

Influence des structures physiques de fines échelles sur la répartition du phytoplancton au niveau des couches profondes

Laurina OMS

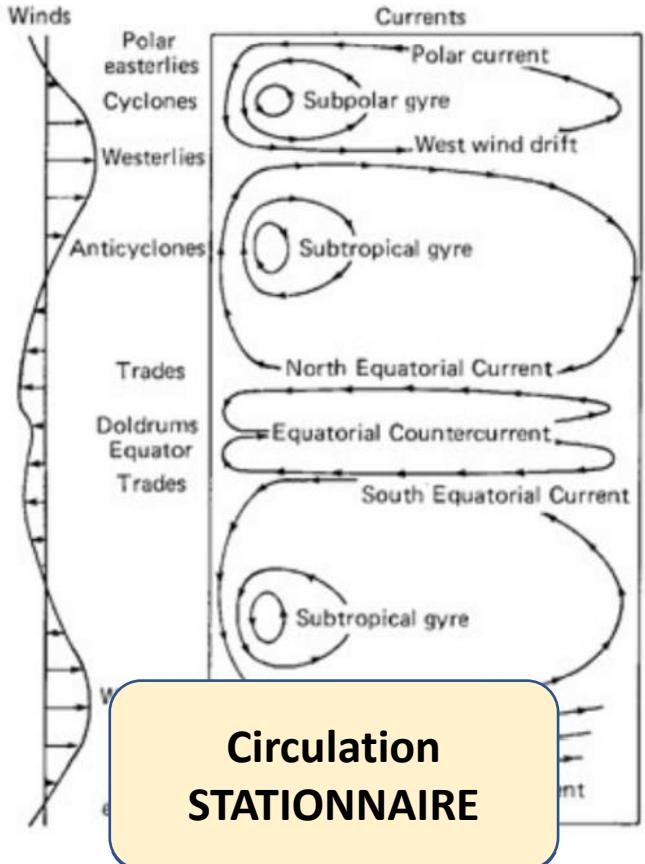
Stage M2 – Institut Méditerranéen d’Océanologie (M.I.O)
Directeurs : Gérald Grégori, Andréa Doglioli

Année universitaire : 2021-2022

INTRODUCTION

❖ Point historique

La circulation océanique

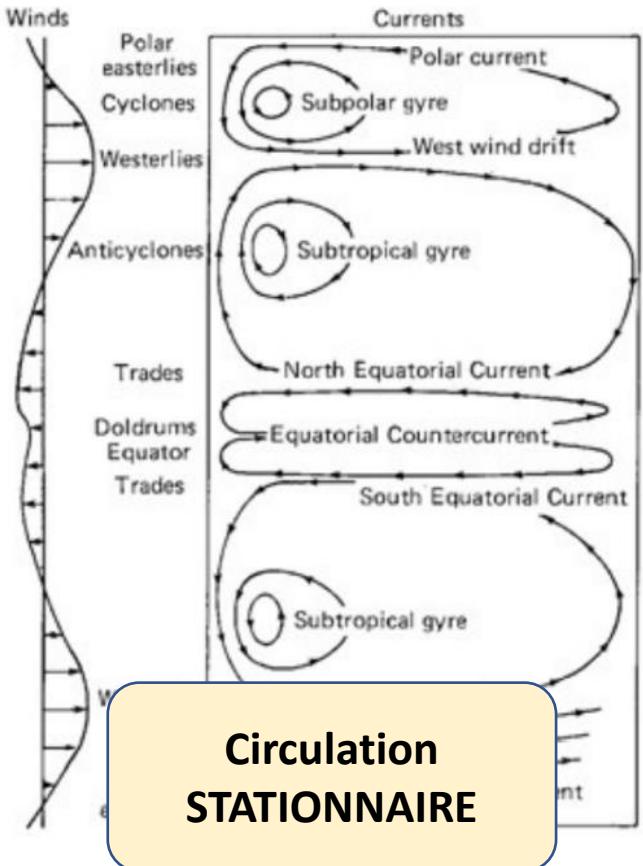


Combinaison des résultats des travaux
d'Ekman, Sverdrup et Stommel (*OPB206*,
M.Baklouti)

Années 40

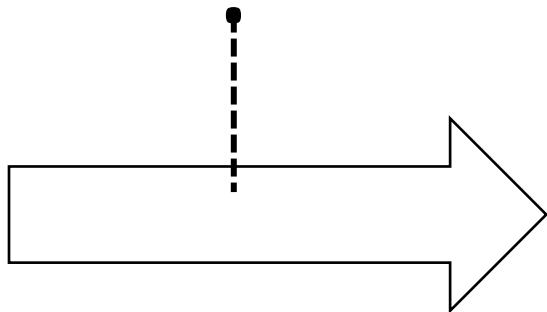
INTRODUCTION

❖ Point historique



La circulation océanique

Bouées dérivantes
Méthodes numériques
Imagerie satellitaire

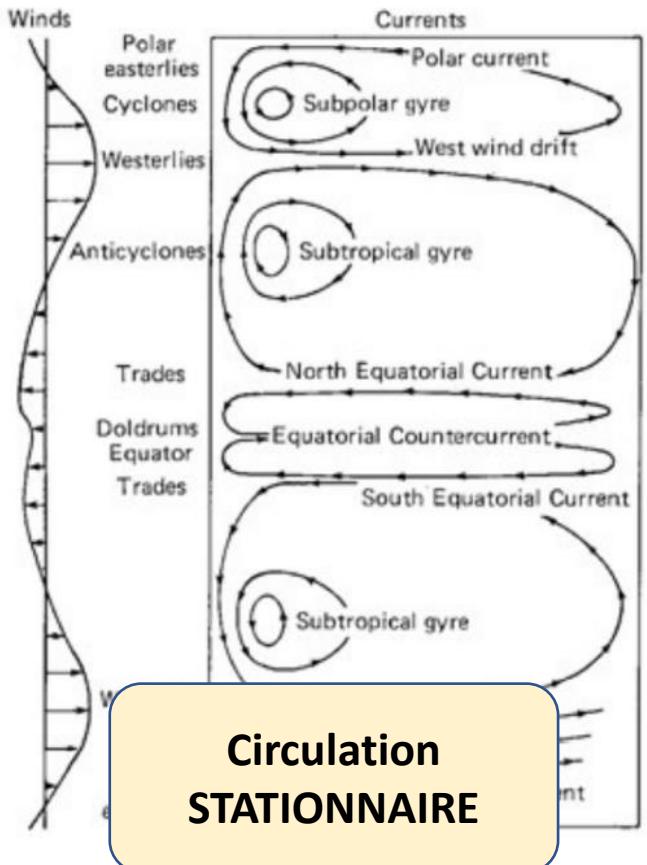


Combinaison des résultats des travaux
d'Ekman, Sverdrup et Stommel (*OPB206*,
M.Baklouti)

Années 40

INTRODUCTION

❖ Point historique

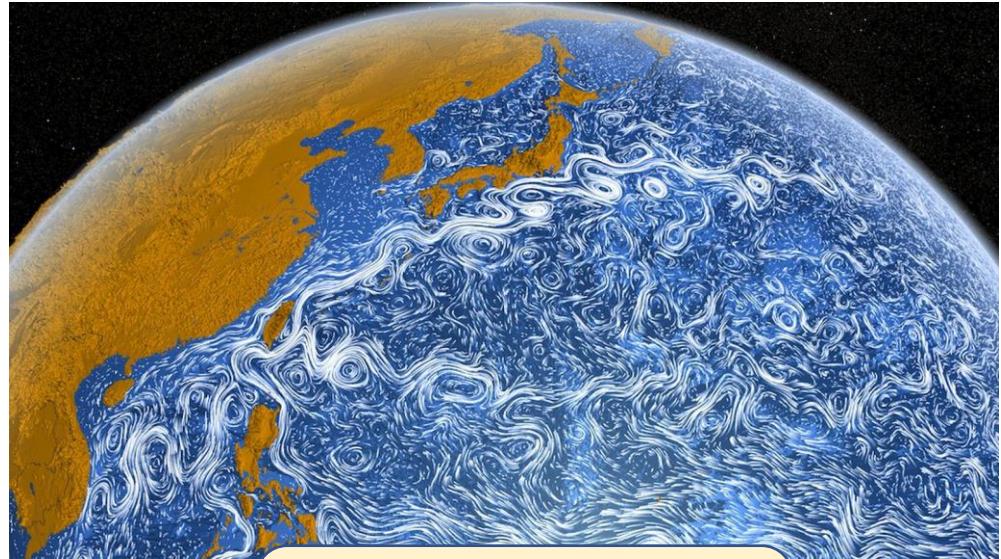
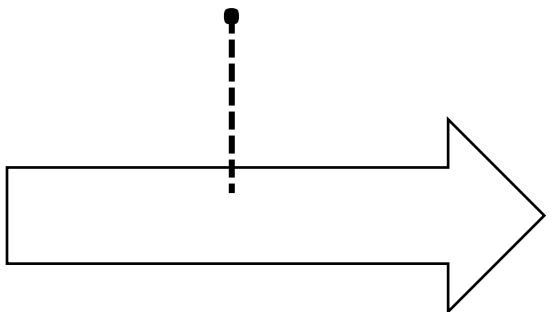


Combinaison des résultats des travaux
d'Ekman, Sverdrup et Stommel (OPB206,
M.Baklouti)

Années 40

La circulation océanique

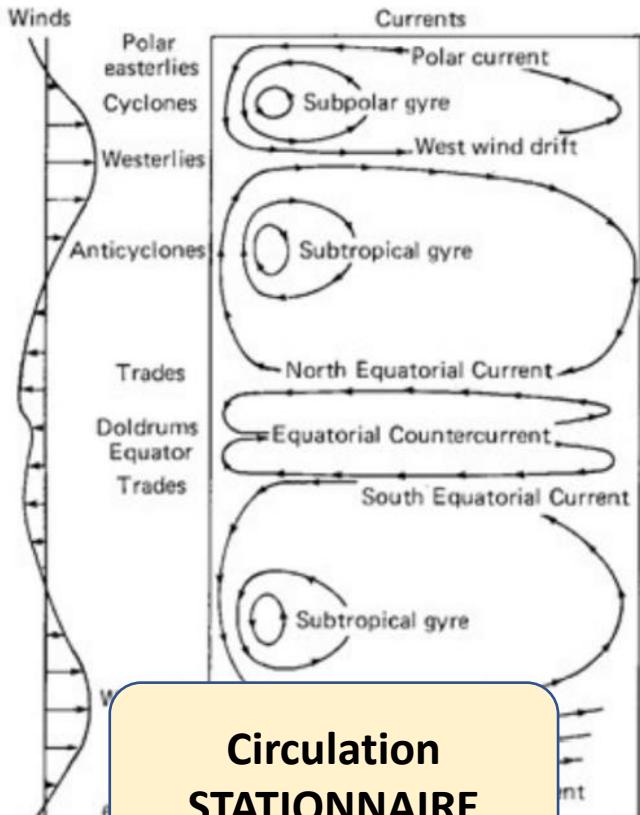
Bouées dérivantes
Méthodes numériques
Imagerie satellitaire



Années 2000

INTRODUCTION

❖ Point historique

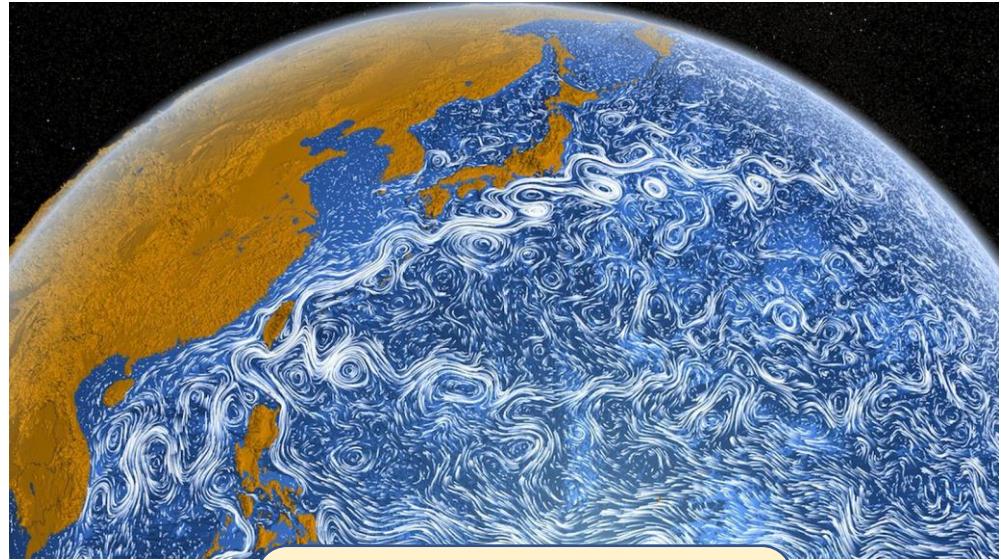
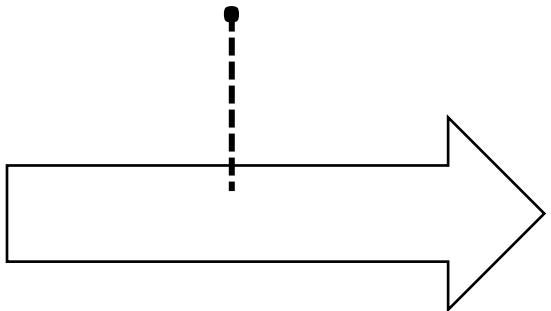


Combinaison des résultats des travaux d'Ekman, Sverdrup et Stommel (OPB206, M. Baklouti)

Années 40

La circulation océanique

Bouées dérivantes
Méthodes numériques
Imagerie satellitaire



**VARIABILITE SPATIO-
TEMPORELLE**

Années 2000

- La circulation océanique influence :
- La disponibilité des ressources (nutriments+lumière)
 - **Le transport des organismes**

INTRODUCTION

❖ Quels organismes ?

Le phytoplancton

Micro-organismes marins



<https://biologo.com.br/bio/plancton/>

INTRODUCTION

❖ Quels organismes ?

Le phytoplancton

Micro-organismes marins



<https://biologo.com.br/bio/plancton/>

- Responsable de 50% de l'O₂ atmosphérique produit/an
- Possède une immense diversité d'espèce

INTRODUCTION

❖ Quels organismes ?

Le phytoplancton

Micro-organismes marins



<https://biologo.com.br/bio/plancton/>

- Responsable de 50% de l'O₂ atmosphérique produit/an
- Possède une immense diversité d'espèce

Rôle clé dans le fonctionnement de la planète

INTRODUCTION

❖ Quels organismes ?

Le phytoplancton

Micro-organismes marins



<https://biologo.com.br/bio/plancton/>

- Responsable de 50% de l'O₂ atmosphérique produit/an
- Possède une immense diversité d'espèce

Rôle clé dans le fonctionnement de la planète

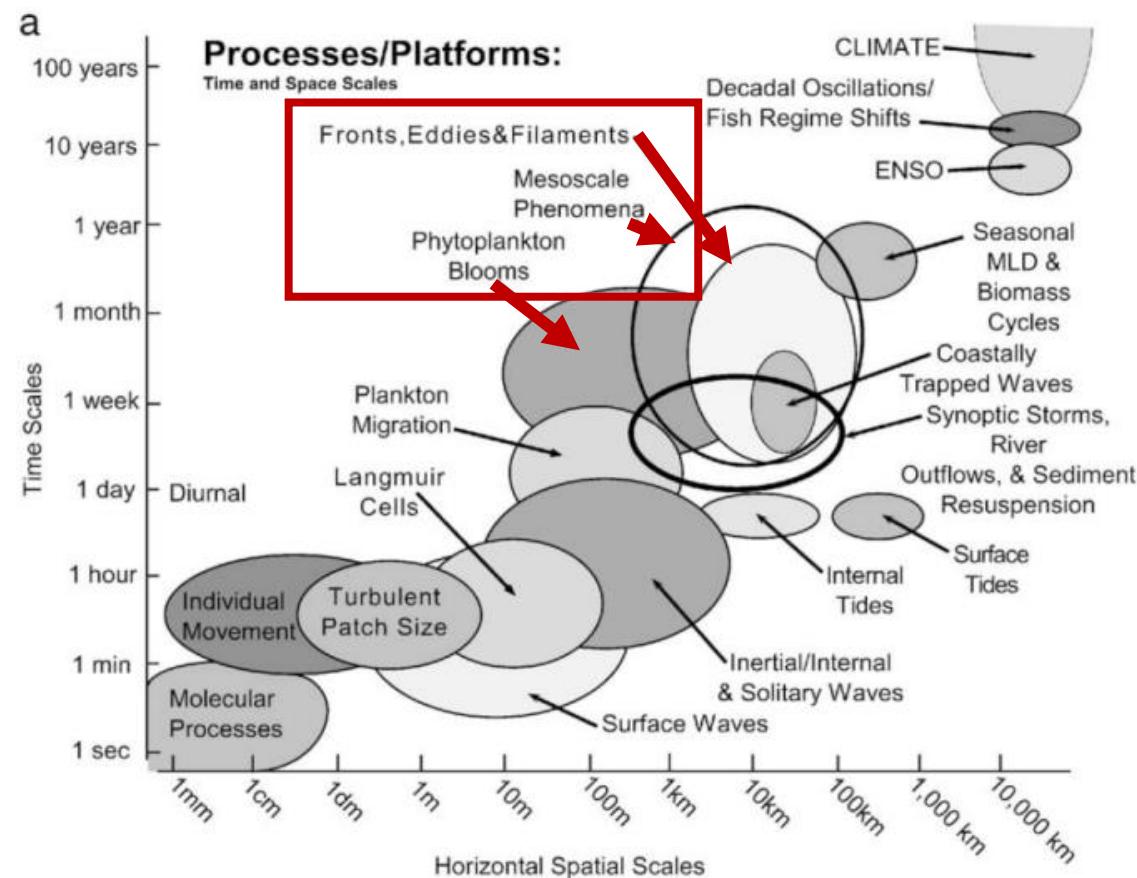
PARADOXE DU PLANCTON

Grande diversité et milieu oligotrophe
contredit le principe de l'exclusion compétitive ! (Ex : Mer Méditerranée)

INTRODUCTION

❖ Rôle de la physique ?

Connaissances actuelles

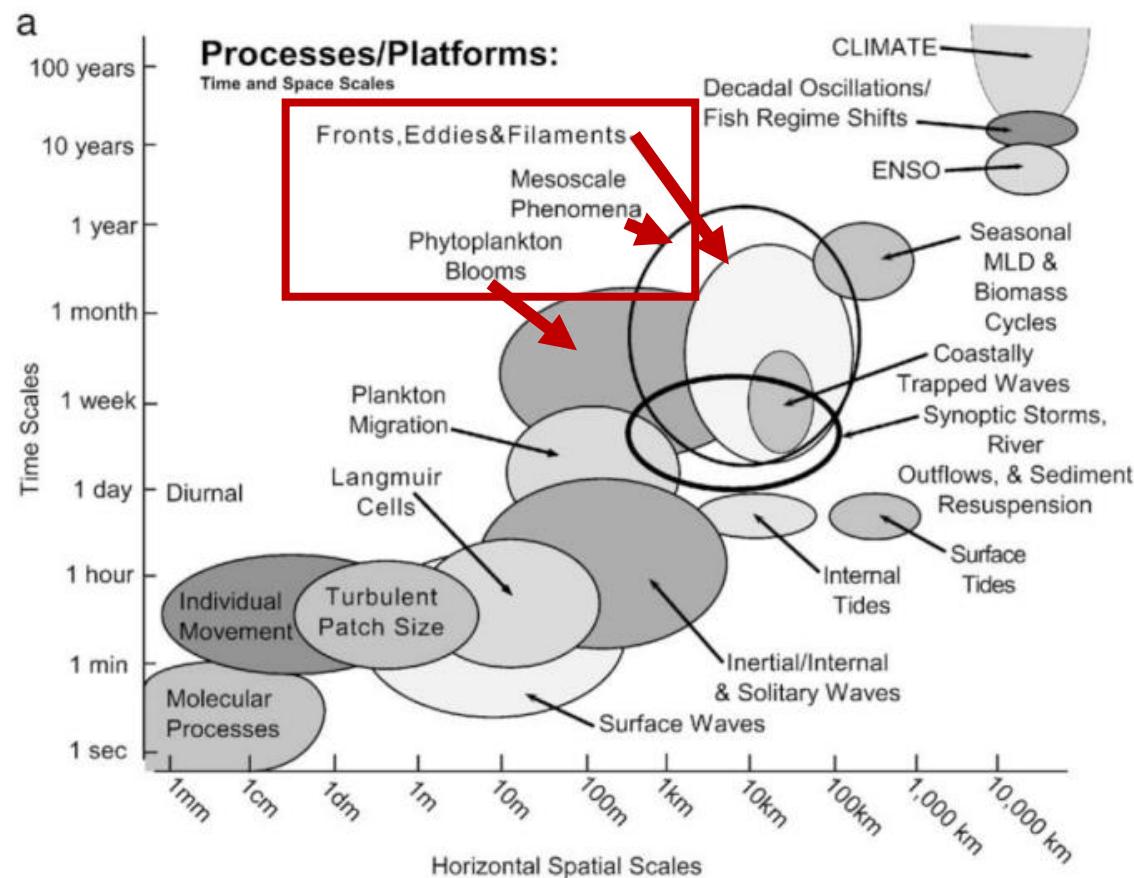


Variabilité spatio-temporelle du phytoplancton

INTRODUCTION

❖ Rôle de la physique ?

Connaissances actuelles



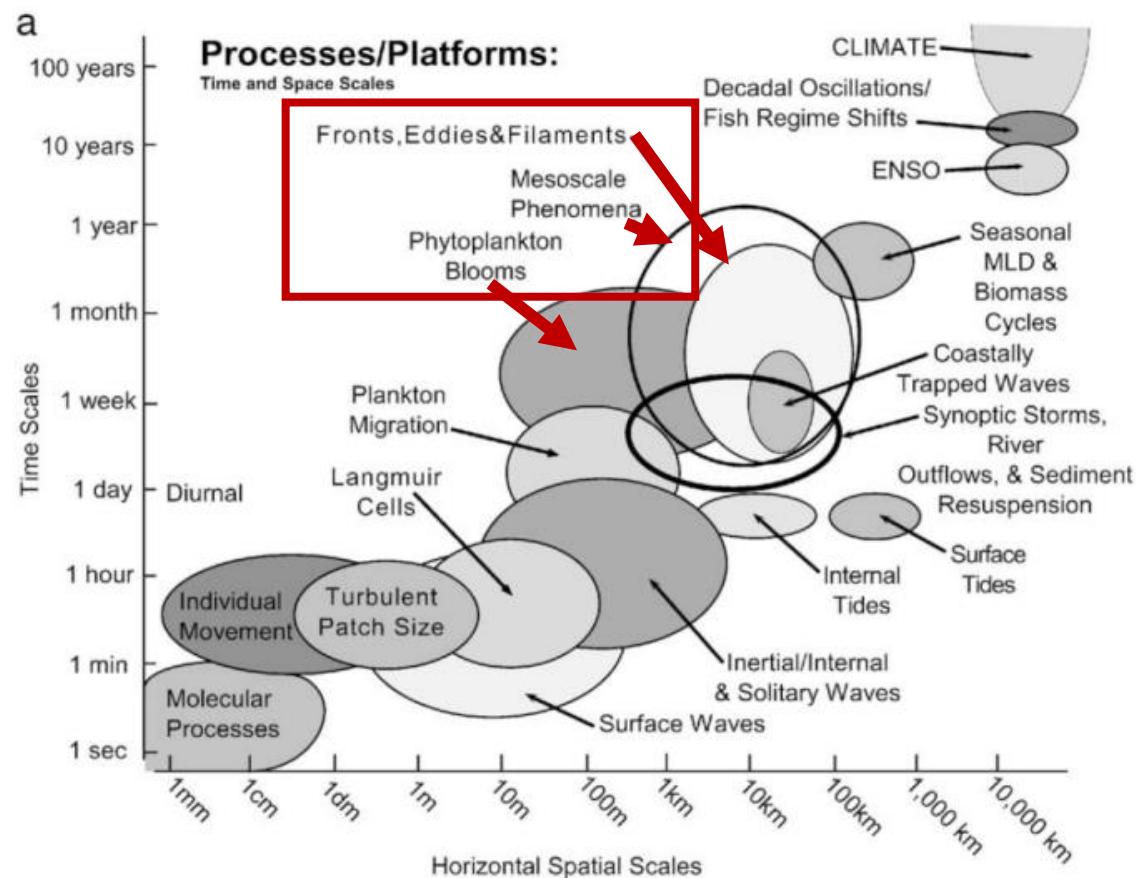
Variabilité spatio-temporelle du phytoplancton

Aux fines échelles :
dynamique contrôlée par l'advection verticale et horizontale

INTRODUCTION

❖ Rôle de la physique ?

Connaissances actuelles



Variabilité spatio-temporelle du phytoplancton

Aux fines échelles :
dynamique contrôlée par l'advection verticale
et horizontale

En surface :
répartition en mosaique des communautés

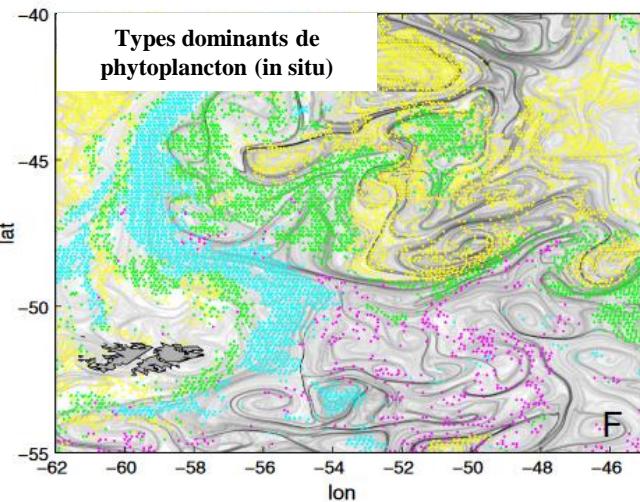
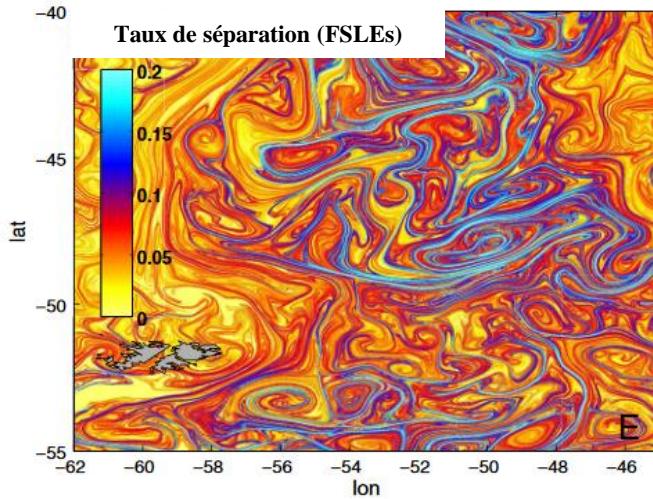
notion de niches fluidodynamiques

INTRODUCTION

❖ Rôle de la physique ?

Connaissances actuelles

Notion de niches fluidodynamiques



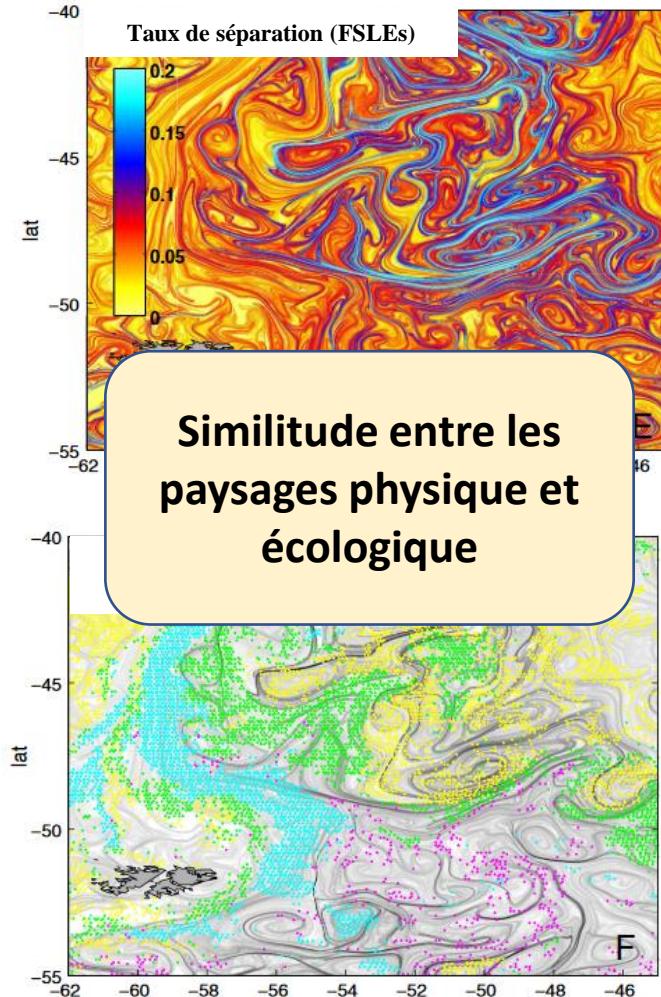
F. d'Ovidio, 2010

INTRODUCTION

❖ Rôle de la physique ?

