

# L'océan de l'Anthropocène : comment protéger le climat et l'océan?

Jean-Pierre Gattuso

Laboratoire d'Océanographie de Villefranche

CNRS-Sorbonne Université

Institut du développement durable et des relations internationales

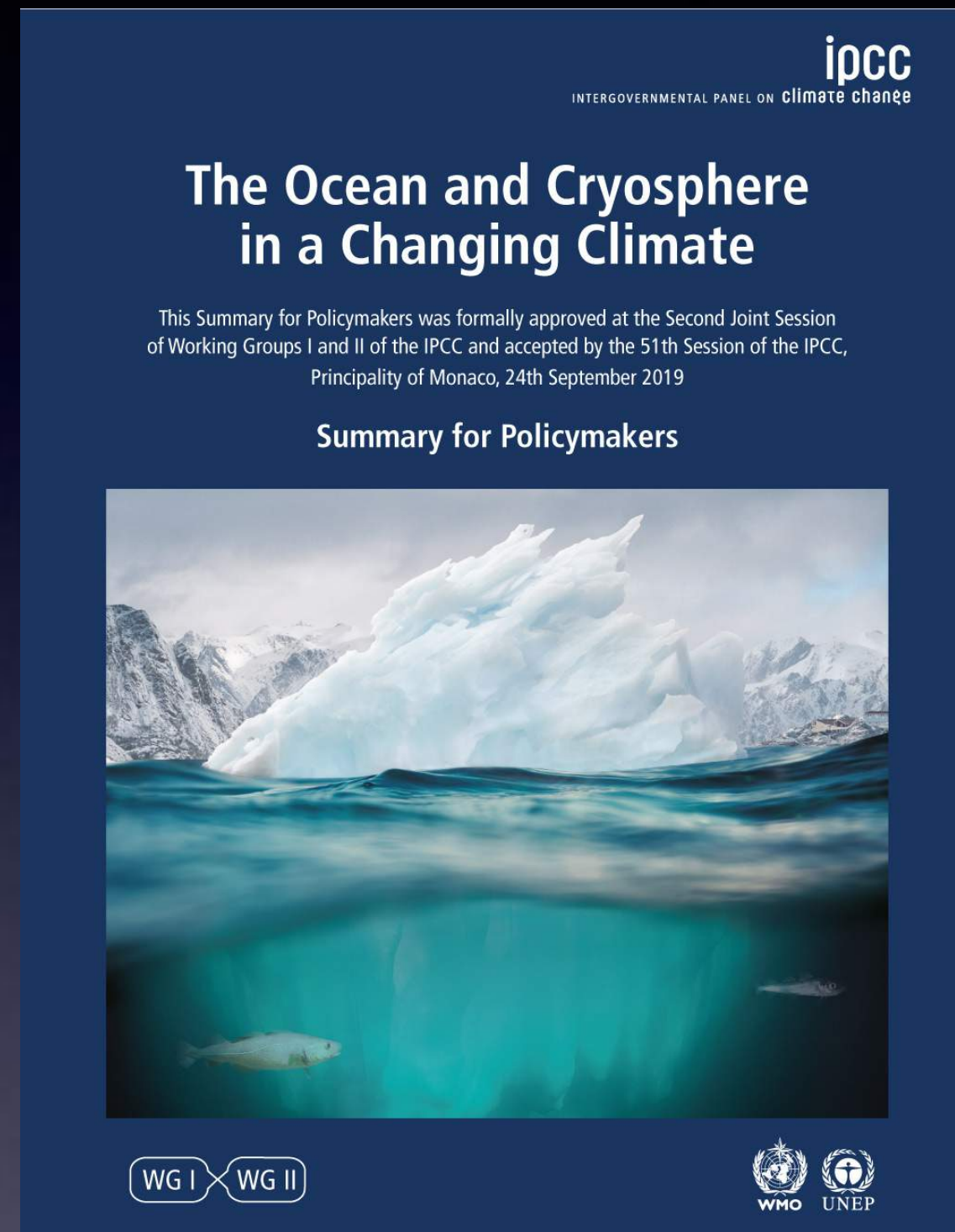
[gattuso@obs-vlfr.fr](mailto:gattuso@obs-vlfr.fr)



# L'océan de l'Anthropocène

- Réchauffement, acidification, désoxygénation, élévation du niveau de la mer : à quoi ressemblera l'océan de l'Anthropocène ?
- En quoi sera-t-il différent de l'océan du passé géologique de notre planète ?
- Nous rendra-t-il des services tels que sécurité alimentaire, protection des rivages et tourisme similaires à ceux qu'il fournit aujourd'hui ?
- Quelles solutions peuvent être mises en œuvre (y compris négociations internationales) ?

# L'océan de l'Anthropocène

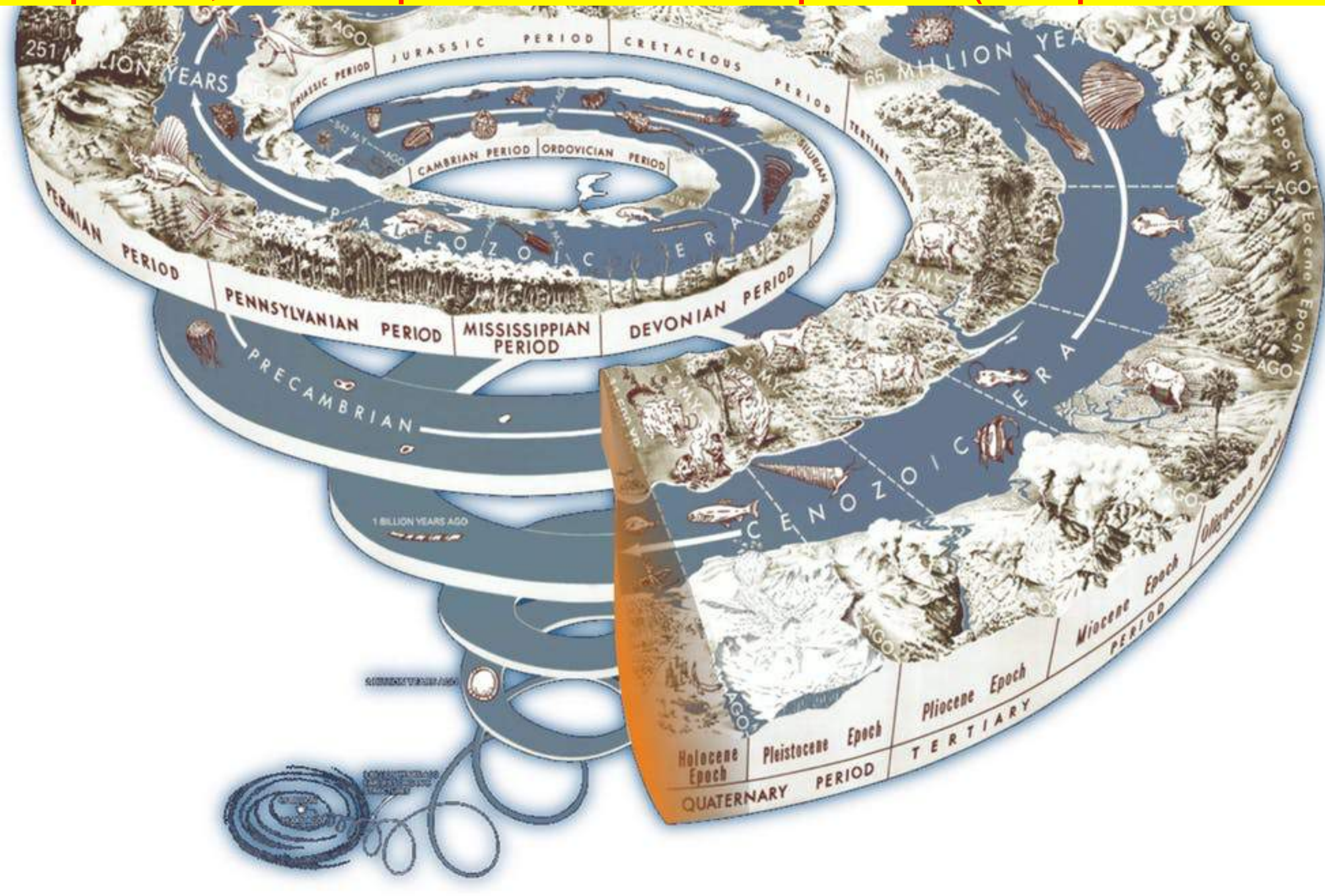


- Réchauffement, acidification, désoxygénation, élévation du niveau de la mer : à quoi ressemblera l'océan de l'Anthropocène ?
- En quoi sera-t-il différent de l'océan du passé géologique de notre planète ?
- Nous rendra-t-il des services tels que sécurité alimentaire, protection des rivages et tourisme similaires à ceux qu'il fournit aujourd'hui ?
- Quelles solutions peuvent être mises en œuvre (y compris négociations internationales) ?

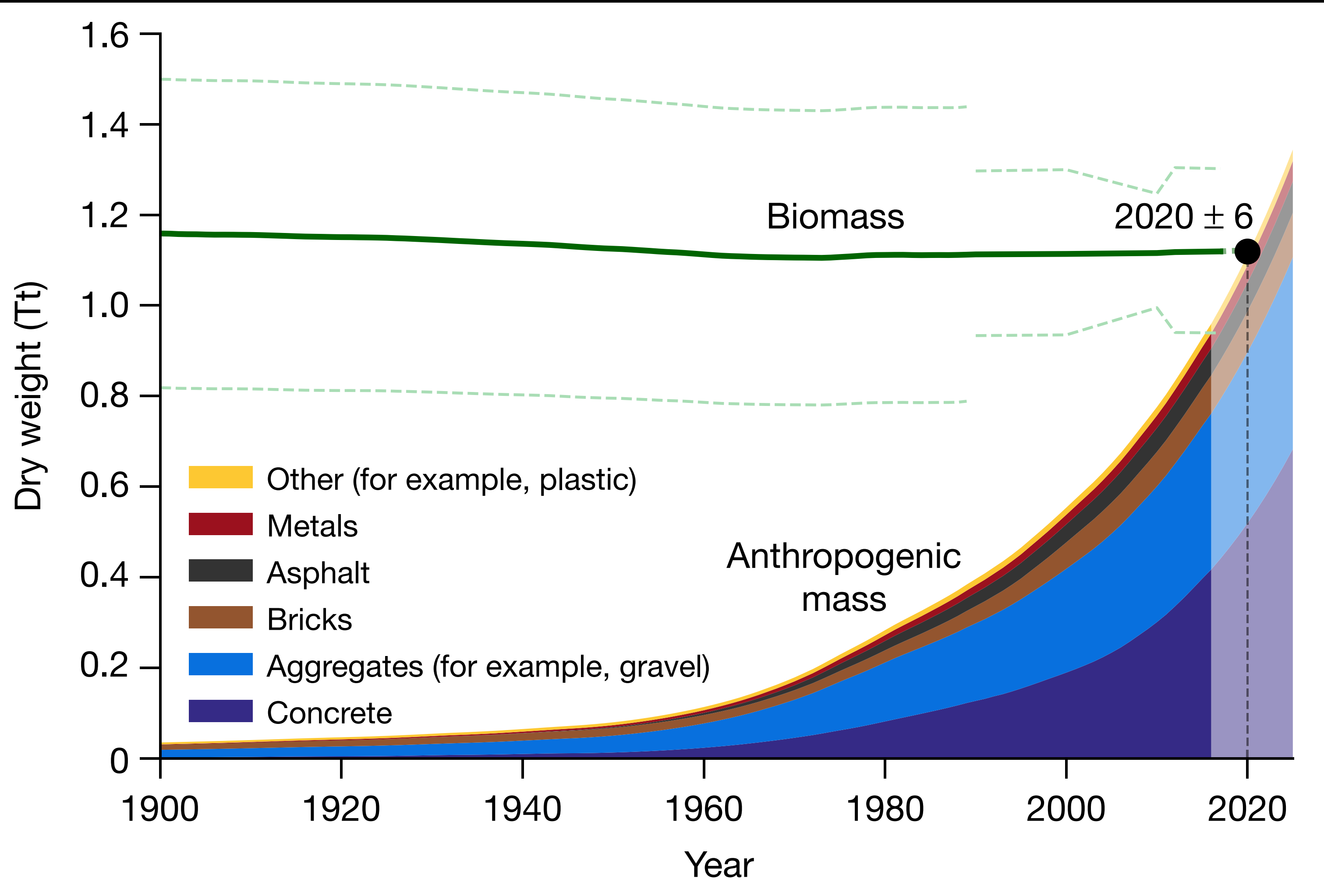


# Anthropocène

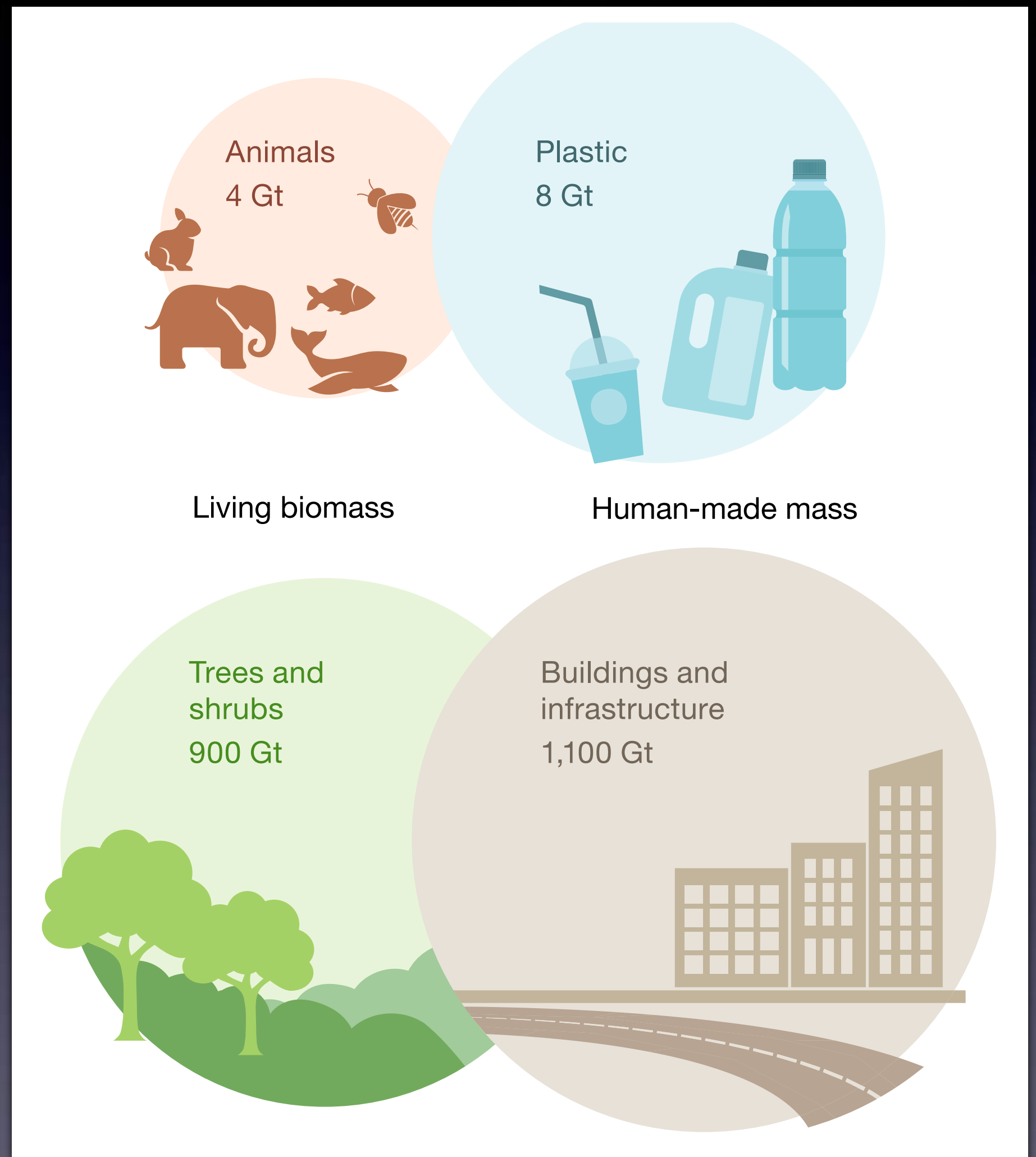
Période durant laquelle l'influence de l'homme sur la biosphère a atteint un tel niveau qu'elle est devenue une force géologique majeure capable de marquer l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la biosphère et la lithosphère. (adoption en 2021?)



# Anthropocène



Elhacham et al. (2020)



Elhacham et al. (2020)

# Un océan



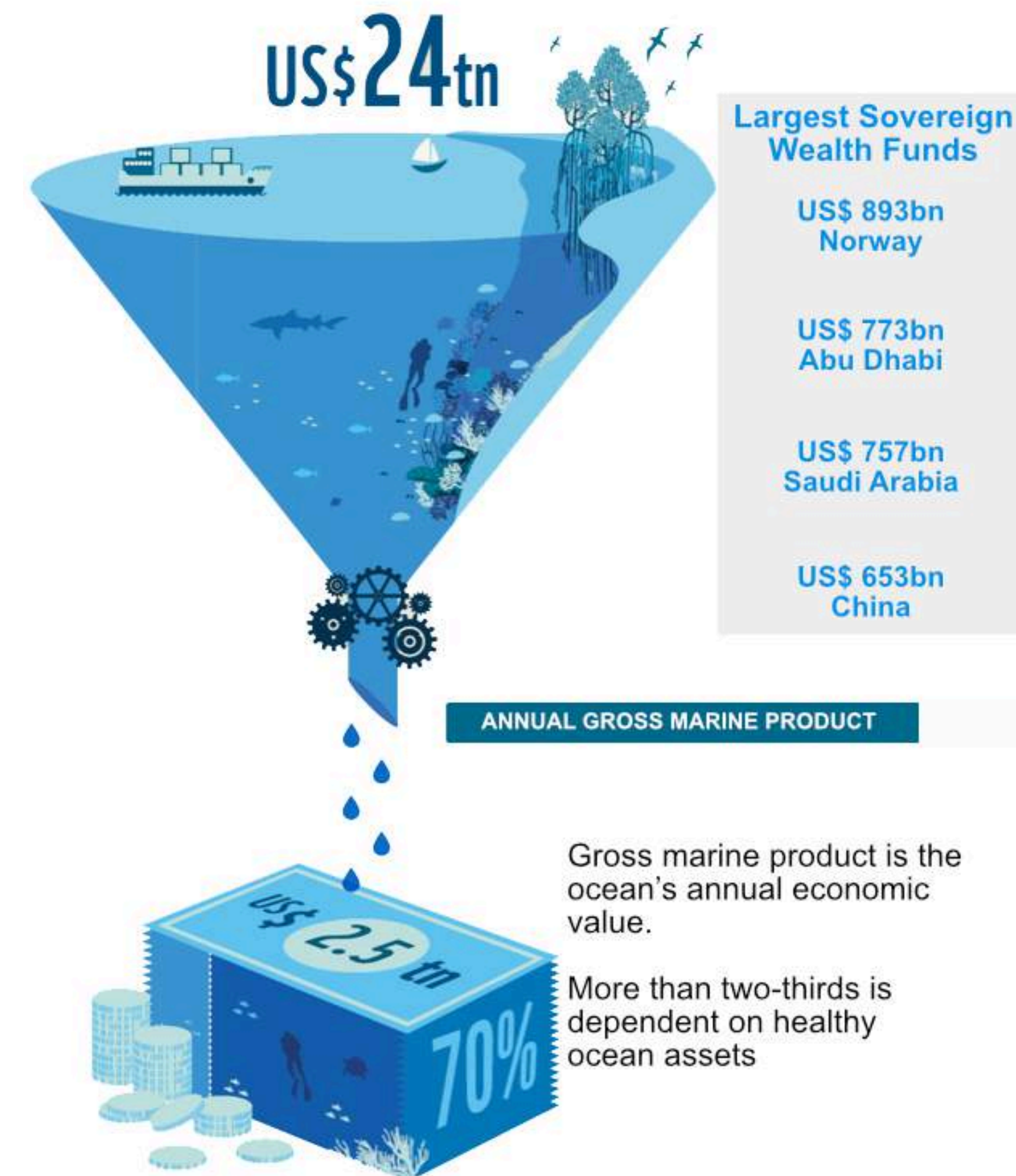
# Océan: valeur économique considérable

- **Modère** le changement climatique
- **Représente** plus de 90 % de l'espace habitable de la planète
- **Abrite** 25 % des espèces évoluées
- **Fournit** 11% des protéines consommées par l'homme
- **Protège** les côtes (ses écosystèmes)
- ...



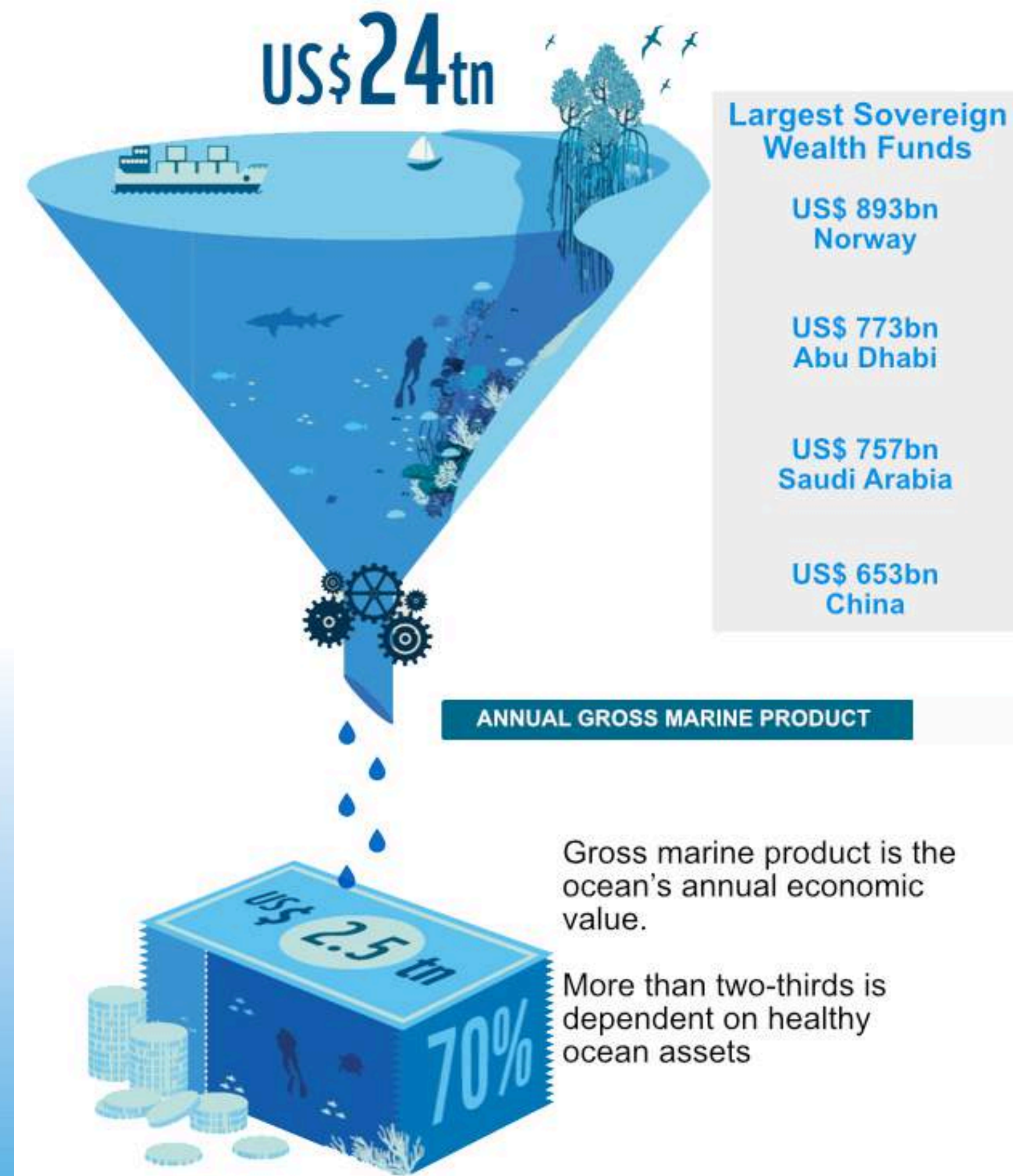
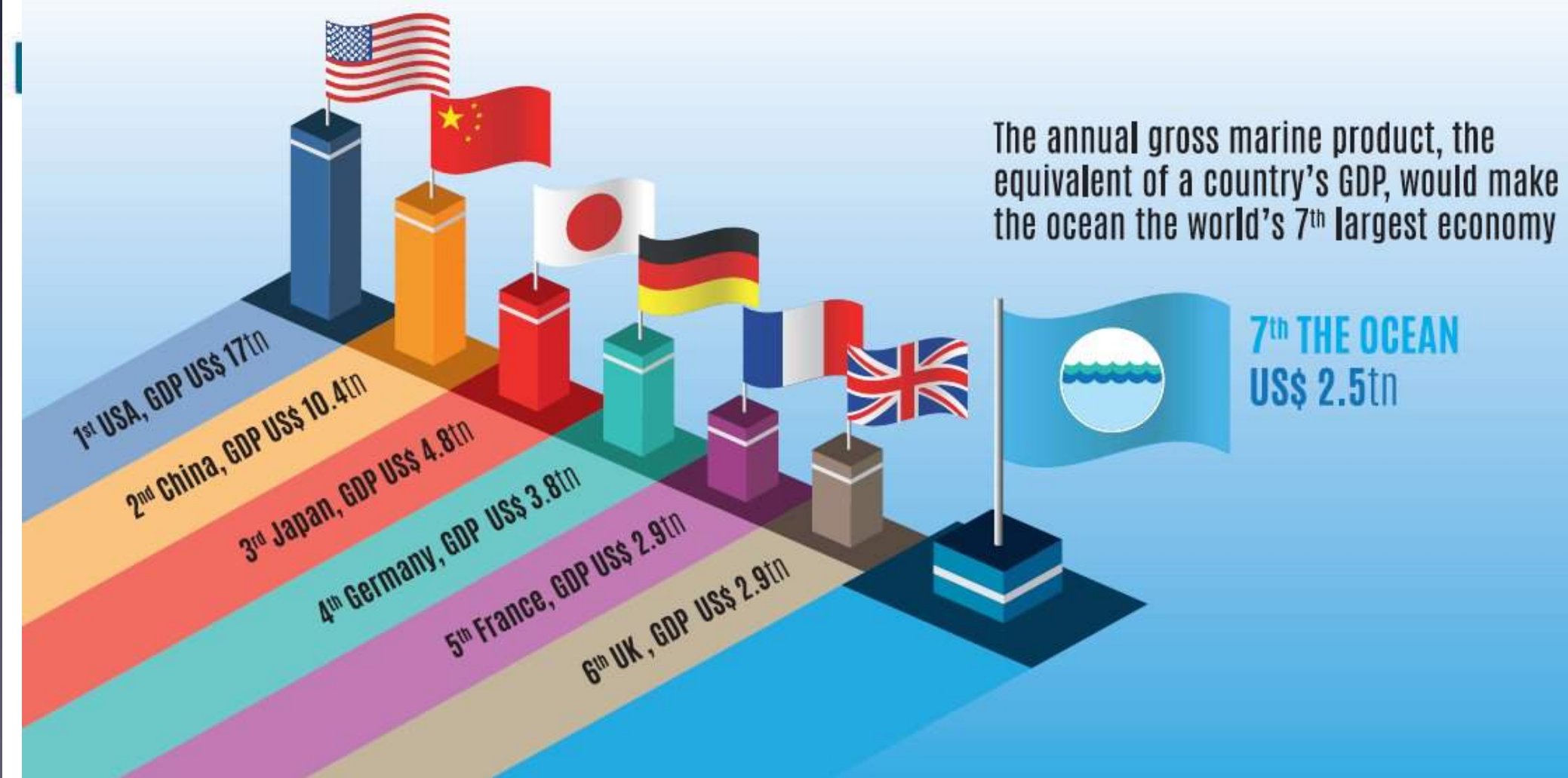
# Océan: valeur économique considérable

- **Modère** le changement climatique
- **Représente** plus de 90 % de l'espace habitable de la planète
- **Abrite** 25 % des espèces évoluées
- **Fournit** 11% des protéines consommées par l'homme
- **Protège** les côtes (ses écosystèmes)
- ...



# Océan: valeur économique considérable

- **Modère** le changement climatique
- **Représente** plus de 90 % de l'espace habitable de la planète
- **Abrite** 25 % des espèces évoluées
- **Fournit** 11% des protéines consommées par l'homme
- **Protège** les côtes (ses écosystèmes)
- ...

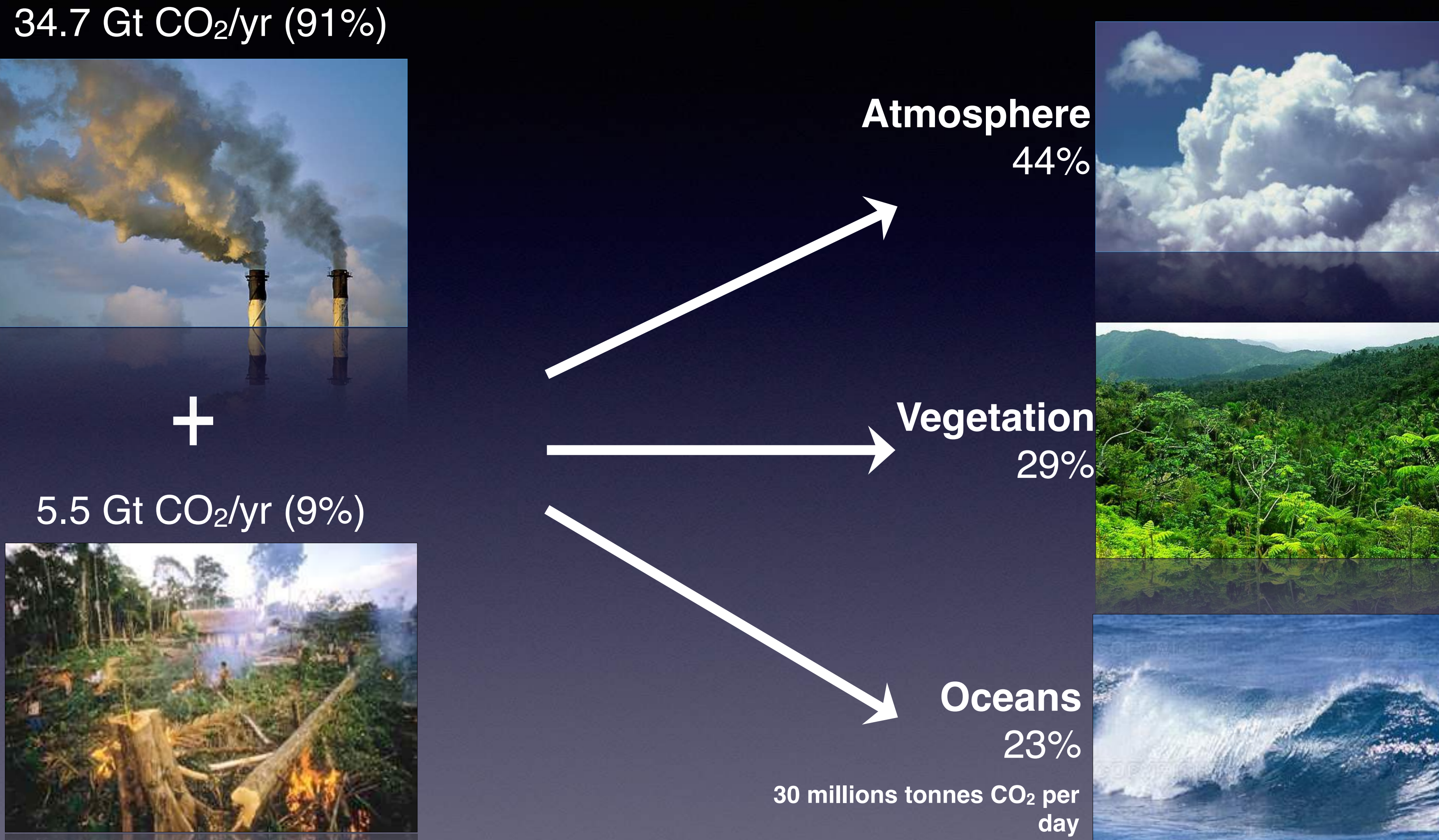


BCG  
The Boston Consulting Group

[ocean.panda.org](http://ocean.panda.org)

Trillion (1,000,000,000,000; one million million)

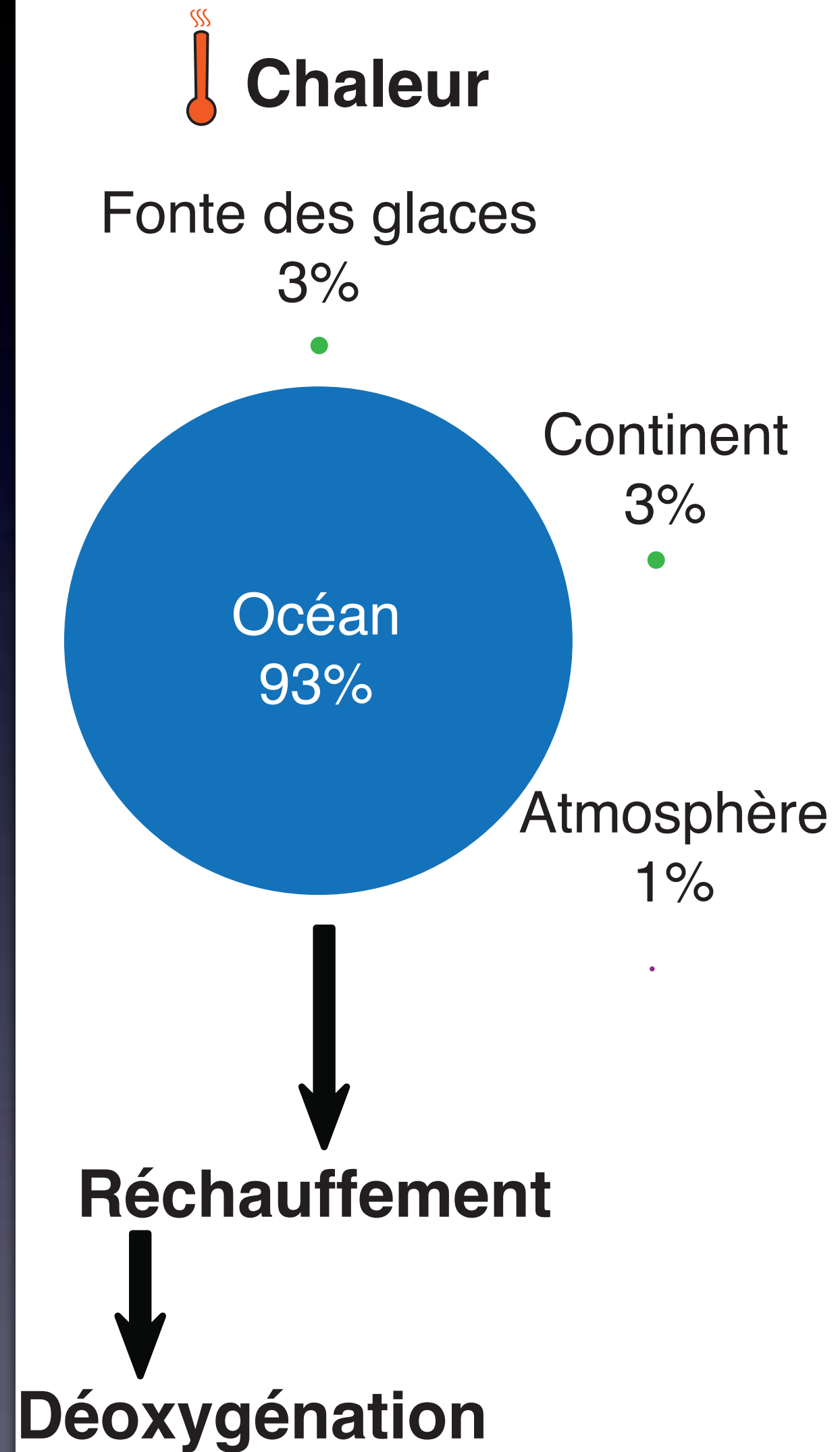
# Budget global du carbone (2009-2018)



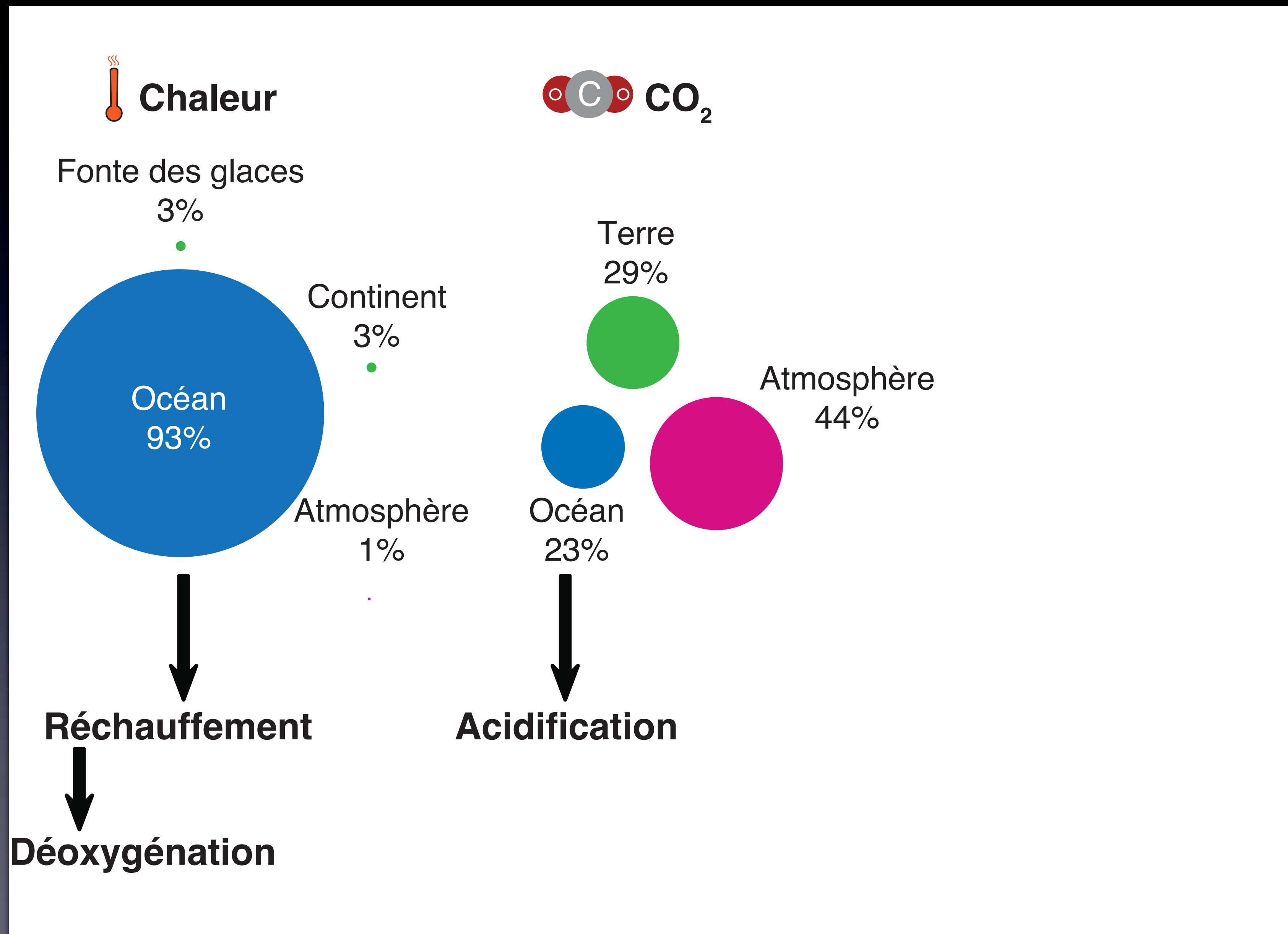
Imbalance: 4% (1.8 Gt CO<sub>2</sub>/yr)



