European Digital Twin Ocean
EDITO
ModelLab

Université
Grenoble Alpes

cnrs

Comité de suivi individuel

Doctorat de Gabriel Mouttapa

commencé en février 2025

Mardi 23 septembre 2025

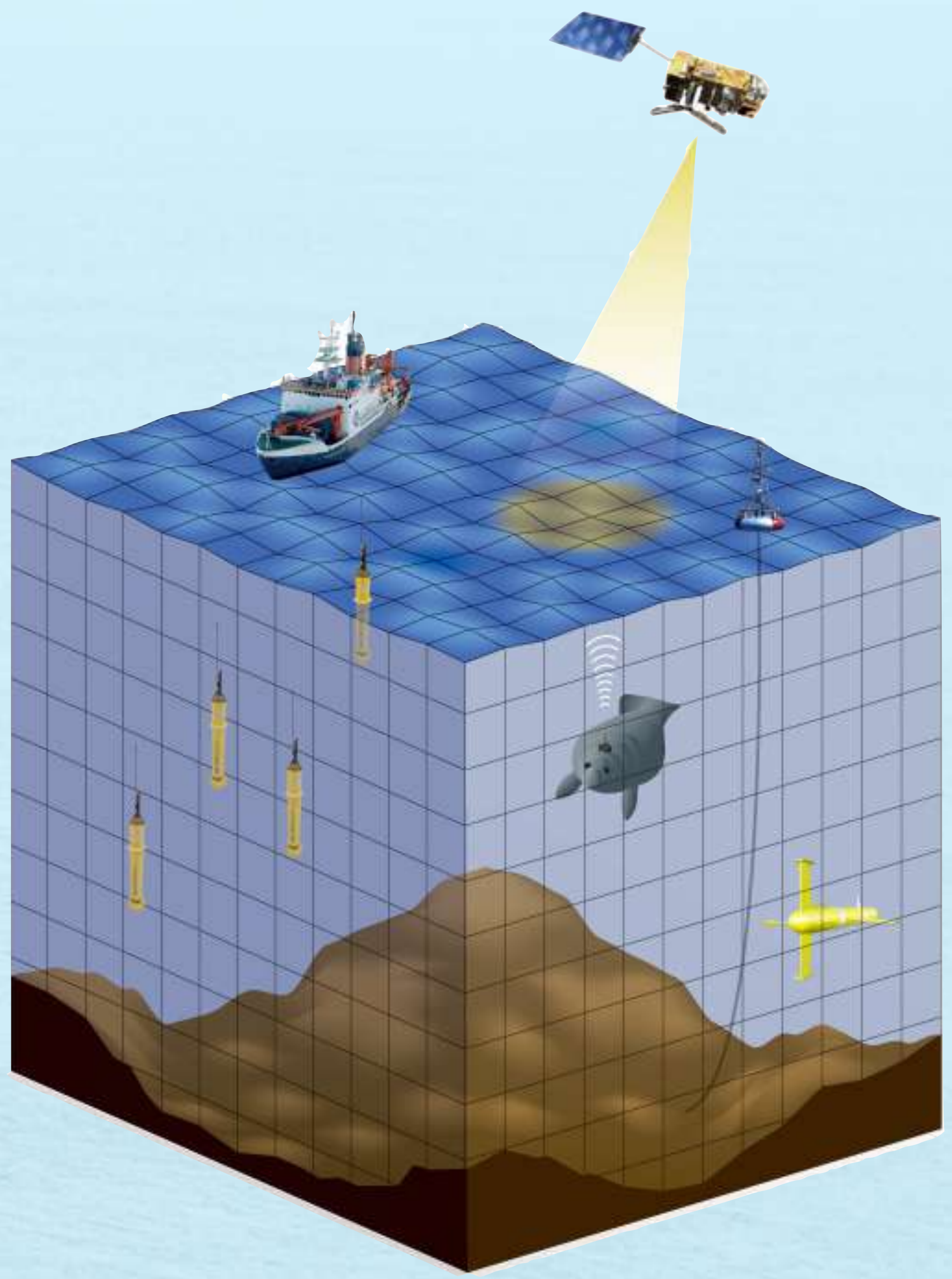
Encadrants : Julien Le Sommer et Emmanuel Cosme

Composition du CSI : Melika Baklouti et Arthur Vidard

1. Contexte

Apport de la **programmation différentiable** à la réduction des **incertitudes paramétriques et structurelles** des modèles de **circulation océanique**

