

STAGE DE RECHERCHE de MASTER 2^{ème} ANNEE

Master SOAC / WAPE

Année Universitaire 2025-2026

LABORATOIRE : LOCEAN

SUJET DU STAGE : Interactions ondes tourbillons et cascade d'énergie dans la région Nord-Baléares durant la campagne BioSWOT-Med

COORDONNEES DU RESPONSABLE :

Nom – Prénom : Bouruet-Aubertot Pascale

Adresse: T45-46 5E 4 place Jussieu

Téléphone :

E-mail : pascale.bouruet-aubertot@locean.ipsl.fr

Co-encadrement : Yannis Cuypers (yannis.cuypers@locean.ipsl.fr) et Julien Lenne (julien.lenne@locean.ipsl.fr)

NATURE DU SUJET :

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

SUJET :

A l'image de la “météo” pour l'atmosphère, il existe une “météo” dans l'océan, qui caractérise l'image instantanée des structures cycloniques et anticycloniques, des fronts et filaments, qui redistribuent, déforment et mélangent les masses d'eau. Ces structures dynamiques, qui dans l'océan couvrent une gamme d'échelles spatiales 1-100 km approximativement et des échelles de temps allant de l'heure à la semaine, sont appelées “fine-échelles”. La dynamique des fine-échelles joue un rôle important à la fois dans la cascade directe d'énergie vers les petites échelles et la cascade inverse vers les grandes échelles et par conséquent sur la régulation du bilan énergétique de l'océan.

Le lancement du nouvel altimètre SWOT fin 2022 résolvant ces fines échelles océaniques a motivé des campagnes en mer ciblées sur l'étude de ces structures. La campagne BIOSWOT-Med s'est déroulée au printemps 2023 entre les îles Baléares et la côte française. L'objectif de la campagne était d'échantillonner la dynamique océanique à fine-échelle le long de la trace de SWOT pour fournir des éléments d'interprétation à ces nouvelles mesures satellitaires. En retour les images SWOT de résolution spatiale de l'ordre de quelques kilomètres ont permis de détecter des structures dynamiques frontales invisibles par l'altimétrie classique, structures que nous avons pu échantillonner durant la campagne (Fig.1).

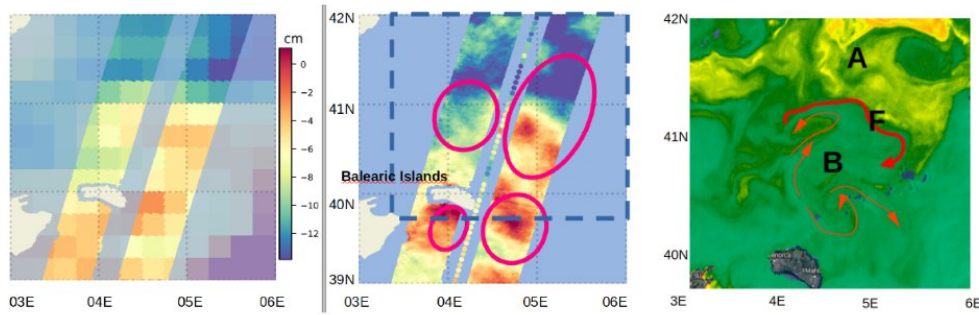


Figure 1 : Hauteur de surface de la mer : analyse AVISO (gauche) et double fauchée altimétrique SWOT (milieu) le 30 avril 2023. Les cercles roses indiquent les structures étudiées lors de la campagne BioSWOT-Med (<https://doi.org/10.17600/18002392>). Le carré en pointillé indique la zone représentée par l'image composite couleur de l'eau Sentinel-3 (à droite). Les trois régions A des eaux atlantiques modifiées (plus forte salinité, plus faible température, plus forte productivité), B des eaux atlantiques plus récentes (moins salées, plus chaudes et moins productives) et F la zone frontale entre A et B.

