



Science Ouverte

Univ. Grenoble Alpes

[osd-uga-2025.sciencesconf.org](https://osd-uga-2025.sciencesconf.org)



Bâtiment IMAG, Grenoble | 25-27 Novembre 2025

# Enjeux croisés de l'IA et de la science ouverte en sciences du climat

Julien Le Sommer







Science Ouverte

Univ. Grenoble Alpes

[osd-uga-2025.sciencesconf.org](https://osd-uga-2025.sciencesconf.org)



# Take Home

1.

L'arrivée de l'IA bouscule profondément le champ des géosciences numériques

2.

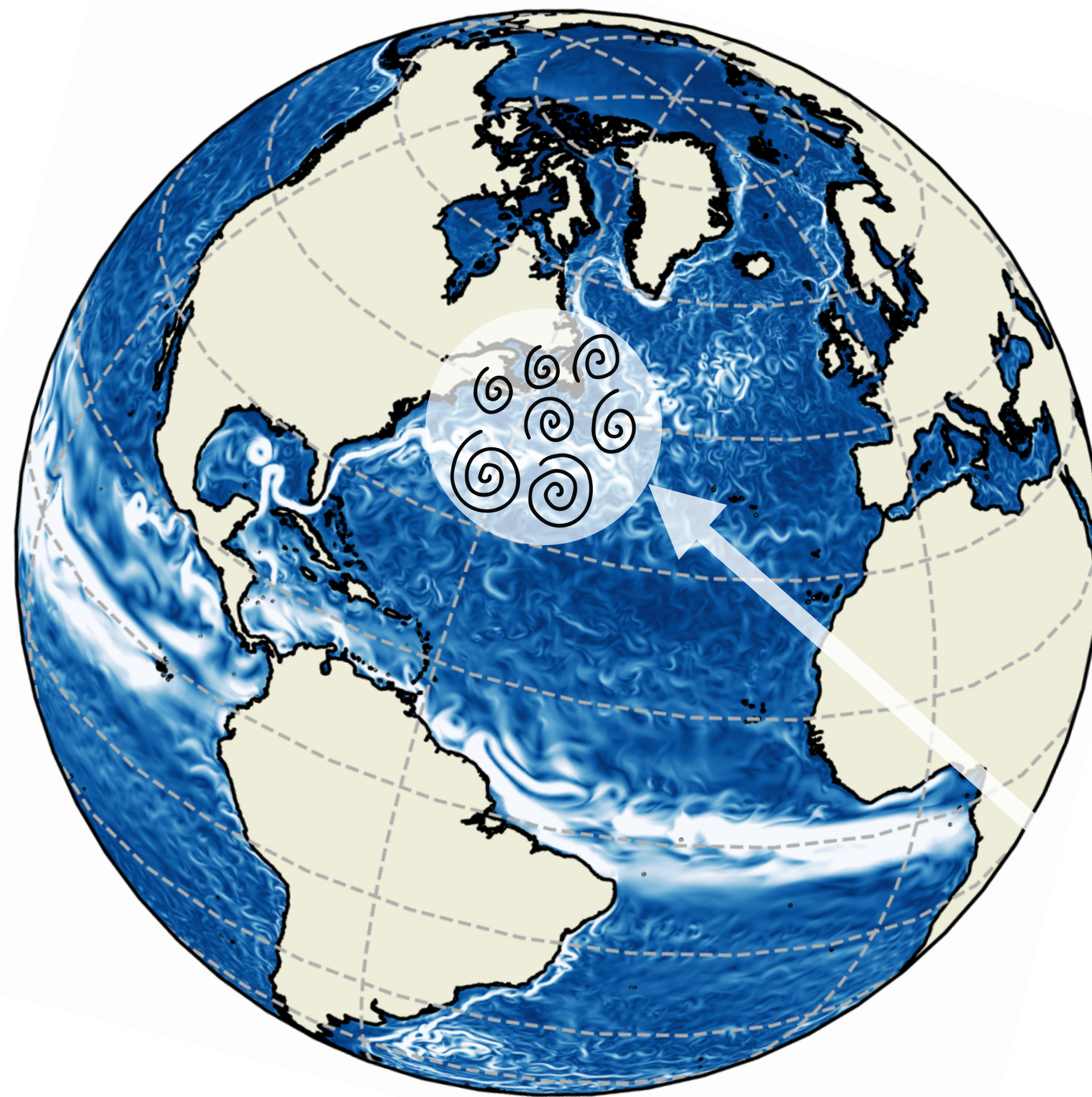
À un moment où le lien entre nos disciplines et la société est en profonde évolution

3.

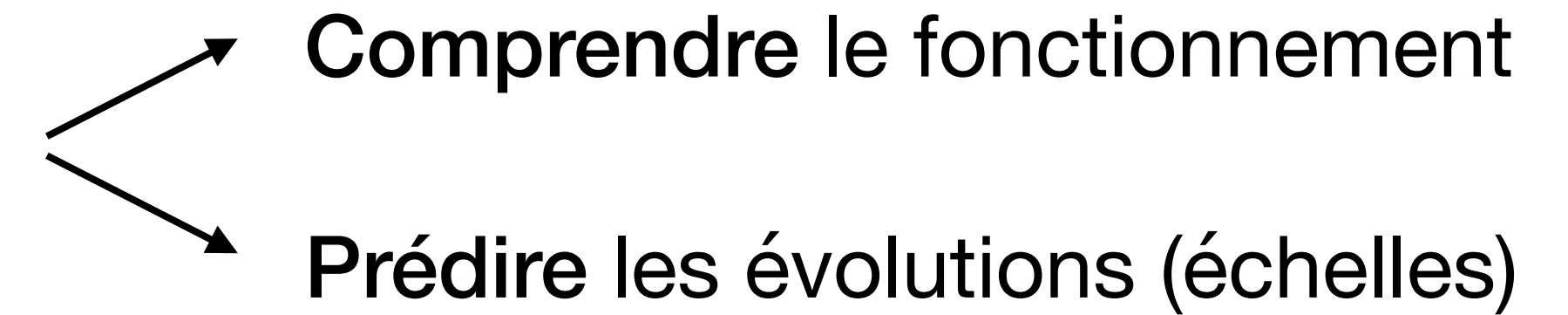
Appelle l'adoption de pratiques ouvertes pour promouvoir une IA explicable et frugale



# Mon champ : l'océanographie computationnelle



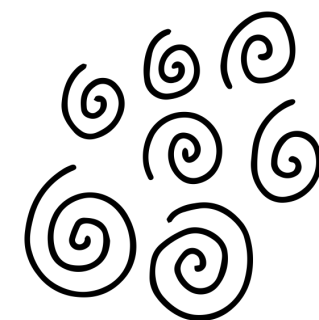
Paramètres physiques  
courants, température...



climat - changements environnementaux  
activités humaines - ressources

Interaction entre  $\neq$  échelles

Macro-turbulence



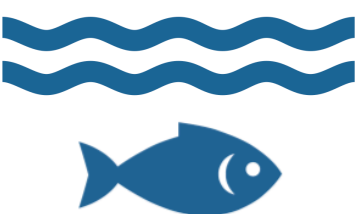
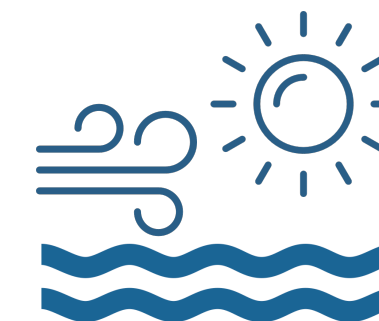
Surface waves



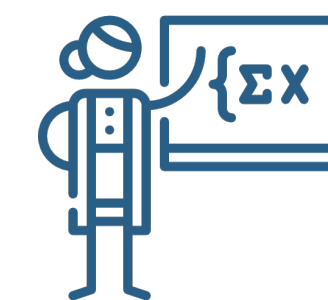
internal waves (tides)



Intéractions entre  $\neq$  milieux



Développe et mobilise des outils et  
méthodes numériques



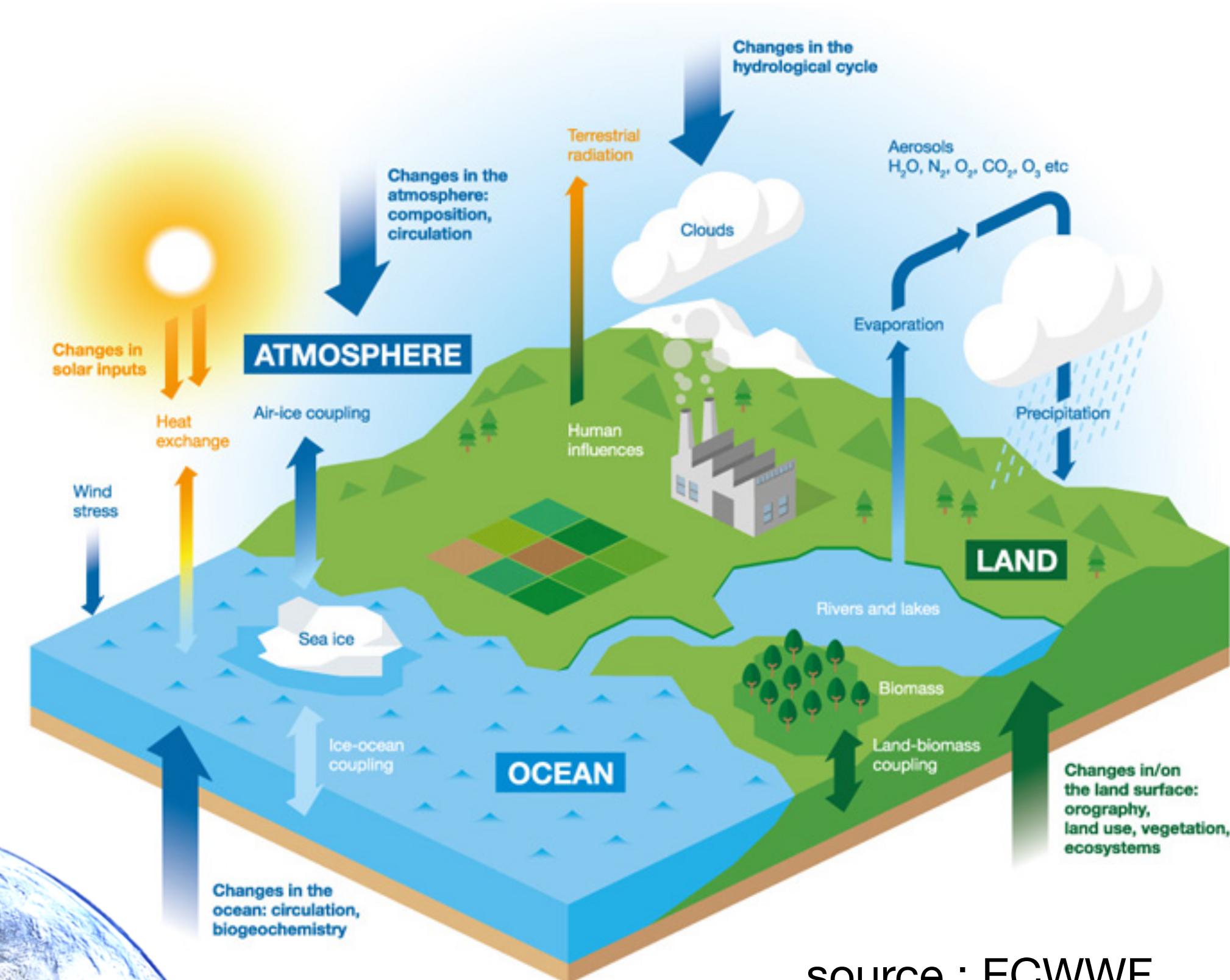


**1.**

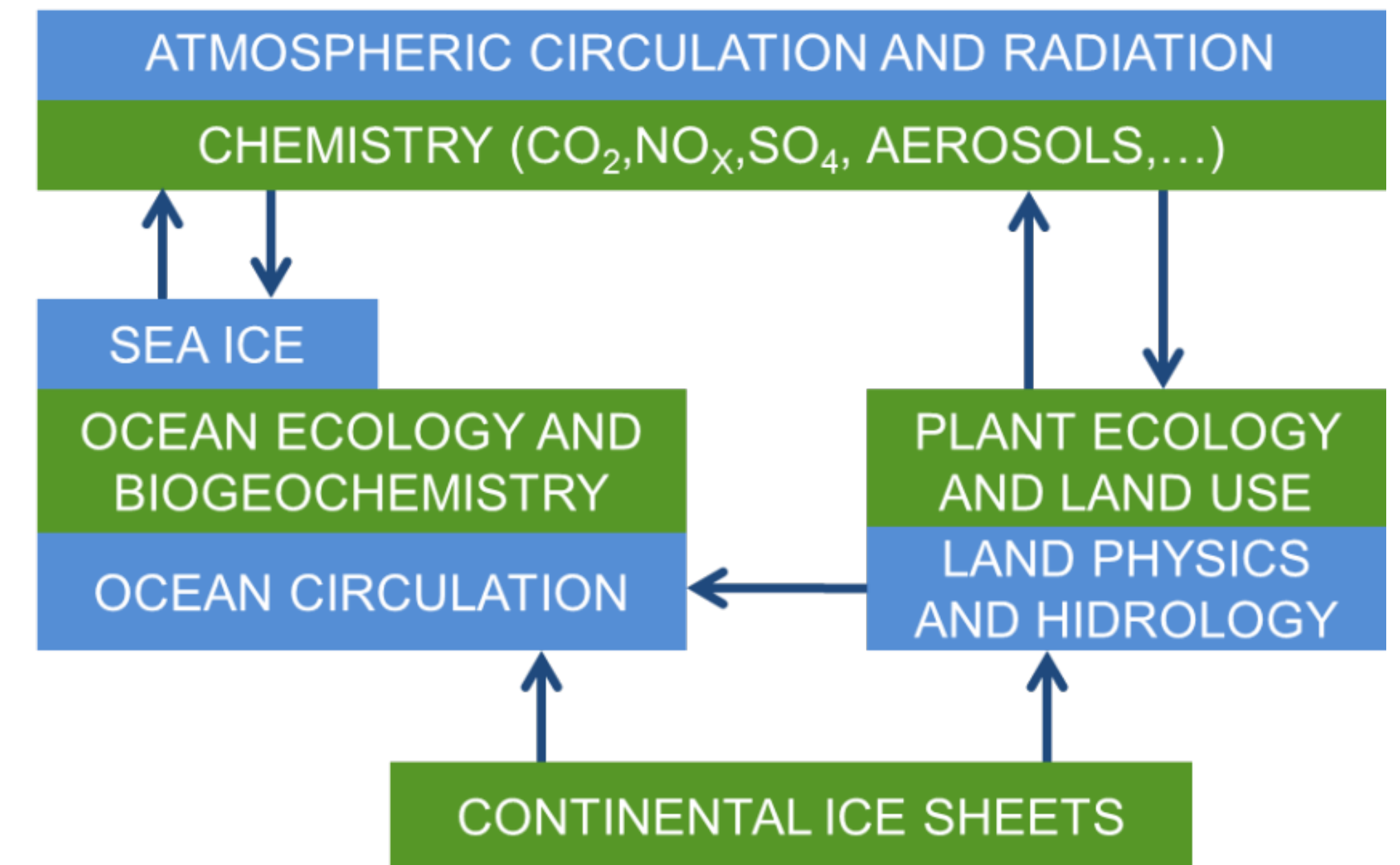
# **Les outils numériques en science du climat**



# Processus affectant le système climatique



source : ECWWF



source : [climateurope.eu](http://climateurope.eu)

