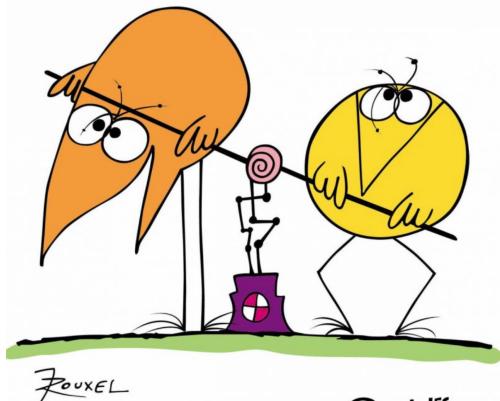




L'océan et le carbone Et les shaddocks pompaient, pompaient

Ils pompaient... ils pompaient.



Marina Lévy

Directrice de recherche CNRS

Directrice adjointe du département Ocean de IRD
LOCEAN-IPSL, Sorbonne Université, Paris, France



French National Research Institute for Sustainable Development

A large school of yellowfin tuna swims through the deep blue ocean. The fish are silvery-blue with prominent yellow stripes along their sides and fins. They are densely packed, creating a sense of movement and depth.

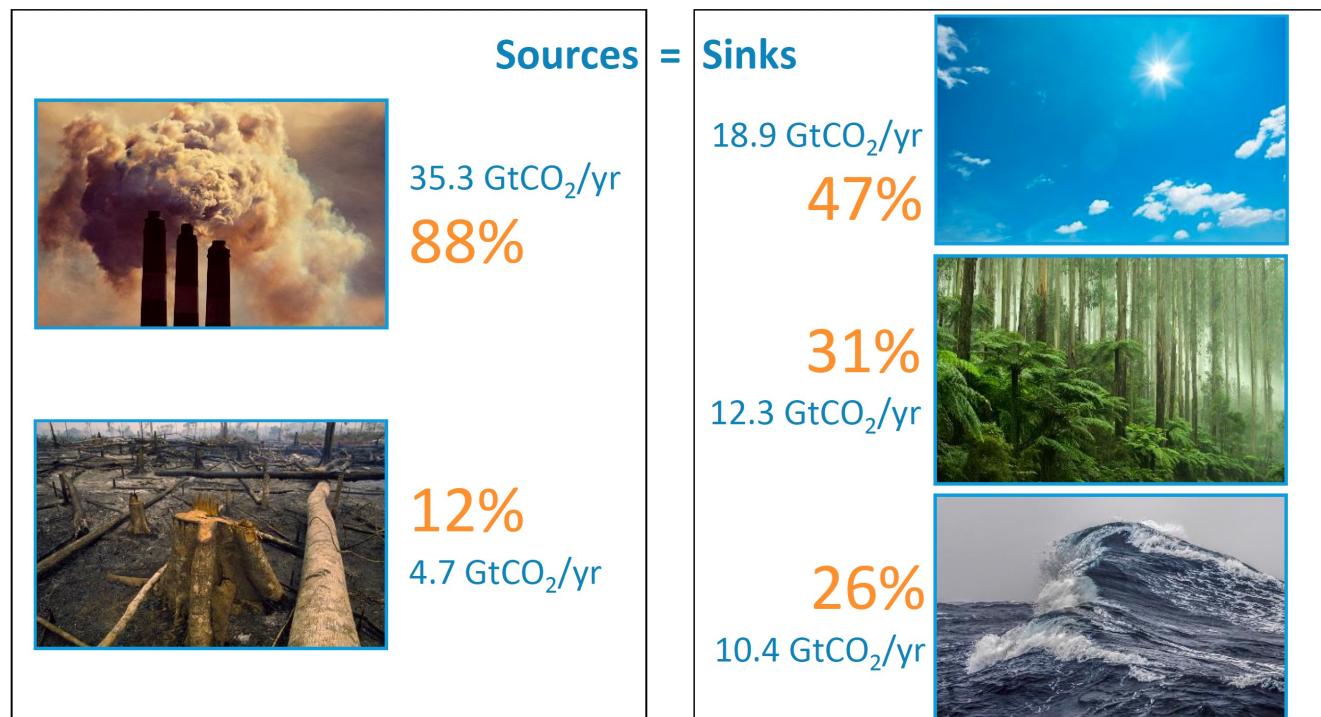
Les puits naturels de carbone par l'océan

L'océan a capturé 26% des émissions anthropiques de CO₂

- Phénomène naturel et abiotique
- Abiotique car dans l'océan la photosynthèse n'est pas limitée par le CO₂



Fate of anthropogenic CO₂ emissions (2013–2022)

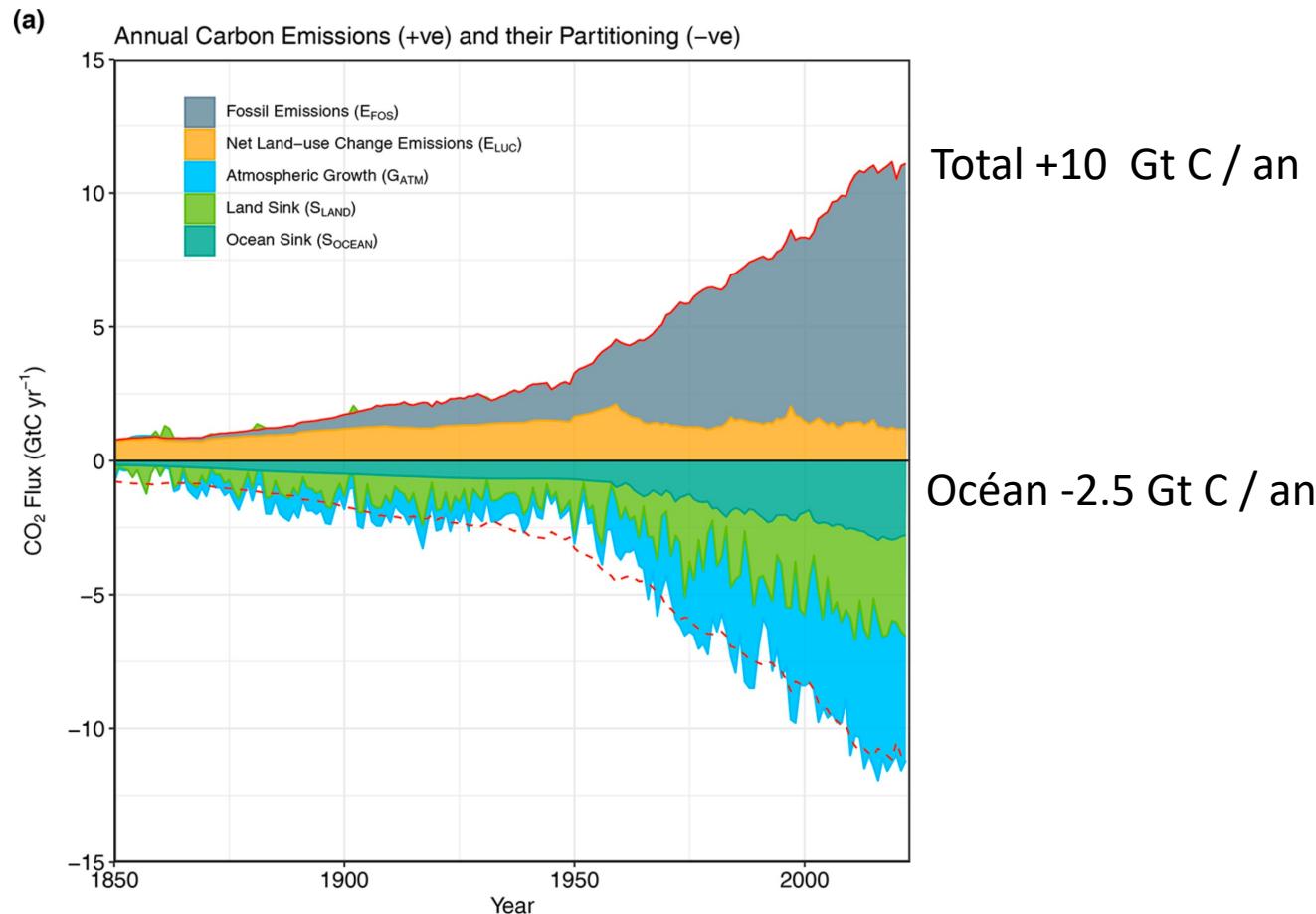


Budget Imbalance:
(the difference between estimated sources & sinks)

4%
-1.6 GtCO₂/yr

Le puits océanique de carbone anthropique pourrait se fatiguer

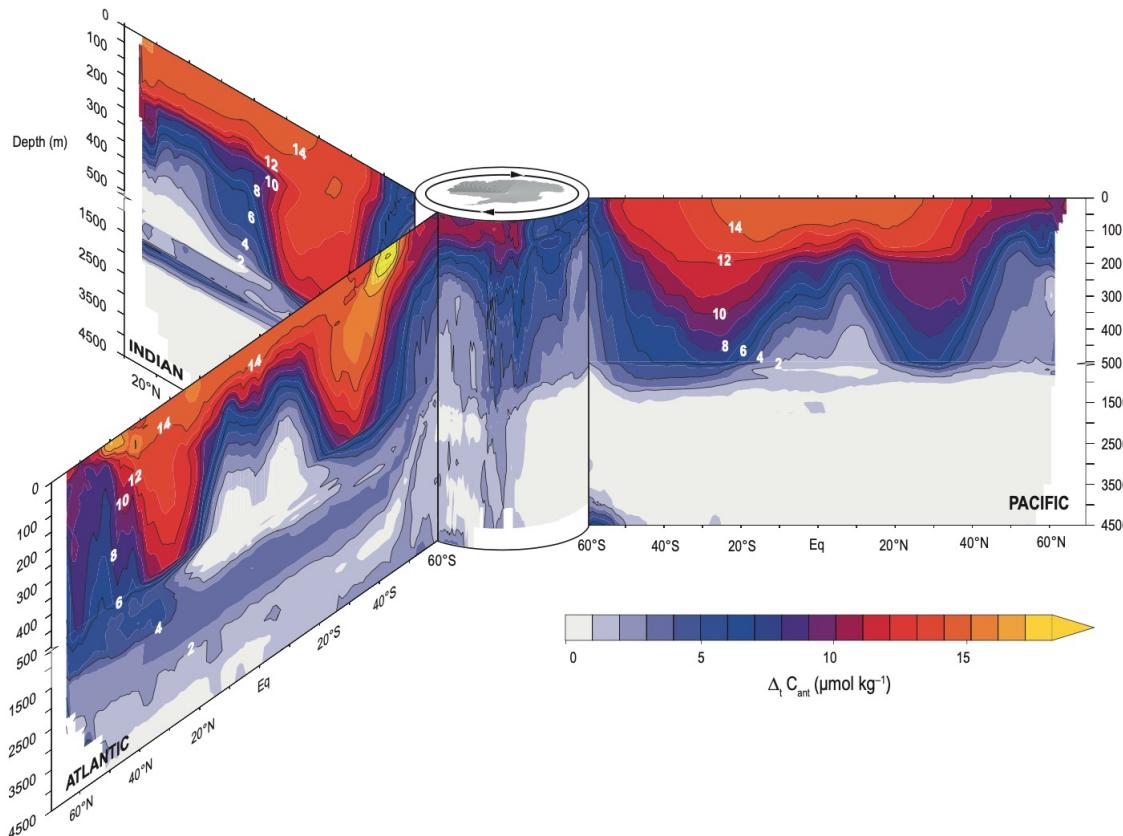
- Flux net augmente depuis le début de l'ère industrielle
- Efficacité du puits océanique de carbone risque de diminuer (saturation, réchauffement)



