# Séries temporelles marines : messages scientifiques, environnementaux et sociétaux

24 Novembre 2021

Séminaire : « QUI FAIT QUOI DANS LA SECTION »

Par Serge Poulet
Directeur de recherche émérite du CNRS,
Membre correspondant de l'Académie d'agriculture, Section 6 (Sciences de la vie)

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ■ ALIMENTATION ■ ENVIRONNEMENT

# Séries chronologiques marines : messages scientifiques, environnementaux et sociétaux

## CONTENU DE L'EXPOSÉ (1)

**LA NATURE DÉVOILÉE**

**CARACTÉRISATION DE L'OCÉAN**

-Immensité, complexité, hétérogénéité du milieu océanique
-Complexité des mesures en fonction du temps et de l'espace

**COMMENT OBSERVER L'OCÉAN ?**

-Diversité des instruments de mesure
-Paramètres physiques, chimiques, biologiques :
*Infrastructures de mesure
*Réseaux d'observation

**POURQUOI OBSERVER L'OCÉAN ?**

## CONTENU DE L'EXPOSÉ (2)

**L'OCÉAN : SÉRIES CHRONOLOGIQUES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE**

-Paramètres physiques : **MARÉE, TEMPÉRATURE**
-Paramètre chimique : **CO2**

**CONSÉQUENCES**

-Sociétales
-Environnementales
-Biologiques

**EXEMPLES D'IMPACTS ASSOCIÉS**

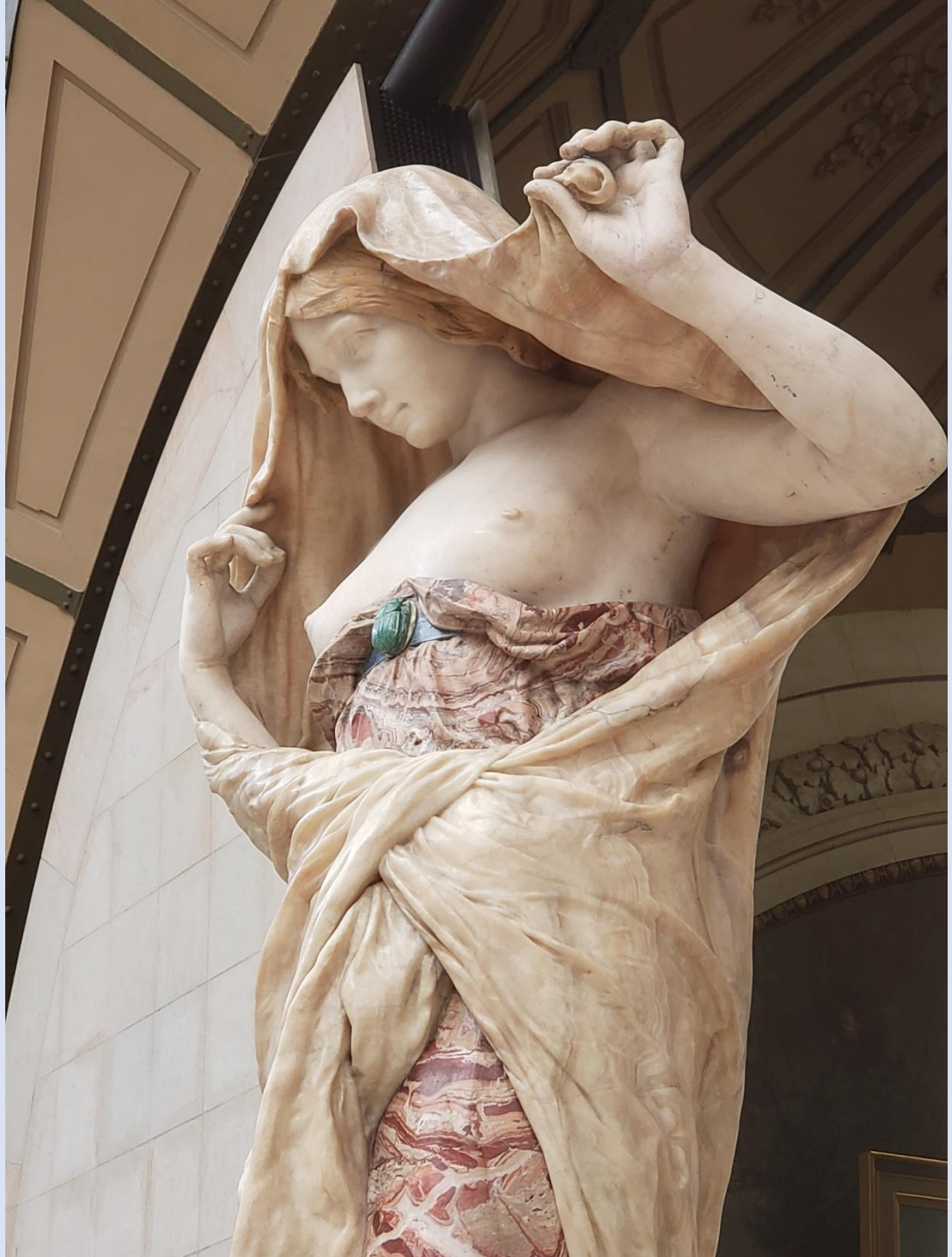
-Phytoplancton
-Mollusques
-Poissons
-Oiseaux marins

**QUELLES SOLUTIONS ?**

-Guides pour des Aires Maritimes Protégées (**AMPs**)
-Politiques, économiques

**CONCLUSION**

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



**Statue en Marbres polychromes (1899)**

**Sculpteur : Louis-Ernest BARRIAS (1841-1905)**

**Musée d'Orsay (proche voisin de l'AAF…)**

## « La Nature se dévoilant à la Science »

Ce concept idéalisé et statufié par un artistique du XIX siècle, un peu machiste, est inversé dans l'idée moderne du couplage **NATURE/SCIENCE**.

