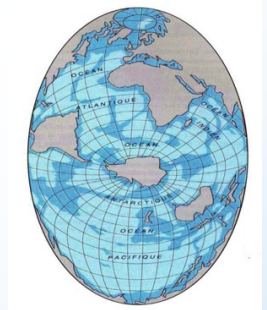
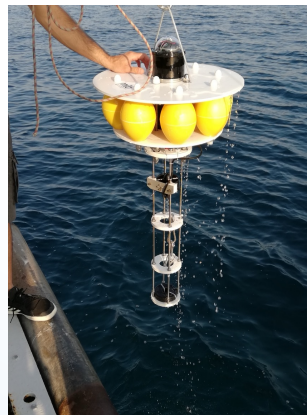
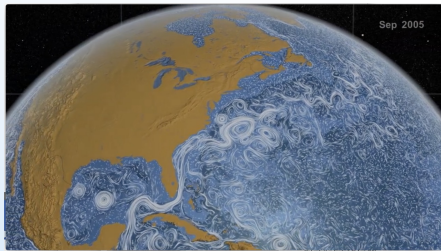


FUMSECK-vv : *Vitesses verticales et* *dynamique à fine échelle*

LEFE, 28/05/2024

Stéphanie Barrillon, Anne Petrenko (MIO)

Restitution projet LEFE



Vitesses verticales océaniques



Un défi de taille



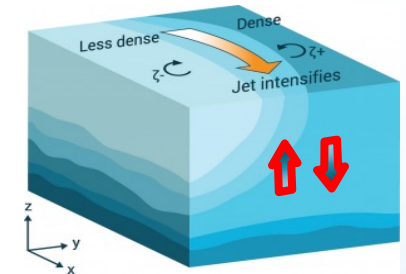
Verrou technique

- beaucoup moins intenses $\mathcal{O}(\text{mm/s})$ que courants horizontaux $\mathcal{O}(10 \text{ cm/s})$
- mesures *in situ* très complexes



Au cœur des questions scientifiques actuelles

- impact sur tous les processus océaniques
- **point clef** pour la compréhension des **échanges verticaux** (pompe carbone, flux nutriments)
- présence échelles meso-submeso (1-100 km / 1-10 jours)



<https://www.mercator-ocean.fr/en/portfolio/medsub-2/>

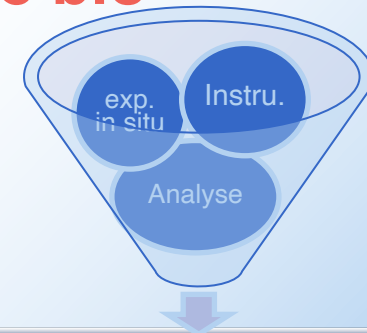


FUMSECK-vv : Mesure *in situ*, fine échelle, couplage bio



Mise en œuvre :

- Développement instrumental et méthodologique
- Expériences *in situ*
- Analyse de données



⚓ Vitesses verticales et dynamique océanique à fine échelle

- 🗨 3 ans 2021-2023, LEFE-IMAGO, « projet à risque », 21.5 k€
- 🗨 **Mots-clefs** : fines échelles, vitesses verticales, instrumentation *in situ*, observations satellite, FUMSECK, BioSWOT, SWOT
- 🗨 **Campagnes en mer** : FUMSECK 2019, VVPTEST (2020-2023), PROTEVS-Med (2018), PROTEVS-Gascogne (2022), BioSWOT-Med (2023)
- 🗨 **Tests « labo »** : fosse COMEX 2021, soufflerie 2021

⚓ Liens avec d'autres projets

- 🗨 HOPE-vv (A. Petrenko, AMIDEX blanc, 2023-2027)
- 🗨 SeaLAB (P. Le Gal, AMIDEX, 2023-2025)
- 🗨 BioSWOT-AdAC (F. d'Ovidio, A. Doglioli, G. Grégori, CNES, 2020-2024)
- 🗨 IDEAS (A. Doglioli, ESA-Serco, 2021-2023, 2024-2026)
- 🗨 GLISS (A. Bosse, CNES, 2023-2025)
- 🗨 DISTURB-SWOT (A. Bosse, LEFE, 2023-2025)
- 🗨 GEPETO (F. Auclair, LEFE, 2020-2022)
- 🗨 COGNAC20 (A. Ponte, LEFE, 2020-2023)

Participants



MIO



OPLC (Physique) : SB, Anne Petrenko, Andrea Doglioli, Jean-Luc Fuda, Caroline Comby, Roxane Tzortzis, Anthony Bosse, Maxime Arnaud



CYBELE (Biogéochimie) : Melilotus Thyssen, Gérald Grégori



SAM (Services à la mer) : Nagib Bhairy



LOCEAN : Francesco d'Ovidio, Xavier Capet



Canada : Frédéric Cyr



LOPS : Xavier Carton, Charly de Marez, Pierre l'Hégaret, Morgane Dessert



LEGOS : Frédéric Marin (+ Patrick Marchesiello, Francis Auclair, Laurent Roblou)



CLS : Francesco Nencioli

+---+



LEGOS : Patrick Marsaleix, Claude Estournel, Caroline Ulses



SHOM : Franck Dumas, Lucie Bordoïs



Ifremer : Aurélien Ponte



IRPHE (phénomènes hors équilibre) : Patrice Le Gal, Michel Le Bars, Marine Aulnette