Le CO₂ anthropique pénètre dans l'océan

Phénomène physico-chimique

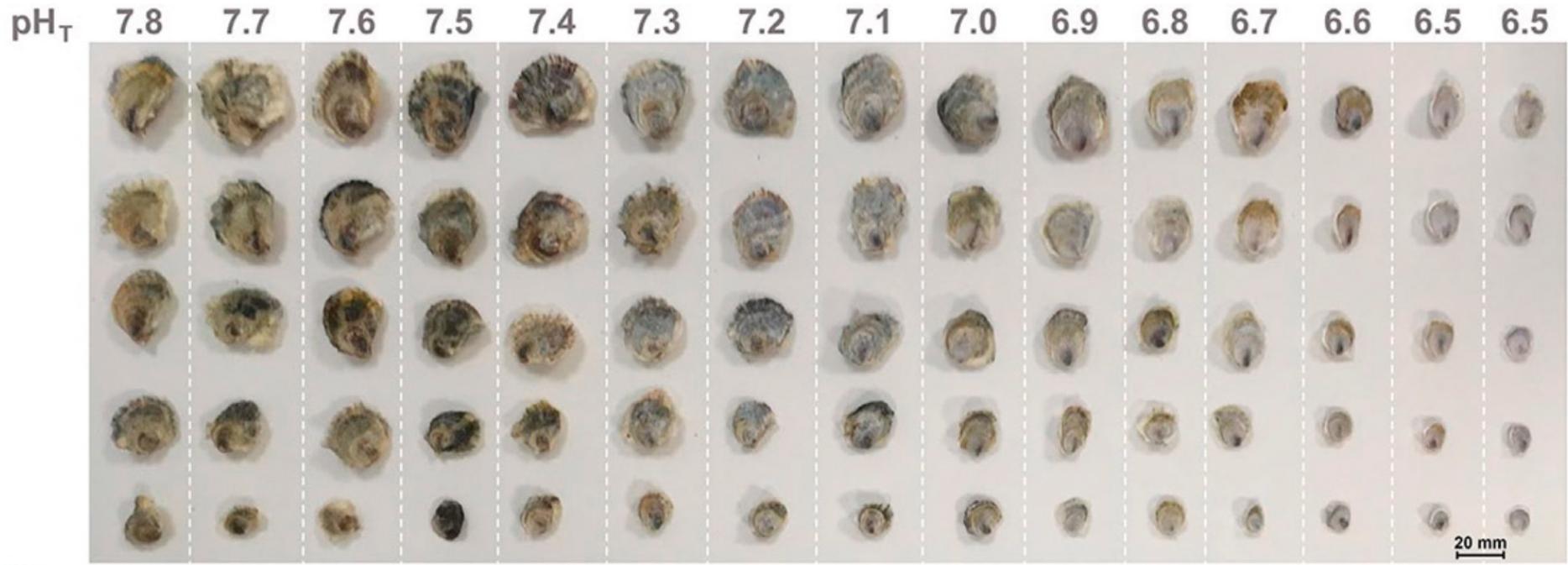
1. Echange à l'interface par équilibre gazeux
2. Dissolution dans eaux froides : 40% dans l'océan Austral
3. Pénétration à l'intérieur de l'océan lié à la circulation des eaux



Conséquence: l'océan devient plus acide

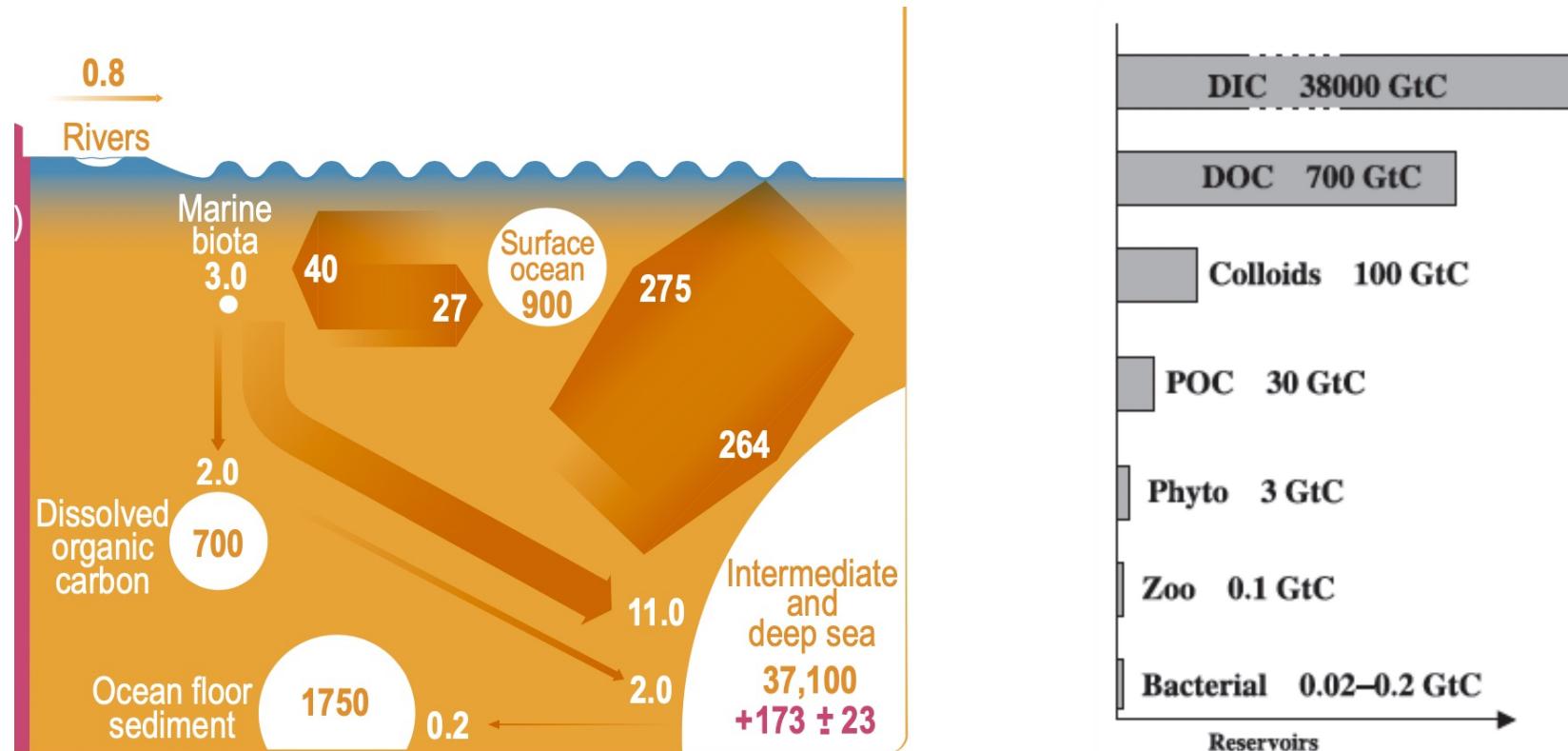
+20 à 30 %

Faible tolérance de certains coquillages et coraux



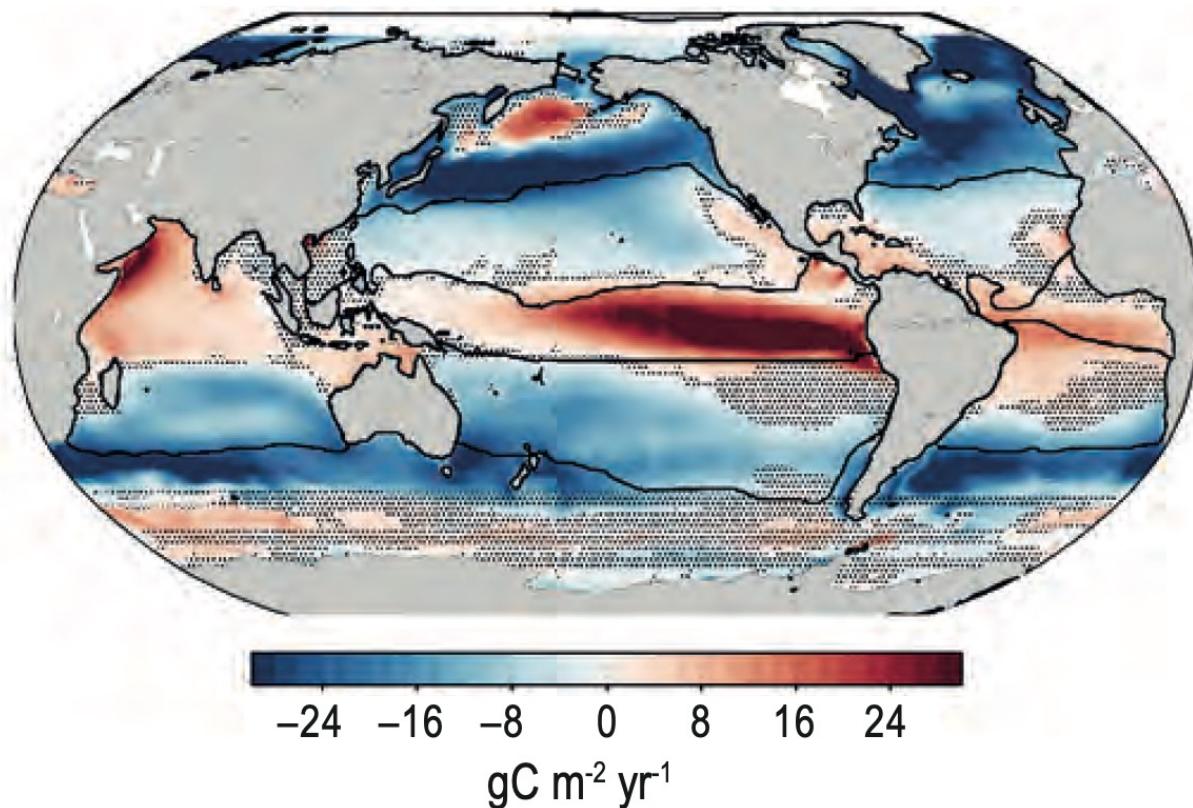
Le carbone anthropique est une fraction du STOCK de carbone dans l'océan

- Océan: énorme réservoir de carbone : **38 000 GtC**
- 50 fois plus de carbone que dans l'atmosphère
- Carbone anthropique dans l'océan: **173 +/- 23 GtC** : < 0.5% du total
- Biomasse marine: 3 à 6 GtC



