

# 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**

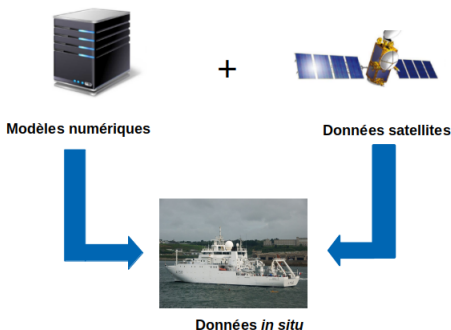
En collaboration avec **Lloyd Izard** (M2 BEM) encadré par **Gérald Grégori**

2018-2019



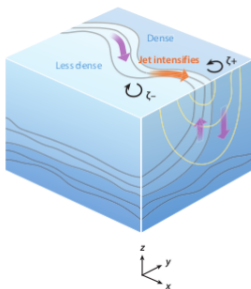
## De la méso à la sous méso-échelle ...

- Etirement des structures de méso-échelle (méandres, tourbillons de 10-100 km), cisaillement, frontogénèse → 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)

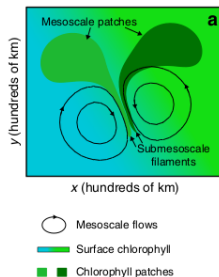


## Impact sur la biogéochimie

- **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)



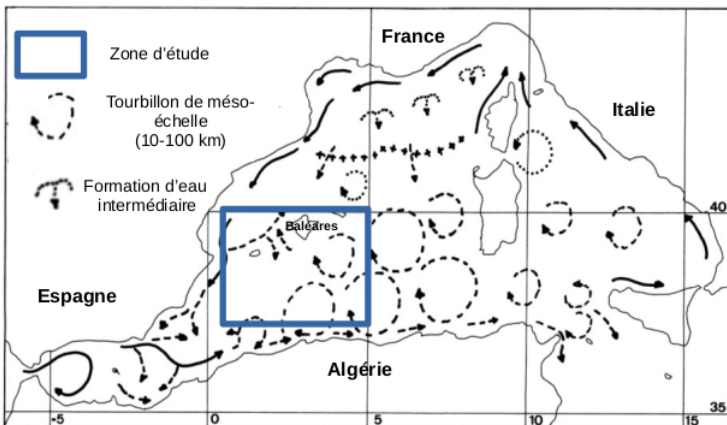
Mahadevan, 2016.



Levy *et al.*, 2018.

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

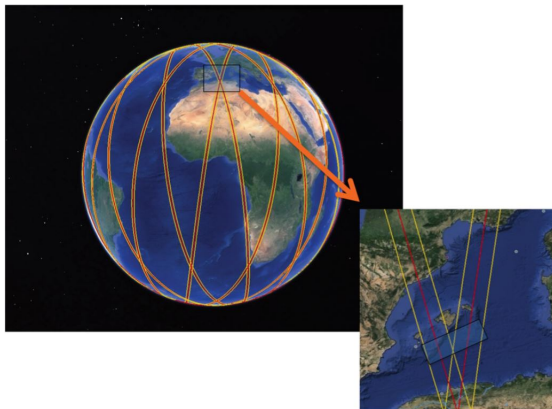
## Le sud des Baléares : une zone propice pour l'étude de la sous méso-échelle



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

## Le projet BIOSWOT

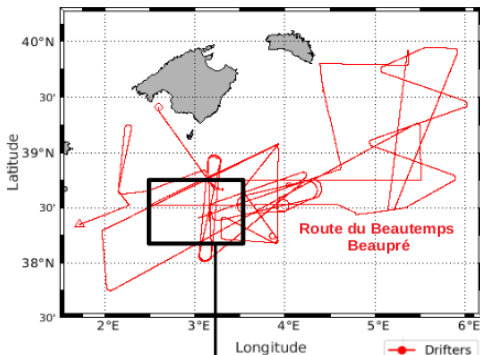
- Lancement du satellite SWOT (*Surface Water and Ocean Topography*) en 2021 (NASA, CNES)
- Campagnes internationales 2018 associées au projet : PROTEVS-SWOT (SHOM, MIO), PRE-SWOT (IMEDEA)



