



Science Ouverte
Univ. Grenoble Alpes
osd-uga-2025.sciencesconf.org



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



Take Home

1.

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

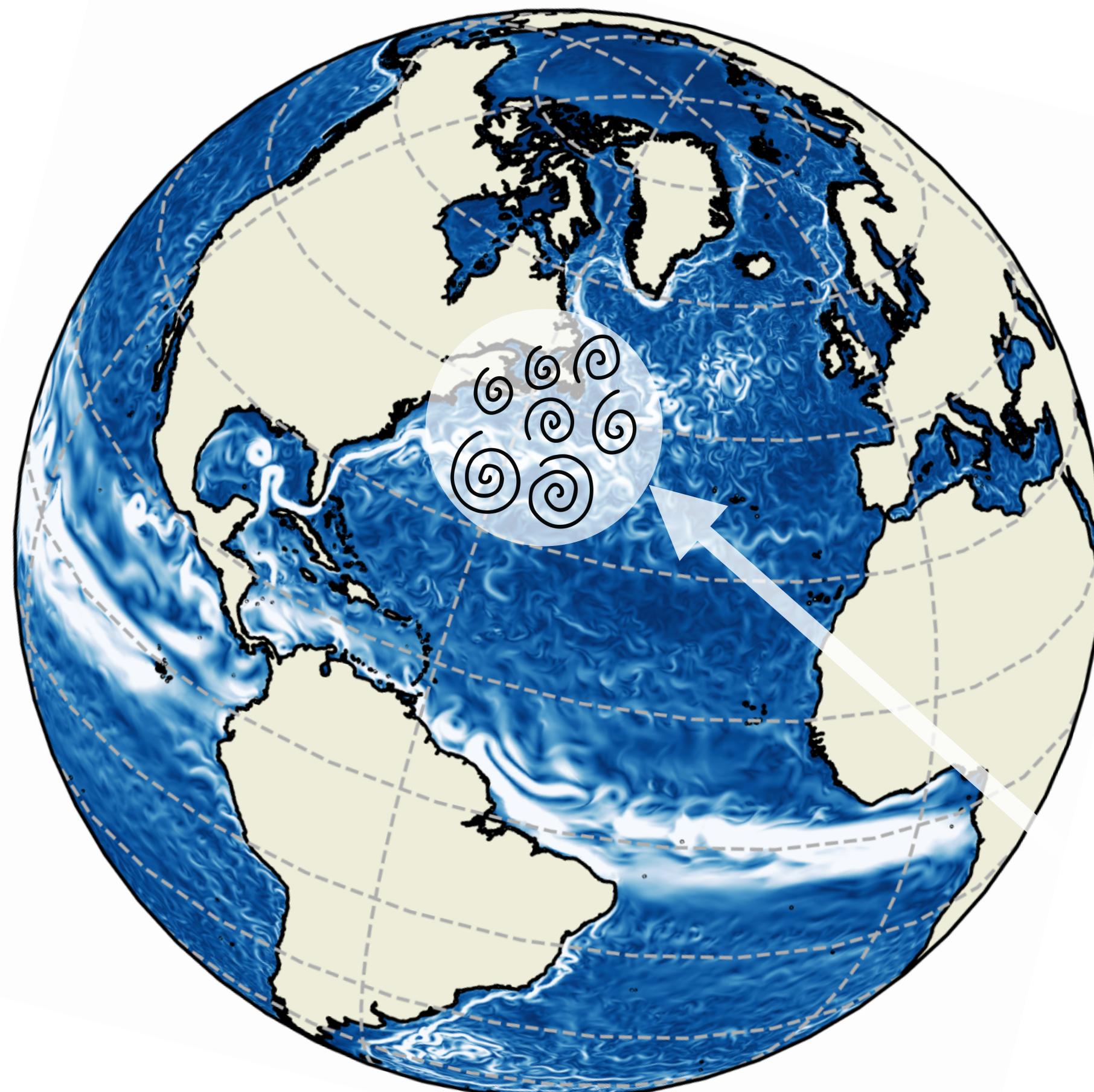
2.

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



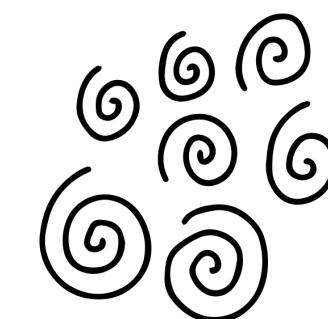
Paramètres physiques
courants, température...

- Comprendre le fonctionnement
- Prédire les évolutions (échelles)

climat - changements environnementaux
activités humaines - ressources

Interaction entre \neq échelles

Macro-turbulence



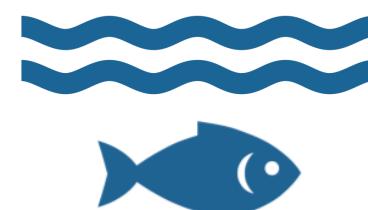
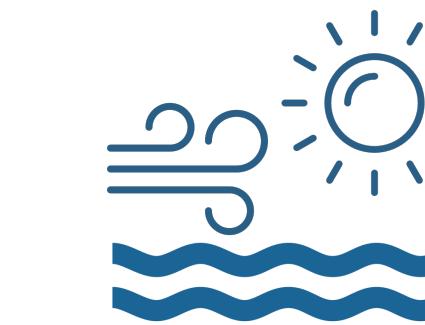
Surface waves



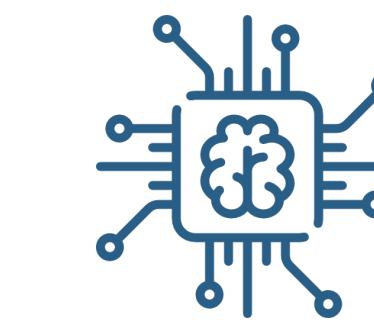
internal waves (tides)



Intéractions entre \neq milieux



Développe et mobilise des outils et
méthodes numériques

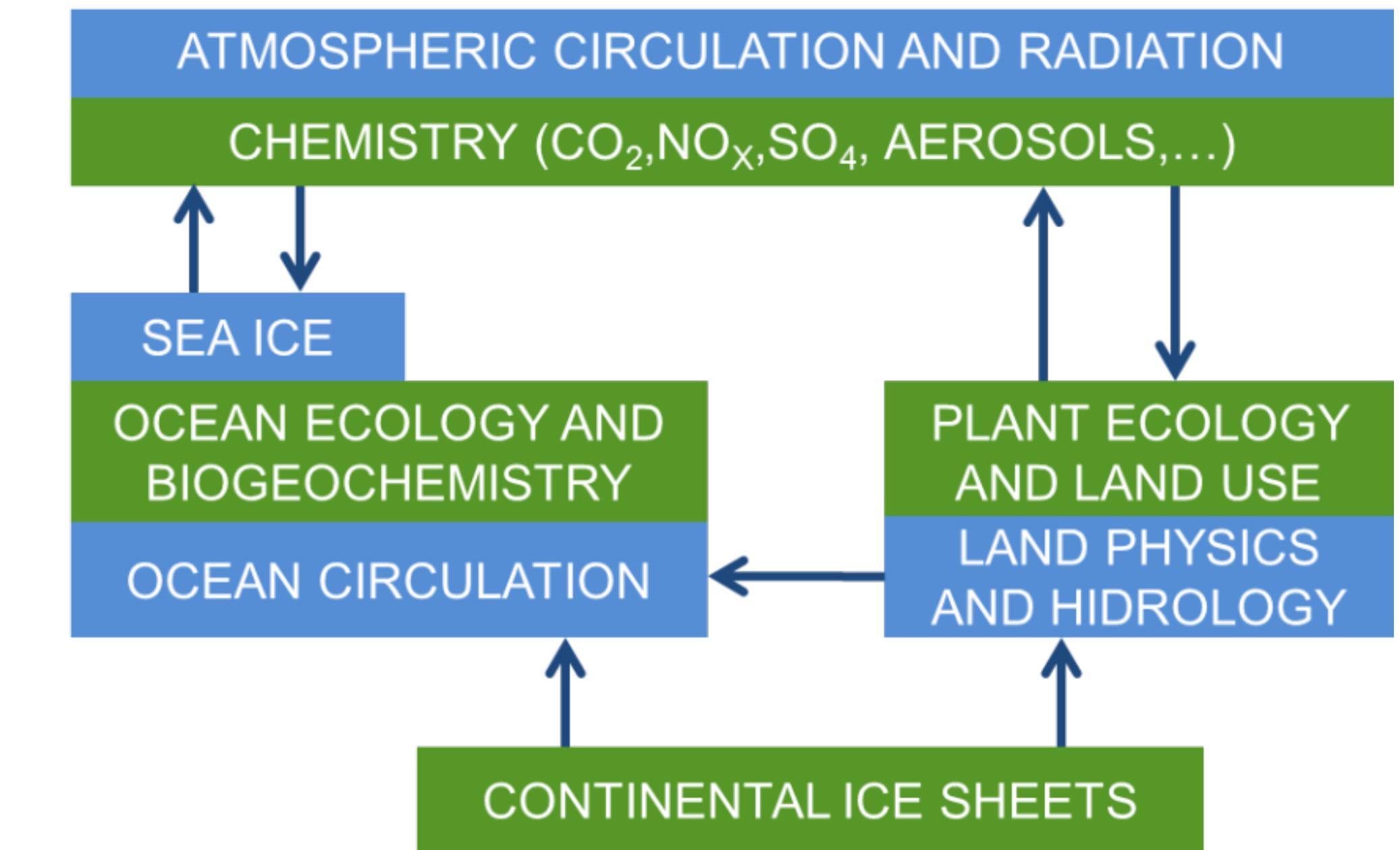
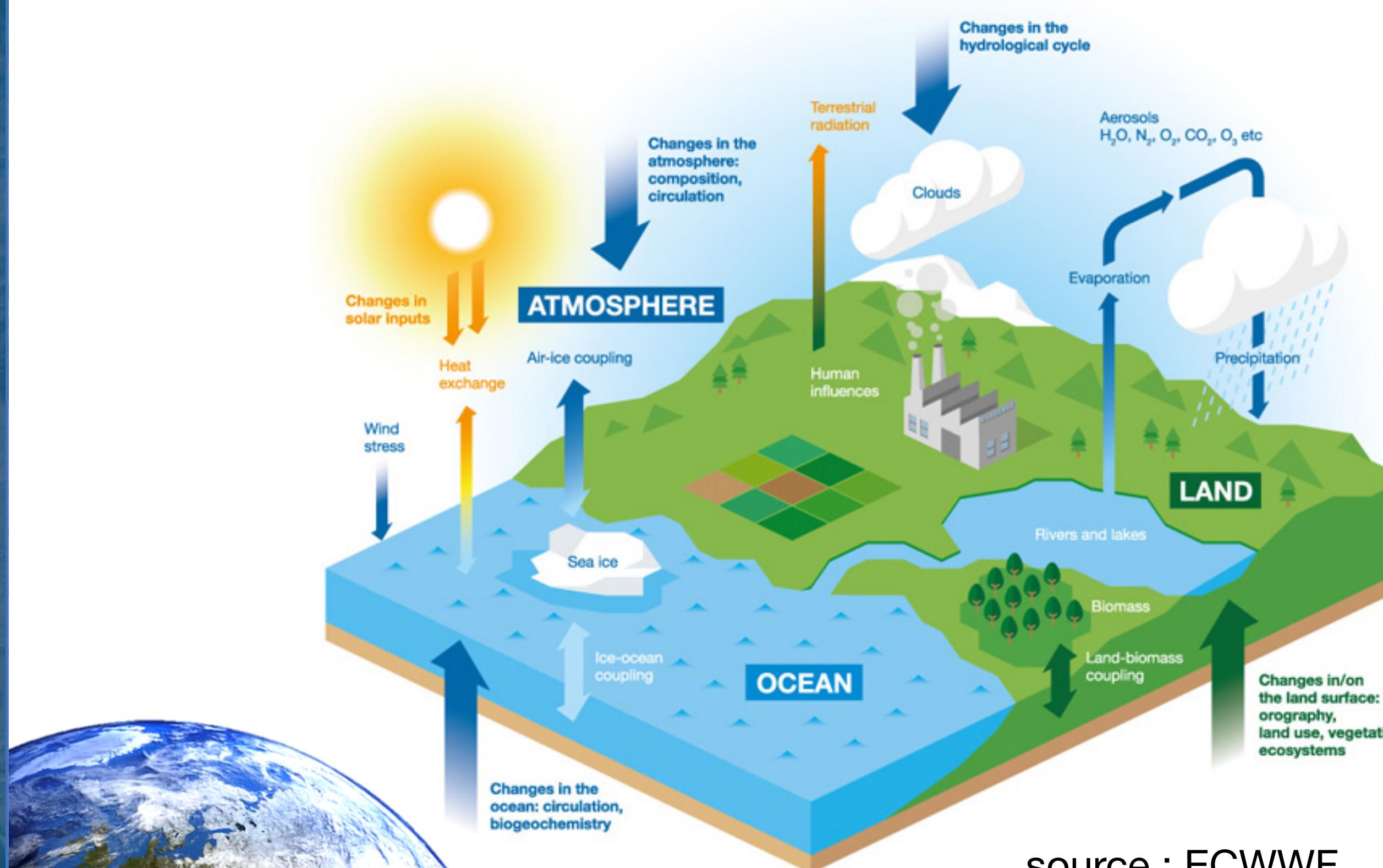




1.