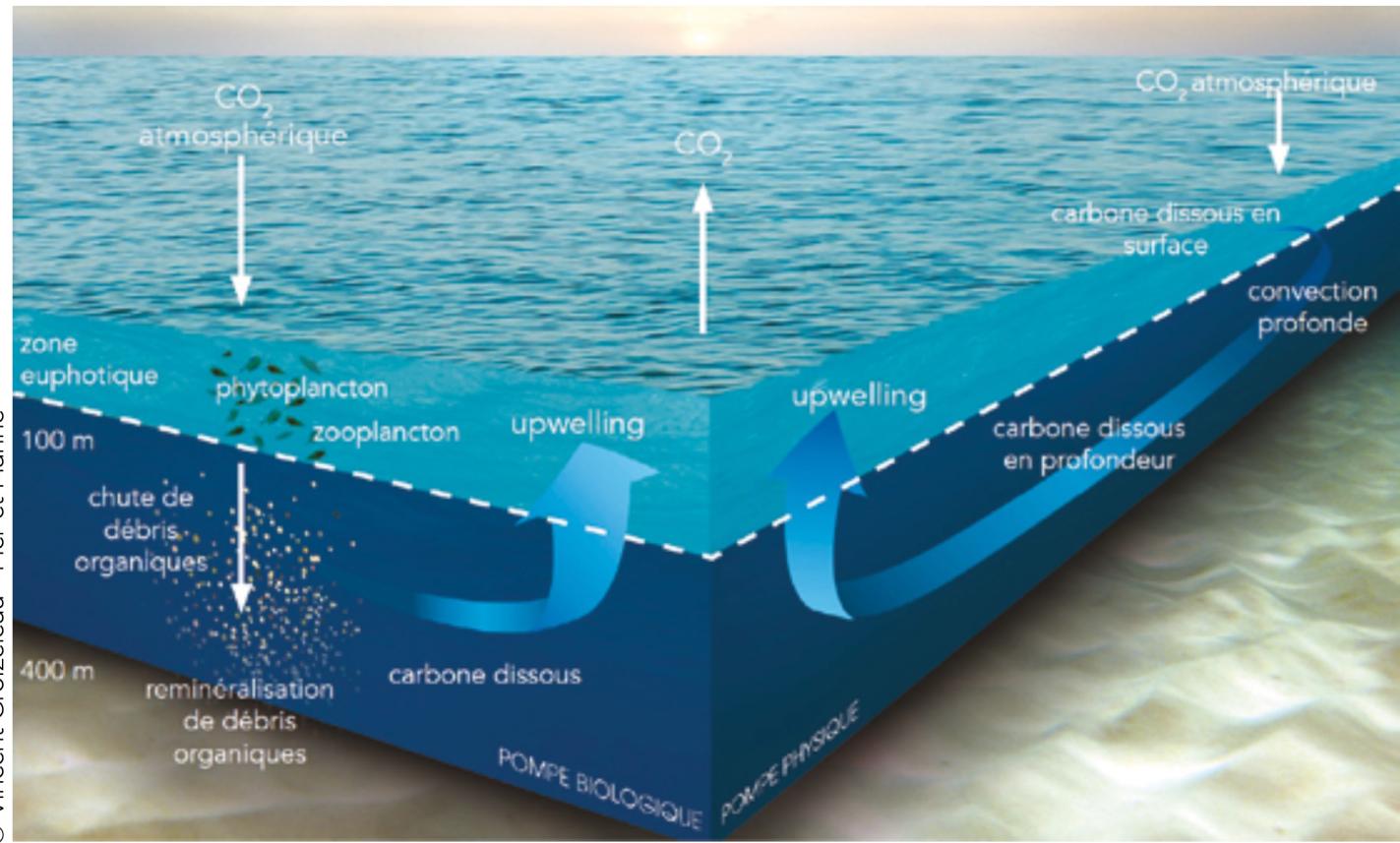
Le FLUX net de CO₂ vers l'océan est un faible résidu entre des flux naturels forts dans les deux sens

(a) Net air-sea flux (F_{net}) of CO₂ (1994–2007)



Cycle naturel du carbone dans l'océan

Pompes biologiques et physique de carbone



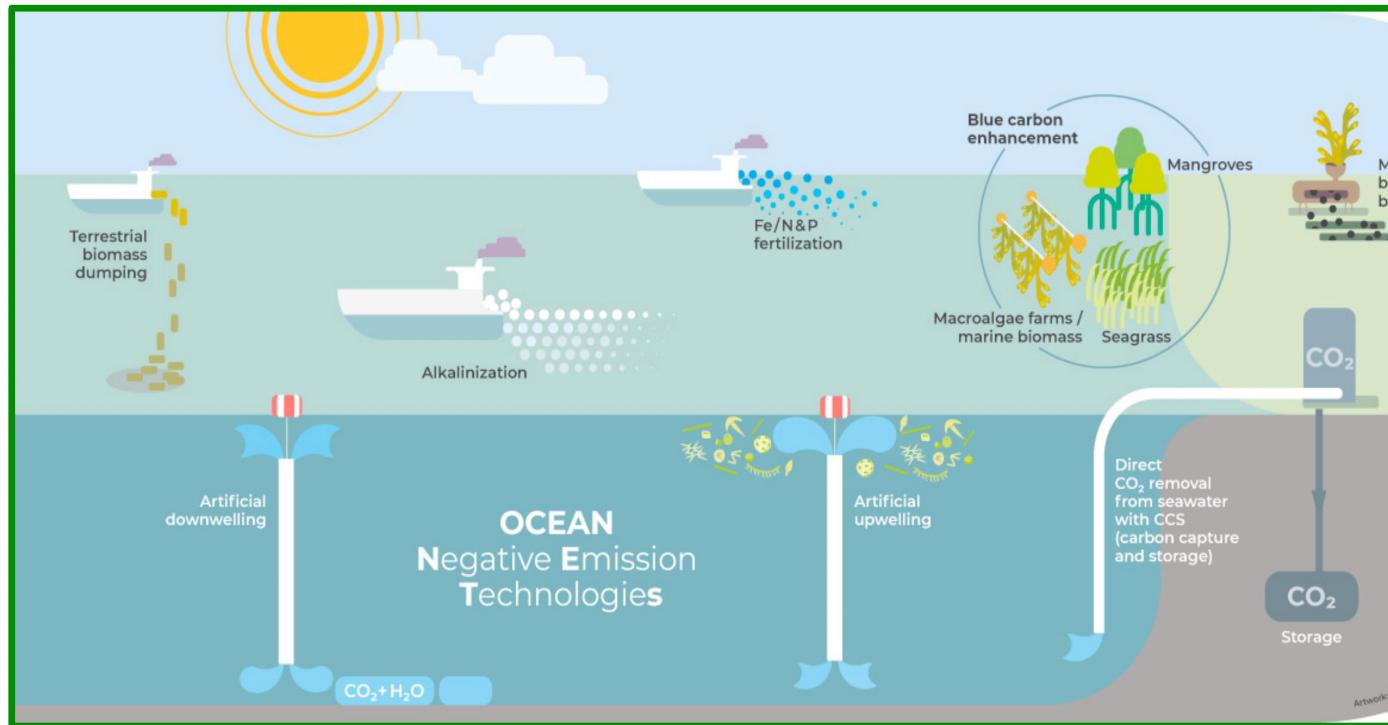
- Déséquilibre de la pompe physique lié à l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère
- Déséquilibre des deux pompes liés au changement climatique

The background image shows a dense school of yellowfin tuna swimming in the deep blue ocean. The fish are silvery-blue with prominent yellow fins and stripes along their sides. They are moving in various directions, creating a sense of dynamic movement. The water has a slightly textured appearance with some light reflections.

**Peut-on augmenter artificiellement
les puits océaniques de carbone?**

Des techniques de captations artificielles de CO₂ en gestation

CDR: Carbone Dioxyde Removal

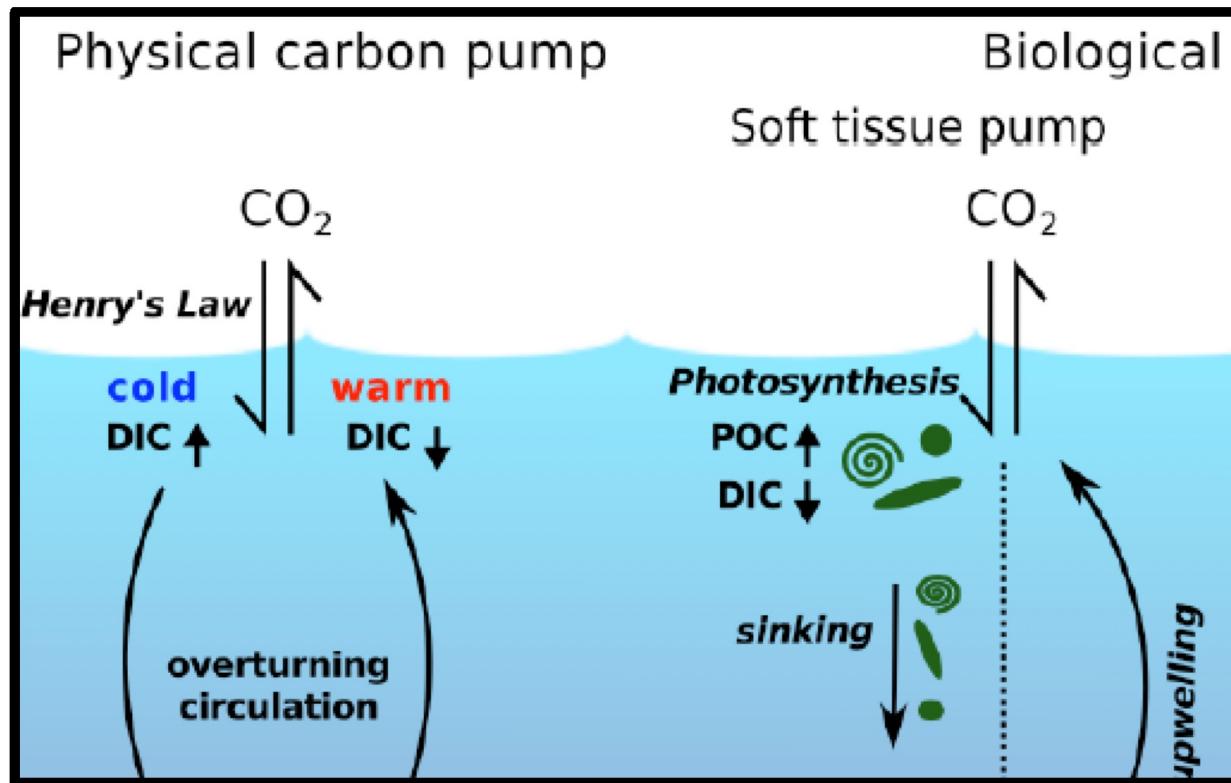


OceanNet, GEOMAR

1. Efficacité grande échelle non démontrée
2. Difficulté à concevoir le Monitoring, Reporting and Verification: MRV
3. Effets collatéraux (positifs ou négatifs) non évalués

