

**Etude de la circulation à sous méso-échelle et
ses implications sur la biogéochimie
grâce aux mesures de la campagne PROTEVS-SWOT 2018.**

Roxane TZORTZIS

Encadrants : **Andrea DOGLIOLI, Stéphanie BARRILLON**

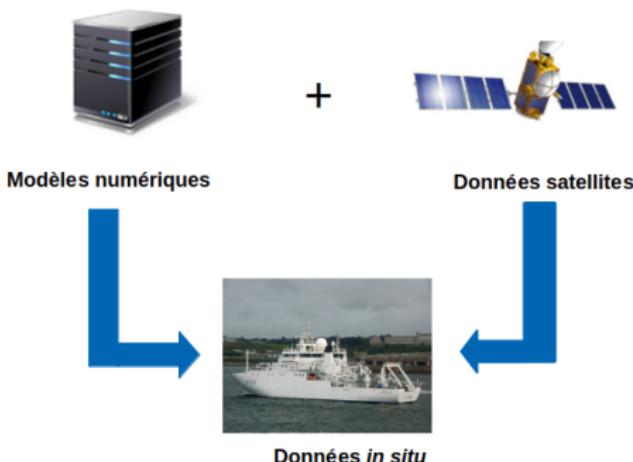
En collaboration avec **Lloyd Izard** (M2 BEM) encadré par **Gérald Grégori**

2018-2019



De la méso à la sous méso-échelle ...

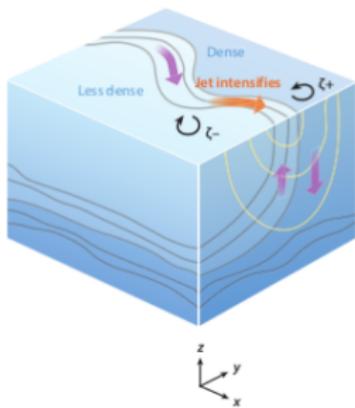
- Etirement des structures de méso-échelle (méandres, tourbillons de 10-100 km), cisaillement, frontogenèse -> sous méso-échelle (filaments, fronts) (Lapeyre and Klein, 2006)
- Découverte tardive à cause de la difficulté d'effectuer des mesures *in situ* en raison de :
 - Dimension horizontale des structures de l'ordre de 0.1 à 10 km
 - Caractère éphémère \approx jours
- Principalement étudiées à partir de modèles numériques et d'imagerie satellite de haute résolution
- Besoin de mesures *in situ* -> Campagnes du MIO : LATEX (Petrenko *et al.*, 2017), OSCAHR (Doglioli, 2015), OUTSPACE (Rousselet *et al.*, 2018)



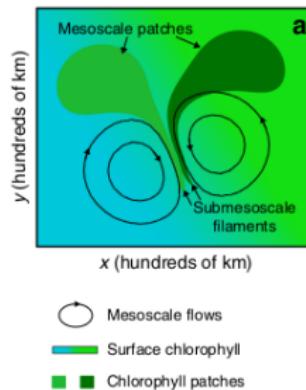
Impact sur la biogéochimie

- **Effet sur la colonne d'eau à cause des vitesses verticales :**
 - Apport de nutriments en surface → favorise développement du phytoplancton (Levy *et al.*, 2001 ; Mahadevan, 2016)
 - Favorise l'export de carbone en profondeur (Levy *et al.*, 2001 ; Mahadevan, 2016)

- **Effet en surface :**
 - Séquestration du phytoplancton dans les fronts (d'Ovidio *et al.*, 2010 ; Levy *et al.*, 2018)



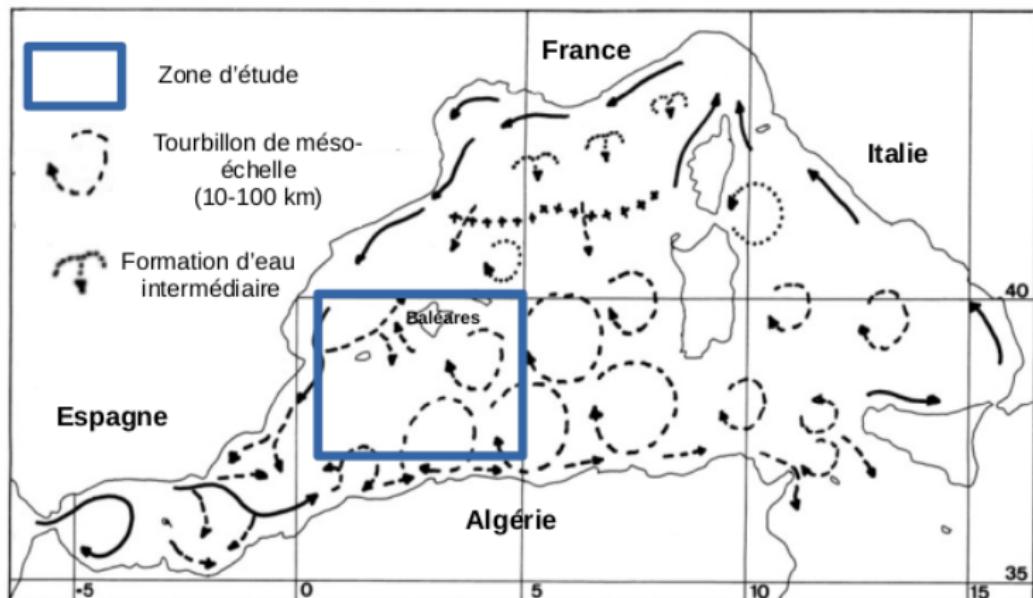
Mahadevan, 2016.



Levy *et al.*, 2018.

==> Nécessité d'effectuer des études à haute résolution des fines échelles en couplant physique et biogéochimie

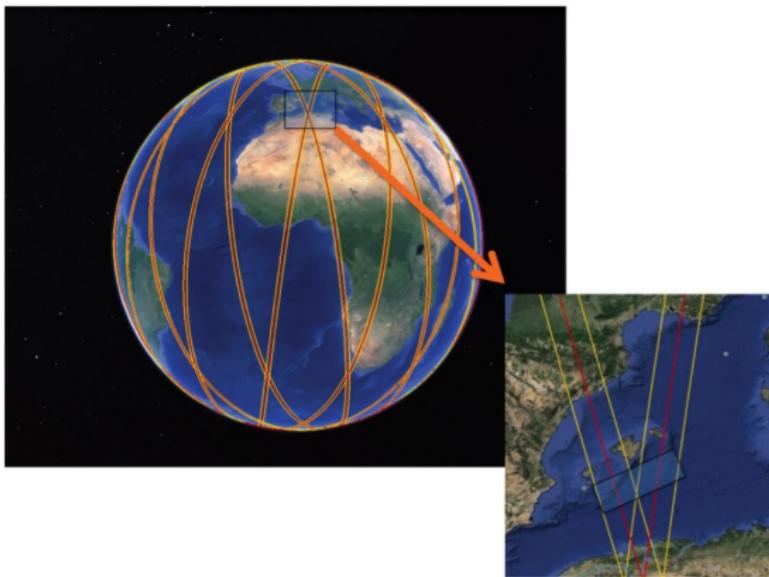
Le sud des Baléares : une zone propice pour l'étude de la sous méso-échelle