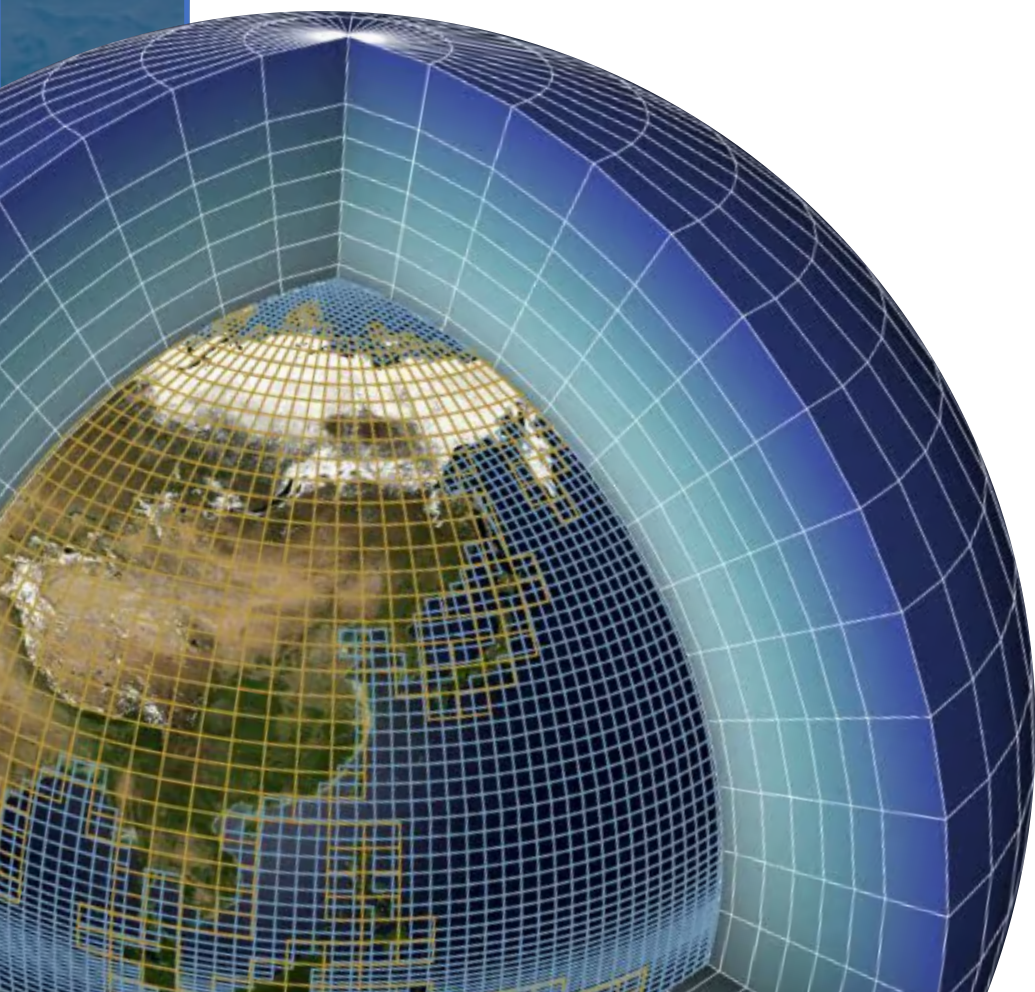
Une grande **variété** de processus physiques et biogéochimiques



# Les modèles du système Terre

## Des outils numériques

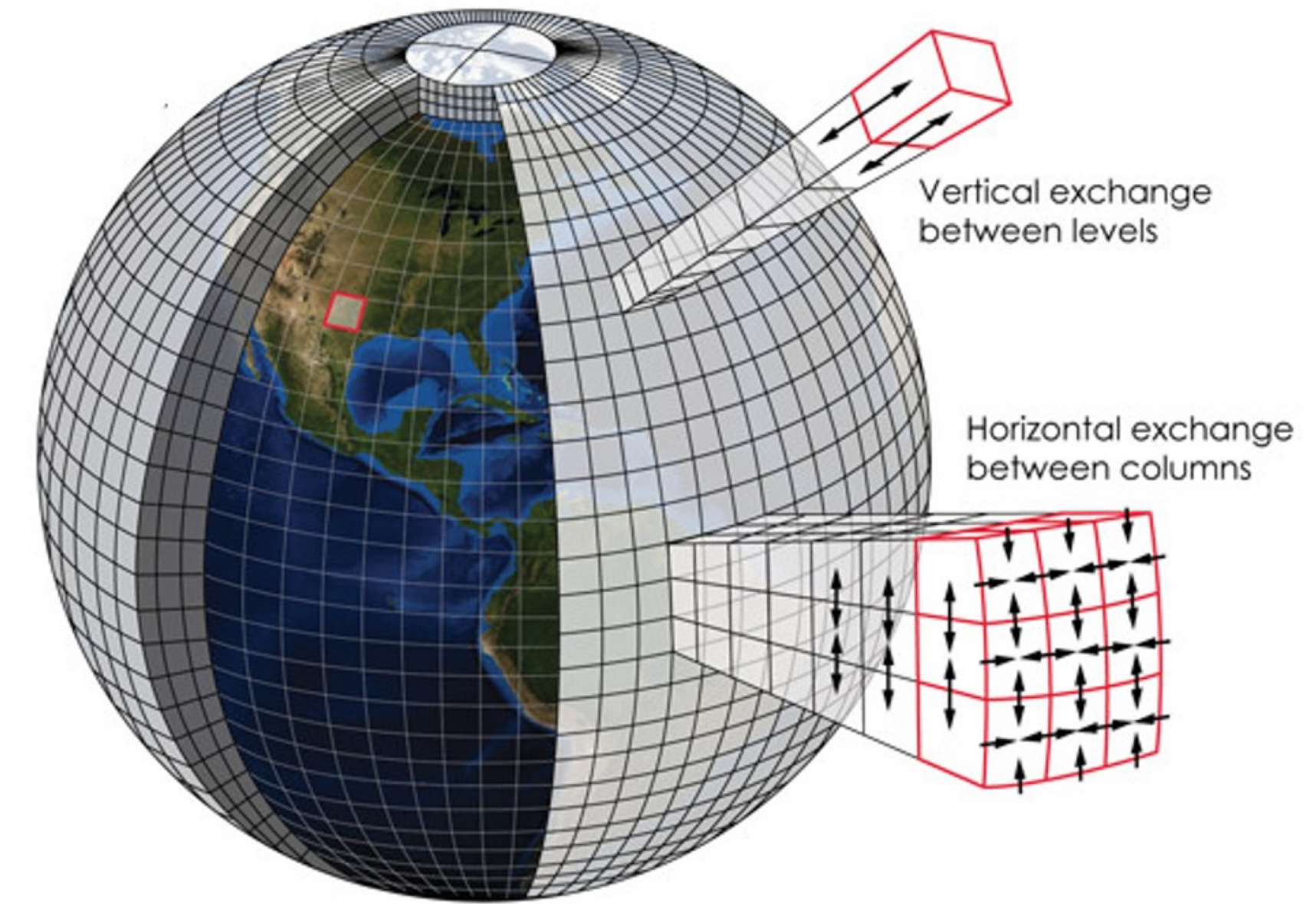
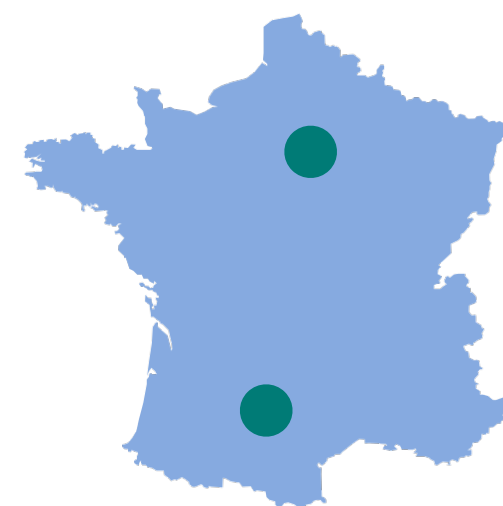
- représentant l'effet des processus clés
- combinant différentes composantes
- ~10-100k lignes de code par composante
- développés sur temps long par communauté
- codes ouverts (mais complexes)



Ex :

CNRM-CM

IPSL-CM



$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p - \vec{g} + \vec{F}_{fric} - 2\vec{\Omega} \times \vec{v}$$