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

# Les campagnes PROTEVS-SWOT et PRE-SWOT

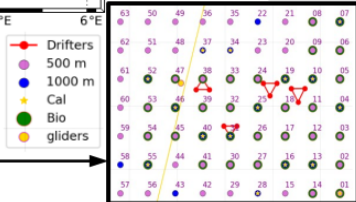
- PROTEVS-SWOT : du 30 avril au 14 mai 2018 à bord du BHO Beautemps Beaupré
- PRE-SWOT : du 5 au 17 mai 2018 à bord du Garcia del Cid



Beautemps Beaupré

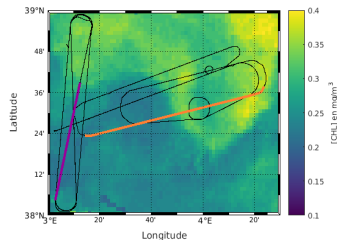
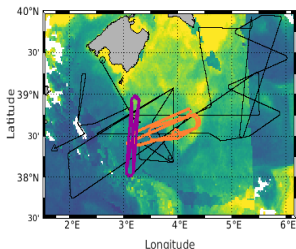


Zone d'échantillonnage du Garcia del Cid



## Stratégie d'échantillonnage de PROTEVS-SWOT

- Stratégie adaptative et lagrangienne :
  - SPASSO (Nencioli *et al.*, 2011) ([www.spasso.mio.psupytheas.fr](http://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 : Seasoar, 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)

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

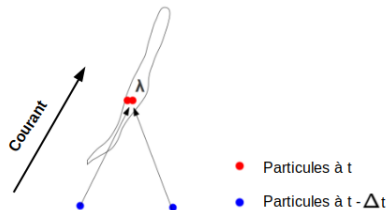
$\lambda(x, t, \delta_0, \delta_f)$  : FSLE (en  $\text{jour}^{-1}$ )