Circulation de surface dans le bassin occidental Méditerranéen
(Millot, 1999)

Le projet BIOSWOT

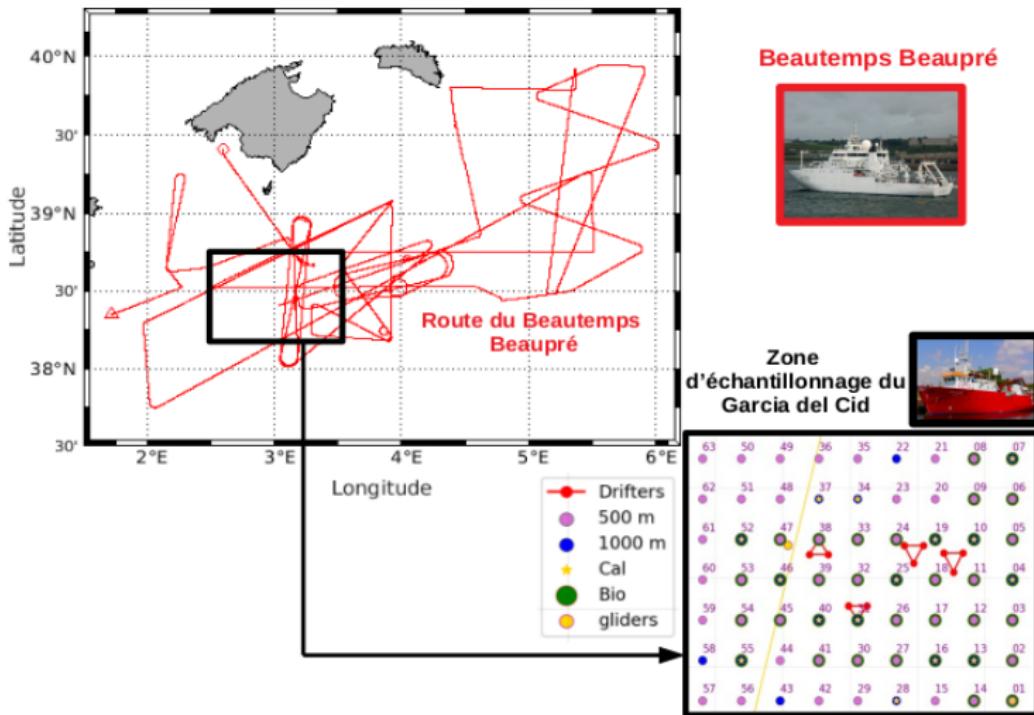
- Lancement du satellite SWOT (*Surface Water and Ocean Topography*) en 2021 (NASA, CNES)
- Campagnes internationales 2018 associées au projet : PROTEVS-SWOT (SHOM, MIO), PRE-SWOT (IMEDEA)



Fauchées du satellite SWOT et point de croisement au sud des Baléares
Barceló-Llull *et al.* (2018)

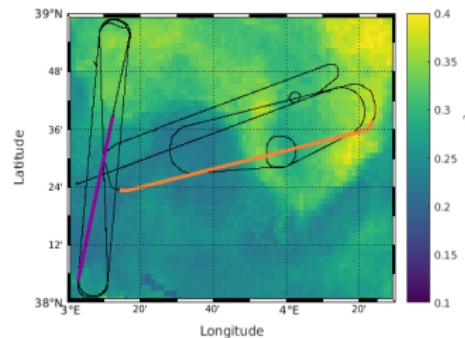
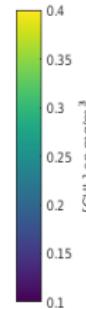
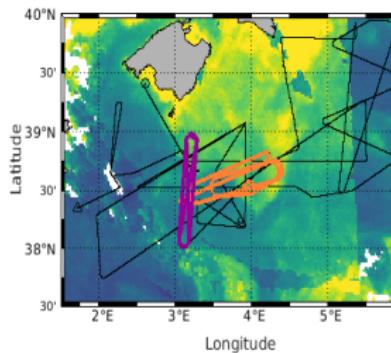
Les campagnes PROTEVS-SWOT et PRE-SWOT

- PROTEVS-SWOT : du 30 avril au 14 mai 2018 à bord du BHO Beautemps Beaupré
- PRE-SWOT : du 5 au 17 mai 2018 à bord du Garcia del Cid



Stratégie d'échantillonnage de PROTEVS-SWOT

- Stratégie adaptative et lagrangienne :
 - SPASSO (Nencioli *et al.*, 2011) (www.spasso.mio.psupytheas.fr)
 - Allers-retours dans différentes masses d'eau (hippodromes)
 - Hippodrome du 8 mai 15:30 au 10 mai 17:30 (en orange) → radiale du 9 mai 16:45 - 23:55
 - Hippodrome du 11 mai 2:00 au 13 mai 8:30 (en violet) → radiale du 11 mai 2:00 - 6:30
- Mesures physiques : Seasoor, ADCP, Thermosalinographe (TSG)
- Mesures biogéochimiques : Cytométrie en flux
- Traitement des données et développement de nouveaux codes pour le package LATEXtools



Cartes satellites de concentration en chlorophylle (CLS Collecte Localisation Satellites)

Calcul des FSLE (*Finite Size Lyapunov Exponent*)

- Outil mathématique mesurant la séparation des trajectoires de particules (d'Ovidio, 2004)
- Identification des zones de fronts (ex : LATEX Nencioli *et al.*, 2011)

$$\lambda(x, t, \delta_0, \delta_f) \equiv \frac{1}{\tau} \log \frac{\delta_f}{\delta_0}$$