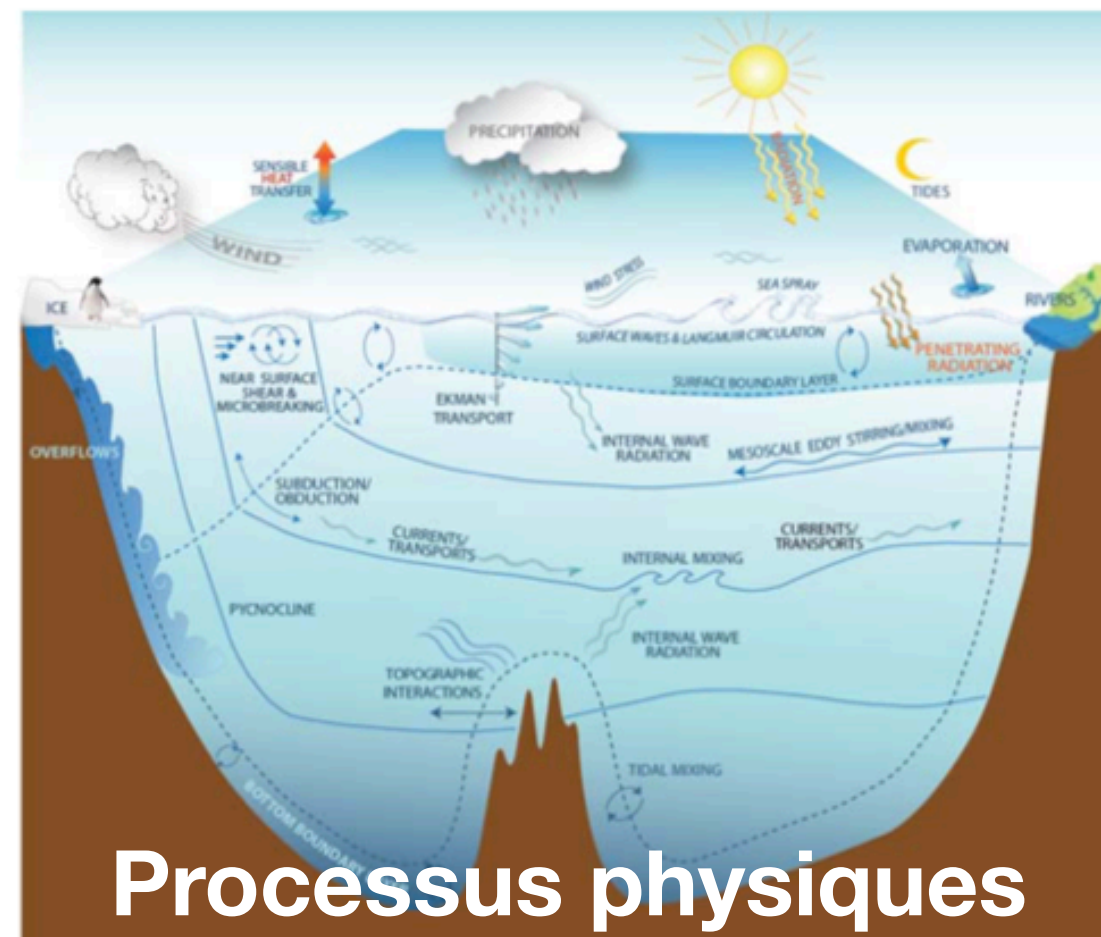
$$\vec{F} = M\vec{a}$$

e.g. momentum conservation

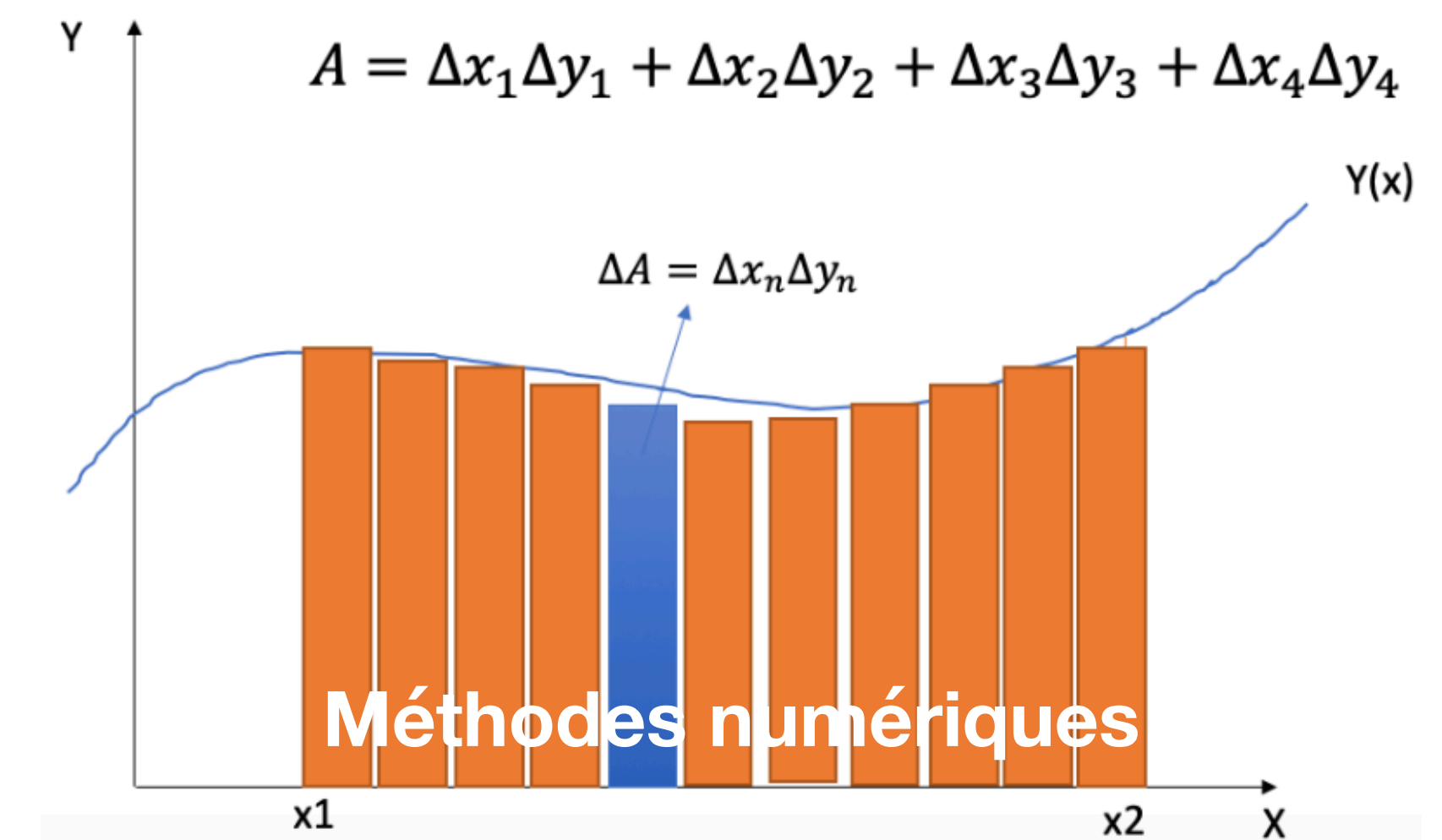
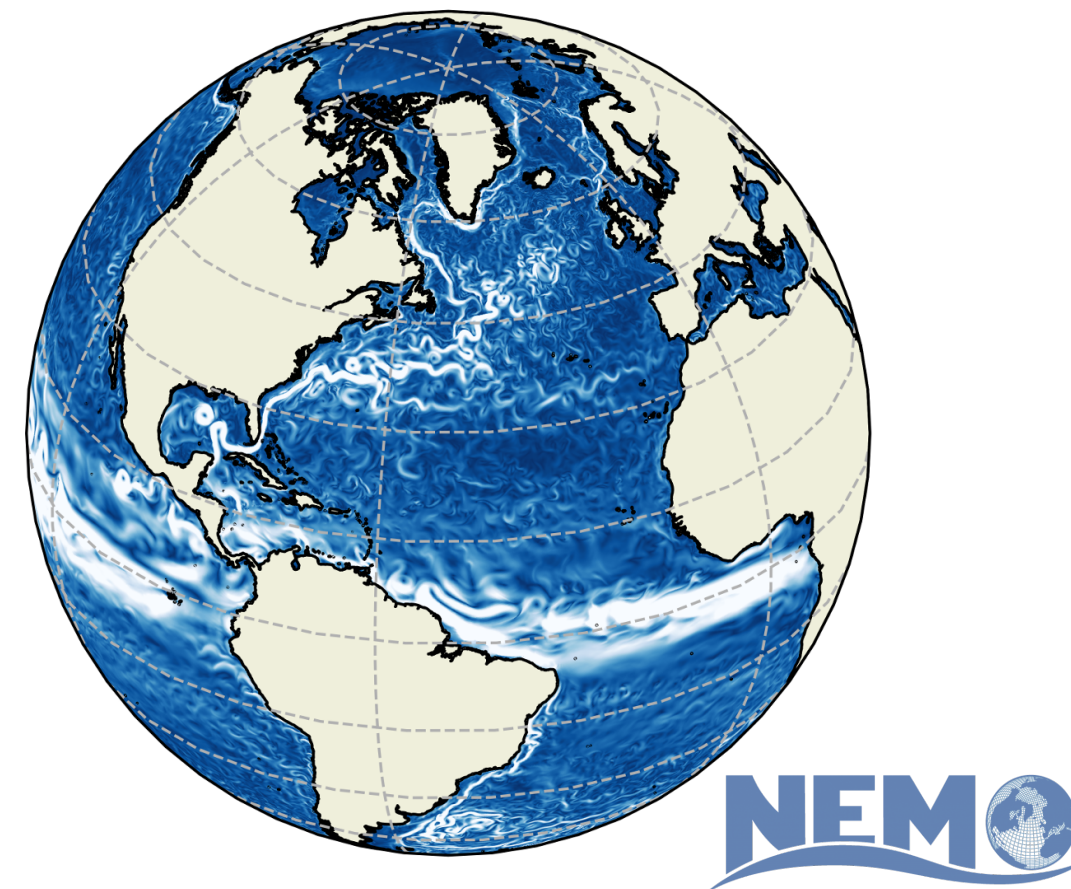
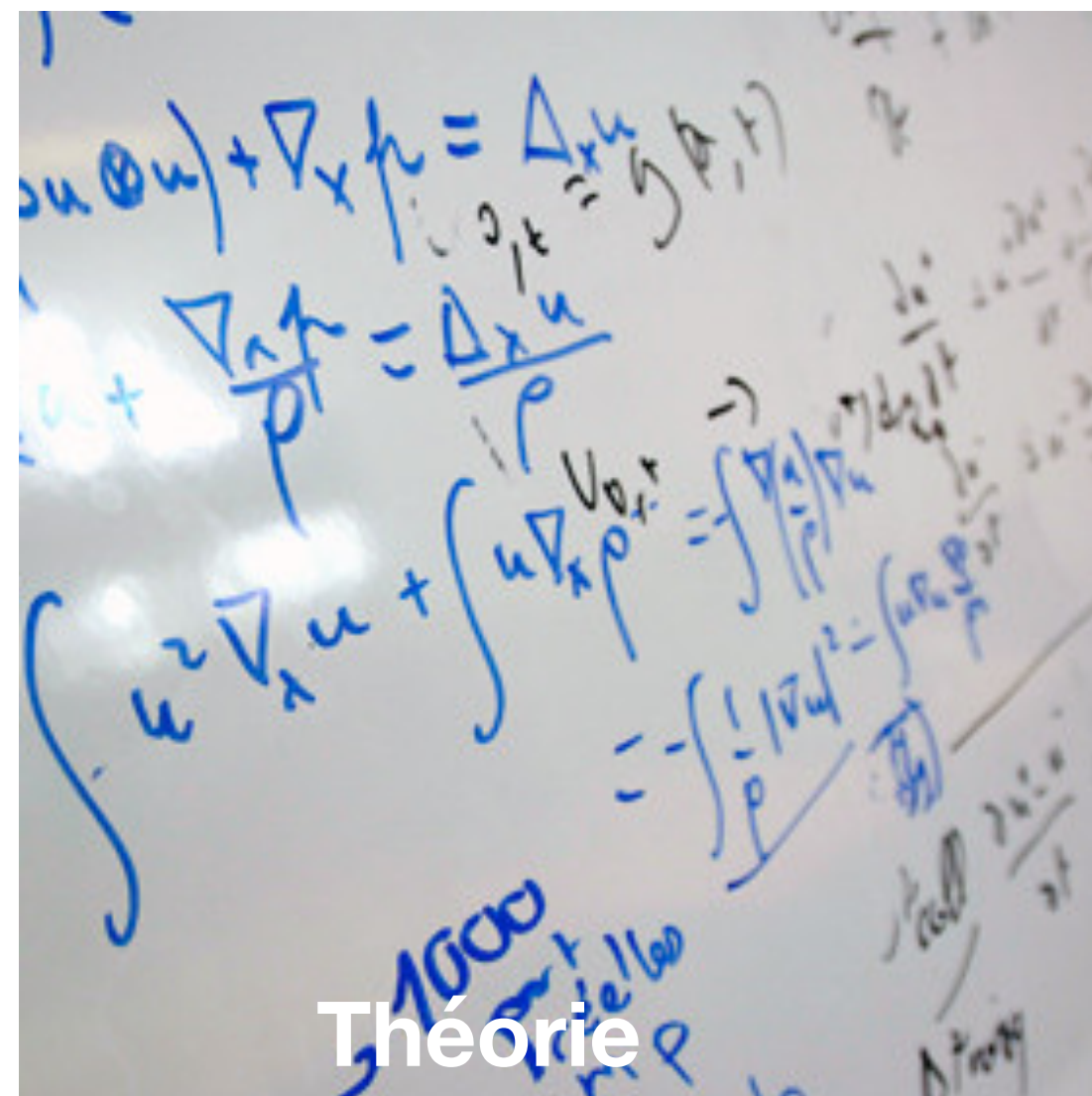
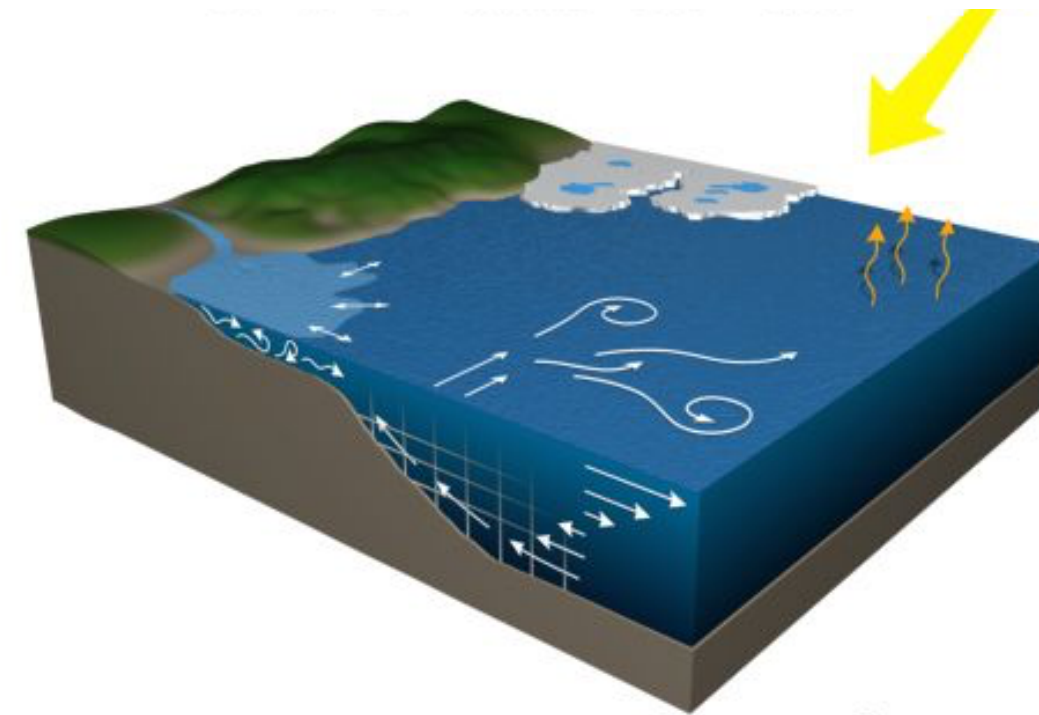
Biological/chemical  
principles



# Exemple : composante océanique



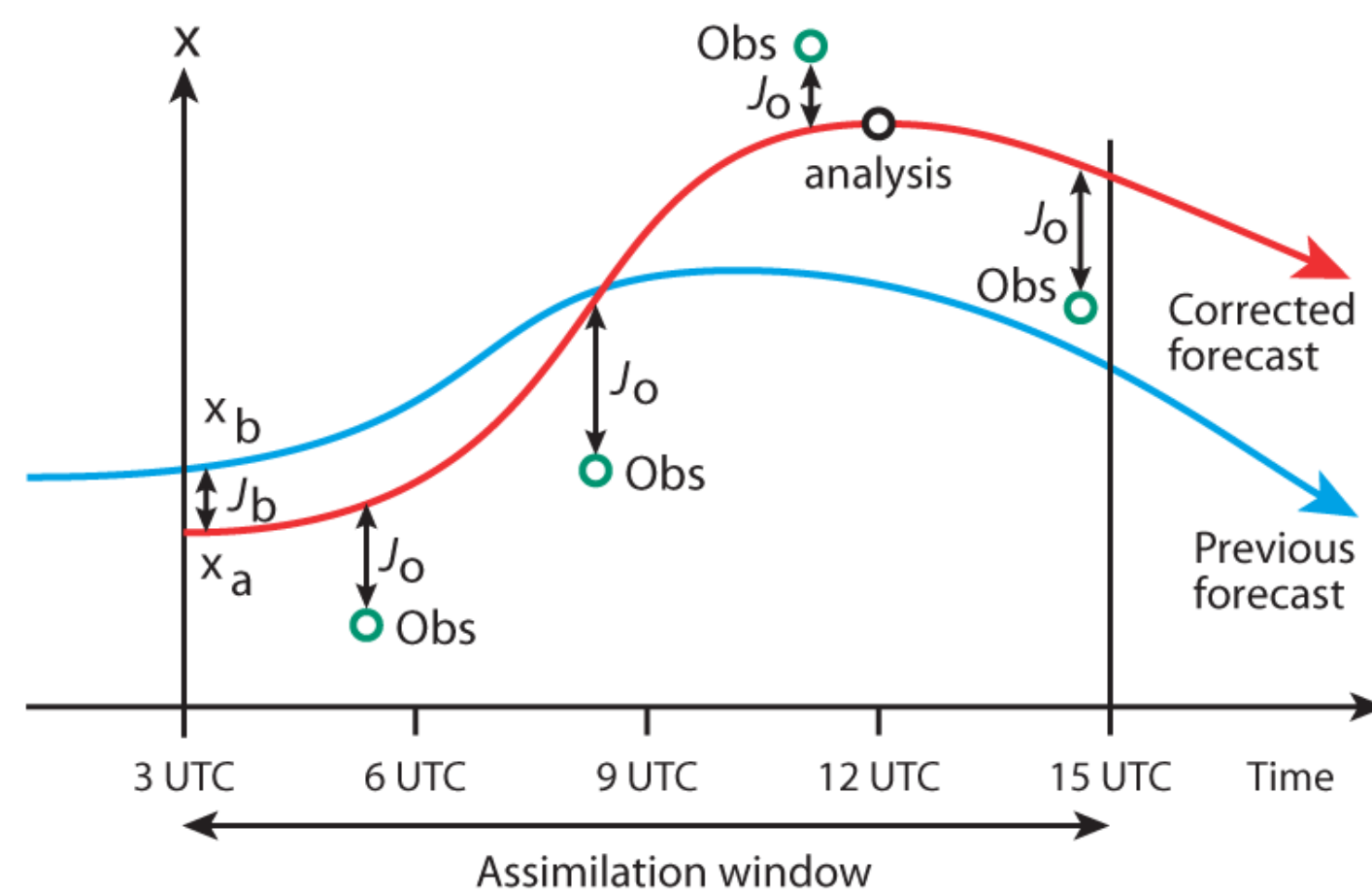
Ocean General Circulation Models



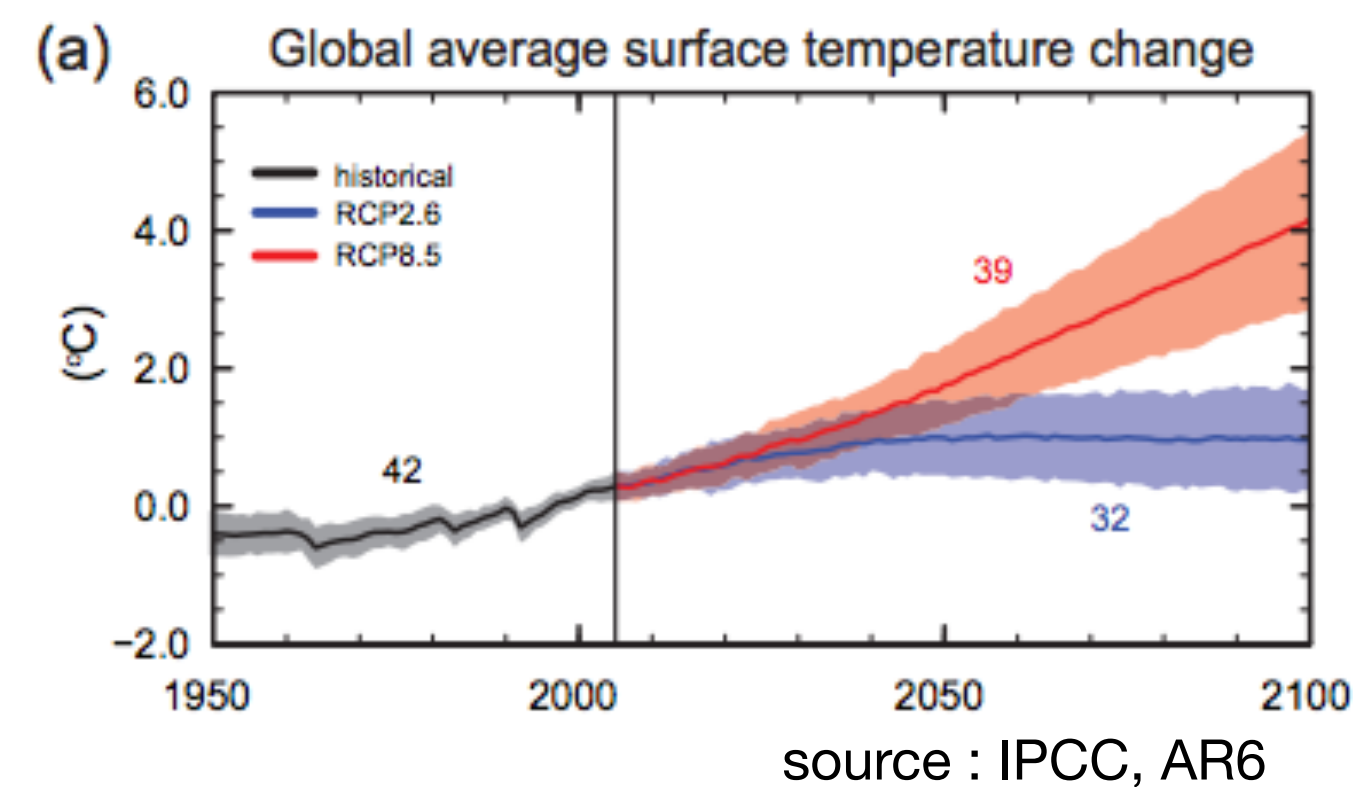
Des outils qui **synthétisent** notre compréhension de la circulation océanique