Les outils numériques en science du climat

Processus affectant le système climatique



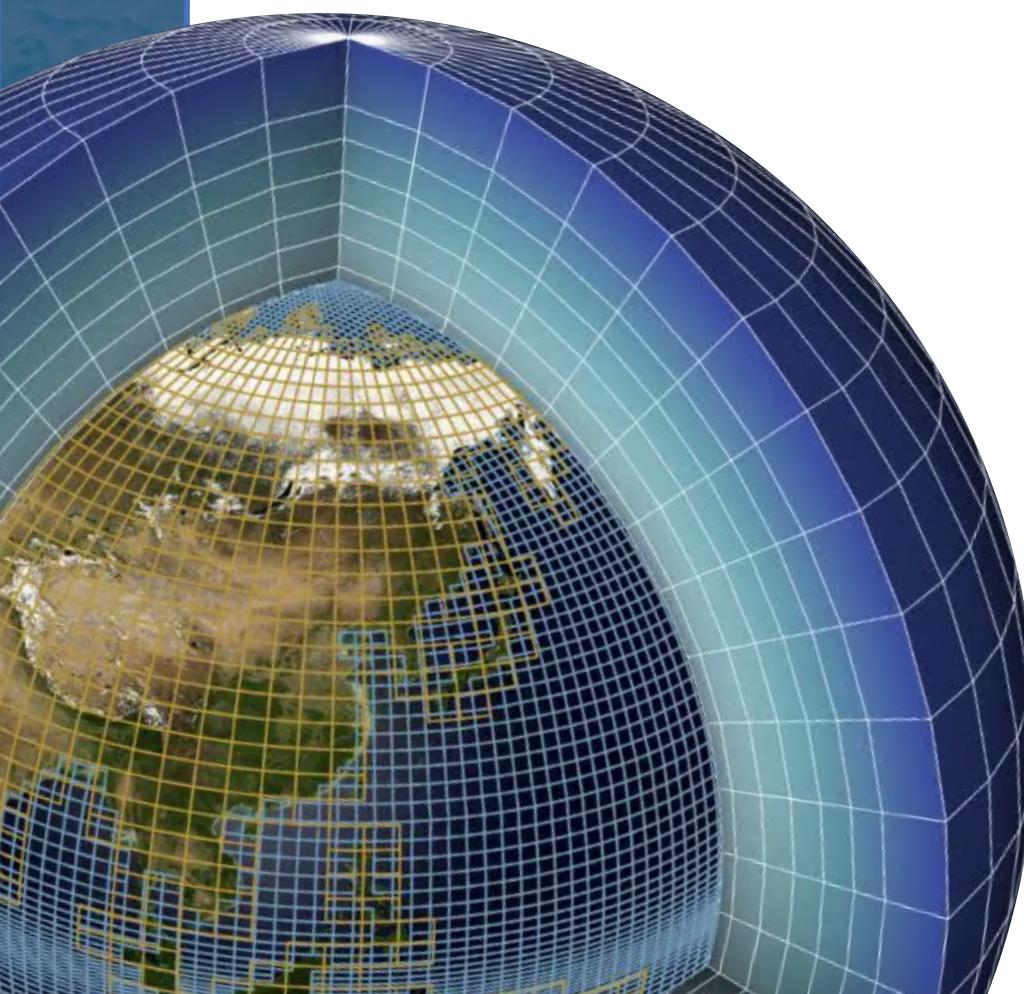
source : climateeurope.eu

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

Les modèles du système Terre

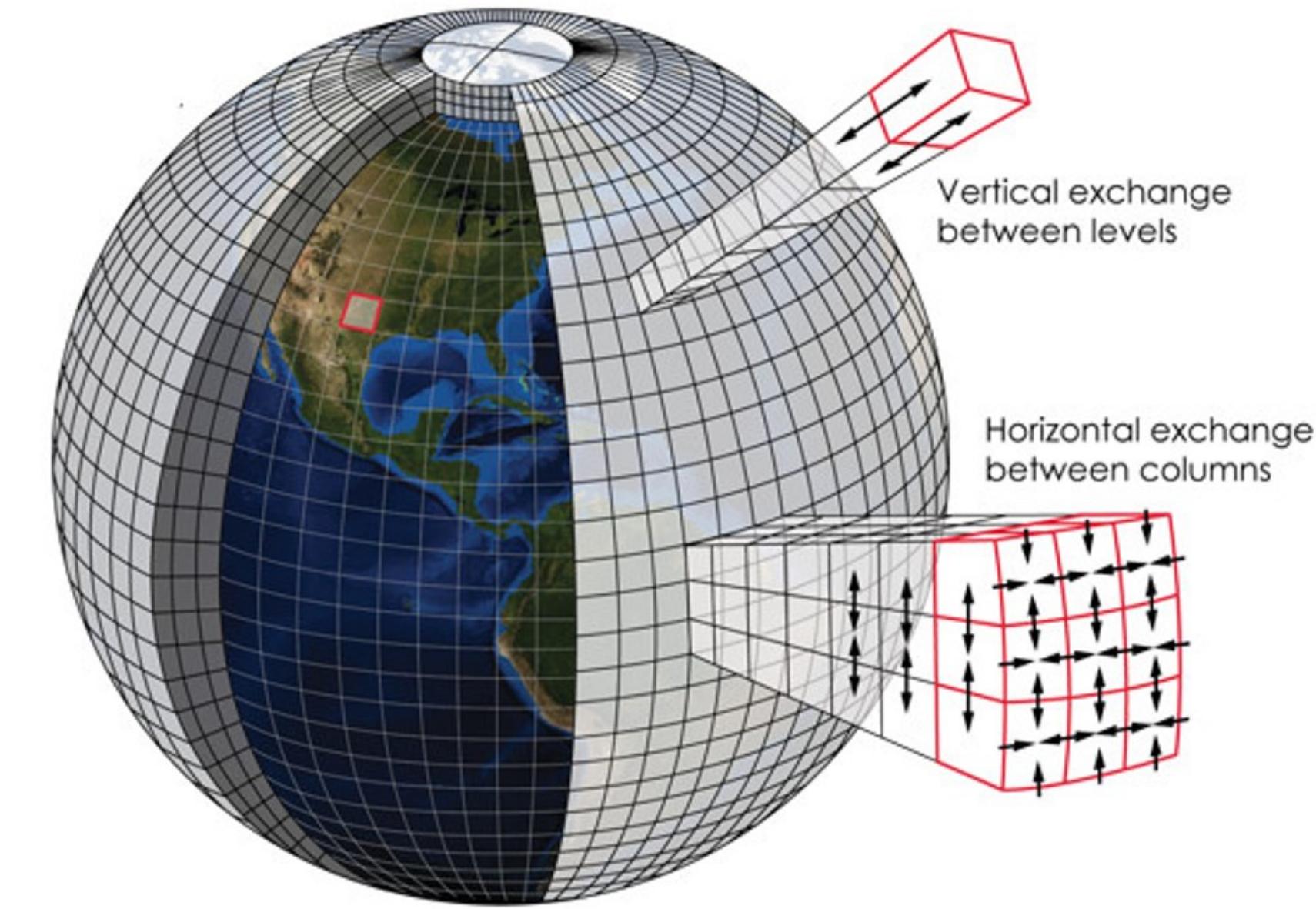
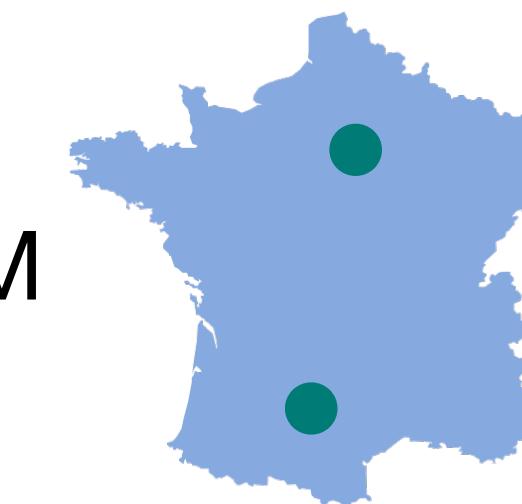
Des outils numériques

- 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



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

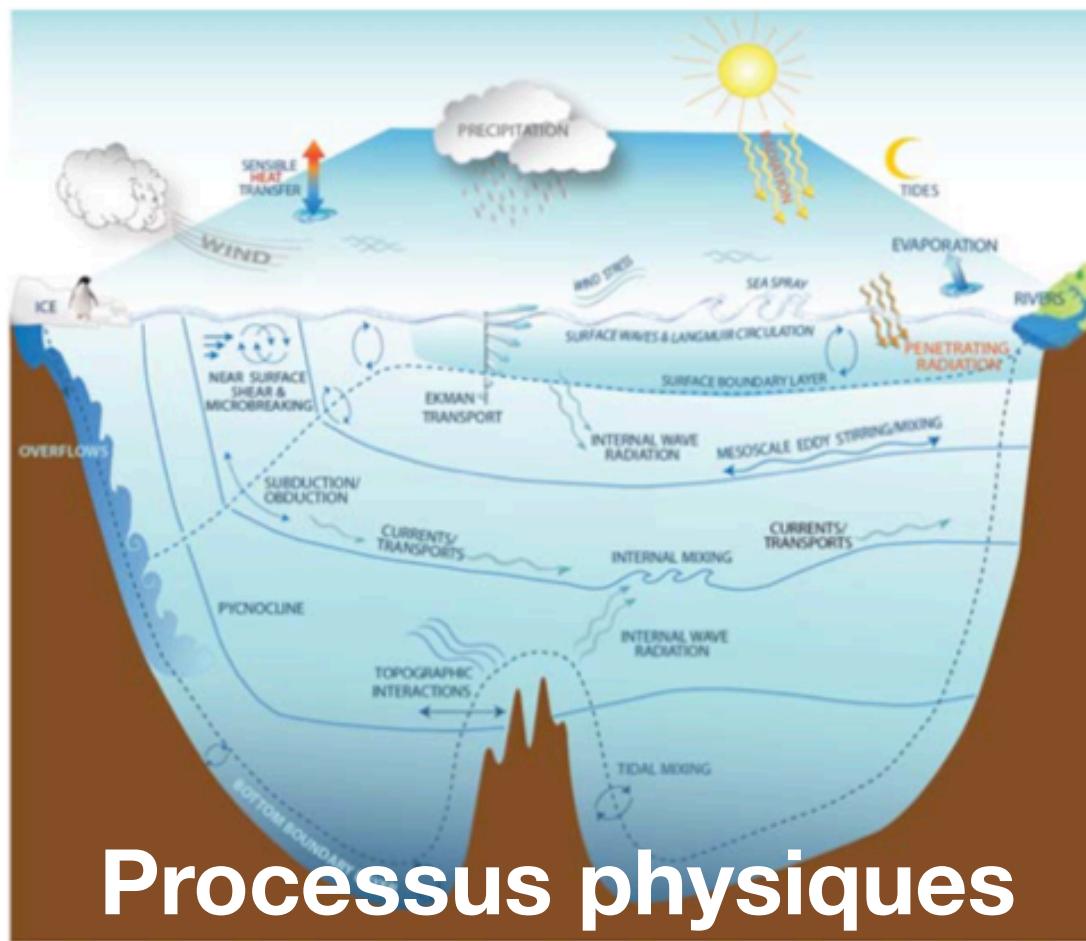
$$\vec{F} = M\vec{a}$$

e.g. momentum conservation

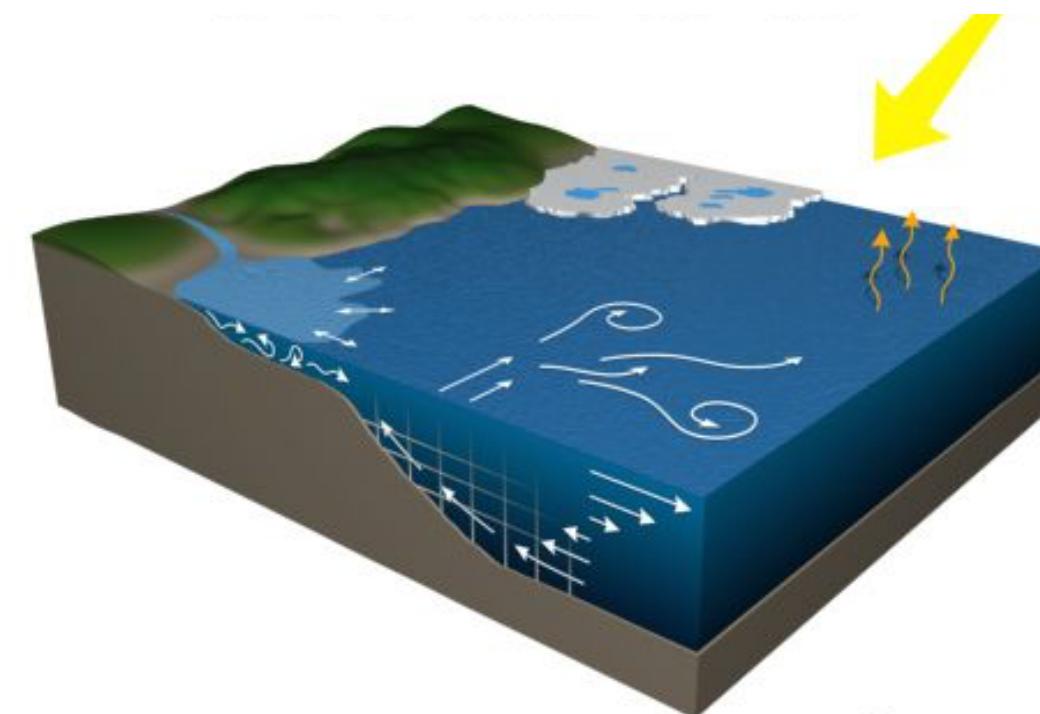
Biological/chemical principles

source : Jeonbuk Nat. Univ.

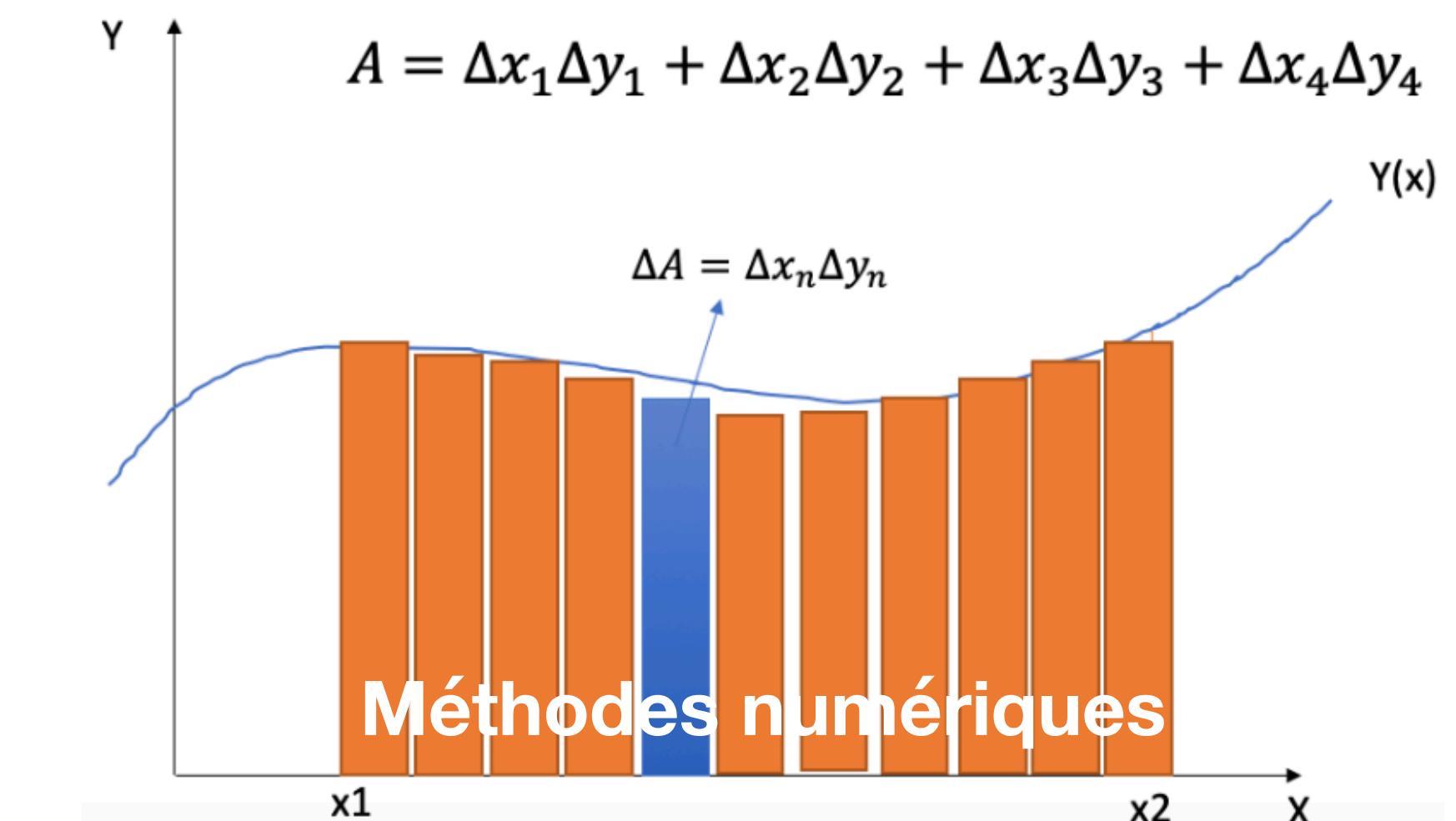
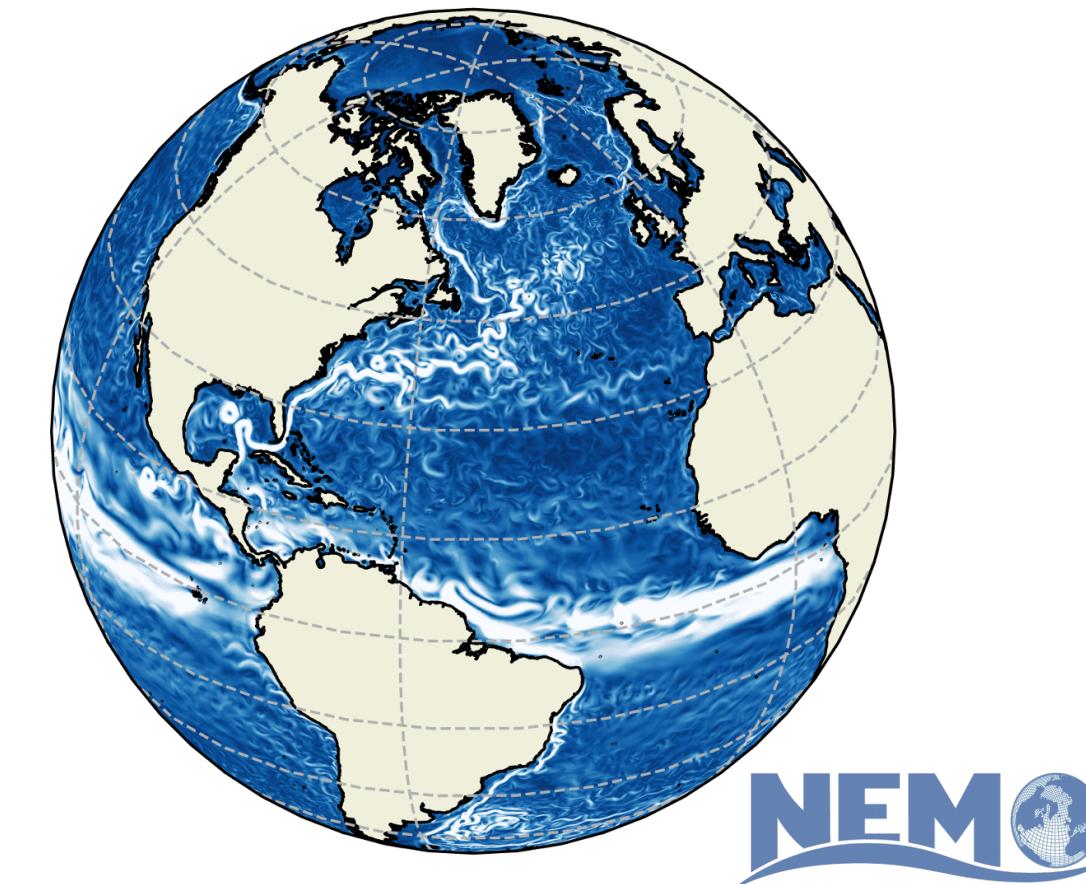
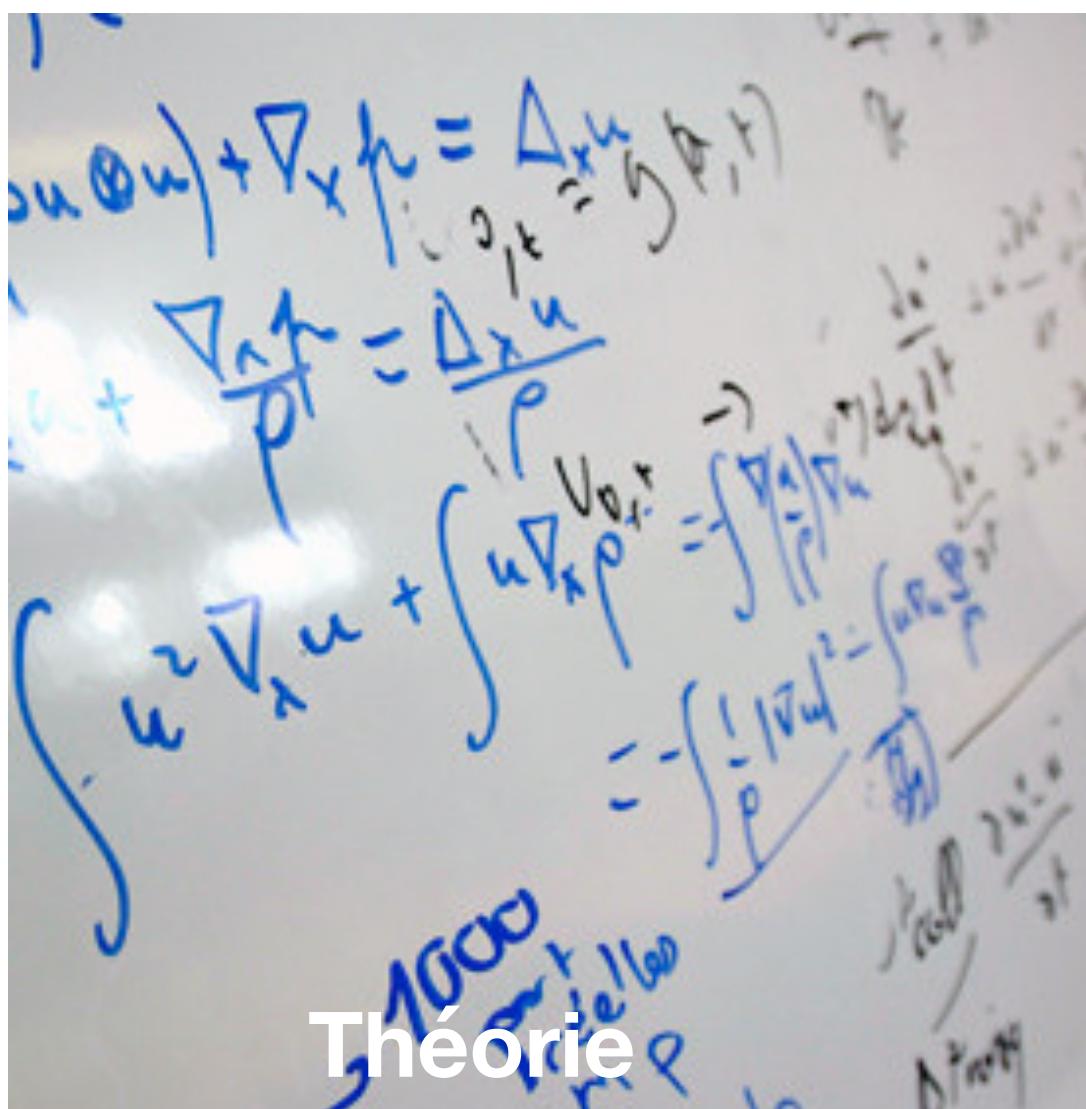
Exemple : composante océanique