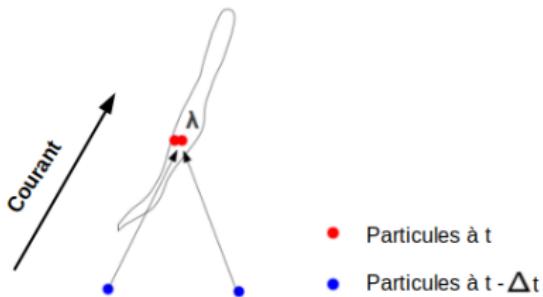
$\lambda(x, t, \delta_0, \delta_f)$: FSLE (en jour⁻¹)

x : position au temps t

δ_0 : distance initiale

δ_f : distance finale

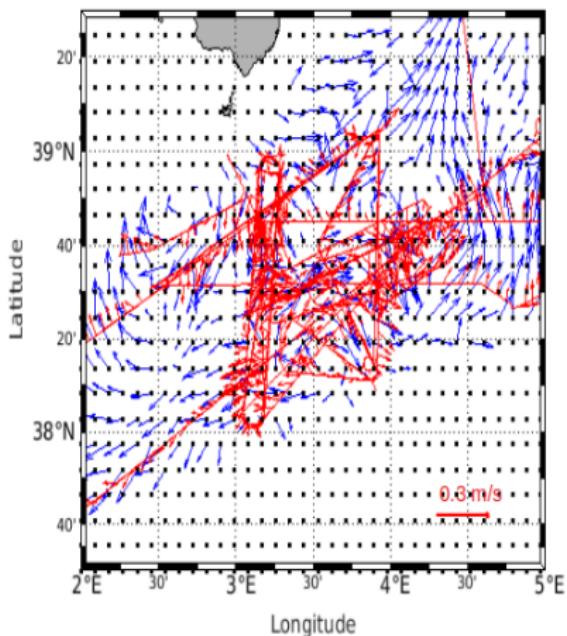
τ : durée pour atteindre δ_f



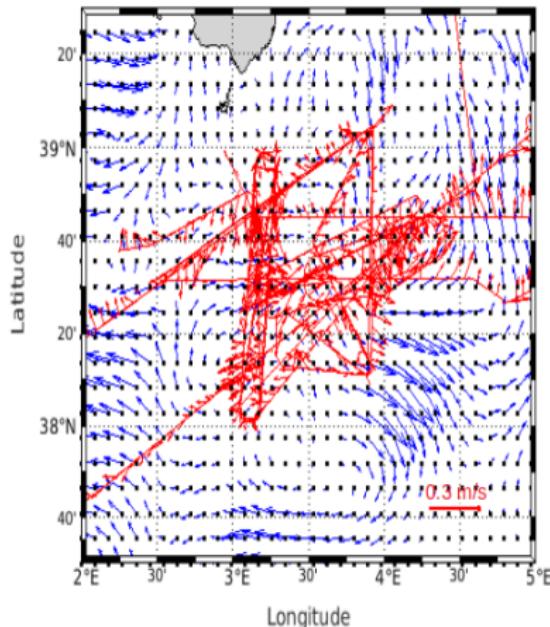
- En pratique : calcul à rebours à partir des données altimétriques

Estimation des vitesses verticales

- Etape 1 : interpolation des courants horizontaux
- Etape 2 : Calcul d'erreur de l'*objective-mapping*
- Etape 3 : Comparaison avec l'interpolation de Barceló-Llull *et al.* (2018)
- Etape 4 : Calcul des vitesses verticales selon la méthode du Q-vector



Interpolation selon la méthode de Delauney

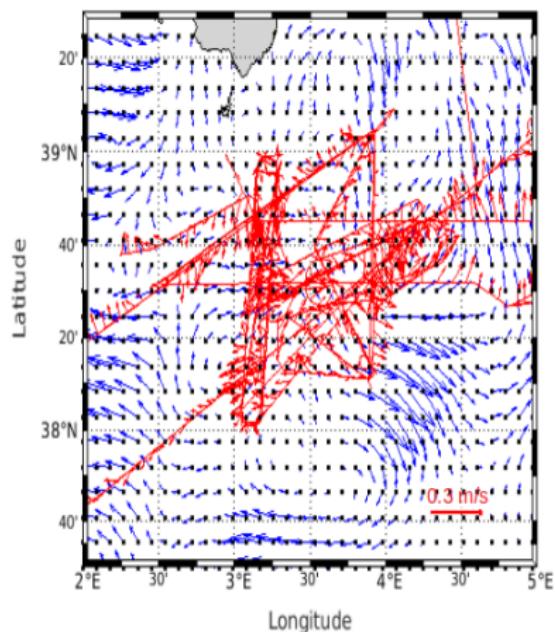


Interpolation avec l'*objective-mapping*

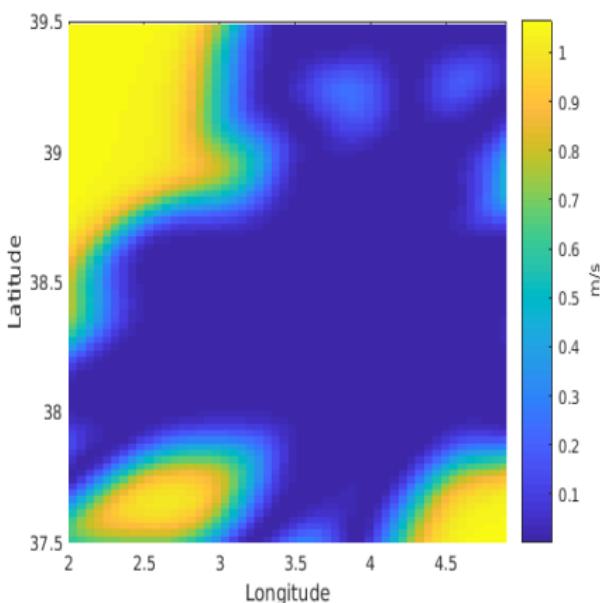
Estimation des vitesses verticales

- Etape 2 : Calcul d'erreur de l'*objective-mapping*

Matrices d'erreur calculées comme le ratio entre l'erreur et la variance du signal



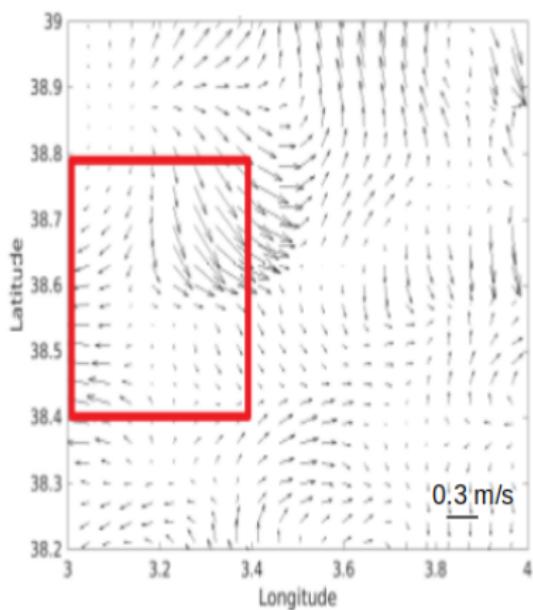
Interpolation avec l'*objective-mapping*



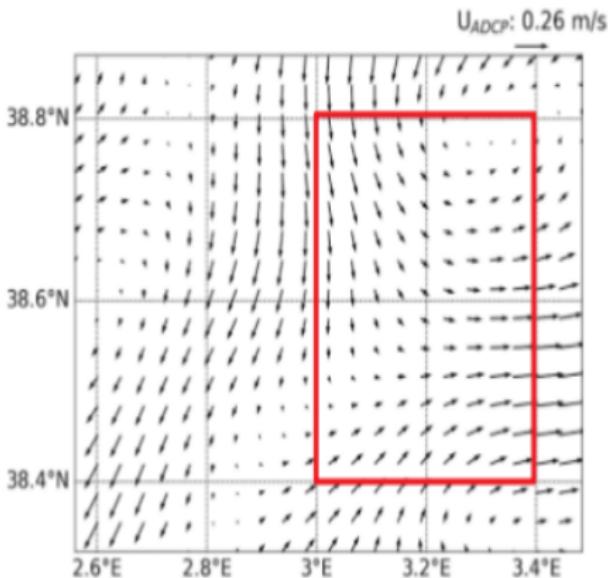
Matrice d'erreur calculée par l'*objective-mapping*