$x$  : position au temps  $t$

$\delta_0$  : distance initiale

$\delta_f$  : distance finale

$\tau$  : durée pour atteindre  $\delta_f$

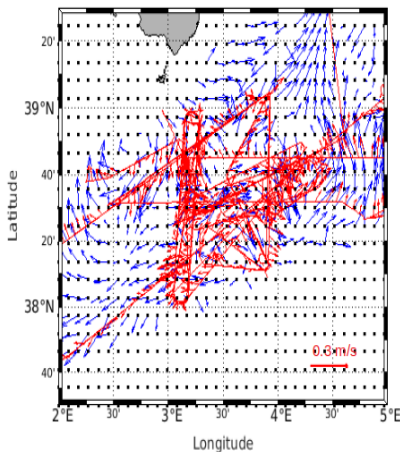


- En pratique : calcul à rebours à partir des données altimétriques

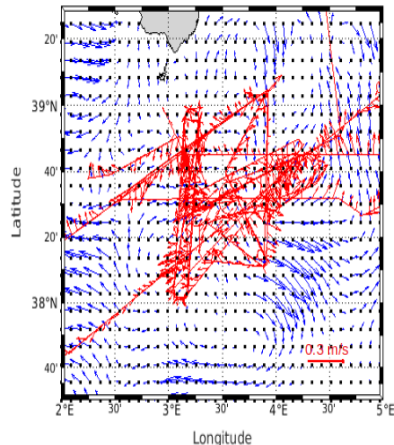


## Estimation des vitesses verticales

- 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

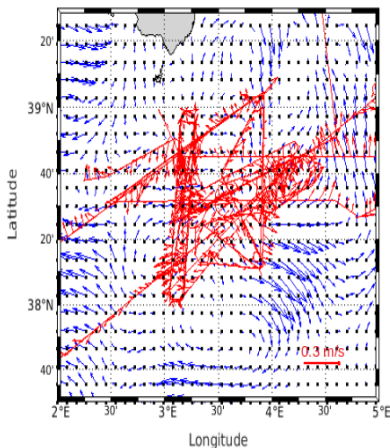


Interpolation avec l'*objective-mapping*

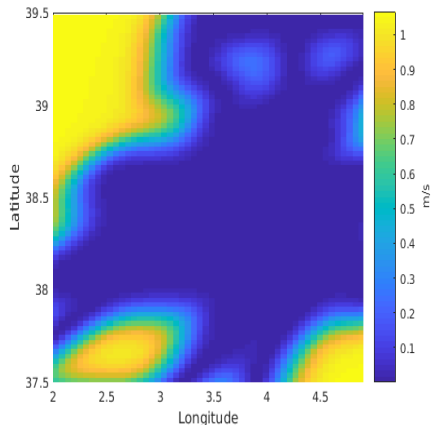
## Estimation des vitesses verticales

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

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



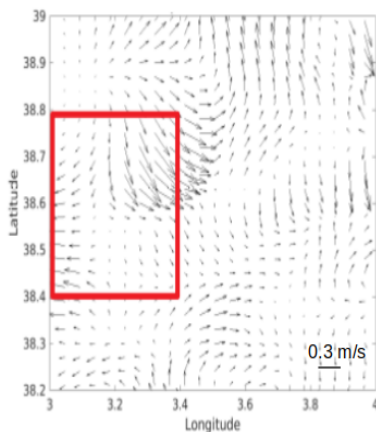
Interpolation avec l'*objective-mapping*



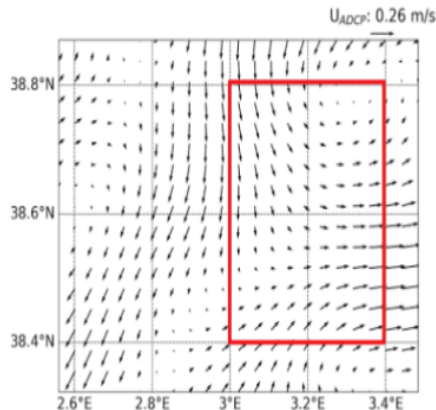
Matrice d'erreur calculée par l'*objective-mapping*

## 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

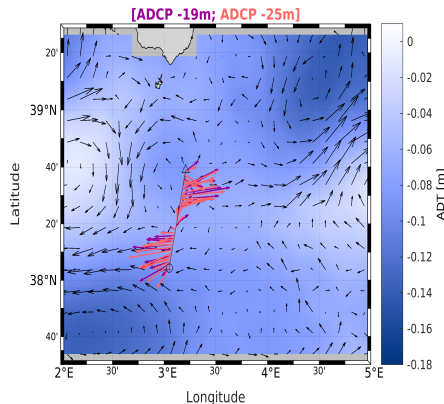
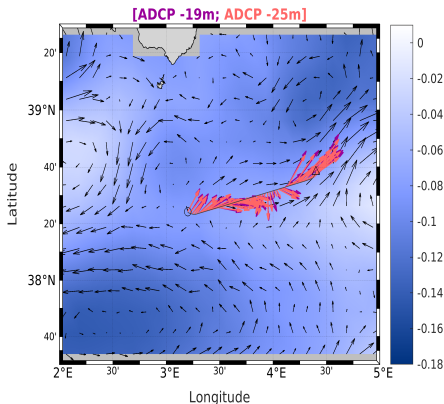
$$L = N^2 \nabla_h^2 + f^2 \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

