

"Particules" marines

Dynamique fines échelles

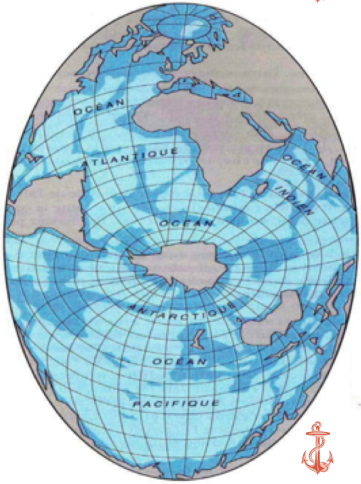
LLR Palaiseau, 09/03/2020

Stéphanie Barrillon (MIO)



Outline

⚓ Océanographie



- 💬 Introduction. Échelles. Mesures de Physique
- 💬 Grandes questions. Petites échelles
- 💬 MIO. Mes activités.

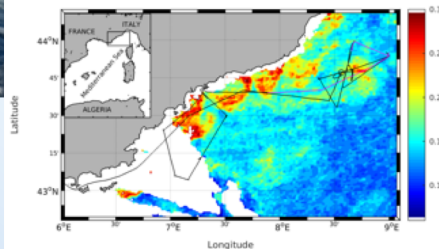


⚓ Satellite SWOT et fines échelles

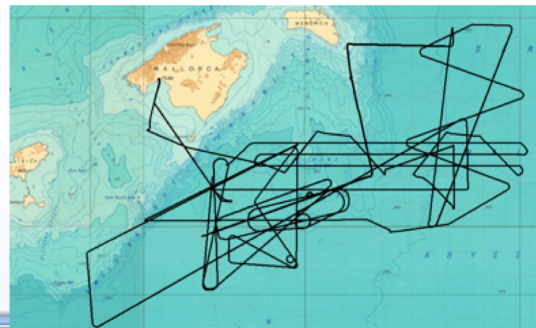
- 💬 Contexte
- 💬 Campagnes océanographiques et résultats



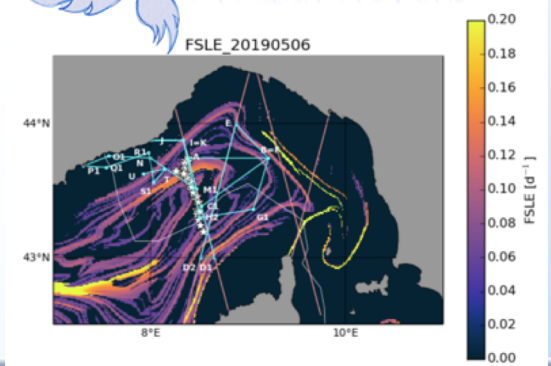
OSCAHR



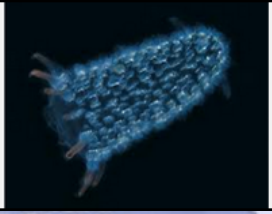
PROTEVS-SWOT



FSMSECK



Introduction



Océanographie (Wikipedia) :

- Discipline scientifique. Sciences de la Terre. Étude des mers et des océans.
- Naissance : premier congrès 1871 et expédition Challenger entre 1872 et 1876
- Océanographie $\neq$ océanologie, plutôt appliquée (exploitation des ressources et protection des environnements marins).



Multidisciplinarité par essence : biologie, chimie, géologie, physique, écologie (écosystèmes), climatologie, météorologie

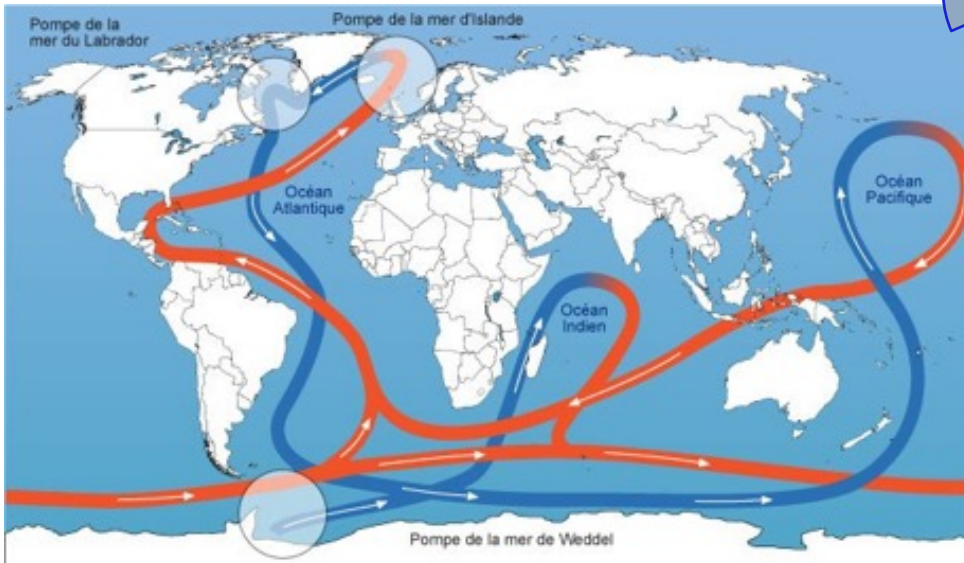


Océanographie physique : étude des caractéristiques physiques (état et processus) de l'océan, principalement des mouvements et des propriétés des masses d'eau océaniques.



Vertige des échelles

⚓ Niveau mondial



⚓ Turbulence



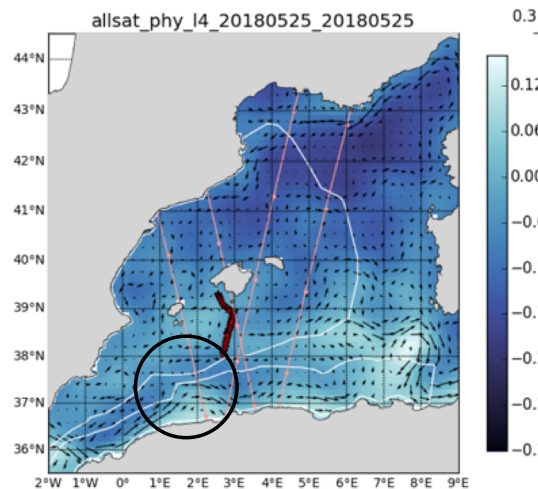
⚓ Moyennes échelles

⚓ Fines échelles

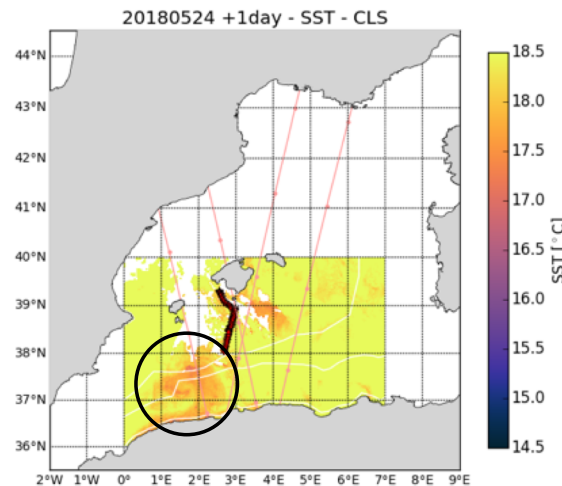
- 💬 Comme pour micro-organismes :
Petits → dynamique très rapide
- 💬 Difficultés mesures *in situ* →
stratégies adaptatives (satellite)

Association physique et biologie

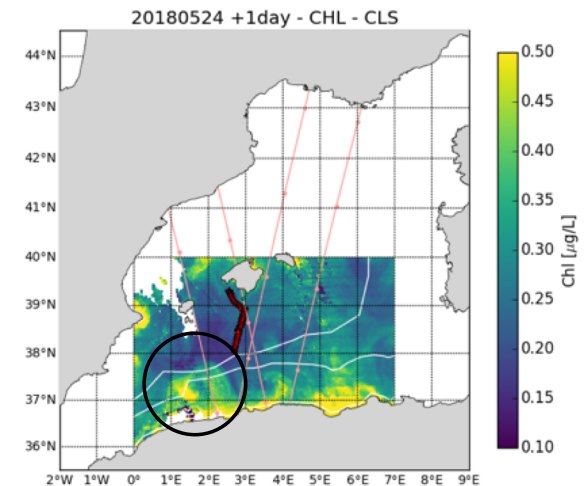
Courants de surface



Température de surface



Chlorophylle de surface



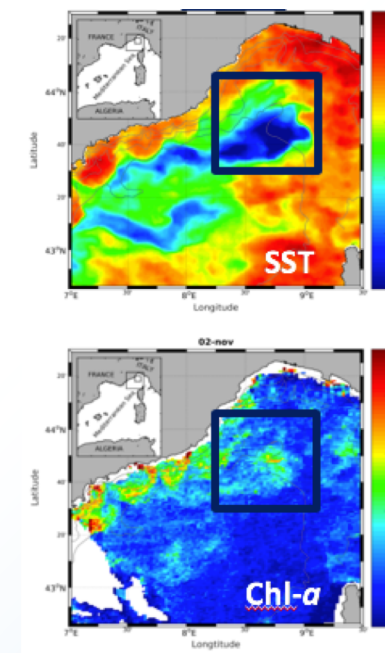
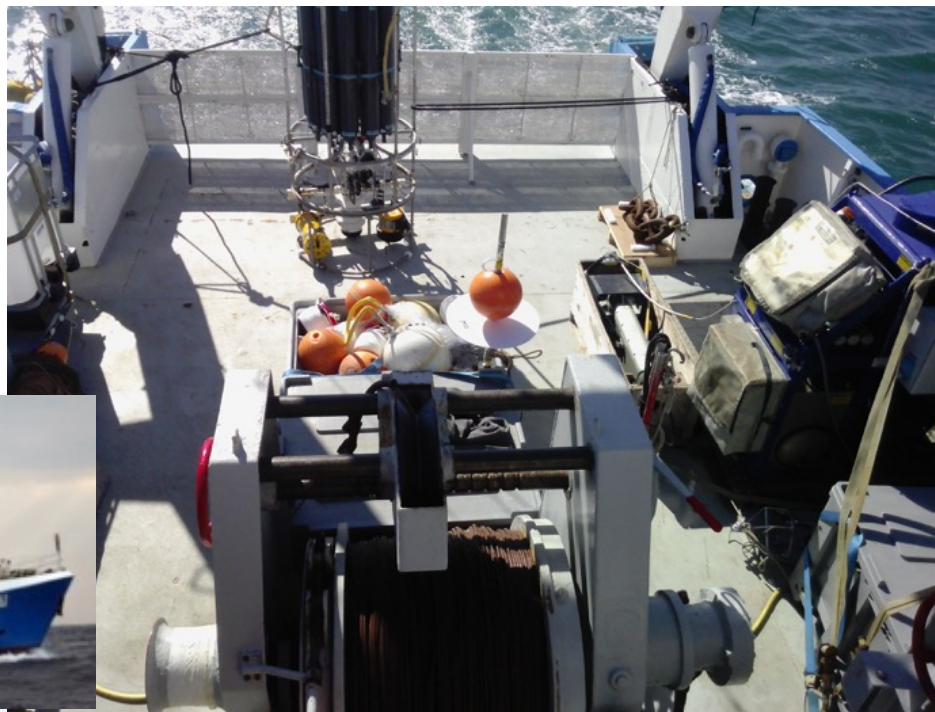
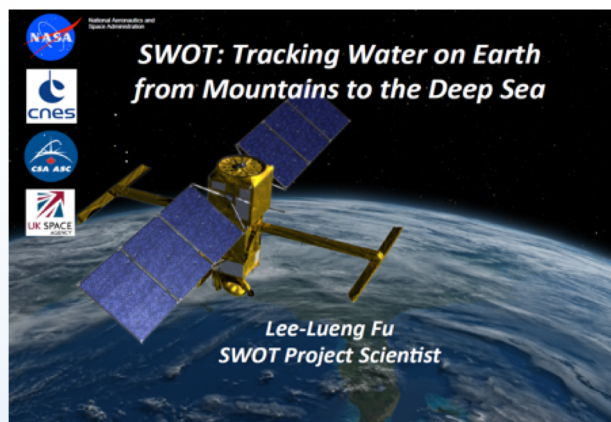
(données satellite)

- La **dynamique** (les courants) influencent la **distribution biologique** :
Apport de nutriments, barrières pour les prédateurs, ...
- Les courants sont en **4D**
Importance transferts verticaux (sels nutritifs, pompe à Carbone, ...)
Vitesses verticales bien plus petites que horizontales (challenge *in situ*)

Mesures de physique

⚓ Objets d'étude

- 💡 Quoi ? → Courants, température, salinité, fluorescence, ...
- 💡 Comment ? → Satellites, *in situ*, modèles



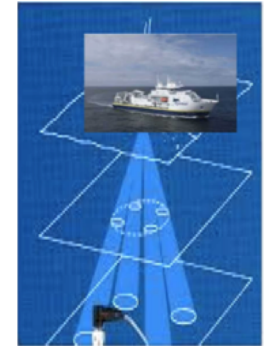
Mesures de physique

⚓ *In situ* : Campagne en mer → navire océanographique

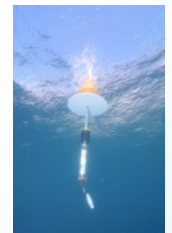
- Rosette avec détecteurs (conductivité, température, profondeur, etc) et bouteilles (prélèvements)



- Instruments de mesure de courant (ondes sonores, effet Doppler)



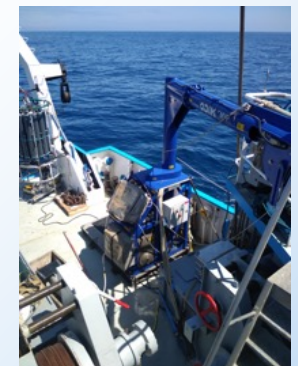
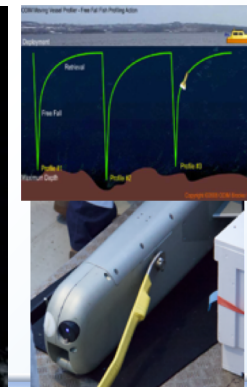
- Instruments libres en mer (profileurs, mouillage)



- *Gliders* (planneurs sous marins)



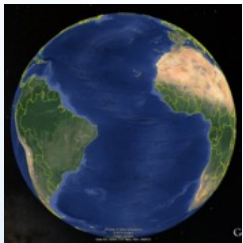
- Instruments tractés



Grandes questions

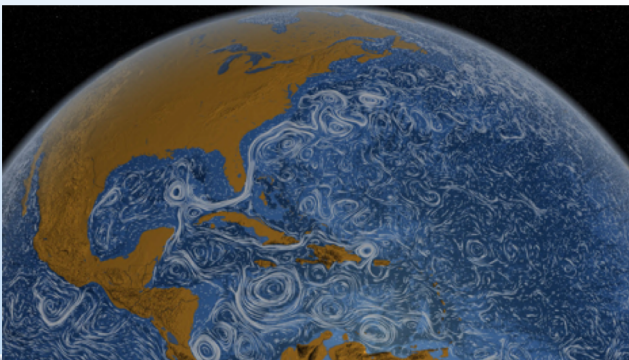
⚓ Changement global (~60%)

- 💬 Effets du changement climatique sur l'océan
- 💬 Biodiversité
- 💬 Halieutique
- 💬 Pollution
- 💬 Régulation du climat, pompe Carbone



⚓ Vie (~37%)

- 💬 Océan source de vie
- 💬 Fonctionnement des écosystèmes / couplage



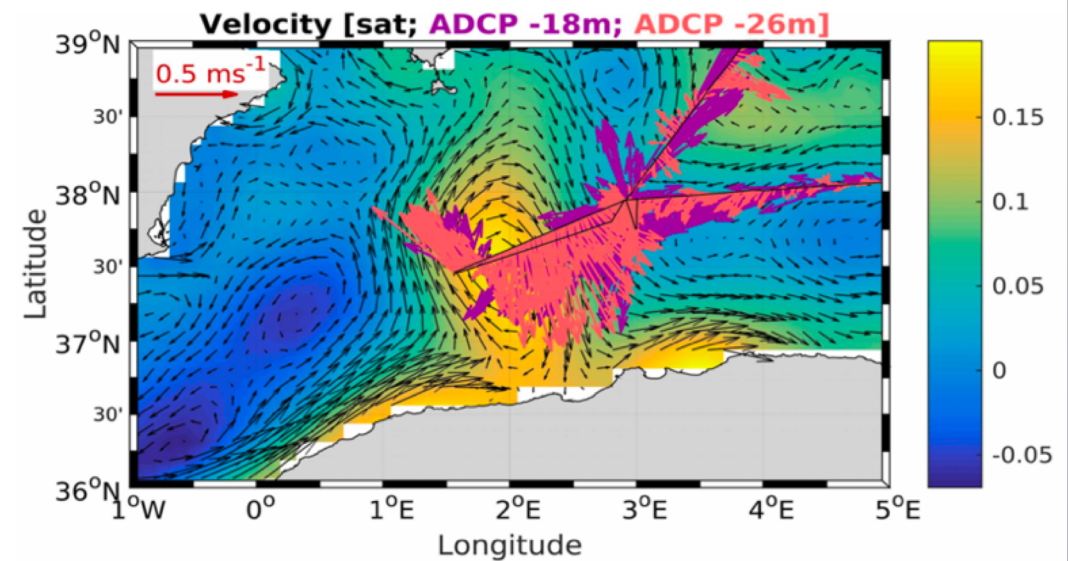
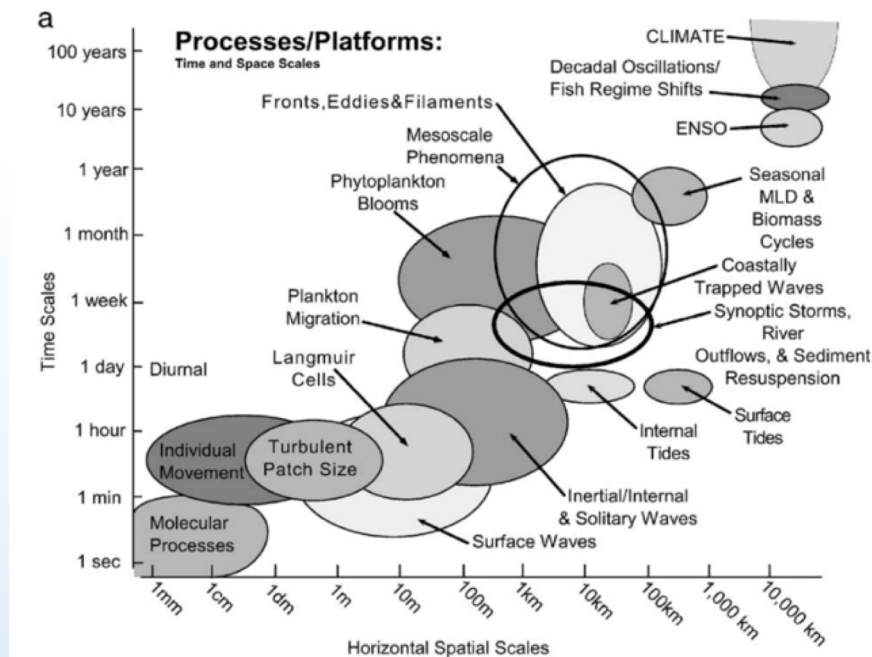
⚓ Cascade énergétique et fines échelles (~3%)