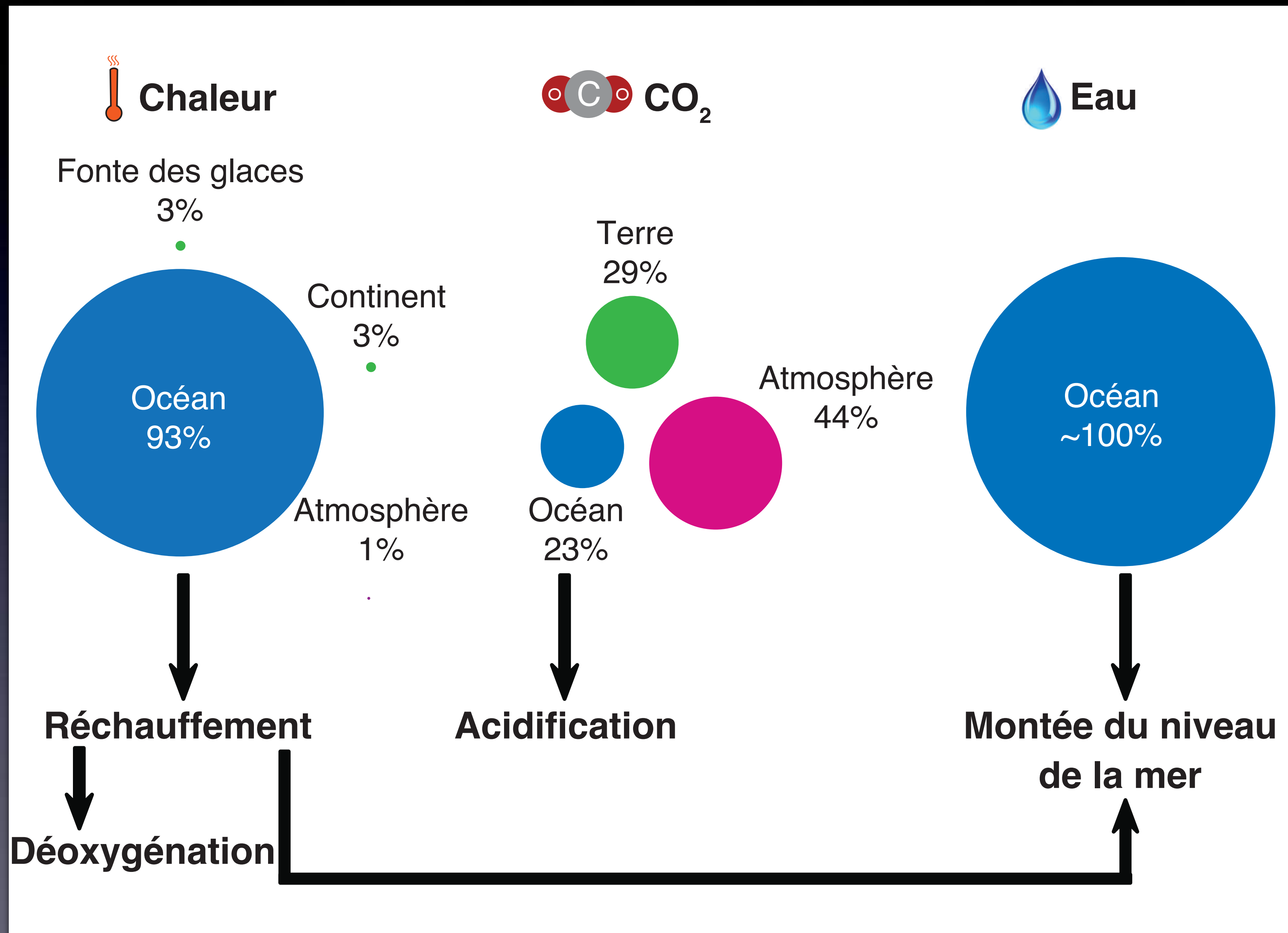
# Océan: acteur et victime du changement climatique



# Océan: acteur et victime du changement climatique

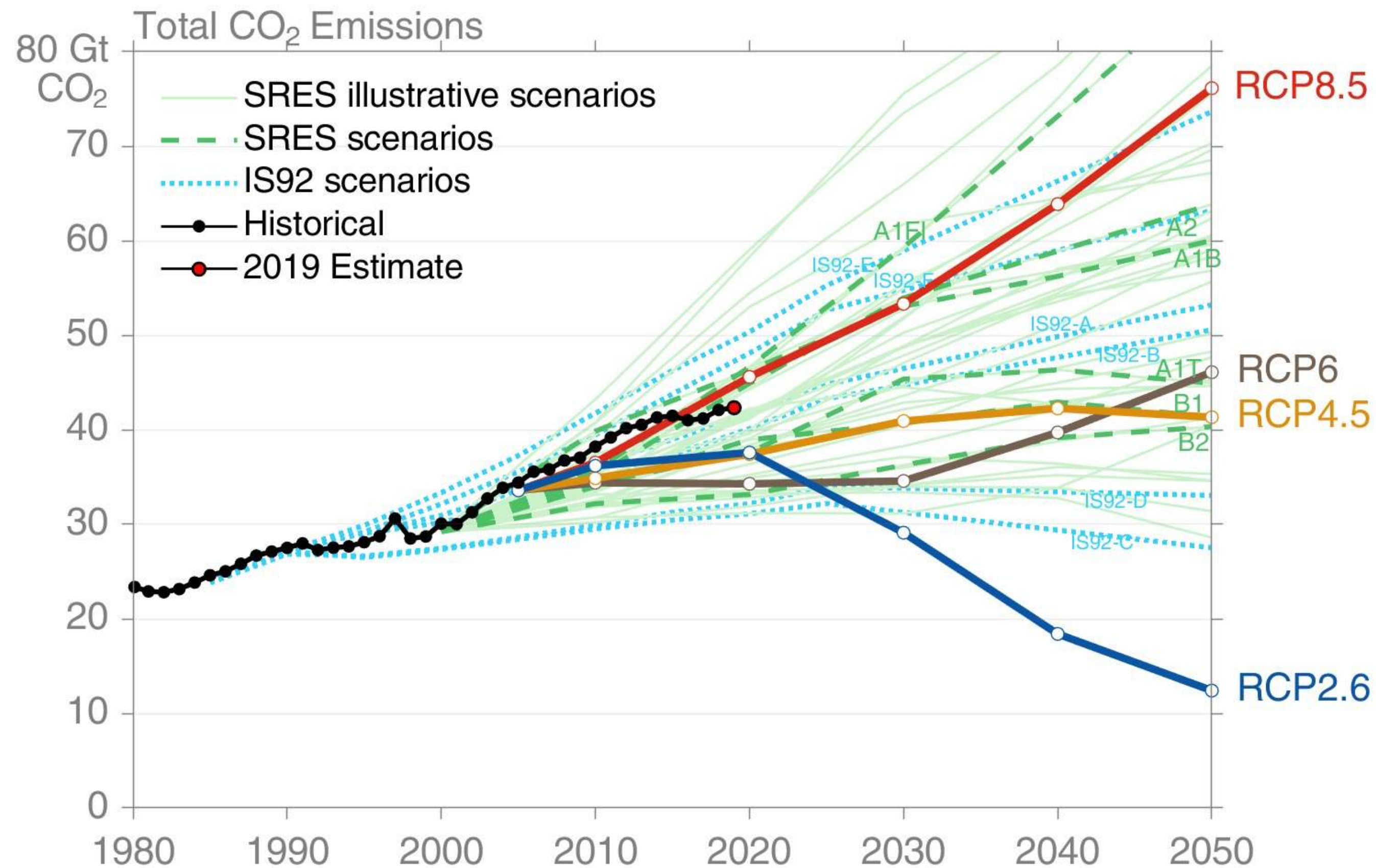


# Océan: acteur et victime du changement climatique





# Scénarios de changement futur



© Figure: @robbie\_andrew, @Peters\_Glen

**Fortes émissions de GES** in the absence of policies to combat climate change (**RCP8.5**).  
2081-2100 temperature = +4.3°C (±1.1°C)  
2081-2100 CO<sub>2</sub> concentration = 850 ppm

**Faibles émissions de GES**, with high mitigation (**RCP2.6**).  
Gives a 2 in 3 chance of limiting warming to below 2°C by 2100.  
2081-2100 temperature = +1.6°C (±0.7°C)  
2081-2100 CO<sub>2</sub> concentration = 426 ppm

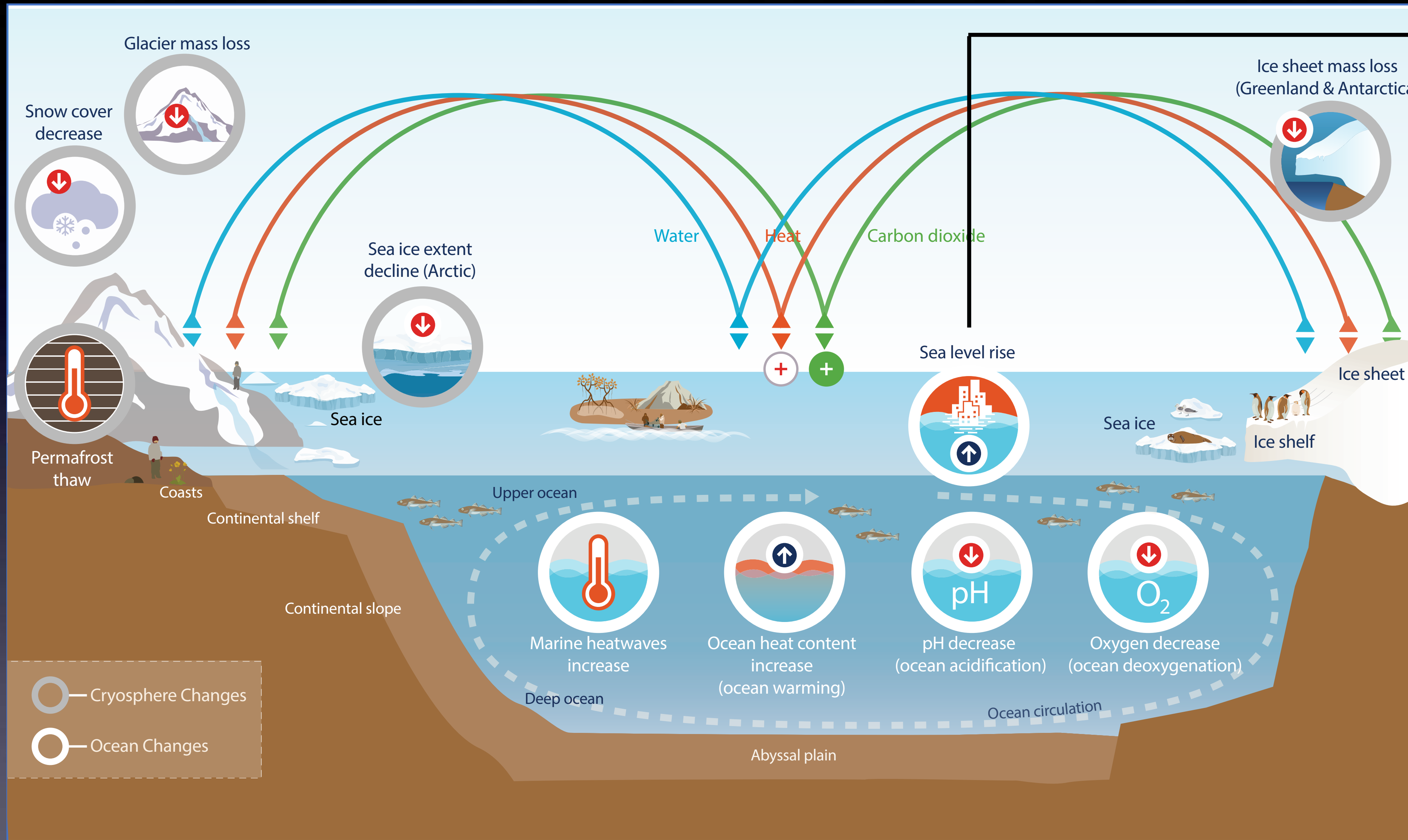


Photo: Glenn R. Specht

## Sea Level Rise



# Changements dans l'océan



## Élévation du niveau de la mer:

- +15 cm au 20ème siècle
- Actuellement 2 fois plus rapide
- Aucun scénario permet de la stopper
- Révisée à la hausse: **jusqu'à 1.10 m en 2100**
- Événements extrêmes historiquement rares (1 fois par siècle) se produiront plus fréquemment en 2100 (au moins 1 fois par an) dans beaucoup de régions avec tous les scénarios, particulièrement en zone tropicale
- En 2050, > 1 milliard d'habitants < 10 m
- **Jusqu'à 5.4 m en 2300**

# Évènements extrêmes

Sea level height and recurrence frequency

Historical Centennial extreme sea-level Events (HCEs) become more common due to sea level rise

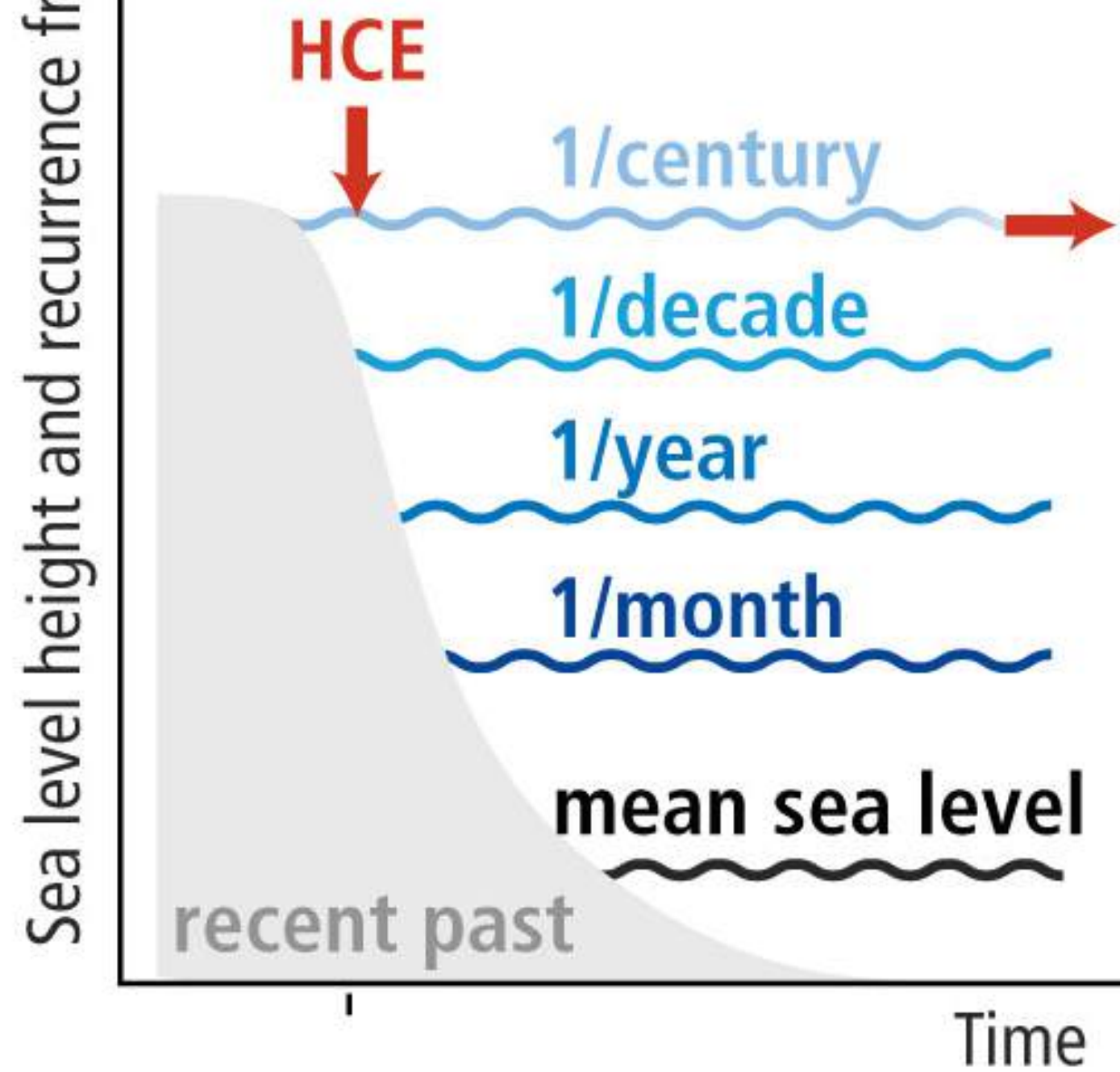


Photo: John Grainger

# Évènements extrêmes

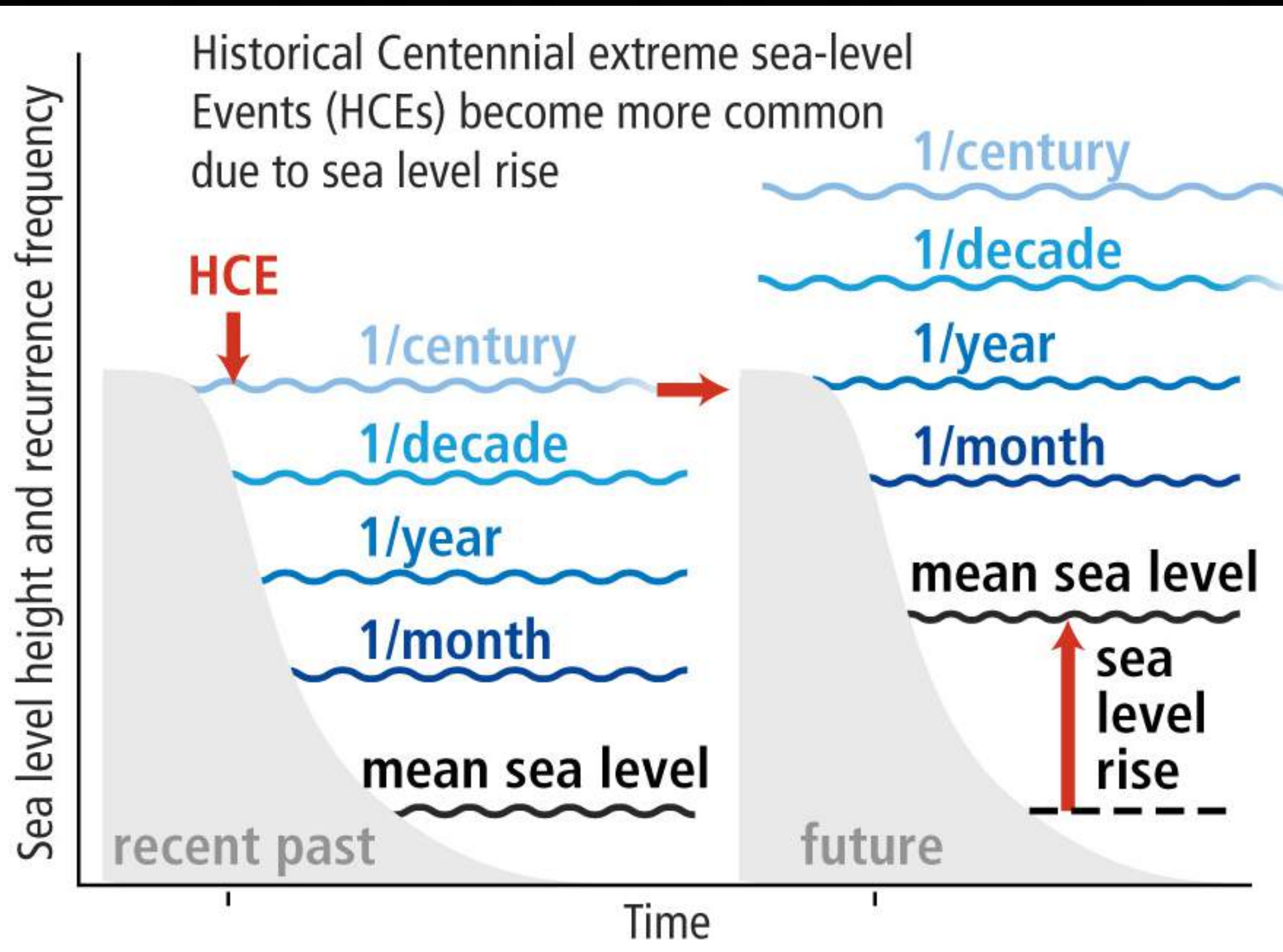


Photo: John Grainger

# Petits états insulaires

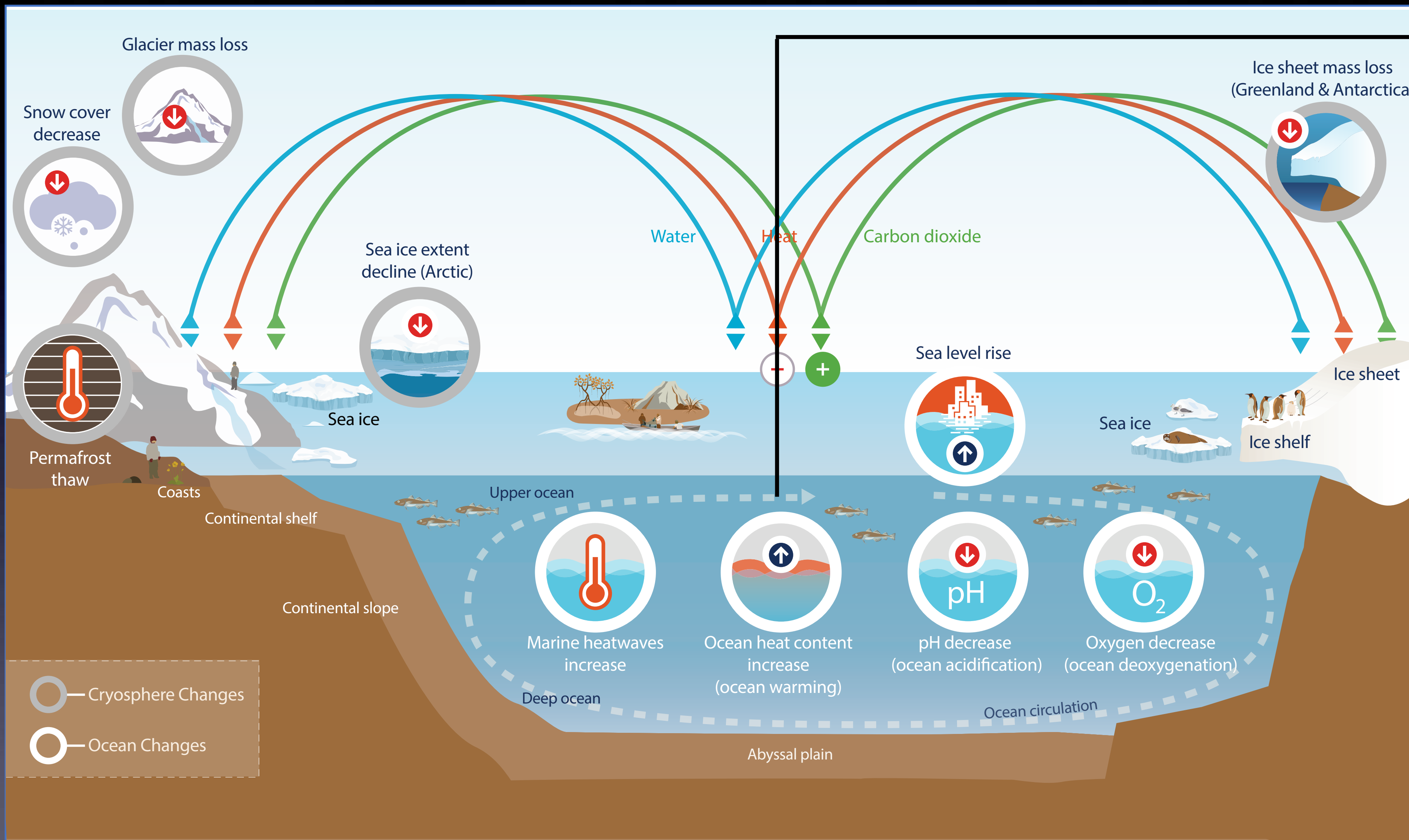




Photo: Mr. JK

# Ocean and Marine Life

# Changements dans l'océan

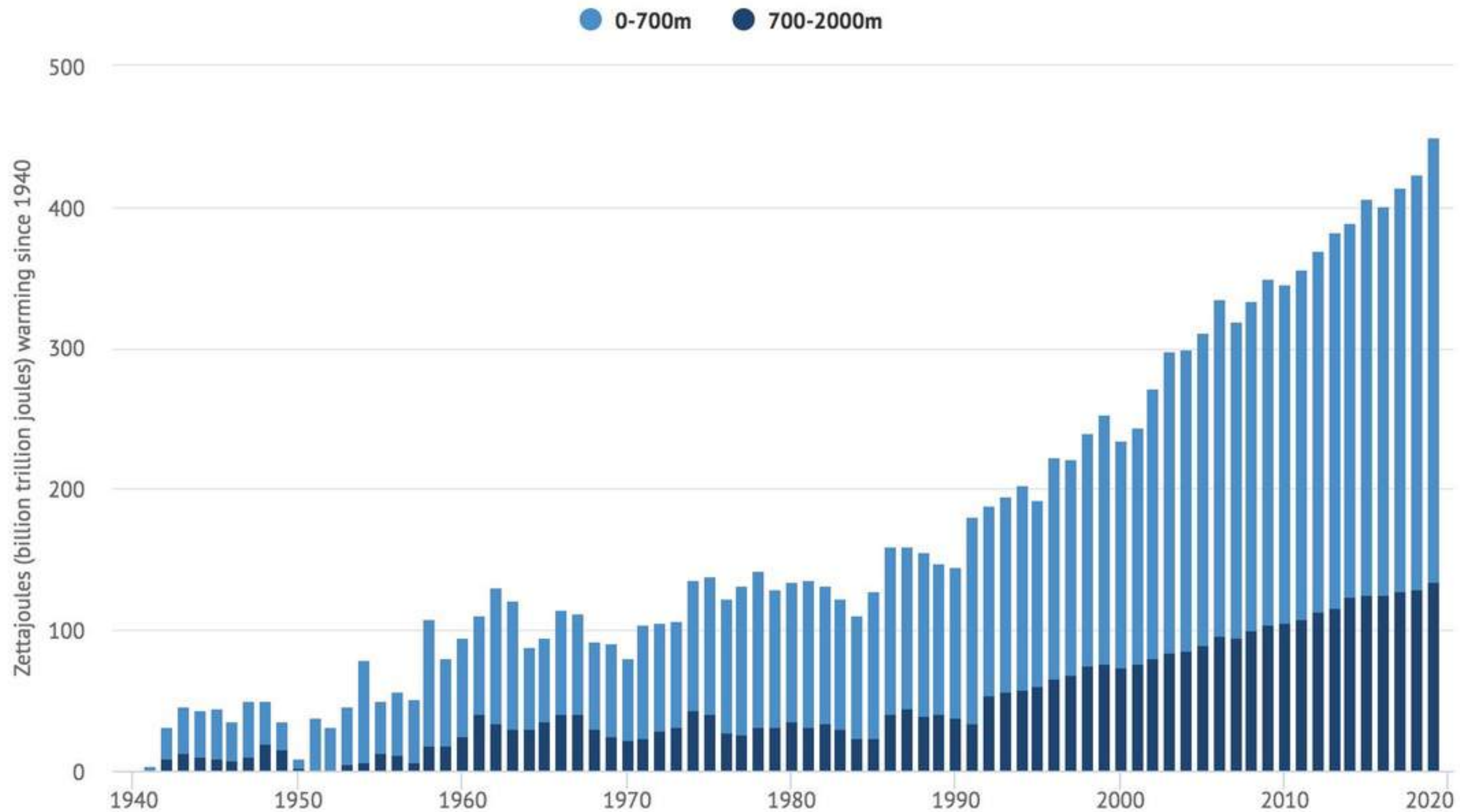


## Contenu en chaleur:

- L'océan a absorbé plus de **90 % de l'excès de chaleur**. D'ici **2100**, il va absorber **2 à 4 fois plus** de chaleur si le réchauffement global est limité à 2°C et jusqu'à **5 à 7 fois plus** pour des émissions plus élevées.
- Nombreuses conséquences (mortalité, déclin de la biomasse, redistribution des espèces...)

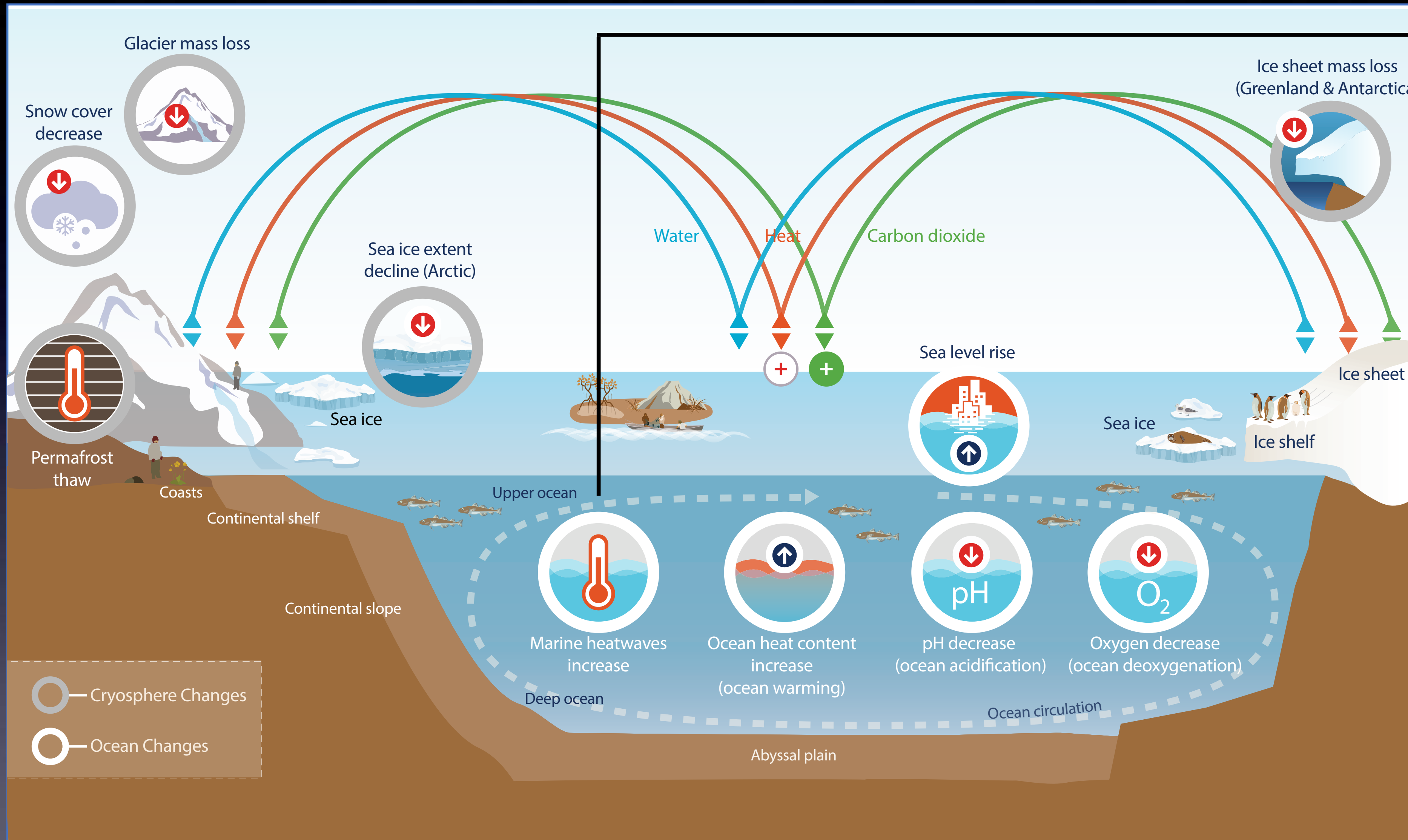
# Changements dans l'océan

Global ocean heat content, 1940-2019



Chen et al. (2020)

# Changements dans l'océan



## Vagues de chaleur:

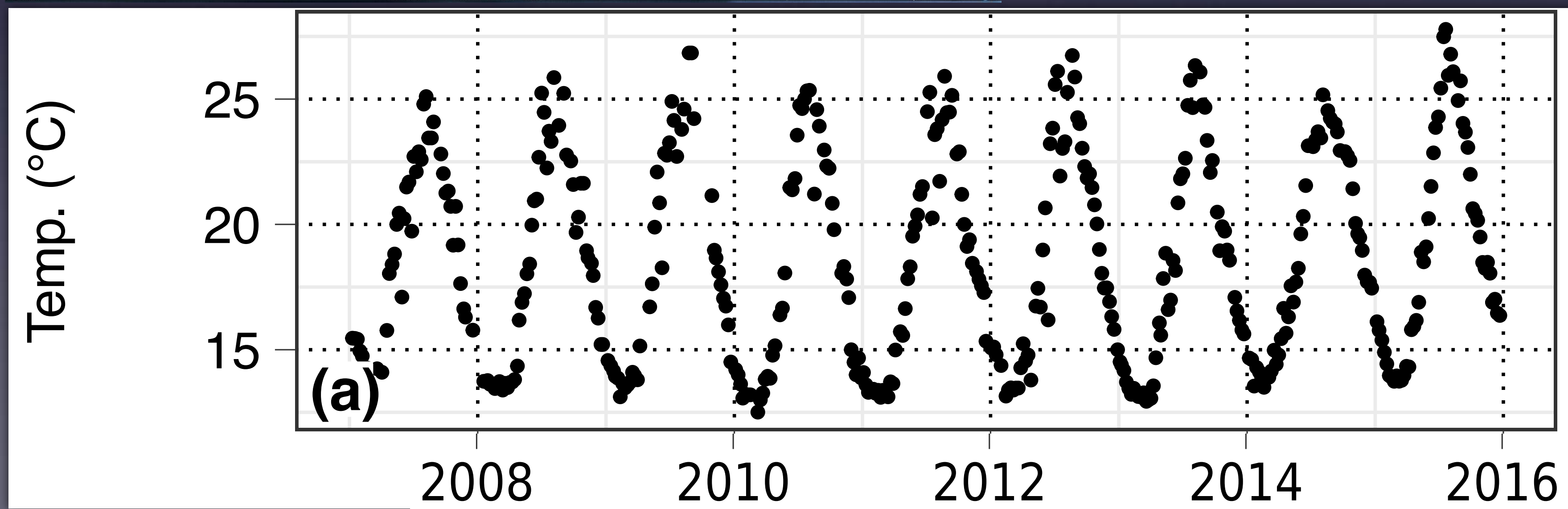
- Devenues plus fréquentes (**x2**) et intenses. Dommages sur coraux, forêts d'algues et distribution des espèces
- Continueront à augmenter en fréquence, durée, étendue et intensité: **20 fois plus fréquentes à +2°C**, par rapport au niveau pré-industriel et jusqu'à **50 fois plus fréquentes** si les émissions continuent à augmenter
- Nombreuses conséquences (mortalités massives)



# Température dans la rade de Villefranche



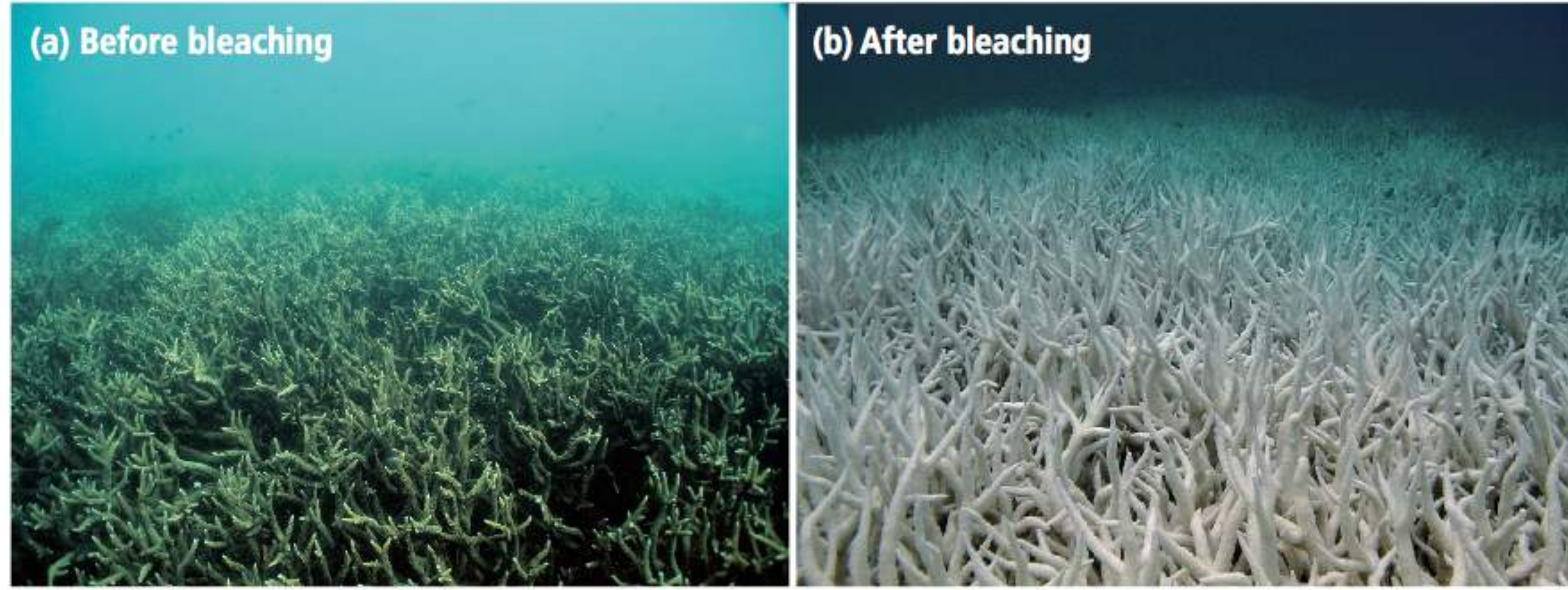
**Réchauffement très rapide :**  
0.8 °C par décennie  
(0.11°C par décennie à l'échelle globale)



