

ANALYSE DES DONNÉES DE VITESSES VERTICALES ISSUES DE LA CAMPAGNE OCÉANOGRAPHIQUE BIOSWOT-MED 2023



Eva Lefèvre

Master 1 sciences de la mer, spécialité océanographie physique et biochimique

Maître de stage : Stéphanie Barrillon

Stage réalisé du 12 juin au 21 juillet 2023

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO) pour m'avoir permis d'effectuer ce stage, qui représente pour moi une expérience intéressante et très instructive. J'adresse également mes remerciements à ma maitre de stage Stéphanie Barrillon qui a été à mes côtés pour m'orienter durant toutes les étapes de mon stage et qui m'as apporté son aide à la rédaction de ce rapport. Je tiens également à remercier Caroline Comby de m'avoir passer ses scripts, ainsi que Jean-Luc Fuda qui a été présent tout au long du stage. Merci à tous les trois de m'avoir aiguillée, épaulée, encadrée, corrigée durant ce stage.

Résumé

Lors de ce stage je me suis consacrée à l'analyse des données de vitesses verticales acquises à l'aide d'un FF-ADCP (Free-Fall ADCP) lors de la campagne BioSWOT-MED qui a eu lieu du 20/04 au 15/05 2023 en Méditerranée. La première étape de l'analyse des données concerne le traitement de données, leur mise en forme et leur première sélection. La deuxième étape est l'analyse des vitesses verticales à travers l'étude de la caractérisation des courants, leur dynamique et la distinction des origines physiques ou biologiques des vitesses verticales.

Abstract

During this internship I focused on the analysis of vertical velocity data acquired using a FF-ADCP (Free-Fall ADCP) during the BioSWOT-MED campaign which took place from 20/04 to 15/05 2023 in the Mediterranean sea. The first stage of data analysis was preliminary analysis. The first stage of data analysis concerns the data processing, shaping and first selection. The second stage is the analysis of vertical velocities through the study of the currents characteristics and dynamics, and the distinction of the physical or biological origin of the vertical velocities.

Table des matières

1	Introduction	5
1.1	Les vitesses verticales dans l'océan	5
1.2	Campagne océanographique BioSWOT-MED 2023	5
1.2.1	Le FF-ADCP	6
1.2.2	Les données analysées	6
2	Analyse préliminaire	7
2.1	Critère de sélection	7
2.2	Traitement des données	7
2.3	Critère de qualité : Seuil sigma	8
2.4	Calcul des vitesses verticales	9
3	Étude des vitesses verticales	11
3.1	Vue d'ensemble des vitesses verticales	11
3.1.1	Variabilité journalière	12
3.2	Identification des signaux d'origine biologique	12
3.2.1	Qualité de retour des ondes sonores : corrélation et intensité	13
3.3	Caractéristiques des masses d'eau	14
4	Conclusion et perspectives	15

1 Introduction

1.1 Les vitesses verticales dans l'océan

L'étude et la mesure des vitesses verticales, souvent considérées comme négligeables face aux vitesses horizontales car ayant de faibles ordres de grandeur, apparaissent aujourd'hui essentielles pour la compréhension de nombreux processus océaniques. Les vitesses verticales sont présentes dans tous les océans et jouent un rôle dans leur structure dynamique. En effet, elles sont notamment impliquées dans le transport vertical des nutriments, essentiel à la vie de nombreux organismes marins. De plus, elles jouent un rôle non négligeable dans la pompe biologique du carbone. La compréhension des vitesses verticales apportera également une meilleure représentation des budgets biogéochimiques et de la production biologique. Principalement estimées par des calculs théoriques avec notamment l'utilisation de l'équation oméga (Fiekas et al., 1994, Strass, 1994), les vitesses verticales nécessitent à présent une mesure in situ performante. Pour cela une partie de l'équipe OPLC, en particulier Caroline Comby (doctorante au MIO, encadrée par Stéphanie Barrillon et Anne Pétrenko) et J.-L. Fuda, ont mis en place une méthode de calcul des vitesses verticales adaptée aux structures de fines échelles (fronts, tourbillons). Les structures de fines échelles regroupent celles de méso- et de sub-méso-échelle caractérisées par :

- une échelle spatiale horizontale : 1 à 100 km
- une échelle spatiale verticale : 0.1 à 1 km de profondeur
- une échelle de temps : de quelques jours à quelques semaines
- un ordre de grandeur des vitesses verticales : quelques mm/s.

1.2 Campagne océanographique BioSWOT-MED 2023

La campagne BioSWOT-MED s'est déroulée du 20 avril au 15 mai 2023 en Méditerranée au large de l'île de Minorque. Cette campagne visait à acquérir des données in situ physiques, chimiques et biologiques à haute résolution spatiale et temporelle sous la trace du satellite SWOT. La campagne est donc directement liée à la mise en service du satellite SWOT, dont les missions sont notamment de mesurer la hauteur d'eau à haute résolution avec une précision centimétrique ainsi que la circulation océanique de type sub-méso et méso-échelle. La mission s'est déroulée pendant la phase d'échantillonnage rapide du satellite SWOT mesurant la zone quotidiennement, ainsi les nombreuses mesures in situ de biologie, chimie et de physiques réalisées vont pouvoir être couplées aux données du satellite. Cela va apporter une meilleure compréhension du couplage physique/biologique à fines échelles océaniques et la caractérisation de ces structures souvent difficiles à étudier car ayant des échelles spatiale et temporelle très petites.

Dans le cadre de la campagne BioSWOT-MED 2023 Stéphanie Barrillon et son équipe se sont impliqués dans les mesures in situ des vitesses verticales. Pour cela, plusieurs instruments ont été déployés, tels que :

- le VVP (Vertical Velocity Profiler) : profileur autonome mesurant les vitesses verticales à l'aide de la mesure de la pression et du modèle de vol de l'instrument,
- le FF-ADCP (Free-Fall Acoustic Doppler Current Profiler) : un ADCP en chute libre.

À la suite de la campagne j'ai effectué un stage de 6 semaines avec Stéphanie Barrillon afin de réaliser une première analyse des données de vitesses verticales mesurées par le FF-ADCP. Harry Boutemy (étudiant en troisième année en sciences de l'environnement à McGill, au Canada) a lui traité les données issues du VVP.