- 💬 Compréhension des fines échelles
- 💬 Turbulence

Mesures *in situ* petites échelles

⚓ Petites échelles (0.1 à 100 km) → éphémères (jours à mois)

💬 → dynamique très rapide (comme pour micro-organismes)



⚓ Difficultés mesures *in situ*

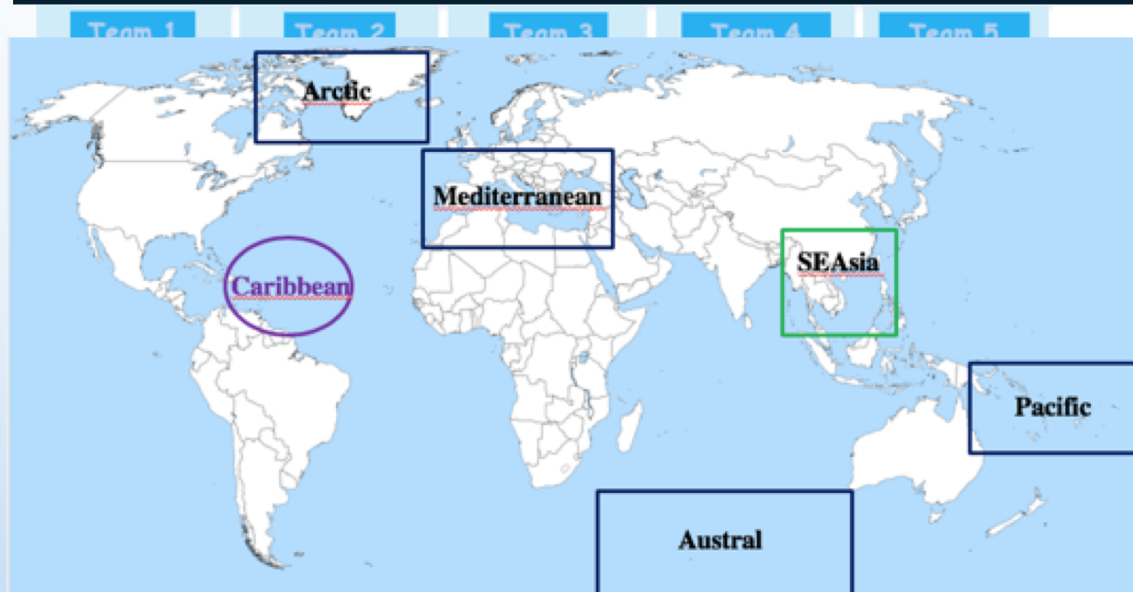
💬 → stratégies adaptatives (satellite)

MIO



MIO : 250 personnes (~100 chercheurs, ~50 IT, ~70 doctorants et postdocs)

5 sites (Marseille (2), Toulon (2), Nouméa), 4 tutelles



5 équipes disciplinaires, 4 axes transverses, 2 pôles, 6 principales zones d'études, 9 plateformes, 1 service d'observation

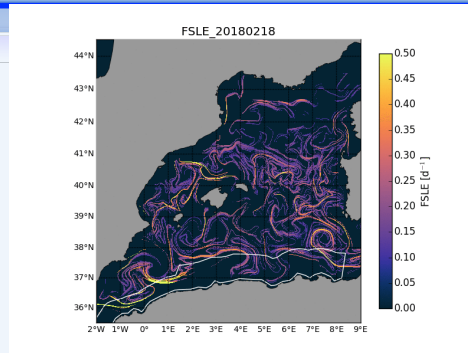


9 Technical Platforms

Activités océanographiques (MIO, INSU)

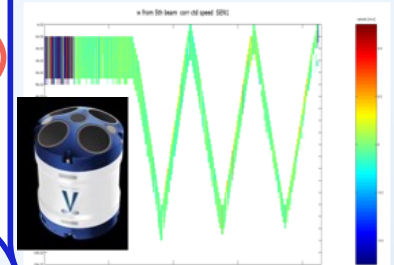
SPASSO

Observation satellite automatisée
Guidage campagnes



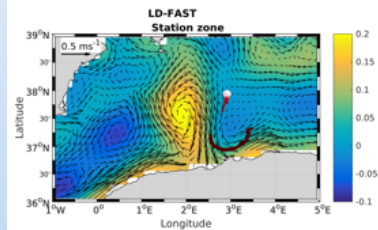
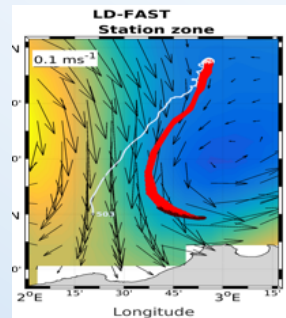
VITESSES VERTICALES

Développement instrumental, méthodologique et analyse



PEACETIME

Mai-juin 2017
Med occidentale

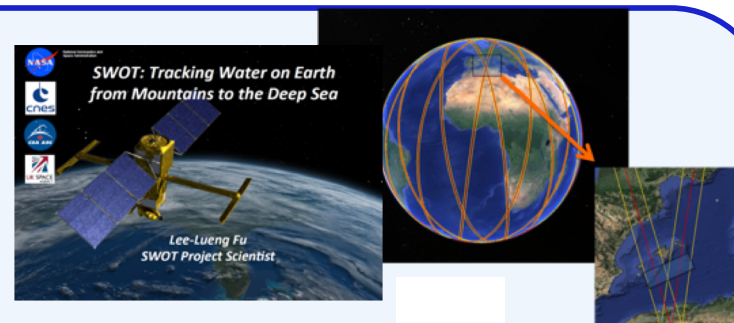


OPLC - AT Couplage
Physique fines échelles (1-100km / 1-10 jours)
Campagnes en mer
Observations satellite

SWOT

BioSWOT

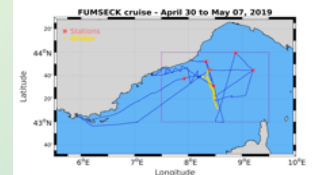
Mai 2018 – Début 2022
Med occidentale



FUMSECK

campagne technique mai 2019 : MVP, vitesses verticales, billes

Labo :
journées MIO
80 ans CNRS

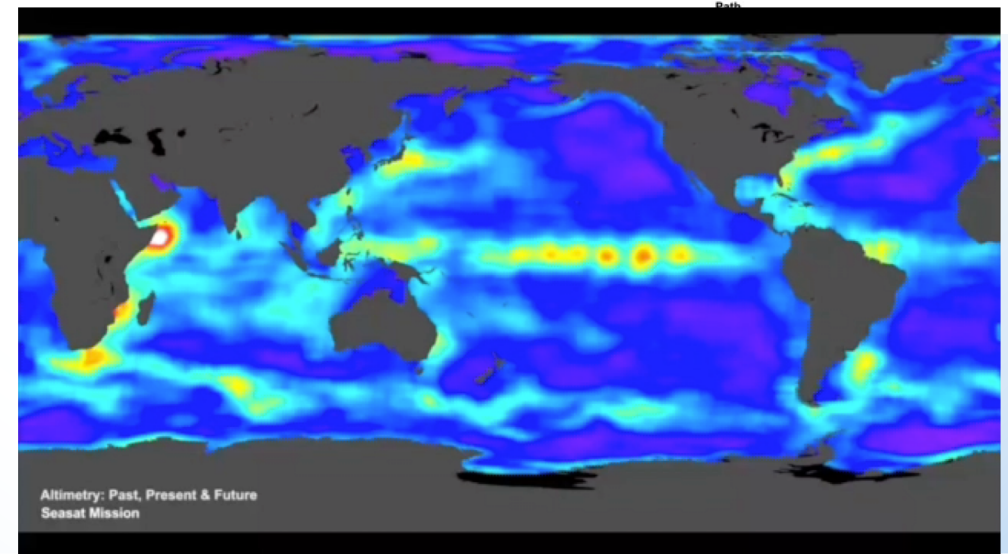
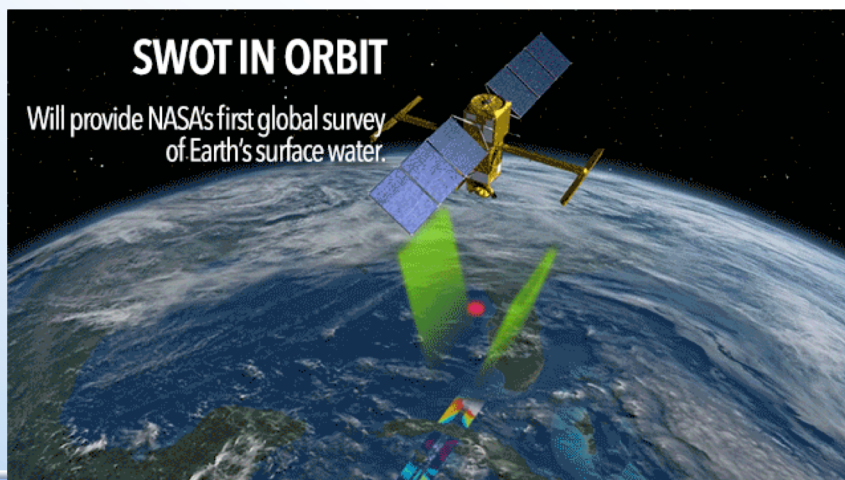
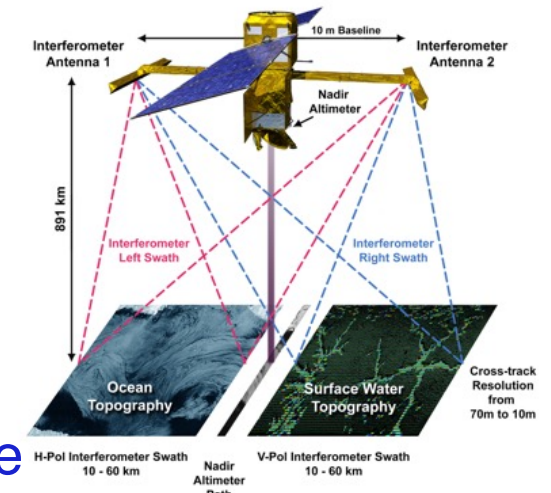


SWOT

SWOT

⚓ SWOT : *Surface Water and Ocean Topography*

- Satellite (NASA et CNES), mesure élévation de l'eau
- Interférométrie radar avec résolution sans précédent
- Étude globale
 - Bilan ressources en eau douce
 - Évolution des océans
 - Fines échelles
- Lancement fin 2021, 6 mois haute résolution temporelle (1 à 2x/jour) pour certains points



BioSWOT et fines échelles

⚓ SWOT : possibilités sans précédent pour les fines échelles (0.1-100km / jours-mois)

💬 Dynamique = facteur clé dans la régulation des processus biogéochimiques et écologiques

- Rôle important pour la pompe à carbone
- Forte influence sur biodiversité, structure des communautés, chaîne trophique

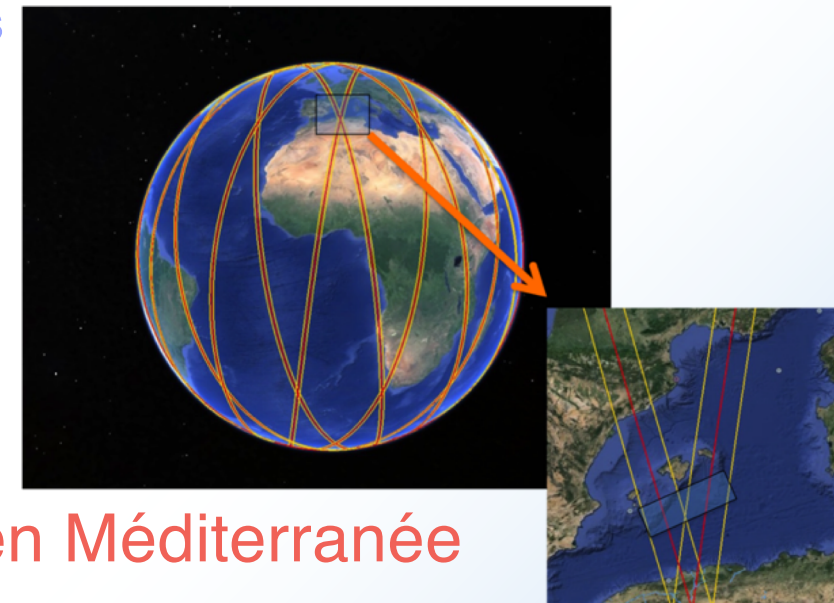
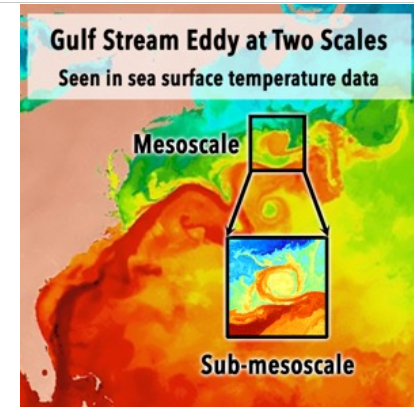
💬 Principales études par modélisation numérique → besoin mesures *in situ*

💬 Altimétrie haute résolution
→ accès direct aux fines échelles

💬 Campagnes 2022 simultanées : Baléares

⚓ Campagnes préparation/démonstration en Méditerranée

💬 **OSCAHR** (Nov 2015, mer Ligure), **PROTEVS-SWOT** (mai 2018, sud-Baléares), **FUMSECK** (mai 2019, mer Ligure)



OSCAHR

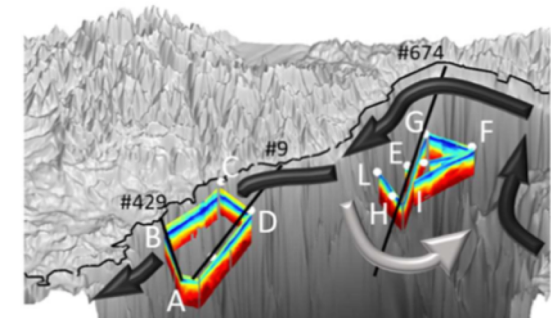
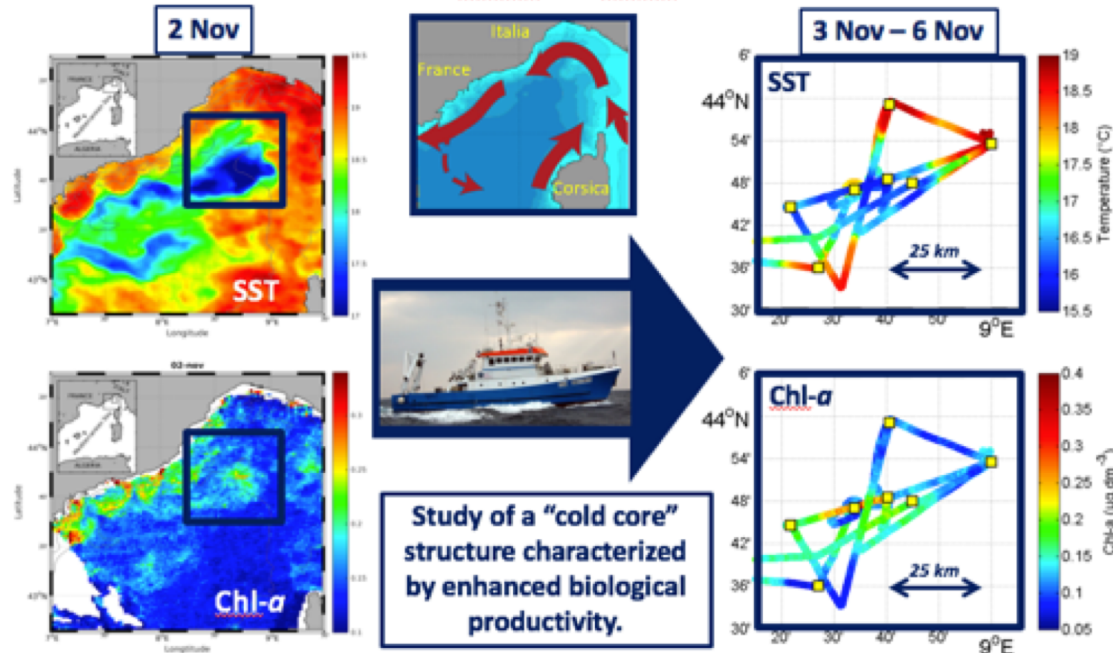


OSCAHR, 29 oct - 6 nov 2015, Mer Ligure. N/O Téthys II (A. Doglioli et G. Grégori)

- Fines échelles. Couplage Physique – Biogéochimie
- Instruments : Thermosalinomètre, Cytométrie en flux, système de pompe haute résolution, ADCP de coque, MVP
- Stratégie lagrangienne pour repérer structure cyclonique

Adaptative Lagrangian sampling strategy : near-real time analysis of satellite and numerical modeling data

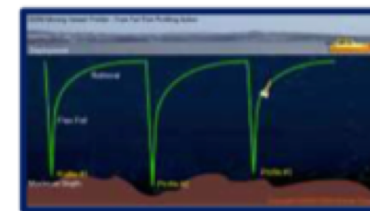
(SPASSO software, d'Ovidio 2010, Nencioli et al. 2011)



Meloni, et al.