Connaissances actuelles

Notion de niches fluidodynamiques

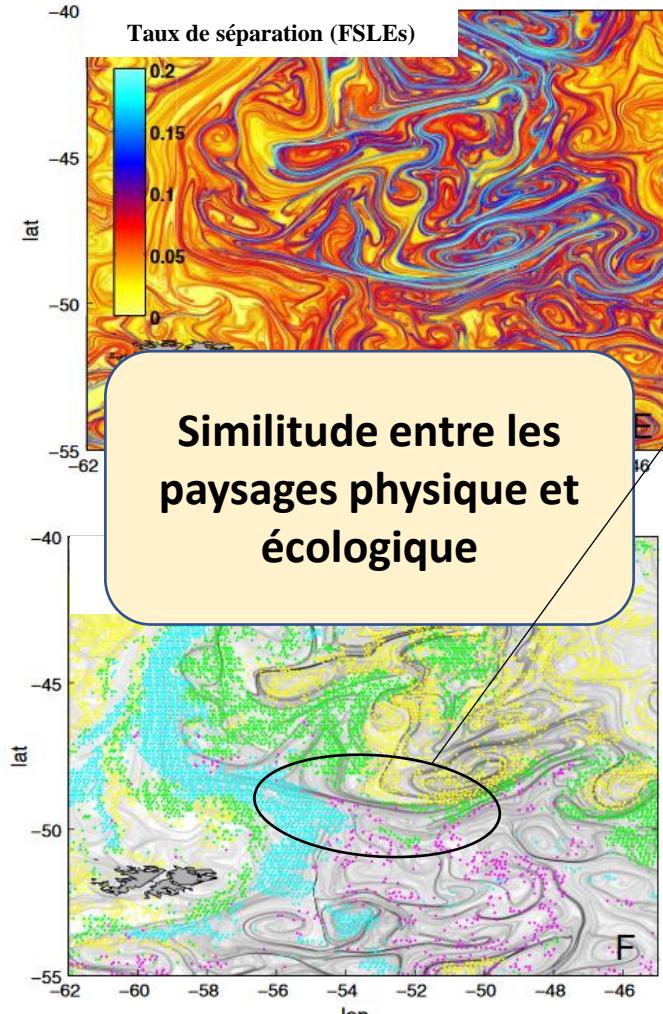


INTRODUCTION

❖ Rôle de la physique ?

Connaissances actuelles

Notion de niches fluidodynamiques



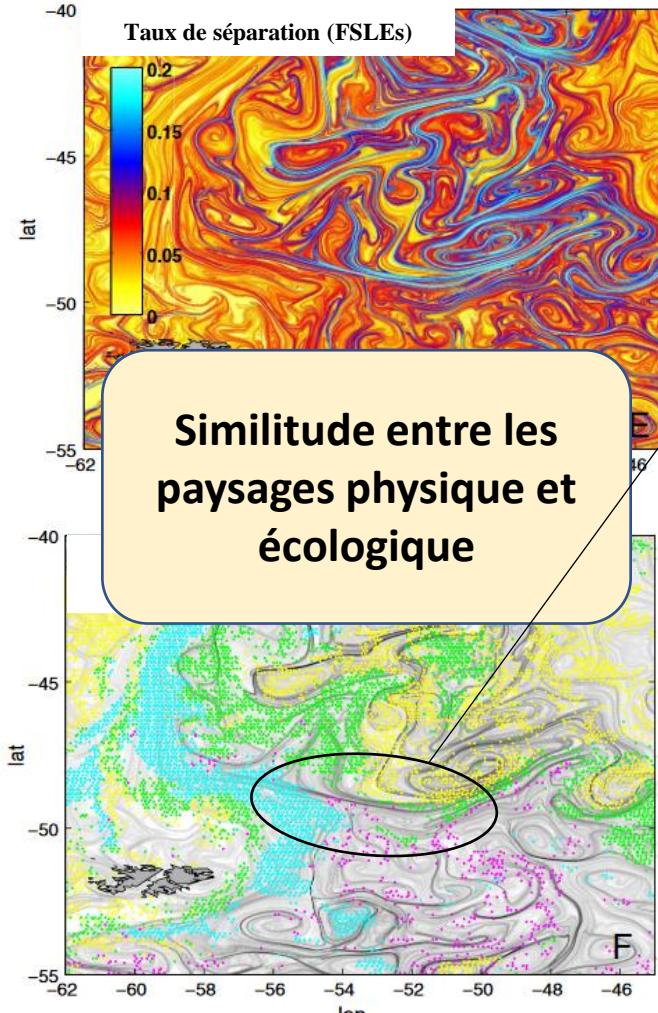
Au niveau d'un front ?

INTRODUCTION

❖ Rôle de la physique ?

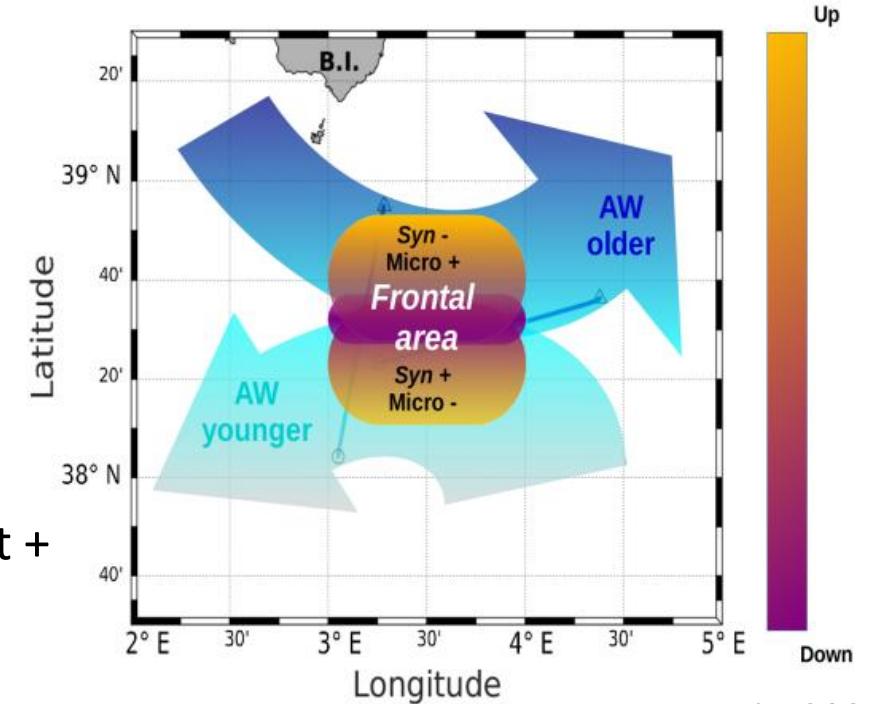
Connaissances actuelles

Notion de niches fluidodynamiques



Au niveau d'un front ?

- En surface front = **barrière hydrodynamique** contre le transport + sépare les communautés phytoplanctoniques
- En profondeur génère des **vitesses verticales**

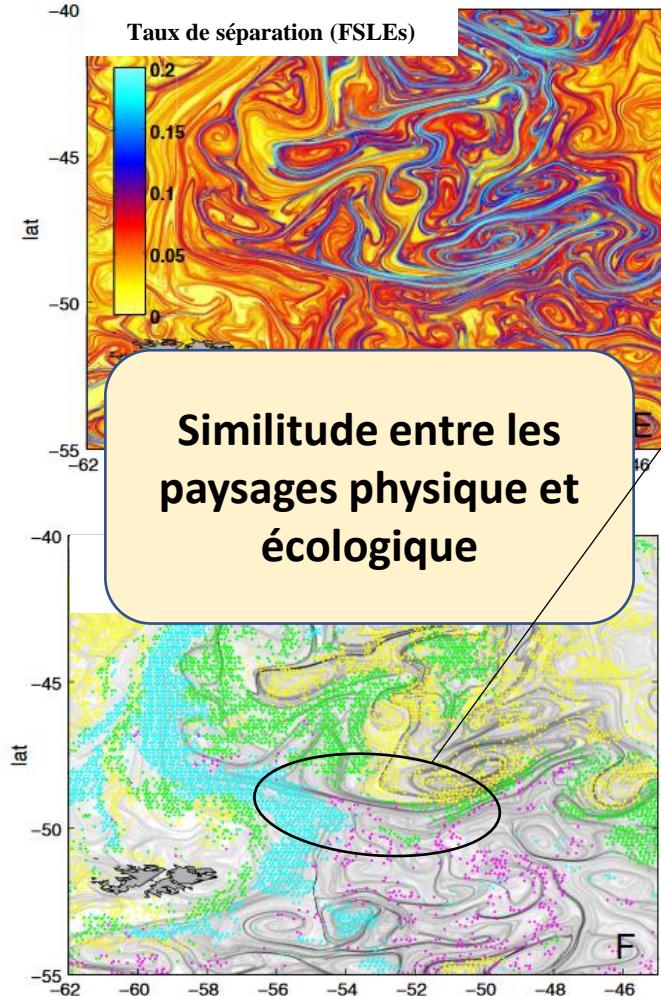


INTRODUCTION

❖ Rôle de la physique ?

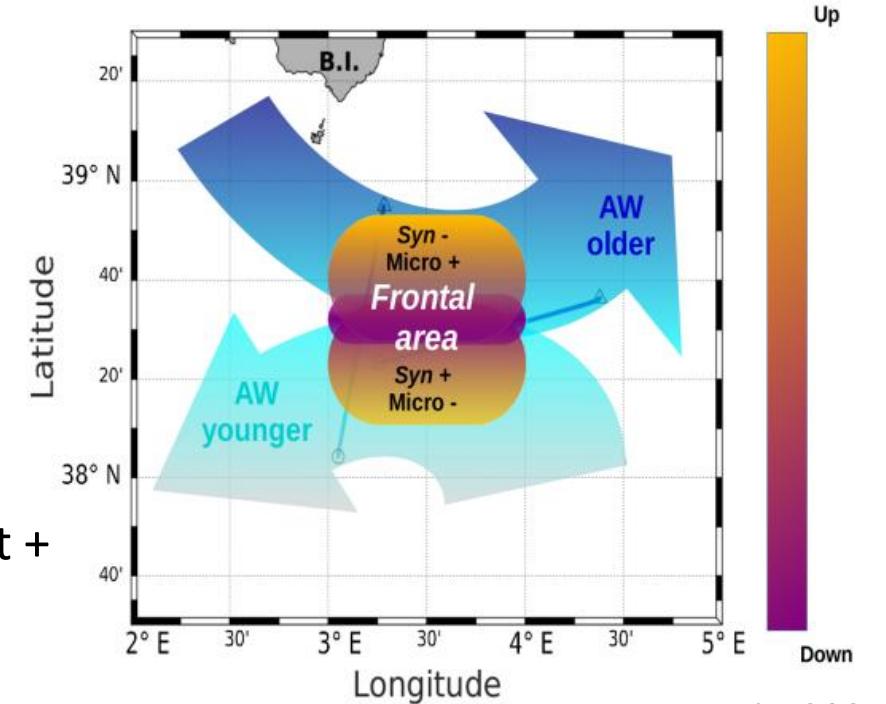
Connaissances actuelles

Notion de niches fluidodynamiques



Au niveau d'un front ?

- En surface front = **barrière hydrodynamique** contre le transport + sépare les communautés phytoplanctoniques
- En profondeur génère des **vitesses verticales**



Stage : Intérêt porté sur les conséquences en sub-surface des structures physiques de fines échelles

OBJECTIFS

❖ *Question principale :*

Comment les organismes phytoplanctoniques s'organisent-ils à l'échelle des processus physiques tels que les fronts et les tourbillons ?

OBJECTIFS

❖ *Question principale :*

Comment les organismes phytoplanctoniques s'organisent-ils à l'échelle des processus physiques tels que les fronts et les tourbillons ?

❖ *Question du stage :*

Quelle est l'influence de ces structures physiques en profondeur ?

OBJECTIFS

❖ *Question principale :*

Comment les organismes phytoplanctoniques s'organisent-ils à l'échelle des processus physiques tels que les fronts et les tourbillons ?

❖ *Question du stage :*

Quelle est l'influence de ces structures physiques en profondeur ?

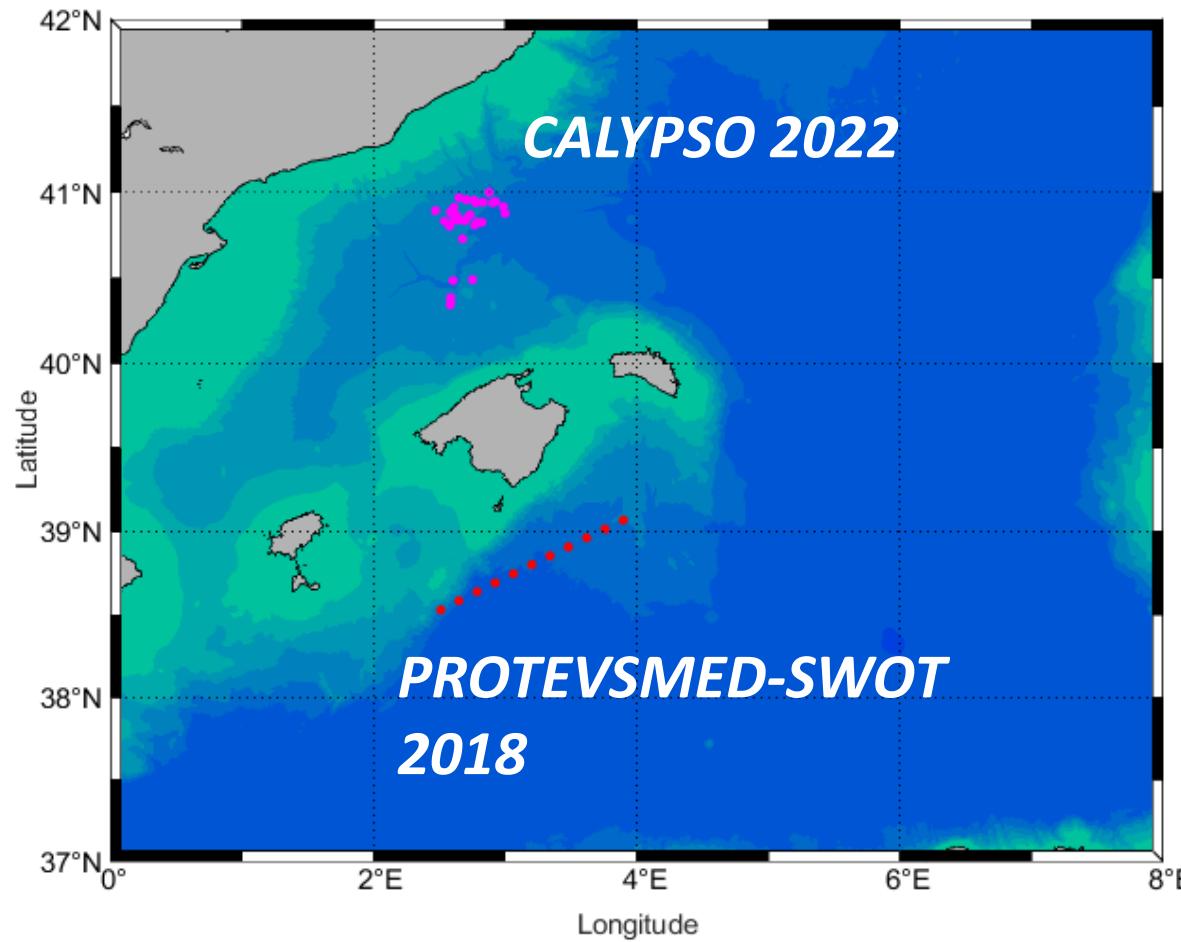
Importances biogéochimiques et écologiques des couches phytoplanctoniques profondes



Zone d'intense activité biologique

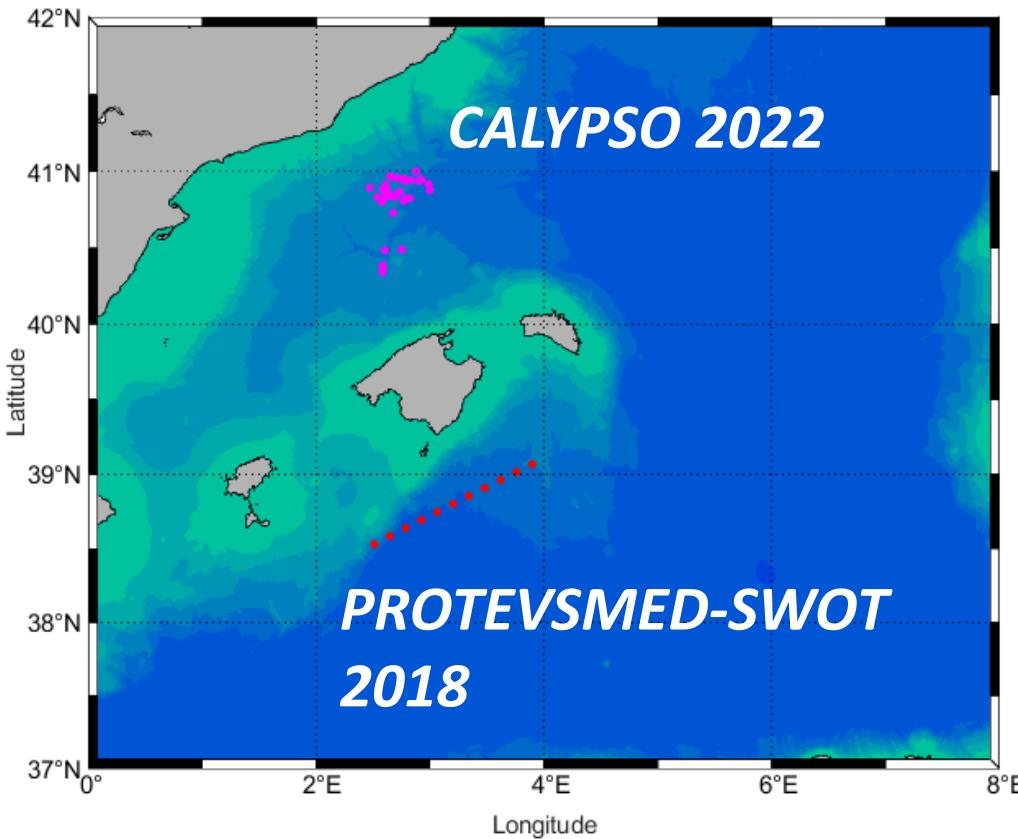
PRÉSENTATION DES CAMPAGNES

❖ 2 Campagnes autour des îles Baléares



PRÉSENTATION DES CAMPAGNES

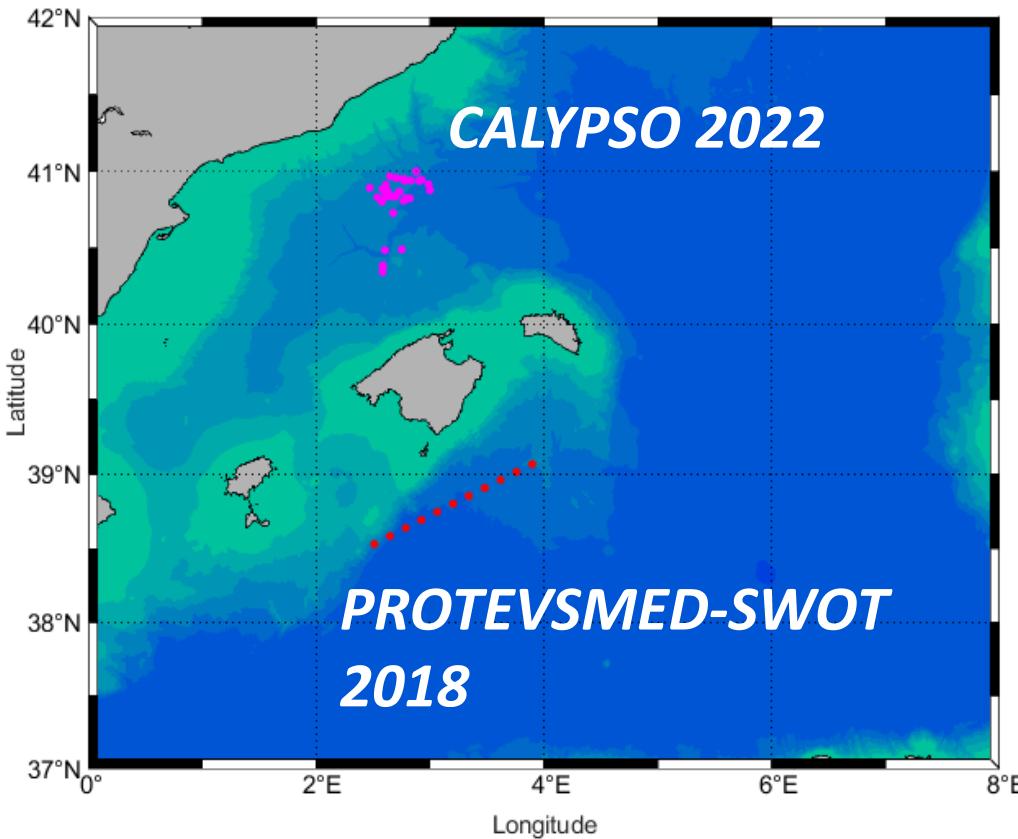
❖ 2 Campagnes autour des îles Baléares



- Stratégie Lagrangienne adaptative

PRÉSENTATION DES CAMPAGNES

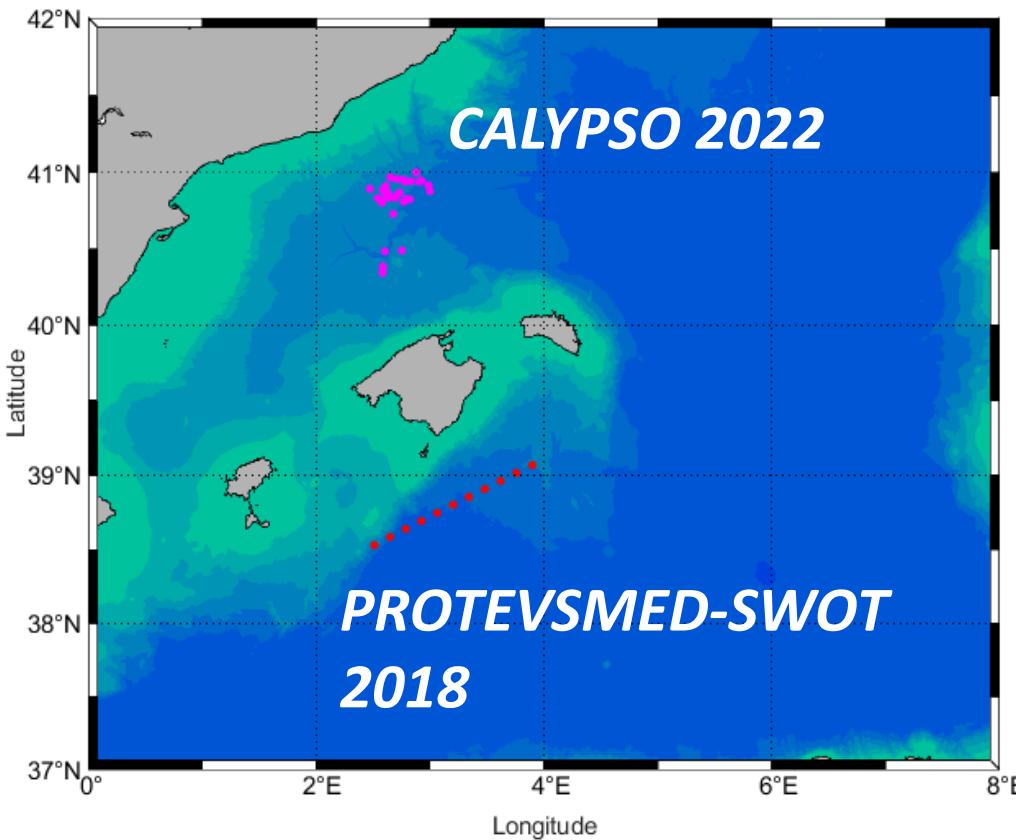
❖ 2 Campagnes autour des îles Baléares



- Stratégie Lagrangienne adaptative
- Poisson tracté (Seasoar/EcoCTD)

PRÉSENTATION DES CAMPAGNES

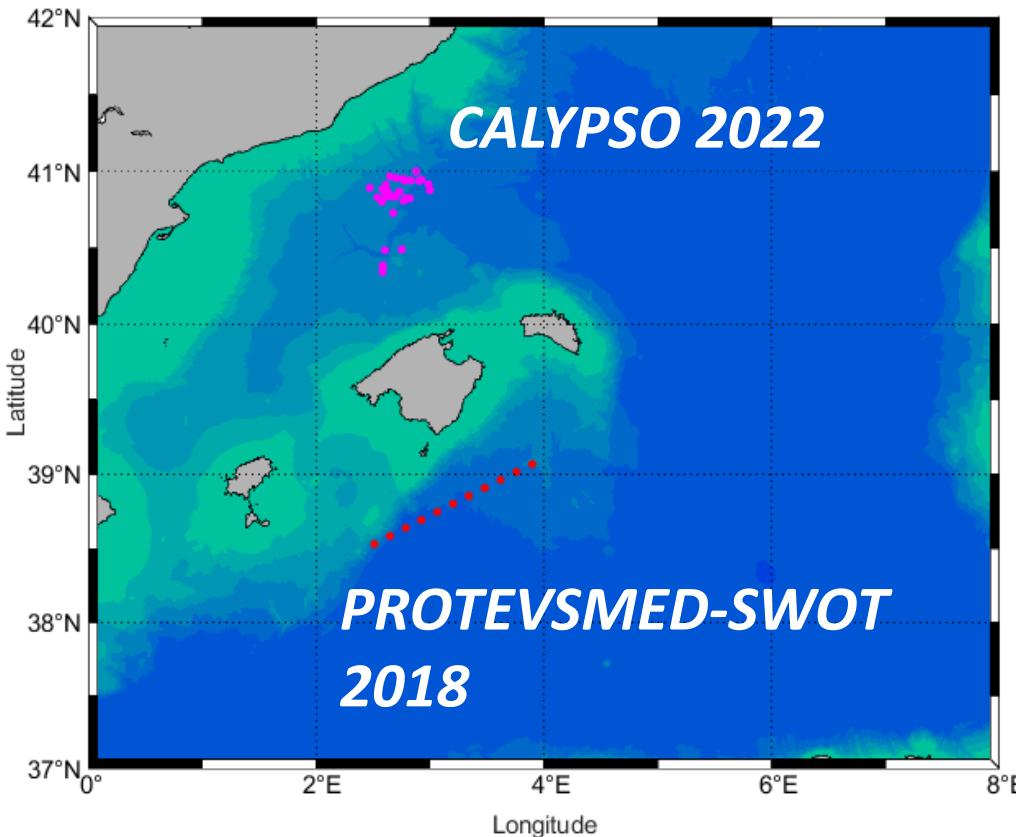
❖ 2 Campagnes autour des îles Baléares



- Stratégie Lagrangienne adaptative
- Poisson tracté (Seasoar/EcoCTD)
- Analyses cytométriques sur échantillon CTD (données en sub-surface)

PRÉSENTATION DES CAMPAGNES

❖ 2 Campagnes autour des îles Baléares

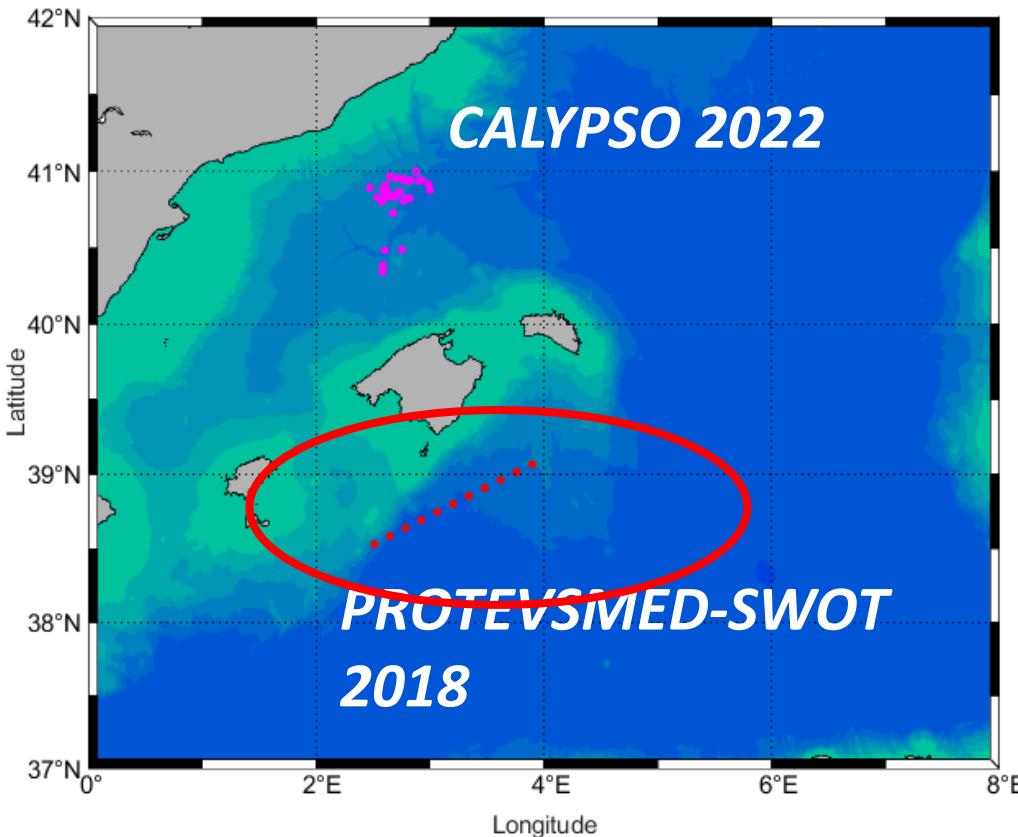


- Stratégie Lagrangienne adaptative
- Poisson tracté (Seasoar/EcoCTD)
- Analyses cytométriques sur échantillon CTD (données en sub-surface)

