



# Observer et modéliser la dynamique océanique de fine échelle

Julien Le Sommer



# Journée de la Science

[journeescience2025-cnes.fr](http://journeescience2025-cnes.fr)



# Take Home





# Take Home

1.

Observation et modélisation de l'océan  
évoluent de manière complémentaire





# Take Home

1.

Observation et modélisation de l'océan évoluent de manière complémentaire

2.

Les fines échelles (1-100km) concentrent des enjeux scientifiques et sociétaux



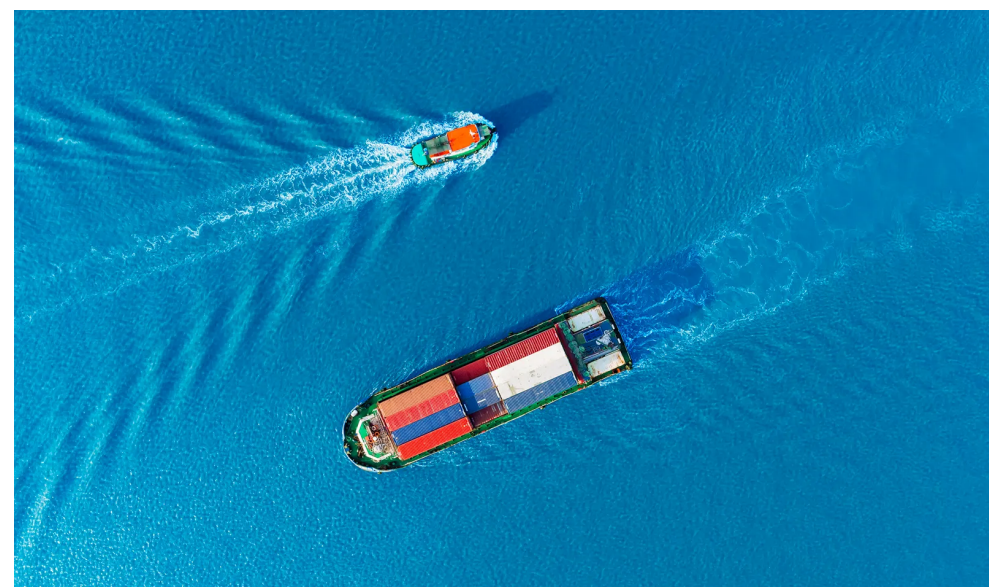
1.

Observer

un océan turbulent



# Pourquoi observer l'océan ?



Transport / sécurité



Energie

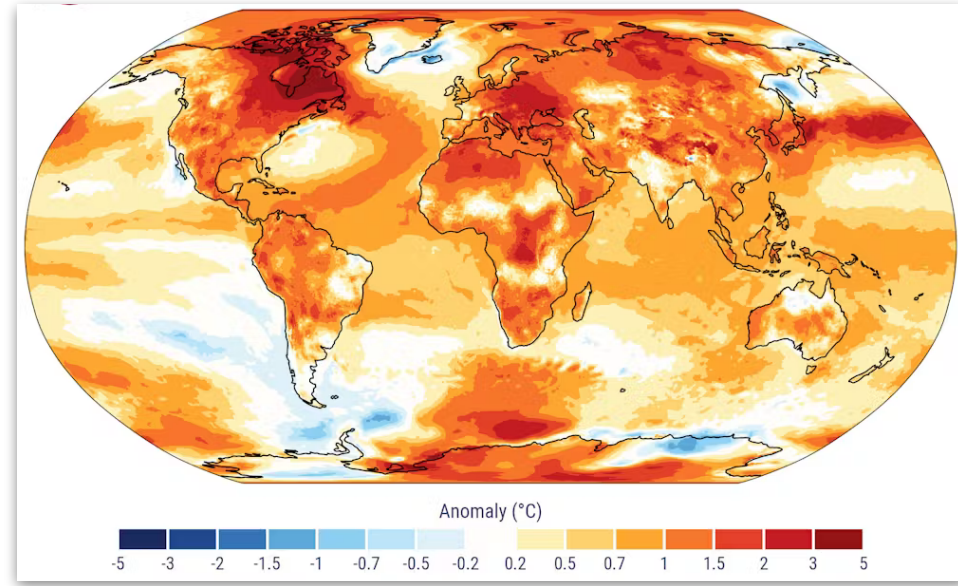


Alimentation

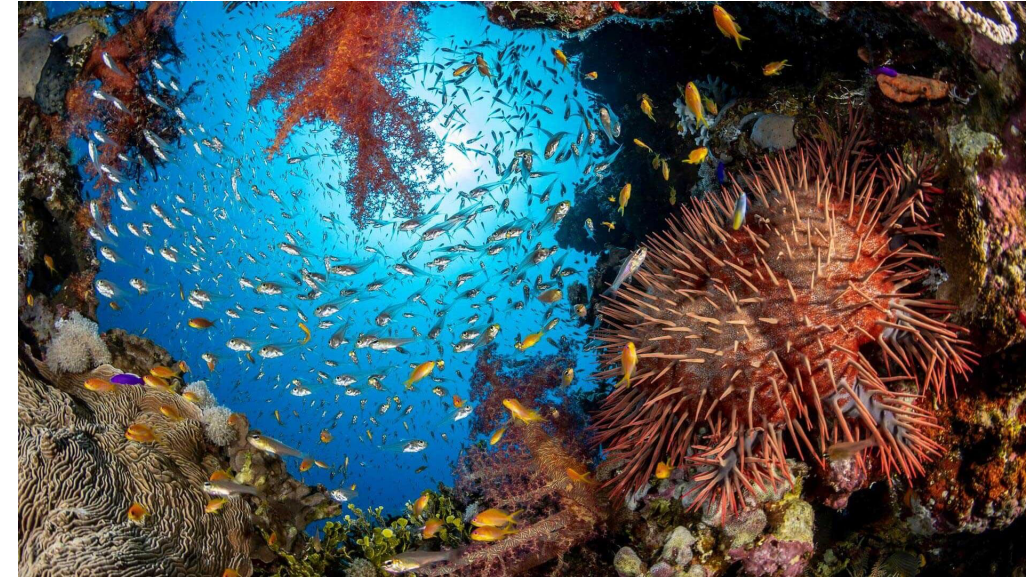
De multiples enjeux pour les sociétés humaines



# Pourquoi observer l'océan ?



Climat

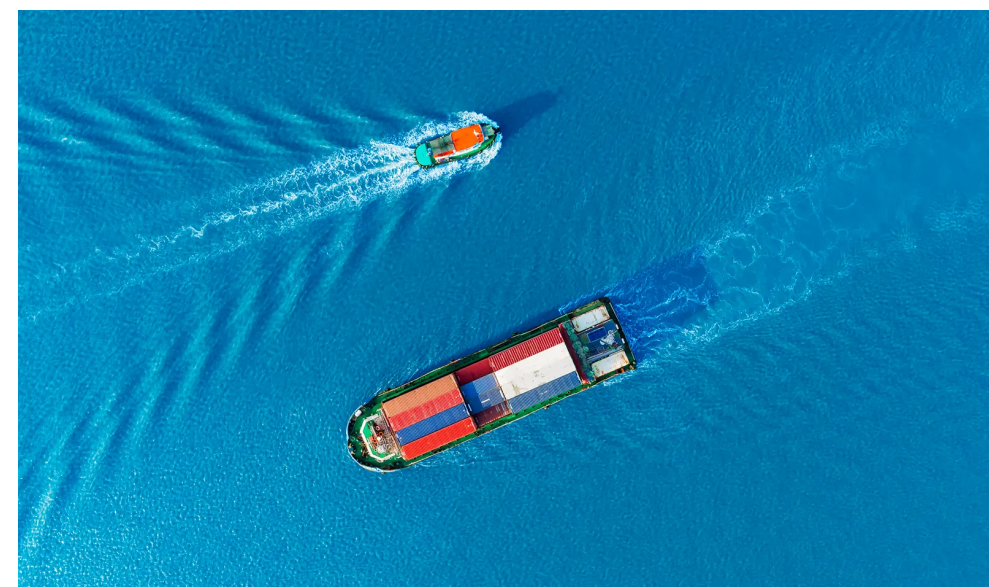


Biodiversité



Pollution

Un milieu subissant une triple crise sans précédent



Transport / sécurité



Energie



Alimentation

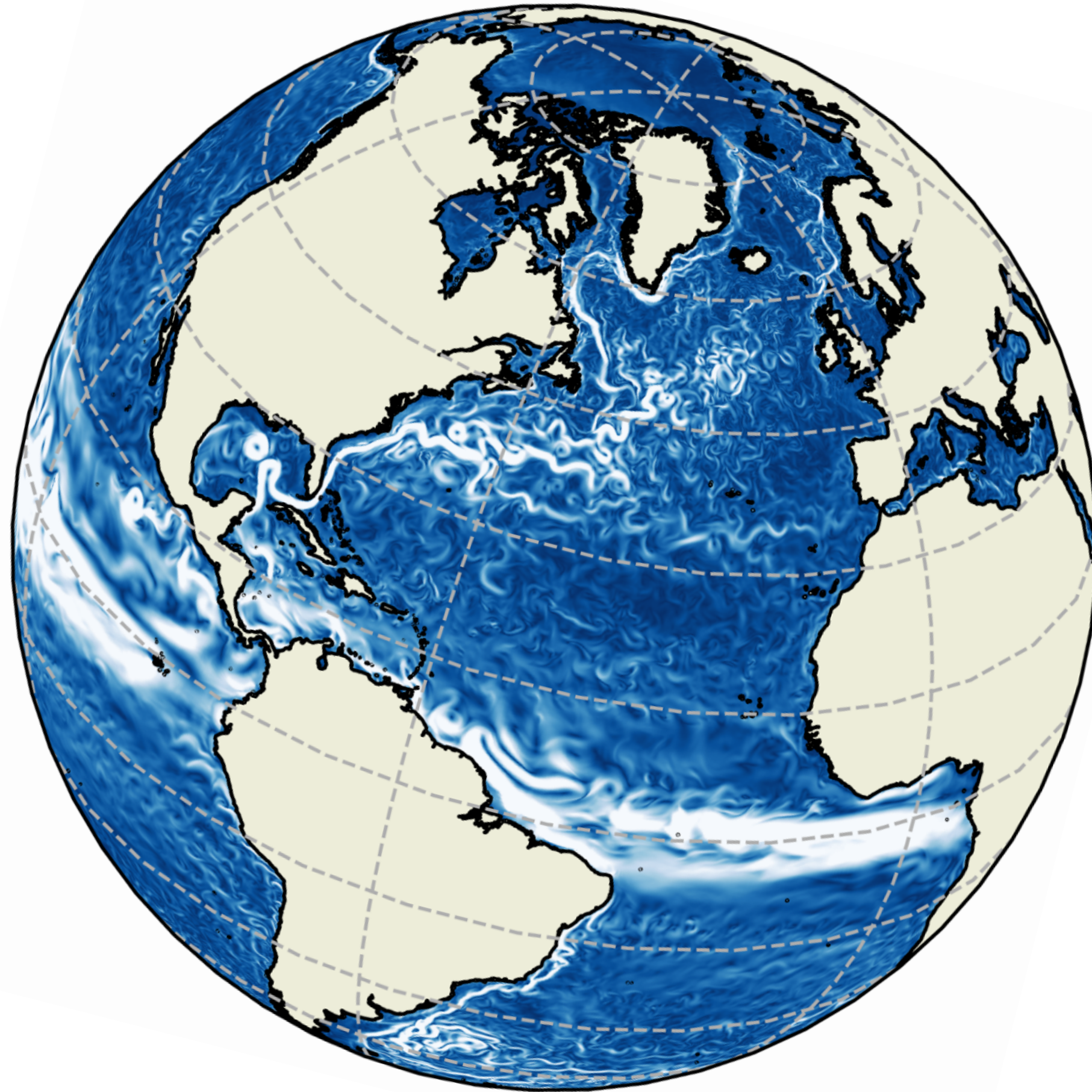
De multiples enjeux pour les sociétés humaines



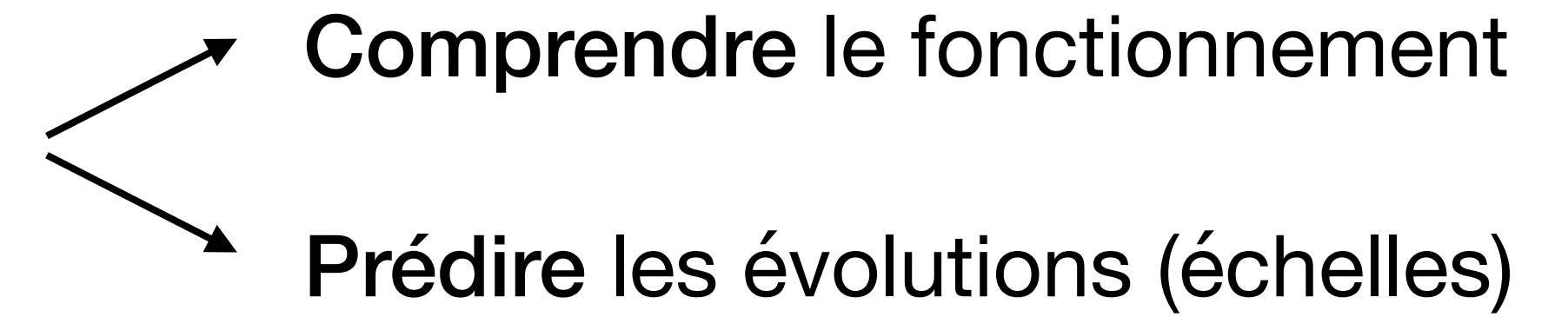
# Le champ de l'océanographie physique



# Le champ de l'océanographie physique



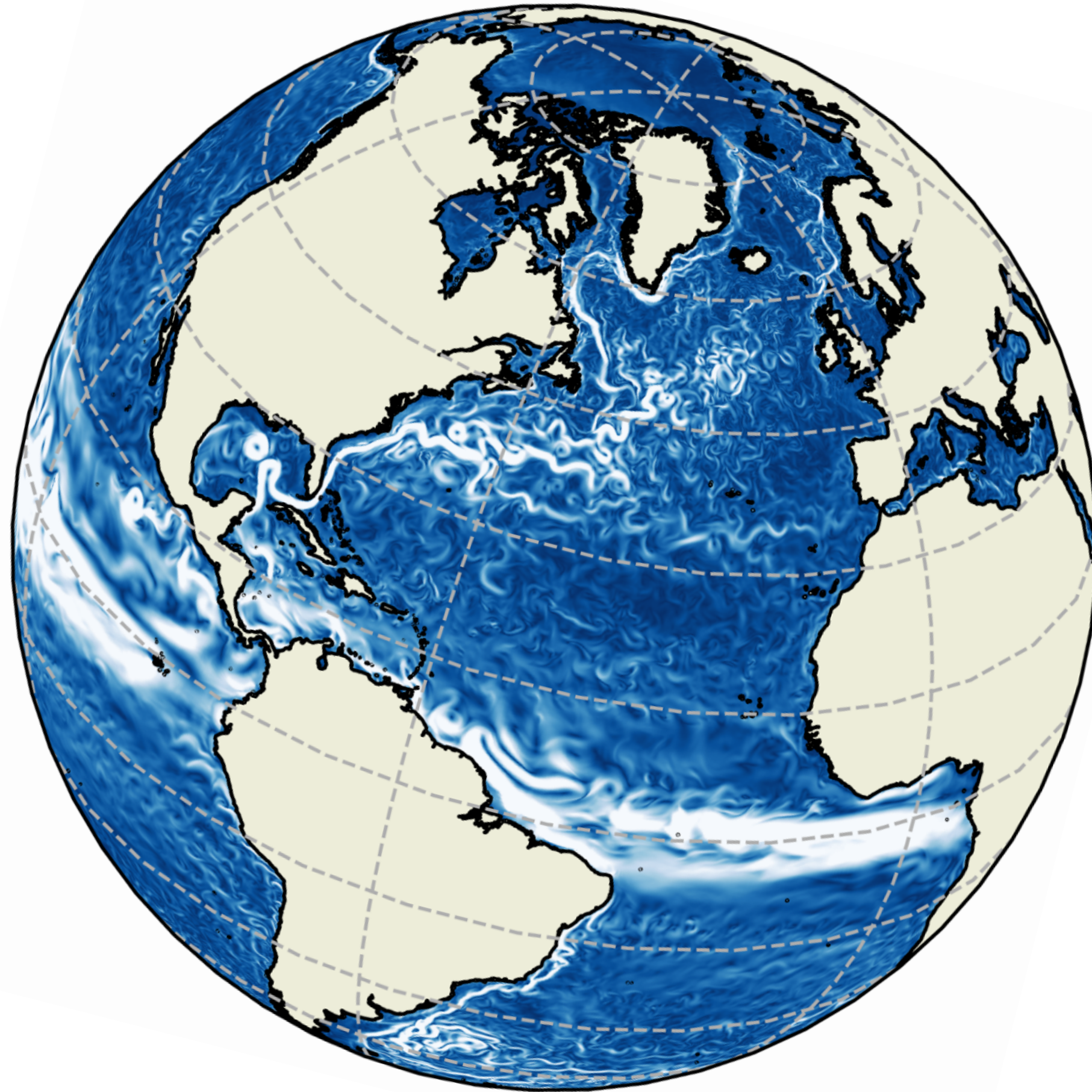
Paramètres physiques  
courants, température...



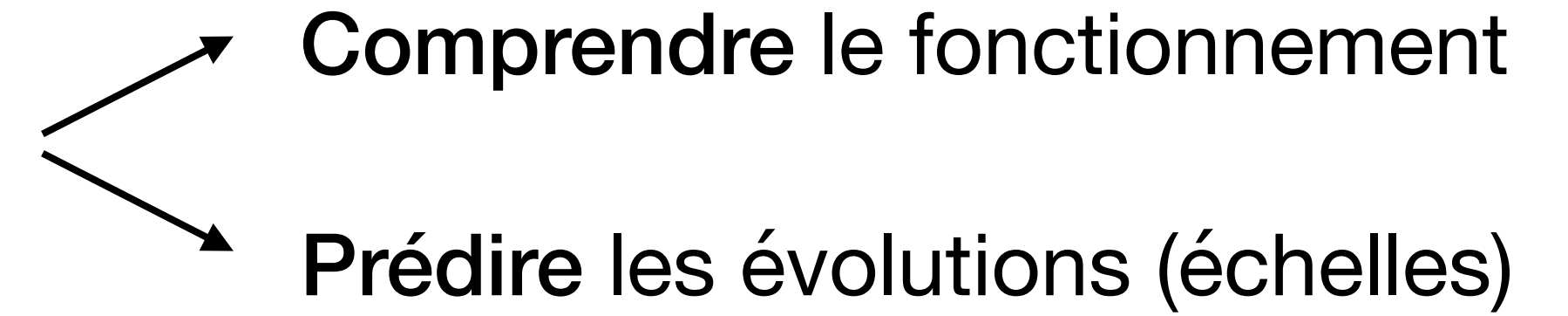
climat - changements environnementaux  
activités humaines - ressources



# Le champ de l'océanographie physique



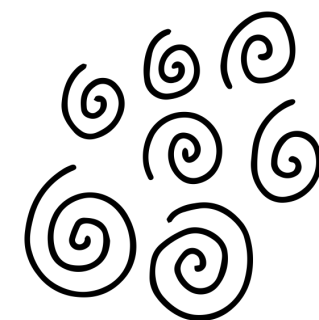
Paramètres physiques  
courants, température...



climat - changements environnementaux  
activités humaines - ressources

Interaction entre  $\neq$  échelles

Macro-turbulence



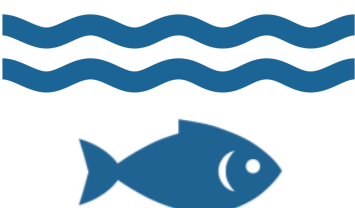
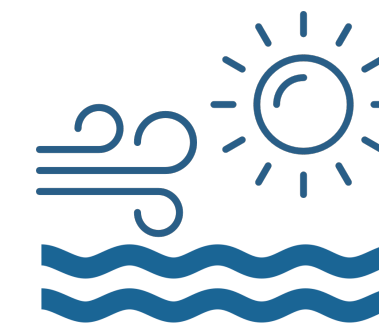
Surface waves



internal waves (tides)

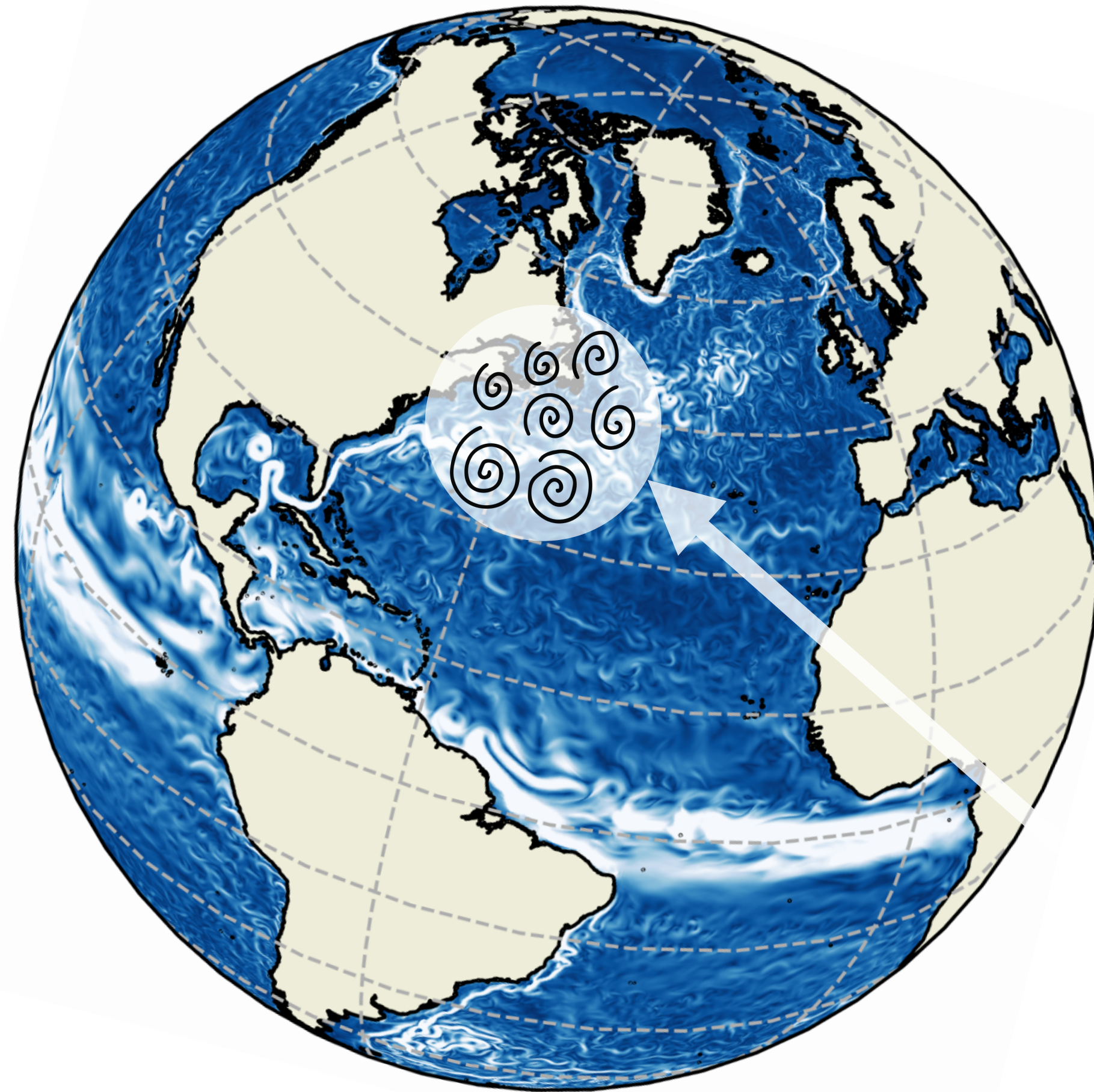


Intéractions entre  $\neq$  milieux

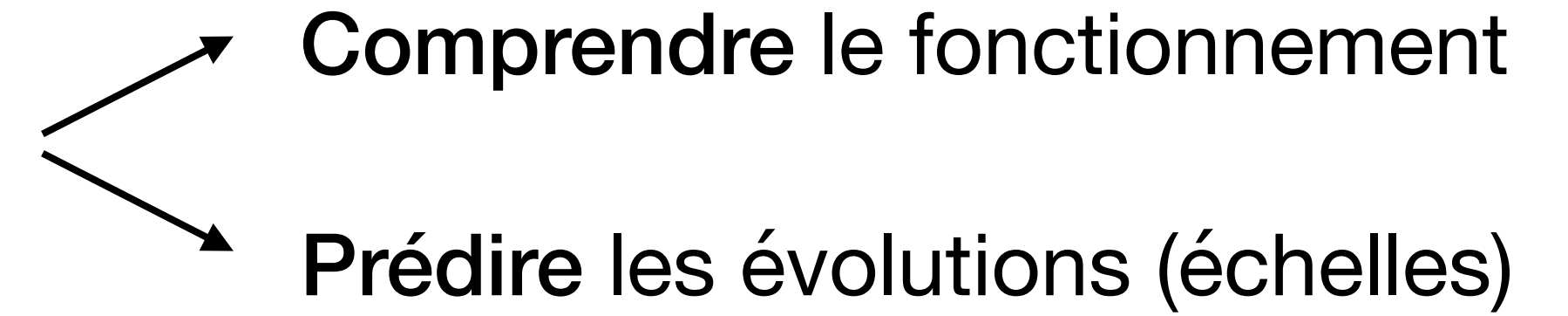




# Le champ de l'océanographie physique



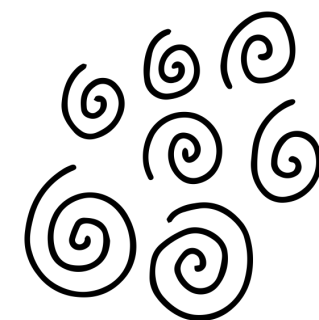
Paramètres physiques  
courants, température...



climat - changements environnementaux  
activités humaines - ressources

Interaction entre  $\neq$  échelles

Macro-turbulence



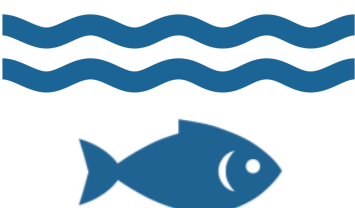
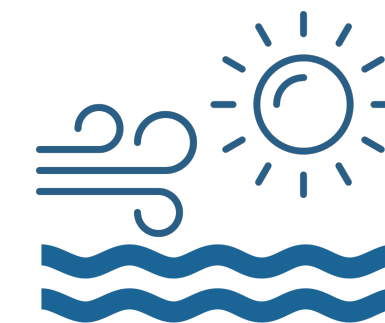
Surface waves



internal waves (tides)

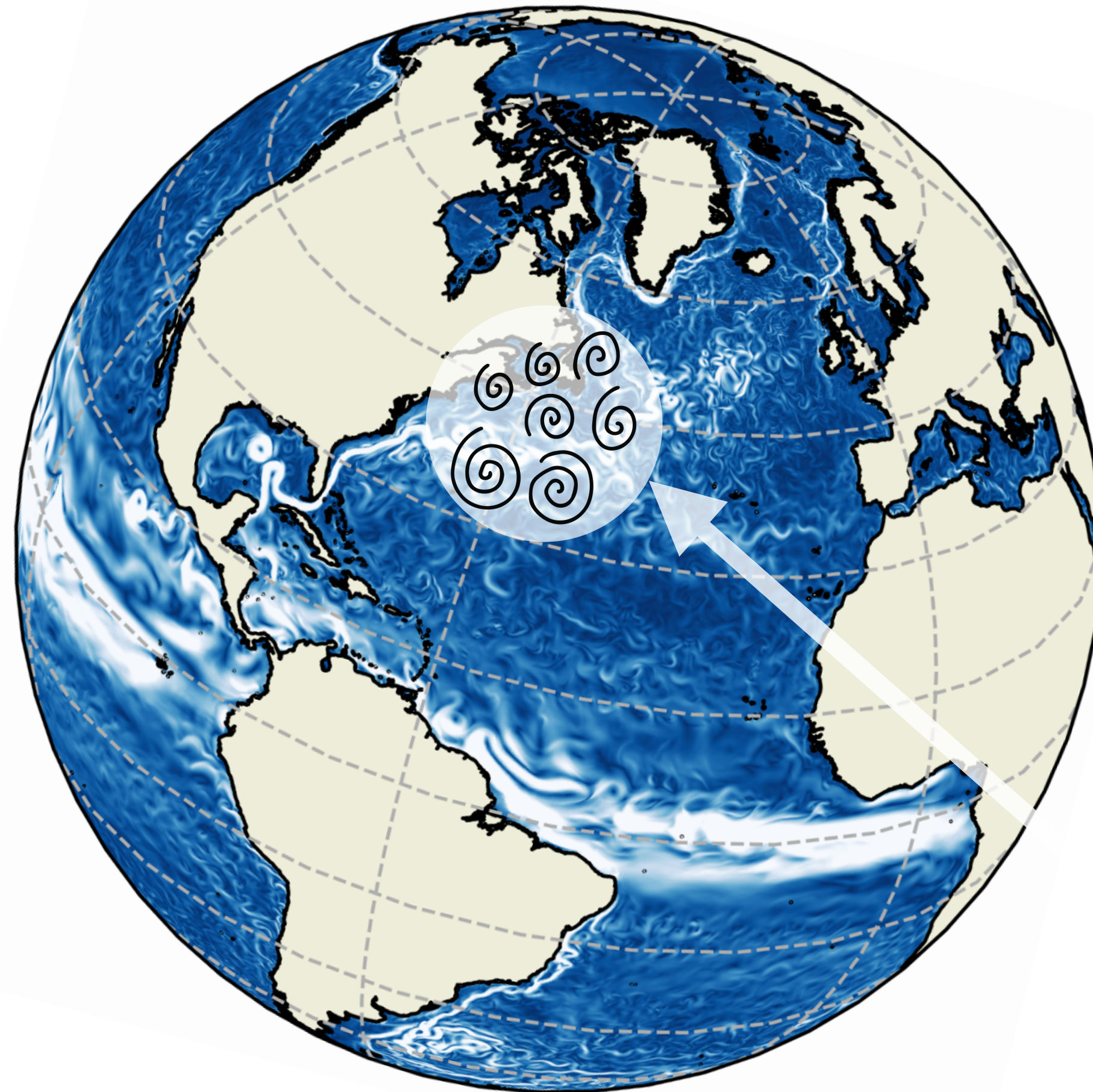


Intéractions entre  $\neq$  milieux

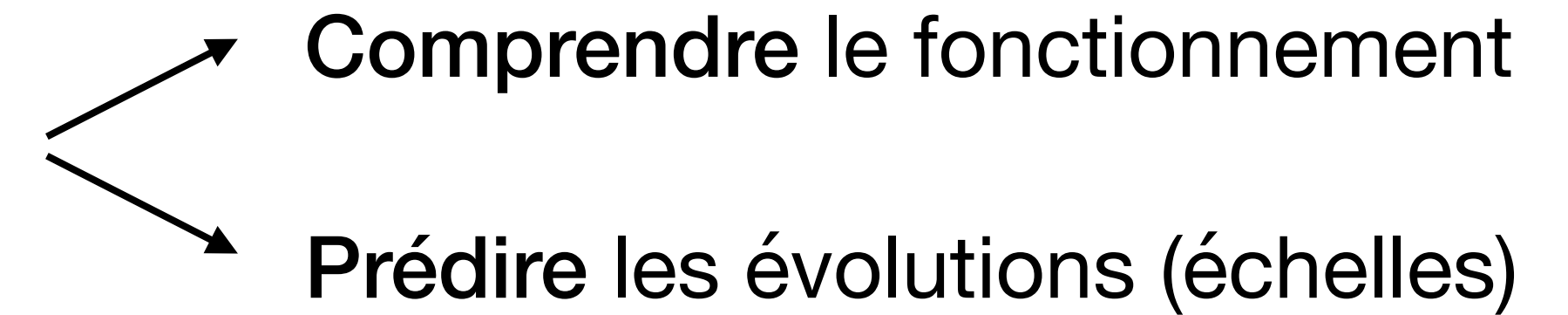




# Le champ de l'océanographie physique



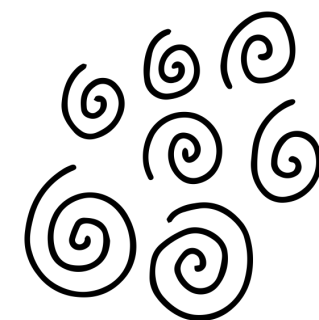
Paramètres physiques  
courants, température...



climat - changements environnementaux  
activités humaines - ressources

Interaction entre  $\neq$  échelles

Macro-turbulence



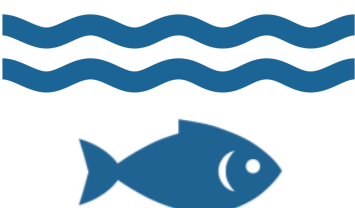
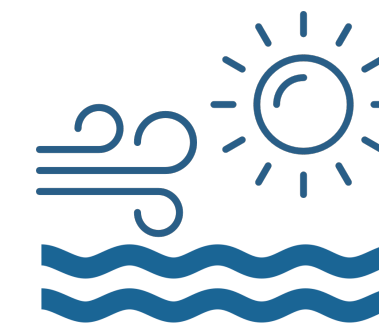
Surface waves



internal waves (tides)