Des techniques de captations artificielles de CO₂ en gestation

CDR: Carbone Dioxyde Removal

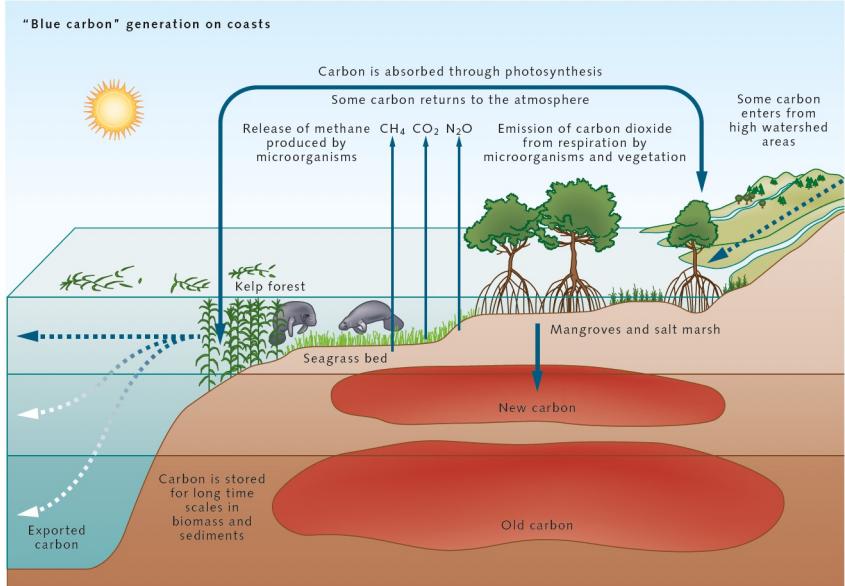


Méthodes « inorganiques »
(downwelling, Injection,
Alcalinisation, ..)

Méthodes « organiques »
(Fertilisation, Upwelling,
Macro-algues, Restoration, ..)

Technique organique « Blue Carbon »

Conserver et restaurer Mangroves, Herbiers, Marais Salé



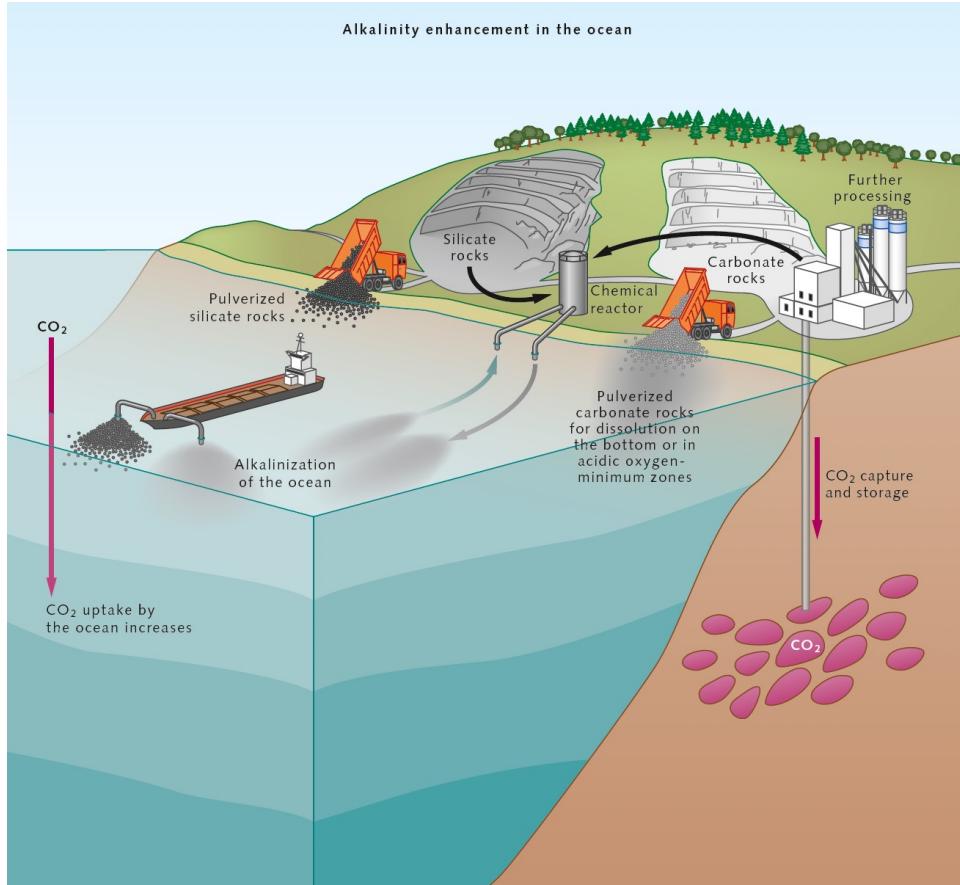
- Perte de 50% de la végétation côtière responsable de l'émission de **0.04–1.46 GtC yr⁻¹** (medium confidence)
- Nombreux co-bénéfices : protection contre tempêtes, nurserie, bien-être, qualité eau
- Faible efficacité : ne pourrait compenser que 0.5% des émissions actuelles de CO_2



Mangrove, Tsimipaika Bay, @Bopp

Technique Inorganique

Alcalinisation

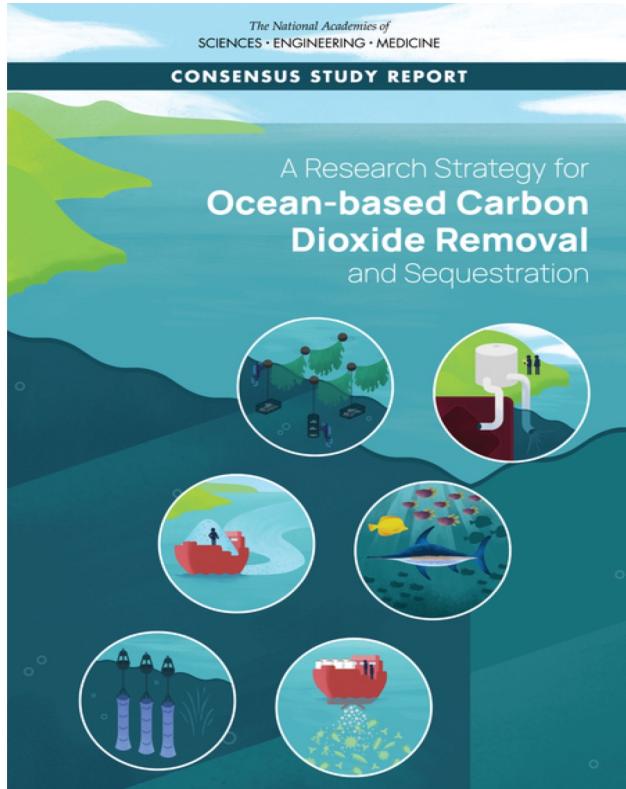


- Ajout de minéraux qui modifient la chimie de l'eau de mer
- Co-bénéfice: diminue l'acidité
- N'a pas encore été testé *in situ*
- Passage à l'échelle nécessiterait des infrastructures qui modifieraient complètement l'ensemble des régions littorales
- Risques inconnus sur les écosystèmes
- Difficulté à monitorer

Un paysage international en pleine mutation

- Multitude de rapports d'experts
(IPCC, US National Academies, German Research marine alliance, GESAMP)

USA National Academies, 2022



German marine research alliance, 2024



Un paysage international en pleine mutation

- Multitude de rapports d'experts
(IPCC, US National Academies, German Research marine alliance, GESAMP)
- Montée en puissance du financement (public/privé), de start-ups (>50) et de tests sur le terrain

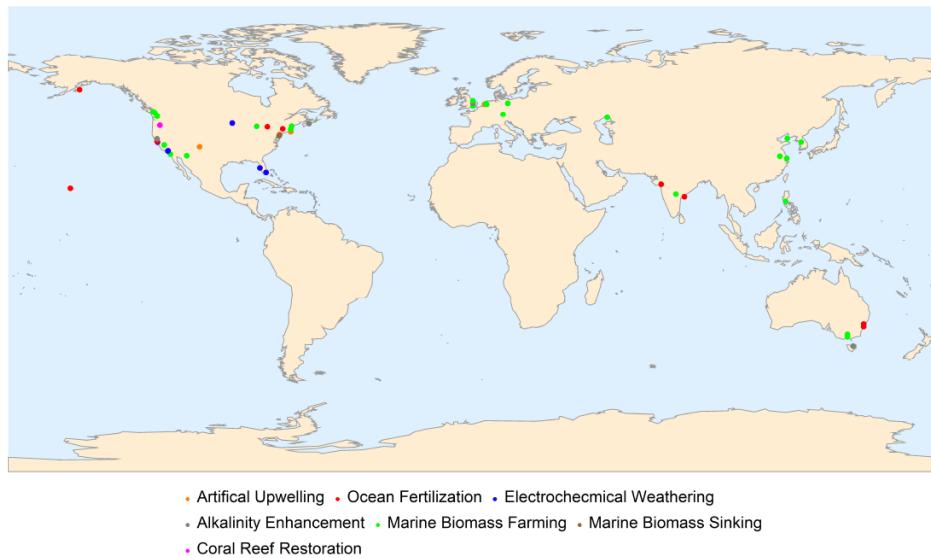


Figure 1: Overview about ocean-based NETs companies

Overview of CDR project (OceanNet)

L'océan est un réservoir naturel de carbone

Enorme, efficace, en danger

Des solutions artificielles sont envisagées pour le renforcer

Pour compenser émissions résiduelles

En accompagnement d'une réduction massive des émissions

Montée en compétences (R&D) est indispensable

Besoin de transparence / partage des connaissances et des compétences





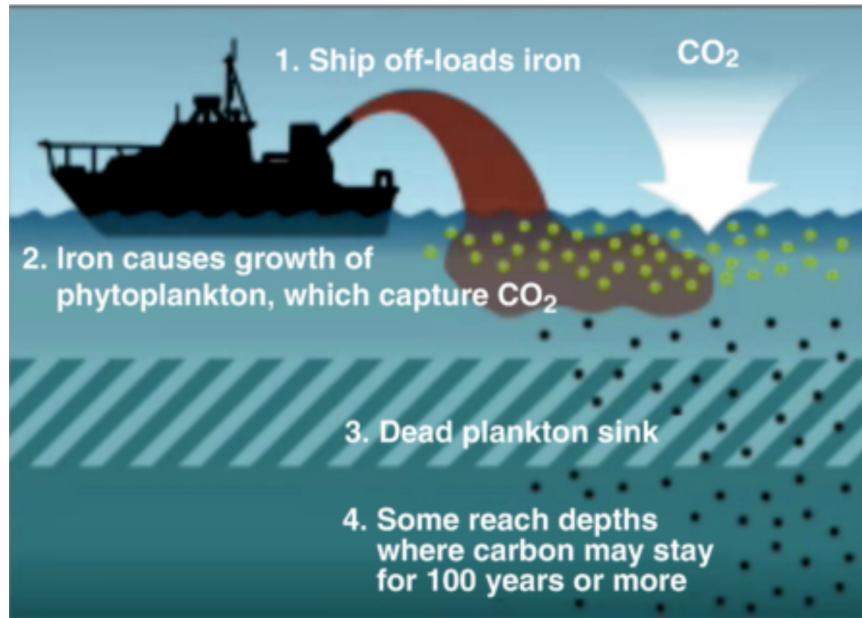
**La recherche scientifique est essentielle
pour trouver les meilleurs compromis**