- *Comparaison entre 2 structures physiques différentes*

PRÉSENTATION DES CAMPAGNES

❖ 2 Campagnes autour des îles Baléares



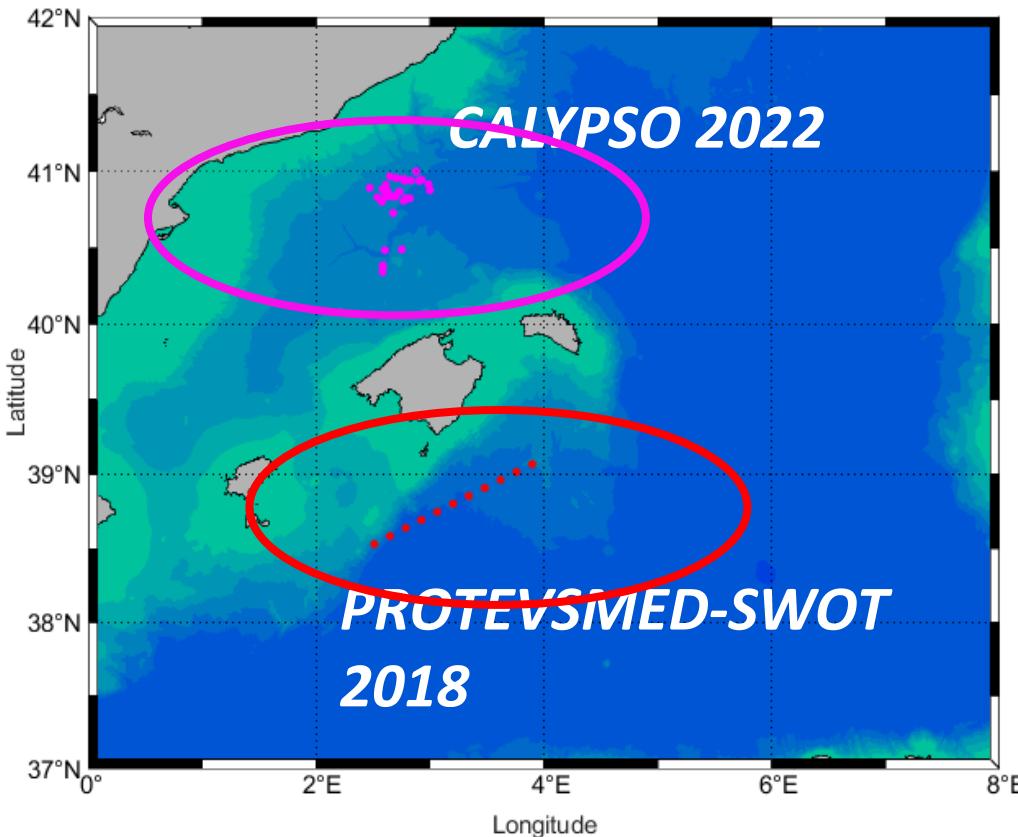
- Stratégie Lagrangienne adaptative
- Poisson tracté (Seasoar/EcoCTD)
- Analyses cytométriques sur échantillon CTD (données en sub-surface)

- Comparaison entre 2 structures physiques différentes

Région frontale

PRÉSENTATION DES CAMPAGNES

❖ 2 Campagnes autour des îles Baléares



- Stratégie Lagrangienne adaptative
- Poisson tracté (Seasoar/EcoCTD)
- Analyses cytométriques sur échantillon CTD (données en sub-surface)

- Comparaison entre 2 structures physiques différentes

Région frontale

VS

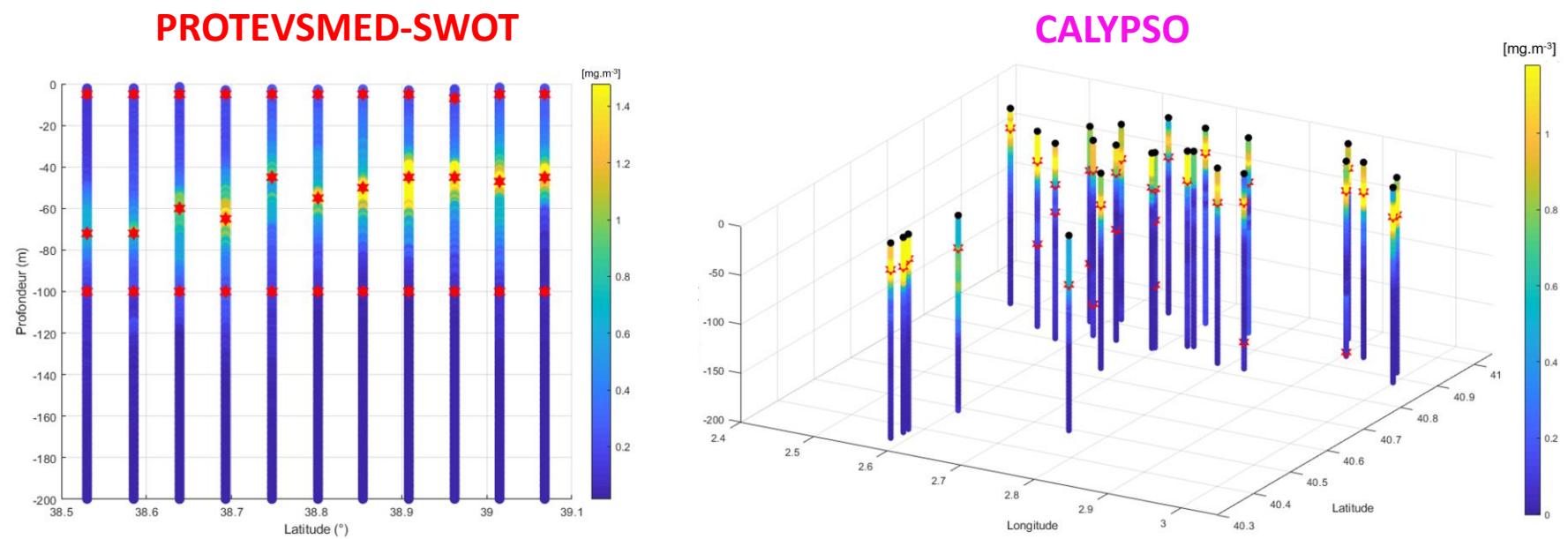
Région
tourbillonnaire

PRÉSENTATION DES CAMPAGNES

❖ Méthodes

Biologie : Identification *in situ* des régions intéressantes d'un point de vue biologique et biogéochimique

★ = Analyses cytométriques

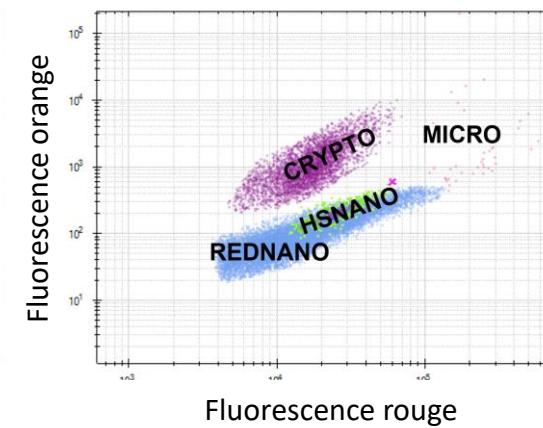
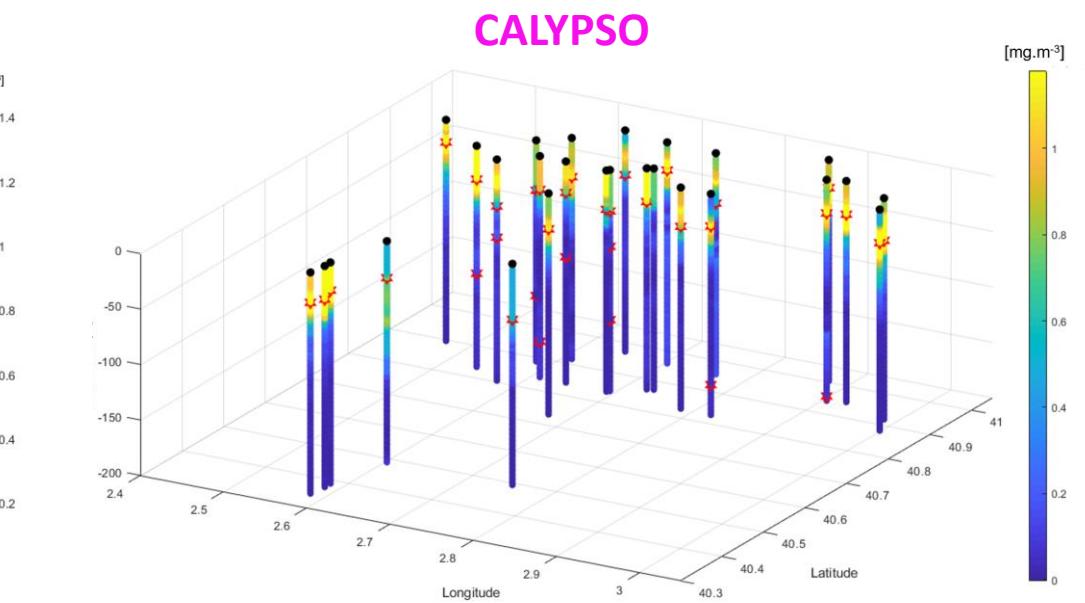
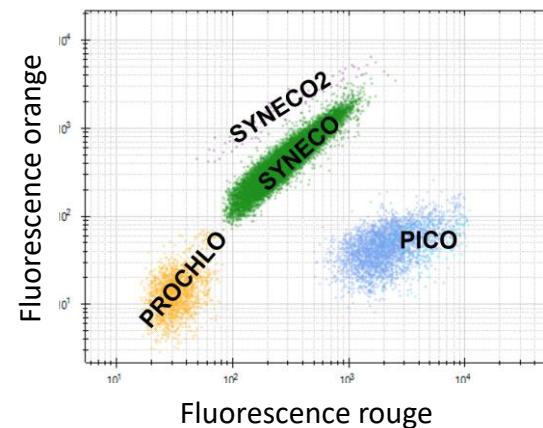
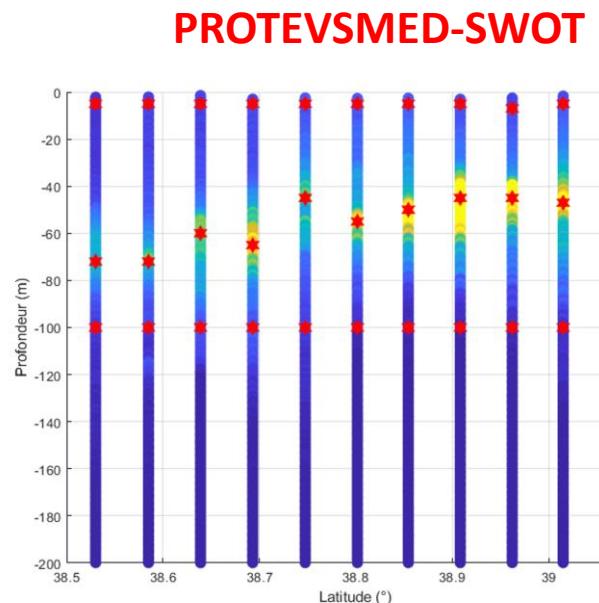
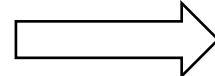
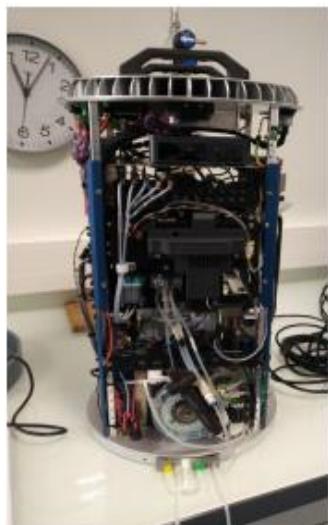


PRÉSENTATION DES CAMPAGNES

❖ Méthodes

Biologie : Identification *in situ* des régions intéressantes d'un point de vue biologique et biogéochimique

★ = Analyses cytométriques

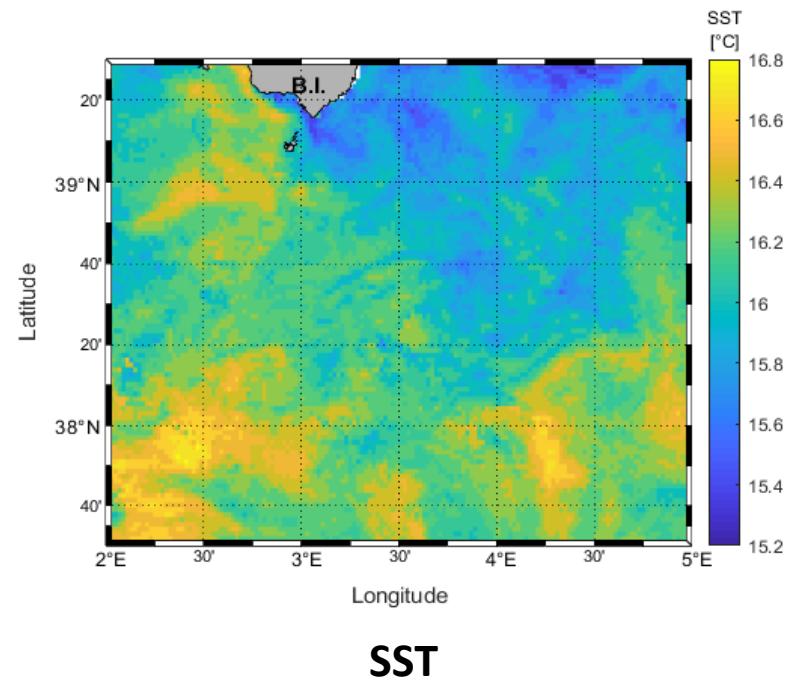
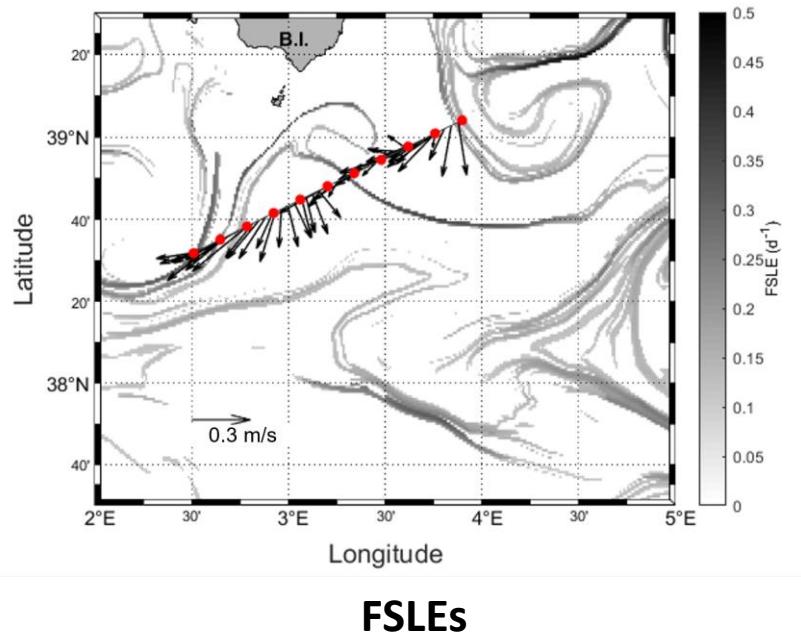


Cytométrie en flux automatisée

RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

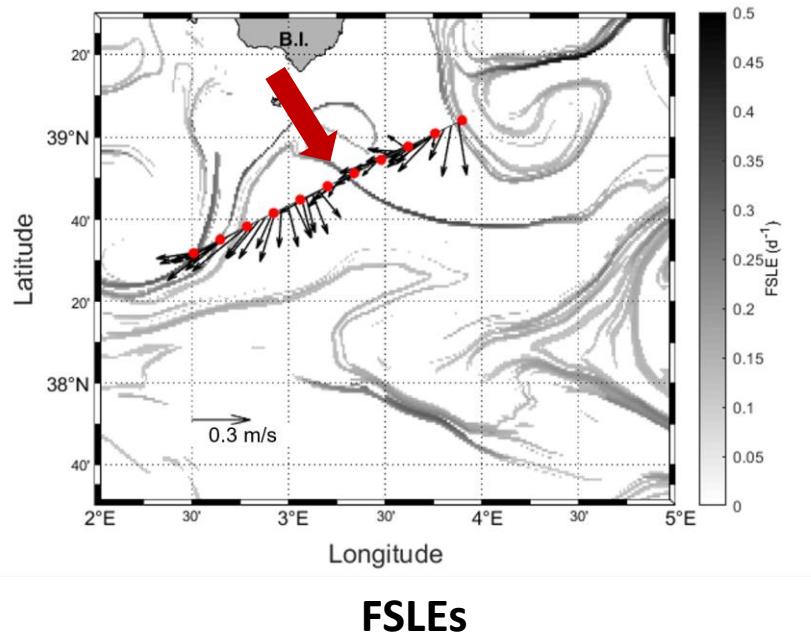
PROTEVS MED-SWOT



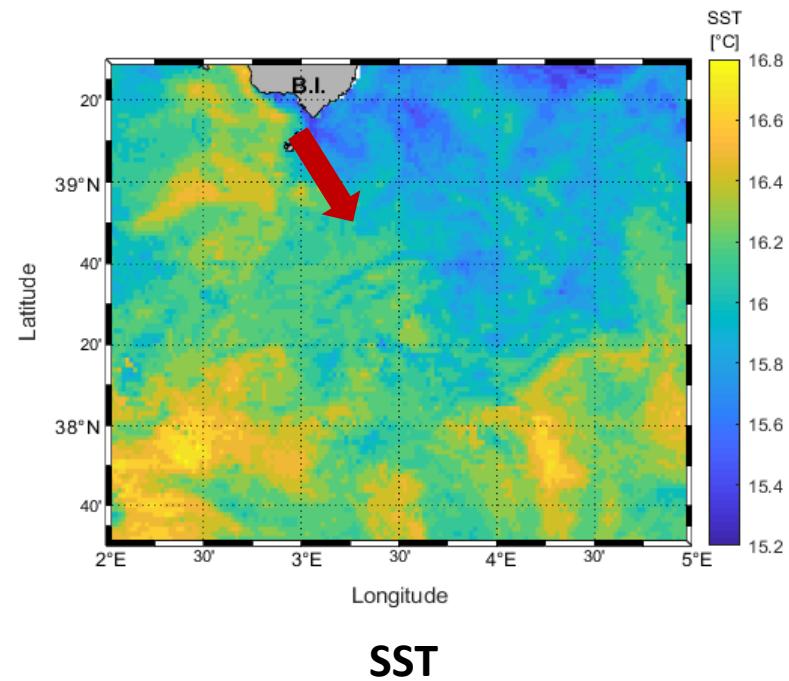
RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

PROTEVS MED-SWOT



FSLEs



SST

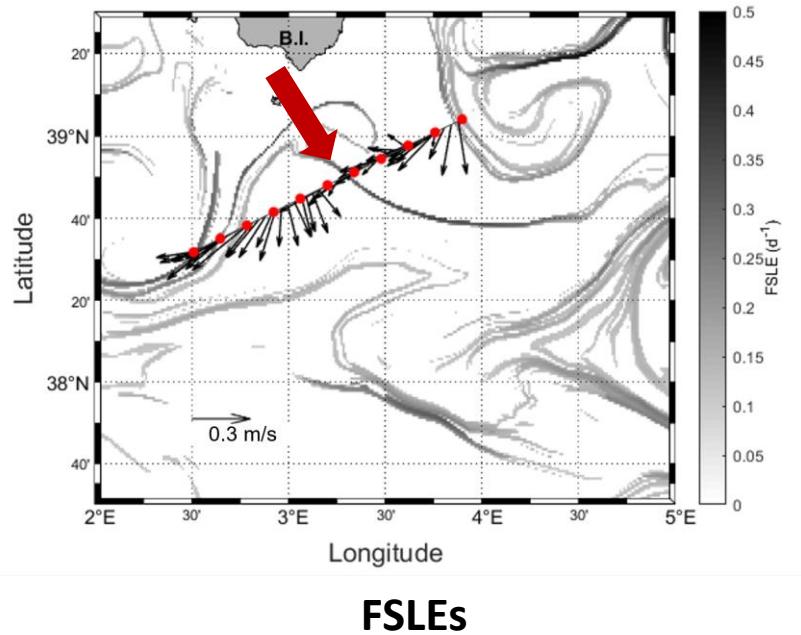
- Fort FSLE
- Changements direction des courants horizontaux
- Transition entre une eau chaude et une eau froide



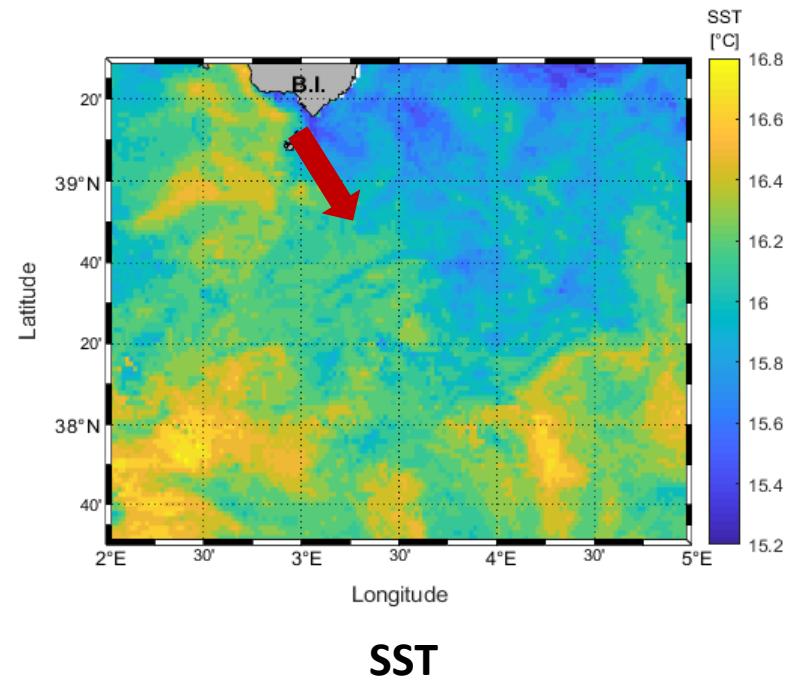
RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

PROTEVS MED-SWOT



FSLEs



SST

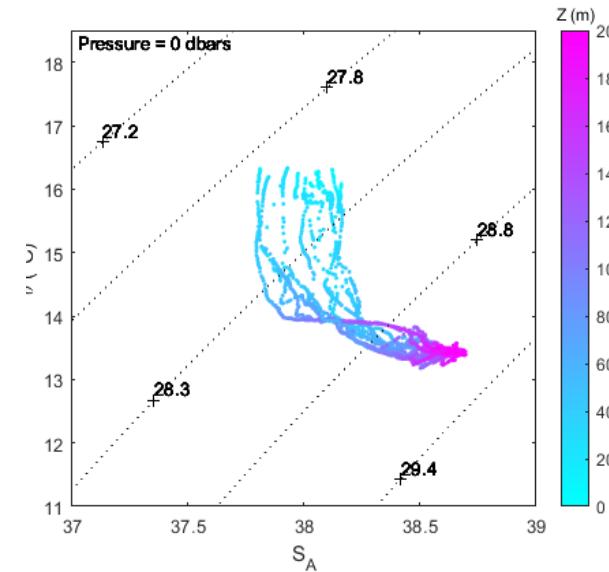
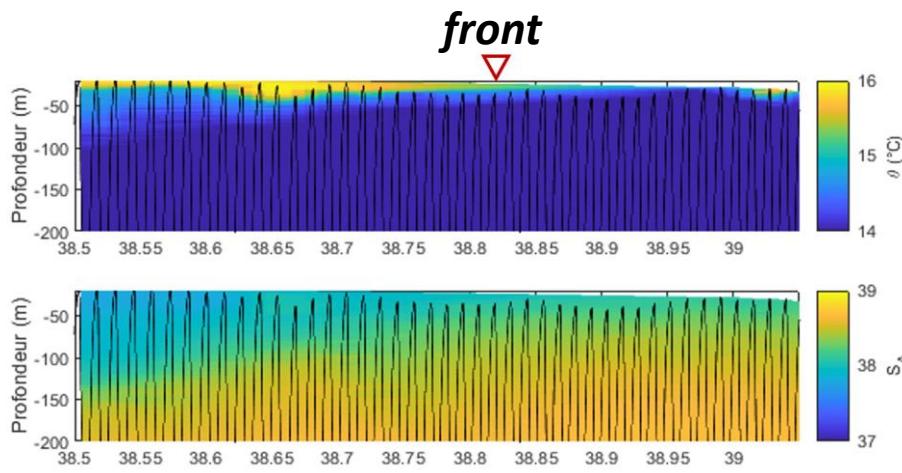
- Fort FSLE
- Changements direction des courants horizontaux
- Transition entre une eau chaude et une eau froide

Identification d'une **structure frontale**
à travers le transect

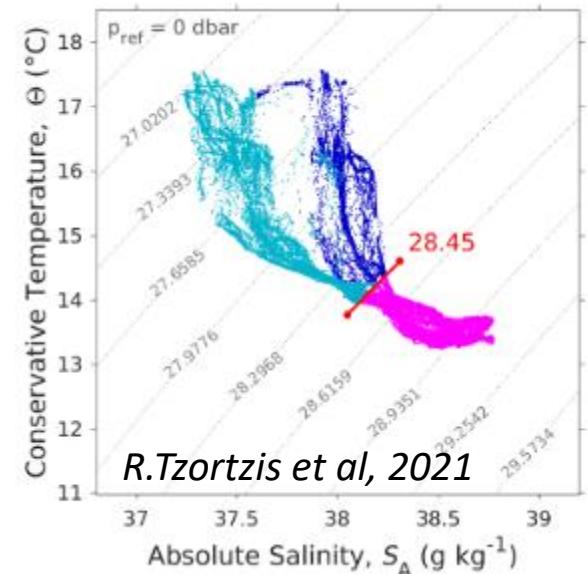
RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

PROTEVS MED-SWOT



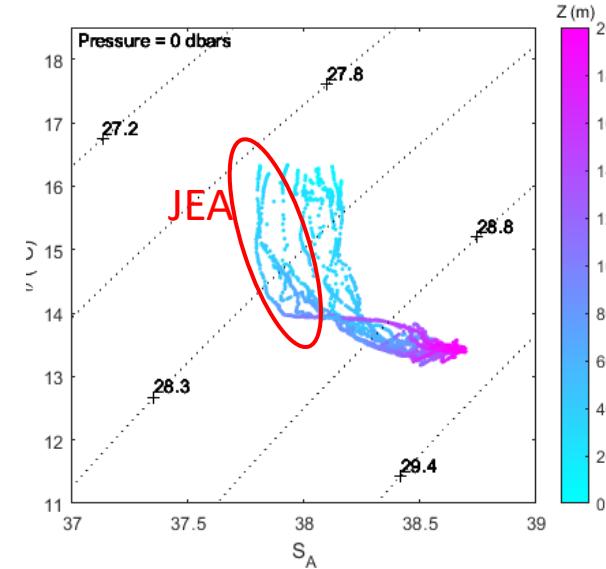
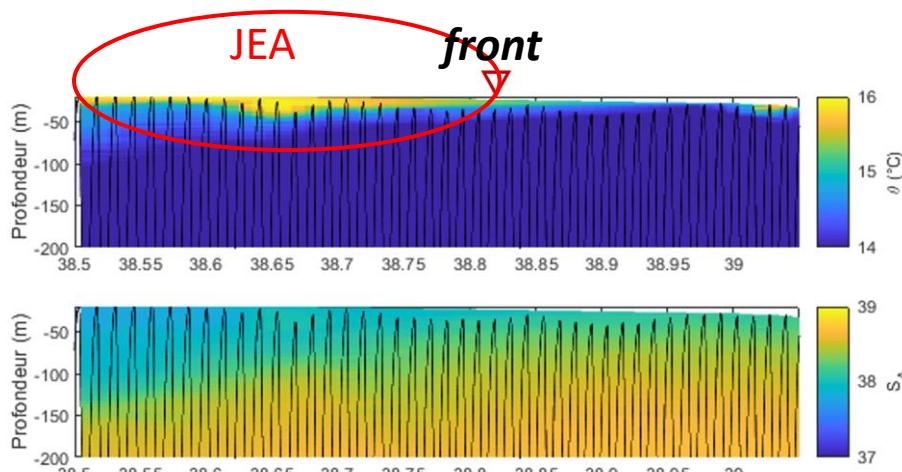
Même observation pour un autre front sud-Baléares



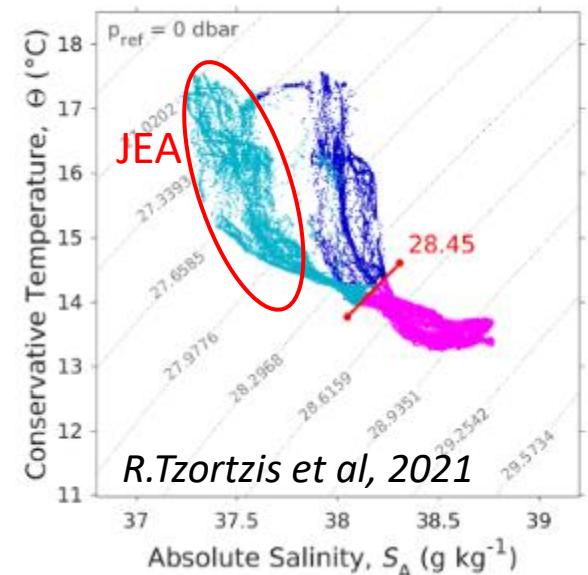
RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