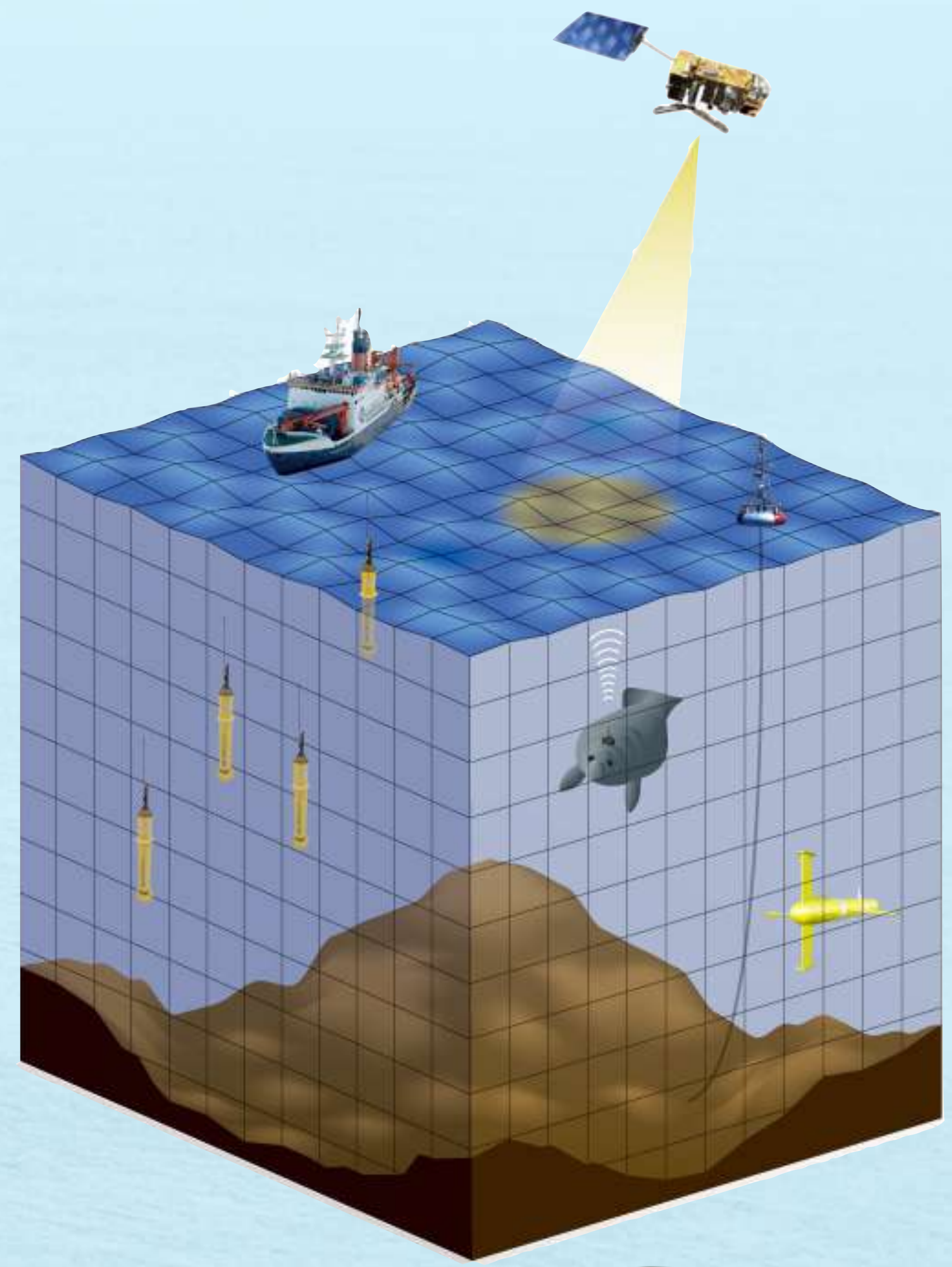
Circulation océanique



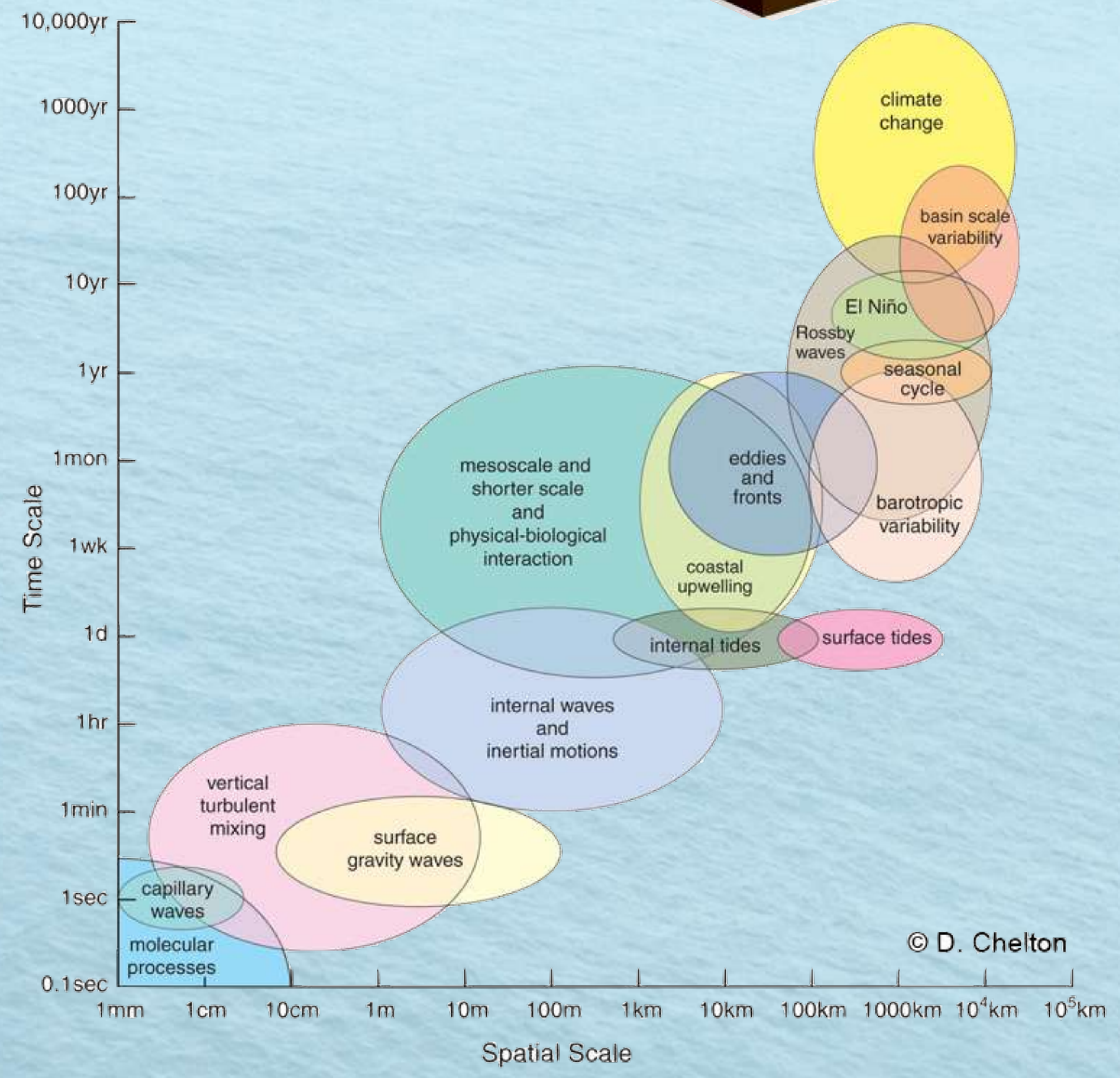
- **Utilisations des OGCM**
  - recherche
  - opérationnel
  - système Terre