# Différents usages des modèles



Prévision & réanalyses



Projection climatique



Réseaux d'observations

Des outils pour mieux **comprendre**, **prévoir** et préparer l'**observation**

Imbrication étroite entre modèles et observations



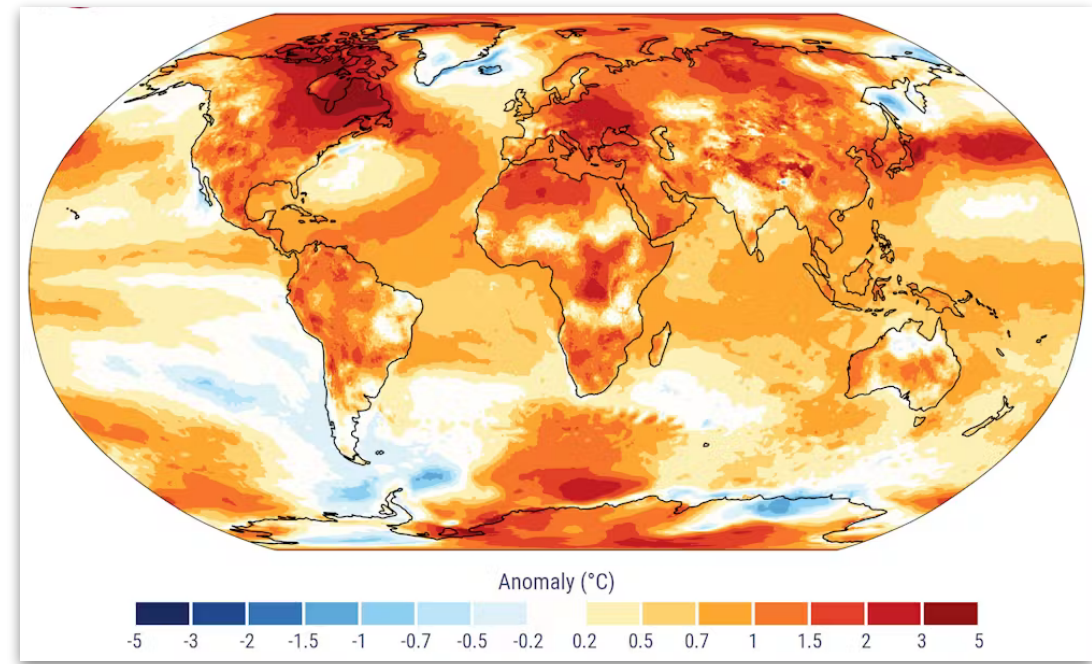
**2.**

# **Enjeux de la science ouverte en géosciences**



# Une imbrication d'enjeux environnementaux

Ex : Océan



Climat

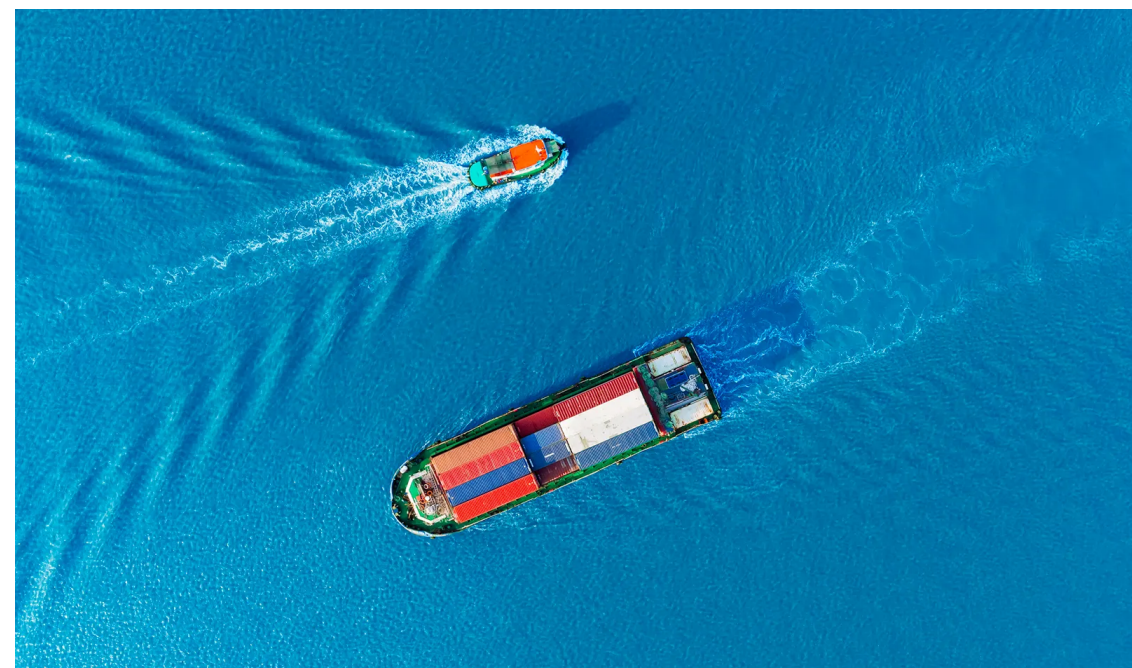


Biodiversité



Pollution

Un milieu subissant une triple crise sans précédent



Transport / sécurité



Energie



Alimentation

Besoin d'information **ouverte** et **fiable** pour décider comment agir



# Le programme européen Copernicus



Climate Change



Atmosphere Monitoring



Copernicus Marine Service



Land Monitoring



Emergency Management



Security



Copernicus



**FULL, FREE and OPEN**  
data policy

Le programme Copernicus fournit des **observations** fiables et **ouvertes**



# La science ouverte : levier de confiance



**85%**

of EU citizens  
believe climate  
change is a  
serious problem



**81%**

support the EU's  
goal of becoming  
climate neutral  
by 2050



Almost

**9 in 10**

support more EU action  
to boost renewables  
and improve energy  
efficiency

source : <https://climate.ec.europa.eu/> : Special Eurobarometer on climate change (2025)

Préserver la confiance du  
public quant à l'information  
scientifique est essentiel aux  
politiques environnementales



open science



## Les nouveaux fronts du dénialisme et du climato-scepticisme

*Deux années d'échanges Twitter passées aux macroscopes*  
CNRS, Institut des Systèmes Complexes de Paris Île-de-France

David Chavalarias, Paul Bouchaud  
Victor Chomel, Mazyar Panahi

13 février 2023

<https://hal.science/hal-03986798v2>



# Des services climatiques pour l'adaptation



Besoin de développer les **modèles** et outils numériques en soutien des décisions (entreprise, politique, ...)



- échelle locale
- incertitudes
- définis avec acteurs

**PEPR TRACCS**  
accompagne la transformation  
vers les services climatiques

<https://pepr-traccs.fr/>





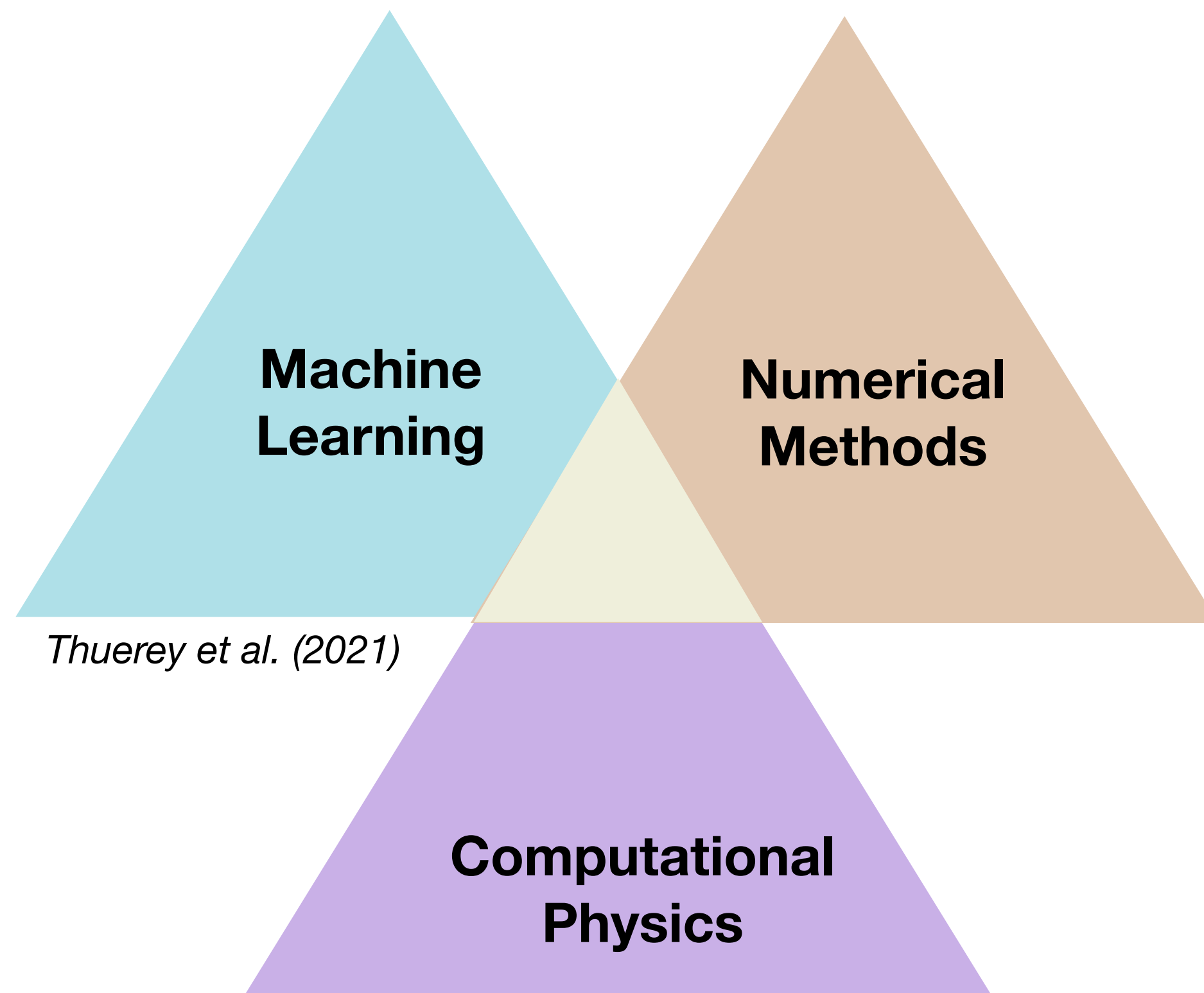
**3.**

# **Comment l'IA affecte nos modèles numériques**

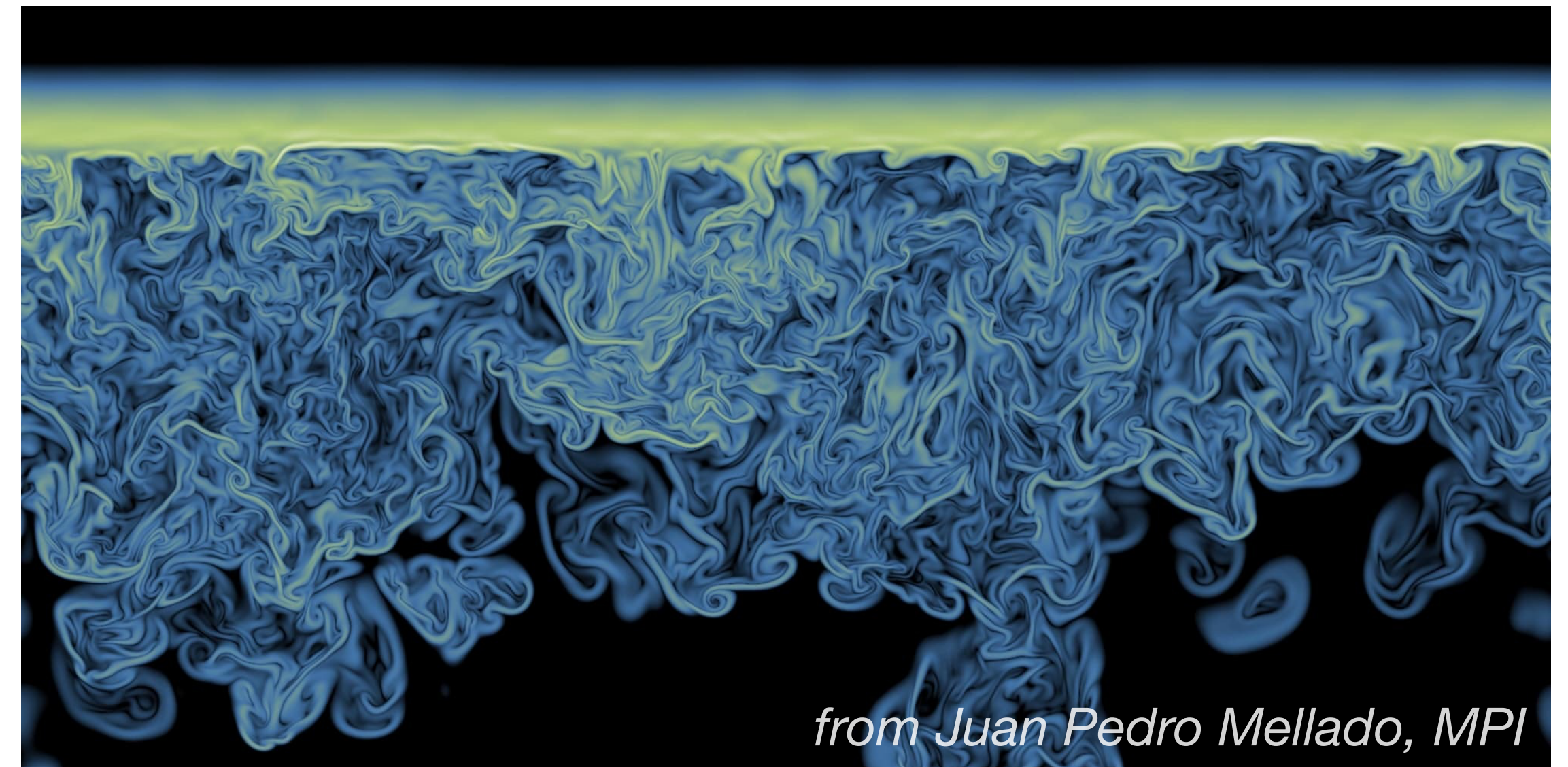


# IA pour la modélisation de systèmes physiques

Lots of applications in all field of science  
inc. Fluid Mechanics (not only modelling)



*Thuerey et al. (2021)*



ex : optimal sensing, reduced order modelling,  
surrogate models, subgrid modelling



# IA pour la calibration des modèles physiques

## Bayesian formulation

$$x = \mathcal{M}(\theta)$$

$x$  observations

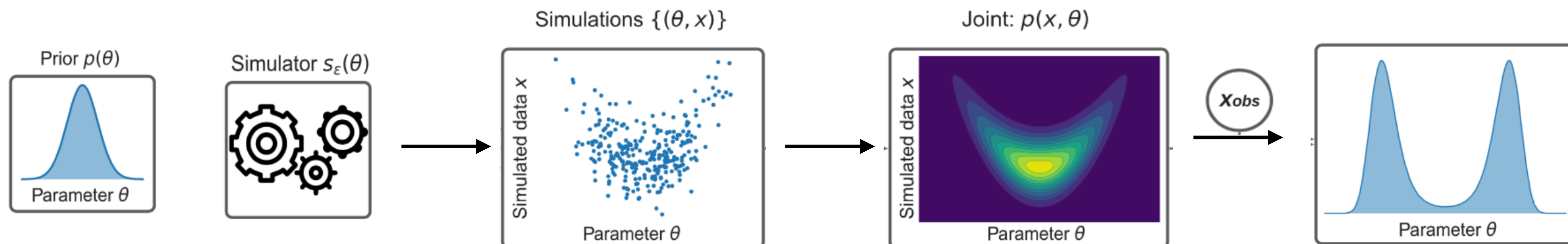
$\theta$  parameters

$$p(\theta | x) = \frac{\overset{\text{likelihood}}{P(x | \theta)}}{\underset{\text{evidence}}{p(x)}} \underset{\text{prior}}{p(\theta)}$$