# Réchauffement : mortalités massives

Récifs  
coralliens

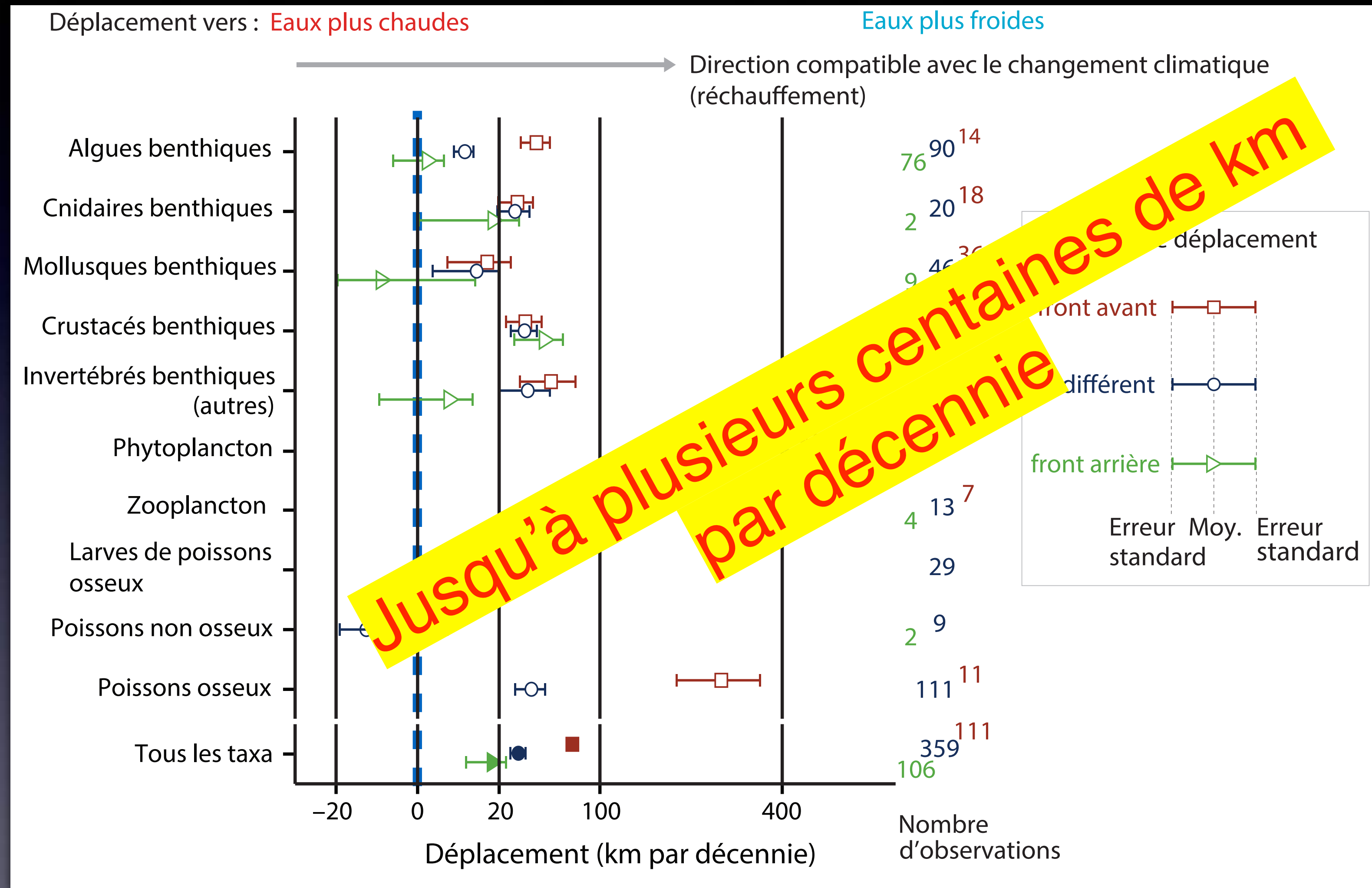
Gattuso et al. (2014). © R. Berkelmans



Également en  
Méditerranée

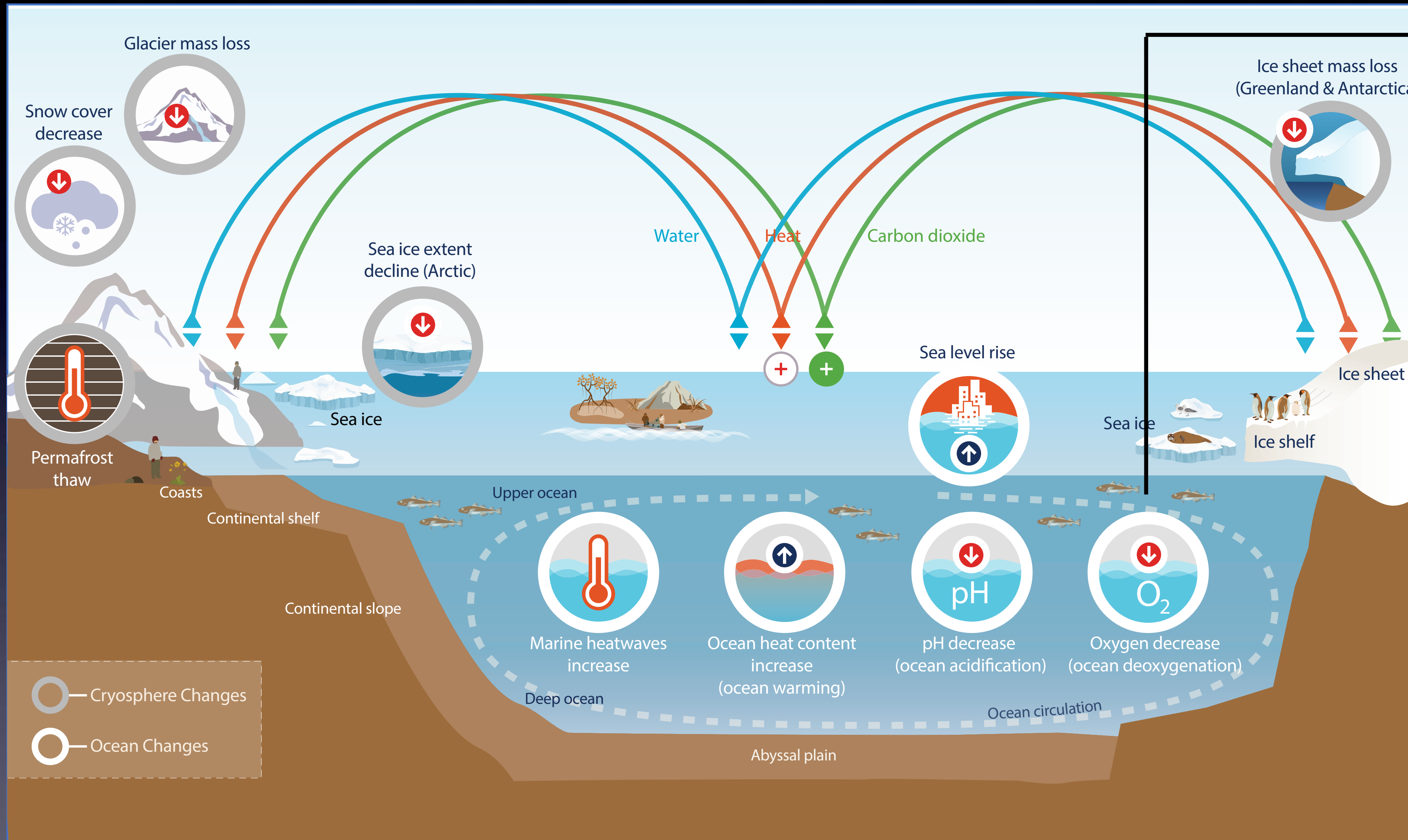


# Réchauffement : redistribution des espèces



Poloczanska et al. (2014)

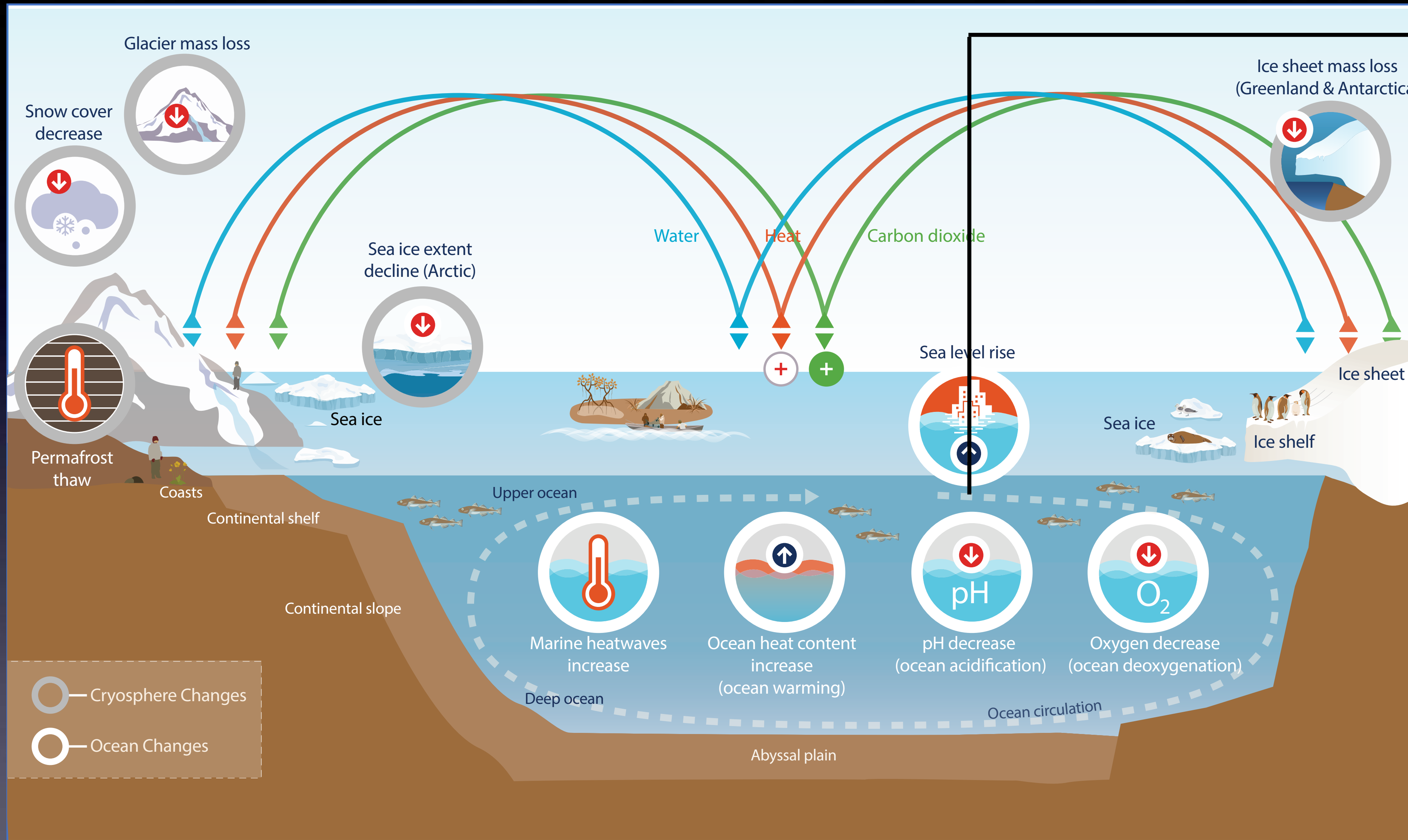
# Changements dans l'océan



## Contenu en oxygène:

- Le réchauffement de l'océan de surface diminue le mélange avec les eaux profondes, réduisant la fourniture d'oxygène et de sels nutritifs pour la vie marine

# Changements dans l'océan

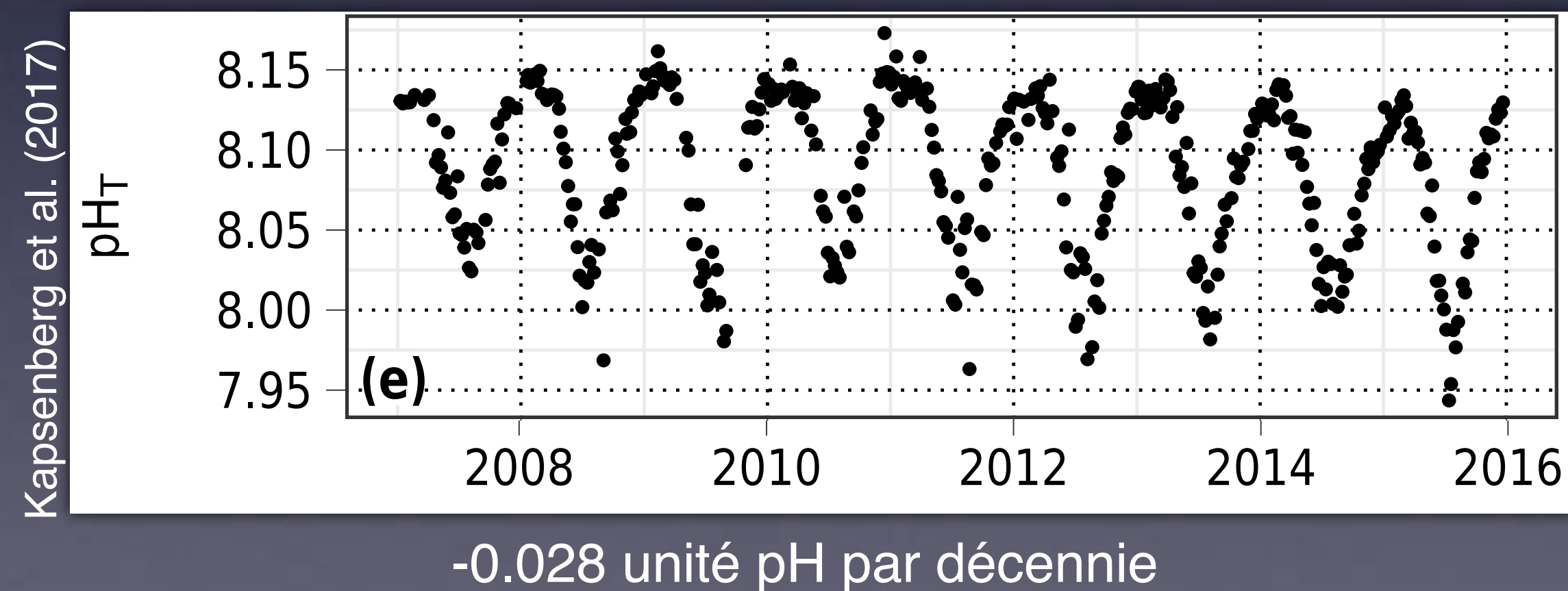
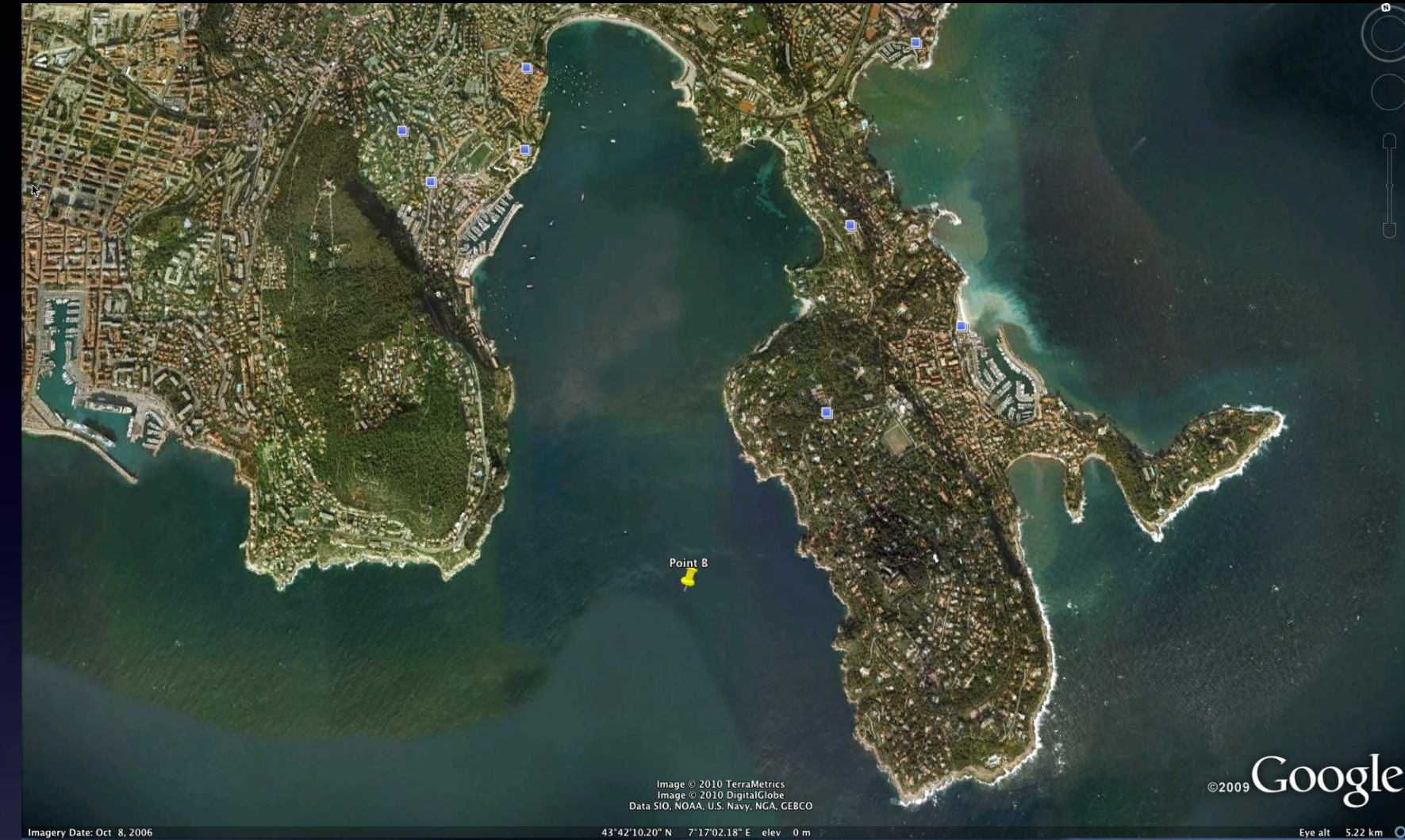


## Acidité:

- L'océan absorbe une partie du carbone émis par les activités humaines, ce qui augmente son acidité. Il a absorbé **20 à 30%** de ces émissions ce qui se poursuivra dans le futur, augmentant encore l'acidité de l'eau de mer
- Nombreuses conséquences, notamment pour les espèces calcifiées

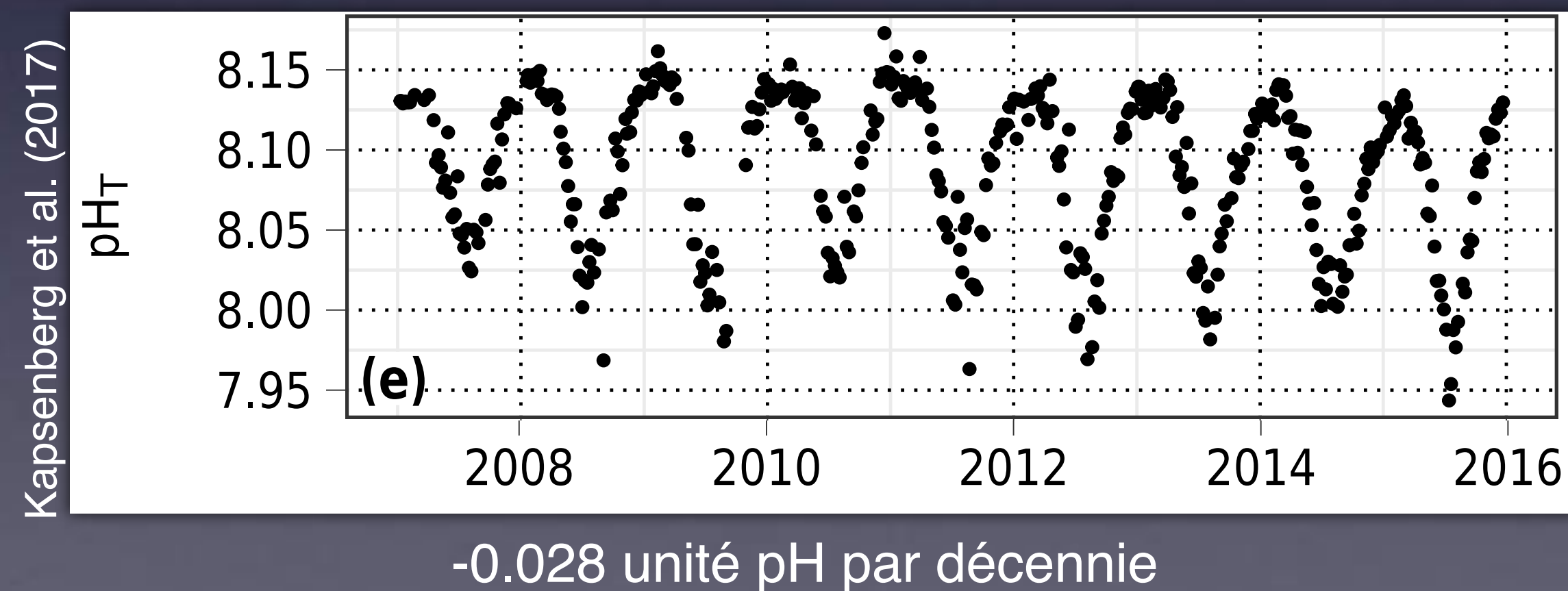
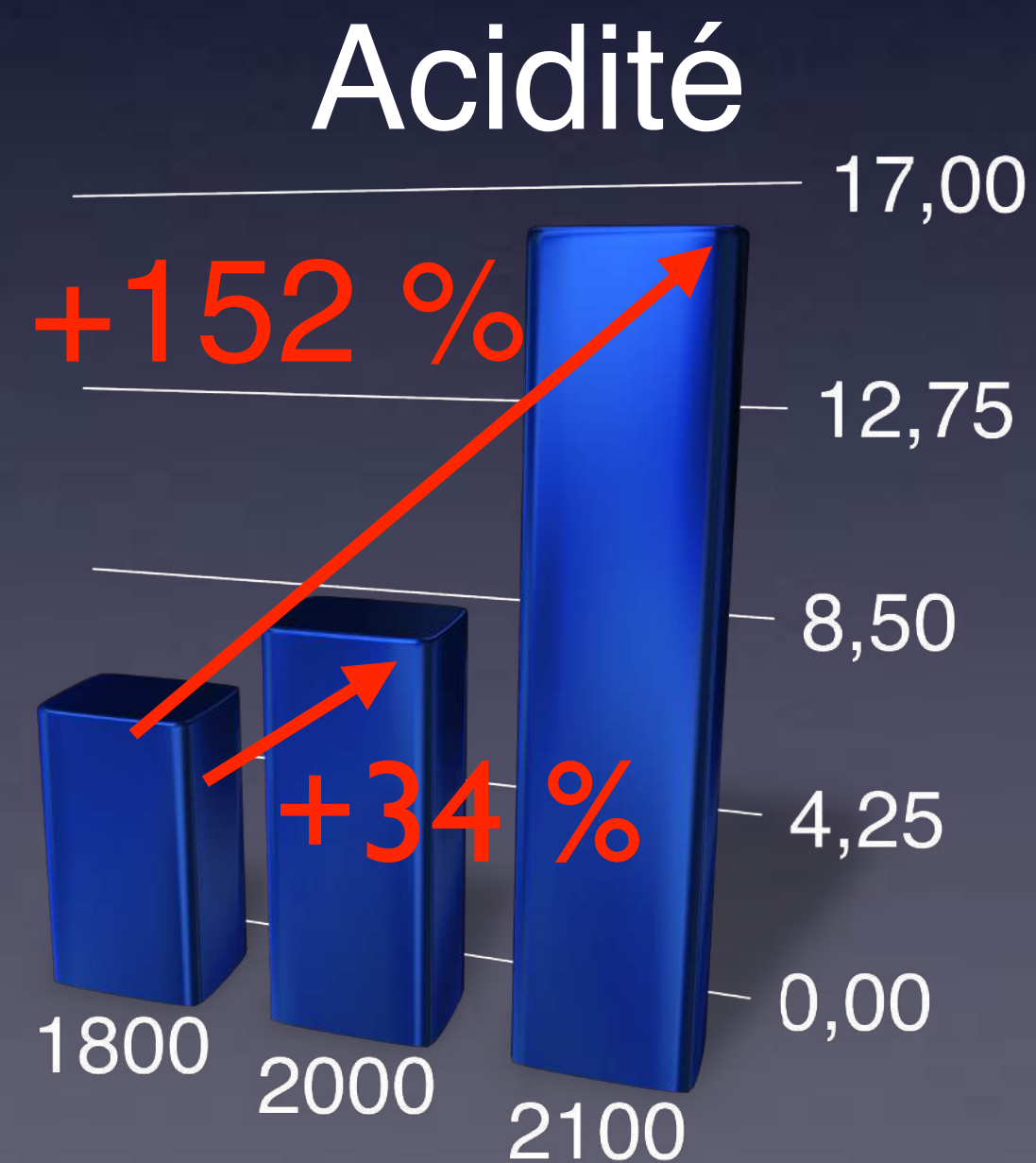
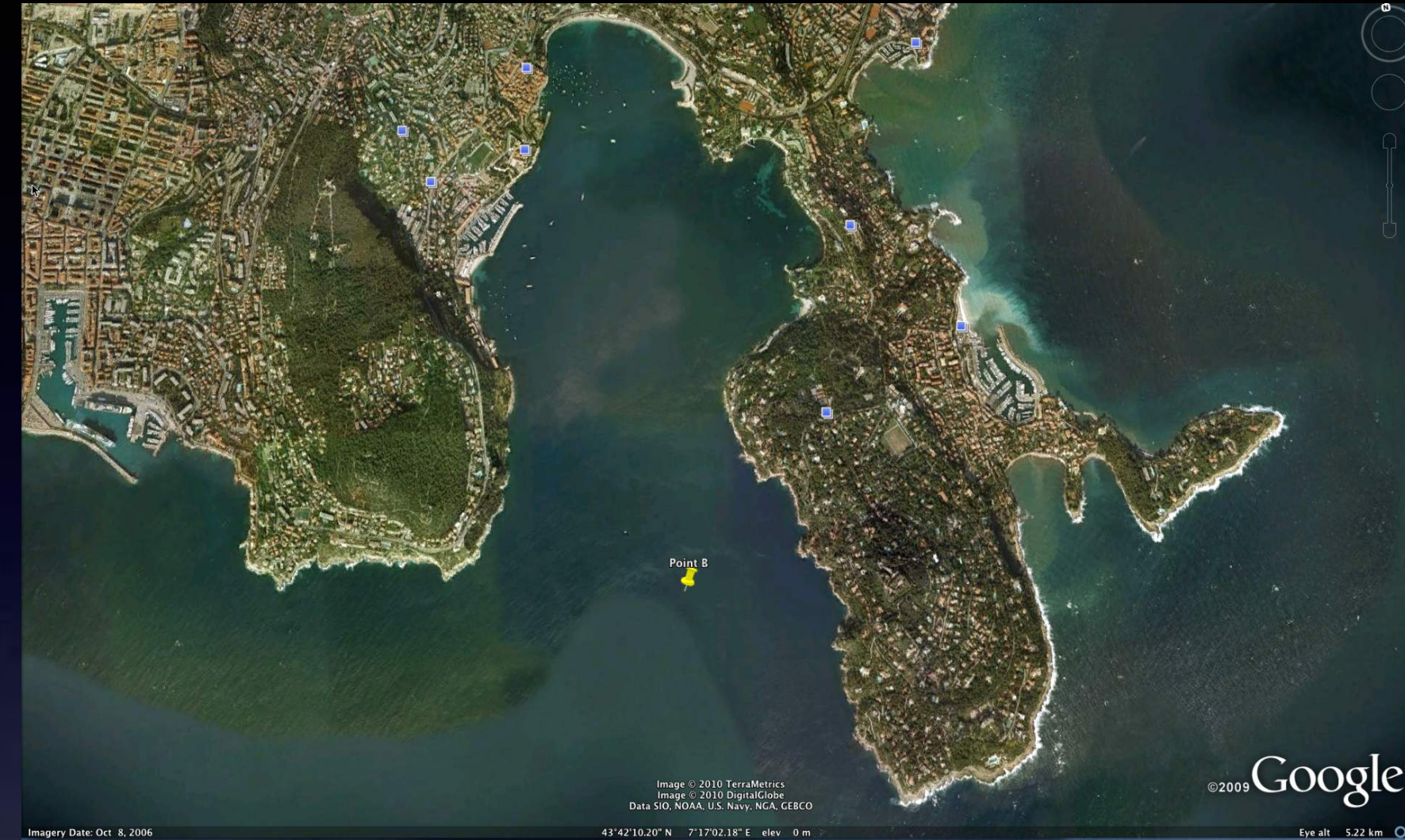
# Qu'est ce que l'acidification des océans?

- CO<sub>2</sub> est un gaz acide (il forme de l'acide carbonique lorsqu'il se dissous dans l'eau)
- Chacun de nous ajoute 4 kg CO<sub>2</sub> par jour dans l'océan

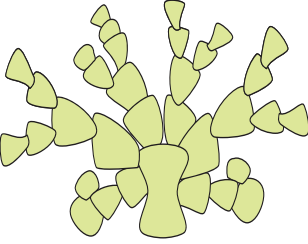
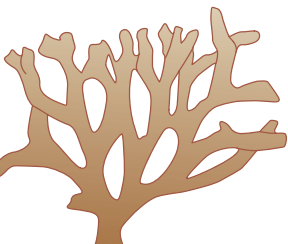

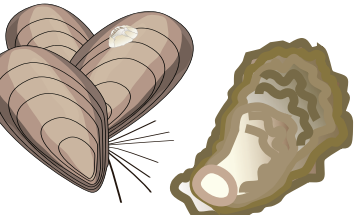
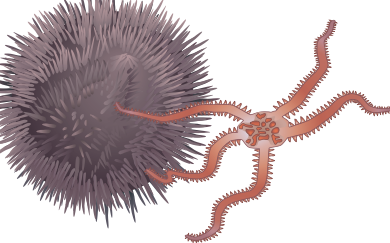

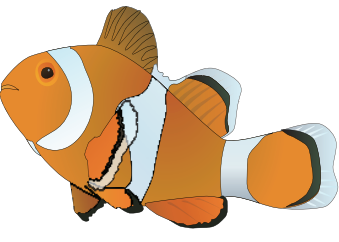
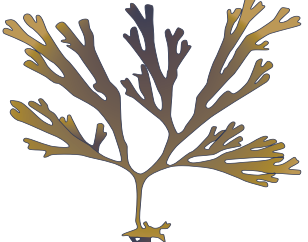

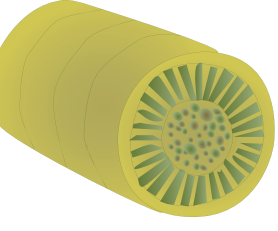


# Qu'est ce que l'acidification des océans?

- CO<sub>2</sub> est un gaz acide (il forme de l'acide carbonique lorsqu'il se dissous dans l'eau)
- Chacun de nous ajoute 4 kg CO<sub>2</sub> par jour dans l'océan



# Impacts de l'acidification

Taxa	Response	Mean Effect
 Calcifying algae	Survival	
	Calcification	
	Growth	
	Photosynthesis	-28%
	Abundance	-80%
 Corals	Survival	
	Calcification	-32%
	Growth	-23%
	Photosynthesis	
	Abundance	-47%
 Coccolithophores	Survival	
	Calcification	-9%
	Growth	
	Photosynthesis	
	Abundance	
 Molluscs	Survival	-34%
	Calcification	-40%
	Growth	-17%
	Development	-25%
	Abundance	
 Echinoderms	Survival	
	Calcification	
	Growth	-10%
	Development	-11%
	Abundance	
 Crustaceans	Survival	
	Calcification	
	Growth	
	Development	
	Abundance	
 Fish	Survival	
	Calcification	
	Growth	
	Development	
	Abundance	
 Fleshy algae	Survival	
	Calcification	
	Growth	+22%
	Photosynthesis	
	Abundance	
 Seagrasses	Survival	
	Calcification	
	Growth	
	Photosynthesis	
	Abundance	
 Diatoms	Survival	
	Calcification	
	Growth	+12%
	Photosynthesis	
	Abundance	



Kroeker et al. (2013)



# Acidification et biodiversité

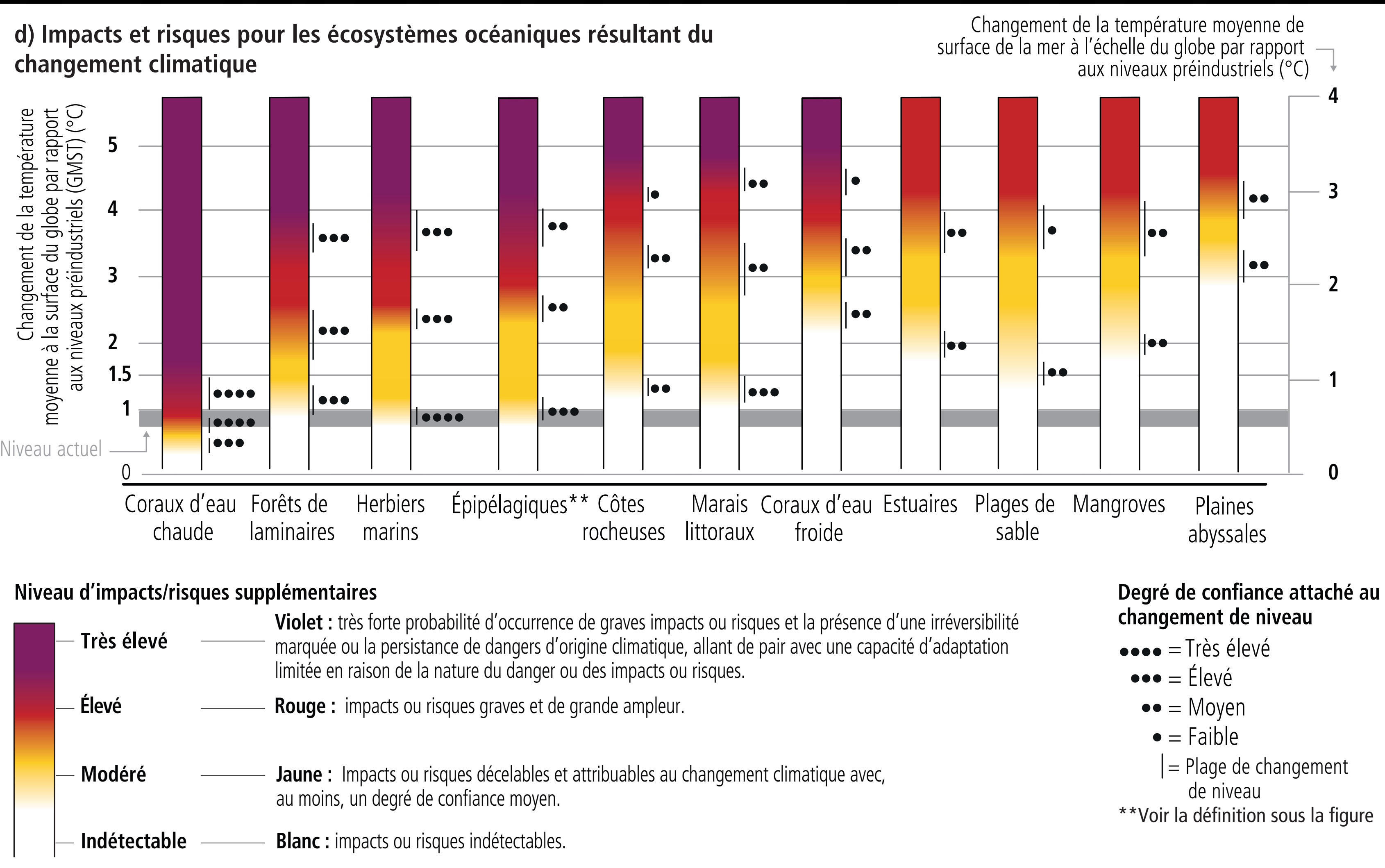


## Sources naturelles de CO<sub>2</sub> (Ischia)

- Disparition de certaines espèces calcaires
- Réduction de la biodiversité
- Changement des communautés
- Réchauffement peut augmenter ces impacts de l'acidification



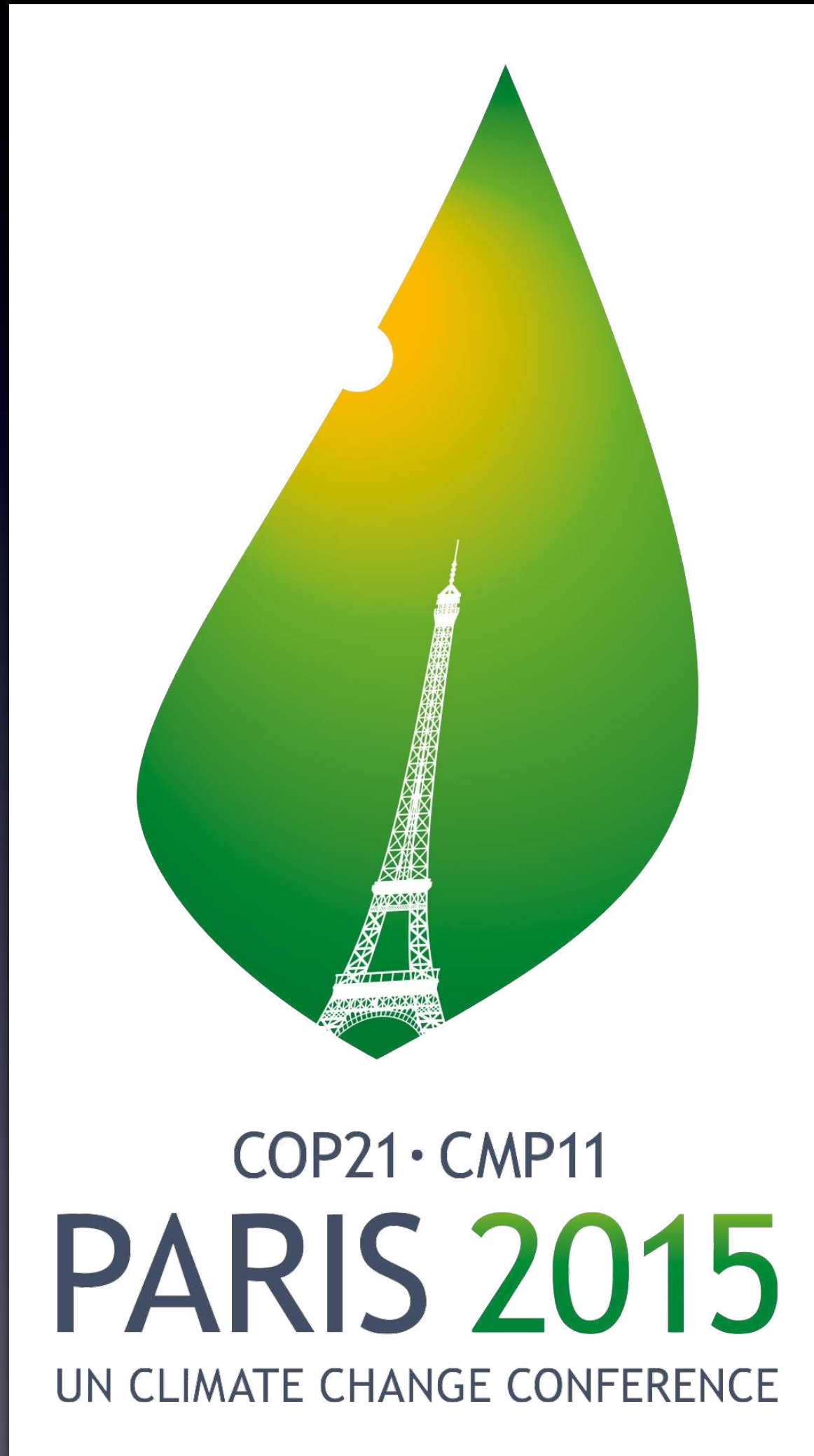
# Risques sur les écosystèmes marins et côtiers



- **Risques d'impacts majeurs** sur la biodiversité, la structure et la fonction des écosystèmes côtiers seront **plus importants si avec des émissions élevées de gaz à effet de serre**
- Les **réponses** incluent la perte des habitats et de diversité, ainsi que la dégradation des fonctions écosystémiques
- **Capacités d'acclimatation et d'adaptation** sont plus importantes avec de fortes émissions
- **Herbiers de plantes et forêts de macroalgues** : risques élevés à +2°C, en association avec les autres facteurs environnementaux
- **Coraux d'eau chaude** risque élevé aujourd'hui; transition vers risque très élevé à +1.5°C

- L'océan subit le changement climatique depuis plusieurs décennies
- Les conséquences pour la nature et l'humanité sont très larges et sévères
- SROCC souligne l'urgence de prioriser une action ambitieuse, coordonnée, rapide et dans la durée

# Accord de Paris



*“contenir l’élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre l’action menée pour limiter l’élévation des températures à 1,5 °C...”*

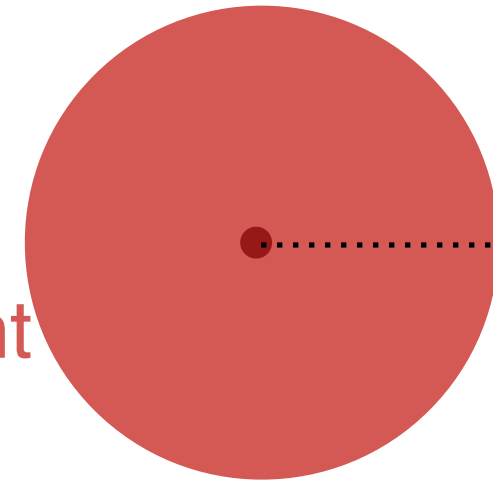


# Mise en oeuvre de l'Accord de Paris

Estimations de Climate Analytics basées sur rapports du GIEC

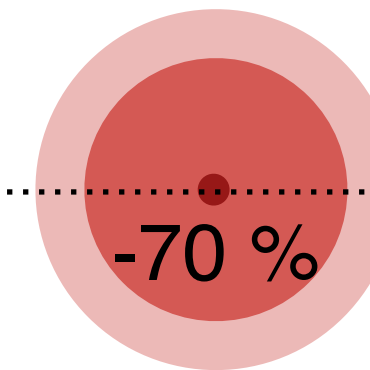
Objectif **2 °C**  
66 % de chances de contenir le réchauffement sous 2°C en 2100