Circulation océanique

- **Utilisations des OGCM**
  - recherche
  - opérationnel
  - système Terre

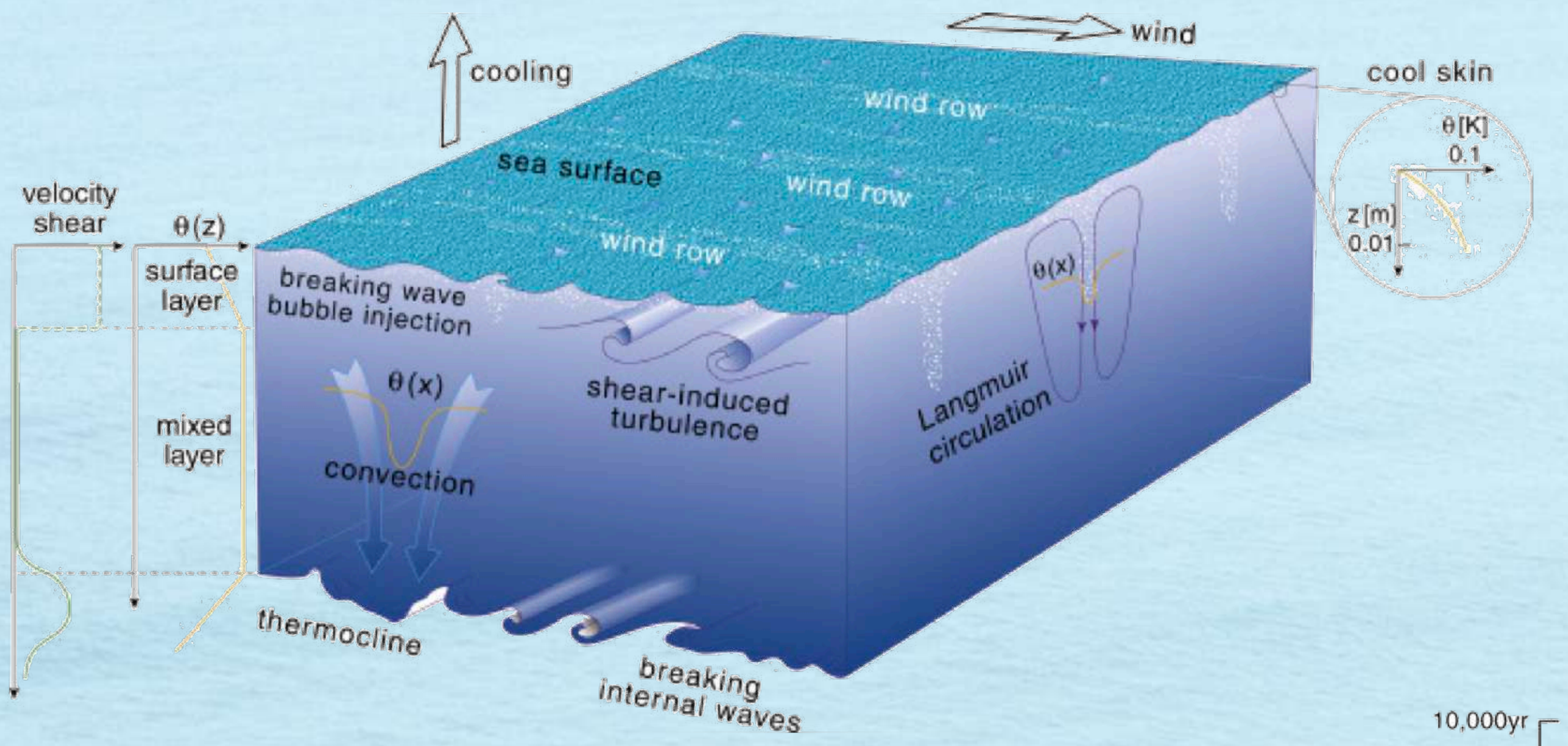


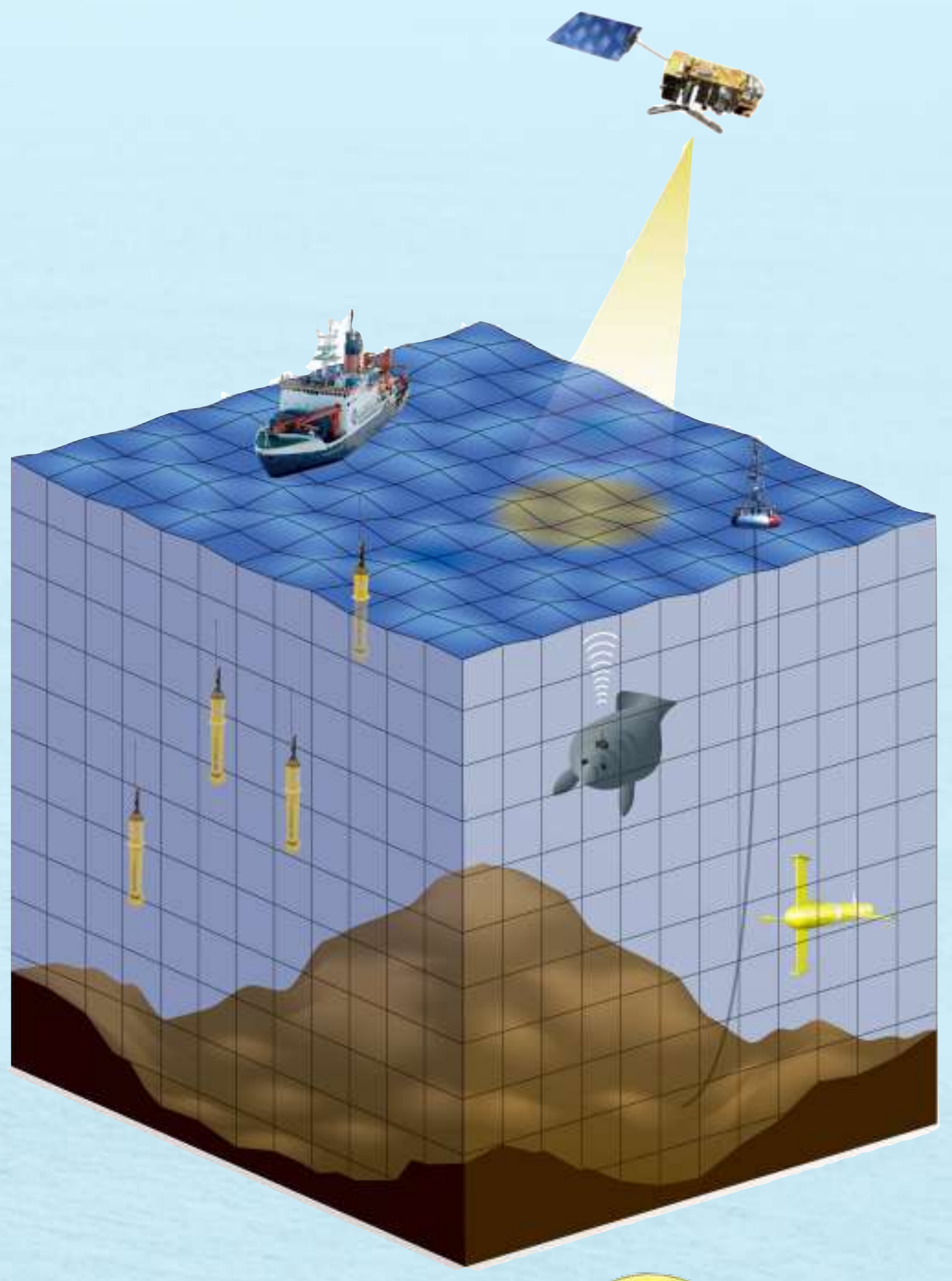
- **Processus physiques**
  - grande diversité d’échelles en espace et temps