Grenoble Alpes

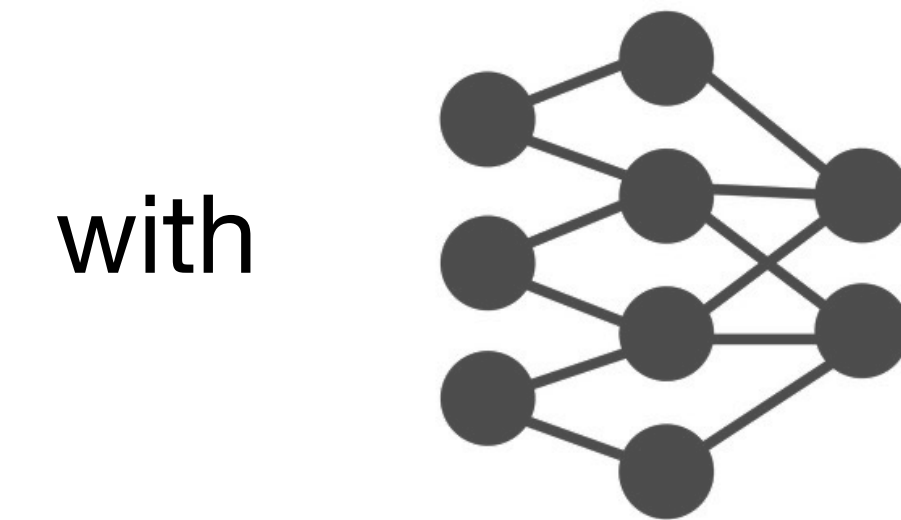
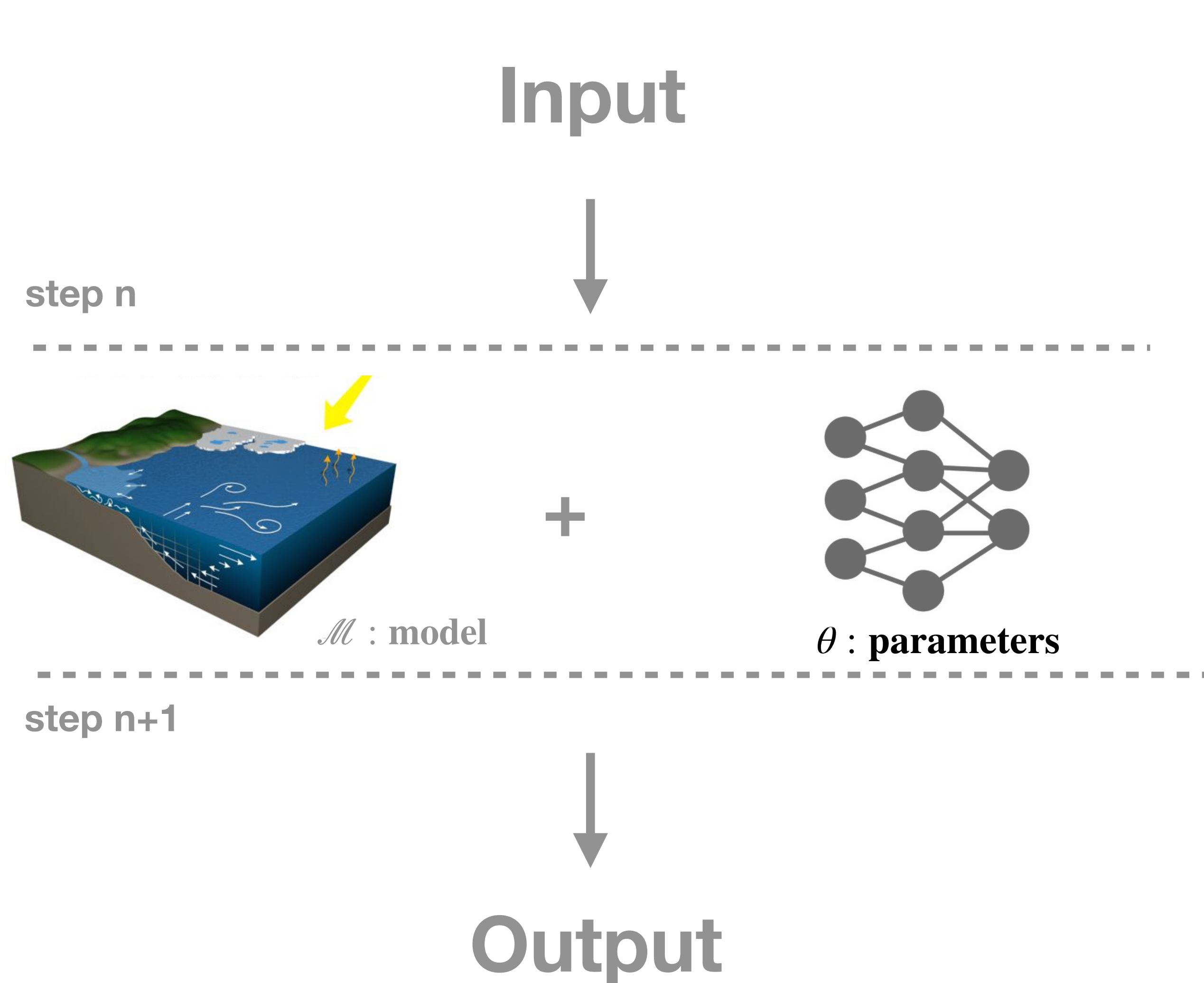
<https://sbi4c.inria.fr/>



SBI : learn a representation of the **likelihood** + use variational inference to estimate the **posterior**



# Composantes IA dans les modèles physiques



$\theta$  : parameters

trained to minimise :

$\mathcal{L}(\theta)$  = **training objective**

- improving physical **consistency**
- correcting model **errors** (vs obs.)
- **accelerating** execution (x10-100)

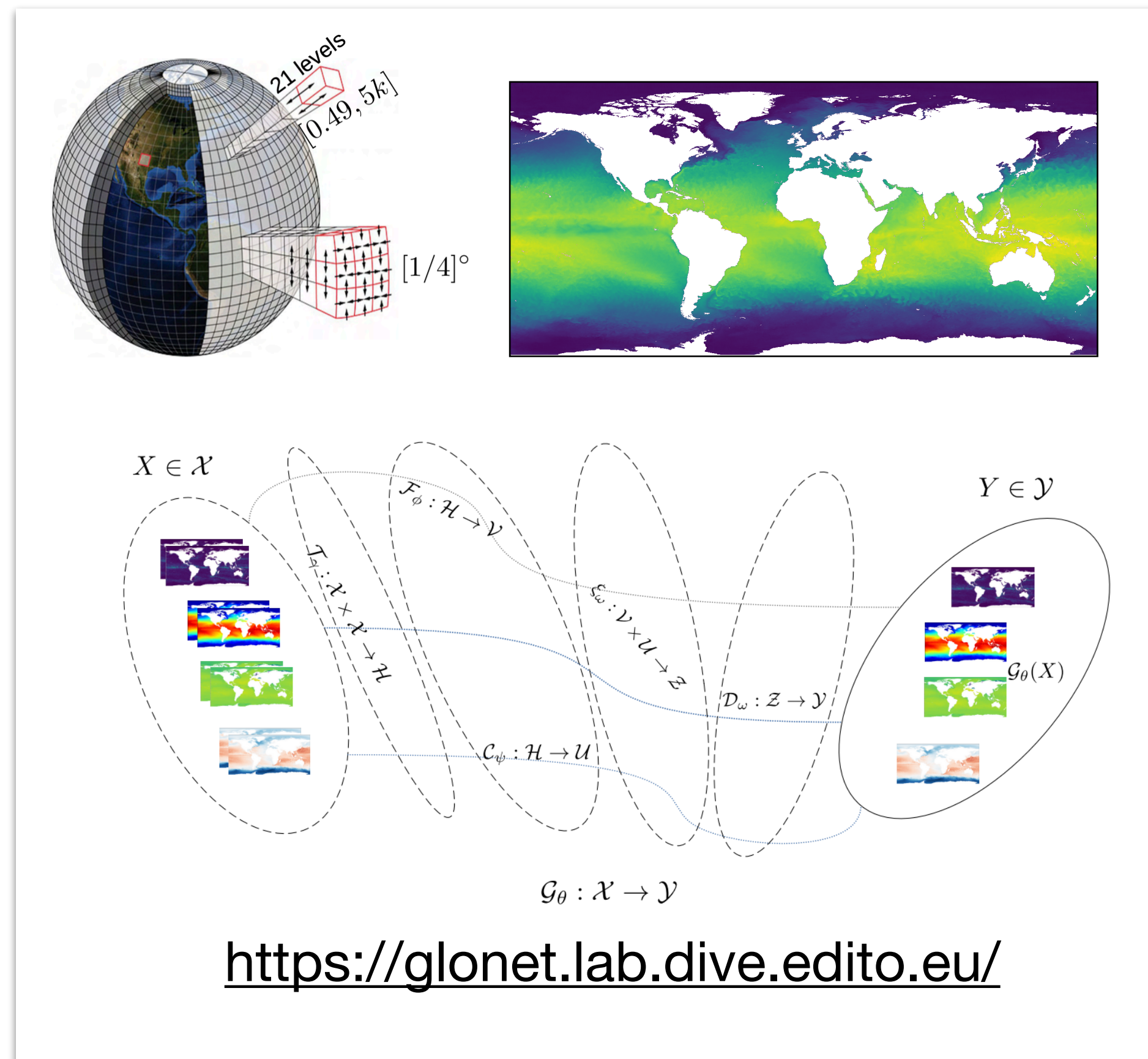
The model is augmented with a **trainable** component

NB : does not have to be deterministic



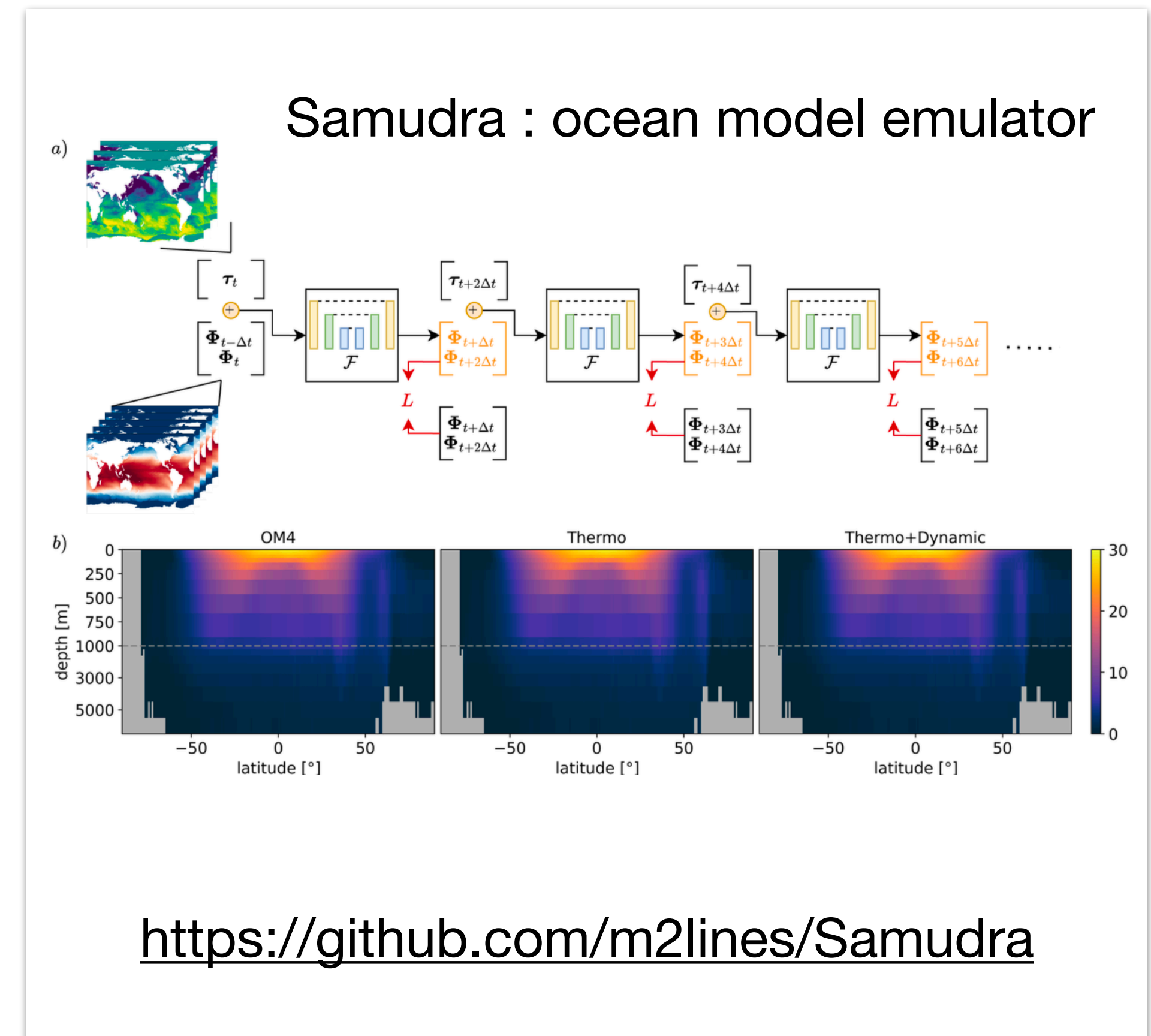
# Emulateurs IA de modèles et de réanalyses

## Prediction court terme



El Aouni et al. 2024  
<https://arxiv.org/abs/2412.05454>

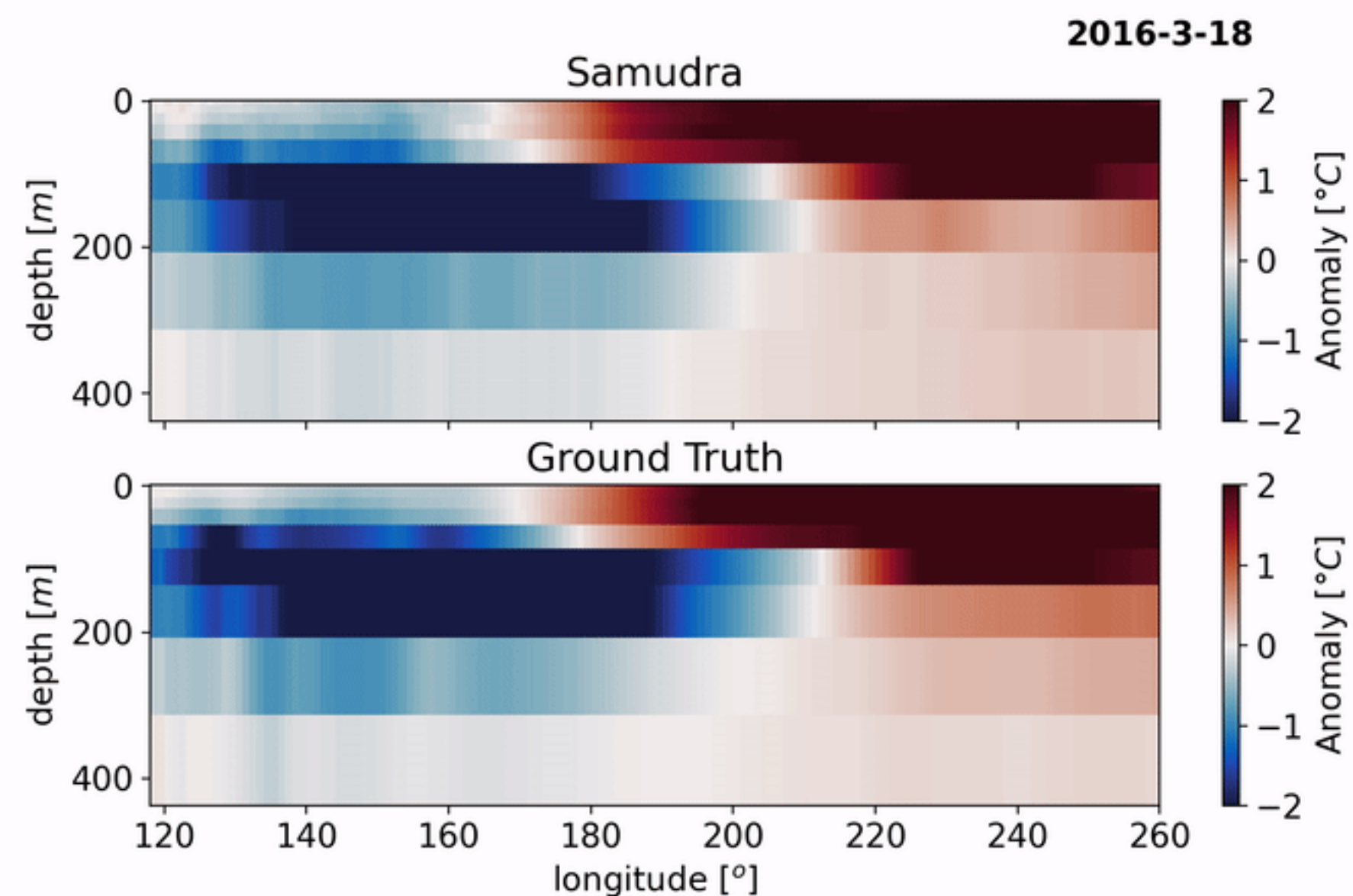
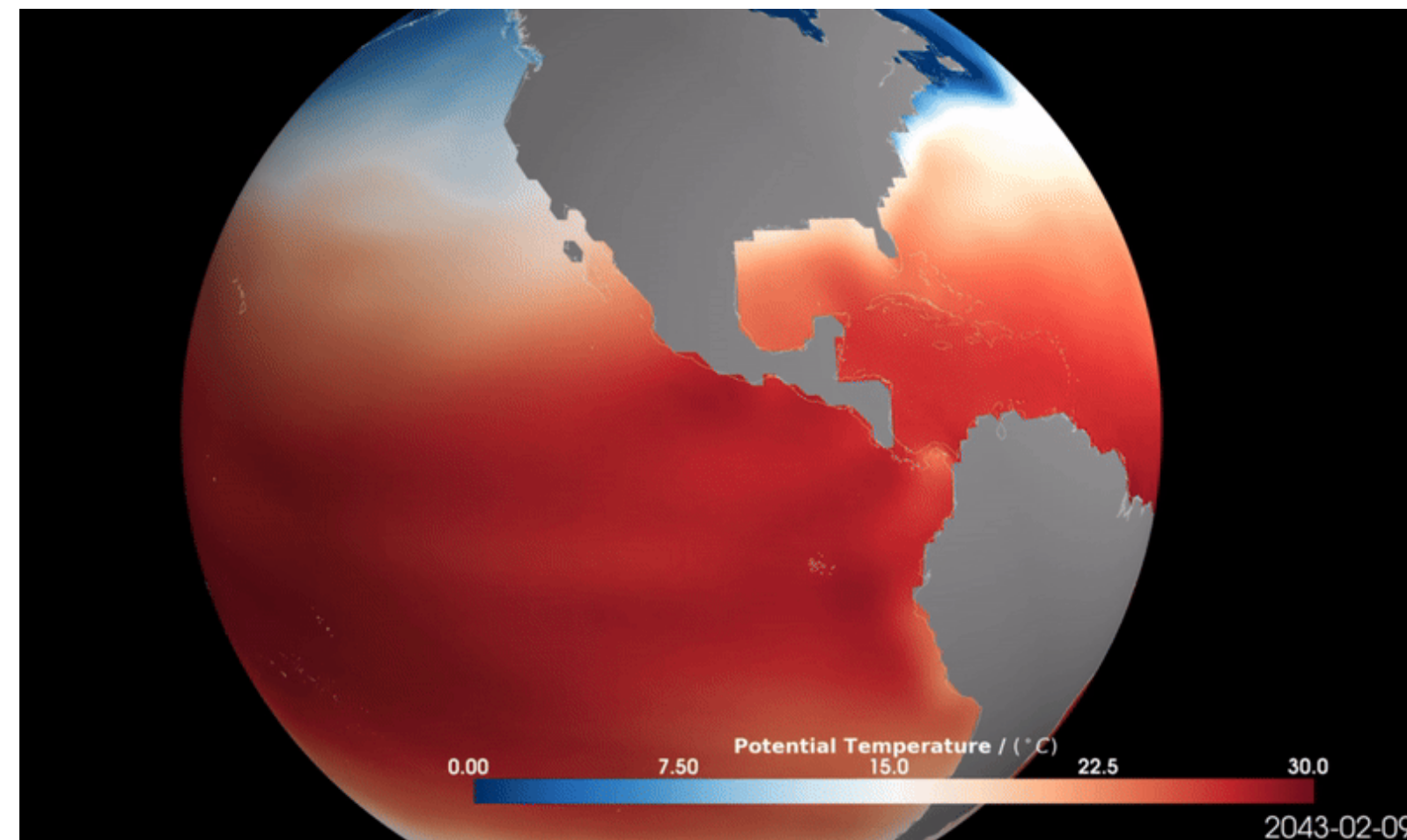
## Modélisation climatique