1.2.1 Le FF-ADCP

Le FF-ADCP est un ADCP, il permet donc de mesurer des courants océaniques en utilisant des faisceaux acoustiques et l'effet Doppler. Les ADCP sont généralement utilisés pour mesurer les composantes horizontales des courants. Dans ce cas, nous utilisons un ADCP 5 à 5 faisceaux (Sentinel V, RDI) afin d'y ajouter la mesure de la composante verticale, notamment grâce au faisceau vertical supplémentaire dédié à cette composante.

L'instrument est attaché au navire par un bout très lâche et tombe librement jusqu'à la profondeur souhaitée. La chute libre permet de découpler l'ADCP du mouvement vertical du bateau. Ainsi, la chute libre offre à l'instrument une grande stabilité dans le plan horizontal et le plan vertical. Cette stabilité est essentielle afin de limiter les erreurs dans la mesure de la vitesse verticale. Après sa chute, il est remonté jusqu'en surface à l'aide d'un treuil, puis rechute, afin de réaliser une série de profils successifs.

De plus, une sonde CTD RBR concerto (<https://rbr-global.com/products/standard-loggers/rbrduoct>), avec une fréquence d'échantillonnage de 1Hz, est associée au FF-ADCP.

1.2.2 Les données analysées

Au total 39 casts de FF-ADCP ont été réalisés dans 9 stations correspondant à 4 zones d'études différentes (fig.1). (fig.1).

Les stations :

- A1 et A2 correspondent à la zone au nord d'un front identifié grâce au satellite SWOT
- B1, B2 et B3 correspondent à la zone au sud du front,
- F1 et F2 correspondent à la zone au niveau du front,
- M1 et M2 correspondent à la zone au niveau du sud de Minorque, où le navire est allé se mettre à l'abri par deux fois à cause des conditions météorologiques.

Les différents casts ont été réalisés à différents moments de la journée : le matin, l'après-midi, le soir et la nuit. Entre 2 et 10 plongées ont été réalisées pour chaque cast.

Le traitement de données a pu être réalisé grâce au code de Caroline Comby (en Matlab), que j'ai modifié et complété durant mon stage. Des nouveaux codes ont également été créés pour approfondir l'analyse de données.

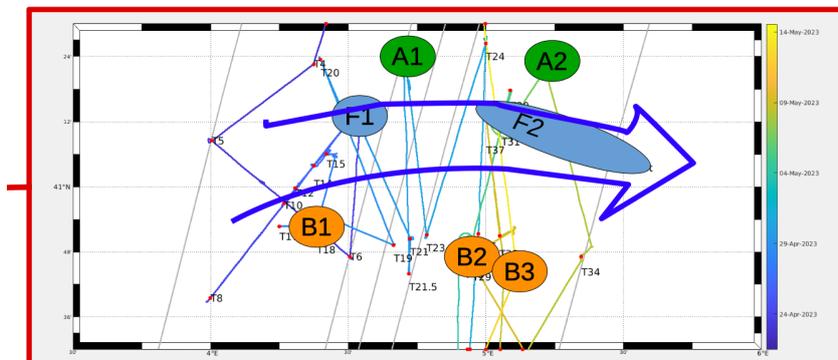


FIGURE 1 – Zone d'étude de la campagne BioSWOT-MED 2023 : A1, A2, F1, F2, B1,B2,B3 représentent les différentes zones d'études ; le front est symbolisé par la grosse flèche bleue ; le trajet du bateau est marqué par le trait fin continu se dégradant du jaune au bleu. Les stations M1 et M2 au sud de Minorque ne sont pas représentées.

2 Analyse préliminaire

Les données mesurées par le FF-ADCP doivent passer par une première phase de traitement et nettoyage avant d'être analysées et interprétées. Cette phase comporte plusieurs points, en particulier les premières sélections, le traitement/mise en forme des données, et la compréhension, suivie de la résolution, des profils problématiques (peu ou pas de données, valeurs aberrantes).

2.1 Critère de sélection

Le FF-ADCP est un ADCP en chute libre, les données exploitées sont celles correspondant aux phases de plongées, qu'il est donc nécessaire de sélectionner (critères de début et de fin de plongée).

Pour cela, un premier critère de sélection fixe le début de la plongée à cinq mètres lorsque l'ADCP est en phase de descente. Un second critère fixe la fin de la plongée lorsqu'il y a une diminution de la pression mesurée, indiquant la fin de la remontée. En effet, la mesure de la pression étant un indicateur de la profondeur (1bar = 10m), la pression va augmenter progressivement lors de la plongée puis diminuer progressivement lors de la remontée. Les phases de plongées (en rouge fig.2) et de remontées (en bleu fig.2) peuvent ainsi être indentifiées.

Néanmoins pour certains cast, certaines plongées n'ont pu être sélectionnées du fait que l'instrument n'est pas été remonté jusqu'à cinq mètres (fig.2 graphiques du haut). Pour ces plongées, le critère de début de plongée a été fixé à 10 mètres (fig.2 graphiques du bas).