Estimation des vitesses verticales

- Etape 3 : Comparaison avec l'interpolation de Barceló-Llull *et al.* (2018)



Interpolation avec l'*objective-mapping*



Interpolation avec l'*objective-mapping*.
Barceló-Llull *et al.* (2018)

Estimation des vitesses verticales

- Etape 4 : Calcul des vitesses verticales selon la méthode du *Q-vector*

$$\mathbf{Q} = (Q1, Q2) = \left(\frac{g}{\rho_0} \frac{\partial V_g}{\partial x} \nabla \rho, \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial V_g}{\partial y} \nabla \rho \right)$$

V_g : composante horizontale (u, v) des courants géostrophique (en m/s)

$\nabla \rho$: gradient de densité

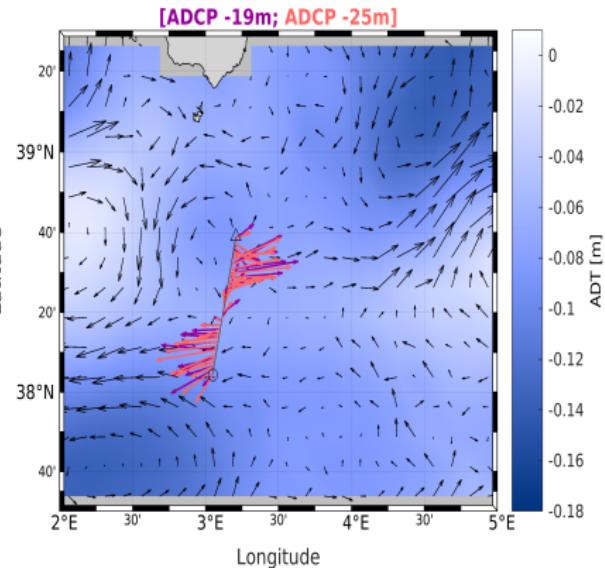
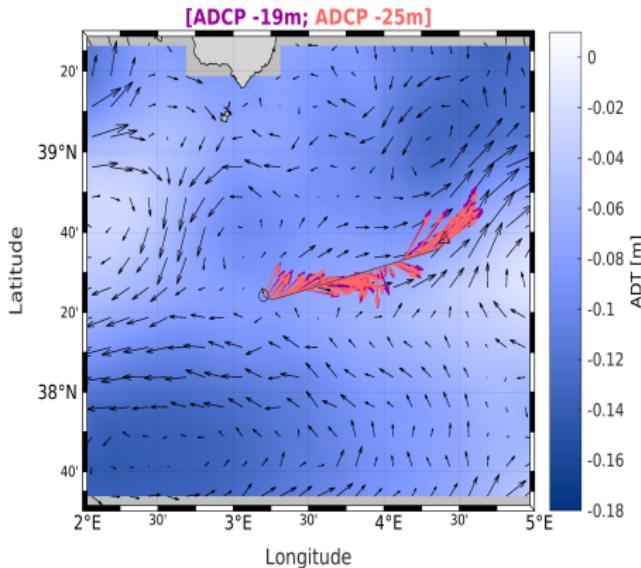
$$L = N^2 \nabla_h^2 + f^2 \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

N : fréquence de Brunt Väisälä

$$w = L^{-1} \nabla \cdot \mathbf{Q}$$

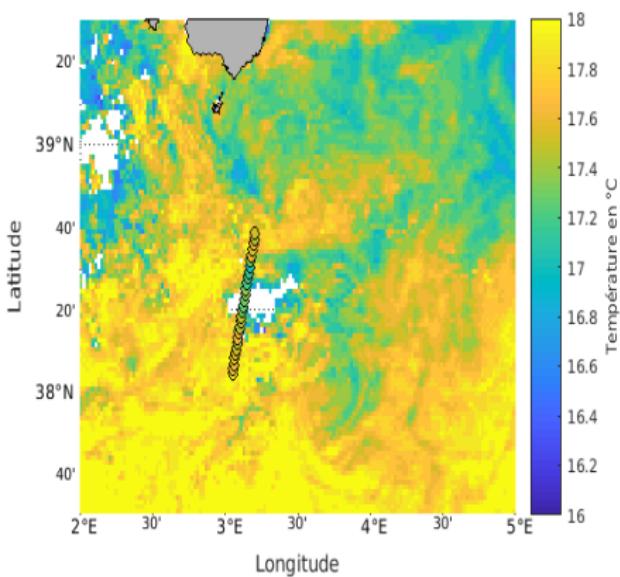
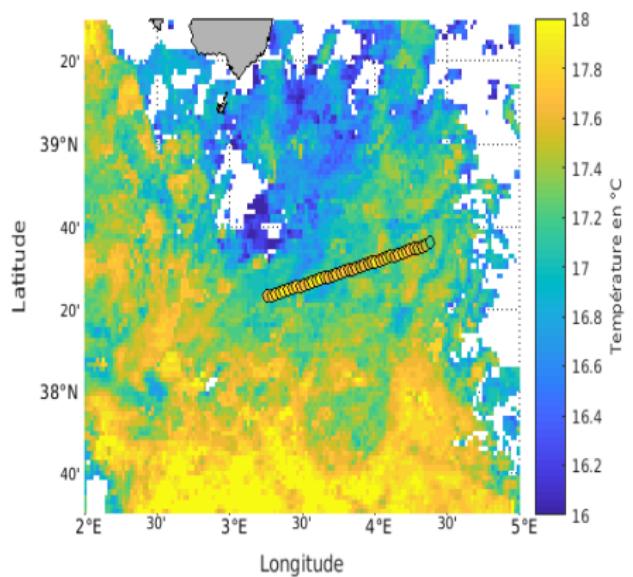
Comparaison des courants horizontaux mesurés par ADCP avec les données satellites

- Intensité des courants mesurés par satellite < courants mesurés par ADCP
- Cohérence des courants mesurés par satellite avec ceux de l'ADCP sauf en bordure des côtes
- Cisaillement du courant à 30°20'N