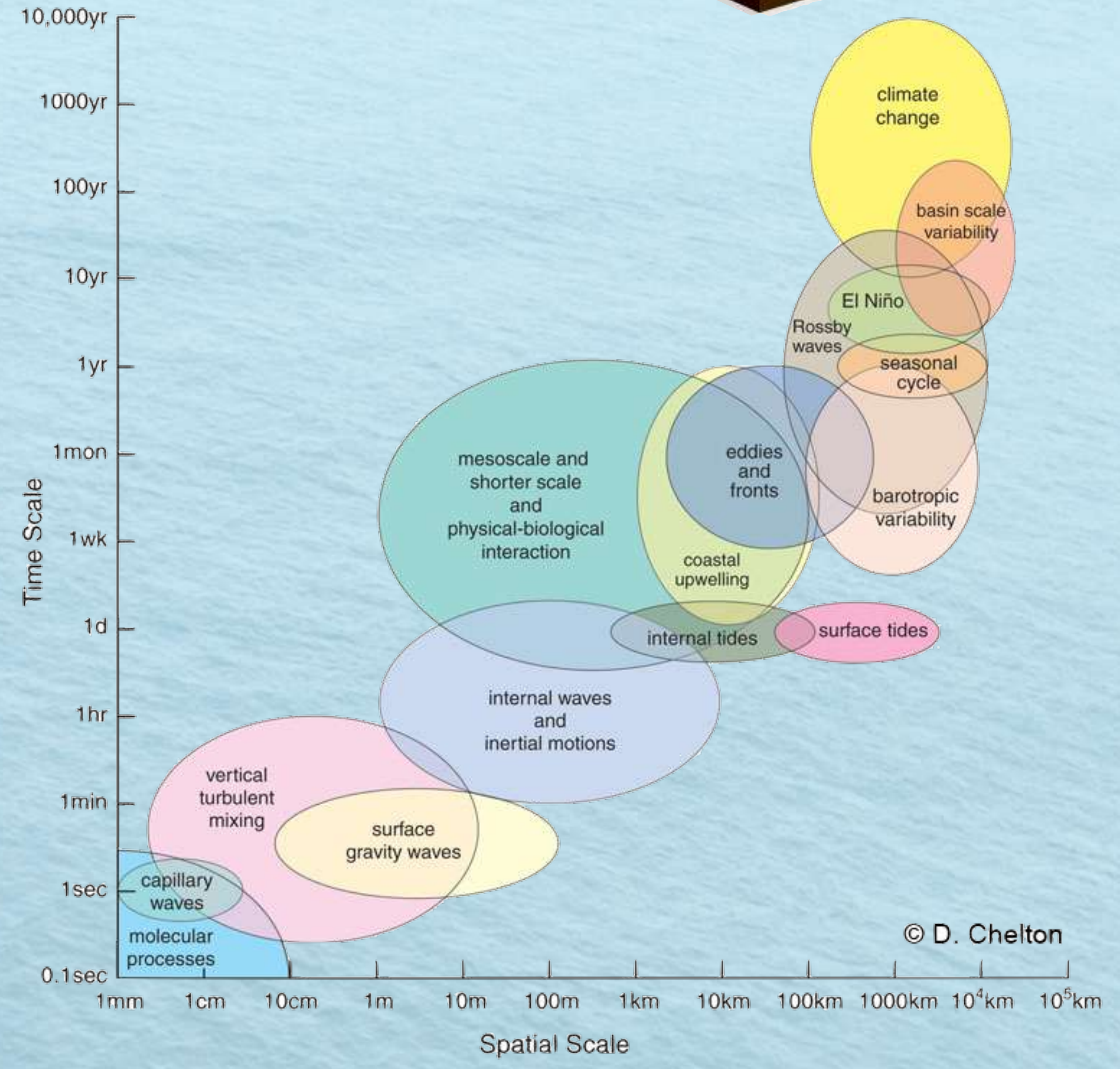
Circulation océanique

- **Utilisations des OGCM**
  - recherche
  - opérationnel
  - système Terre





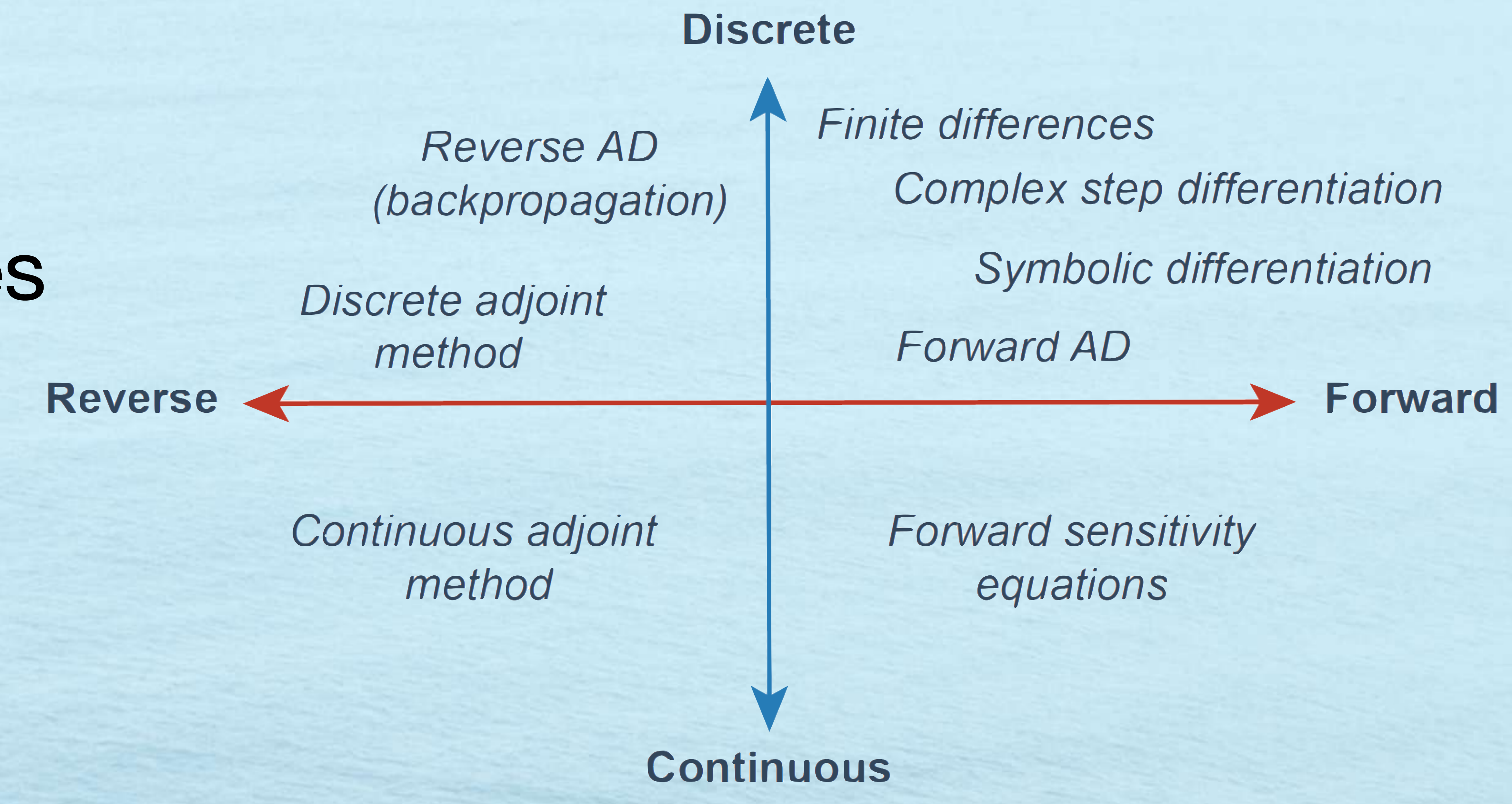
- **Processus physiques**
  - grande diversité d’échelles en espace et temps



- **Paramétrisations**
  - représentation des effets de la micro-échelle à grande échelle

