

# En océanographie, la physique et la biologie, liées pour la vie

Caroline COMBY, Roxane TZORTZIS

Université d'Aix-Marseille  
Institut Méditerranéen d'Océanographie MIO  
Campus de Luminy  
<https://www.mio.osupytheas.fr/>



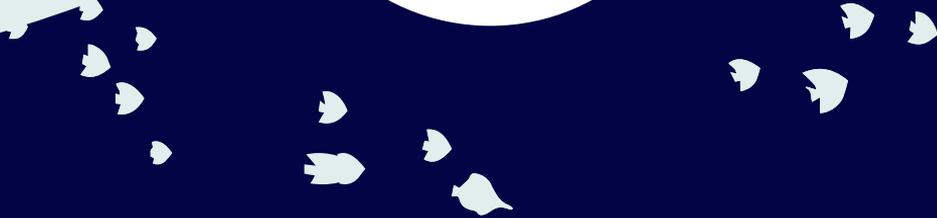
09/10/2021

fête de la  
Science 30 ans

01

# Introduction

Et généralités



# L'océan en quelques chiffres

**71%**

Surface du globe



**360 000 000**  
**km<sup>2</sup>**

**97%**

Eau disponible sur Terre



**3800 m**

Profondeur moyenne

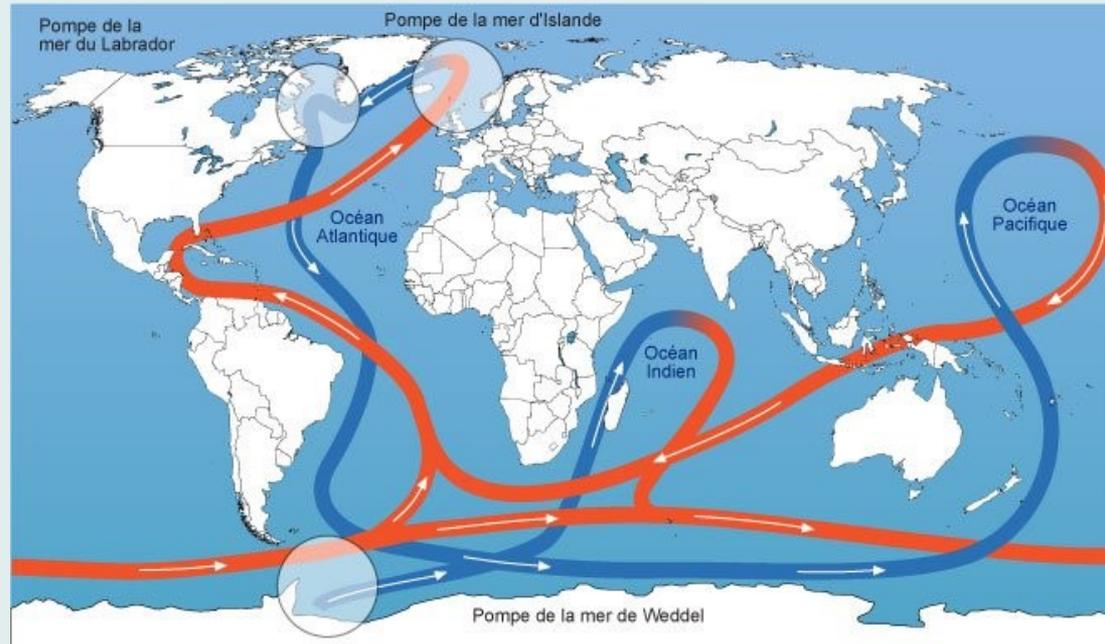
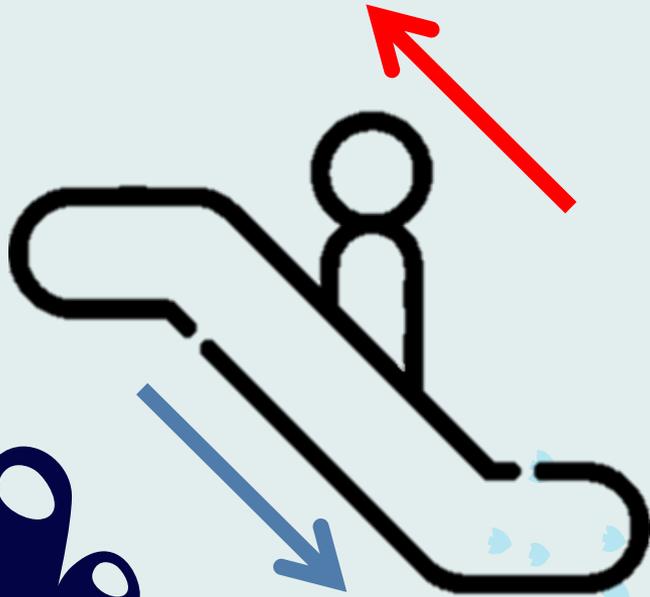
**10 924 m**

« Challenger deep »