Nous considérons que c'est la **SCIENCE** qui découvre méthodiquement et progressivement la **NATURE**.

Dans le cas de l'OCÉAN, ce processus est lent et inachevé.

## LES CONCEPTIONS SUCCESSIVES DE LA PLANÈTE TERRE/OCÉAN

*LA CARTE « TO »* - Les trois parties de la terre habitée sont inscrites dans le O de l'anneau océanique infranchissable, et séparées par un T : la Méditerranée verticale entre l'Europe et l'Afrique, le Tanaïs (le Don) entre l'Europe et l'Asie, et le Nil entre l'Asie et l'Afrique.

**5 siècles**

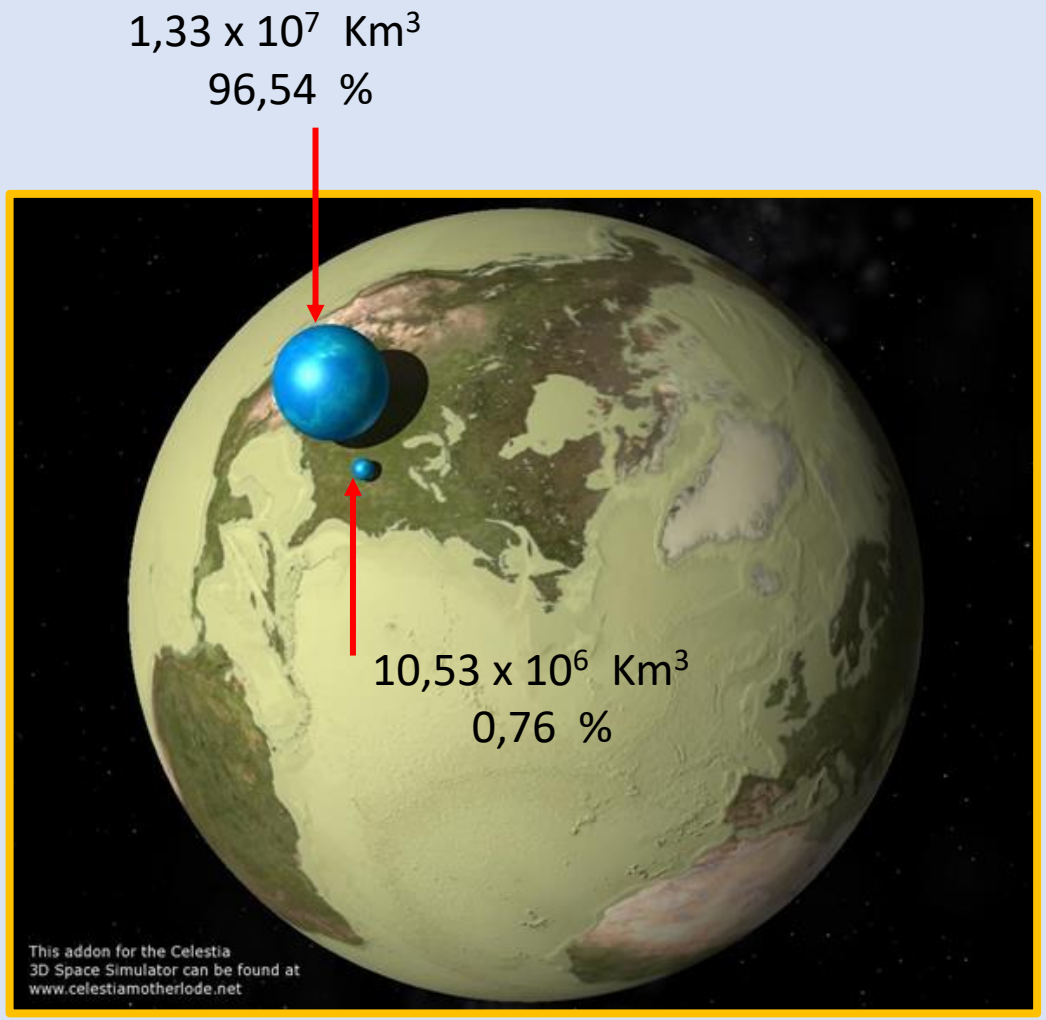
*Mappemonde de Barthélemy l'Anglais,* le Livre des propriétés des choses. *1479-1480. BNF, Manuscrits.*
*Source de l'image :* Gallica

Photos prises le 7 décembre 1972 par l'équipage d'Apollo 17, à une distance d'environ 45 000 km