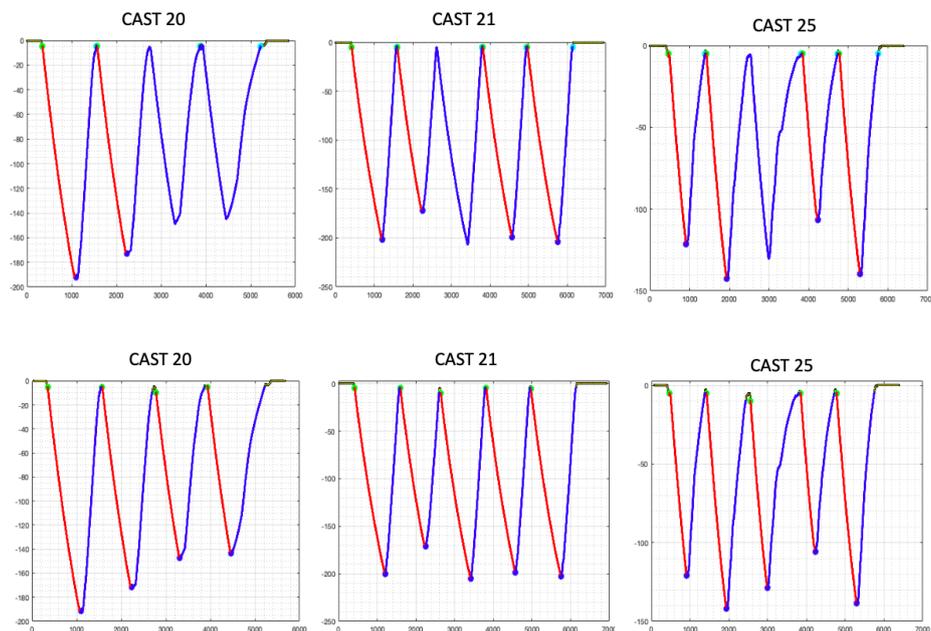


FIGURE 2 – Profils des plongées (rouge) et des remontées (bleu) effectuées par le FF-ADCP avant (en haut) et après (en bas) correction du critère de sélection de début de plongée.

2.2 Traitement des données

Une fois les plongées sélectionnées les données passent par la chaîne d'analyse, dont les différentes étapes sont décrites dans le papier de Caroline Comby "*Measuring Vertical Velocities with ADCPs in Low-Energy Ocean*" (2022). Ces étapes permettent de corriger les déviations de l'instrument (et donc du 5ème faisceau) par rapport à la verticale gravimétrique, en fonction des différentes forces s'y

exerçant.

La vitesse verticale mesurée par le FF-ADCP est la résultante de deux composantes verticales :

- W : la vitesse verticale du courant océanique dans la colonne d'eau
- W_{pkg} : la vitesse de chute du FF-ADCP, calculée à partir de :

$$W_{pkg} = \frac{\delta z}{\delta t} \quad (1)$$

avec :

$$z = \frac{p}{\rho, g} \quad (2)$$

(approximation hydrostatique), p étant la pression, ρ la masse volumique de l'eau et g l'accélération de la pesanteur.,

Ainsi, les vitesses verticales océaniques sont obtenues en soustrayant la vitesse de chute de l'instrument de la vitesse verticale mesurée :

$$W = W_{mesure} - W_{pkg} \quad (3)$$

Les vitesses sont ensuite moyennées sur vingt points, ce qui équivaut à un lissage temporel sur une fenêtre optimisée de 20 secondes.

Enfin, une moyenne des vitesses verticales est effectuée dans des cellules de 5m de profondeur.

2.3 Critère de qualité : Seuil sigma

Le seuil sigma est un critère de qualité présent dans la chaîne de traitement. Ce critère permet de filtrer les vitesses verticales moyennées. Lorsque la vitesse verticale moyennée n'est pas suffisamment représentative de l'ensemble des valeurs mesurées, c'est-à-dire que l'écart-type est supérieur à 0.05, la vitesse n'est pas prise en compte. Ainsi, des profils peuvent être obtenus avec des données manquantes (fig.3) .

Dans certains cas particuliers, le seuil sigma a filtré l'ensemble (cas du cast 5 : fig.4 graphique de gauche) ou la majeure partie des données (cas du cast 6 : fig.4 graphique de droite). Il est nécessaire d'en comprendre la raison car cela met surement en évidence un problème lors du calcul des vitesses verticales. Ce point est développé dans la section suivante 2.4.

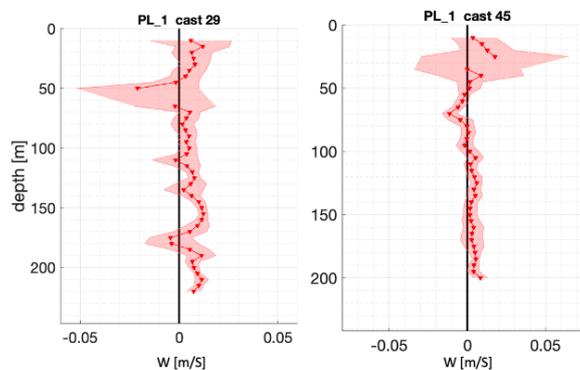


FIGURE 3 – Vitesses verticales moyennées pour la première plongée des cast 29 et 45, moyenne (lignes et points) écart-type (zone ombragée)

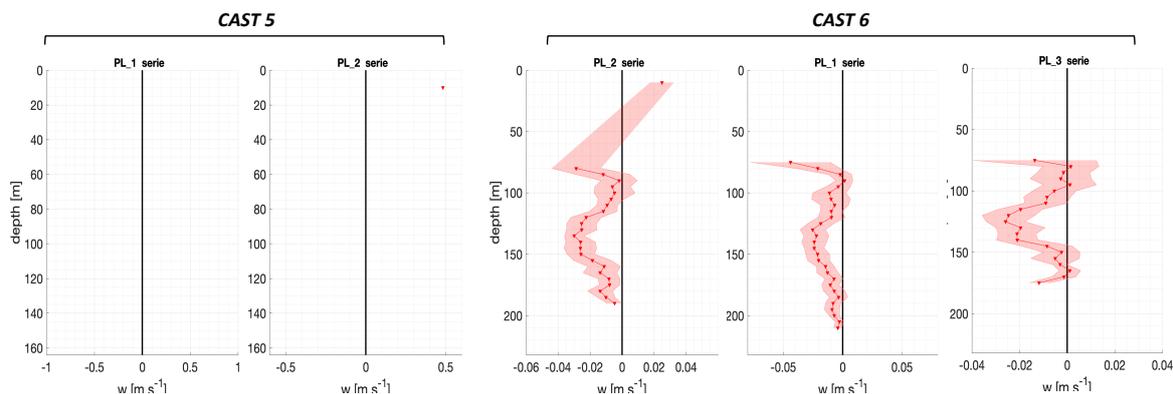


FIGURE 4 – Vitesses verticales moyennées (moyenne (lignes et points) et écart-type (zone ombragée)) pour la première et deuxième plongée du cast 5 (à gauche) et pour les trois premières plongée du cast 6 (à droite)

2.4 Calcul des vitesses verticales

Comme vu dans la partie 2-2, les vitesses verticales mesurées sont la somme des vitesses verticales de l’océan et la vitesse de chute du FF-ADCP. Cette vitesse de chute est calculée à partir de la mesure de la pression et du temps. Jusqu’alors les données de pression utilisées ont été mesurées par le capteur du FF-ADCP.