PROTEVS MED-SWOT



Même observation pour un autre front sud-Baléares

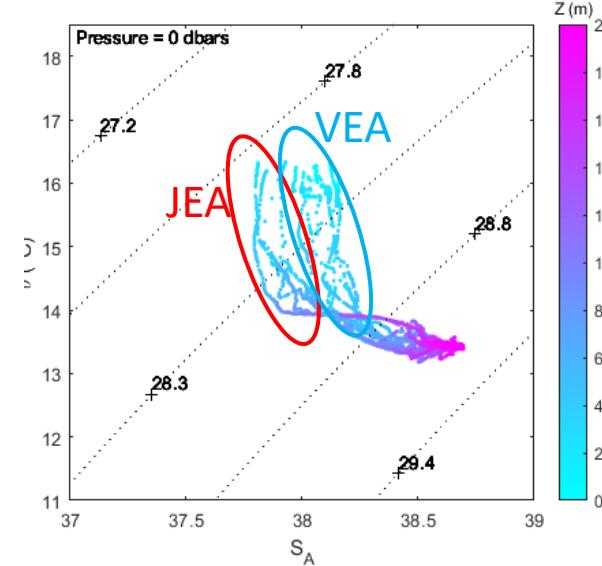
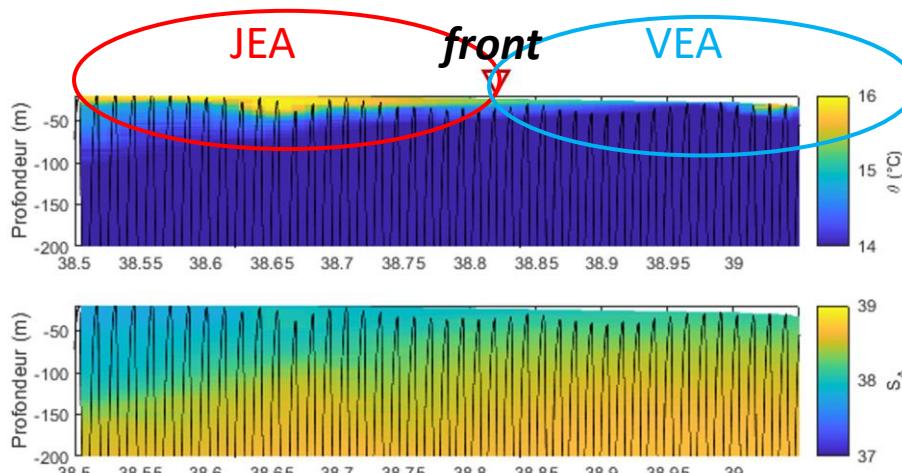


Identification de 2 masses d'eau :
Jeune Eau Atlantique (JEA)

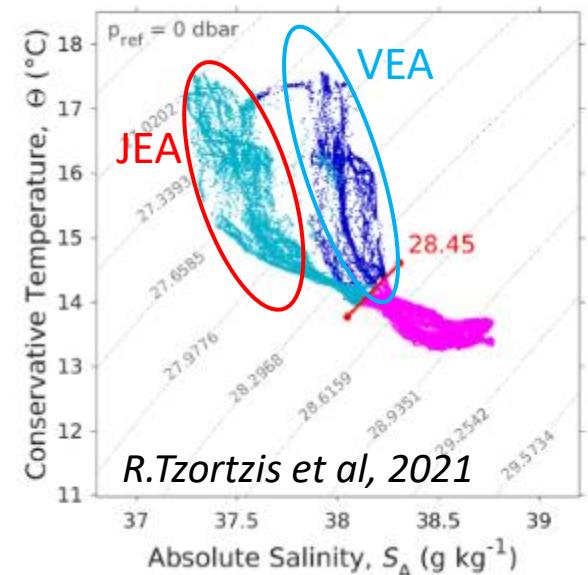
RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

PROTEVS MED-SWOT



Même observation pour un autre front sud-Baléares

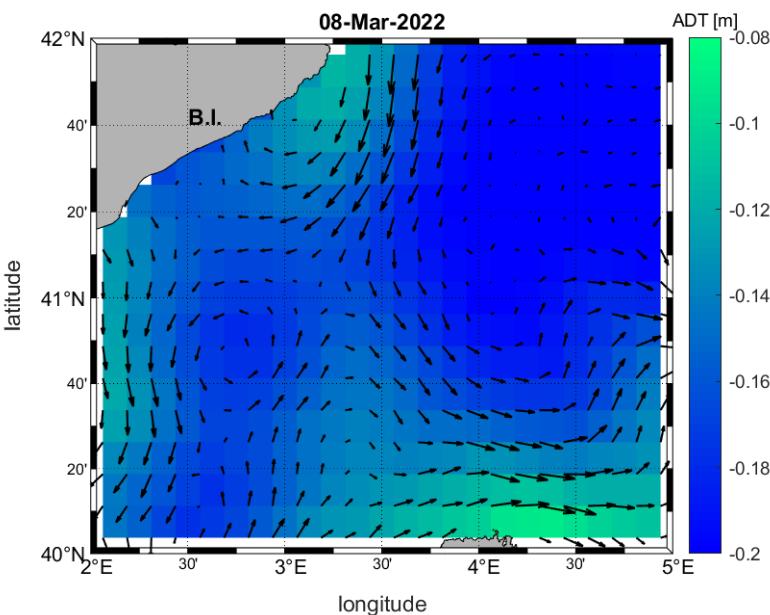


Identification de 2 masses d'eau :
Jeune Eau Atlantique (**JEA**)
Vieille Eau Atlantique (**VEA**)

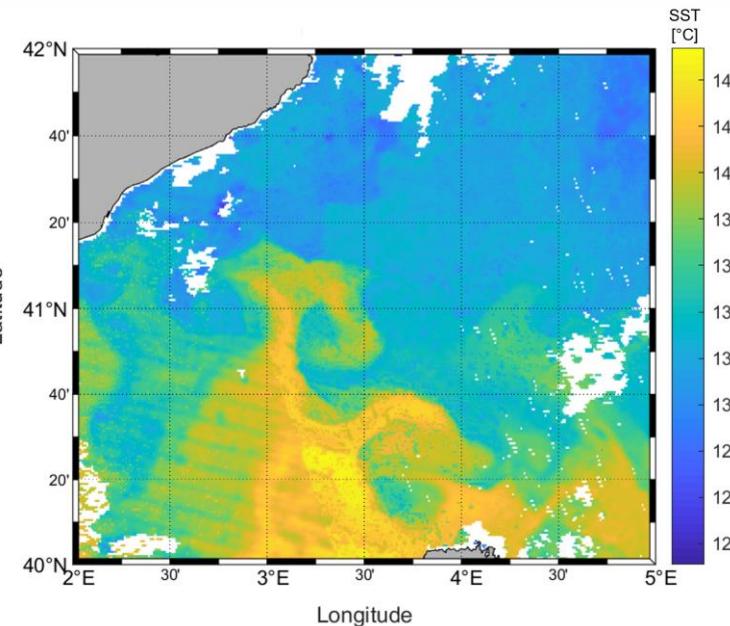
RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

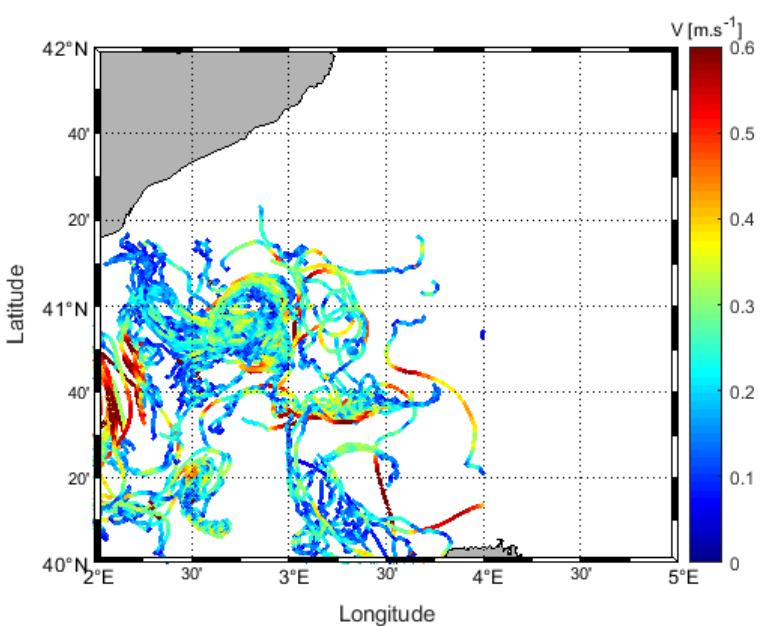
CALYPSO



Vitesse horizontale (AVISO)



SST

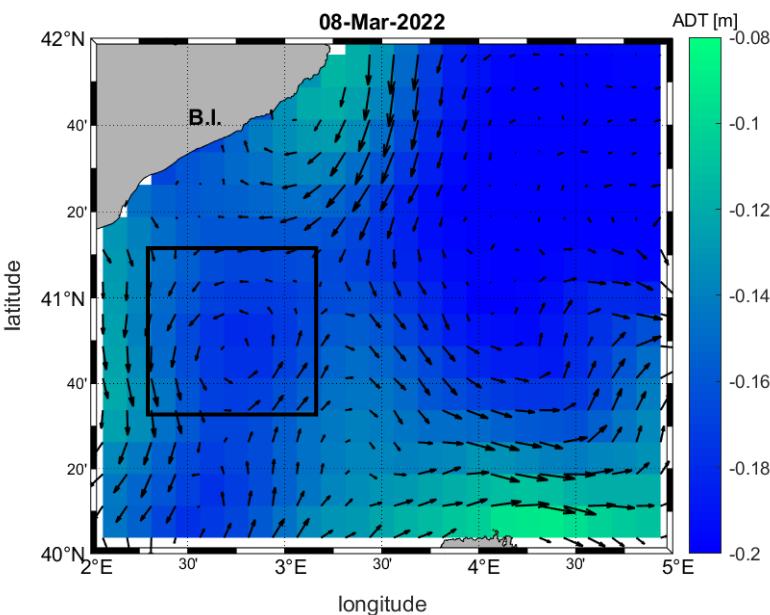


Trajectoire bouées dérivantes

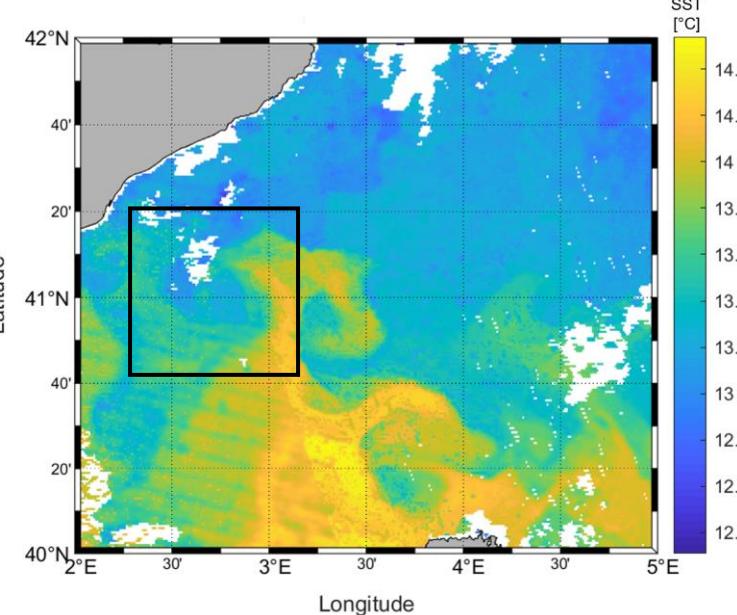
RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

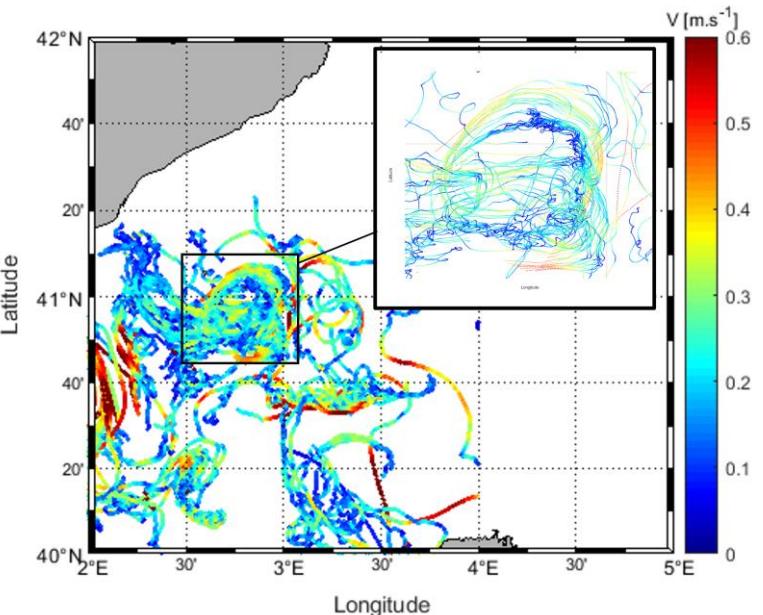
CALYPSO



Vitesse horizontale (AVISO)



SST



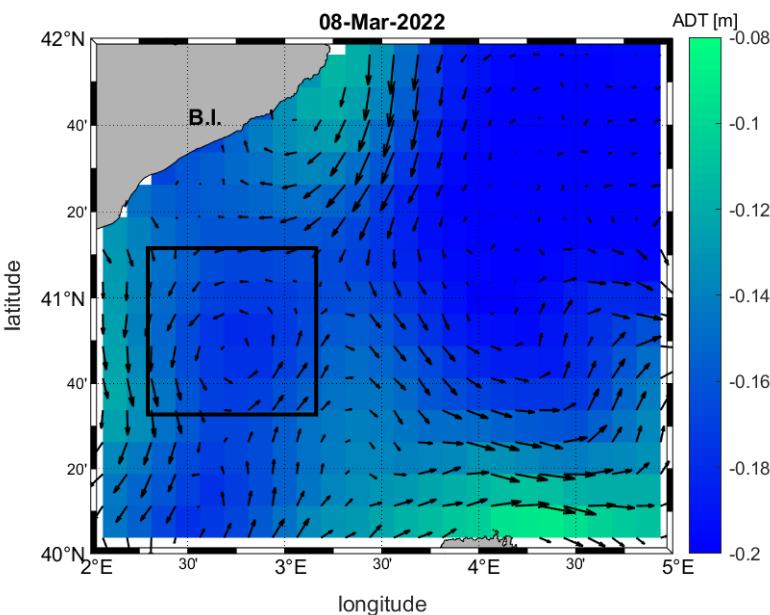
Trajectoire bouées dérivantes

- Présence d'une structure cyclonique entre le 28 février et le 12 mars
- Apport d'eau chaude venant du sud par filament

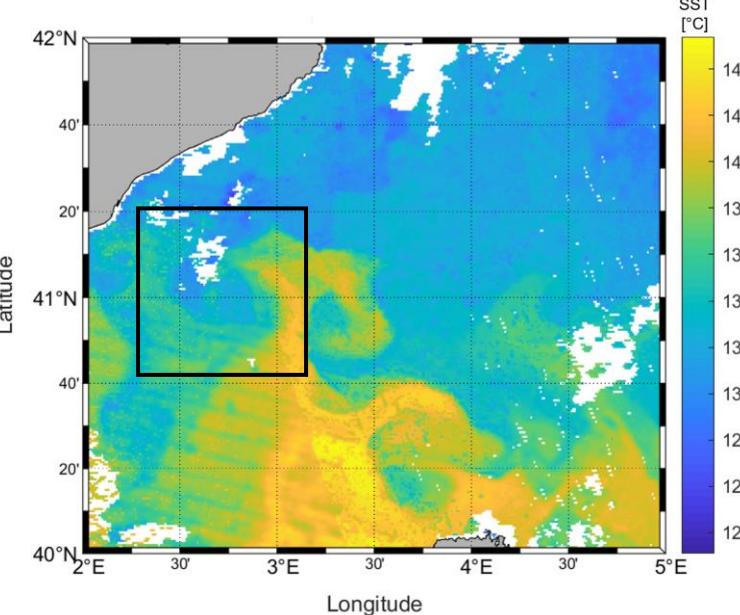
RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

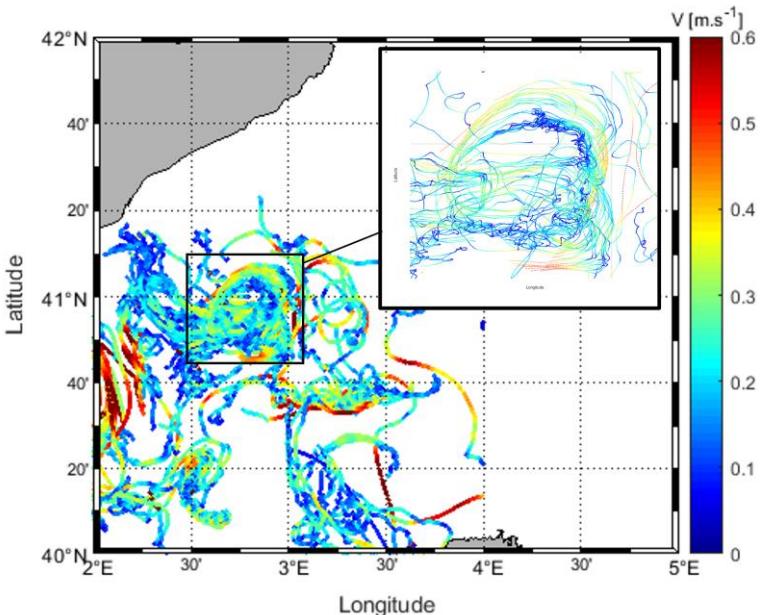
CALYPSO



Vitesse horizontale (AVISO)



SST



Trajectoire bouées dérivantes

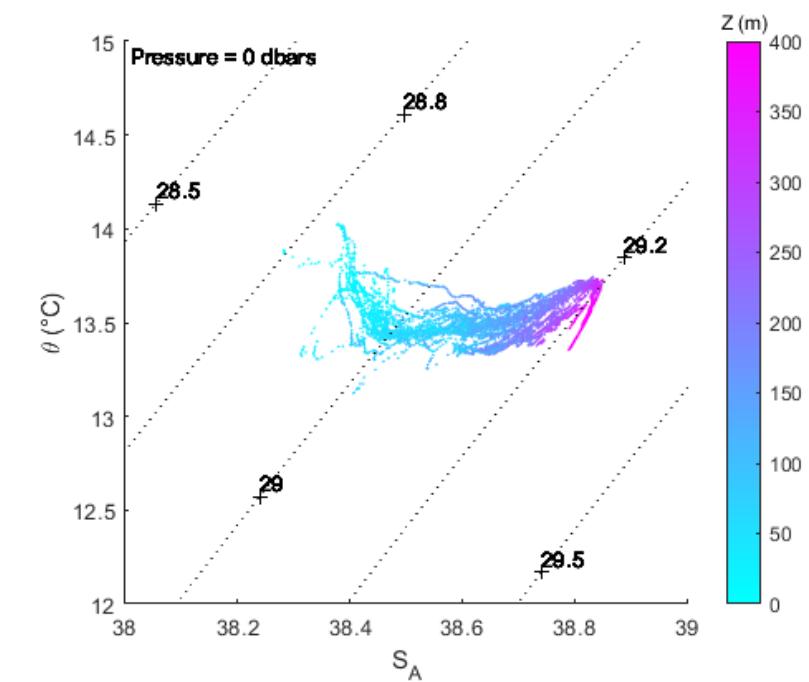
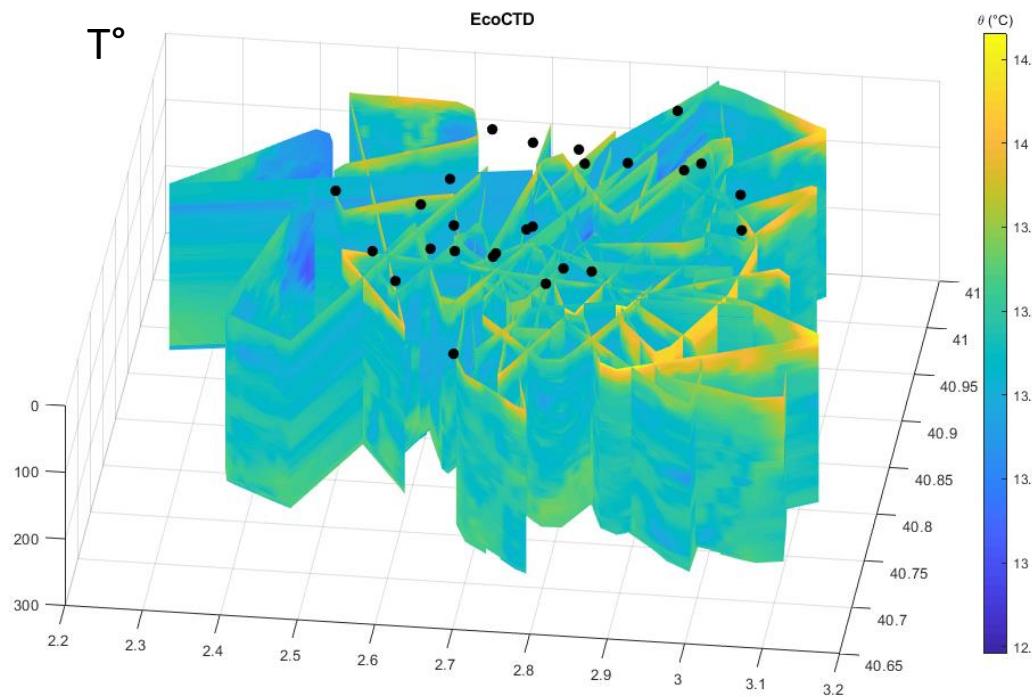
- Présence d'une structure cyclonique entre le 28 février et le 12 mars
- Apport d'eau chaude venant du sud par filament

Identification d'une structure tourbillonnaire

RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

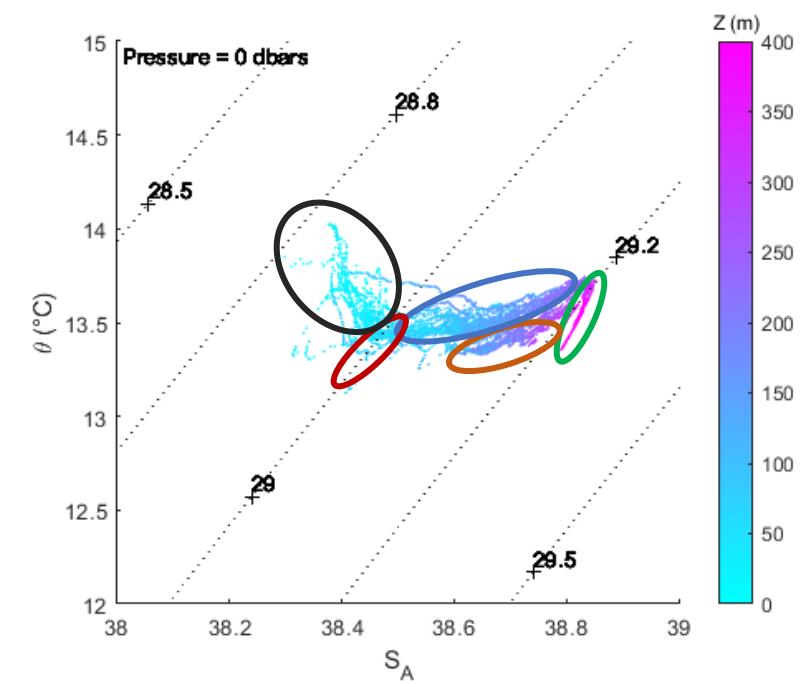
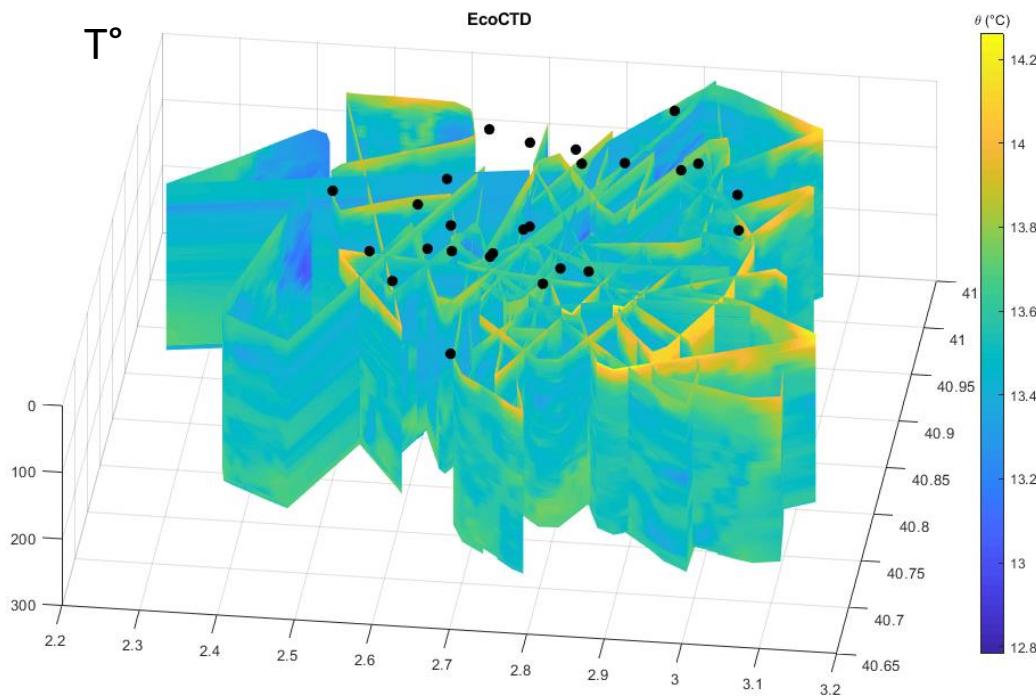
CALYPSO



RESULTATS/DISCUSSION

Structures physiques

CALYPSO



Région contrastée : rencontre de plusieurs masses d'eau

RESULTATS/DISCUSSION

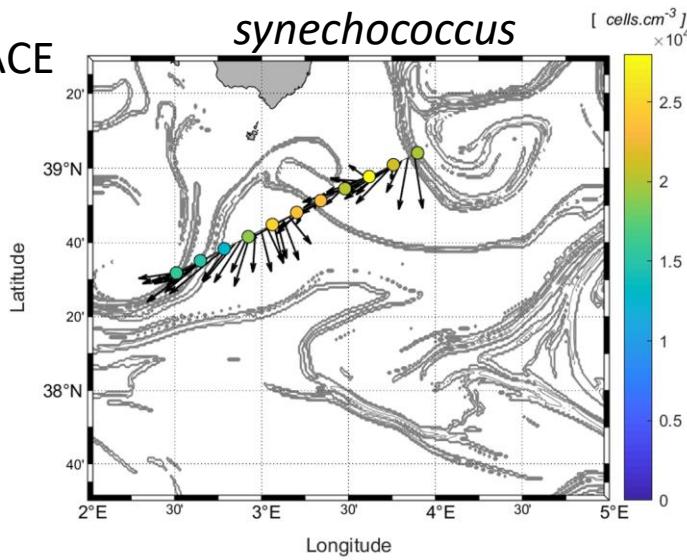
Structures biologiques

HS : High Scatter

PROTEVSMED-SWOT

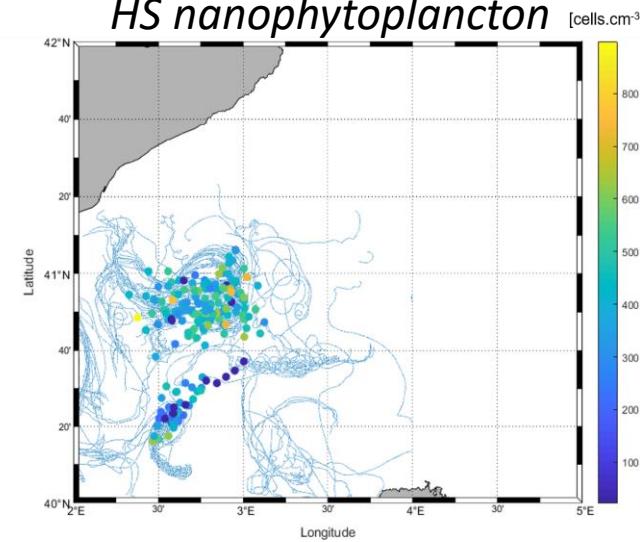
synechococcus

SURFACE



CALYPSO

HS nanophytoplankton



RESULTATS/DISCUSSION

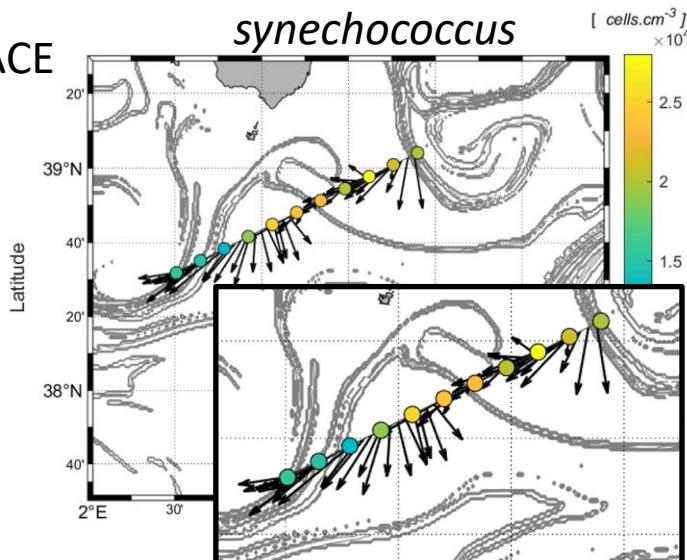
Structures biologiques

HS : High Scatter

PROTEVSMED-SWOT

synechococcus

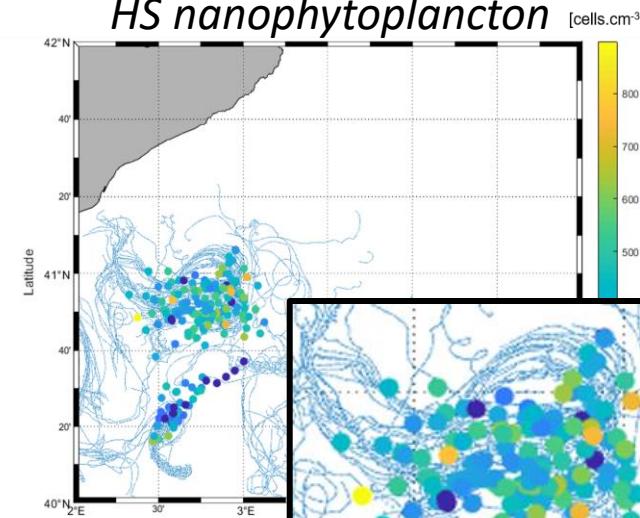
SURFACE



Répartition bimodale

CALYPSO

HS nanophytoplankton



Répartition en mosaïque

RESULTATS/DISCUSSION

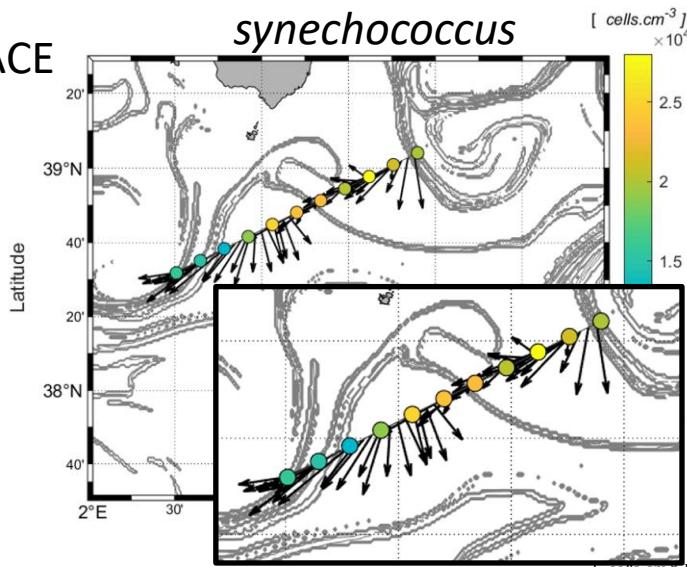
Structures biologiques

HS : High Scatter

PROTEVSMED-SWOT

synechococcus

SURFACE



$\times 10^4$

cells.cm^{-3}

[

]