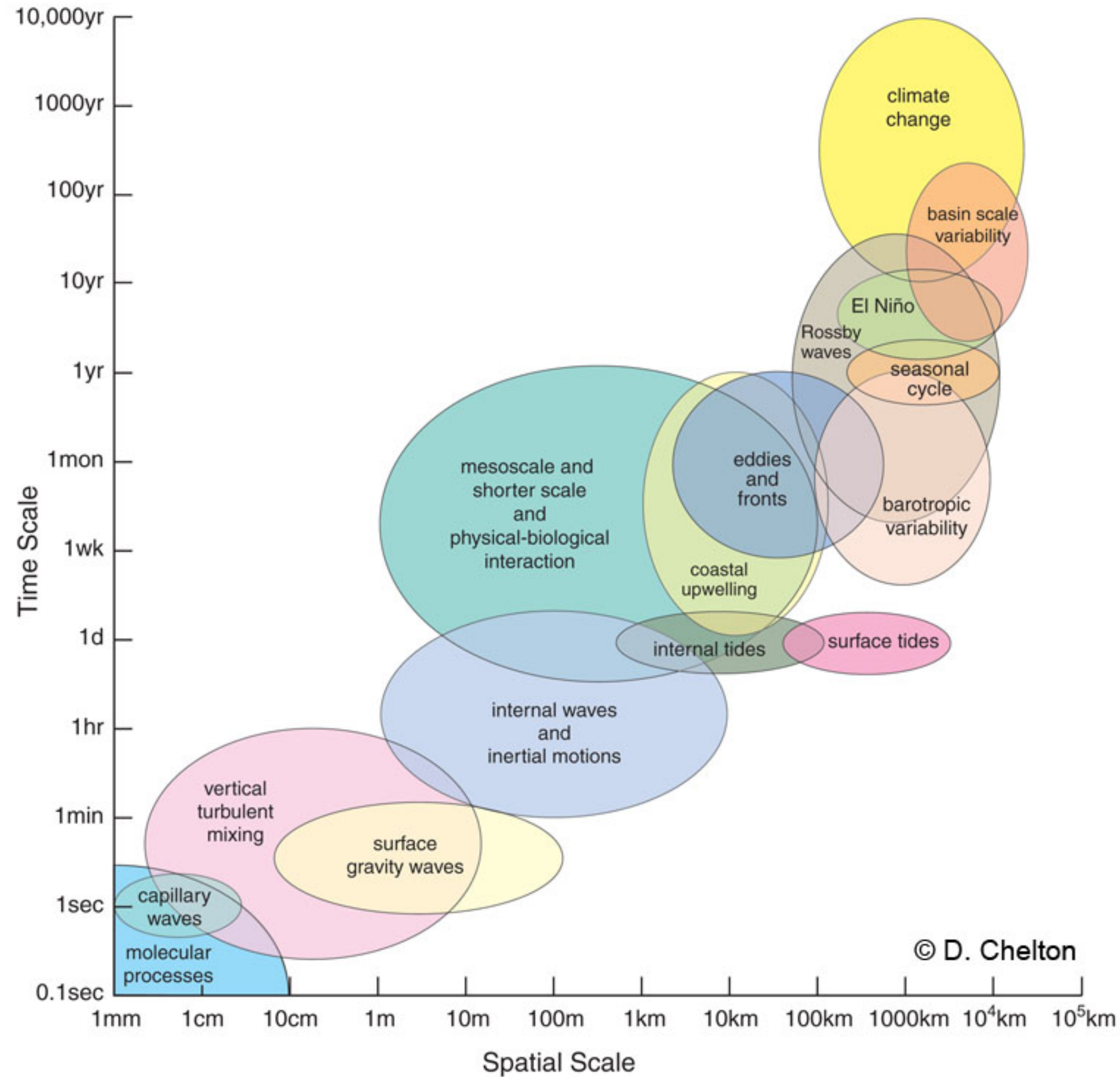
Intéractions entre  $\neq$  milieux



Role clé de la turbulence sur l'évolution de l'océan et les activités humaines

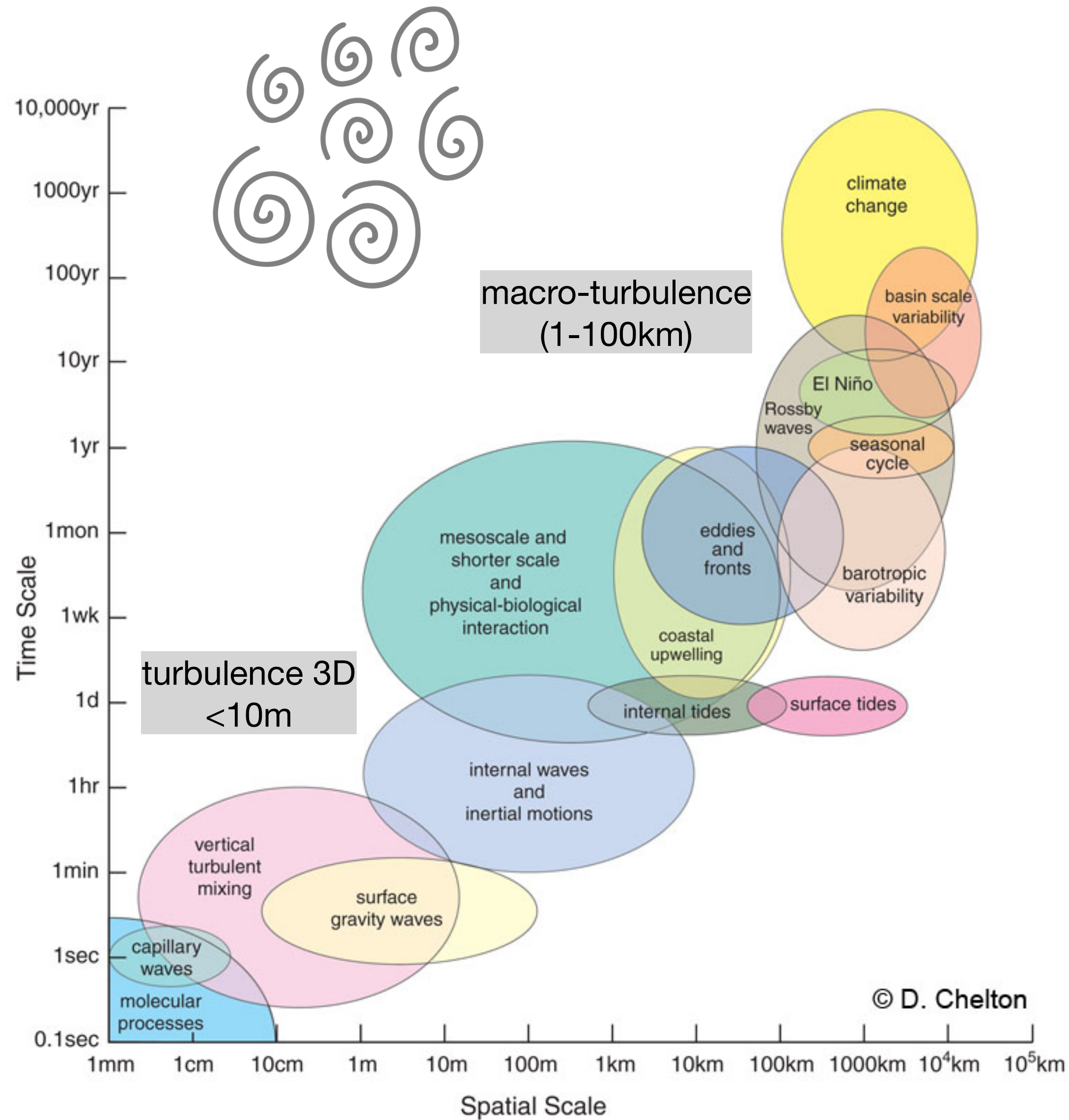


# Turbulence océanique de macro-échelle



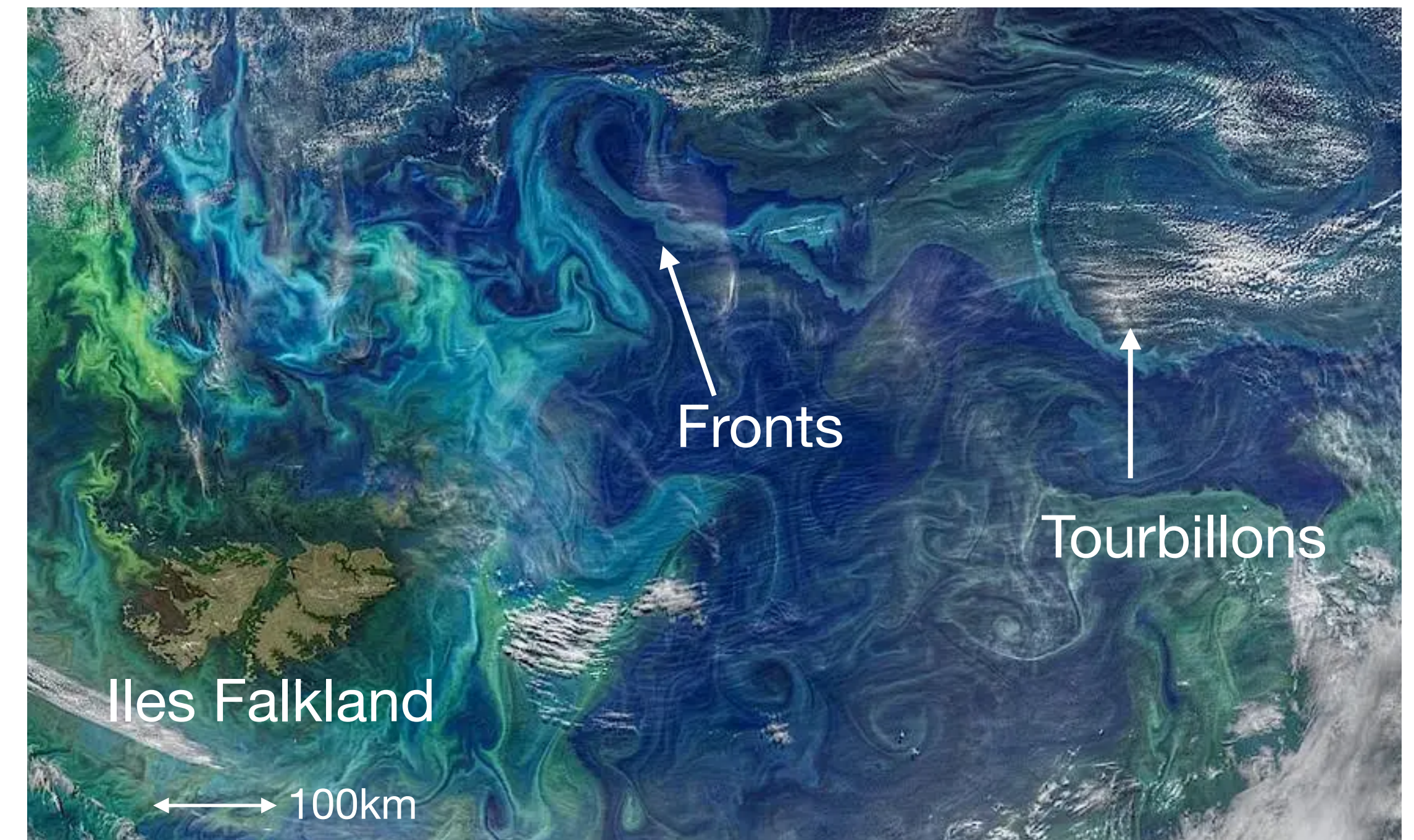
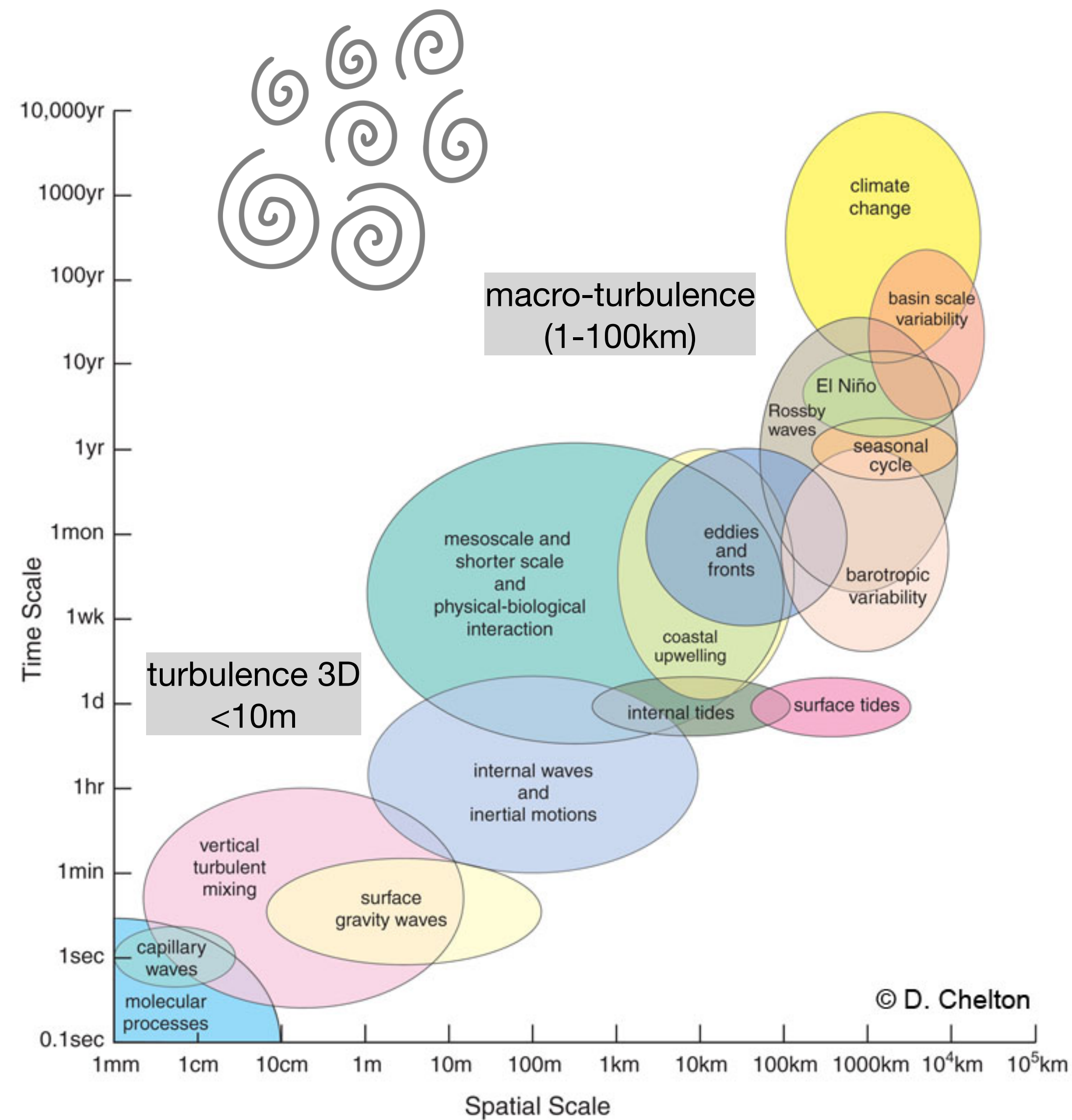


# Turbulence océanique de macro-échelle



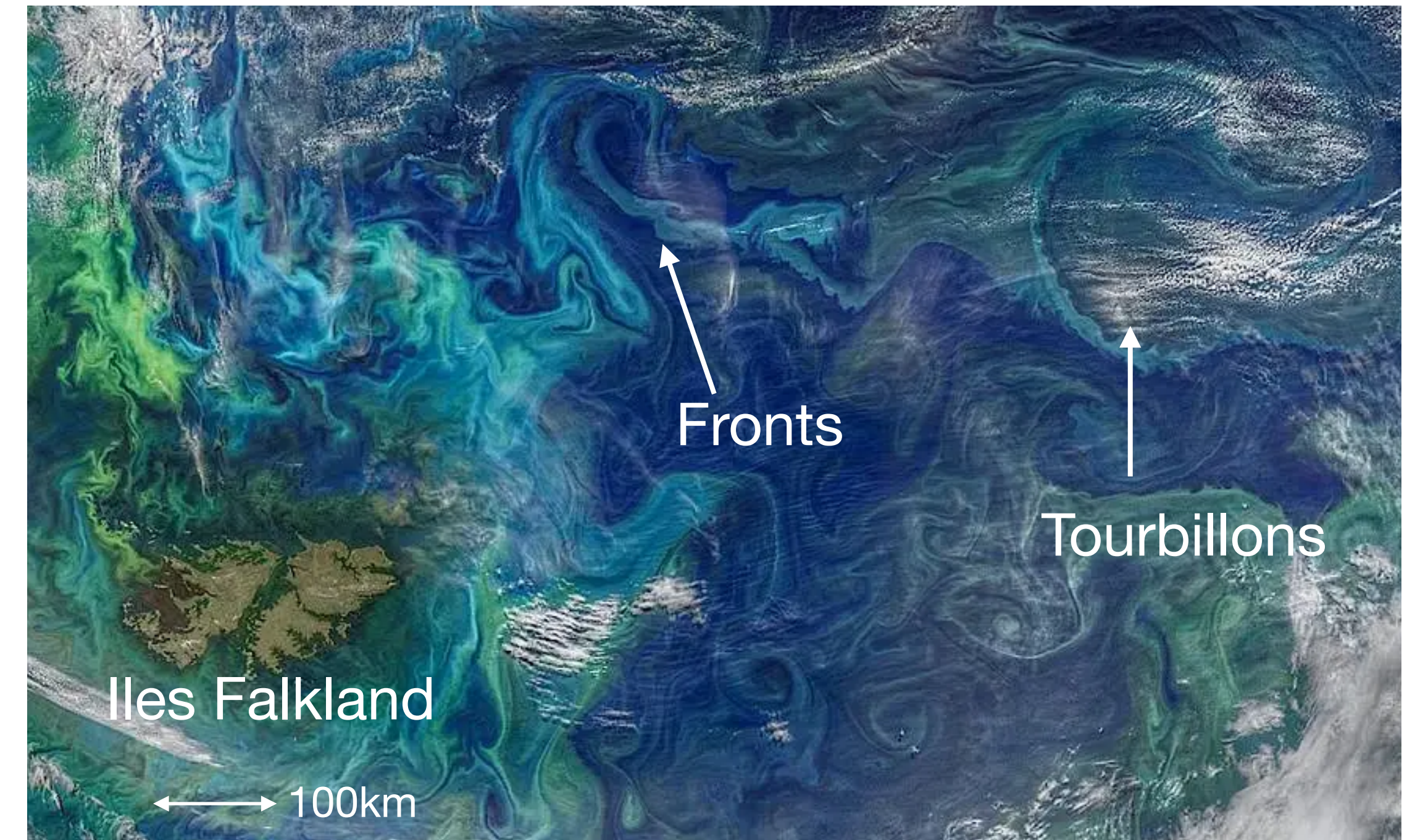
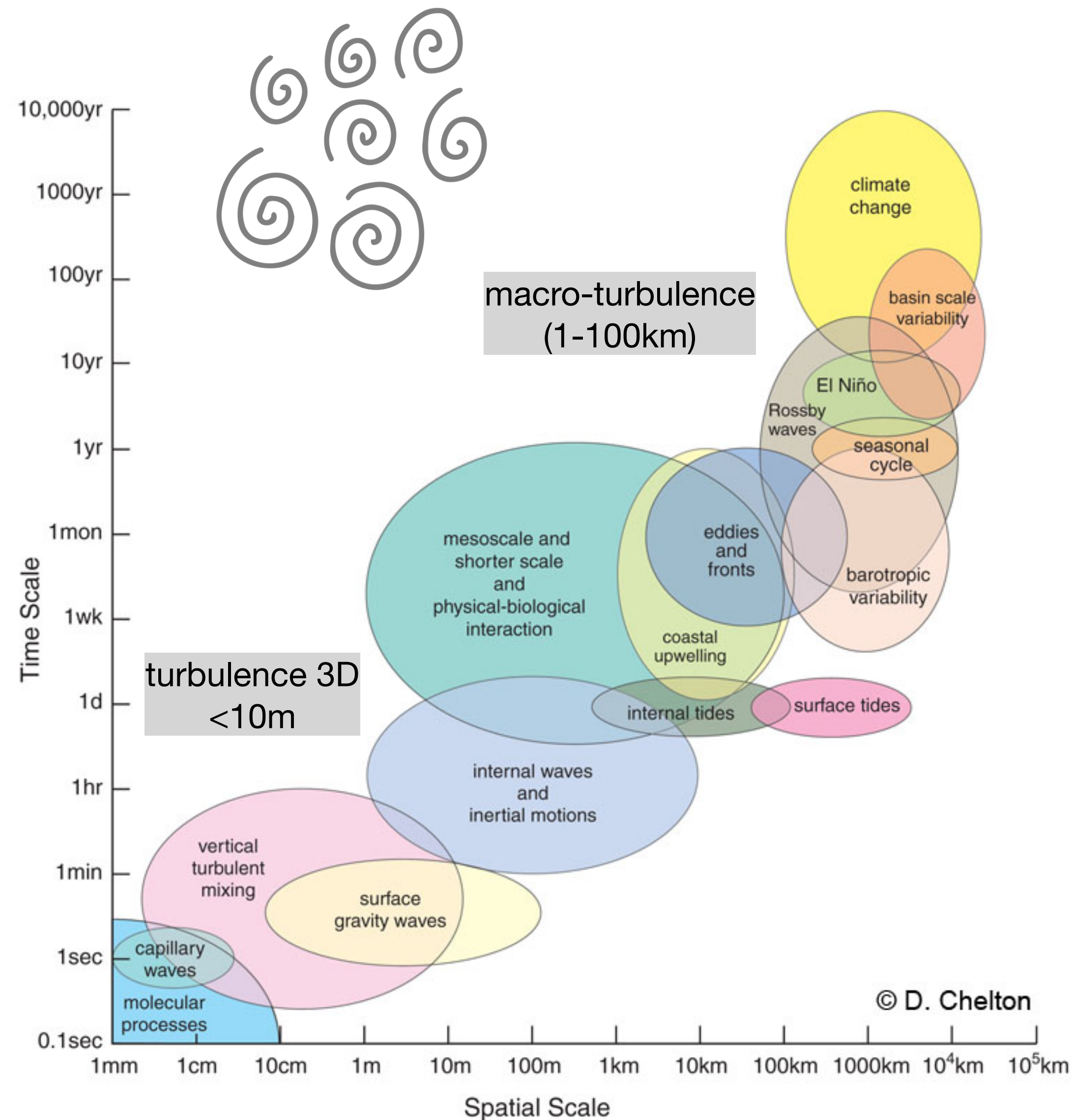


# Turbulence océanique de macro-échelle





# Turbulence océanique de macro-échelle

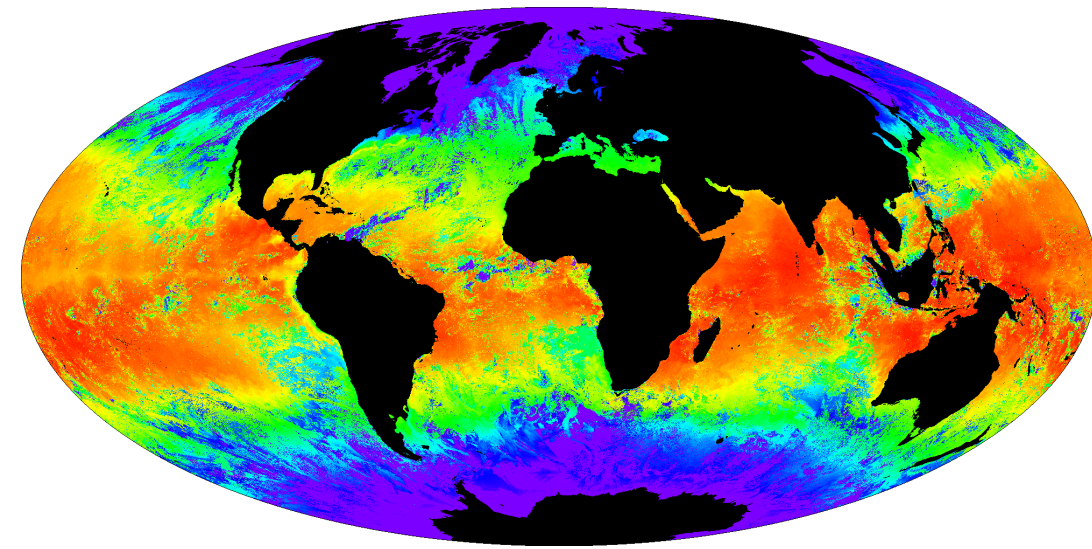


enjeux scientifiques :

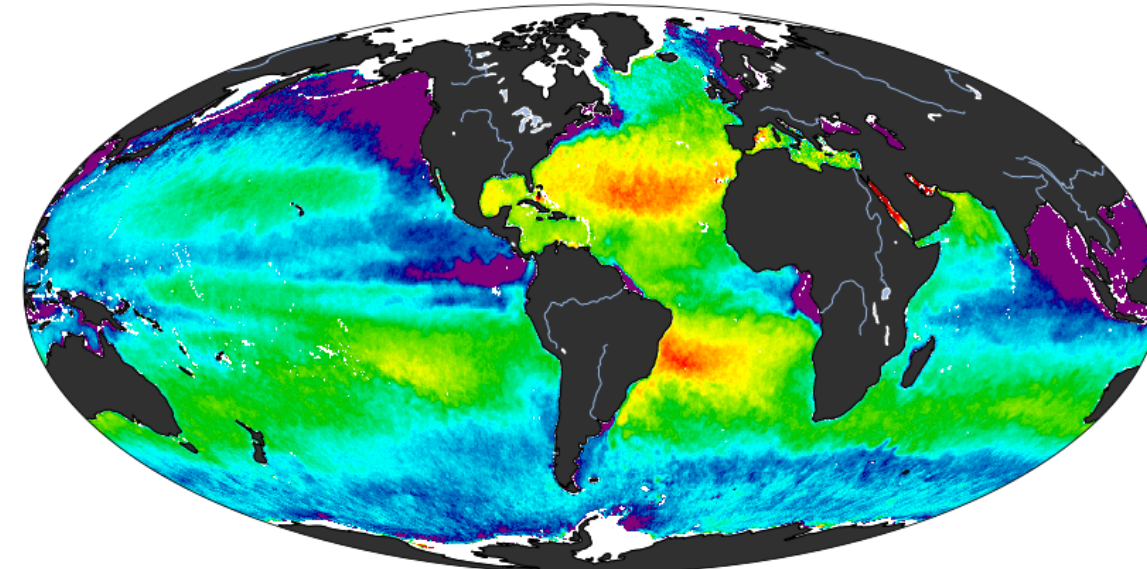
- sources, variabilité, dissipation, ...
- impact sur biologie, flux-air-mer, ...
- prévision pour activités humaines, ...



# Macro-turbulence et observations spatiales

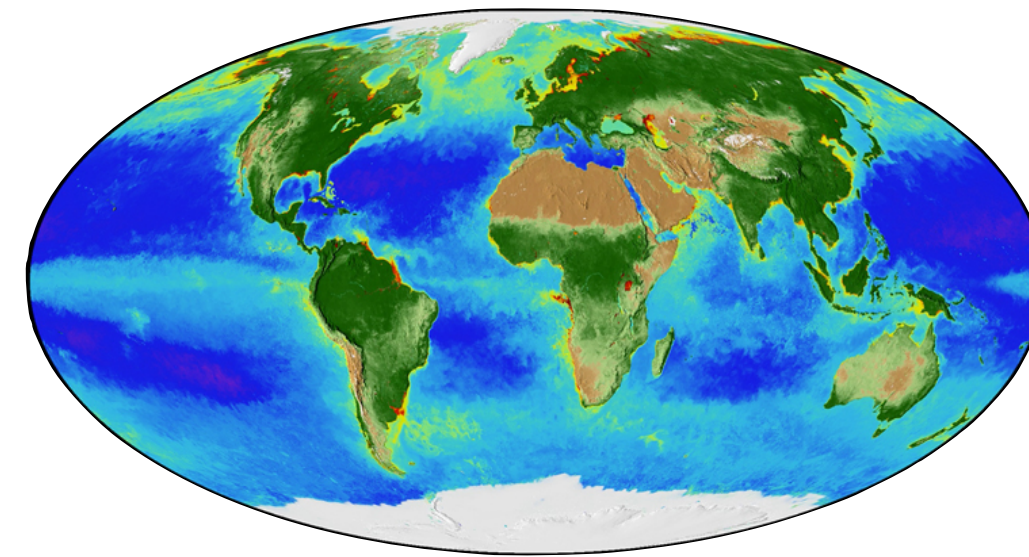


Temperature de surface



MAR 2024

Salinité de surface

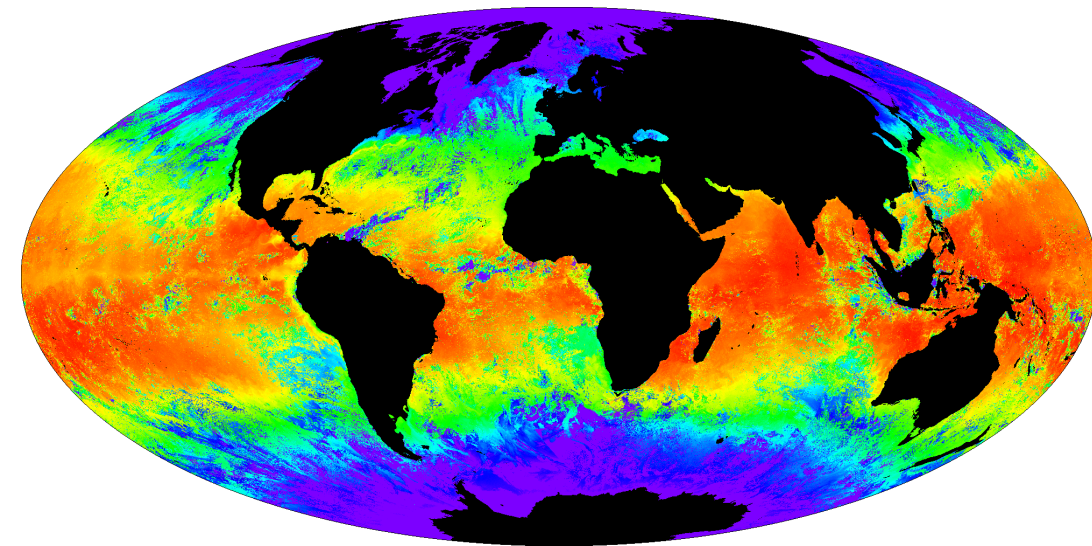


Couleur de l'eau

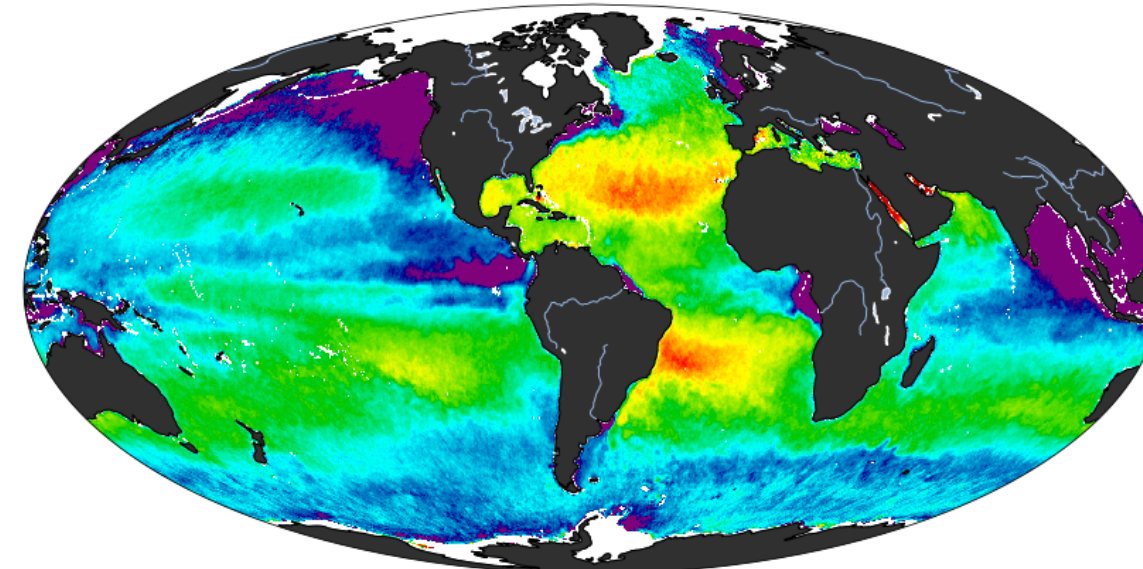
Signature des fronts et tourbillons  
sur toutes les observables



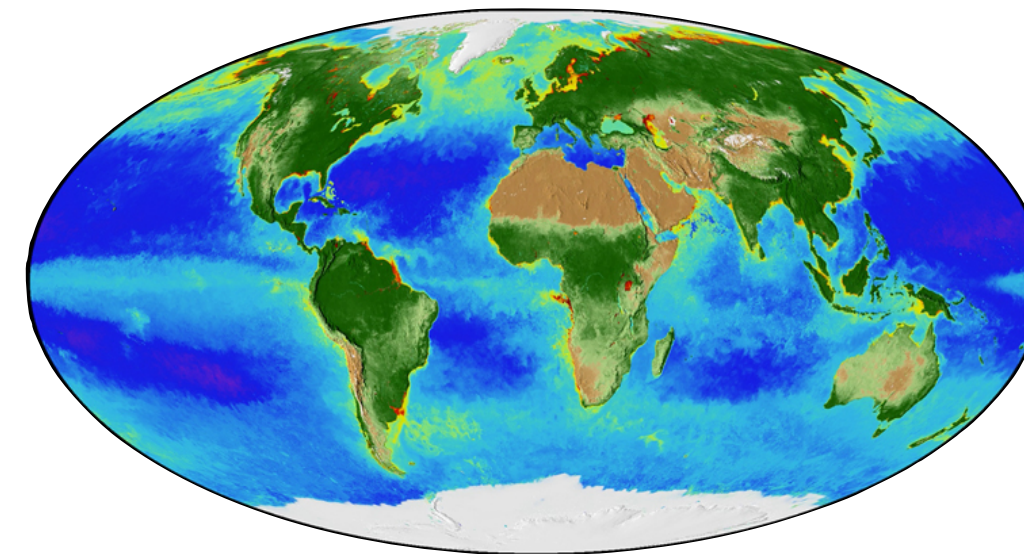
# Macro-turbulence et observations spatiales



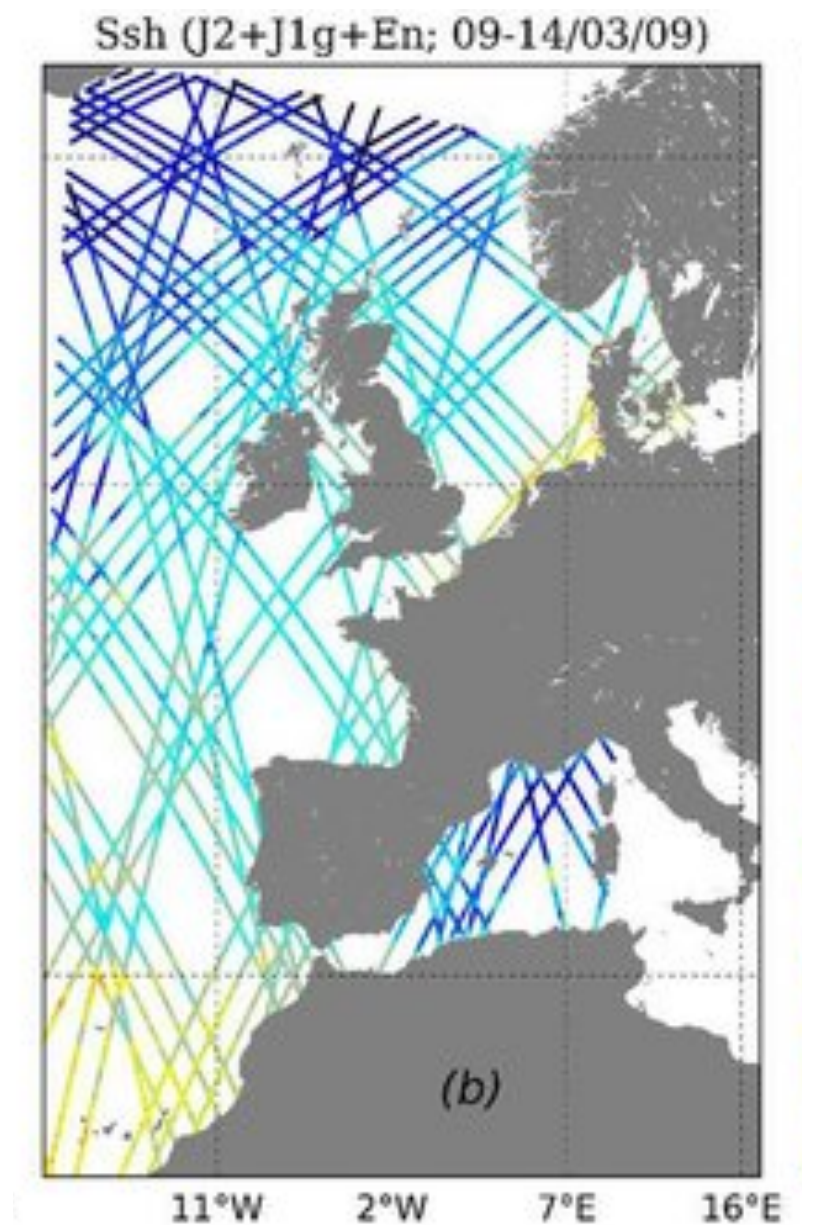
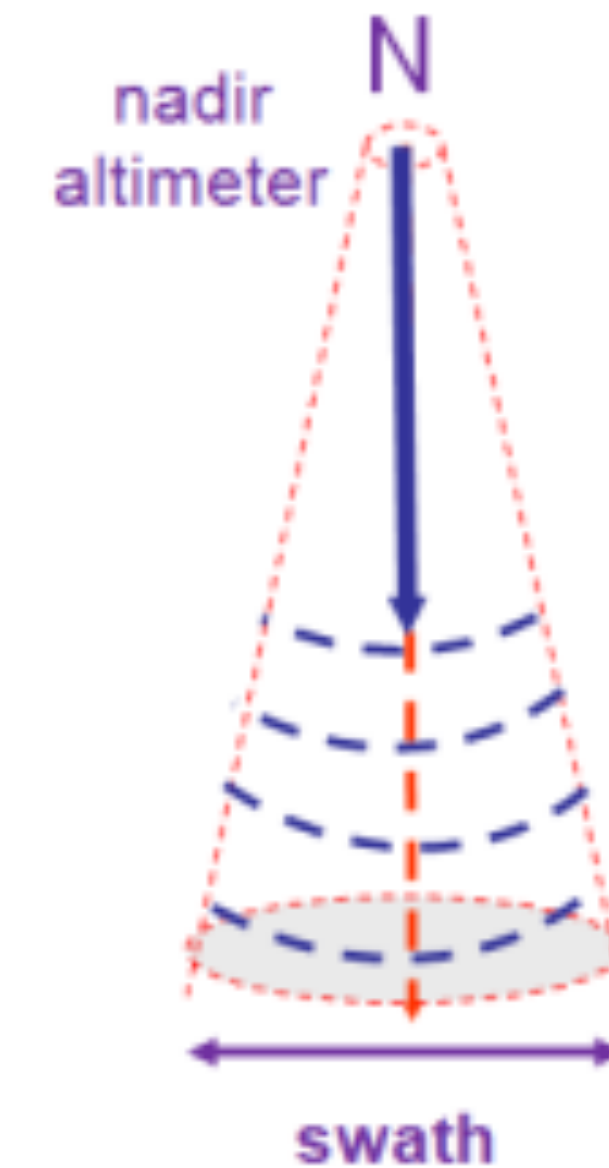
Temperature de surface