DT-INSU : Céline Heyndrickx

Organisation

⚓ Work Packages

💬 **WP 0** : Coordination

💬 **WP 1** : Mesures *in situ*

- **a. analyse** données, confs, publis
- **b. développement** instrumental
- **c. campagnes** en mer
- **d. analyse** données nouvelles campagnes, confs, publis

💬 **WP 2** : Fines échelles et vitesses verticales

- **a. SPASSO**
- **b. inter-analyse** données (modé)

💬 **WP 3** : Couplage (phys-bio)

- **a. inter-analyse** FUMSECK
- **b. inter-analyse** nouvelles campagnes

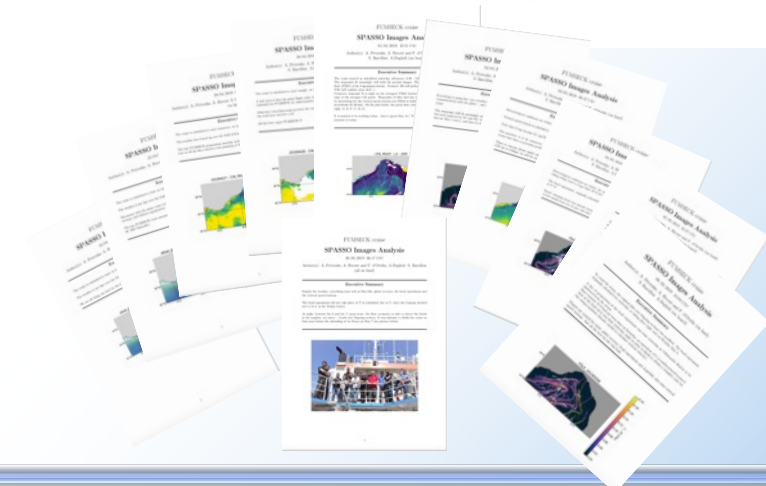
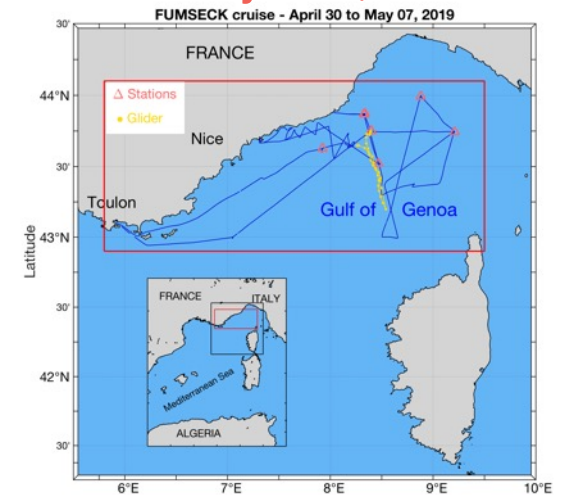
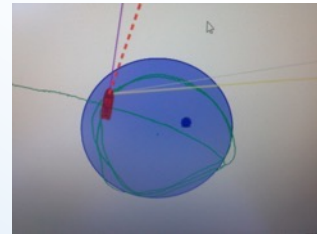
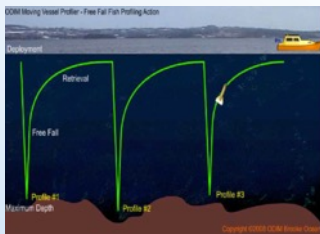
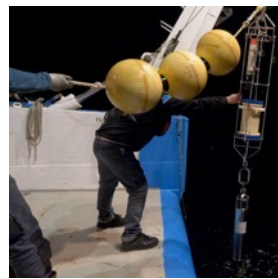
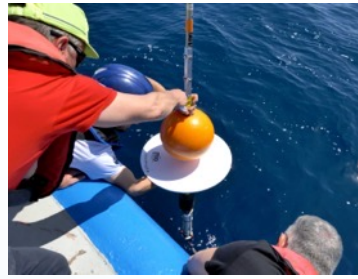
Working Points		jan - juin 2021		juill - déc 2021		jan - juin 2022		juill - déc 2022		jan - juin 2023		juill - déc 2023	
0	WP 0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	WP 1a	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	WP 1b	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	WP 1c	* ✓	X * ✓	* ✓	X	* ✓	X	X ✓			✓	✓	
	WP 1d				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	WP 2a	✓				✓	✓				✓	✓	
	WP 2b			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
3	WP 3a	✓	✓	✓	✓								
	WP 3b			X	X	✓	✓						@

FUMSECK (*Facilities for Updating the Mediterranean Submesoscale - Ecosystem Coupling Knowledge*), 30 avr - 07 mai 2019, mer Ligure. R/V Téthys II (S. Barrillon)

🗨️ Préparation SWOT. Mesures couplées phys/bio

🗨️ Résultats :