100 %



Réduction de 40 à 70 %  
des émissions

-40 %



-70 %

Émissions de gaz à effet de serre



Zéro émission  
nette



2010

2050

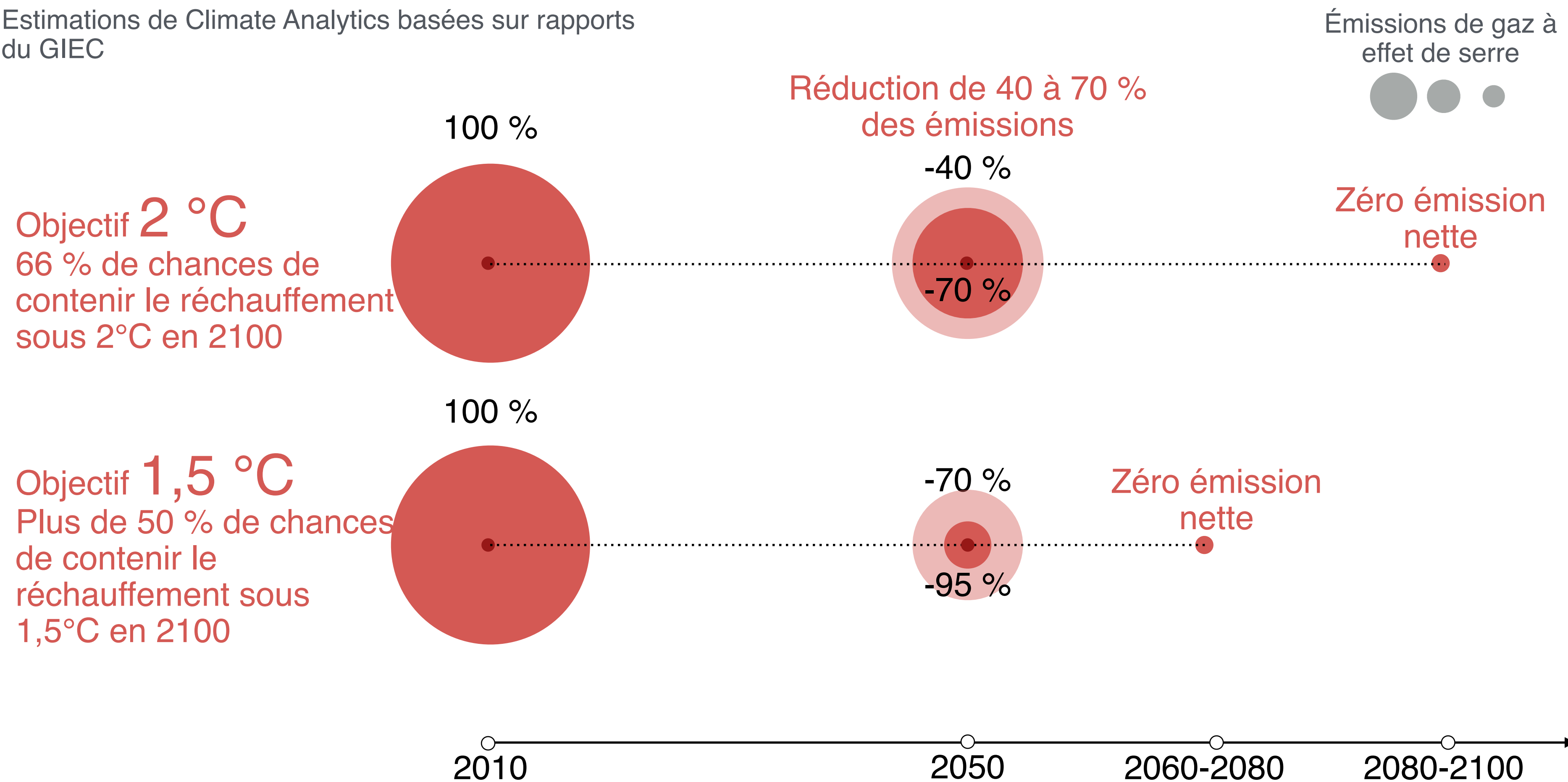
2060-2080

2080-2100

Modifié à partir de Carbon Brief

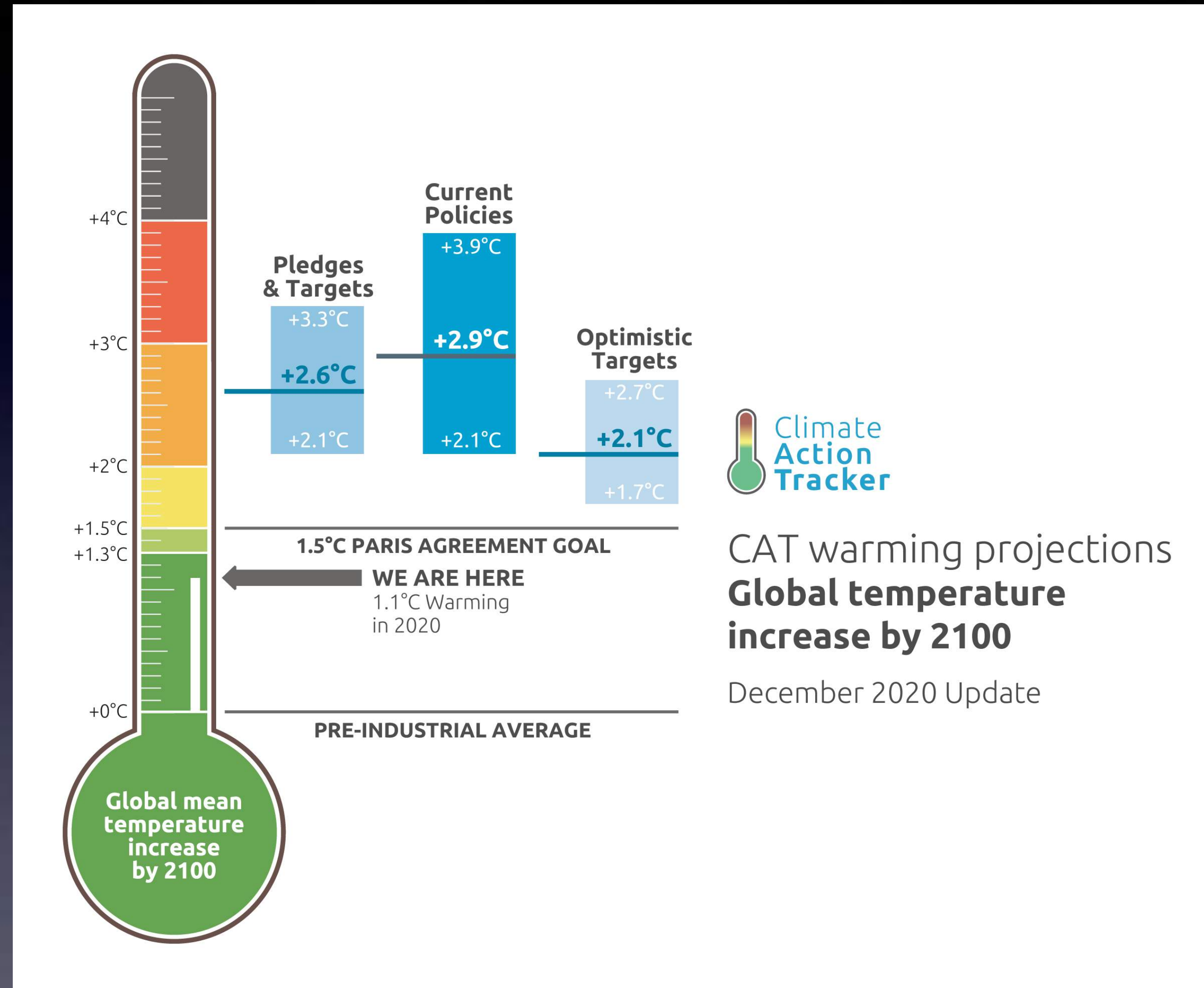
# Mise en oeuvre de l'Accord de Paris

Estimations de Climate Analytics basées sur rapports du GIEC

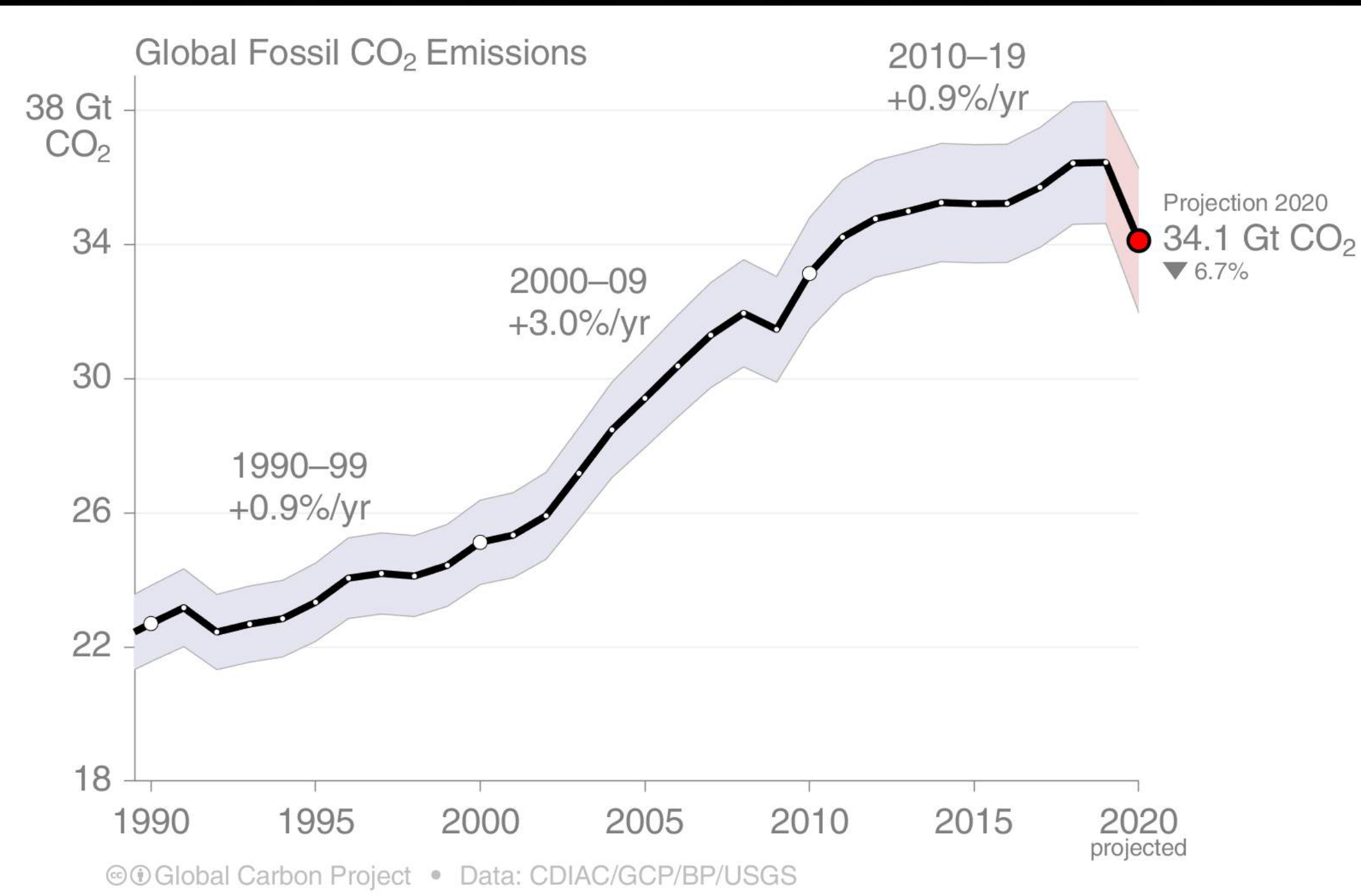


Modifié à partir de Carbon Brief

# Projections de température après Accord de Paris

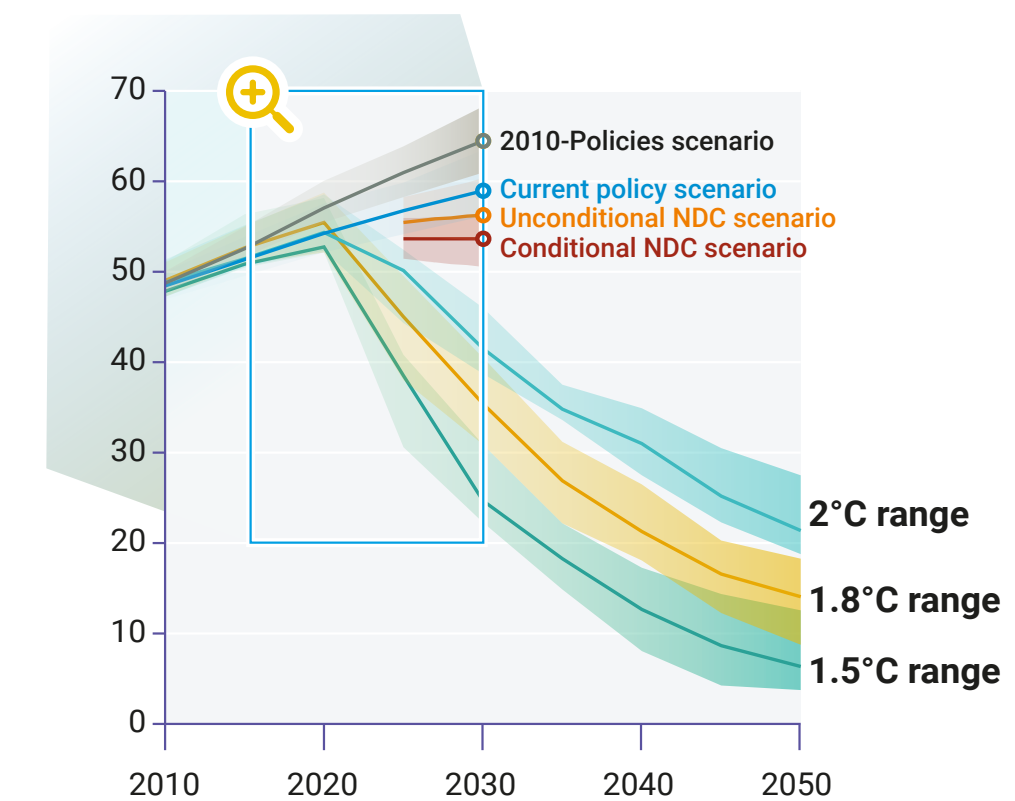
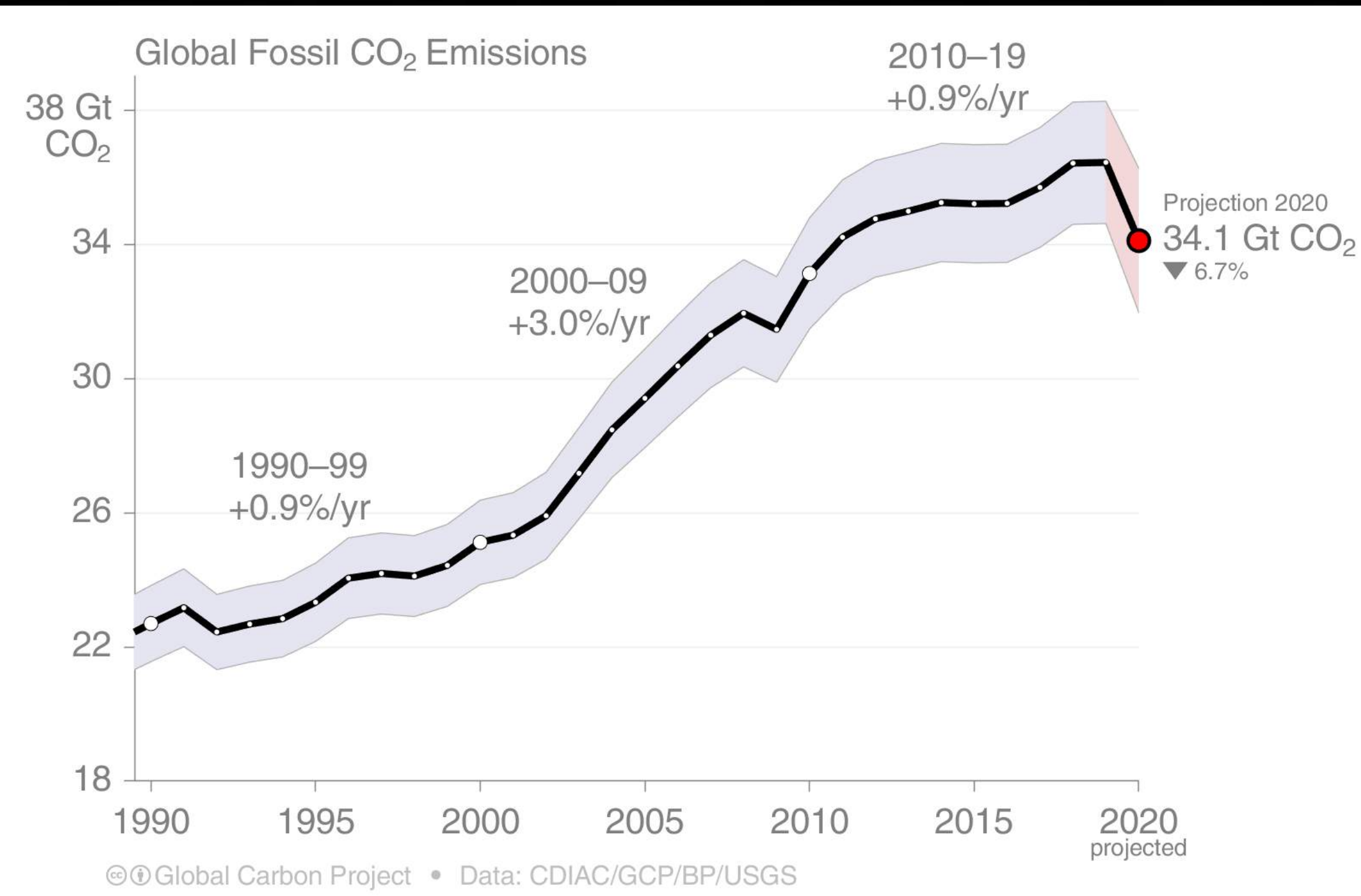


# Accord de Paris : où en sommes-nous ?



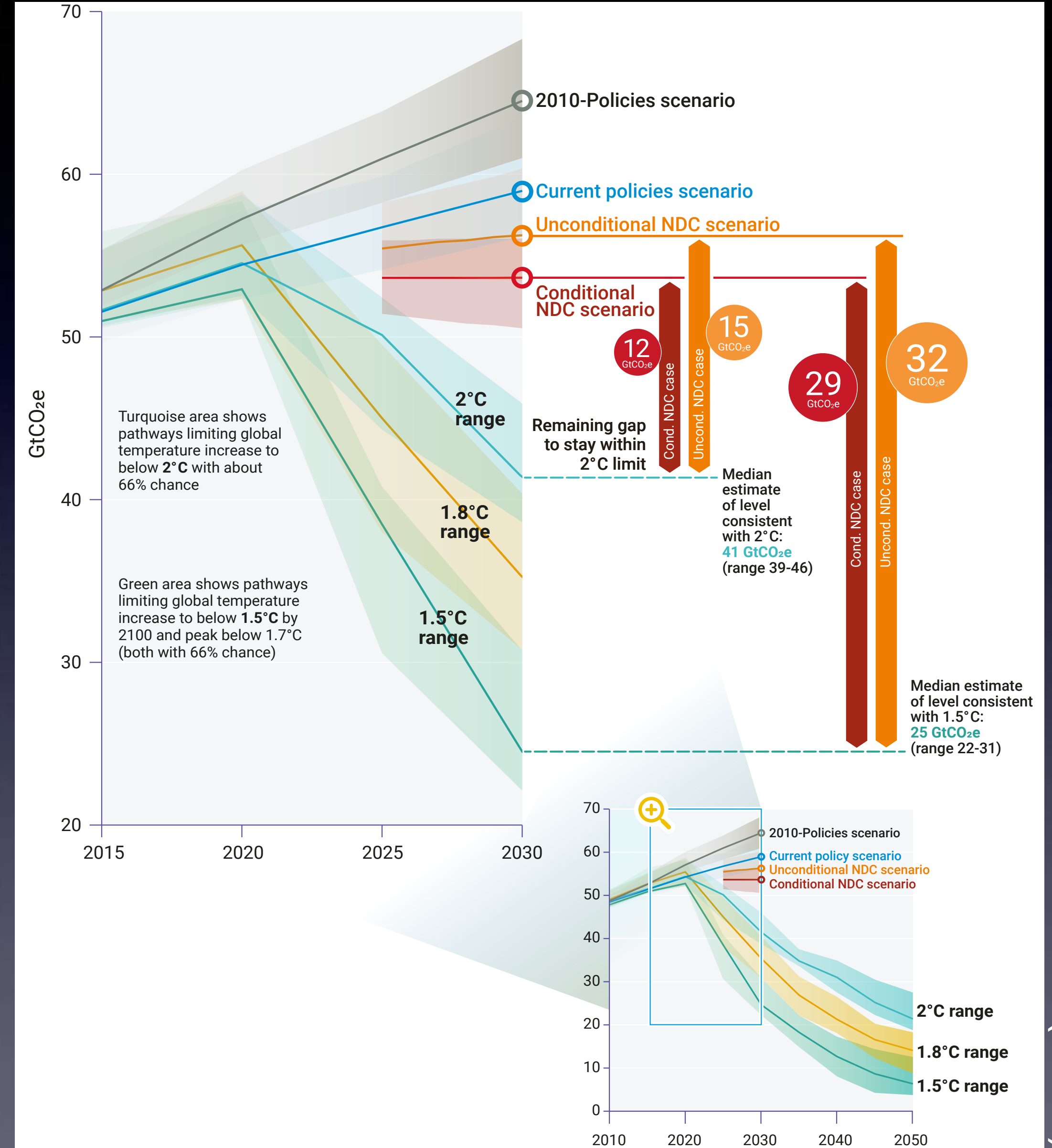
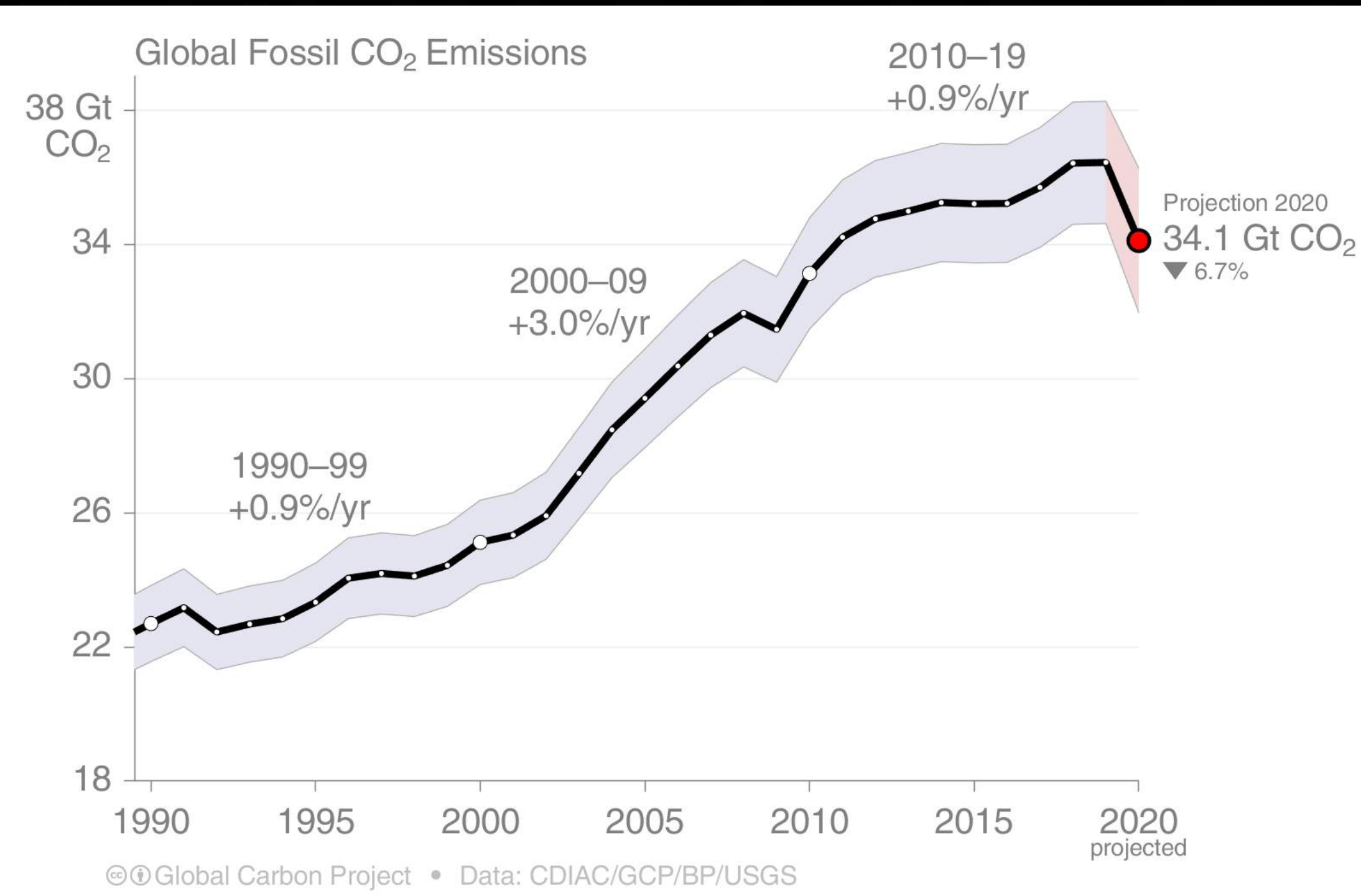


# Accord de Paris : où en sommes-nous ?



UNEP (2020)

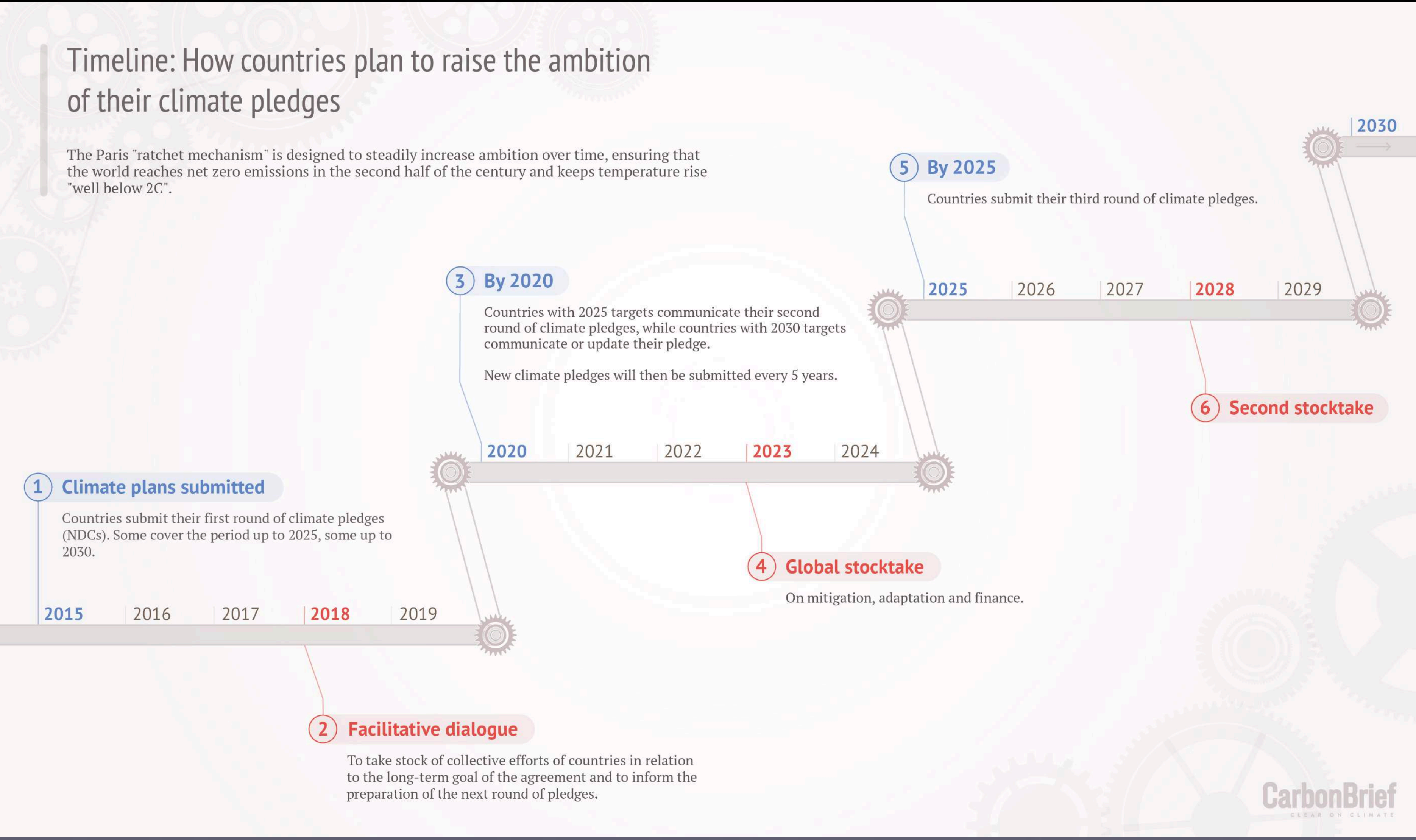
# Accord de Paris : où en sommes-nous ?



# Océan et climat

- Le changement climatique affecte déjà les écosystème marins et côtiers et les services qu'ils nous fournissent
- **L'Accord de Paris** peut permettre d'*éviter une situation hors de contrôle* mais on doit *contrôler l'inévitable*
- Besoin urgent d'une atténuation globale et ambitieuse ainsi que d'une adaptation locale. **L'océan fournit des solutions** pour ces deux réponses.

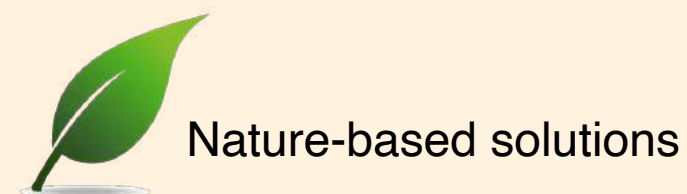
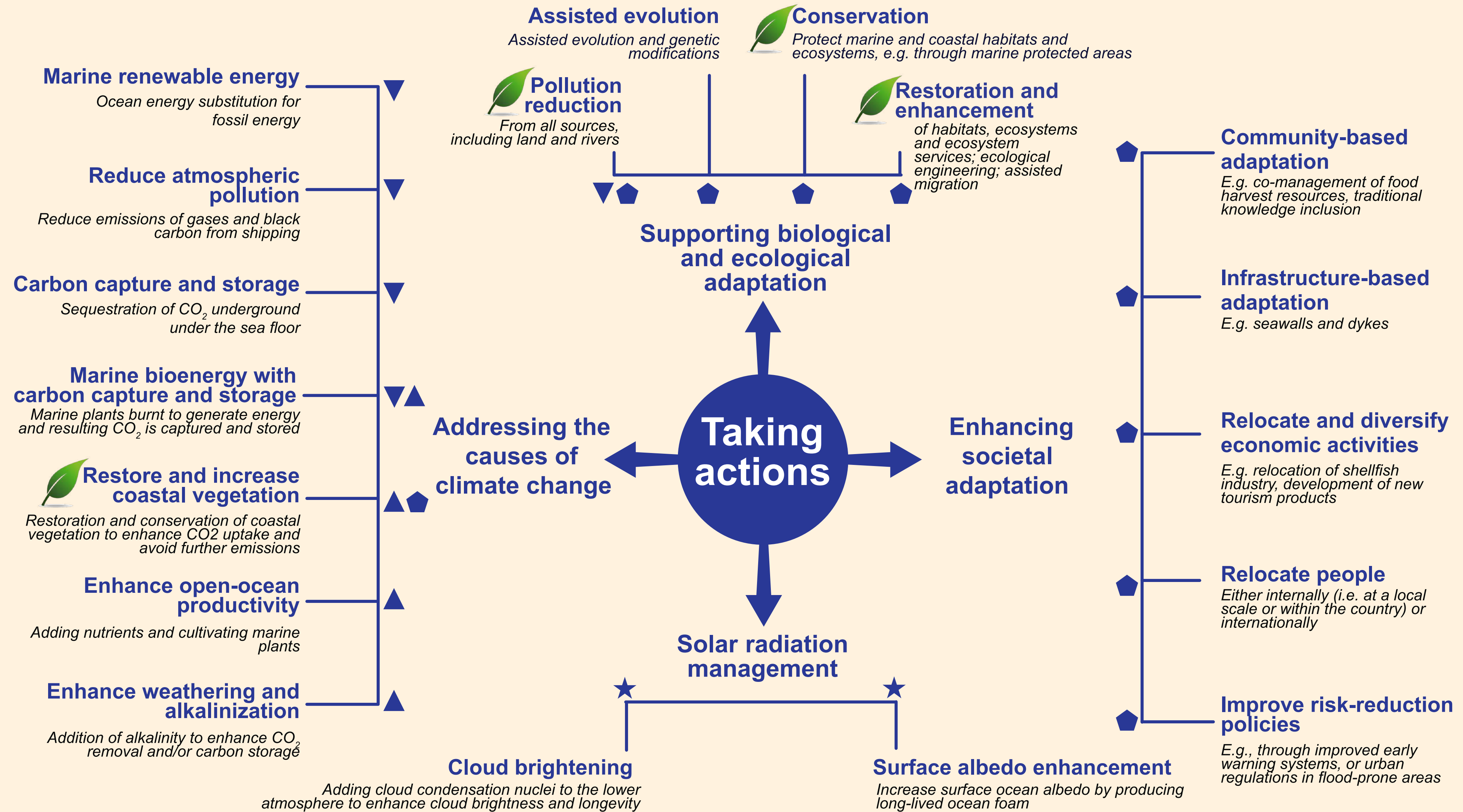
# Prochaines échéances : CCNUCC



# Solutions basées sur l'océan



# Assessment— 18 ocean-based measures

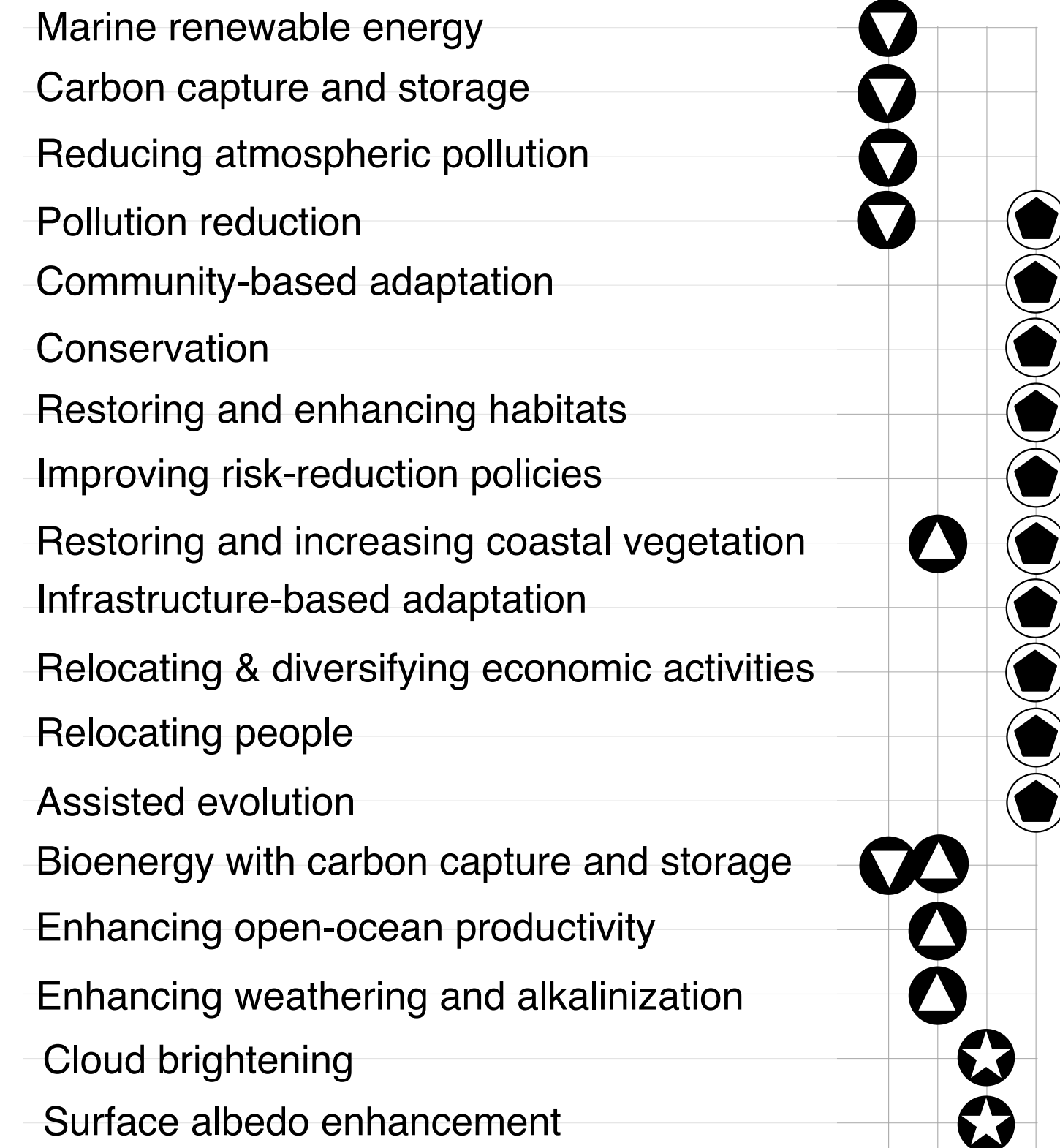


Main areas of action

- ▼ Mitigation (reducing sources of GHG)
- ▲ Mitigation (increasing sinks of GHG)
- ◆ Adaptation
- ★ Solar radiation manipulation

# Clusters of ocean actions

## Ocean-based measures



- Address the causes of climate change**
- ▼ = Mitigation (reducing sources of GHG)
  - ▲ = Mitigation (increasing sinks of GHG)
  - ★ = Solar Radiation management
- Address the impacts of climate change**
- ◐ = Ecological/Societal Adaptation

# Clusters of ocean actions

## Policy clusters

### Decisive

- Already implemented in the real-world
- High effectiveness to reduce climate-related ocean drivers globally (for mitigation actions)
- Range of low to high effectiveness to reduce impacts/risks locally
- Relatively limited uncertainties, and few disbenefits

### Low Regret

- Already implemented in the real-world
- Low effectiveness to reduce climate-related ocean drivers globally
- Moderate-to-high effectiveness to reduce impacts/risks locally
- High non-climatic co-benefits and no-to-very-limited disbenefits

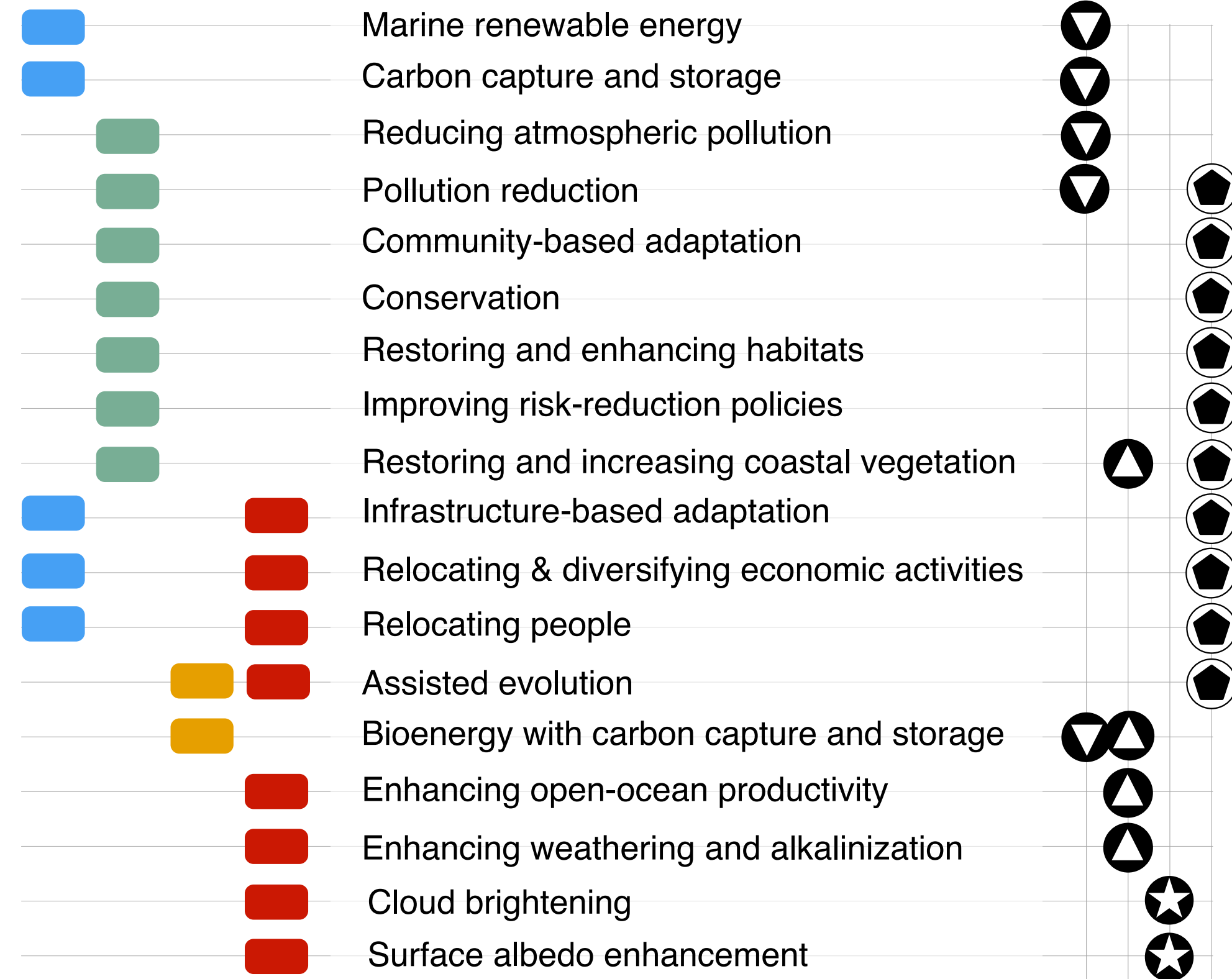
### Unproven

- Currently at concept stage
- Potentially low to moderate effectiveness to reduce climate-related ocean drivers globally
- Potentially low to moderate effectiveness to reduce impacts/risks locally
- Potentially low-to-moderate disbenefits