Contact

Marina.levy@ird.fr

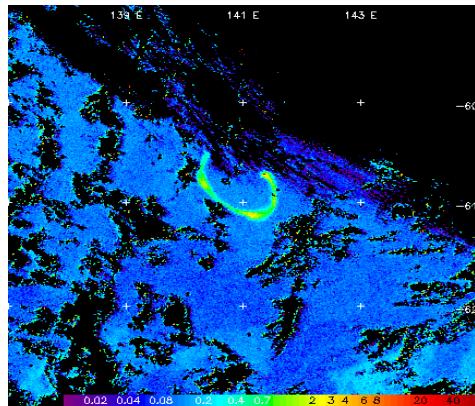
X/Twitter @MarinaLocean

Fertilisation artificielle

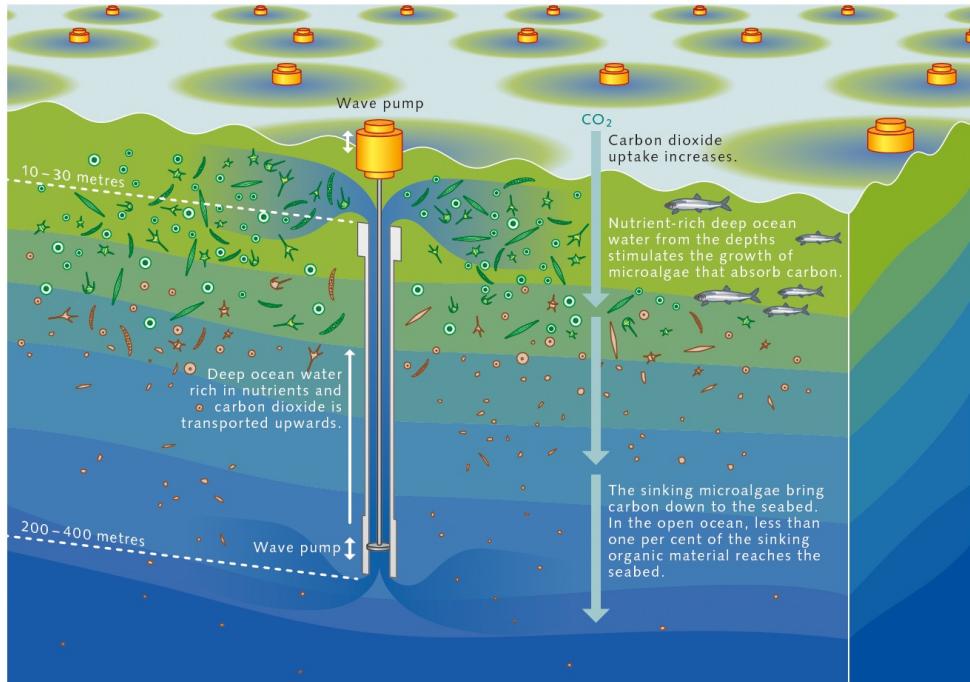


- Booster la production de phytoplancton par apport de Fe
- 10 expériences in situ 90s-00s: effet local visible sur Chla et pCO₂
- Modèles: efficacité faible, effet non permanent
- **Risques:** perte de productivité ailleurs, perte O₂, émissions N₂O, perturbation écosystèmes
- 2008: moratoire ONU pour stopper les compagnies commerciales

SOIREE, Ocean Austral, 1999

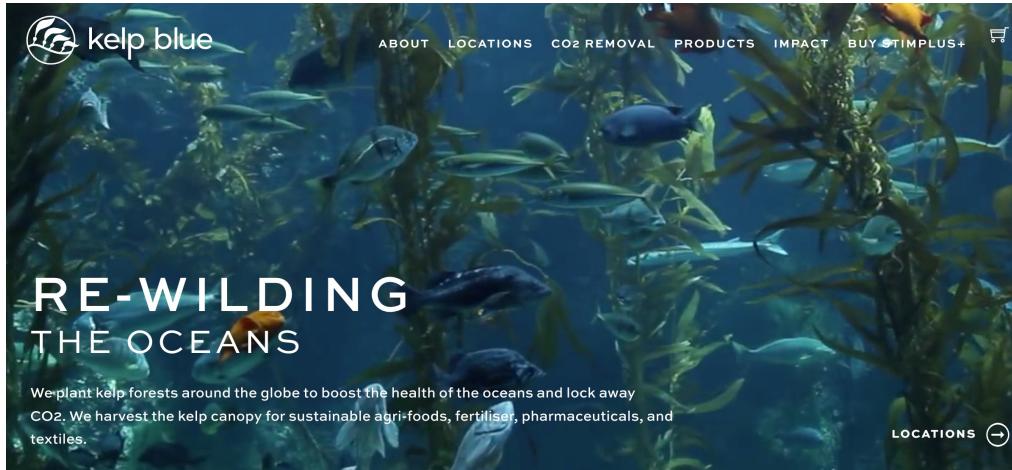


Pompe à eau

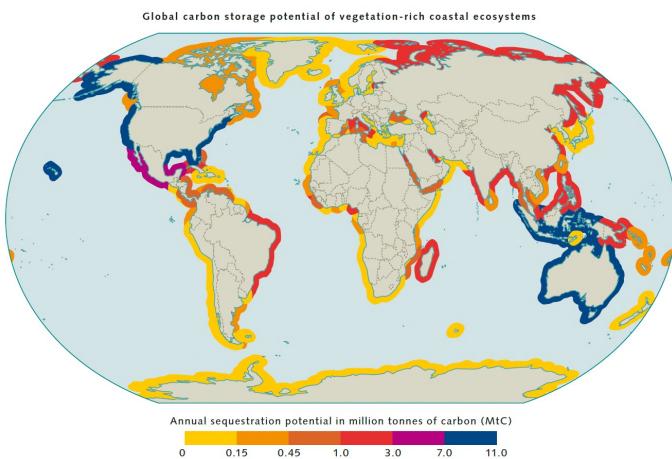


- Booster la production de phytoplancton par pompage d'eaux profondes riches en nutriments
- Déjà testé en aquaculture
- Faible efficacité car eaux profondes aussi riches en CO₂
- Passage à l'échelle nécessiterait déploiement tous les km
- **Risques:** perte de productivité ailleurs, perte O₂, émissions N₂O, perturbation écosystèmes

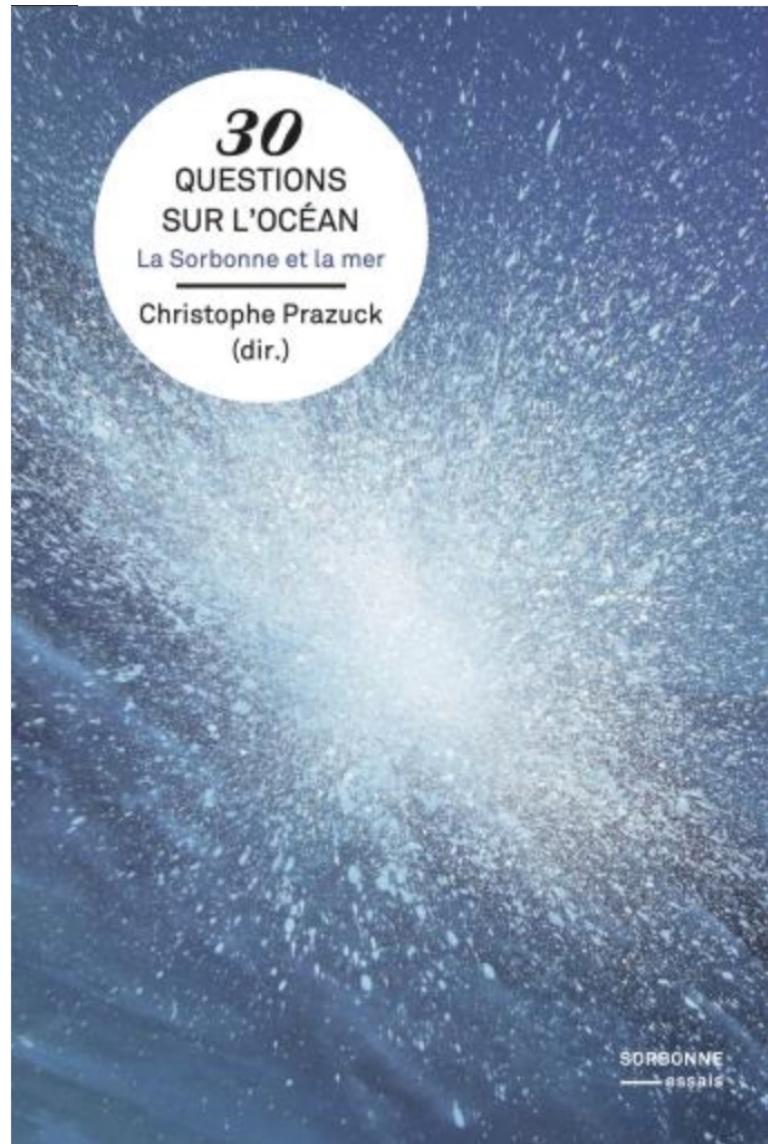
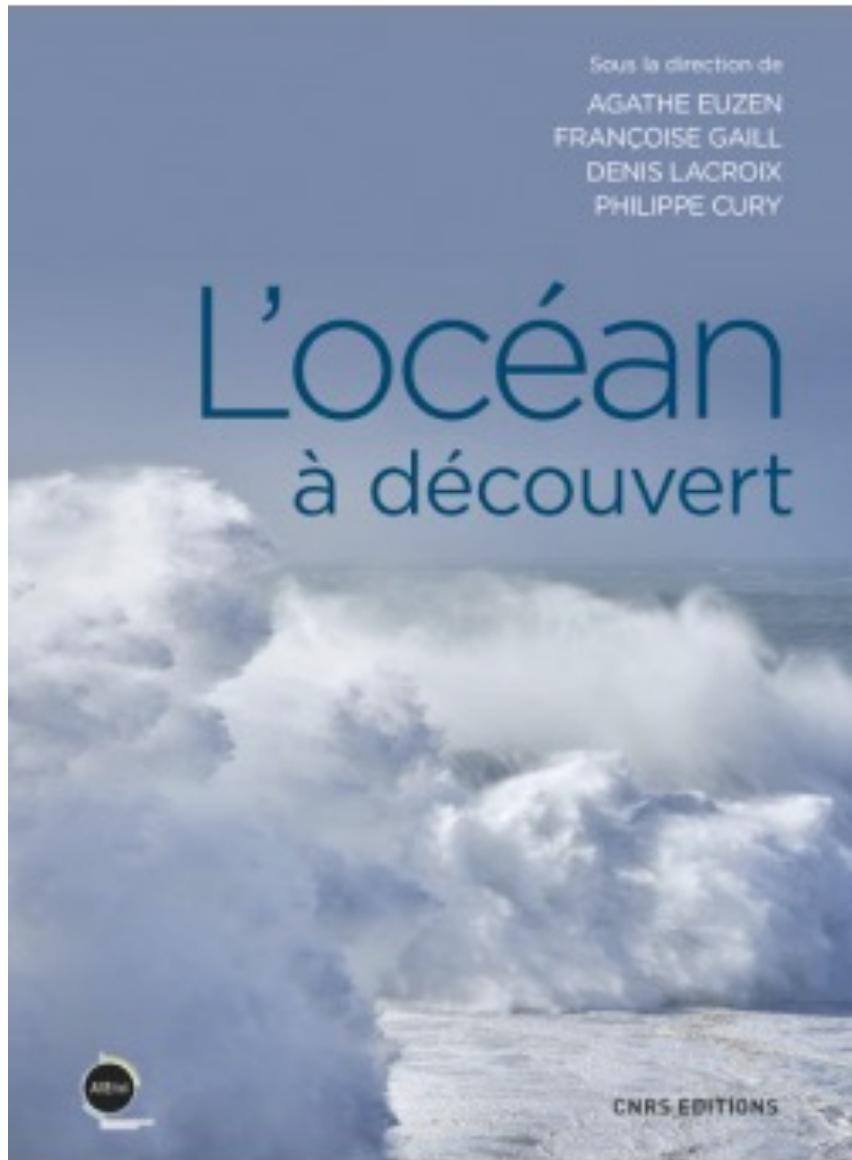
Carbone bleu: culture de macro-algues