- Vitesses verticales
- Effet tempête phys-bio

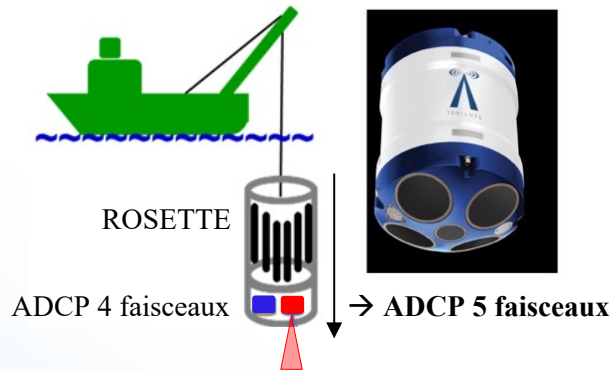


🗨️ Stratégie lagrangienne avec SPASSO

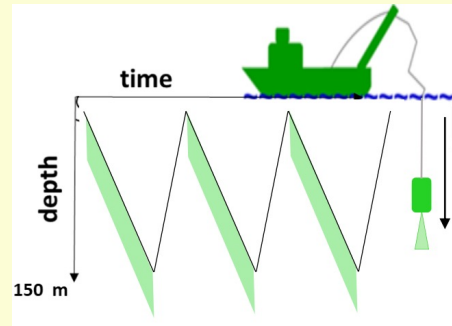
Mesures Innovantes

⚓ *In situ* (ADCP Acoustic Doppler Current Profiler) → ~mm/s

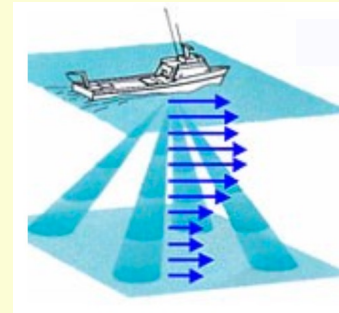
🗨️ Classique



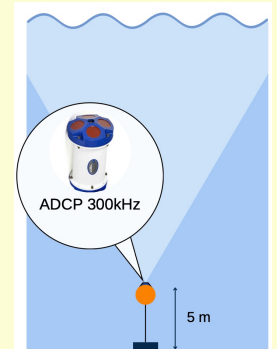
🗨️ → Free-Fall



🗨️ → Coque

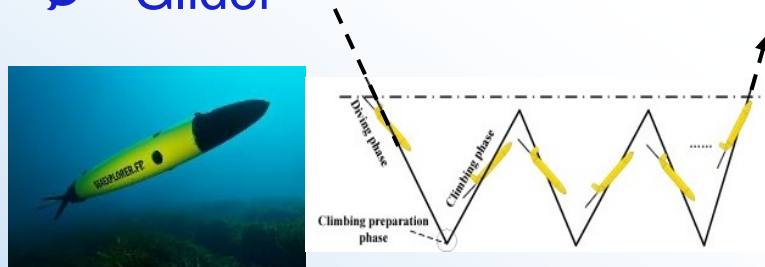


🗨️ → Mouillage

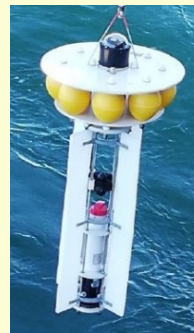


⚓ *In situ* / modèle de vol → ~mm/s

🗨️ Glider



🗨️ → VVP (Vertical Velocity Profiler)



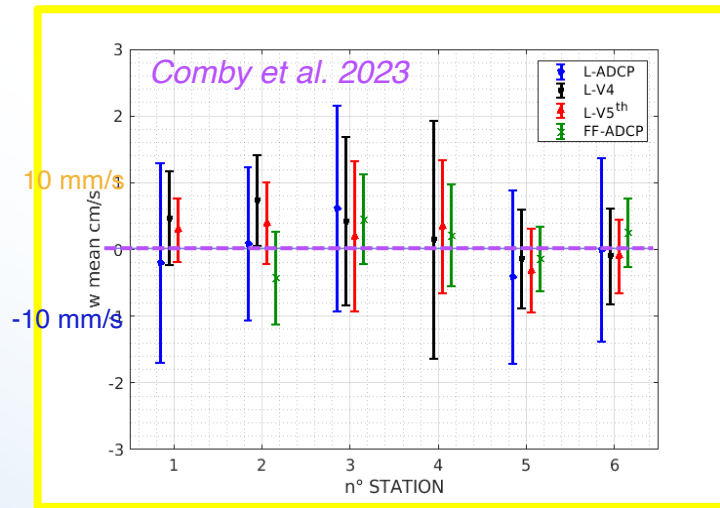
- Profileur autonome. Remontée libre
- Mesure de sa vitesse
- Vitesse verticale océanique =
vitesse mesurée – modèle de vol