### Risky

- Currently at concept stage
- Potentially high effectiveness to reduce climate-related ocean drivers globally
- Potentially low to high effectiveness to reduce impacts/risks locally
- Potentially high disbenefits

## Ocean-based measures



Address the causes of climate change

- ▼ = Mitigation (reducing sources of GHG)
- ▲ = Mitigation (increasing sinks of GHG)
- ★ = Solar Radiation management

Address the impacts of climate change

- ⬠ = Ecological/Societal Adaptation

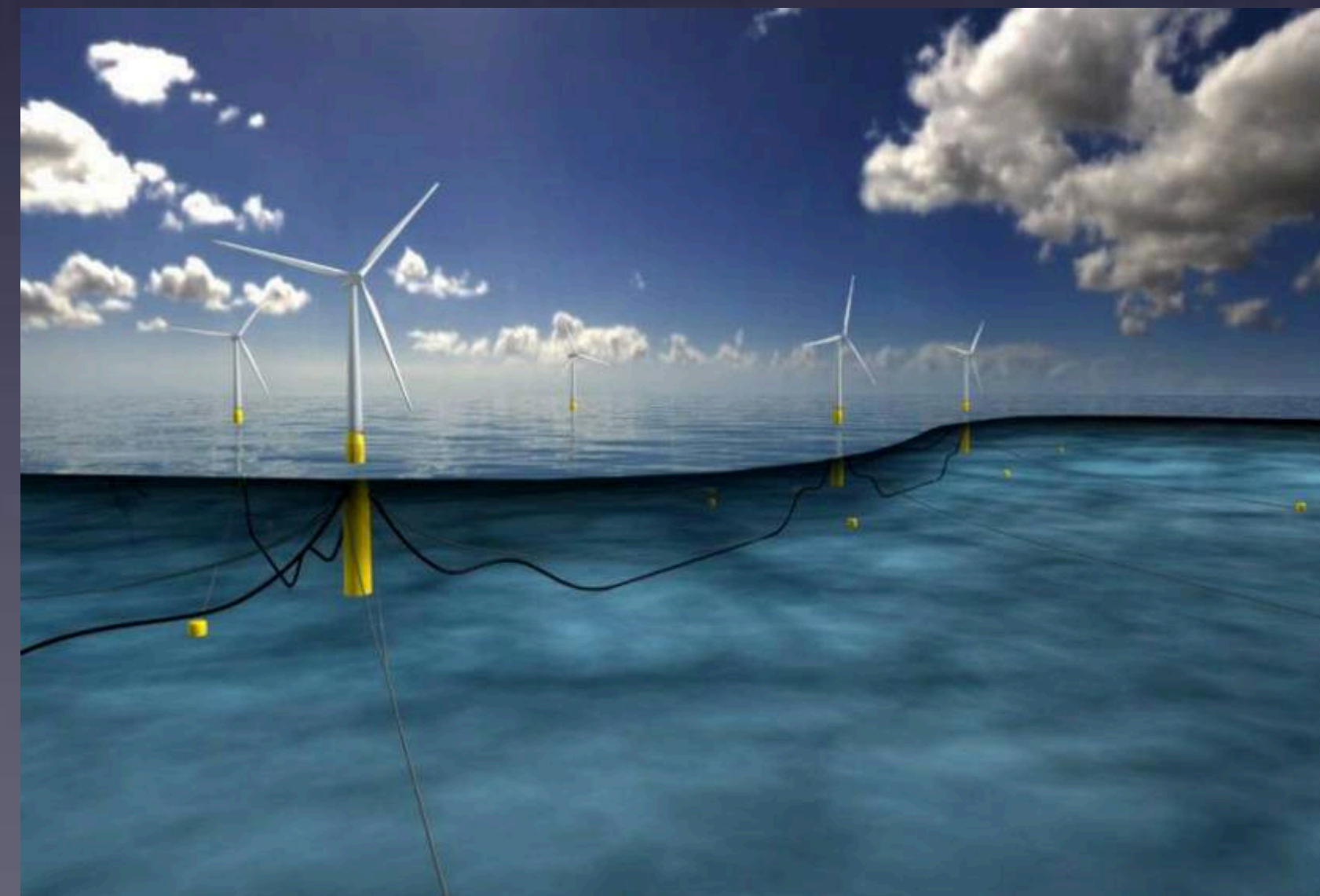


# Énergie éolienne

- Possner & Caldeira (PNAS, 2017)
- La surface continentale disponible est limitée
- Océan:
  - Vitesse du vent jusqu'à 70 % supérieure qu'à terre
  - Vent plus constant
  - Surface disponible très supérieure
- L'énergie éolienne disponible dans l'Atlantique nord suffisante pour fournir l'énergie nécessaire à toute la planète
- Mais:
  - Calculs théoriques
  - Vents changent en fonction des saisons
  - Technologie pas disponible, notamment pour le transfert de l'énergie à terre
  - Modèles suggèrent qu'une extraction de cette ampleur pourrait avoir de très importantes conséquences climatiques, par exemple un refroidissement de l'Arctique jusqu'à 13°C



© Chang W. Lee/The New York Times



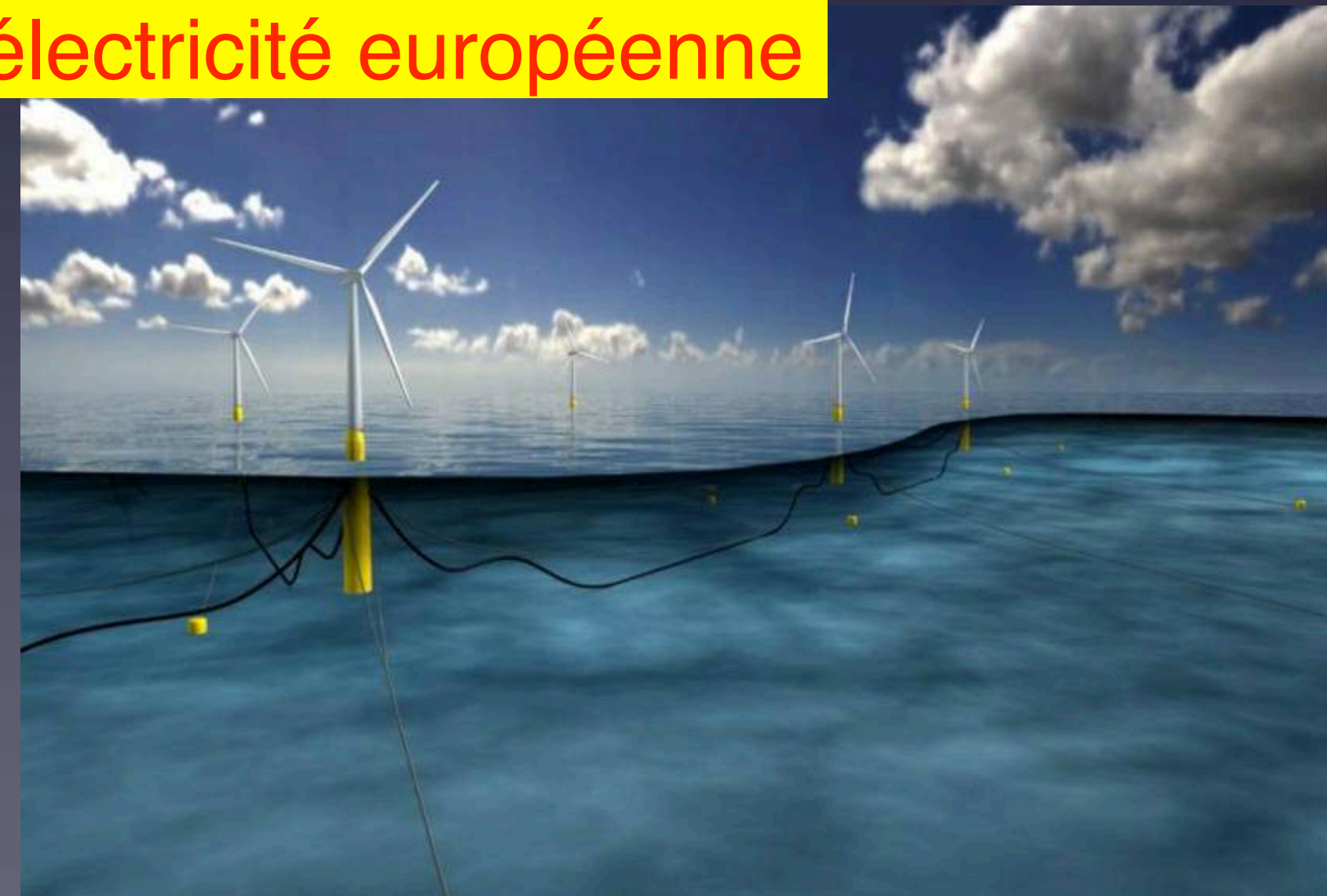
© Statoil

# Énergie éolienne

- Possner & Caldeira (PNAS, 2017)
- La surface continentale disponible est limitée
- Océan:
  - Vitesse du vent jusqu'à 70 % supérieure qu'à terre
  - Vent plus constant
  - Surface disponible très supérieure
- L'énergie éolienne disponible dans l'Atlantique nord suffisante pour fournir l'énergie nécessaire à toute la planète
- Mais:
  - Calculs théoriques
  - Vents changent en fonction des saisons
  - Technologie pas disponible, notamment pour le transfert de l'énergie à terre
  - Modèles suggèrent qu'une extraction de cette ampleur pourrait avoir de très importantes conséquences climatiques, par exemple un refroidissement de l'Arctique jusqu'à 13°C



D'après Ocean Energy Europe, les énergies tirées de l'océan pourraient fournir 10 % de la demande en électricité européenne



© Chang W. Lee/The New York Times

© Statoil

# Messages clés

- Malgré le changement climatique, les actions basées sur l'océan peuvent aider à maintenir ou augmenter les nombreux services fournis par l'océan
- Les mesures évaluées couvrent atténuation et adaptation et sont réparties dans 4 groupes (**Décisive, Faible Regret, Non Prouvées, Risquées**)
- Accroître la connaissance sur les mesures basées sur l'océan est important avant la **COP26** (révision des contributions nationales, NDCs)
- Cette révision doit augmenter nation climatique basée sur l'océan en priorisant les approches **Décisives** et **Faible Regret**, améliorer les connaissances sur les méthodes Non Prouvées, et en considérant avec prudence celles qui sont risquées
- Les mesures **Décisives** et **Faible Regret** sont **prioritaires** car (1) la mise en œuvre des mesures Décisives n'éliminera pas les risques et (2) l'efficacité des mesures Faible Regret, particulièrement celles qui sont basées sur la nature, dépendent du degré de réchauffement

**IDDRI**  
SUSTAINABLE DEVELOPMENT & INTERNATIONAL RELATIONS

**SciencesPo**

## Opportunities for increasing ocean action in climate strategies

Jean-Pierre Gattuso (CNRS, Sorbonne University, Iddri), Alexandre K. Magnan (Iddri), Natalya D. Gallo (Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego), Dorothée Herr (IUCN), Julien Rochette (Iddri), Lola Vallejo (Iddri), Phillip Williamson (University of East Anglia, NERC)

The global ocean is warming, acidifying and losing oxygen, and sea level is rising. As a result, keystone species and ecosystems such as warm-water coral reefs, seagrass meadows and kelp forests will face high to very high risks by the end of this century even under low carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions (IPCC, 2019). Moreover, low-lying coastal settlements will face moderate to high sea-level rise risks by the end of the century, even under full and timely implementation of the Paris Agreement, unless comprehensive and intense adaptation efforts are undertaken. This calls for a dramatic scaling up of efforts towards ambitious mitigation and adaptation.

The ocean offers opportunities to reduce the causes and consequences of climate change, globally and locally, as shown by *The Ocean Solutions Initiative*<sup>1</sup> (Gattuso et al., 2018) and other recent reports (Hoegh-Guldberg et al., 2019; *Because the Ocean 2019*<sup>2</sup>). However, countries have poorly used ocean-based measures for tackling climate change and its impacts, in their Nationally Determined Contributions (NDCs; Gallo et al. 2017) under the Paris Agreement. The process towards the 5-year revision of NDCs, culminating at the 26th Conference of the Parties of UNFCCC, offers an opportunity for countries to adopt more ocean-inclusive mitigation and adaptation strategies.

In this *Policy Brief* we assess 18 ocean-based measures to support climate policies and the revision of NDCs in the areas of mitigation and adaptation. Ocean-related measures should not be considered as a substitute for climate mitigation on land, which must also be strongly pursued for the benefit of the atmosphere as well as the ocean.

<sup>1</sup> <http://bit.ly/2xj3EV6>  
<sup>2</sup> Ocean For Climate: Ocean-Related Measures in Climate Strategies, 2019. <https://www.becausetheocean.org/ocean-for-climate/>

### KEY MESSAGES

The ocean is a key element of our life support system and provides many services. Ocean-based actions can maintain or increase those services despite climate change.

Ocean-related measures cover both mitigation and adaptation, and range across four clusters (Decisive, Low Regret, Unproven, Risky) that offer a policy-relevant framing for decision and action.

Advancing knowledge on ocean-based solutions is timely ahead of COP25 (known as the "Blue COP" because of its ocean focus); COP26, by which Parties are due to revise and enhance the ambition of their NDCs; and the Global Stocktake in 2023.

The next iteration towards more ambitious NDCs should scale up ocean-based climate action by prioritising Decisive (e.g. *Marine renewable energy*) and Low Regret (e.g. *Conservation and Restoration and enhancement of coastal vegetation*) measures, improving knowledge on the Unproven measures, and very cautiously weighing the Risky ones.

Decisive and Low Regret measures are both key priorities for action because (1) the full implementation of Decisive measures will not completely eliminate coastal risks and (2) the effectiveness of Low Regret measures, especially nature-based solutions, depends on the global warming level.

**POLICY BRIEF**  
N° 2  
NOVEMBER  
2019

The Ocean Solutions Initiative

PRINCE ALBERT II OF MONACO FOUNDATION

Fondation VEOLIA

IAEA

Ocean Acidification International Coordination Centre

AMAO

FONDS FRANÇAIS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

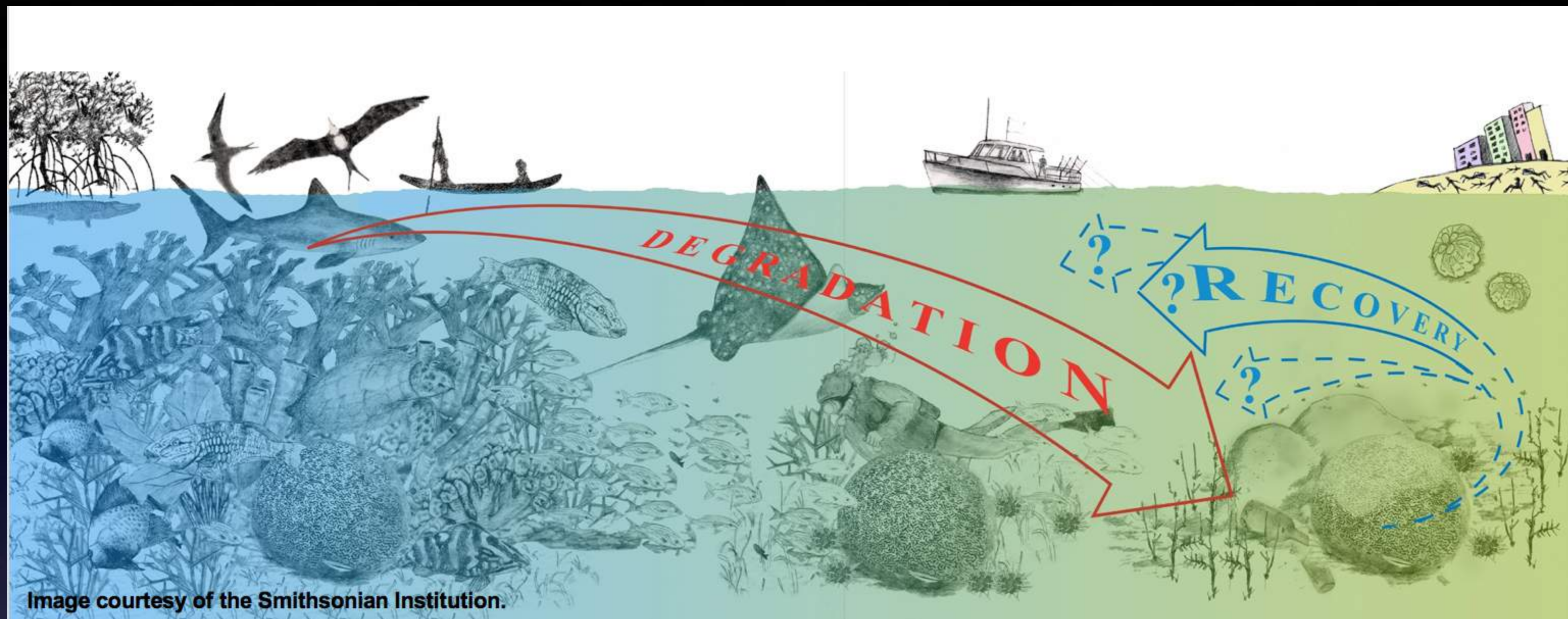


# Earth's sixth mass extinction event under way, scientists warn

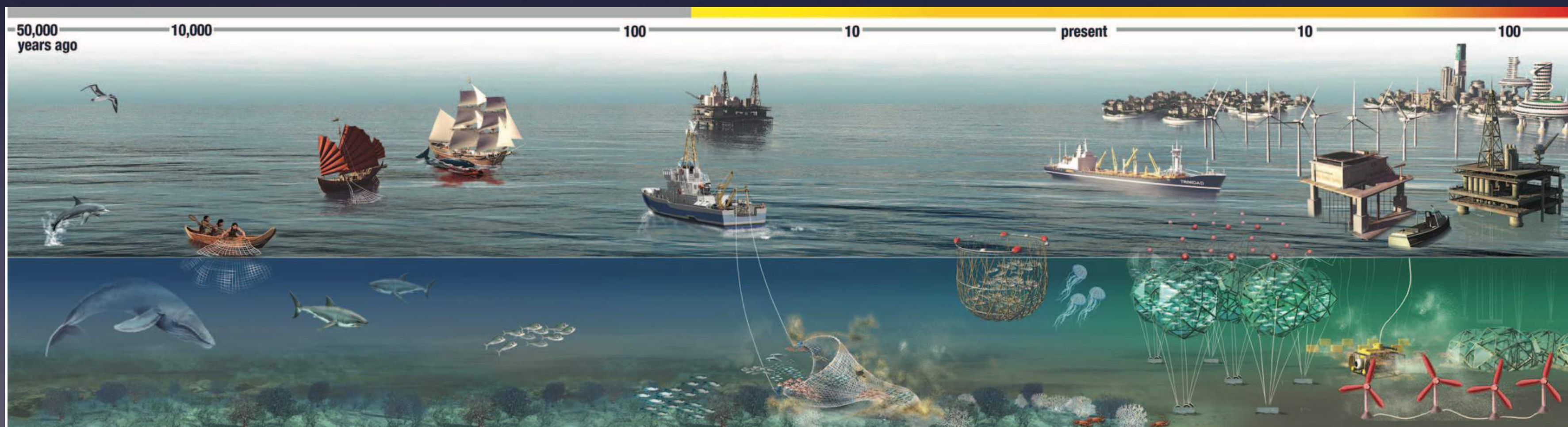
International edit  
**The Guardian**



# Pessimistic views of the ocean abound



J. Jackson



**Timeline (log scale) of marine and terrestrial defaunation.** The marine defaunation experience is much less advanced, even though humans have been harvesting ocean wildlife for thousands of years. The recent industrialization of this harvest, however, initiated an era of intense marine wildlife declines. If left unmanaged, we predict that marine habitat alteration, along with climate change (colored bar: IPCC warming), will exacerbate marine defaunation.

McCauley et al (2015)

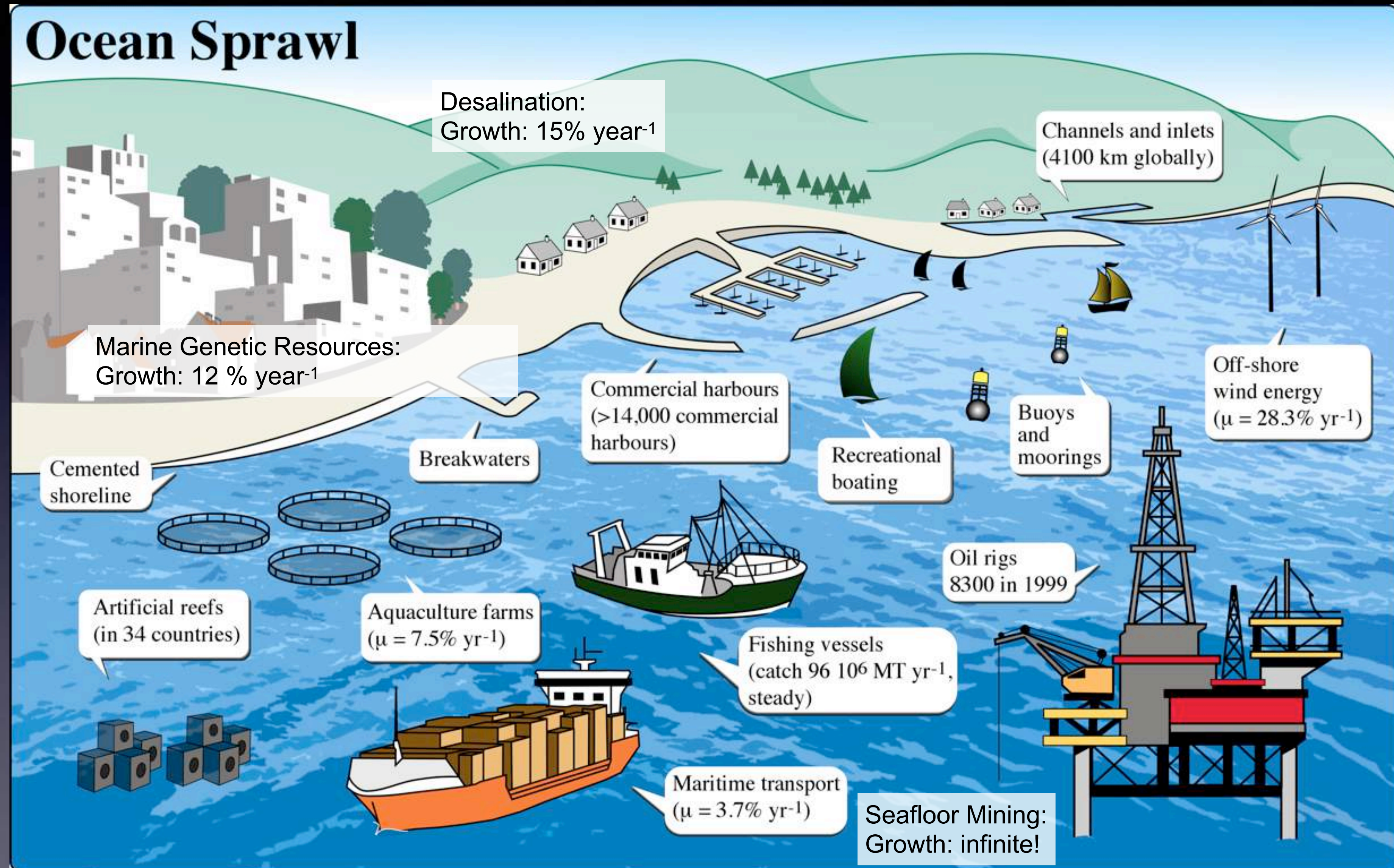
# The ocean is broken

By GREG RAY Oct. 18, 2013, 10 p.m.

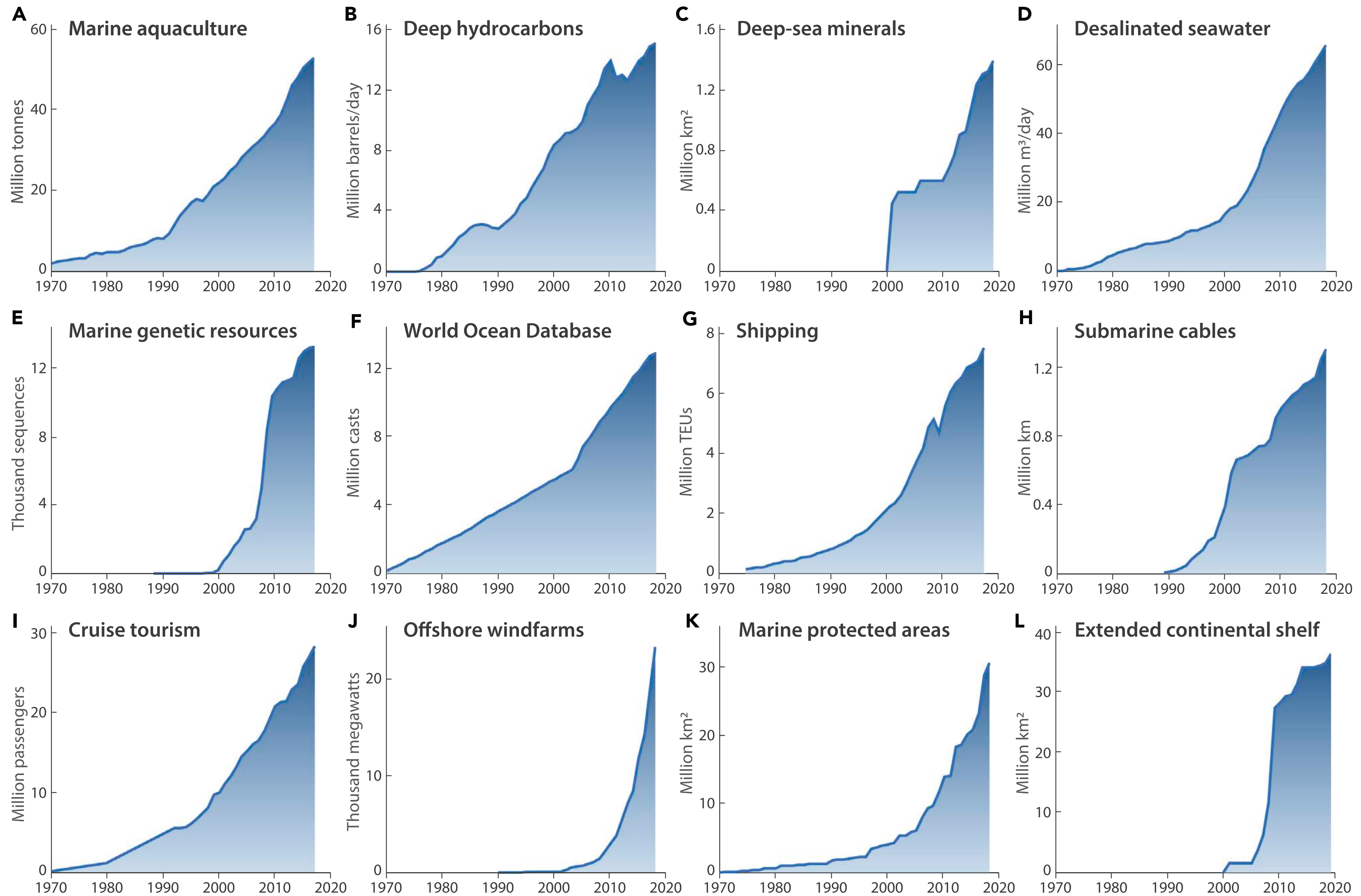


# Marine spatial planning and governance in the ocean space

Increasing focus on Blue Growth and human dependence on the ocean as a source of resources and wealth



# The blue acceleration



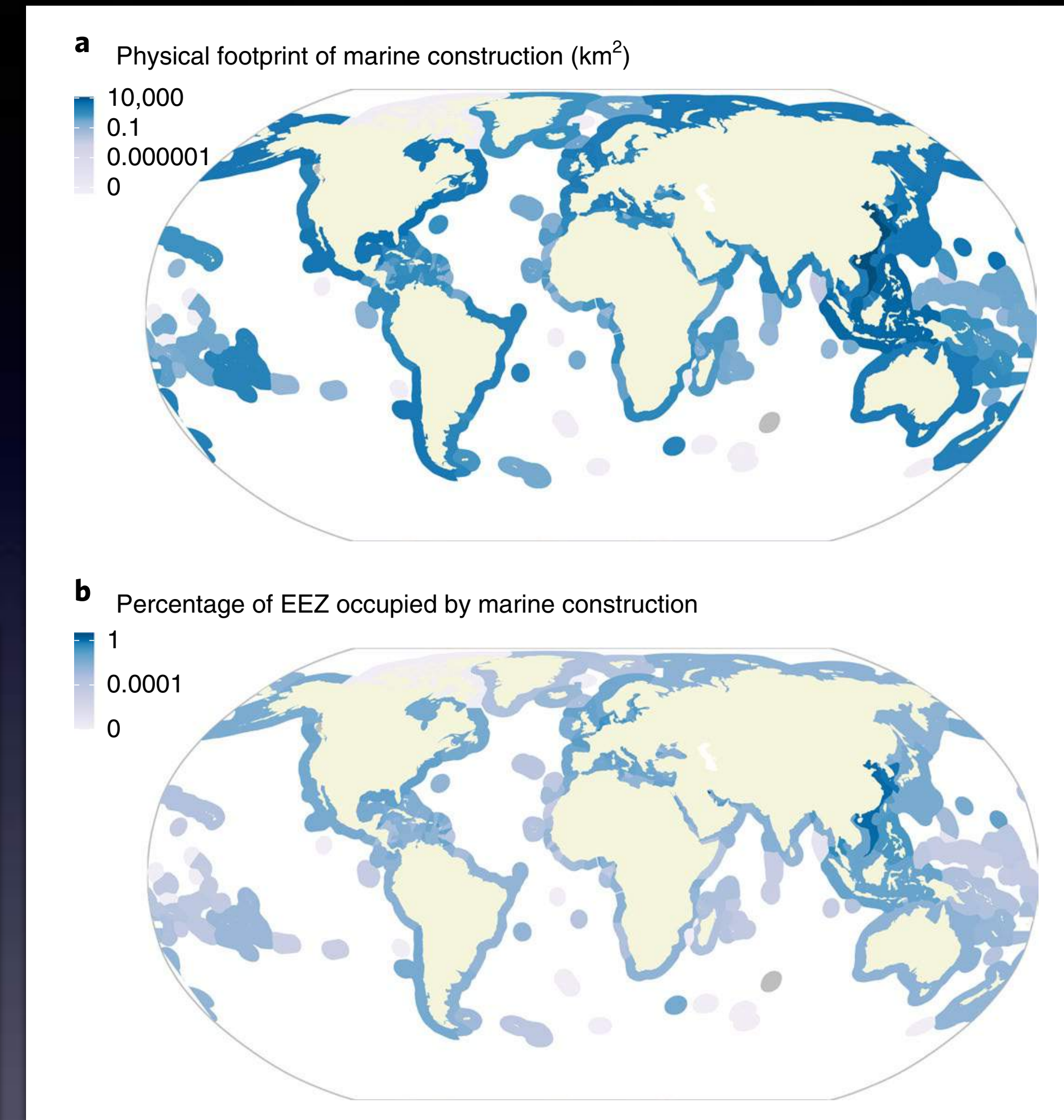
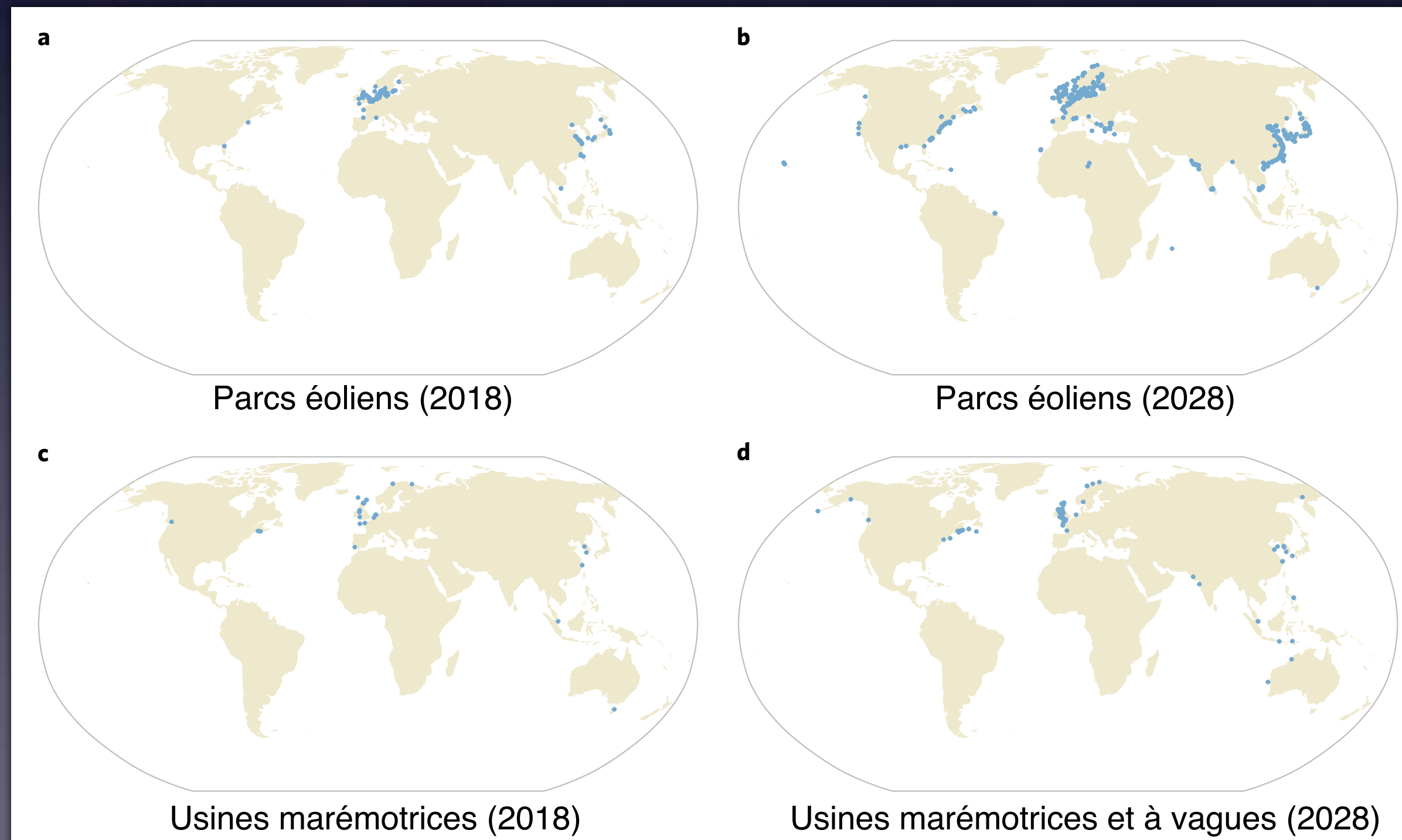
Jouffray et al. (2020)



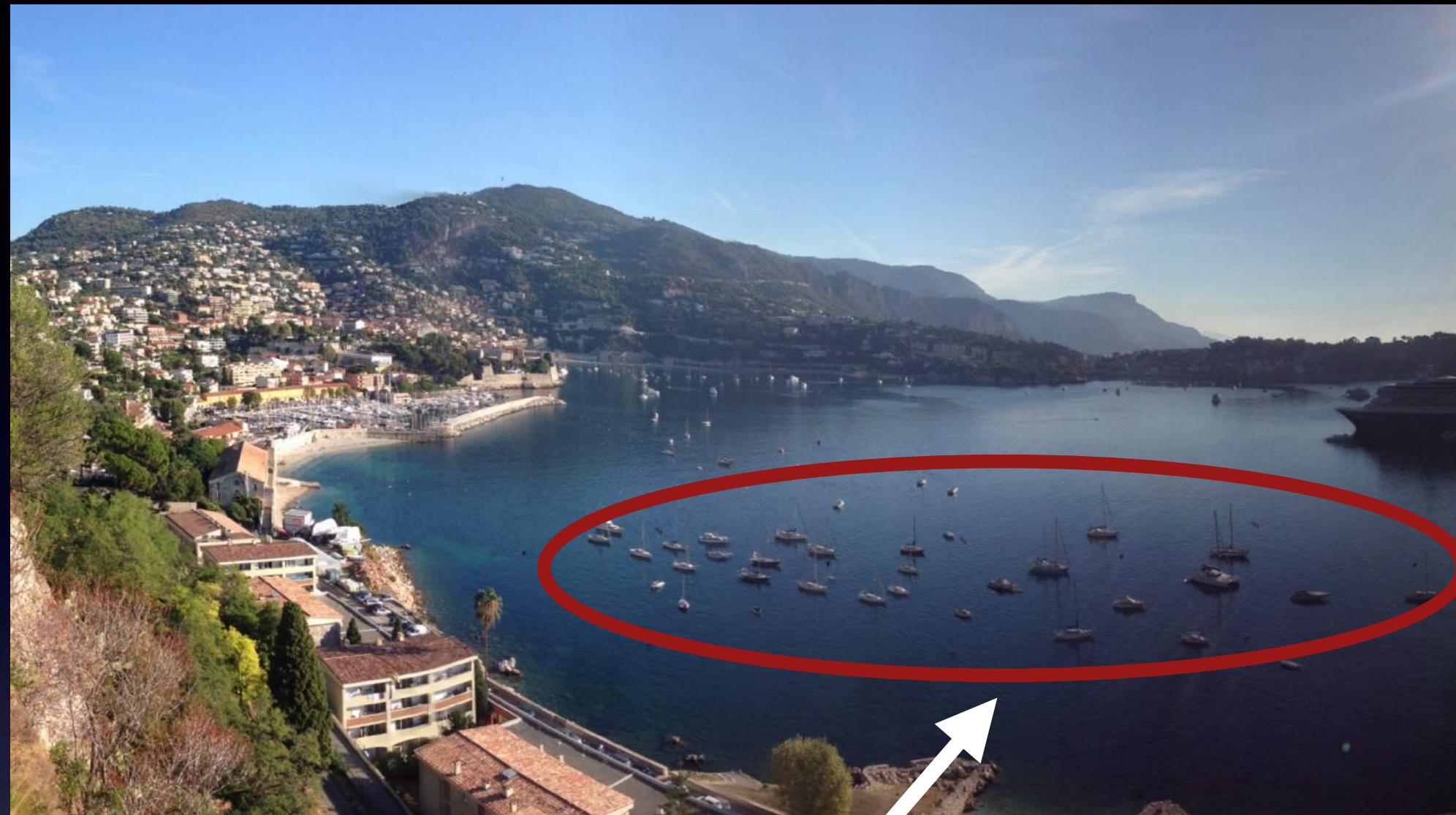
# Infrastructures côtières

- Pre-Roman period: beginning of ocean infrastructure**
- pre-2000 BC: First ocean infrastructures to support marine traffic
- 1800 BC: First port (Alexandria)
- pre-300 BC: First coastal aquaculture projects (Etruscans)
- 220 BC: First coastal defence projects (China)
- Roman period: exploitation of ocean infrastructure**
- pre-100 BC: First use of hydraulic concrete
- 97 BC: Start of oyster aquaculture
- 27 BC: First technical engineering handbook
- Middle Ages: slowdown of coastal developments**
- post-1000: Sea defences in response to flooding
- Renaissance: birth of marine hydraulics**
- 1400: Birth of the concept 'working with nature' (da Vinci)
- 1600: Sunk rubble for kelp aquaculture (Japan)
- post-1600: Exploitation of port developments
- Industrial Revolution**
- 1830: First artificial reef (California)
- 1947: First offshore platform (Gulf of Mexico)
- Scientific contemporary age**
- 1950: First international conference on coastal engineering; invention of the Tetrapod
- 1965: First artificial beach
- 2001: Environmentally sustainable coastal defences
- 2003: First marine energy test facility (Orkney)
- 2009: First environmentally friendly seawalls

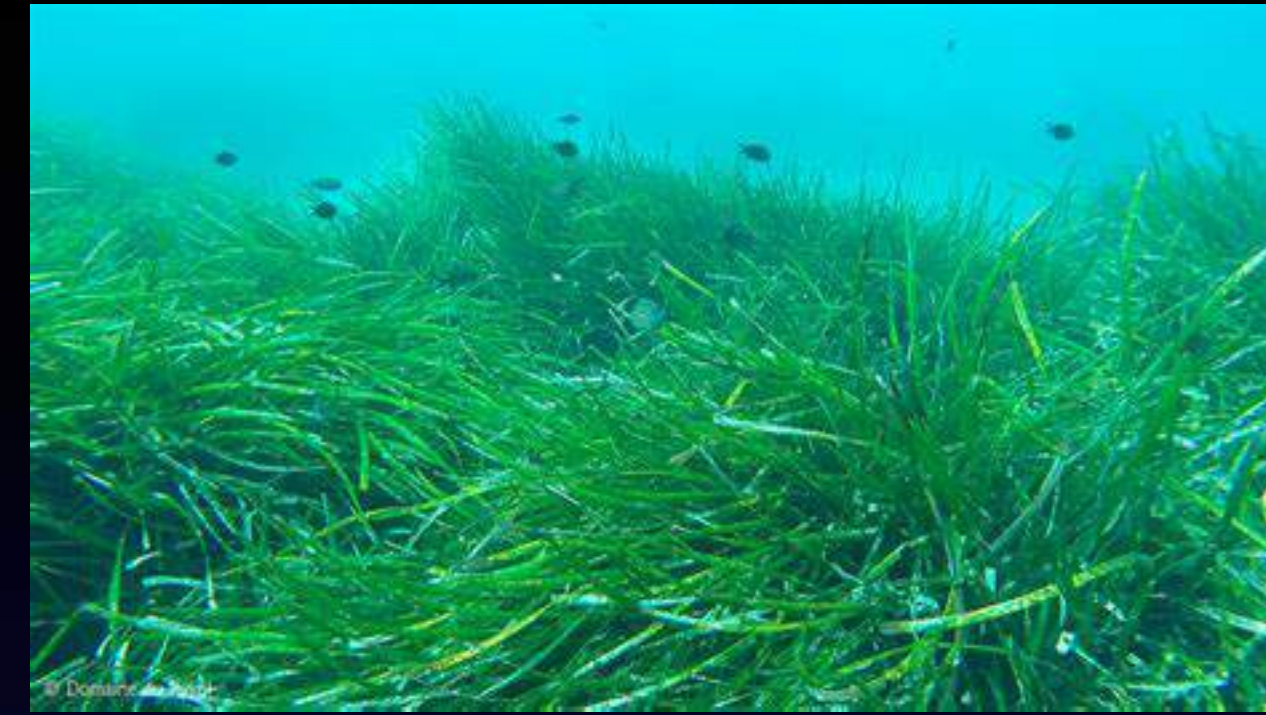
- **Types** : ports, cables sous marins, marinas, pipe-line, plateformes, parcs éoliens, récifs artificiels, digues, fermes aquacoles, usines marémotrices et à vagues, ponts et tunnels
- **Empreinte** : 32000 km<sup>2</sup> en 2018 (39400 km<sup>2</sup> en 2028).
- **Surface affectée** :
  - 1.0 à 3.4 millions km<sup>2</sup> en 2018 (+50 à 70 % d'ici 2028).
  - En 2018, les infrastructures côtières affectaient 1.5 % des ZEE, comparable aux zones urbaines à terre (0.02 à 1.7 %).