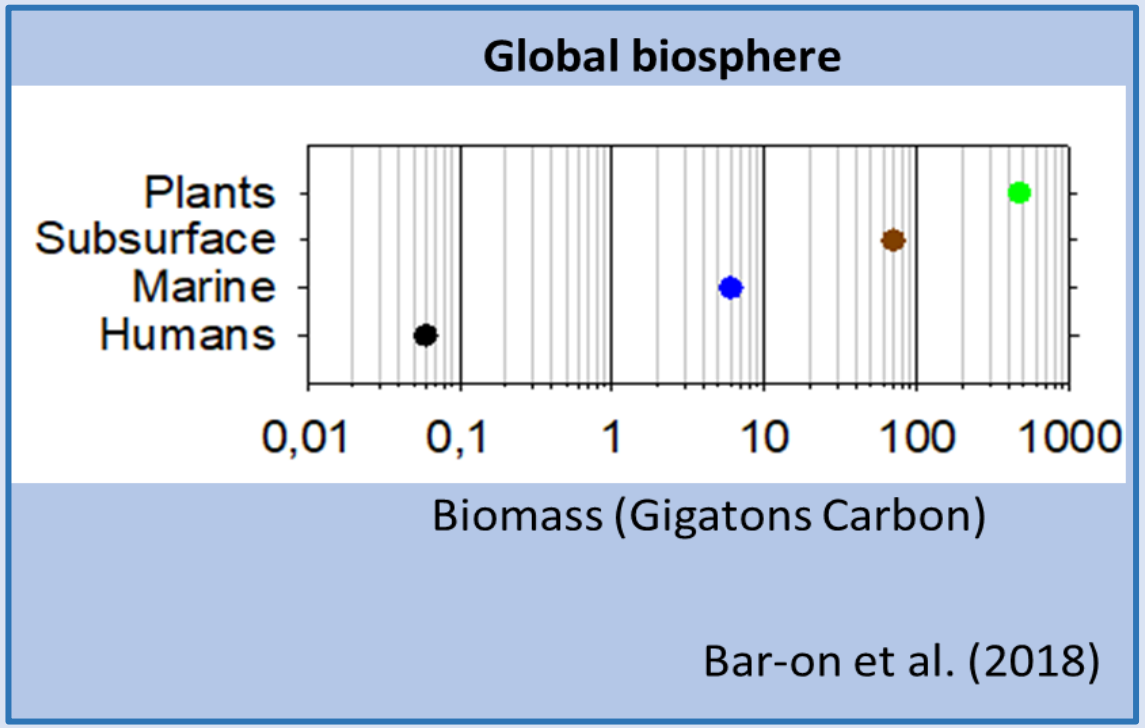
**LA TERRE PHOTOGRAPHIÉE DE L'ESPACE (NASA)**

Continents : 30 %
Océans : 70 %
} de la surface terrestre ($510 \times 10^6$ Km$^2$)