Ocean General Circulation Models

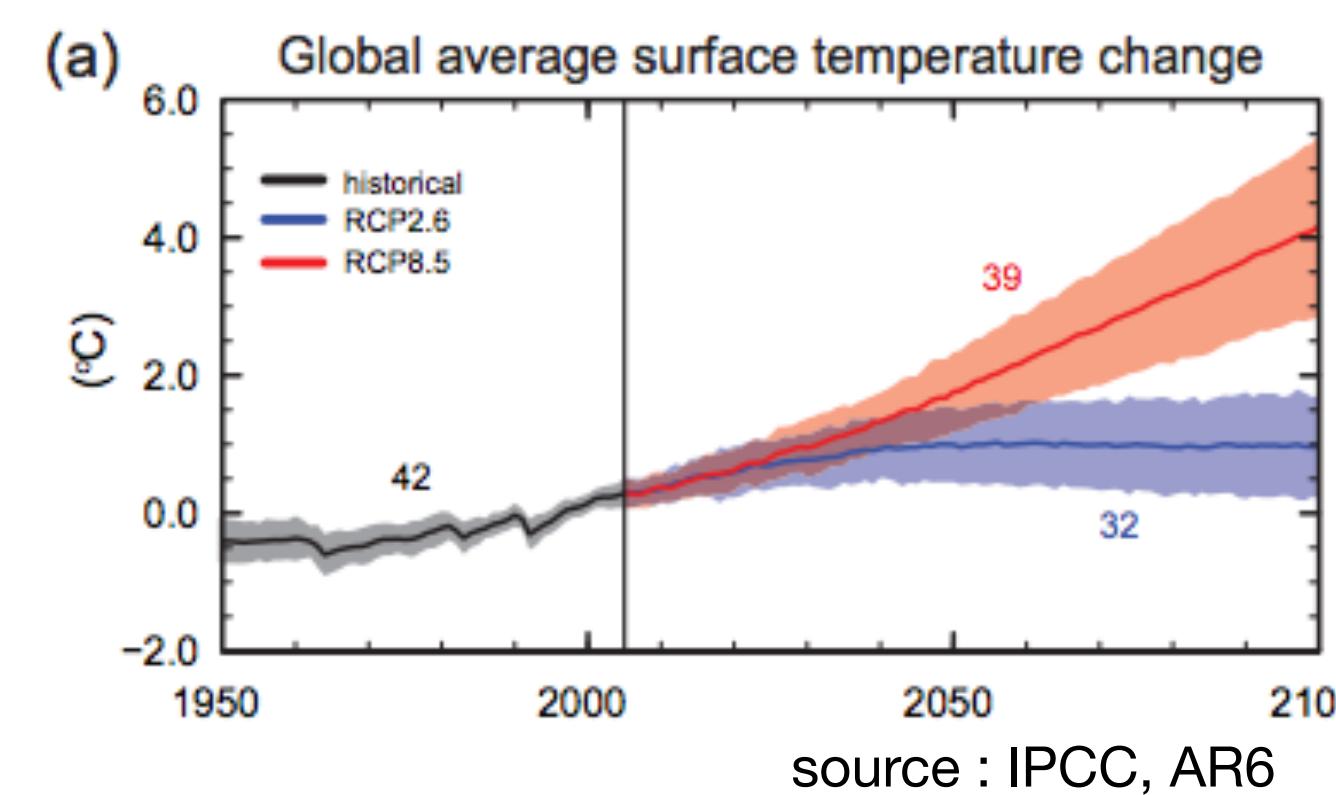
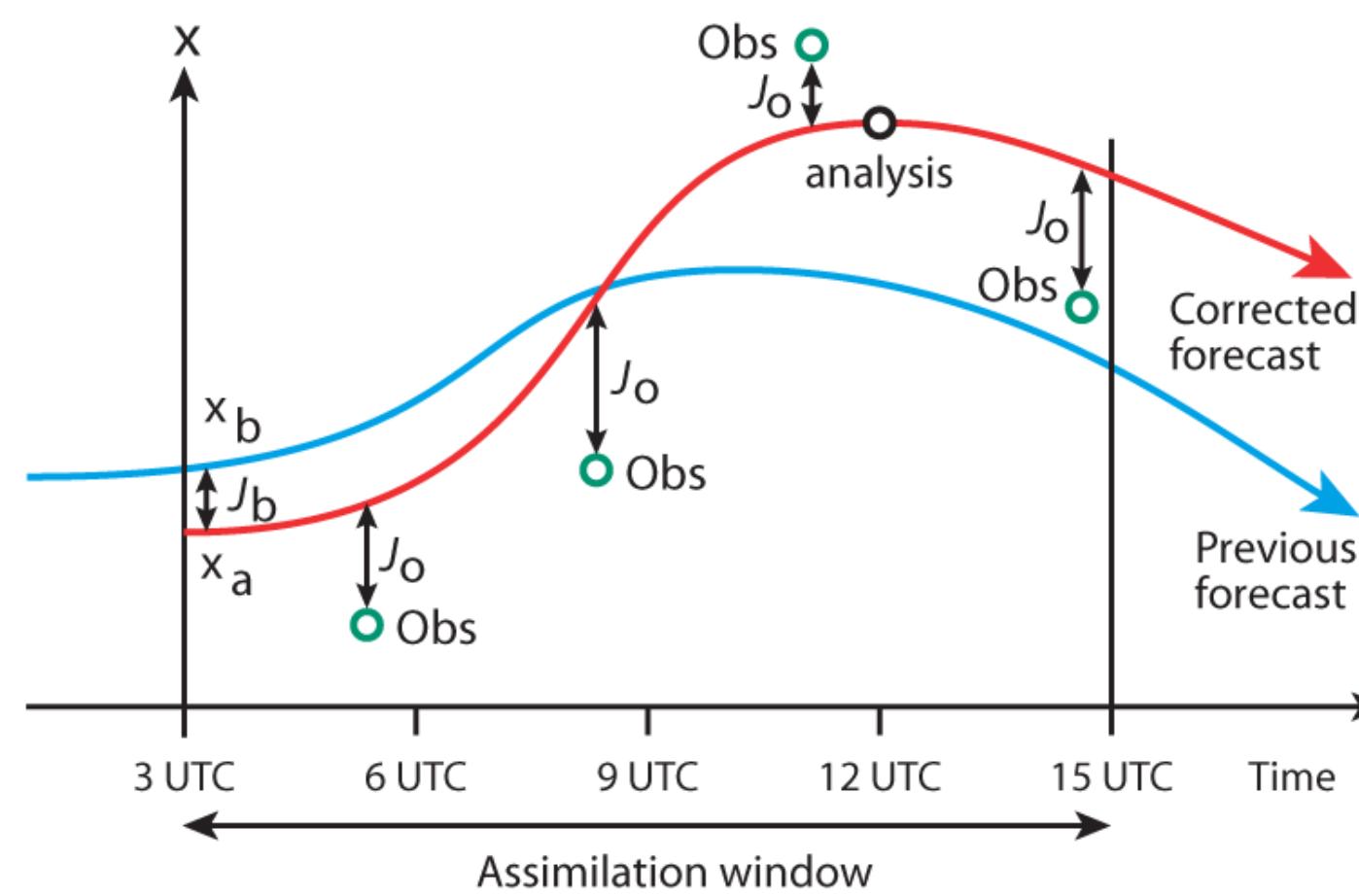


Calcul haute performance



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

Différents usages des modèles



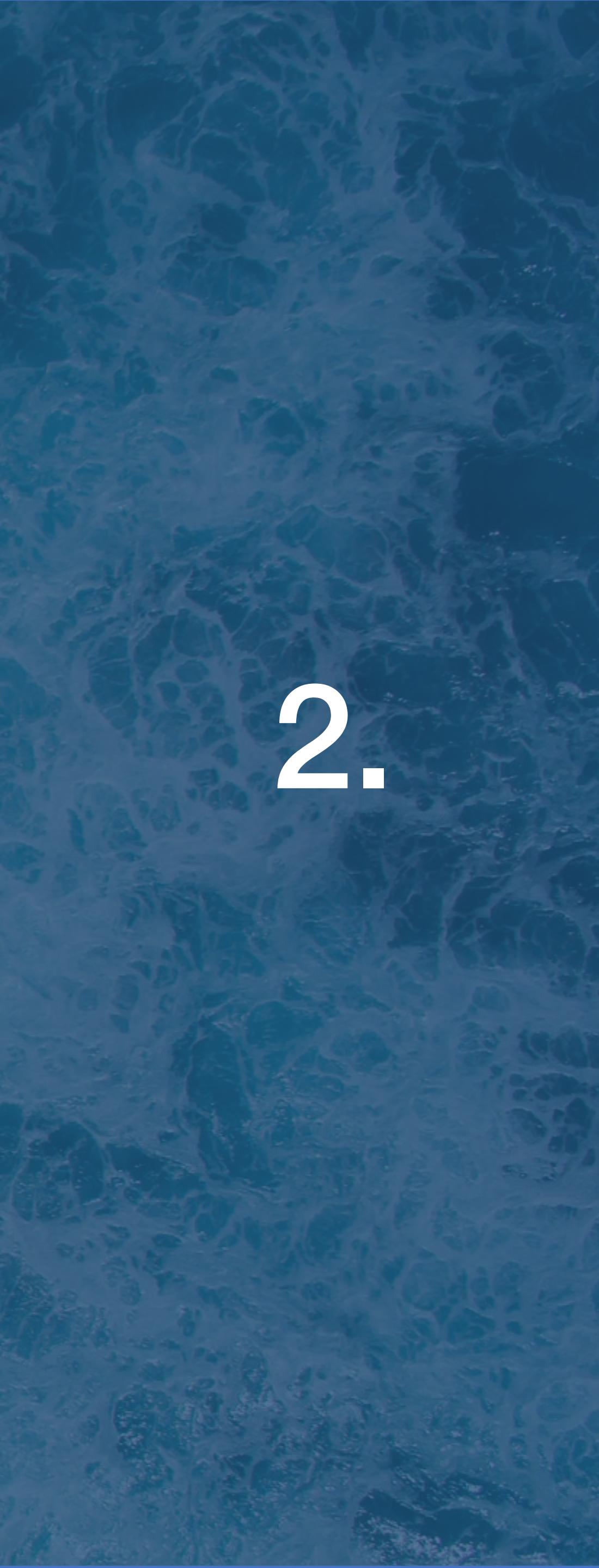
Prévision & réanalyses

Projection climatique

Réseaux d'observations

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

Imbrication étroite entre modèles et observations

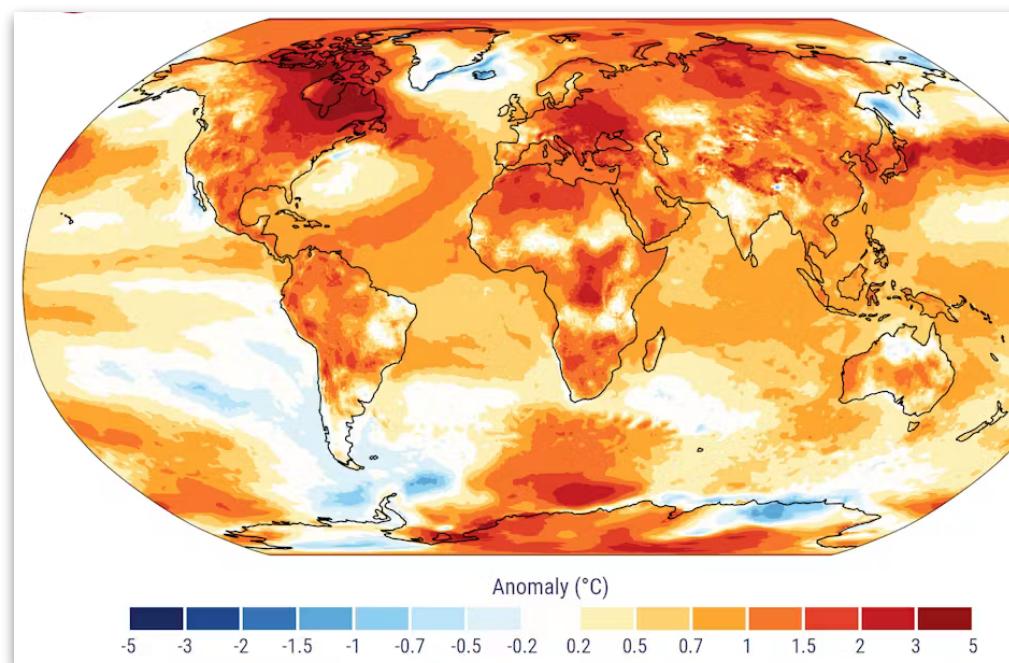


2.