2.5

2

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

1.5

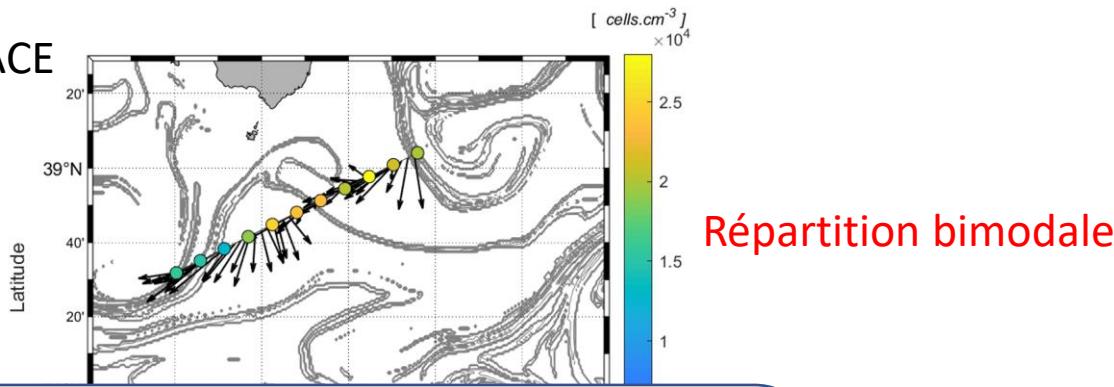
RESULTATS/DISCUSSION

Structures biologiques

HS : High Scatter

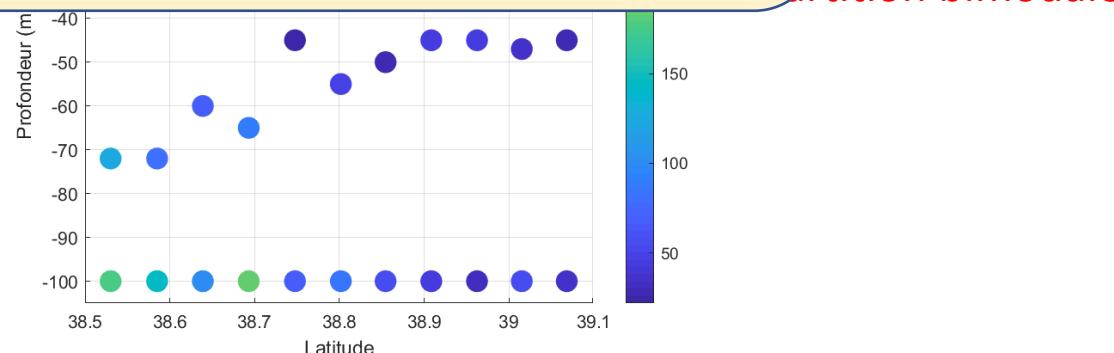
PROTEVSMED-SWOT

SURFACE



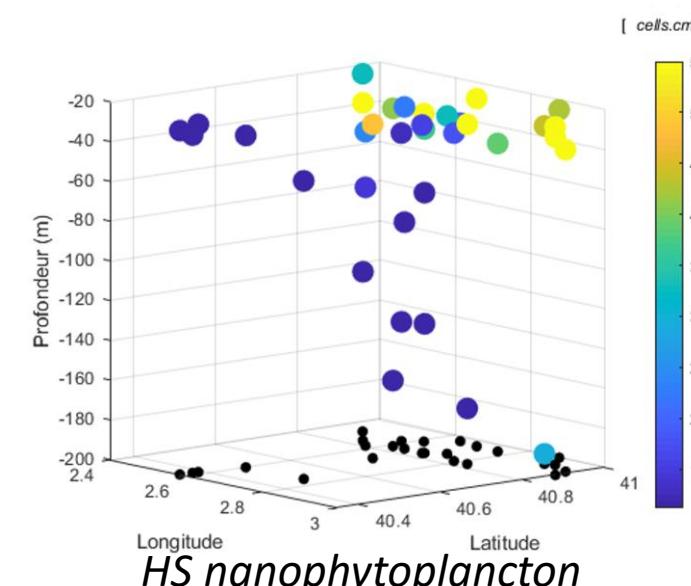
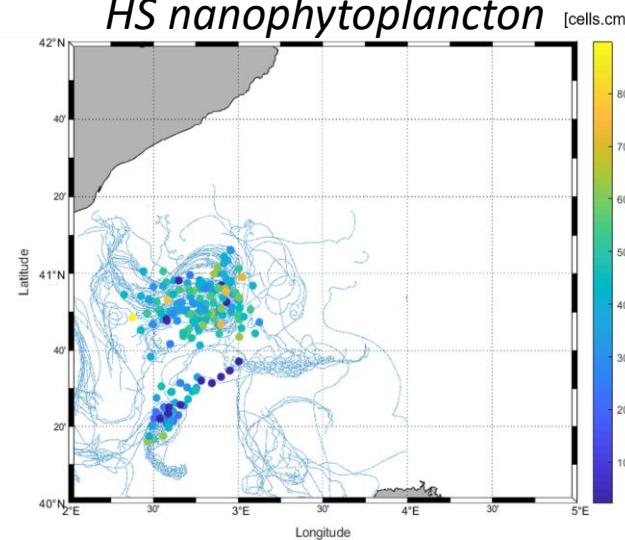
EN PROFONDEUR

Front en séparant 2 masses d'eau au caractéristiques différentes sépare les groupes phytoplanctoniques



CALYPSO

HS nanophytoplankton



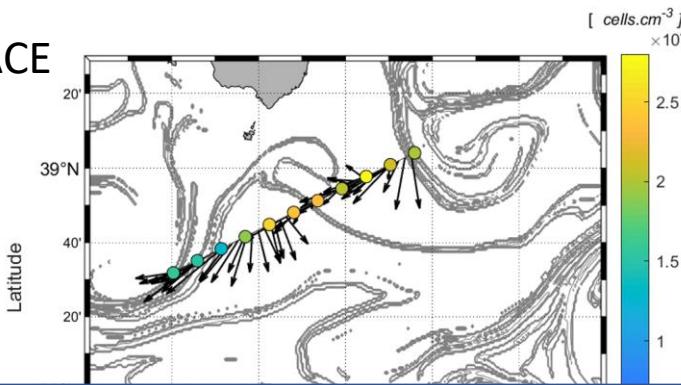
RESULTATS/DISCUSSION

Structures biologiques

HS : High Scatter

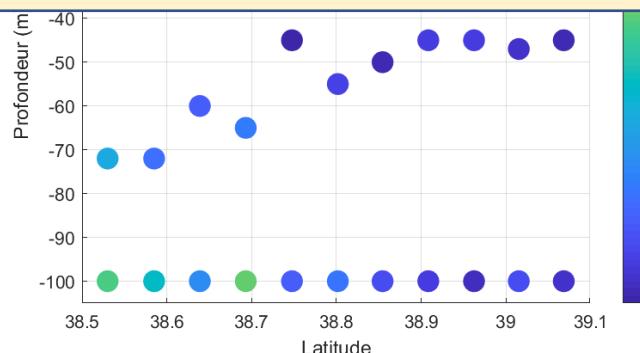
PROTEVSMED-SWOT

SURFACE



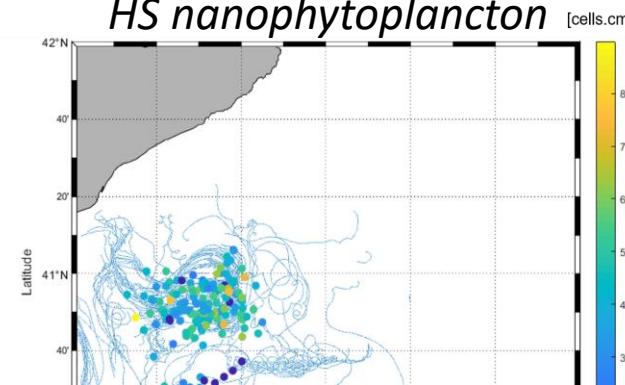
EN PROFONDEUR

Front en séparant 2 masses d'eau au caractéristiques différentes sépare les groupes phytoplanctoniques



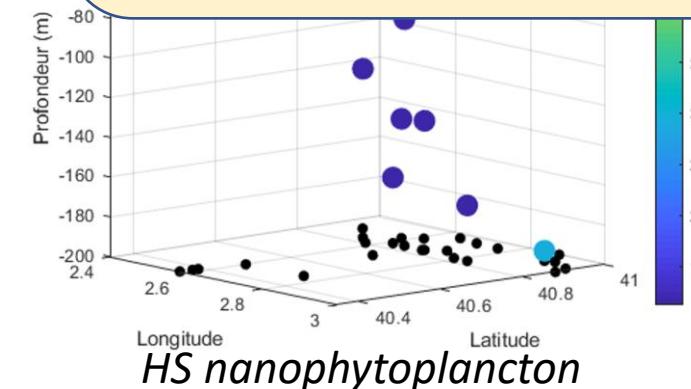
CALYPSO

HS nanophytoplankton



EN PROFONDEUR

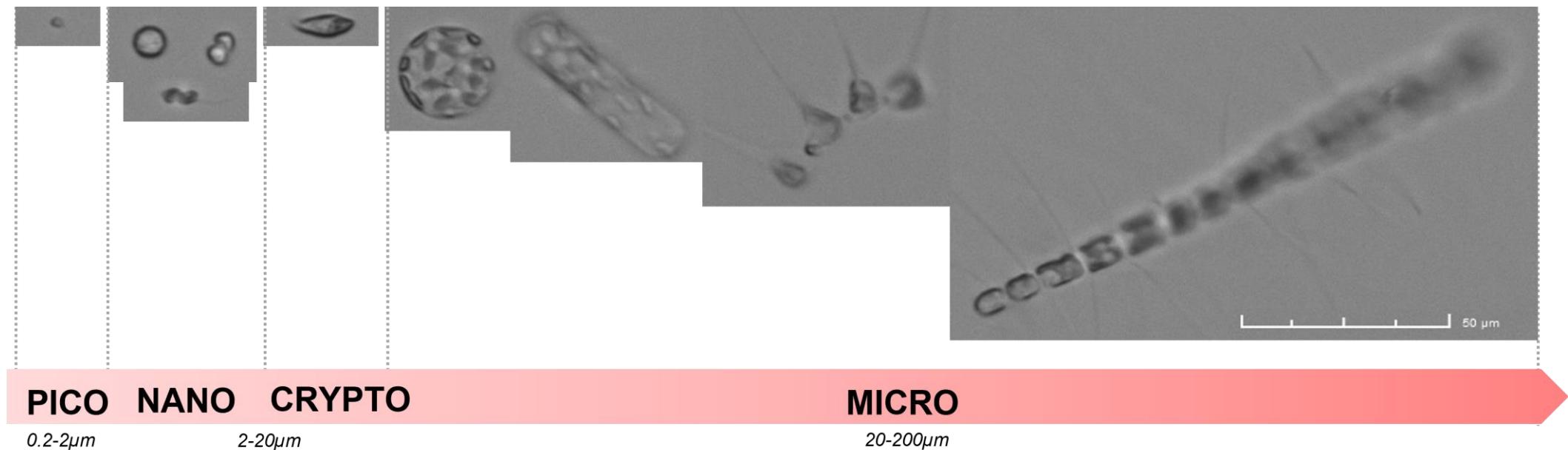
Tourbillon en entraînant différentes masses d'eau entraîne aussi les groupes phytoplanctoniques



RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches
phytoplanctoniques profondes

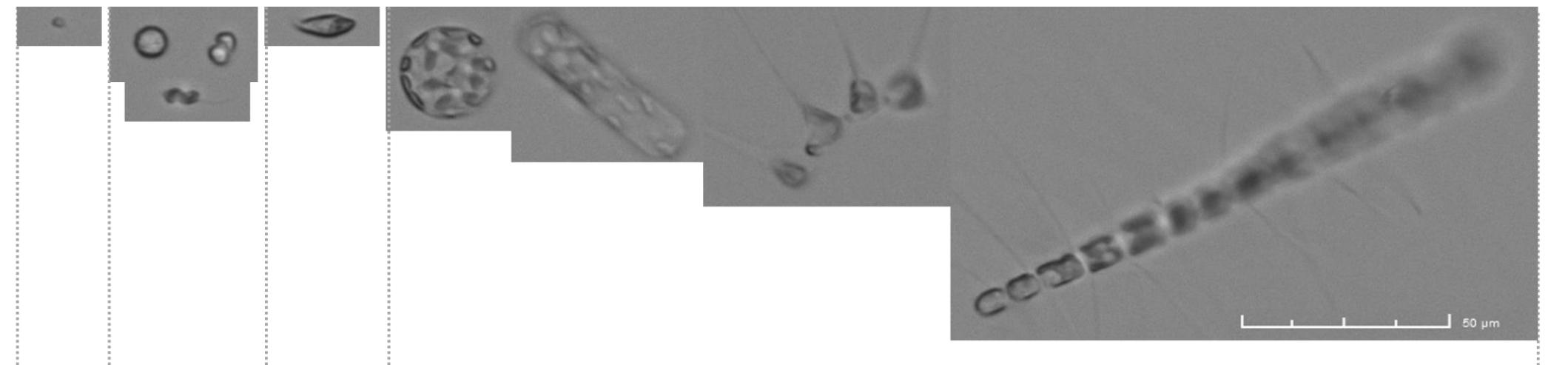
CALYPSO



RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches
phytoplanctoniques profondes

CALYPSO



PICO NANO CRYPTO

$0.2-2\mu m$

$2-20\mu m$

MICRO

$20-200\mu m$

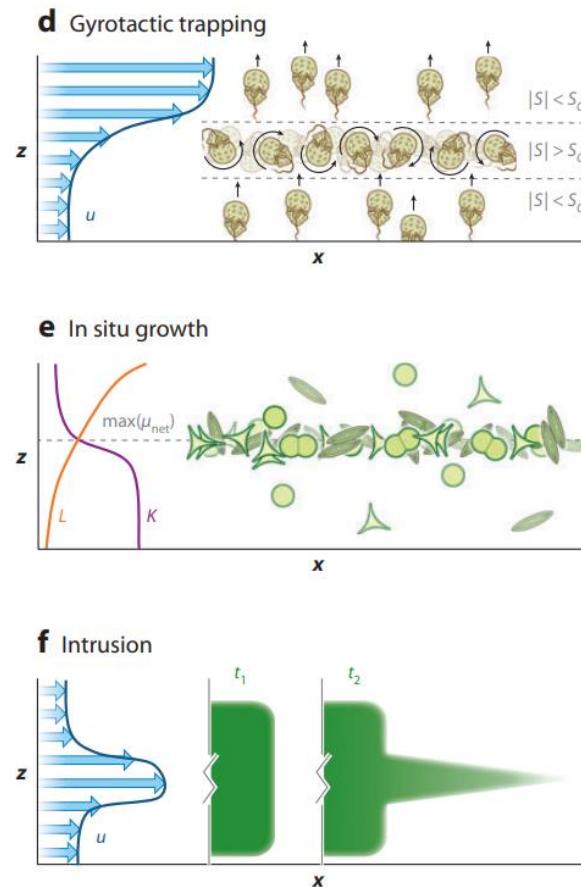
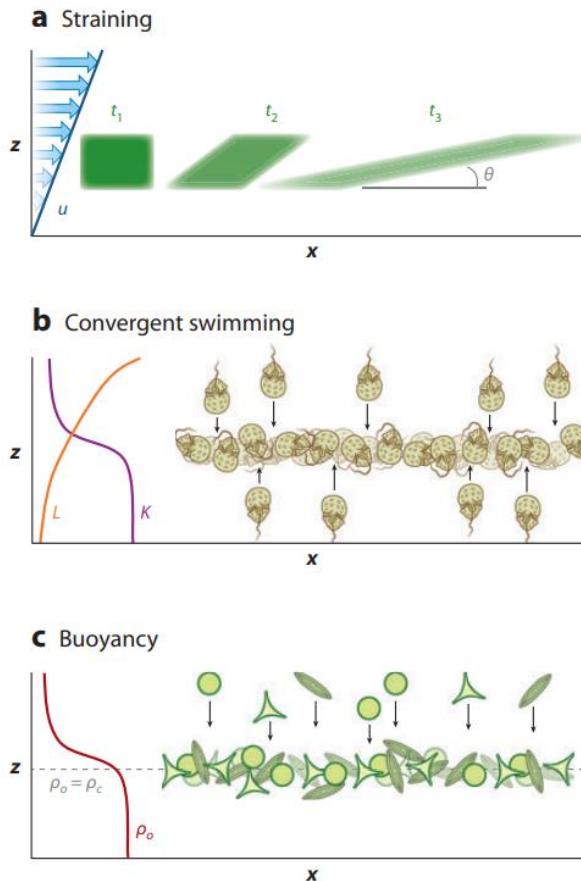
Composition HOMOGENE

Composition HETEROGENE

RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches
phytoplanctoniques profondes

CALYPSO

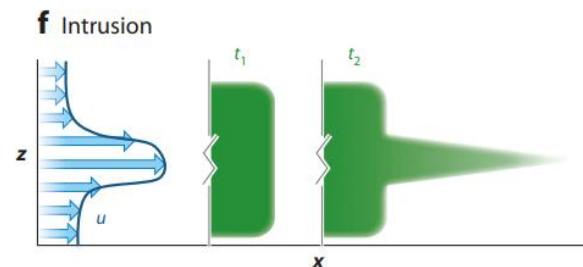
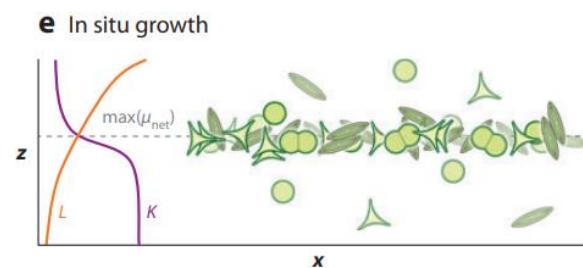
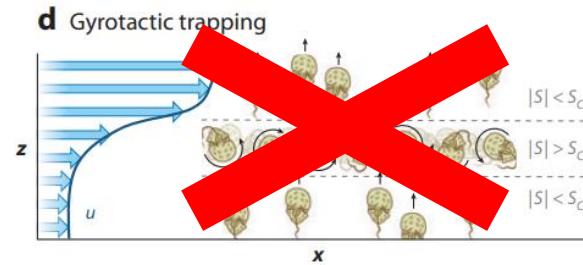
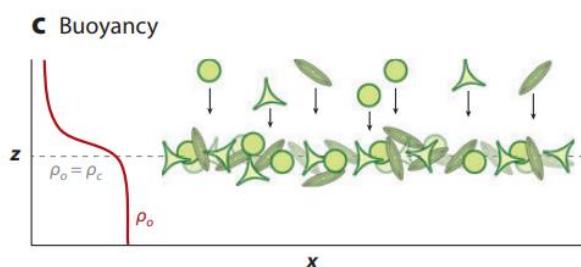
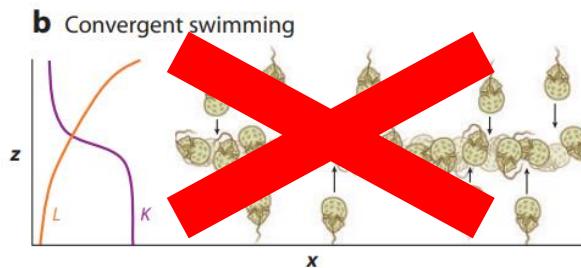
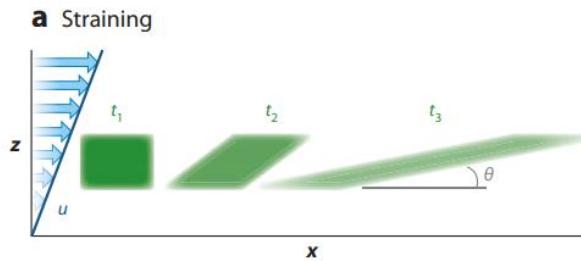


Scénarios hypothétiques basés sur
l'environnement physique et le
comportement des cellules

RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches phytoplanctoniques profondes

CALYPSO

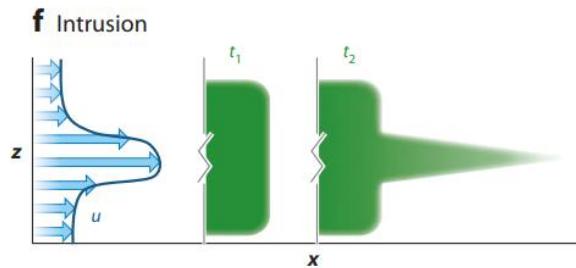
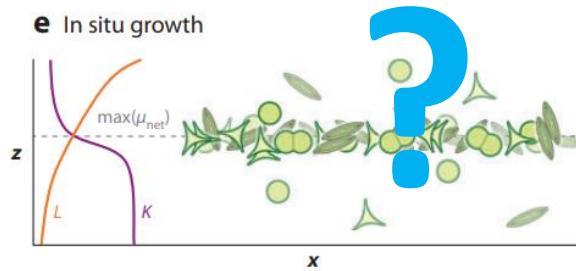
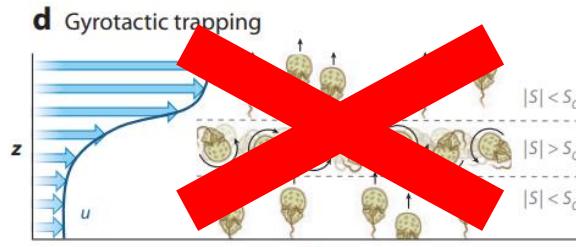
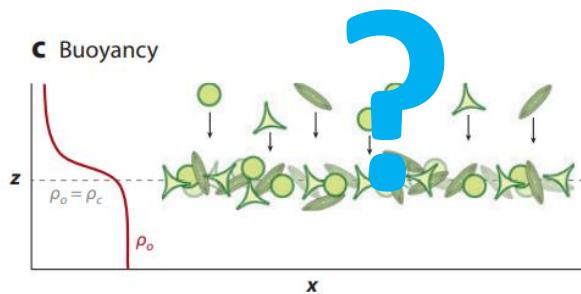
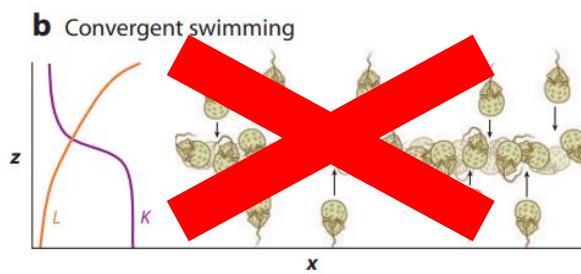
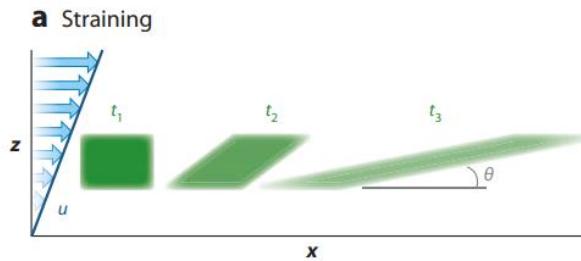


- Pas de cellules possédant d'organes moteurs **X**

RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches phytoplanctoniques profondes

CALYPSO

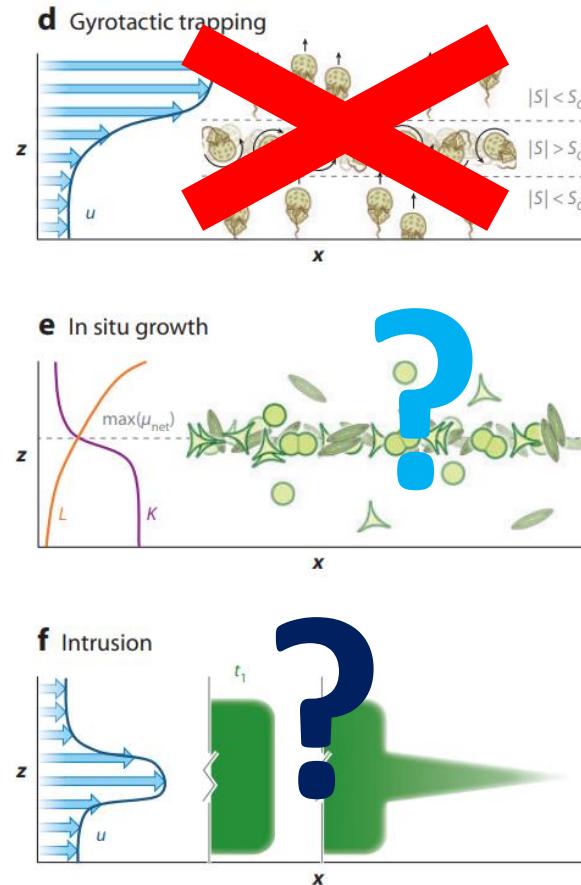
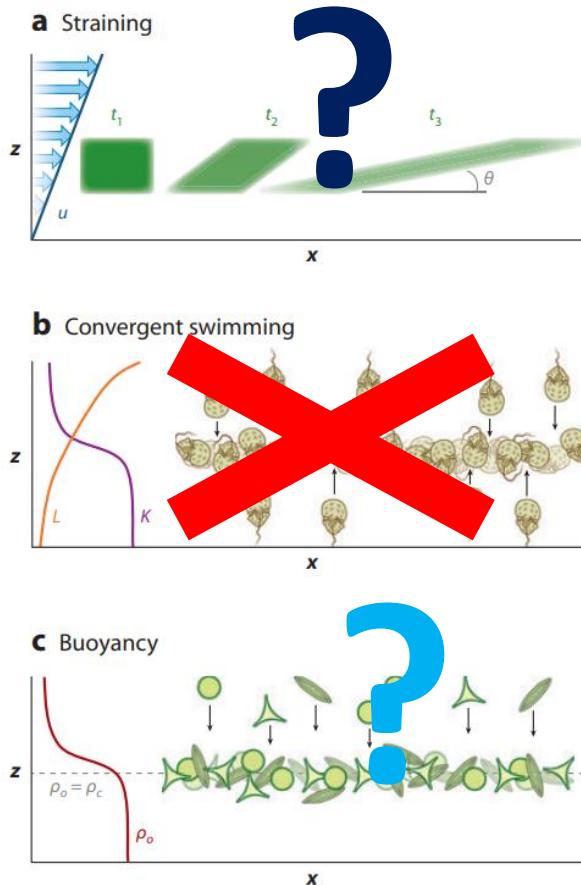


- Pas de cellules possédant d'organes moteurs **X**
- Présence de diatomées : capable d'adapter leur flottabilité ?

RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches phytoplanctoniques profondes

CALYPSO

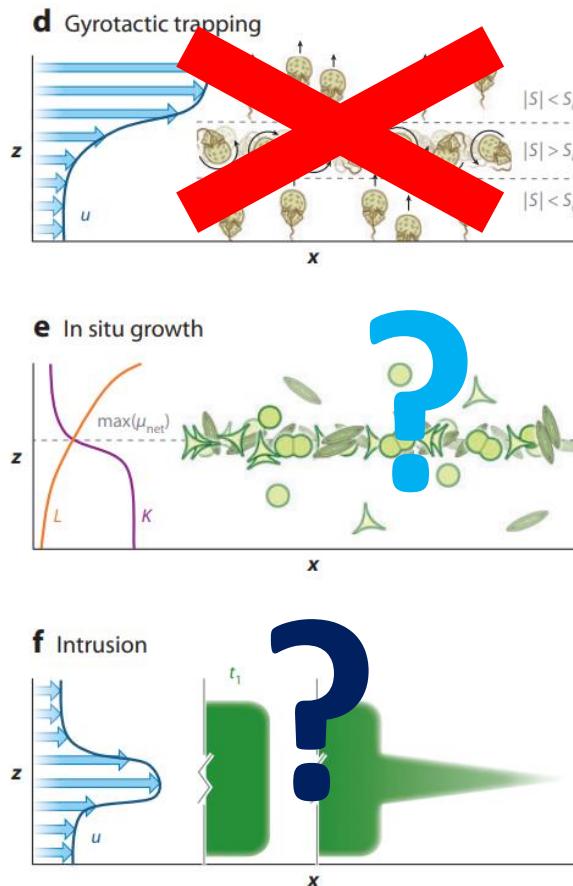
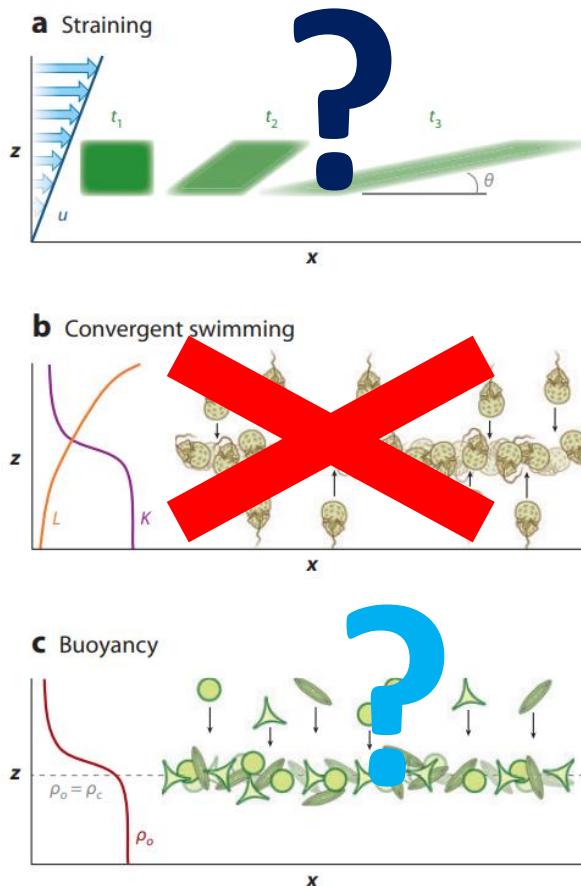


- Pas de cellules possédant d'organes moteurs **X**
- Présence de diatomées : capable d'adapter leur flottabilité ?
- Présence de cellules soumise au mouvement de l'eau ?

RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches phytoplanctoniques profondes

CALYPSO



- Pas de cellules possédant d'organes moteurs **X**
- Présence de diatomées : capable d'adapter leur flottabilité ?
- Présence de cellules soumise au mouvement de l'eau ?

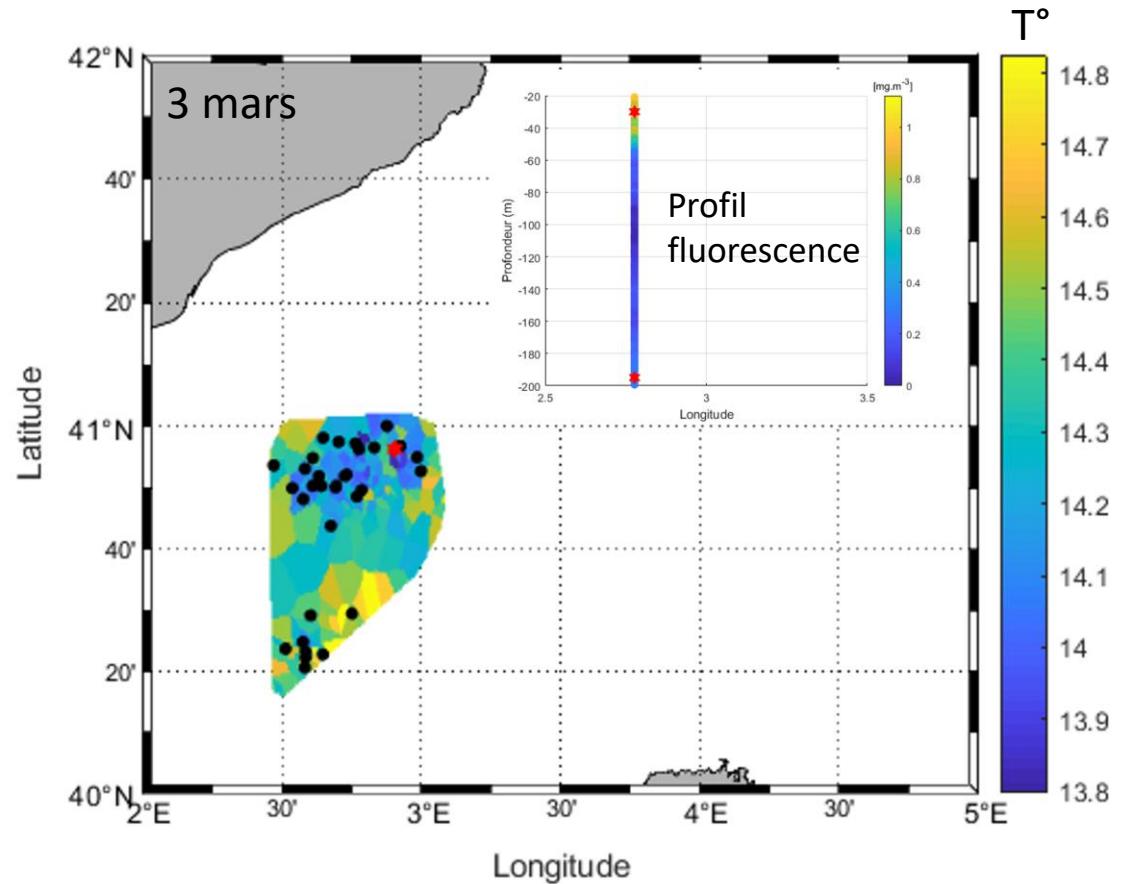
Analyses des conditions physicochimiques pour aller plus loin...

RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches phytoplanctoniques profondes

CALYPSO

Exemple d'une station emblématique

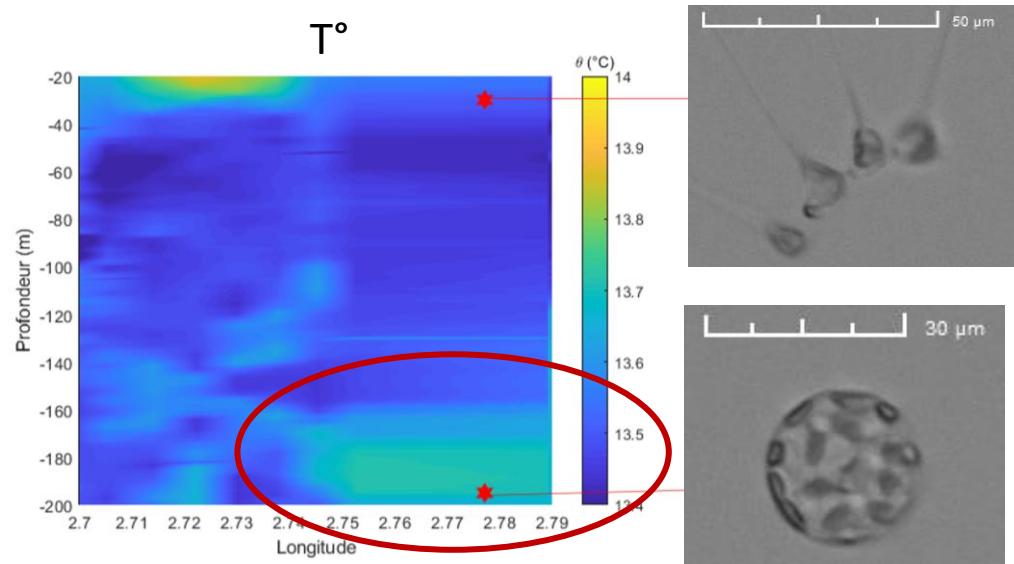


Quel scénario observe t-on ici ?

RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches
phytoplanctoniques profondes

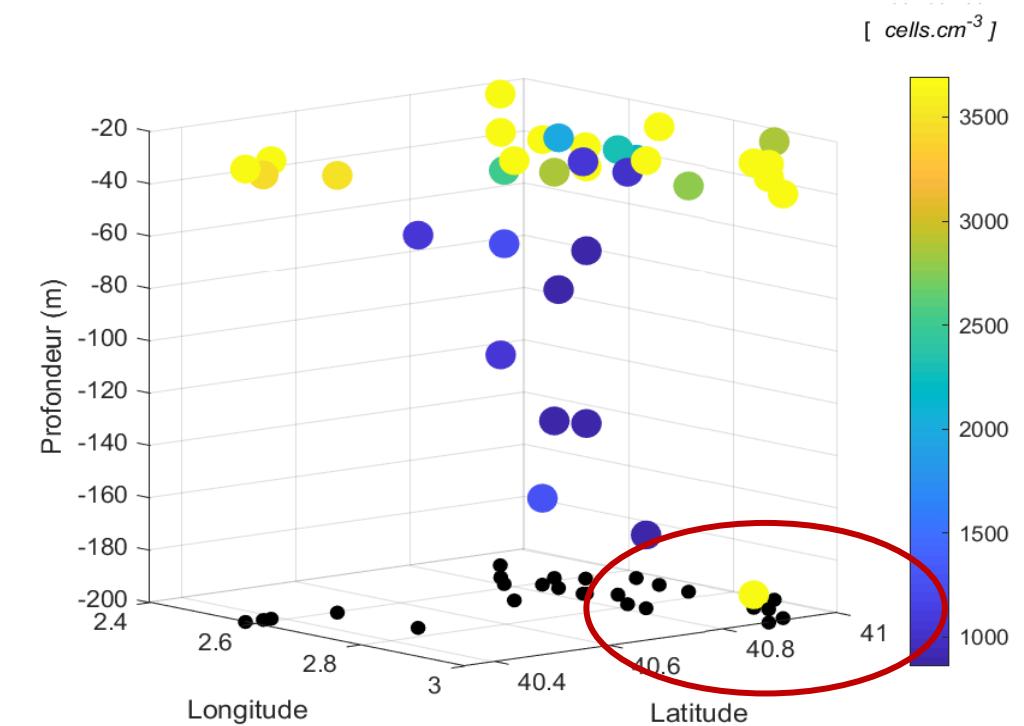
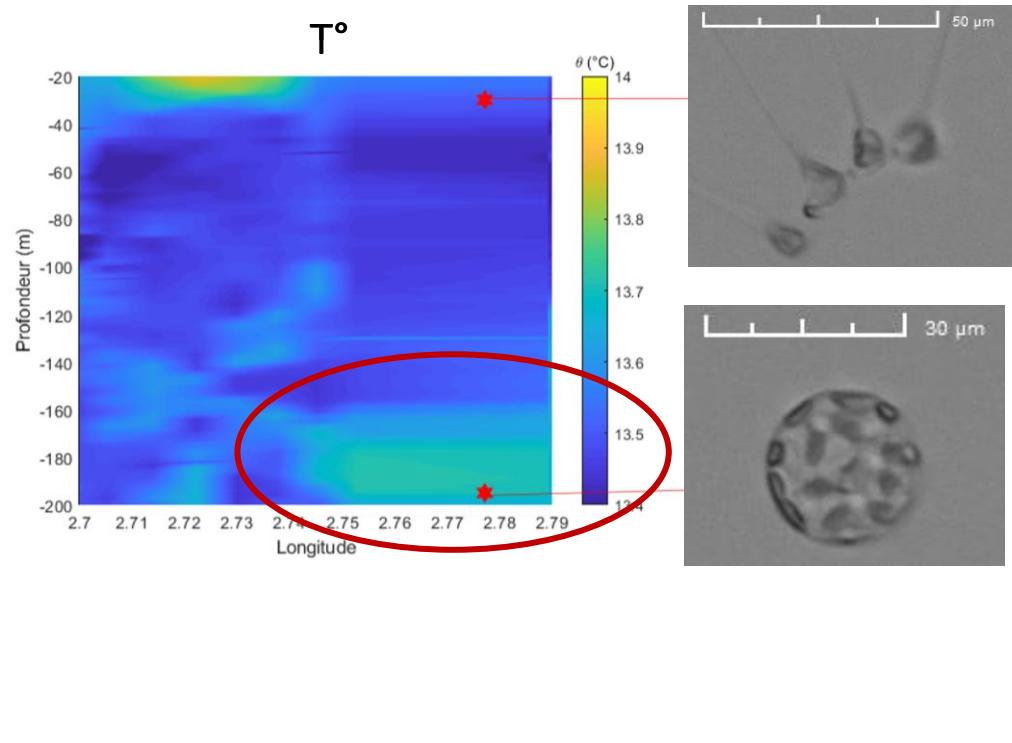
CALYPSO



RESULTATS/DISCUSSION

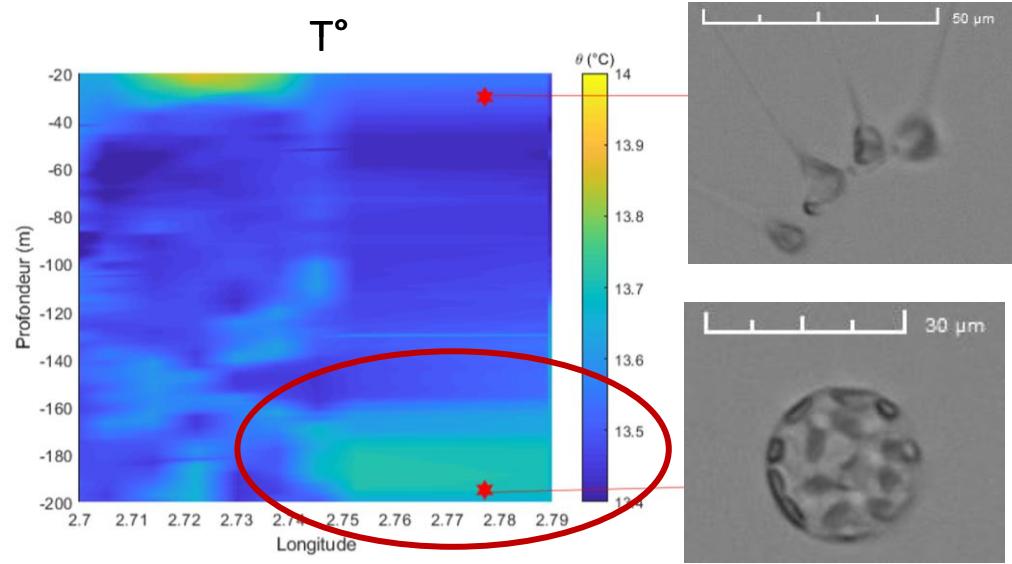
Formation de couches phytoplanctoniques profondes

CALYPSO



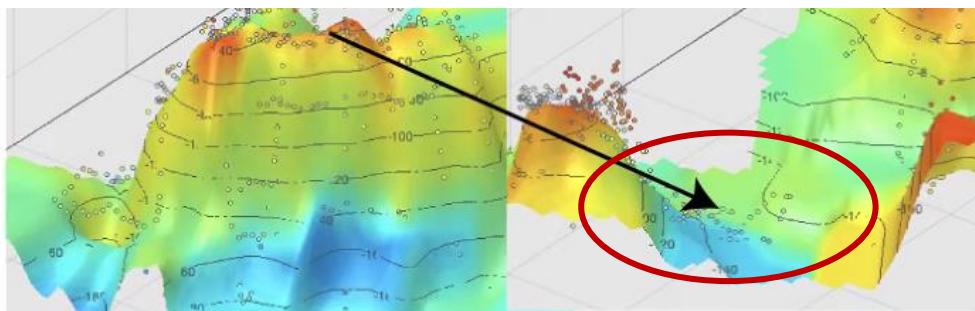
RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches phytoplanctoniques profondes

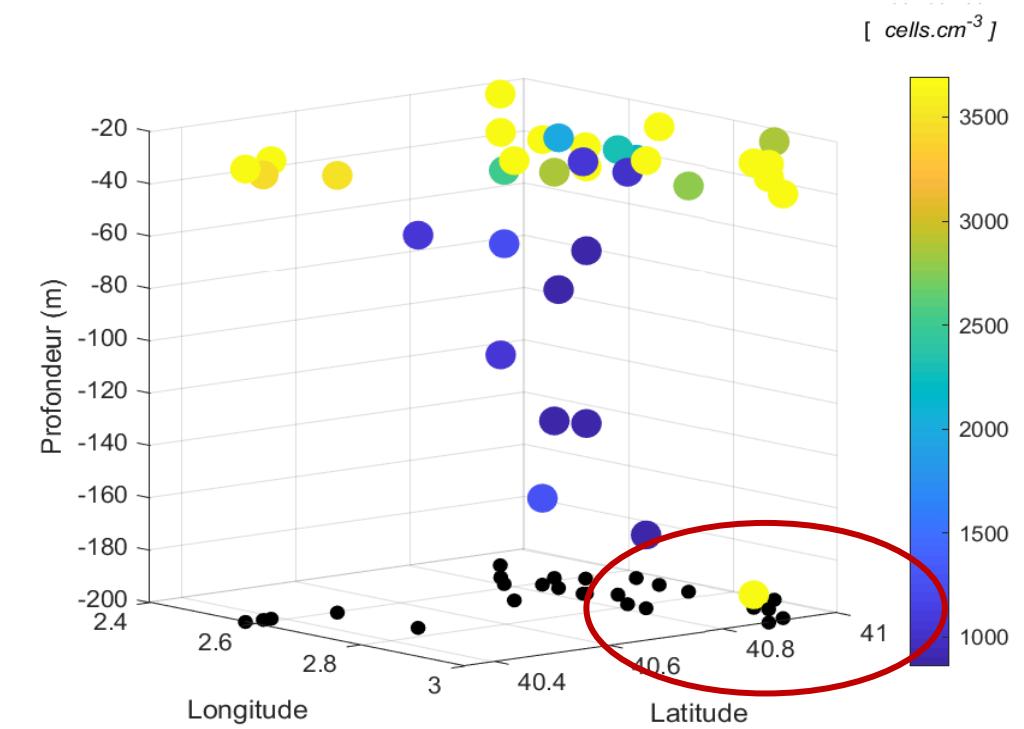


CALYPSO

Transport vertical associé



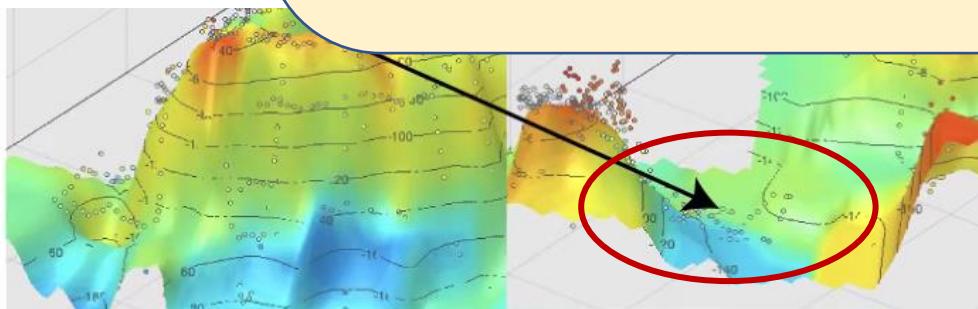
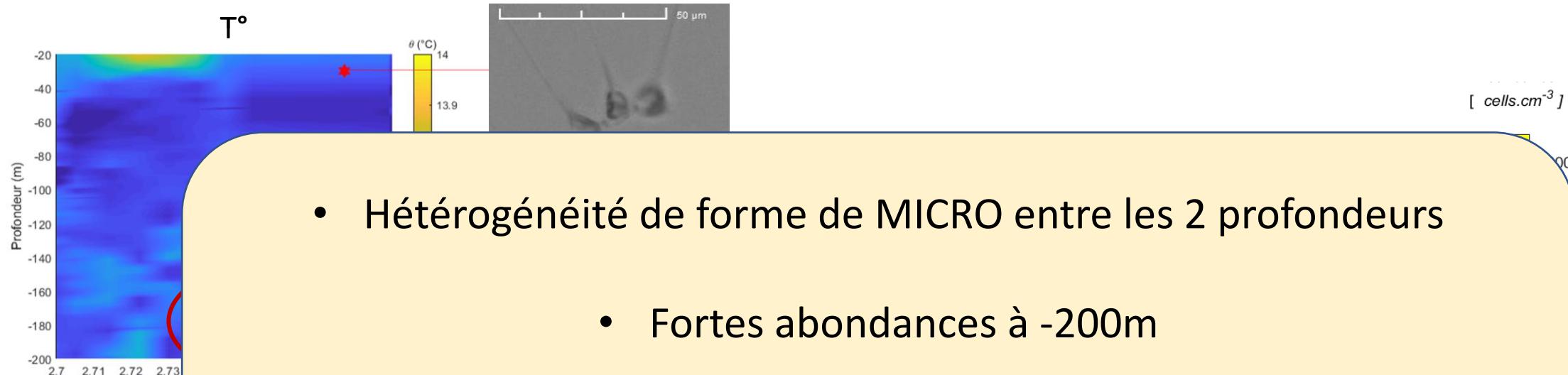
Subduction O2 (E. d'Asaro, Comm. pers.)



RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches phytoplanctoniques profondes

CALYPSO

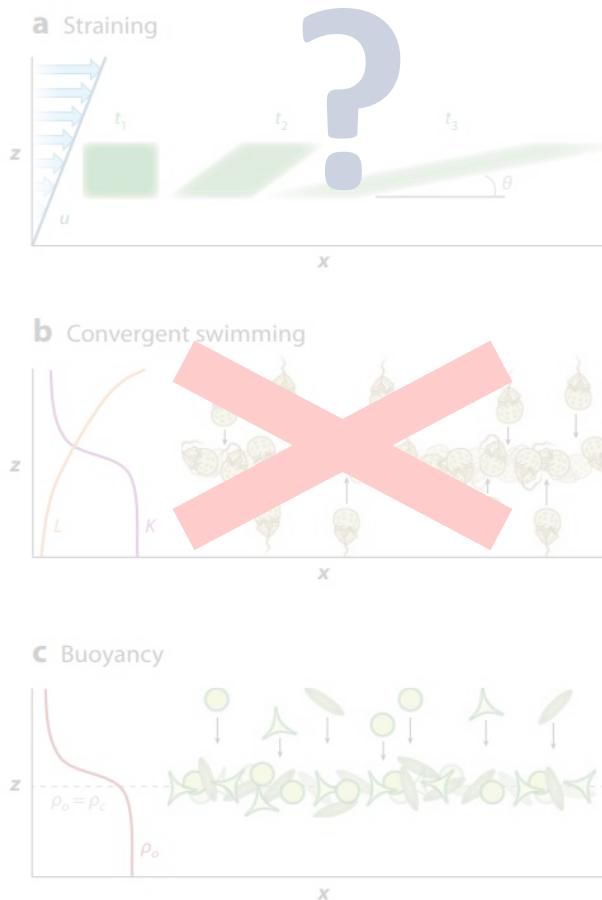


Subduction O₂ (E. d'Asaro, Comm. pers.)

RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches
phytoplanctoniques profondes

CALYPSO

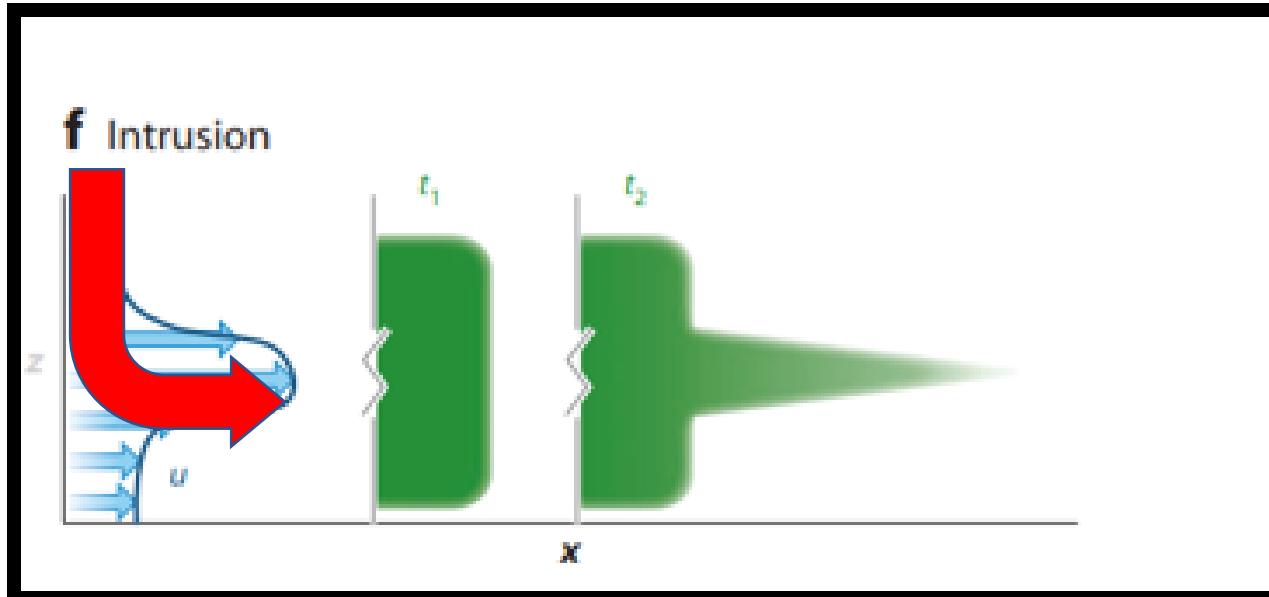


RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches
phytoplanctoniques profondes

CALYPSO

Modification du schéma d'intrusion :



**Intégration de la composante
verticale de la circulation**

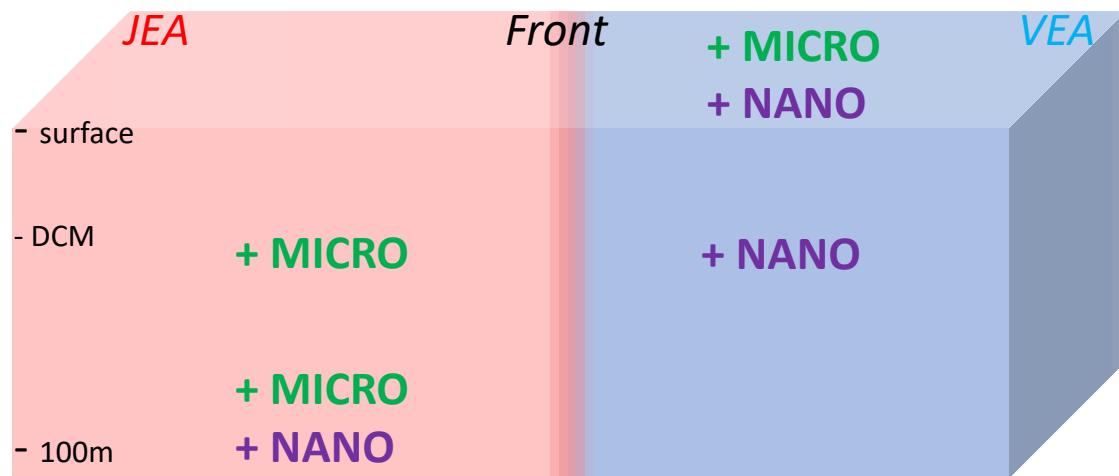
CONCLUSION

**Le type de structure physique influence la distribution 3D
des organismes phytoplanctoniques**

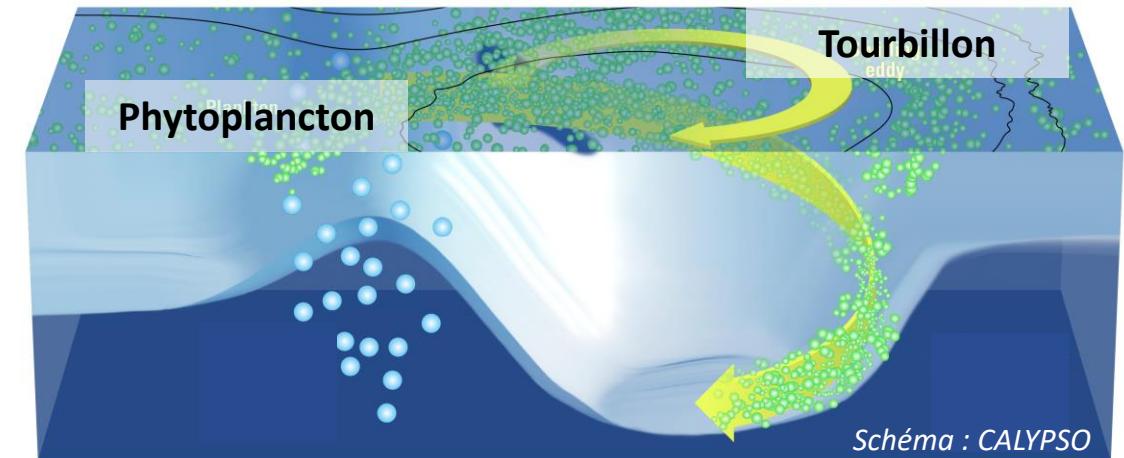
CONCLUSION

Le type de structure physique influence la distribution 3D des organismes phytoplanctoniques

Front sud-Baléares (PROTEVSMED-SWOT)



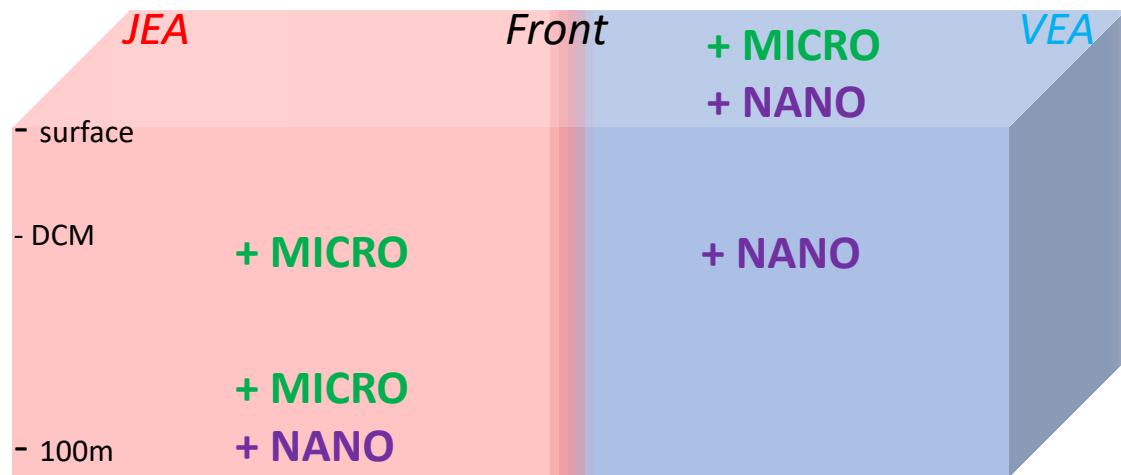
Tourbillon nord-Baléares (CALYPSO)



CONCLUSION

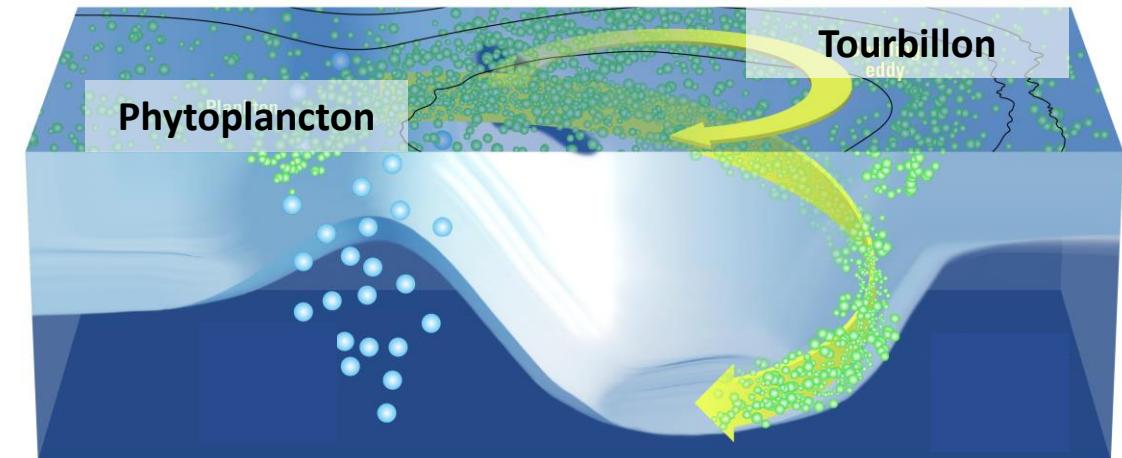
Le type de structure physique influence la distribution 3D des organismes phytoplanctoniques

Front sud-Baléares (PROTEVSMED-SWOT)



Séparation des communautés selon le type de masse d'eau : **formation de modèles écologiques bimodaux**

Tourbillon nord-Baléares (CALYPSO)



Distribution en mosaïque des communautés selon le transport de masse d'eau : **formation de micro-niches écologiques**

Ensuite ... ?