$N$  : fréquence de Brunt Väisälä

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

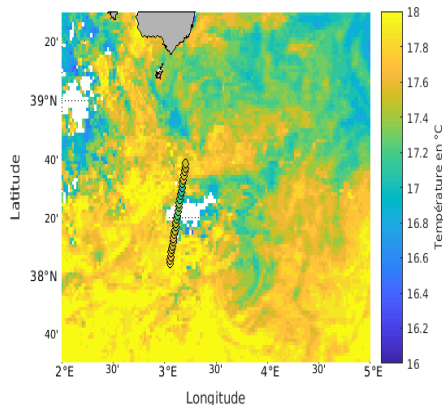
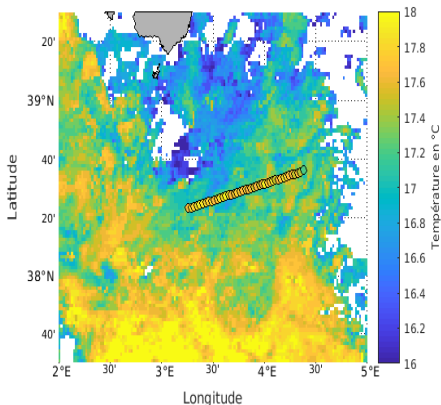
## Comparaison des courants horizontaux mesurés par ADCP avec les données satellites

- 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



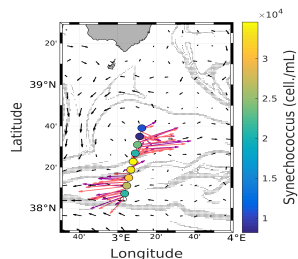
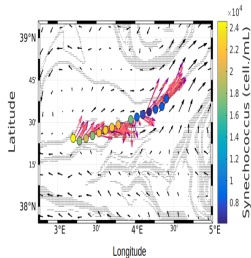
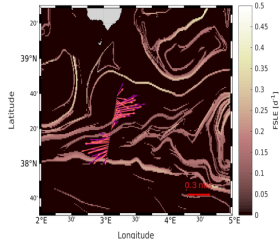
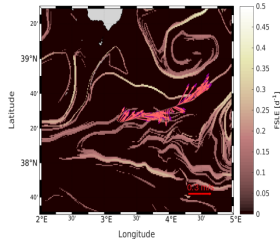
## Comparaison des températures de surface mesurées par le TSG avec la SST mesurée par satellite

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



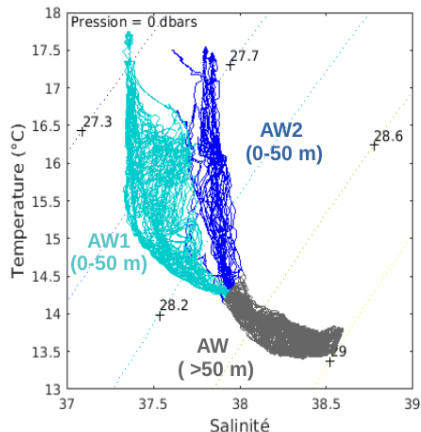
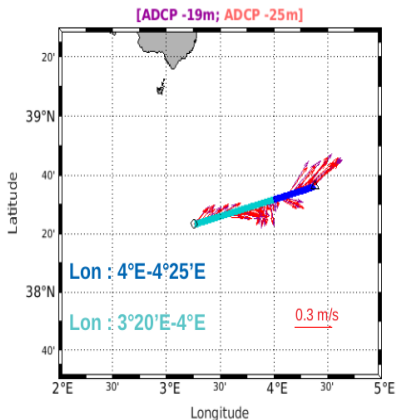
# Identification des zones de fronts grâce aux FSLE et impact sur la biologie