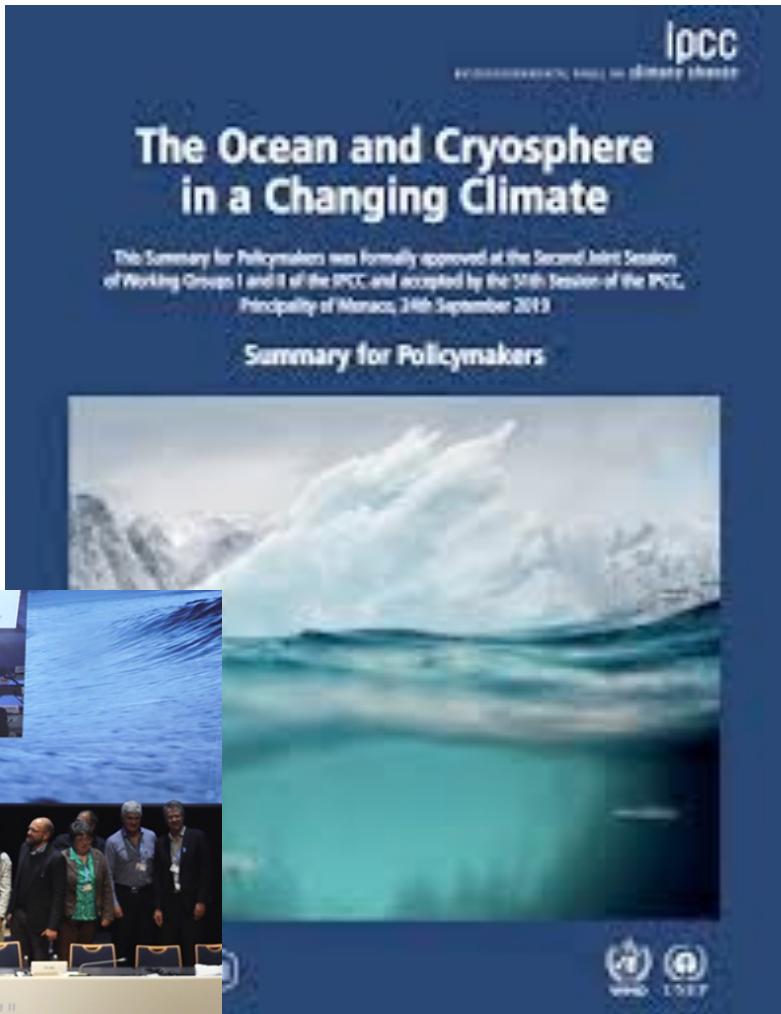
- Co-bénéfices: blue food, plastiques biodegradables, ..
- Efficacité nette très discutée: risque d'émission de méthane, de relargage de CO2
- Risque de diminuer la productivité naturelle
- Efficacité limitée par espace disponible