Enjeux de la science ouverte en géosciences

Une imbrication d'enjeux environnementaux

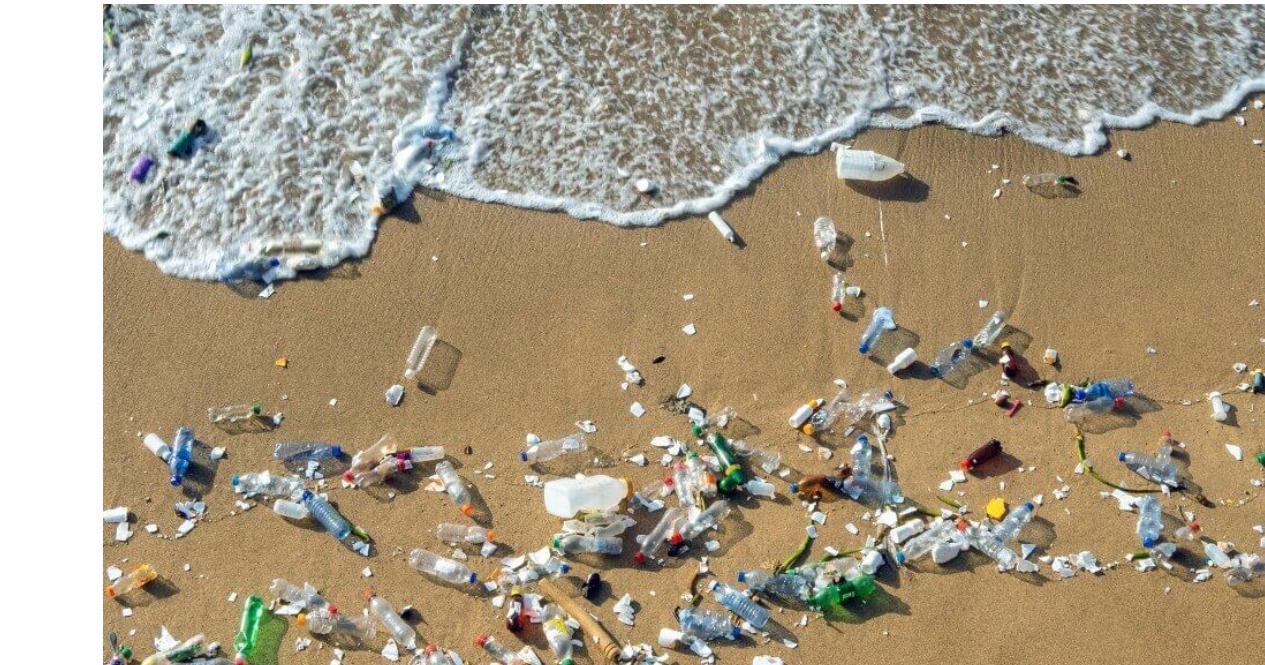
Ex : Océan



Climat

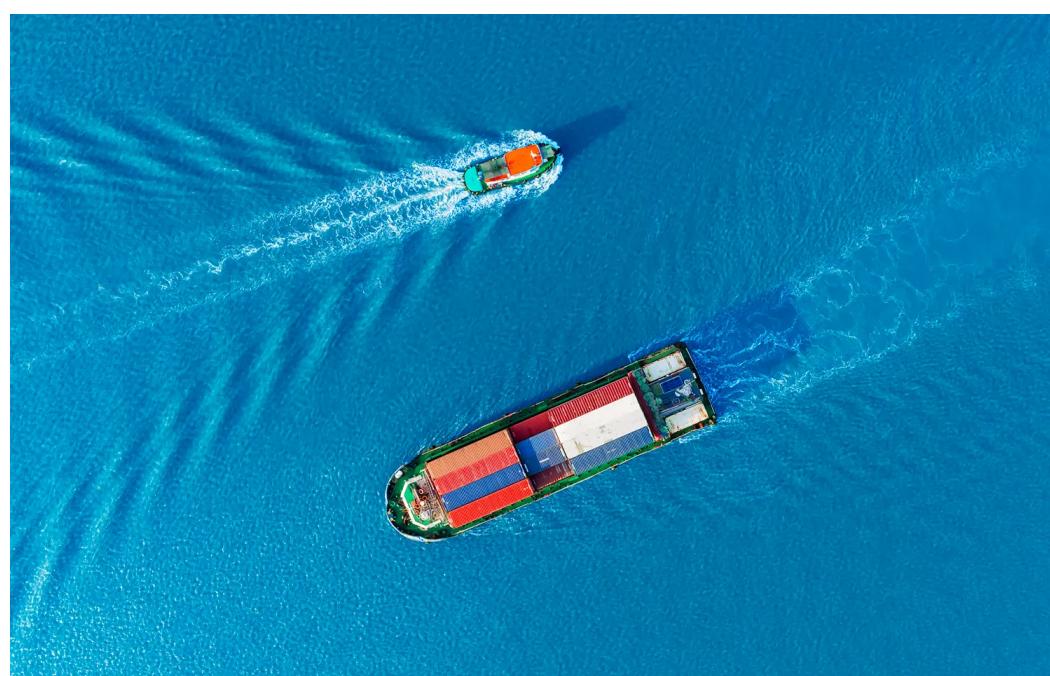


Biodiversité



Pollution

Un milieu subissant une triple crise sans précédent



Transport / sécurité



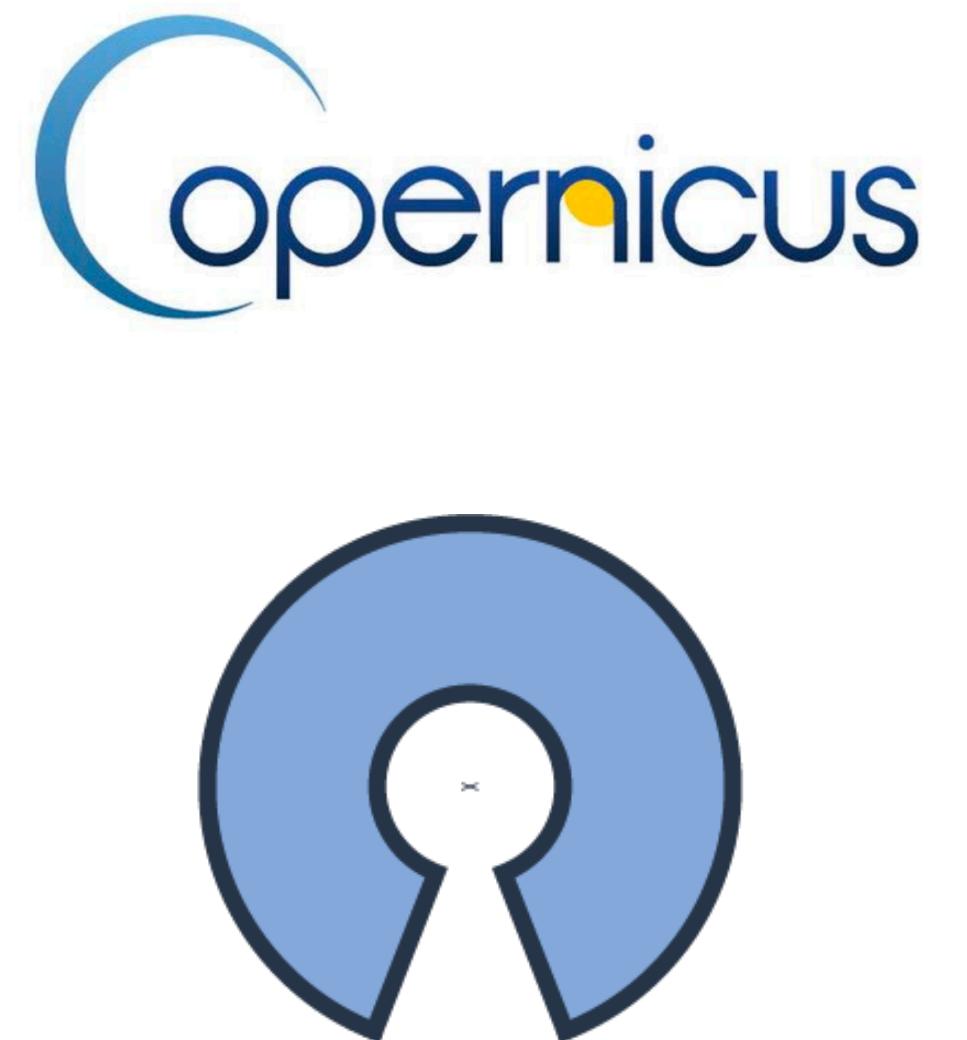
Energie



Alimentation

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

Le programme européen Copernicus



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

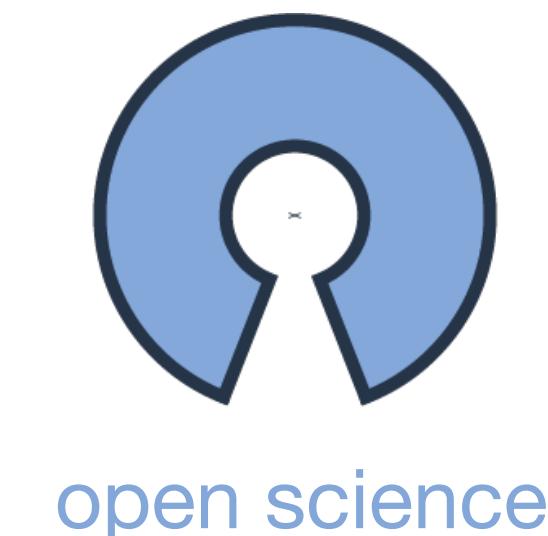


Almost
9 in 10

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



Les nouveaux fronts du dénialisme et du climato-scepticisme

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

David Chavalarias, Paul Bouchaud
Victor Chomel, Maziyar 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

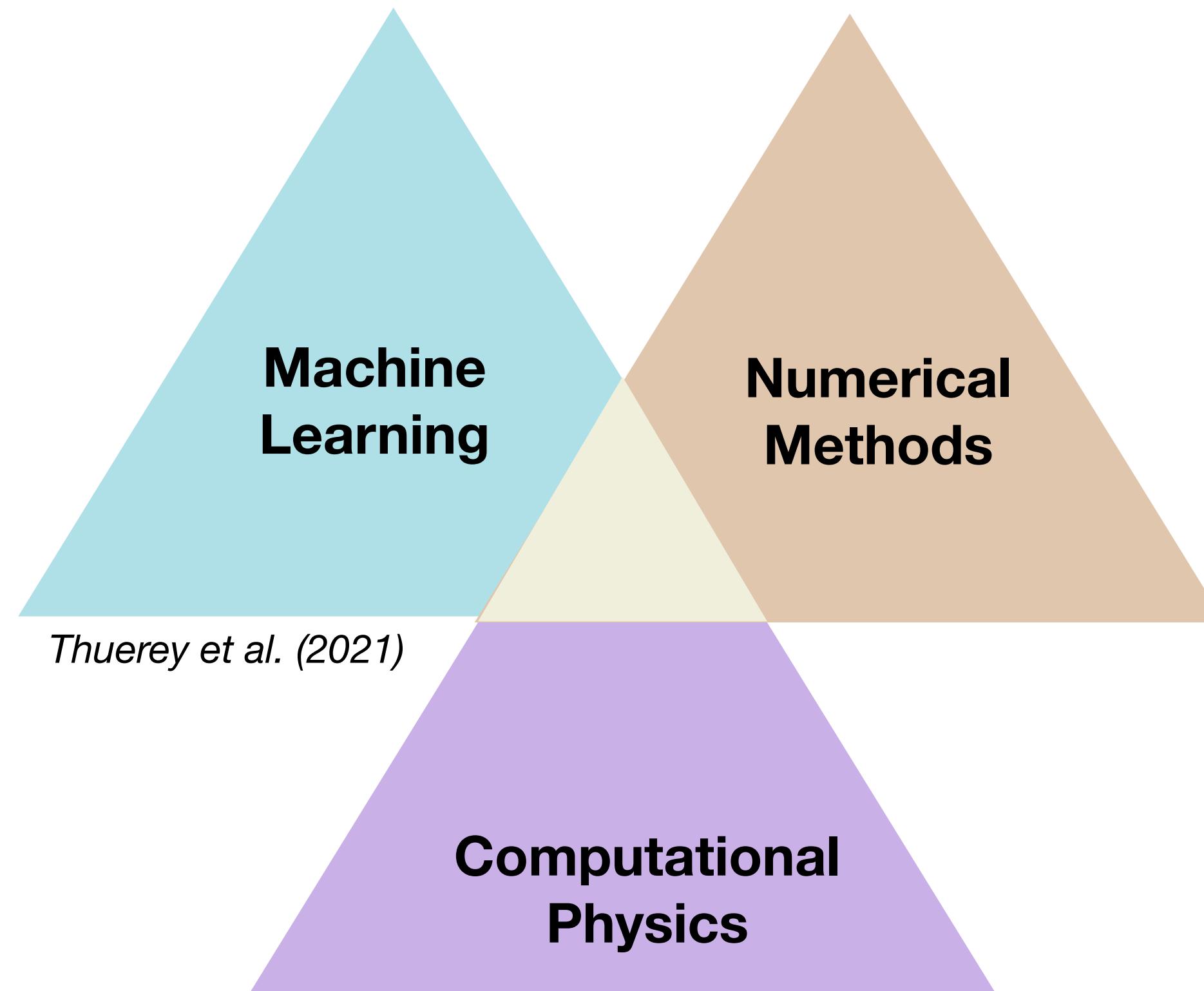
<https://pepr-traccs.fr/>

The logo for TRACCS (Transformer la modélisation du climat pour les services climatiques) features a globe and two small human figures. The background is a vertical bar chart with a color gradient from blue to red. The text 'TRACCS - Transformer la modélisation du climat pour les services climatiques' is displayed, along with 'Climate Data and Analytics · 2K followers · 11-50 employees' and a small bell icon.

3.

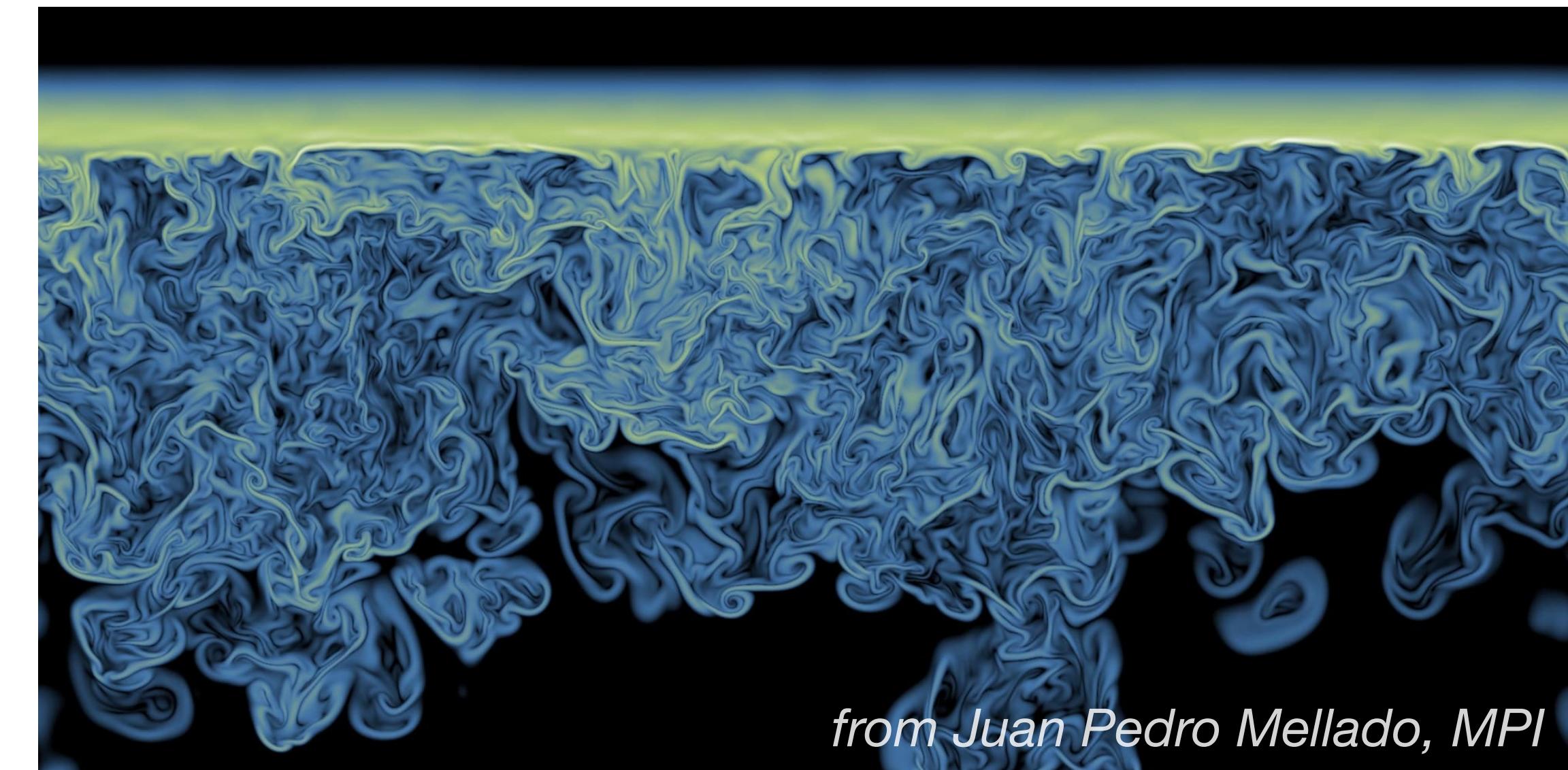
Comment l'IA affecte nos
modèles numériques