Continuous vertical
CTD profiles (MVP)

≈ 2km horizontal resolution
≈ 1 m vertical resolution



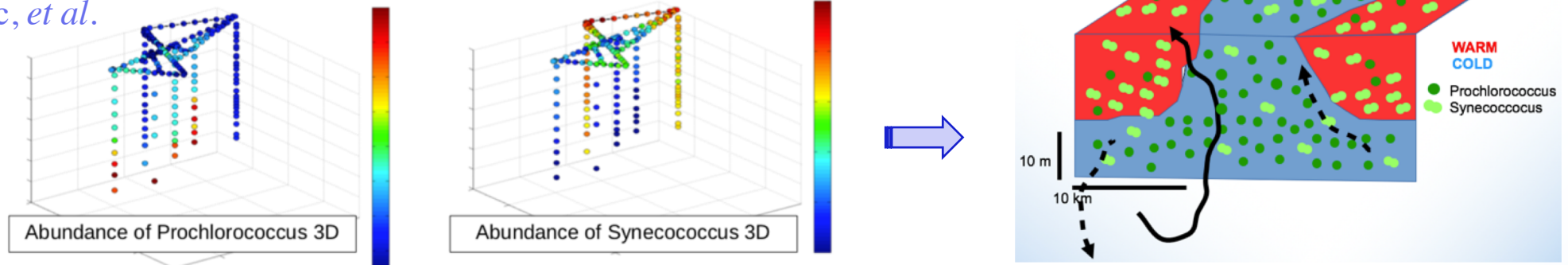
MVP
(Moving
Vessel
Profiler)



<https://www.osupytheas.fr/?La-physique-marine-chef-de-l-orchestre-phytoplanctonique&lang=fr>

OSCAHR Résultats

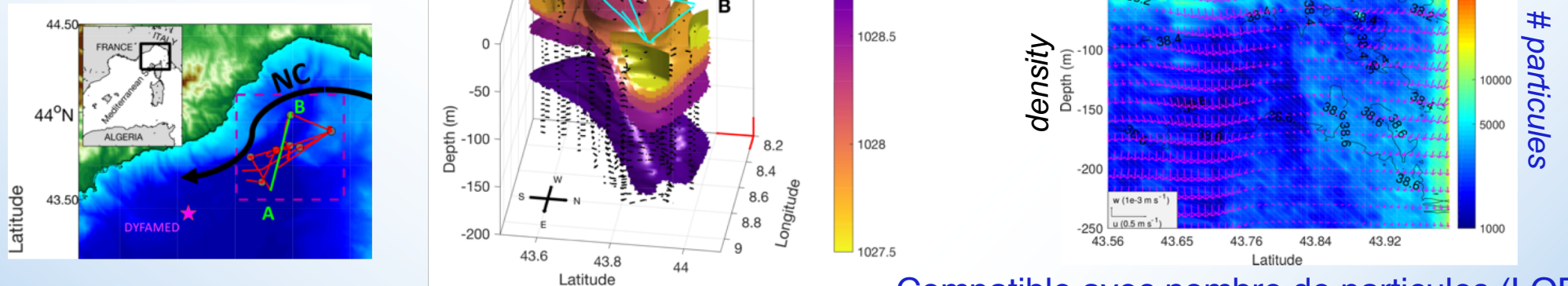
⚓ Couplage physique-biologie Marrec, *et al.*



☞ Structure de fine échelle physique → organisation spatiale des groupes fonctionnels de plancton

⚓ Vitesses verticales avec données MVP et ADCP → Composante verticale du champ de vitesses Reconstruction des champs 3-D : densité and vitesse *équation ω* (composantes horizontales)

Rousselet, *et al.*



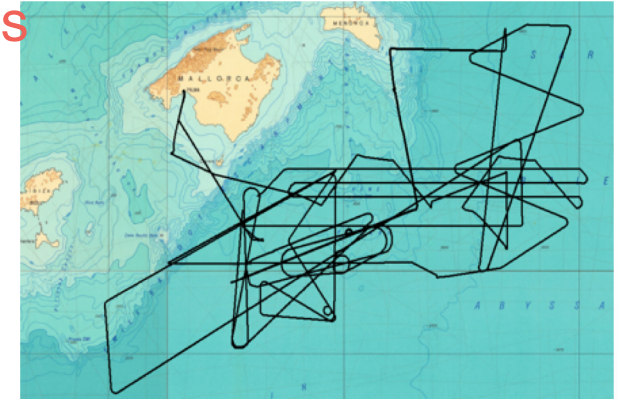
Compatible avec nombre de particules (LOPC)

PROTEVS-SWOT

⚓ **PROTEVS-SWOT**, Apr 27 – May 14 2018, Sud Baléares

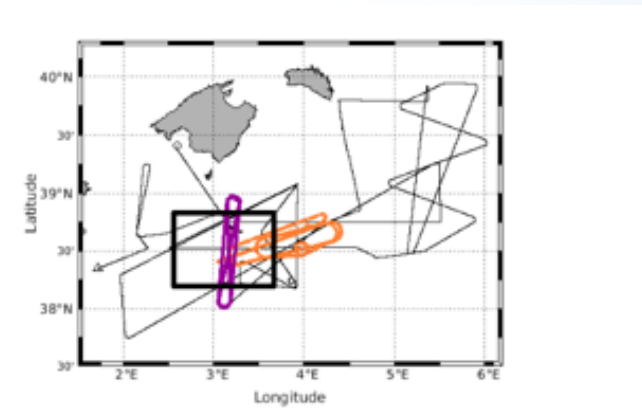
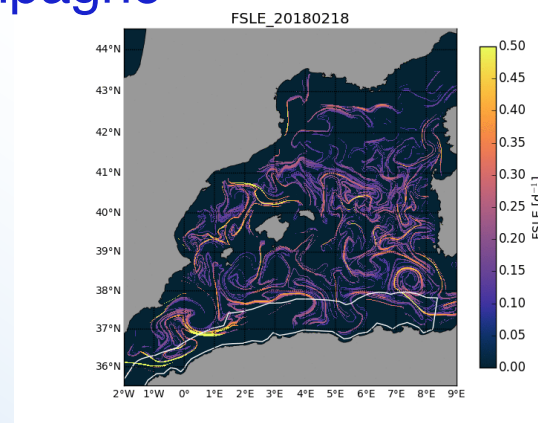
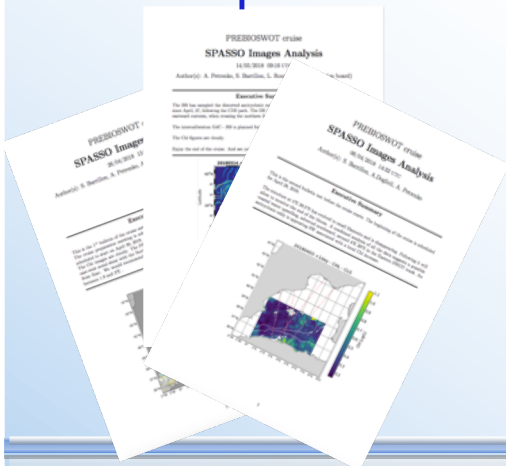
🗨️ Préparation SWOT

- 🗨️ Synergie **BBP** (*Seasor, Cytométrie, ADCP*) (F. Dumas & P. Garreau), **Garcia del Cid** (grille CTD) (A. Pascual)
bouées dérivantes + 2 gliders



⚓ **Étude de 2 fronts entre masses d'eau à l'aide de SPASSO**

- 🗨️ Avec observations altimétrie, température et chlorophylle, + calculs fronts
- 🗨️ Bulletin quotidien pendant campagne → Stratégie lagrangienne sur une partie de la campagne

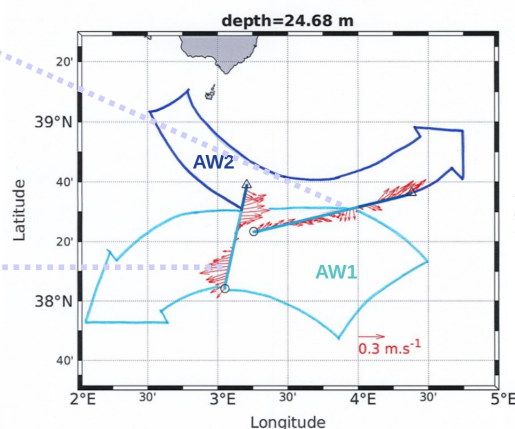
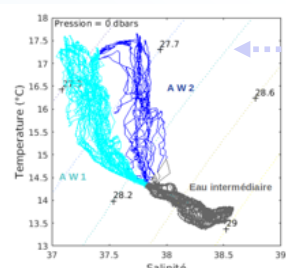
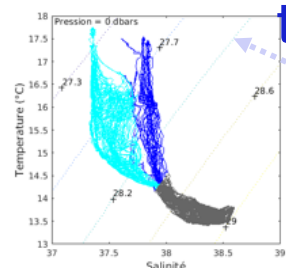


PROTEVS-SWOT Résultats

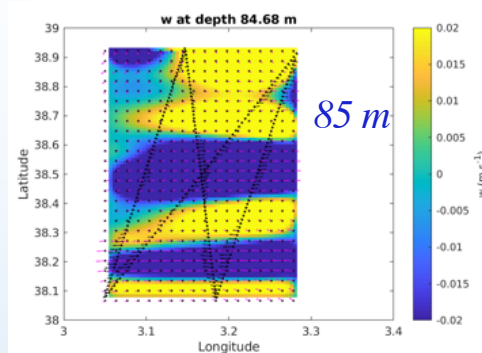
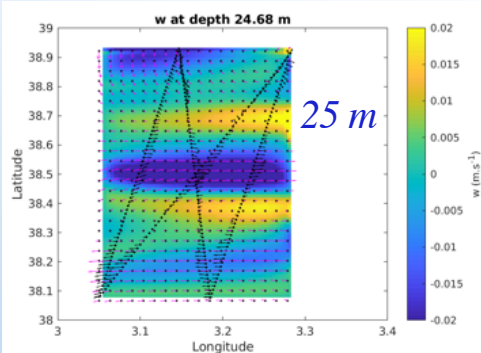
Point de vue physique

R. Tzortzis

Étude des masses d'eau (courants, température, salinité, glider)



Vitesses verticales avec équation ω



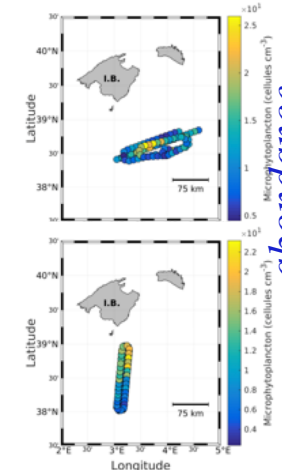
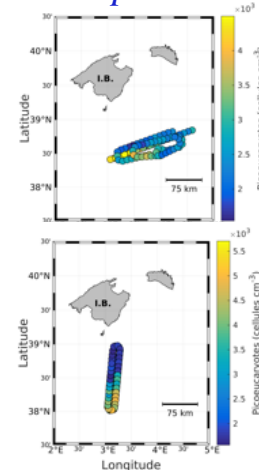
Point de vue biogéochimie

L. Izard

Études des groupes phytoplanctoniques (cytométrie)

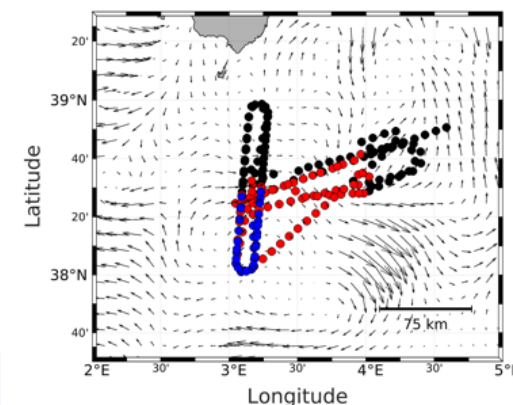
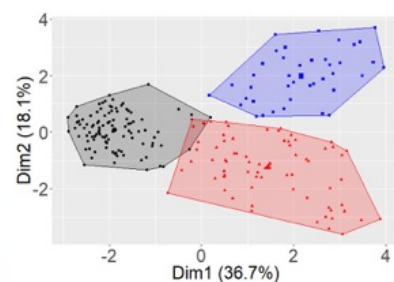
pico

micro



abundance

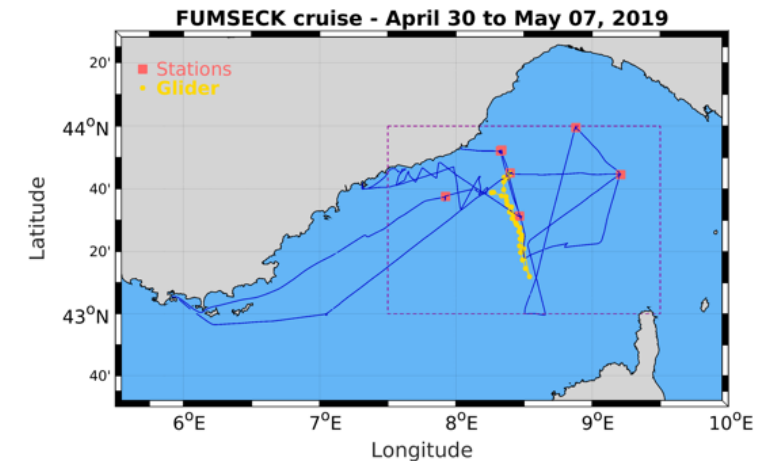
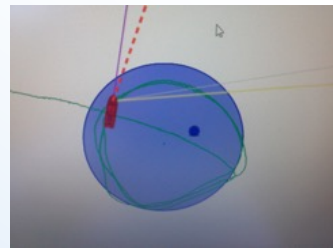
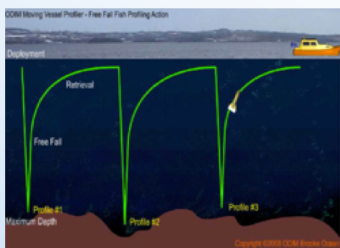
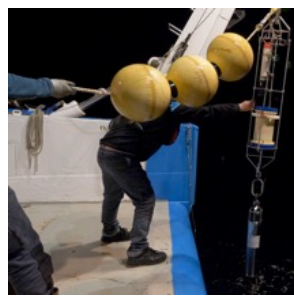
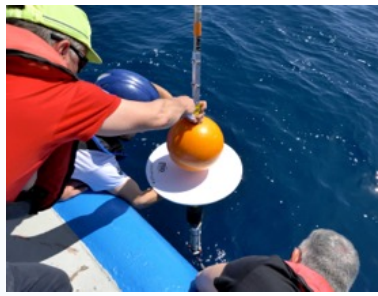
Séparation statistique des échantillons





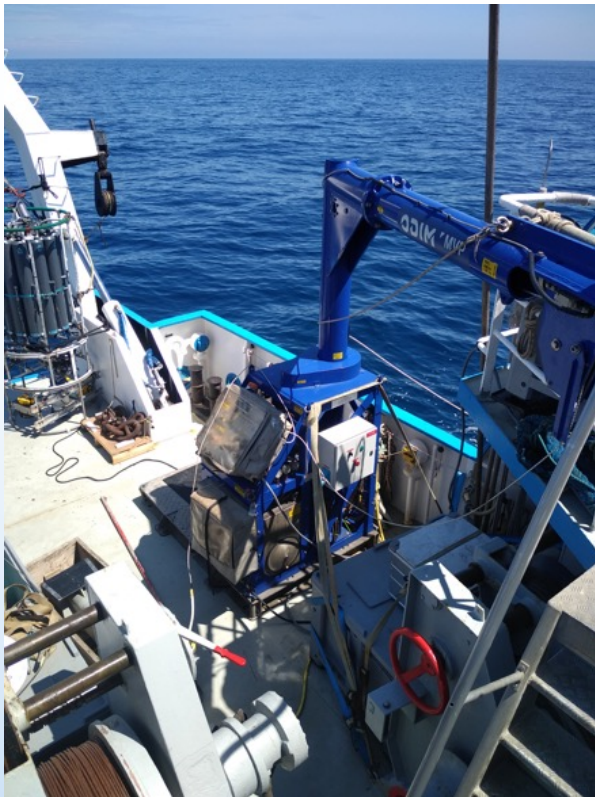
FUMSECK (*Facilities for Updating the Mediterranean Submesoscale - Ecosystem Coupling Knowledge*), 30 avr - 07 mai 2019, mer Ligure. R/V Téthys II (S. Barrillon)

- 🗣️ Campagne technologique. Couplage Phys/bio
- 🗣️ Tests sur **MVP**, mesures **vitesse**s **verticales**, traceur **micro** **particules** **biodégradables**