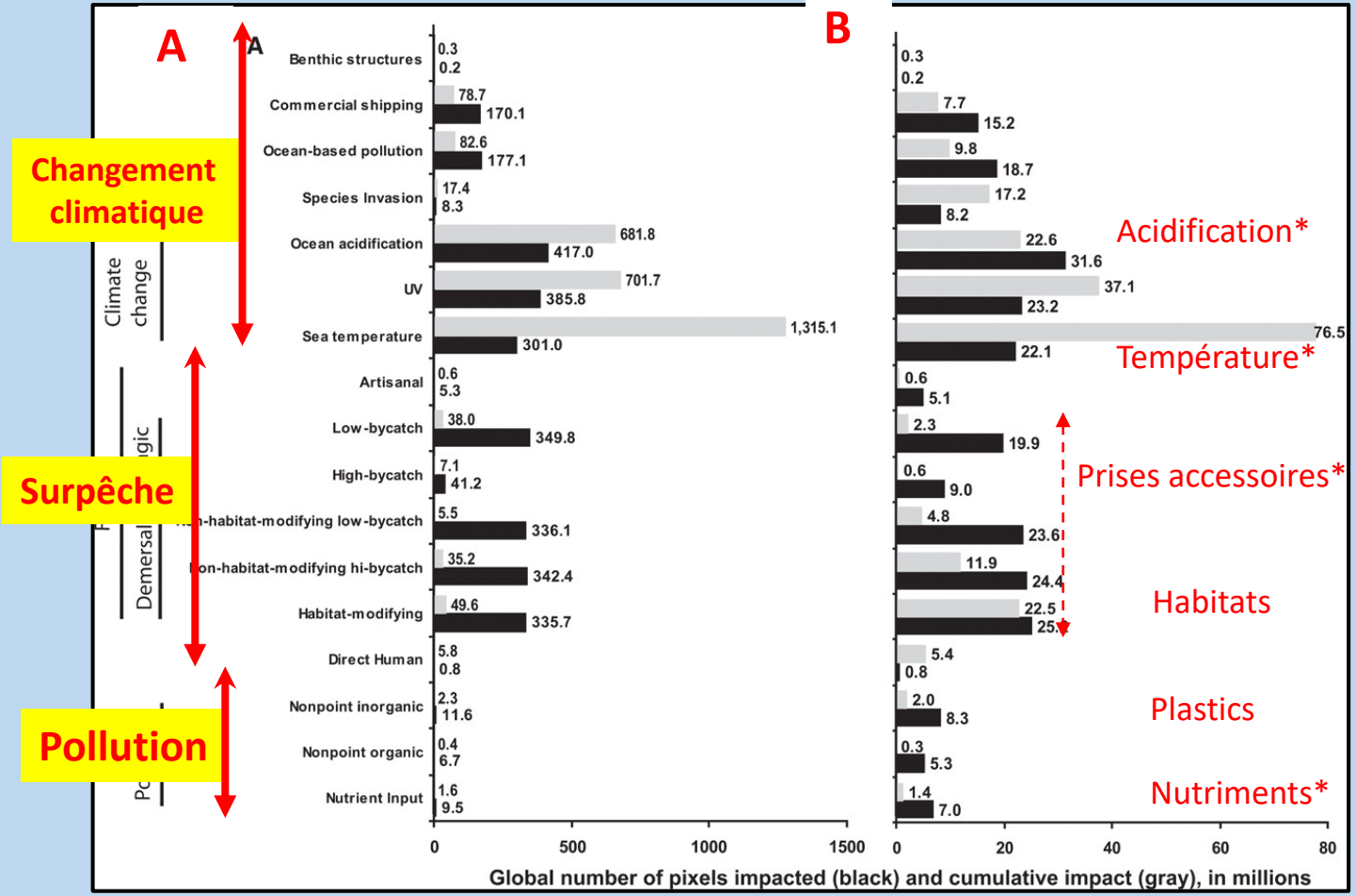
# LES CONCEPTIONS SUCCESSIVES DE LA PLANÈTE TERRE/OCÉAN



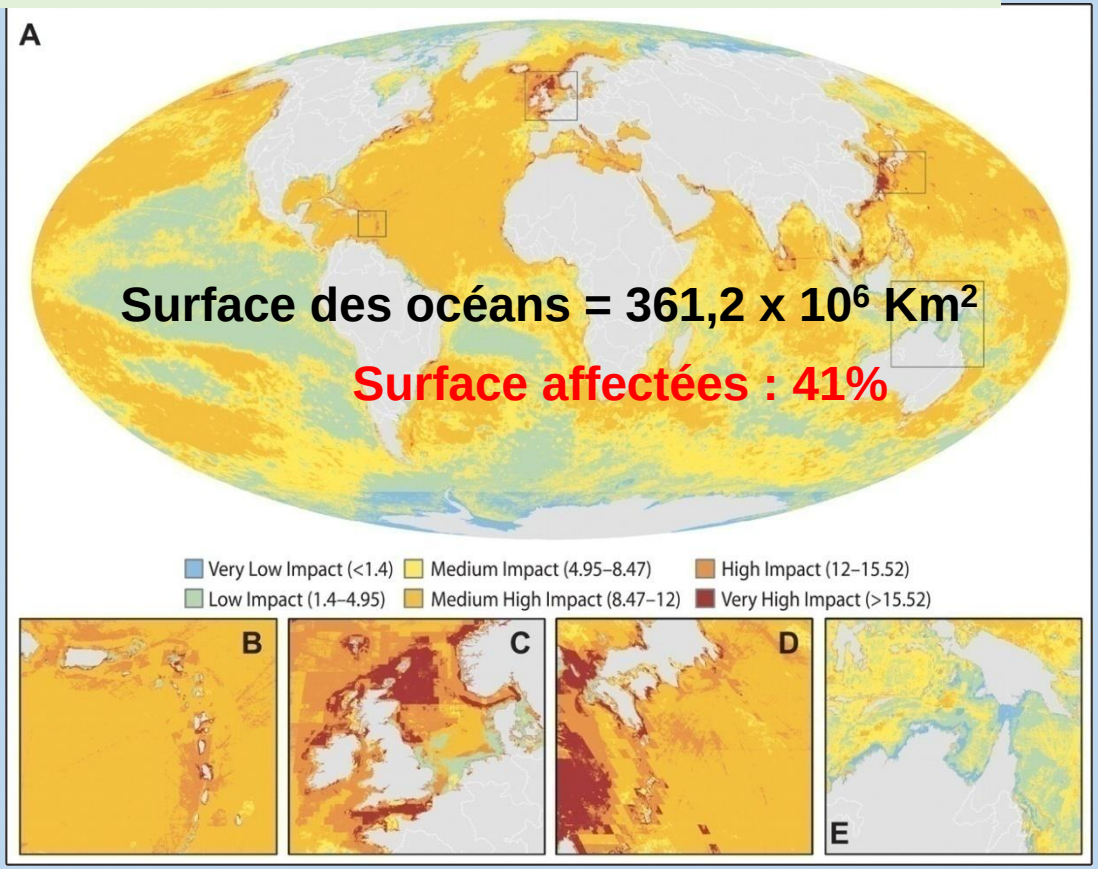

Howard Perlman, USGS / Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution / Adam Nieman - Licence : DR



# CARTOGRAPHIE DES SURFACES OCÉANIQUES AFFECTÉES PAR 3 CAUSES MAJEURES D'ORIGINE ANTHROPIQUE (*CHANGEMENT CLIMATIQUE, SURPÊCHE, POLLUTION*)




Surfaces océaniques affectées (Barres grises: Km $^2$) et impacts cumulés (Barres noires : $10^6$ pixels). (A) OCÉAN MONDIAL; (B) ZONES CÔTIÈRES < 200 m.




(A)Planisphère des impacts cumulés dans 20 écosystèmes océaniques. Régions les plus affectées : (B)Mer des Caraïbes, (C) Mer du Nord, (D) Mer du Japon ; et les moins affectées , (E) Australie N.E ; Zones polaires.