- 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

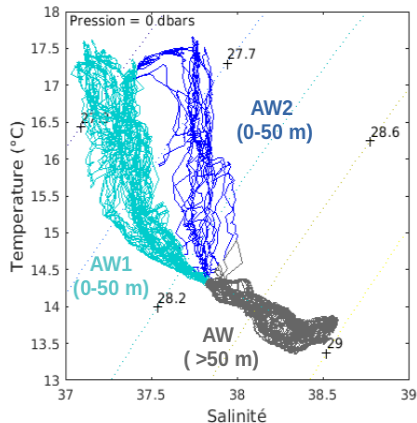
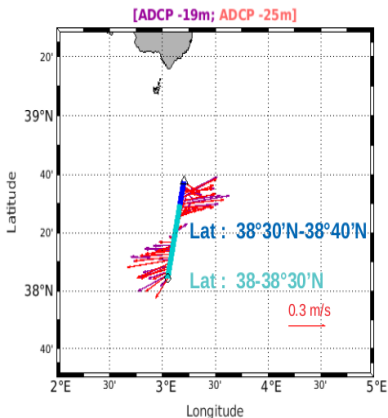
- Présence de 2 eaux atlantiques (AW) en surface (0-50 m) :
  - AW1 ("jeune", salinité  $\approx 37$ -37.5)
  - AW2 ("ancienne", salinité  $\approx 38$ ) (Millot *et al.*, 2005)
- Au delà de 50 m : AW plus homogène





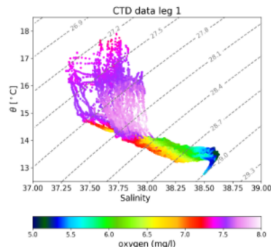
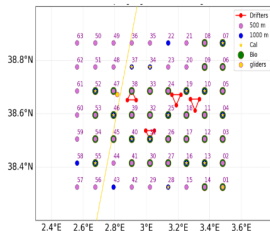
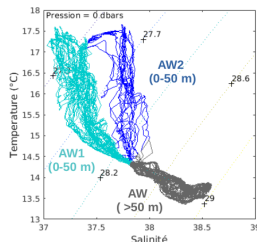
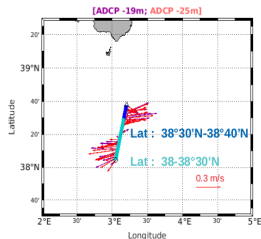
## Identification des masses d'eau : Radiale Nord-Sud

- 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  $\approx 38$ ) (Milot *et al.*, 2005)
- Au delà de 50 m : AW plus homogène



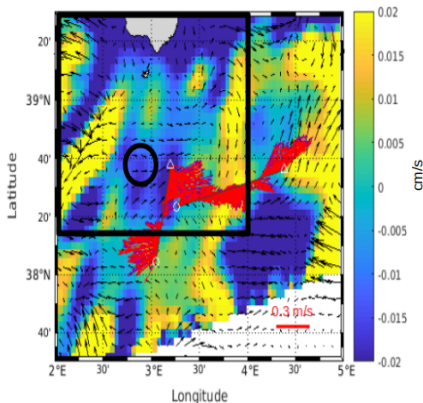
## Comparaison avec le diagramme TS de la campagne PRE-SWOT