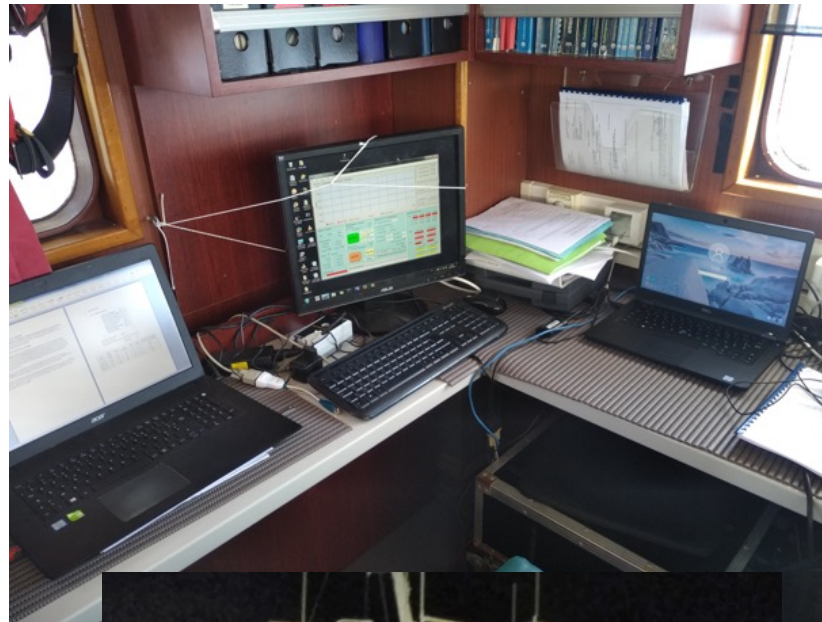


- 🗣️ Zone OSCAHR. Stratégie lagrangienne

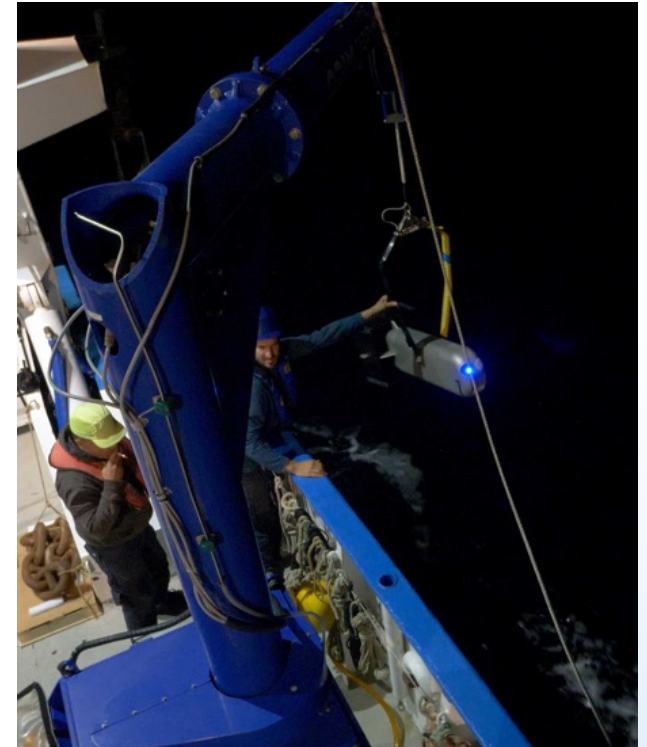
Treuil à bâbord



Poste de travail en passerelle



Mise à l'eau poisson

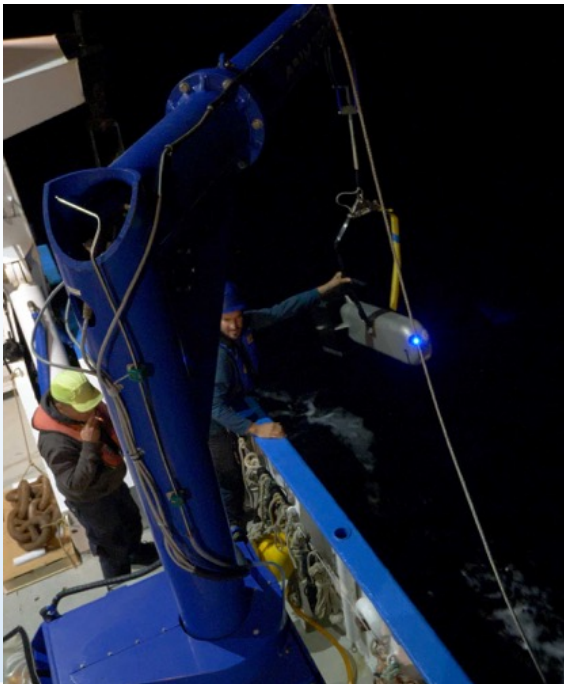


Team @Imperia

⚓ Comportement rotatif → rééquilibrage mécanique

💬 ≠ configs. → poids 1kg en haut + faux câble +

- fluo à tribord :
2 tours par cycle
→ 800 cycles par câble.
(amélioration 200 cycles)



- fluo à babord :
1 tour par cycle
→ **1000 cycles** par câble.
(amélioration 400 cycles)



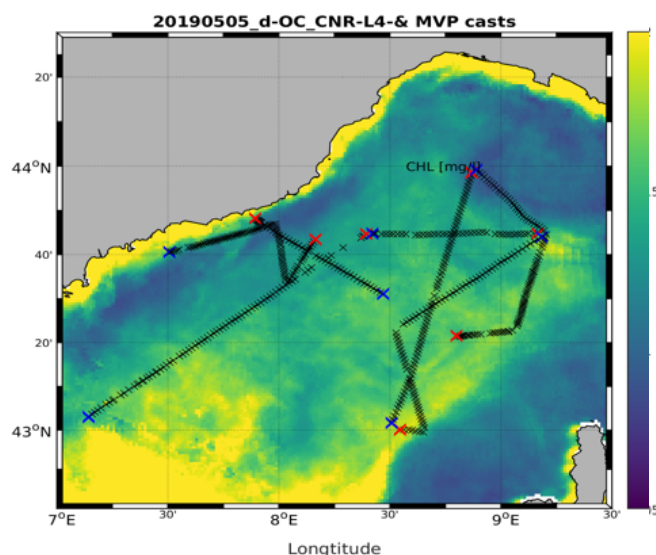
Figure 2: Morocco 2012



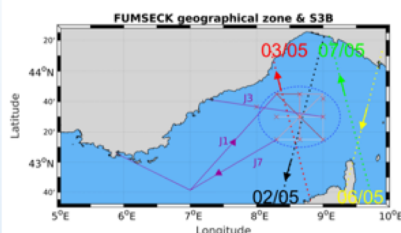
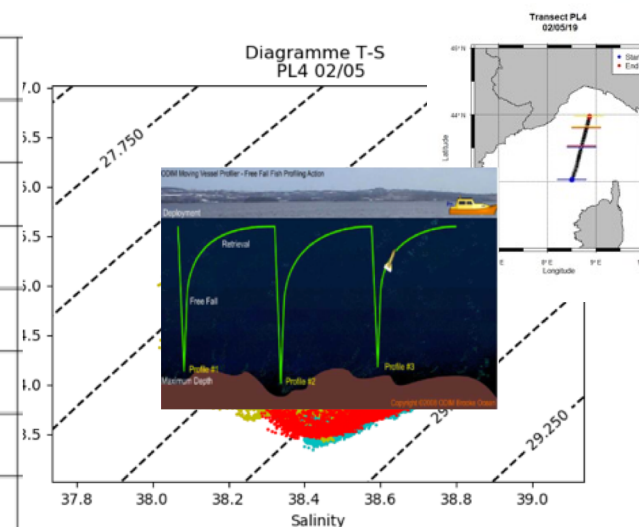
Figure 1: Outpace 2015

⚓ MVP tests

7 transects d'une durée moyenne de 8h30. Quelques minutes pour déploiement et récupération.



N° de plongée	Dates	Immersion max	Distance	Temps de plongée
142/12/1	30/04/2019 - 01/05/2019	307 m	139 km	10:21:00
143/13/2	01/05/2019 - 01/05/2019	278 m	64.6 km	04:50:00
144/14/3	01/05/2019 - 02/05/2019	282 m	124 km	10:06:00
145/15/4	02/05/2019 - 02/05/2019	297 m	111 km	08:46:00
146/16/5	02/05/2019 - 03/05/2019	308 m	101 km	10:15:00
147/17/6	04/05/2019 - 04/05/2019	271 m	55.6 km	04:23:00
148/18/7	05/05/2019 - 06/05/2019	303 m	85.2 km	09:44:00



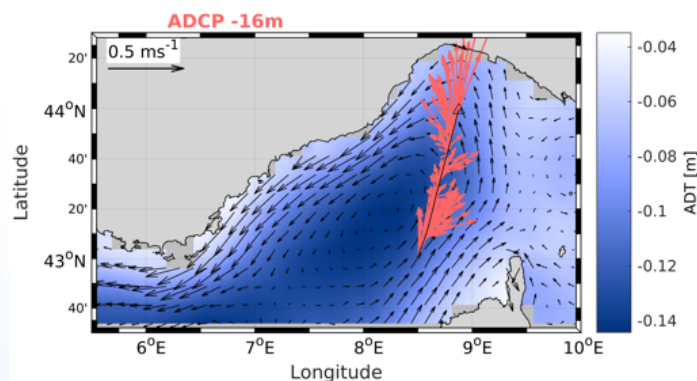
2019-05-02 09:58:07 (UTC)
8.6845 43.5230
Juste en dessous du satellite S3B !



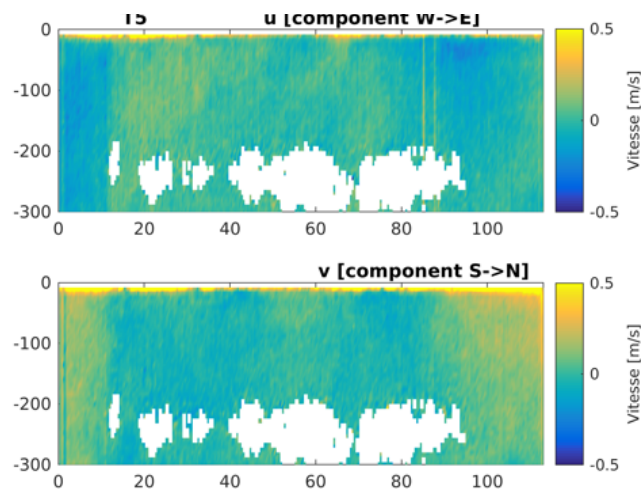
ADCP et données satellite

⚓ **ADCP : mesure courants**
(Acoustic Doppler Current Profiler)

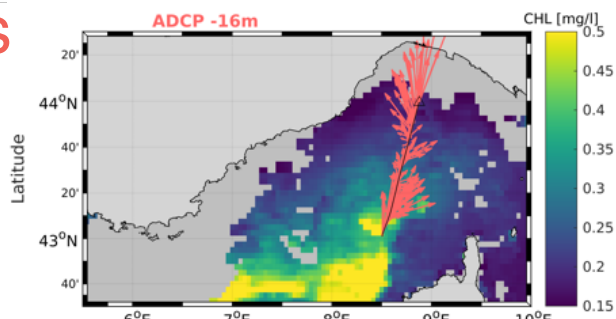
Altimétrie → courants



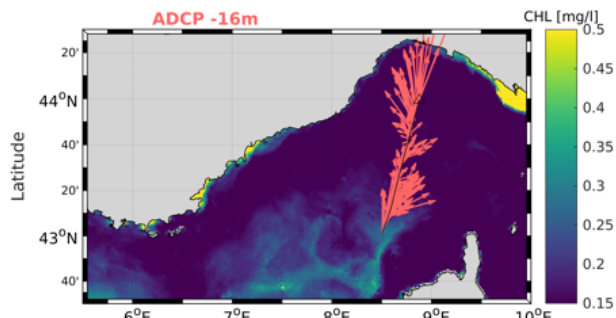
Sud Courants Nord



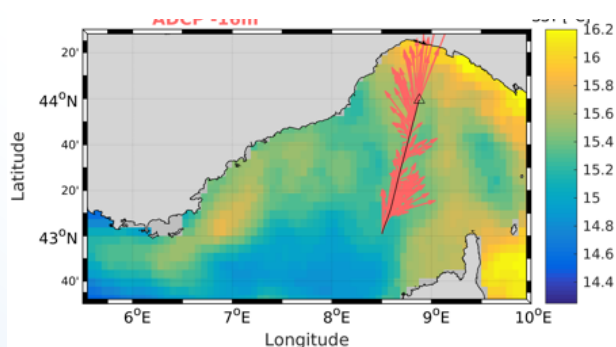
Chlorophylle ACRI L3



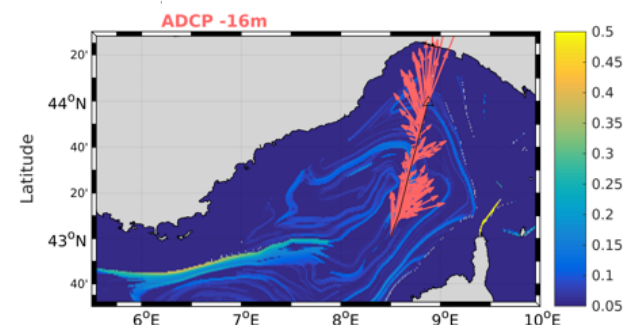
Chlorophylle Medoc L4



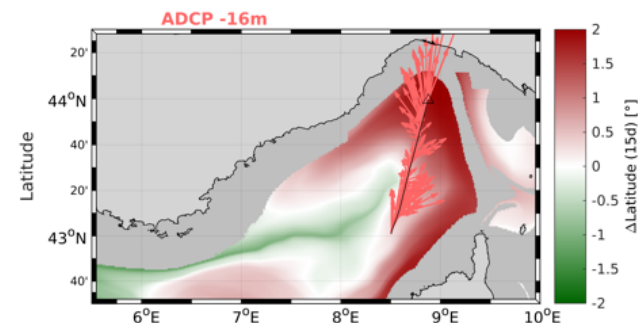
Température surface L4



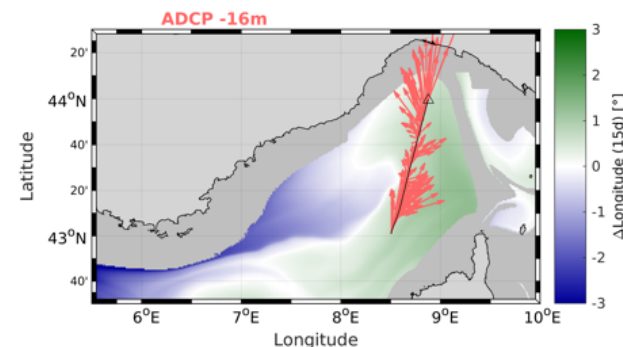
Fronts



Advection Latitude



Advection Longitude



Cytométrie

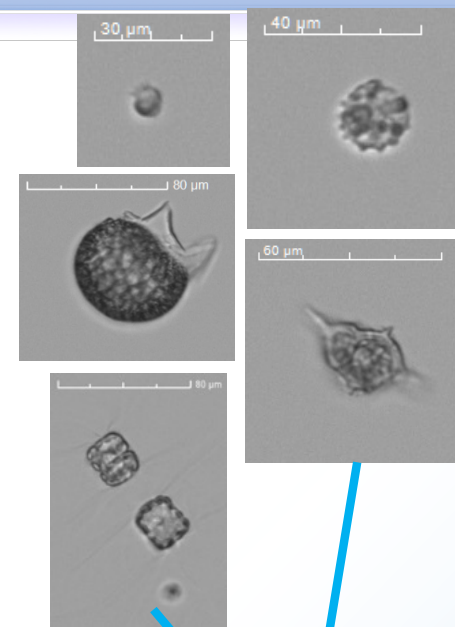
M. Thyssen



Camera

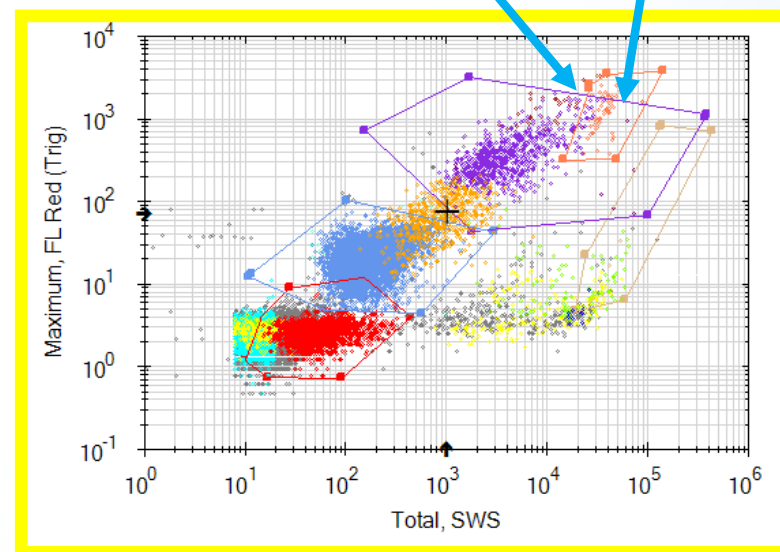
Faisceau
Laser

Profil optique
par cellule



Cytométrie en flux :

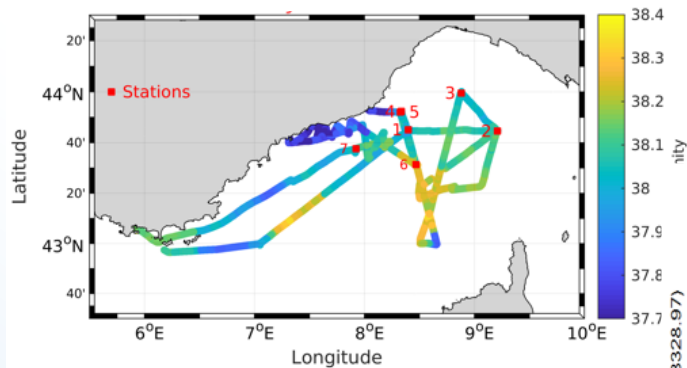
- Technologie dédiée au microorganismes marins
- Issue de la recherche médicale



