

Sujet de stage de M2 OPB - 2022

Sujet de stage	<i>Vitesses verticales océaniques ; distinction des processus biologiques versus physiques.</i>
Encadrantes :	Anne Petrenko (HdR, OPLC) ; co-encadrement : Stéphanie Barrillon (HdR, OPLC) et Melilotus Thyssen (CYBELE)
Laboratoire, équipes :	MIO, OPLC (Océanographie Physique, Littorale et Côtière) MIO, CYBELE (CYcles BioEochimiques et rôLE fonctionnel des assemblages de micro-organismes planctoniques)
Données /campagnes :	Séries temporelles JULIO, disponibles depuis 2012 VVPTests annuels depuis 2019, effectués VVPTest 2023, demandée PROTEVS-Gibraltar 2020, données pré-analysées PROTEVS-Gascogne-Front d'Ouessant 2022, données disponibles
Programme de rattachement :	FUMSECK-vv, 2021-2023, LEFE (PIs S. Barrillon et A. Petrenko)
Collaborations au sein du MIO :	J-L. Fuda (équipe OPLC), S. Bonnet, K. Leblanc (équipe CYBELE).
Collaborations nationales :	L. Bordoï et F. Dumas (SHOM), C. Estournel, P. Marsaleix (LA, Toulouse), F. Sevellec (LOPS).

Contexte scientifique :

De longue date, la composante verticale de la vitesse des courants océaniques a été négligée, paramétrée de façon simpliste, ou considérée comme non mesurable, en raison de sa faible intensité par rapport à celle des composantes horizontales et des difficultés de son estimation *in situ*. La dynamique verticale est pourtant au cœur des questionnements scientifiques actuels en océanographie, tant sa présence est importante dans tous les processus océaniques, physiques ou biologiques. En particulier, l'intensité des vitesses verticales peut devenir importante au sein de la dynamique à fines échelles, dont l'intérêt croissant lors de la dernière décennie a remis à l'ordre du jour le besoin d'informations directes sur cette composante verticale de vitesse. Les fines échelles océaniques, caractérisées par des structures telles que des tourbillons ou des filaments, s'étendent sur des échelles spatiales allant de 0.1 à 100 km pour une durée de vie de quelques jours à quelques semaines. Elles jouent un rôle clef dans l'équilibre global des océans et impactent nettement des processus tels que le transfert vertical de sels nutritifs et l'export de carbone, fortement corrélés au changement climatique (Mahadevan 2016, Mc Gillicuddy 2016, Lévy *et al.* 2001, Lévy *et al.*, 2015). Elles peuvent impliquer, par leurs interactions, une dynamique agéostrophique et tridimensionnelle (McWilliams 2016, Ferrari & Wunsch 2009, Capet *et al.* 2008), généralement associée à la présence de vitesses verticales, point critique pour la compréhension des échanges verticaux. Cependant, le caractère éphémère de ces fines échelles complexifie leurs mesures *in situ*, néanmoins nécessaires pour mieux les comprendre et confirmer les prévisions des modèles et les observations par satellite. De plus, la mesure *in situ* des vitesses verticales, de plusieurs ordres de grandeur inférieures aux vitesses horizontales, représente un réel défi.

Dans notre équipe, plusieurs méthodes de mesure des vitesses verticales innovantes ont été développées. Les premières s'appuient sur différents ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), fixés ou connectés au navire de recherche (ADCP de coque, L-ADCP et Sentinel V (5 faisceaux) à profondeur fixe et en profil), et en chute libre avec le FF-ADCP (*Free Fall* ADCP, Figure 1 gauche). Par ailleurs, nous avons développé un prototype de profileur de vitesses verticales VVP (*Vertical Velocity Profiler*, Fuda *et al.*, 2021, Figure 1 milieu et droite).