Halpern et al. 2008

# CARACTÉRISATION DE L'OCÉAN

## Immensité

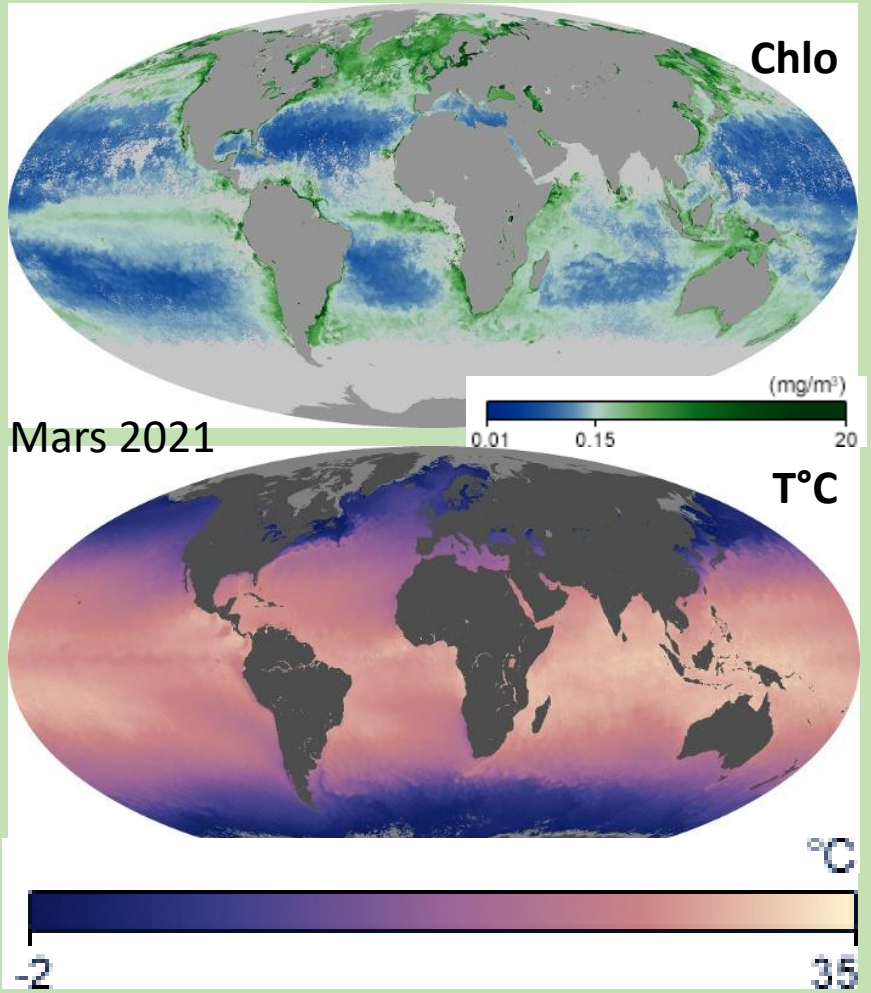
70 %
Surface Terrestre

## Diversité Biologique

**BIODIVERSITÉ des ESPÉCES MARINES**:
240 000 décrites, 500 000 estimées
$10^{6}$ avec les « microbes »
**TARA Océans** : $100 \times 10^{6}$ gènes découverts

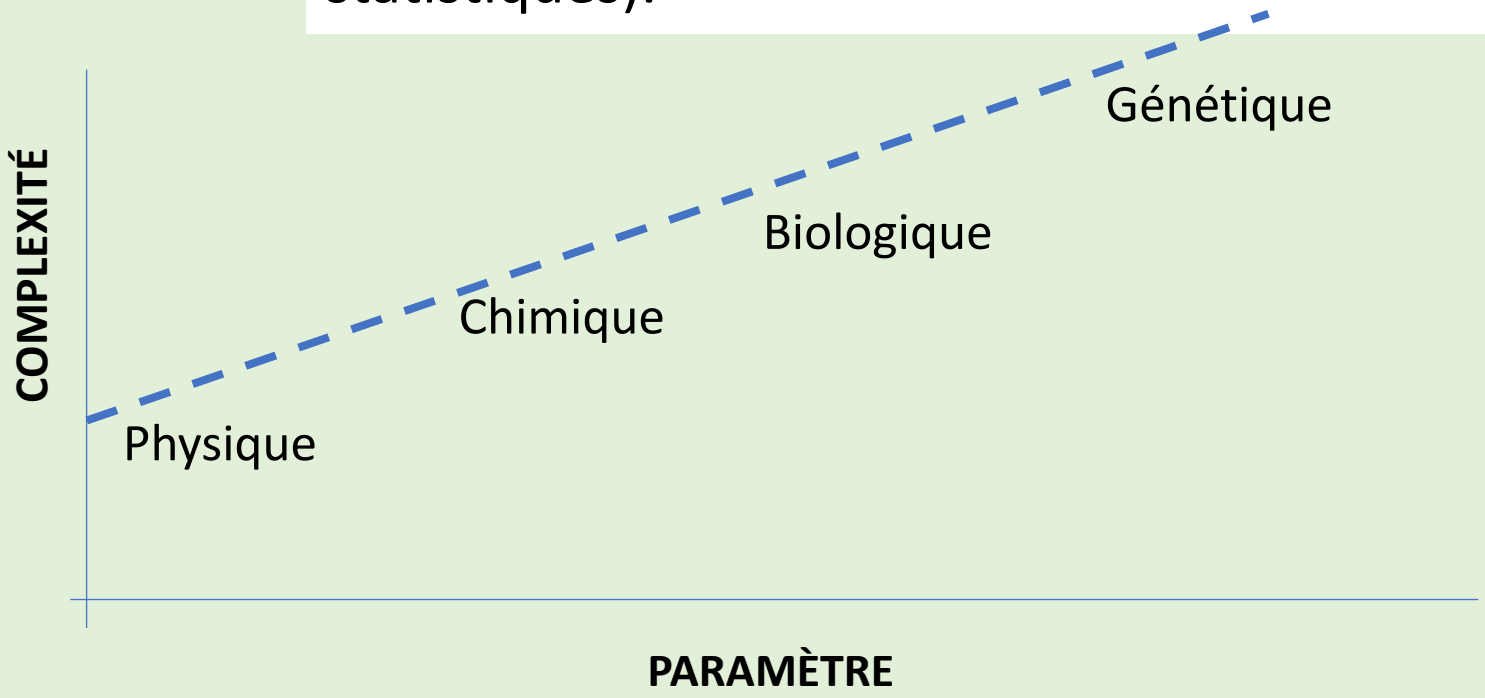
**RÔLE RÉGULATEUR MAJEUR : T°C ; $CO_2$ ; CLIMAT**