MAR 2024  
Salinité de surface



Couleur de l'eau



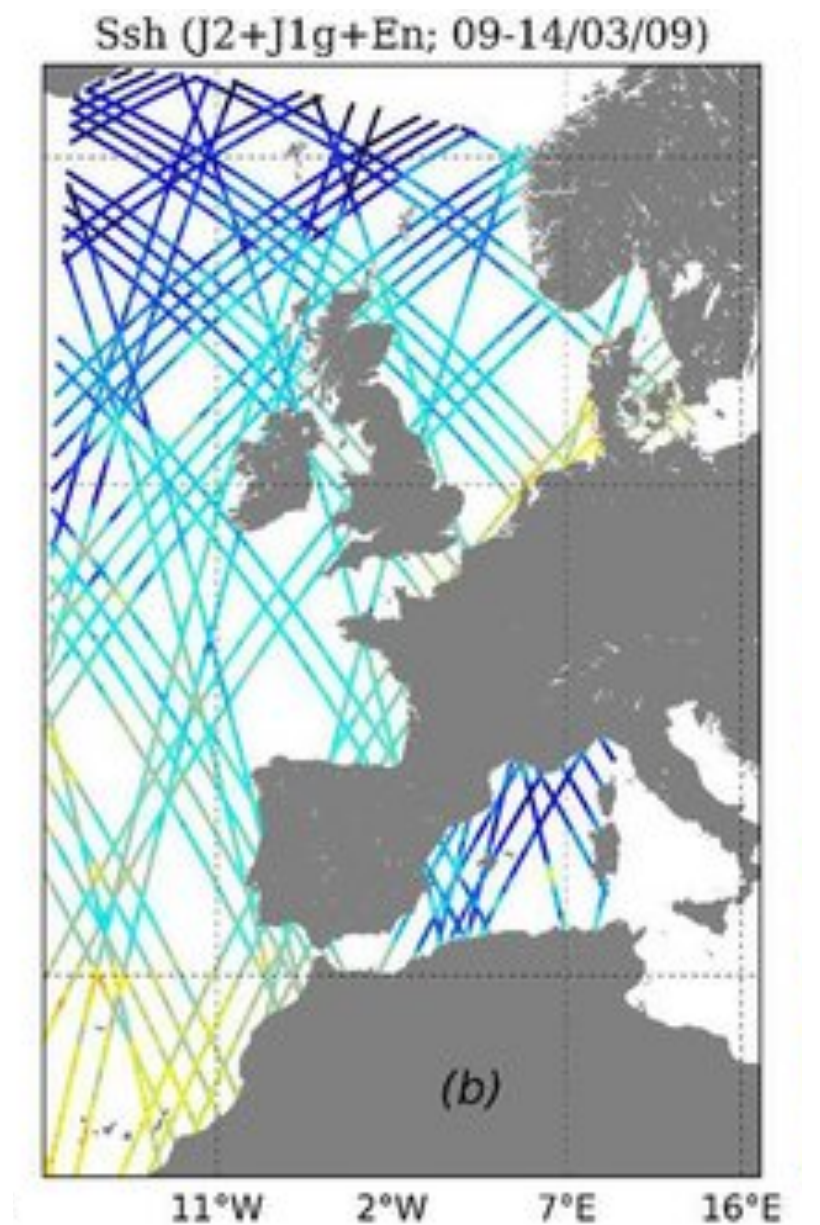
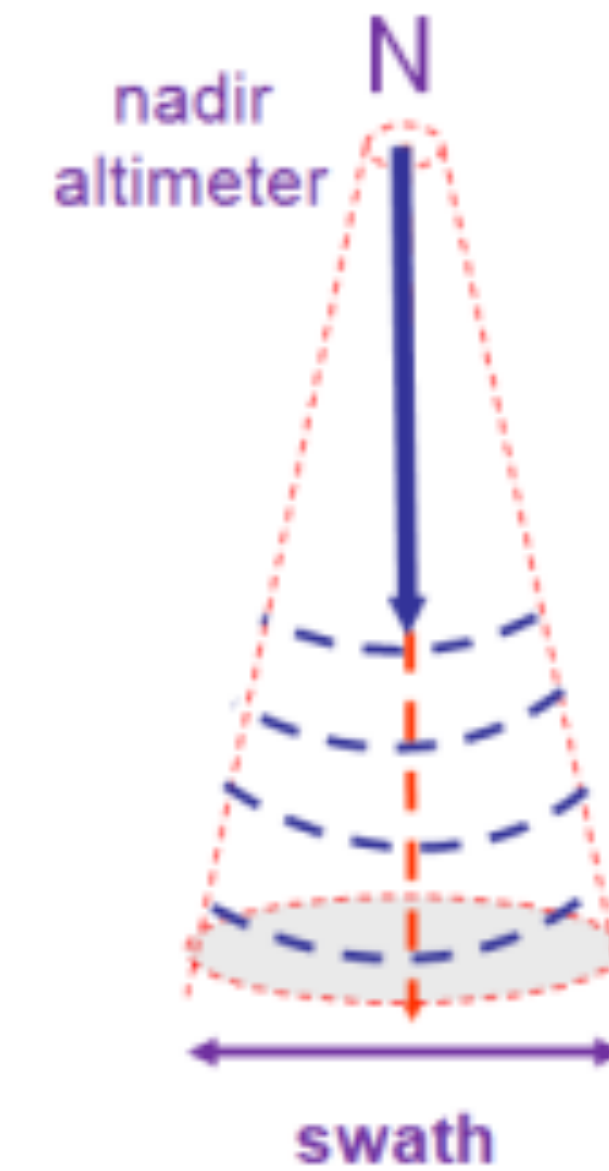
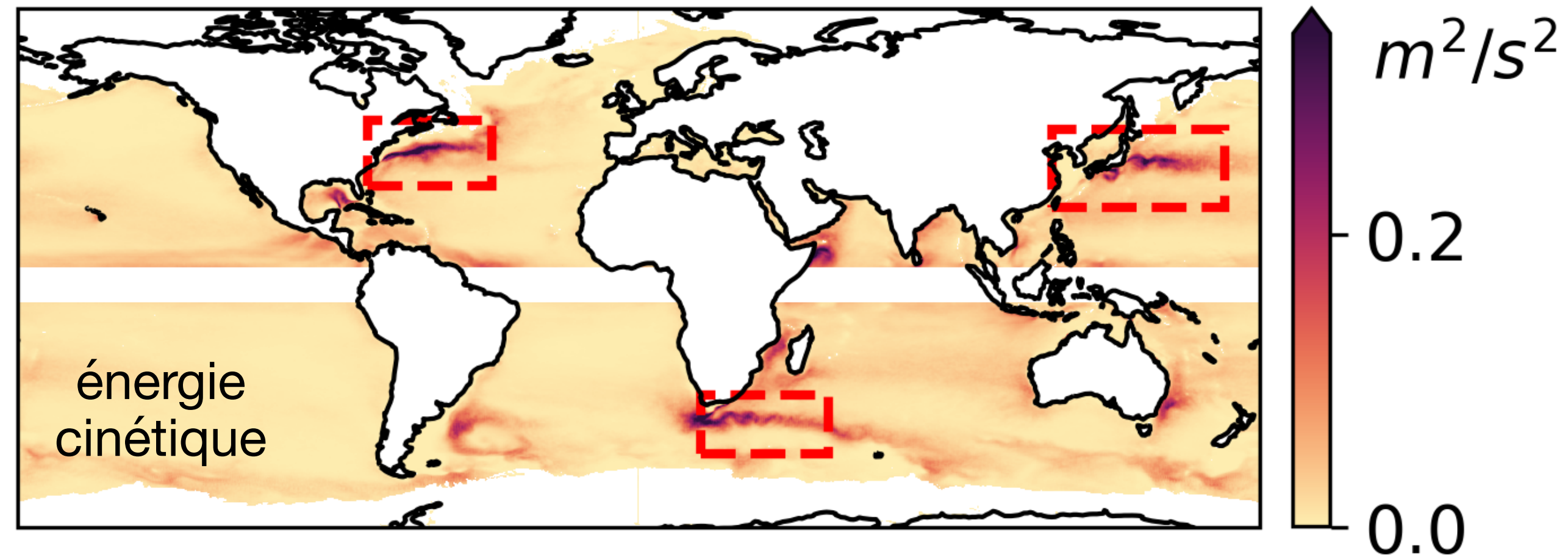
$\nabla SSH \rightarrow$  **courants**

Signature des fronts et tourbillons  
sur toutes les observables

Rôle pivot de l'altimétrie radar  
(Nadir, SWOT)



# Macro-turbulence et observations spatiales

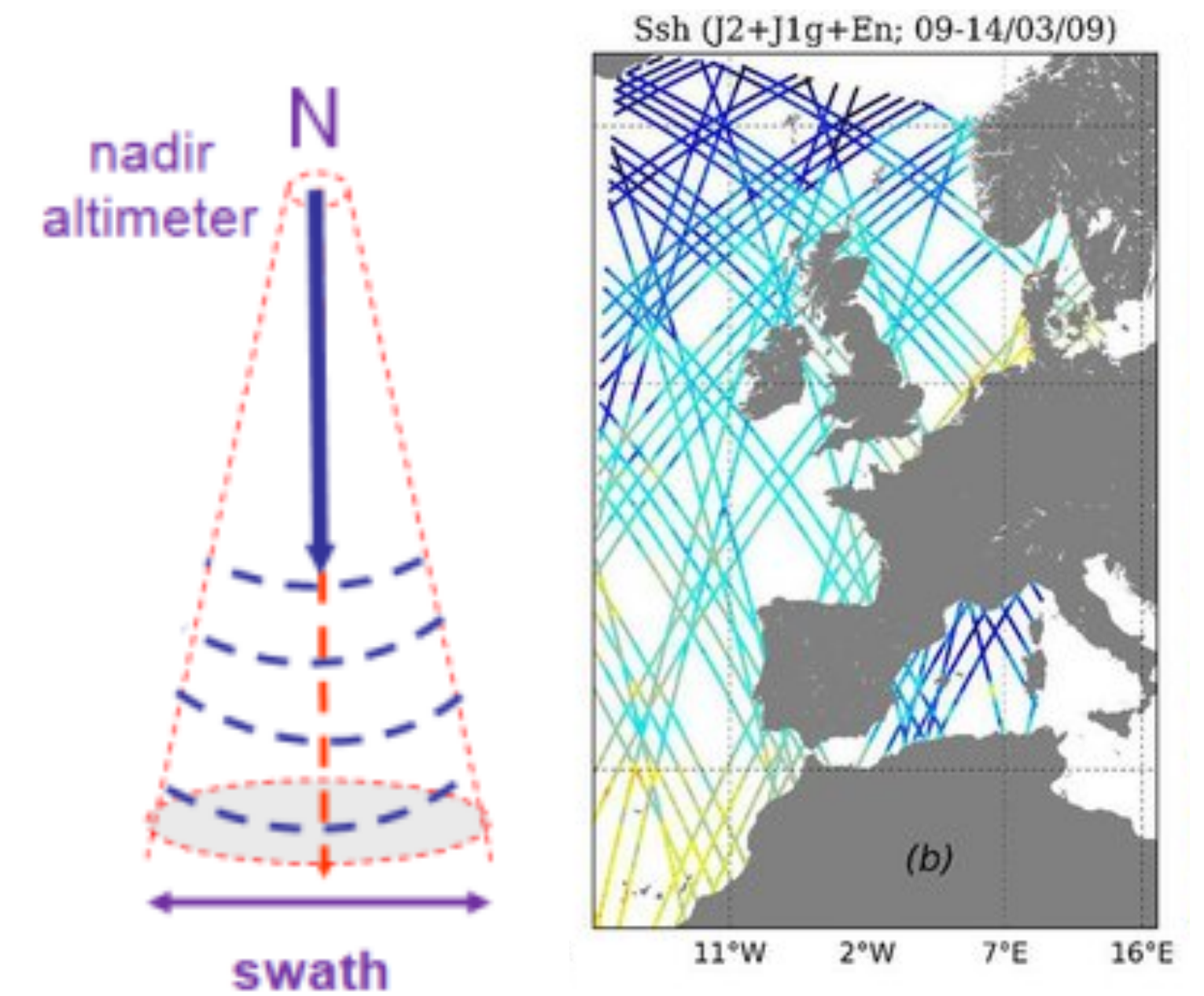
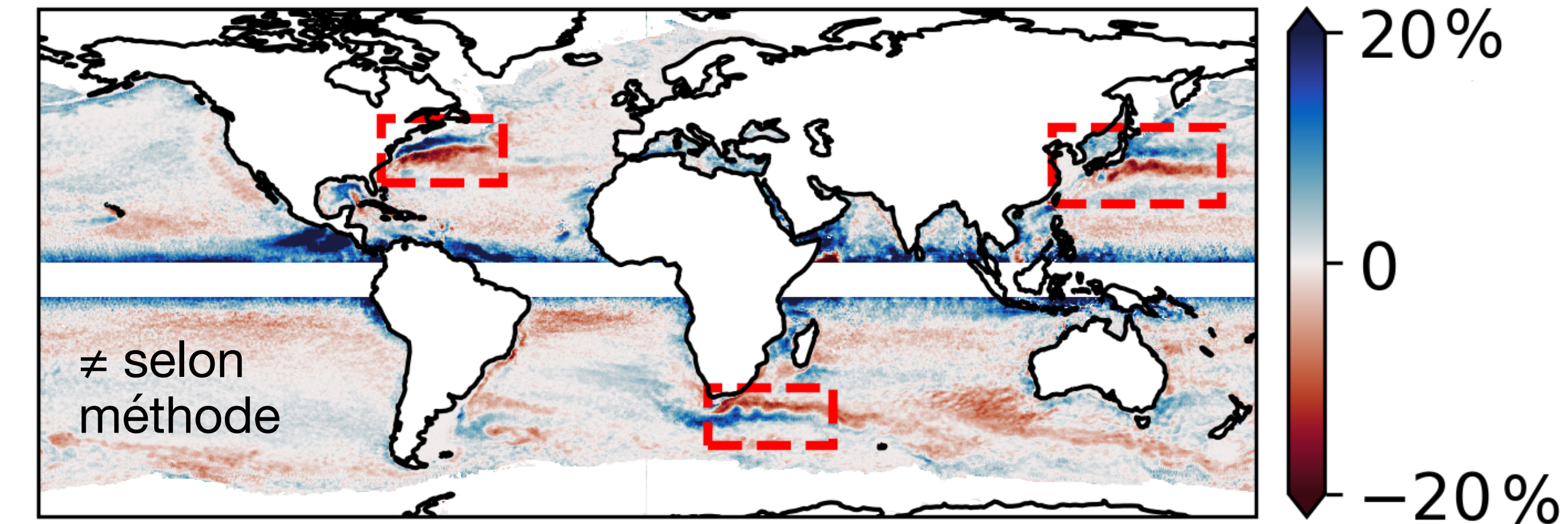
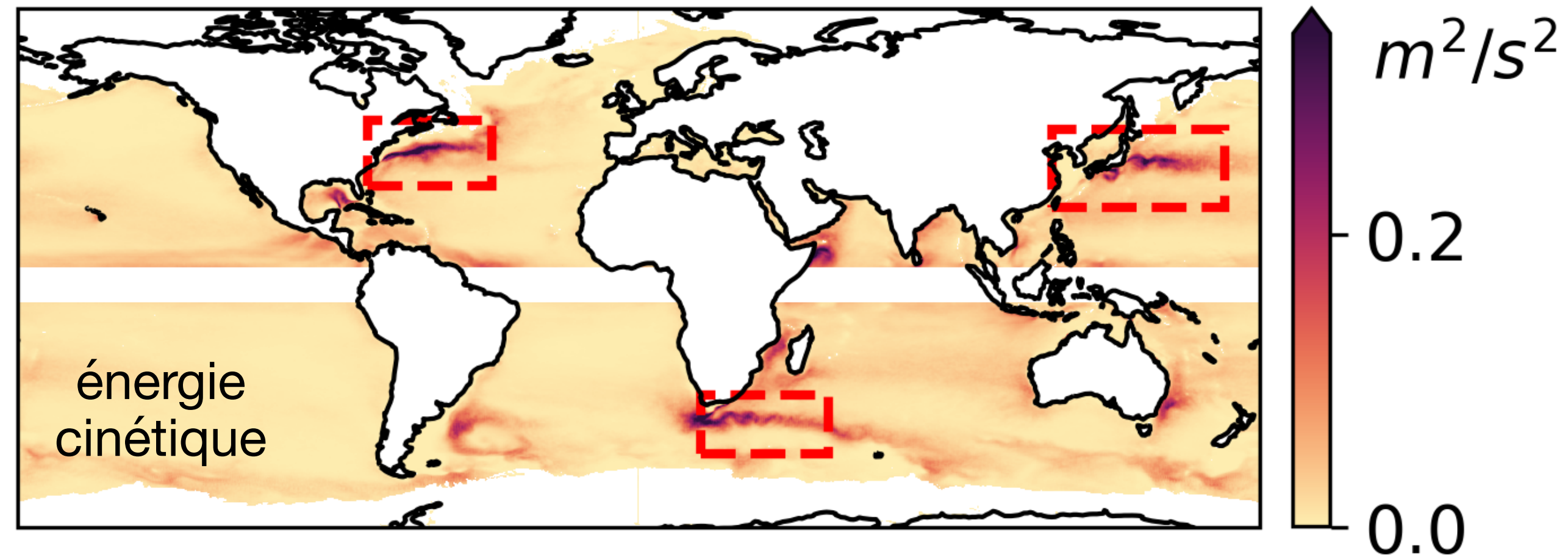


$\nabla SSH \rightarrow$  **courants**

Rôle pivot de l'altimétrie radar  
(Nadir, SWOT)



# Macro-turbulence et observations spatiales



$\nabla SSH \rightarrow$  **courants**

Bertrand et al. 2025

<https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-4172>

Rôle pivot de l'altimétrie radar  
(Nadir, SWOT)



2.

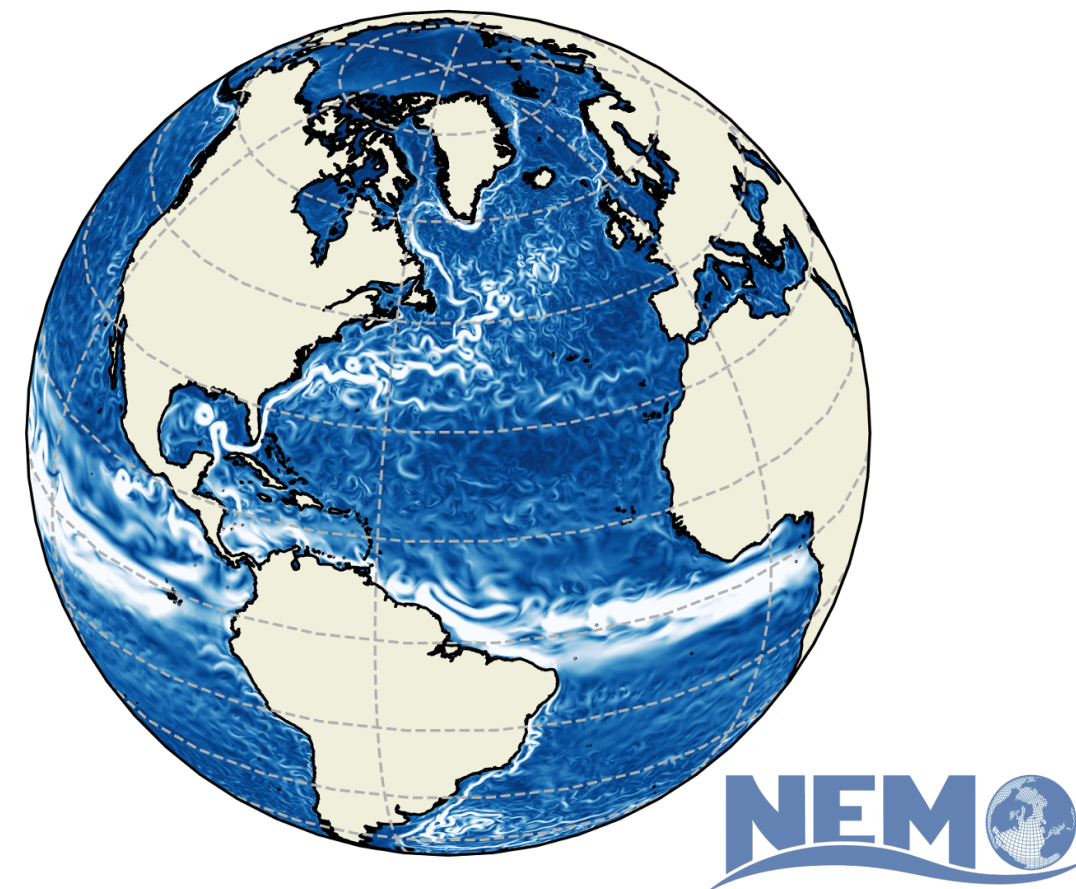
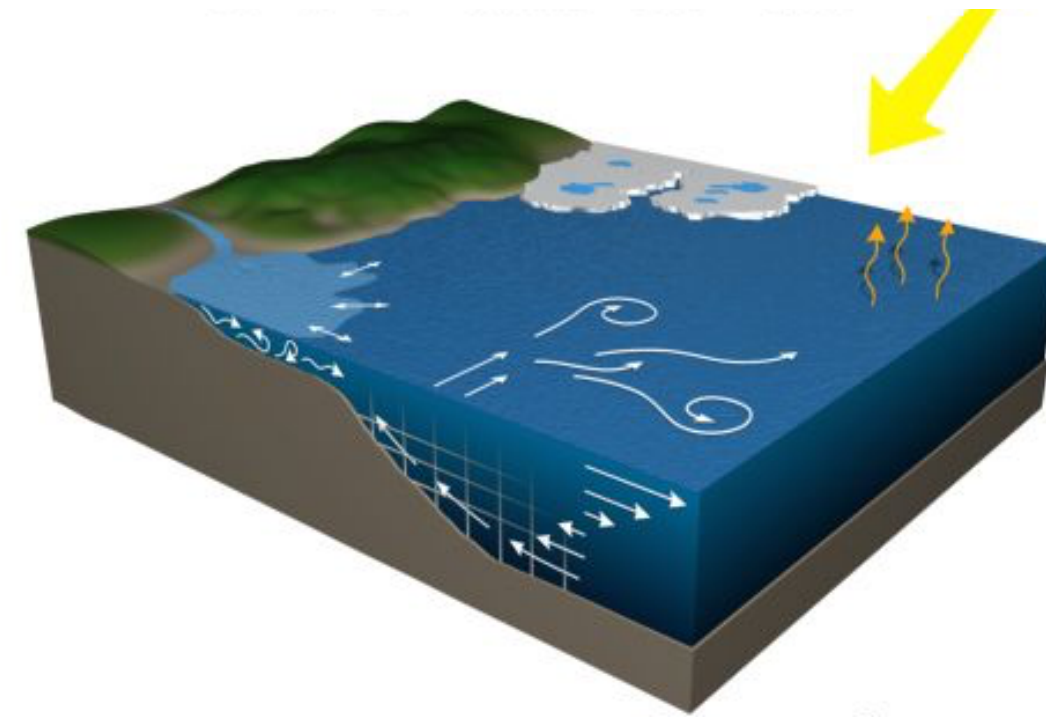
**Modéliser**

**la circulation océanique**



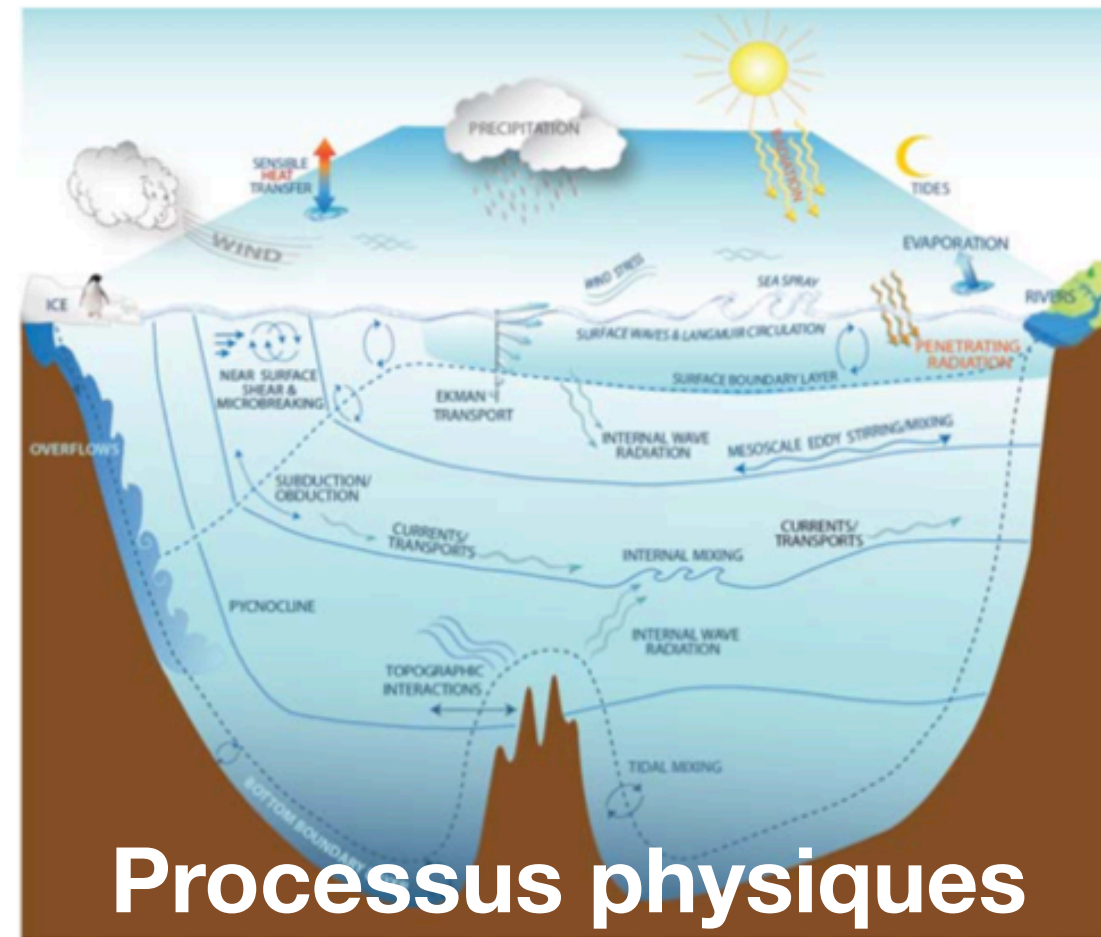
# Modèles de circulation océanique

## Modèles physiques

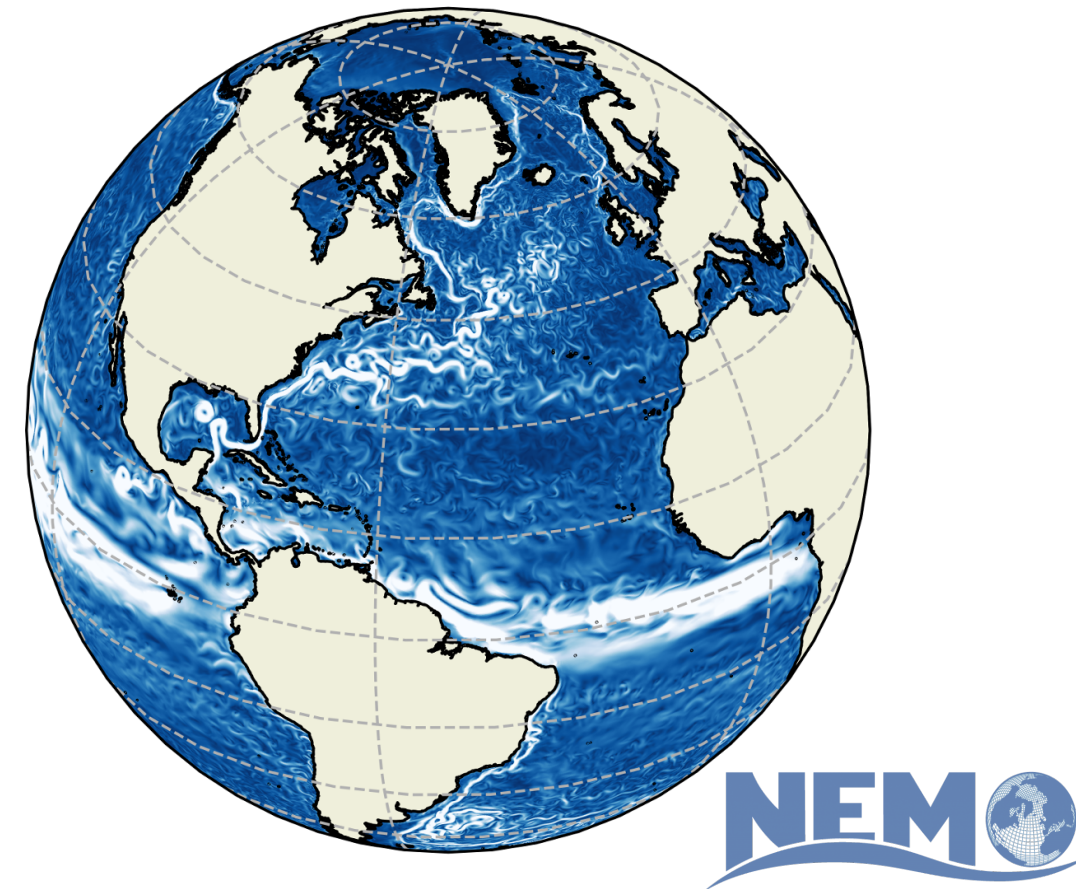
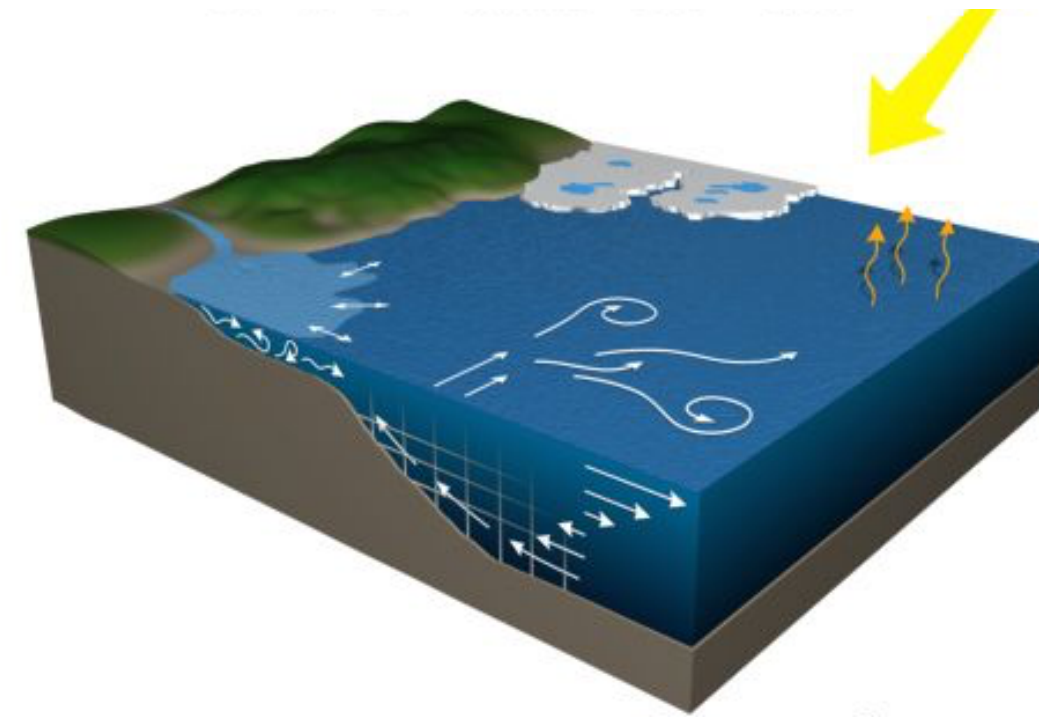




# Modèles de circulation océanique

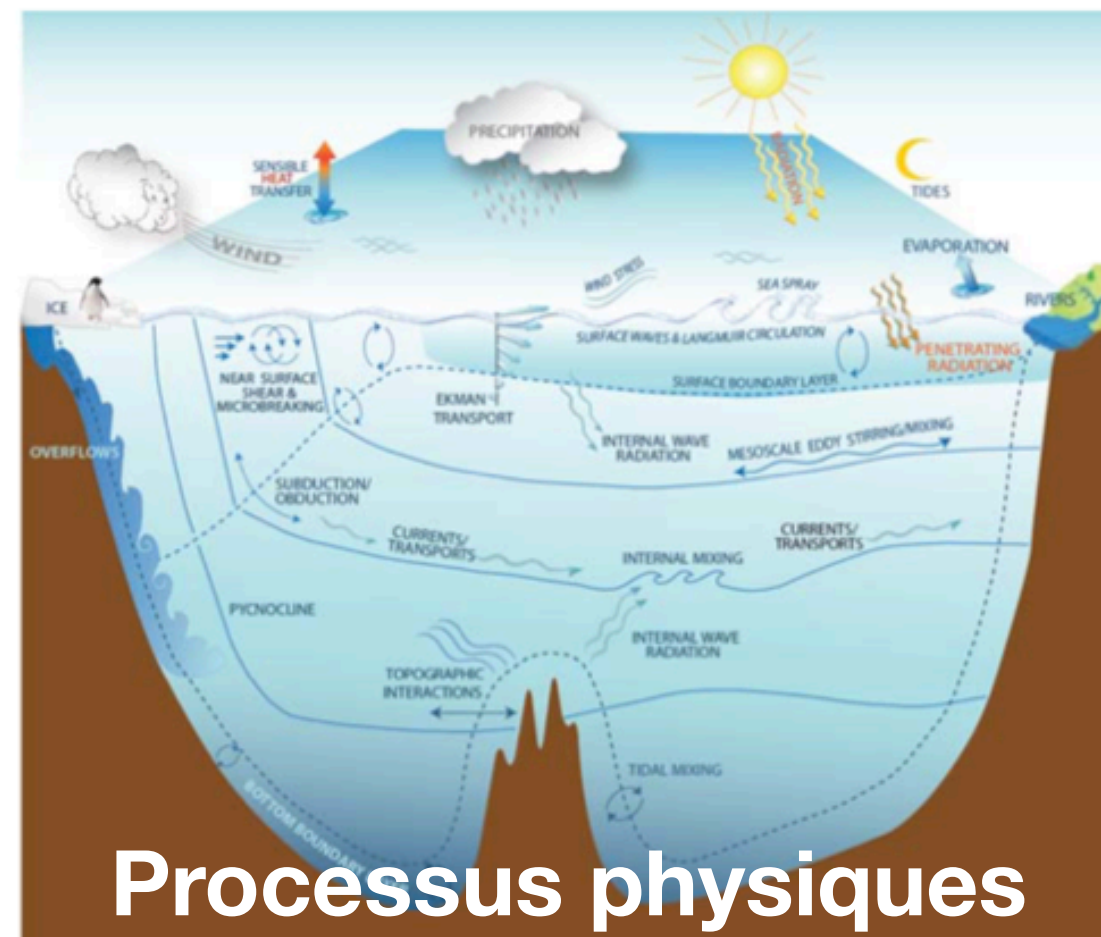


Modèles physiques



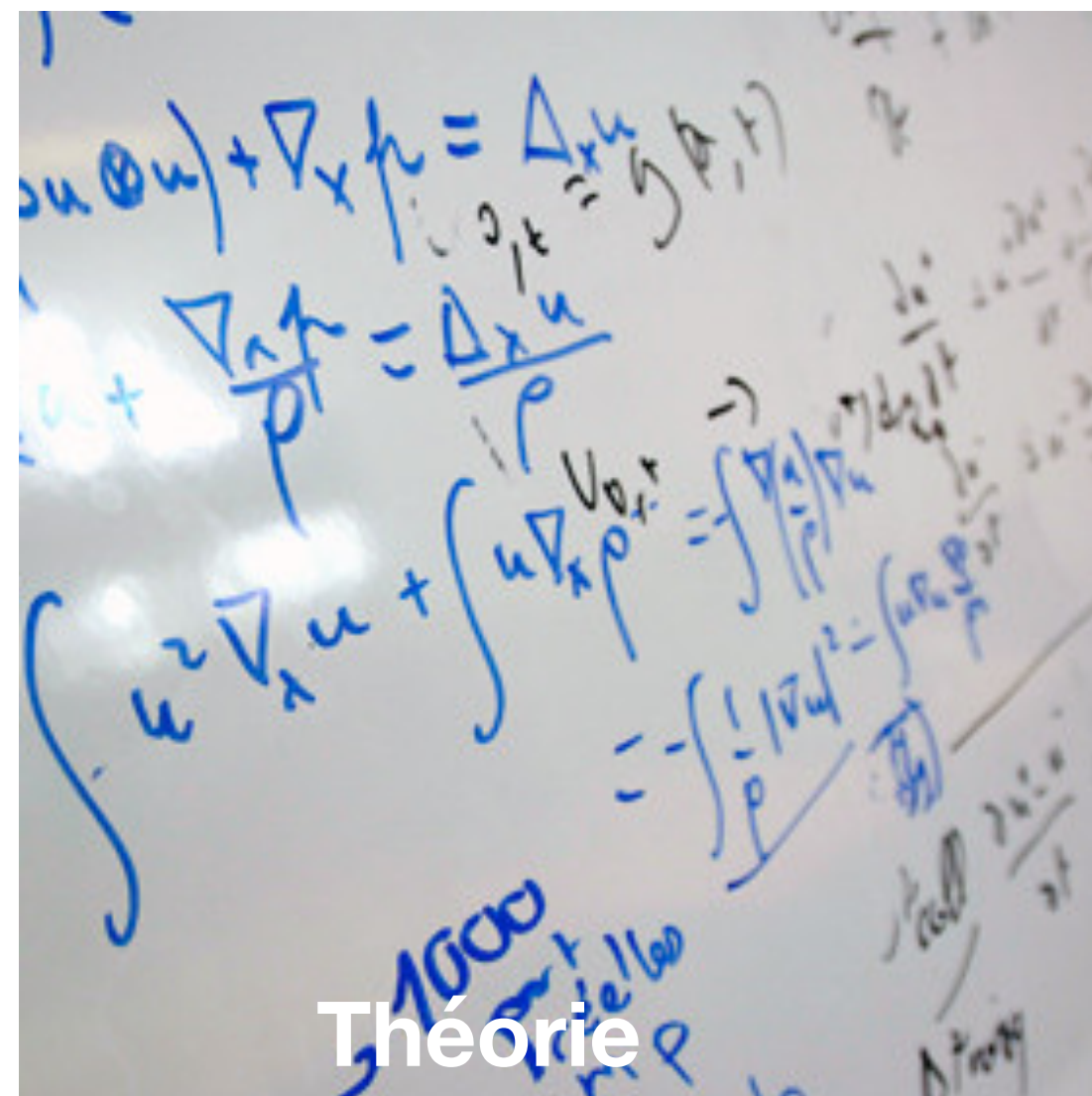
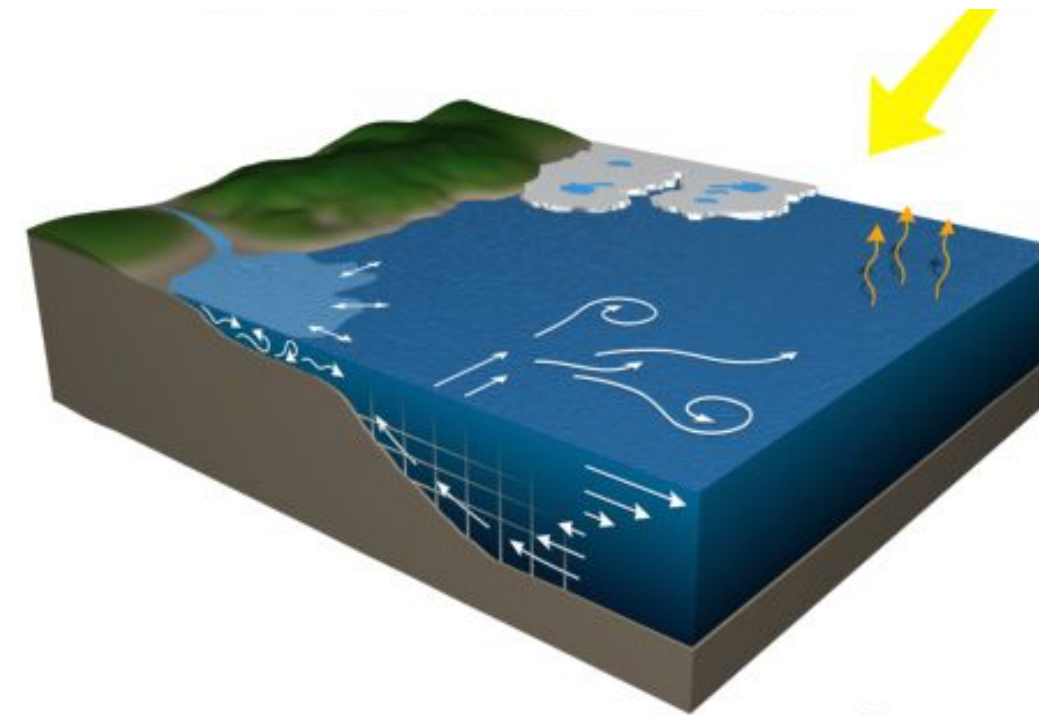