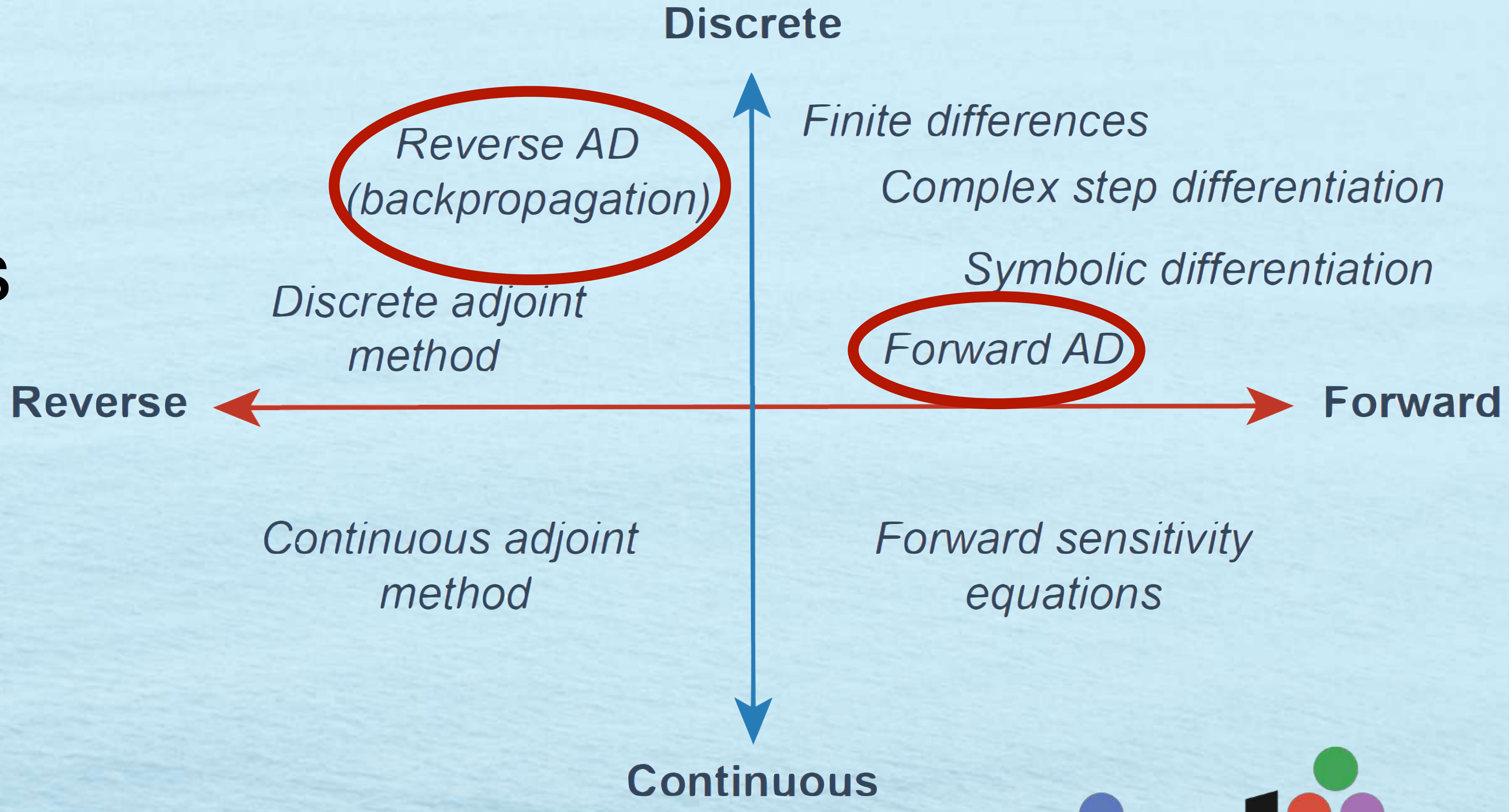
Programmation différentiable

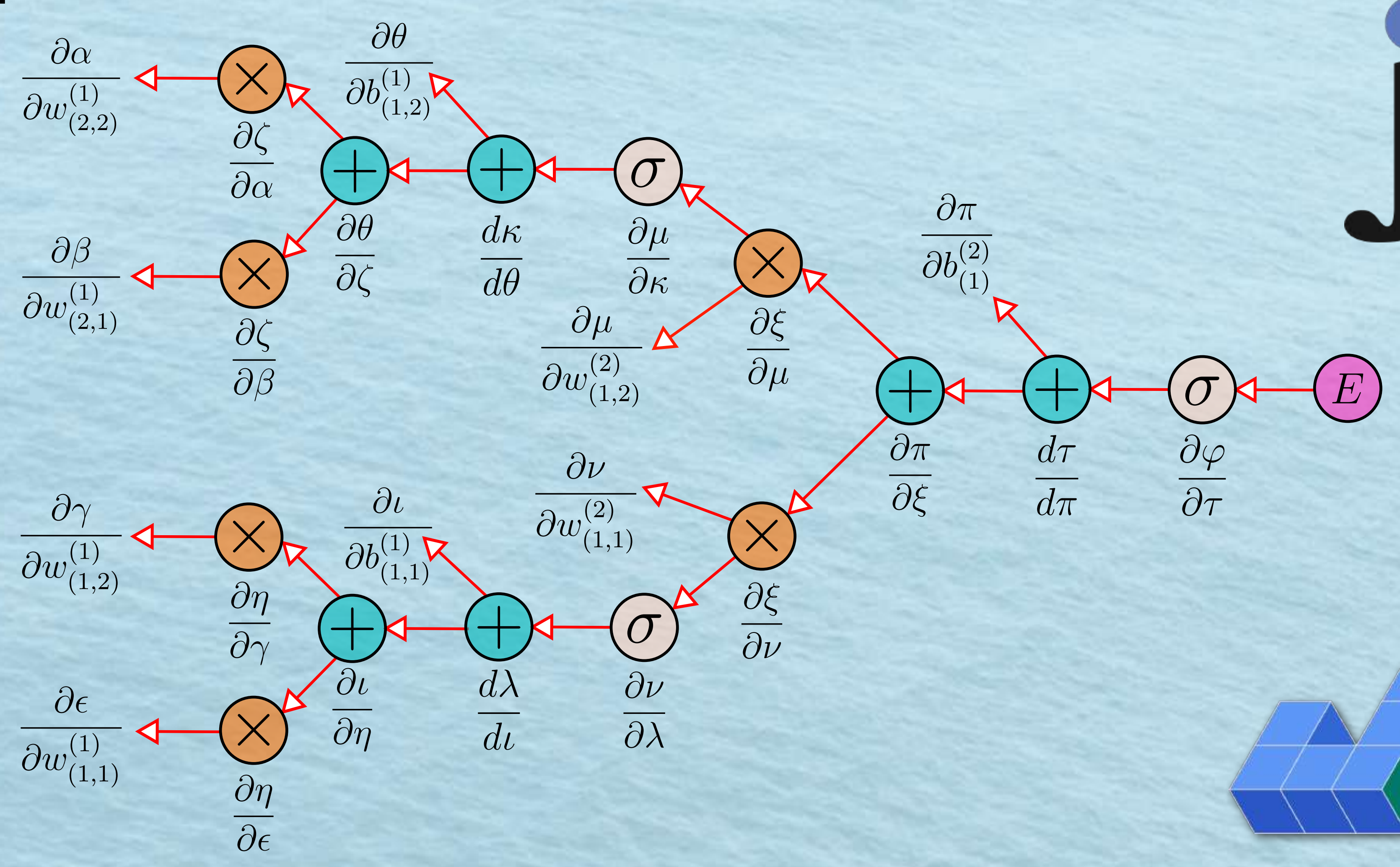
- dérivation de solutions d'ED
  - études de sensibilité, calibration, problèmes inverses et assimilation de données



Programmation différentiable

- dérivation de solutions d'ED
  - études de sensibilité, calibration, problèmes inverses et assimilation de données
- auto-différentiation
  - différent des méthodes impliquant l'adjoint
  - découpage en fonctions élémentaires
  - reverse vs. forward





2. Travail effectué

Position du problème

- Paramétrisation du mélange vertical
  - du à la stratification et anisotropie de l'océan
  - "fermetures physiques" à ajuster
  - $k-\varepsilon$, TKE, KPP, CATKE, $k\varepsilon\tau$
- Développement des paramétrisations face à des données
  - calibration des paramètres
  - paramétrisations hybrides
  - paramétrisations Deep Learning

diffusion turbulente

$$\overline{T'w'} = -K_t \frac{\partial \overline{T}}{\partial z}$$

$$\overline{u'w'} = -\nu_t \frac{\partial \overline{u}}{\partial z}$$

viscosité turbulente

$$(\nu_t, K_t) = f_\theta(X)$$

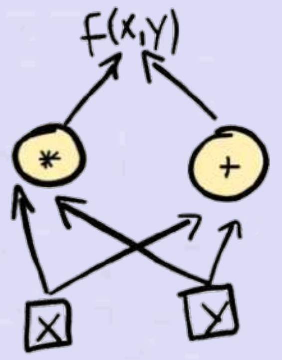
paramètres de la fermeture

Développement de Tunax

- modèle SCM complètement différentiable utilisé pour
  - la comparaison de paramétrisations
  - la calibration de paramètres vis-à-vis d’une base de donnée
  - la sensibilité vis-à-vis d’une base de donnée

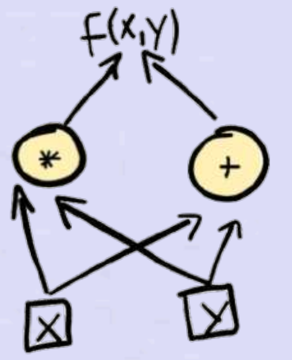
Développement de Tunax

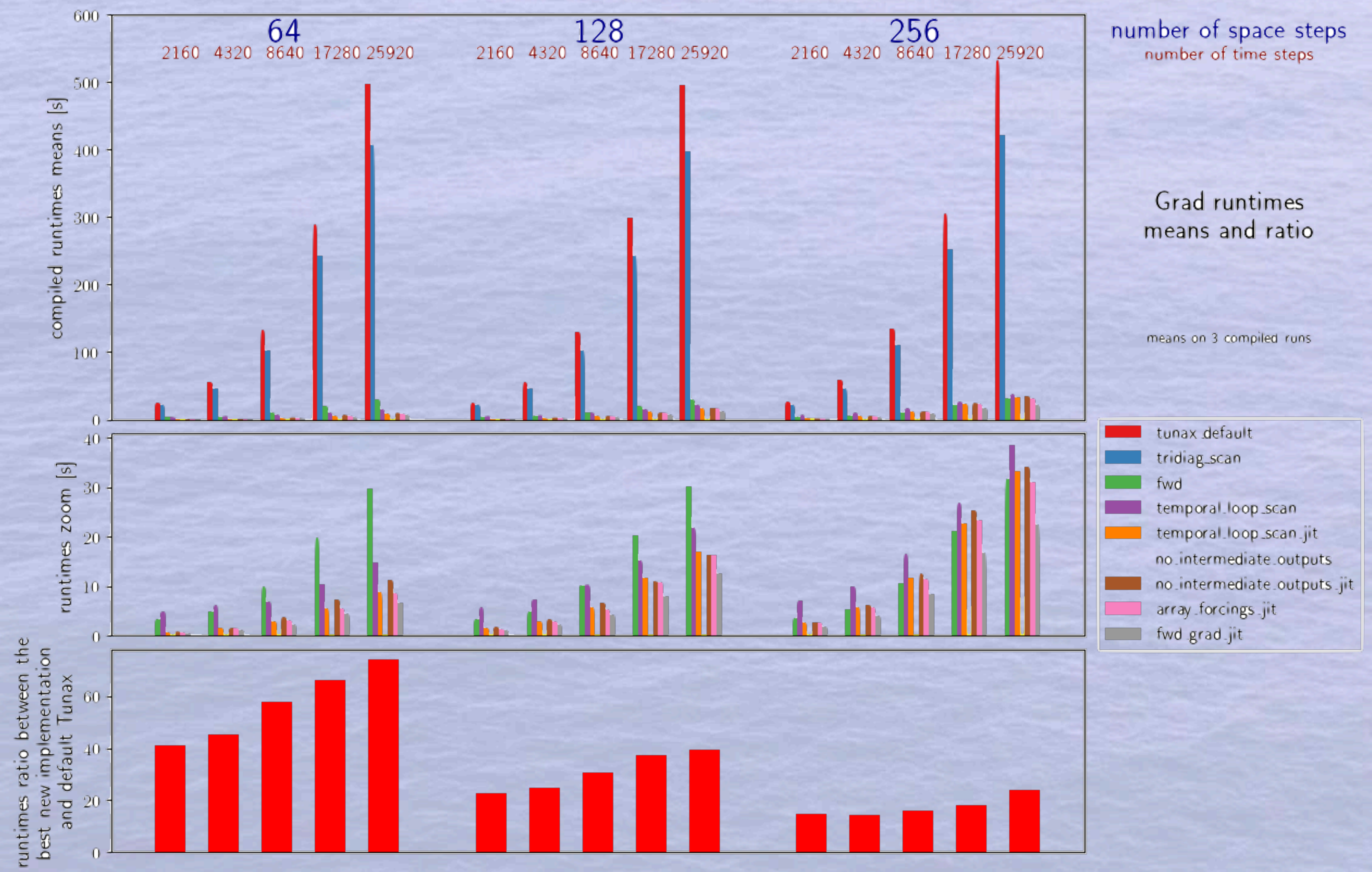
- modèle SCM complètement différentiable utilisé pour
  - la comparaison de paramétrisations
  - la calibration de paramètres vis-à-vis d'une base de donnée
  - la sensibilité vis-à-vis d'une base de donnée