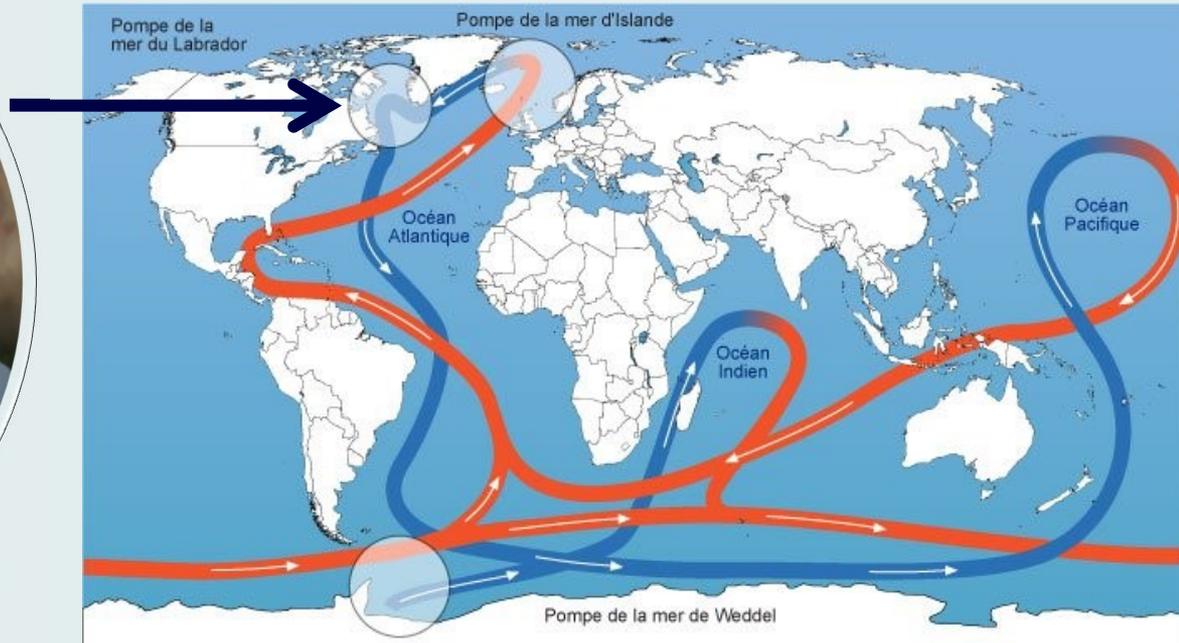
# La circulation générale

→ Boucle perpétuelle

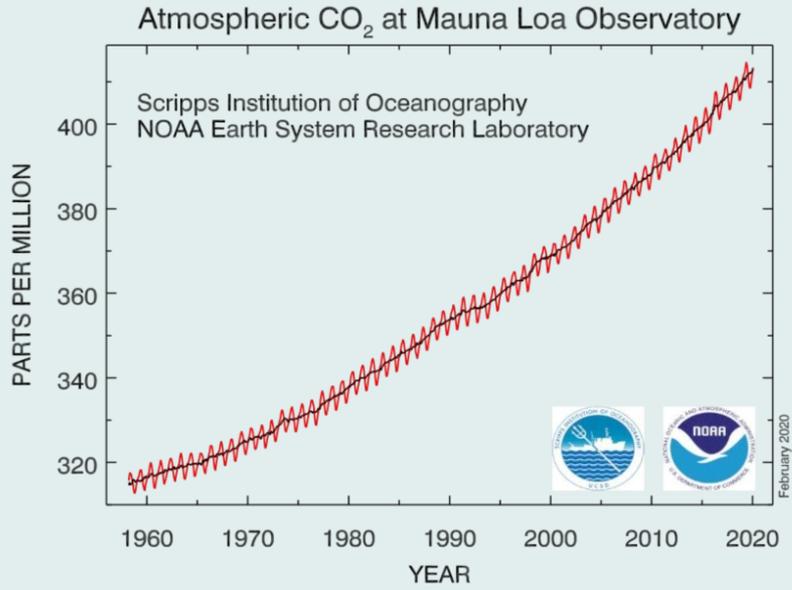


# La circulation générale

→ 2 moteurs principaux : vent + température/salinité

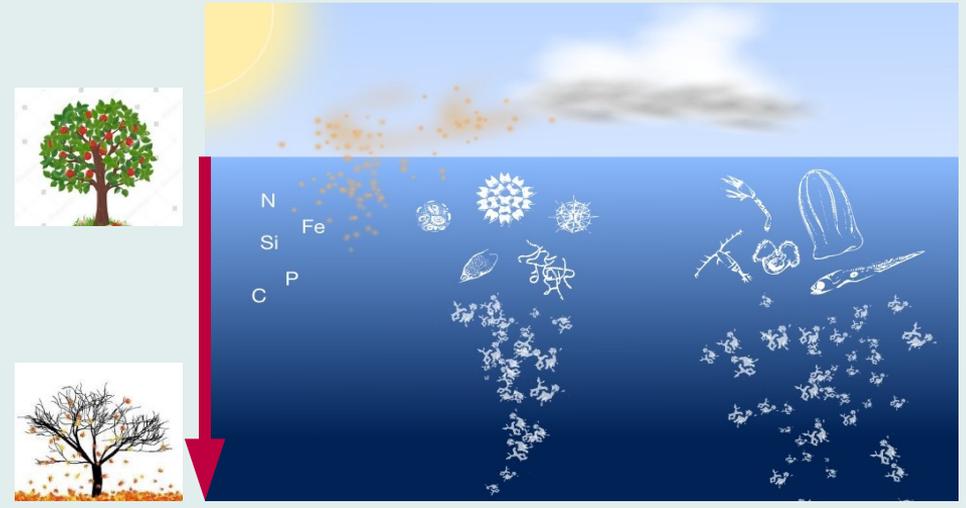


# Rôle clé de l'océan sur la régulation du climat



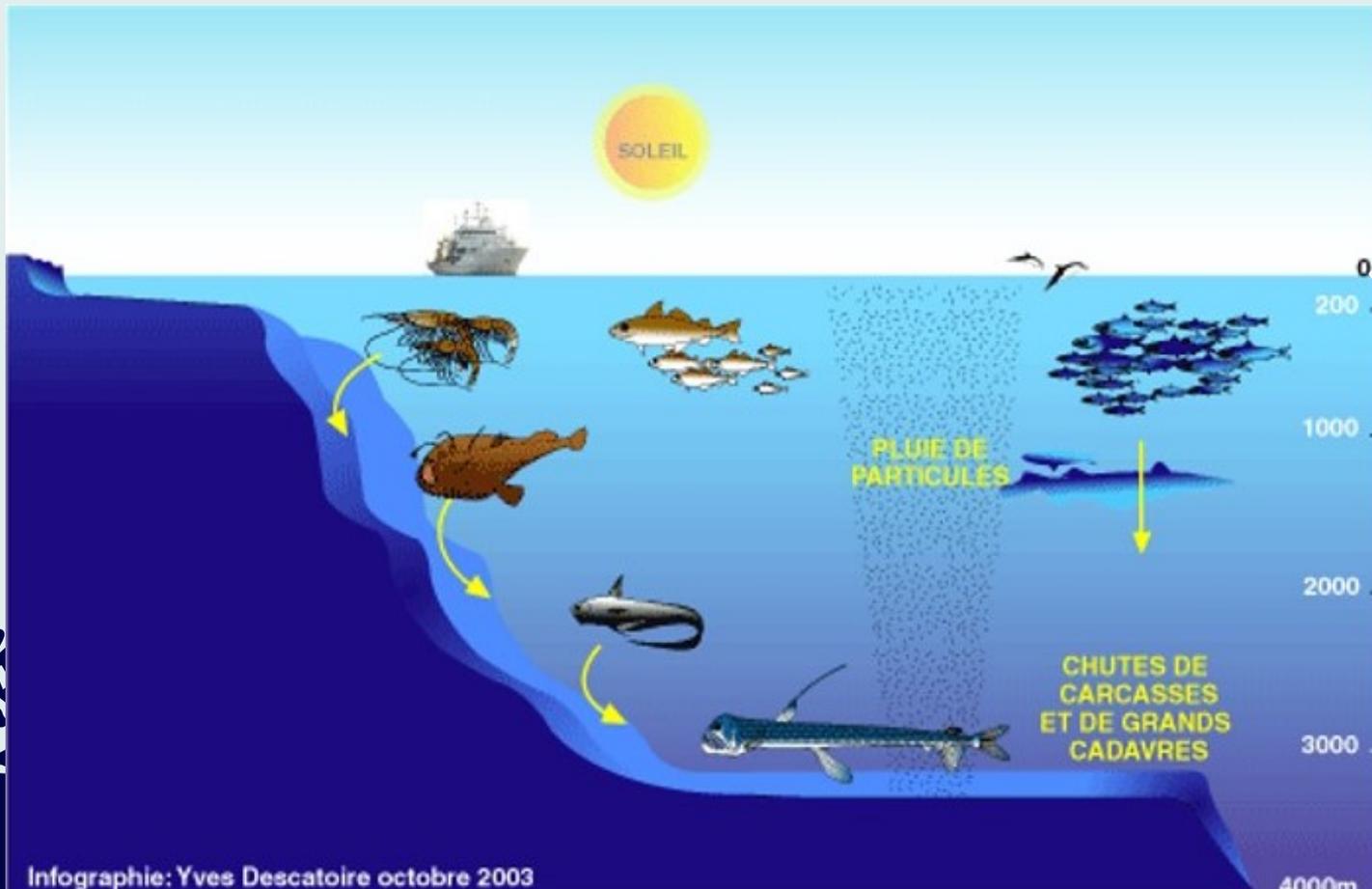
- Augmentation de la température de la Terre sous l'effet d'une **multitude de facteurs**.
- **Impact du CO<sub>2</sub>** devient clairement **dominant** depuis environ 35 ans.

- **Pompe biologique du carbone**



- Assimilation du CO<sub>2</sub> en surface et **séquestration en profondeur**.
- **Séquestration** de 30 % du **CO<sub>2</sub> anthropogénique** depuis la révolution industrielle.

# La vie est partout dans l'océan



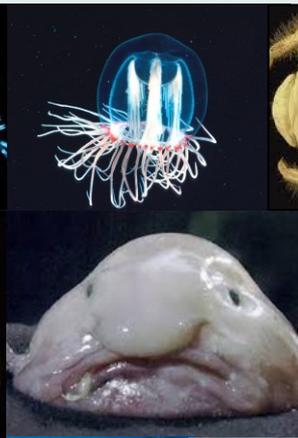
zone éclairée

absence de lumière du soleil



# La vie sous toutes ses formes : des plus petits aux plus grands organismes

→ un verre d'eau de de mer contient l'équivalent de la population de Paris en plancton

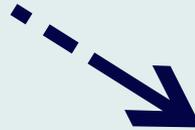


# Océanographie



## physique

Étude des caractéristiques physiques de l'océan, principalement des courants marins, les interactions avec l'atmosphère, ainsi que leur rôle dans le climat et le changement climatique



## biologique

Étude du fonctionnement des organismes vivants marins, des relations entre les communautés d'organismes et les facteurs physiques et chimiques du milieu environnant



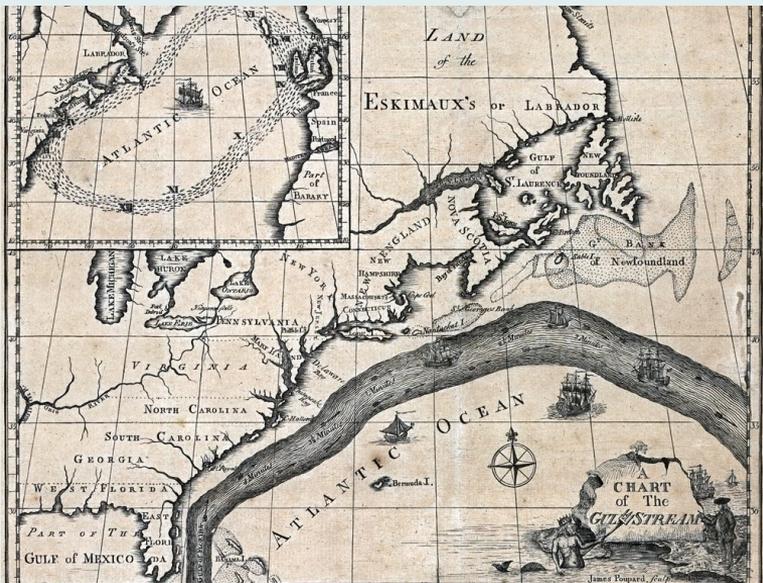
02

# Couplage physique - biologie

# Echelles typiques d'étude

Observation générale, stable

Observation détaillée, turbulente

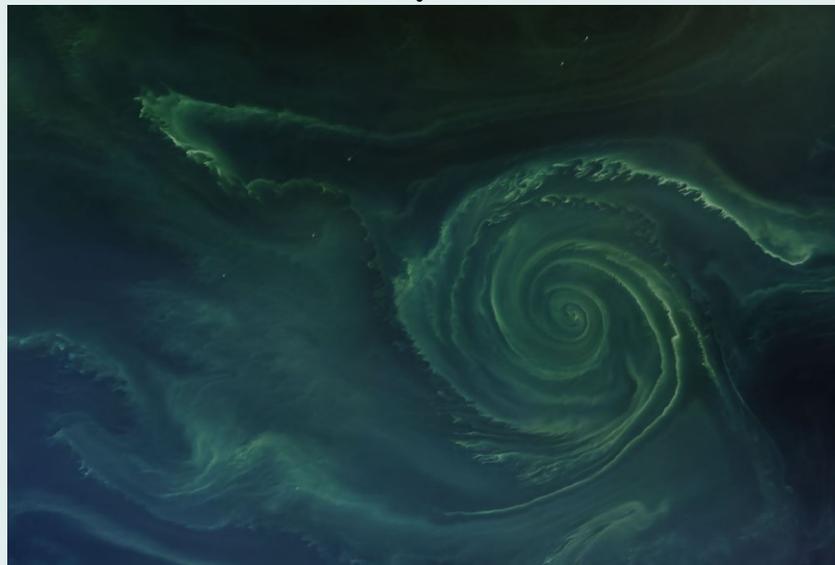


Différentes **échelles d'étude** entraînent l'observation de différents **types de structures**

- tapis roulant de la circulation thermohaline
- structures tourbillonnaires (équivalents cyclones)
- turbulence microscopique (goutte d'encre dans un verre d'eau)

# Echelles typiques d'étude

Dynamique de fine échelle  
(tourbillons, filaments, fronts)



**Petites échelles**

0.1 à 100 km

**Éphémères**

jours à mois

**Micro-organismes**

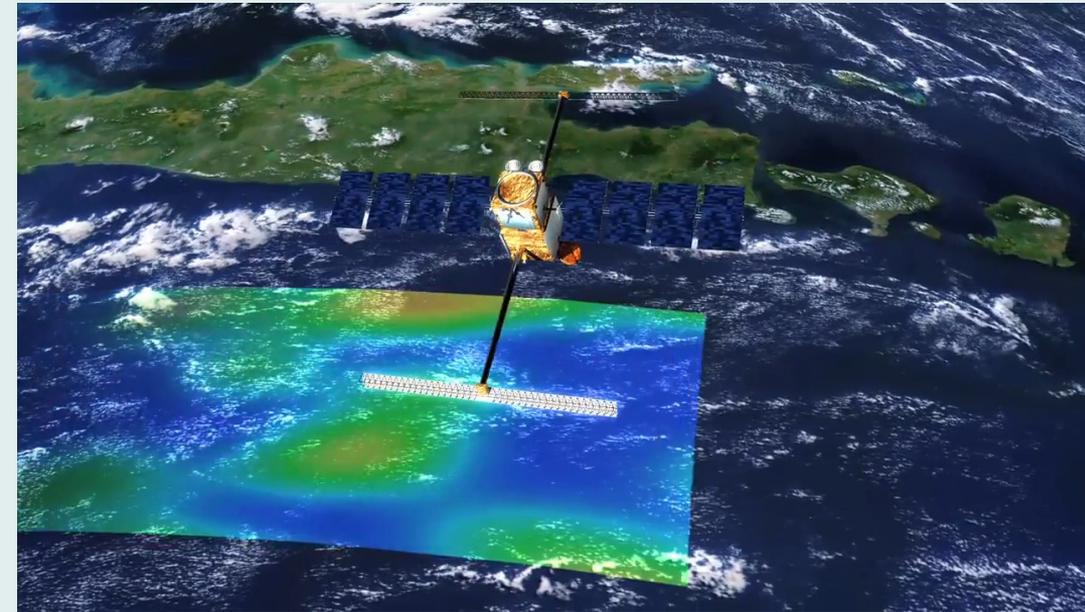


5  $\mu\text{m}$

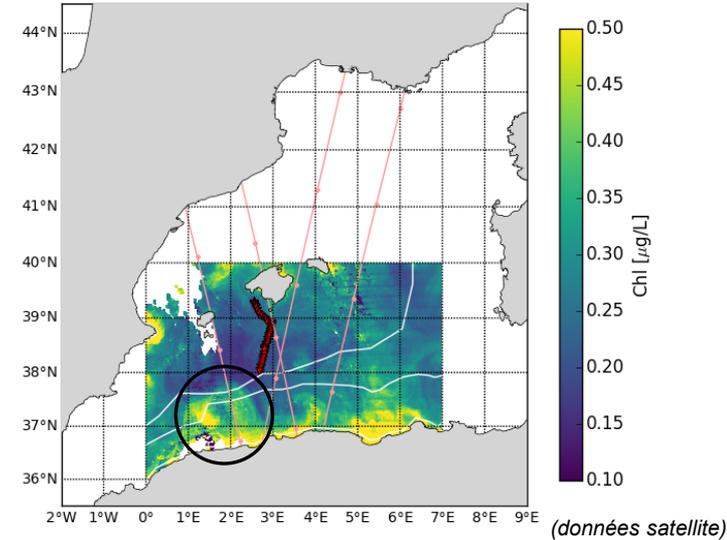
**Dynamique très rapide**

Difficultés mesures in situ → **stratégies adaptatives** (satellite)