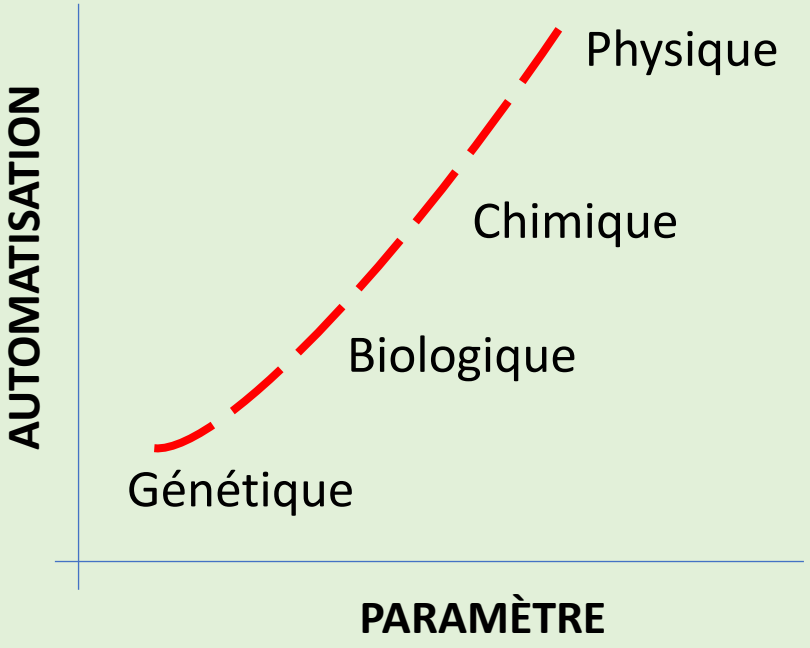
## Hétérogénéité/Variabilité Physico-Chimique



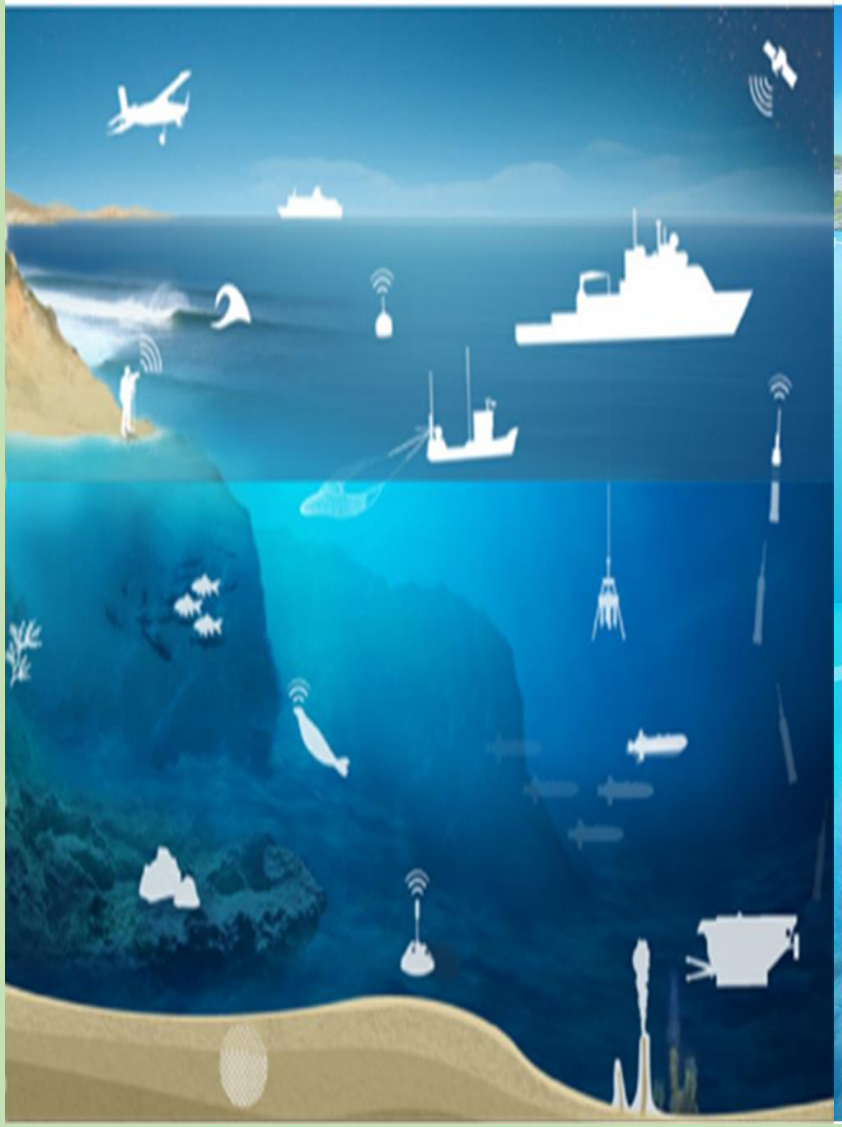
# CARACTÉRISATION DE L'OCÉAN (suite)

