

M2 SOAC : Fiche de stage de recherche en laboratoire

Laboratoire : LEGOS

Titre du stage : Dissipation turbulente estimée grâce aux données glider ou collectées lors de la campagne AMAZOMIX

Nom et statut du (des) responsable (s) de stage : Ariane Koch-Larrouy (LEGOS, CR IRD), Anthony Bosse (MOI, Phys. Adj. CNAP), Pierre Testor (LOCEAN, DR CNRS)

Coordonnées (téléphone et email) du (des) responsable (s) de stage :

Ariane Koch-Larrouy (ariane.koch-larrouy@legos.obs-mip.fr)

Anthony Bosse (anthony.bosse@mio.osupytheas.fr)

Pierre Testor (testor@locean-ipsl.upmc.fr)

Collaborations avec Vincent Vantrepotte (LOG) et Jorge Magalhaes (Univ. Porto)

Sujet du stage :

Introduction scientifique

La zone de plateau et le talus faisant face à l'embouchure de l'Amazone constituent une région clé du système océanique et climatique global et sont soumis à différents forçages. Ils sont situés dans la bande d'eau chaude de l'Océan Atlantique Tropical qui alimente une convection atmosphérique importante, que constitue la zone de convergence intertropicale (ZCIT). Les apports de l'Amazone, dont le panache s'étend jusque sur le plateau Guyanais et au-delà, influence l'hydrologie, les nutriments et les sédiments dans toute cette région. De plus, une dynamique océanique complexe et à forte variabilité formée par le Courant Nord du Brésil (NBC), la rétroflexion et le Contre-Courant Equatorial Nord (NECC) est aussi présente (Figure 1, flèches bleues). En effet, les instabilités de ce système de courant génèrent des tourbillons qui migrent ensuite vers les Caraïbes ou vers le sud pour être réintégrés au NBC (Figure 1, flèches vertes). Enfin, sur le plateau et sur le talus Amazonien, sont générées d'intenses ondes internes issues de l'interaction de la marée avec la topographie qui produisent un mélange vertical important : c'est le point original de notre étude. La marée jouerait aussi un rôle important dans la formation d'une cellule d'upwelling au large de l'embouchure de l'Amazone (entre les points A et D sur la Figure 1) (Neto et al. 2014, Araujo et al. 2016), mais cette hypothèse reste à vérifier. L'ensemble de ces processus physiques (panaches, courants côtiers, méso-échelle, marées, ondes internes, upwelling) a un impact (ex : remontée dans les zones d'upwelling, mélange et déplacement vertical par les ondes internes) sur les nutriments, sur les matières en suspension (comme la chlorophylle, Mucho et al. 2014, Pan et al. 2012, Wang et al. 2007), et sur les bilans de sel et de chaleur, variables qui conditionnent l'ensemble de l'écosystème, du plancton aux poissons. Si de nombreuses campagnes ont déjà étudié les courants, leur variabilité, les apports de l'Amazone ou la variabilité du panache, il n'existe pas d'étude *in-situ* visant à caractériser l'upwelling, les ondes internes, le mélange induit et leur impact sur l'environnement et l'écosystème marins. C'est l'objectif principal de la campagne AMAZOMIX qui a eu lieu en septembre/octobre 2021.

La campagne AMAZOMIX a permis le déploiement d'un glider Slocum (trajectoire réelle = Ligne magenta, trajectoire prévue ligne noire : points A->I, figure 2) pendant environ 1 mois, déployé à la fin du leg1 (bleu) et récupéré lors du leg 3 (jaune). Le glider est un Slocum G2 de Teledyne Webb Research capable de plonger à 1000m et équipé d'une CTD pompée (température, pression, conductivité), une optode, et un puck optique (Fluorescence, CDOM et turbidité). L'objectif de ce déploiement est d'échantillonner les ondes internes issues de A, que l'on peut suivre grâce aux données SAR (arc gris plus claire sur les cartes issues de SAR, nuances de gris, figure 2) et leur interaction avec les tourbillons de méso-échelle présents au large du plateau amazonien entre 3°N-6°N et 46°W-43°W. En complément des données glider, des sections qui traversent la plume et le plateau ont été réalisées pour caractériser les eaux dans ces milieux contrastés. Enfin sur le plateau de fortes ondes internes avec de forts épisodes de mélanges sont attendus et ont été mesurées de façon intégrée.