Dheeshjith et al. 2025  
<https://doi.org/10.1029/2024GL114318>

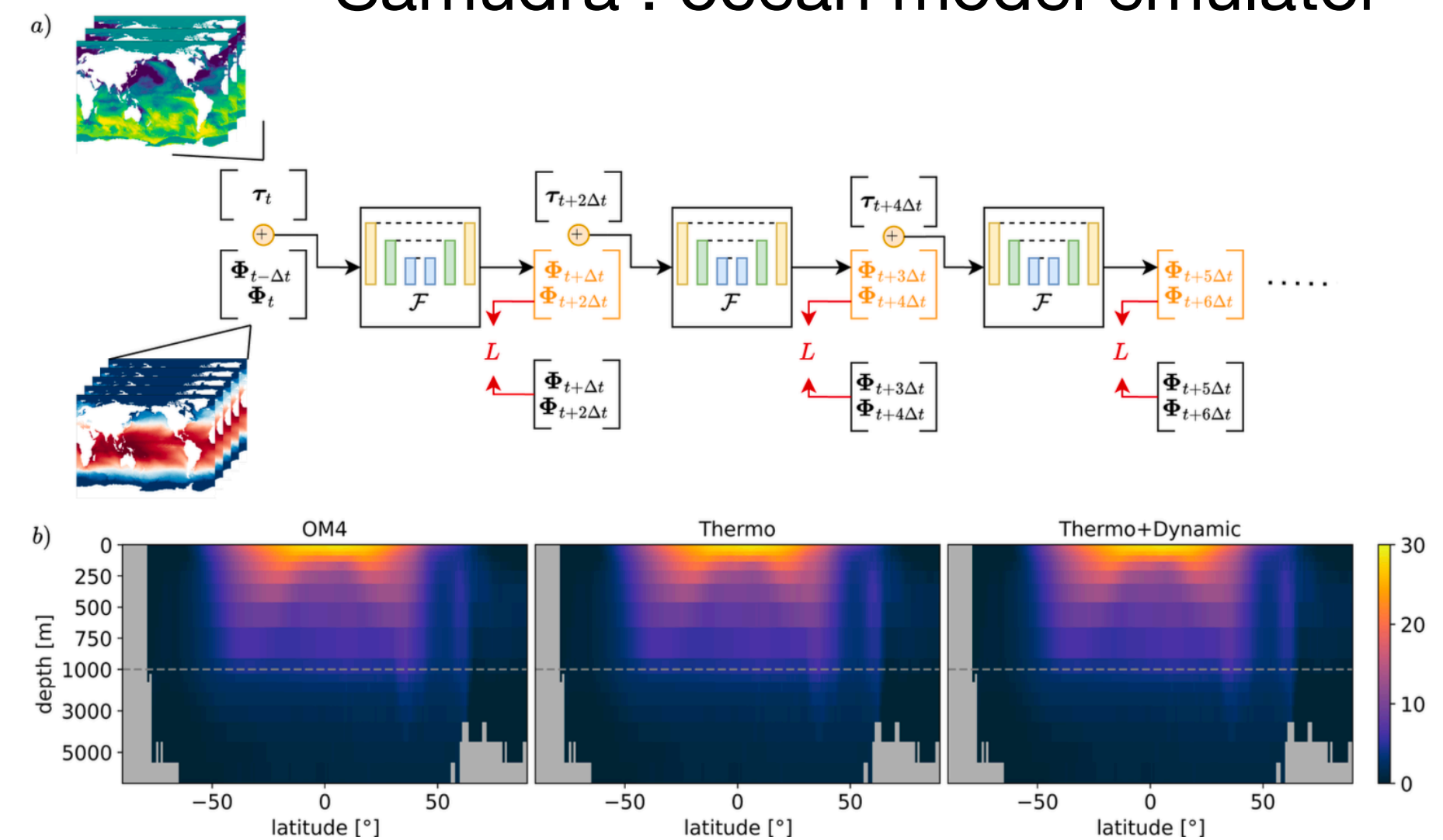


# Emulateurs IA de modèles et de réanalyses



## Modélisation climatique

### Samudra : ocean model emulator



<https://github.com/m2lines/Samudra>

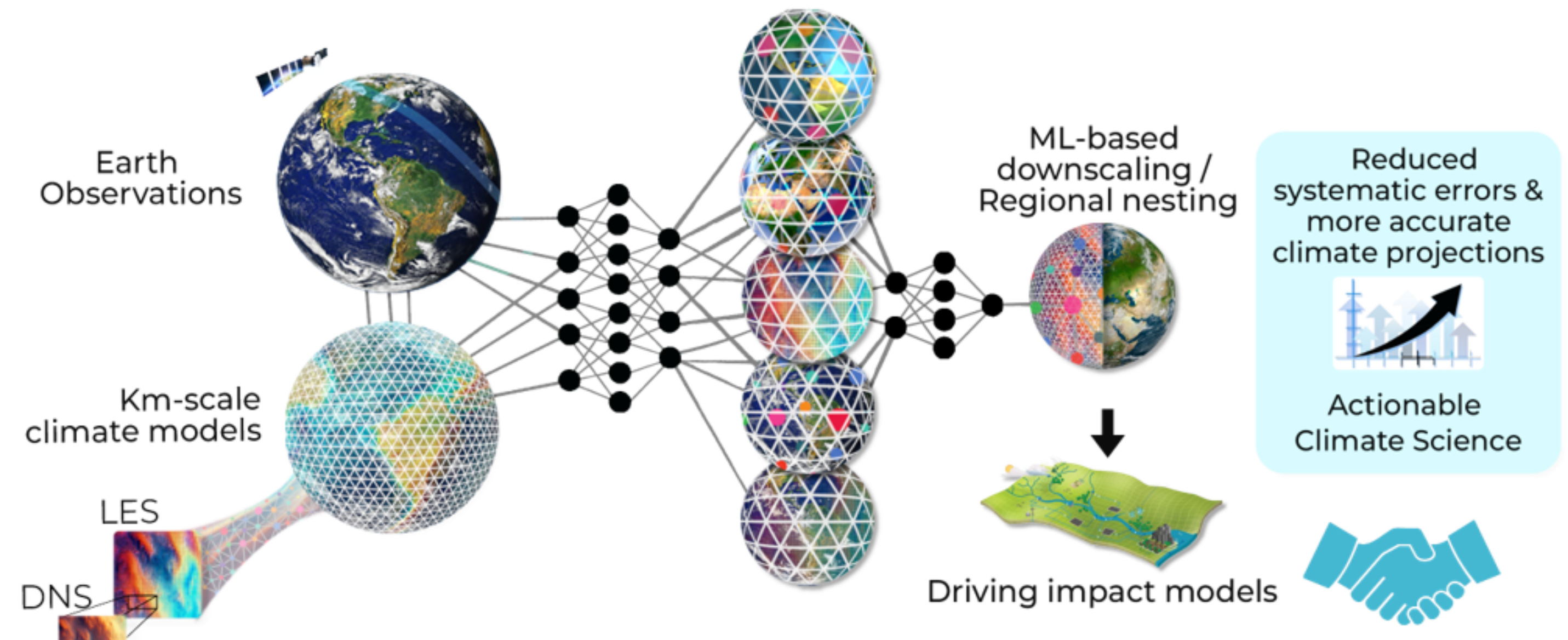
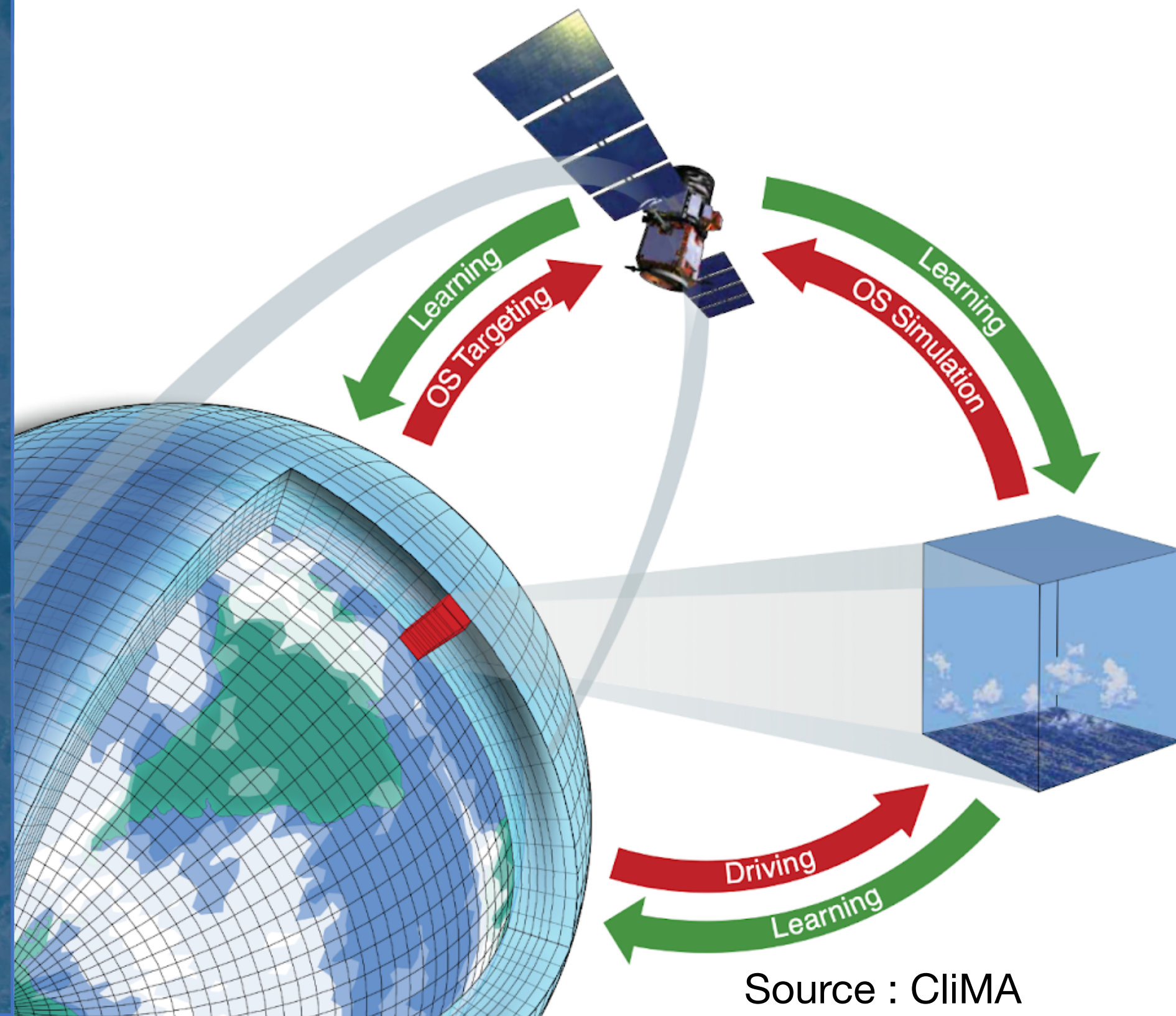
Dheeshjith et al. 2025

<https://doi.org/10.1029/2024GL114318>



# Une nouvelle génération de modèles de climat ?

- plus versatiles et modulaires
- exploitant les observations
- information à fine échelles



Eyring et al., 2024 <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01527-w>

des modèles adaptés aux services climatiques ?





**4.**

**Comment l'IA questionne  
nos disciplines**



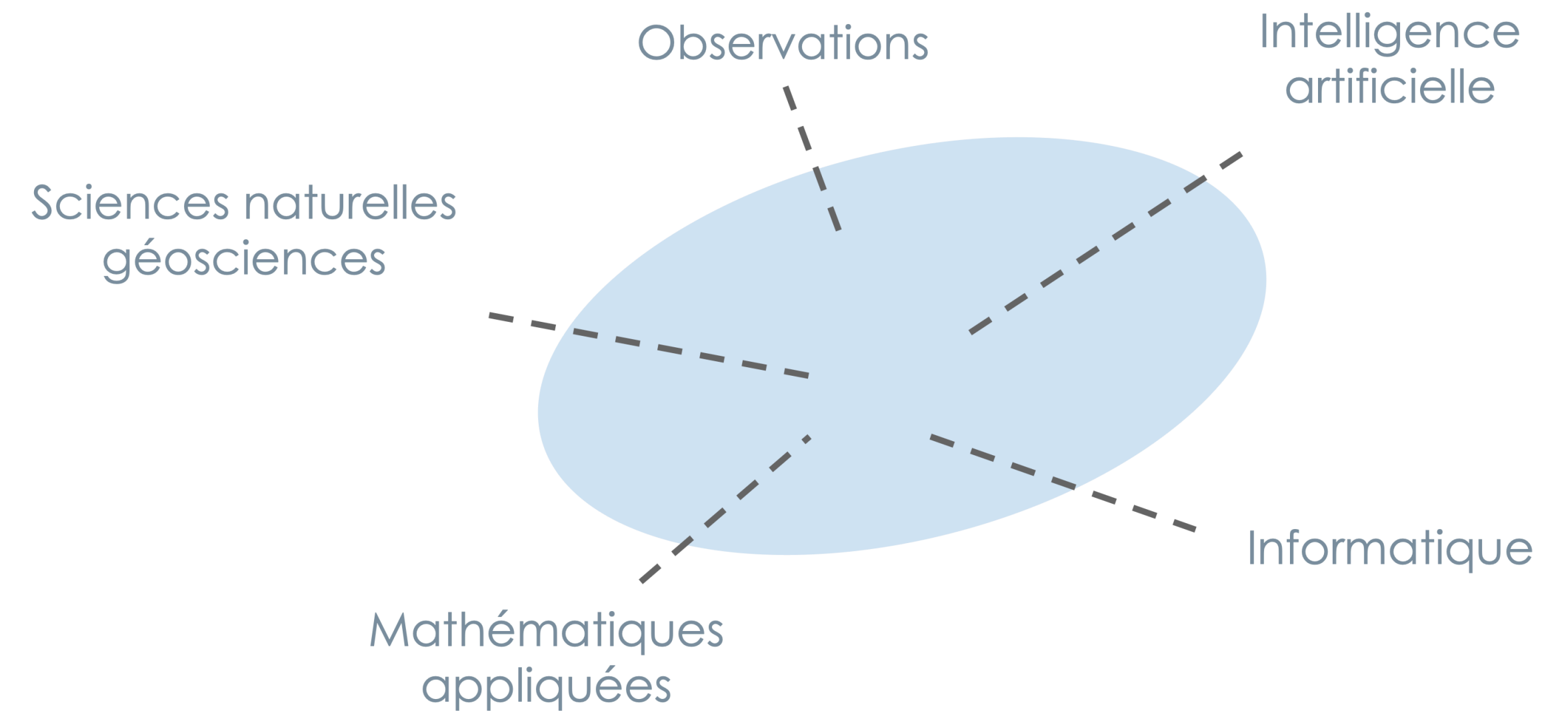
# Dans nos interactions interdisciplinaires



De nouveaux partenaires académiques

De nouvelles manières de travailler

cycle court, dev. basé métrique,  
importance de l'ingénierie, ...

