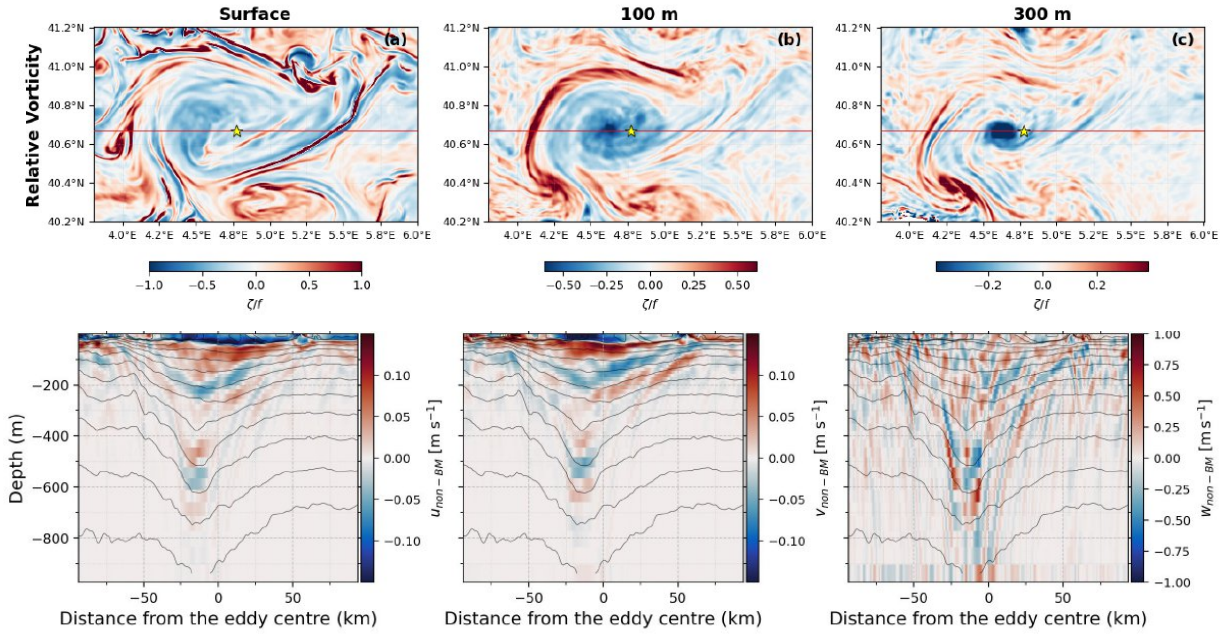


Figure 1 : Vorticité relative adimensionnée par la fréquence d'inertie représentée à différentes profondeurs (1ère ligne) ; composantes de la vitesse (zonale, méridienne et verticale) le long d'une section verticale passant par le centre du tourbillon anticyclonique (ligne rouge sur le champ de vorticité), Extrait de M. Bessière, Rapport de stage de Master II (Sept. 2026).

Méthode :

- L'analyse portera sur les sorties de simulations numériques réalistes haute résolution Med-Atl-60 (1/60dg) du modèle NEMO réalisées par l'équipe de l'IGE

– L'algorithme Angular Momentum Eddy Detection and Tracking Algorithm (AMEDA) sera utilisé pour la détection des tourbillons

-Les données altimétriques à haute résolution de SWOT apporteront un complément d'information sur les structures tourbillonnaires et leur variabilité

Résultats attendus :

Les principaux résultats portent sur :

- La détection des tourbillons anticycloniques de fine-échelle et leur variabilité

-La caractérisation du piégeage des ondes de fréquence proche-inertielle générées par le vent au sein de ces structures.

-La contribution de ce processus à la turbulence en mer Méditerranée

Bibliographie :

-Bessière, M. « Near-inertial wave-eddy interaction and energy cascade in the North-Balearic region in the Mediterranean Sea during the BioSWOT-Med cruise ». Rapport de stage de Master II, Sept. 2026.

-Rolland, R., Bouruet-Aubertot, P., Cuypers, Y., Bosse, A., Petrenko, A., Maytie, T., ... & Doglioli, A. (2026). Near-inertial wave trapping inside a fine-scale anticyclonic eddy during the BioSWOT-Med 2023 cruise: Turbulence and energy flux. Journal of Geophysical Research: Oceans, https://doi.org/10.1029/2025JC022984

-Rolland, R., Bouruet-Aubertot, P., Cuypers, Y., et al, 2025. Internal wave energetics and interactions with mesoscale structures in the Sicily Channel area. Progress in Oceanography, https://doi.org/10.1016/j.pocean.2025.103465

POURSUITE :
Ce stage peut-il donner lieu à un sujet de thèse ? oui

Noter que le stage de M2 peut être totalement indépendant du sujet de thèse.