- 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

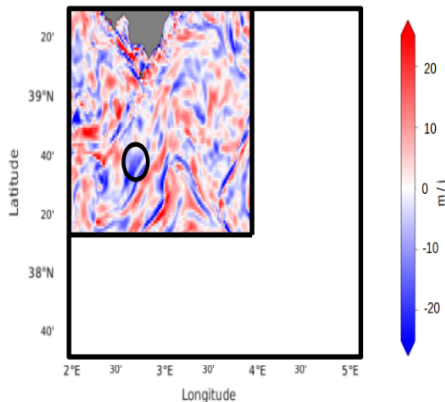


## Identification des structures de fine échelle grâce aux vitesses verticales

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

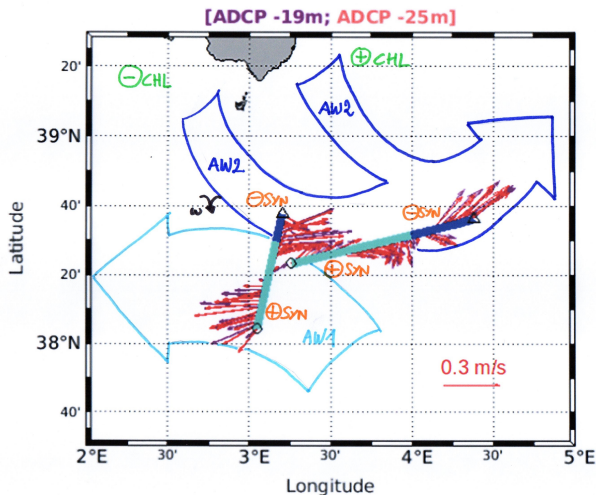


Vitesses verticales à 85 m de profondeur



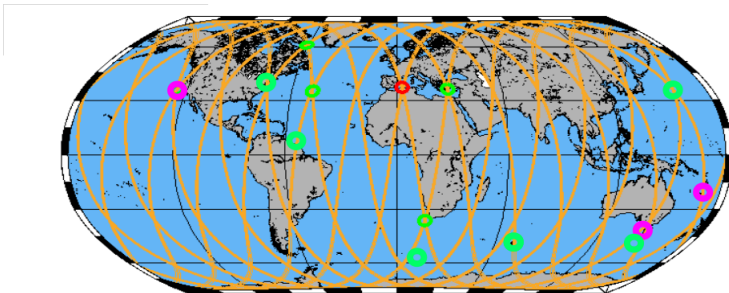
Modélisation des vitesses verticales en surface  
 Barceló-Llull *et al.* (2018)

## 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 !

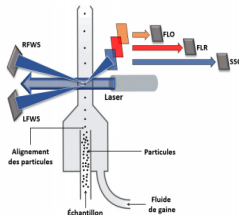


Crédit photo Hubert Bataille

Rencontre avec le satellite lors de la campagne FUMSECK

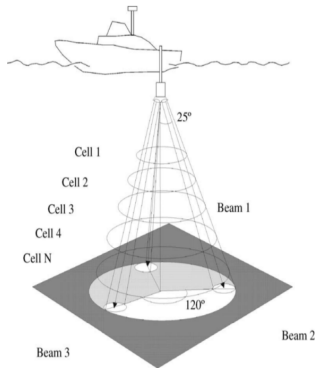
## Cytométrie en flux

- **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  $\mu\text{m}$ )
  - nanophytoplancton (2-20  $\mu\text{m}$ )
  - microphytoplancton (20-200  $\mu\text{m}$ )

## ADCP Acoustic Doppler Current Profiler

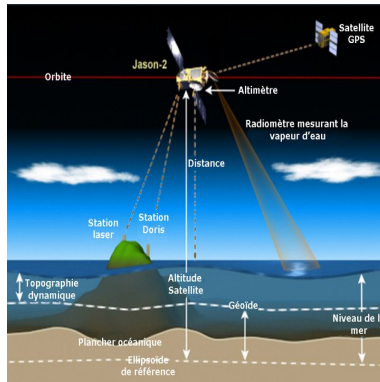


Fréquence en kHz	Portée en m	Diamètre transducteur
76.8	400	280 mm
153.6	240	165 mm
307.2	120	133 mm
614.4	60	101 mm
1228.8	25	54 mm

Kostaschuk *et al.*, 2004

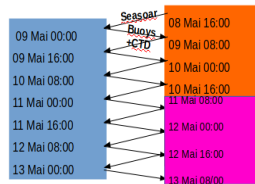
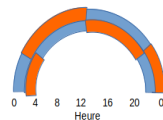
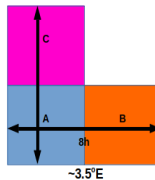
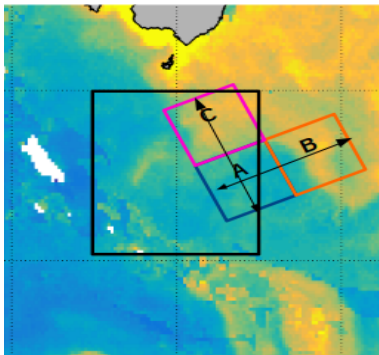