# Stratégie adaptative : observation satellite

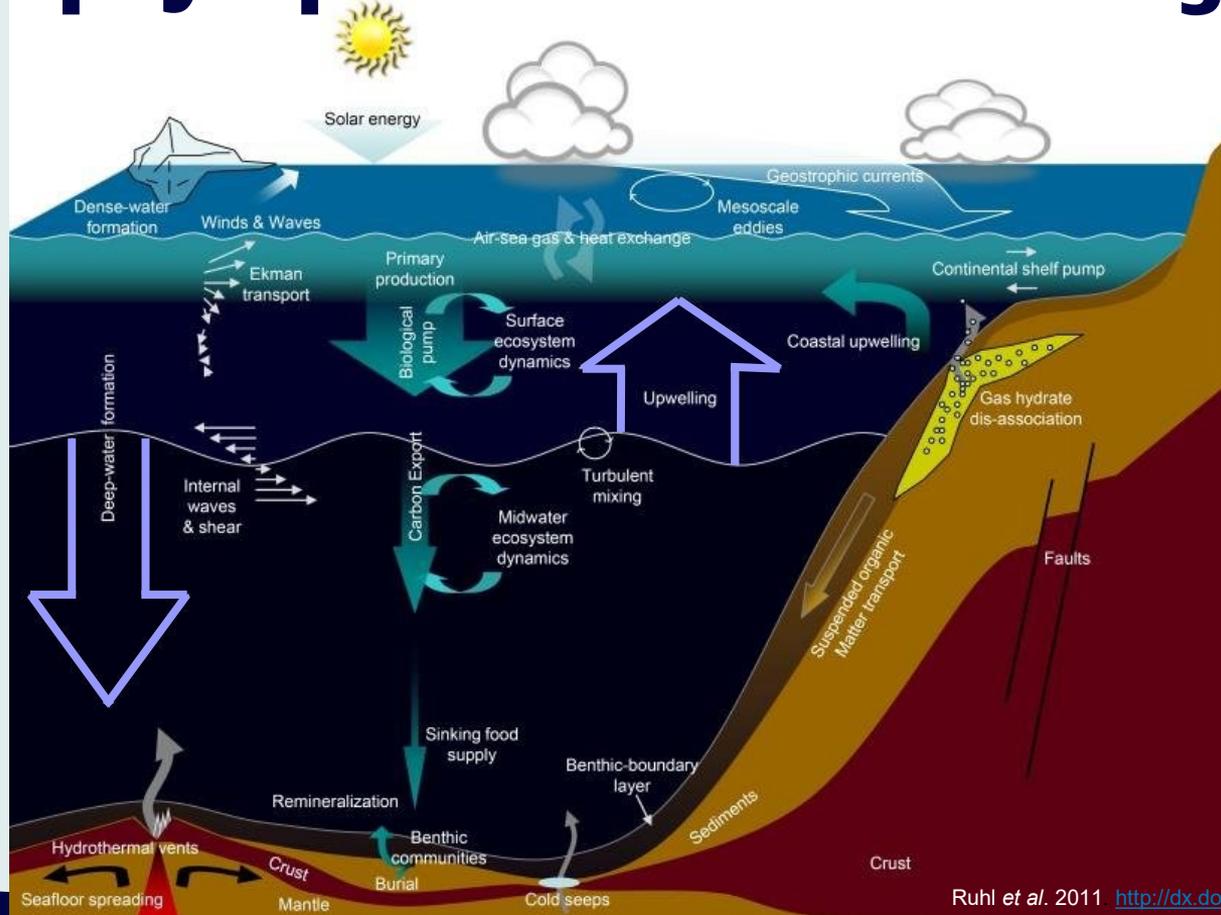


Chlorophylle de surface



- La dynamique (les courants) influence la distribution biologique :
- . Barrières pour les prédateurs
  - . Apport de nutriments, ...

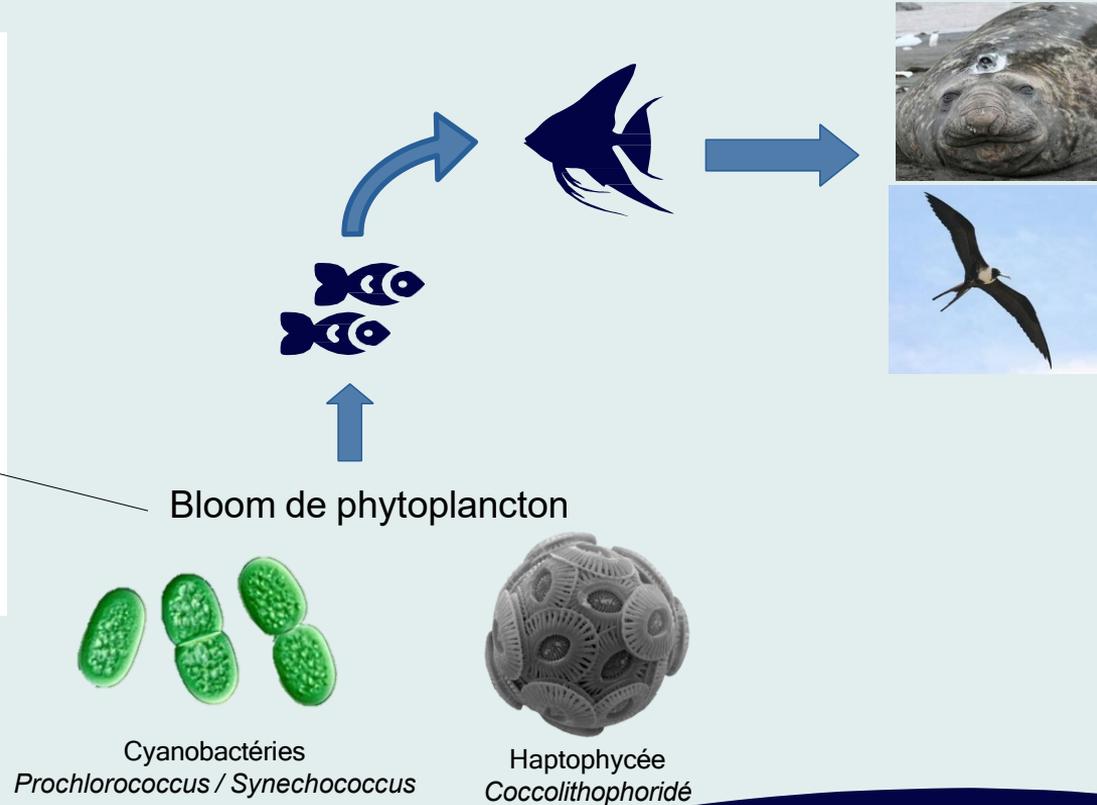
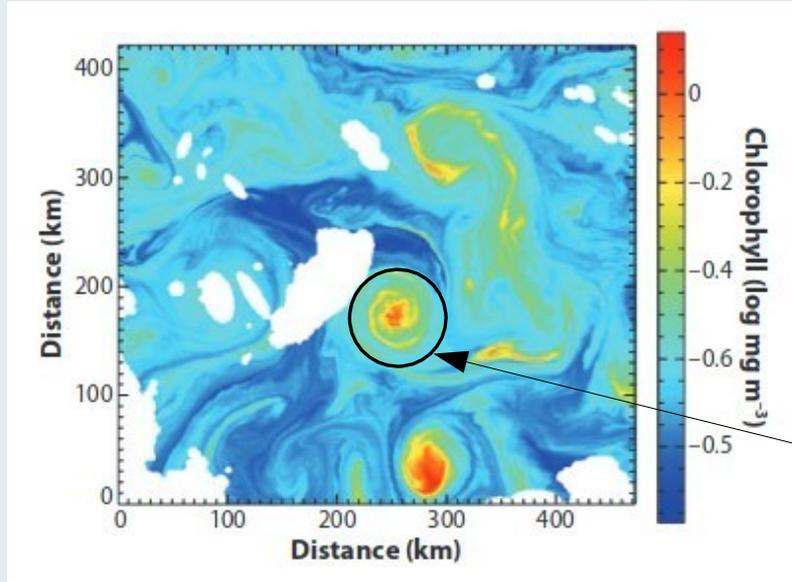
# La physique : moteur de la biologie



Ruhl et al. 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2011.05.001>

Importance des vitesses verticales : physique, biologique, biogéochimique

# Le phytoplancton : la base du réseau trophique



03

# Mesures et instrumentation

# Principaux instruments océanographiques

Navires océanographiques



Déploiement d'instruments de mesure en mer



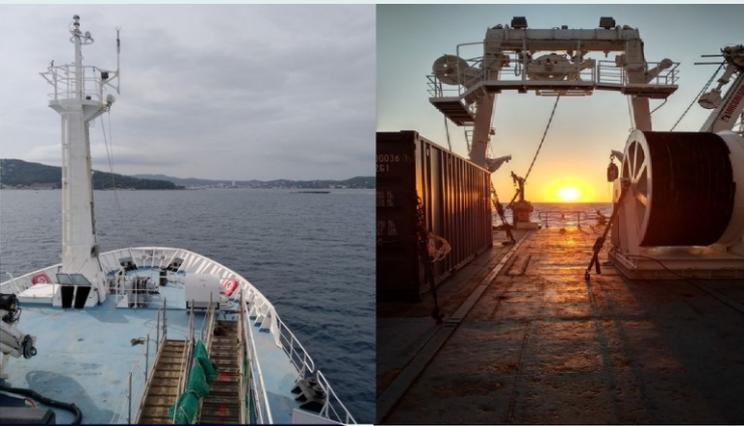
Téthys II



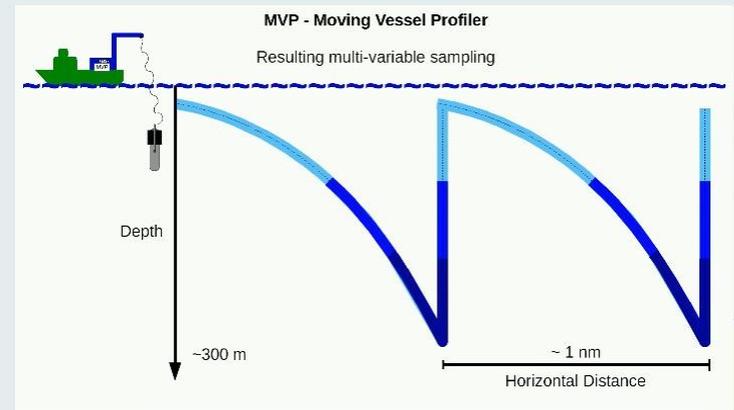
Salinité

Température

Profondeur



L'Atalante



Prélèvement d'eau

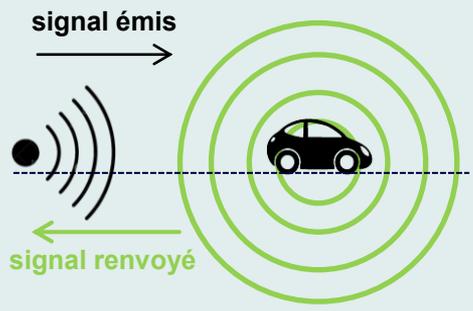
Fluorescence

...