# Modèles de circulation océanique

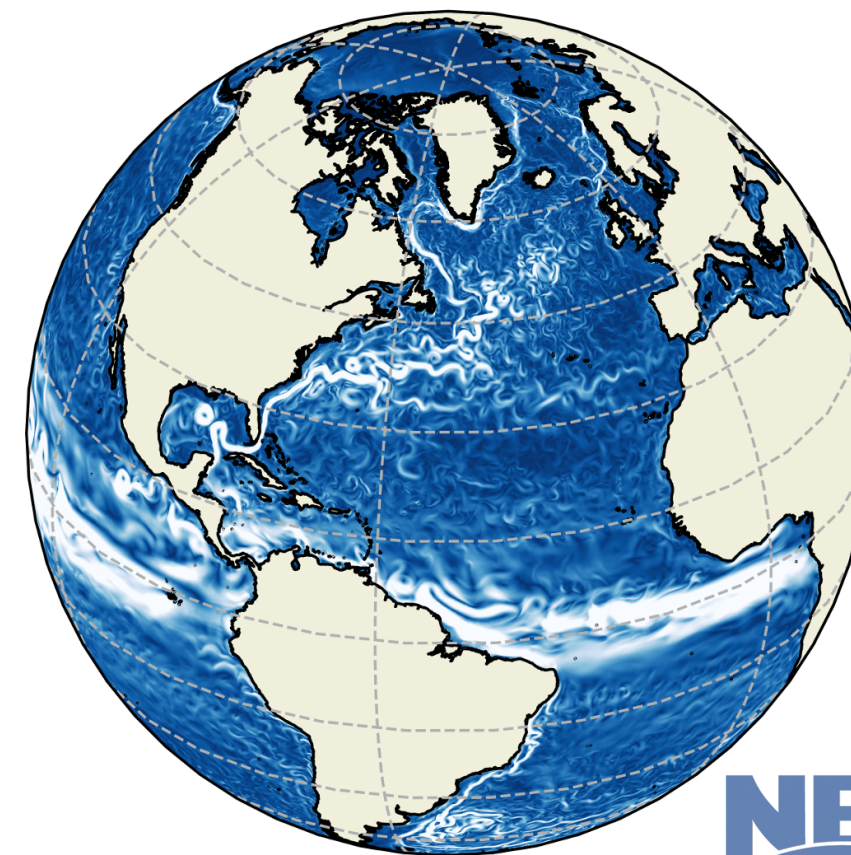


Processus physiques

## Modèles physiques

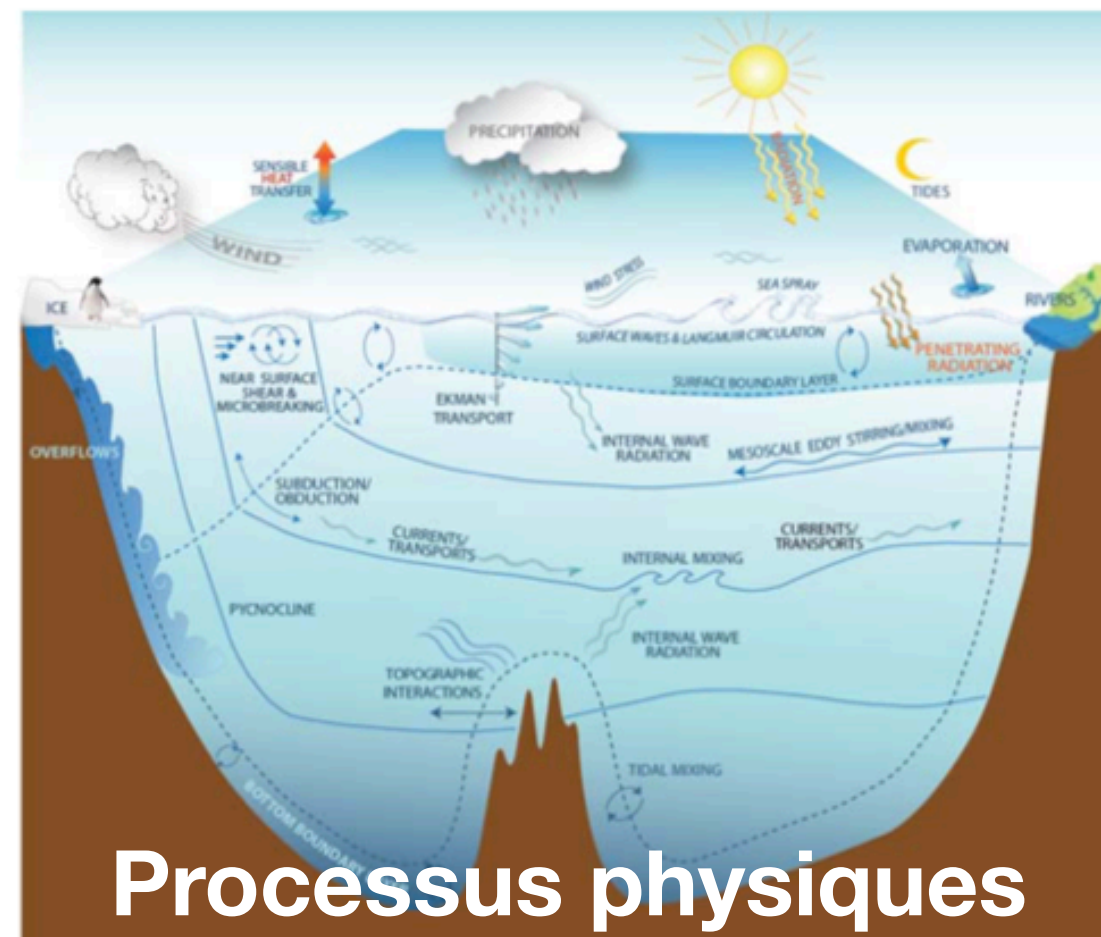


Théorie



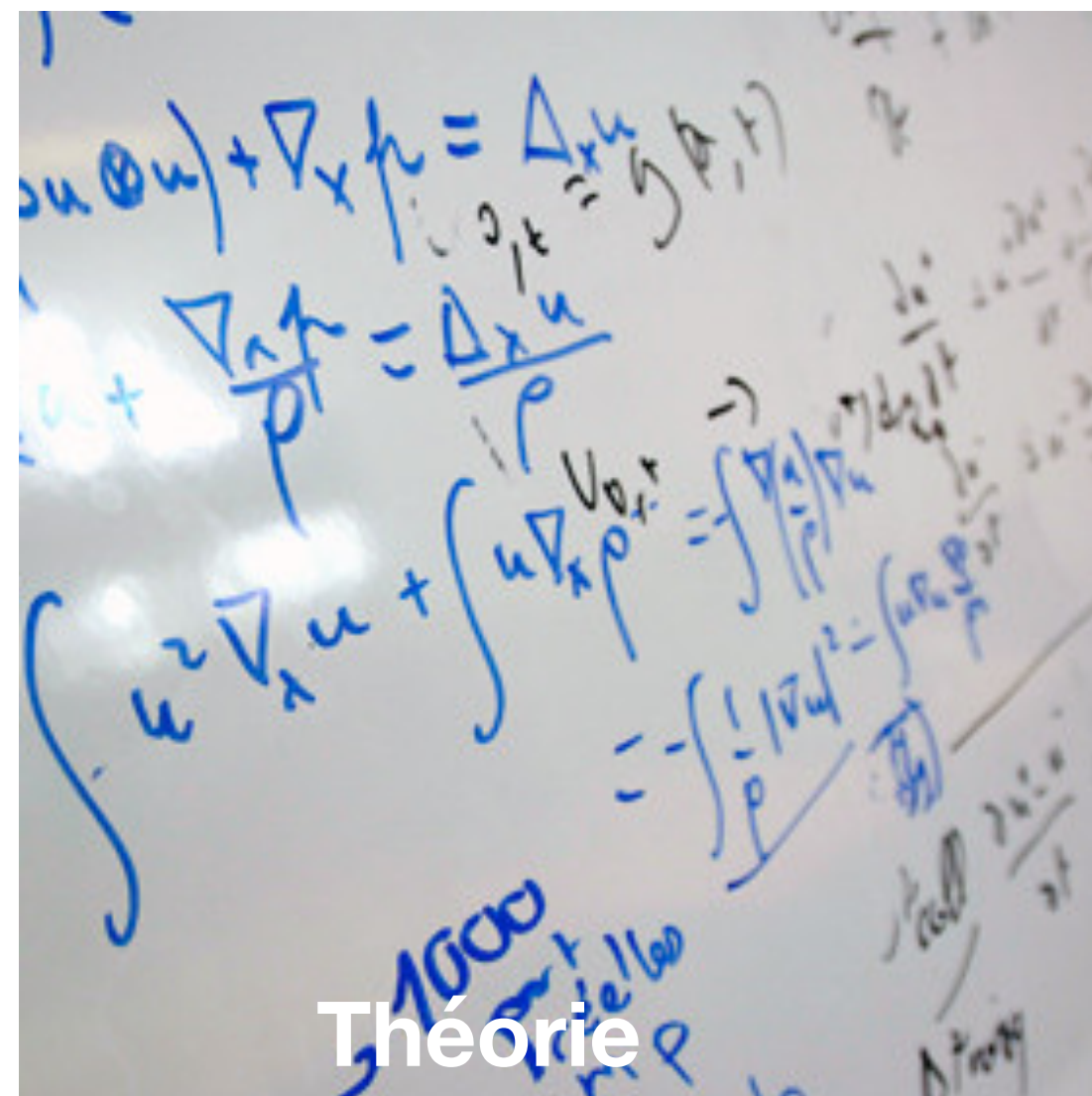
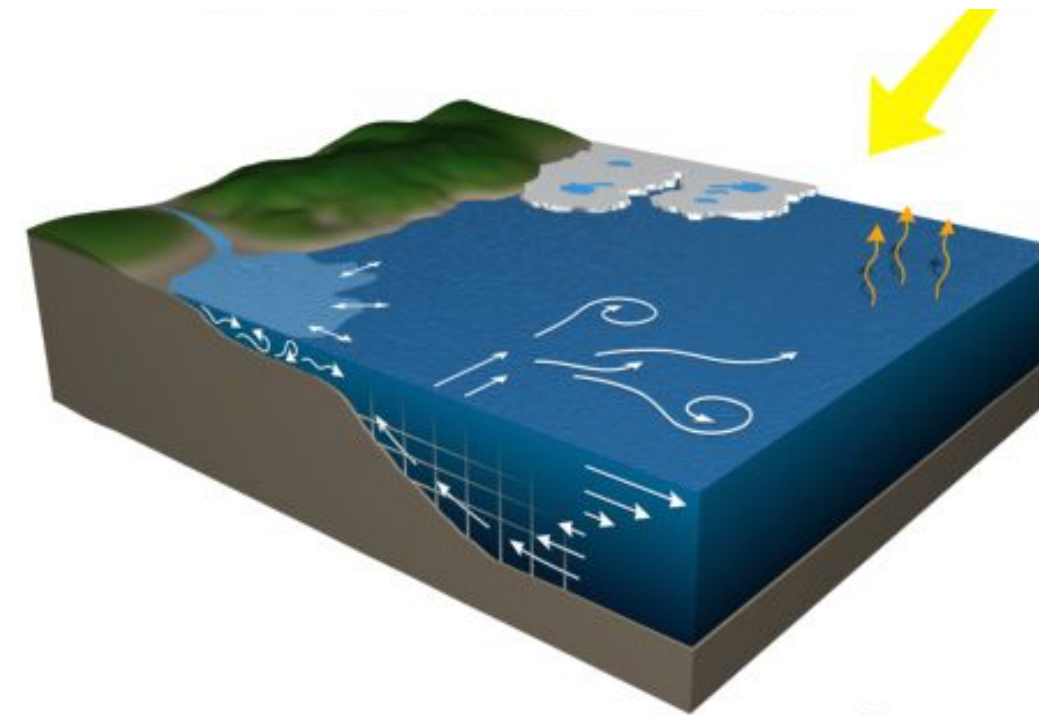


# Modèles de circulation océanique

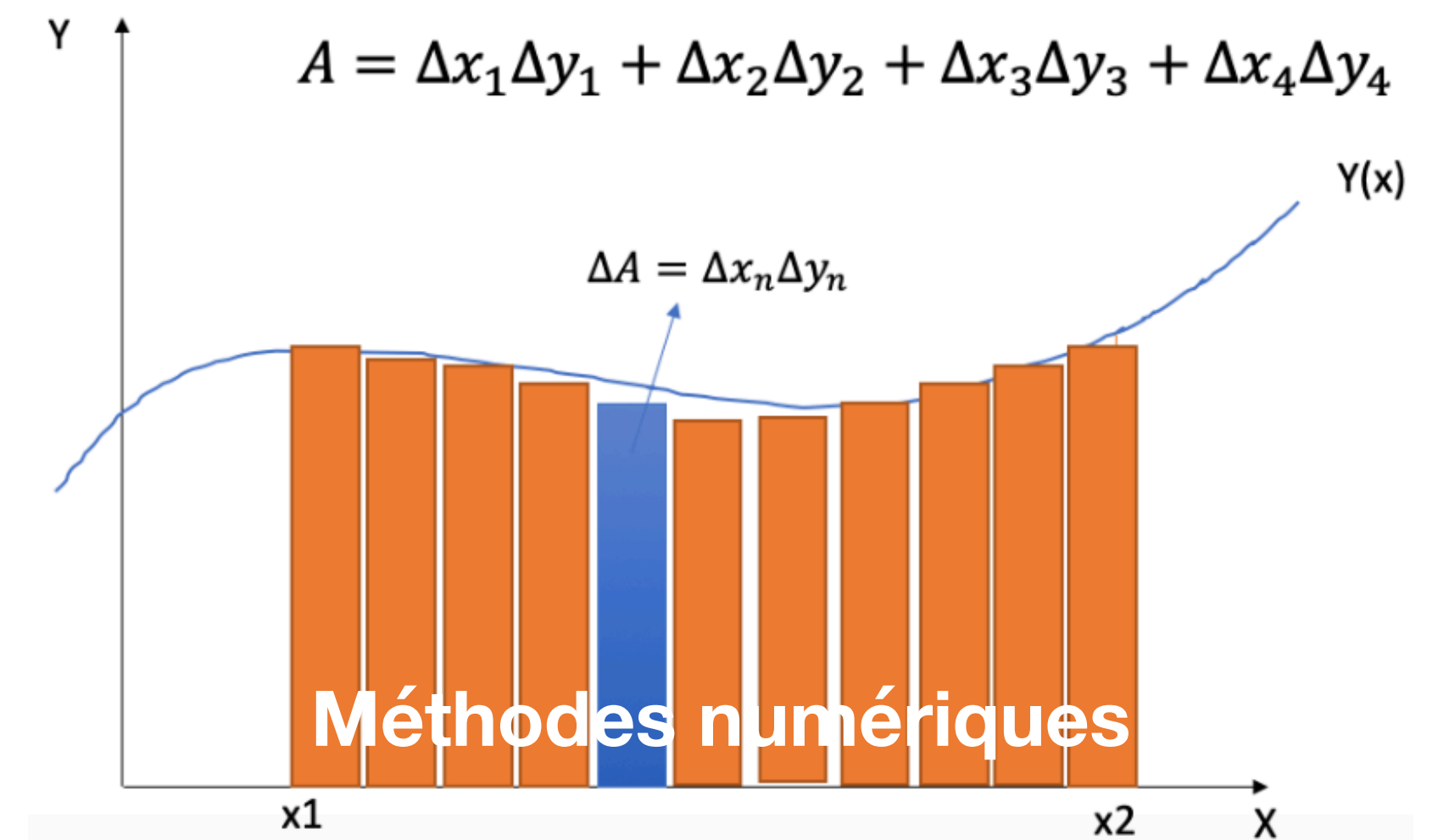
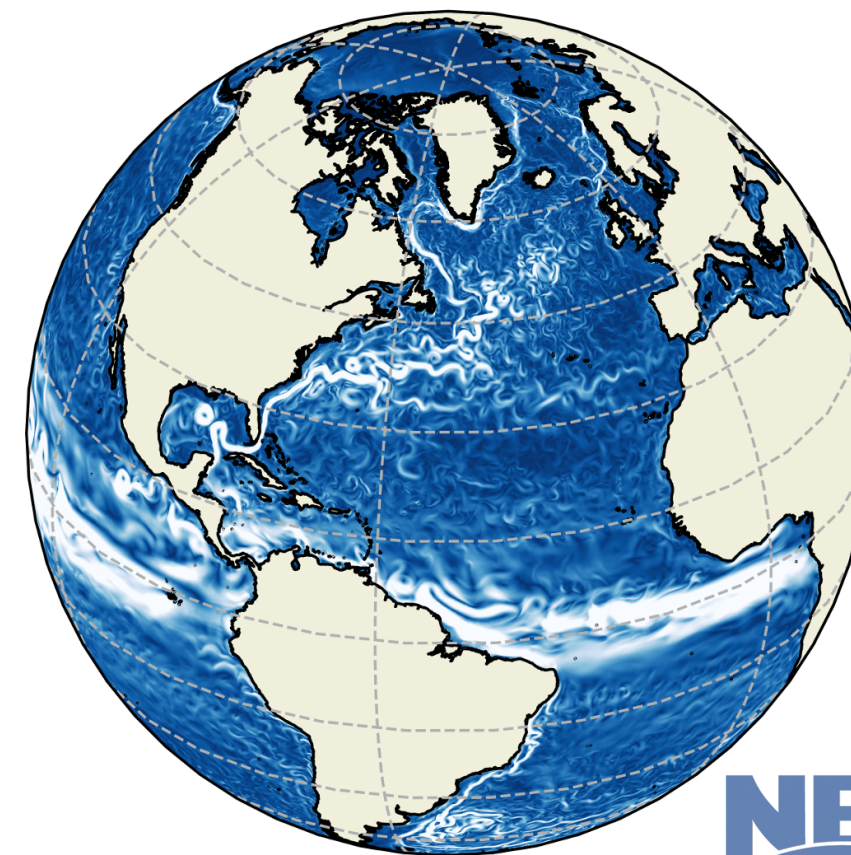


Processus physiques

## Modèles physiques



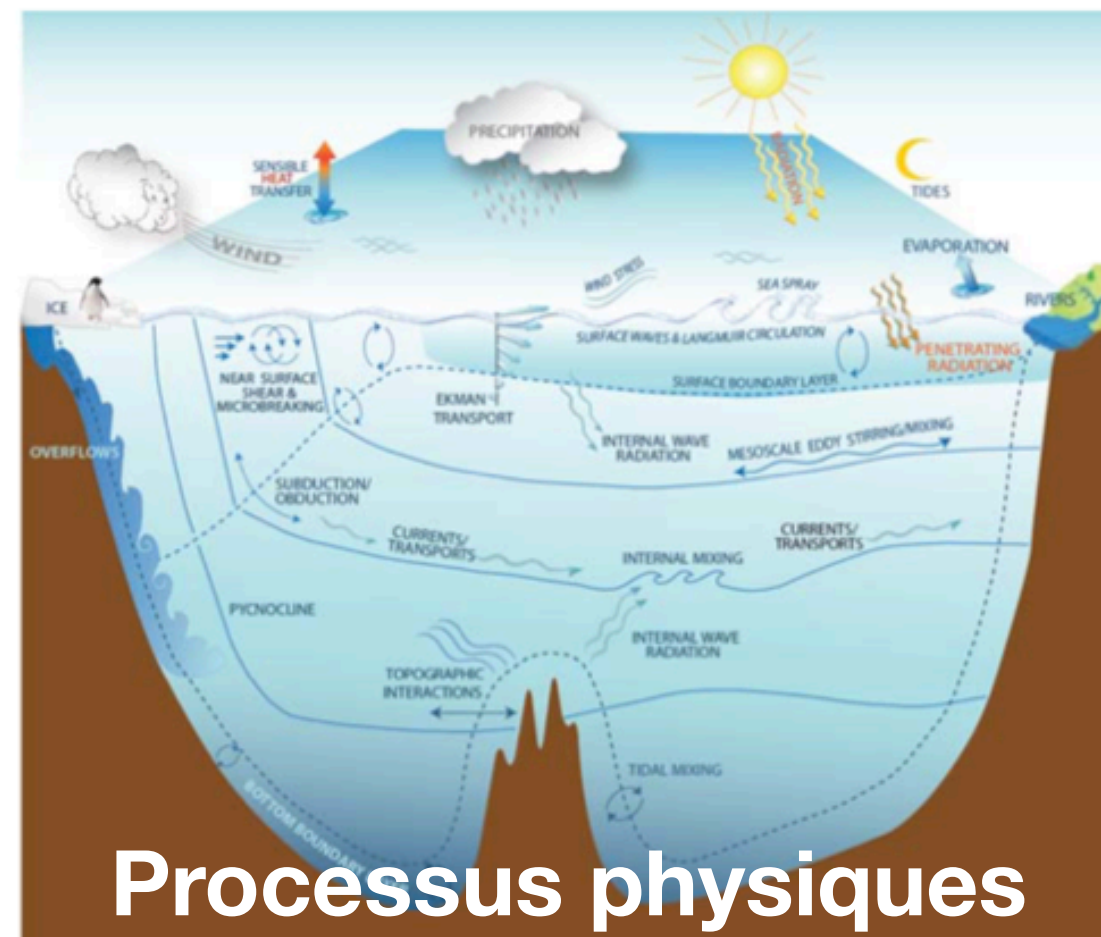
Théorie



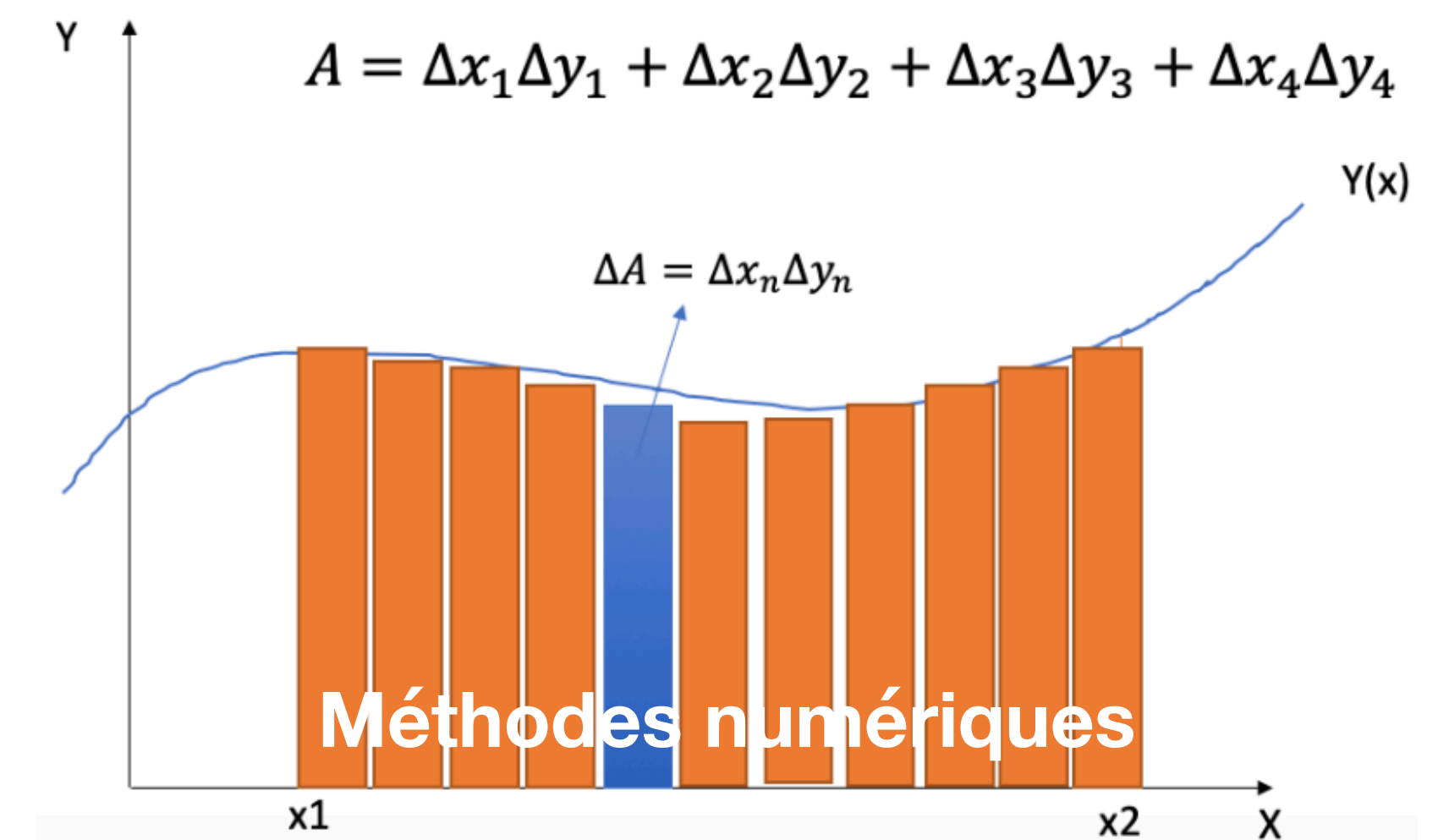
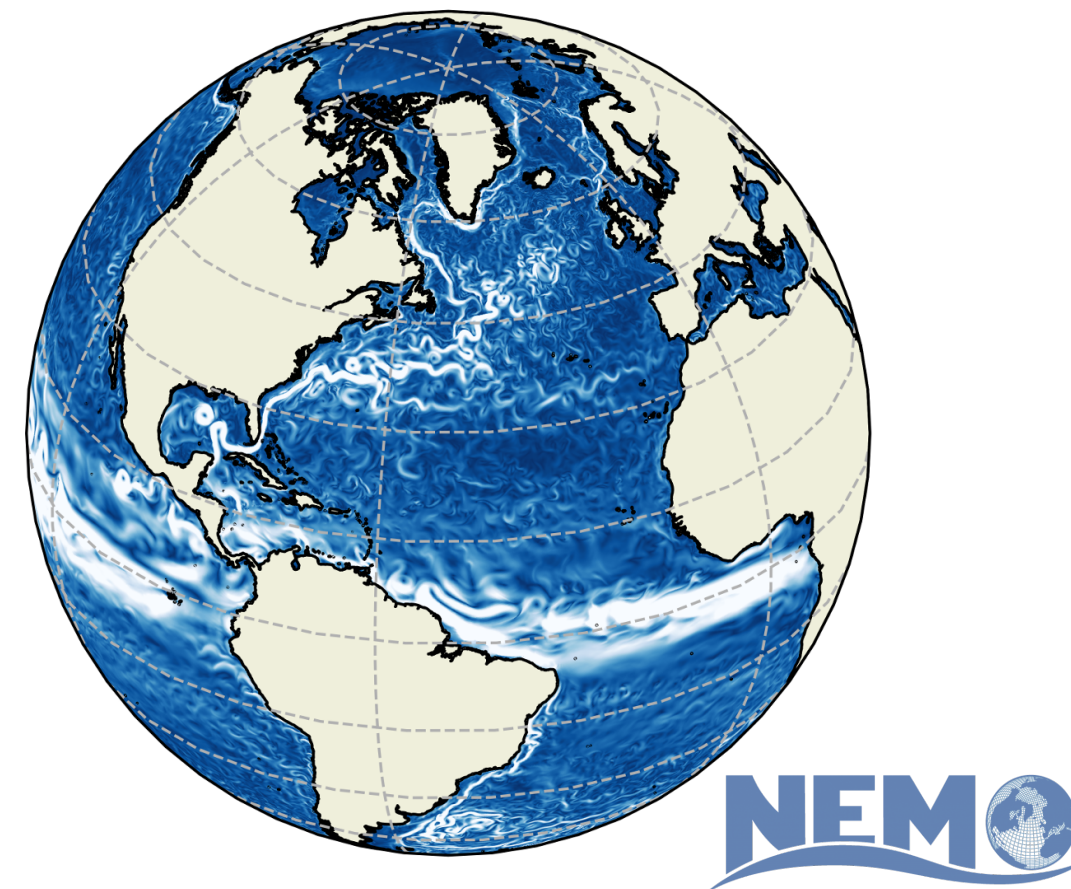
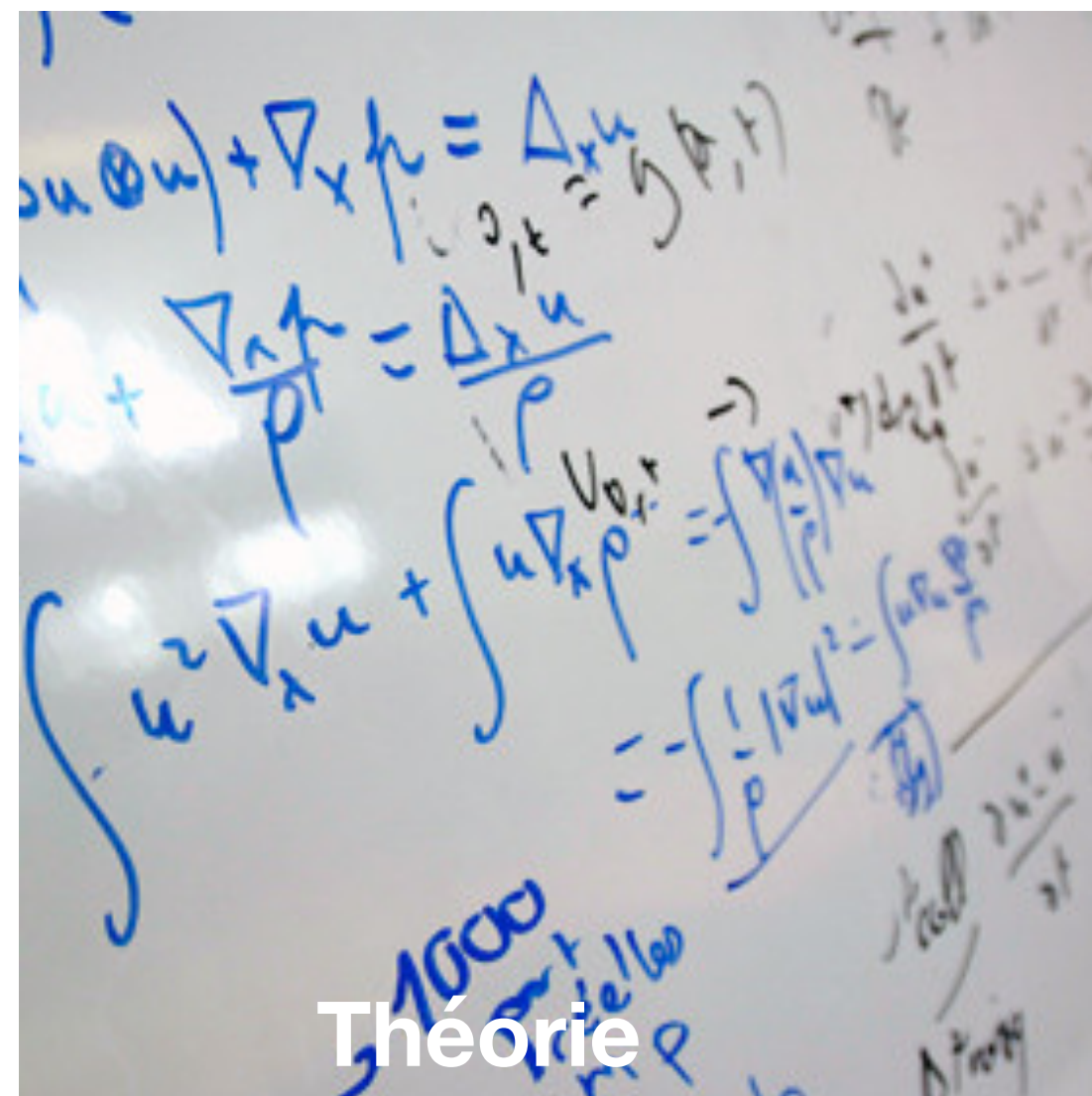
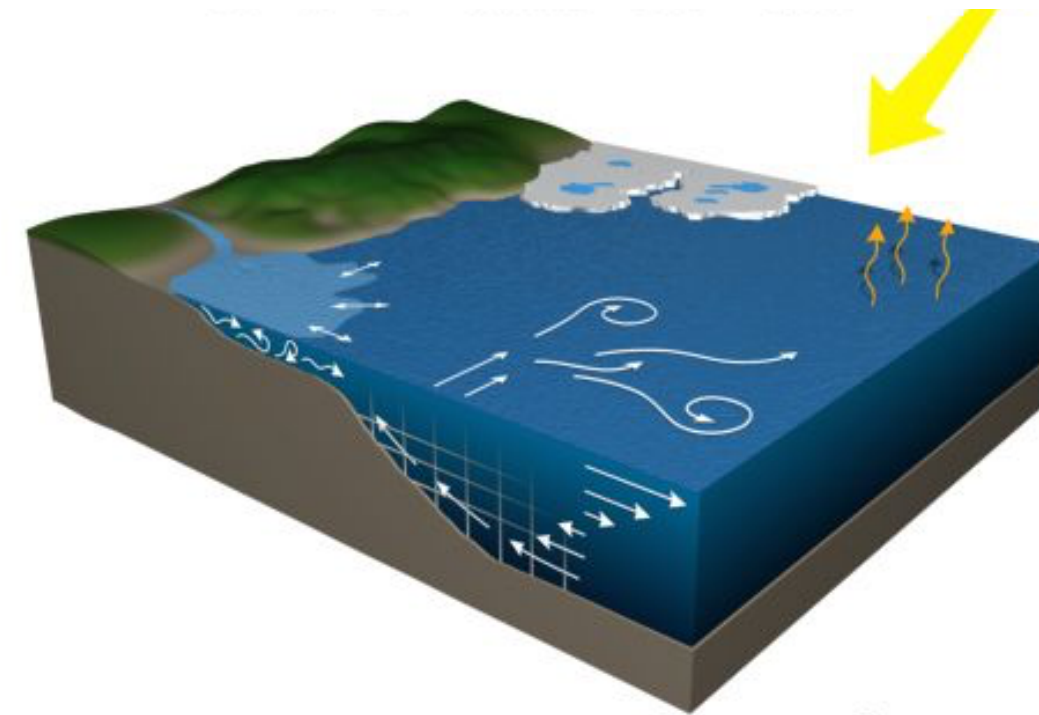
Méthodes numériques