La campagne s'est focalisée sur l'échantillonnage d'un front fine-échelle, caractérisé par une zone de vorticité anticyclonique « B », une zone frontale, « F » et une zone cyclonique « A » (Figure 1). Des mesures de courant, hydrologie et de turbulence ont été réalisées aux points A, F et B sur une période d'inertie en chaque station permettant de caractériser la dynamique haute fréquence des ondes internes. Cette séquence de mesures a été répétée une fois pour les 3 stations et 3 fois pour la station de vorticité anticyclonique. Un scénario atmosphérique idéal, avec deux coups de vent successifs entre chaque série de mesures, nous a permis de mettre en évidence la réponse différenciée des structures de fine-échelle à ces coups de vent. Dans la zone de vorticité anticyclonique les ondes de fréquence proche-inertielle générées par le vent se propagent en profondeur et la turbulence y est intensifiée à l'inverse des zones frontale et cyclonique où la turbulence reste faible. La propagation différenciée des ondes en fonction de la vorticité locale s'explique par le fait que la fréquence d'inertie effective est modulée par la vorticité locale : ainsi les ondes de fréquence générées par le vent proches de la fréquence d'inertie locale se retrouvent super-inertiels dans les régions anticycloniques et peuvent se propager en profondeur. Elles sont ainsi piégées dans les structures anticycloniques, dénommées « cheminées inertielles » et contribuent au renforcement de la turbulence qui y est observé.

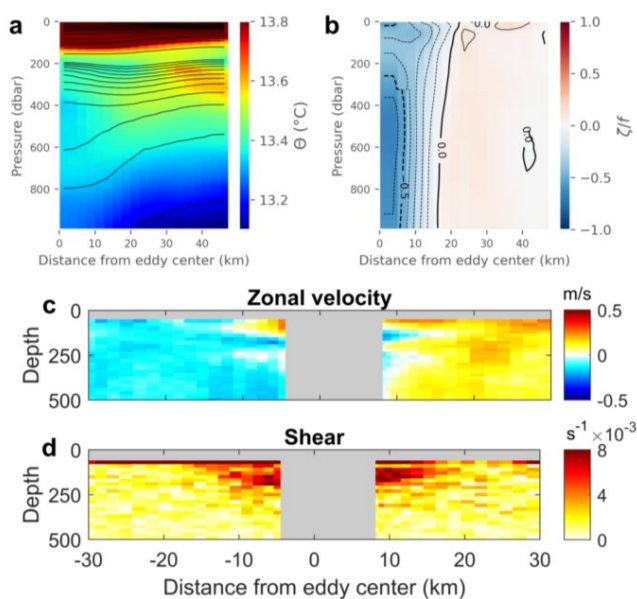


Figure 2 : (a) Section de température potentielle reconstituée à partir des données de glider, isopycnes superposées (noir) ; (b) Vorticité relative ζ normalisée par la fréquence d'inertie f ; (c) sections SADC de vitesse zonale (d) et du module du cisaillement vertical à travers le tourbillon B3.

Le stage portera sur l'analyse des simulations haute résolution du modèle Symphonie aux dates de la campagne et en particulier sur les sections hydrologiques et courantométriques réalisées durant la campagne. L'objectif sera de caractériser le champ d'ondes internes et la partie plus basse fréquence de la dynamique et de mettre en évidence les cheminées inertielles sur l'ensemble de la zone échantillonnée durant la campagne. On décomposera pour cela la composante quasi-géostrophique de la composante ondulatoire en suivant la méthode appliquée par J. Lenne aux données de la campagne. Le renforcement de la cascade d'énergie vers les petites échelles et l'intensification de la turbulence par ces interactions ondes tourbillons sera caractérisé. On calculera pour cela le flux spectral d'énergie cinétique vers les petites échelles dans différents sous-domaines incluant ou non des cheminées inertielles. Par ailleurs la séparation des deux composantes dynamiques est un point essentiel à l'interprétation des données SWOT qui sera discutée en collaboration avec l'équipe OPLC du MIO.

Collaborations : Claude Estournel (LEGOS), Andrea Doglioli, Anne Petrenko, Anthony Bosse au MIO, Francesco D'Ovidio (LOCEAN), Robin Rolland (université de Brême).

Bibliographie :

J. Lenne : « Dynamique océanique à fine-échelle dans la région Nord-Baléares » ; Rapport de stage de Master 2, Juin 2025.

R. Rolland et al : « Near-inertial wave trapping inside a fine-scale anticyclonic eddy during the BioSWOT-Med 2023 cruise: turbulence and energy flux », J. Geophysical Research, en révision.