A- Pression mesurée par le FF-ADCP : cas des cast 5 et 6

Lorsqu’on s’intéresse aux vitesses verticales moyennées pour les cast 5 et 6, on observe des vitesses excessives qui ne semblent pas physiquement possibles (fig.5). En effet, le cast 5 montre des vitesses verticales comprises entre -5.25 m/s et 0.5m/s et le cast 6 des valeurs entre -0.35 m/s et 0.2 m/s. De plus, ces vitesses moyennées présentent de forts écarts-types, ce qui explique qu’elles soient filtrées par le seuil sigma (fig.4).

Ces vitesses mettent en évidence un problème lors du calcul des vitesses verticales. L’explication la plus probable à ce problème est une mauvaises mesures de pression, ce qui implique de mauvaises vitesses de chute du FF-ADCP et ainsi de fausses vitesses verticales.

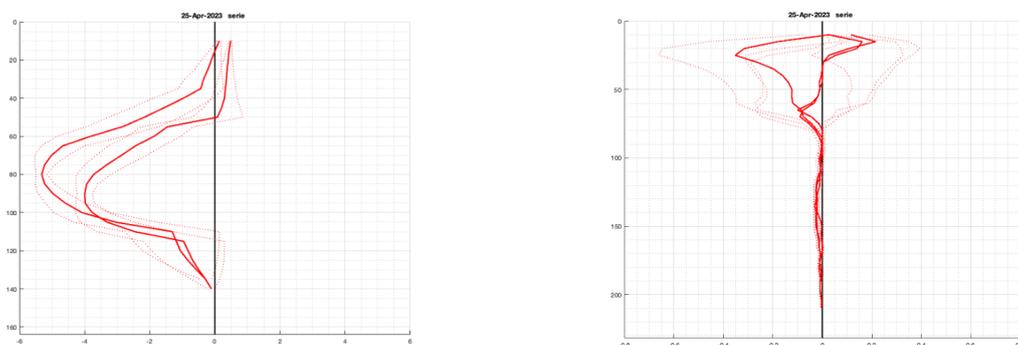


FIGURE 5 – Vitesses verticales moyennées (m/s) pour les plongées des cast 5 et 6, moyenne (lignes) et écart-type (ligne en pointillé)

B- Comparaison des mesures de pressions obtenues par le FF-ADCP et la CTD

La comparaison des données de pression du FF-ADCP avec celles enregistrées par la CTD montre effectivement qu'il y a eu un problème avec le capteur de pression du FF-ADCP pour les cast 5, 6, 7 et 8 (fig.6); en effet la forme des distributions de profondeur en fonction du temps diffère entre les deux capteurs. Les valeurs de vitesses verticales se trouvent donc directement impactées par ces mauvaises valeurs de pression. Des valeurs excessives et incohérentes de vitesses océaniques sont ainsi obtenues.

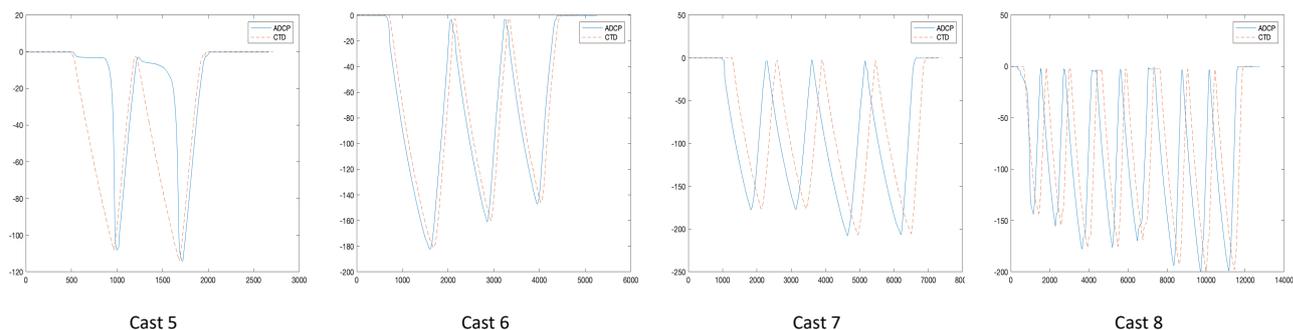


FIGURE 6 – Profondeurs mesurées à partir de la pression mesurée par le FF-ADCP (bleu) et la CTD (rouge)

C- Pression mesurée par la CTD : cas des cast 5 et 6

Les données de pression issues de la CTD sont désormais utilisées pour le calcul de la vitesse de chute de l'instrument. Après synchronisation des données de CTD par rapport aux données du FF-ADCP (fig.7), les vitesses verticales sont à nouveau calculées. Les vitesses obtenues sont désormais cohérentes, l'ordre de grandeur des vitesses est compris entre -0.05 m/s et 0.05 m/s avec des écarts-types relativement faibles (fig.8).

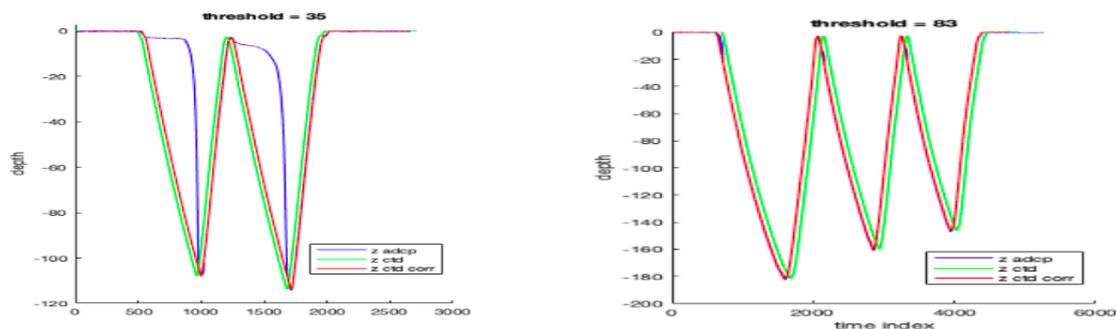


FIGURE 7 – Profondeurs mesurées par le FF-ADCP (bleu) et la CTD avant (vert) et après ajustement temporel (rouge) pour le cast 5 (gauche) et 6 (droite) grâce au code de Caroline Comby