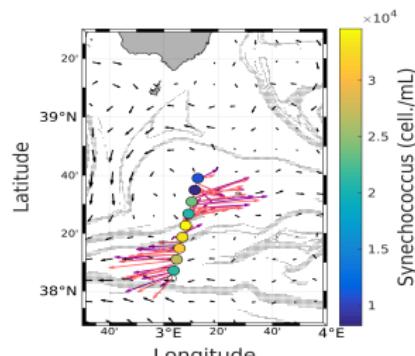
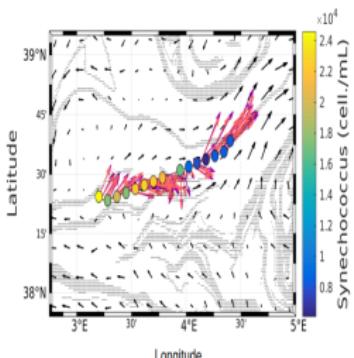
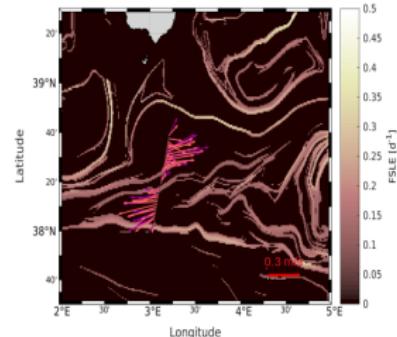
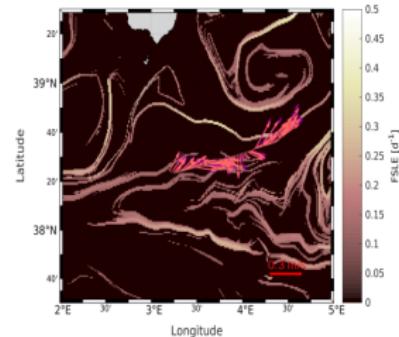
Comparaison des températures de surface mesurées par le TSG avec la SST mesurée par satellite

- Cohérence des températures mesurées avec la SST
- Gradient de température à 30°20'N



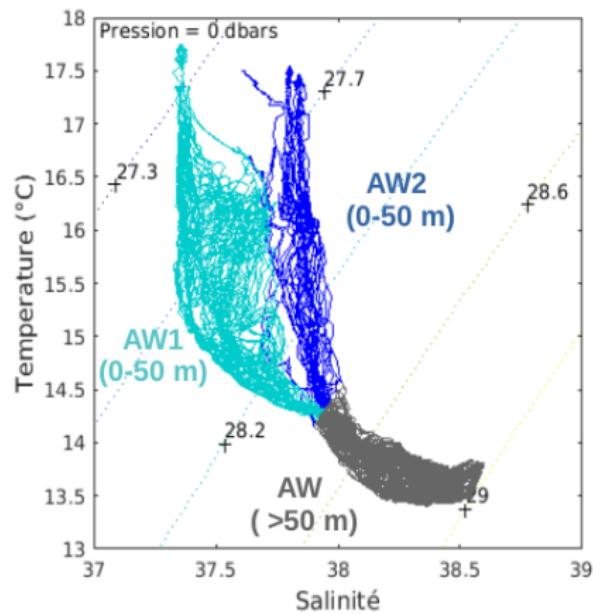
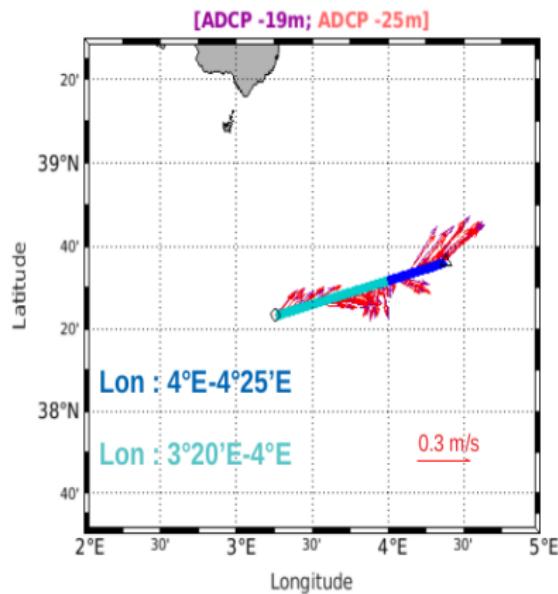
Identification des zones de fronts grâce aux FSLE et impact sur la biologie

- Zone de front à 30°20'N
- Gradient d'abondance des *Synechococcus* de part et d'autre du front



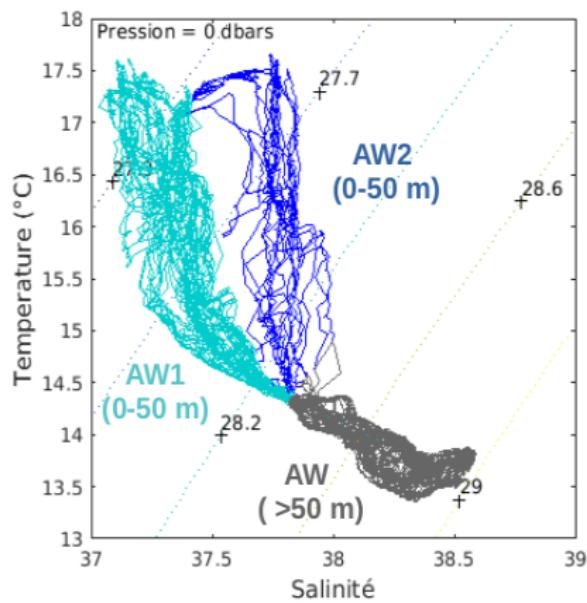
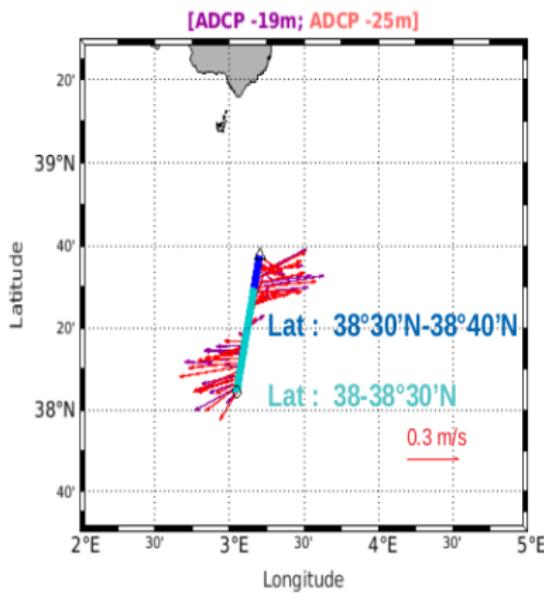
Identification des masses d'eau : Radiale Ouest-Est

- Présence de 2 eaux atlantiques (AW) en surface (0-50 m) :
 - AW1 ("jeune", salinité \approx 37-37.5)
 - AW2 ("ancienne", salinité \approx 38) (Millot et al., 2005)
- Au delà de 50 m : AW plus homogène