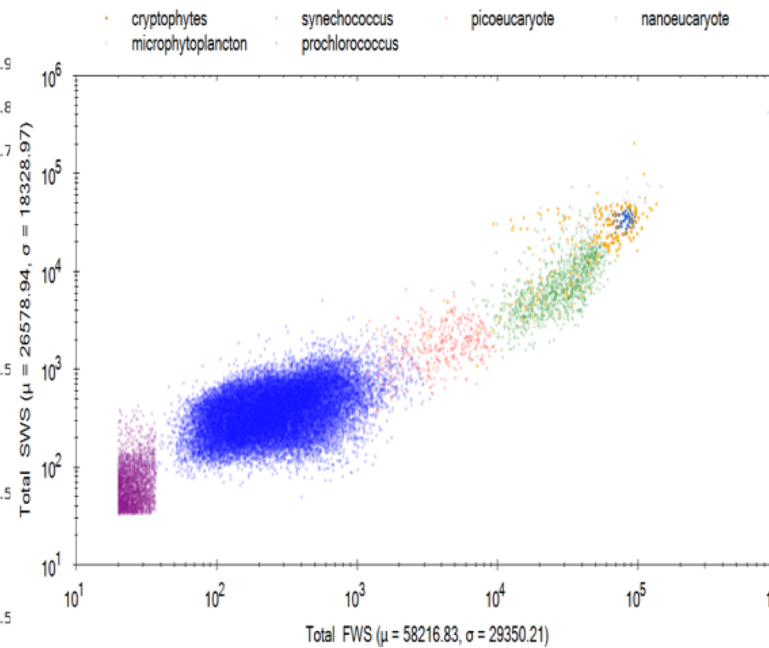
⚓ Cytométrie en flux automatisée

💬 Distinction des groupes fonctionnels de phytoplancton

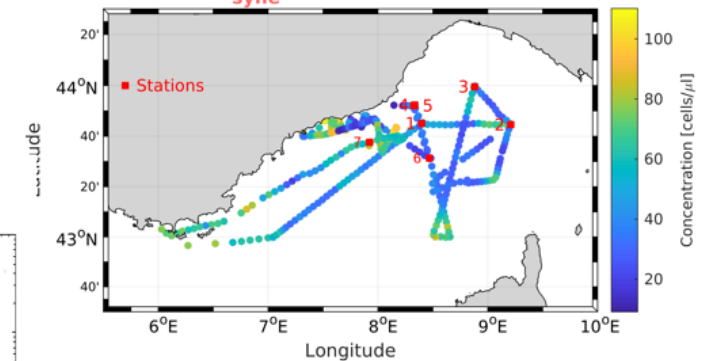
Salinité de surface



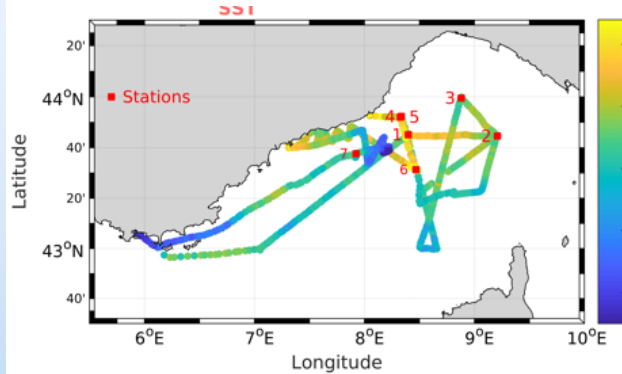
Analyse des échantillons



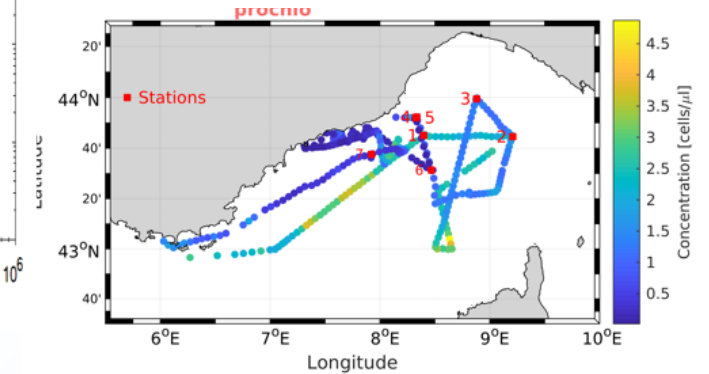
Synechococcus



Température de surface



Prochlorococcus





Microparticules biodégradables



Microparticules biodégradables : traceurs dynamique plancton



Expérience : injection, suivi, prélèvement et détection pour petit échantillon (1kg)

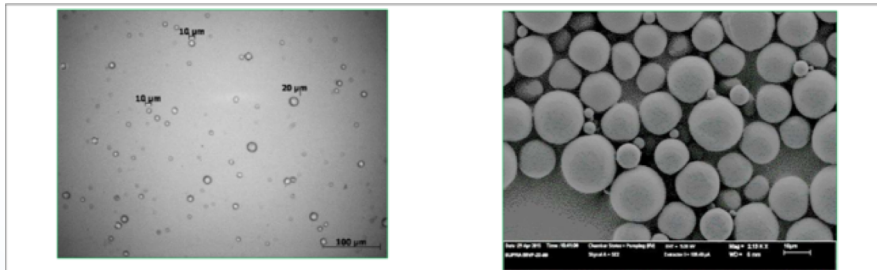
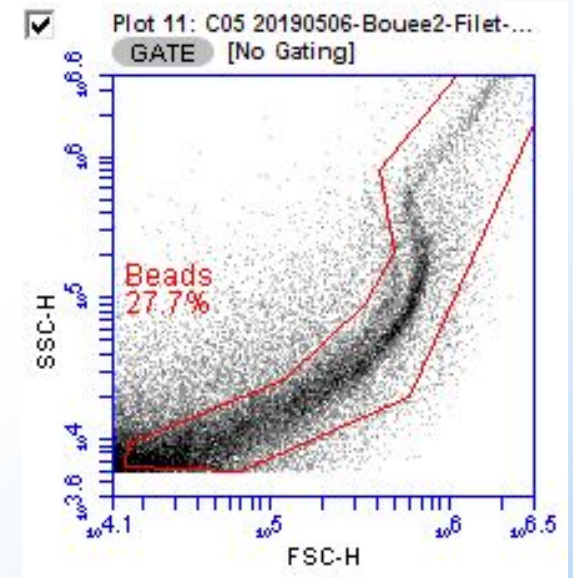
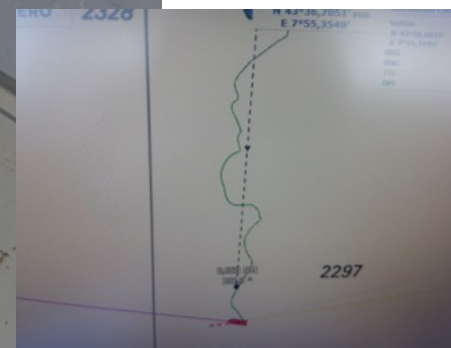
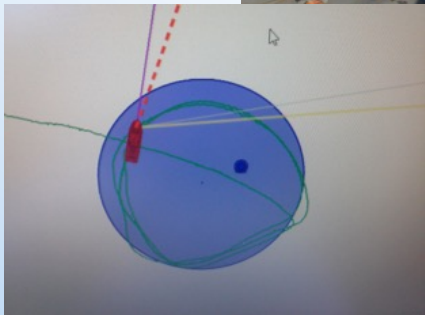
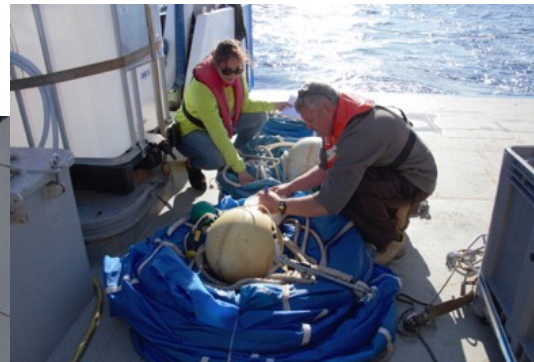
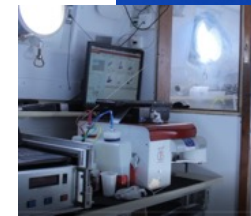
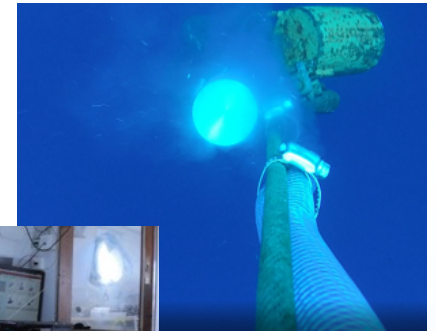


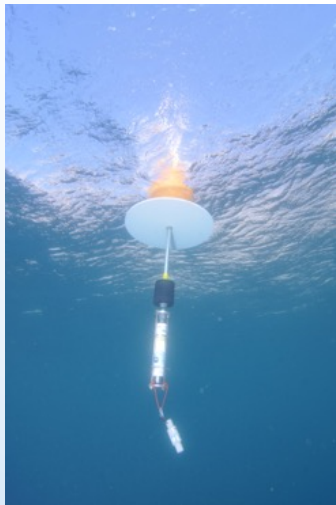
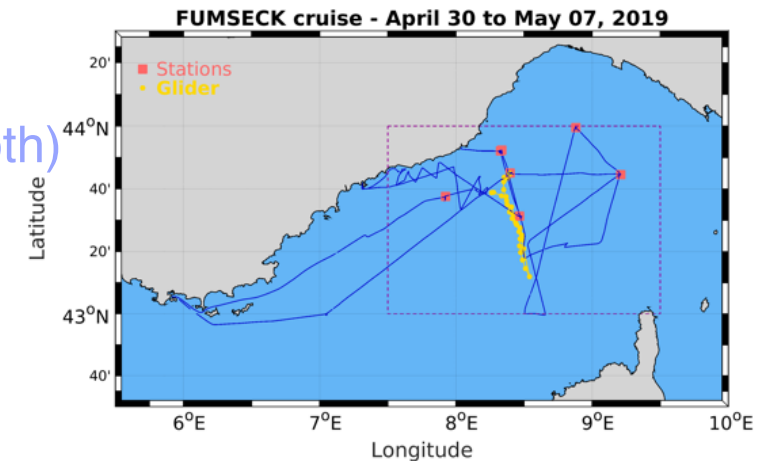
Figure 3. Images of the micro-particles taken by Optical (left) and Scanning Electron (right) Microscopy.



7 stations

⚓ ADCP (*Acoustic doppler current profiler*)

- 💬 **Profondeur fixe @10 m + profils**
 - L-ADCP + CTD (conductivity/temperature/depth)
 - Sentinel 5 faisceaux (1 vertical) + CTD
- 💬 **Free-Fall ADCP + CTD : profils**
- 💬 **ADCP de coque**



⚓ VVP (*Vertical Velocity Profiler*)

- 💬 Capteur de pression en chute libre
- 💬 Détection d'anomalies dans vitesse de chute VVP

⚓ Glider

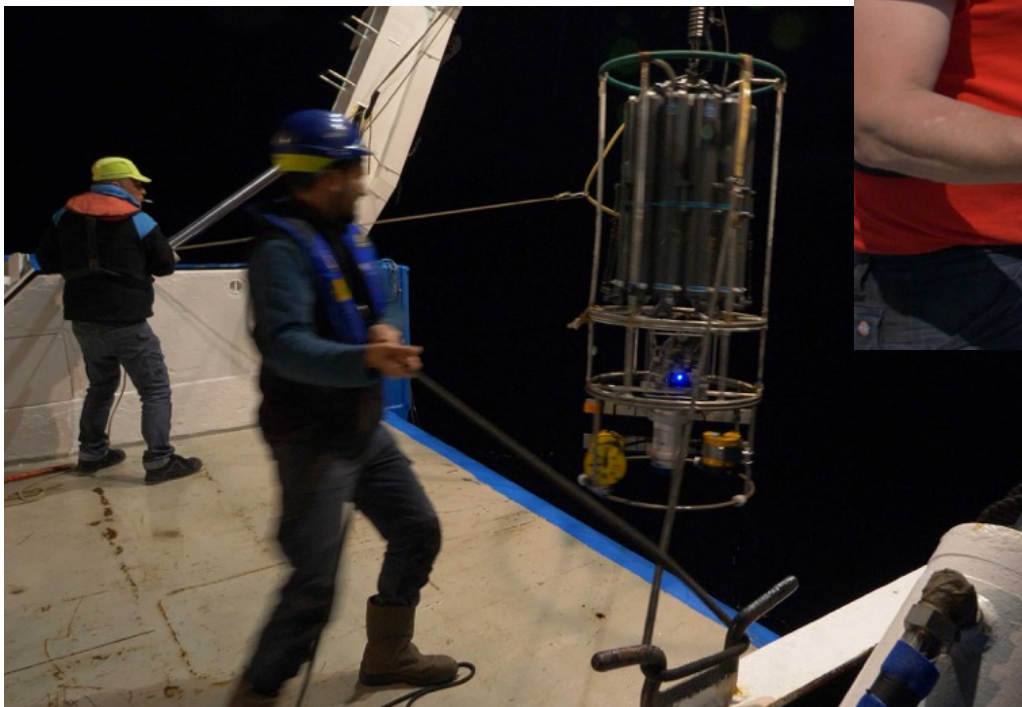
- 💬 Anomalies par rapport au modèle de vol

⚓ Comparaison avec mesures MVP/ADCP et équation ω

Rosette : CTD, Sentinel, L-ADCP

⚓ Sentinel + L-ADCP

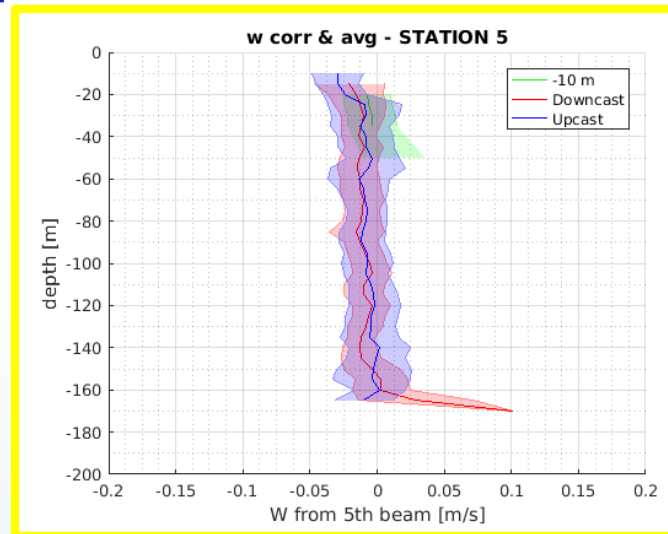
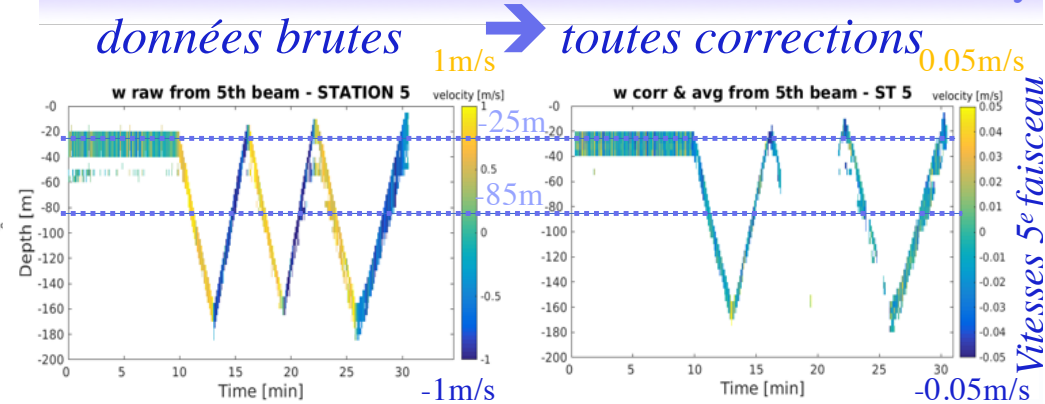
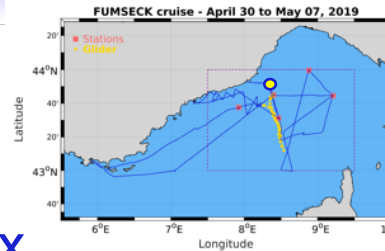
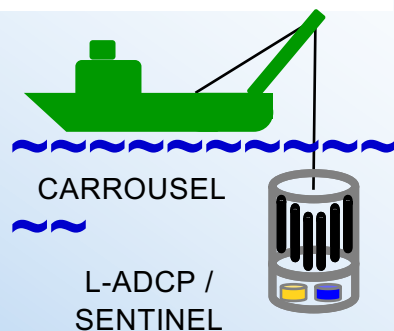
- Étage en dessous CTD
- 10 min @ 10m
- puis yoyo 2m-150m