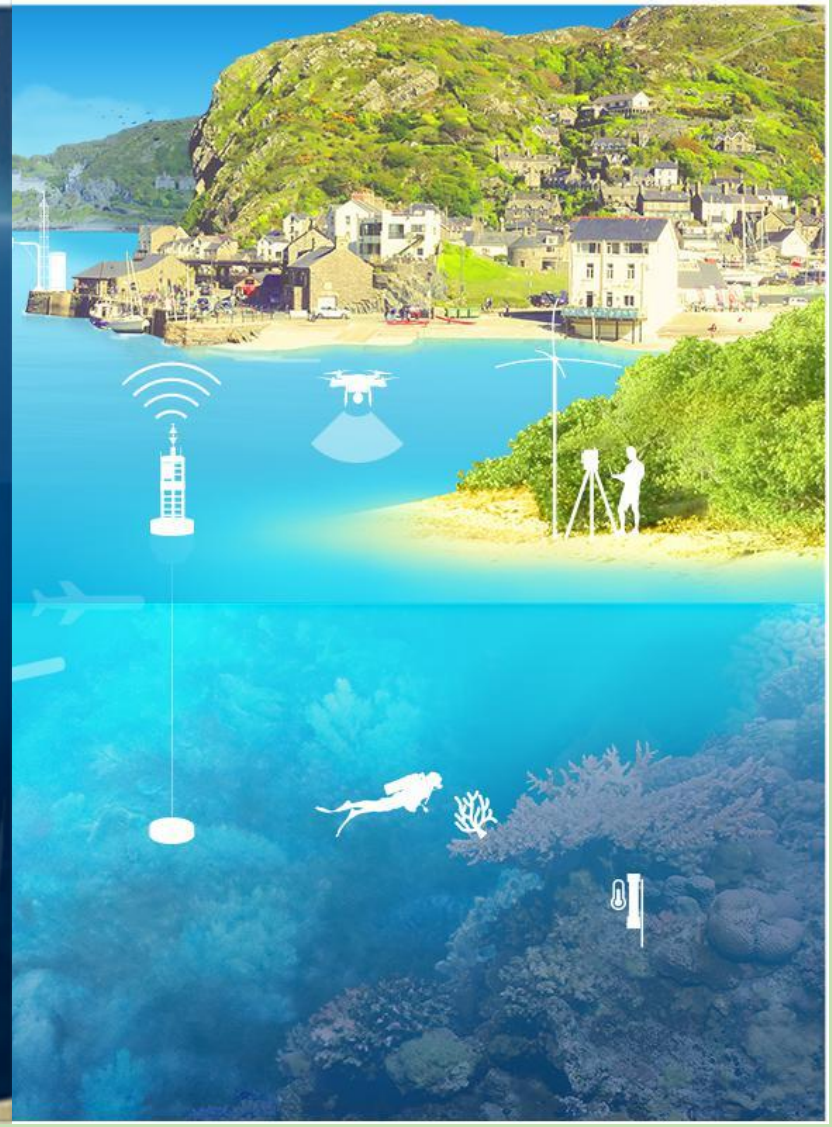
Les mesures océanographiques ne sont pas toutes automatisées. Le niveau d'automatisation varie en fonction du type de paramètre. La robustesse d'une série chronologique, au sens prédictif des modèles, dépend de la précision et de la fiabilité des mesures relatives à un facteur donné (cf. nombre des mesures, fréquence et durée des observations, statistiques).