IA pour la modélisation de systèmes physiques



Scientific Machine Learning

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



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

IA pour la calibration des modèles physiques

Bayesian formulation

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

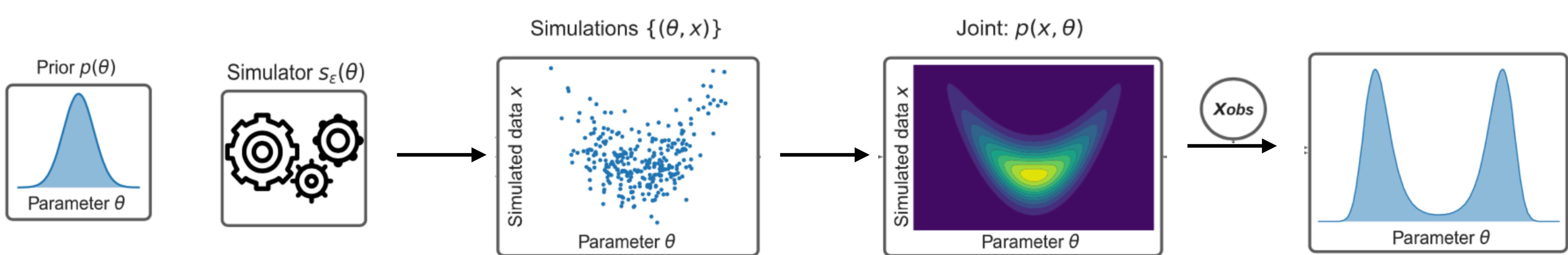
x observations
 θ parameters

$$p(\theta | x) = \frac{P(x | \theta)}{p(x)} p(\theta)$$

likelihood prior
posterior evidence

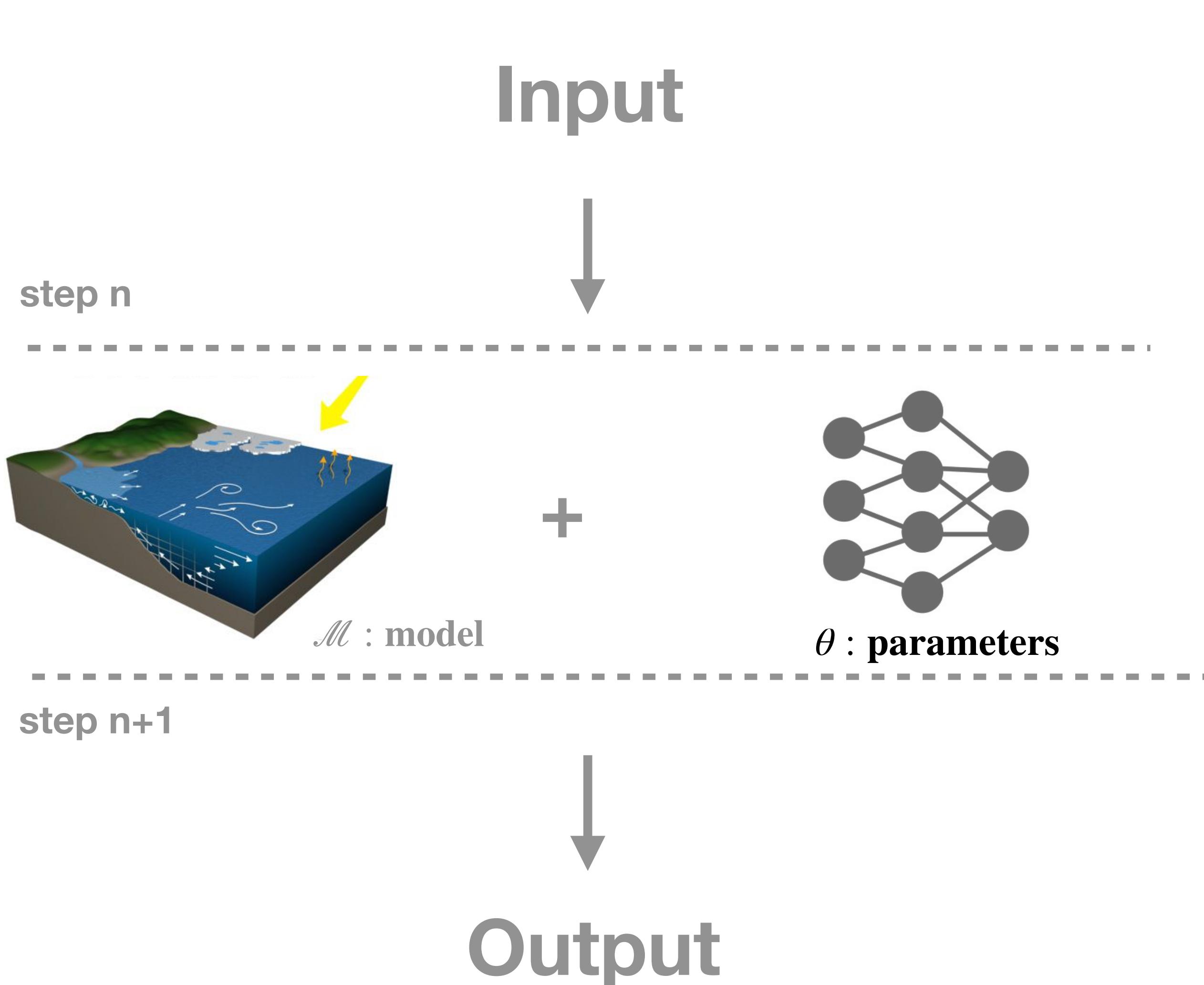


<https://sbi4c.inria.fr/>

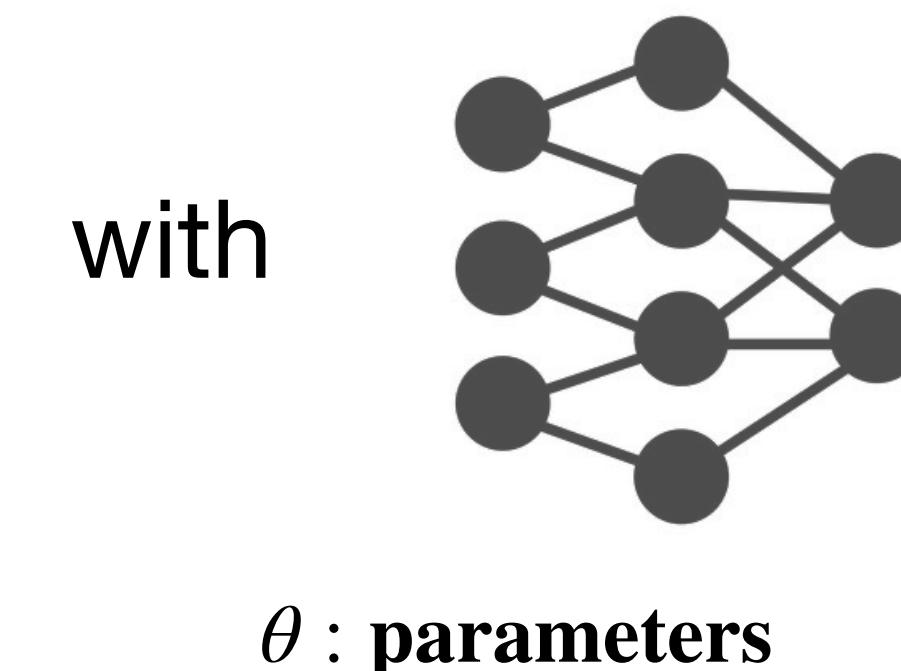


SBI : learn a representation of the **likelihood** + use variational inference to estimate the **posterior**

Composantes IA dans les modèles physiques



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



trained to minimise :

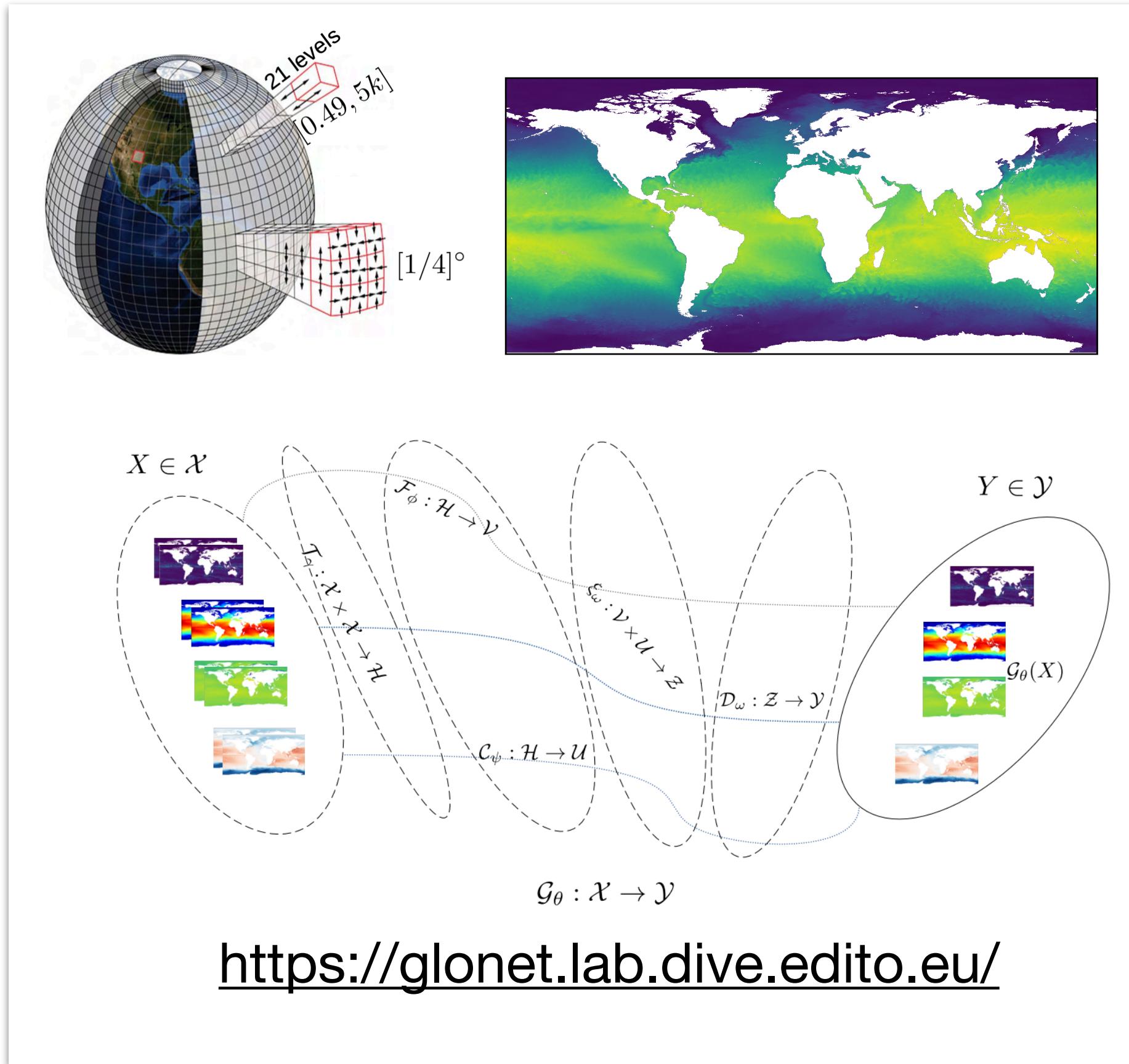
$$\mathcal{L}(\theta) = \text{training objective}$$