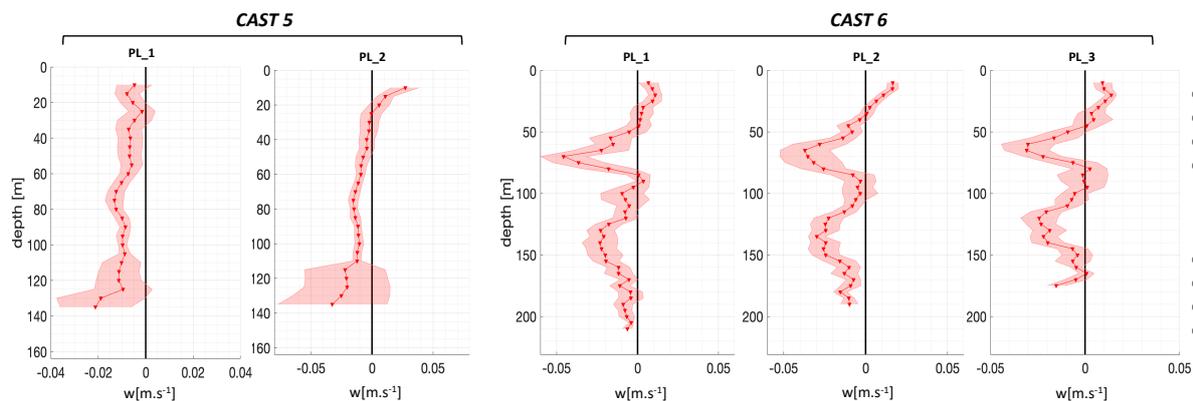


FIGURE 8 – Vitesses verticales moyennées pour les plongées des cast 5 et 6, moyenne (lignes et points) et écart-type (zone ombragée)

3 Étude des vitesses verticales

3.1 Vue d'ensemble des vitesses verticales

La distribution des vitesses verticales moyennées (fig.9 graphique de gauche), tous cast réunis, est légèrement asymétrique vers le négatif avec un mode de 0.001 m/s et une moyenne de -0.004 m/s. Les vitesses mesurées sont majoritairement comprises entre -0.035 et 0.023 m/s mais quelques valeurs plus importantes ont été mesurées, certaines pouvant atteindre -0.1 m/s ou 0.08 m/s. L'analyse des vitesses verticales sous forme de boxplot et en fonction des types de masses d'eau échantillonnées (zones d'études telles que décrites dans 1.2.2) (fig.9 graphique de droite) permet de localiser d'où viennent ces quelques valeurs excessives enregistrées (cast 15, 47, 48 et 42). Ces cast pourront par la suite être étudiés plus en détail afin de comprendre l'origine de ces fortes vitesses verticales mesurées.

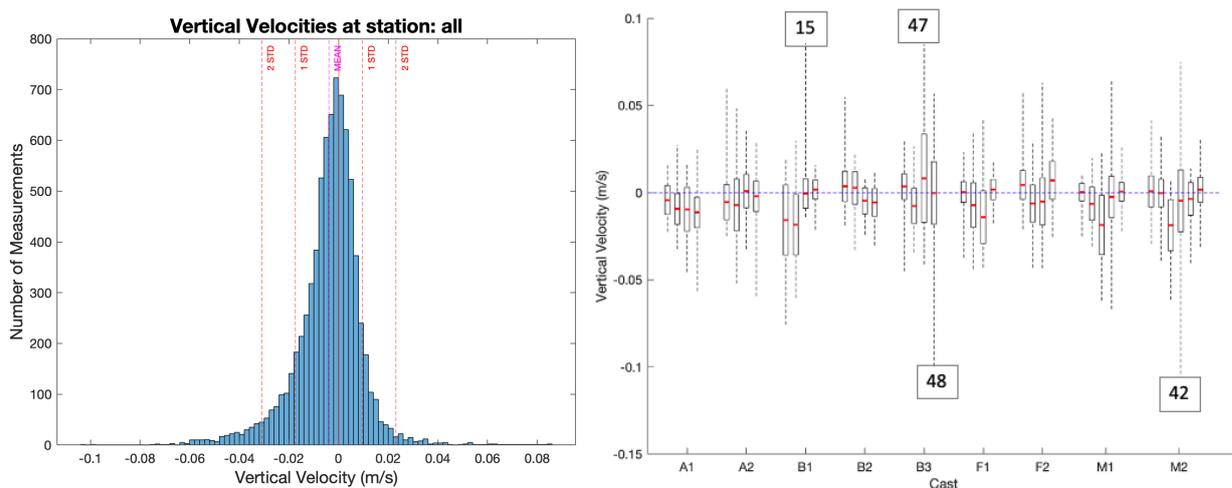


FIGURE 9 – Distributions des vitesses verticales mesurées pour l'ensemble des casts sous forme d'histogramme (à gauche) et de box-plot trié par station (à droite). STD = standard deviation. Pour les box plots : trait rouge = moyenne; rectangle noir = 1er STD; limites trait en pointillé = valeurs minimale et maximale mesurées.

3.1.1 Variabilité journalière

La variabilité journalière des vitesses verticales est obtenue en représentant les vitesses verticales mesurées (pour chaque cast) en fonction du moment de la journée. La variabilité journalière des vitesses verticales est obtenue en représentant les vitesses verticales mesurées (pour chaque cast) en fonction du moment de la journée (fig.10) :

- Le matin et l'après-midi : les vitesses sont relativement faibles avec des moyennes autour de 0 et des écarts-types faibles.
- Le soir : les moyennes deviennent négatives et les écarts-types sont plus importants.
- La nuit : la dynamique du soir est accentuée avec des moyennes plus négatives et des écarts-types plus importants.