Fines échelles - ADCP station



ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

- Optimisation 4 méthodologies
- Analyse approfondie erreurs



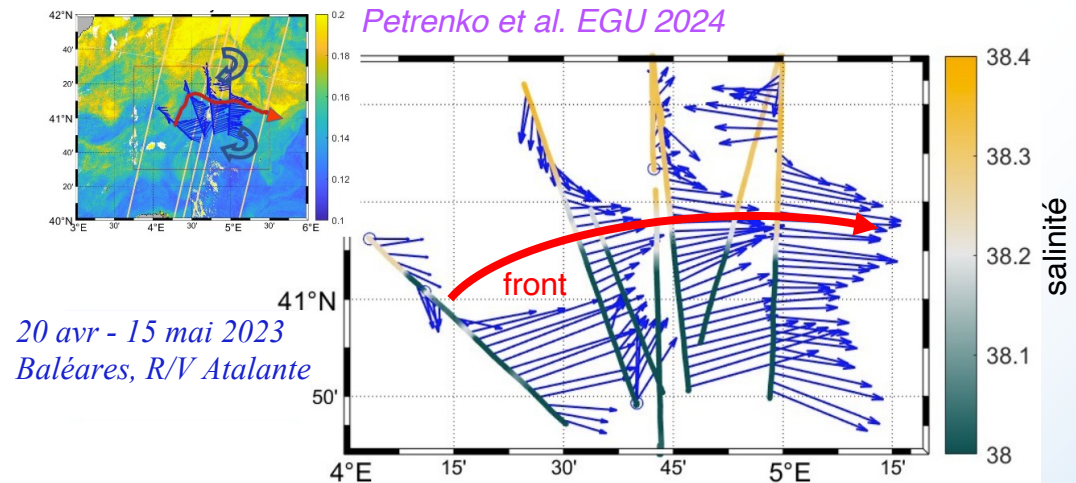
- ➔ Mesure valide. Précision $\sim 5 \text{ mm.s}^{-1}$
- ➔ Erreur de mesure $\sim$ variabilité
- ➔ Meilleure : 5 faisceaux en chute libre

➔ Première mise en évidence directe vitesses verticales / front



FF-ADCP BioSWOT-Med

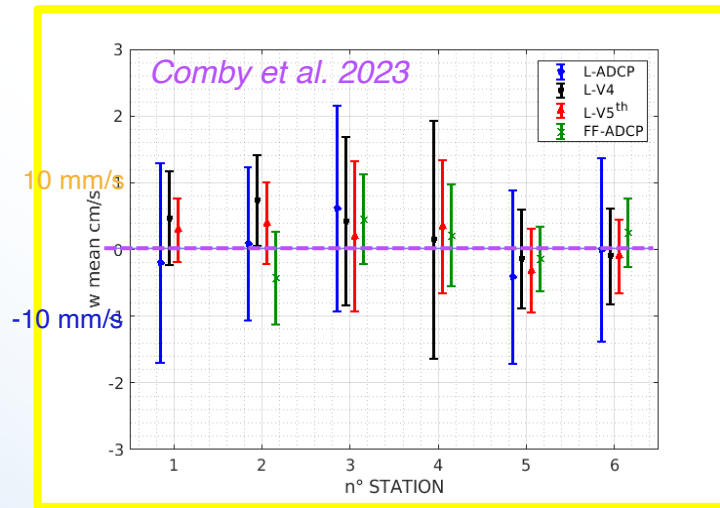
- Dynamique frontale sous SWOT
- Mesures vitesses verticales in situ



Fines échelles - ADCP station

🚢 **ADCP** (Acoustic Doppler Current Profiler)