# Modèles de circulation océanique

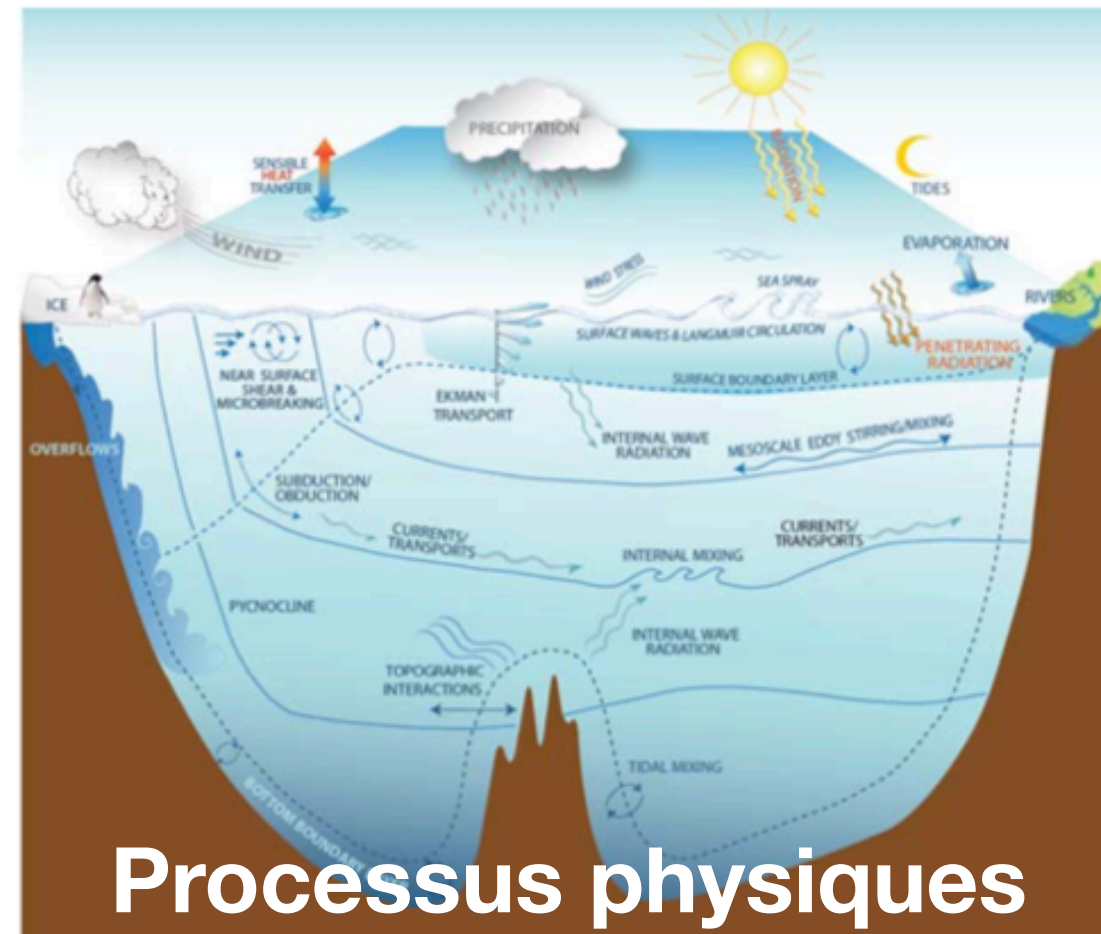


Modèles physiques

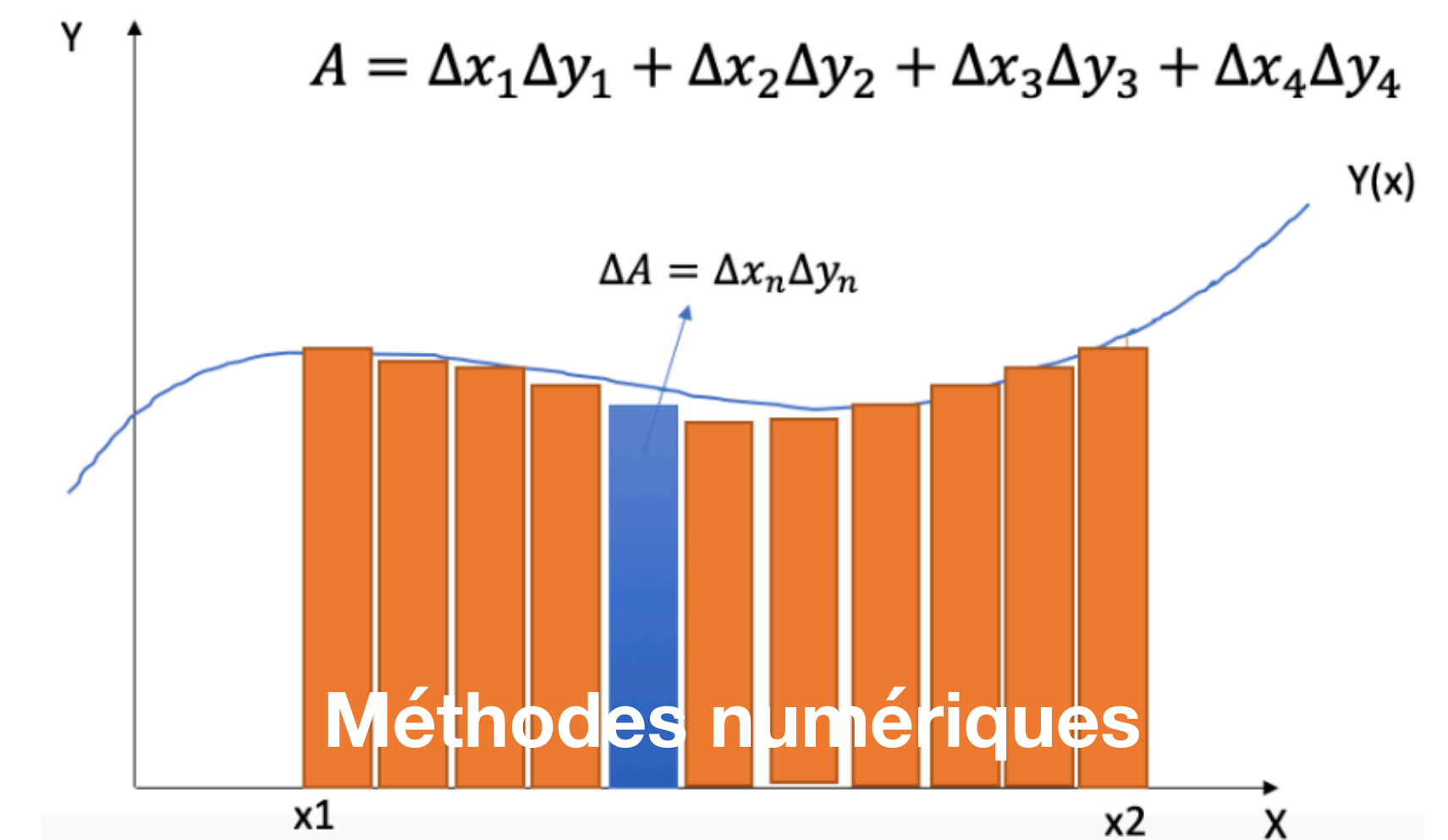
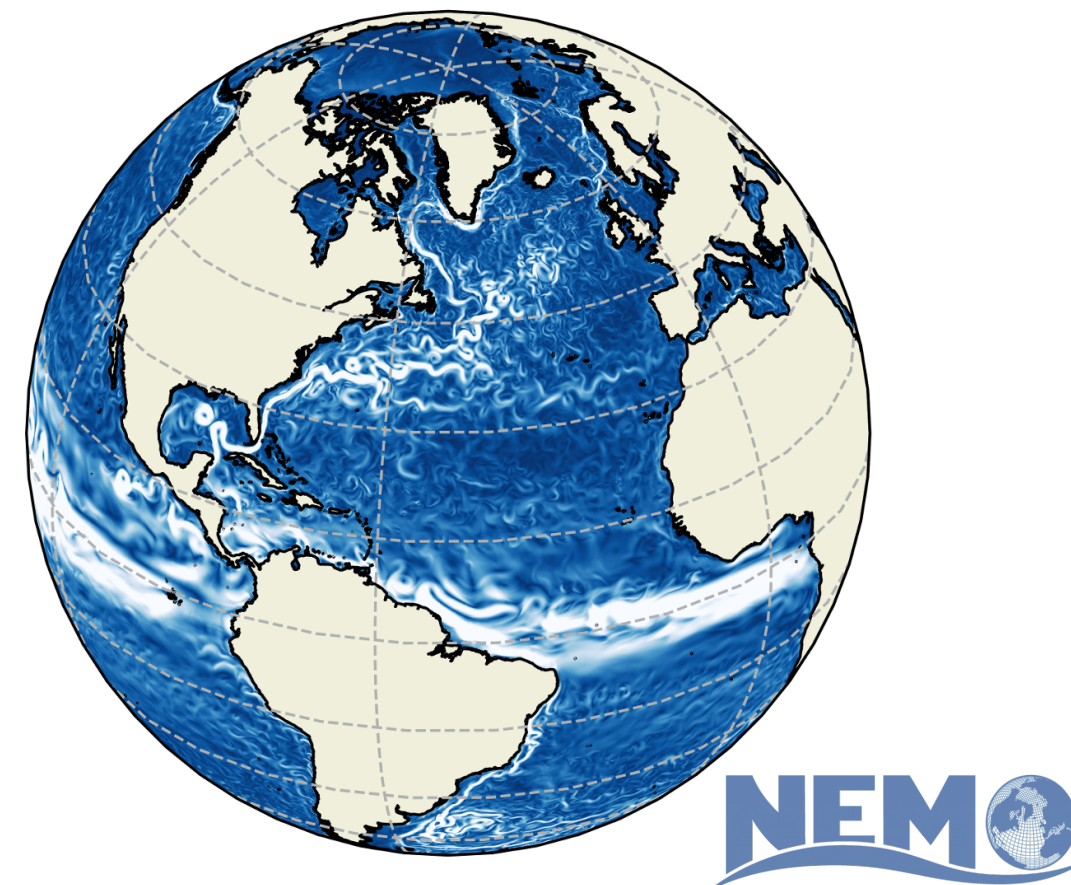
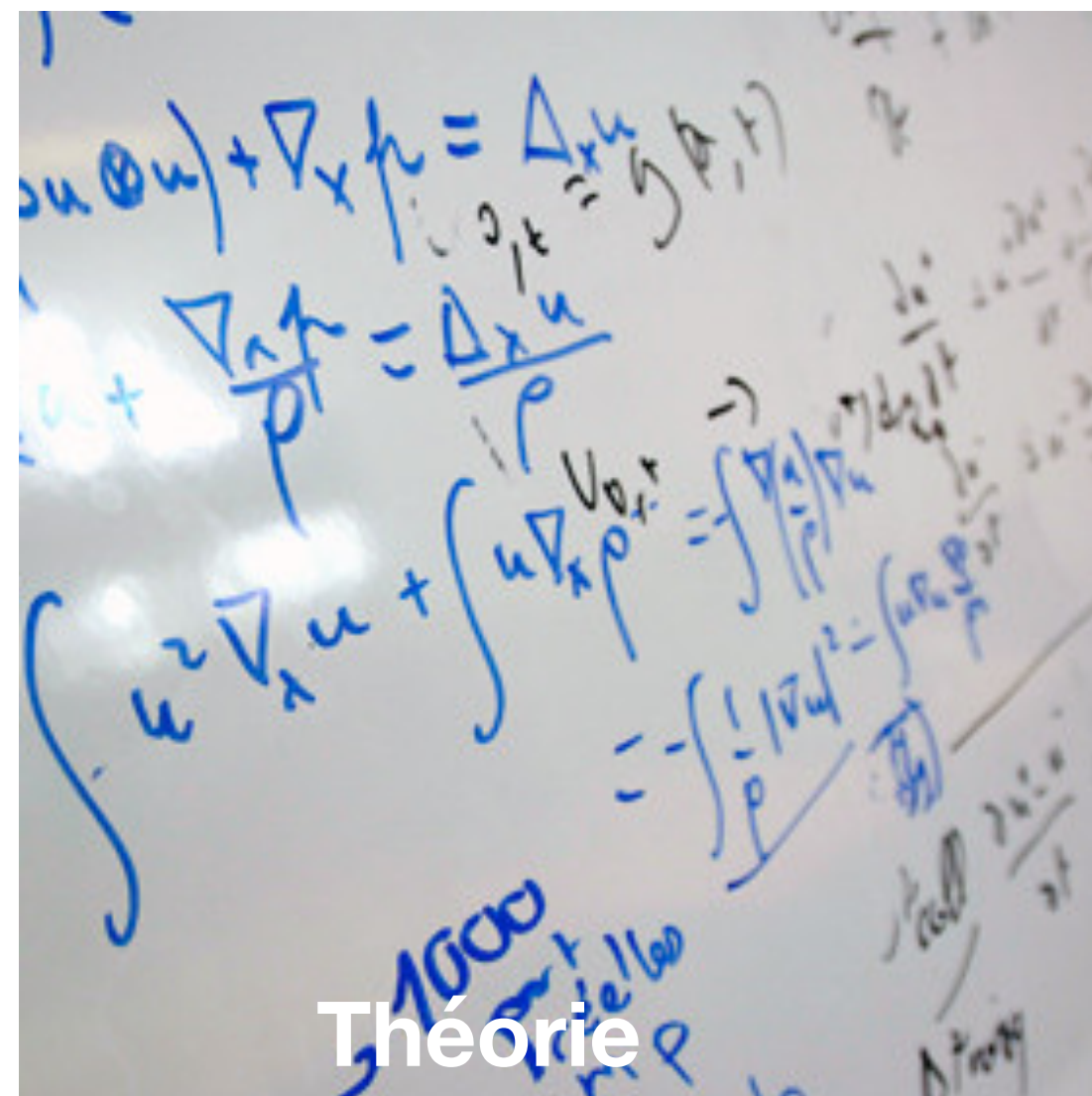
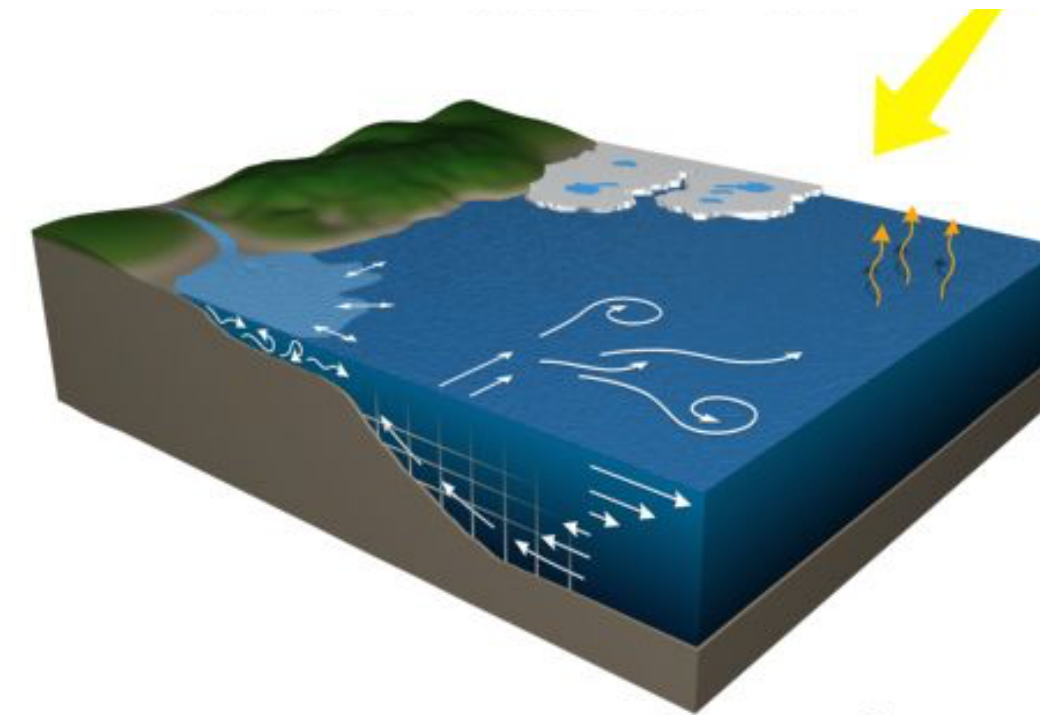




# Modèles de circulation océanique



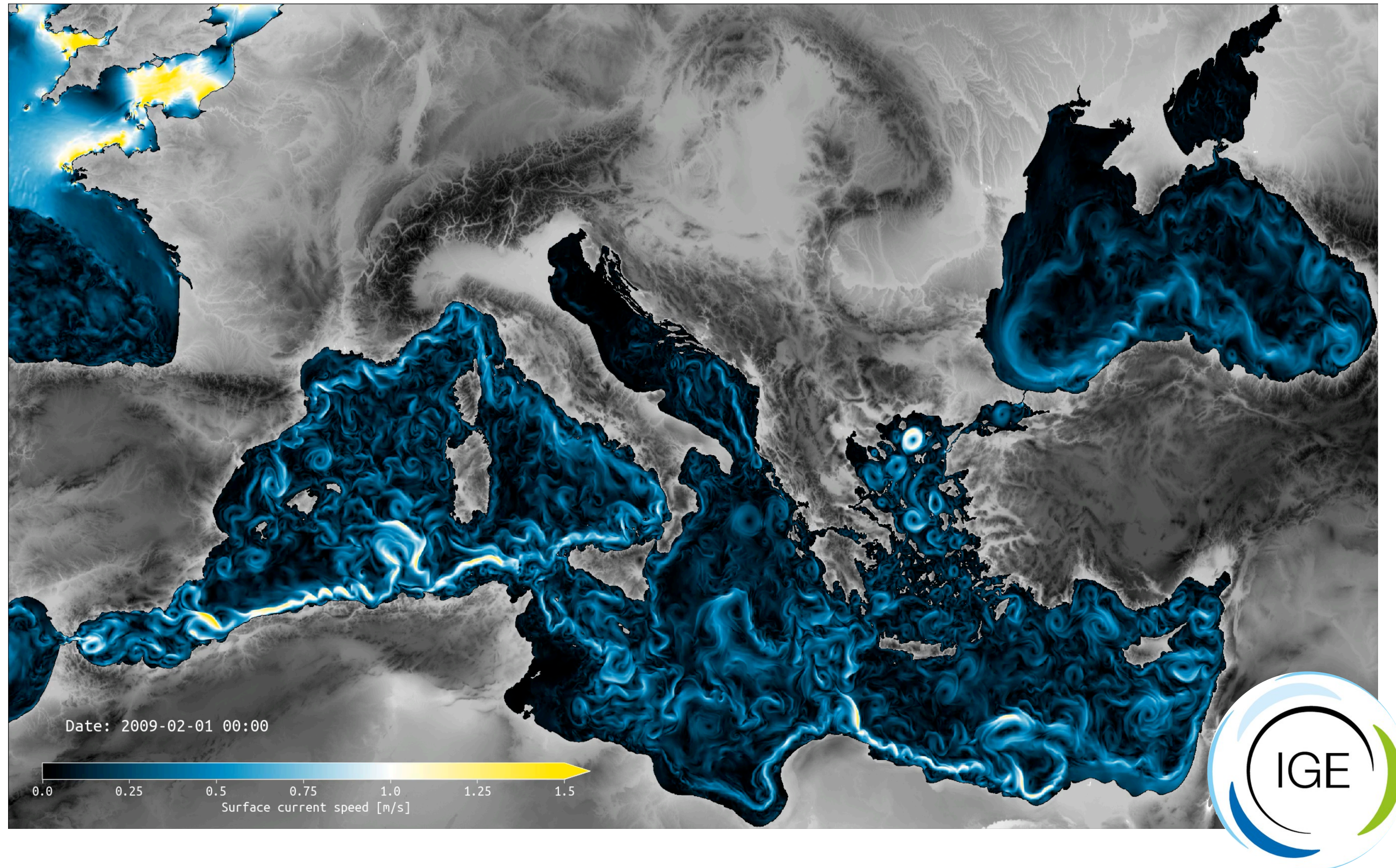
Modèles physiques



Des outils pour **comprendre** et **prévoir** la circulation océanique

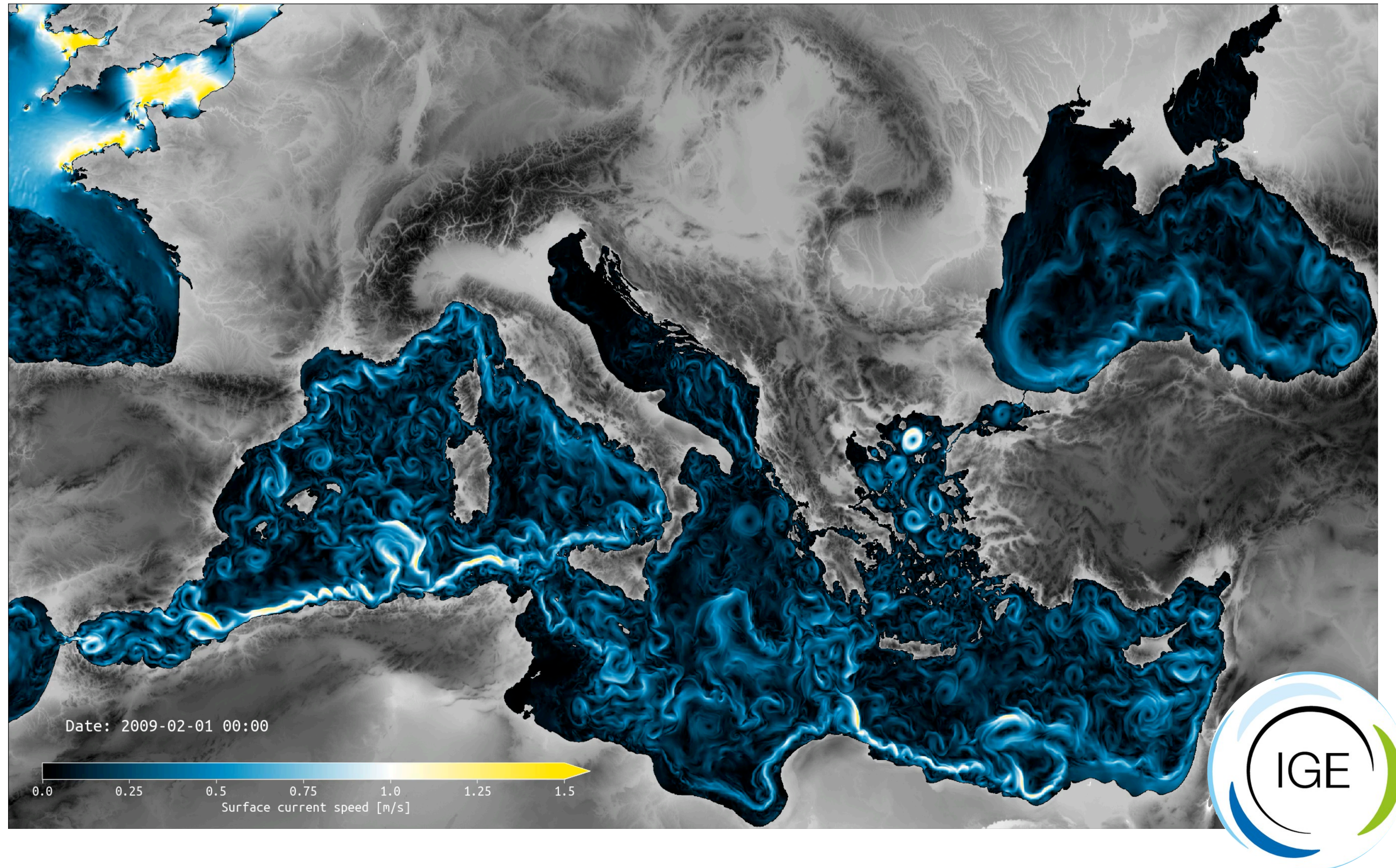


# Modèles de circulation océanique



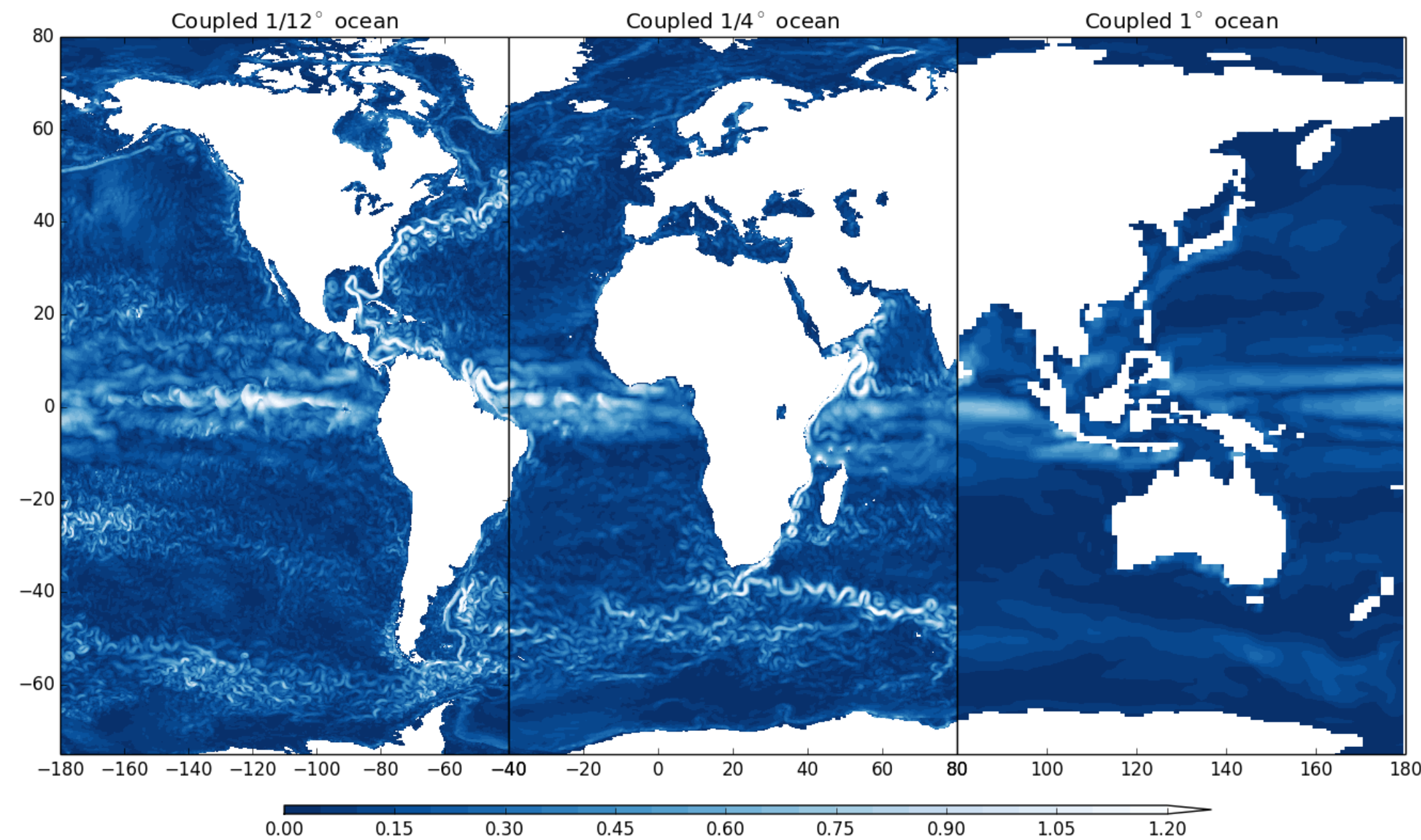


# Modèles de circulation océanique

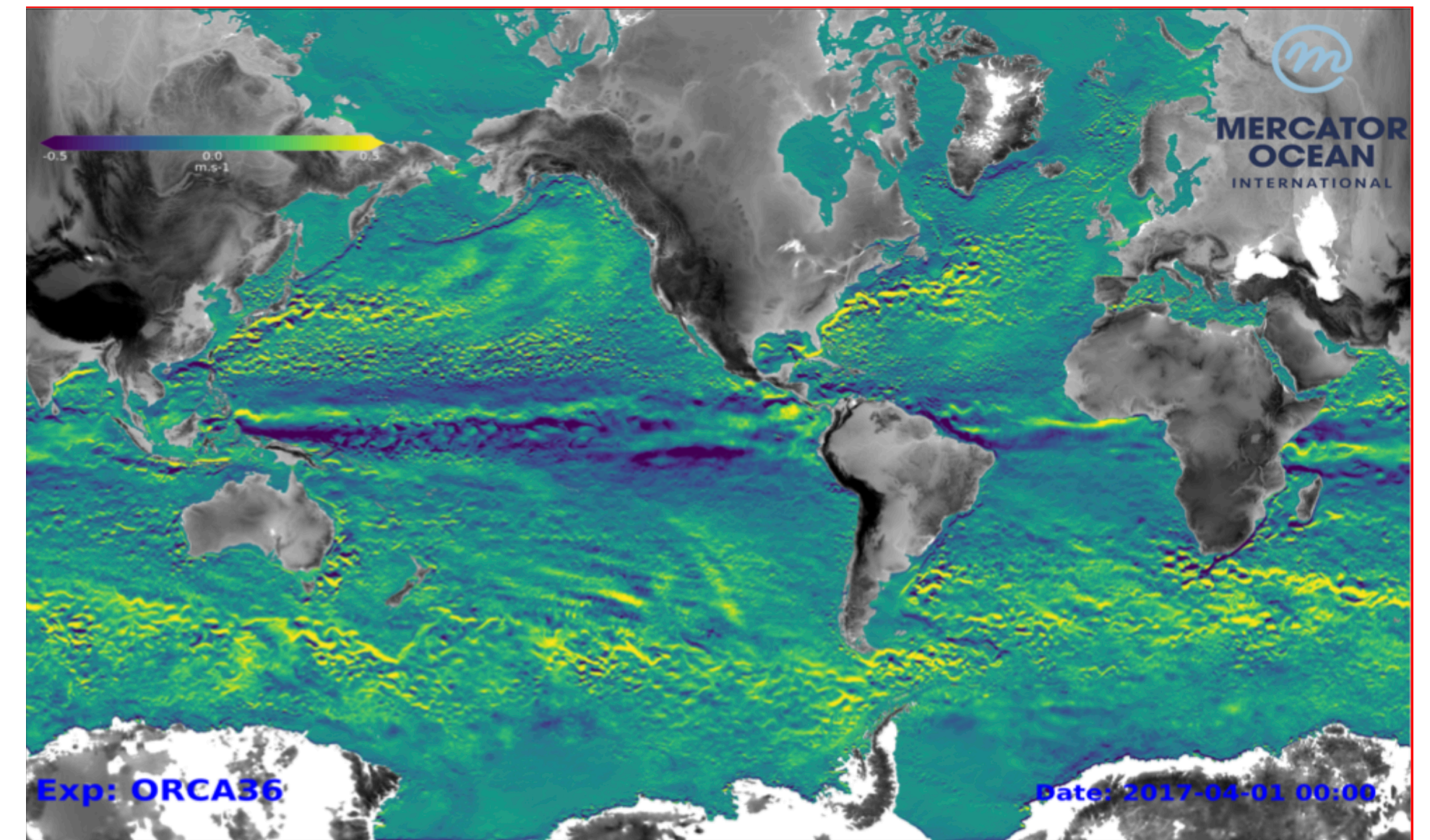




# Différents modèles pour différents usages



Projections climatiques  
(+ couplage atmosphère)  
résolution spatiale :  $1^\circ \rightarrow 1/4^\circ$

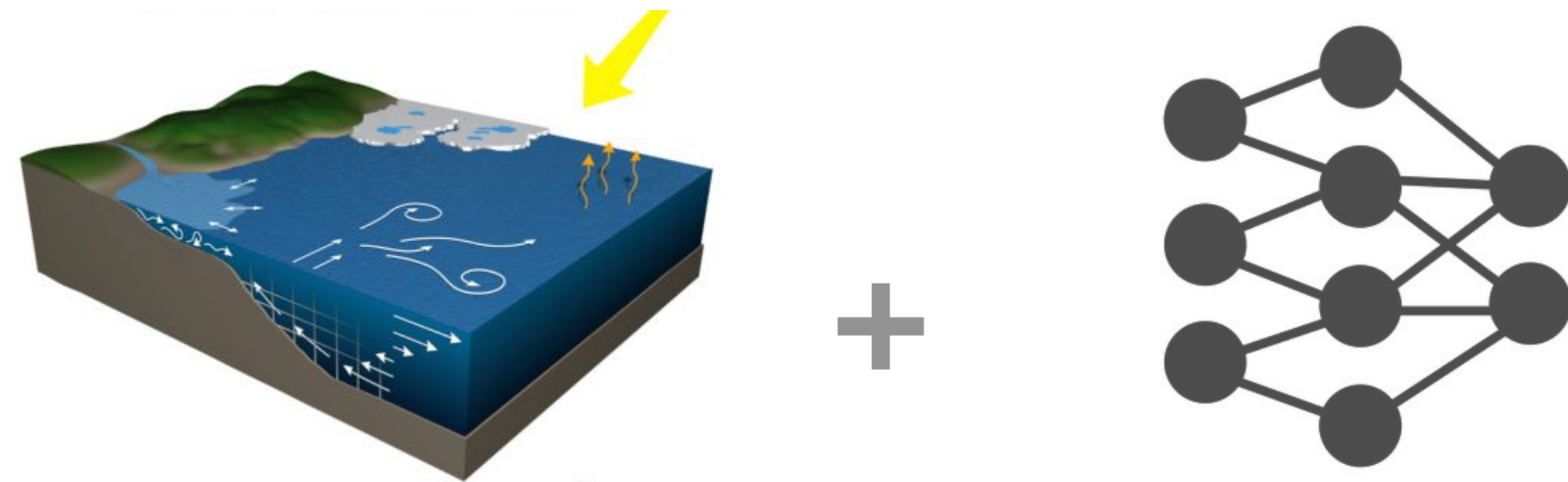


Prévisions opérationnelles  
(+assimilation de données)  
résolution :  $1/12^\circ \rightarrow 1/36^\circ$  (~2-4km)

Différents modèles basés sur les même codes, intégrés à des systèmes



# Modèles hybrides et émulateurs IA



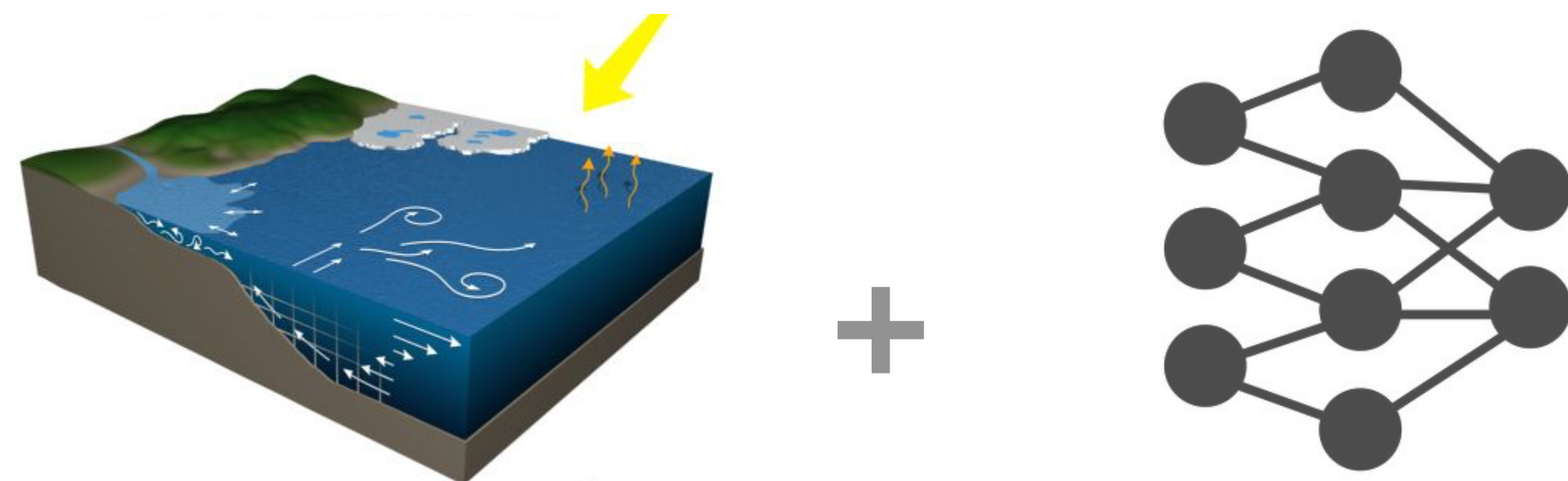
*Voir par ex. Zanna et al. 2025*

**Modèles hybrides  
combinant IA et physique**

entraîné à partir de simulations LES  
ou d'observations



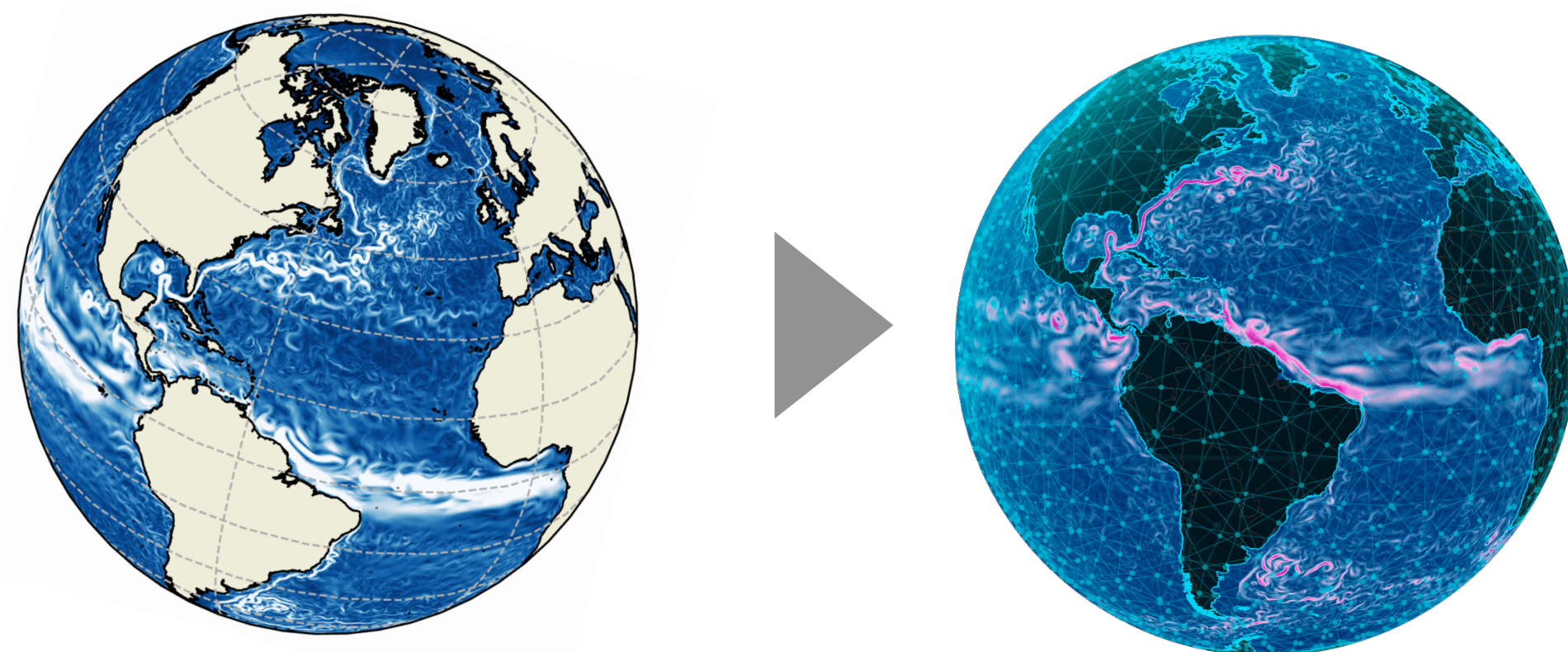
# Modèles hybrides et émulateurs IA



*Voir par ex. Zanna et al. 2025*

**Modèles hybrides  
combinant IA et physique**

entraîné à partir de simulations LES  
ou d'observations



**Émulateurs neuronaux  
remplacent le modèle entier**

entraîné à partir de modèles, de réanalyses  
ou d'observations

*Voir par ex. El Aouni et al. 2025*

<https://glonet.lab.dive.edito.eu/>



3.