Ainsi, il est enregistré de plus grandes variations de vitesses le soir et la nuit. L'accentuation des vitesses verticales négatives le soir et la nuit est susceptible de provenir d'un signal biologique. En effet, les organismes zoo-planctoniques sont connus pour effectuer des migrations nyctémérales, qui sont captées par l'ADCP. Il est à noter cependant que nos observations montrent des vitesses verticales descendantes alors que les migrations nyctémérales sont ascendantes la nuit, elles sont néanmoins cohérentes avec les observations lors de FUMSECK (Cunci, 2021) et nécessitent une étude approfondie ultérieure.

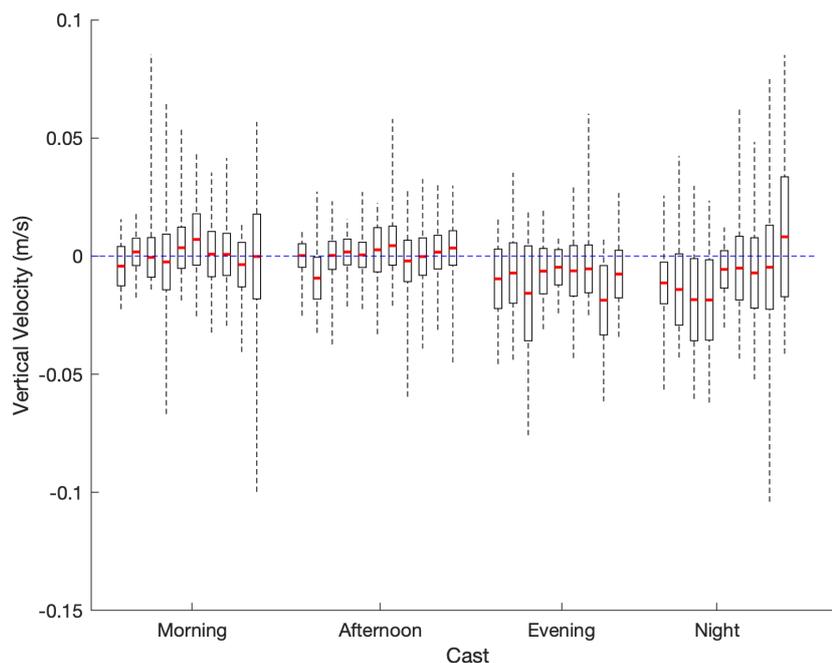


FIGURE 10 – Distributions des vitesses verticales mesurées pour l'ensemble des cast sous forme de box-plot en fonction du moment de la journée. STD = standard deviation ; trait rouge = moyenne ; rectangle noir = 1er STD ; limites trait en pointillé = valeurs minimale et maximale mesurées.

3.2 Identification des signaux d'origine biologique

L'océan dans son entièreté comprend des phénomènes physiques et biologiques, qui sont intrinsèquement liés. Les mesures de vitesses verticales obtenues par ADCP peuvent être d'origine physique ou biologique. Pour estimer les vitesses verticales océaniques d'origine physique, nous allons dans cette partie identifier des critères permettant de séparer les signaux biologiques et physiques.

3.2.1 Qualité de retour des ondes sonores : corrélation et intensité

Afin d'exclure les potentielles données erronées plusieurs critères de qualité sont appliqués (fixés par le fabricant), tels que :

- L'intensité d'écho rétrodiffusé : lorsque celle-ci est inférieure à 40 points, ce qui équivaut à 16% de l'intensité du signal émis, alors la donnée n'est pas prise en compte.
- La corrélation entre le signal émis et le signal rétrodiffusé : lorsque celle-ci est inférieure à 64 points, ce qui équivaut à 25% de corrélation, la donnée n'est pas prise en compte.

L'onde acoustique émise par le FF-ADCP va lors de la propagation perdre en intensité. Ainsi, l'intensité de l'écho rétrodiffusé et la corrélation entre le signal émis et le signal rétrodiffusé vont être plus importants proche de l'instrument et diminuer progressivement en fonction de la profondeur. Un profil typique est donc sous la forme suivante : de forte valeurs de corrélation et d'intensité proche de l'instrument et qui tendent vers zéro en bout de portée de l'onde. Ces deux critères de qualité peuvent ainsi permettre de caractériser de forts signaux biologiques qui ont pour conséquence d'augmenter les valeurs de corrélation et d'intensité.

Cas particulier du cast 22 : focus sur le critère de corrélation

— *Première approche :*

Les corrélations montrant à une augmentation soudaine, susceptibles de correspondre à de l'activité biologique, ont été isolées (à la main) (fig.11) afin d'étudier les vitesses verticales correspondantes.

Les vitesses verticales ainsi isolées comprennent bien une partie des vitesses verticales excessives enregistrées, positives dans cet exemple précis (fig.12 graphique de droite, queue positive de la distribution).

— *Deuxième approche :*

L'approche est faite à sens inverse, c'est-à-dire en sélectionnant les vitesses verticales excessives en premier lieu ($-0.03 < w < 0.03$ m/s) puis en mettant en évidence les corrélations correspondantes. Les deux premières zones de corrélation suspectes (encadré vert fig.12) sont ainsi mises en évidence (fig.13) ainsi que plusieurs autres zones de fortes corrélation. La dernière zone suspecte (dernier encadré vert fig.13) n'est pas associée à des fortes vitesses verticales.

Le critère de corrélation semble donc un indicateur sensible, bien qu'insuffisant, pour identifier les vitesses verticales importantes liées à une activité biologique.