Dans le cadre de CALYPSO :

Estimation des vitesses verticales

Données biogéochimiques/génomiques

Ensuite ... ?

Dans le cadre de CALYPSO :

Estimation des vitesses verticales

Données biogéochimiques/génomiques

Poursuivre l'étude 3D du couplage biophysiques :

projet BIOSWOT multidisciplinaire (physiques,
biogéochimiques, génomiques, écologiques)

PERSPECTIVES

Ensuite ... ?

Dans le cadre de CALYPSO :

Estimation des vitesses verticales

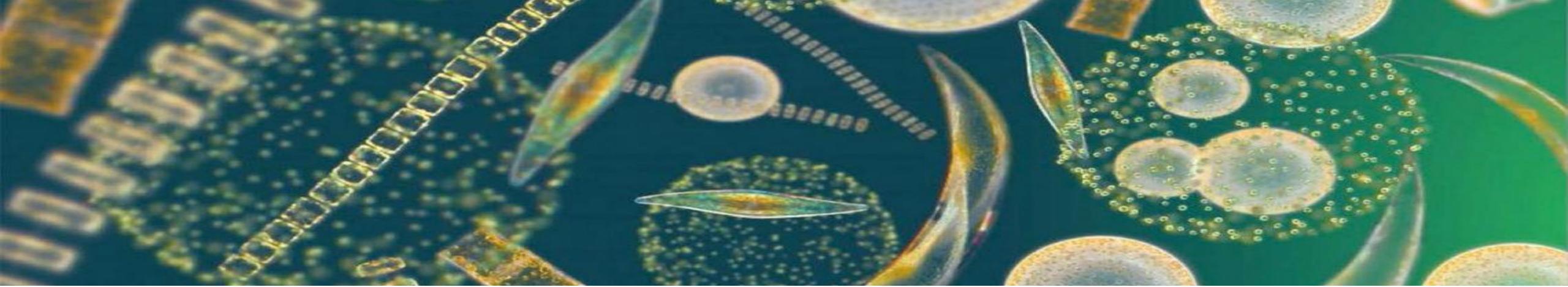
Données biogéochimiques/génomiques

Poursuivre l'étude 3D du couplage biophysiques :

projet BIOSWOT multidisciplinaire (physiques,
biogéochimiques, génomiques, écologiques)



**Objectif : Comprendre
l'histoire commune des
masses d'eau et des
organismes**



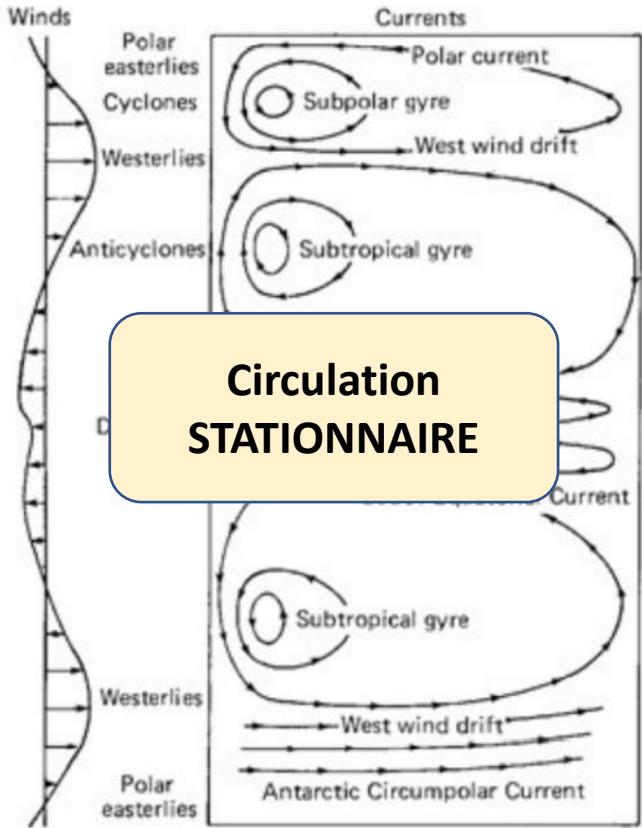
Merci pour votre attention !

Merci à mes encadrants Gérald Grégori et Andrea Doglioli

Merci à tous ceux qui m'ont aidé durant ce stage

INTRODUCTION

❖ Point historique

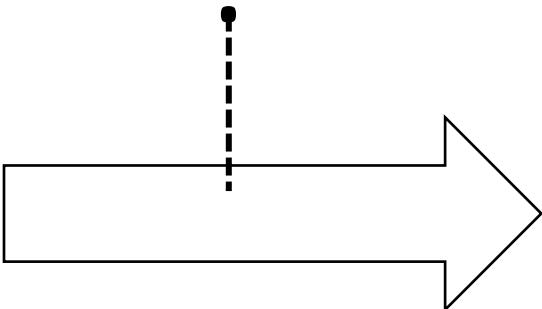


Combinaison des résultats des travaux d'Ekman, Sverdrup et Stommel
(Cours OPB206, M.Baklouti).

Années 40

La circulation océanique

Bouées dérivantes
Méthodes numériques
Imagerie satellitaire



Années 2000

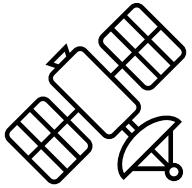
La circulation océanique influence :

- La disponibilité des ressources (nutriments+lumière)
- Le transport des organismes

PRÉSENTATION DES CAMPAGNES

❖ 2 Campagnes autour des îles Baléares

- Stratégie Lagrangienne adaptative



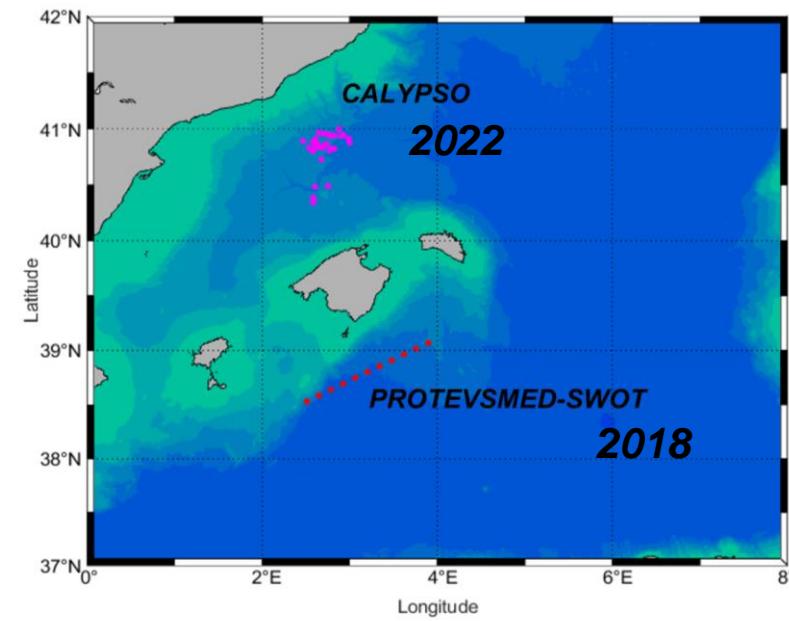
Satellites



Modèles numériques



Suivi dans le temps et l'espace des structures d'intérêts



RESULTATS/DISCUSSION

Scénarios de formation des couches phytoplanctoniques profondes

2. Dans une région tourbillonnaire

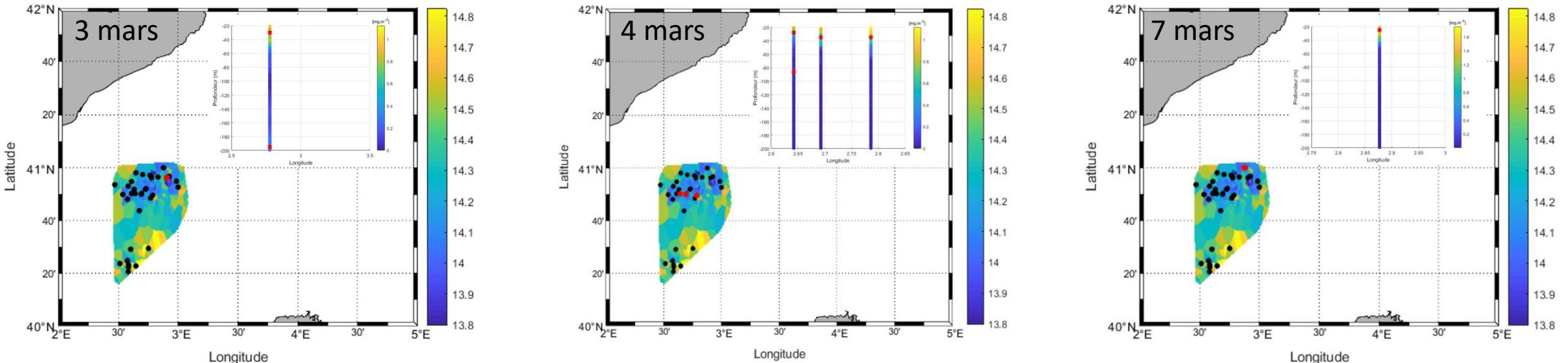


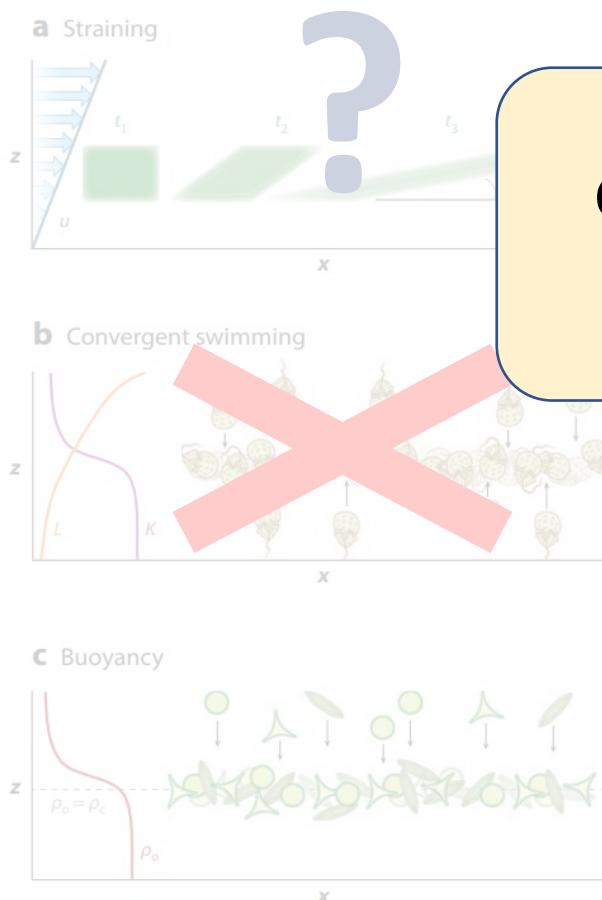
Figure : Positions des stations CTD du 3, 4 et 7 mars sur l'horizontale et la verticale superposées à la SST (TSG).

Etude des communautés phytoplanctoniques en profondeur sur 3 zones du tourbillon à l'aide des photographies

RESULTATS/DISCUSSION

Formation de couches phytoplanctoniques profondes

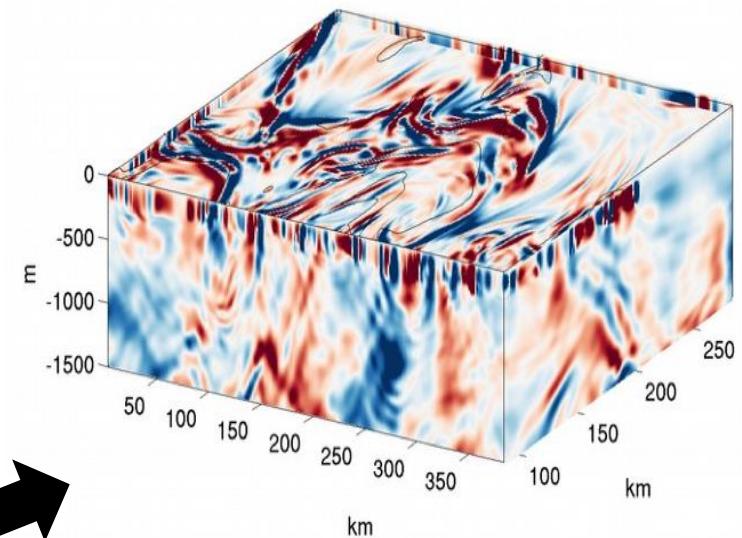
CALYPSO



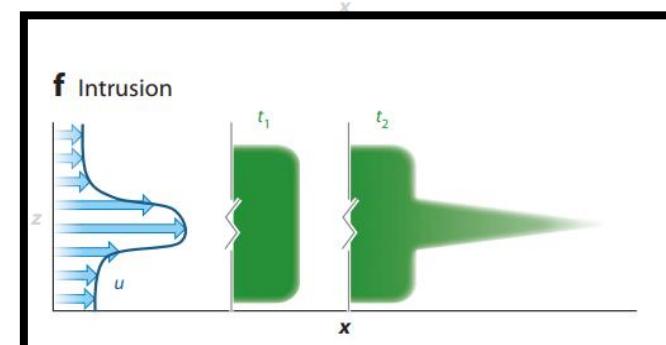
Circulation 3D à intégrer dans le schéma d'intrusion

CALYPSO

Champ vitesses verticales

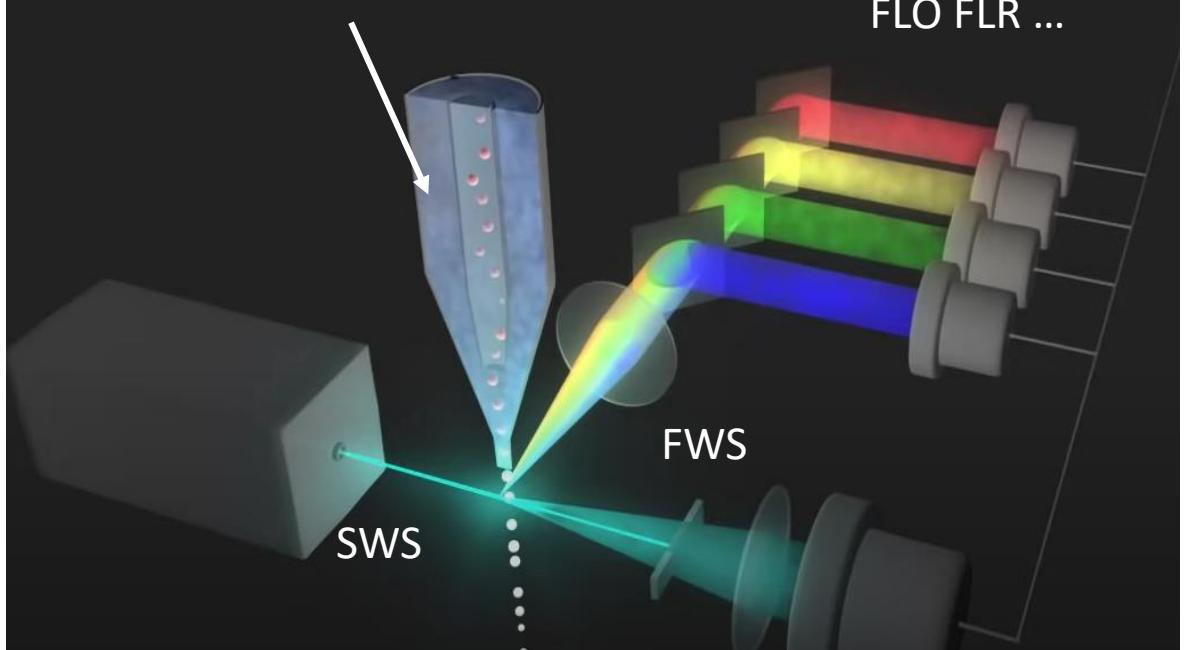


F. d'ovidio

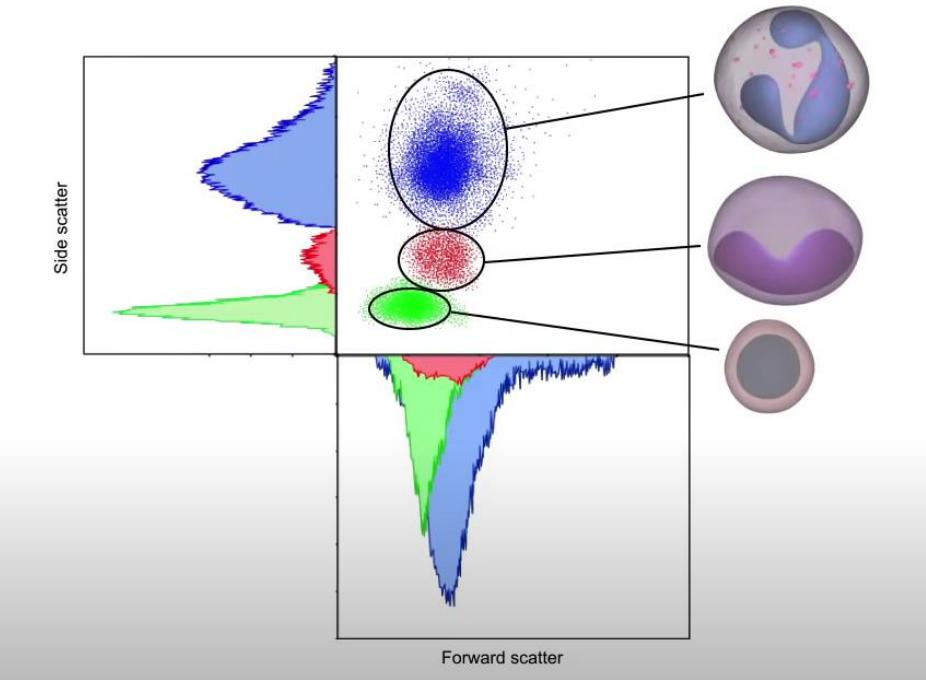


Principe de la cytométrie

Alignement des particules

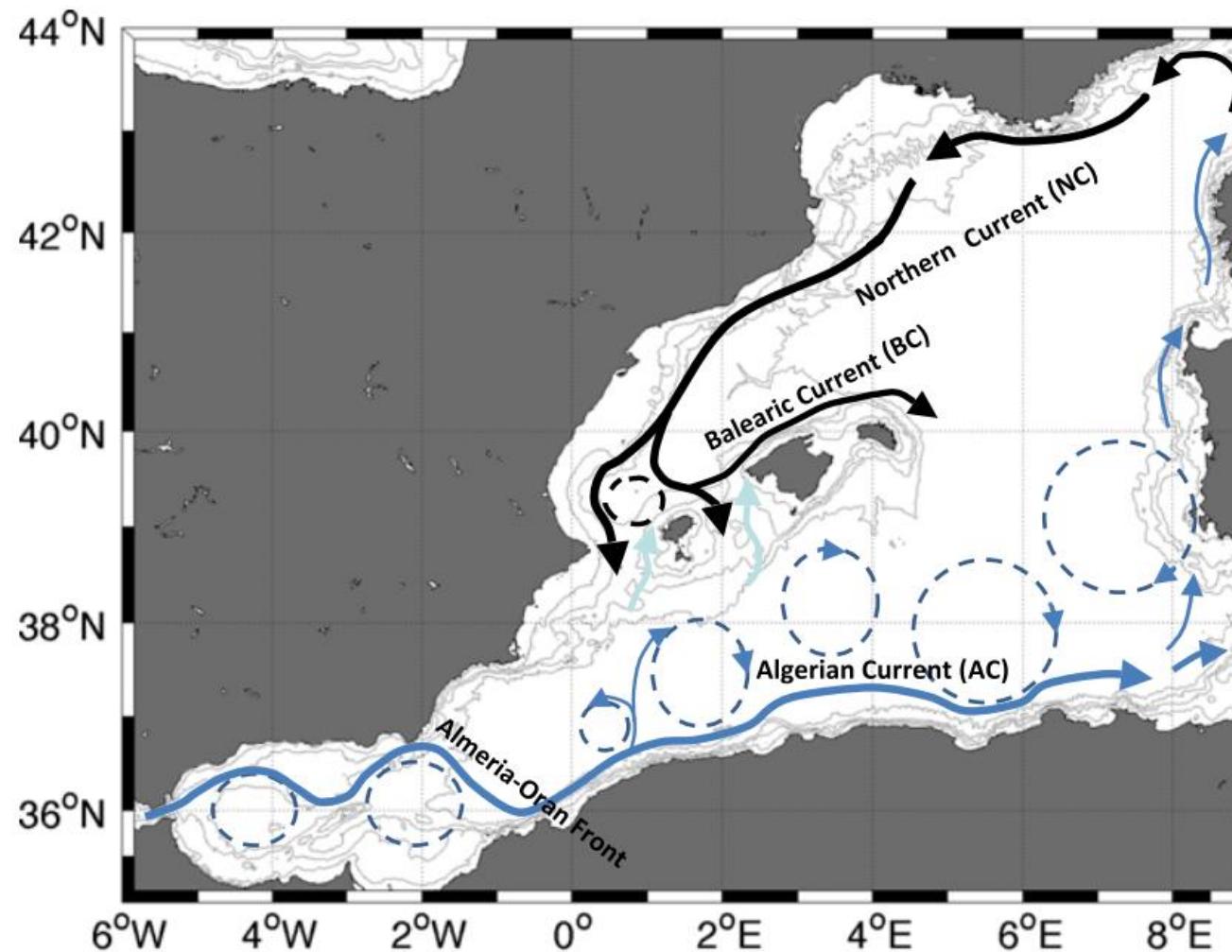


Source : <https://www.youtube.com/watch?v=EQXPJ7eesQ>



Système automatisé capable d'effectuer une analyse à haute fréquence de l'eau de mer pour identifier différents types de phytoplancton en fonction de leur taille et de leurs propriétés optiques

Circulation autour des Baléares

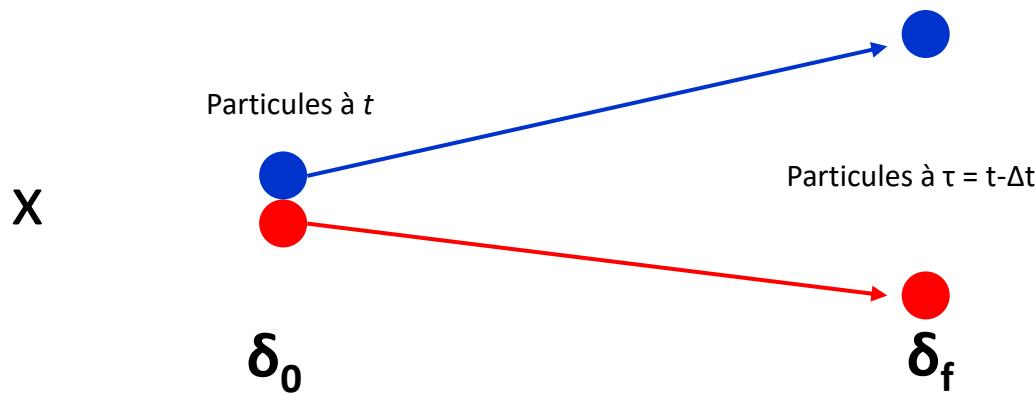


R. Balbín et al, 2013

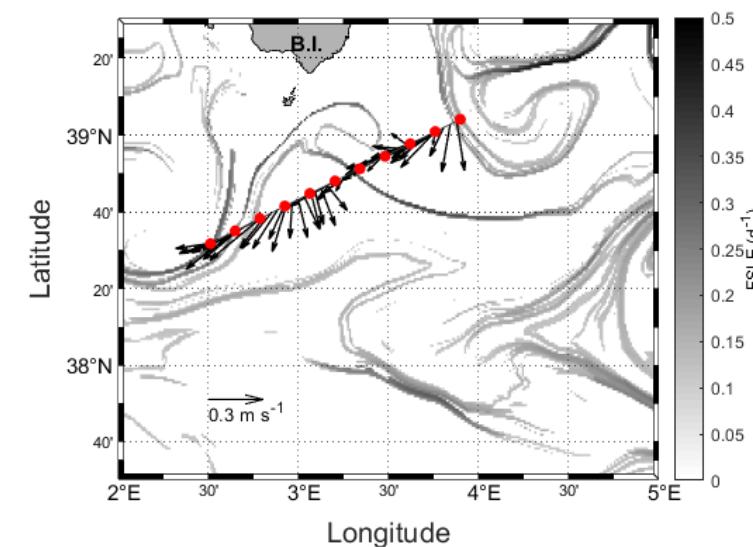
FSLE

- Outils mathématiques mesurant le taux de séparation de la trajectoire de particules (ex : petites masses d'eau)
- Identification de zone frontale