## Altimétrie



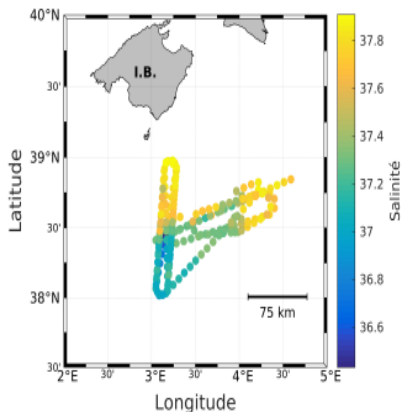
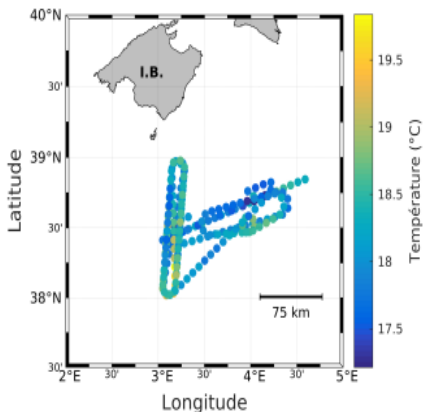
[www.noaa.gov](http://www.noaa.gov)

## Echantillonnage

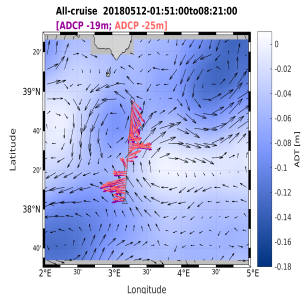
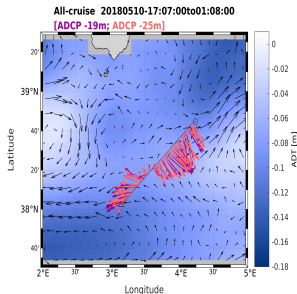
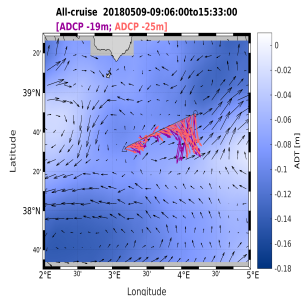
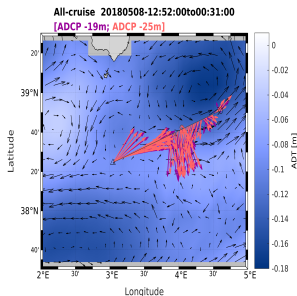


## Distribution des variables physico-chimiques

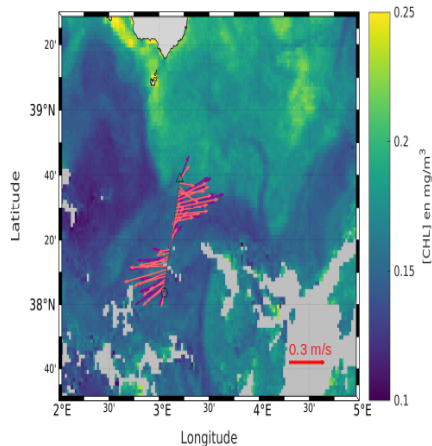
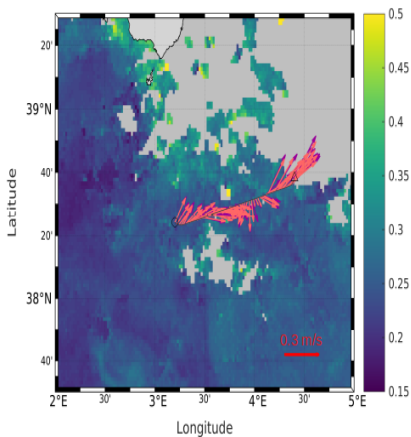
- Température  $\approx$  homogène
- Salinité : hétérogène (opposition Nord-Sud)



# Différentes radiales des "hippodromes"



## Cartes de concentration en chlorophylle



## Le cycle du carbone simplifié