**Synergies**

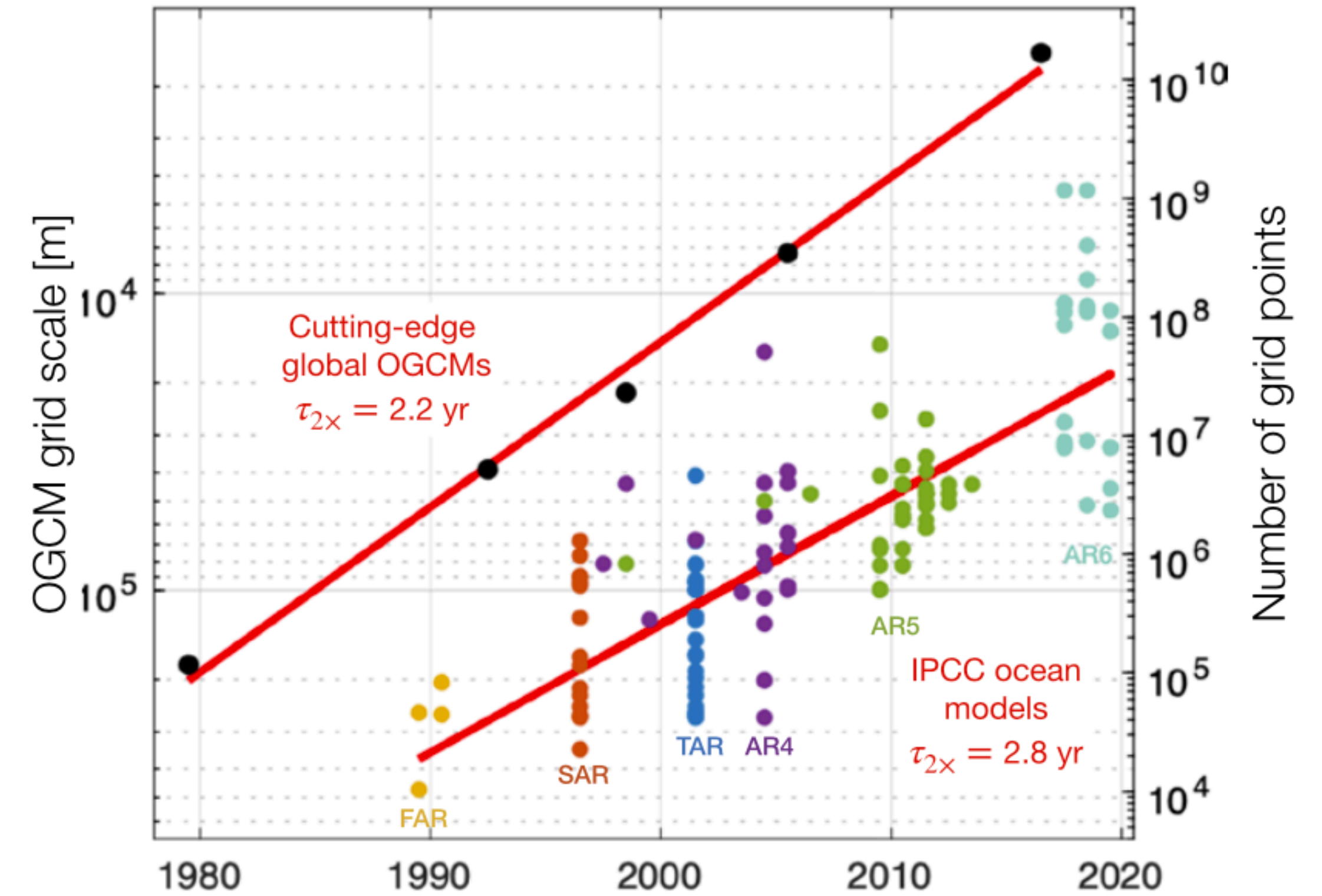
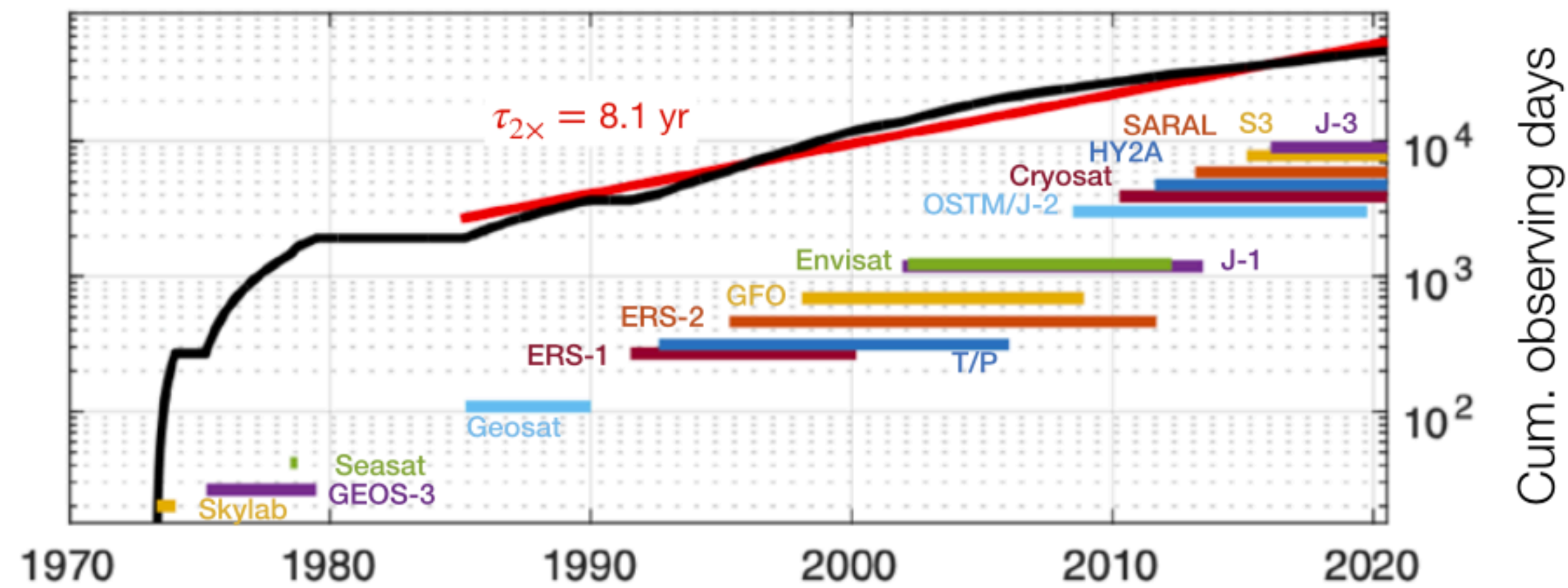
**modèles / observations**



# Co-évolution entre altimétrie et modèles depuis 1980

Haines et al. 2021

<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0258.1>

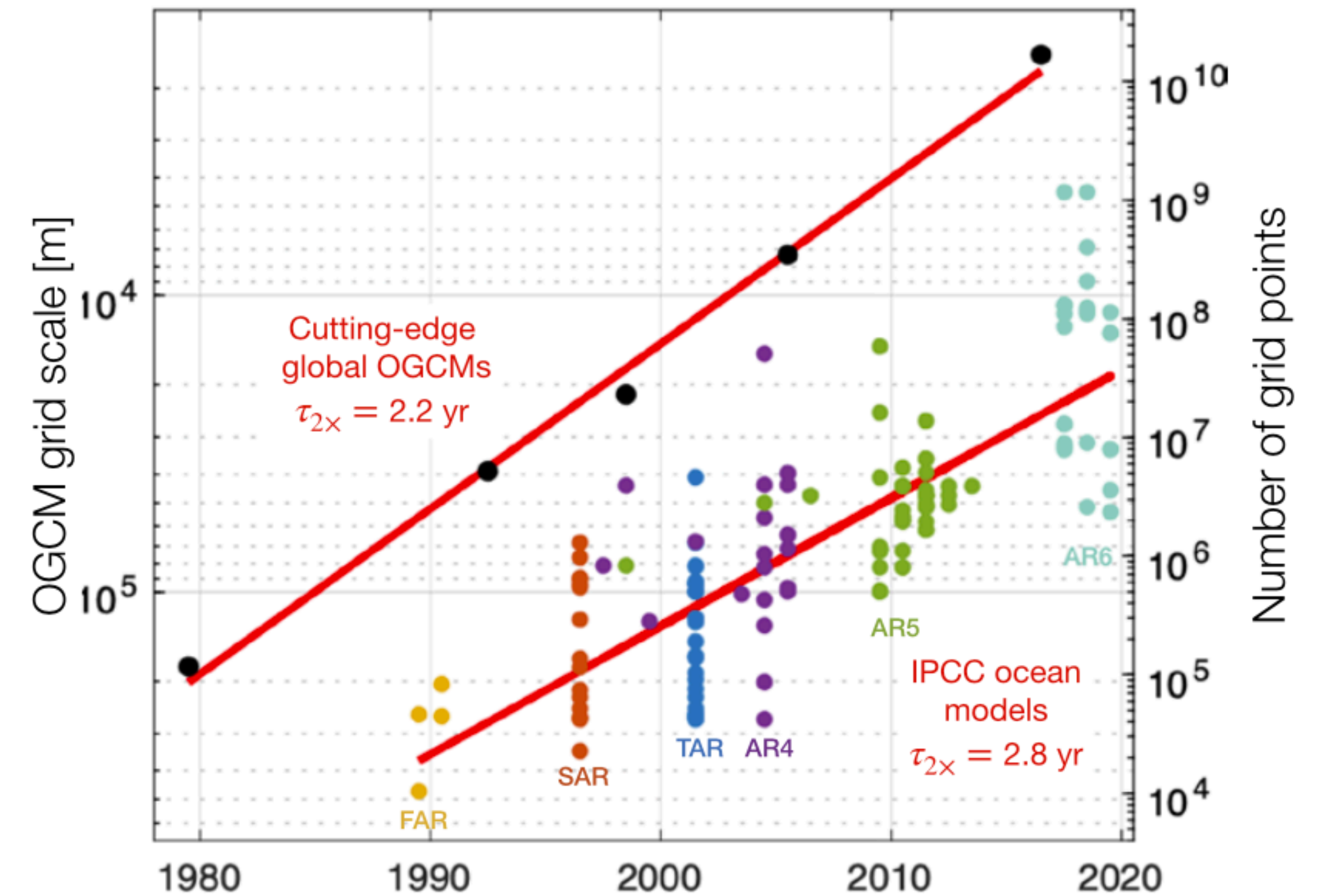
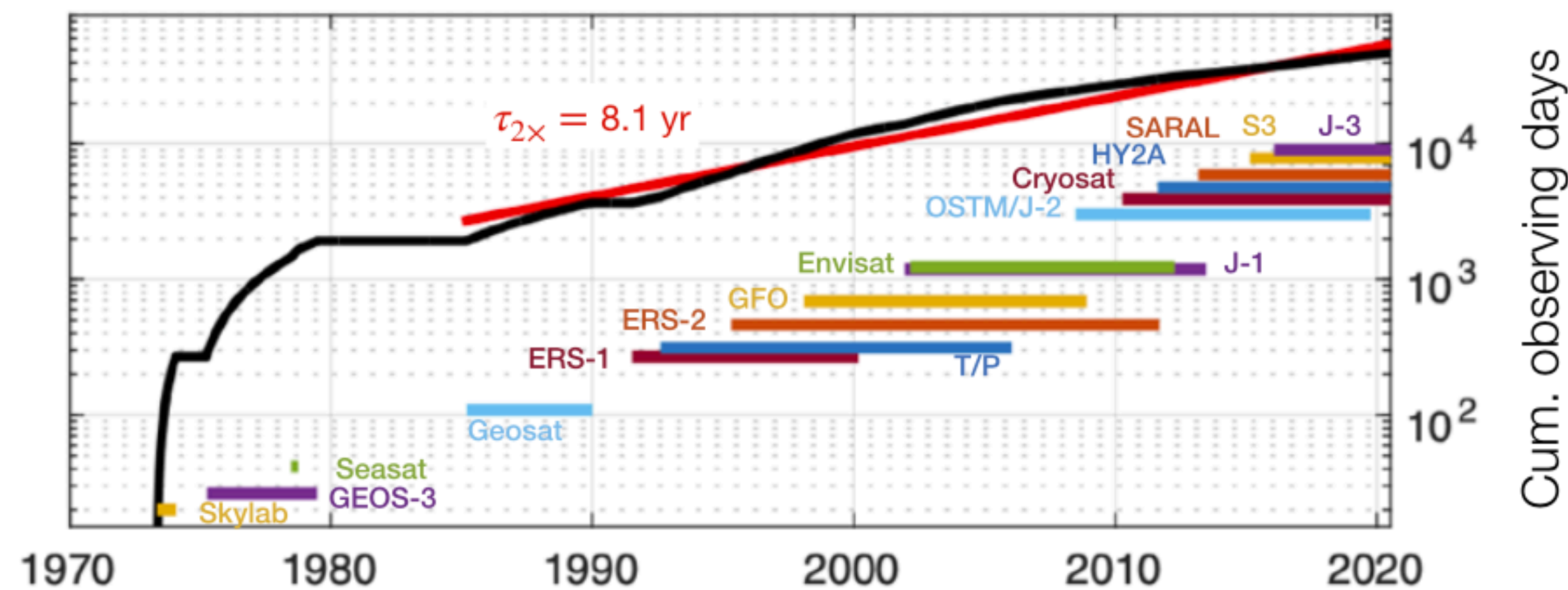




# Co-évolution entre altimétrie et modèles depuis 1980

Haines et al. 2021

<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0258.1>

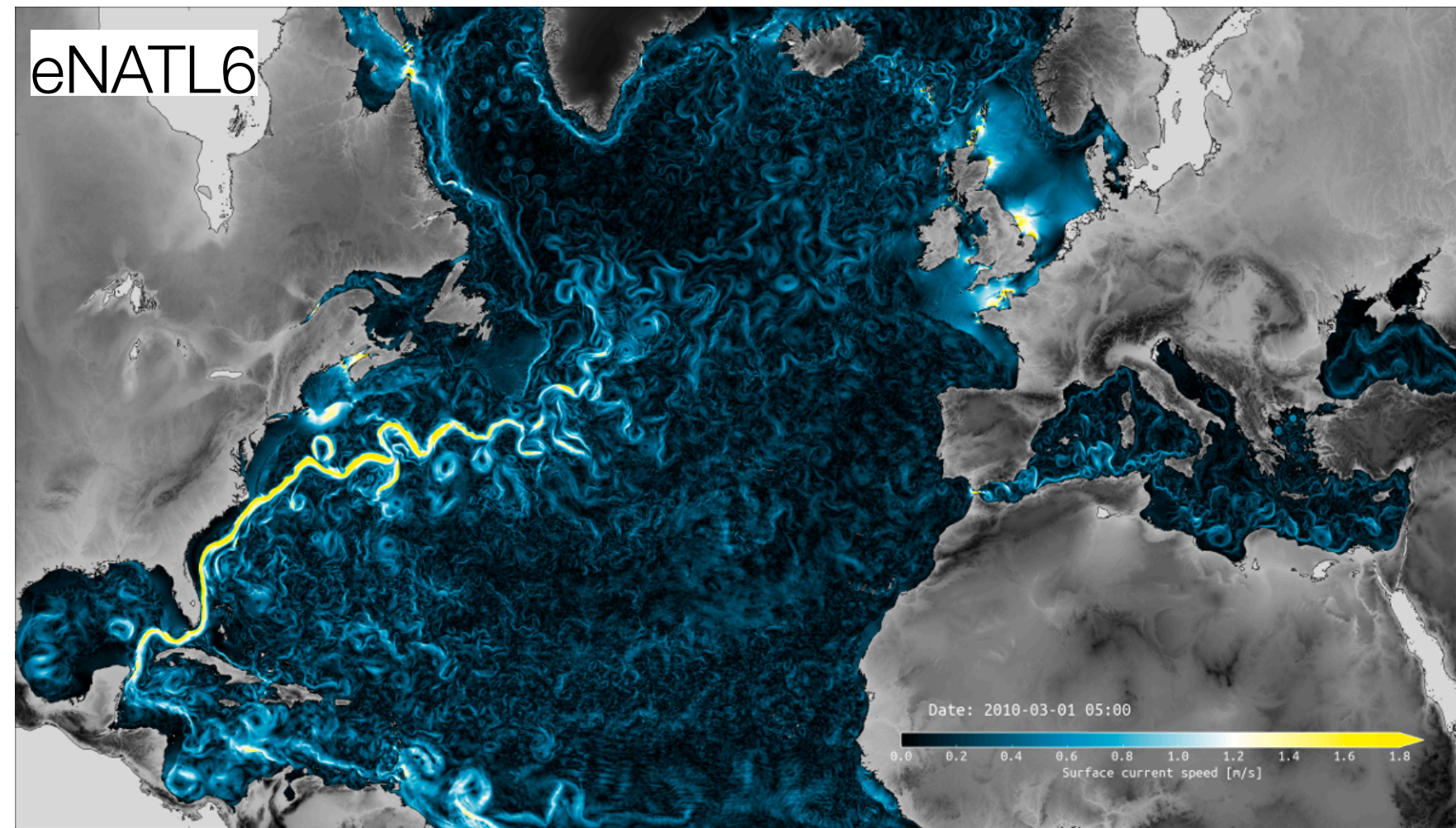


capacité à observer ↔ capacité à modéliser

mesoéchelle entre 1990-2010, vers la submesoéchelle depuis

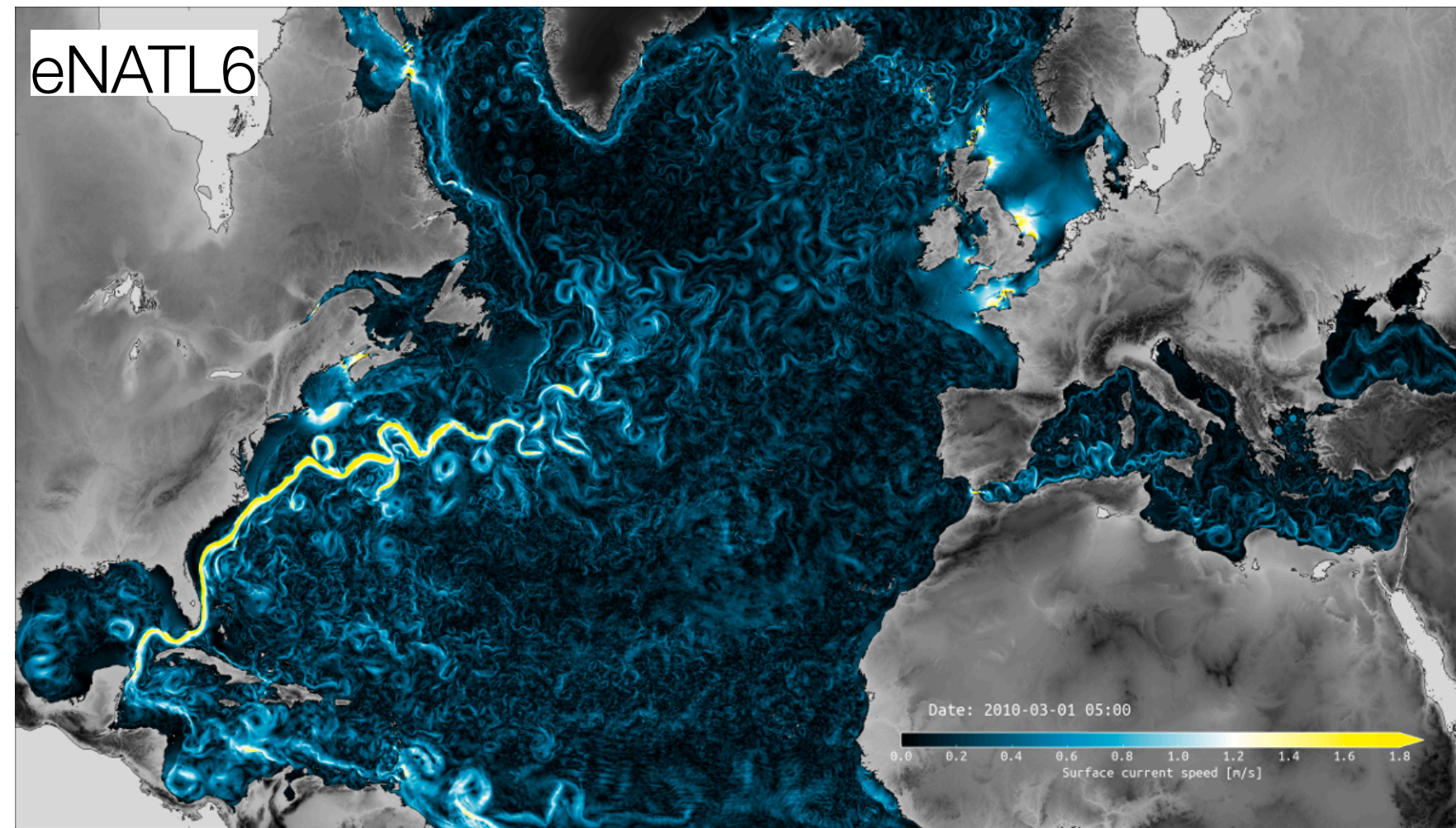


# Ce que les modèles ont apporté à la mission SWOT

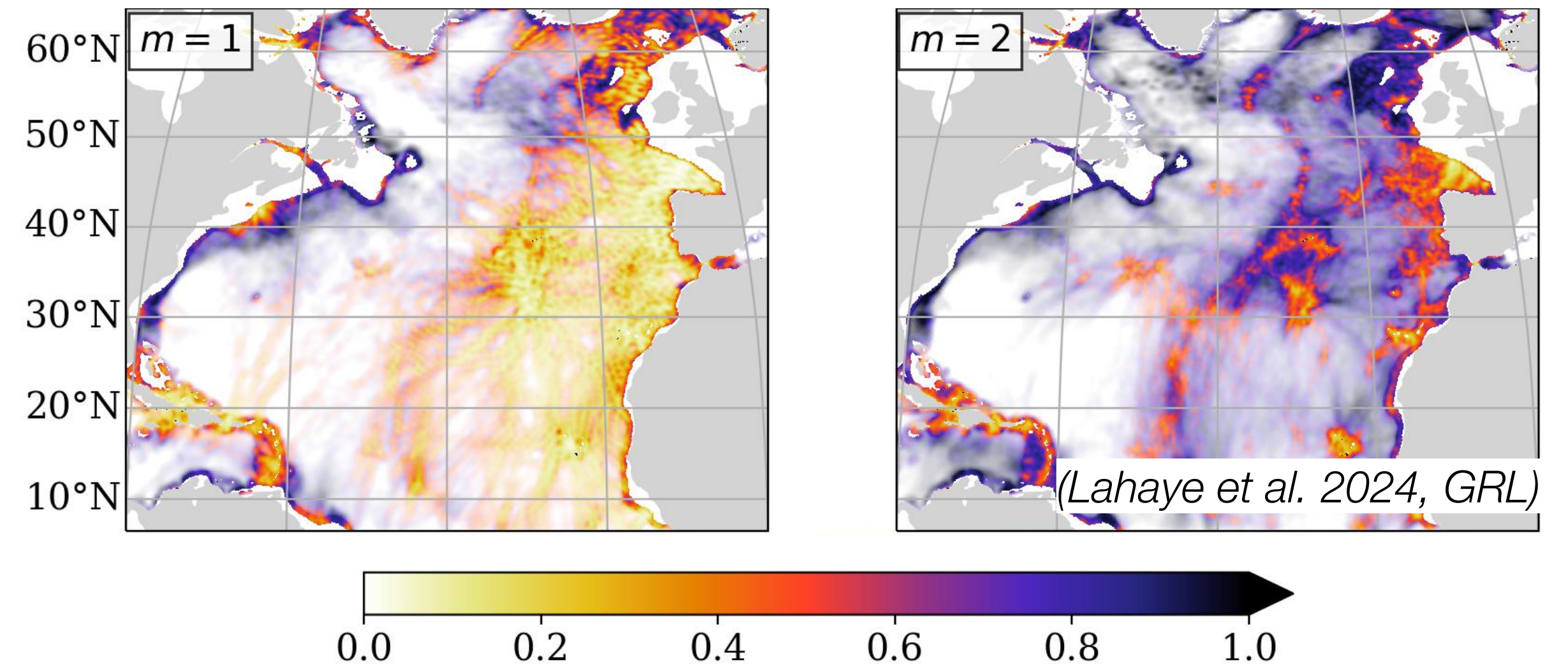




# Ce que les modèles ont apporté à la mission SWOT

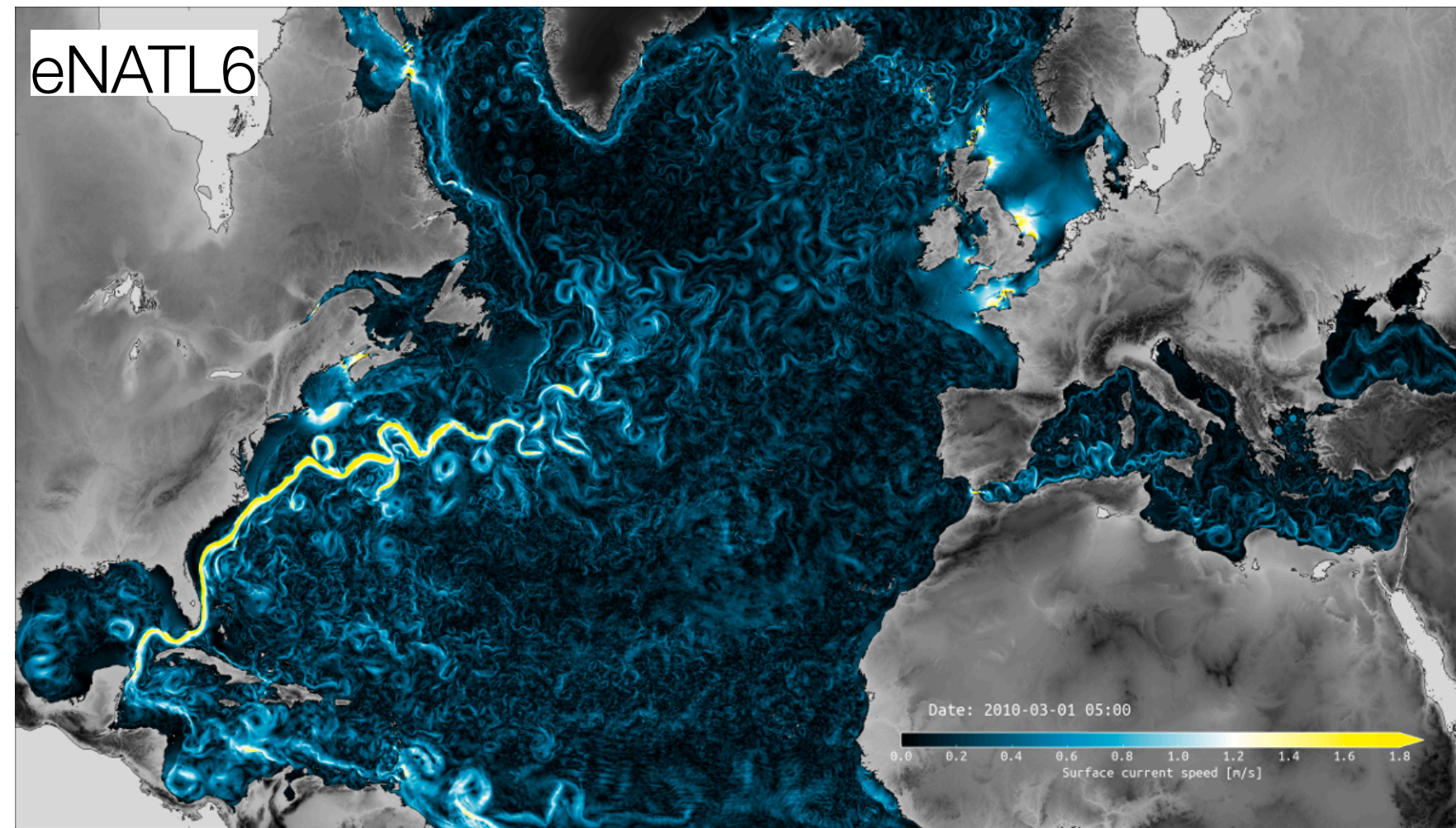


Fraction incohérente de l'énergie de marée barocline

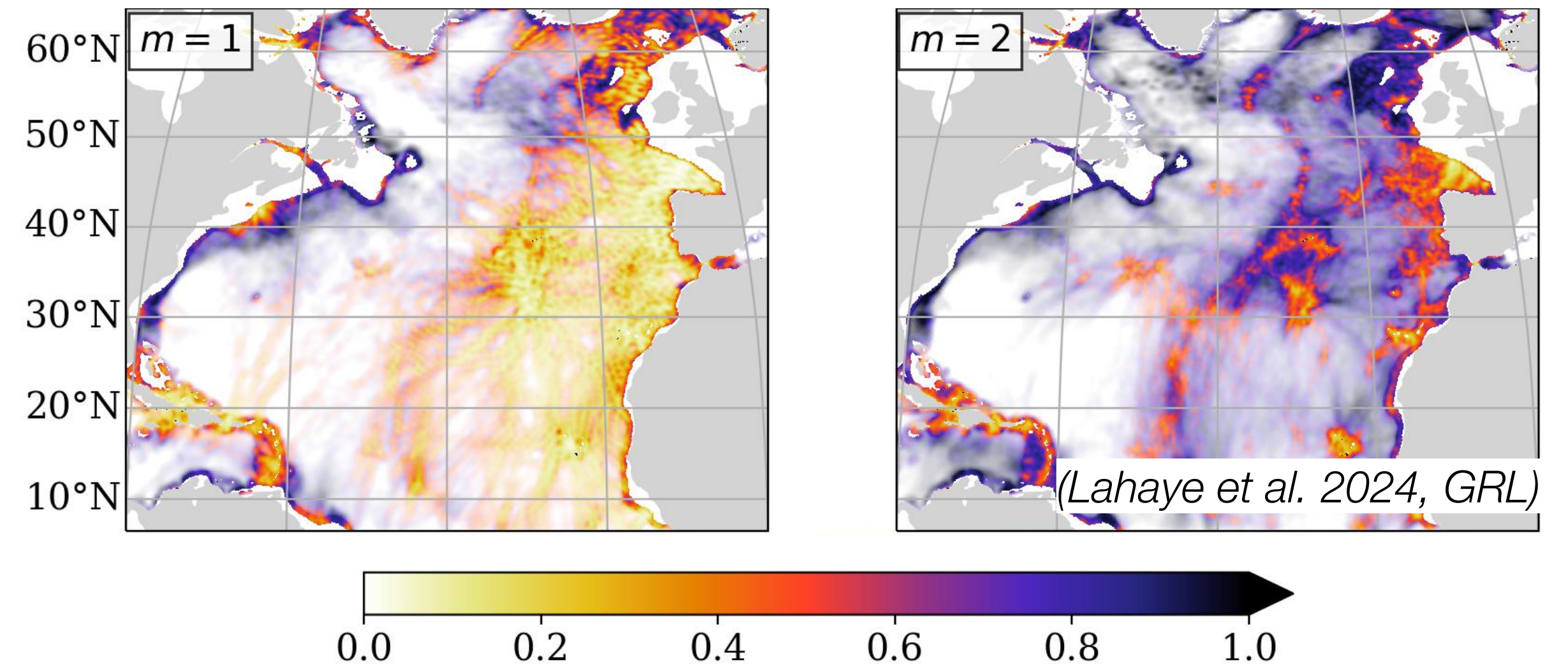




# Ce que les modèles ont apporté à la mission SWOT



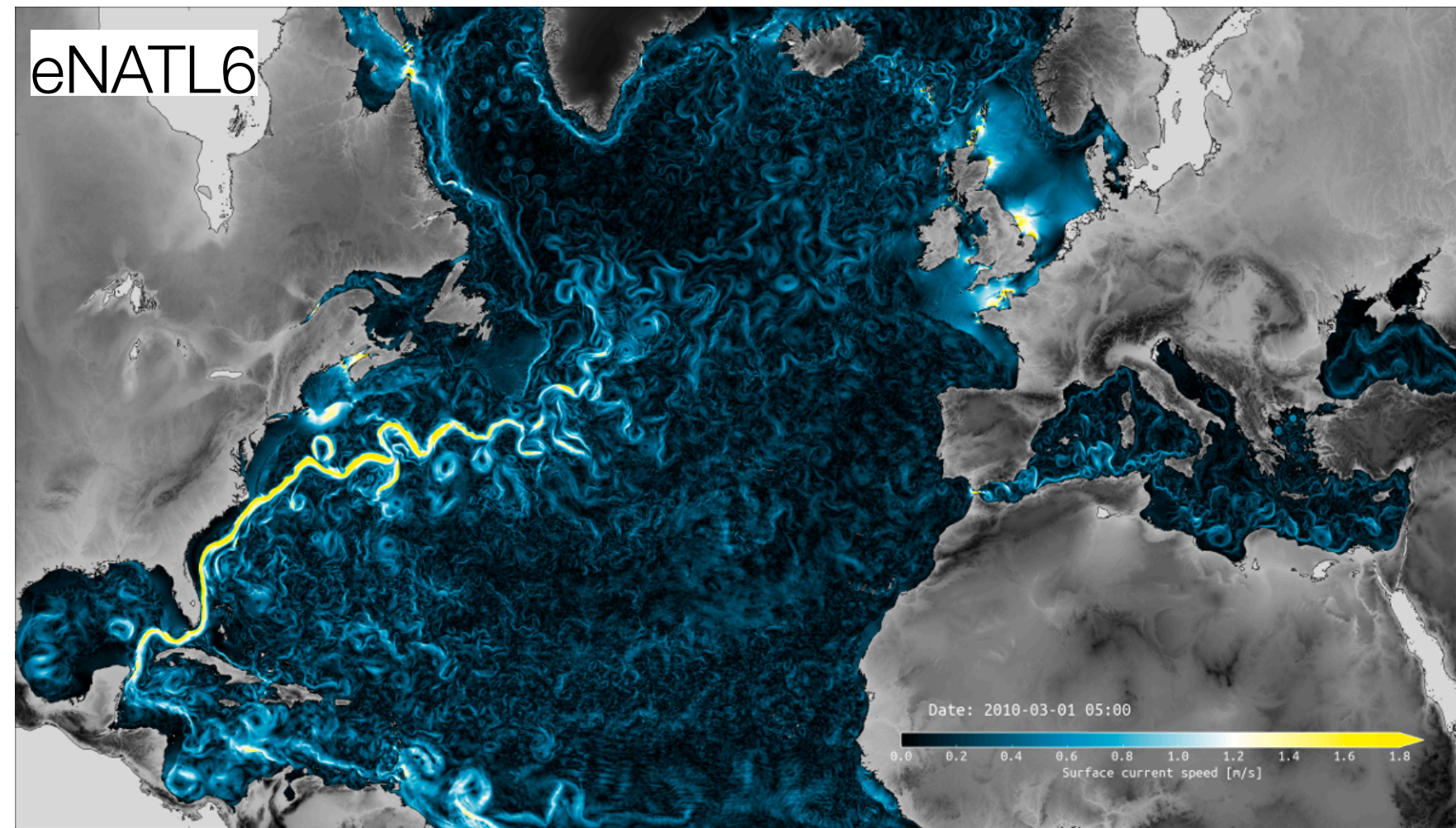
Fraction incohérente de l'énergie de marée barocline