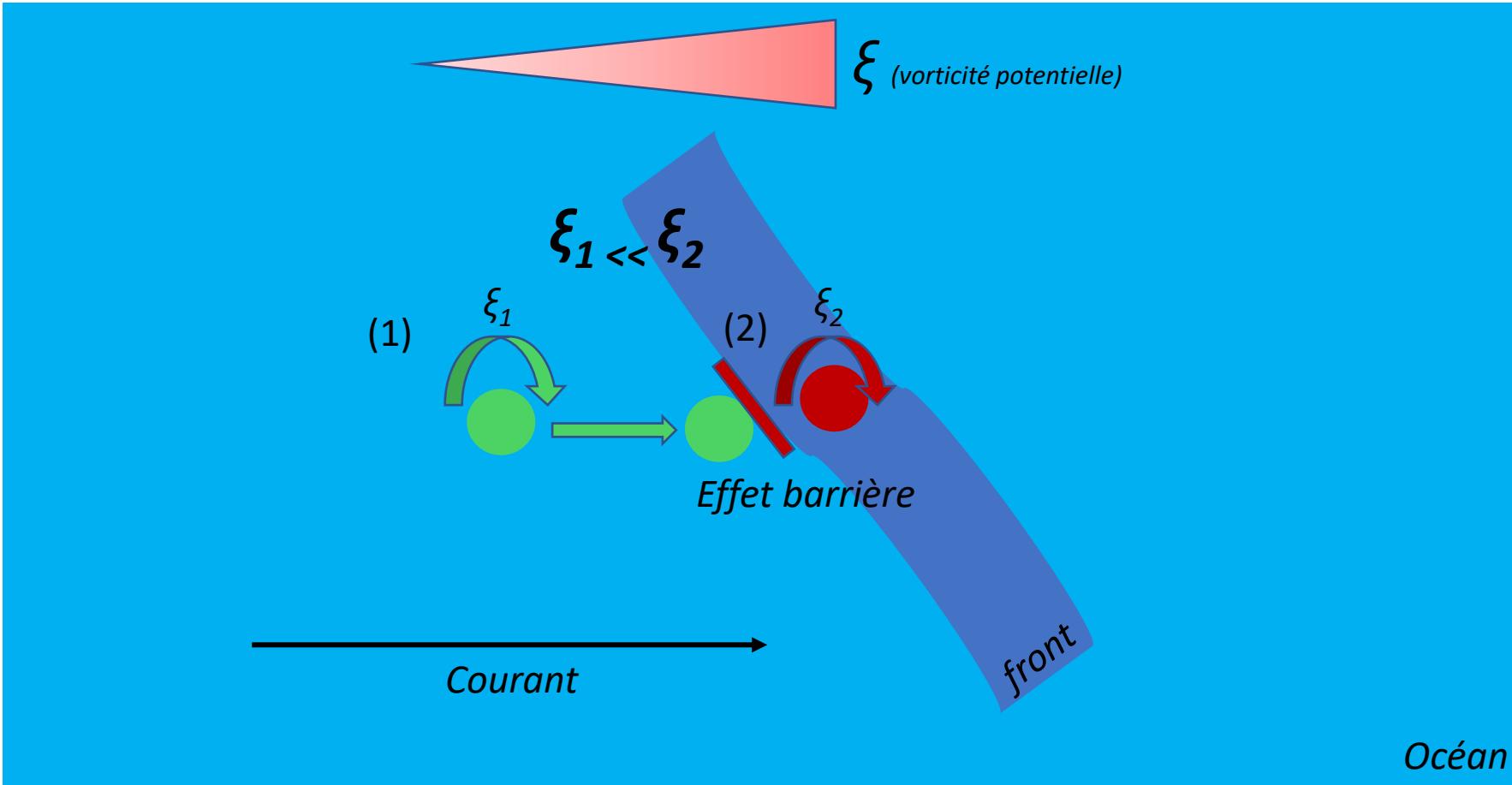
$$\lambda(x, t, \delta_0, \delta_f) = \frac{1}{\tau} \log \frac{\delta_f}{\delta_0}$$



Temps τ au bout duquel deux particules initialement, à un temps t , proches de x d'une distance δ_0 se retrouvent éloignées de x d'une distance δ_f

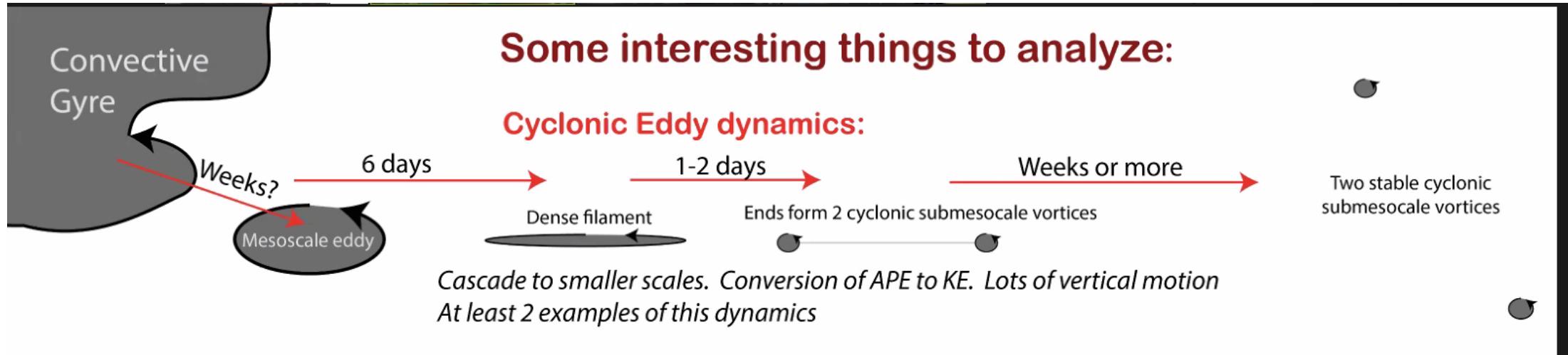


Front = barrière dynamique contre le transport ?

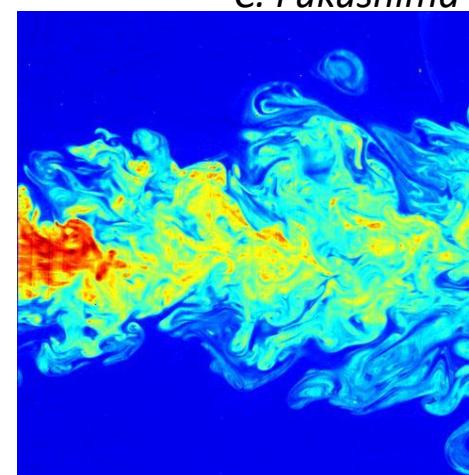


Tourbillon nord-Baléares Cascade énergétique

E. d'Asaro

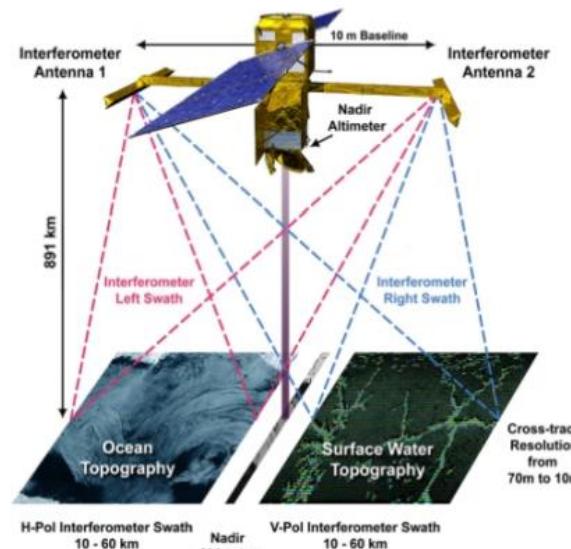


Transfert de l'énergie des grandes structures (gyres) aux petits vortex jusqu'à la dissipation sous forme de chaleur

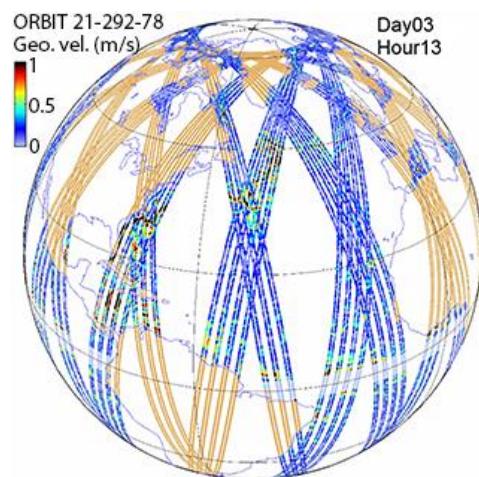
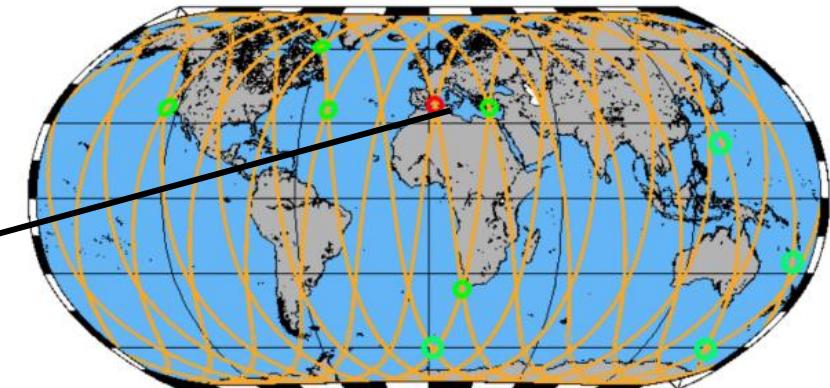
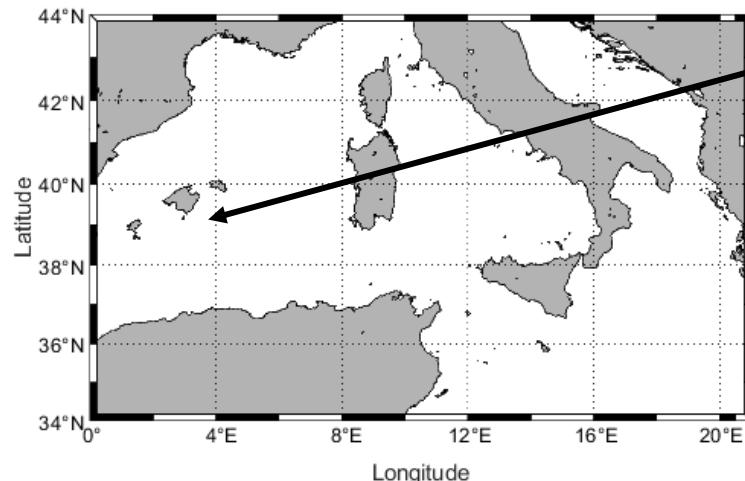


C. Fukushima

SWOT



PROTEUSWOT (2018)
BIOSWOT (2023)

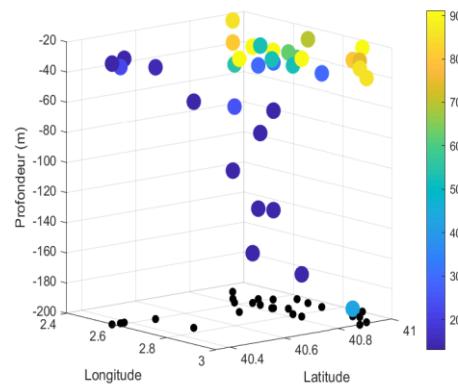


Observations hautes résolution de la surface de l'océan
→ Estimation des vitesses verticales

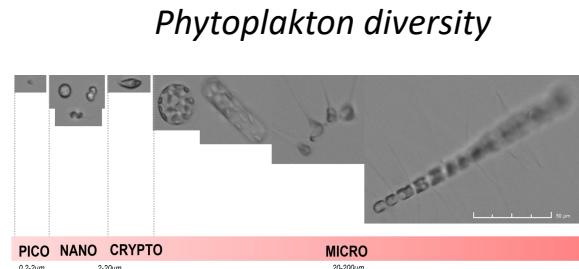
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \boxed{\frac{\partial w}{\partial z}} = 0$$

BIOSWOT

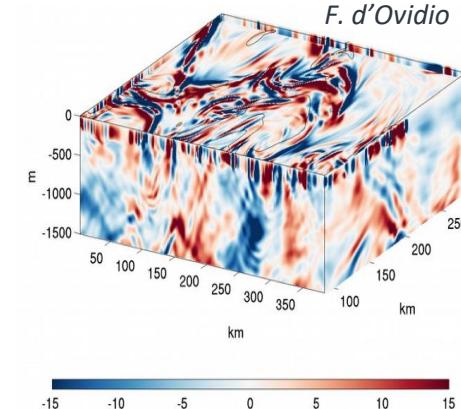
3D structures of phytoplankton abundances



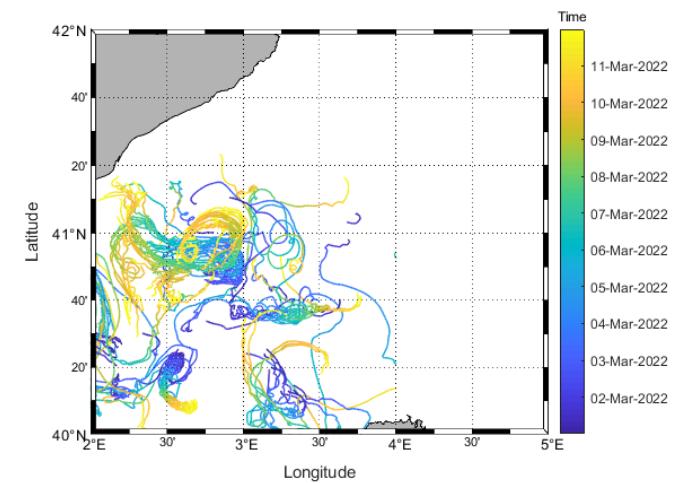
Phytoplakton diversity



Vertical velocities



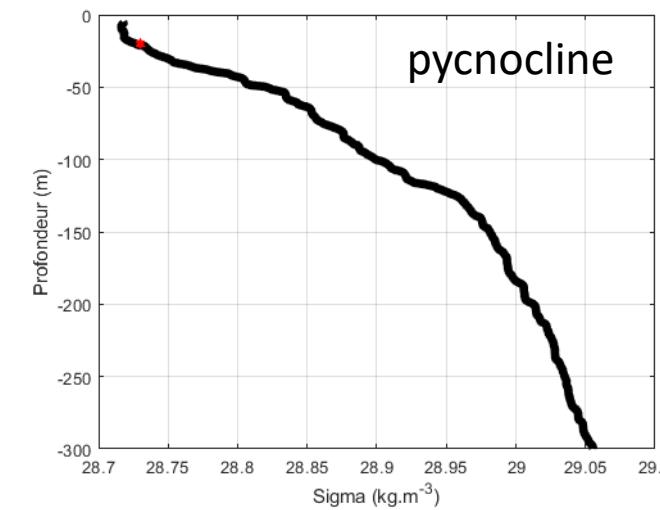
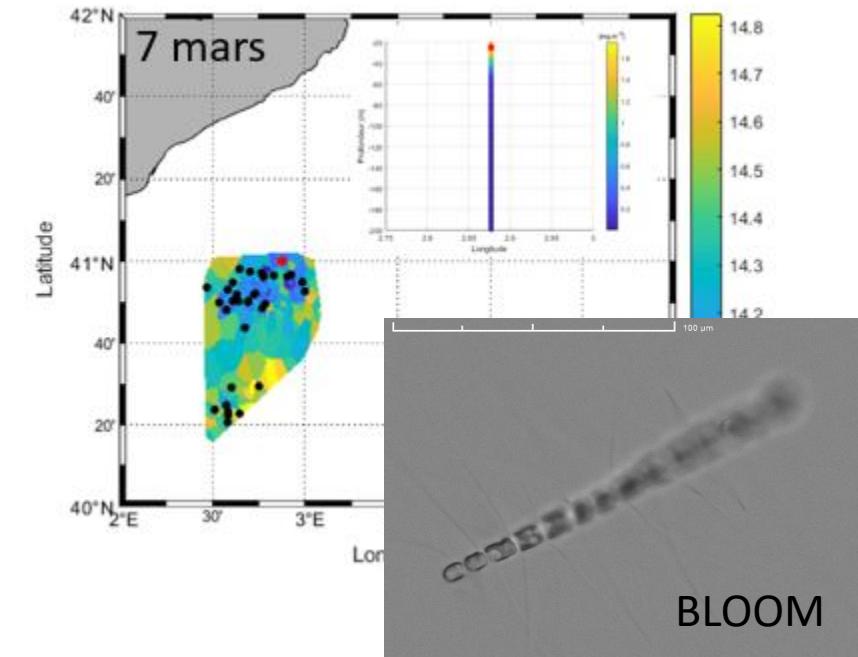
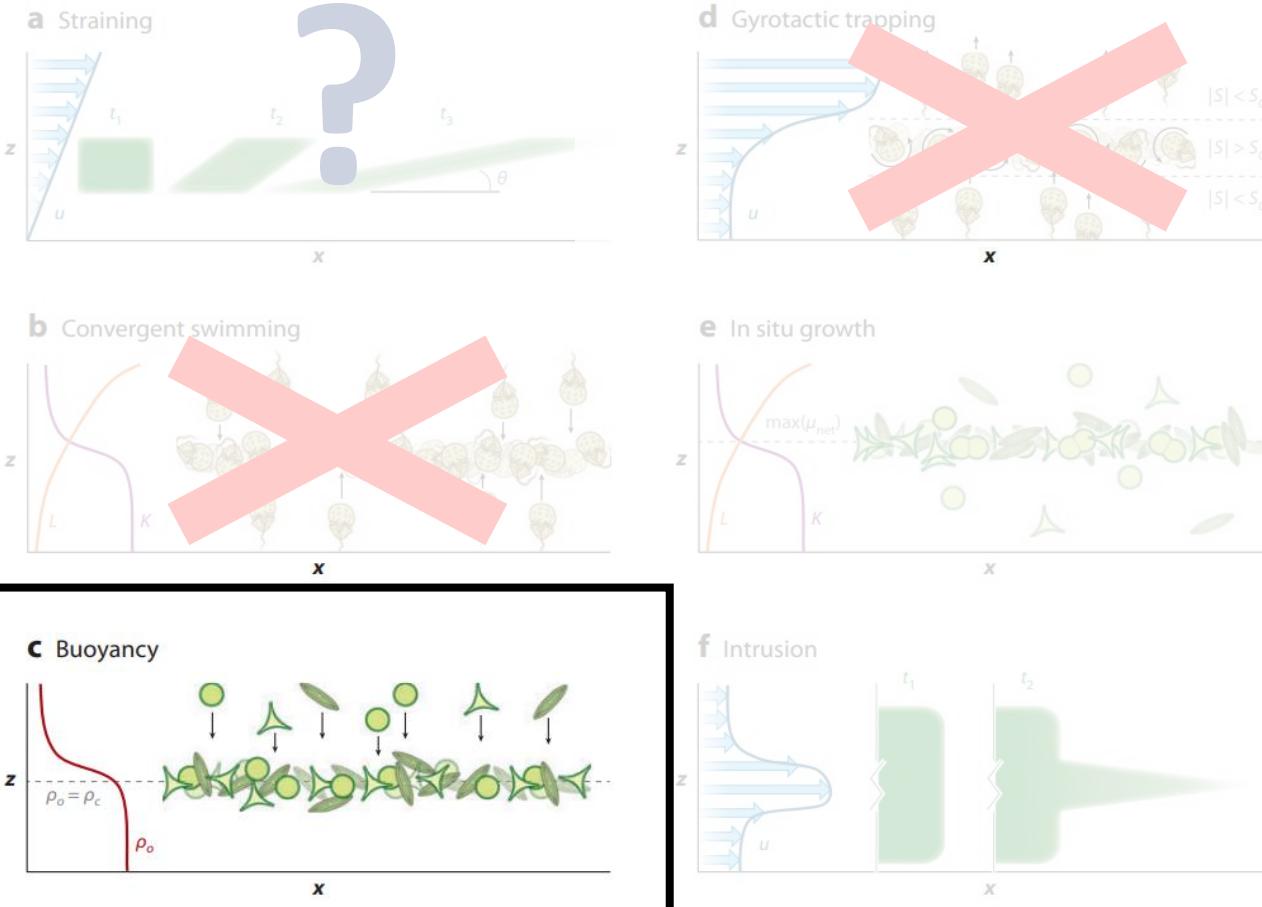
Lagrangian trajectories



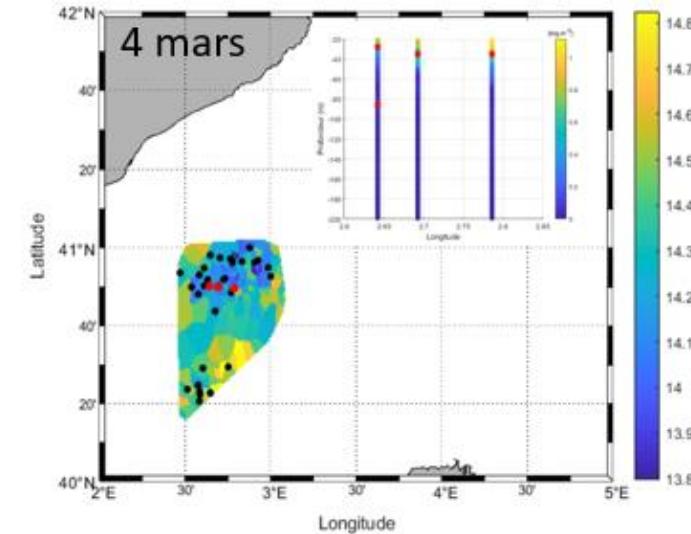
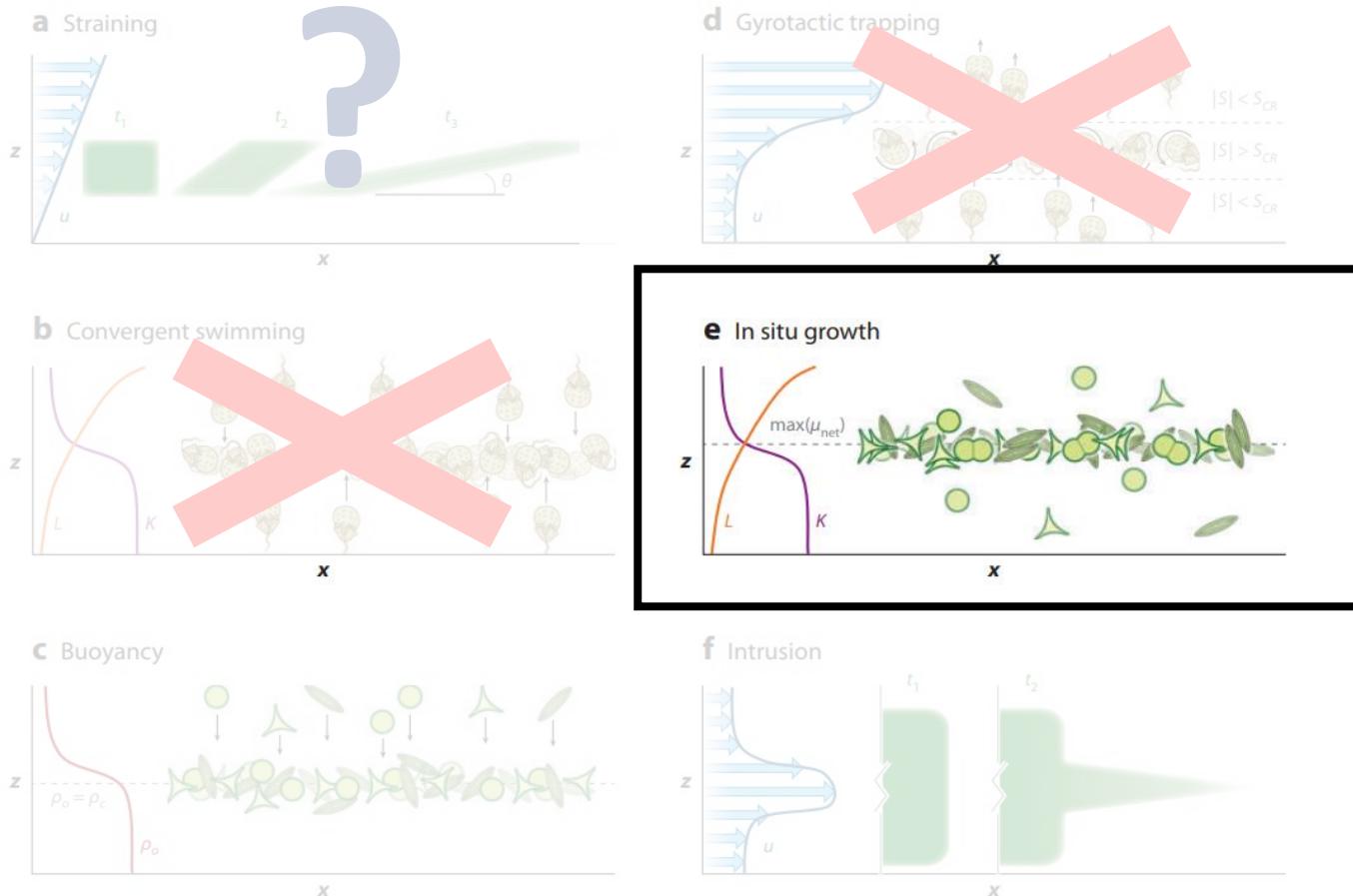
Objectives :

- ✓ Estimation des vitesses verticales pour construire les flux verticaux : déterminer comment les fronts de sub-mésoéchelle et le transport 3D déterminent la distribution du phytoplancton
- ✓ Déterminer la diversité phytoplanctonique sur une vue 3D dans les structures de sub-mésoéchelles
- ✓ Utiliser la modélisation numérique pour comprendre les modèles 3D du phytoplancton à ces fines échelles

Scénarios de formation des couches profondes

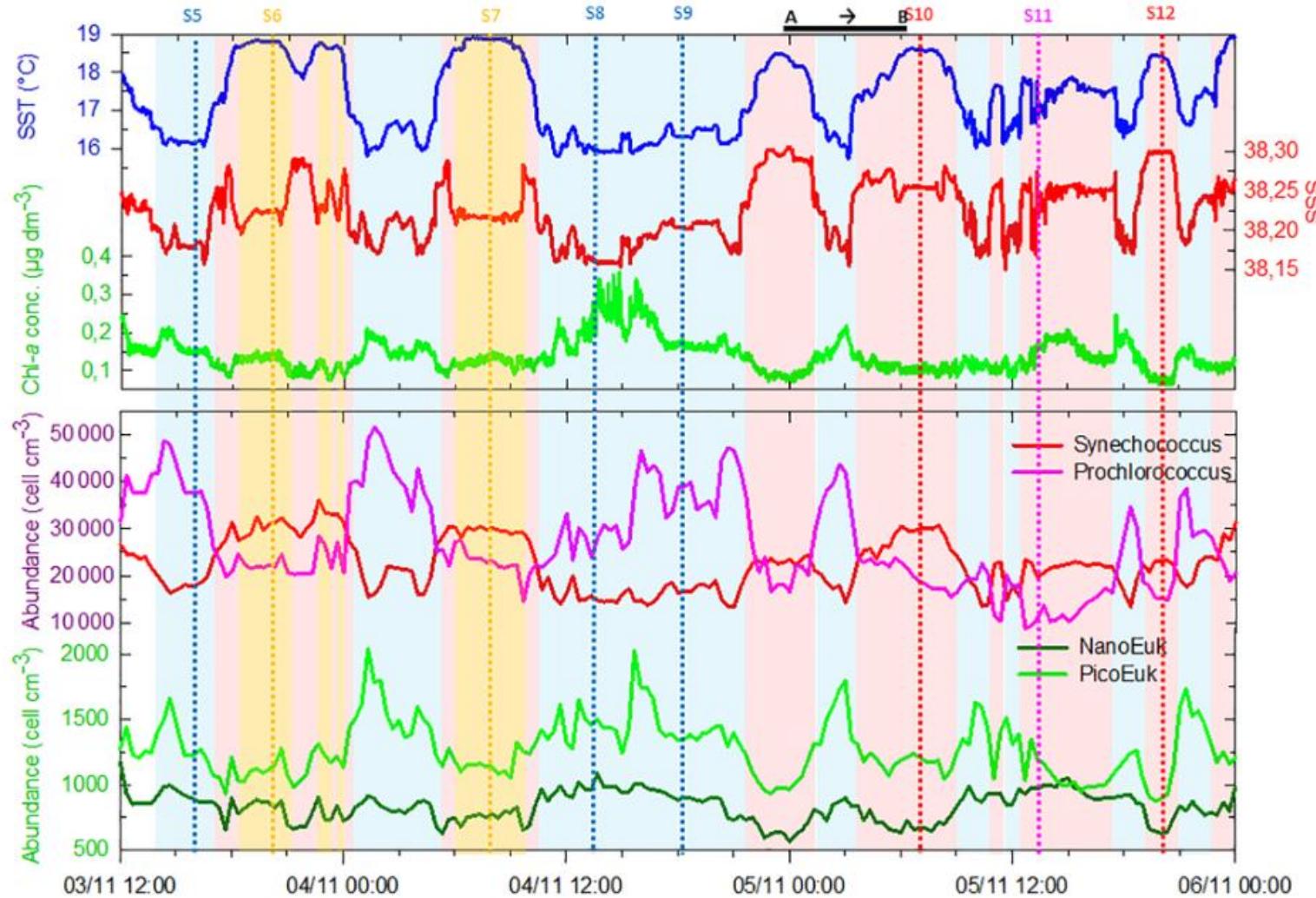


Scénarios de formation des couches profondes



Centre du tourbillon cyclonique :
up-welling → Conditions plus
favorables pour la croissance
phytoplanctonique

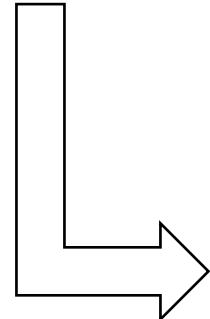
Transitions écologiques



Changement entre les groupes phytoP correspondent aux changements de SST et SSS

Espèces ou groupes fonctionnels ?

“Les processus de niche contrôlent la dynamique de la biomasse des groupes fonctionnels du phytoplancton. En revanche, **au sein de leurs groupes fonctionnels, les espèces phytoplanctoniques sont le plus souvent équivalentes sur le plan écologique**. Par conséquent, l'agrégation des espèces en groupes fonctionnels est une approche judicieuse pour modéliser la façon dont les communautés phytoplanctoniques réagissent aux forçages environnementaux” *AJ Irwin, 2016*



Paradoxe apparent de la prévisibilité des groupes fonctionnels et de la non-prévisibilité des espèces : **Variation stochastique domine la dynamique au niveau des espèces au sein des groupes fonctionnels**