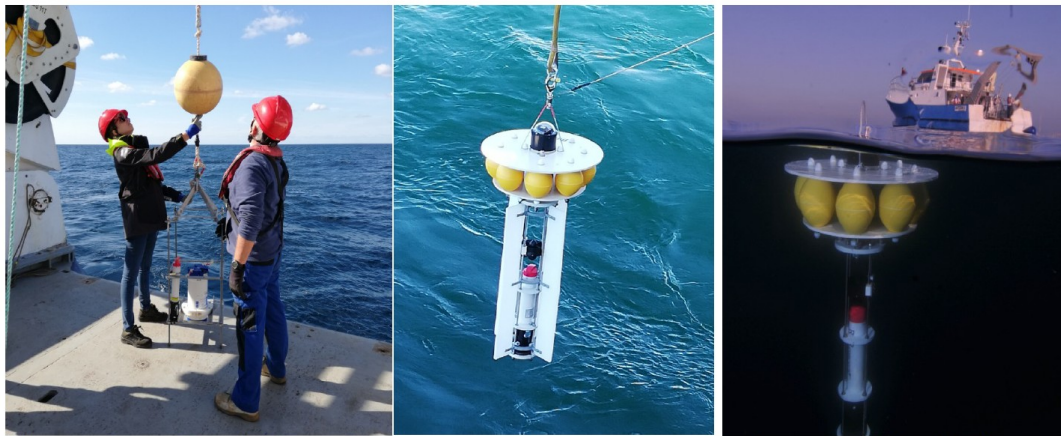


Figure 1, de gauche à droite : C. Comby et JL Fuda avec le FF-ADCP (Gascogne 2022), déploiement du VVP, VVP à l'eau à côté du RV Téthys lors d'un VVPTest.

Notre doctorante C. Comby (en troisième année) vient de publier un article (Comby et al., 2022) qui montre que le cinquième faisceau des ADCP de nouvelle génération présente une meilleure précision que les ADCP à 4 faisceaux conventionnels, et que la technique de la chute libre (capteur attaché au navire mais laissé tomber librement avec la gravitation) fournit une mesure plus précise par rapport à la technique du carrousel (capteur fixé au navire par un câble descendant, plus impacté par les mouvements du navire). Par conséquent, la meilleure méthode recommandée est basée sur un ADCP à 5 faisceaux déployé dans une technique de chute libre ; que nous avons mis en œuvre (Gascogne 2022) et continuerons à développer pour les années à venir (projet AMIDEX HOPE-VV déposé, future ANR en préparation).

Ces développements technologiques seront la base des mesures in situ de la vitesse verticale et nous permettront de répondre aux questions scientifiques suivantes :

- est-ce que les vitesses verticales mesurées correspondent à des processus physiques (ex remontées d'eau/upwelling ou subduction) ou à des processus biologiques ?
- dans le 1^{er} cas, quels sont les processus physiques associés (tourbillons, filaments, marées internes ...) ? et comment ces processus impactent la biologie, la distribution planctonique, mais aussi l'export de carbone ?
- dans le 2^{ème} cas, s'agit-il de migrations nyctémérales (ascendantes et descendantes) ? Quelle est la vitesse moyenne de progression du plancton ? Si la couche est stationnaire, quel processus a lieu ? Est-ce que l'on assiste à une subduction de rassasiement (hypothèse du « satiation sinking », Tarling et al., 2017) ?

Contexte programmatique & accès données

JULIO (<https://people.mio.osupytheas.fr/~petrenko/julio.htm>) fait partie du programme d'observation du MIO. C'est un mouillage situé sur l'isobathe de 100 m de profondeur (Figure 2). L'ADCP (RDI Ocean Sentinel 300 kHz) amarré au fond mesure les courants océaniques (horizontaux et verticaux) à travers la colonne d'eau. Son objectif initial (depuis 2012) est la détection des intrusions éventuelles du Courant Nord dans le golfe du Lion (Barrier et al., 2016 ; Casella et al., 2020). Cet ADCP traditionnel fournit une série temporelle de courant toutes les ½ heures et tous les 5 m de profondeur sur toute la colonne d'eau. Il s'avère que des épisodes de vitesses verticales plus marquées apparaissent, probablement liés à des activités biologiques en surface plus importantes lors des périodes de pleine lune (Belayr, rapport stage L3 2022). Cette analyse a été ébauchée pour la dernière série disponible mais nécessite un approfondissement et une vérification systématique sur toutes les séries temporelles existantes.

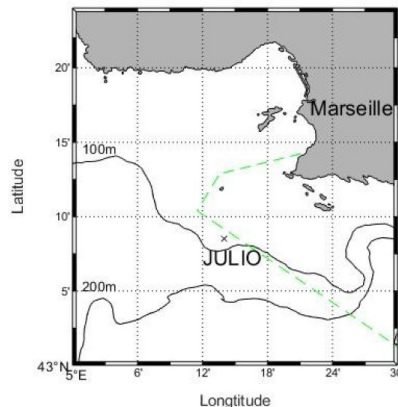
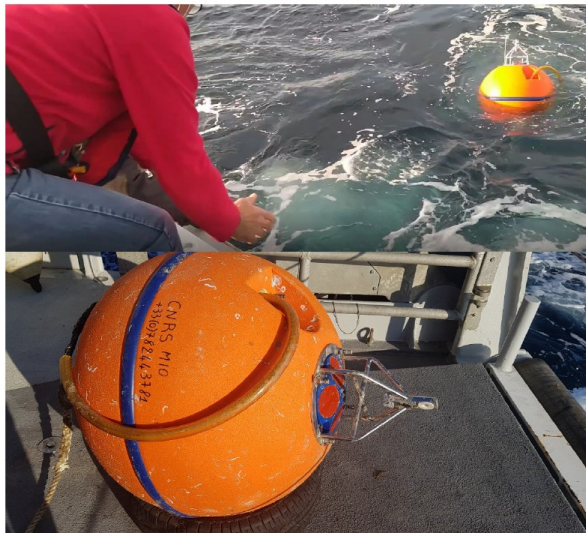