- Sentinel puis L-ADCP

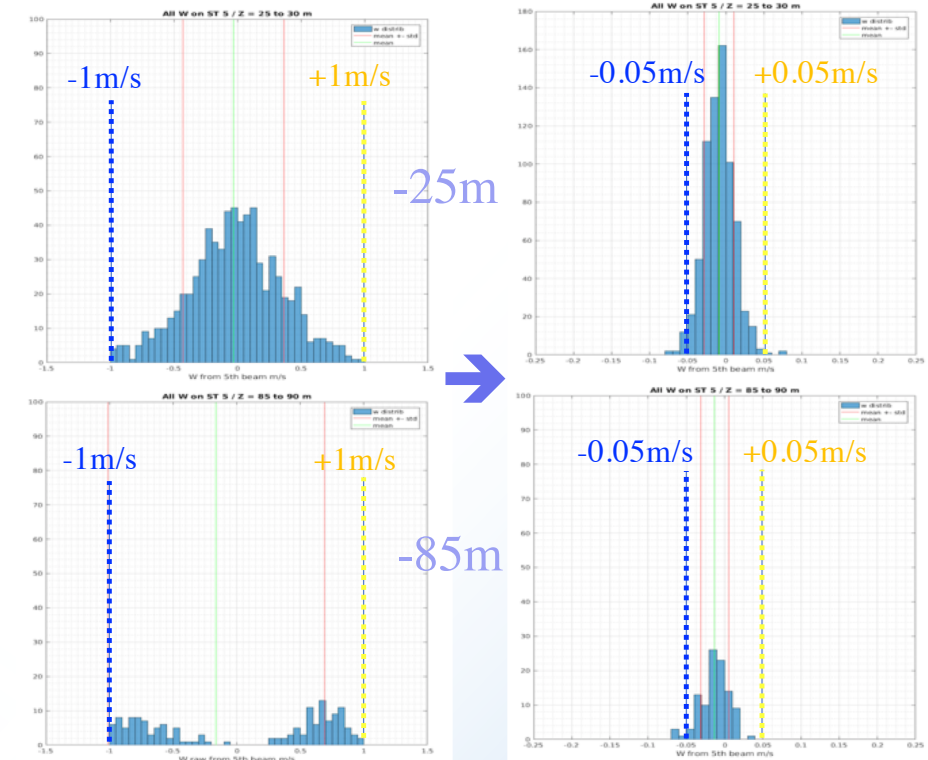
Sentinel 5 faisceaux

- 2 mesures :
5^e faisceau et 4 faisceaux
- Corrections vitesse et axe du Sentinel
- Lissage en temps



Profils descendants

→ $\mu = -0.5 \text{ cm/s}$
 $\sigma = 1.6 \text{ cm/s}$

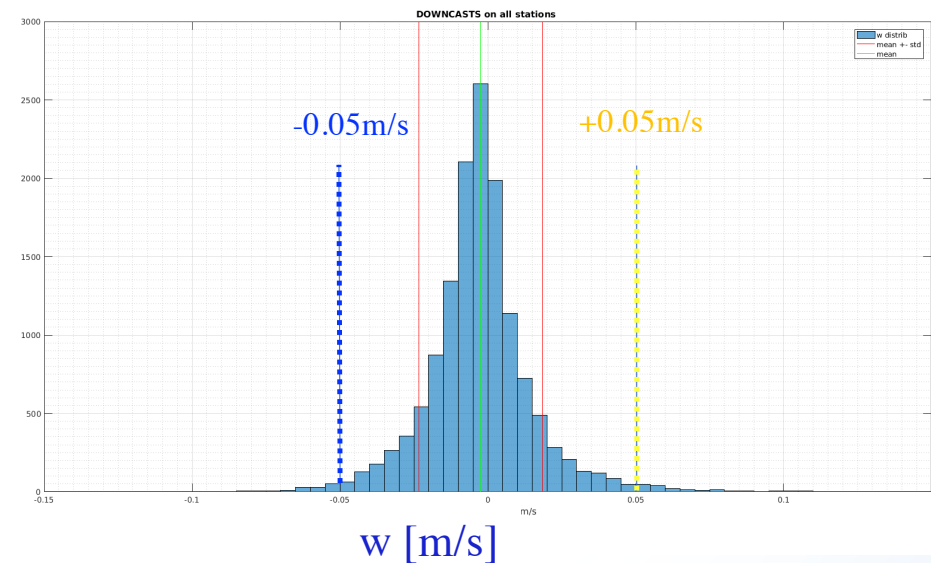
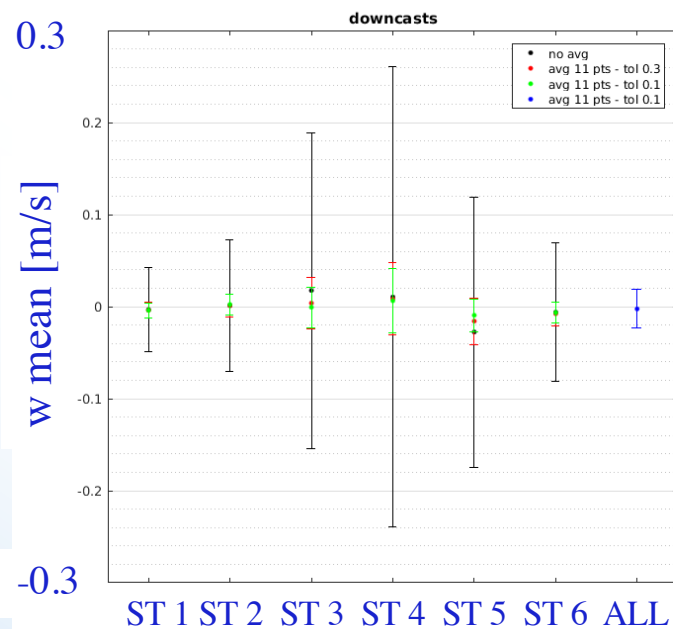




Toutes stations

- Profils descendants
- Effet du lissage

Toutes stations, toutes profondeurs



	ST 1	ST 2	ST 3	ST 4	ST 5	ST 6	ALL
Moy (cm/s)	-0.3	0.0	0.4	0.1	-0.5	-0.7	-0.2
écart-type (cm/s)	0.7	1.0	1.9	2.7	1.6	1.1	1.5

⚓ FF-ADCP (6 déploiements)

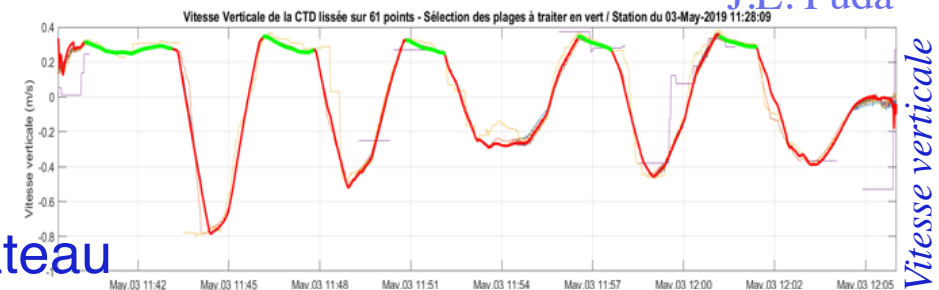
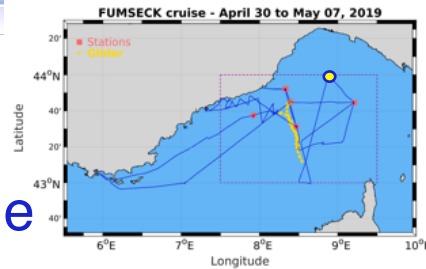
- Affranchissement du mouvement du bateau
- ≥ 3 profils par station





Free-Fall ADCP

- Déploiement facile
- Affranchissement du mouvement du bateau

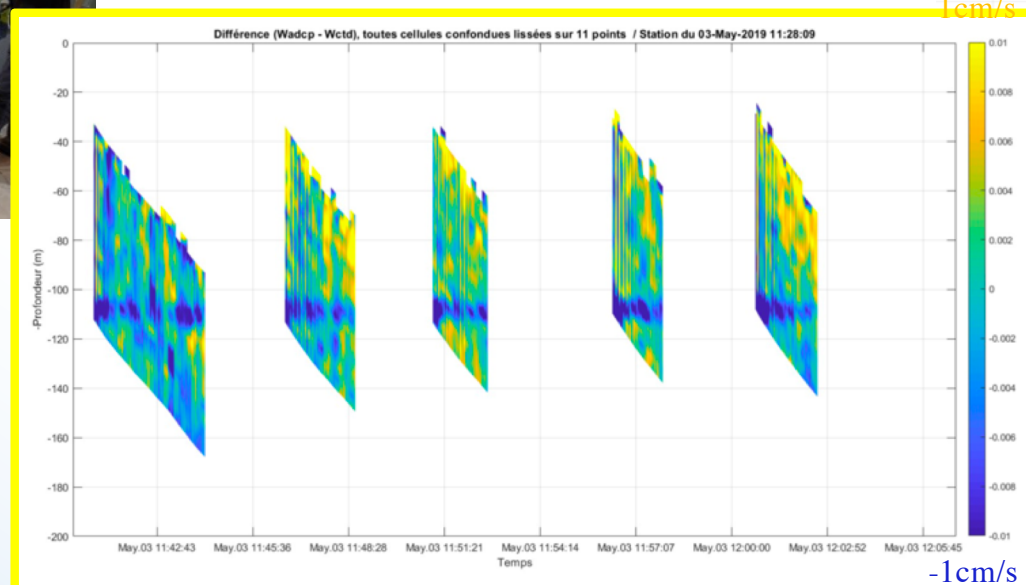


J.L. Fuda

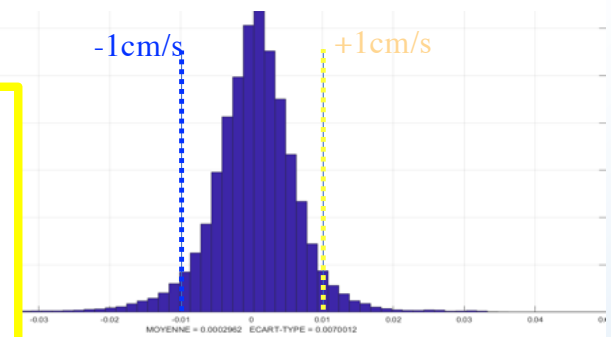
Vitesse verticale



Profils vitesse verticale

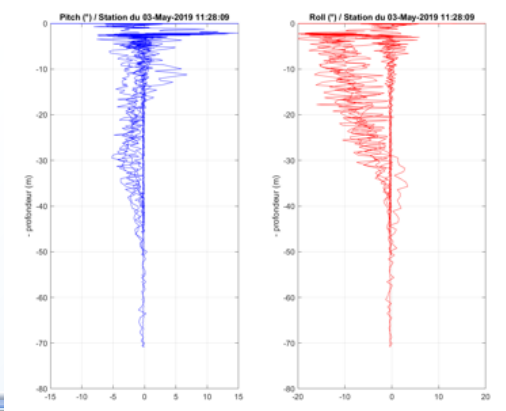


Vitesse verticale (corrigée)

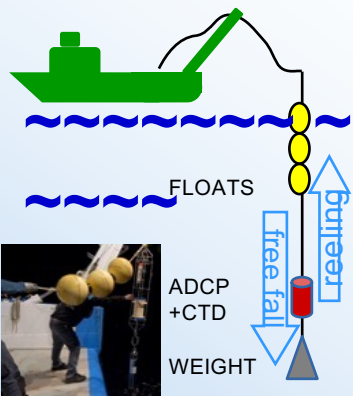


Tangage

Roulis



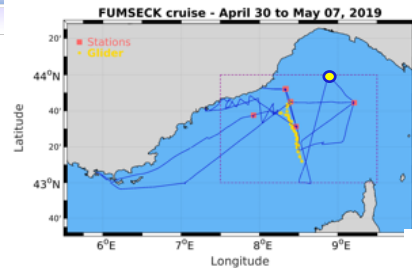
• Prochaine étape : avec Sentinel



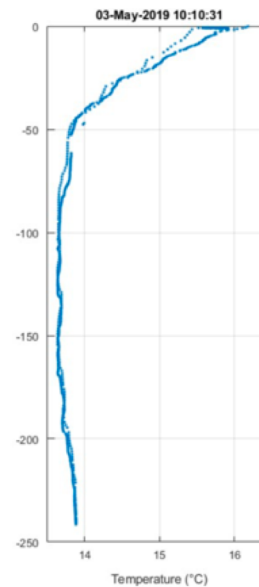


Vertical Velocity Profiler

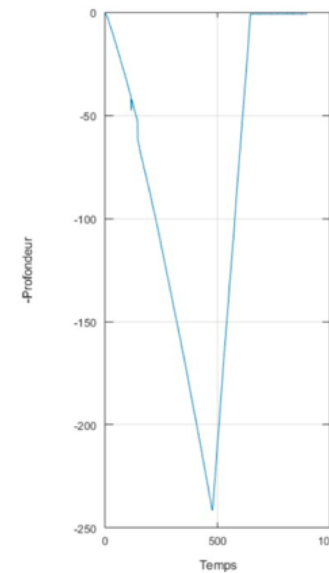
- Chute libre
- Suivi avec balise
- Récupération parfois difficile



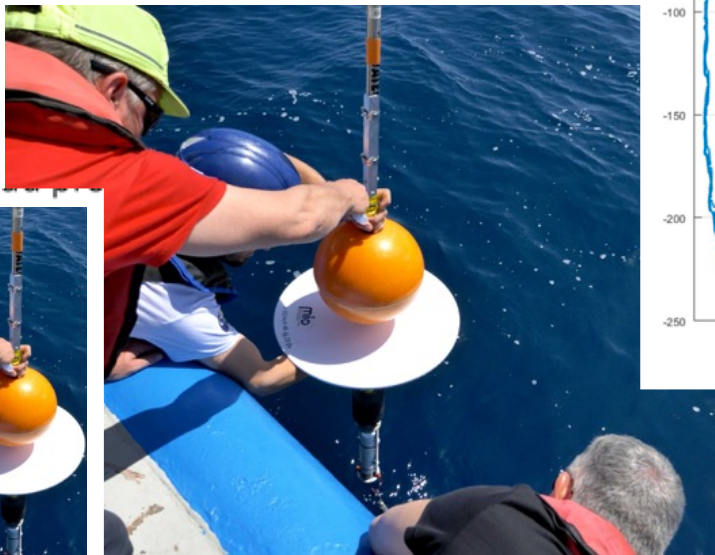
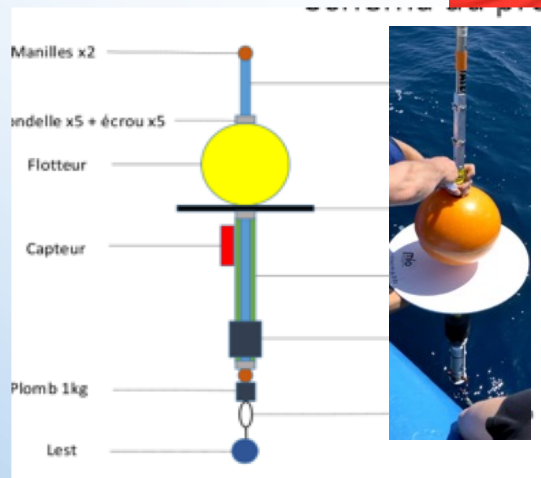
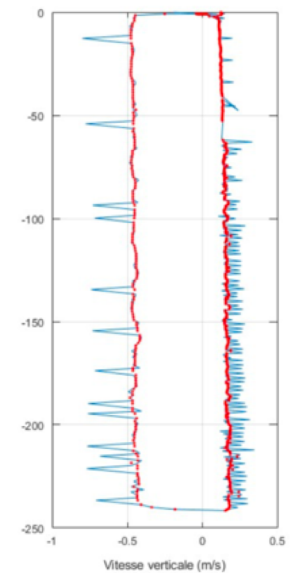
Température



Profondeur

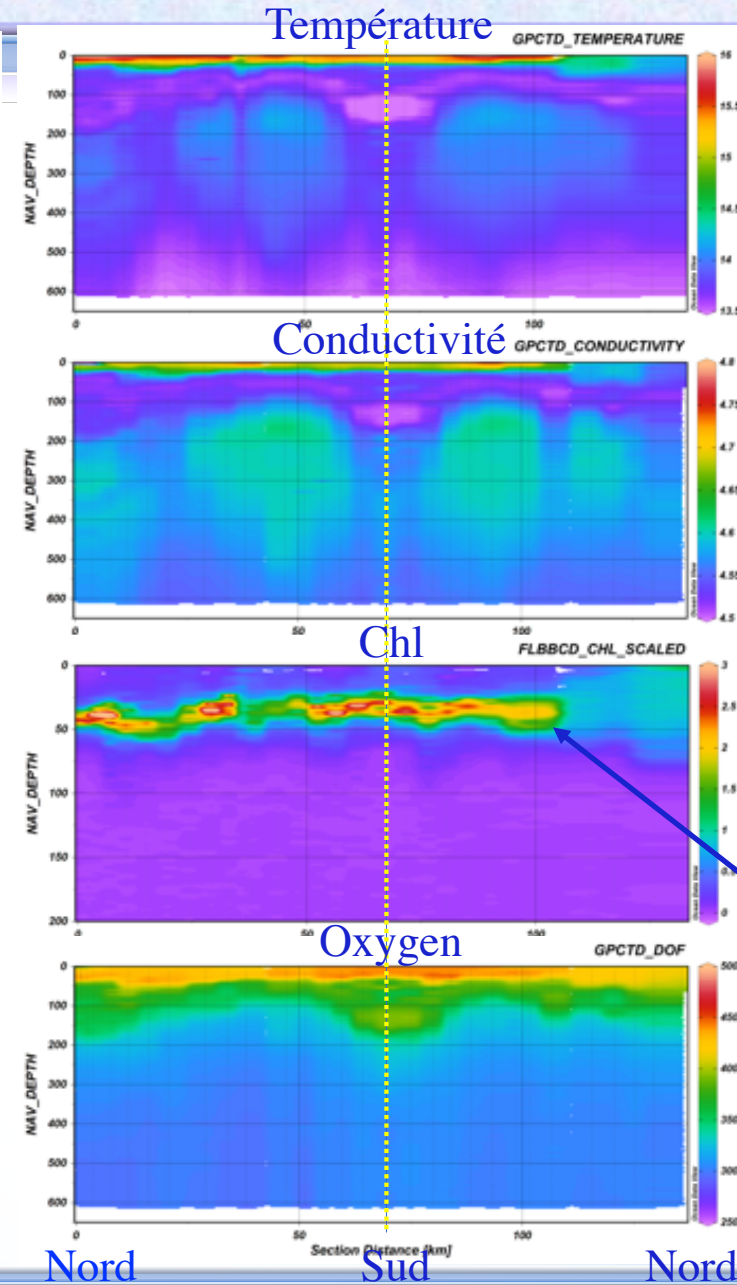
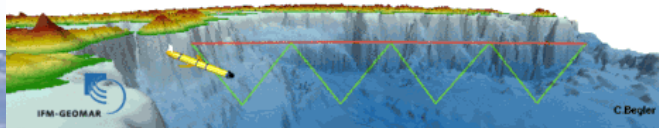