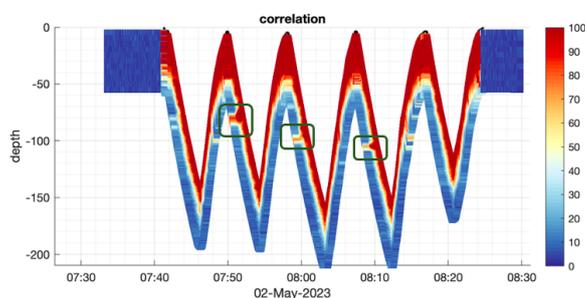


FIGURE 11 – profil de corrélation du cast 22. Encadrés vert : corrélations suspectes

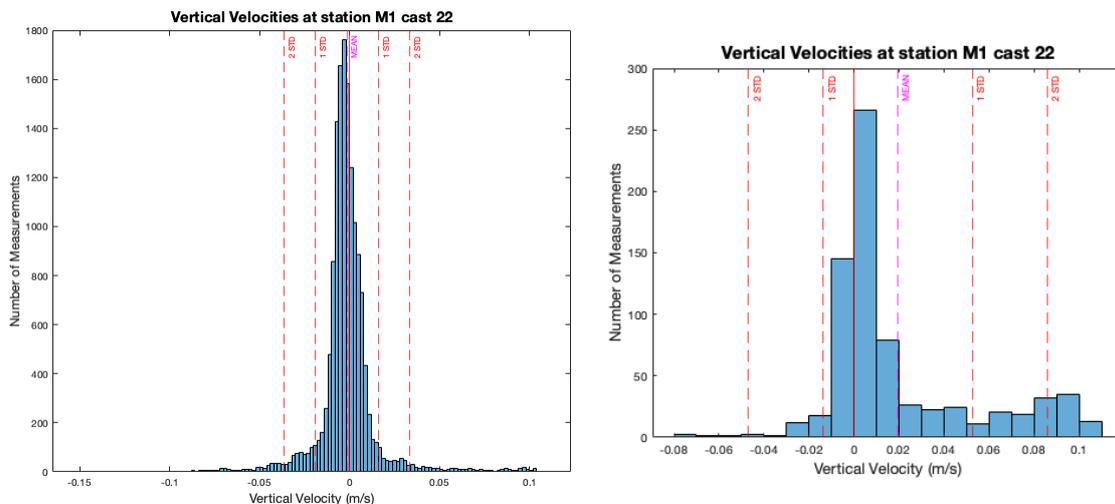


FIGURE 12 – Distributions des vitesses verticales du cast 22 : (gauche) ensemble des mesures, (droite) mesures correspondant aux corrélations suspectes.

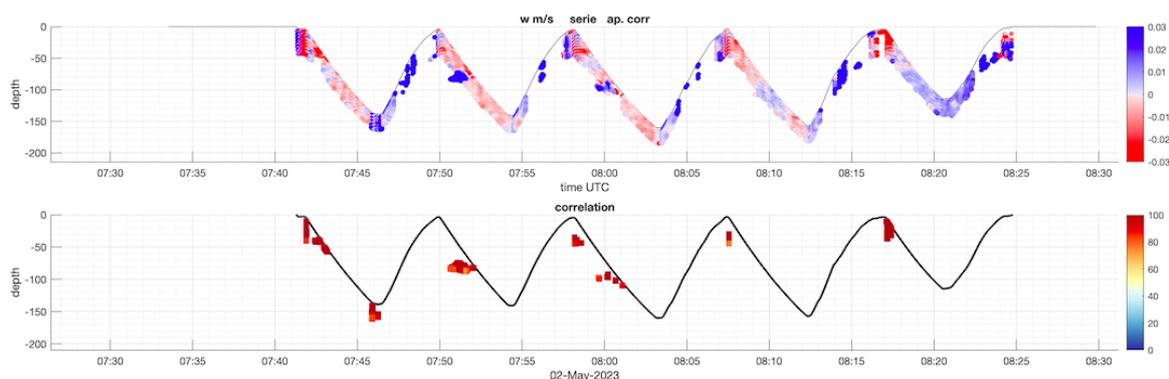


FIGURE 13 – Profils du cast 22 en fonction de la profondeur et du temps : (haut) vitesses verticales (les mesures ne sont valides que dans les phases de descente), (bas) corrélations correspondant aux vitesses verticales d'amplitude supérieure à 0.03 m/s.

3.3 Caractéristiques des masses d'eau

La dernière partie de l'analyse a consisté à étudier les profils de température (en °C), salinité (en g/kg) et masse volumique (exprimée en anomalie de masse volumique, soit masse volumique - 1000 kg/m³).

Les profils correspondant aux différentes plongées pour les stations A2, B2 et F2 présentent des similitudes (fig.14). Effet, deux thermoclines apparaissent : une première vers 10m puis une seconde vers 25m. Ces trois stations ont été réalisées entre le 4 et le 7 avril 2023, elles sont donc assez proches temporellement, cela pourrait expliquer ces similitudes. Néanmoins, les stations A2, B2 et F2 se trouvent dans trois zones au caractéristiques différentes : A2 et B2 chacune de chaque coté du front et F2 au niveau du front. Ainsi, on s'attendrait à moins de similitudes au niveau de profils.

Par la suite, il s'agira de déterminer l'origine de cette variabilité le long de la colonne d'eau. Est-elle due à une dynamique horizontale ou verticale ?

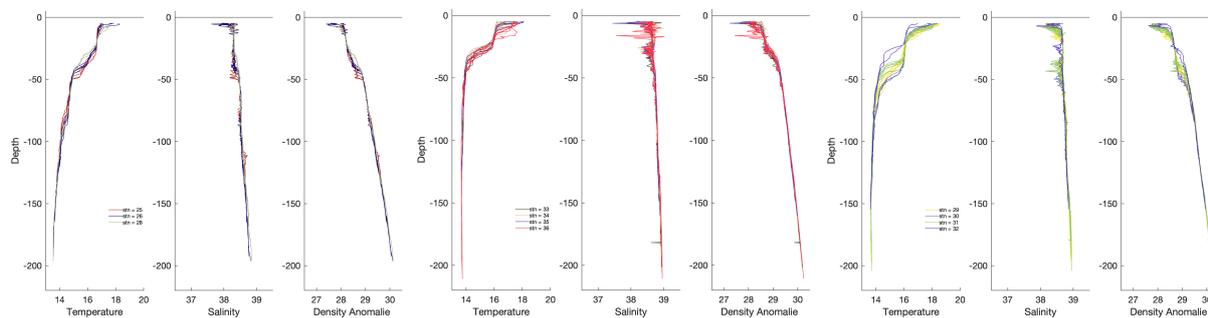


FIGURE 14 – Profils verticaux de température, salinité et l'excès de masse volumique pour plongée des stations : A2 (à gauche), B2 (au milieu) et F2 (à droite), (une couleur par plongée pour chaque station).