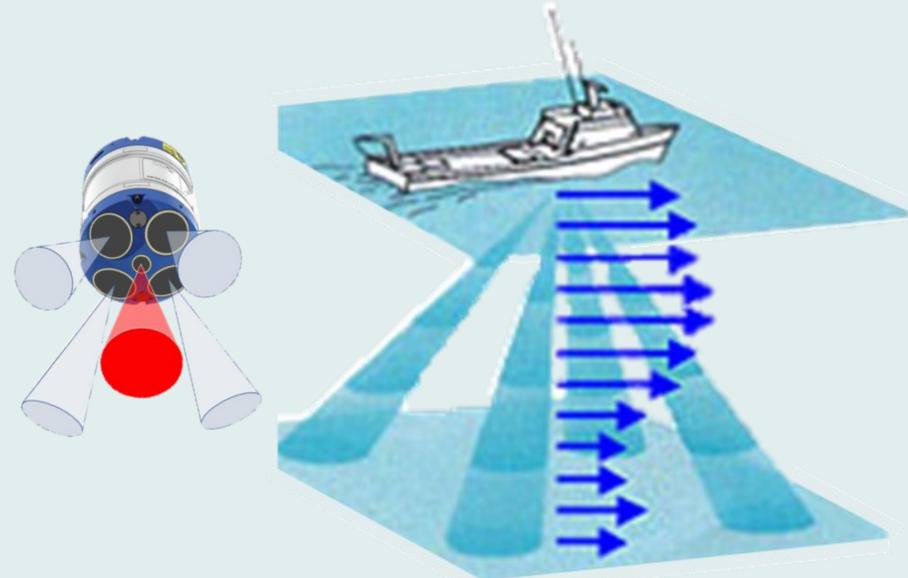
# Vitesses des courants marins mesures sur plateforme

Principe de mesure basée sur l'utilisation d'ondes sonores et de l'effet Doppler (radars routiers).

## Effet Doppler



## Acoustic Doppler Current Profiler « ADCP »



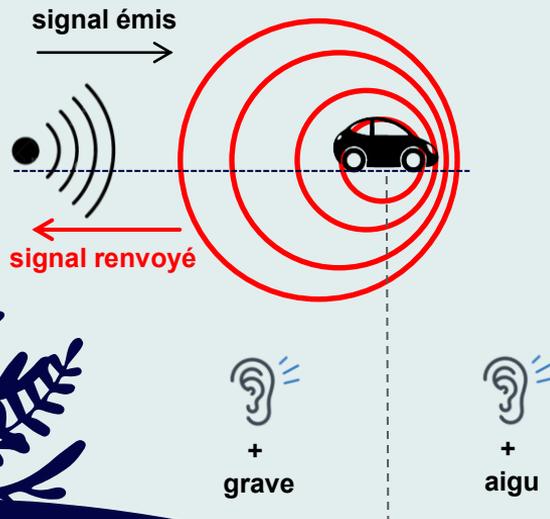
Courant marin décomposé en trois composantes



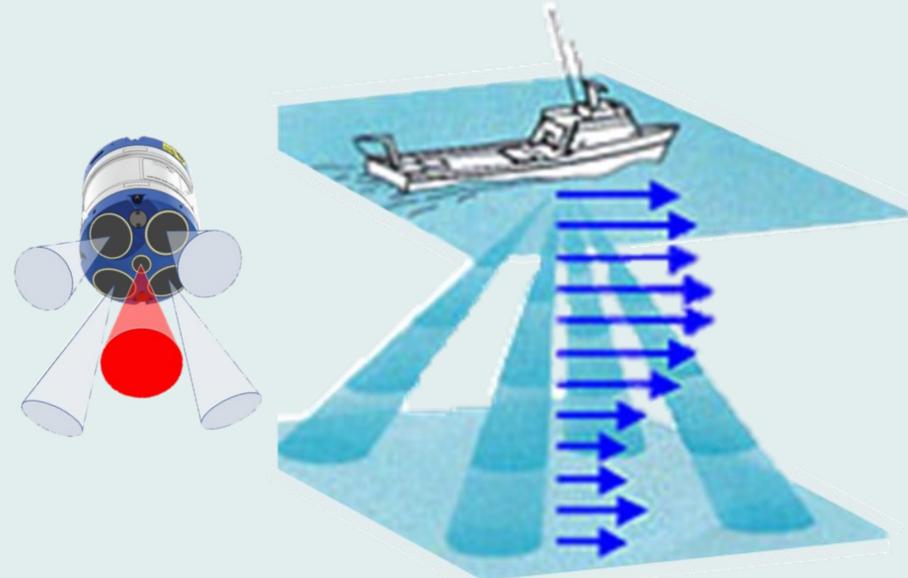
# Vitesses des courants marins mesures sur plateforme

Principe de mesure basée sur l'utilisation d'ondes sonores et de l'effet Doppler (radars routiers).

## Effet Doppler



## Acoustic Doppler Current Profiler « ADCP »



Courant marin décomposé en trois composantes

# Mesure directe *in situ* des vitesses verticales challenge océanographique

→ **Ordres de grandeur : verticale**  $\ll$  **horizontale**

composante verticale  $\sim$  mm/s - cm/s

composantes horizontales  $\sim$  10 cm/s

→ **Nature éphémère des structures de fine échelle**

durée de vie courte (jours à mois), détection satellite en temps réel

présence de vitesse verticale plus intense dans ce type de structures qu'à d'autres échelles

→ **Difficultés d'estimation *in situ***

méthodologies en cours de développement (RV/plateformes...)

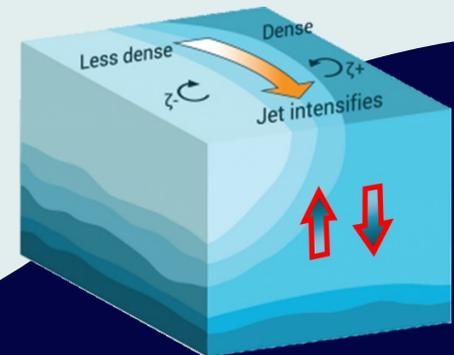
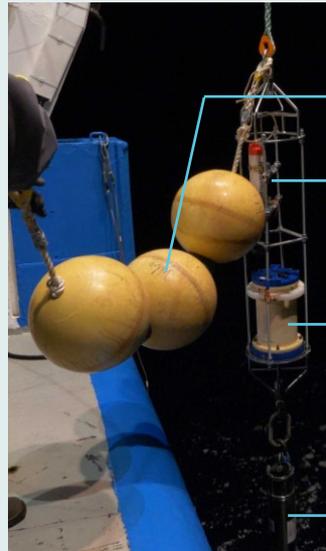
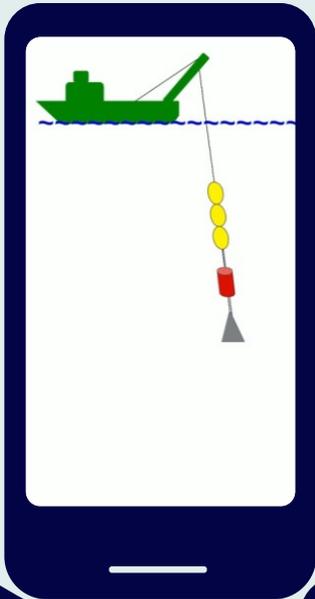


Fig. Mercator Ocean

# En pratique : Free Fall ADCP

- ADCP déployé en « **chute libre** » : relié au navire par une corde souple
- Permet de **s'affranchir au maximum des mouvements du bateau** pour une **mesure optimale** de vitesse verticale



flotteurs

sonde conductivité –  
température – pression

ADCP

lest

# En pratique : Vertical Velocity Profiler

**Nouveau prototype**  
en cours de développement  
(J-L. Fuda, MIO, CNRS)

→ Basé sur l'**équilibre** :  
Poids – Poussée d'Archimède

→ **vitesse verticale**  
= écart à l'équilibre

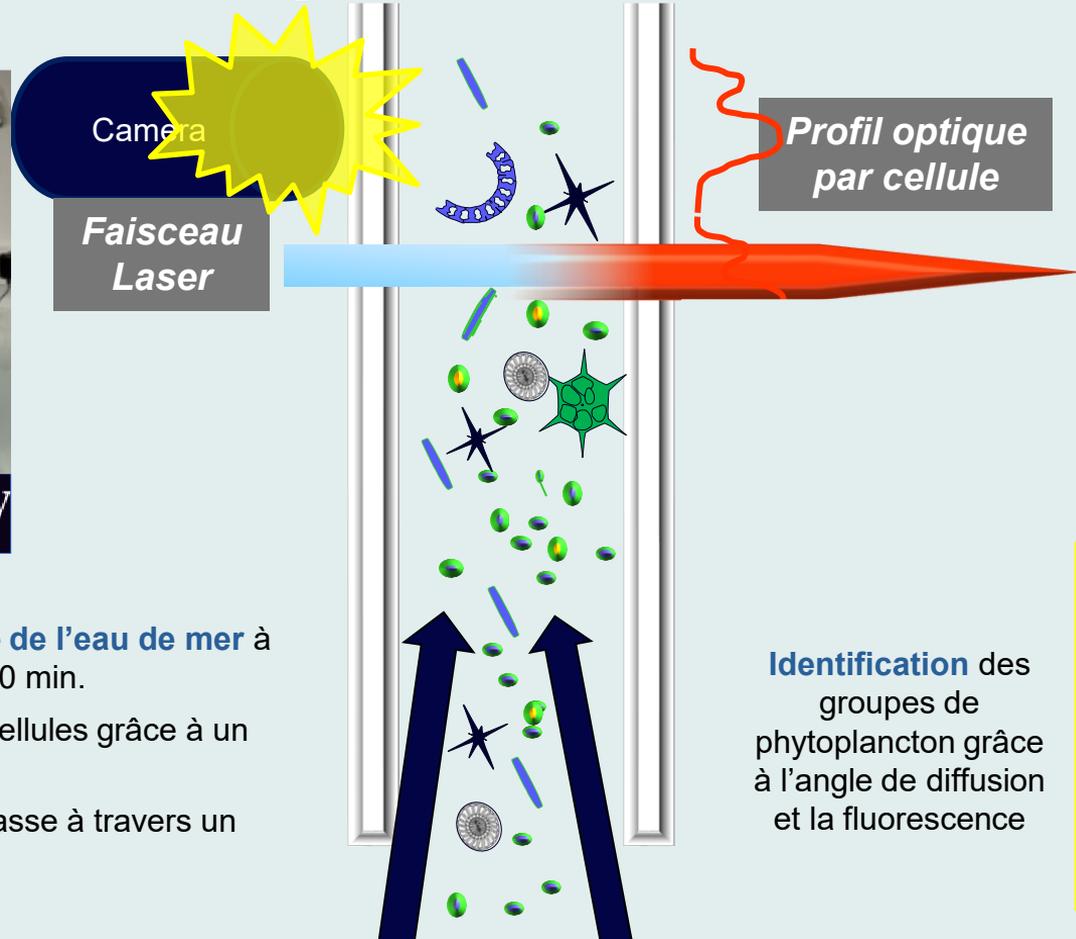


Atelier « Le VVP se la coule douce... »

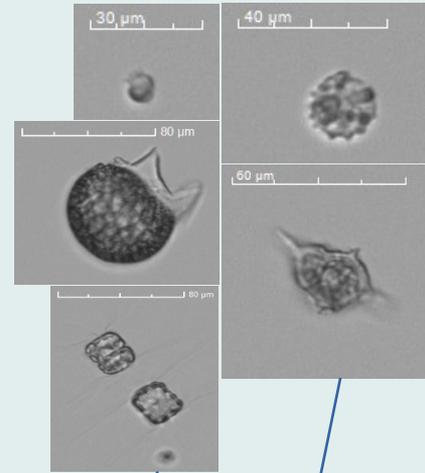
# Identification des groupes phytoplanctoniques par cytométrie en flux