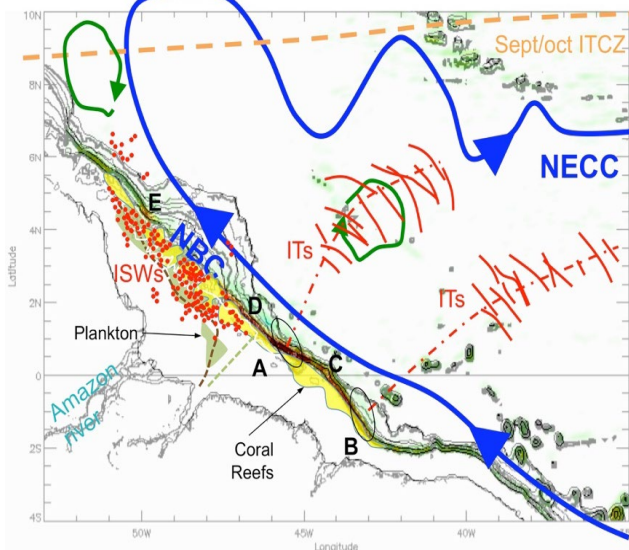


Figure 1: ensemble des courants (bleu) North Brazil Current (NBC) et le North Equatorial Counter Current (NECC). Les tourbillons se détachant des instabilités du NECC au sud (image de SLA sept 2004) et au nord (image de SLA nov 2015) sont représentés en vert. La cellule d'eau froide est localisée entre A et D. La marée interagit avec la topographie et génère des ondes internes sur la pente du talus continental en A, B, C, D et E : Taux de conversion de la marée barotrope en marée barocline calculé à partir du modèle HYCOM (en couleur carte de fond, de Buijsman et al. 2016). Depuis A et B des ondes internes sont observées (traits rouge, Magalhaes et al. 2016, données SAR) se propageant sur de grandes distances. Sur le plateau des évidences d'Ondes internes solitons (ISW) sont notée d'un point rouge (voir Lentini et Magalhaes 2016). Topographie, traits noirs, à 0, 100, 200, 500, 1000, 1500, 2000, 2500 et 3000m. En vert sont coloriées les régions sur le plateau où de grandes quantités de phytoplancton sont généralement observées ; ligne pointillée marron et verte indiquent respectivement la limite du bouchon vaseux et de la zone d'influence du panache de l'Amazone (issu de DeMaster, 1995). Les sites de coraux sont indiqués en jaune (Moura et al. 2016).