# Agressions locales : Rade de Villefranche-sur-mer



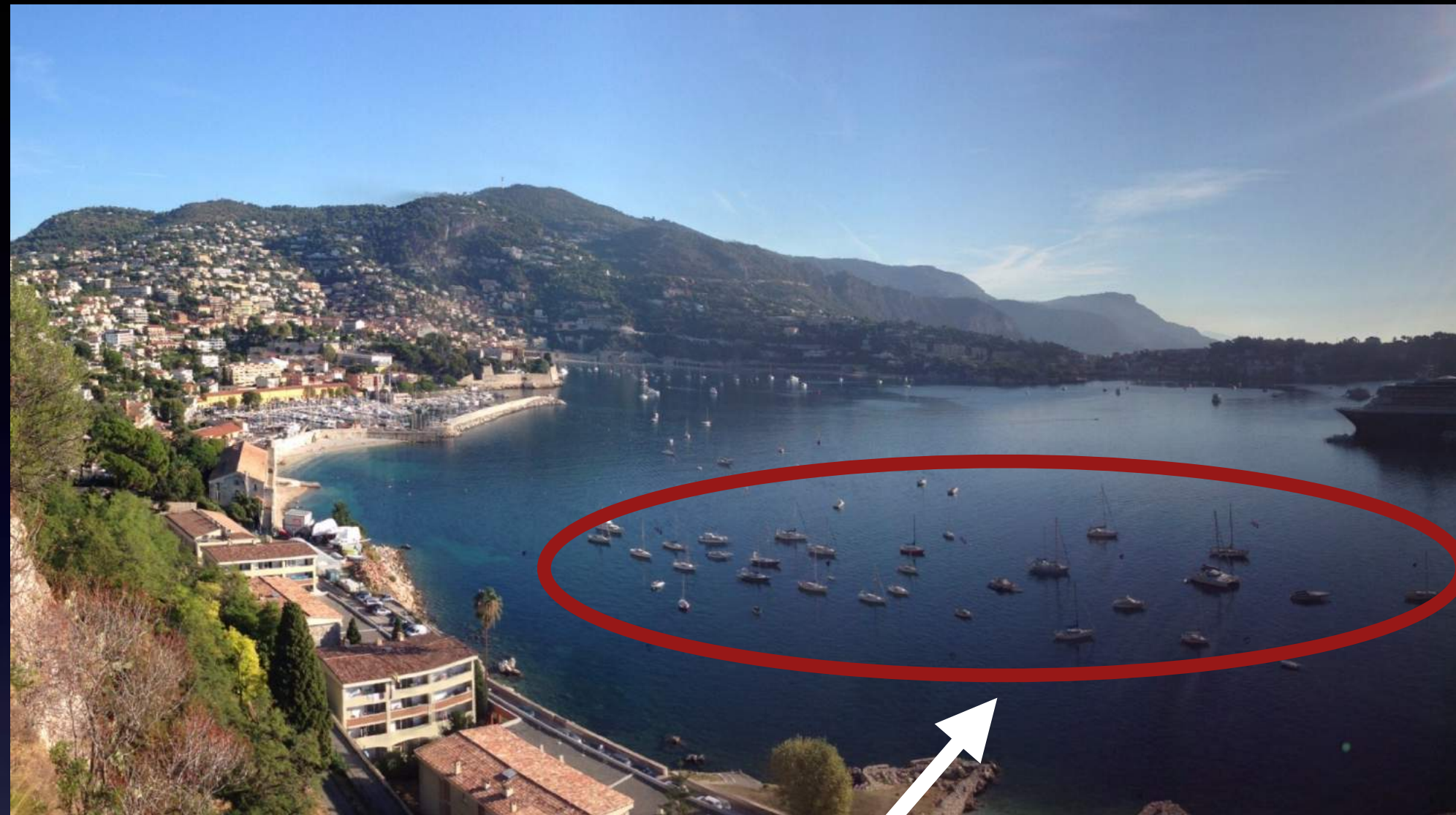
© Jean-Pierre Gattuso



© Wikimedia Commons

Zone interdite à la navigation et au mouillage (arrêté préfectoral)

# Agressions locales : Rade de Villefranche-sur-mer



© Jean-Pierre Gattuso

Zone interdite à la navigation et au mouillage (arrêté préfectoral)

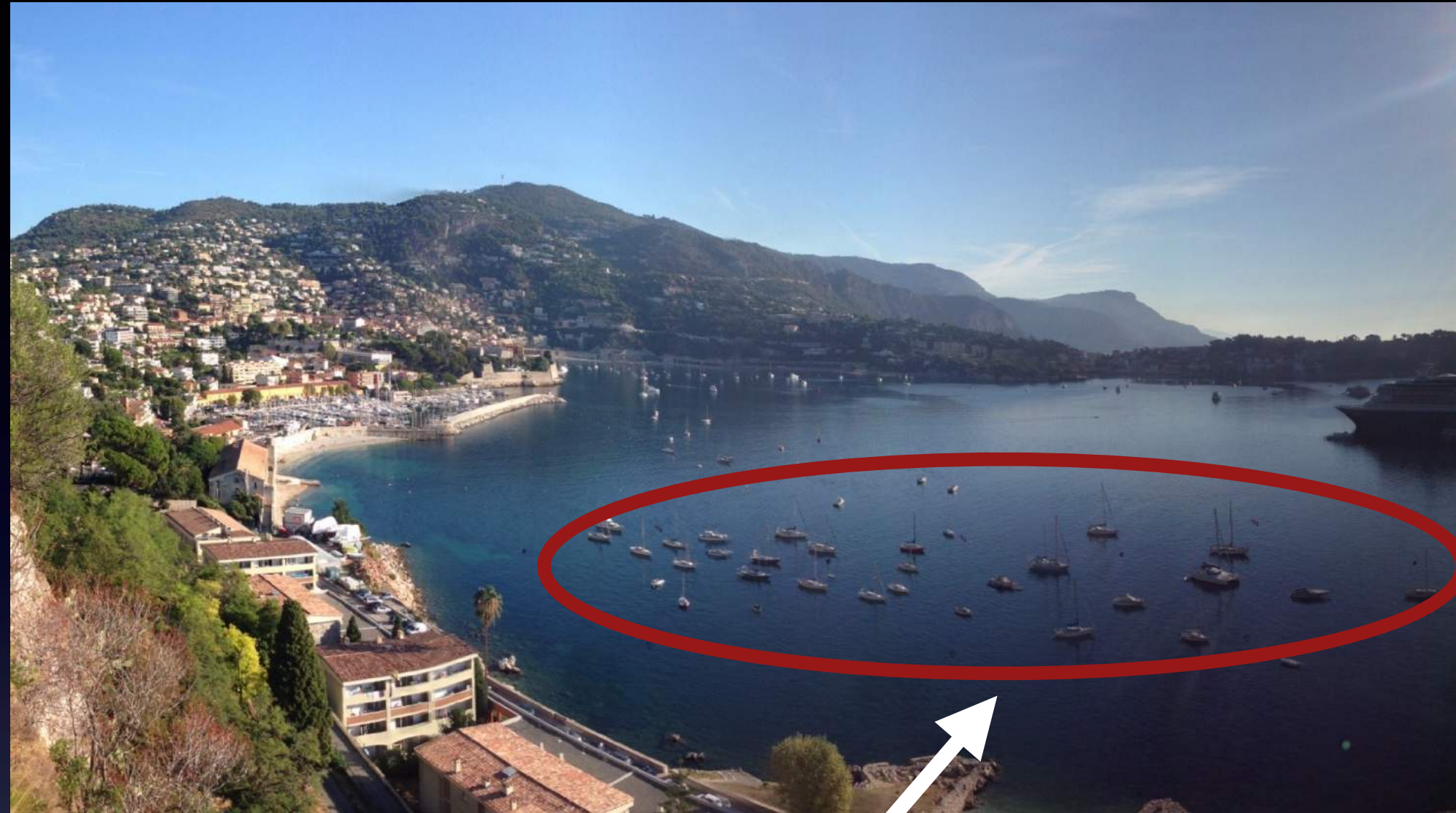


© Wikimedia Commons

## Posidonie :

- Plante protégée par un décret national depuis 1988
- Services écologiques : 172 € par m<sup>2</sup> et par an

# Agressions locales : Rade de Villefranche-sur-mer



© Jean-Pierre Gattuso

Zone interdite à la navigation et au mouillage (arrêté préfectoral)



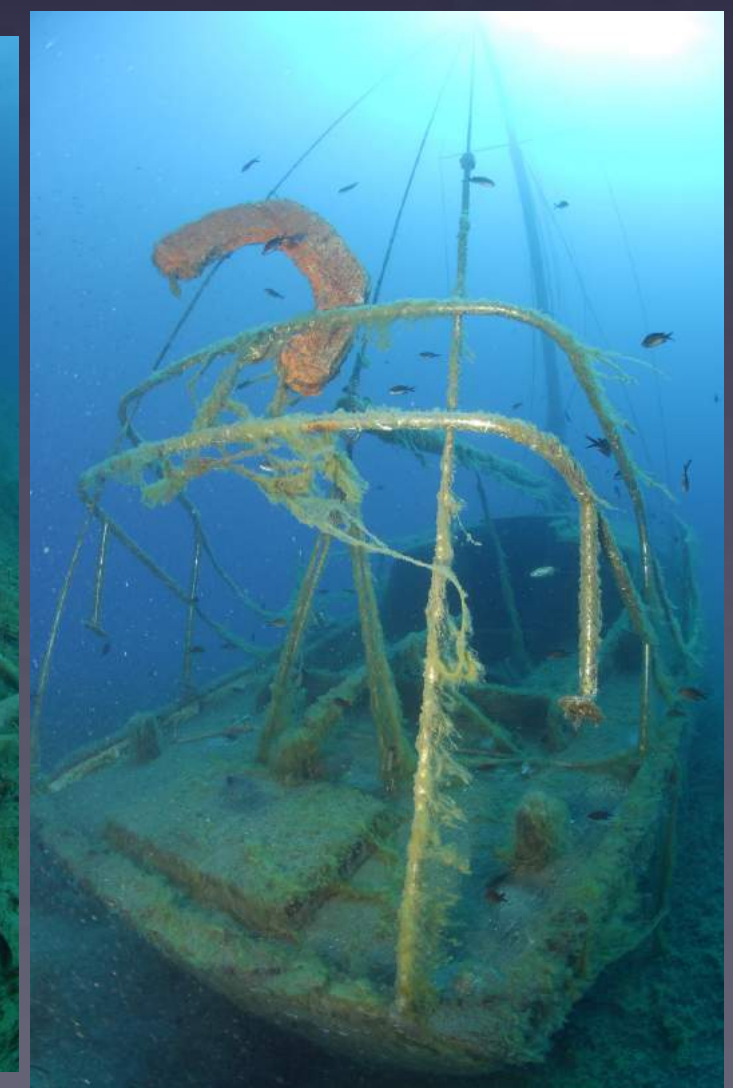
© Wikimedia Commons

## Posidonie :

- Plante protégée par un décret national depuis 1988
- Services écologiques : 172 € par m<sup>2</sup> et par an



© David Luquet



# Extinct species

Steller's Cow, about 7 m long  
Last seen 1768

Vache de mer

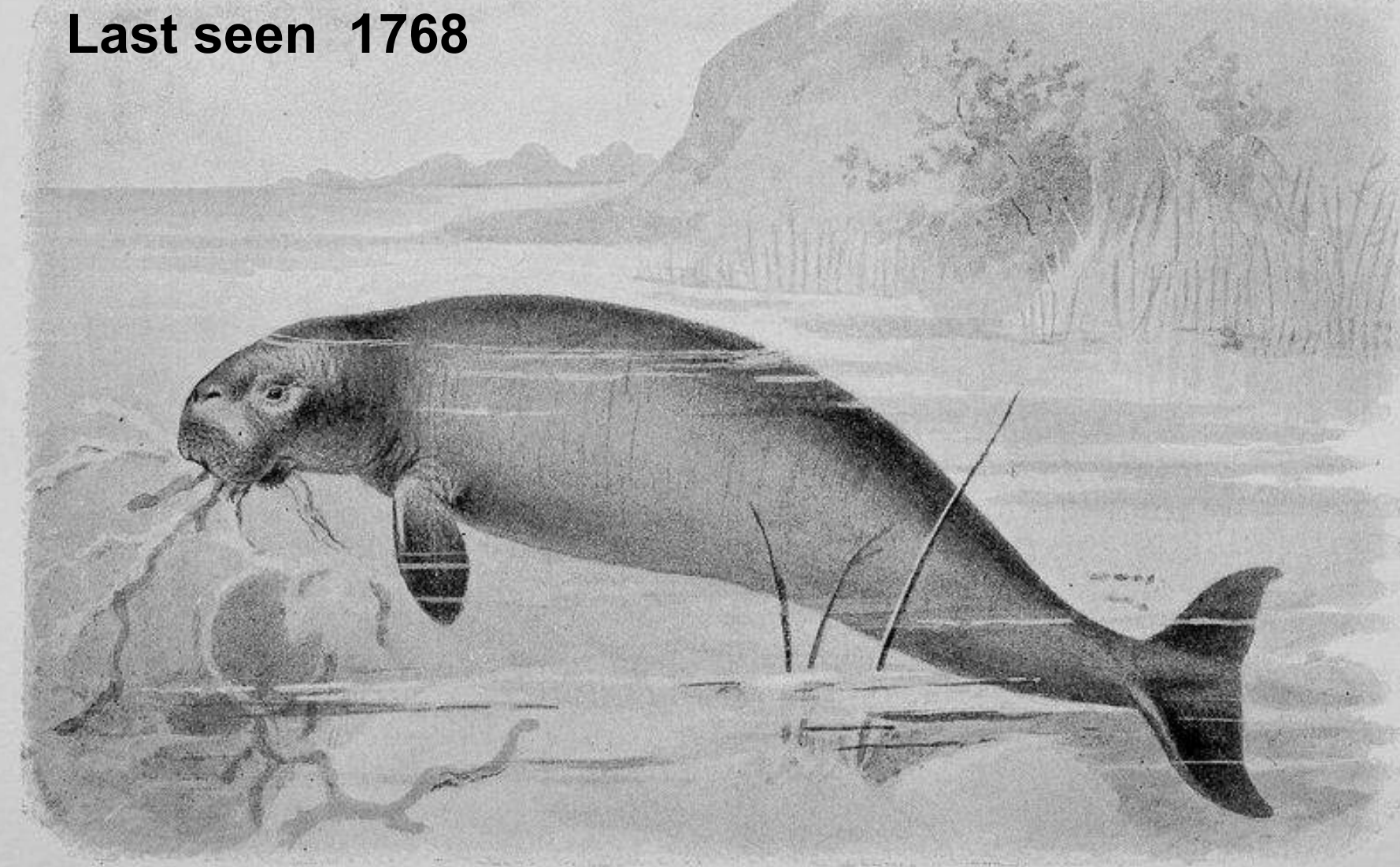
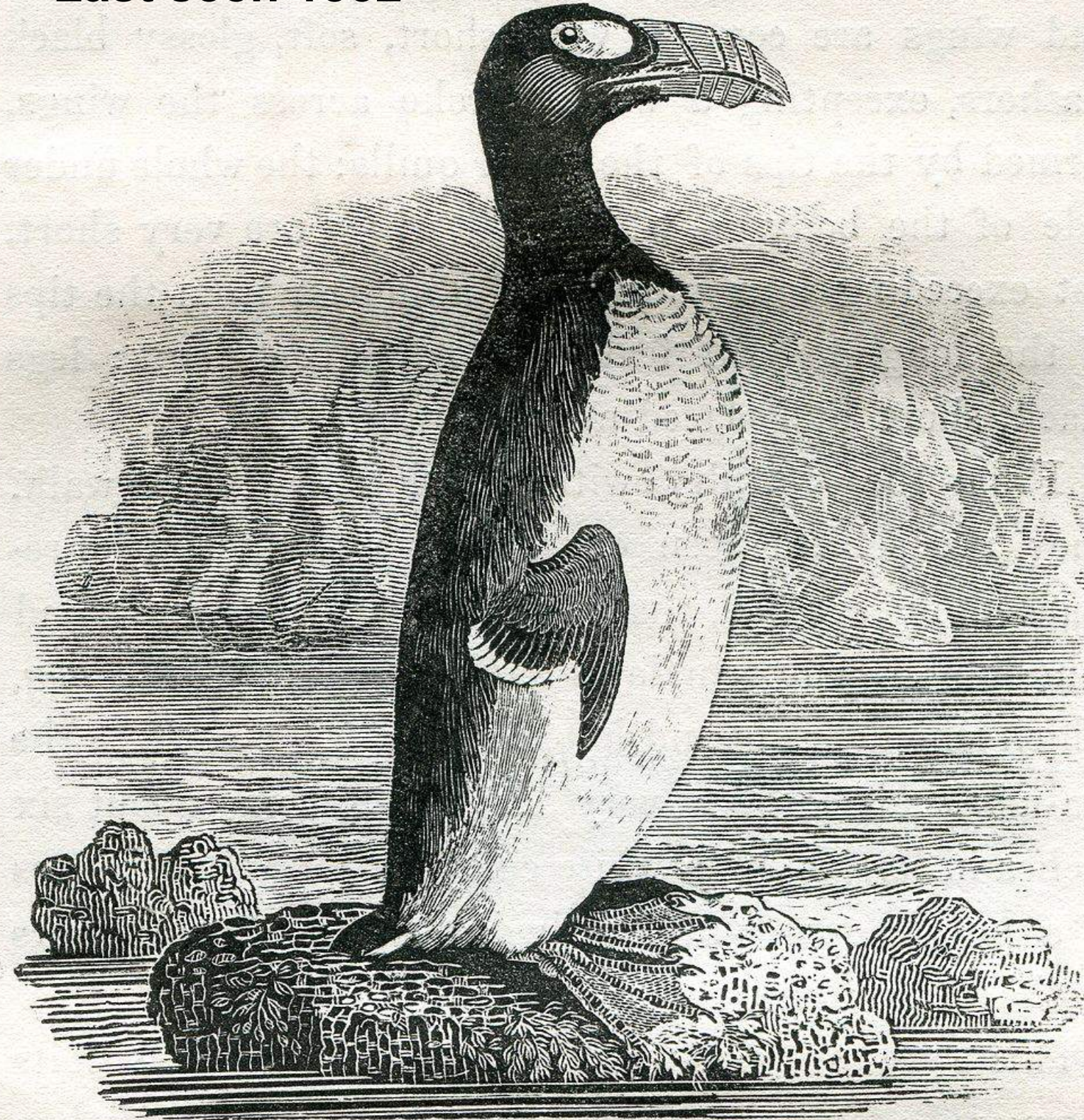


PLATE XXVI.

STELLER'S SEA-COW, RHYTINA GIGAS.  
Found alive by Steller at Behring's Island. Length 19 feet 6 inches.

BRITISH BIRDS. Grand pingouin 405  
Great auk (*Pinguinus impennis*)  
Last seen 1852



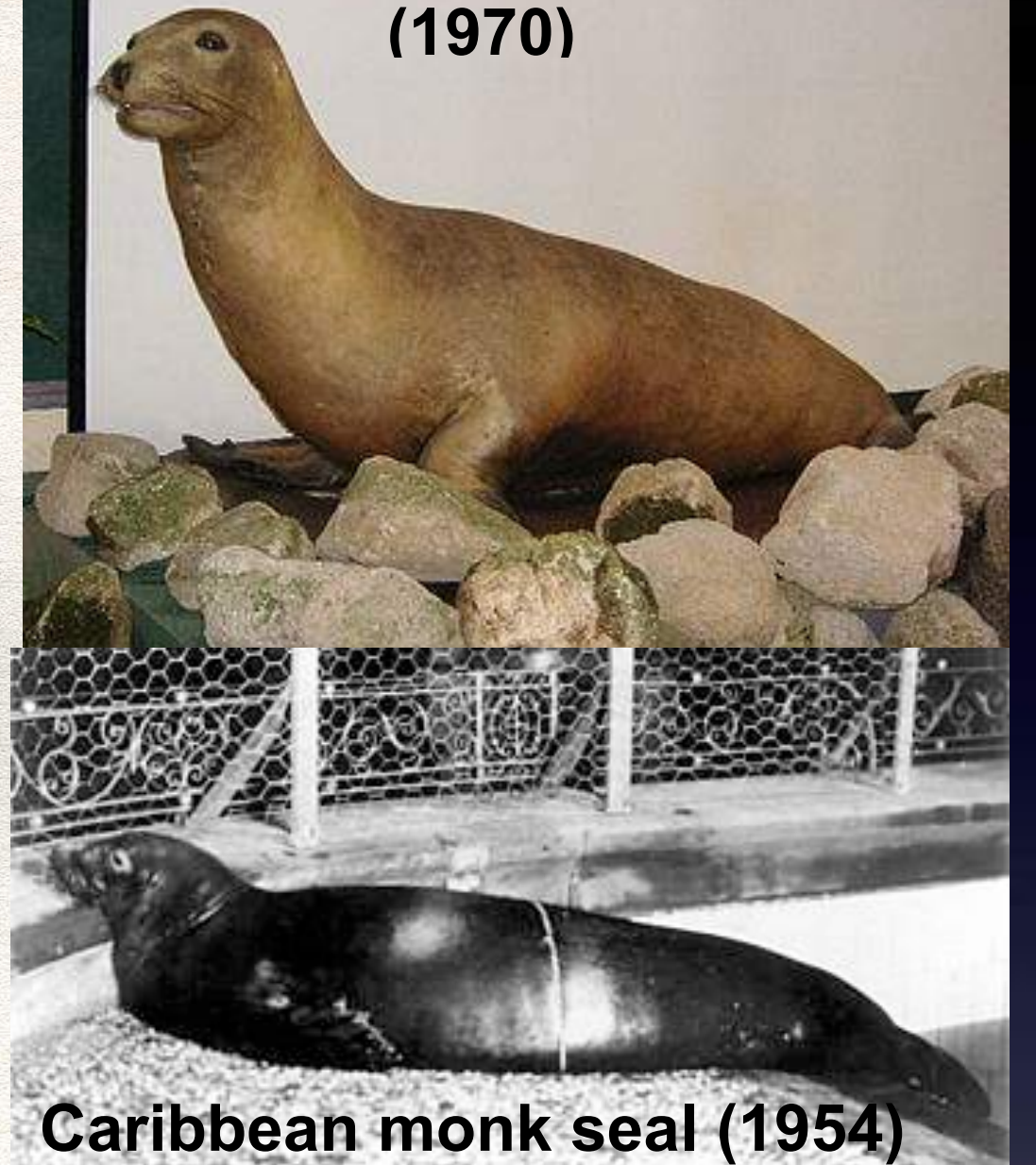
THE GREAT AUK.

NORTHERN PENGUIN, OR GAIR-FOWL.

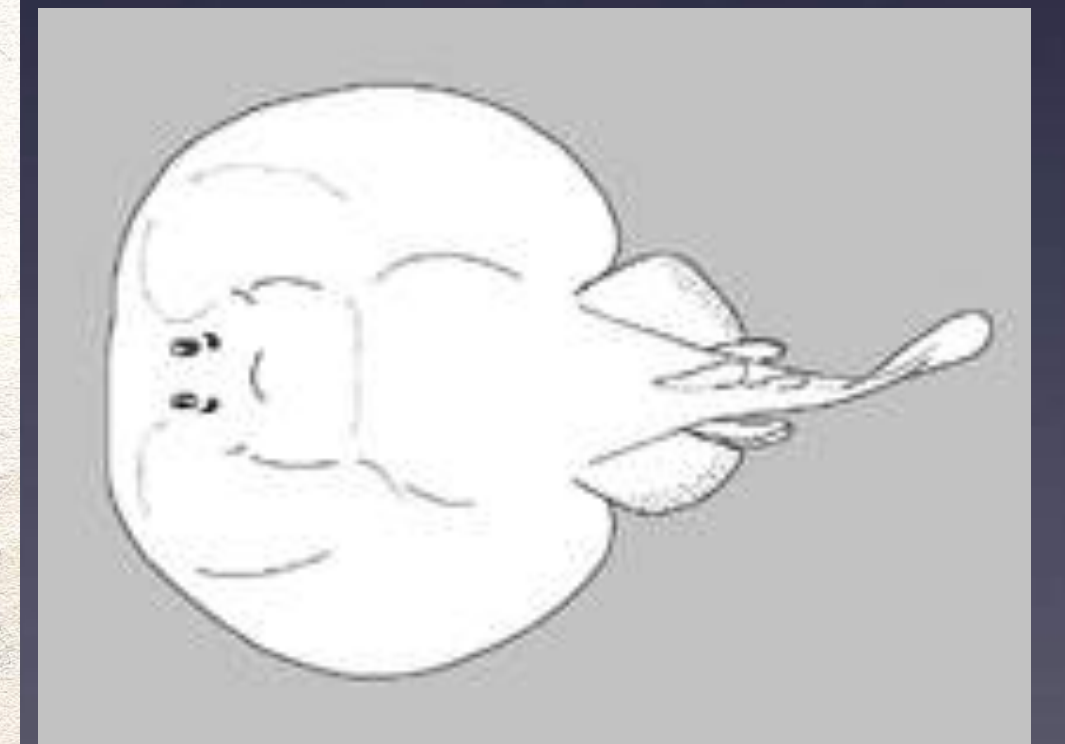
SUMMER PLUMAGE.

(*Alca Impennis*, Linn.—*Pingouin brachiptère*, Temm.)

Japanese sea lion  
(1970)



Caribbean monk seal (1954)



Red Sea Torpedo fish (1898)  
*Torpedo suessii*

# Who is next? Endangered species

## Overfishing



Requin-baliai  
Pondicherry Shark (*Carcharhinus hemiodon*)  
Last seen 1979  
Listed as probably extinct by IUCN

Currently, over 550 species of marine fishes and invertebrates are listed on the IUCN Red List as Critically Endangered, Endangered, and Vulnerable.

## Heat wave



Galapagos Damsel (*Azurina eupalam*)  
Last seen in 1982  
Listed as probably extinct by IUCN

## Bycatch



Marsouin du Pacifique

## Bycatch



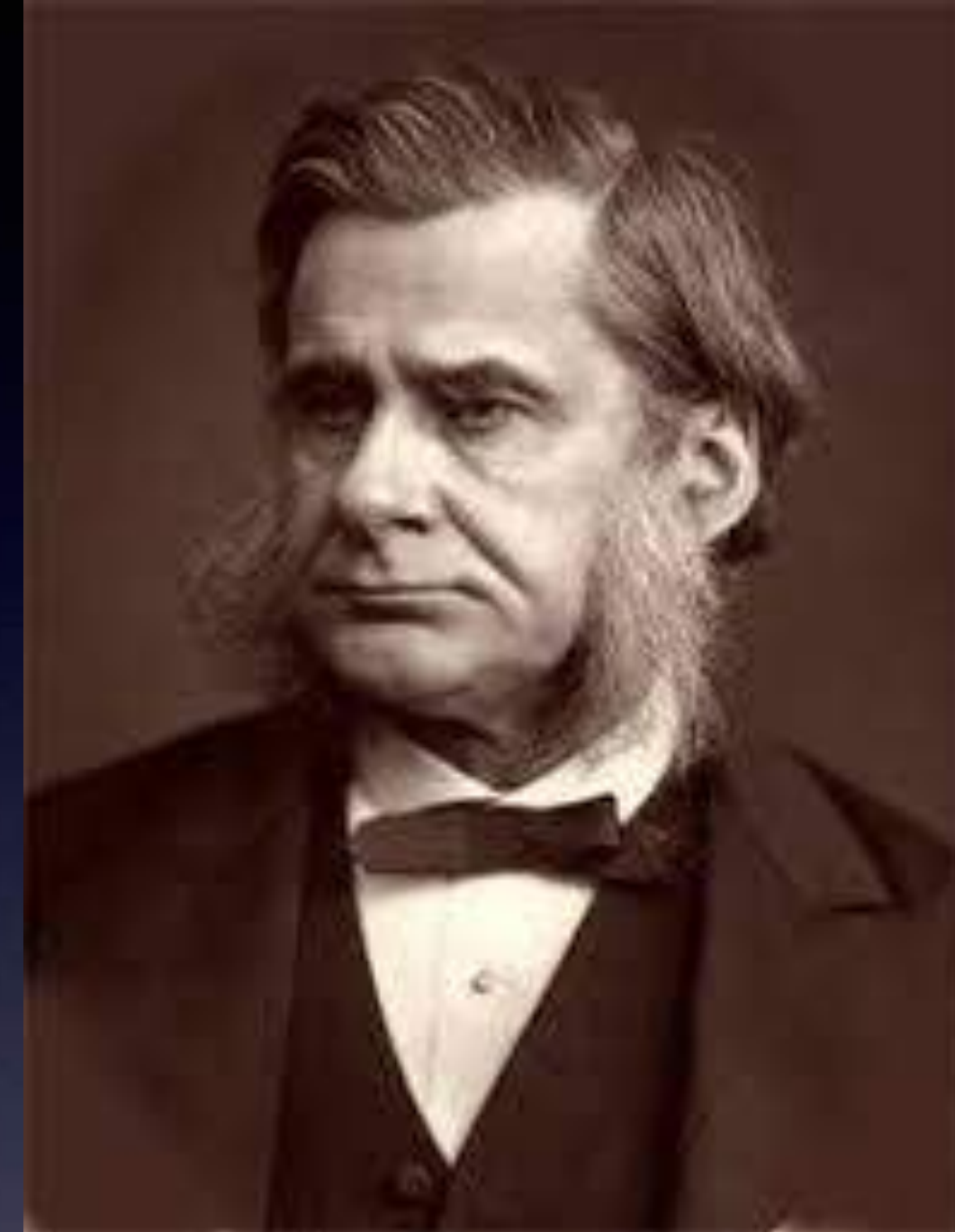
Dauphin d'Hector  
Hector's Dolphin (*Cephalorhynchus hectori*)

# An inexhaustible ocean?

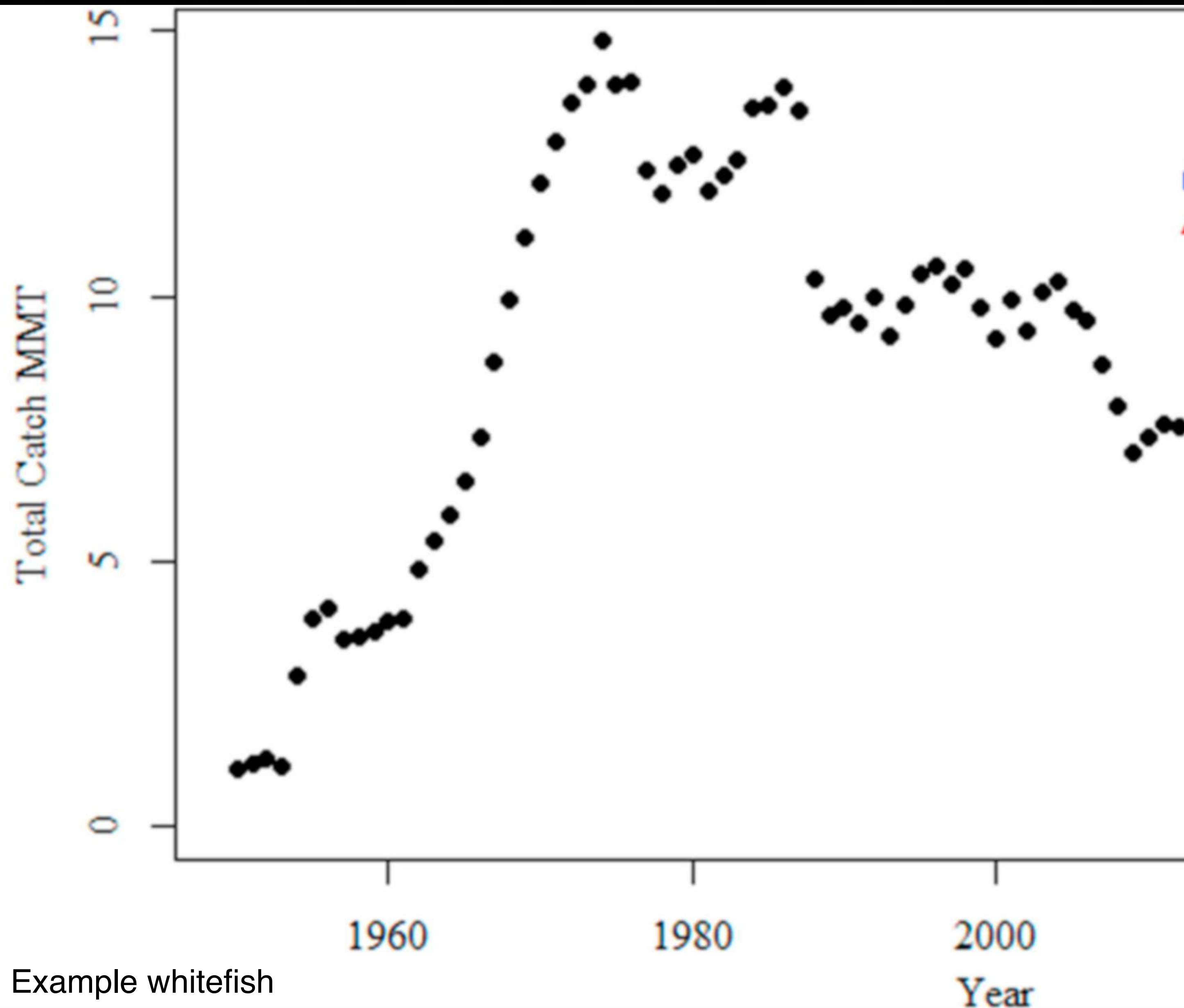
In his 1883 inaugural address to the International Fisheries Exhibition in London, **Thomas Huxley** recognised that:

*“Steam and refrigerating apparatus combined have made it possible for us to draw upon the whole world for our supplies of fresh fish”*

but he **discounted reports of declines in fish catches**: *“in relation to our present modes of fishing, a number of the most important sea fisheries, such as the cod fishery, the herring fishery, and the mackerel fishery, are inexhaustible”*



# Overfishing leads to declining fish catches



Globally 53% of 414 fish stocks are below the Biomass delivering the Maximum Sustainable Yield (BMSY) and of these, 265 are estimated to be below 80% of the BMSY level (Rosenberg et al. 2017)

Hillborn and Costello (2018)

Example whitefish



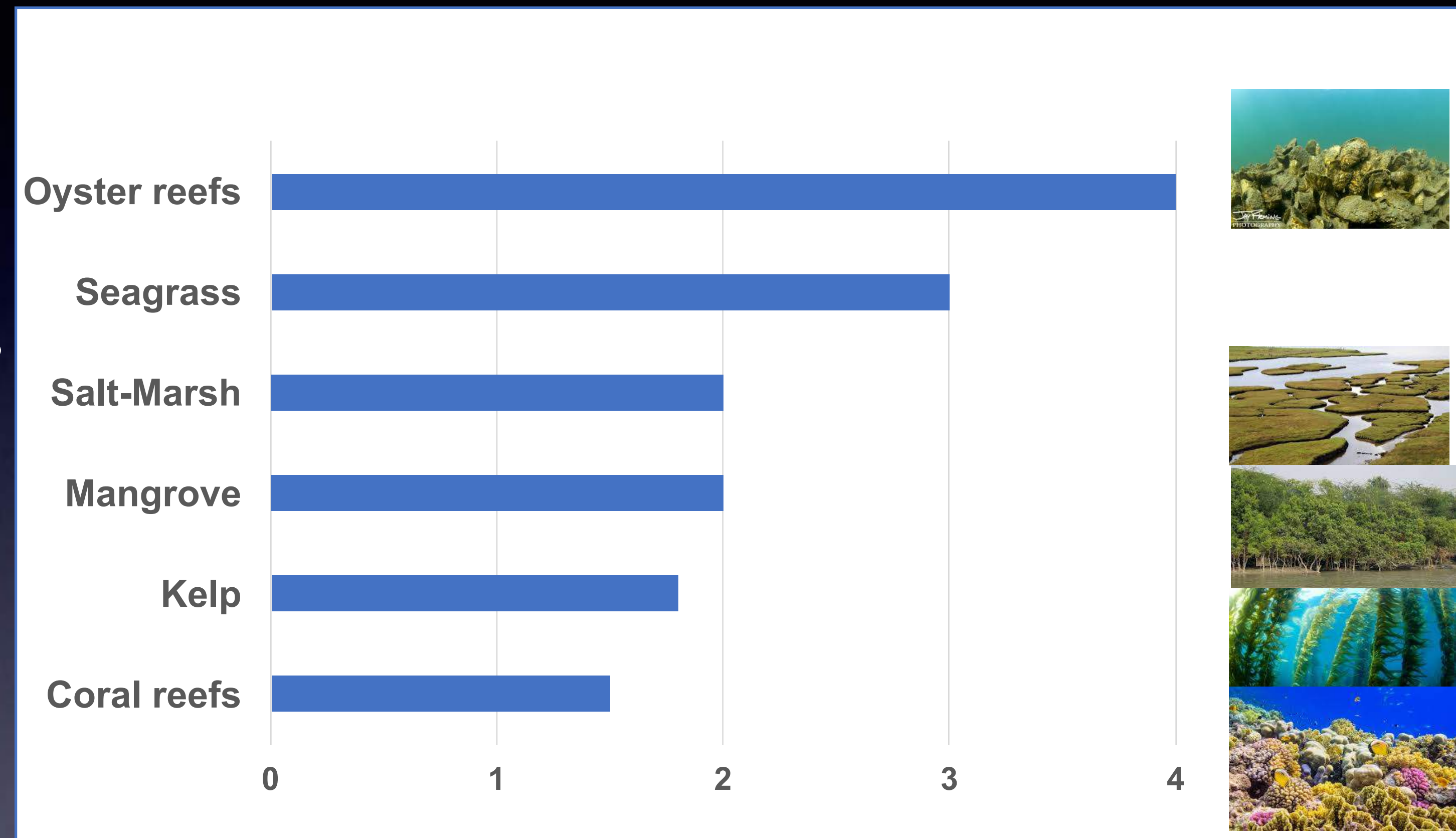
# Global marine biodiversity loss

- 20 species extinct in historic times
- 830 species of conservation concern
- 89% decline in exploited marine megafauna
- 1/3 of fisheries overexploited
- 2/3 of fisheries below targets
- 42-66% loss of biomass of exploited fish stocks
- >35% of mangrove area lost
- >29% of seagrass area lost
- >16% of tidal flats lost
- >85% of oyster reefs lost
- >2/3 of salt-marshes lost
- 40% of coral reefs lost or degraded