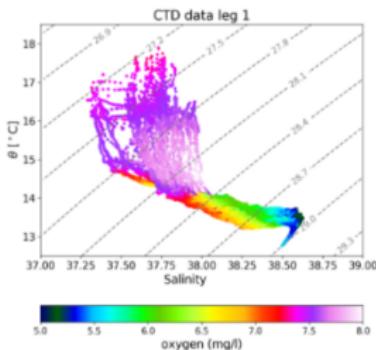
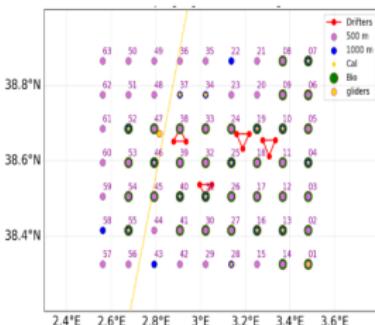
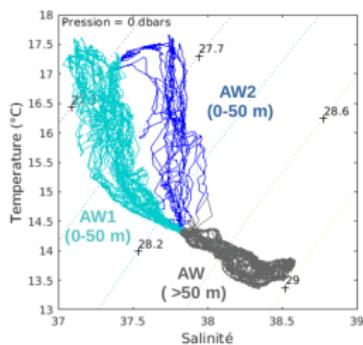
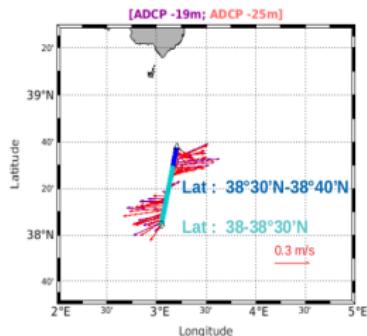
Identification des masses d'eau : Radiale Nord-Sud

- Présence de 2 eaux atlantiques (AW) en surface (0-50 m)
- Séparation en 2 branches :
 - AW1 ("jeune", salinité $\approx 37-37.5$)
 - AW2 ("ancienne", salinité ≈ 38) (Millot *et al.*, 2005)
- Au delà de 50 m : AW plus homogène



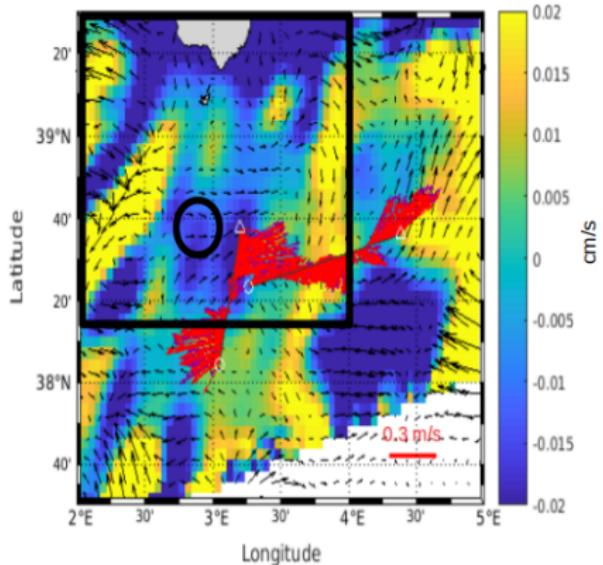
Comparaison avec le diagramme TS de la campagne PRE-SWOT

- Présence des 2 branches d'eaux atlantiques en surface (0-50 m)
- Présence d'eau intermédiaire au delà de 50 m et d'eau profonde à 300 m

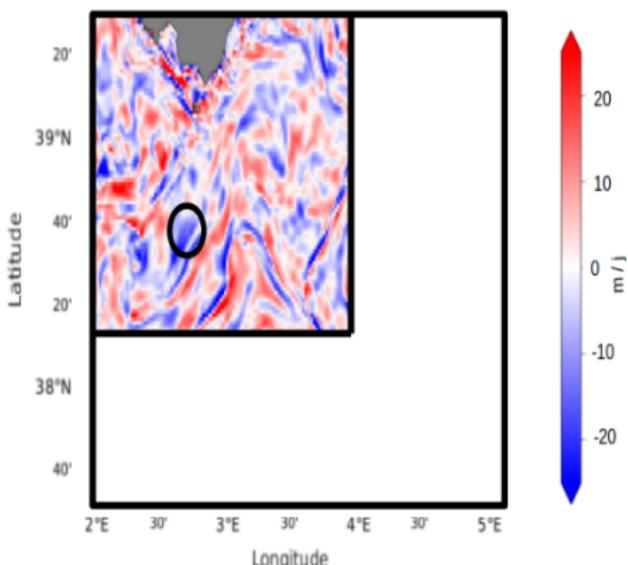


Identification des structures de fine échelle grâce aux vitesses verticales

- Zone de plongée à 2.8°E et 38.5°N
- L'intensité des vitesses verticales calculées concorde avec l'intensité du modèle ($0.01 \text{ cm/s} \approx 10 \text{ m/j}$)