- 💡 Optimisation 4 méthodologies
- 💡 Analyse approfondie erreurs

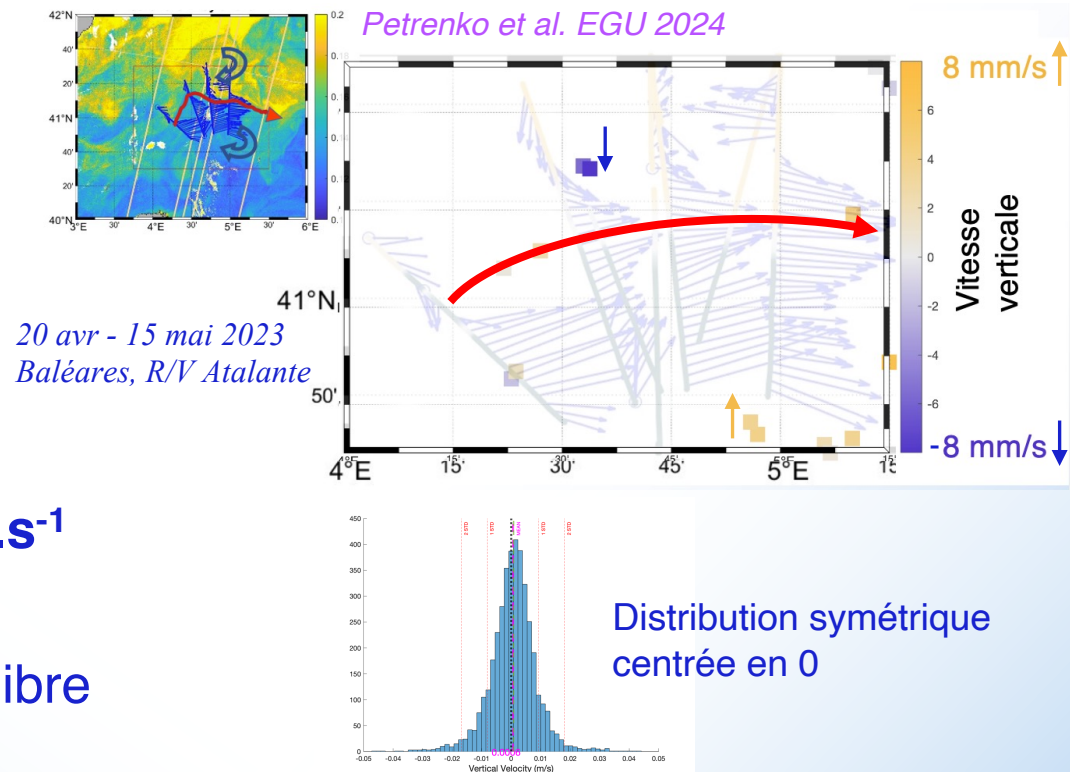


- ➔ Mesure valide. Précision $\sim 5 \text{ mm.s}^{-1}$
- ➔ Erreur de mesure $\sim$ variabilité
- ➔ Meilleure : 5 faisceaux en chute libre

➔ Première mise en évidence directe vitesses verticales / front

🚢 **FF-ADCP BioSWOT-Med**

- 💡 Dynamique frontale sous SWOT
- 💡 Mesures vitesses verticales in situ

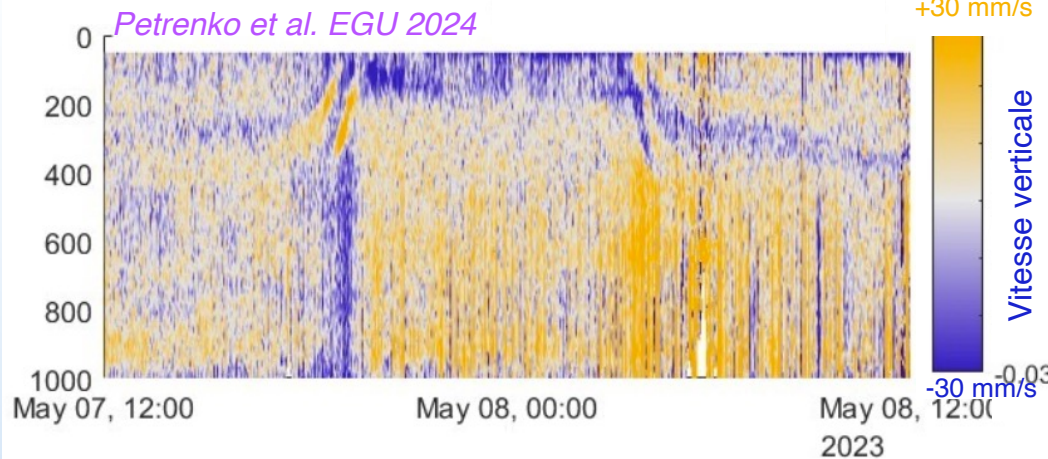


Processus biologiques / physiques



ADCP coque

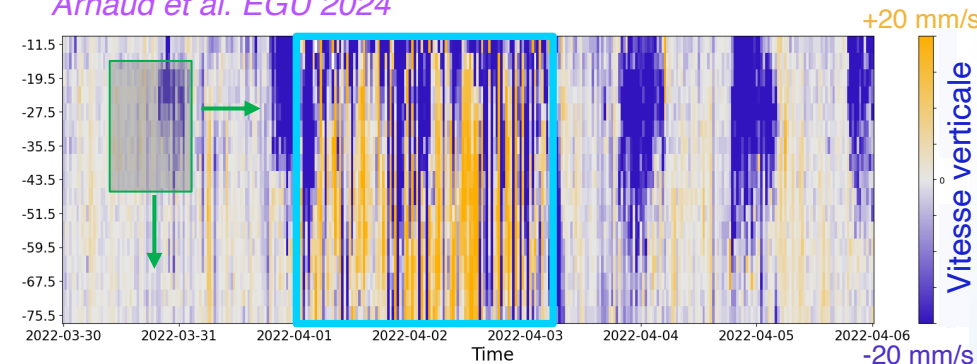
- FUMSECK – BioSWOT-MED
- Correction pilonnement
- Signaux biologiques



Mouillage JULIO

- ADCP – 100m – baie de Marseille

Arnaud et al. EGU 2024



- Vitesses verticales descendantes nuit - printemps → signal biologique
- Algorithme de filtrage
- Upwelling → 1.9 mm/s
(-3.7mm/s sans filtrage bio)

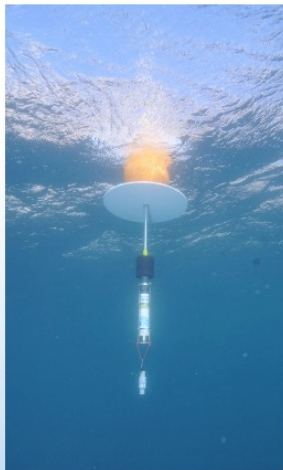
→ Validation de mesure souvent jugées inexploitable

Vertical Velocity Profiler

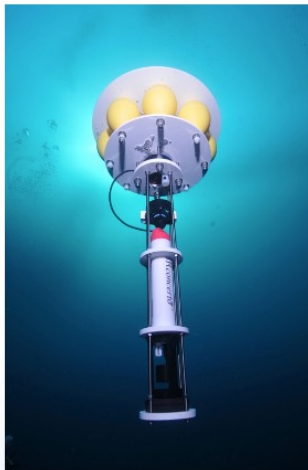
⚓ VVP (Vertical Velocity Profiler)