Développement de Tunax

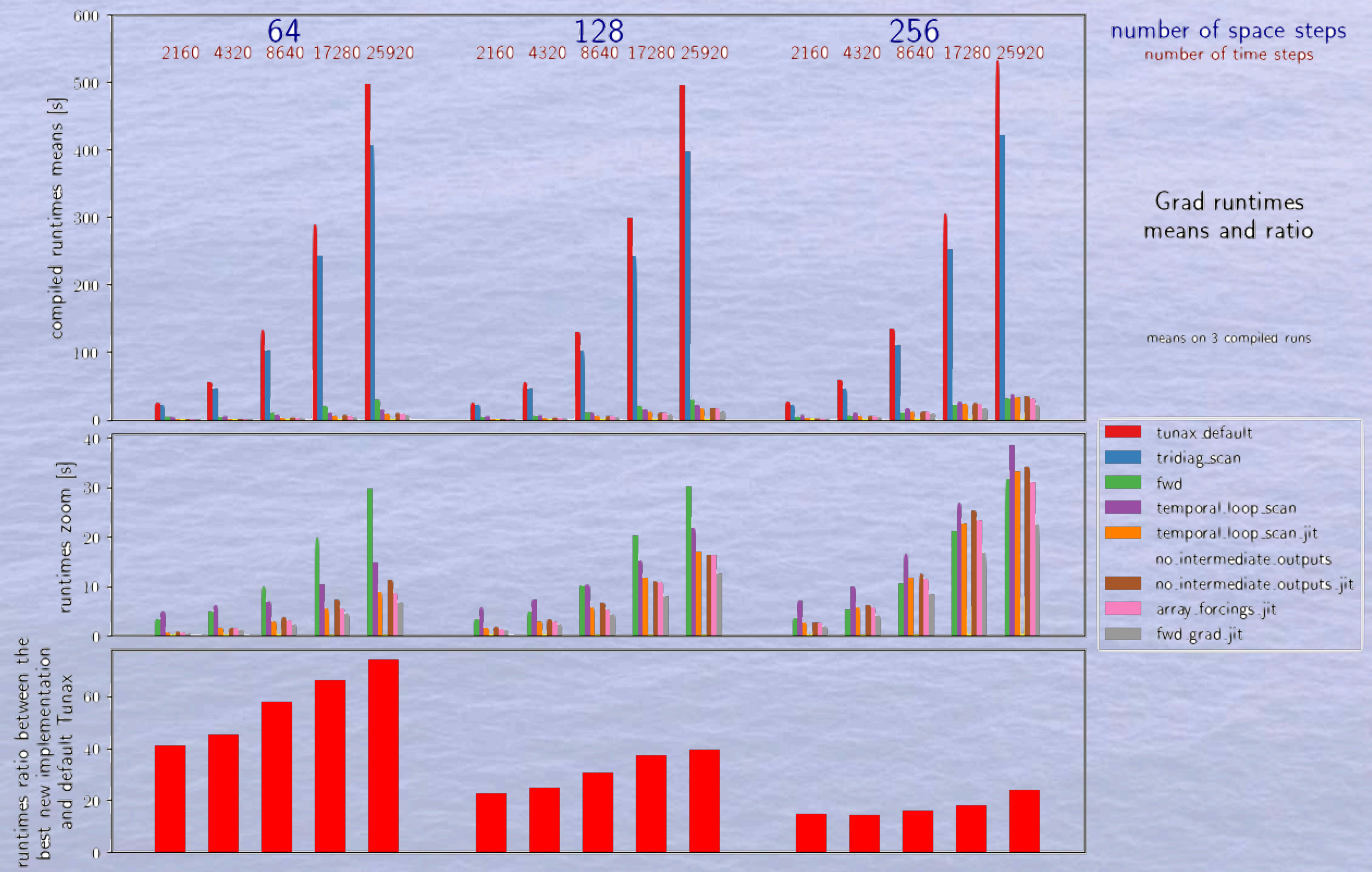
- modèle SCM complètement différentiable utilisé pour
  - la comparaison de paramétrisations
  - la calibration de paramètres vis-à-vis d'une base de donnée
  - la sensibilité vis-à-vis d'une base de donnée
  - amélioration des performances

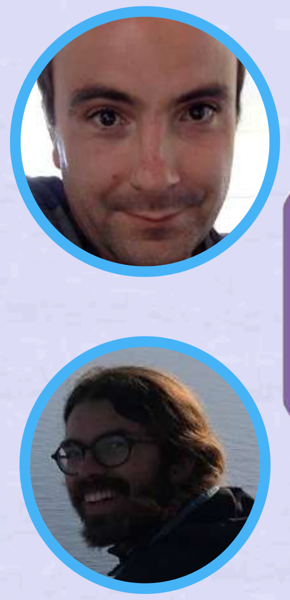


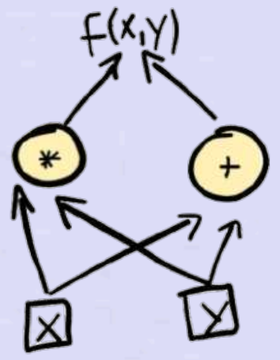


Développement de Tunax

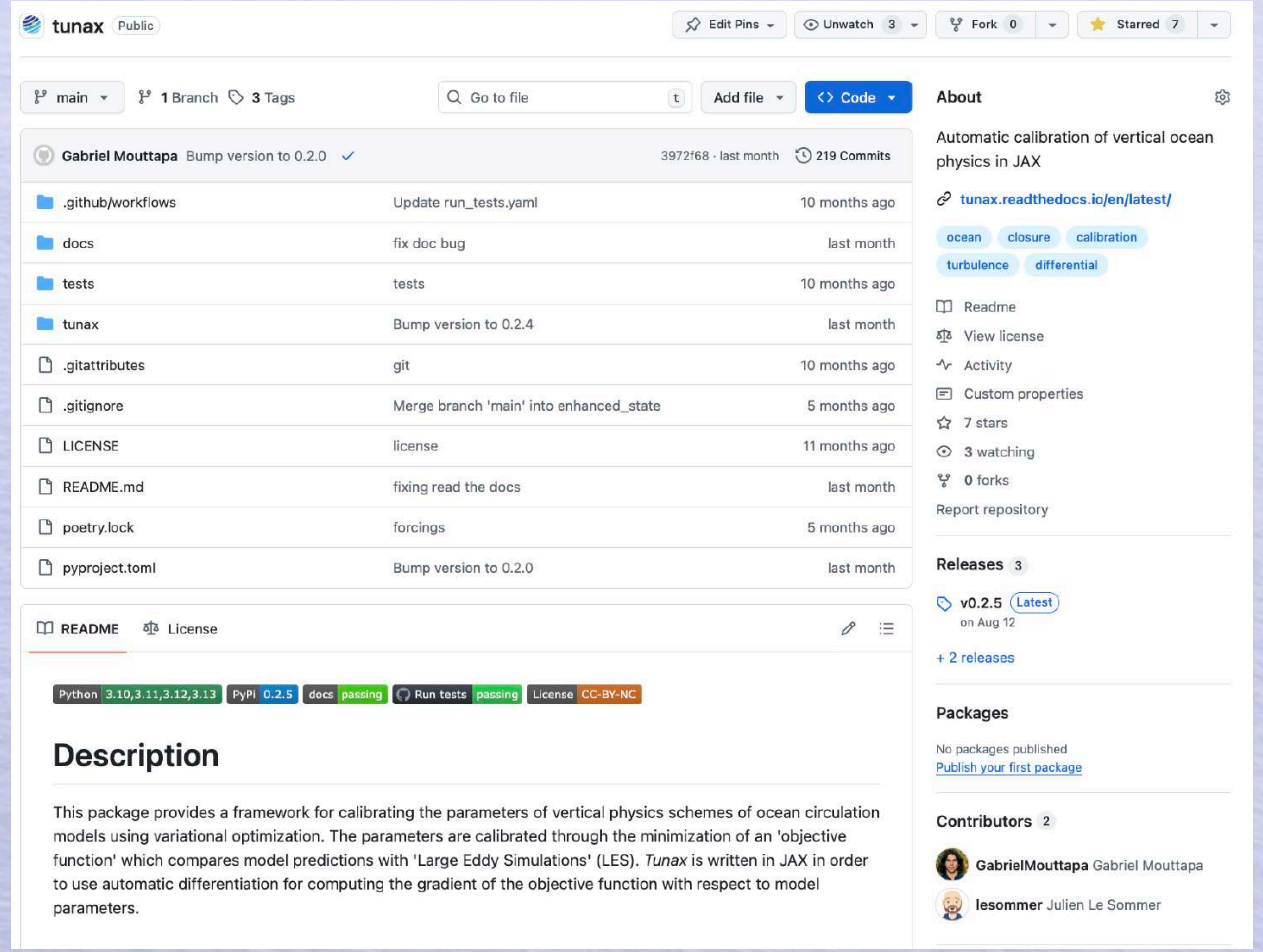
- modèle SCM complètement différentiable utilisé pour
  - la comparaison de paramétrisations
  - la calibration de paramètres vis-à-vis d’une base de donnée
  - la sensibilité vis-à-vis d’une base de donnée
  - amélioration des performances