Figure 2 gauche : Mise à l'eau du mouillage JULIO (haut), récupération (bas) ; droite : Position du mouillage en bordure du Parc National des Calanques

D'autres données de mesures de vitesses verticales, en particulier collectées avec le FF-ADCP et le VVP, sont disponibles, issues de diverses campagnes en mer. Le dernier exemple en date est notre participation (C. Comby, J.-L. Fuda et A. Petrenko) à une campagne dans le golfe de Gascogne (PI L. Bordoï, SHOM) en septembre 2022 durant laquelle l'ADCP Sentinel V (5 faisceaux) a été déployé en position fixe ou en Free-Fall, en concomitance avec le VVP avec la collecte de nombreux profils (Figure 1). La campagne a été effectuée dans une zone où les fortes marées semi-diurnes créaient des conditions idéales pour la génération de processus de solitons et de marées internes. L'étude des vitesses verticales, et en particulier l'inter-validation entre les différents instruments, doit être effectuée, en collaboration avec C. Comby et le reste de l'équipe.

Objectifs du stage

La première partie du stage concerne l'exploitation des séries temporelles JULIO dans la continuité des travaux de T. Bellayer de façon à comprendre ces épisodes de fortes vitesses verticales négatives, localisées de façon stationnaire en surface (Figure 3), et semblant être corrélées avec des périodes de pleine lune. S'agit-il de subduction de rassasiement (hypothèse du « satiacion sinking », Tarling et al., 2017) mentionné ci-dessus ? Observe-t-on des migrations nyctémérales (ascendantes et descendantes) dans les cinq séries de courant disponibles ? Ces observations sont-elles comparables à celles de la campagne FUMSECK 2019 (Figure 3 droite) ? De plus, les mesures verticales seront mises en relation avec les données horizontales de courant (et de vent quand disponibles).

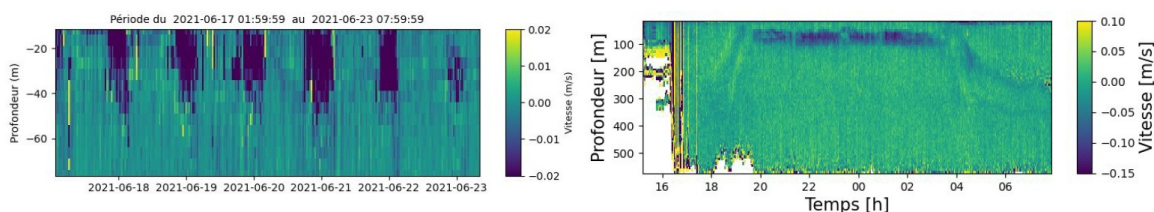


Figure 3 (gauche) Vitesses verticales mesurées à JULIO entre le 17 et le 23 Juin 2021 (T. Bellayer, rapport L3) ; (droite) Vitesses verticales mesurées par l'ADCP de coque du Téthys lors de Fumseck 2019; noter les bandes de migration nyctémérales ascendantes au coucher du soleil et descendantes à son lever (C. Cunci, rapport L3).

La deuxième partie du stage concerne l'analyse des données de mesures verticales disponibles : certaines pas encore complètement exploitées (ex Gibraltar 2020, VVPTest), d'autres en cours de traitement (ex celles de la campagne Gascogne 2022). Côté physique, l'objectif sera de comprendre quels sont les processus physiques associés aux vitesses verticales (tourbillons, filaments, marées internes ...) et de déterminer leurs implications en termes de transport vertical. Dans ce cadre, une autre estimation de la vitesse verticale, à plus long terme, pourrait être testée (Sevellec et al., 2015). Côté biologique, l'objectif sera de comparer les résultats JULIO avec les mesures de vitesses verticales associées à des processus biologiques déjà observés dans d'autres campagnes (FUMSECK 2019, Gibraltar 2020...) et d'explorer comment ces processus impactent la biologie, la distribution planctonique, mais aussi l'export de carbone.