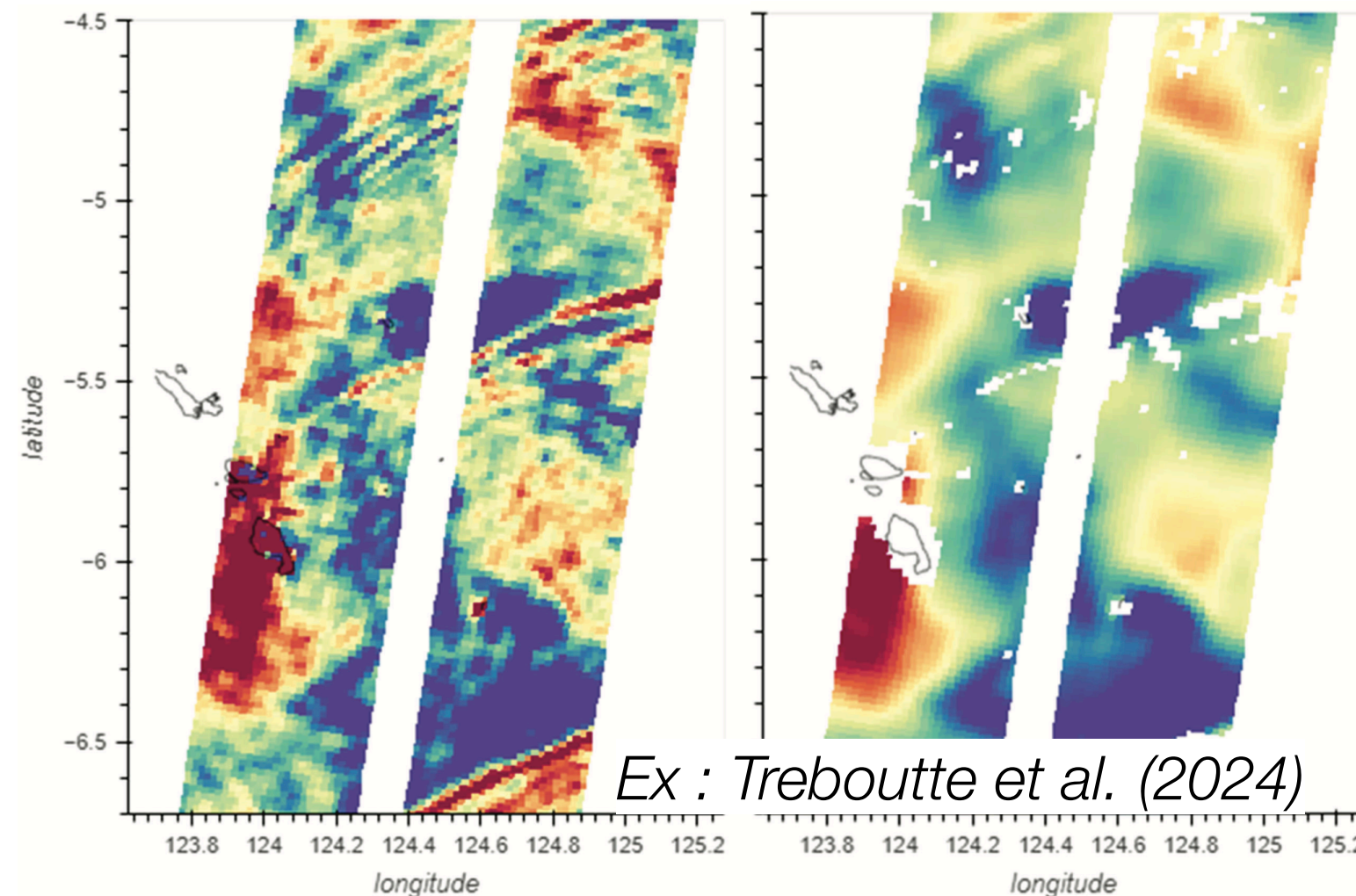
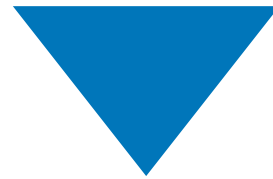
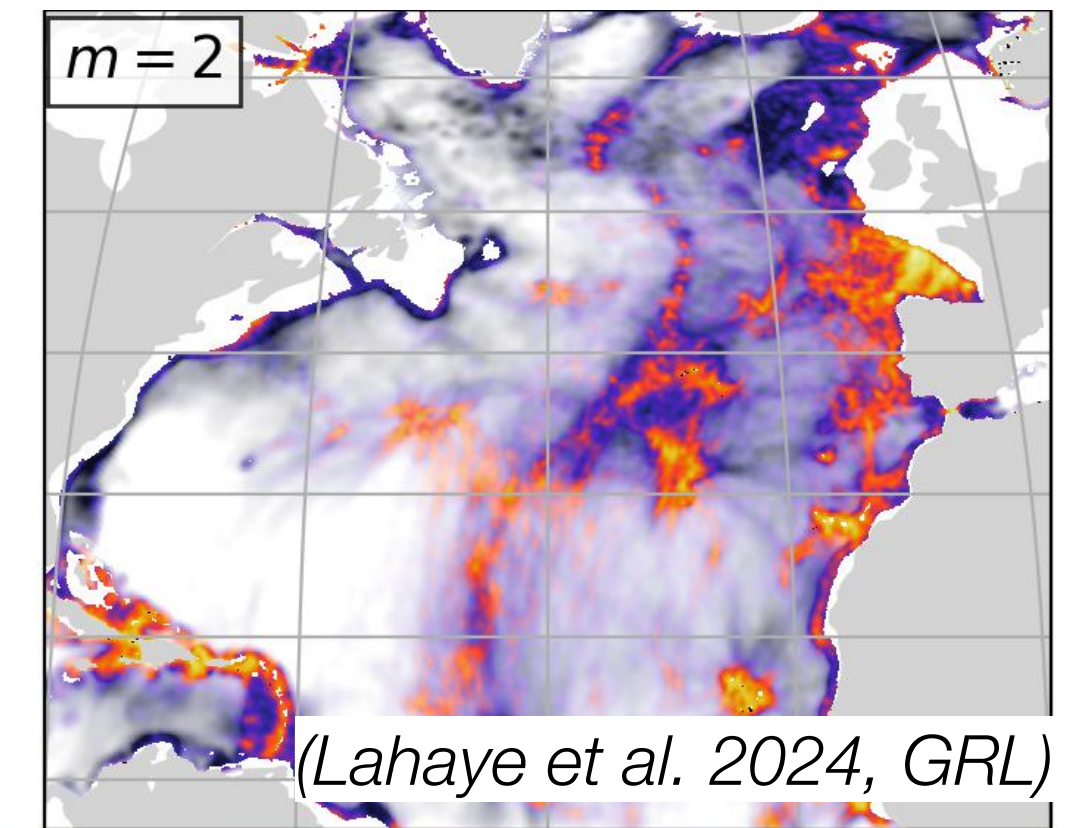
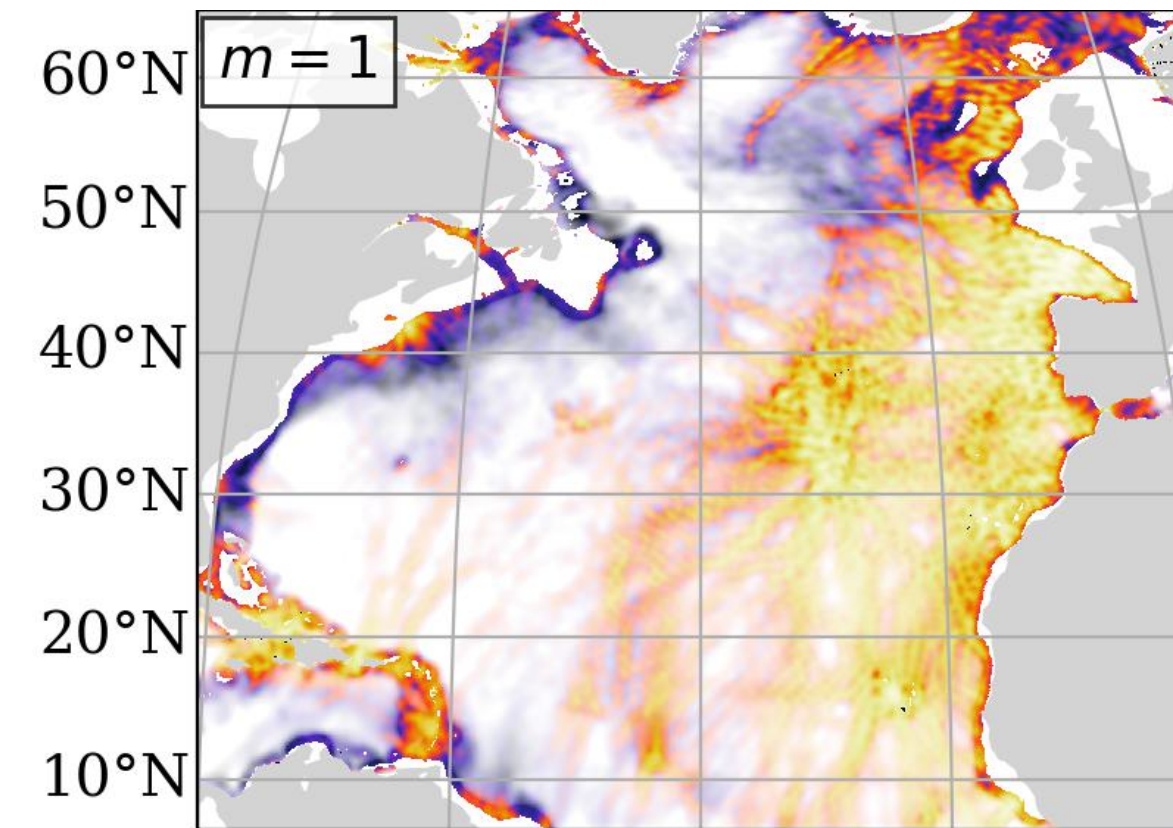
Préparer les  
**algorithmes** et  
les **produits**  
de données



# Ce que les modèles ont apporté à la mission SWOT



Fraction incohérente de l'énergie de marée barocline

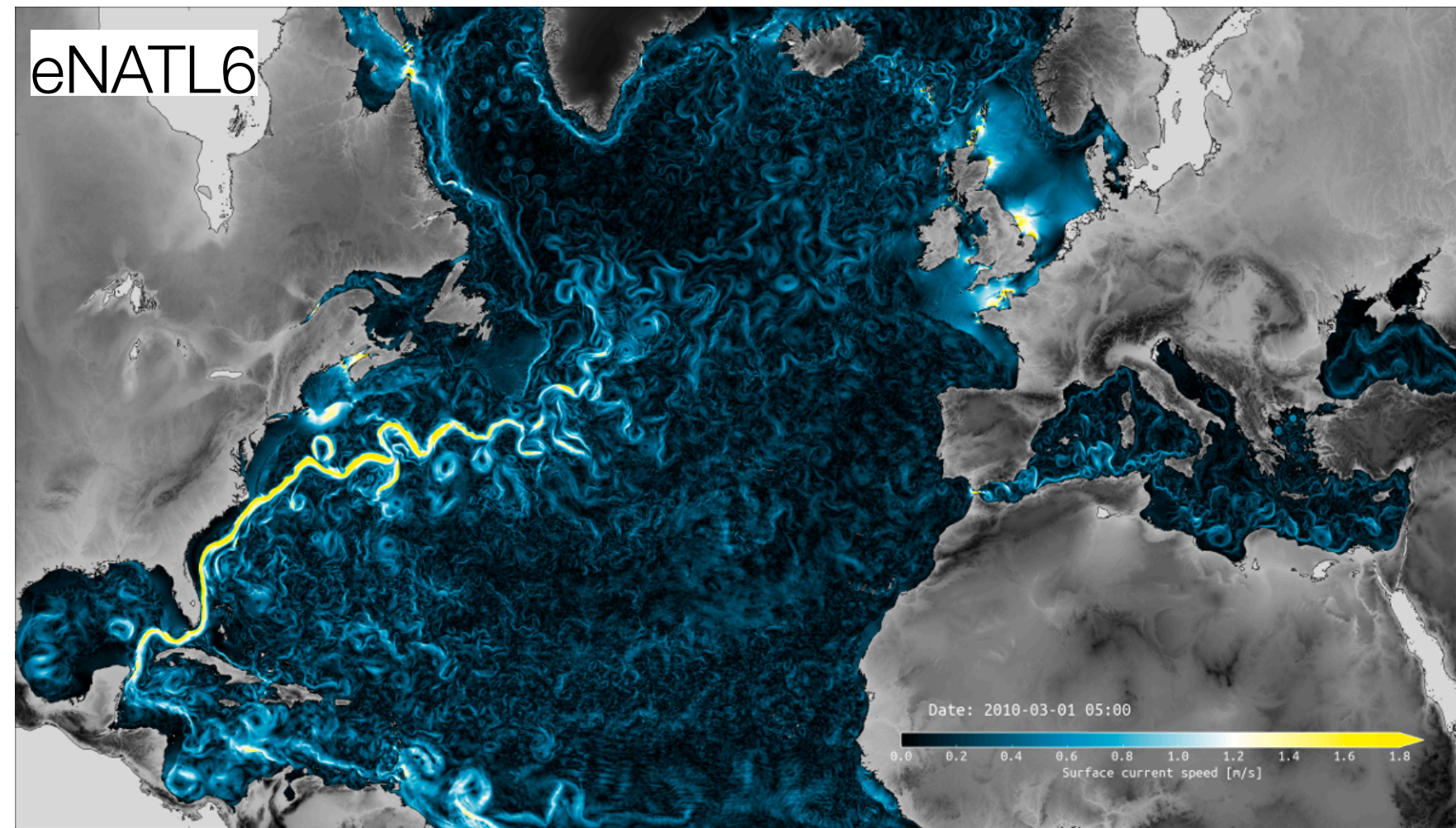


débruitage L3

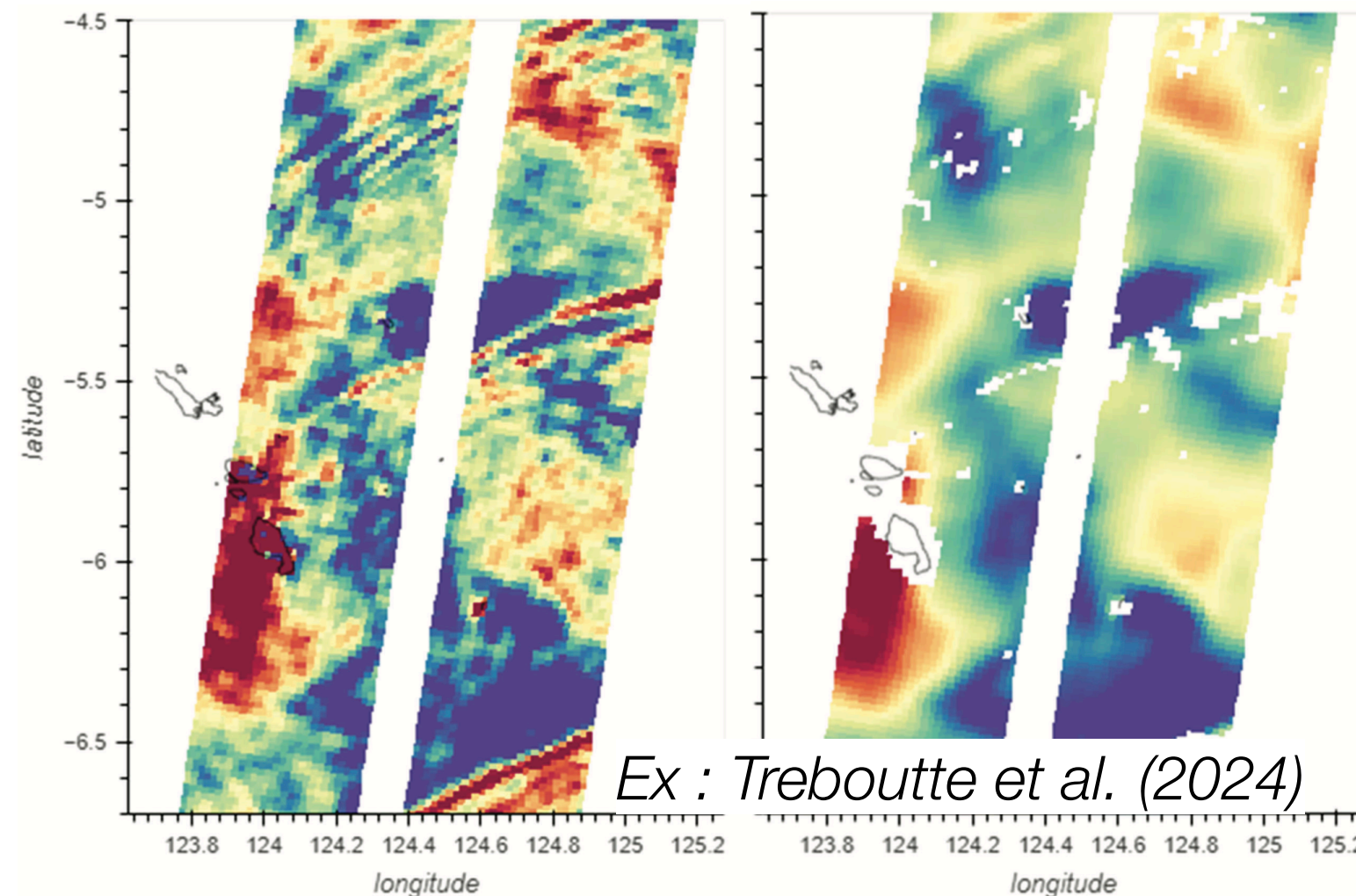
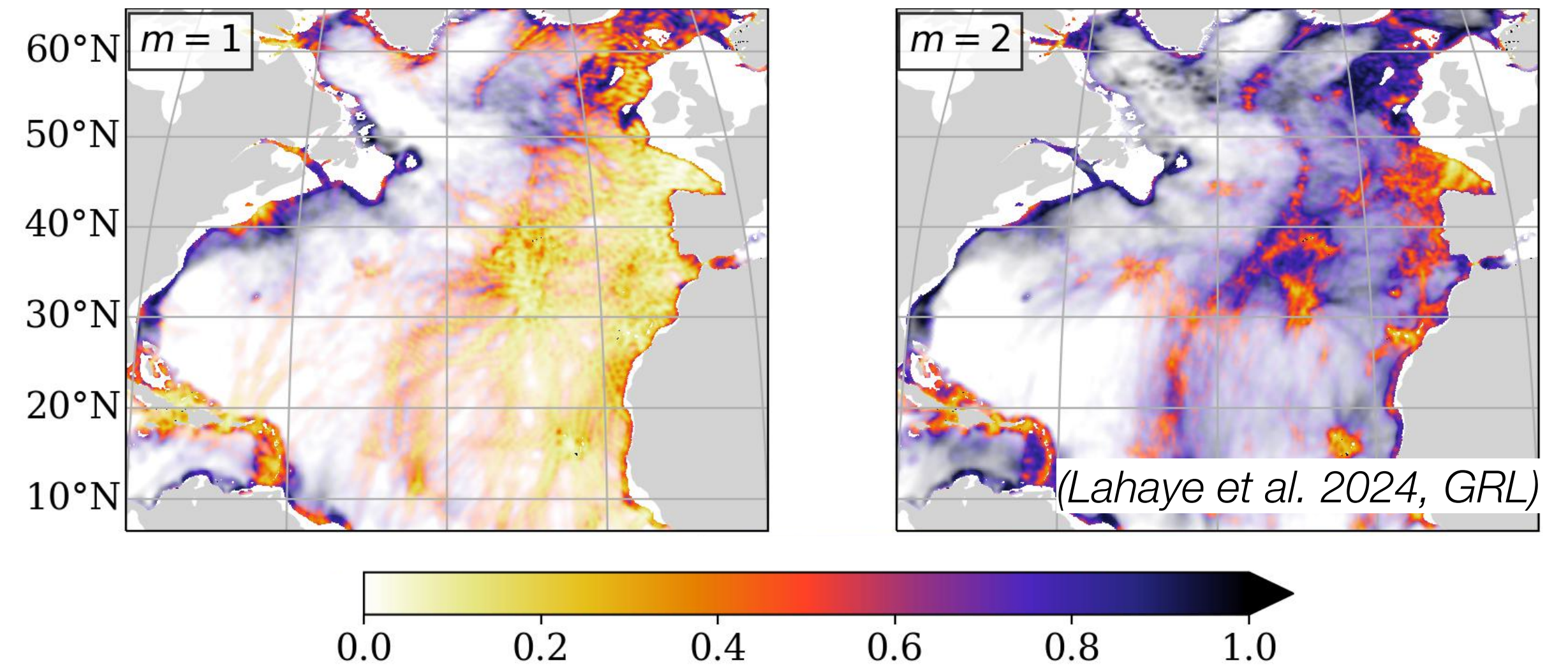
Préparer les  
algorithmes et  
les produits  
de données



# Ce que les modèles ont apporté à la mission SWOT

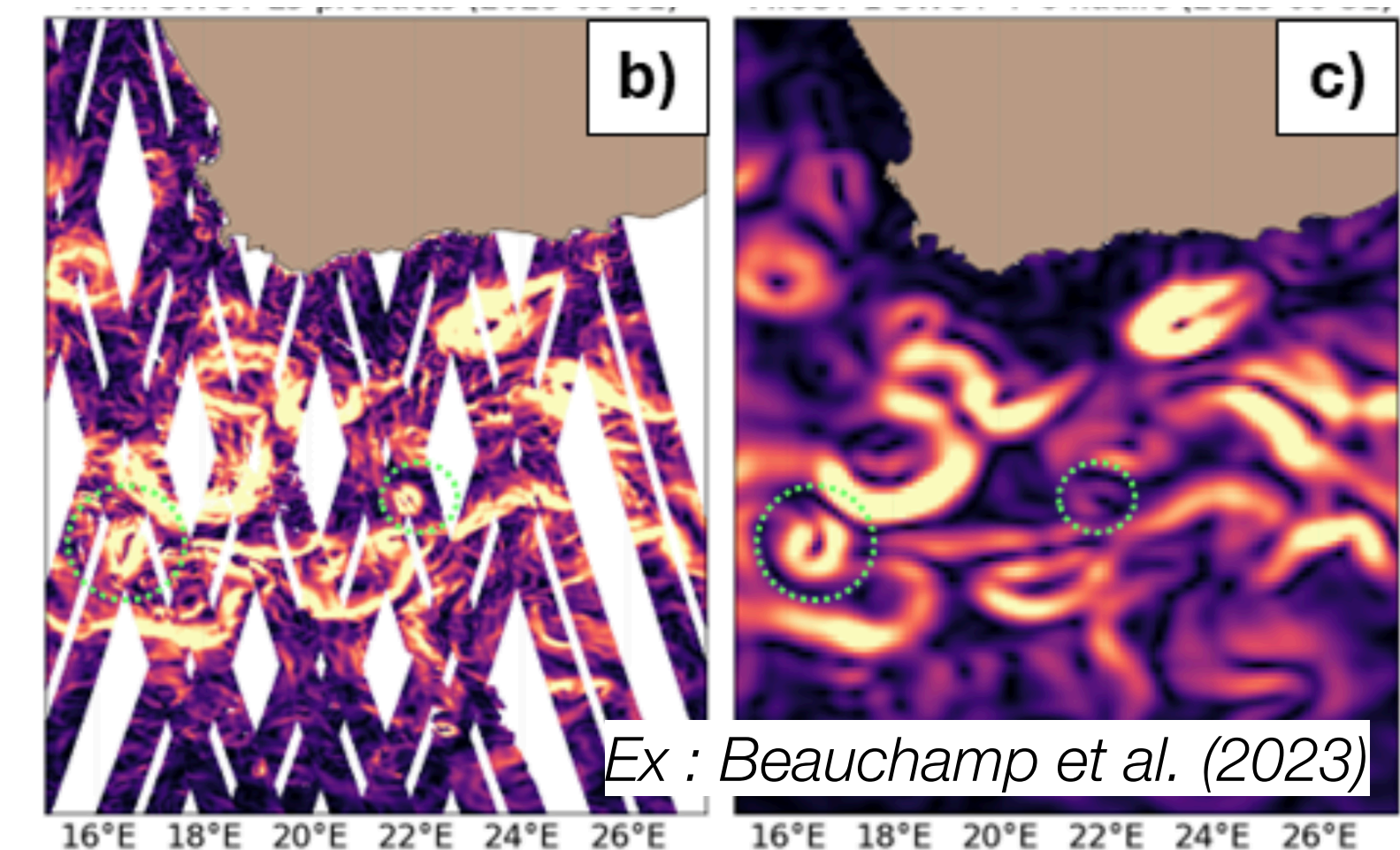


Fraction incohérente de l'énergie de marée barocline



débruitage L3

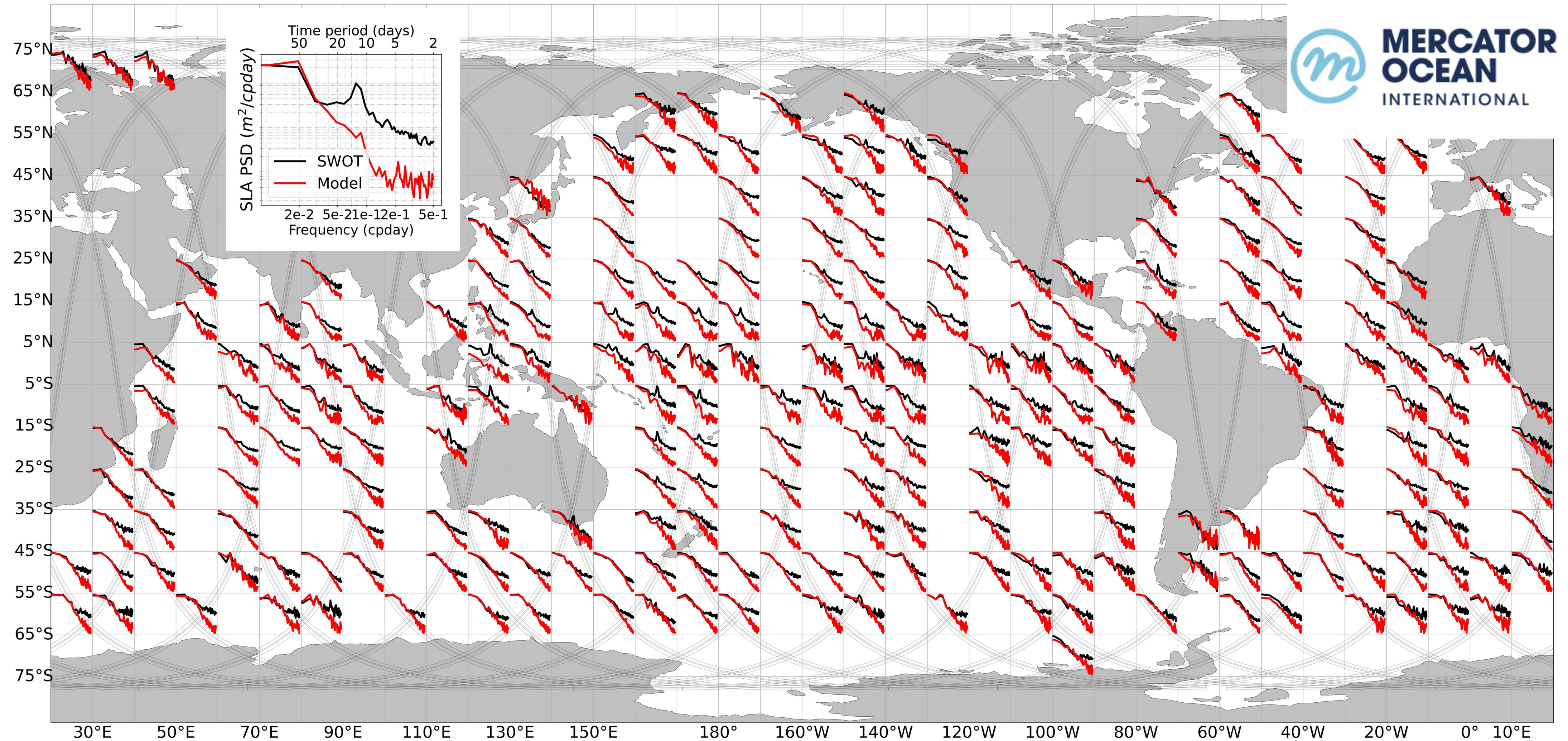
Préparer les  
algorithmes et  
les produits  
de données



cartographie L4



# Ce que SWOT apporte aujourd'hui aux modèles



Fouchet et al. 2025 : <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1563934>



# Ce que SWOT apporte aujourd'hui aux modèles

### SWOT-OMIP : evaluating ocean models with SWOT data

M. Contreras<sup>1</sup>, A. Ouhechou<sup>1</sup>, M. Aguedjou<sup>2</sup>, J. Le Sommer<sup>1</sup>, F. Gouillon<sup>2</sup>, A. Albert<sup>1</sup>, T. Uchida<sup>3</sup>, C. Germaineaud<sup>2</sup>, E. Chassignet<sup>4</sup>, C. Bricaud<sup>5</sup>, O. Tooth<sup>6</sup>

(1) IGE, UGA/CNRS/Grenoble-INP/INRAE/IRD (2) CNES (3) MIPT (4) COAPS/FSU (5) Mercator Ocean International (6) National Oceanography Center

**Objectives :**

- Describe the variability of macroturbulence in the global ocean from SWOT altimeter
- Evaluate how numerical ocean models capture this space and time variability
- Better understand the mechanisms driving the variability of ocean macroturbulence.

**Preliminary analysis**

- data product : L3 v1.0.2
- variable : ssha + mdt (2km)
- regions : Uchida et al. 2024

**Preliminary conclusions :**

- Evidence of shallow SSH spectral slope ( $k^{-2}$ ) in region B (low latitude/low energy), possibly related to the internal gravity wave (IGW) field
- Steeper spectral slopes ( $k^{-5}$ ) in the mesoscale range in region A (mid latitude/high energy), as expected from QG theory
- Larger spread amongst models in region B, suggesting differences in models' ability to represent IGW
- Seasonal changes in SSH wavenumber spectra are (surprisingly) weaker than expected

**What's next :**

- include more models in the analysis, please contact us on GH if interested !
- compute wavenumber spectra in  $10^{\circ} \times 10^{\circ}$  boxes covering the global ocean
- investigate how SSH spectra vary across models, regions and seasons

**Model datasets**

Simulation	Codebase	Grid size
GLO12v4	NEMO	~ 7.5 km
GLO36v1	NEMO	~ 2.5 km
HYCOM50	HYCOM	~ 1 km
eORCA025	NEMO	~ 22.5 km
eORCA12	NEMO	~ 7.5 km


**Example Yaml file describing a simulation**

```
global: # MODEL NAMES
  # Information on the provider institution
  data_provider:
    institution_name: "MERCATOR OCEAN INTERNATIONAL"
    contact_email: "moulin@mercator-ocean.fr"
  # Information about the model simulation
  model_information:
    simulation_name: "GLO12V4"
    codebase_version: "4.2"
  # Information about the model dataset
  model_dataset:
    model_frequency: "1p" # in h
    type_of_average: "averaging" # "none" or "averaging"
    model_year: "2024" # Remember, just one year for metadata on
    base_url_folder: "project/med-omip/med-omip/GLO12V4" # Access S3
    endpoint_url: "https://med-omip.s3.amazonaws.com"
  # Model grid
  model_grid:
    global: "True" # Boolean: True or False
    grid_dimensions: "4320 x 3600" # string "Nx x Ny"
    minimum_horizontal_gridsize: "1p" # in m
    maximum_horizontal_gridsize: "1p" # in m
    number_of_vertical_levels: "100"
    minimum_vertical_gridsize: "1p" # in m
    maximum_vertical_gridsize: "4320" # in m
    vertical_grid_type: "1p" # in m
    vertical_coordinates: "2" # "sigma" or "pressure" or "isopycnal"
    bathymetry: "ETOPO5" # Reference of the dataset used for bathymetry
    model_name: "GLO12V4" # Reference of the model used
    # Detail on the model experiment
    model_experiments:
      initial_conditions: "GLO12V4" # Database used for initialization
```

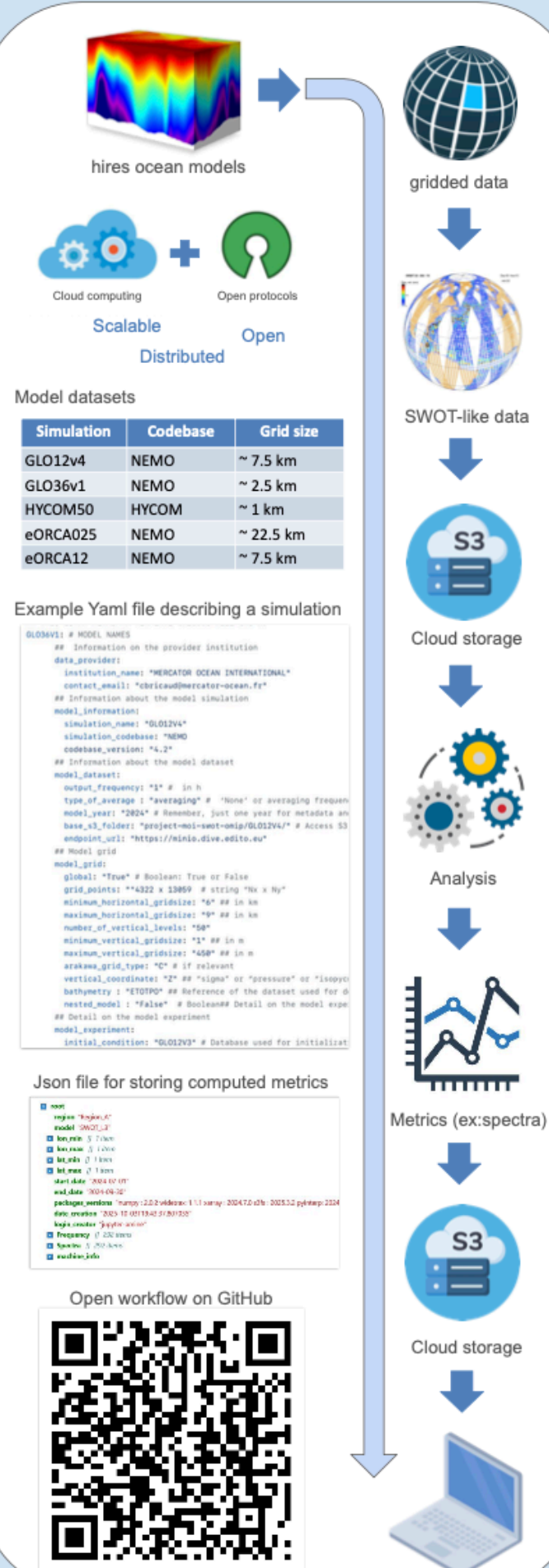
**Json file for storing computed metrics**

```
{
  "model": "GLO12V4",
  "model_year": "2024",
  "base_url": "https://med-omip.s3.amazonaws.com",
  "endpoint_url": "https://med-omip.s3.amazonaws.com",
  "model_grid": "4320 x 3600",
  "vertical_coordinates": "2",
  "bathymetry": "ETOPO5",
  "model_name": "GLO12V4",
  "model_experiments": {
    "initial_conditions": "GLO12V4"
  }
}
```


**Open workflow on GitHub**

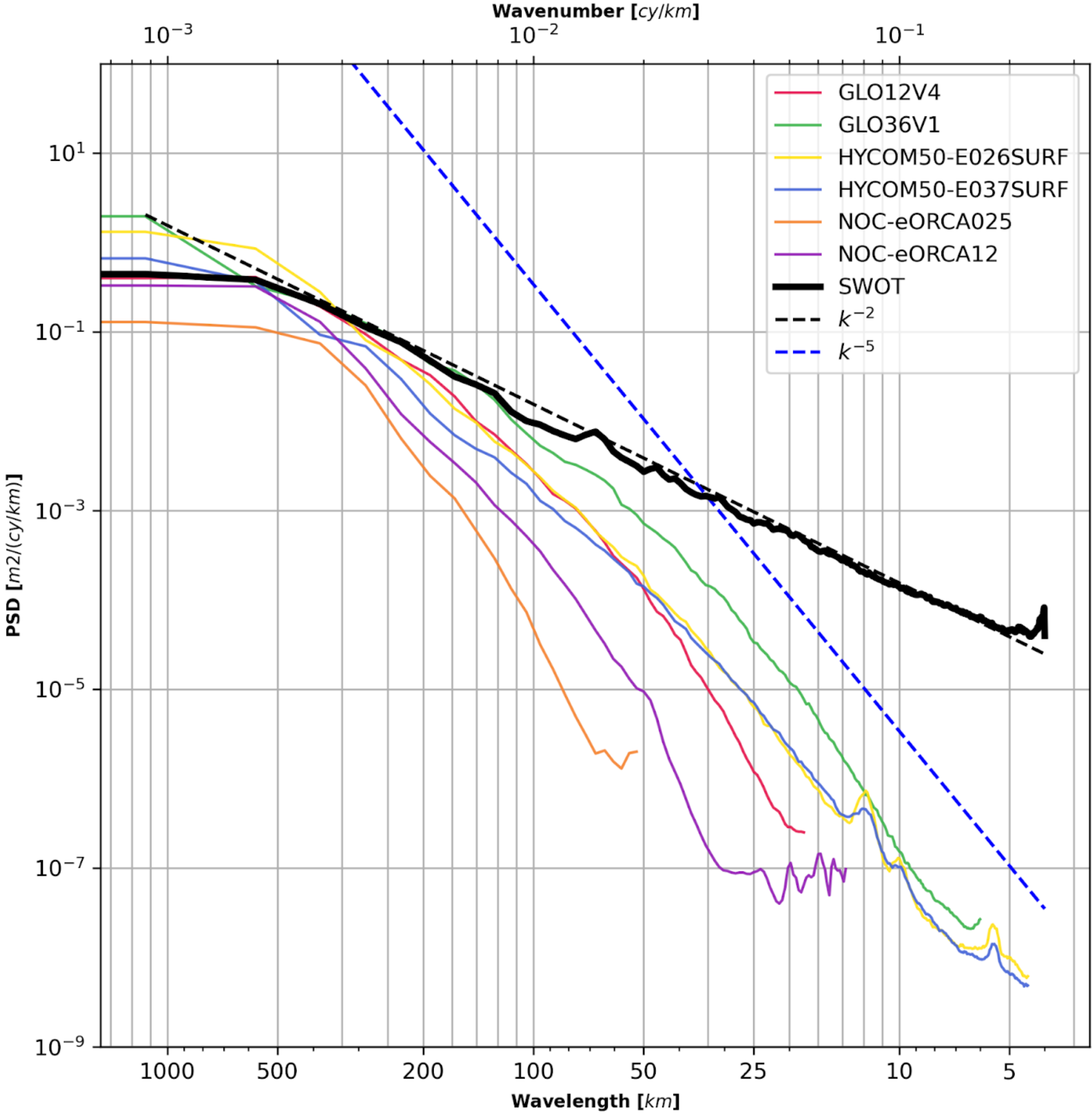


**Workflow Diagram:**



**Logos:**





- Evaluation systématique et ouverte
- Distribution d'énergie par échelles



4.