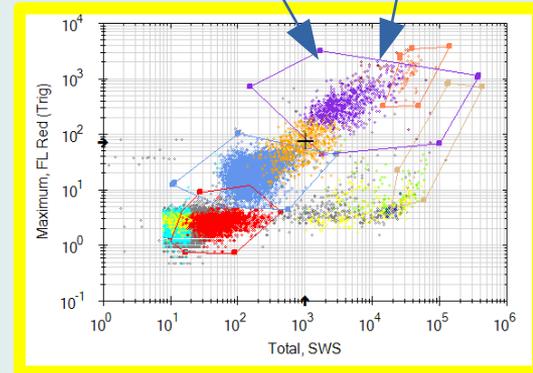
**CytoBuoy**  
flow cytometry solutions



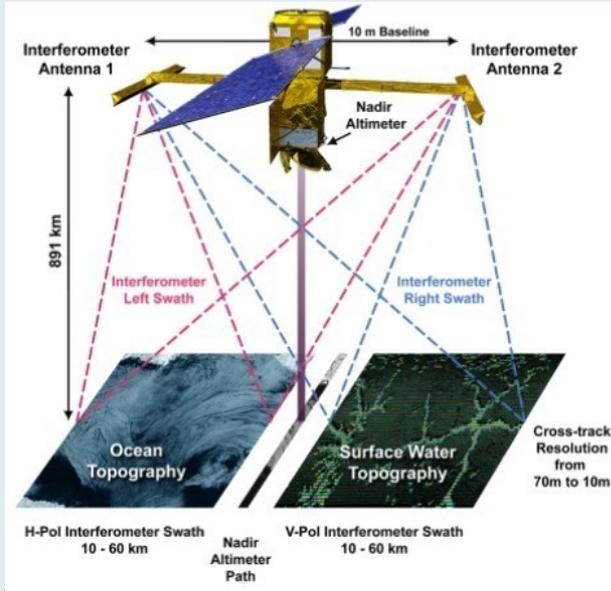
- **Echantillonnage de l'eau de mer** à haute fréquence ~ 30 min.
- Alignement des cellules grâce à un liquide de gaine.
- Chaque cellule passe à travers un faisceau laser.



**Identification** des groupes de phytoplancton grâce à l'angle de diffusion et la fluorescence



# Utilisation des satellites en océanographie



- Mesures altimétriques
- Températures de surface
- Chlorophylle a

**04**

**Exemples d'études**



# MIO : zones d'études

Arctique

Méditerranée

Caraïbe



Asie du  
Sud Est

Pacifique

Antarctique

# CAMPAGNES OCÉANOGRAPHIQUES

PROTEVS-BIOSWOT

2018

FUMSECK

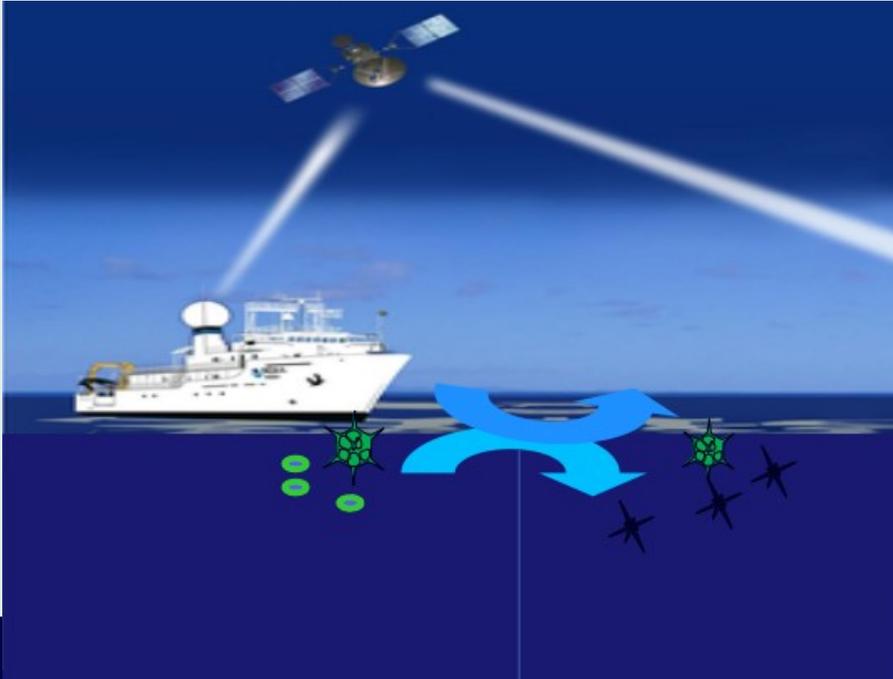
2019



# CAMPAGNES OCÉANOGRAPHIQUES

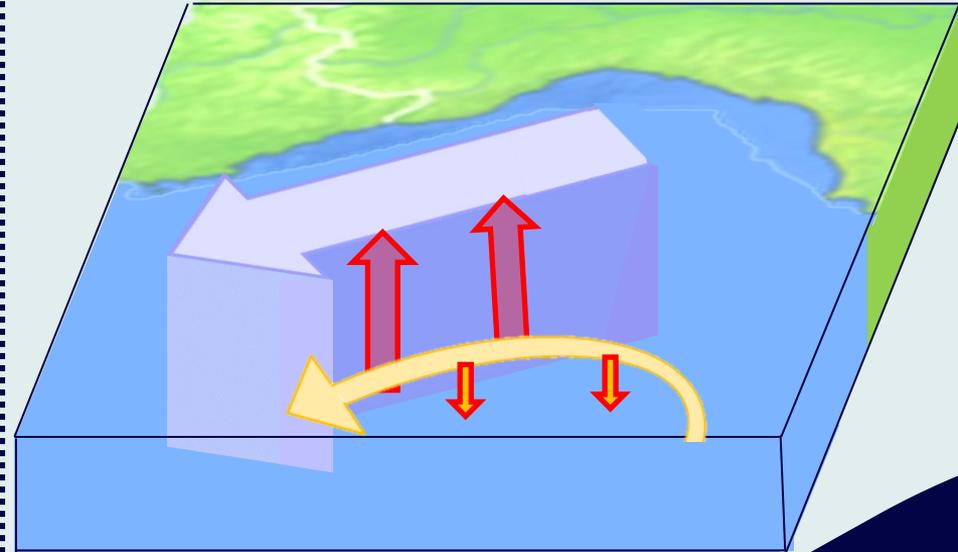
## PROTEVS-BIOSWOT

2018



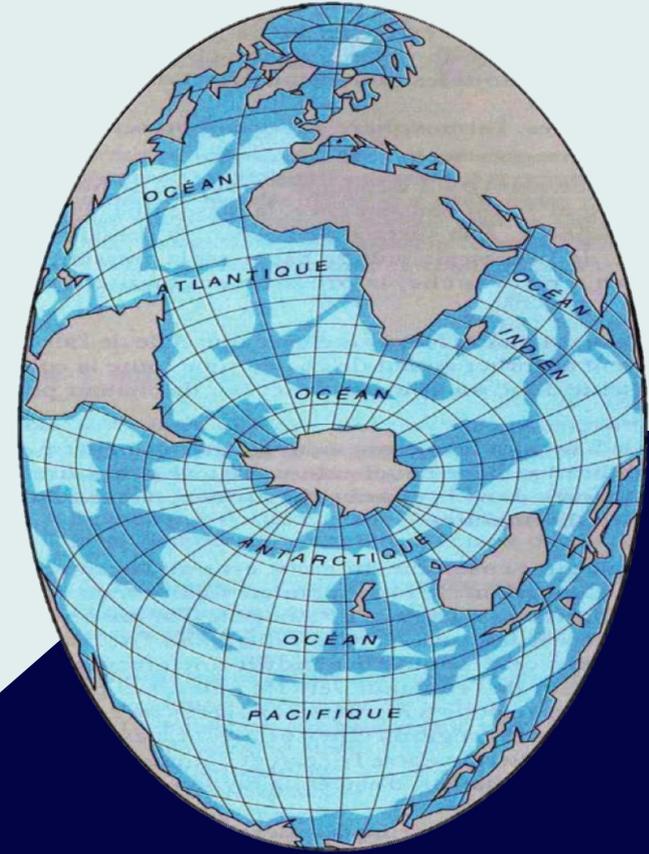
## FUMSECK

2019



# Conclusion

- Le monde marin est unique, complexe et extrêmement sensible au changement climatique.
- Pour l'étudier, toutes les disciplines sont nécessaires et s'entremêlent. La physique et la biologie sont intimement liées.
- Pour le comprendre, il faut considérer l'océan à toutes ses échelles et toutes ses dimensions.



# Perspectives

Changement climatique : étude océan ++

Fragilité du milieu océanique

1 planète / 1 océan



# MERCI !

**Avez-vous des questions ?**

caroline.comby@mio.osupytheas.fr

roxane.tzortzis@mio.osupytheas.fr

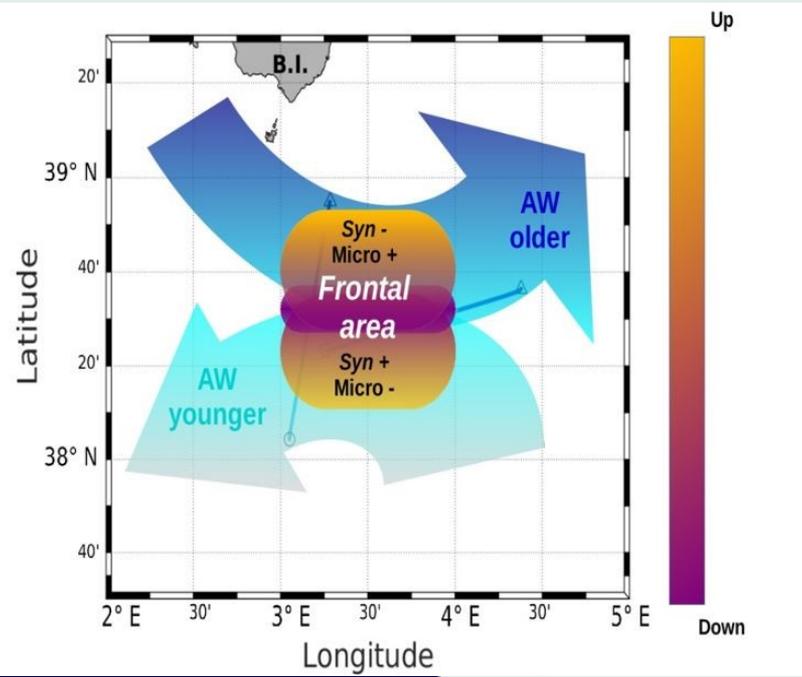
<https://www.mio.osupytheas.fr/>



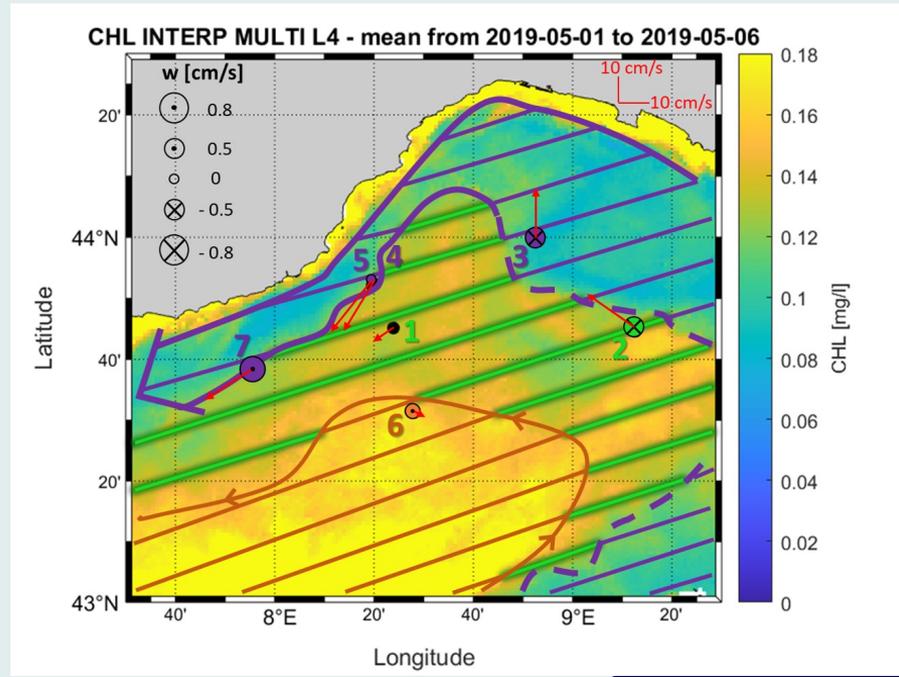
CREDITS: This presentation template was created by **Slidesgo**, including icons by **Flaticon**, and infographics & images by **Freepik**