Vitesse



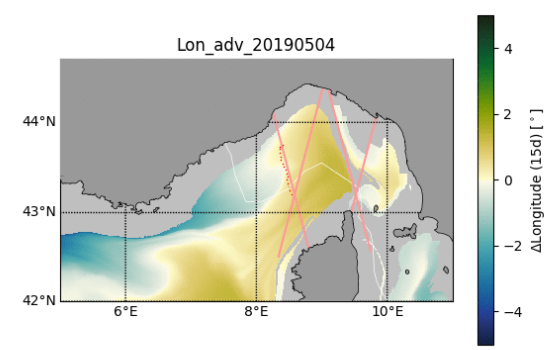
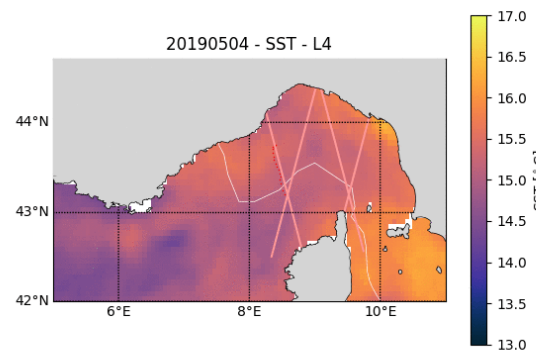
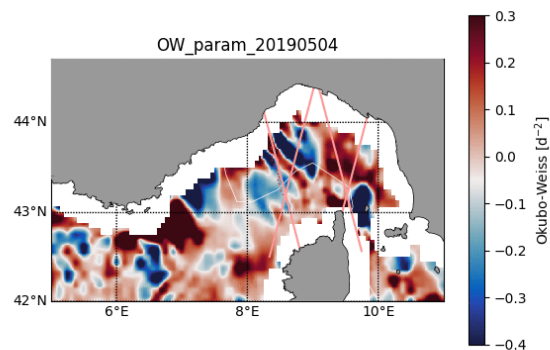
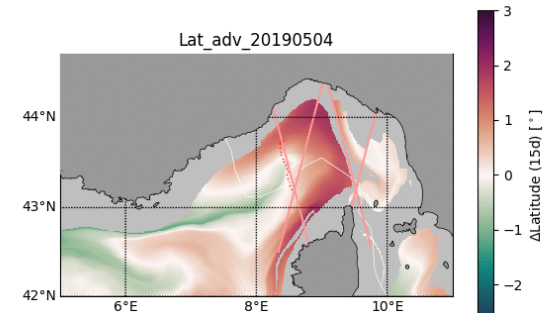
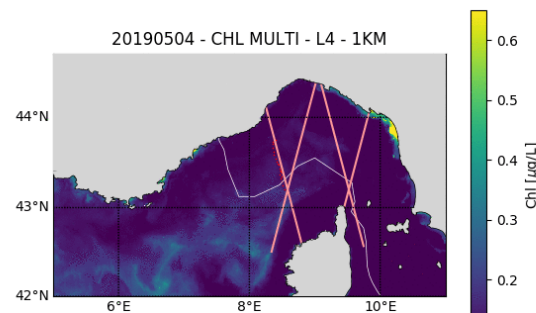
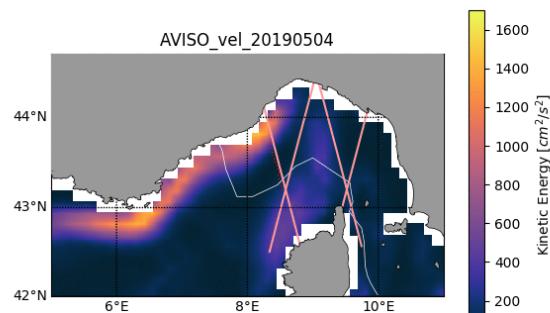
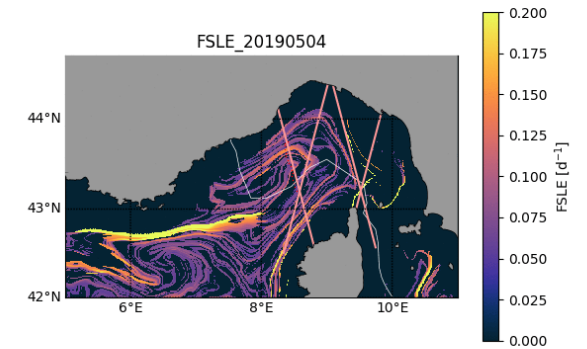
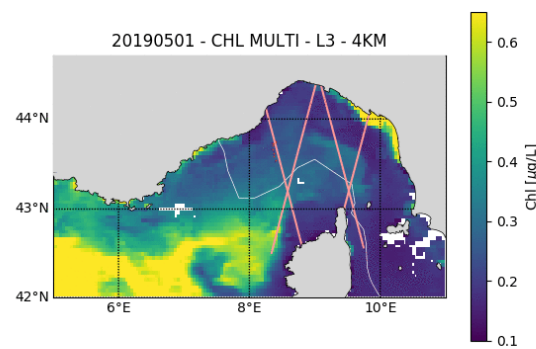
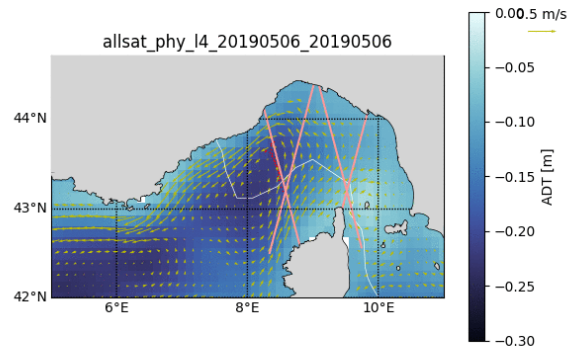
Prochain prototype : profils multiples, meilleure CTD

- ⚓ Déploiement Glider
- ⚓ Proche de trace satellite (AR)
- 💬 Effet visible de la tempête
- 💬 Prochaine étape : vitesses verticales



N. Bhairy

tempête





Documents FUMSECK com



Web MIO

<https://www.mio.osupytheas.fr/fr/dynamique-oceanique/fumseck-une-campagne-du-projet-bioswot>

<https://www.mio.osupytheas.fr/fr/depart-imminent-de-fumseck-une-campagne-du-projet-bioswot>

<https://www.mio.osupytheas.fr/fr/des-nouvelles-de-la-campagne-fumseck>

<https://www.mio.osupytheas.fr/fr/fumseck-billes-colorees-et-cytometrie>

<https://www.mio.osupytheas.fr/fr/fumseck>



Web ODATIS

<https://www.odatis-ocean.fr/actualites/actualites-a-la-une/la-campagne-en-mer-fumseck-traque-les-fines-echelles>



Tweets @MIOceanologie

<https://twitter.com/MIOceanologie/status/1123969894981210112>

<https://twitter.com/MIOceanologie/status/1123971471443935233>

<https://twitter.com/MIOceanologie/status/1123971737107017734>

<https://twitter.com/MIOceanologie/status/1125300294655578112>

<https://twitter.com/MIOceanologie/status/1125300727373496320>

<https://twitter.com/MIOceanologie/status/1125301440950472704>

<https://twitter.com/MIOceanologie/status/1125302366209703936>

<https://twitter.com/MIOceanologie/status/1126396579349434368>



CLS Article

<http://www.cls-telemetry.com/innovative-vertical-velocity-system-uses-argos-goniometer/>

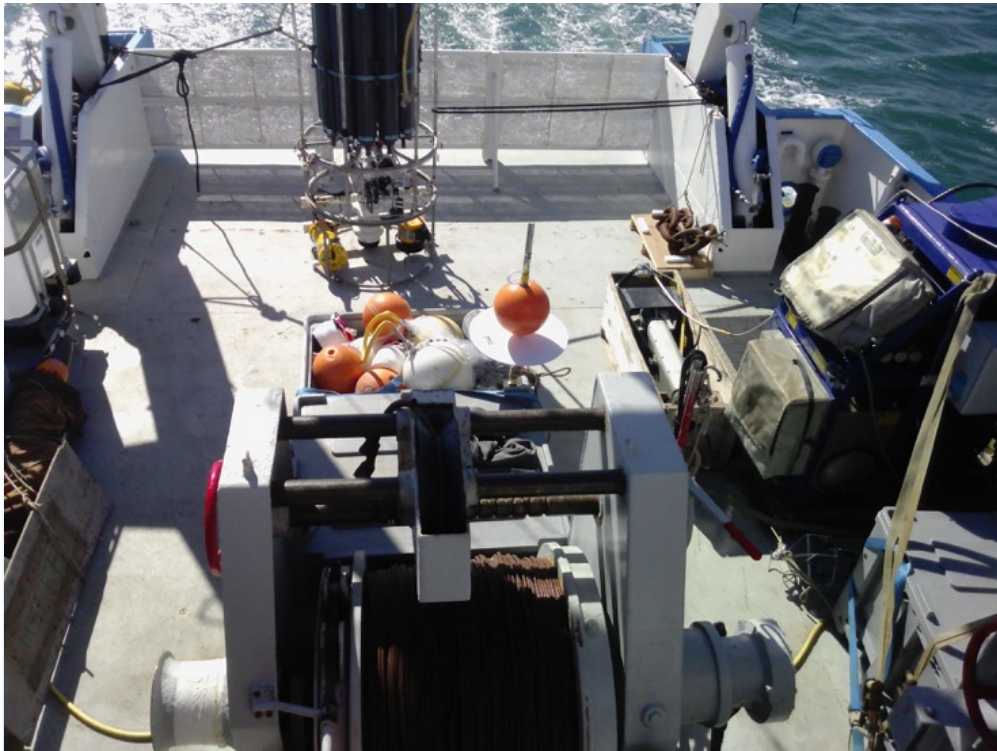


+ photos and videos (H. Bataille, G. Grégori, M. Thyssen)



Photo Cruise

⚓ Un pont chargé et une belle aventure !



Conclusions & Perspectives

OSCAHR - PROTEVS-SWOT - FUMSECK

- Stratégie **adaptative innovante** avec approche **multidisciplinaire**
- Structures **physiques à petite échelle** → **variabilité biogéochimique** et **distribution spatiale** des **groupes phytoplanctoniques**
- Campagnes MIO en Méditerranée:
 - **Expérience** acquise
 - Résultats **prometteurs**
 - → **compréhension approfondie** des processus **physiques** et **biogéochimiques** à fines échelles

Gibraltar 2020, SWOT 2022 et les futures campagnes

- 2D → 3D (amélioration résolution horizontale et verticale, accès aux **vitesse verticales**) → 4D (évolution temporelle) pour compréhension fines échelles
- ...

Conclusion

⚓ Monde marin :

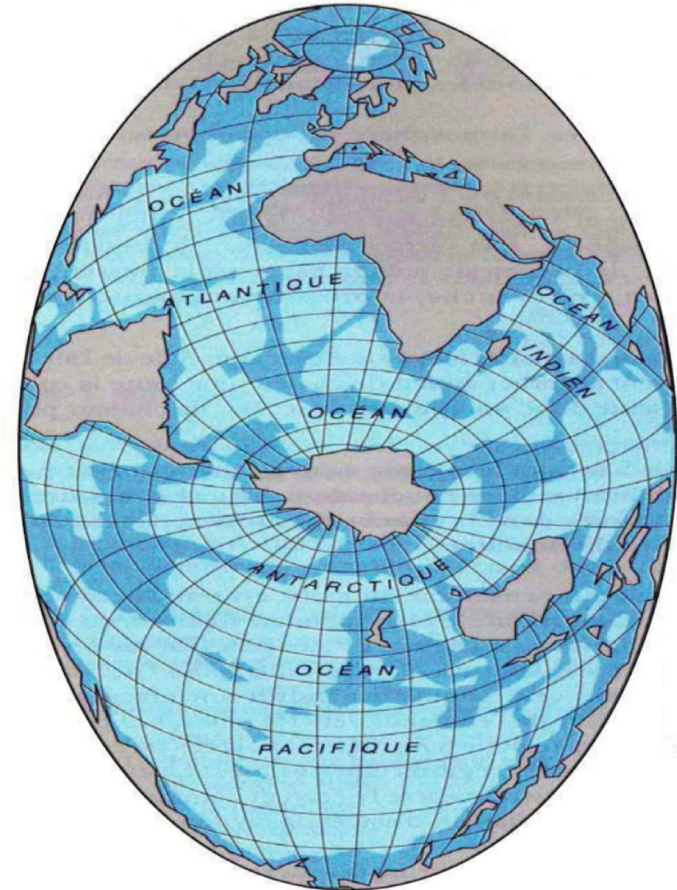
- 💬 unique
- 💬 complexe
- 💬 extrêmement sensible au changement climatique

⚓ Étude :

- 💬 toutes les disciplines nécessaires et entremêlées
- 💬 physique et bio intimement liées

⚓ Compréhension : considérer l'océan

- 💬 à toutes ses échelles
- 💬 à toutes ses dimensions

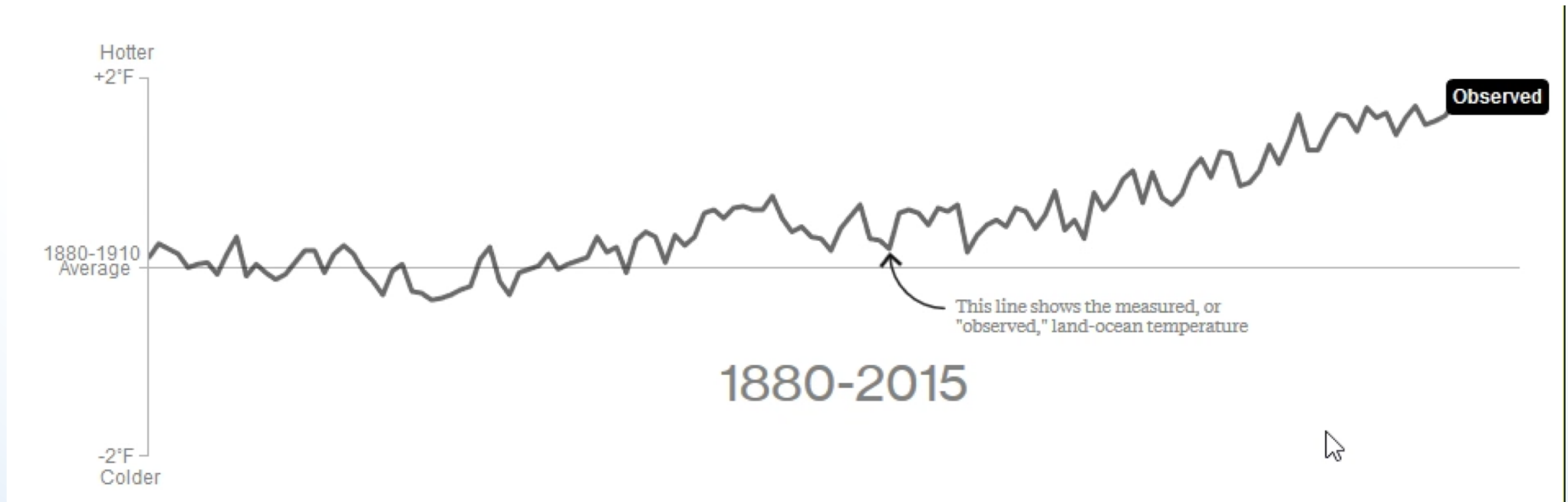




Références

- ⚓ **Meloni, M.**, Bouffard, J., Doglioli, A.M., Petrenko, A.A., Valladeau, G. (2019). *Toward science-oriented validations of coastal altimetry: application to the Ligurian Sea*. Remote Sens.Envir., 224, 275-288, doi:[10.1016/j.rse.2019.01.028](https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.028). *see preprint HAL*
- ⚓ **Rousselet L.**, Doglioli, A.M., de Verneil, A., Pietri, A., Della Penna, A., Berline, L., Marrec, P., Gregori, G., Thyssen, M., Carlotti, F., Barrillon, S., Simon-Bot, F., Bonal, M., d'Ovidio, F. and Petrenko, A.A. (2019). *Vertical motions and their effects on a biogeochemical tracer in a cyclonic structure finely observed in the Ligurian Sea*. J.Geophys.Res., 124, doi:[10.1029/2018JC014392](https://doi.org/10.1029/2018JC014392).
- ⚓ **Marrec, P.**, Grégori, G., Doglioli, A.M., Dugenne, M., Della Penna, A., Bhairy, N., Cariou, T., Hélias Nunige, S., Lahbib, S., Rougier, G., Wagener, T., Thyssen M. (2018). *Coupling physics and biogeochemistry thanks to high resolution observations of the phytoplankton community structure in the North-Western Mediterranean Sea*. Biogeosciences, 15, 1579-1606, doi:[10.5194/bg-15-1579-2018](https://doi.org/10.5194/bg-15-1579-2018). Popularization paper in French [HTML](#) [PDF](#)

Effet des gaz à effet de serre



Source : NASA, IPC

Depuis 40 ans, la température de la Terre est contrôlée par une multitude de facteurs, incluant une variabilité interne, mais l'impact du CO₂ devient clairement dominant depuis environ 35 ans.