- 💬 Instrument autonome
- 💬 Modèle de vol
- 💬 Caractérisation dynamique
 - Tests en soufflerie, mer, environnement contrôlé

2019



2021



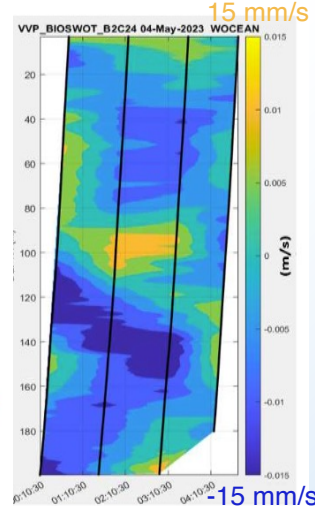
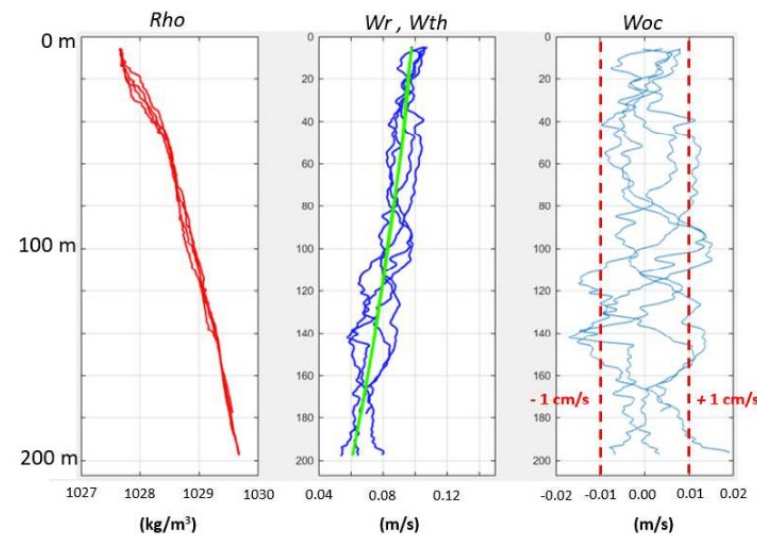
2022



⚓ BioSWOT-Med

- 💬 Mesure vitesses verticales

Fuda et al. 2023

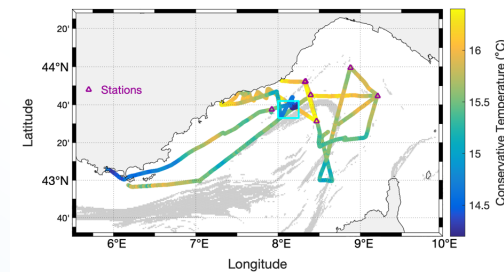


- 💬 Erreur modèle de vol ~ 5 mm/s
- 💬 Complémentaire FF-ADCP

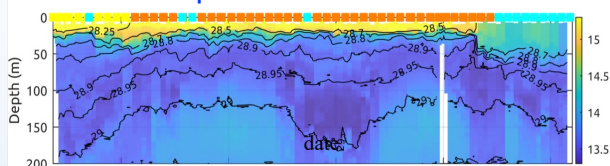
- ➔ Instrument innovant - Autonome - Low cost
- ➔ Facile d'utilisation – Demandé pour de nombreux projets

Masses d'eau et phytoplancton *in situ*

Température Surface

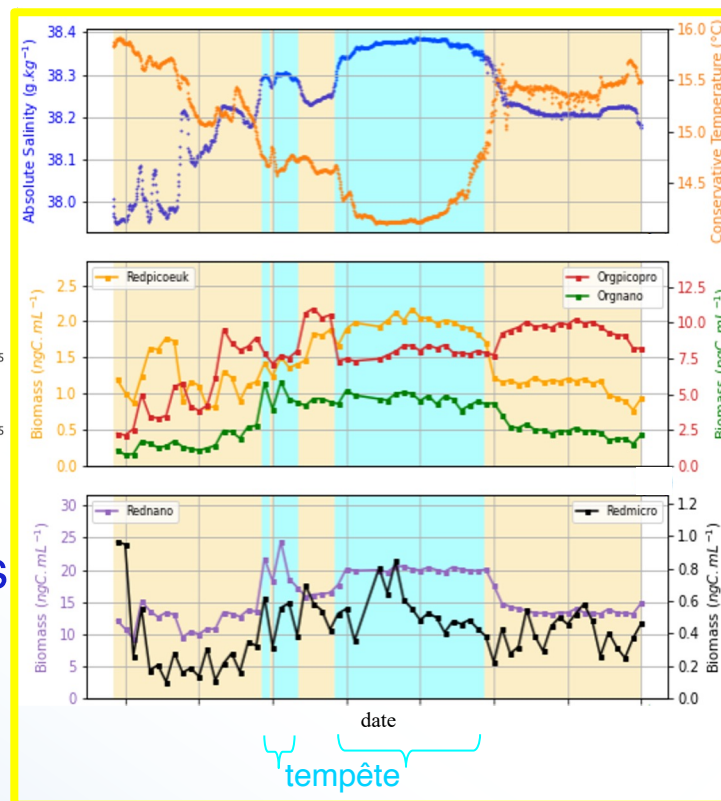


Température Glider



- 🗨️ Événement tempête
- 🗨️ Surface ➔ nutriments
- ➔ biomasse
- 🗨️ Dilution Chloro