# CAMPAGNES OCÉANOGRAPHIQUES

## PROTEVS-BIOSWOT 2018



## FUMSECK 2019



# SWOT

- **Nouveau satellite altimétrique SWOT:**

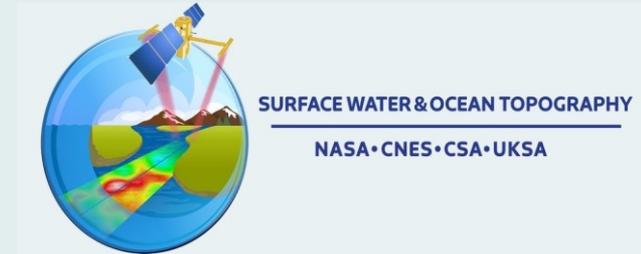
→ Mesure de la surface de l'eau à **très haute résolution**.

- **'Adopt a SWOT crossover initiative':**

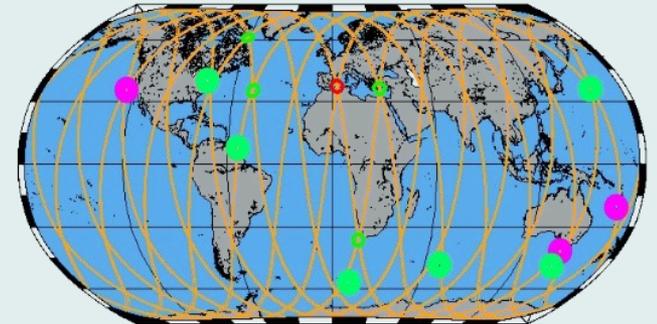
→ **Crossover:** point de croisement d'orbite

→ **"Adopt a crossover initiative":** Encourage la communauté scientifique à coordonner des  **futures campagnes** dans les zones de crossover, **avant** et **pendant** la mission de SWOT.

→ Objectifs : Calibrer et valider les données de SWOT grâce aux mesures in situ.



Mission prévue en 2022



● Formally adopted (CaVal plan): 4

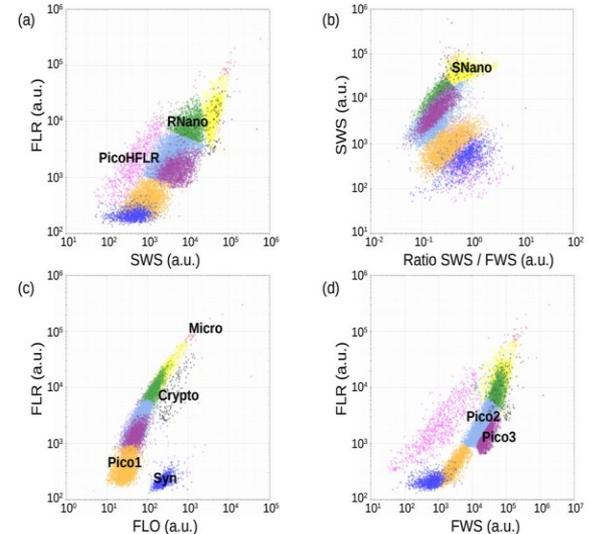
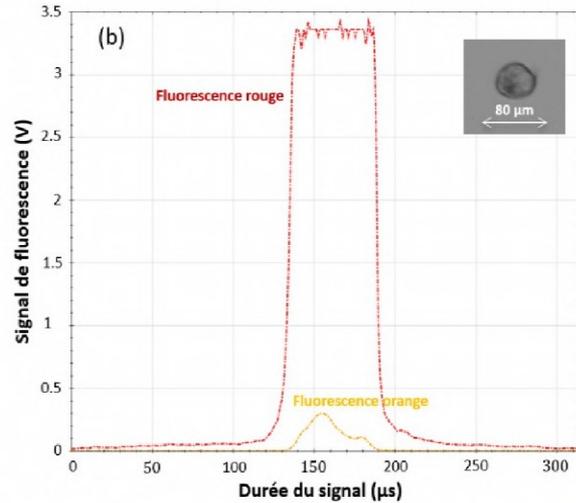
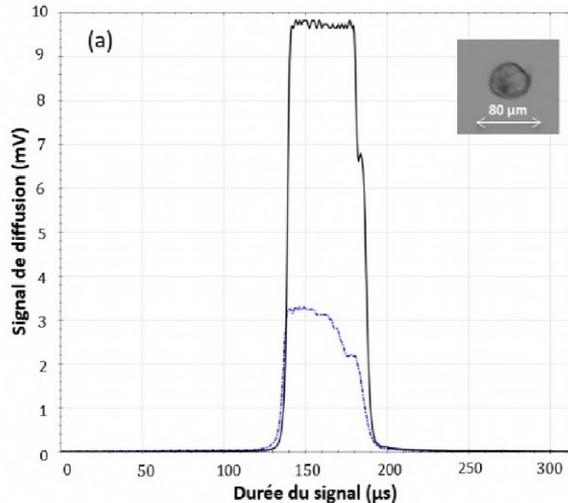
● Proposed adoption: 10

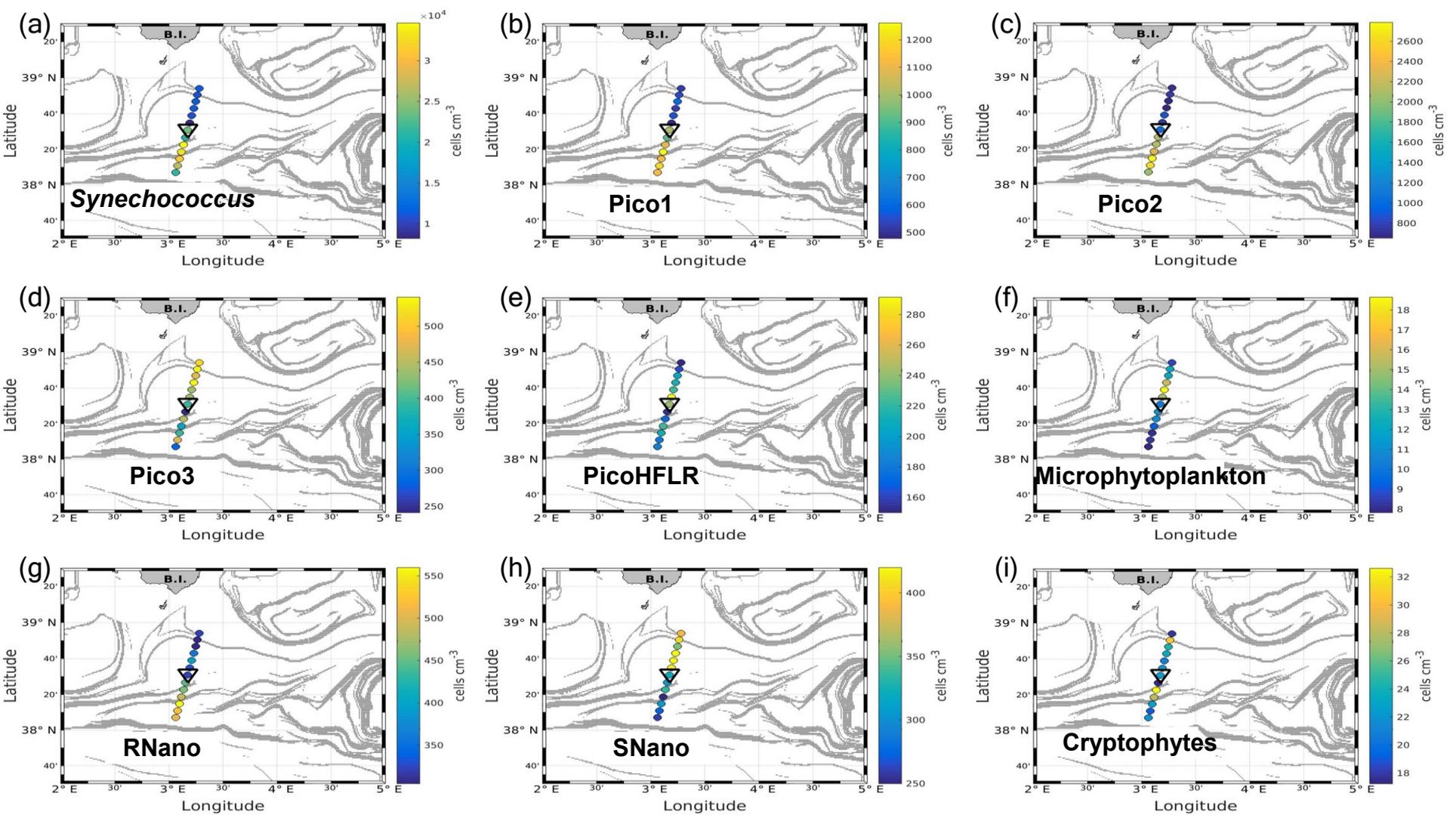
# La cytométrie en flux

## Identification des groupes de phytoplancton

→ (a) **Forward angle light scatter (FWS)** et **90° side-ward angle scatter (SWS)** ==> relatif à la **taille** et à **granulométrie** des particules. (Sieburth et al., 1978)

→ (b) **Fluorescence signal** ==> classification des particules en fonction des propriétés optiques, **red fluorescence (FLR)** induite par **Chl a** et un **orange fluorescence (FLO)** induit par **phycoérythrine**.