# Global marine biodiversity loss

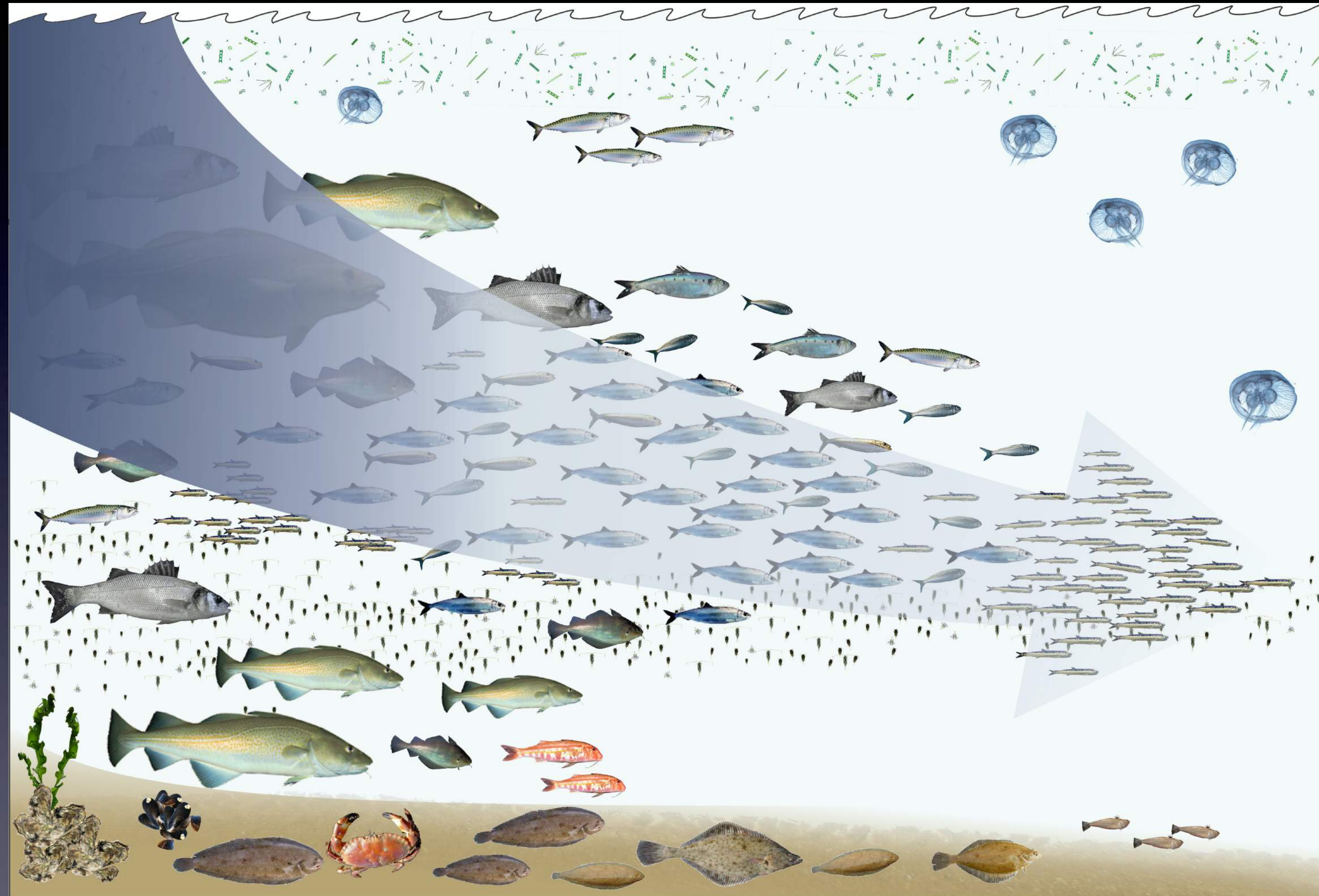
- **20** species extinct in historic times
- **830** species of conservation concern
- **89%** decline in exploited marine megafauna
- **1/3** of fisheries overexploited
- **2/3** of fisheries below targets
- **42-66%** loss of biomass of exploited fish stocks
- **>35%** of mangrove area lost
- **>29%** of seagrass area lost
- **>16%** of tidal flats lost
- **>85%** of oyster reefs lost
- **>2/3** of salt-marshes lost
- **40%** of coral reefs lost or degraded

Long-term decline rates of key ecosystems ( % year<sup>-1</sup>)



Duarte et al. (2008), Waycott et al. (2009), Krumhansl et al. (2016)

# Diminution massive des grands prédateurs



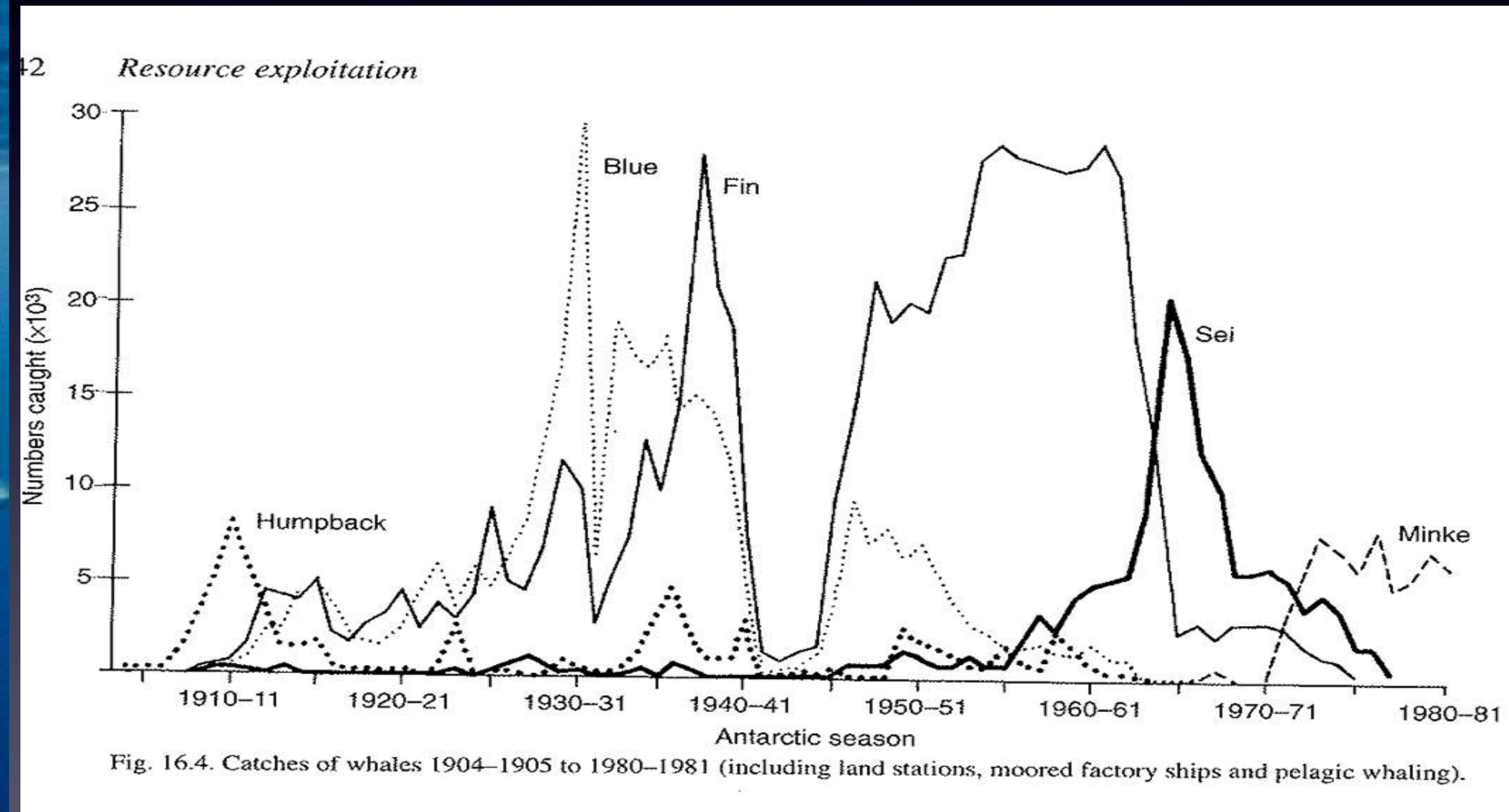
Pauly et al. (1998)

# Diminution des baleines

Humpback whales: from pre-exploitation population sizes of more than 50,000 to a few hundred in 1970



Whale hunting, thousands of individuals across species hunted per year in Antarctica (peak 50,000 per year)



Smetacek (2007)

# Rétablissement des baleines

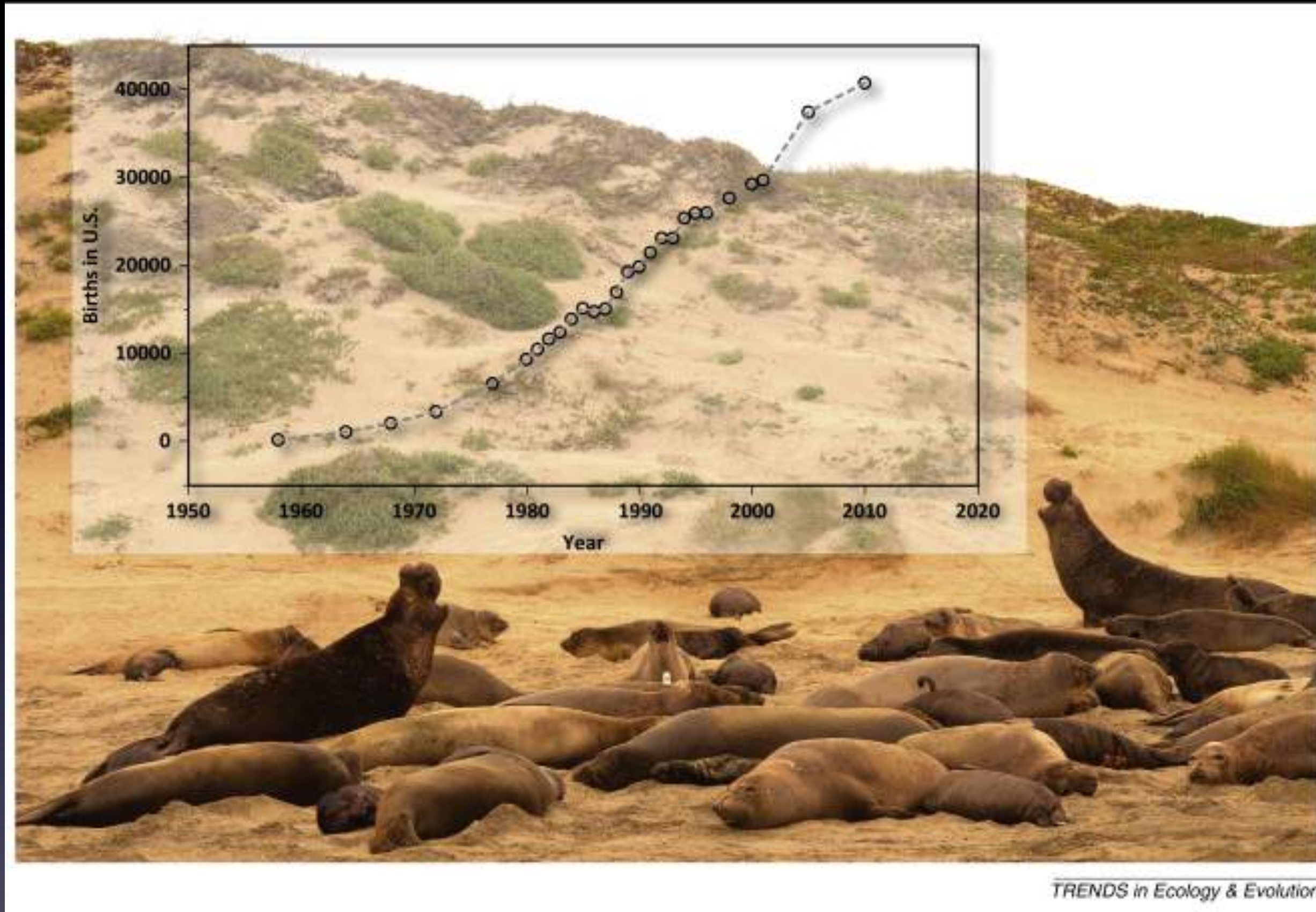
Humpback whales: globally > 50% above 1940 estimates  
Down-listed from “Vulnerable” to “Least Concern” by IUCN



Out of 92 marine mammal populations (Roman et al. 2015):

- 42% increasing
- 10% decreasing
- remainder: no change

# Éléphant de mer du nord et phoques gris



**Northern elephant seal population growth:**  
Minimum 20 in 1880 to > 200,000 at present

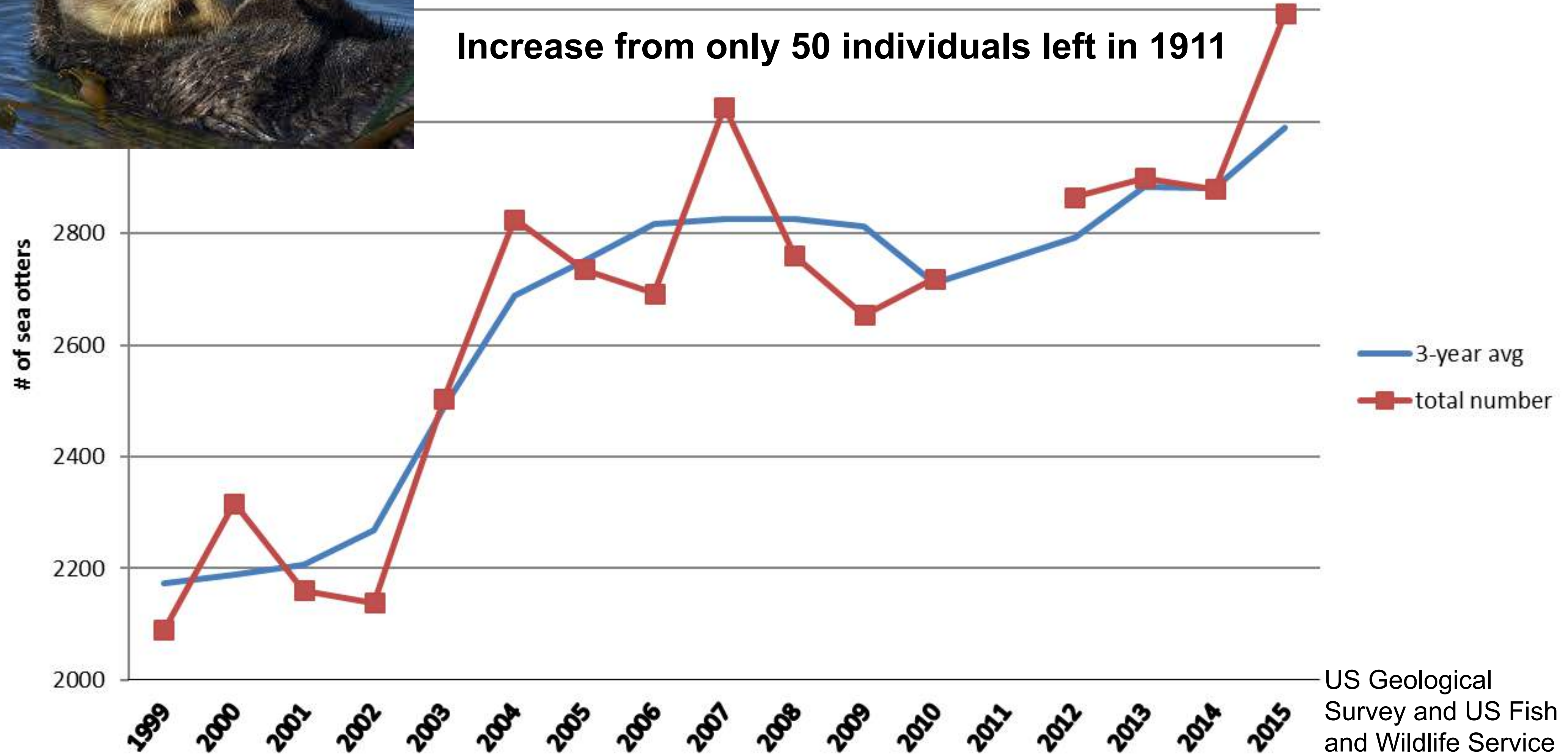
**Grey seal population growth**

# Loutre de mer



## Southern sea otter spring counts (mainland)

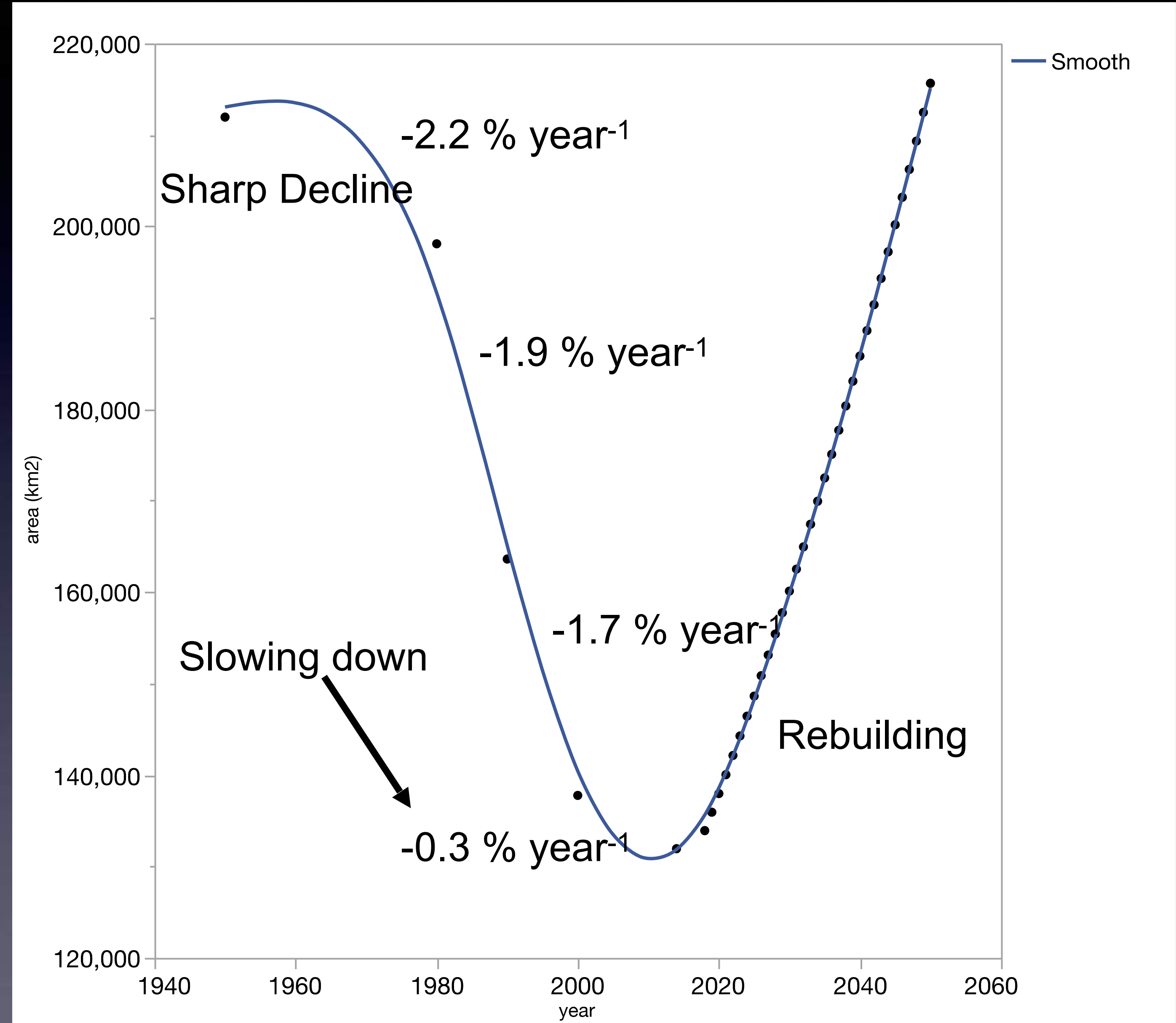
Increase from only 50 individuals left in 1911



US Geological  
Survey and US Fish  
and Wildlife Service

# Restauration des mangroves

- Sharp decline followed in 2000-2014 by a 5-fold reduction in loss rates
- Reaching pre-disturbance values by 2050 requires a commitment to expand their area by 1.5% year<sup>-1</sup> implying an increase in annual planting from 2,000 in 2018 to 3,000 km<sup>2</sup> year<sup>-1</sup> in 2050
- Challenges:
  - Lost mangrove area occupied by housing, infrastructure and aquaculture ponds. Buy back or relocate
  - Cost 1.6 billion year<sup>-1</sup> (2% of Apple annual profit)





# Restauration de la mangrove du delta du Mekong



- 1964 to 1970: 57% of all Mekong Delta mangrove forest destroyed
- 1978 to 1998: 2700 km<sup>2</sup> planted
- Carbon storage (Nam et al., 2016):
  - restored mangrove: 889 ± 111 MgC ha<sup>-1</sup>
  - natural mangrove: 844 ± 58 MgC ha<sup>-1</sup>

The reforestation of the Mekong Delta, the largest mangrove forest in the world, 15 years after its destruction by the US Air Force is the largest-scale ecosystem restoration ever undertaken (Duarte et al., 2008)

# The Indian Ocean Tsunami of 26 Dec. 2004: A Catalyst of awareness on the value of Mangroves



- Where mangrove belts existed losses of human lives were very low or nil.
- Governments initiated large scale mangrove plantation programs.
- Mangrove plantation is easy and cost-effective.

# Restauration des marais maritimes



1986 (Pre-breach grading)

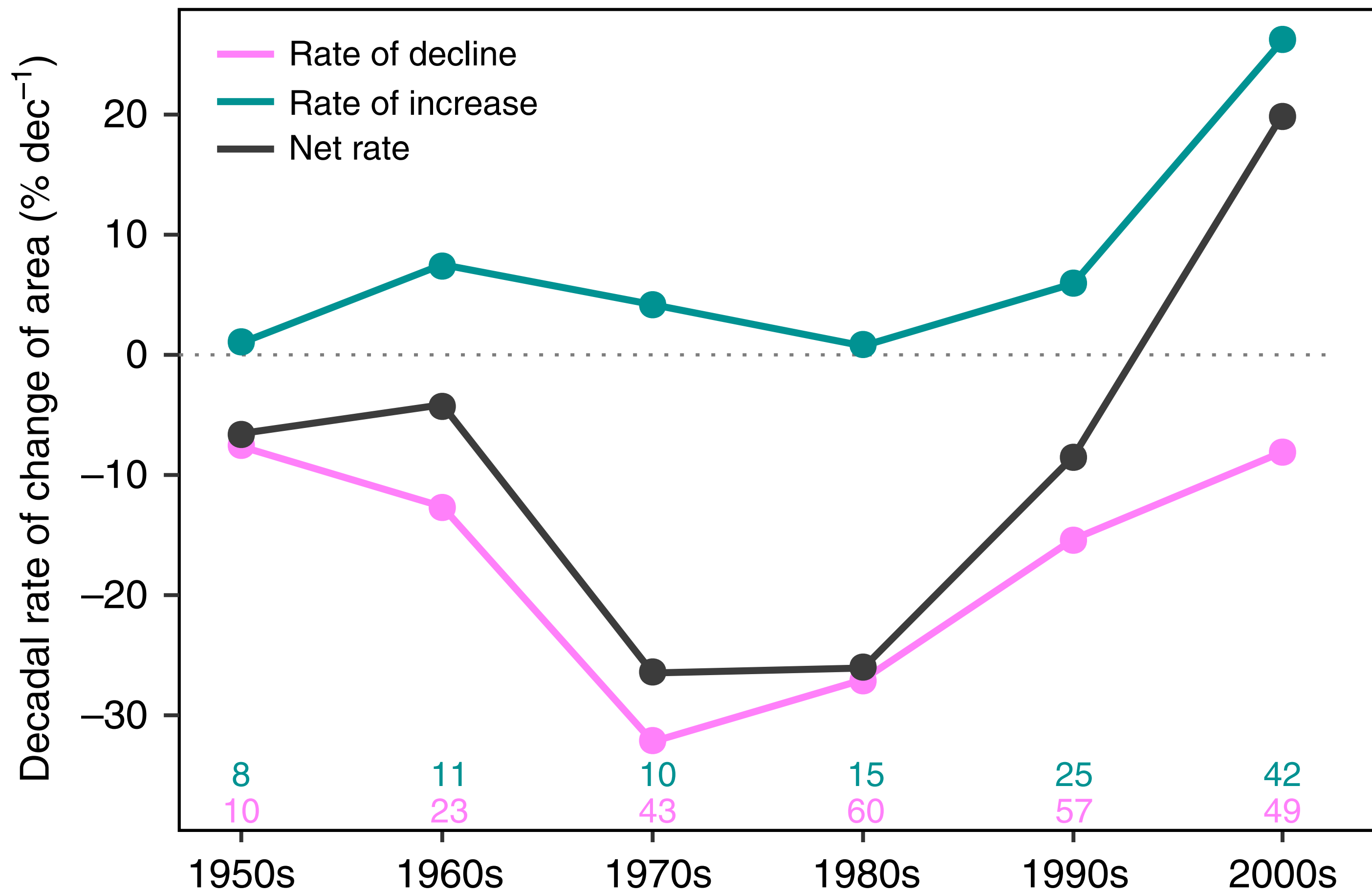


1997 (11 years of tidal evolution)

Williams and Orr (2002)

- Salt marsh restoration is well proven and can often be achieved by restoring tidal flows
- Restored breached levee salt marshes in San Francisco Bay Estuary
- Recovery in one decade

# Rétablissement des plantes marines en Europe



de los Santos et al. (2019)

- **1/3 of European seagrass area lost**, loss peaking in the 1970s and 1980s
- **Loss rates slowed down** for most of the species and fast-growing species recovered in some locations
- **Net rate of change reversed** in the 2000s
- Density metrics improved or remained stable in most sites
- In contrast with global assessments, **seagrass decline is no longer a generalised state in Europe**
- Deceleration and reversal of declining trends is possible

# Rétablissement des récifs coralliens après des essais nucléaires



- 76.3 megatons (TNT equivalent) were conducted across seven test sites (1946 to 1958), Marshall Is.
- Five craters were created
- Surface seawater temperatures raised by 55,000 °C after air-borne tests
- Blast waves with speeds of up to 8 m/s; and shock and surface waves up to 30 m high with blast columns reaching the floor of the lagoon (approximately 70 m depth)
- **Coral reefs in the Bikini Atoll recovered 40 years after the end of tests, although with some biodiversity changes** (Richards et al. 2008)
- *“While nuclear testing is devastating on an acute timescale, it may prove to be beneficial to the local ecosystem over a more chronic duration through human exclusion”* (Lawrence et al. 2015)

# Durée du rétablissement des récifs coralliens

Overgrazing (crown-of-thorns, *Acanthaster*): < 10 yrs

Cyclones (2 to 14 years), depending on severity of damage

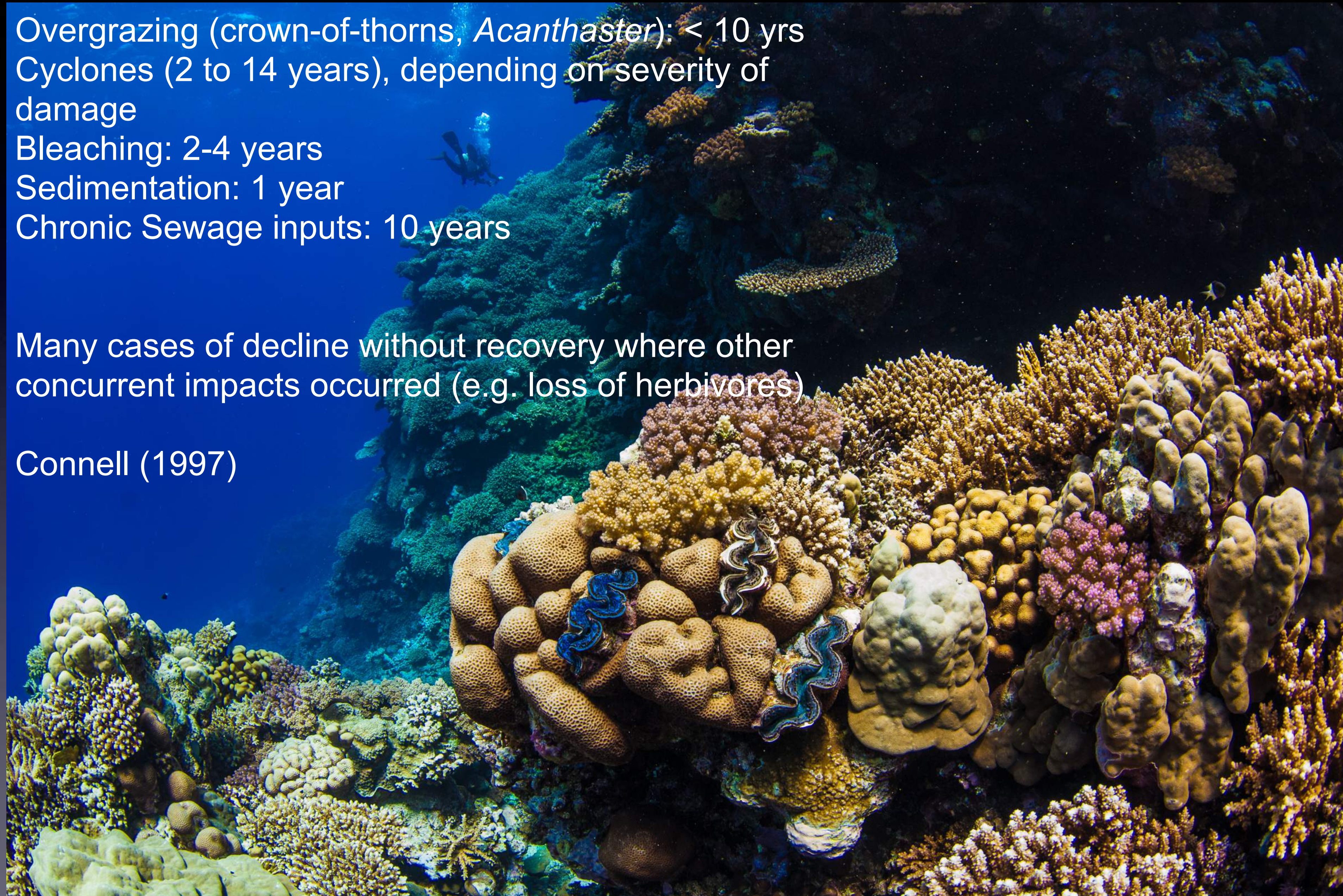
Bleaching: 2-4 years

Sedimentation: 1 year

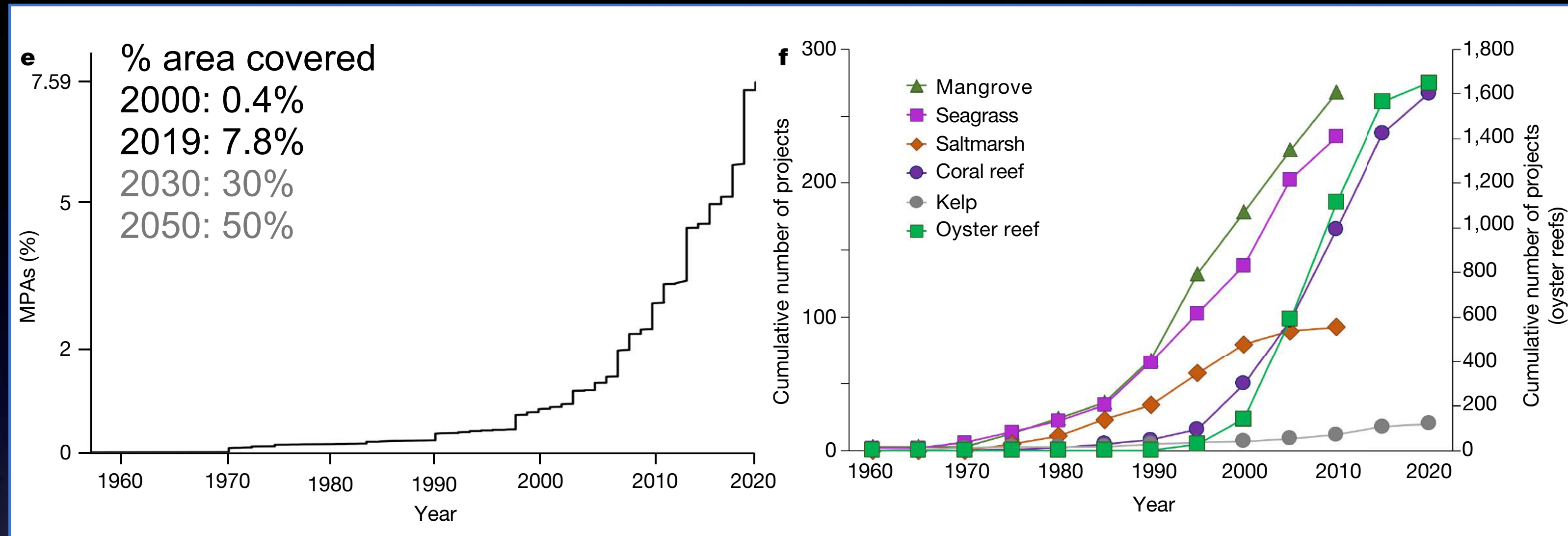
Chronic Sewage inputs: 10 years

Many cases of decline without recovery where other concurrent impacts occurred (e.g. loss of herbivores)

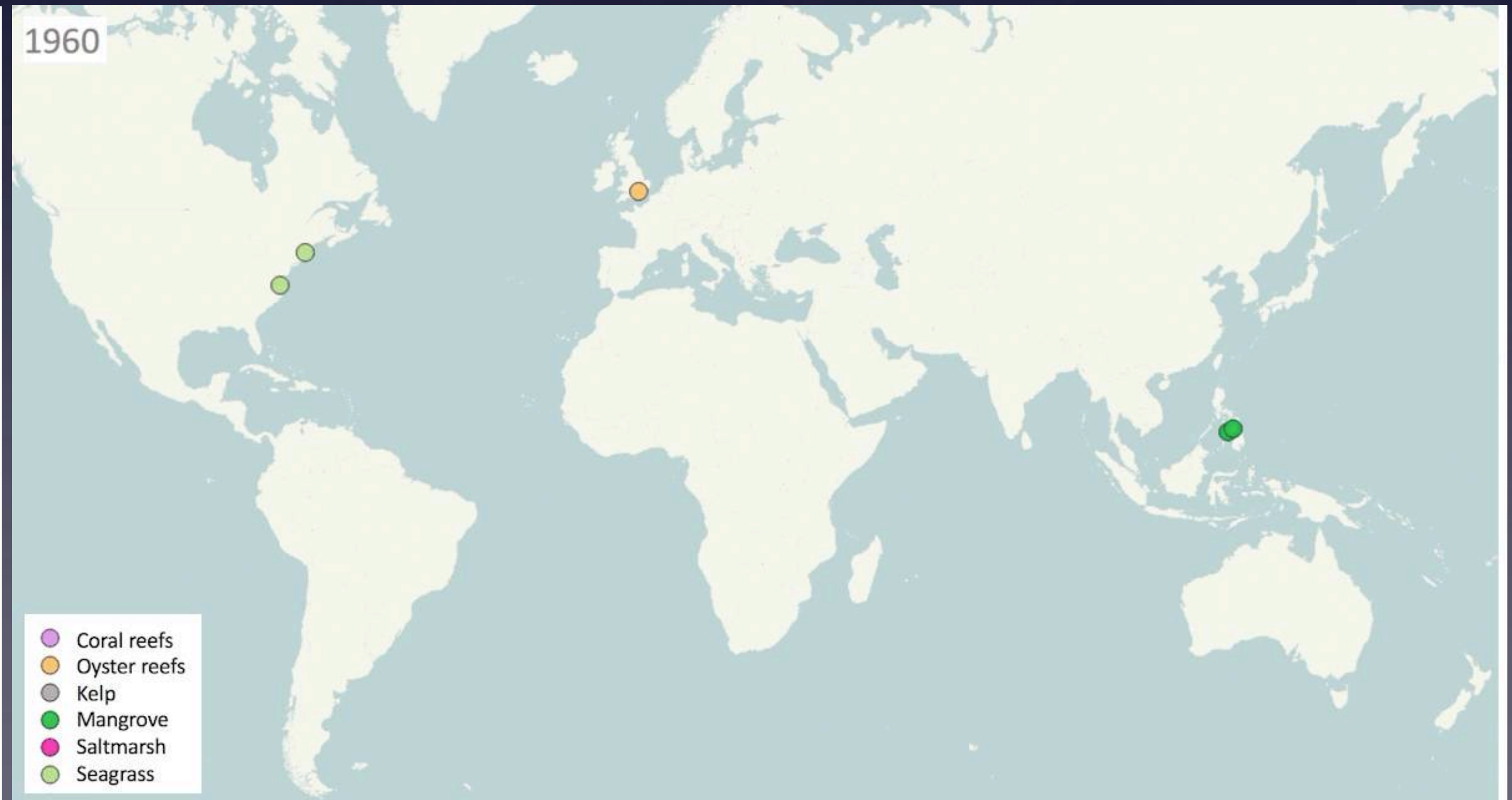
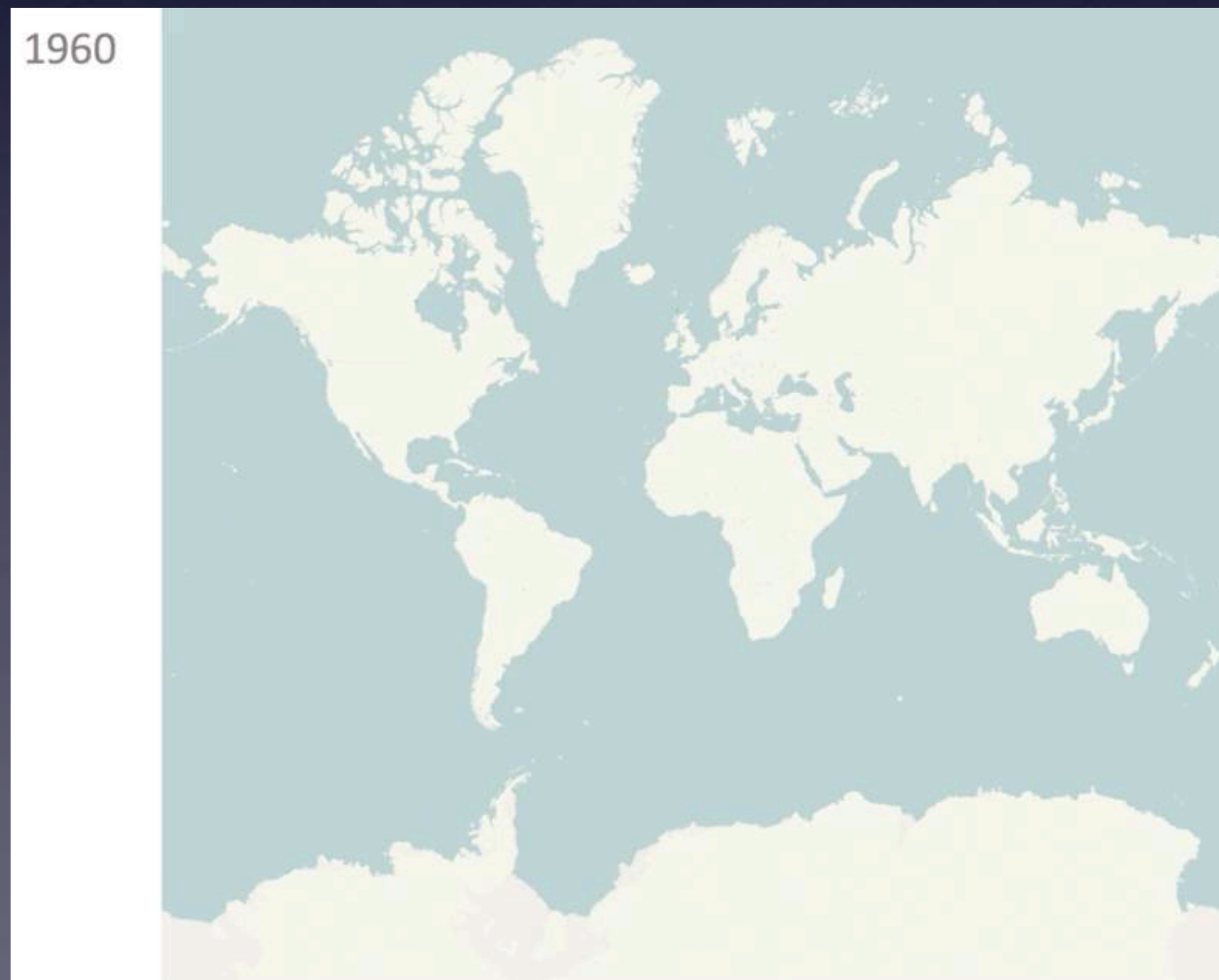
Connell (1997)