# Nouvelles frontières pour les modèles

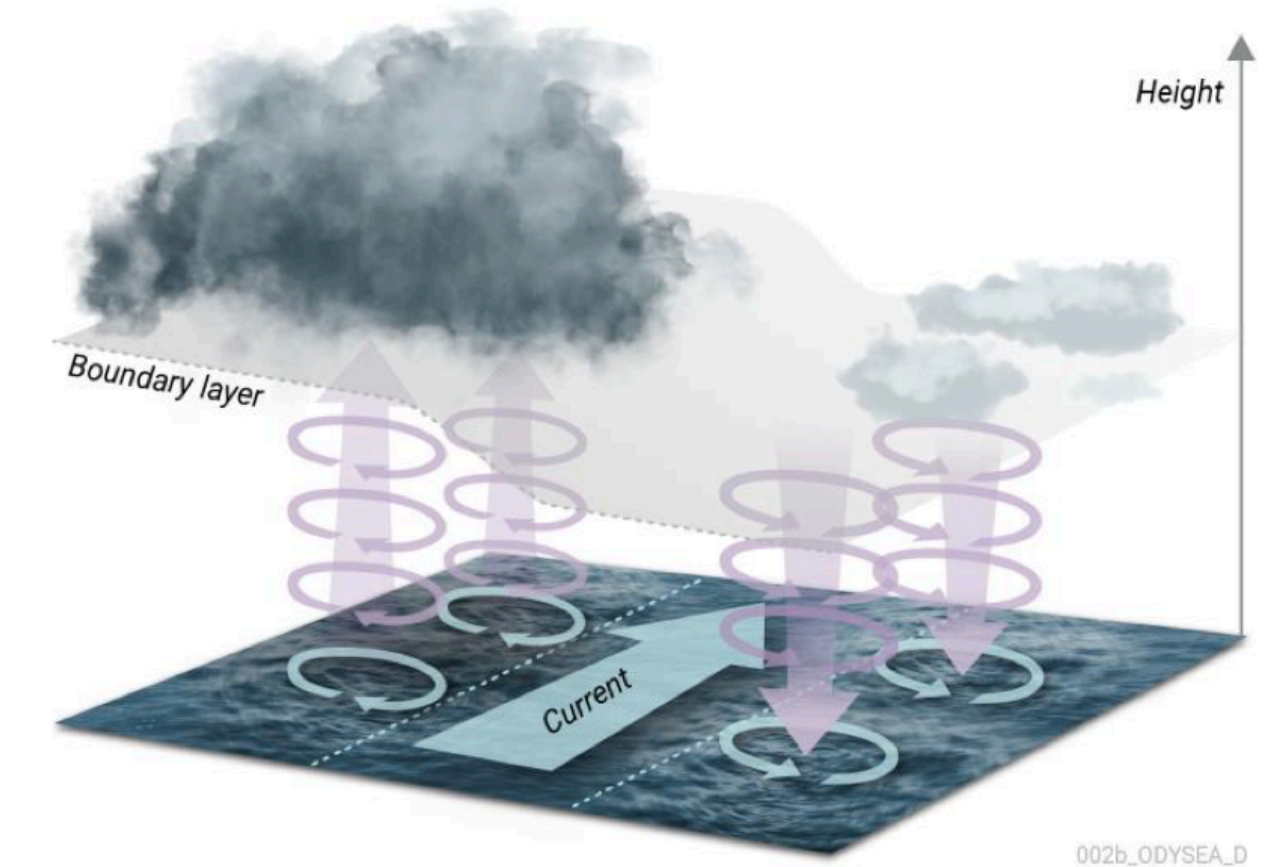


# Sources d'incertitude dans les modèles & prévisions



# Sources d'incertitude dans les modèles & prévisions

## 1. Forçage et interaction à l'interface ocean-atmosphère



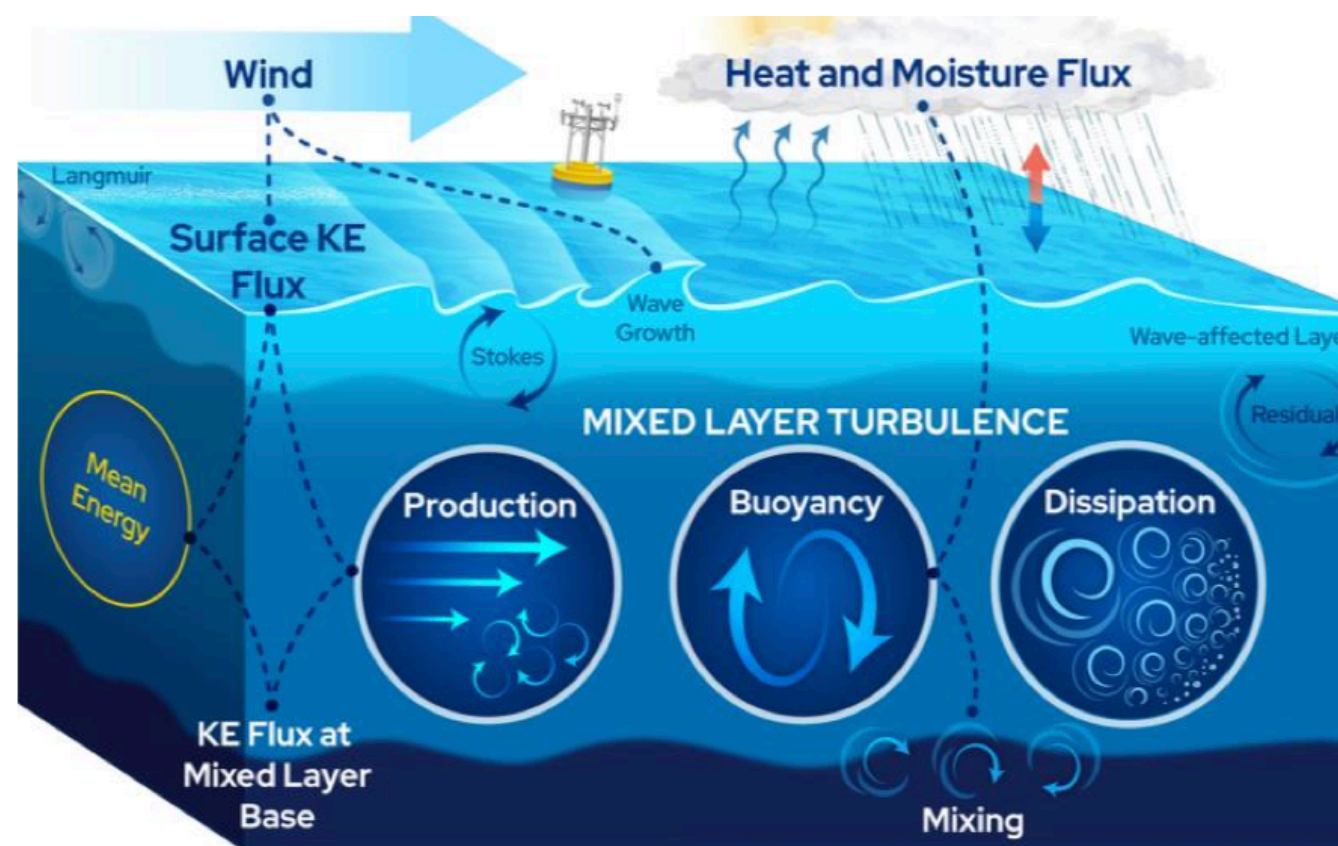
Interaction vents-courant-vagues  
et impact sur couche limite atmosph.



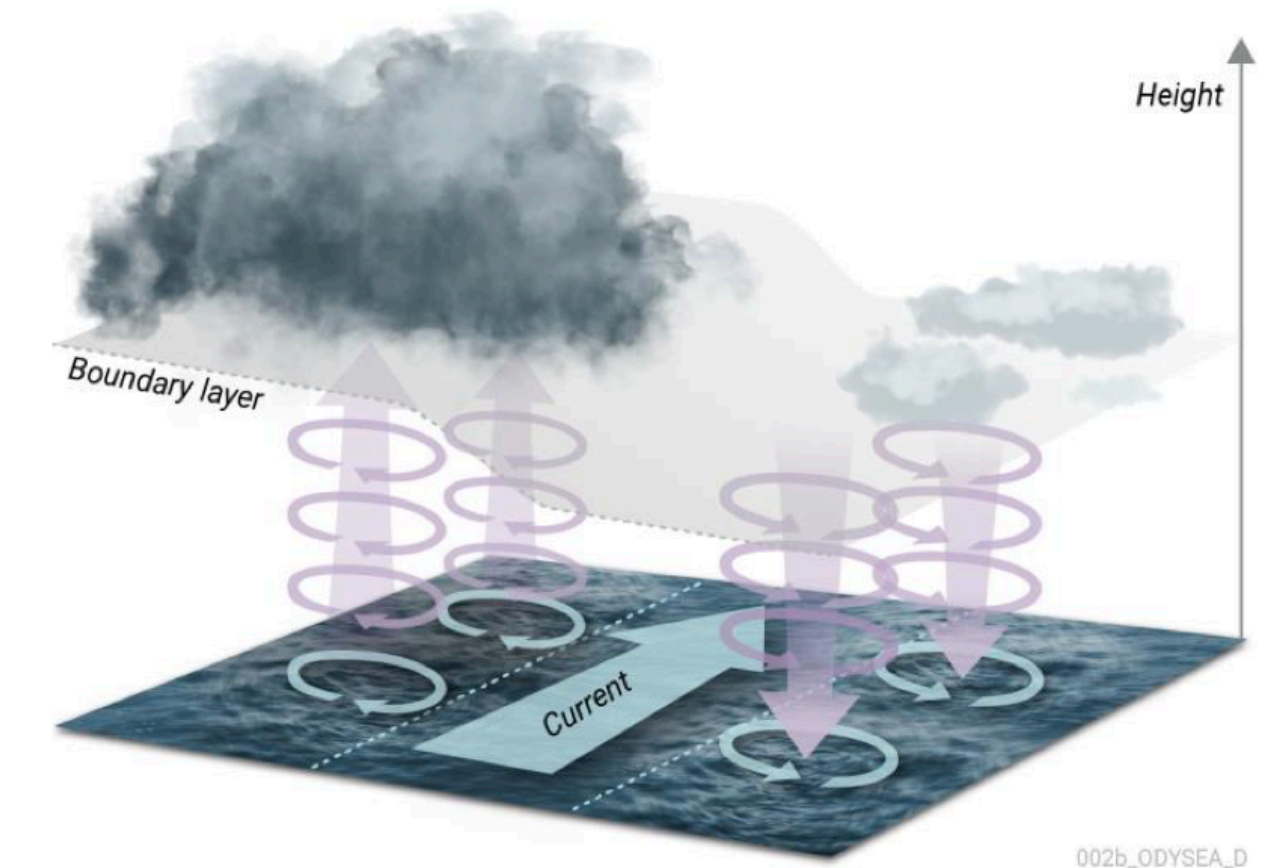
# Sources d'incertitude dans les modèles & prévisions

1.

Forçage et interaction  
à l'interface ocean-atmosphère



Mélange et dissipation d'énergie  
dans les couches de surface



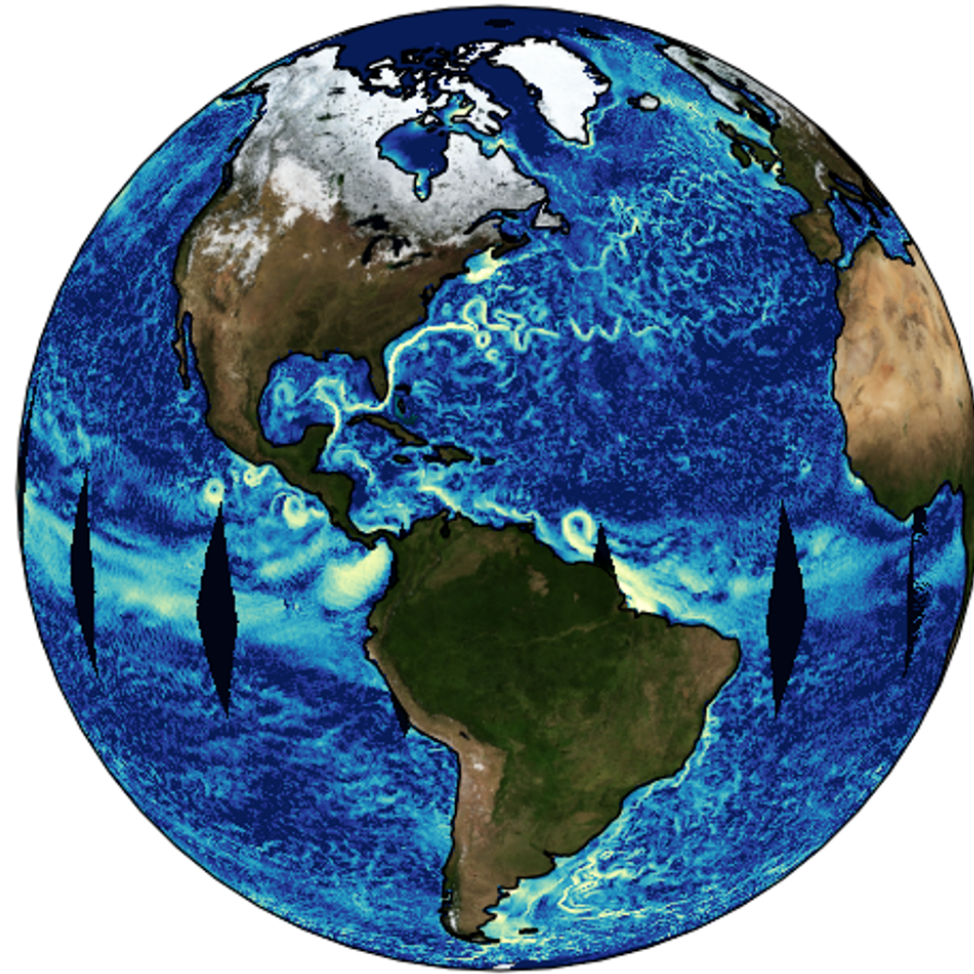
Interaction vents-courant-vagues  
et impact sur couche limite atmosph.

2.

Mélange turbulent et  
dissipation d'énergie mécanique

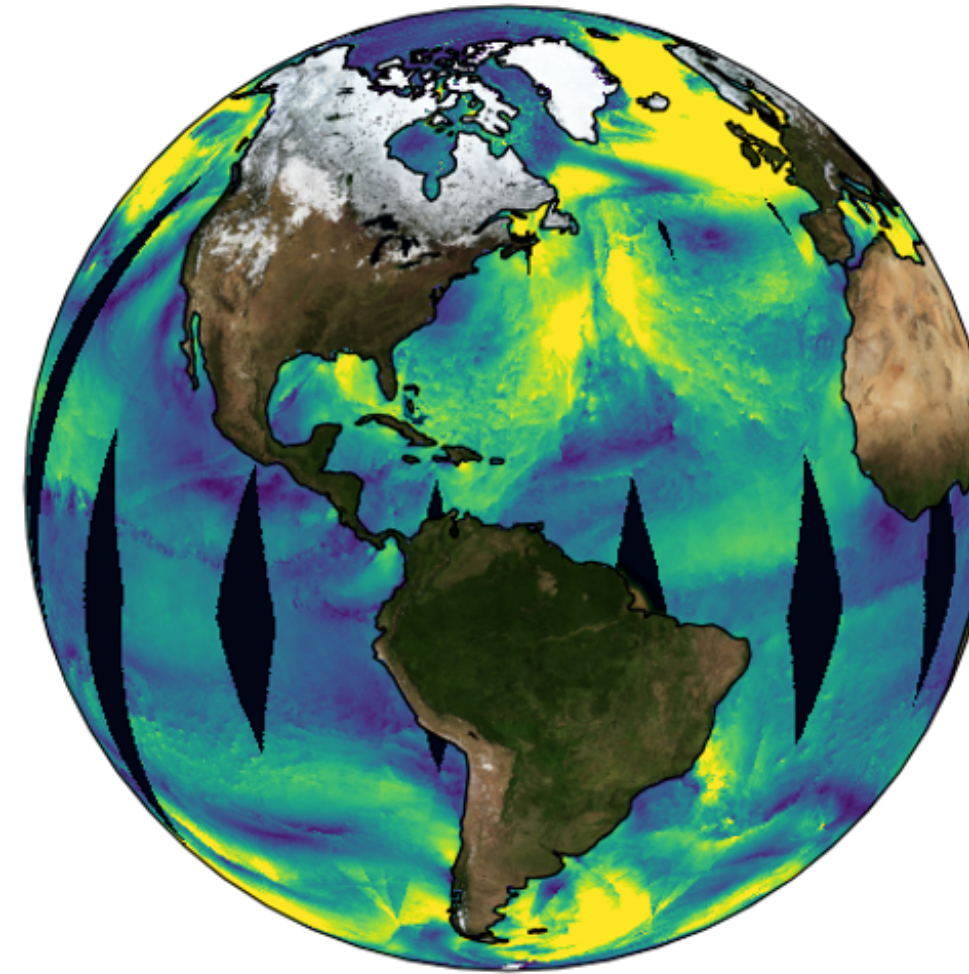


# Observations conjointes courants, vents, vagues



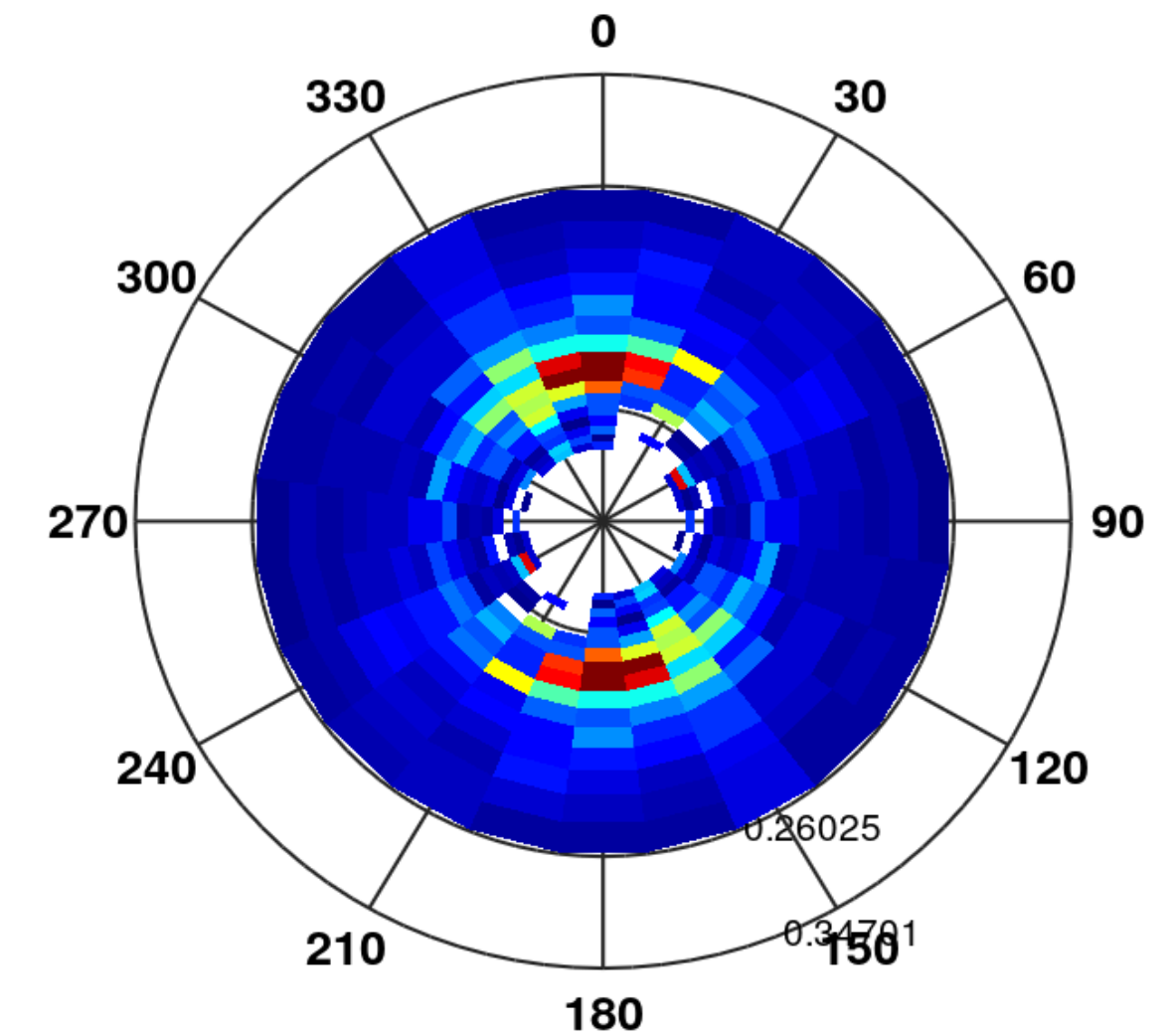
Courants de surface

+



Vents de surface

+

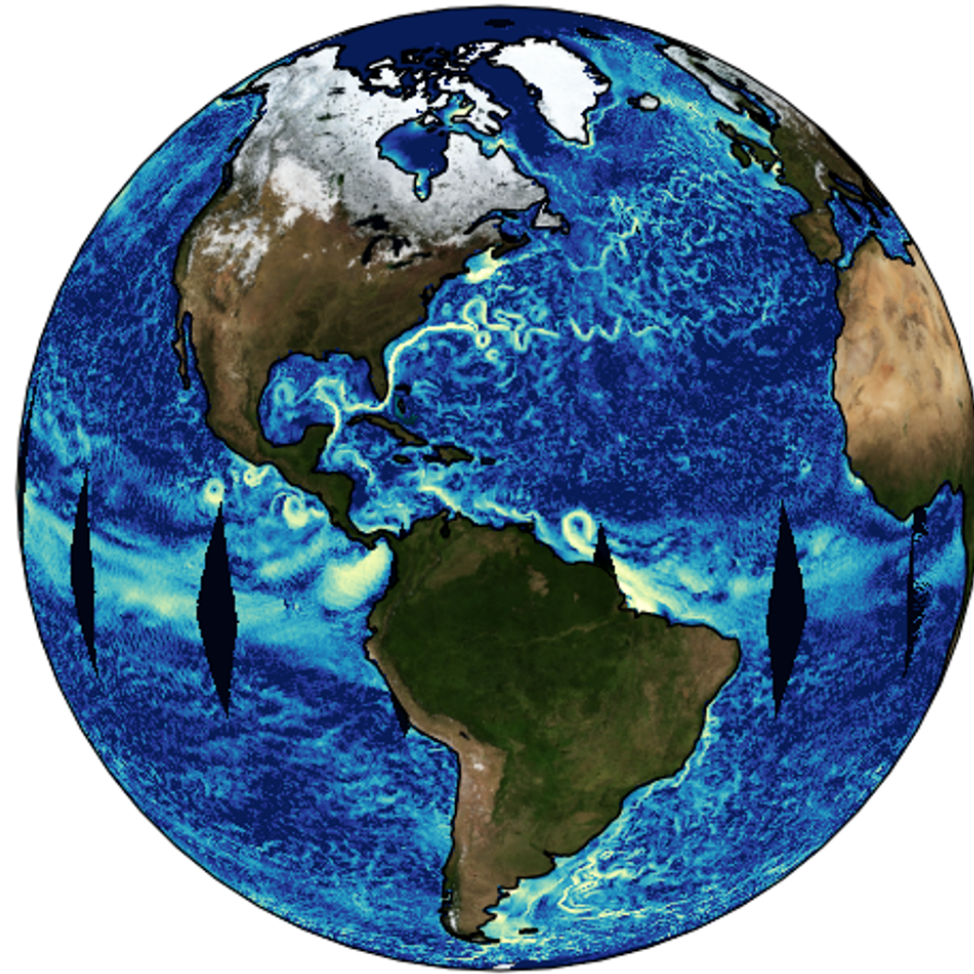


Spectre des vagues

Cohérence et complémentarité des propositions de missions (+geostationnaire)

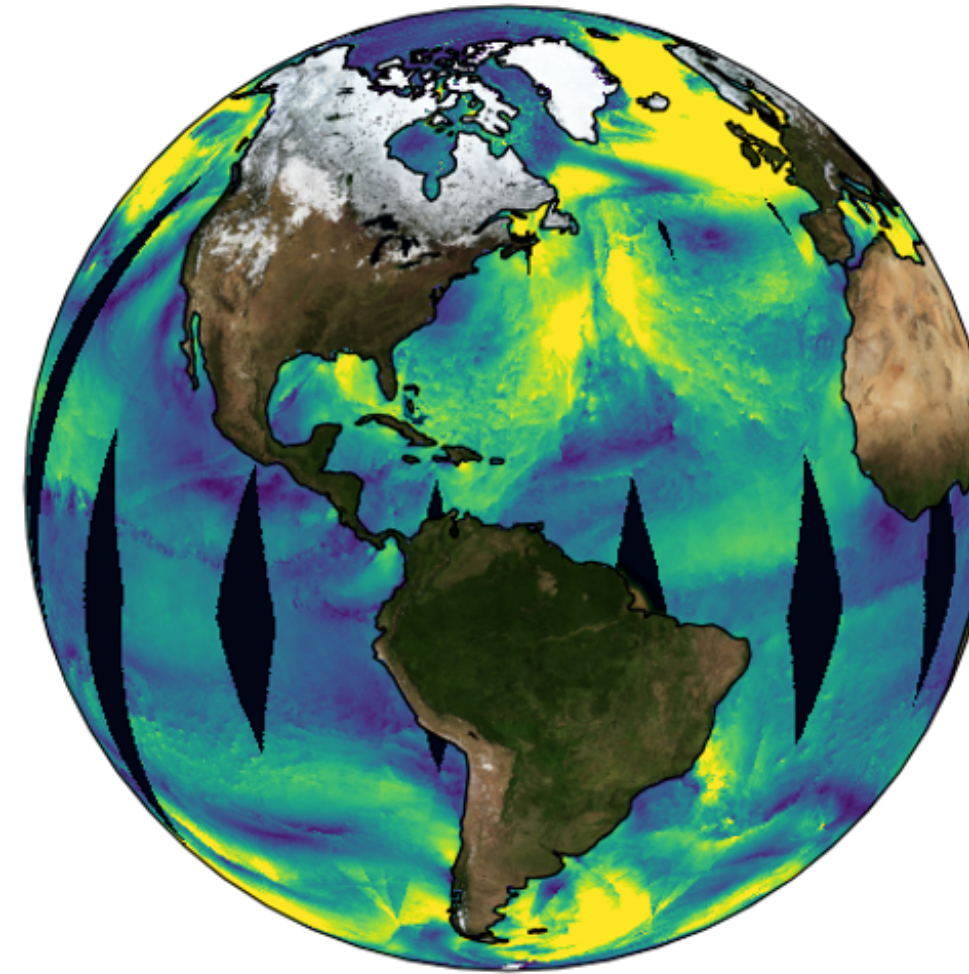


# Observations conjointes courants, vents, vagues



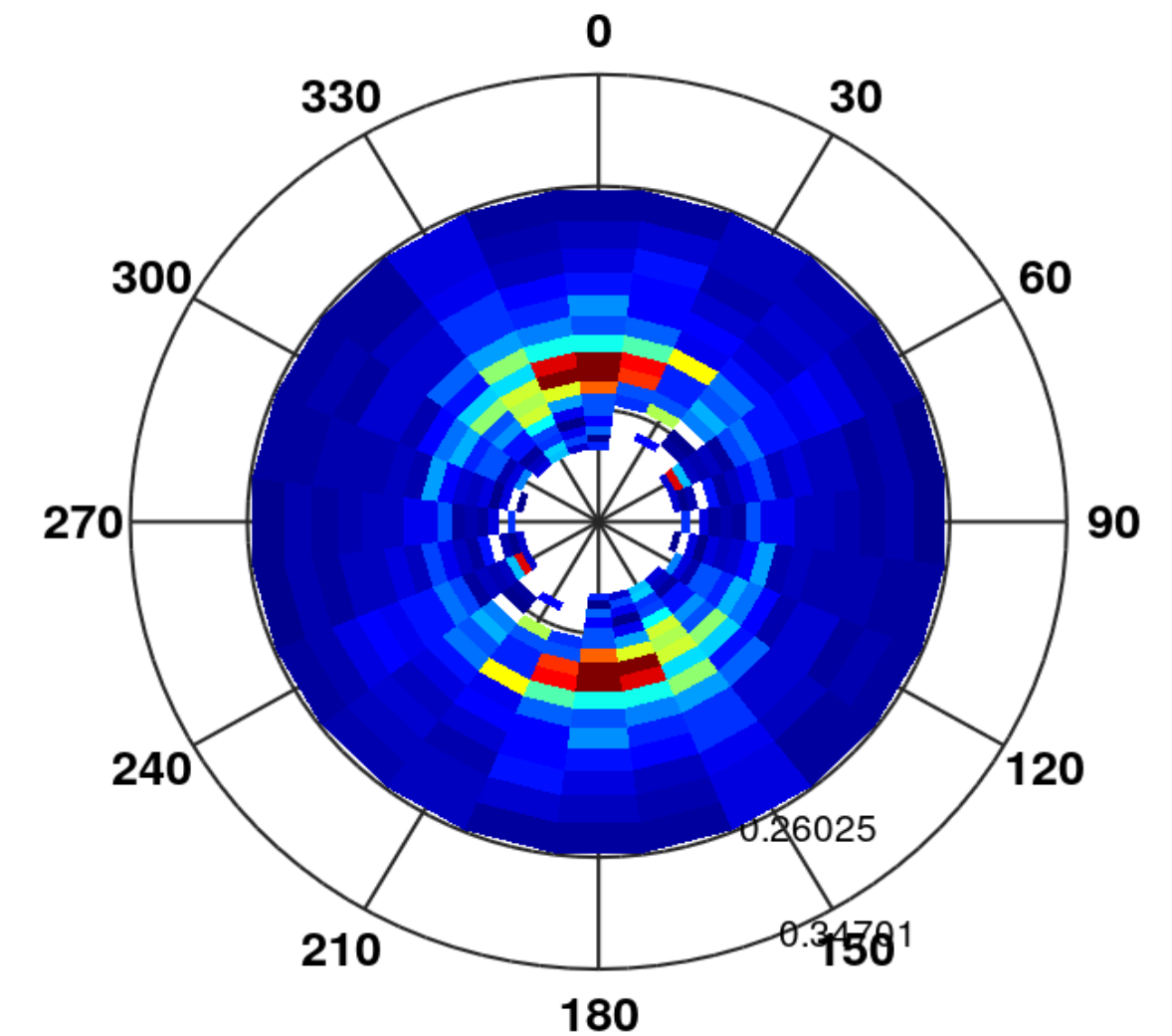
Courants de surface

+



Vents de surface

+



Spectre des vagues

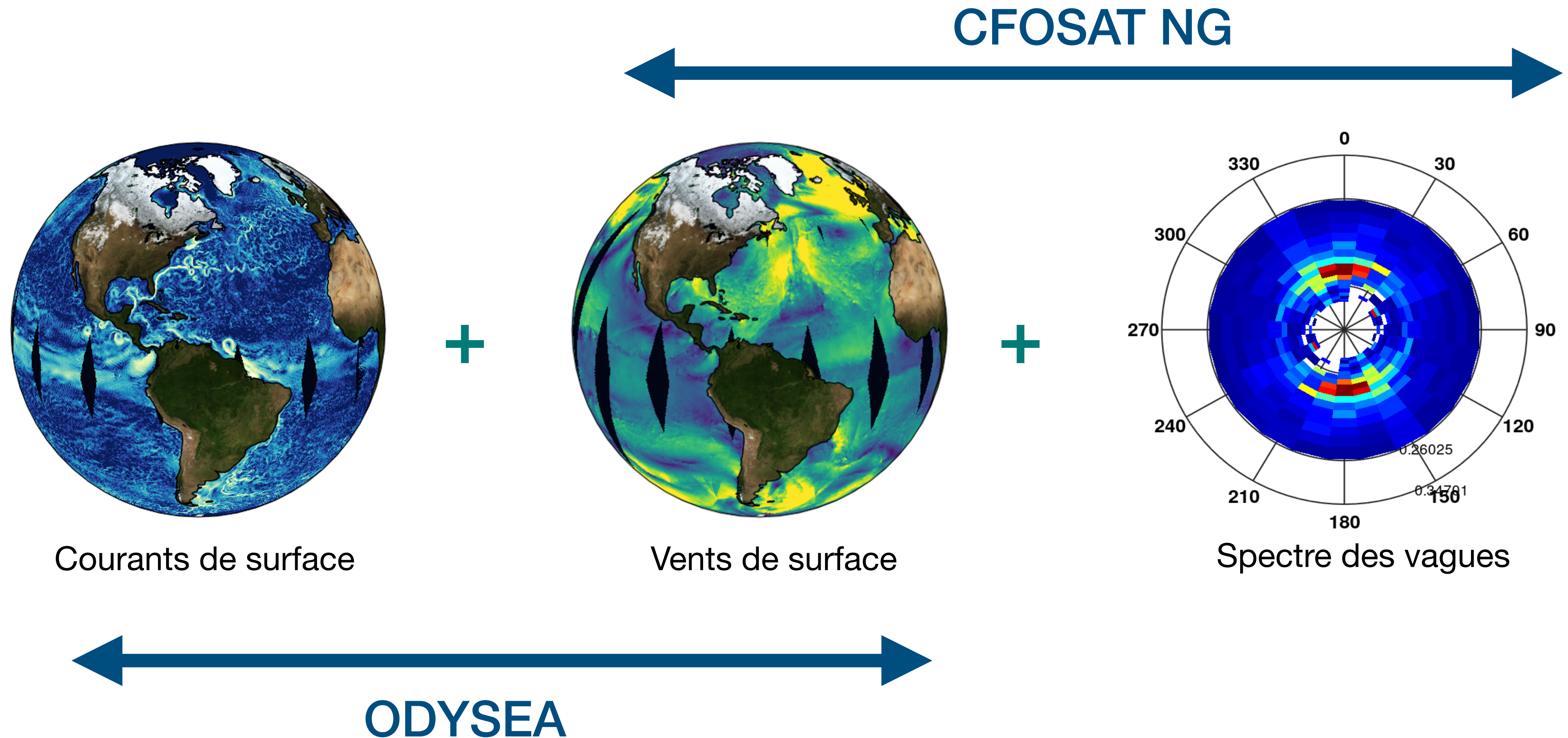


ODYSEA

Cohérence et complémentarité des propositions de missions (+geostationnaire)



# Observations conjointes courants, vents, vagues



Cohérence et complémentarité des propositions de missions (+geostationnaire)



# Journée de la Science

[journeescience2025-cnes.fr](http://journeescience2025-cnes.fr)



# Take Home





# Take Home

1.

Observation et modélisation de l'océan évoluent  
de manière complémentaire





# Take Home

1.

Observation et modélisation de l'océan évoluent de manière complémentaire

2.

Les fines échelles (1-100km) concentrent des enjeux scientifiques et sociétaux





# Take Home

1.

Observation et modélisation de l'océan évoluent de manière complémentaire

2.

Les fines échelles (1-100km) concentrent des enjeux scientifiques et sociétaux

3.

Plusieurs missions cohérentes avec les besoins des modèles et système de prévision