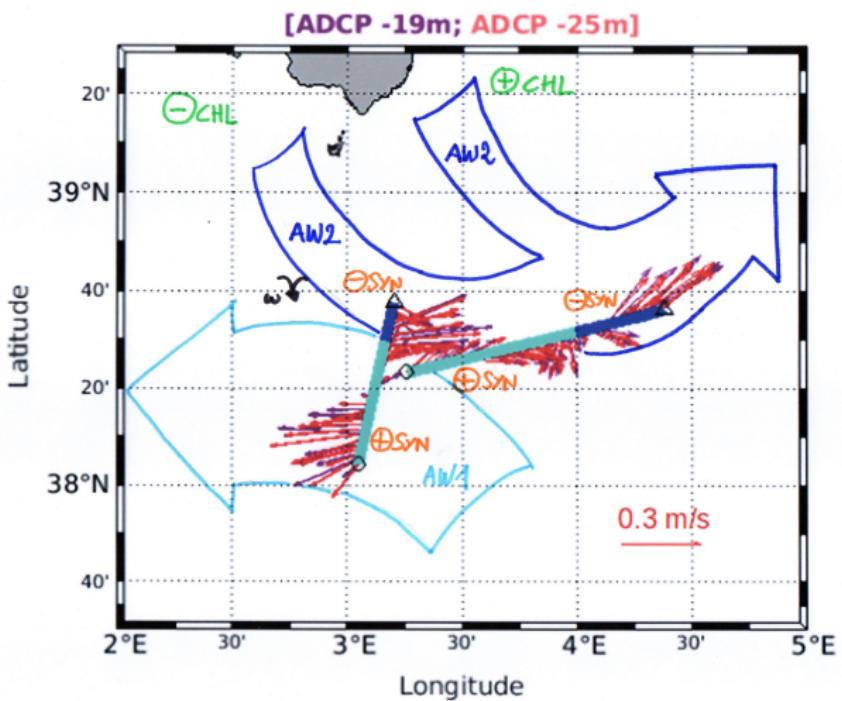


Vitesses verticales à 85 m de profondeur



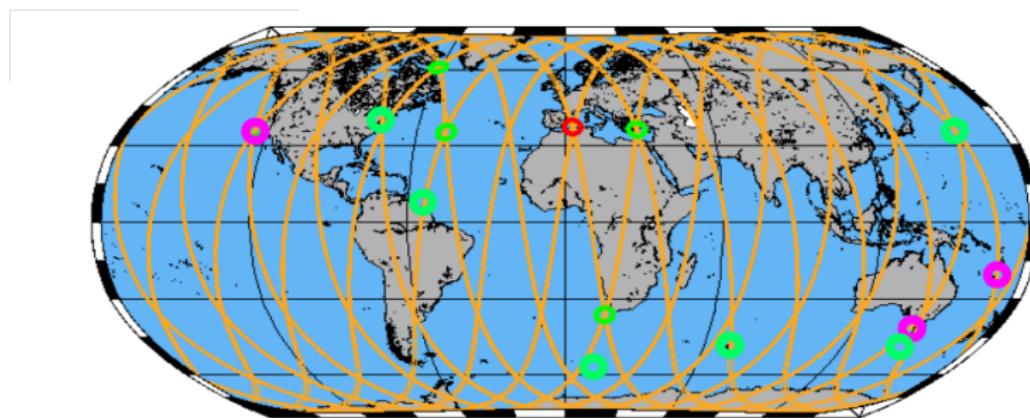
Modélisation des vitesses verticales en surface
Barceló-Llull et al. (2018)

Conclusion



Perspectives

- Poursuite de l'exploitation des données de PROTEVS-SWOT : vitesse verticale
- Traitement des données de FUMSECK
- Projet SWOT : *Adopt a crossover initiative* (d'Ovidio *et al.*, 2019)



Merci de votre attention !



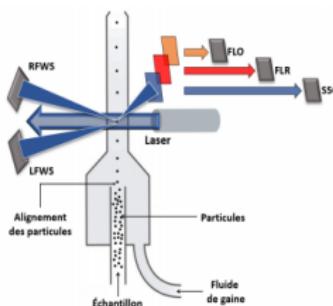
Credit photo Hubert Bataille

Rencontre avec le satellite lors de la campagne FUMSECK

Cytométrie en flux

- **Cytomètre CytoSense (CytoBuoy)**

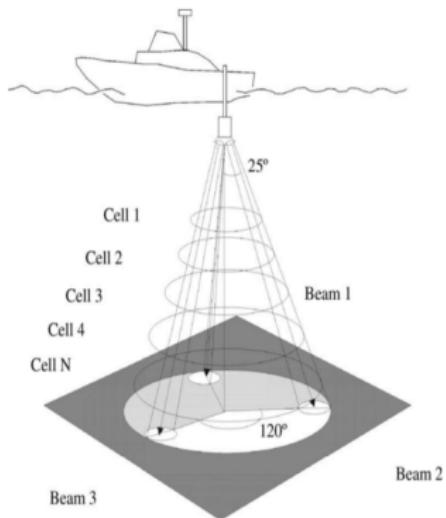
- Suivi des communautés et de la dynamique du cycle cellulaire
- Analyse :
 - en surface (2 m)
 - *in situ* et haute fréquence (30 min)
 - cellule par cellule



- **Classification des particules**

- Signal de fluorescence → Classification des particules en différents types fonctionnels (= cellules aux propriétés optiques communes)
- Signal de diffusion (petits angles, 90°) → classes de tailles (Sieburth *et al.*, 1978) :
 - picophytoplancton (0.2-2 μm)
 - nanophytoplancton (2-20 μm)
 - microphytoplancton (20-200 μm)

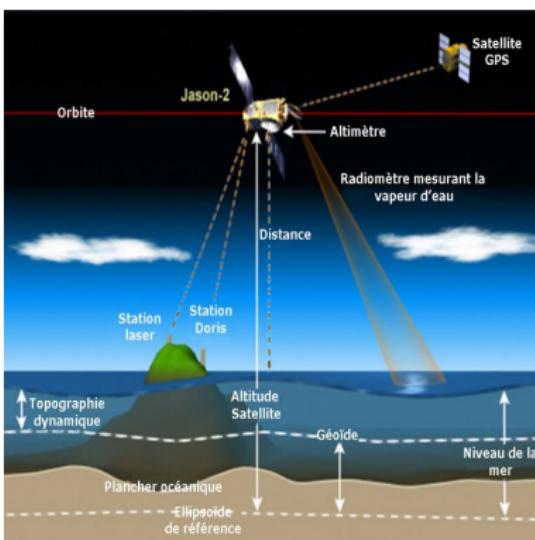
ADCP Acoustic Doppler Current Profiler



Fréquence en kHz	Portée en m	Diamètre transducteur
76.8	400	280 mm
153.6	240	165 mm
307.2	120	133 mm
614.4	60	101 mm
1228.8	25	54 mm

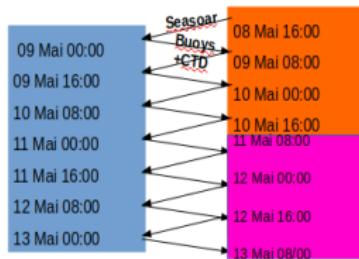
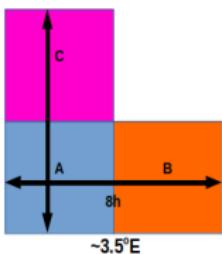
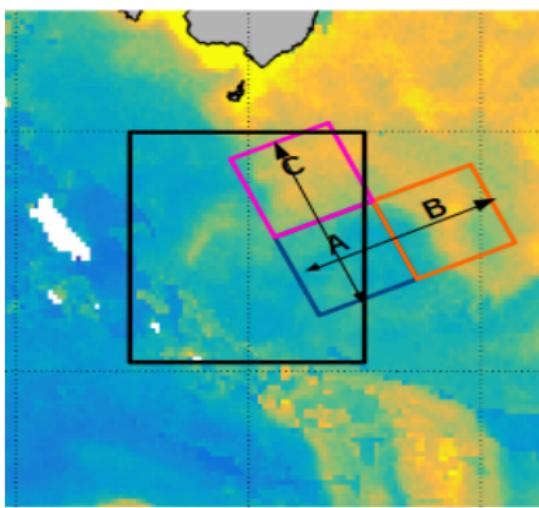
Kostaschuk *et al.*, 2004