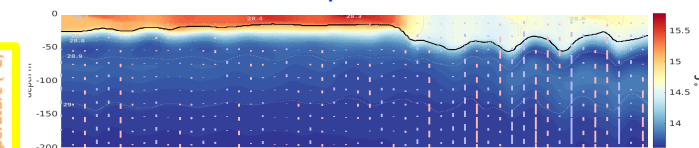
Barrillon et al. 2023



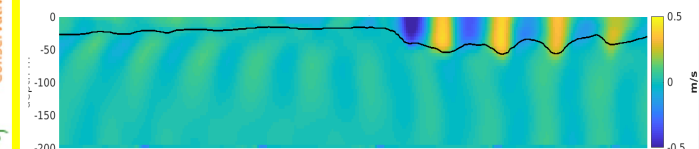
➔ Approches multidisciplinaires

Modèle Symphonie

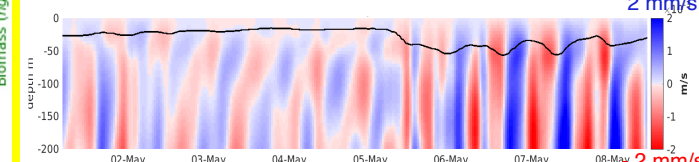
Température



Vitesse courant vers l'Est



Vitesse courant verticale



- 🗨️ Approfondissement couche mélange
- 🗨️ Intensification courant
- 🗨️ Oscillations

Étudiants - Vitesses verticales



Thèses

- 🗨️ 2023 - 2026 : **Maxime Arnaud**, “Vitesses verticales et fines échelles en Méd. NO”
- 🗨️ 2020 - 2023 : **Caroline Comby**, “Dynamique océanique à fines échelles et vitesses verticales”



M2, ingénieur

- 🗨️ 2021 : **Margaux Dufosse**, Intechmer, VVP
- 🗨️ 2020 : **Caroline Comby**, M2, ADCP FUMSECK



M1

- 🗨️ 2023 : **Eva Lefèvre**, FF-ADCP BioSWOT-Med
- 🗨️ 2022 : **Anastasia Volorio-Galéa**, ADCP de coque PROTEVS-Gibraltar



L3

- 🗨️ 2024 : **Chloé Lefèvre**, FF-ADCP et VVP BioSWOT-Med
- 🗨️ 2023 : **Harry Boutemy**, VVP BioSWOT-Med
- 🗨️ 2022 : **Margaux Laville** VVPTest-JULIO, **Léa Criado** VVP tests en fosse, **Yohan Esteves** VVP modèle de vol
- 🗨️ 2021 : **Ombeline Sue** VMP, **Charlotte Cunci** ADCP de coque FUMSECK
- 🗨️ 2020 : **Yann Darchin**, Glider FUMSECK



L2

- 🗨️ 2021 : **Claire Raffaelli**, VVP tests fosse
- 🗨️ 2020 : **Ombeline Sue**, ADCP de coque FUMSECK

Publications

- ⚓ **J.-L. Fuda *et al.***, *Estimating ocean vertical velocities using an autonomous multipurpose profiler*, 2023 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea (MetroSea), pp. 6-10. IEEE **(2023)**
- ⚓ **C. Comby, *et al.***, *Near Inertial Oscillations and Vertical Velocities Modulating Phytoplankton After a Storm in the Mediterranean Sea*, Journal of Water Resources and Ocean Science, 12(2), 31-37 **(2023)**
- ⚓ **S. Barrillon, *et al.***, *Phytoplankton reaction to an intense storm in the northwestern Mediterranean Sea*, EGU sphere, pp.1-30 **(2022)**
- ⚓ **C. Comby, *et al.***, *Measuring vertical velocities with ADCPs in low-energy ocean*, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 39(11), pp.1669-1684 **(2022)**

Conférences

- ⚓ **A. Petrenko et al.**, *Complex 3-D oceanic velocities at SWOT scales exhibited during the spring 2023 BioSWOTMed cruise*. EGU General Assembly (2024)
- ⚓ **M. Arnaud et al.**, *Biological processes and wind contributions to 3-D fine-scale dynamics in a coastal area* EGU General Assembly (2024)
- ⚓ **J.-L. Fuda et al.**, *Estimating ocean vertical velocities using an autonomous multipurpose profiler*, IEEE MetroSea (2023)
- ⚓ **S. Barrillon et al.**, *Phytoplankton reaction to an intense storm in the northwestern Mediterranean Sea*, ASLO Aquatic Science Meeting (2023)
- ⚓ **C. Comby et al.**, *Vertical velocities in the North- western Mediterranean Sea : combining in situ and modeling approach*, Copernicus Meetings, pp. EGU22-3920 (2022)
- ⚓ **C. Comby et al.**, *New insights for direct in situ measurement of oceanic vertical velocities in fine-scale studies*, Ocean Sciences Meeting (2022)
- ⚓ **J.-L. Fuda et al.**, *Une nouvelle approche pour mesurer la composante verticale des courants océaniques*, Journées Drones & Capteurs, Ile d'Oléron (2021)
- ⚓ **S. Barrillon et al.**, *Study of fine- scale dynamics and their coupling with biogeochemistry - FUMSECK cruise*, in EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU21-7199) (2021)
- ⚓ **C. Comby et al.**, *New insights for direct in situ measurement of oceanic vertical velocities in fine-scale studies*, in EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU21- 4632) (2021)
- ⚓ **J.-L. Fuda et al.**, *A new approach for measuring ocean vertical velocities*, in EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU21-9371) (2021)