- science ouverte et collaborative (JOSS)



Calibration partielle de $k - \varepsilon$

Base de données

105 LES moyennées

5 durées N^m (6h-3j)

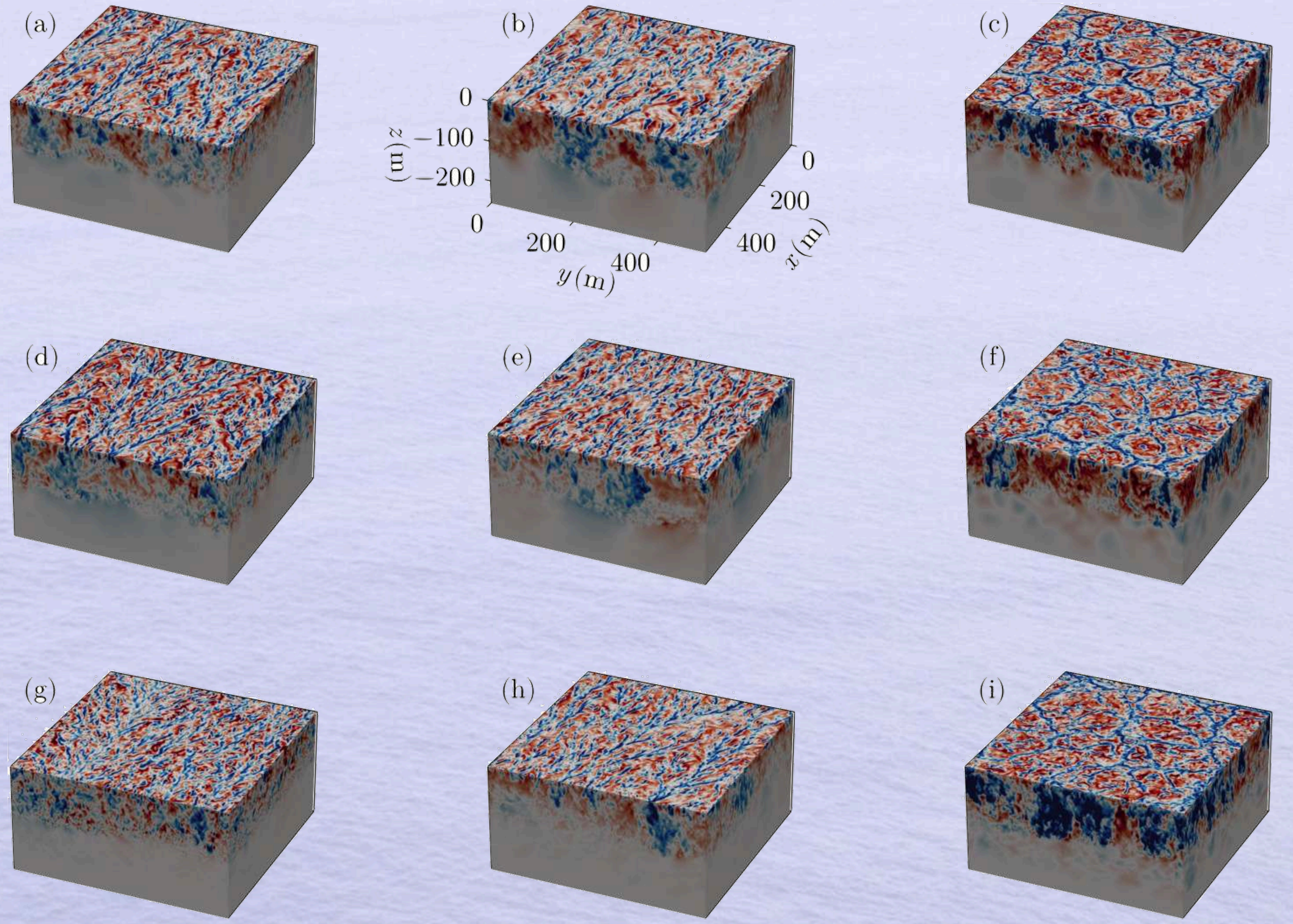
$\times$

3 pas d'espace

$\times$

7 cas physique idéalisés m

(Wagner)



Calibration partielle de $k - \varepsilon$

Base de données

105 LES moyennées

5 durées N^m (6h-3j)

$\times$

3 pas d'espace

$\times$

7 cas physique idéalisés m

(Wagner)

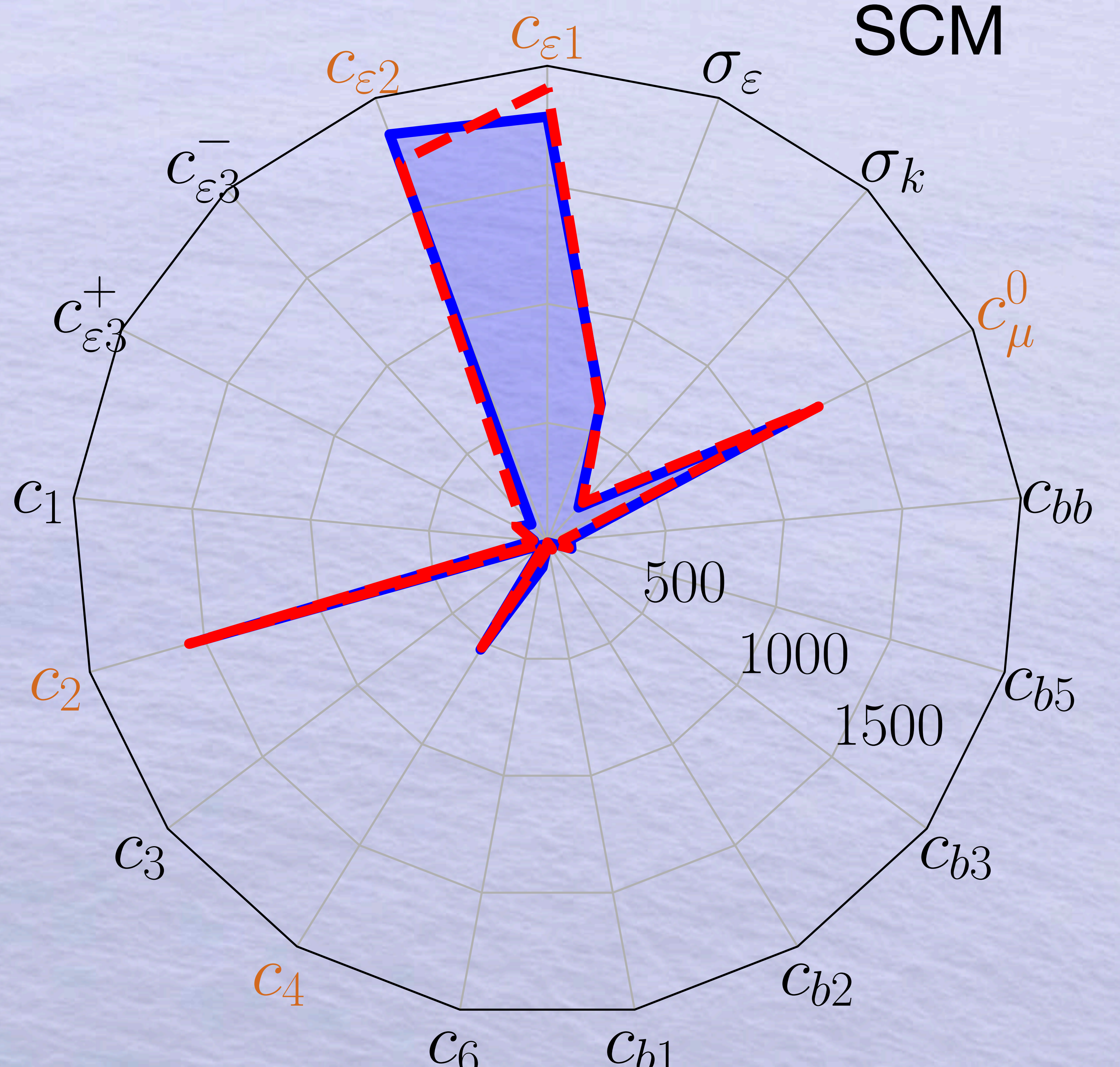
Fonction de coût

paramètres à calibrer

$$J(\theta) = \sum_{m=1}^{M} \sum_{i=1}^{N^m} \left\| M \left(X_{i,\theta}^{m} - X_i^{m,LES} \right) \right\|^2$$

poids des variables

état de la colonne d'eau du SCM



Calibration partielle de $k - \varepsilon$

Base de données

105 LES moyennées

5 durées N^m (6h-3j)