Altimétrie



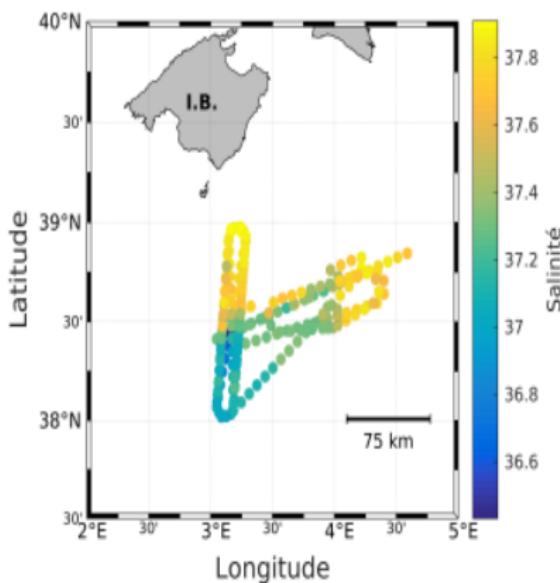
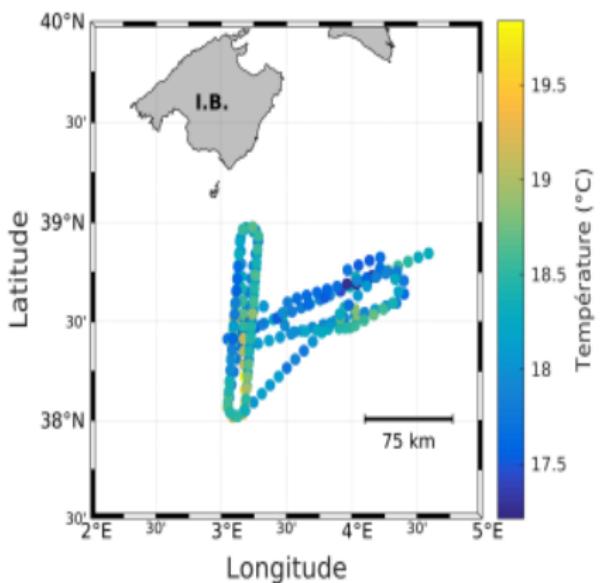
www.noaa.gov

Echantillonnage

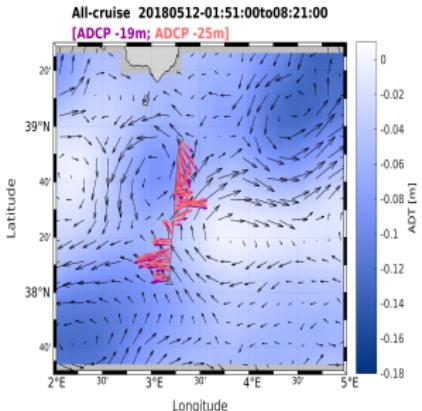
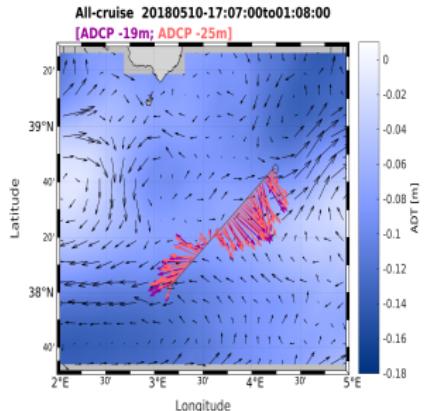
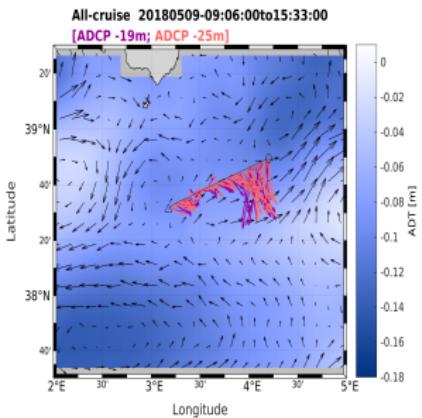
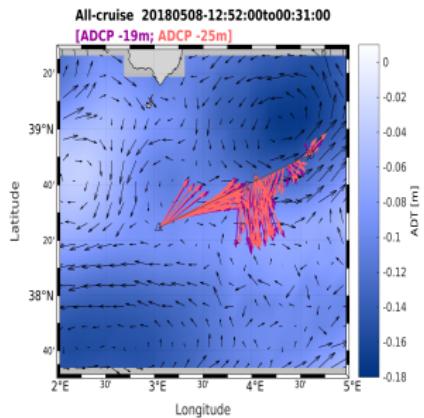


Distribution des variables physico-chimiques

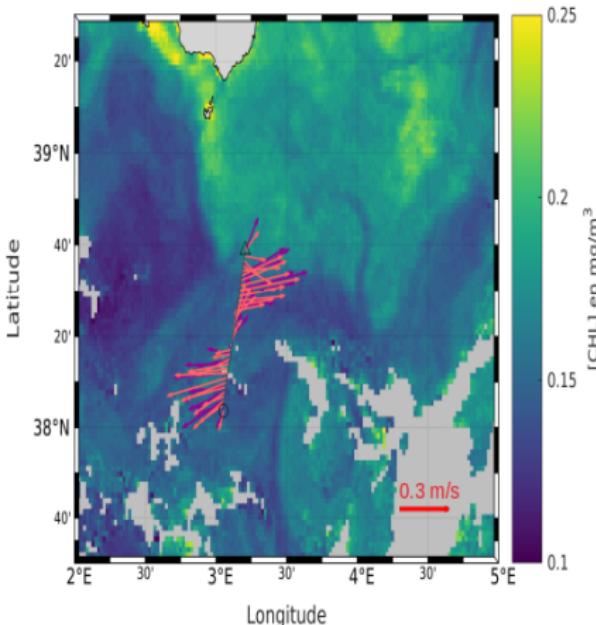
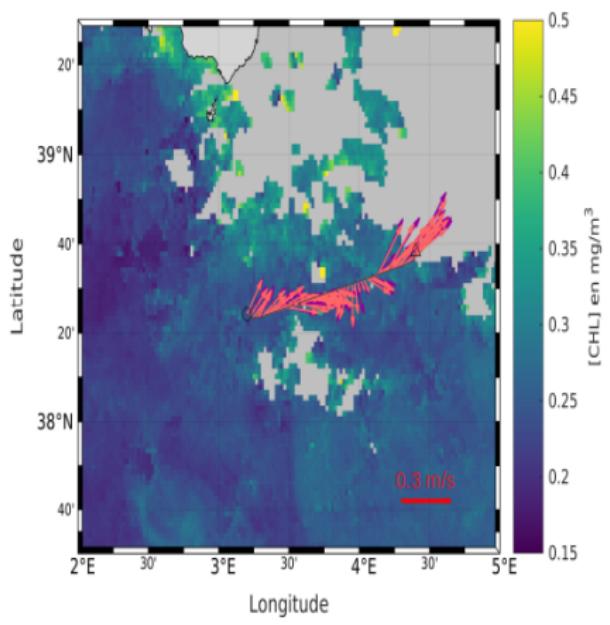
- Température ≈ homogène
- Salinité : hétérogène (opposition Nord-Sud)



Différentes radiales des "hippodromes"



Cartes de concentration en chlorophylle



Le cycle du carbone simplifié