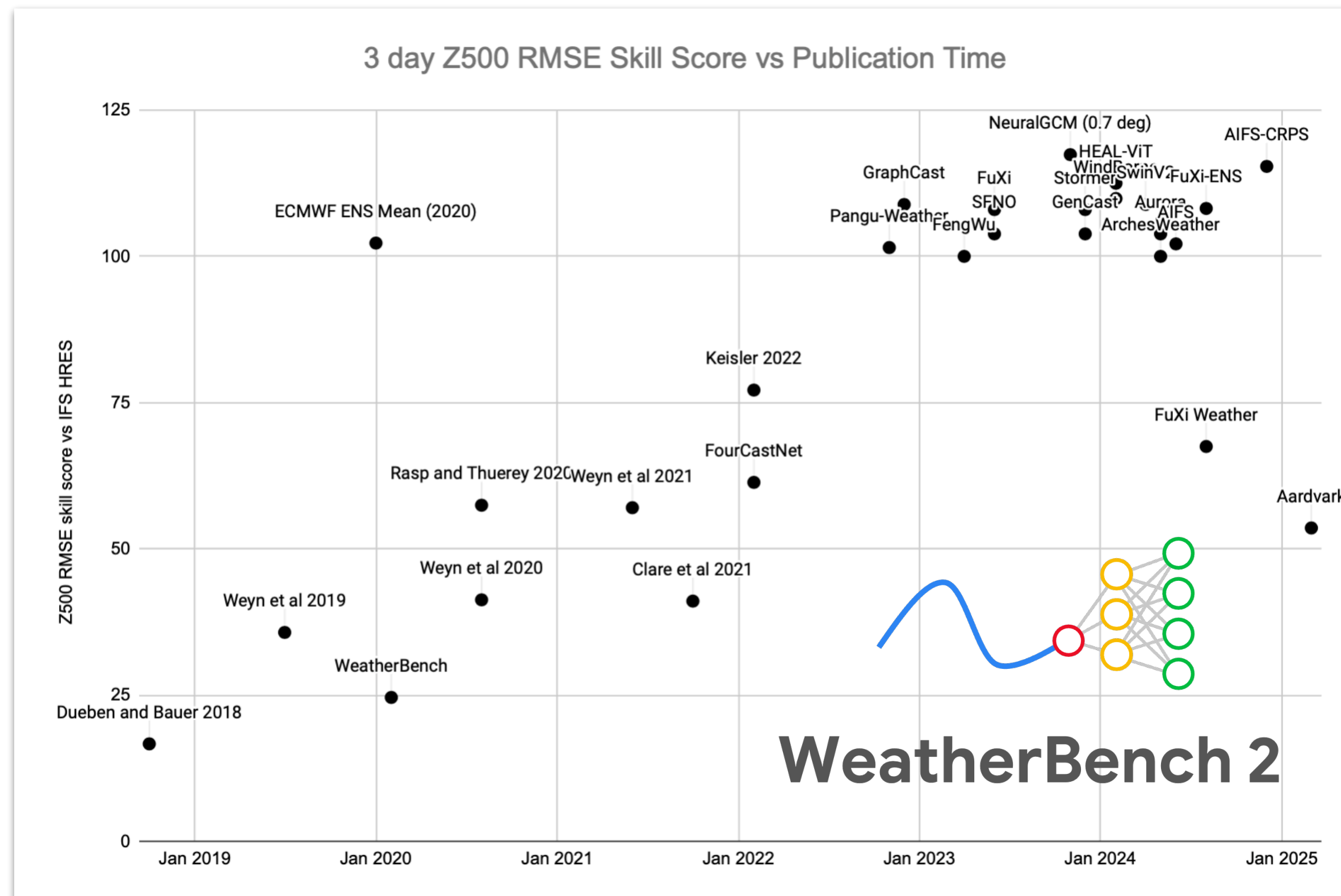


L'arrivée de l'IA questionne notre manière d'organiser les interactions interdisciplinaires



# Dans nos liens avec les partenaires privés

## De nouveaux acteurs non-académiques

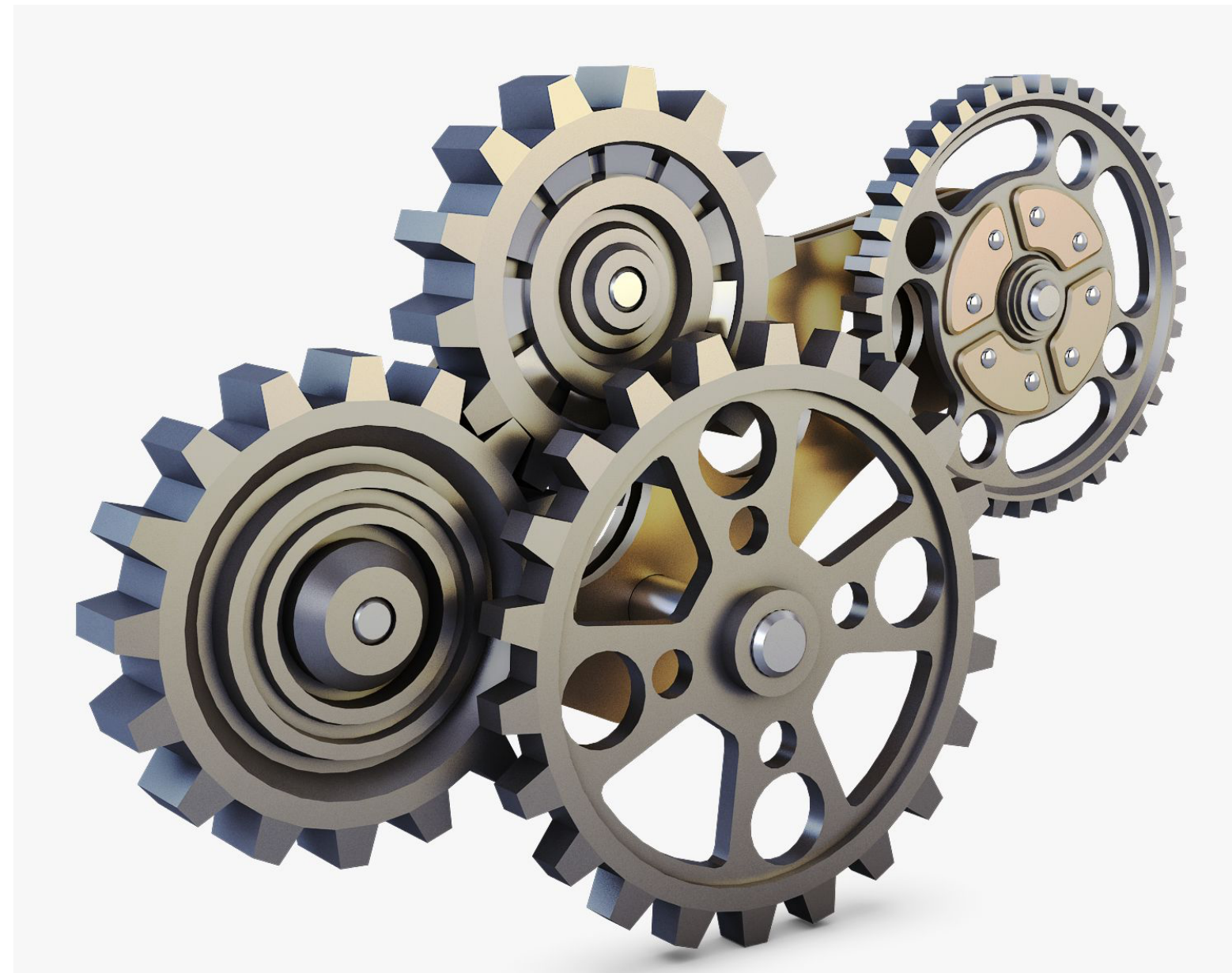


Rasp : <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.28083515.v1>

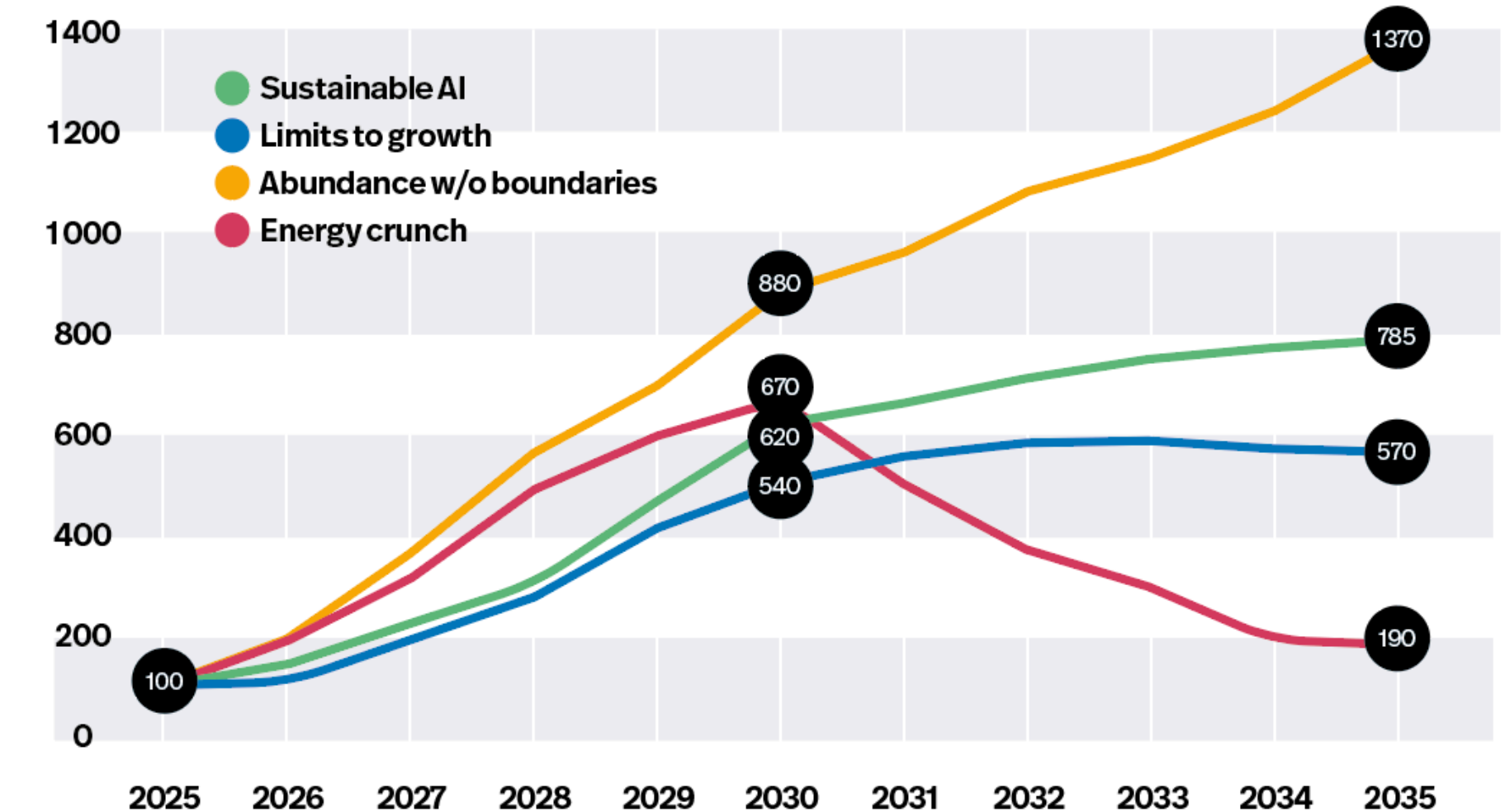
Fossé : ingénieries, moyens calcul, capacité de recrutement, capacité d'organisation



# Questionnement dans notre lien à la société



Quatre scénarios d'évolution de la consommation électrique mondiale liée à l'IA à partir de 2025, en TWh



Les quatre scénarios de consommation électrique de l'IA projetés par Schneider Electric.

SCHNEIDER ELECTRIC : RAPPORT ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ELECTRICITY, A SYSTEM DYNAMICS APPROACH, AVEC L'AIMABLE AUTORISATION DE RÉMI PACCOU, CO-AUTEUR DU RAPPORT, DÉCEMBRE 2024

Pourquoi croire les modèles ?

Impact environnemental de l'IA

L'arrivée de l'IA dans le coeur des modèles de climat questionne leur “**crédibilité**”



# Questionnement dans nos laboratoires

Réflexion de l'IGE sur lors de la préparation du quinquennal



1. Périmètre

2. Démarche

3. Analyse

4. Ambition

5. Questions



Bilan de l'atelier :

“**Transition numérique**, intelligence artificielle et science ouverte”

Co-animé par J. Le Sommer, G. Krinner & G. Uzu

Prospective IGE, Autrans le 10-12 février 2025



- Questionnement sur la scientificité,
- ... sur l'impact environnemental et la parcimonie
- Risque de perte d'expertise sur processus physique
- Fossé de générations dans l'adoption approches IA
- Risque de perte de sens (ex : métiers supports)
- Evolution des besoins de support ingénieurs