$\times$

3 pas d'espace

$\times$

7 cas physique idéalisés m

(Wagner)

Fonction de coût

paramètres à calibrer

$$J(\theta) = \sum_{m=1}^{M} \sum_{i=1}^{N^m} \left\| M \left(X_{i,\theta}^{m} - X_i^{m,LES} \right) \right\|^2$$

poids des variables

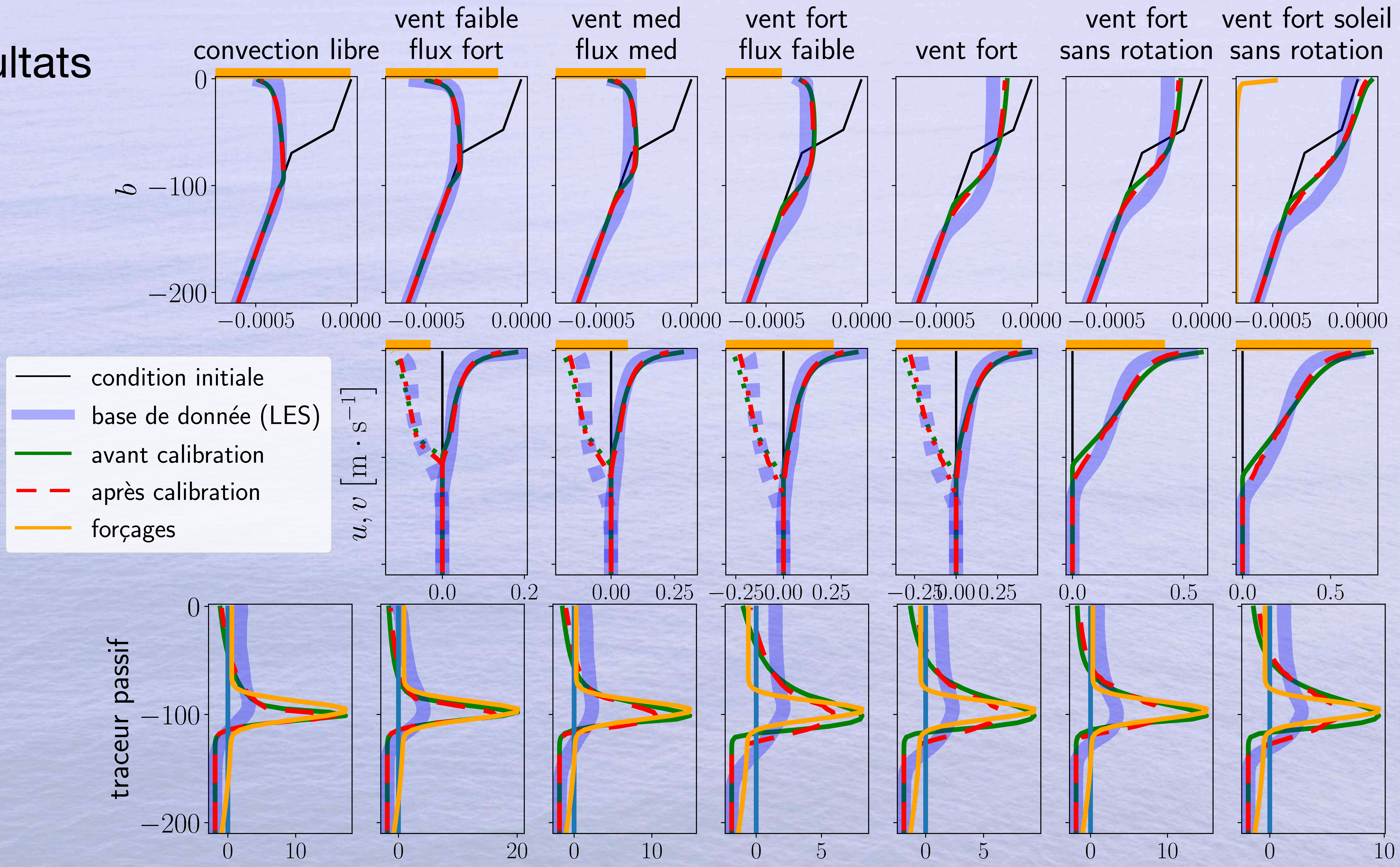
état de la colonne d'eau du SCM

Problème de minimisation

recherche de $\underset{\theta \in \mathbb{R}^p}{\operatorname{argmin}} J(\theta)$ en utilisant $\nabla_\theta J$ calculé avec l'autodiff

Calibration partielle de $k - \varepsilon$

Résultats



Collaboration en cours

Marta Mrozowska

Fast and efficient: Bayesian optimization with GPU acceleration for ocean models

Marta Agnieszka Mrozowska[1], James Emil Avery[1], Aster Stoustrup[1], Roman Nuterman[2], Carl-Johannes Johnsen[1], and Markus Jochum[3]

[1]Kobenhavns Universitet
[2]Niels Bohr Institute, University of Copenhagen
[3]University of Copenhagen

November 11, 2024

Abstract

Ocean general circulation models (OGCMs) contain numerous parameterizations of sub-grid scale processes. The parameter tuning procedure is rarely reported and often done by hand. We present an automated alternative: Bayesian optimization, a method which has recently emerged as a frontier in expensive black box optimization. VerOpt, a Python package for the ocean model Veros, adapts Bayesian optimization to climate model tuning. We use VerOpt to identify a set of parameter values of the Turbulent Kinetic Energy (TKE) closure scheme that minimize mixed layer depth (MLD) bias in Veros. We present the results of two optimization procedures: TWIN and OBS. The goal is to minimize modeled MLD error relative to a target map. In TWIN, the target is MLD simulated using Veros with a known parameterization. The ratio of two TKE parameters ckc -1, proportional to the critical Richardson number Ric, is the dominant factor in setting the global MLD. After 180 model simulations, the lowest error in the TWIN experiment is 1.18%. In OBS, the target is MLD climatology. The MLD bias is smallest when Ric<1, and the default TKE parameterization falls within this range. We find, however, that altering the TKE parameterization is not sufficient to reduce the significant MLD bias of 42.62%. The OBS experiment results indicate that the TKE scheme parameters are not the dominant source of MLD bias in Veros. We discuss other possible sources of MLD bias, as well as the potential of extending of the optimization procedure to other parameterizations.

Bayesian Optimisation

Bruno Deremble

projet de papier comparant ces méthodes avec la calibration différentiable

Gregory Wagner

Formulation and Calibration of CATKE, a One-Equation Parameterization for Microscale Ocean Mixing

Gregory LeClaire Wagner[1], Adeline Hillier[1], Navid C. Constantinou[2,3], Simone Silvestri[1], Andre Souza[1], Keaton J. Burns[1], Chris Hill[1], Jean-Michel Campin[1], John Marshall[1], and Raffaele Ferrari[1]

[1]Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, [2]University of Melbourne, Parkville, VIC, Australia, [3]ARC Center of Excellence for the Weather of the 21st Century, Parkville, VIC, Australia

Abstract We describe CATKE, a parameterization for fluxes associated with small-scale or "microscale" ocean turbulent mixing on scales between 1 and 100 m. CATKE uses a downgradient formulation that depends on a prognostic turbulent kinetic energy (TKE) variable and a diagnostic mixing length scale that includes a dynamic convective adjustment (CA) component. With its dynamic convective mixing length, CATKE predicts not just the depth spanned by convective plumes but also the characteristic convective mixing timescale, an important aspect of turbulent convection not captured by simpler static CA schemes. As a result, CATKE can describe the competition between convection and other processes such as shear-driven mixing and baroclinic restratification. To calibrate CATKE, we use Ensemble Kalman Inversion to minimize the error between 21 large eddy simulations (LESs) and predictions of the LES data by CATKE-parameterized single column simulations at three different vertical resolutions. We find that CATKE makes accurate predictions of both idealized and realistic LES compared to microscale turbulence parameterizations commonly used in climate models.

Ensemble Kalman Inversion