# Reconstruction of phytoplankton diurnal cycle

- Size-structured population model :

→ The size-structured population model (Mathilde Dugenne, Marrec et al., 2018)

==> estimation of biovolume with FWS signal

- Probability of cell to enter in growth phas

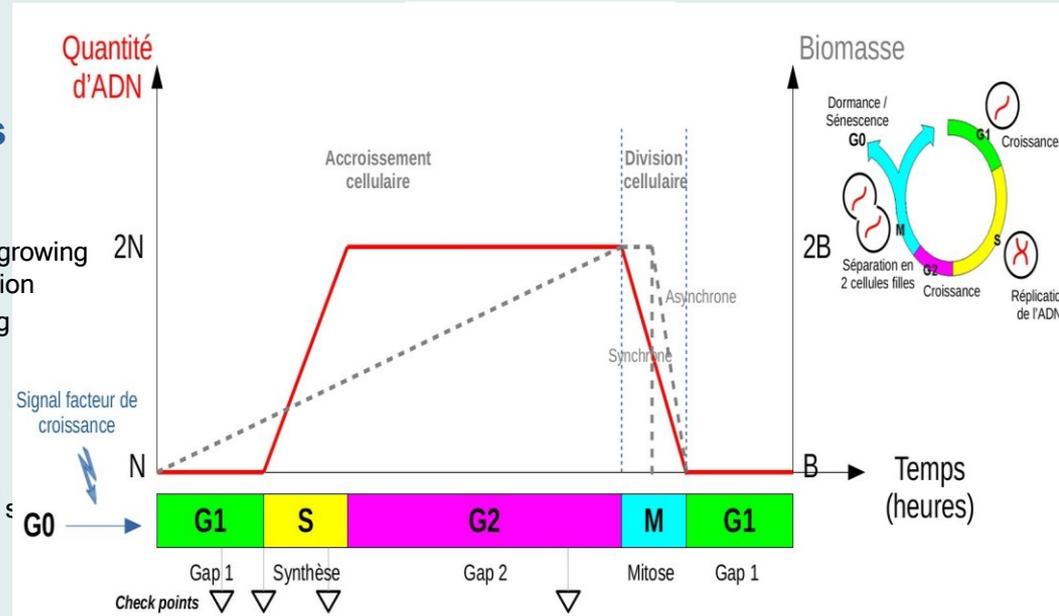
$$\gamma(t) = \gamma_{max} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{E(t)}{E^*}\right) \right]$$

- E : irradiance (PAR)
- E\* : constante
- γ : proportion of cells growing
- γ<sub>max</sub> : maximal proportion of cells in growing

- Population net growth rates :

$$\mu_{size} = \frac{1}{t + dt} \log_e \left( \frac{\hat{N}(t + dt)}{N(t)} \right)$$

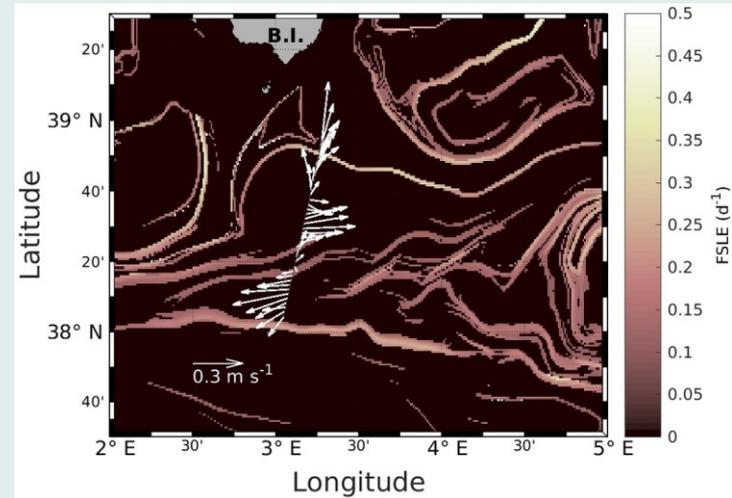
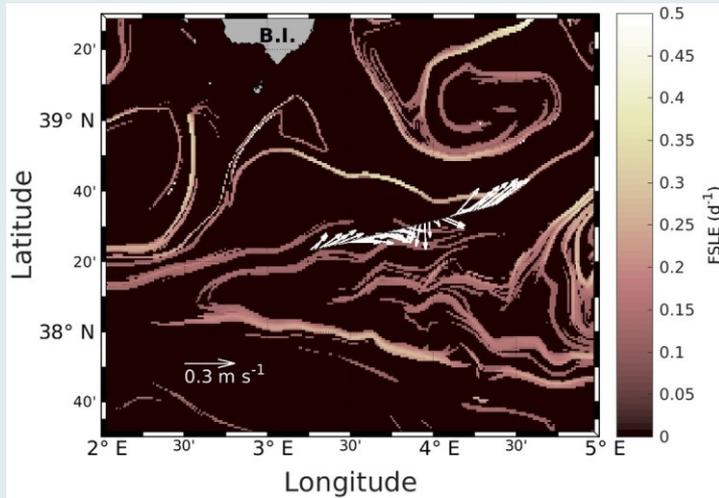
- μ : net growth rates
- N : abundance of cell
- N̂ : abundance modele
- t : time



# Identification of a fine scale structure of interest

- **Hydrodynamics:**

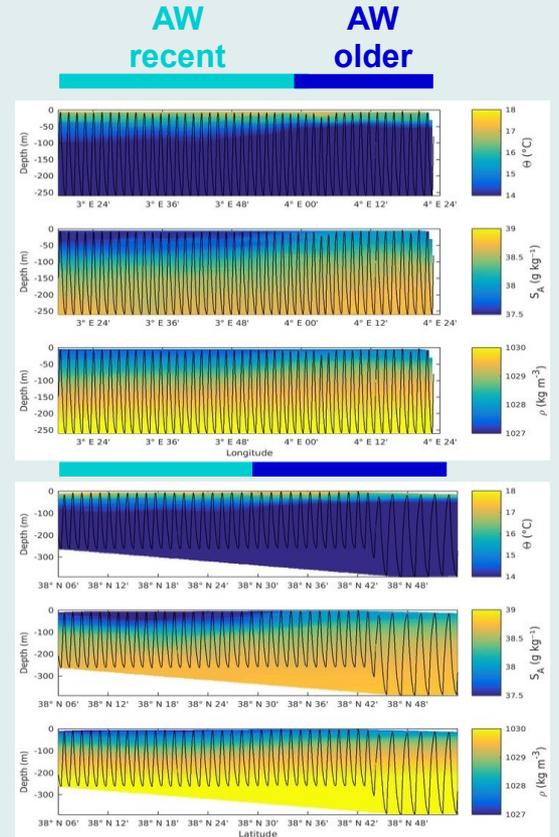
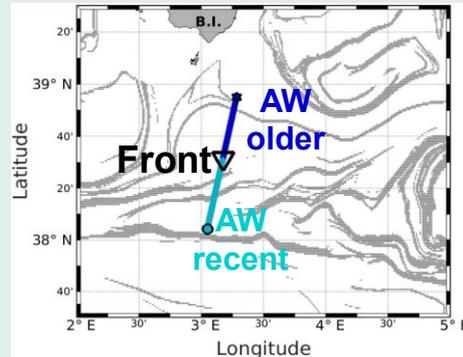
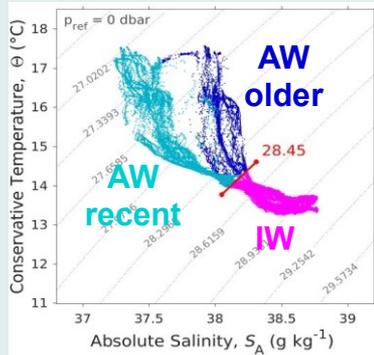
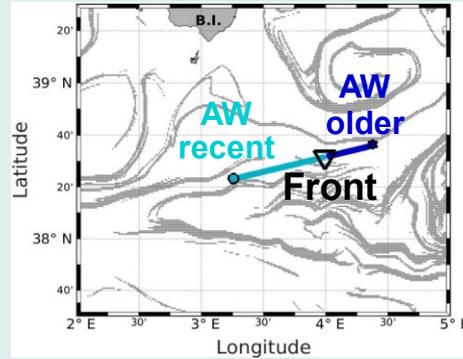
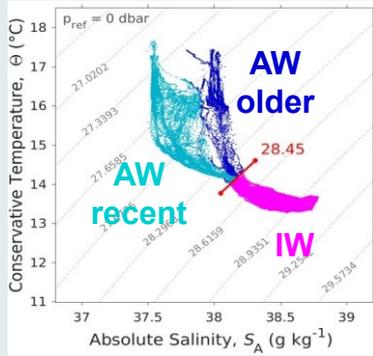
→ Horizontal velocities sampled by Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), superimposed on FSLE from satellite observations.



Transects of the WE and NS hippodrome of horizontal velocities sampled by ADCP with FSLE

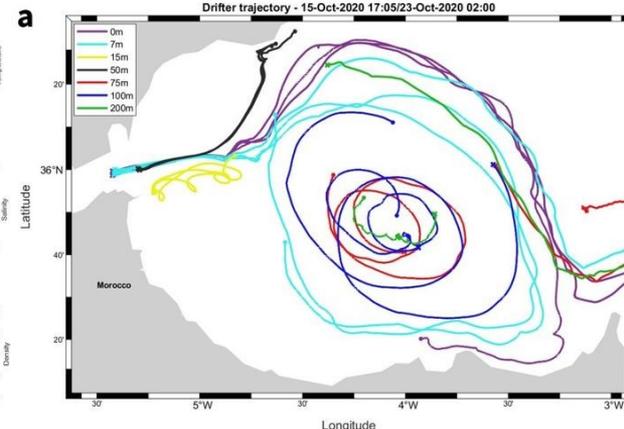
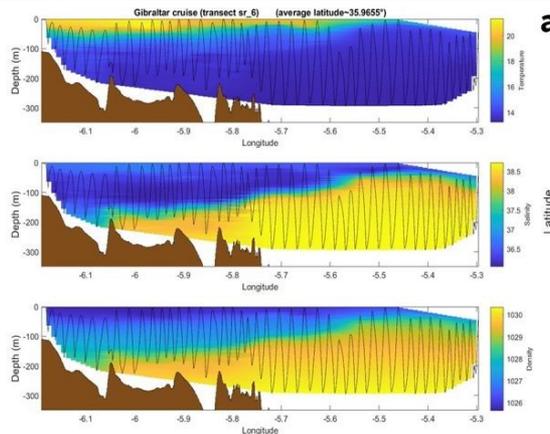
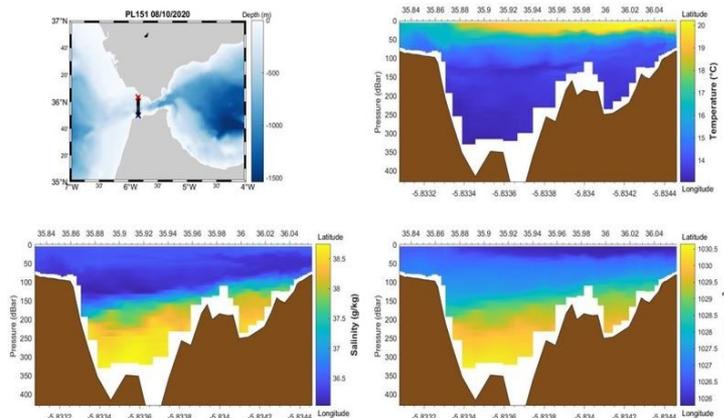
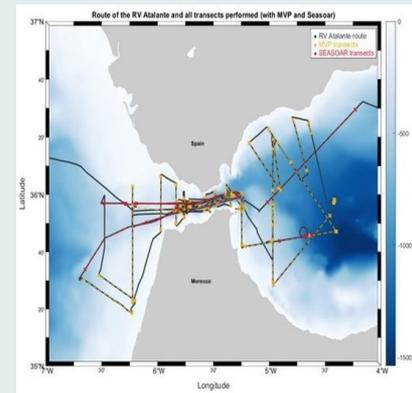
# Hydrology : water masses

- Identification of **water masses** with an **iterative method** along WE and NS transects:



# Other activities of research

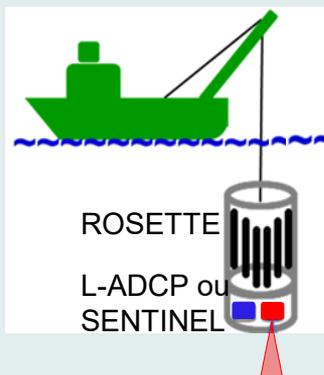
- Participant to the **Protevs-Gibraltar** in October 2020, in the Strait of Gibraltar.
- Analysis of MVP, Seasoar, TSG, ADCP and drifters data on board.