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

NB : does not have to be deterministic

Emulateurs IA de modèles et de réanalyses

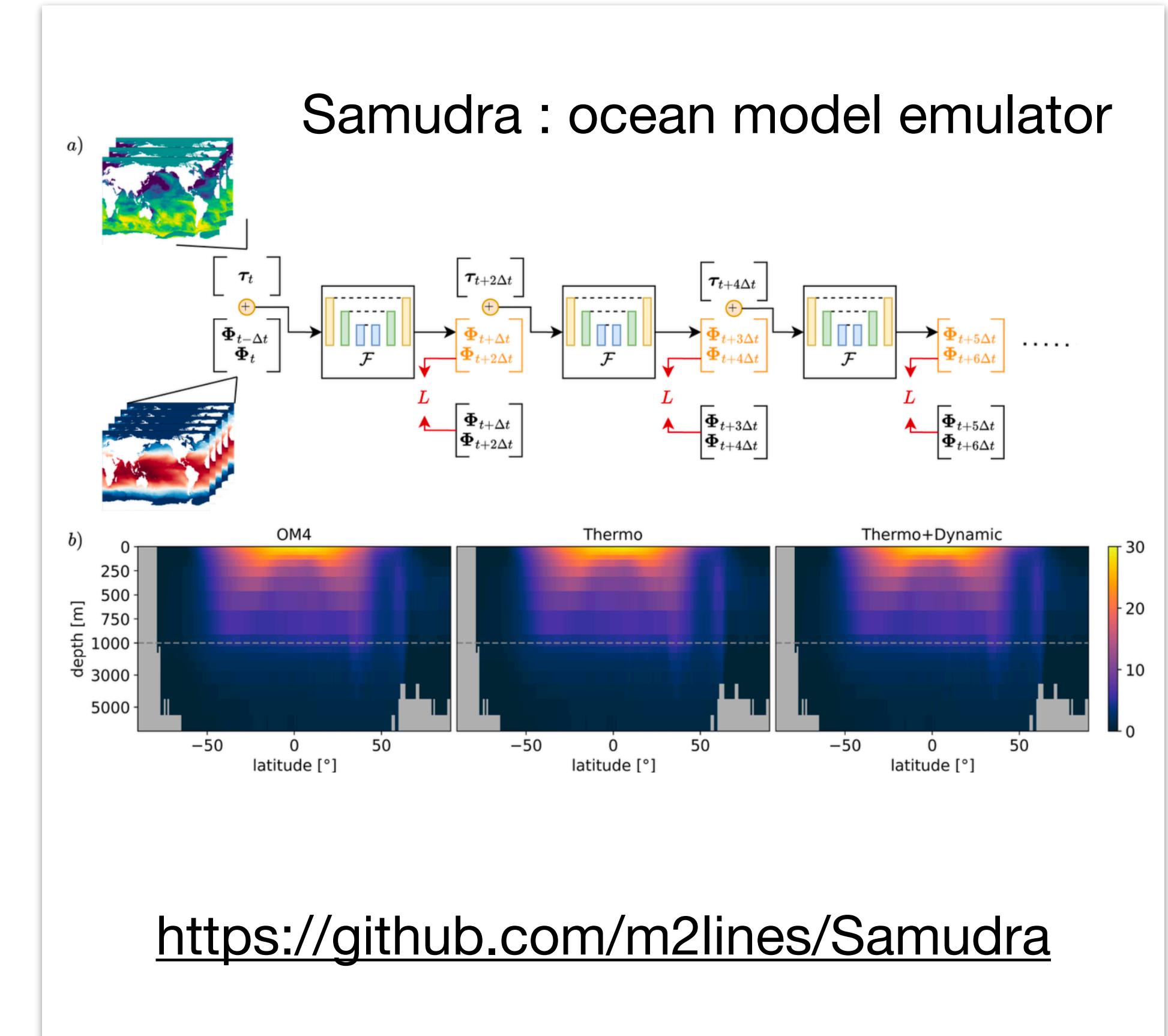
Prediction court terme



El Aouni et al. 2024

<https://arxiv.org/abs/2412.05454>

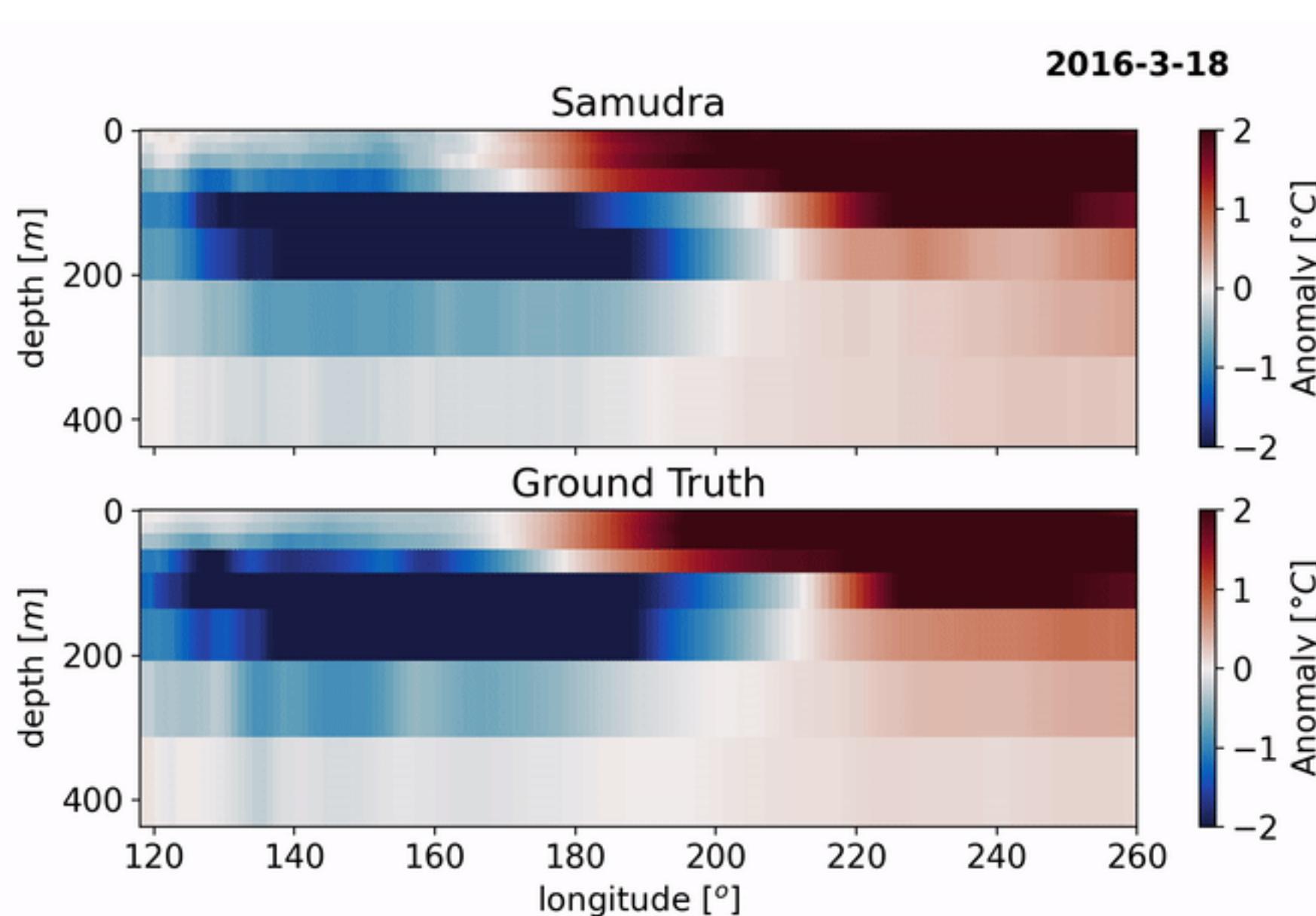
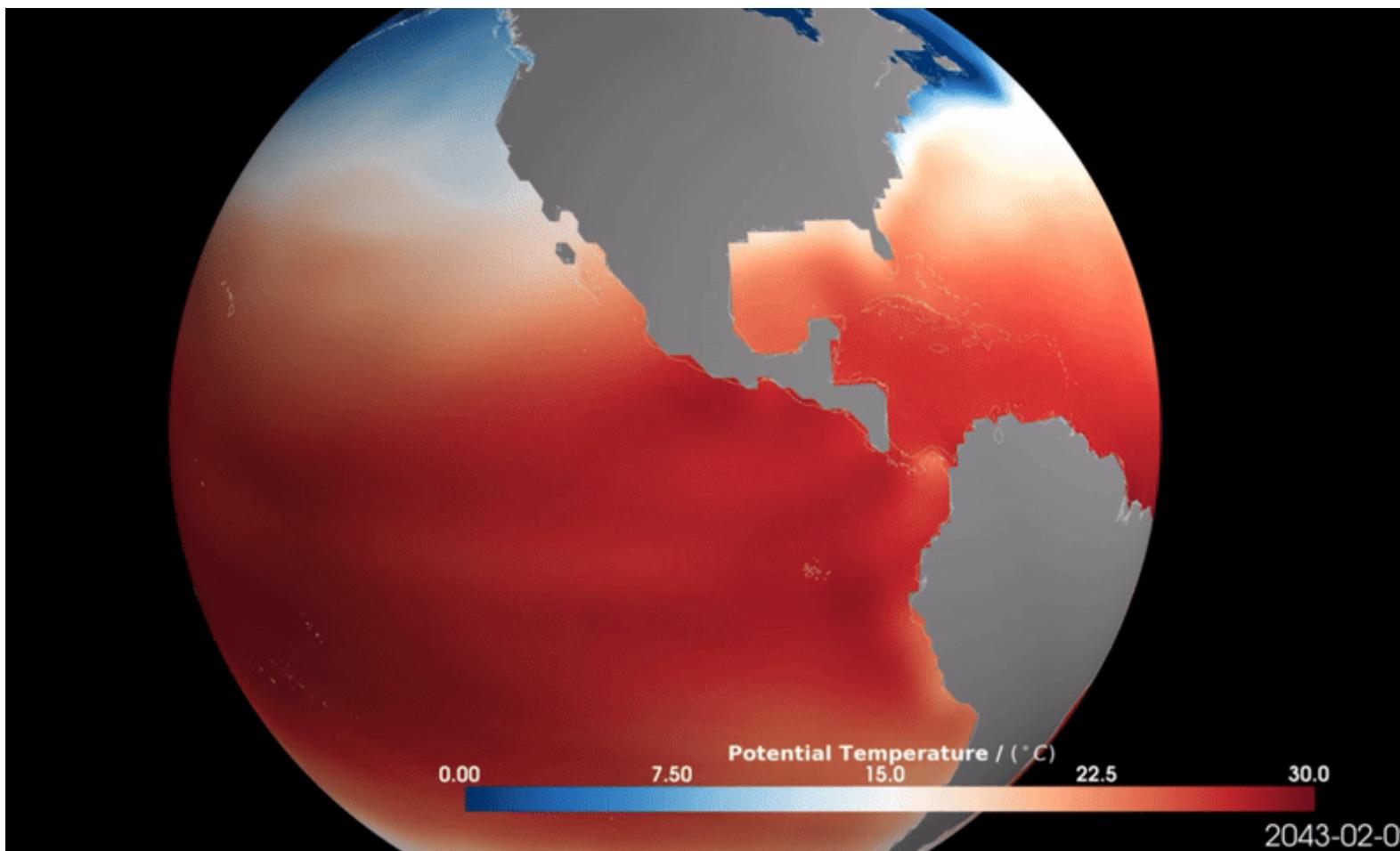
Modélisation climatique



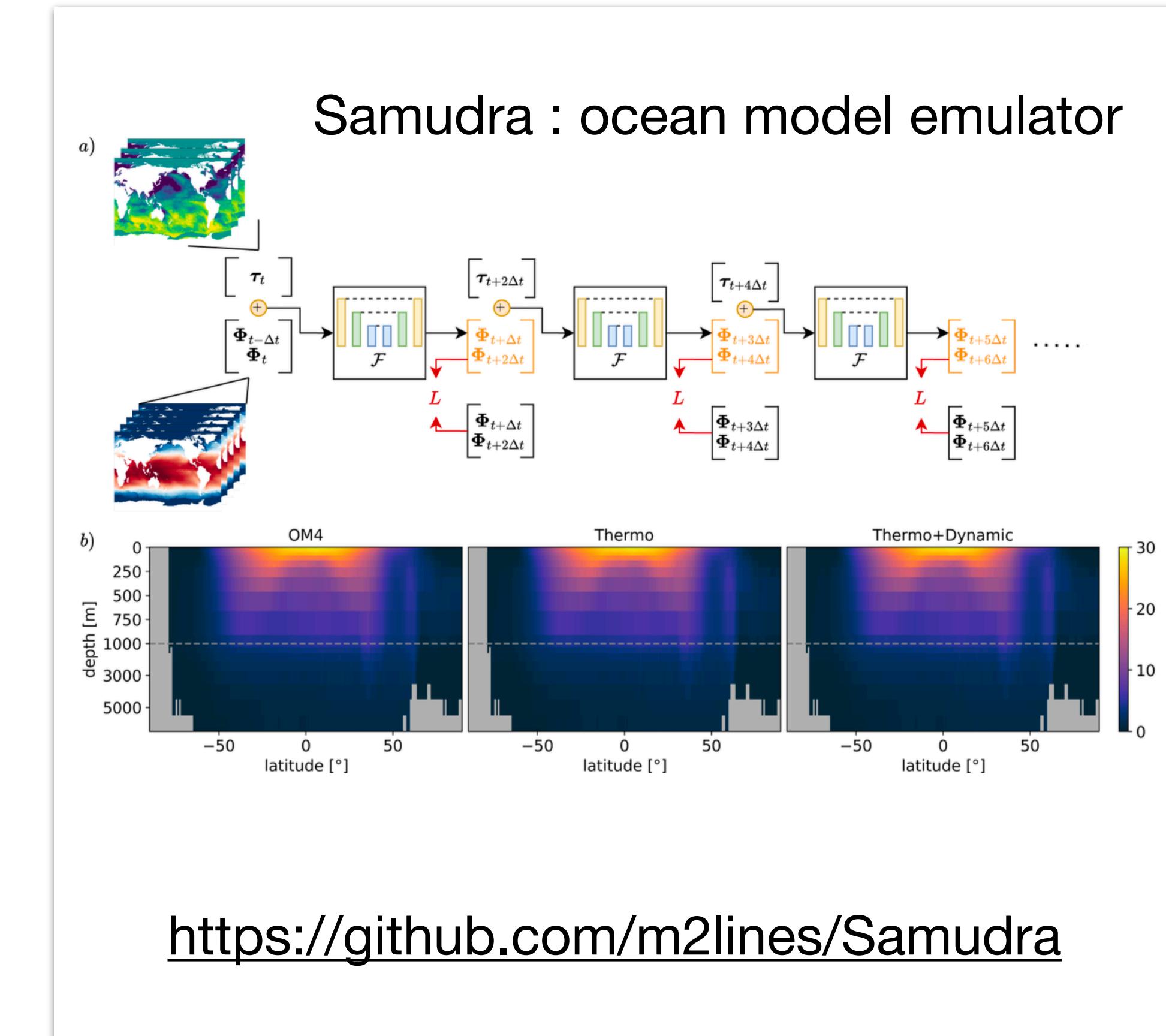
Dheeshjith et al. 2025

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

Emulateurs IA de modèles et de réanalyses



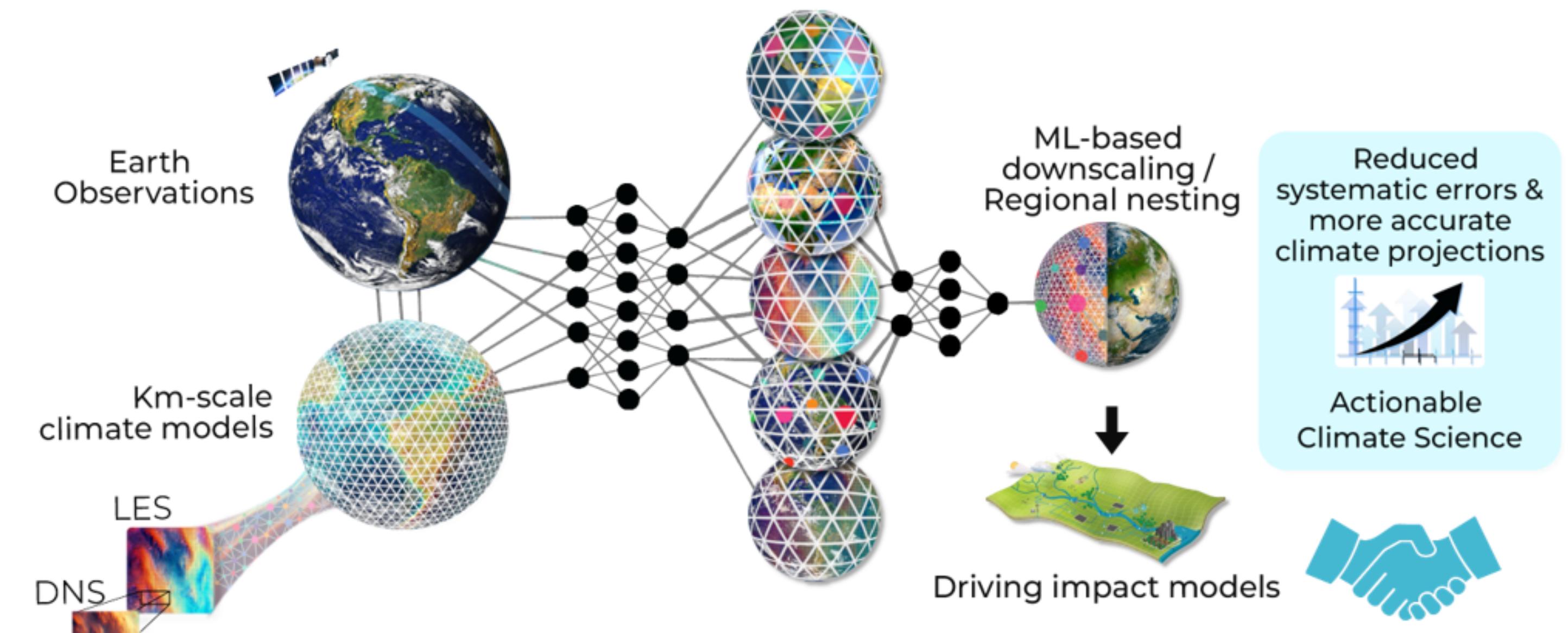
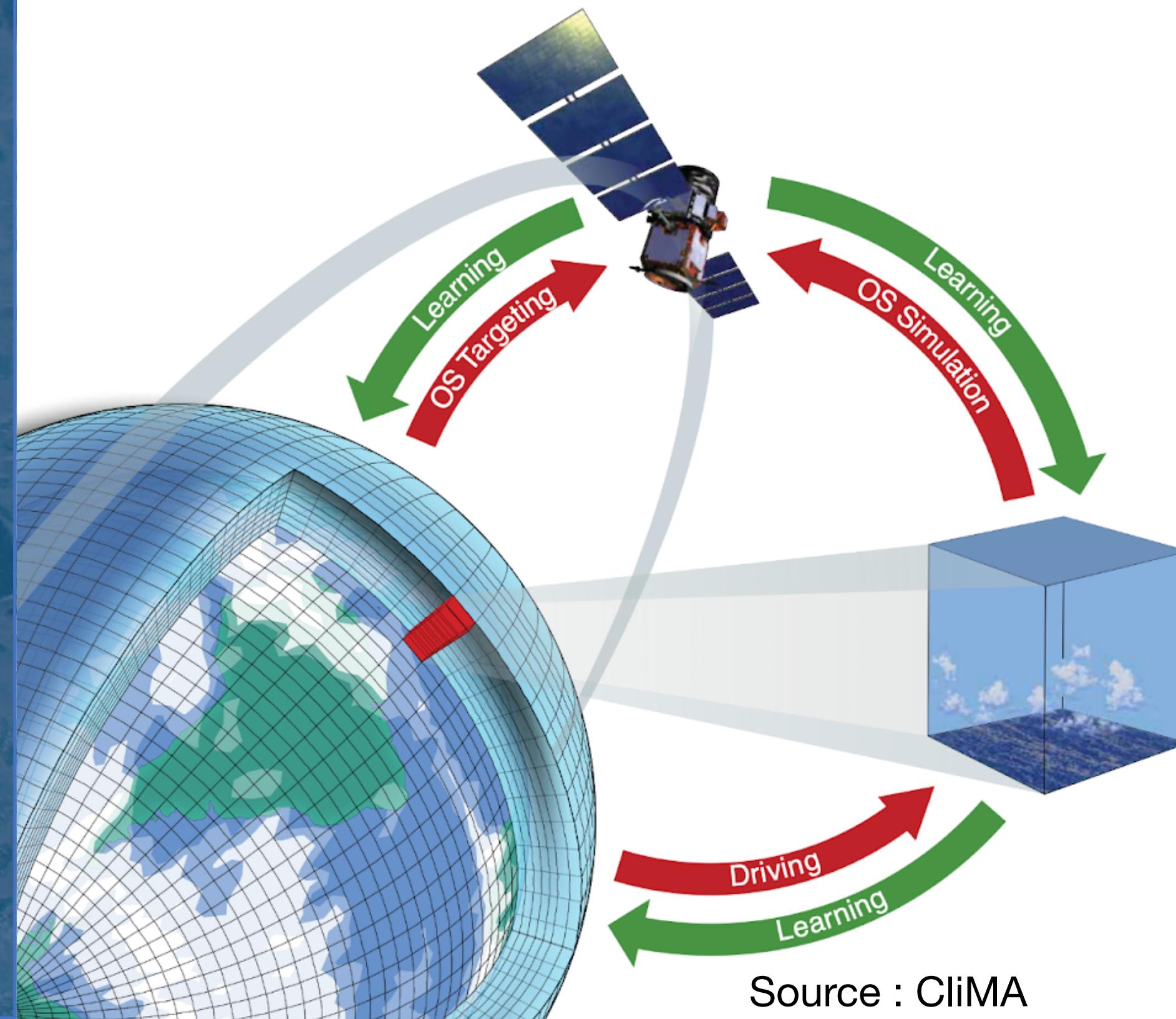
Modélisation climatique