4 Conclusion et perspectives

Les jeux de données obtenus pour chaque station effectuée pendant la campagne BioSWOT-Med ont été pré-analysés afin de s'assurer de la validité des mesures de vitesses verticales. La modification du critère de début de plongée afin que toutes les plongées soient considérées, l'utilisation des données de pression issues de la CTD pour le calcul de la vitesse de l'instrument, et la compréhension des profils de vitesses verticales océaniques ont permis une première étude des vitesses verticales. Les principaux résultats montrent des vitesses verticales relativement faibles, majoritairement comprises entre -0.03 m/s et 0.03 m/s, avec quelques valeurs de vitesses excessives pouvant atteindre -0.1 m/s et 0.1 m/s. De plus cette première analyse met en évidence une variabilité journalière des vitesses verticales mesurées avec des vitesses verticales moyennes négatives le soir et la nuit, très probablement liées à l'activité biologique et en particulier aux migrations nyctémérales du plancton. Les vitesses verticales (excessives ou non) mesurées peuvent avoir deux origines : physique ou biologique.

Les vitesses verticales mesurées par ADCP grâce aux particules présentes dans l'eau, et peuvent ainsi avoir une origine physique ou biologique. Il est donc important d'identifier l'origine du signal enregistré, notamment afin de comprendre l'origine des vitesses d'amplitude importante (supérieure à quelques cm/s). Pour cela, il reste à creuser la piste des critères permettant une première distinction des signaux biologiques et physiques. Les critères de corrélation et d'intensité permettent-ils d'identifier les signaux biologiques ? De plus, grâce aux multiples données recueillies lors de la campagne BioSWOT-Med 2023, il sera possible d'associer les données du FF-ADCP avec des mesures issues de l'échosondeur, ainsi qu'avec les mesures biologiques issues des prélèvements in situ, ce qui permettra de confirmer la présence d'activités biologiques lors des phases d'intenses vitesses verticales. Il sera également intéressant de comprendre les différentes sources physiques des vitesses verticales, en étudiant par exemple les liens entre les vitesses verticales et horizontales. La Figure 15 mettant en regard les vitesses horizontales et verticales pour le cast 47 montre un fort cisaillement des courants horizontaux, associé à des vitesses verticales intenses et contrastées. En effet, on observe différents courants horizontaux le long de la colonne d'eau :

- en surface : un premier courant de direction nord-ouest
- à partir de 50m de profondeur :
 - un courant de sud-est jusqu'à environ 110m
 - un courant sud-ouest jusqu'à 160m
 - un courant nord-ouest jusqu'à 200m puis un courant nord-est

En ce qui concerne les vitesses verticales, on observe de fortes vitesses verticales (supérieures à 0.03 m/s) de environ 70m à 140m. Cette profondeur semble correspondre à la profondeur où il est observé un

changement du courant horizontal du sud-est au sud-ouest. L'analyse approfondie et interdisciplinaire de l'ensemble des données physiques, biologiques, chimiques récoltées pendant la campagne BioSWOT-Med nous permettra sans nulle doute une meilleure compréhension de la dynamique océanique et de ses conséquences.

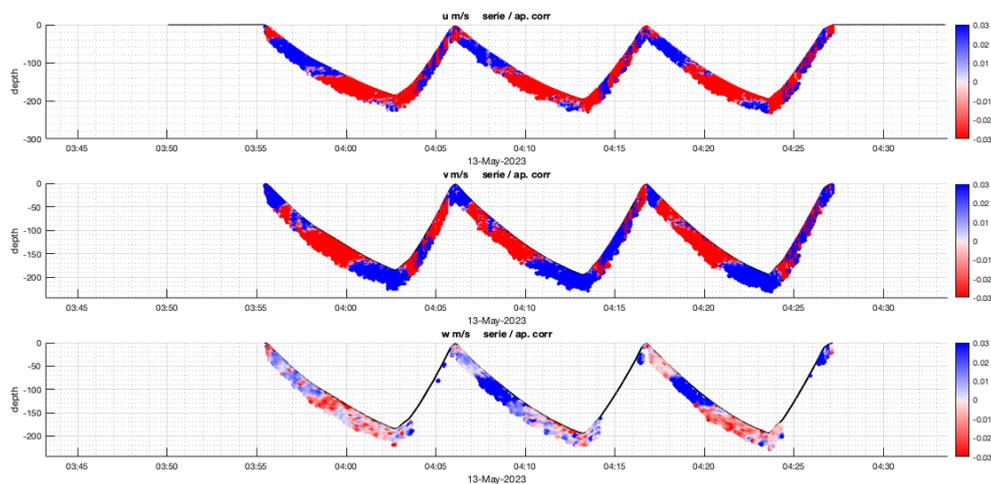


FIGURE 15 – Vitesses horizontales et verticales pour les cast 47. En haut : u (m/s, vers l'est) ; Au milieu : v (m/s, vers le nord) ; En bas : w (m/s, vers le haut), pour le cast 47.

Bibliographie

C. Comby, S. Barrillon, J-L. Fuda, A. M. Doglioli, R. Tzortzis, G. Gégori, M. Thyssen, and A. Petrenko, 2022 : Measuring Vertical Velocities with ADCPs in Low-Energy Ocean, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2022, 39 (11), pp.1669-1684

C. Cunci, 2021 : Étude des anomalies de vitesses verticales des courants obtenues par ADCP de coque durant la campagne FUMSECK, https://people.mio.osupytheas.fr/~barrillon.s/Students/Rapport_Charlotte_2021.pdf

J-L. Fuda, S. Barrillon, A. Doglioli, A. Petrenko, G. Gégori, R. Tzortzis, C. Comby et al., 2021 : A new approach for measuring oceanic vertical velocities, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-9371

S. Barrillon, H. Bataille, N. Bhairy, C. Comby, T. Coulon, A. Doglioli, F. d'Ovidio, J-L. Fuda et al., 2020 : FUMSECK cruise report, <https://archimer.ifremer.fr/doc/00636/74854/>

S. Barrillon, 2023 : BioSWOT-Med blog : The FF-ADCP and the CTD, interview, <https://www.mio.osupytheas.fr/fr/campagne-bioswot-med-interview-de-stephanie-barrillon>