Outreach

Présentations scolaires

- 💬 2023 : CM2 École château Sec, Les Océans en mouvement
- 💬 2021 : 6^{ème} Collège Sylvain Menu, Océanographie : physique et biologie, associées pour la vie

Fêtes de la science : VVP stand

News / Tweets

- 💬 Réguliers 2019-2023 FUMSECK & VVP

Vidéos

- 💬 FUMSECK (par Gérald Grégori) : FF-ADCP, MVP, VVP
- 💬 C'est toujours pas sorcier (2021)

Conclusions



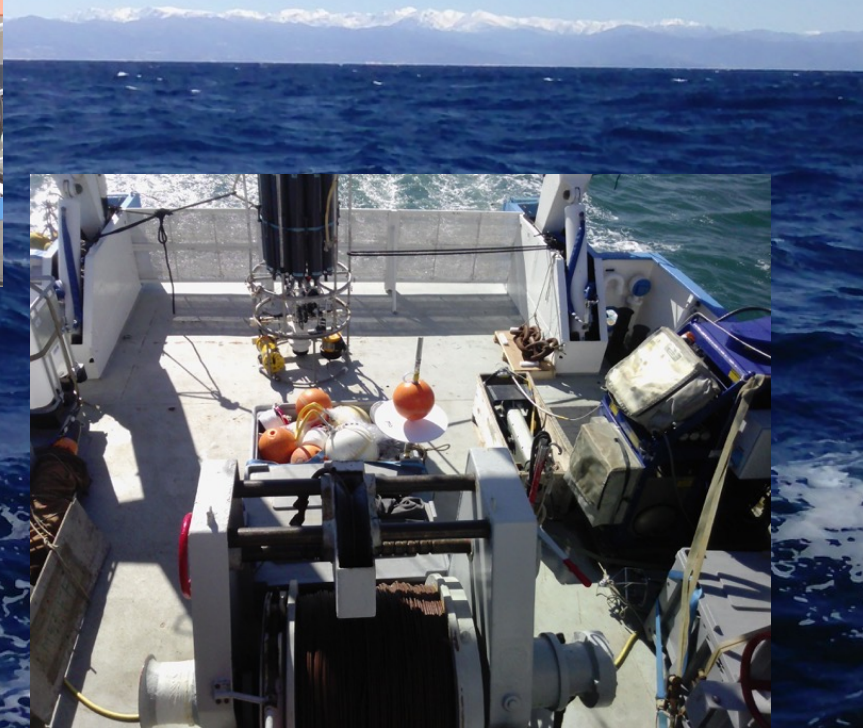
FUMSECK-vv

- 💬 3 ans - 30 collaborateurs - réunions bi-annuelles
- 💬 Développement instrumental
- 💬 Déploiement en mer
- 💬 Analyses de données



Outcome

- 💬 2 instruments validés et matures mesure vitesses verticales ~mm/s
- 💬 Déploiement BioSWOT-Med :
mise en évidence dynamique verticale en zone frontale
- 💬 16 étudiants, 4 publications, 10 conférences, outreach

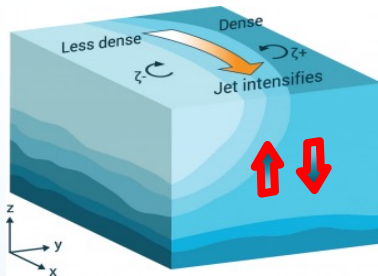
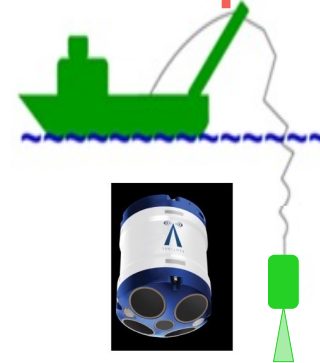


Objectifs

Vitesses verticales et dynamique océanique à fine échelle

⚓ Mesure *in situ* directe des vitesses verticales océaniques

- 💬 Comment ? Meilleure technologie ?
- 💬 Avec quelle précision ?



<https://www.mercator-ocean.fr/en/portfolio/medsub-2/>

⚓ Dynamique à fine échelle

- 💬 Mise en évidence *in situ*
- 💬 Compréhension des mécanismes

⚓ Couplage avec la biogéochimie

- 💬 Pompe à carbone
- 💬 Remontée des nutriments
- 💬 Biodiversité, populations planctoniques

➔ Stratégie

- 💬 Développement instrumental
- 💬 Déploiement *in situ*
- 💬 Analyse approfondie