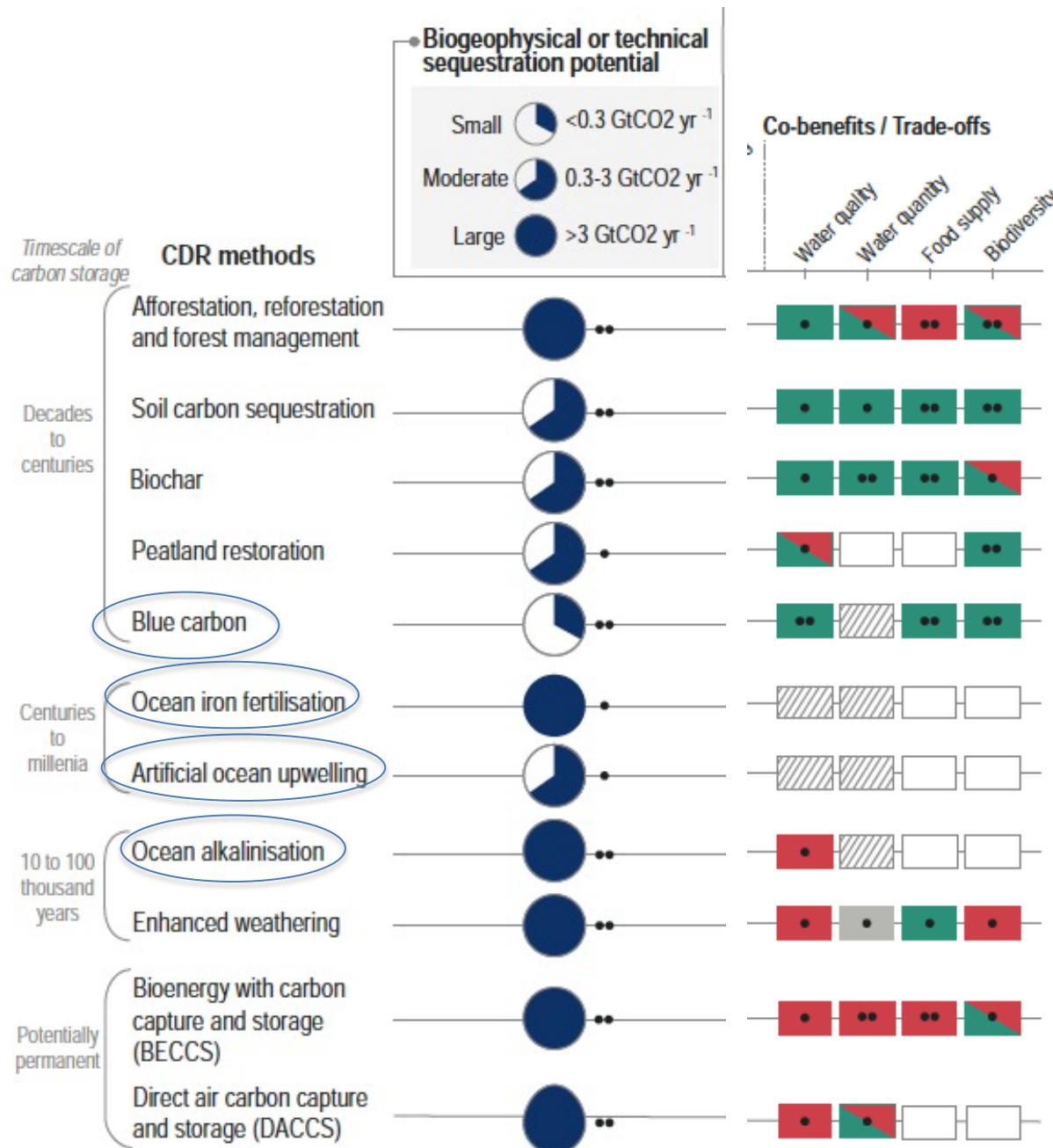
Ouvrages Collectifs



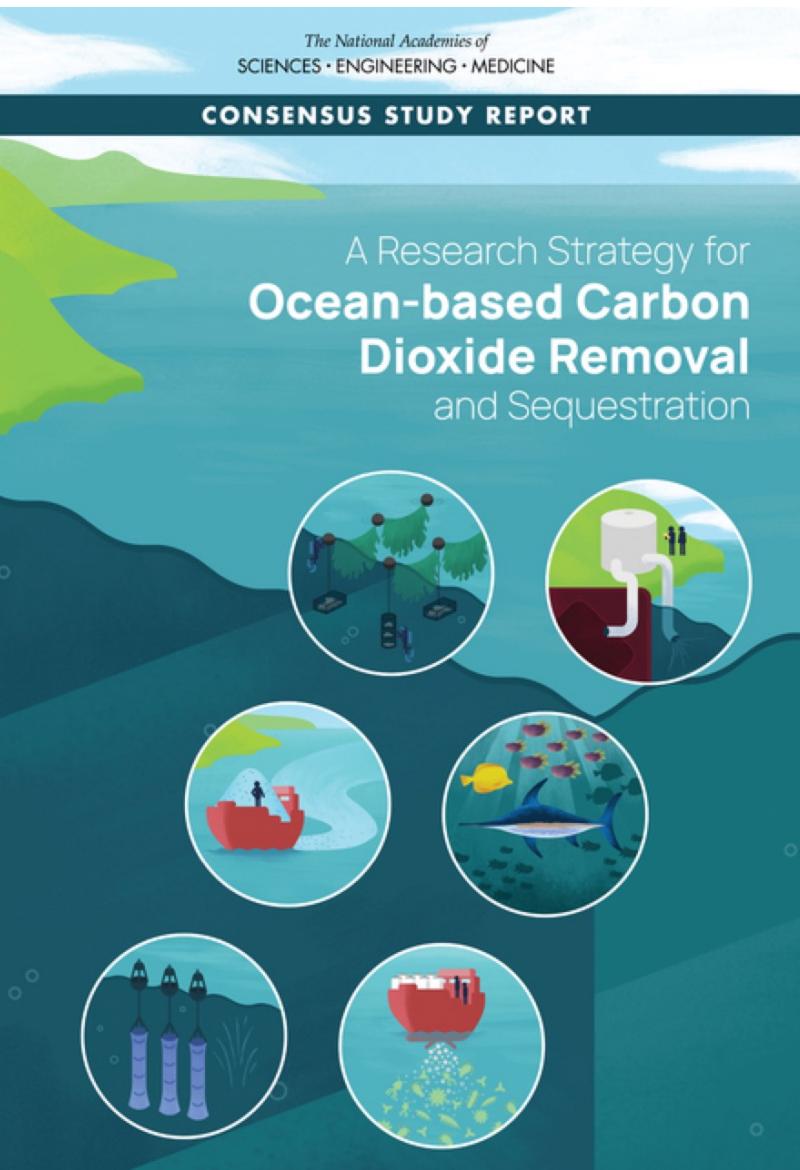
L'océan dans les rapports du GIEC



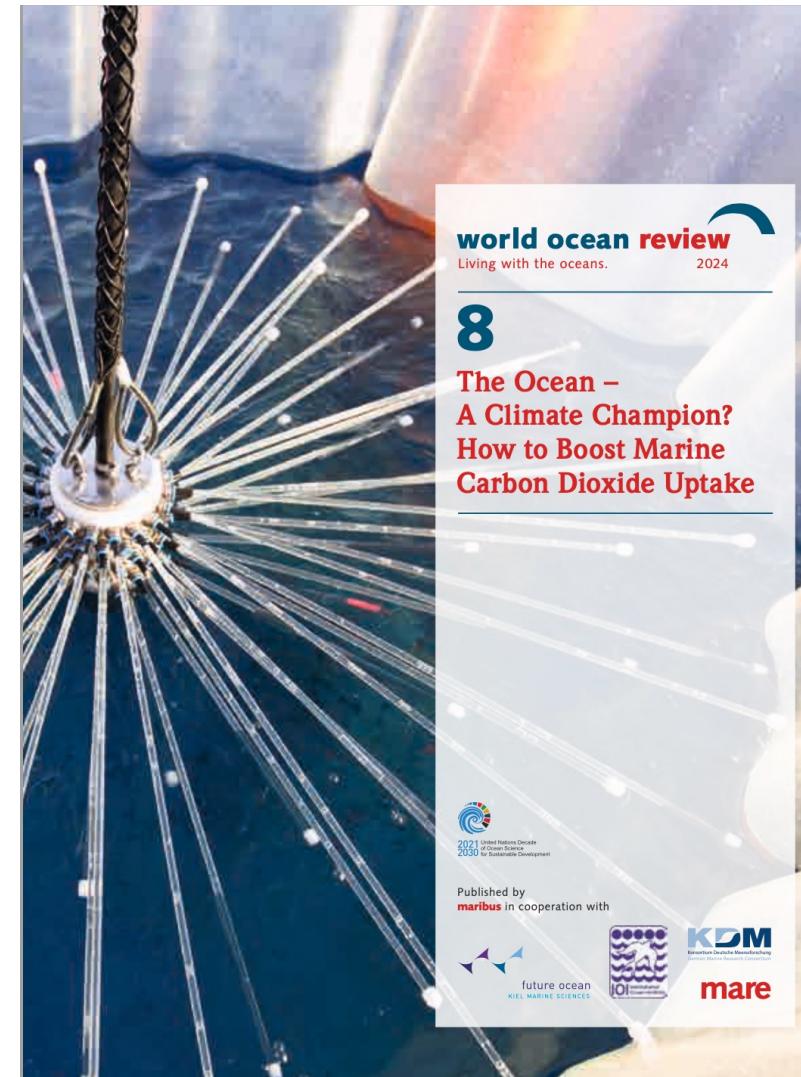
Synthèse IPCC /GIEC



USA National Academies, 2022



German marine research alliance, 2024



Policy Brief, IDDRI, 2018



Ocean-based measures for climate action

SciencesPo

A.K. Magnan, R. Billé, L. Bopp, V.I. Chalastani, W.W.L. Cheung, C.M. Duarte, R.D. Gates, J. Hinkel, J.-O. Irisson, E. Mcleod, F. Micheli, J.J. Middelburg, A. Oschlies, H.-O. Pörtner, G.H. Rau, P. Williamson, J.-P. Gattuso¹

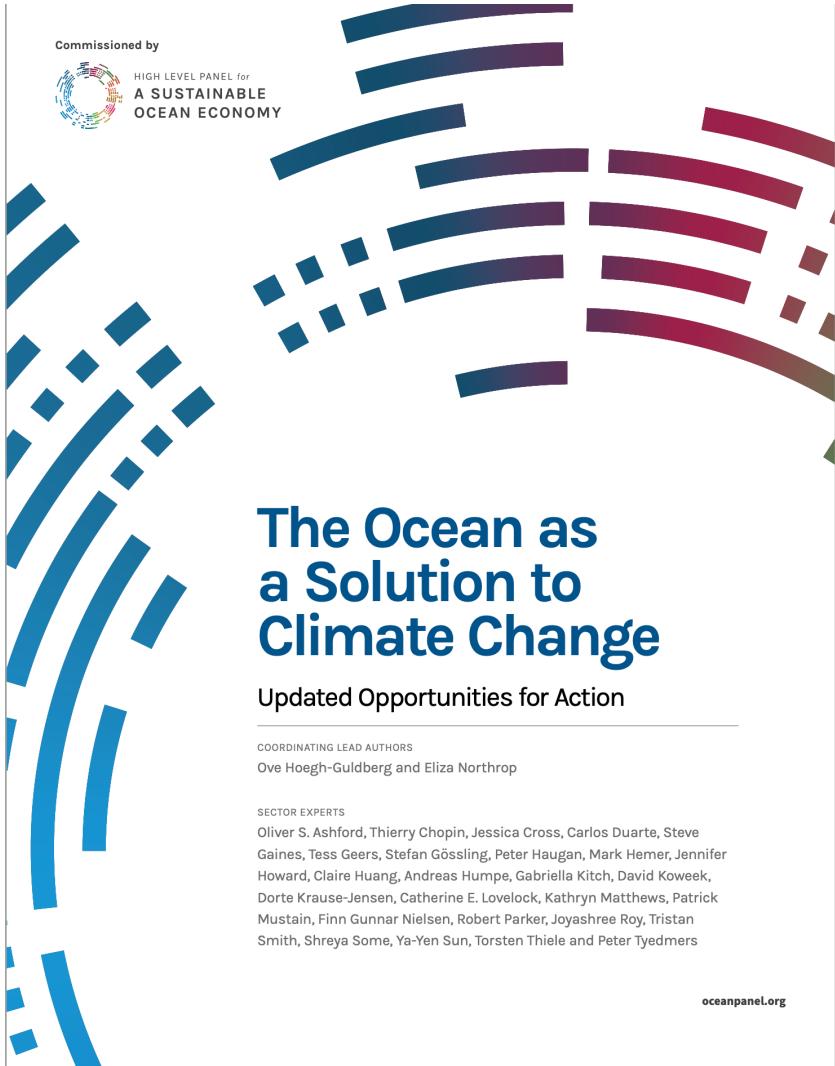
Current emission reduction pledges under the 2015 Paris Agreement are insufficient to keep global temperature "well below +2°C" in 2100 relative to pre-industrial levels and to reach targets of the United Nations Sustainable Development Goals. Increased political ambition is therefore required, as well as enhanced efforts in terms of both mitigation and ecosystem and human adaptation. There is growing evidence highlighting both the role the ocean plays in mitigating anthropogenic climate change (i.e., absorption of atmospheric heat and anthropogenic carbon), and the cascading consequences on its chemistry and physics (i.e., ocean warming, acidification, deoxygenation, sea-level rise), ecosystems and ecosystem services. In such a context, a critical question arises: what are the ocean-based opportunities for climate action? In other words, what is the potential of the ocean and its ecosystems to reduce the causes of climate change and its impacts?

This document summarises the main findings of *The Ocean Solutions Initiative*¹ that assessed the potential of 13 ocean-based measures.

¹. Open Access paper (with authors' affiliations): Gattuso, J.-P. et al. (2018). Ocean solutions to address climate change and its effects on marine ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, <http://bit.ly/2MVx4pm>

Ocean Panel, 2023

Commissioned by
 HIGH LEVEL PANEL for
A SUSTAINABLE
OCEAN ECONOMY



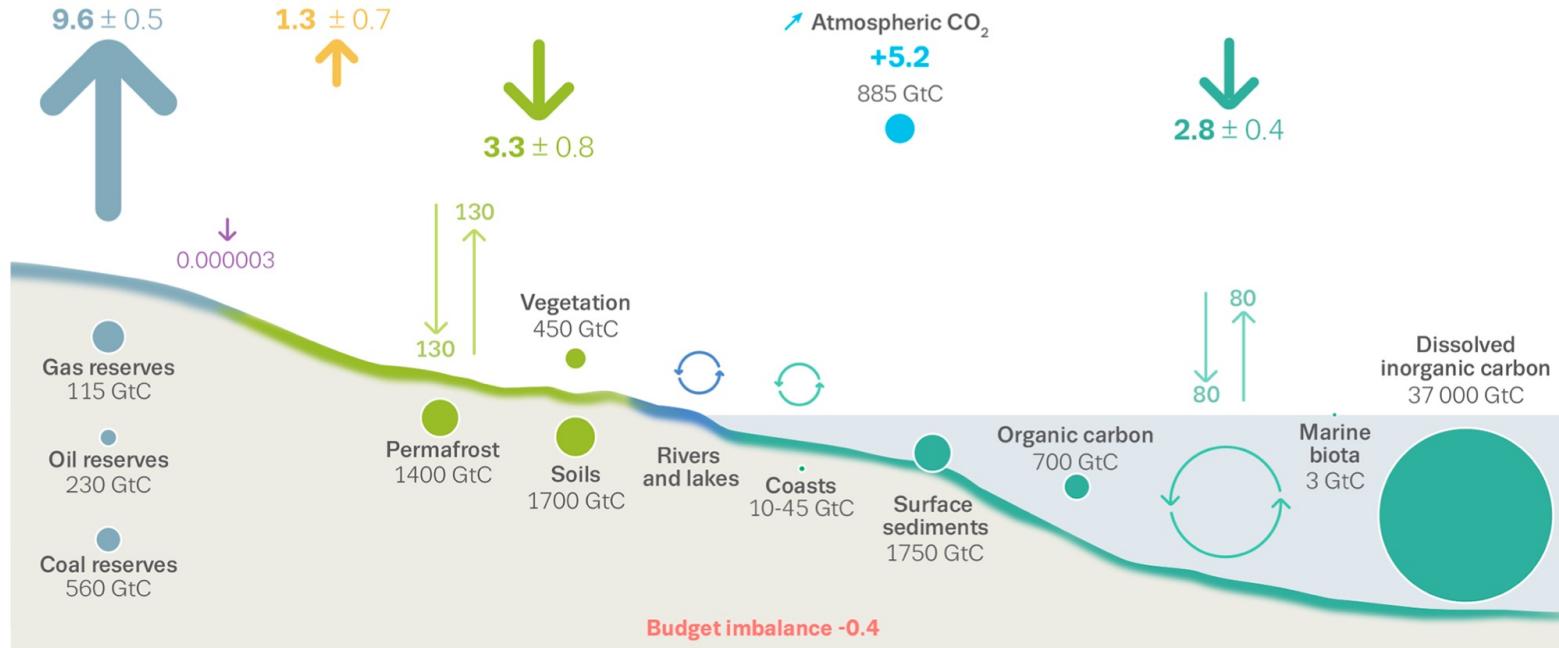
The Ocean as a Solution to Climate Change