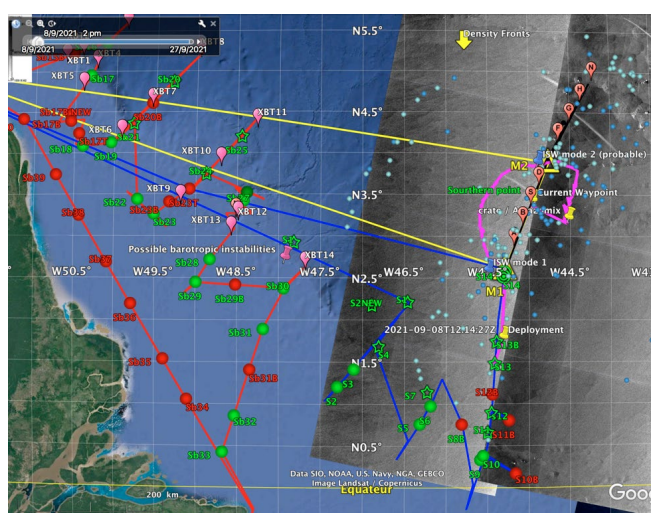


Figure 2 : Trajets de la campagne AMAZOMIX : LEG1 : Bleu, LEG2 : rouge, LEG3 : Jaune, en noir =trajets prévu du Glider déployé pendant le LEG 1, magenta = trajet réel du glider. Etoiles = station 12h- Point =stations courtes avec pour chacun l'ensemble des mesures intégrées récoltées, triangles = mouillages. Traces oranges et bleues représentent les traces SENTINEL 3A ET 3B en dessous desquelles les mouillages seront positionnés. En points bleus sont représentés les solitons issus des ondes internes de marée déjà observés par imagerie SAR (Magalhaes et al. 2016). Les mouillages seront localisés dans ces régions de fortes occurrence de solitons. En blanc épais sont représentés les sites de génération des ondes internes de marée sur la chute du plateau continental et en noir épais leur flux associés vers le large. Un total de 5 stations longues est prévu sur le talus pour caractériser les sites de génération où de forts mélanges sont attendus, ainsi que pour chacun une série de stations longues dans le sillage des flux de propagation vers le large.

Le taux de dissipation peut être calculé par deux méthodes. Premièrement, des études récentes ont montré qu'il était possible d'estimer un taux de dissipation à partir des données de glider par la méthode LEM (Large-eddy method) (Beaird et al. 2012, Evans et al. 2018). Ce calcul repose sur la vitesse verticale obtenue à partir d'un modèle de vol du glider (Merckelbach et al. 2010, 2019) et de la stratification locale. Le taux de dissipation résultant de cette méthode LEM peut être calculé comme suit :

$$\epsilon_{LEM} = C_{\epsilon} N(q^2)$$

Où q est l'énergie cinétique turbulente des plus grands tourbillons non dissipatifs estimée par un filtre passe haut sur w avec une longueur de coupure typique de 40m (Beaird et al. 2012), ou exprimée en fonction de la stratification locale (Evans et al. 2018) , et C_{ϵ} est un coefficient adapté pour s'approcher au mieux d'observations de référence. Un profil de dissipation d'énergie cinétique turbulente mesuré par VMP (Vertical Microstructure Profiler) acquis durant AMAZOMIX le jour même du déploiement du glider servira à ajuster ce coefficient.

Une deuxième méthode consiste à analyser la structure fine des profils de température et salinité (Thorpe 2012) afin d'en estimer les instabilités statiques (overturns) associées et d'en déduire un taux de dissipation. Cette méthode nécessite une bonne résolution verticale. Compte-tenu de la configuration du glider durant la mission AMAZOMIX, la résolution verticale des profils de température et salinité va de 0.5m à 2m, en montée et descente respectivement. Les deux méthodes de calcul indirect du taux de dissipation pourront donc être comparées.

Une dernière étape de ce stage pourra être de regarder l'impact des éventuels épisodes de mélange sur les variables telles que l'oxygène et les fluorescences de la Chl-a et de la CDOM, et la turbidité.

Les données satellites acquises en temps réel pendant la campagne (images SAR, altimétrie et couleur de

l'eau) seront également analysées conjointement en collaboration avec les équipes du LOG et de Porto, car elles permettent de mieux caractériser l'environnement (tourbillons, présence d'une onde interne).

Bibliographie :

Thorpe, S. (2012). Measuring overturns with gliders. *Journal of Marine Research*, 70, 10.1357/002224012800502417.

Evans, D. G., Lucas, N. S., Hemsley, V. S., Frajka-Williams, E., Naveira Garabato, A. C., Martin, A. P., et al. (2018). Annual cycle of turbulent dissipation estimated from Seagliders. *Geophysical Research Letters*, 45, 10,560–10,569. <https://doi.org/10.1029/2018GL079966>

Merckelbach, L., Smeed, D., & Griffiths, G. (2010). Vertical water velocities from underwater gliders. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 27(3), 547-563.

Merckelbach, L., Krahnemann, G., Dengler, M., & Carpenter, J. R. (2019). A dynamic flight model for Slocum gliders and implications for turbulence microstructure measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 36(2), 281-296