La/le stagiaire participera également à la préparation et à la campagne VVP Test Printemps 2023 (4 jours maximum suivant les conditions météorologiques) durant laquelle le mouillage JULIO sera relevé puis remis à l'eau après nettoyage et récupération des données. Des tests de VVP seront aussi effectués durant cette sortie.

Intérêts et compétences

- connaissances en océanographie physique et biologique
- aisance en manipulation et traitement des données (Matlab, Python)
- travail en équipe
- curiosité

Liens utiles

<https://people.mio.osupytheas.fr/~petrenko/julio.htm>

https://people.mio.osupytheas.fr/~petrenko/rapport_L3_Bellayer.pdf

https://people.mio.osupytheas.fr/~petrenko/rapport_L3_Cunci.pdf

Bibliographie

- Barrier, N., Petrenko, A.A., Ourmières, Y. (2016). Intrusions of the Northern Mediterranean Current on the eastern Gulf of Lion: insights from in-situ observations and high resolution numerical modelling. *Ocean Dynamics*, 1-15. 10.1007/s10236-016-0921-7
- Capet X., J.C. McWilliams, M.J. Molemaker and A.F. Shchepetkin, (2008). *Mesoscale to Submesoscale Transition in the California Current System*. *J. Phys. Ocean.*, 38. (Part 1: 29-43, Part 2 : 44-64, Part 3 : 2256-2269
- Casella, D., Meloni, M., Petrenko, A.A., Doglioli, A.M., Bouffard, J. (2020). Coastal current intrusions from satellite altimetry. *Remote Sens.*, 12(22), 3686; doi:10.3390/rs12223686. Hal-02999636
- Comby, C., Barrillon, S., Fuda, J.-L., Doglioli, A. M., Tzortzis, R., Gregori, G., Thyssen, M. and A. Petrenko (2022, in press). Measuring vertical velocities with ADCPs in low-energy ocean, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*.
- d'Ovidio, F., Pascual, A., Wang, J., Doglioli, A.M., Jing, Z., Moreau, S., Gregori, G., Swart, S., Speich, S., Cyr, F., Légrésy, B., Chao, Y., Fu, L., Morrow, R. (2019), *Frontiers in fine scale in-situ studies: opportunities during the SWOT fast sampling phase*, *Front.Mar.Sci.* 6:168. doi:10.3389/fmars.2019.00168
- Ferrari, R., and Wunsch, C. (2009). *Ocean circulation kinetic energy: reservoirs, sources, and sinks*. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 41, 253–282. doi: 10.1146/annurev.fluid.40.111406.102139
- Fuda J.-L., Barrillon, S., Doglioli, A., Petrenko, A., Grégori, G., Tzortzis, R., Comby, C., Thyssen, M., Lafont, M., Bhairy, N., Malengros, D., Guillemain, D., and Grenz, C. (2021), A new approach for measuring ocean vertical velocities. *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-9371)
- Lévy, M., Klein, P., and Treguier, A. M. (2001). *Impact of sub-mesoscale physics on production and subduction of phytoplankton in an oligotrophic regime*. *J. Mar. Res.* 59, 535–565. doi: 10.1357/00222400176 2842181
- Lévy, M., Jahn, O., Dutkiewicz, S., Follows, M.J., and d' Ovidio, F. (2015). The dynamical landscape of marine phytoplankton diversity. 12, 20150481.
- Mahadevan, A. (2016). *The impact of submesoscale physics on primary productivity of plankton*. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 8, 161–184. doi: 10.1146/annurev-marine-010814-015912
- McGillicuddy Jr.D.J, (2016). *Mechanisms of Physical-Biological-Biogeochemical Interaction at the Oceanic Mesoscale*. *Annual Review of Marine Science*, 8, 125-159.
- McWilliams, J. C. (2016). *Submesoscale currents in the ocean*. *Proc. R. Soc. A* 472:20160117. doi:10.1098/rspa.2016.0117
- Sevellec F., Garabato, A. C. Naveira and Brearley, J. A. and Sheen, K. L., (2015), Vertical flow in the Southern Ocean estimated from individual moorings, *J. Phys. Ocean.*, 2209--2200,45, 9, doi 10.1175/JPO-D-14-0065.1
- Tarling G.A., Thorpe S.E. Oceanic swarms of antarctic krill perform satiation sinking., *Proc. R. Soc, B* 284(20172015), 2017