Updated Opportunities for Action

COORDINATING LEAD AUTHORS
Ove Hoegh-Guldberg and Eliza Northrop

SECTOR EXPERTS
Oliver S. Ashford, Thierry Chopin, Jessica Cross, Carlos Duarte, Steve Gaines, Tess Geers, Stefan Gössling, Peter Haugan, Mark Herer, Jennifer Howard, Claire Huang, Andreas Humpe, Gabriella Kitch, David Kowek, Dorte Krause-Jensen, Catherine E. Lovelock, Kathryn Matthews, Patrick Mustain, Finn Gunnar Nielsen, Robert Parker, Joyashree Roy, Tristan Smith, Shreya Some, Ya-Yen Sun, Torsten Thiele and Peter Tyedmers

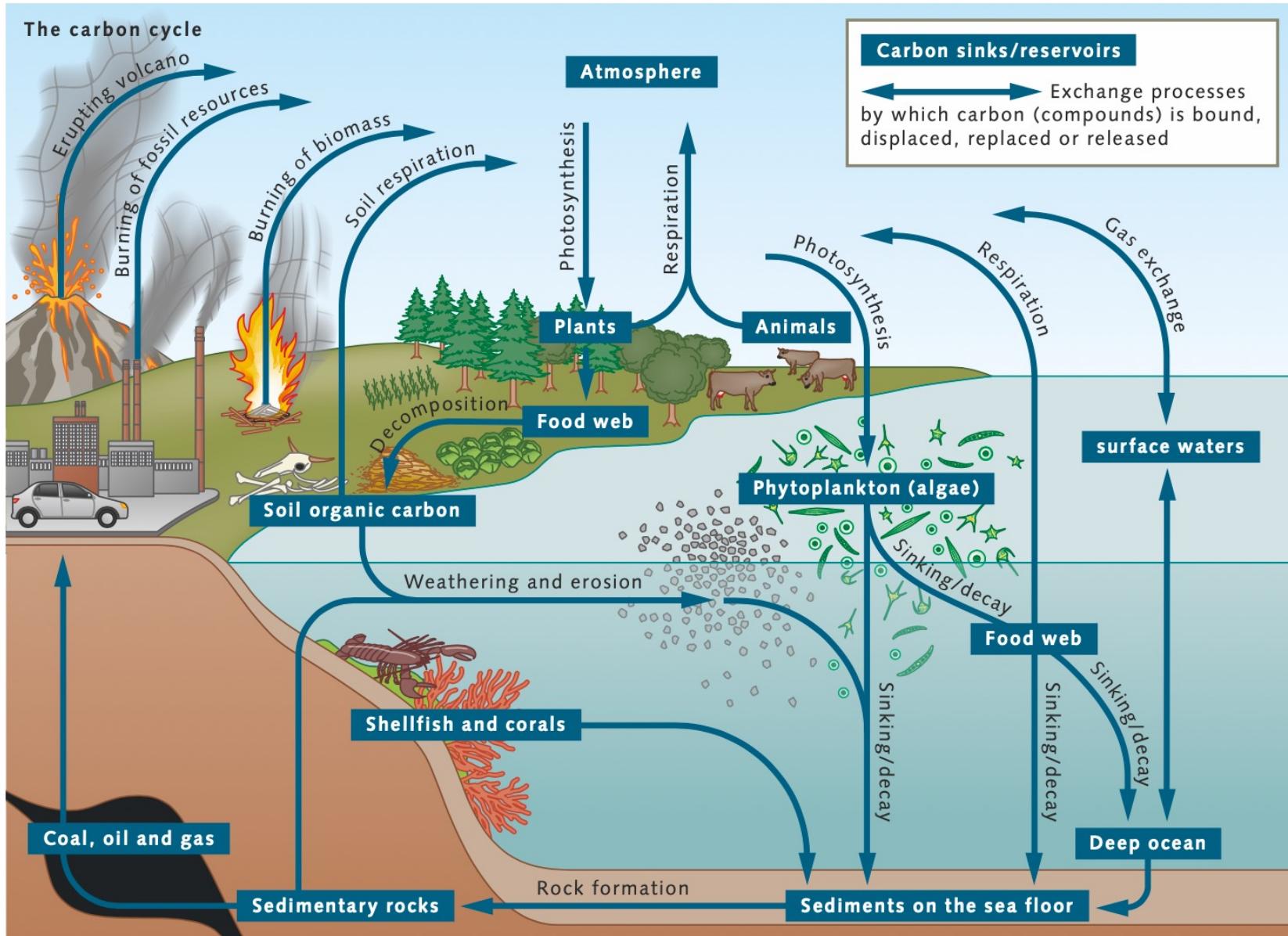
Perturbation de cycle naturel du carbone



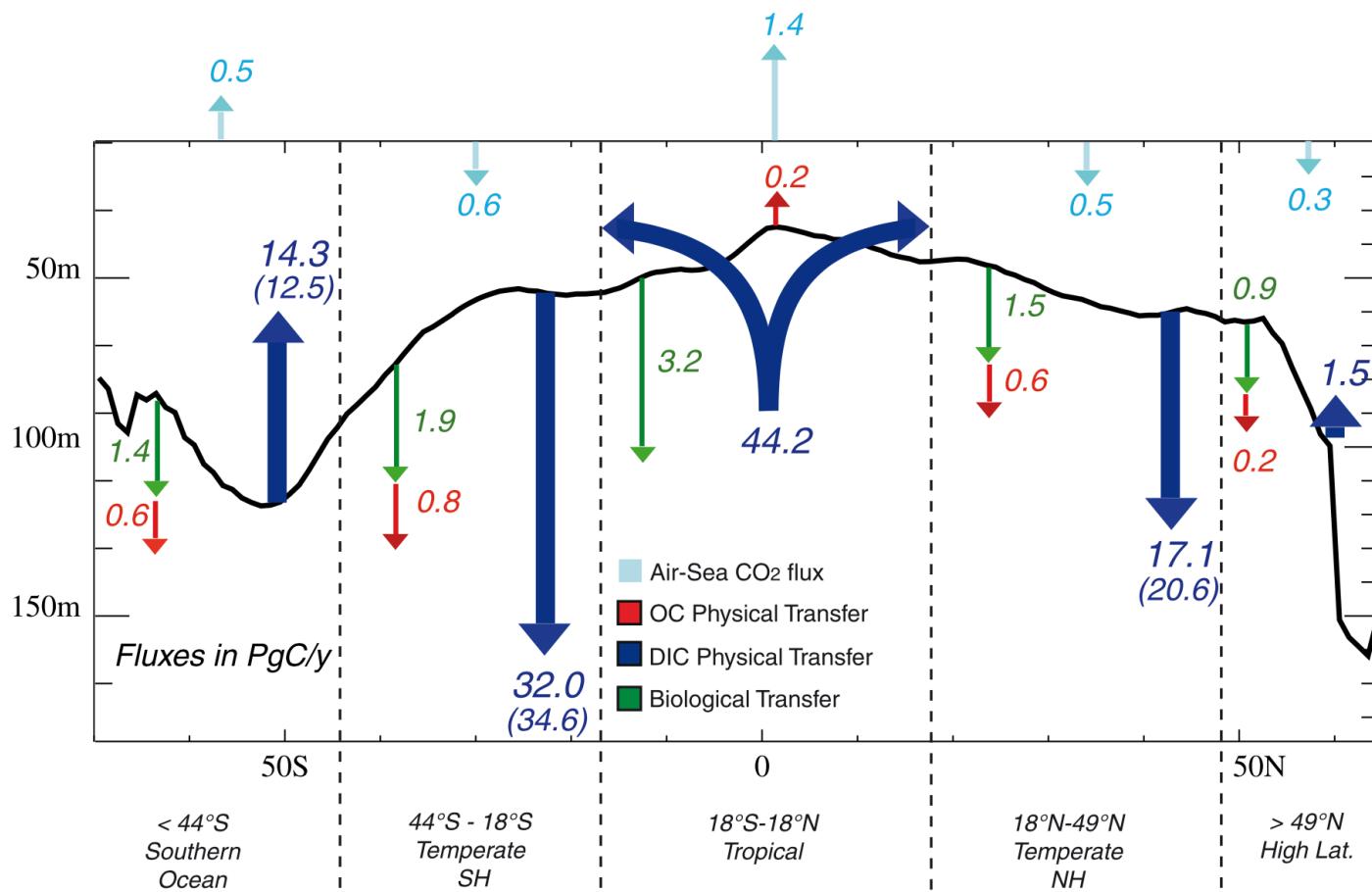
Anthropogenic fluxes 2013-2022 average GtC per year

- ↑ Fossil CO₂ E_{FOS}
- ↑ Land-use change E_{LUC}
- ↓ CDR not included in E_{LUC}
- ↓ Land uptake S_{LAND}
- ↓ Ocean uptake S_{OCEAN}
- ↑ Carbon cycling GtC per year
- Stocks GtC
- + Atmospheric increase G_{ATM}
- Budget Imbalance B_{IM}

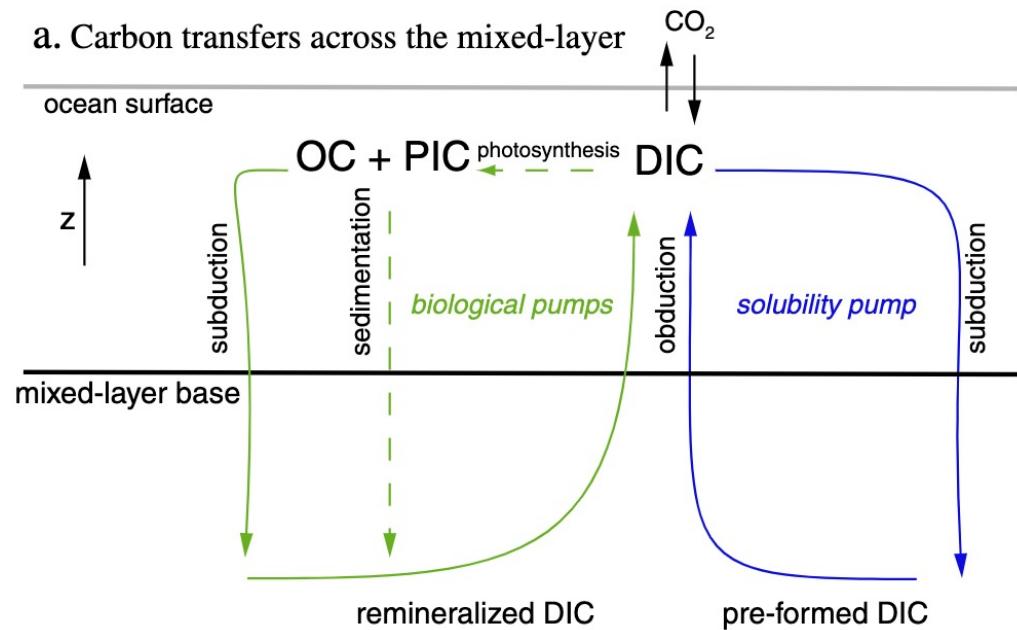
Cycle global du carbone



Un cycle naturel du carbone océanique complexe et très variable



a. Carbon transfers across the mixed-layer



CO_2 air-sea flux
0.5