# Aires marines protégées et programmes de restauration

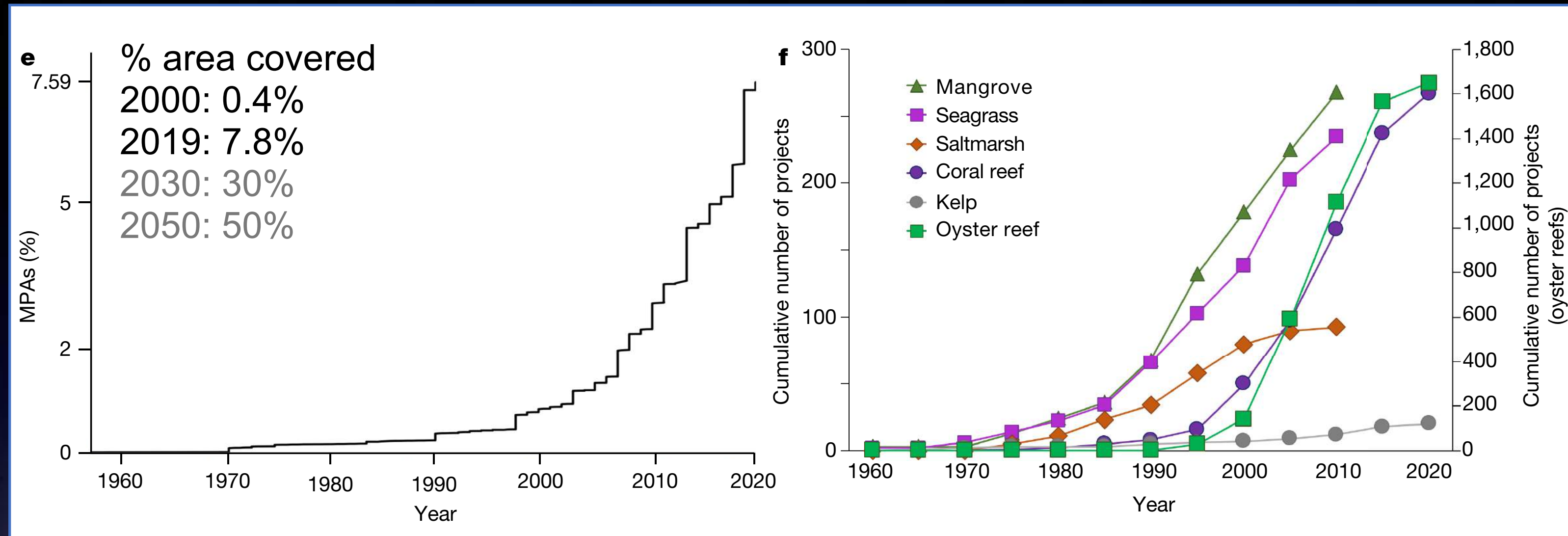


Duarte et al. (2020)

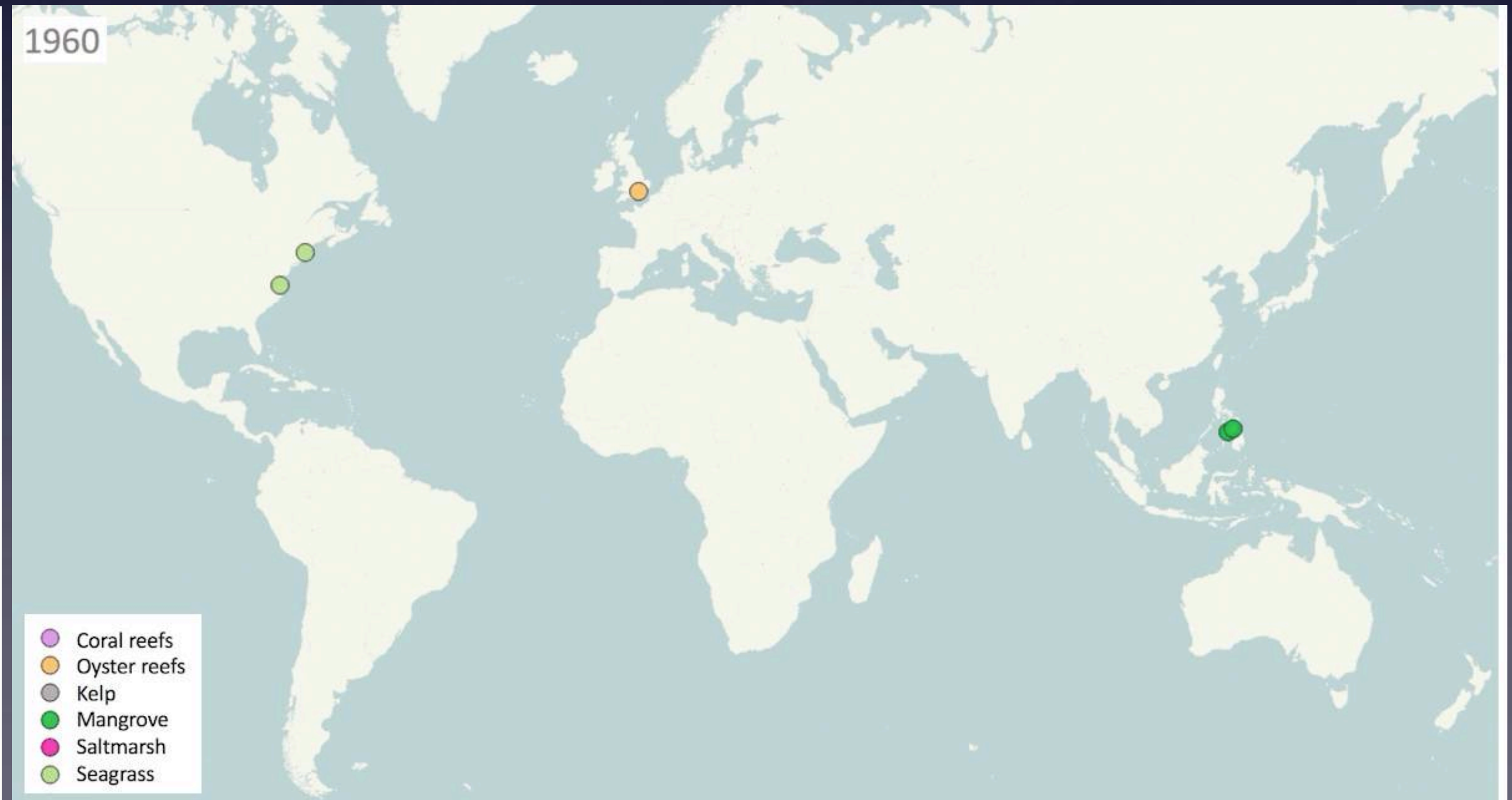
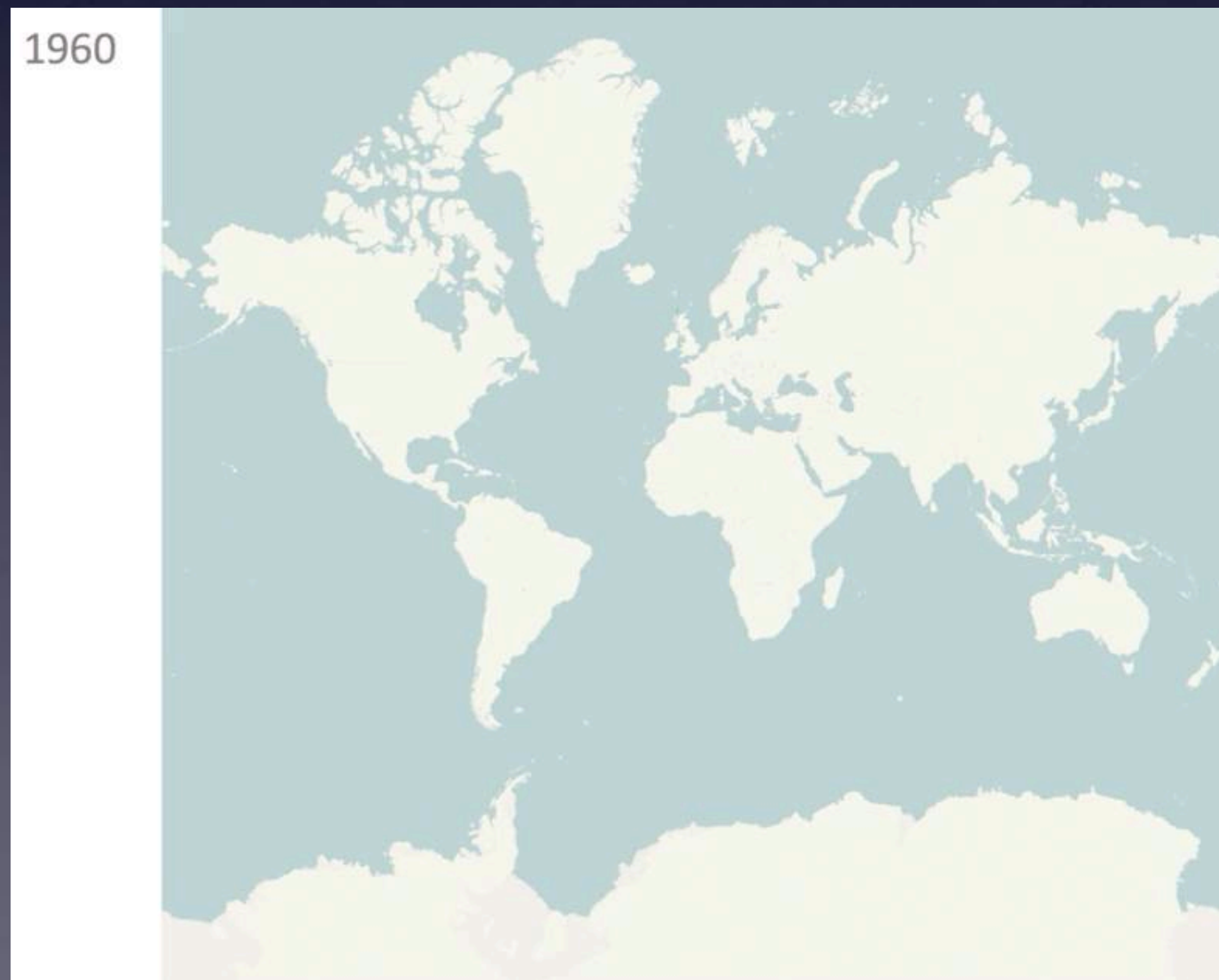


Duarte et al. (2020)

# Aires marines protégées et programmes de restauration



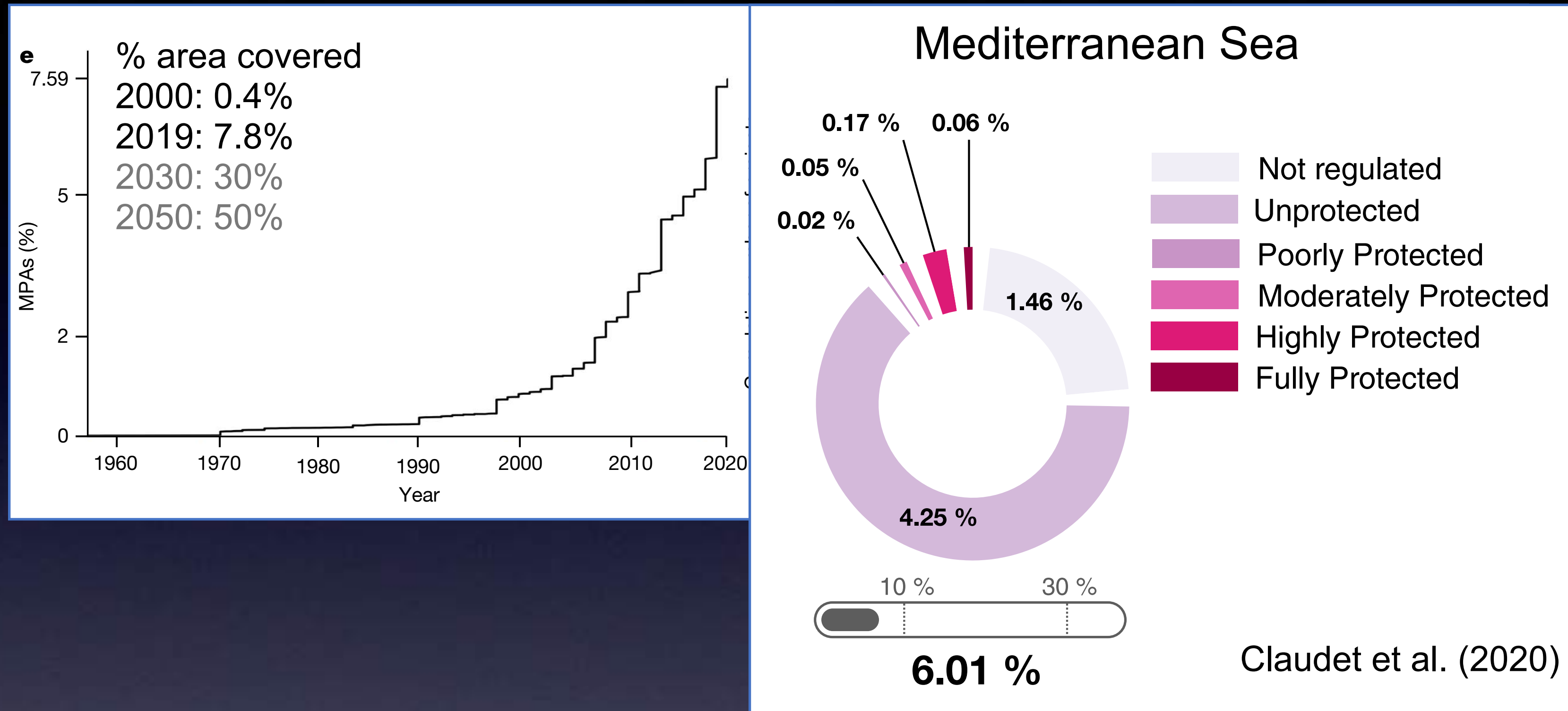
Duarte et al. (2020)



Duarte et al. (2020)



# Aires marines protégées et programmes de restauration



# Recovery wedges

- **No single solution** for achieving substantial (50-90% of past metrics) recovery of marine life by 2050
- Recovery requires the strategic stacking of a number of complementary actions, here termed **recovery wedges**:
  - protecting vulnerable habitats and species
  - adopting cautionary harvesting strategies
  - restoring habitats
  - reducing pollution
  - mitigating climate change
- The strength of the contribution of each of these wedges vary across species and ecosystems
- For instance, mitigating climate change is the critical wedge to set coral reefs on a recovery trajectory, whereas improved habitat protection and fisheries management are the critical wedges for the recovery of marine vertebrates and deep-sea habitats

# Roadblocks

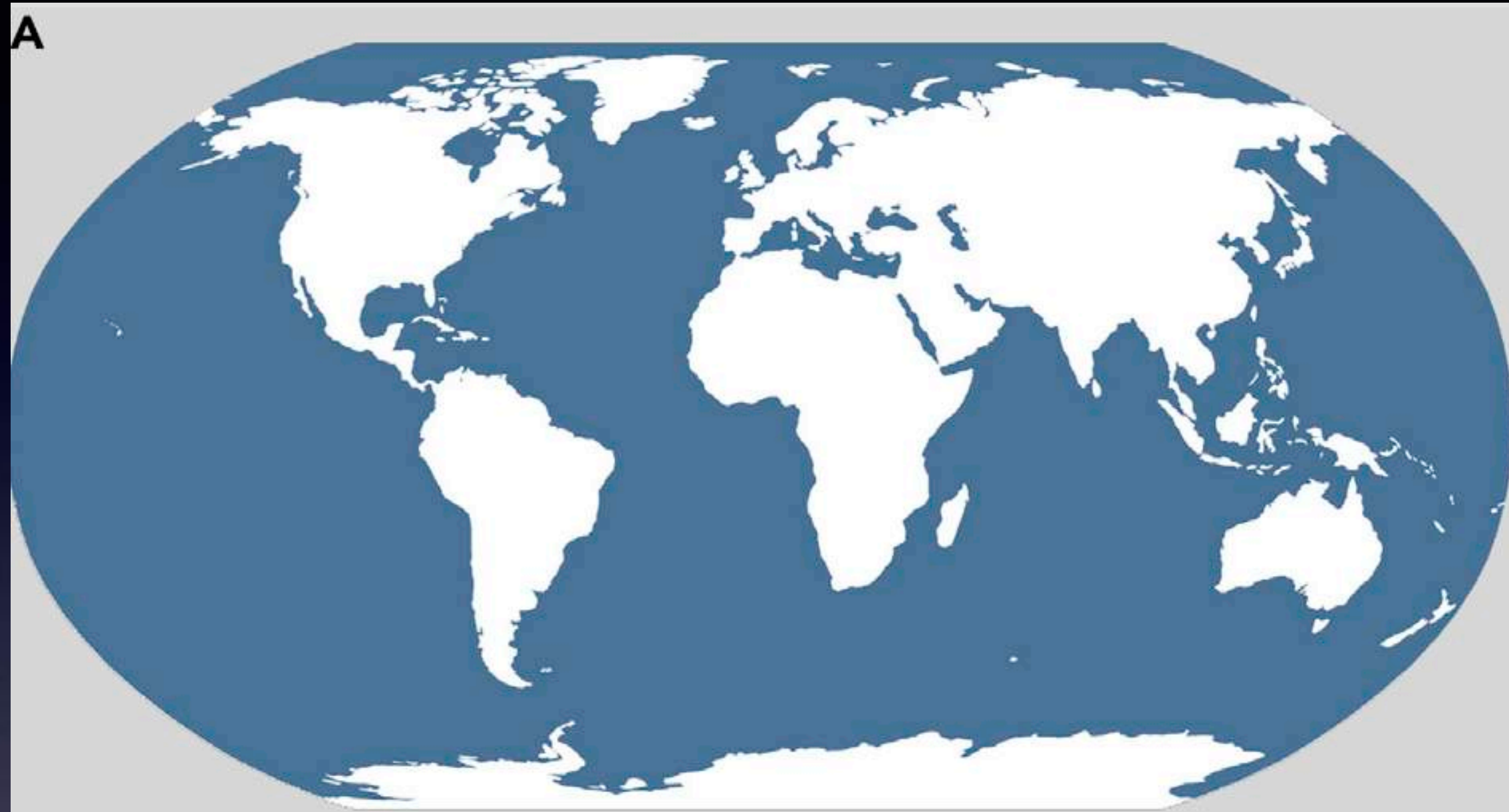
- A number of roadblocks may delay or prevent recovery of some of the critical components:
  - **Climate change** is the critical backdrop against which all rebuilding efforts will play out. Much stronger efforts to reduce the gap between target and projected emissions under the present voluntary NDCs is a challenging but not impossible task
  - Need to **consider unavoidable impacts** brought about by ocean warming, acidification and sea-level rise already committed by past emissions, even if the climate mitigation wedge, represented by the Paris Agreement, is fully implemented.
  - **Natural variability** and intensification of environmental **extremes**
  - **failure to reduce pressures** other than climate change mitigation
  - unexpected **natural or social events**
  - **growing human population** will create additional demands for seafood, coastal space and other ocean resources
- **Substantial to complete recovery** (60-100% increase relative to the present) appears realistic and achievable for most components
- **Partial to substantial recovery** (10 to >50%) can be targeted for deep-sea habitats, where slow recovery rates lead to a modest rebuilding scope by 2050, and for coral reefs, where existing and projected climate change severely limits the rebuilding prospects

# Necessary investments and expected returns

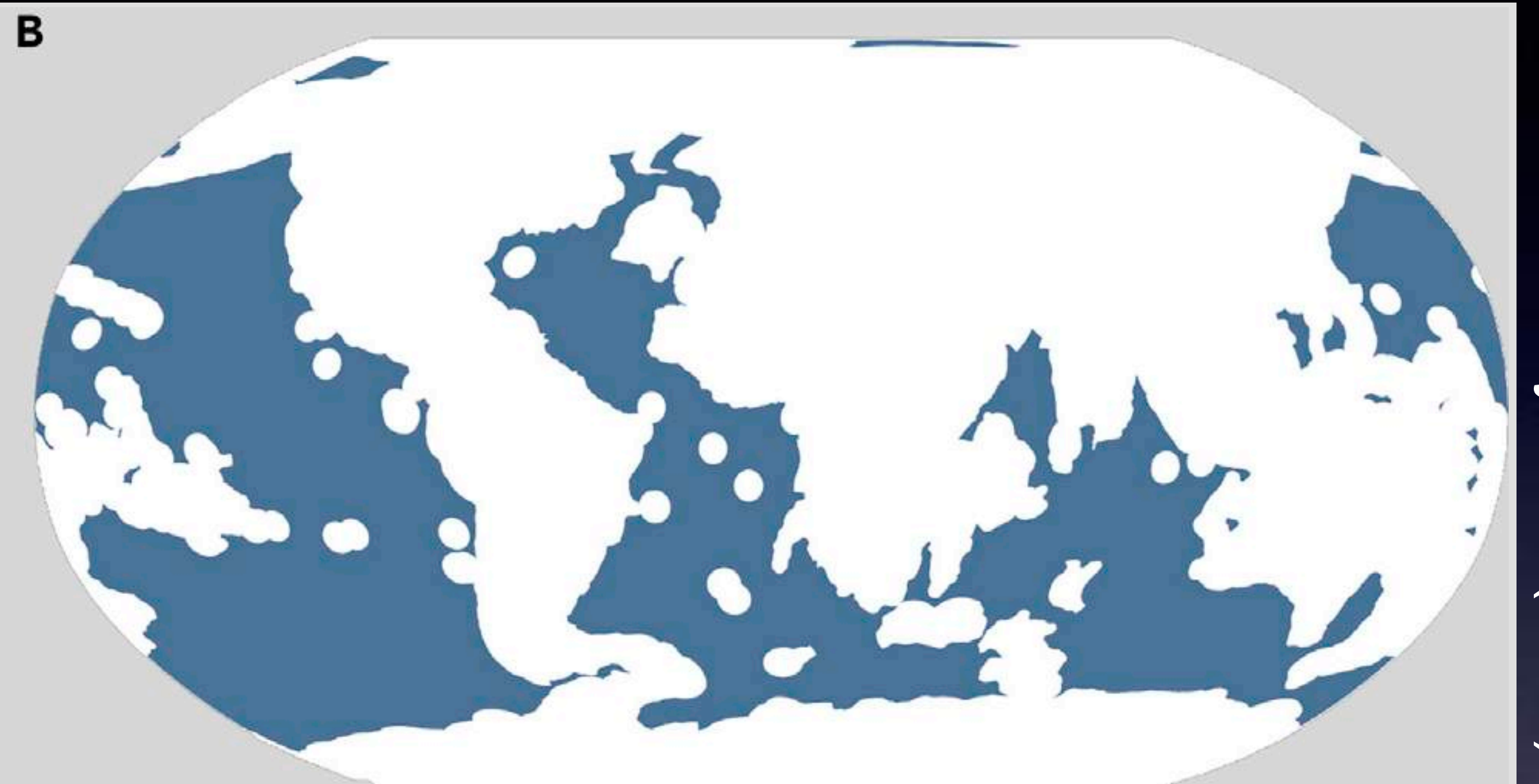
- Substantial rebuilding of marine life by 2050 requires **sustained effort and financial support**:
  - at least US\$10–20 billion per year to reach protection of 50% of the ocean space plus substantial additional funds for restoration
- **Benefits**: considerable economic return (x10) and in excess of one million new jobs:
  - Rebuilding fish stocks can be achieved by **market-based instruments**, such as rationalizing global fishing subsidies, taxes and catch shares, to end perverse incentives and by the growth of truly sustainable aquaculture to reduce pressure on wild stocks
  - Whereas most regulatory measures focus on **commercial** fisheries, **subsistence and recreational fishing** are also globally relevant and need to be aligned with rebuilding efforts to achieve sustainability
  - Rebuilt fisheries alone could increase the annual profits of the **global seafood industry** by US\$53 billion
  - A global rebuilding of exploited fish stocks could **increase fishing yields** by 15% and **profits** by about 80% while reducing bycatch mortality
  - Conserving coastal wetlands could save the **insurance industry** US\$52 billion annually while providing additional benefits of carbon sequestration, income and subsistence from harvesting, and from fisheries
- **Ecotourism** in protected areas provides 4-12 times greater economic returns than fishing without reserves (for example, AUS\$5.5 billion annually and 53,800 full time jobs in the Great Barrier Reef Marine Park)

# National jurisdiction

Landmass



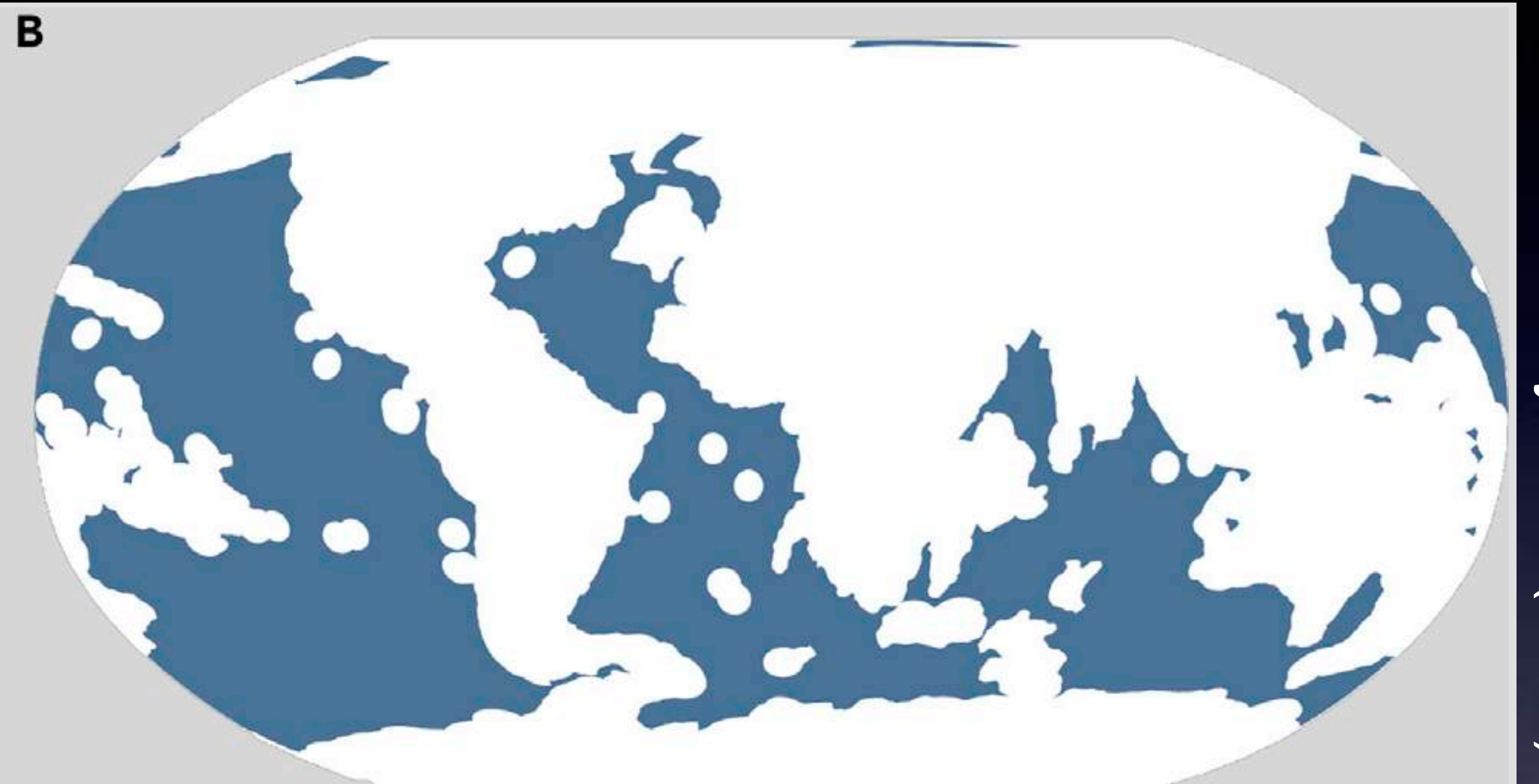
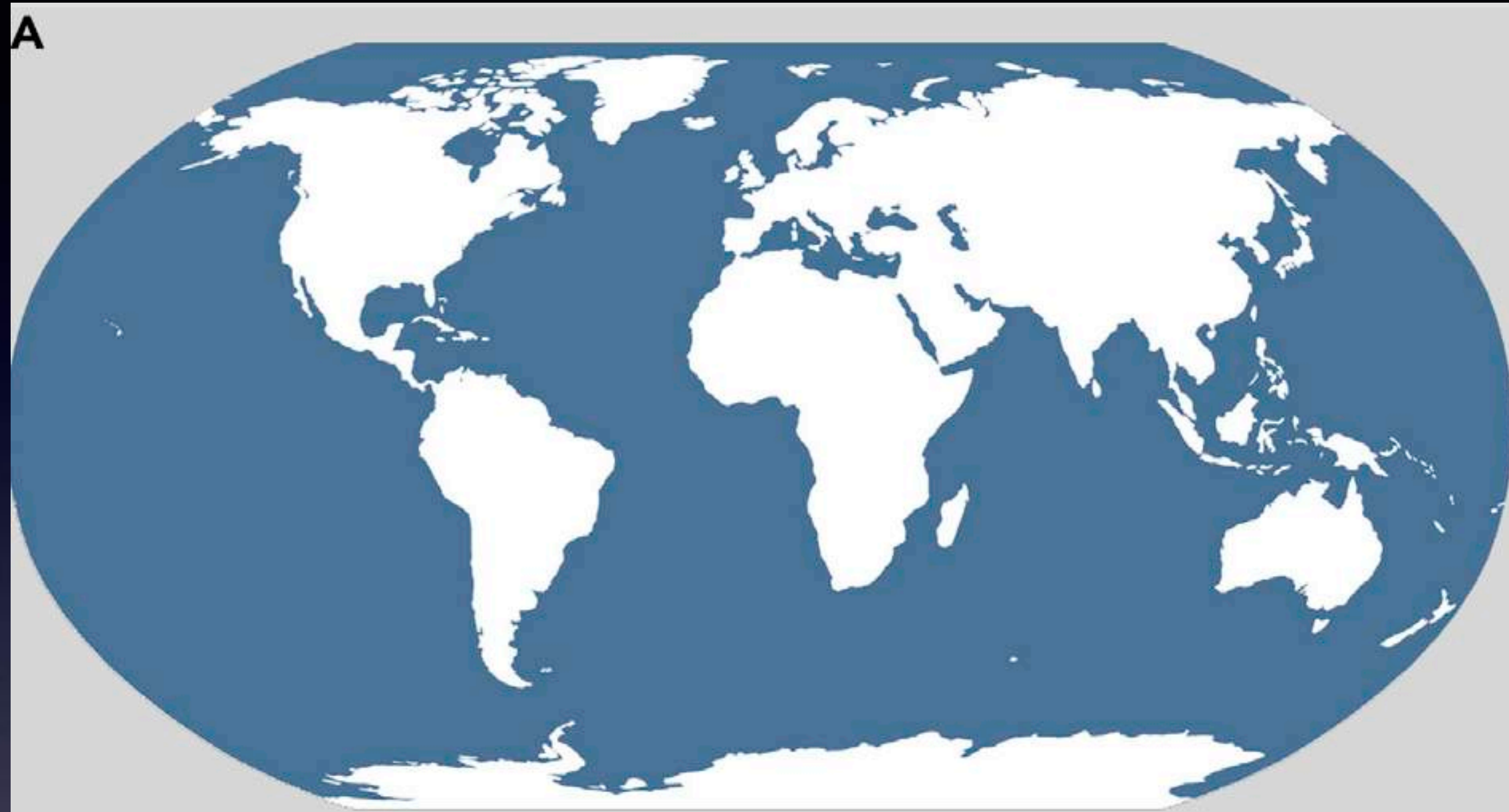
Landmass and seabed



# National jurisdiction

Landmass

Landmass and seabed



*“virtually all the seas and oceans in the whole world are already protected by international law.”*

*“The problem, ..., is lax enforcement and apathy”*

Deborah Rowan Wright

# Reconstituer la biodiversité marine d'ici 2100 : un grand défi

Review

## Rebuilding marine life

nature

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2146-7>

Received: 24 May 2019

Accepted: 18 February 2020

Published online: 1 April 2020

Carlos M. Duarte<sup>1,2,3</sup>✉, Susana Agusti<sup>1</sup>, Edward Barbier<sup>4</sup>, Gregory L. Britten<sup>5</sup>,  
Juan Carlos Castilla<sup>6</sup>, Jean-Pierre Gattuso<sup>7,8,9</sup>, Robinson W. Fulweiler<sup>10,11</sup>, Terry P. Hughes<sup>12</sup>,  
Nancy Knowlton<sup>13</sup>, Catherine E. Lovelock<sup>14</sup>, Heike K. Lotze<sup>15</sup>, Milica Predragovic<sup>1</sup>,  
Elvira Poloczanska<sup>16</sup>, Callum Roberts<sup>17</sup> & Boris Worm<sup>15</sup>



- Conserve and sustain what is left: no longer acceptable
- **Sustainable Development Goal 14** of the United Nations aims to “*conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development*”
- Here we document the **recovery** of marine populations, habitats and ecosystems following past conservation interventions
- Recovery rates across studies suggest that **substantial recovery** of the abundance, structure and function of marine life **could be achieved by 2050**, if major pressures—including climate change—are mitigated
- Rebuilding marine life represents a **doable Grand Challenge** for humanity, an **ethical obligation** and a **smart economic objective** to achieve a sustainable future

# L'océan de l'Anthropocène

- L'avenir de l'océan est entre nos mains
- Les risques ont été bien évalués
- Les principales solutions sont connues
- L'océan de l'Anthropocène sera ce que l'on en fera



# Nombreux produits disponibles

REVIEW

frontiers  
in Marine Science

OCEANOGRAPHY

## Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions scenarios

J.-P. Gattuso,<sup>1,2,3\*</sup> A. Magnan,<sup>3</sup> R. Billé,<sup>4</sup> W. W. L. Cheung,<sup>5</sup> E. L. Howes,<sup>6</sup> F. Joos,<sup>7</sup> D. Allemand,<sup>8,9</sup> L. Bopp,<sup>10</sup> S. R. Cooley,<sup>11</sup> C. M. Eakin,<sup>12</sup> O. Hoegh-Guldberg,<sup>13</sup> R. P. Kelly,<sup>14</sup> H.-O. Pörtner,<sup>6</sup> A. D. Rogers,<sup>15</sup> J. M. Baxter,<sup>16</sup> D. Laffoley,<sup>17</sup> D. Osborn,<sup>18</sup> A. Rankovic,<sup>3,19</sup> J. Rochette,<sup>3</sup> U. R. Sumaila,<sup>20</sup> S. Treyer,<sup>3</sup> C. Turley<sup>21</sup>

## Ocean Solutions to Address Climate Change and Its Effects on Marine Ecosystems

Jean-Pierre Gattuso<sup>1,2,3\*</sup>, Alexandre K. Magnan<sup>2,4</sup>, Laurent Bopp<sup>5,6</sup>, William W. L. Cheung<sup>7</sup>, Carlos M. Duarte<sup>8,9</sup>, Jochen Hinkel<sup>10,11</sup>, Elizabeth Mcleod<sup>12</sup>, Fiorenza Micheli<sup>13</sup>, Andreas Oschlies<sup>14</sup>, Phillip Williamson<sup>15,16</sup>, Raphaël Billé<sup>17</sup>, Vasiliki I. Chalastani<sup>1,6</sup>, Ruth D. Gates<sup>18</sup>, Jean-Olivier Irisson<sup>1</sup>, Jack J. Middelburg<sup>19</sup>, Hans-Otto Pörtner<sup>20</sup> and Greg H. Rau<sup>21</sup>

Communauté scientifique



Grand public

IDDRI

PRINCE ALBERT II OF MONACO FOUNDATION

Ocean Acidification International Coordination Centre  
IAEA OA-ICC

FONDATION BNP PARIBAS

IDDRI  
DÉVELOPPEMENT DURABLE & RELATIONS INTERNATIONALES

The Ocean Solutions Initiative

PRINCE ALBERT II OF MONACO FOUNDATION

Fondation VEOLIA

Ocean Acidification International Coordination Centre  
IAEA OA-ICC

FONDS FRANÇAIS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

AMAO

N° 06  
OCTOBRE  
2018

S

POLICY BRIEF

N° 04/15 OCTOBRE 2015 | CLIMAT - Océans et zones côtières

## Interdépendance entre océan et climat : implications pour les négociations climatiques internationales

Alexandre K. Magnan (Iddri), Raphaël Billé (Secrétariat général de la Communauté du Pacifique), Sarah R. Cooley (Ocean Conservation Coalition), R. P. Kelly (université de Washington), Hans-Otto Pörtner (Alfred Wegener Institute), Carol Turley (Plymouth Marine Laboratory), Jean-Pierre Gattuso (Sorbonne Universités, Iddri)

Décideurs

SciencesPo

## Le rôle potentiel de l'océan dans l'action climatique

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. Gattuso

Face à l'insuffisance des efforts mondiaux d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES) pour maintenir le réchauffement global « bien en-dessous de 2 °C » (en 2100, par rapport à la période préindustrielle) et ainsi favoriser l'atteinte des objectifs de développement durable des Nations unies, il est critique, aujourd'hui, de relever l'ambition politique tant en matière d'atténuation que d'adaptation des écosystèmes et des sociétés. Dans cette perspective, ce Document de propositions pose la question des opportunités offertes par l'océan pour soutenir l'action climatique internationale. L'océan joue un rôle déterminant dans la minimisation du changement climatique d'origine anthropique (en termes d'absorption de la chaleur atmosphérique et du CO<sub>2</sub>), mais au prix de répercussions importantes sur son fonctionnement chimique et physique : réchauffement, acidification, désoxygénation et élévation du niveau de la mer. Cela a bien entendu des implications, déjà détectables, sur les écosystèmes et les services écosystémiques.

À la fois victime et acteur, quel est le potentiel de l'océan et de ses écosystèmes pour limiter les causes du changement climatique et ses conséquences ? Ce Document de propositions résume les principales conclusions de l'Ocean Solutions Initiative<sup>1</sup>, qui a évalué le potentiel de 13 mesures fondées sur l'océan.

# OCEANS 2015 INITIATIVE



Ocean Acidification  
International  
Coordination Centre  
OA-ICC



**FONDATION  
BNP PARIBAS**

# The Ocean Solutions Initiative



**PRINCE ALBERT II  
OF MONACO  
FOUNDATION**



**Fondation  
VEOLIA**



Ocean Acidification  
International  
Coordination Centre  
OA-ICC



**FONDS FRANÇAIS POUR  
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL**

## Plus d'information:

Ocean 2015 Initiative: <http://bit.ly/1M6YiS6>

Ocean Solutions Initiative: <http://bit.ly/2xJ3EV6>