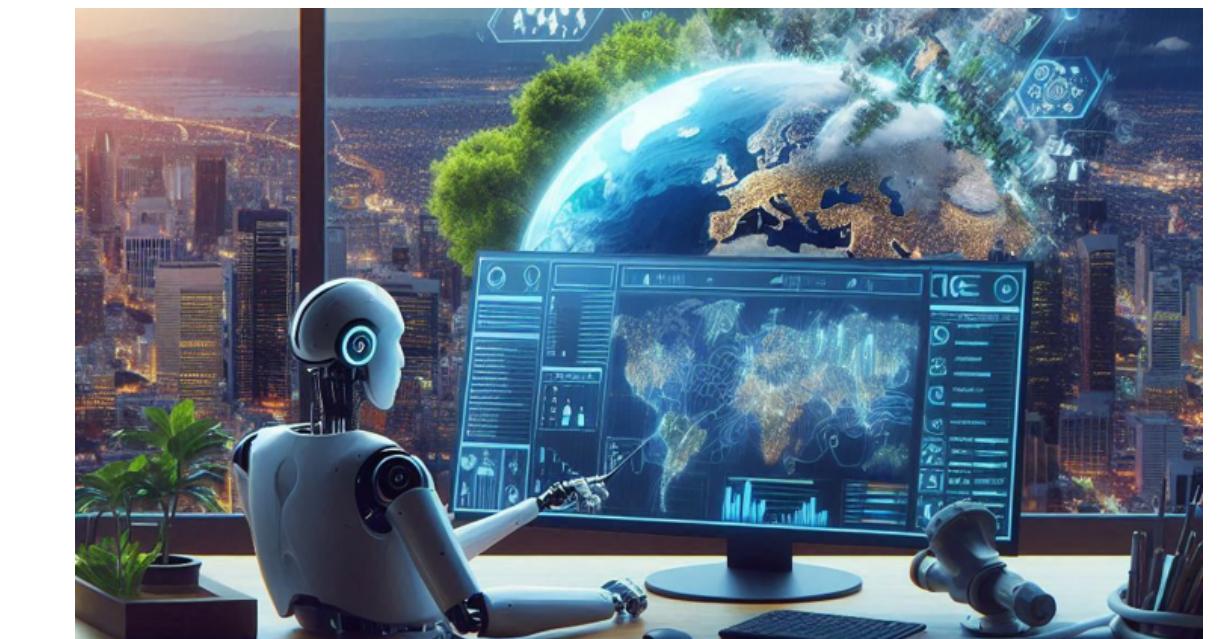
Dheeshjith et al. 2025
<https://doi.org/10.1029/2024GL114318>

Une nouvelle génération de modèles de climat ?

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



des modèles adaptés aux services climatiques ?



4.

Comment l'IA questionne
nos disciplines

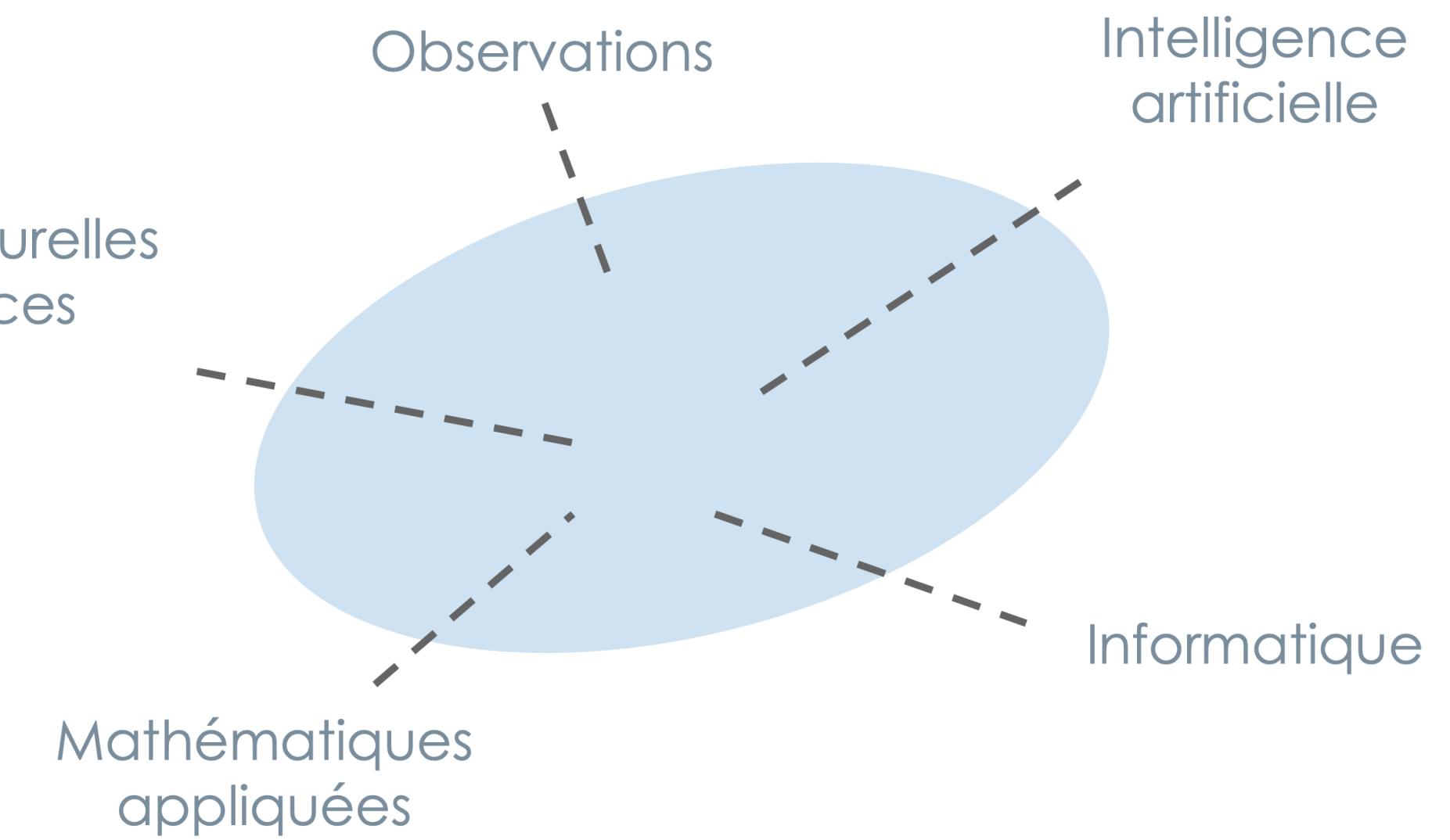
Dans nos interactions interdisciplinaires



De nouveaux partenaires académiques

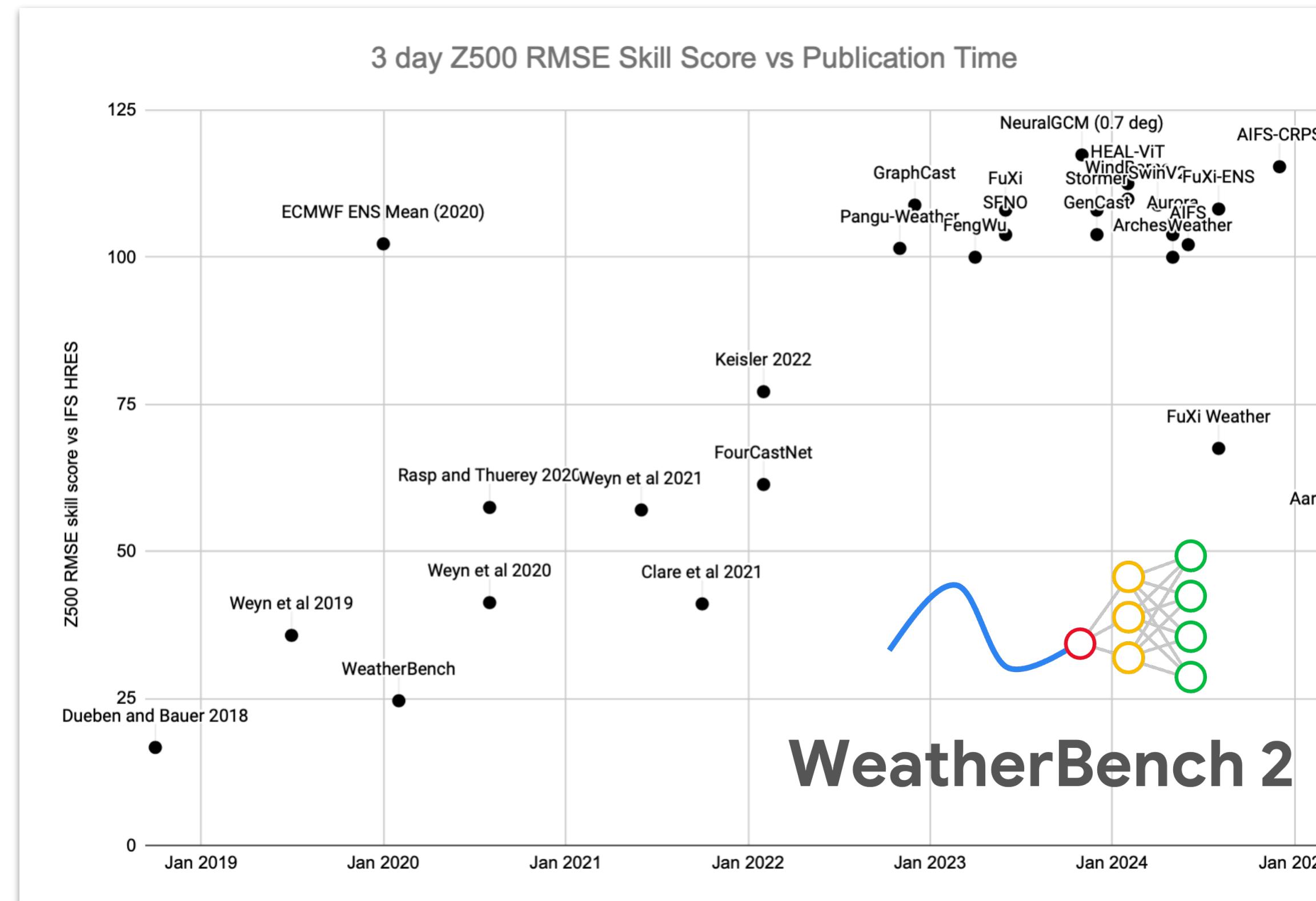
De nouvelles manières de travailler

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



Google Research



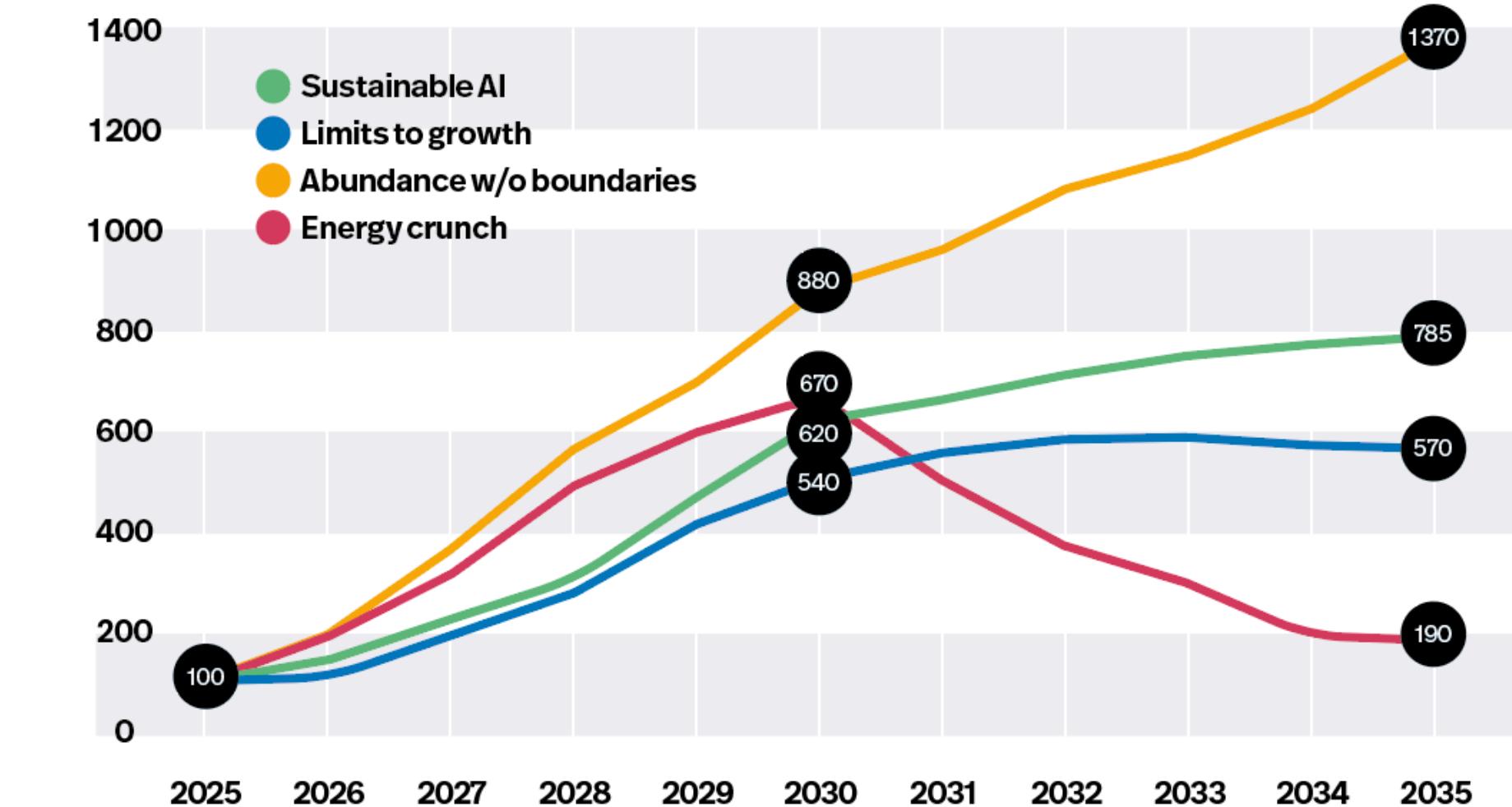
Rasp : <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.28083515.v1>

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 cœur 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



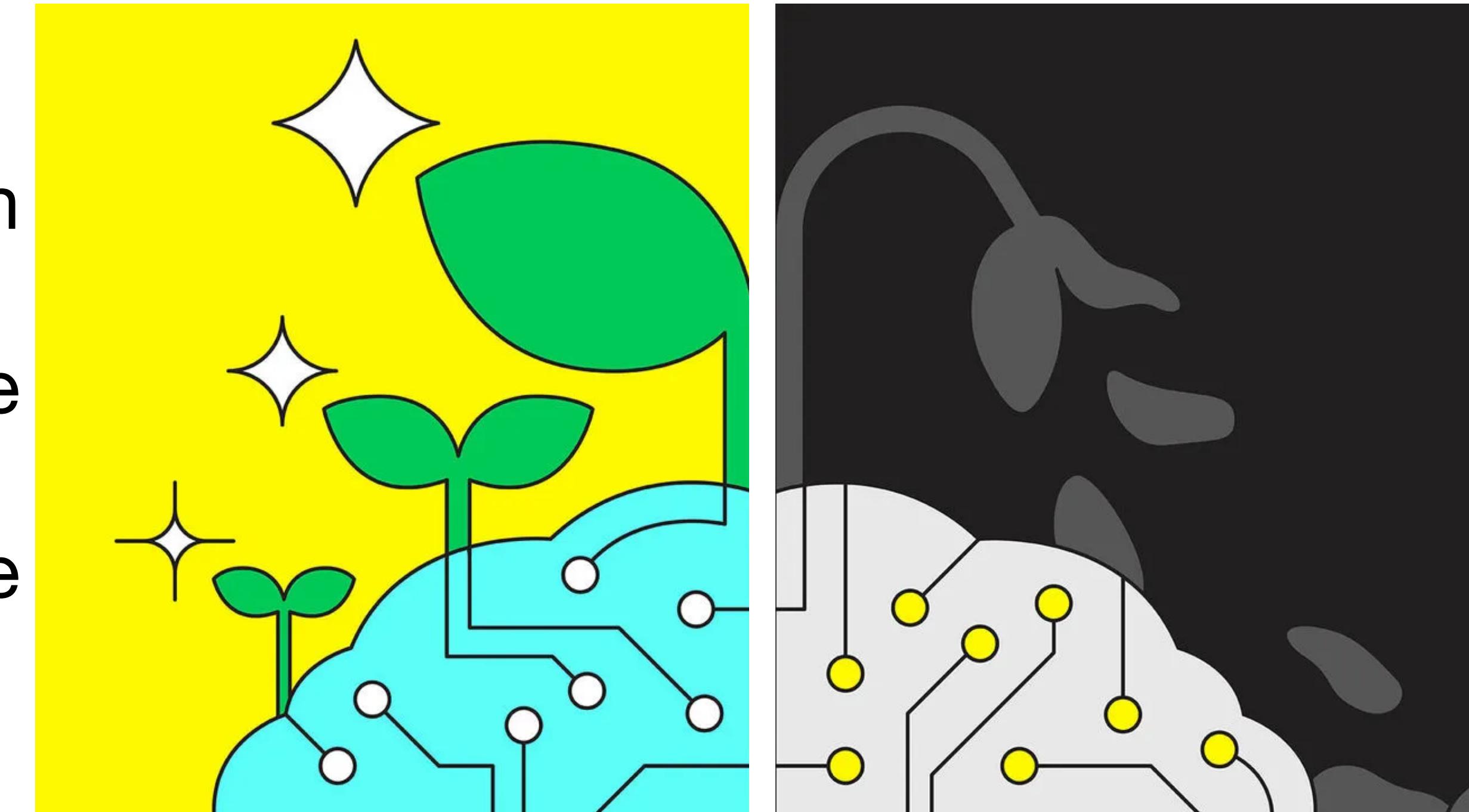
- Questionnement sur la scientificité,
- ... sur l'impact environnemental et la parcimonie
- Risque de perte d'expertise sur processus physique
- Fossé de générations dans l'adoption approches IA
- Risque de perte de sens (ex : métiers supports)
- Evolution des besoins de support ingénieurs

5.