Outline



Context

- **Fine scales studies**
 - 3D dynamics and **vertical velocities**
- **Physics / Biogeochemistry coupling**
- ***In situ*** measurements
- **SWOT** preparation: instrumental and methodological prospects



<https://www.mio.osupytheas.fr/en>

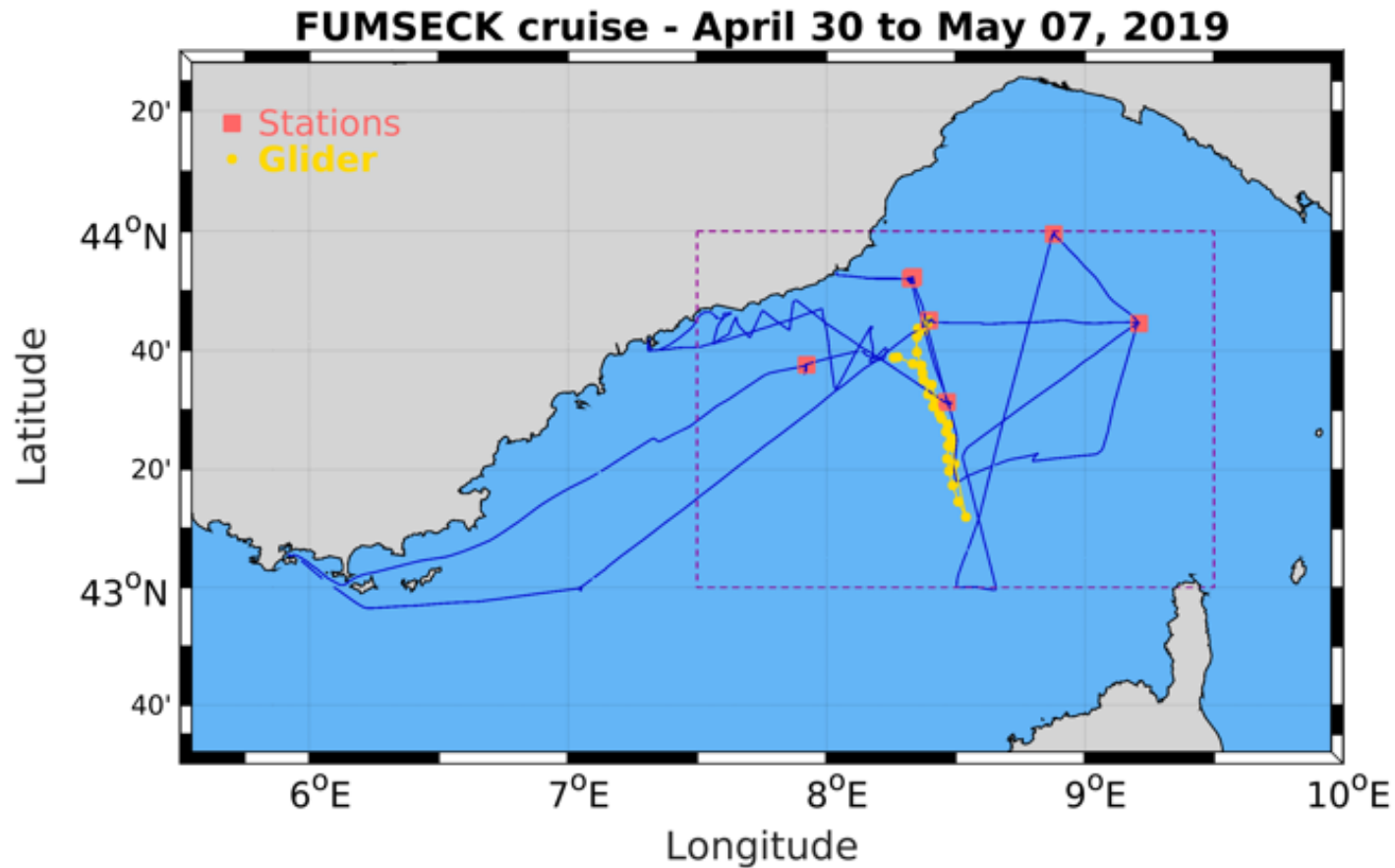
<https://www.mio.osupytheas.fr/en/research-teams/physical-littoral-and-coastal-oceanography-team-oplc>



MIO Mediterranean cruises

- **OSCAHR**: November 2015. Ligurian Sea
- **PROTEVS–SWOT**:
May 2018. South of Balears
- **FUMSECK**: May 2019. Ligurian Sea

FUMSECK



SPASSO



SPASSO (*Software Package for an Adaptive Satellite-based Sampling for Ocean campaigns*)

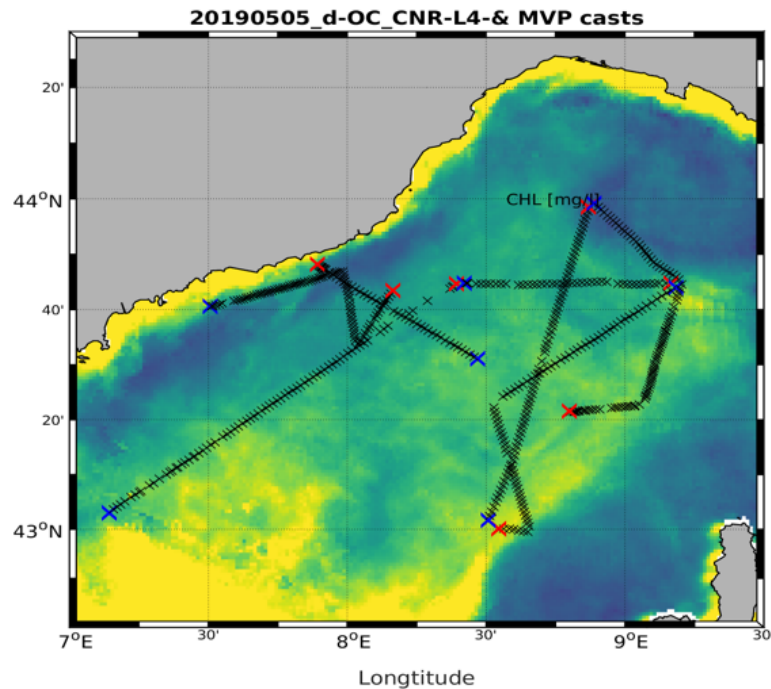
- Package with an automatic script to download and treat satellite data
 - Ran by crontab on satellite machine
 - Output as files and figures
 - **Figures plotting in Python**
- Multicampaign
- Figures accessible online
 - FUMSECK all:
http://www.mio.univ-amu.fr/SPASSO/FUMSECK/Figures_web/
 - FUMSECK figures of the day:
http://www.mio.univ-amu.fr/SPASSO/FUMSECK/Figures_web_oftheday/
- Daily bulletin during the cruise accessible online (.tex and .pdf)
 - FUMSECK:
http://www.mio.univ-amu.fr/SPASSO/FUMSECK/Bulletin_web/



MVP

7 plongées

2 configs



Nombre de plongées :	7
Durée moyenne de plongée :	8:20:42
Durée totale en plongée :	58:25:0
Durée moyenne sur le fond :	8:13:34
Durée totale sur le fond :	57:35:0
Immersion moyenne :	292 m
Immersion max :	308 m
Distance totale parcourue :	680.4 km

N° de plongée	Dates	Immersion max	Distance	Temps de plongée	Temps au fond	Performance engin
142/12/1	30/04/2019 - 01/05/2019	307 m	139 km	10:21:00	10:12:00	100 %
143/13/2	01/05/2019 - 01/05/2019	278 m	64.6 km	04:50:00	04:42:00	100 %
144/14/3	01/05/2019 - 02/05/2019	282 m	124 km	10:06:00	09:59:00	100 %
145/15/4	02/05/2019 - 02/05/2019	297 m	111 km	08:46:00	08:38:00	100 %
146/16/5	02/05/2019 - 03/05/2019	308 m	101 km	10:15:00	10:08:00	94 %
147/17/6	04/05/2019 - 04/05/2019	271 m	55.6 km	04:23:00	04:19:00	95 %
148/18/7	05/05/2019 - 06/05/2019	303 m	85.2 km	09:44:00	09:37:00	97 %

⚓ Plongée 4

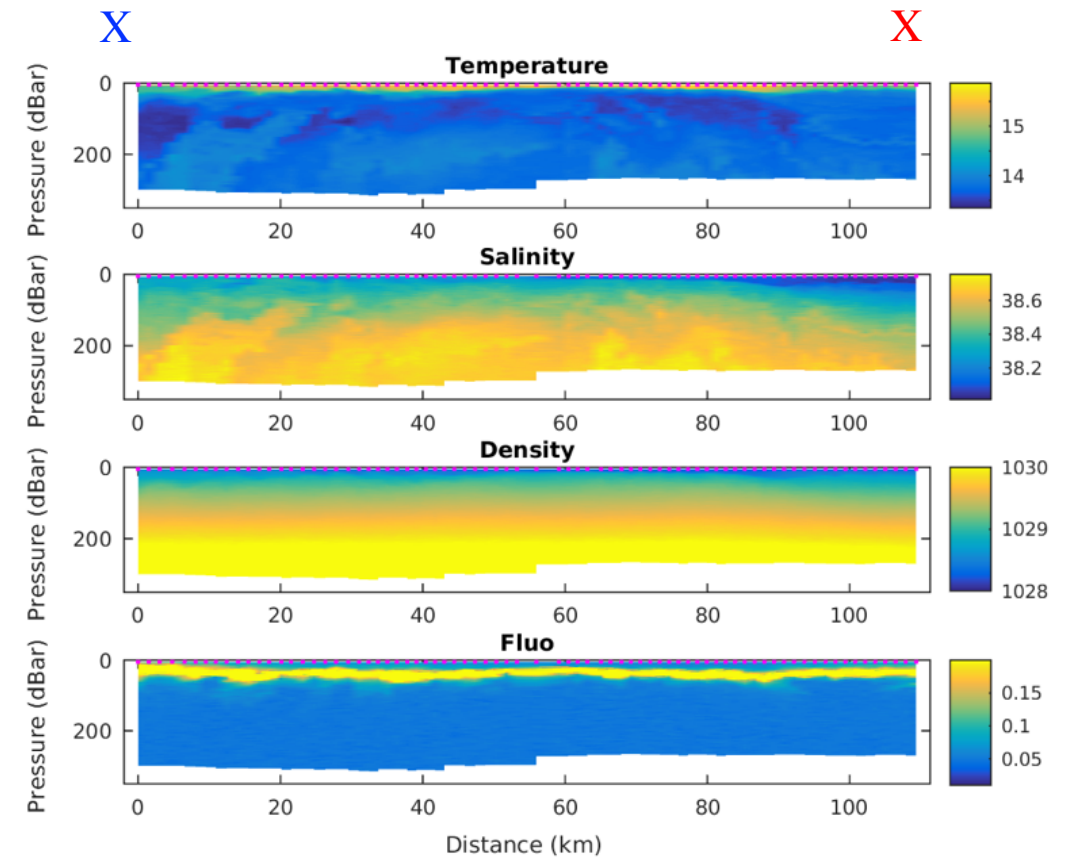
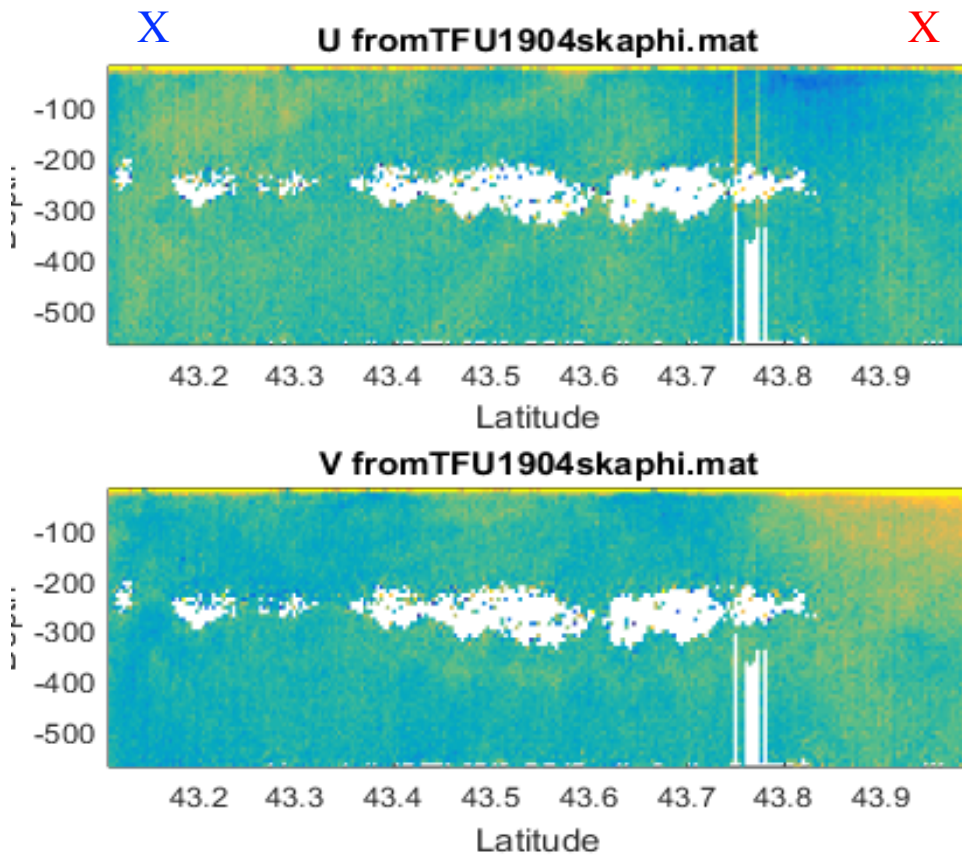
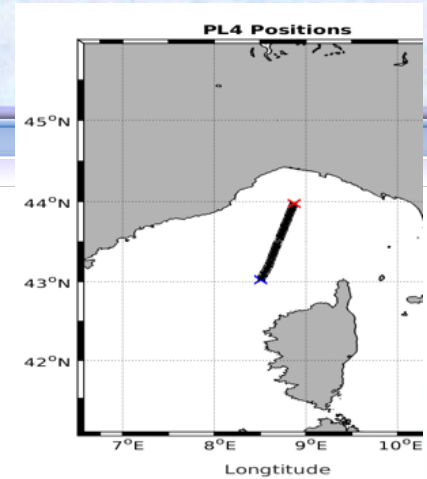
A. Petrenko

ADCP

Blue start
Red end

A. Doglioli

MVP

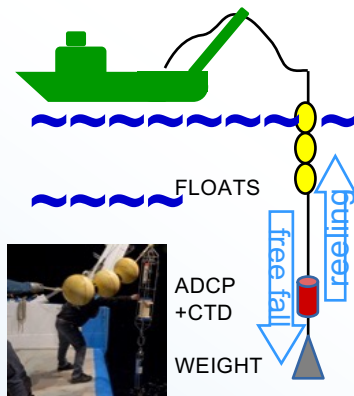




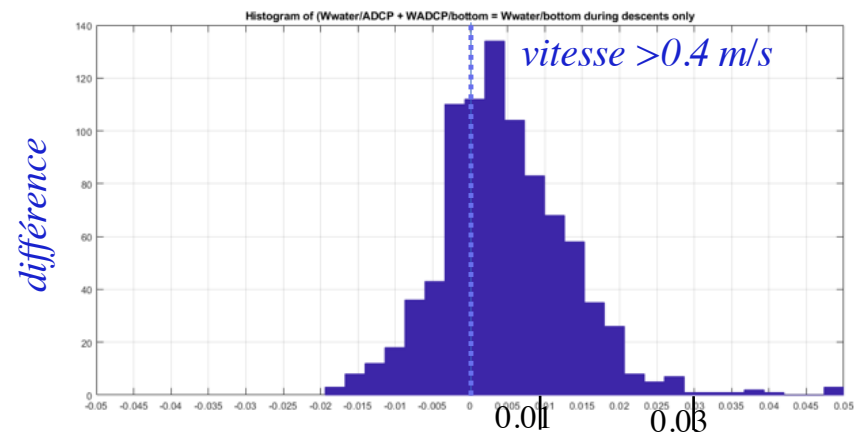
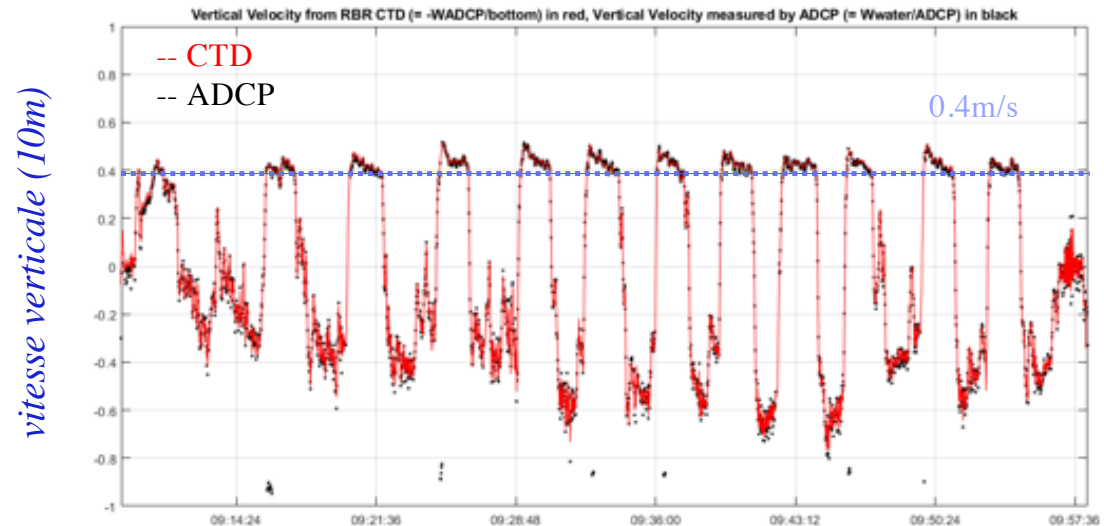
Vitesses verticales

Free-Fall ADCP

J.L. Fuda



VVPTest (Antédon)



Parcours