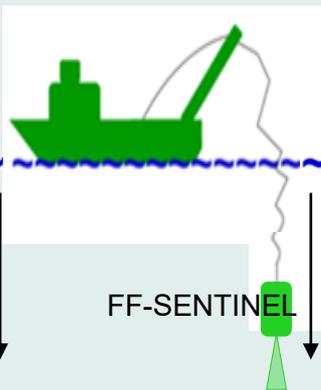
# Méthodologies et instrumentations disponibles pour la mesure des vitesses verticales

## Mesures *in situ*

### Bathysonde



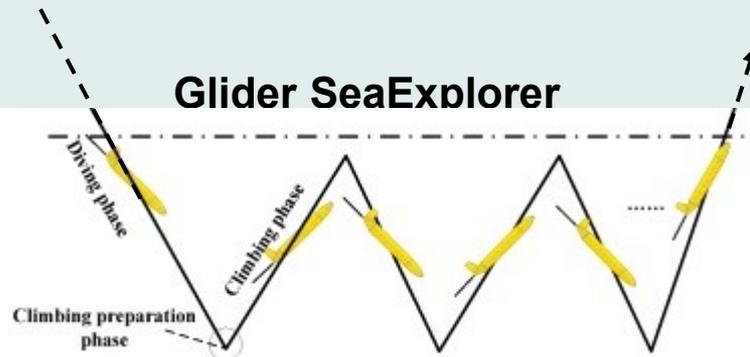
### Free-fall



### VVP

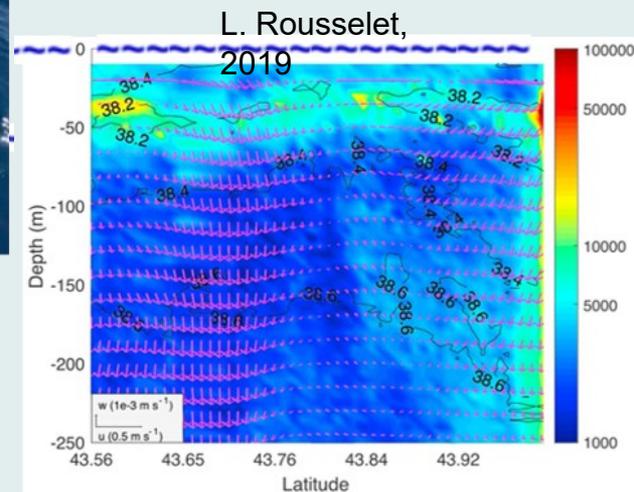


### Glider SeaExplorer



## Estimations indirectes

### Résolution de l'équation- $\omega$

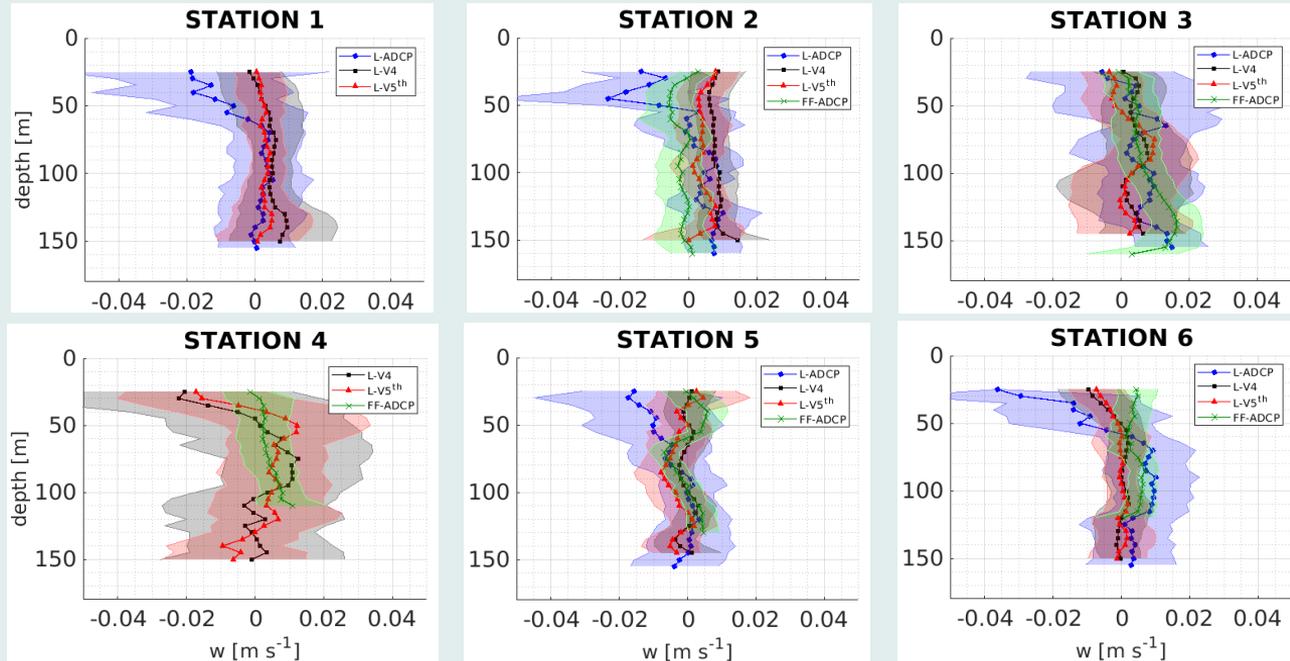
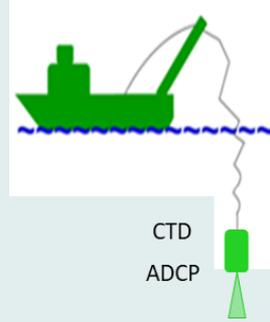
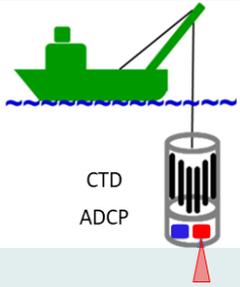


+  
Comparaison modèles de circulation hydrostatiques

# Direct *in situ* measurements of vertical velocities

3 instruments used  $\rightarrow$  4 measures of  $w$

**Sentinel 5<sup>th</sup> beam**, **Sentinel 4 beams**, **L-ADCP**, **FF-ADCP**

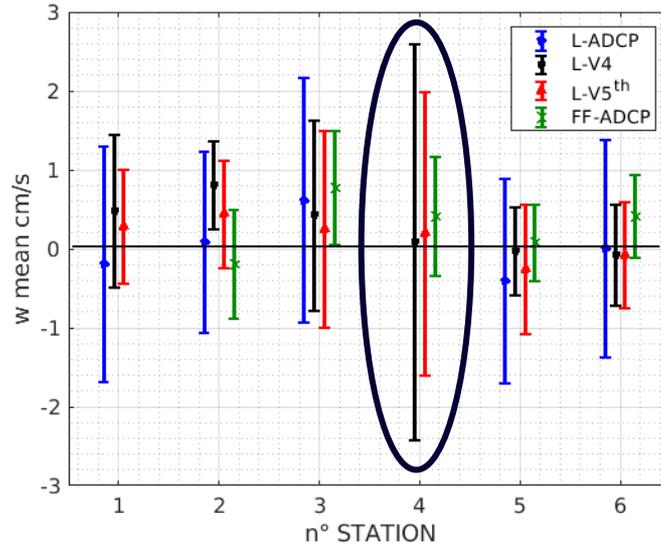
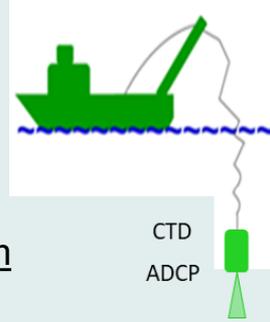
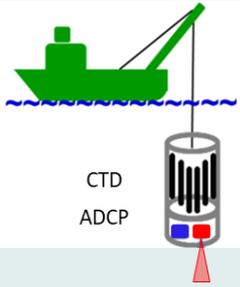


$\rightarrow$  Relatively good agreement between the different measurement methods

# Direct *in situ* measurements of vertical velocities

3 instruments used → 4 measures of  $w$

**Sentinel 5<sup>th</sup> beam**, **Sentinel 4 beams**, **L-ADCP**, **FF-ADCP**



Downcasts data 0 – 150 m

$\mu \sim$  mm/s  
**0.02**    **0.28**    **0.17**    **0.30**    cm/s

$\sigma \sim$  cm/s  
**1.3**    **1.1**    **1.0**    **0.6**    cm/s  
**L-ADCP** > **L-V4** > **L-V5** > **FF-ADCP**

**Best accuracies:**

**FF-ADCP** & **Sentinel 5<sup>th</sup> beam**

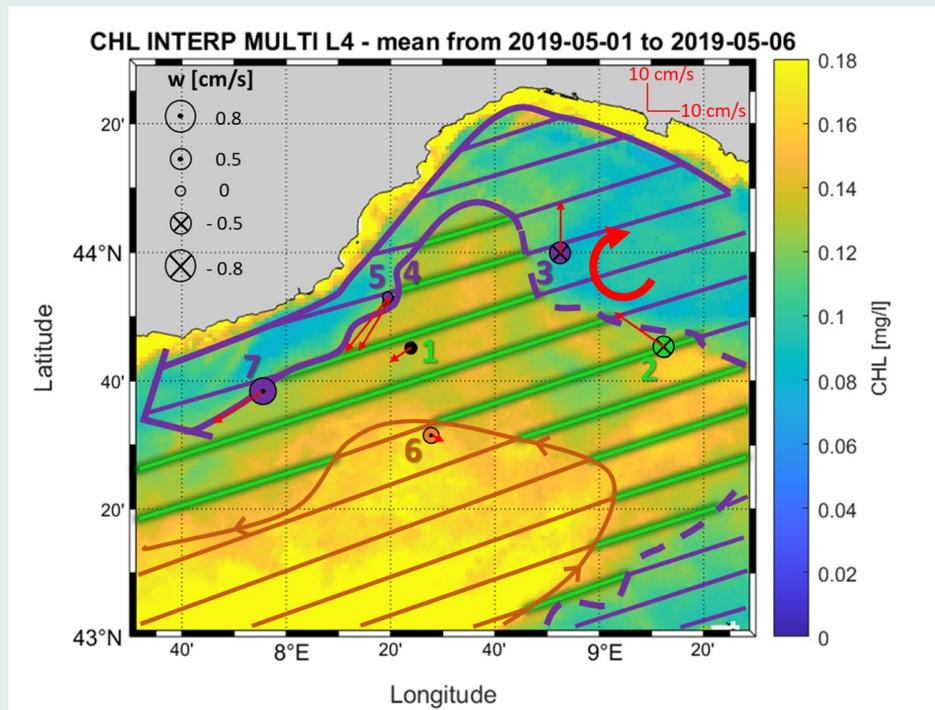
- 1) **Free-fall** technique not sensitive to sea state conditions
- 2) **Sentinel 5<sup>th</sup> beam** more accurate than a classical ADCP

→ **Coupling of the Sentinel V with the free fall technique for an optimal measurement of vertical velocities**

# 3D ocean dynamics in the FUMSECK area

## Current data

- measurements from L-V5
- downcasts
- average 0 – 150 m



- Distinction of several zones:

Northern Current (*Liguro-provençal*)

Cyclonic recirculation

Intermediate zone

- Influence on vertical velocities:  
Intensification of the velocities at the edge of the Northern current,  
of meander or AC eddy