**Promouvoir une IA
ouverte et responsable**

IA et géosciences : plusieurs futurs possibles

meilleure information
plus accessible
peu coûteuse

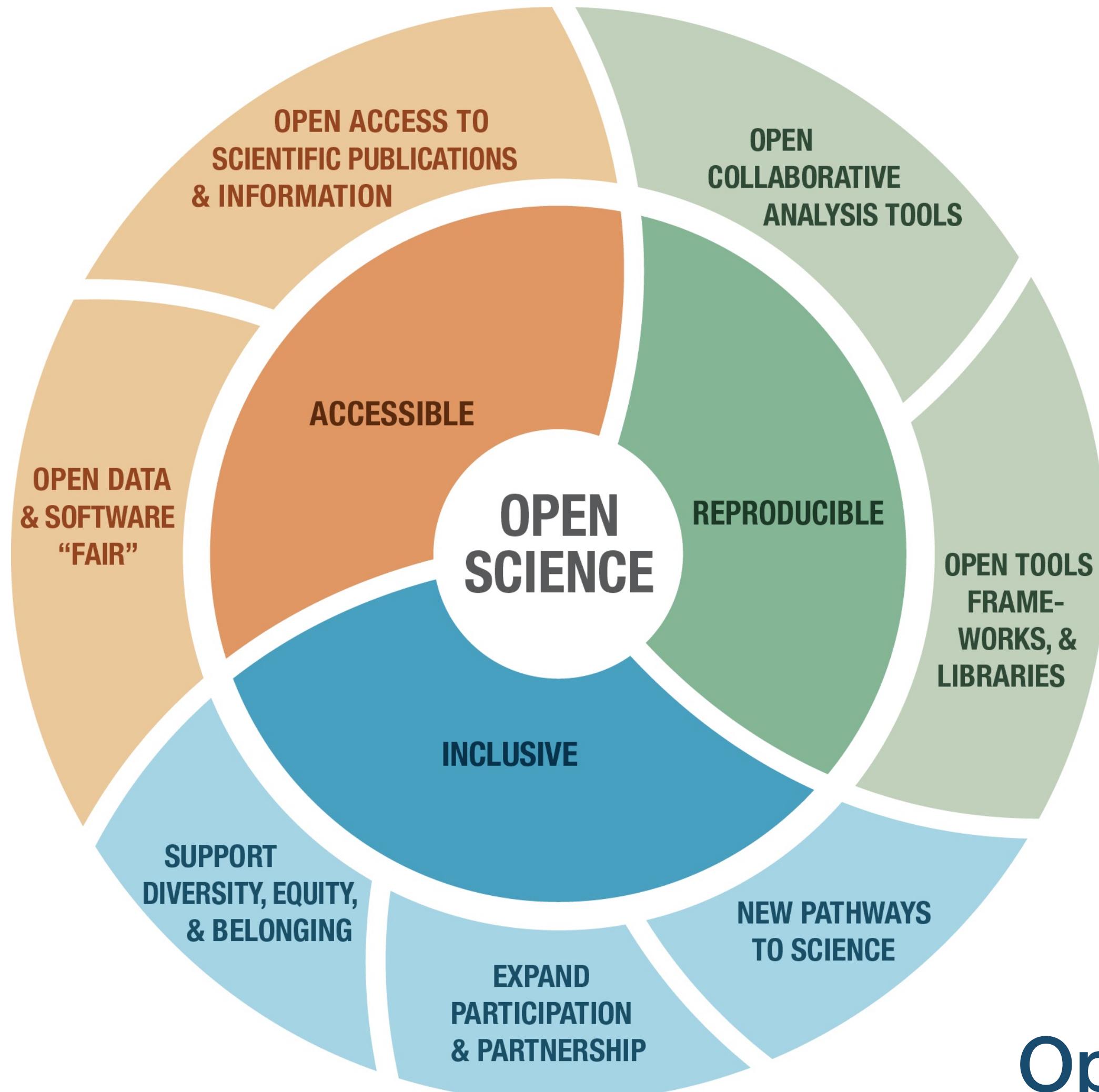


info non qualifiées
perte confiance
energivores

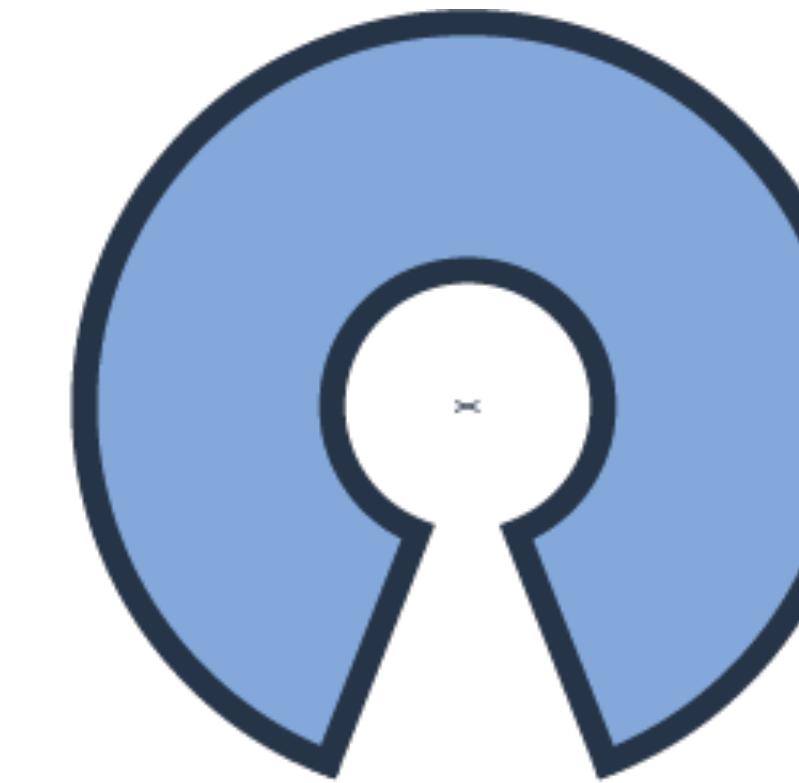
source : The Economist, avril 2025

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

Promouvoir l'ouverture des codes et modèles



source : open-models.org

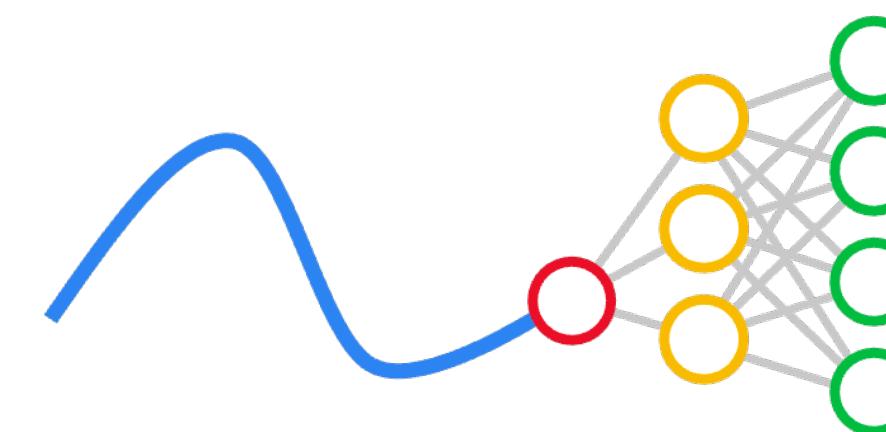


modèles, paramètres, pipelines
standards ouverts et interopérables

Opportunité d'améliorer le design de nos
systèmes numériques

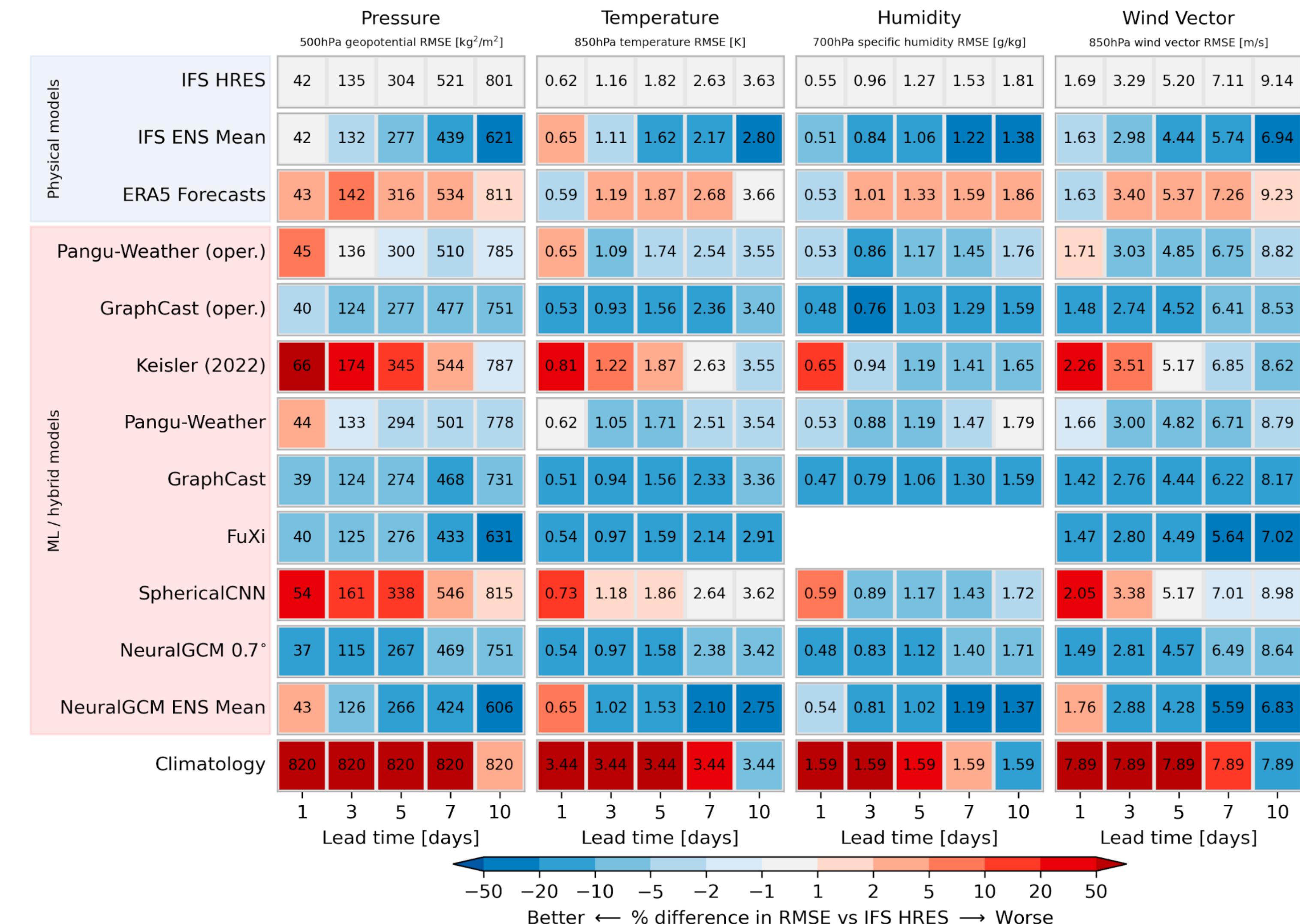
Développer des cadres d'évaluation ouverts

Partage de cadre de benchmark



WeatherBench 2

Stephan Rasp et al, 2023
sites.research.google/weatherbench



OceanBench :

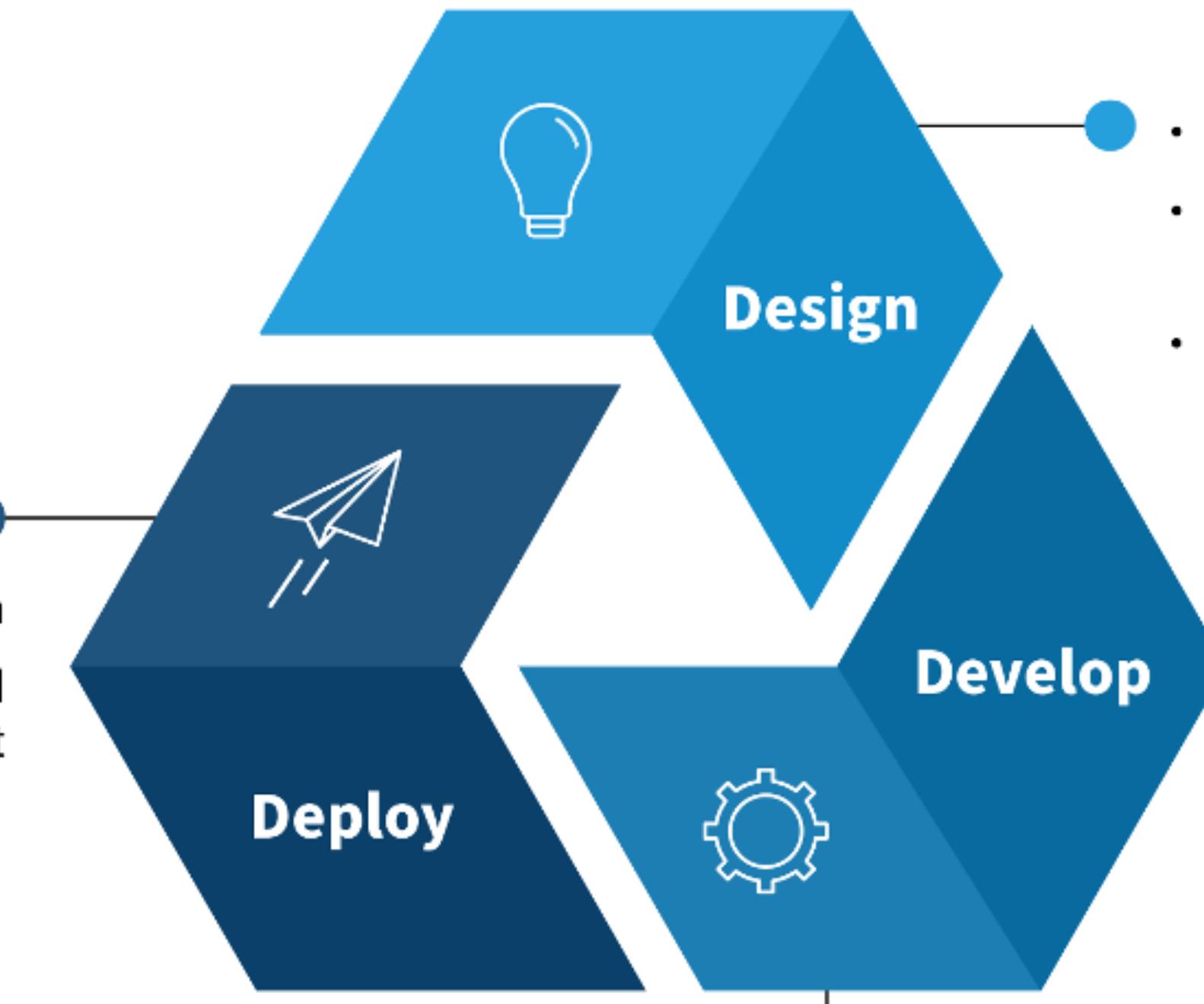
<https://oceanbench.lab.dive.edito.eu/>

Prendre en compte l'impact environnemental



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

Consommation électrique



source : <https://coe.gsa.gov/>

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



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