**5.**

**Promouvoir une IA  
ouverte et responsable**

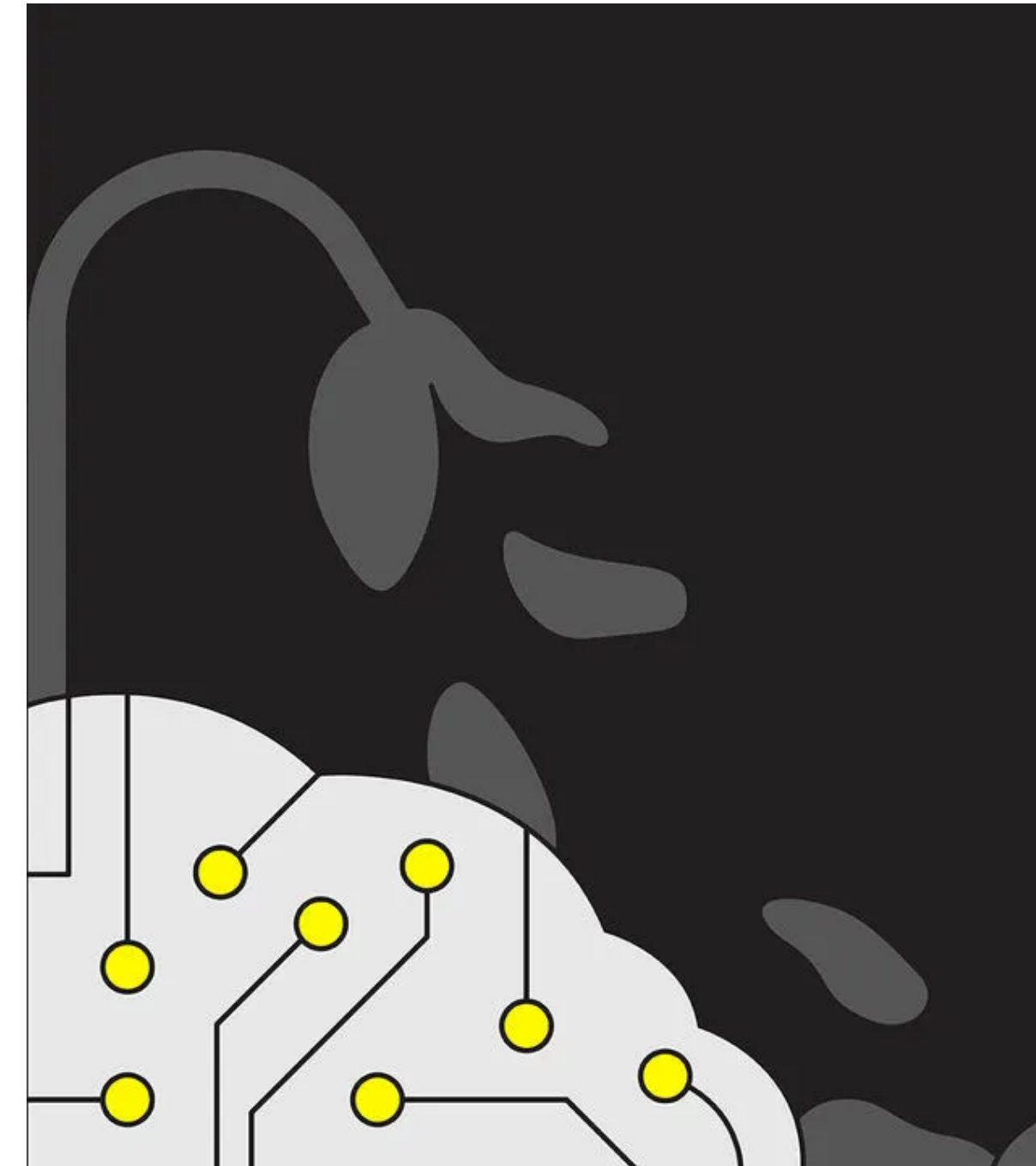


# IA et géosciences : plusieurs futurs possibles

meilleure information  
plus accessible  
peu coûteuse



info non qualifiées  
perte confiance  
energivores

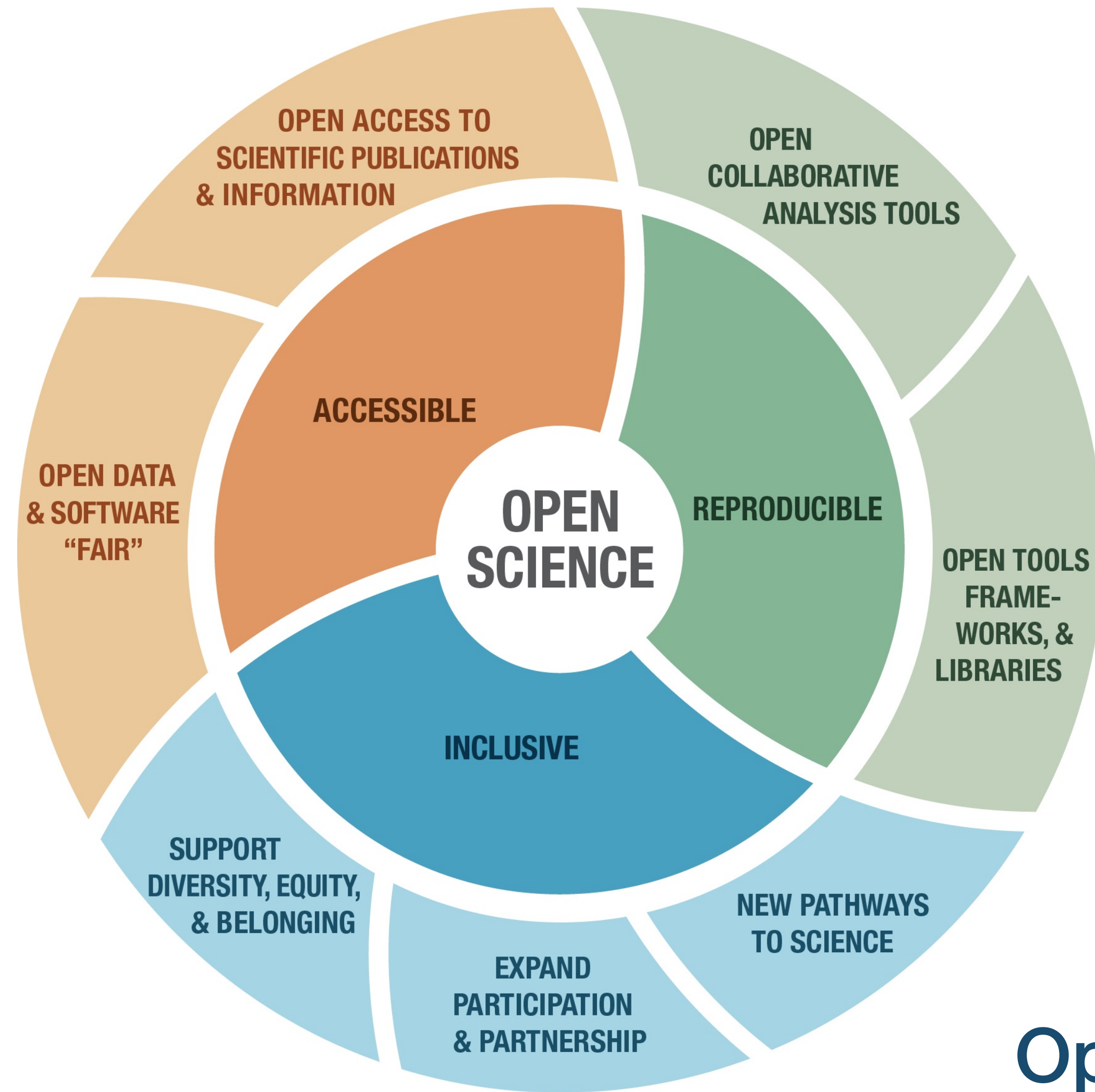


source : The Economist, avril 2025

Comment réserver la qualité de la **science** et la **confiance** du public?



# Promouvoir l'ouverture des codes et modèles



source : [open-models.org](https://open-models.org)



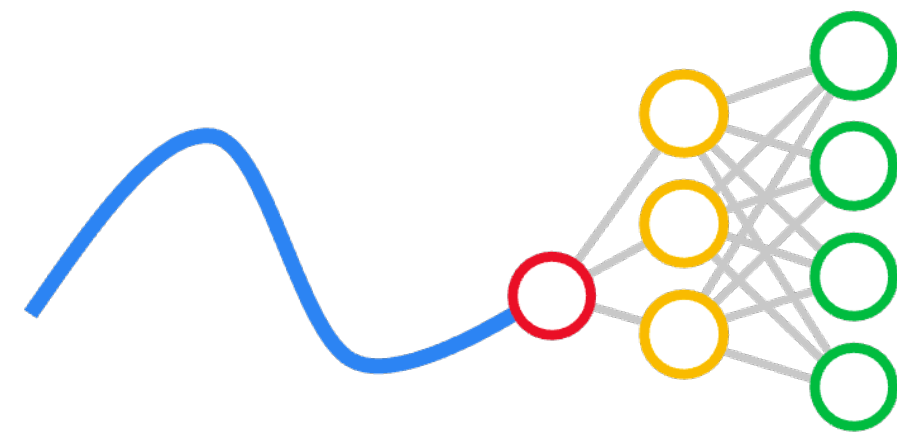
modèles, paramètres, pipelines  
standards ouverts etinteropérales

Opportunité d'améliorer le design de nos  
systèmes numériques



# Développer des cadres d'évaluation ouverts

## Partage de cadre de benchmark



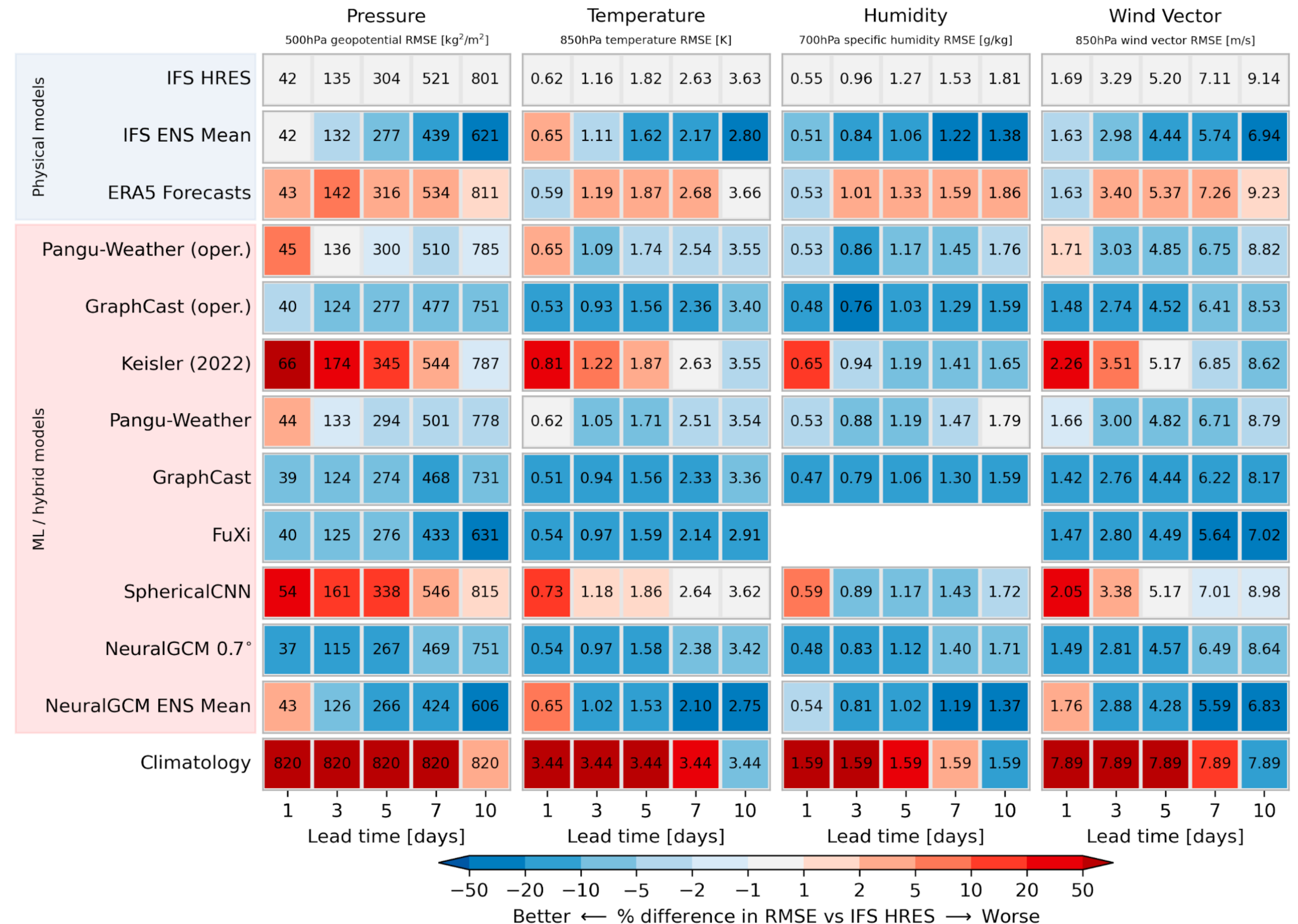
## WeatherBench 2

Stephan Rasp et al, 2023

[sites.research.google/weatherbench](https://sites.research.google/weatherbench)

OceanBench :

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



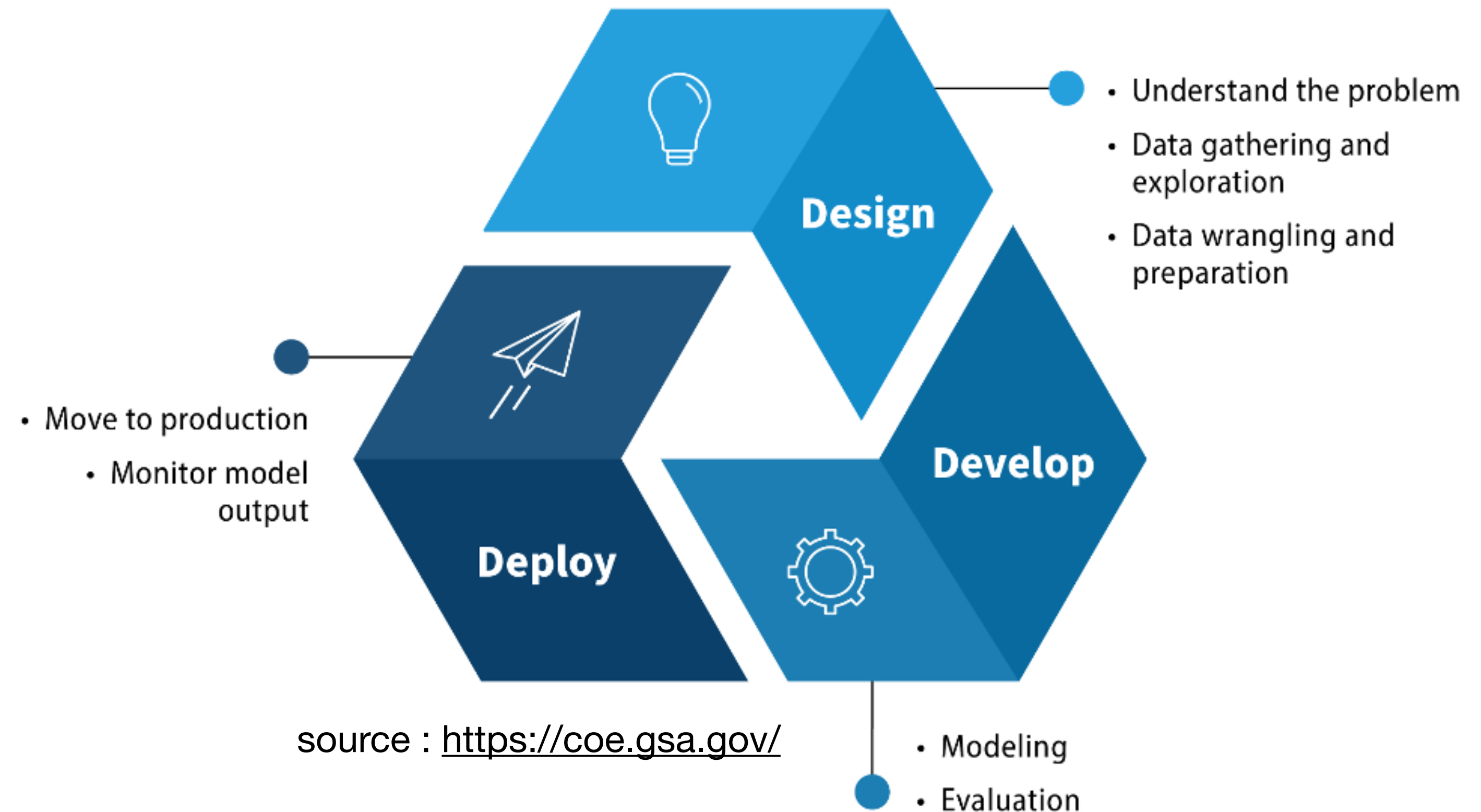


# Prendre en compte l'impact environnemental



Ex : <https://hal.inrae.fr/hal-05020408v1>

**Consommation électrique**



**Cycle de vie d'un projet IA**

**Besoin de prendre en compte impact sur le cycle de vie (et effet rebond)**



# Comprendre la transformation de nos disciplines

# Nouer des collaborations avec nos collègues SHS ?



# Opportunité de porter un regard réflexif sur notre discipline

rapport à la preuve, dynamique collective



# Déclinaison pratique à l'IGE



> **PING**



- ▶ Promouvoir l'**adoption des principes** de la science ouverte dans nos pratiques et usages numériques
- ▶ Favoriser transparence et ouverture des résultats et des pratiques **au service de la science** et de la société
- ▶ Favoriser une utilisation ouverte, frugale, éthique, interprétable et responsable de l'**IA en géosciences**
- ▶ Accompagner activement les **membres de l'IGE** dans la transition numérique et l'expérimentation de l'IA
- ▶ Devenir un laboratoire **accueillant pour les JCJC** aux interfaces IA / géosciences / maths appliquées







Science Ouverte

Univ. Grenoble Alpes

[osd-uga-2025.sciencesconf.org](https://osd-uga-2025.sciencesconf.org)



# Take Home

1.

L'arrivée de l'IA bouscule profondément le champ  
des géosciences numériques

2.

À un moment où le lien entre nos disciplines et la  
société est en profonde évolution

3.

Appelle l'adoption de pratiques ouvertes pour  
promouvoir une IA explicable et frugale