# COMMENT OBSERVER L'OCÉAN ?

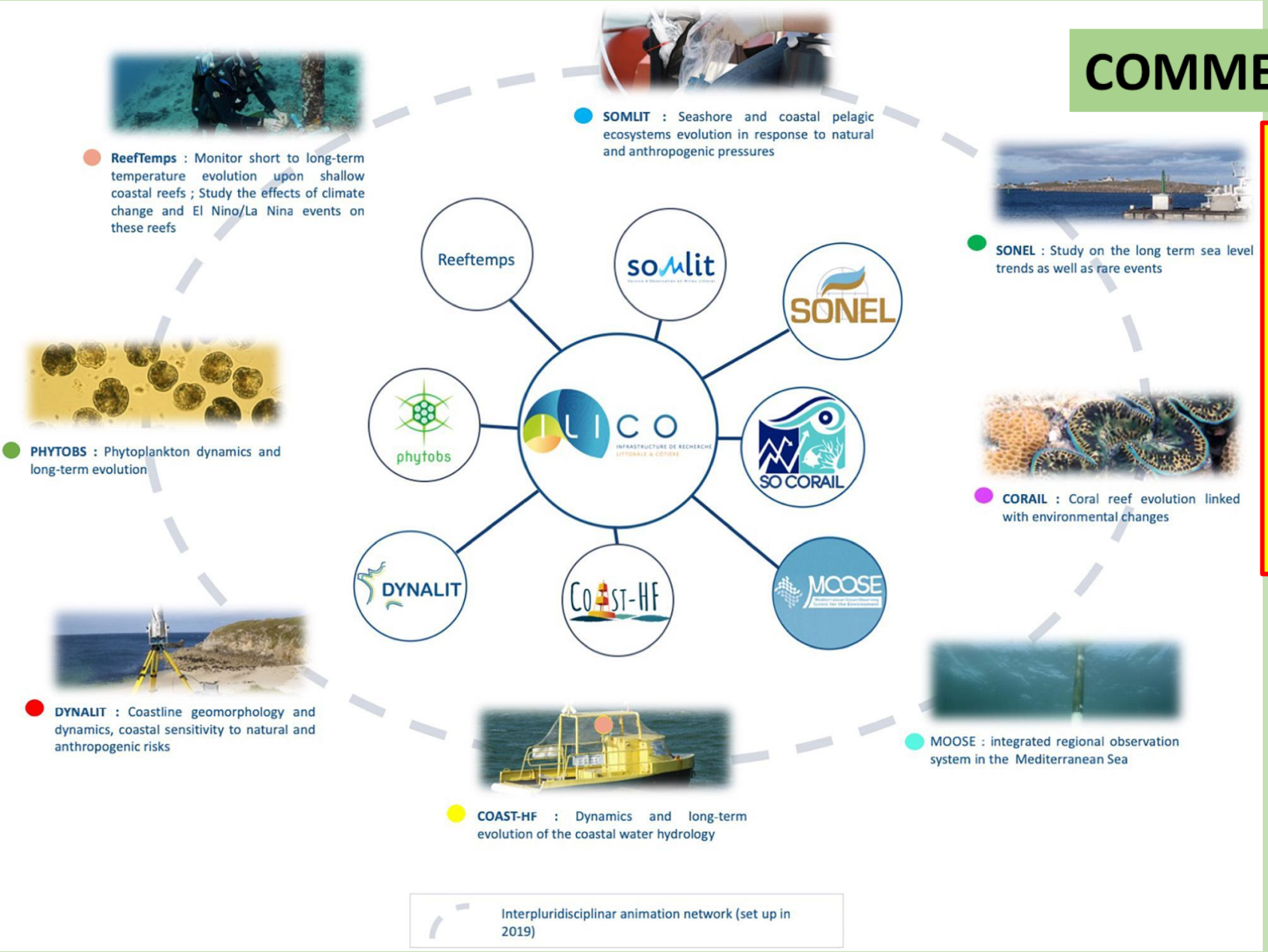




**Diversité des structures et instruments utilisés**

Cocquempot et al. 2019

# COMMENT OBSERVER L'OCÉAN ?




Cocquempot et al. 2019

ILICO
**Infrastructure de recherche Littorale et Côtière (France)**

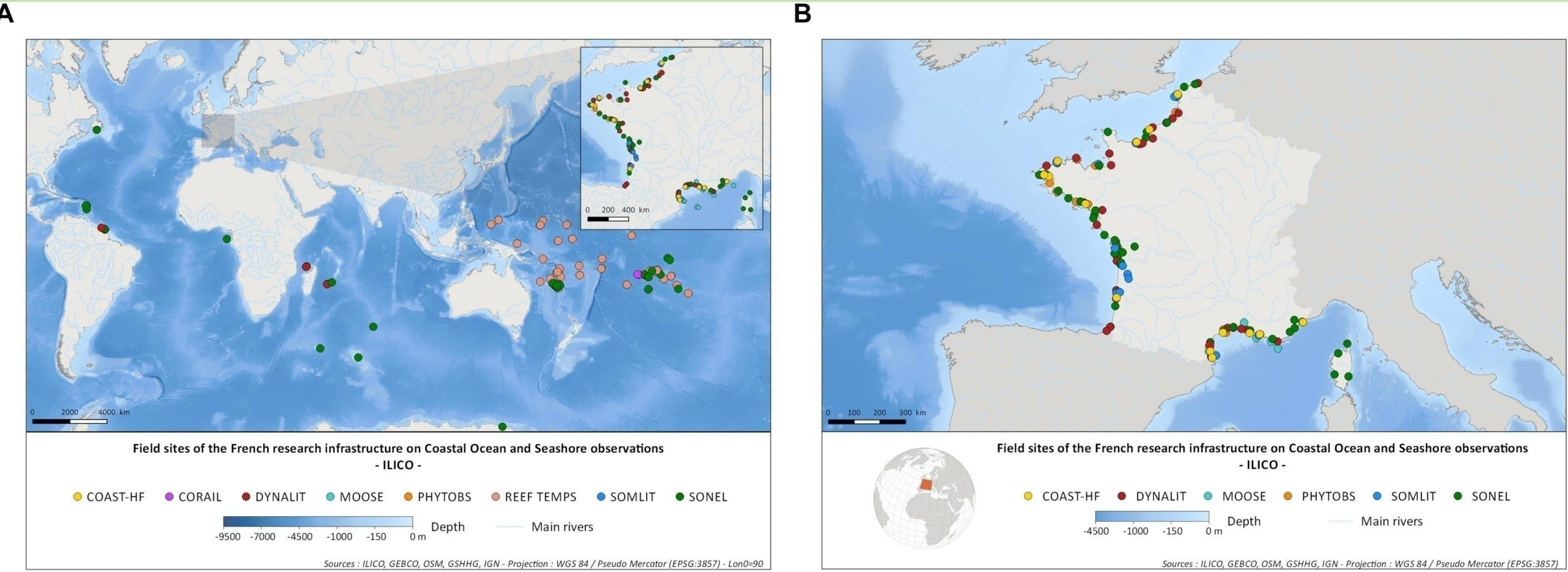
-8 domaines de recherche
-Organismes de recherche impliqués: CNRS-INSU, IFREMER, IRD, SHOM, IGM, Universités
-Budget : ~ 10 M€ /an
-Année: 1980 -

**Infrastructures Européennes**

**EMSO** **EURO-ARGO**

**COPERNICUS** **JERICO-NEXT**

# COMMENT OBSERVER L'OCÉAN ?




**Sites d'observation du réseau ILICO**

**A- France d'Outre-Mer ; B- France métropolitaine**

Cocquempot et al. 2019

# COMMENT OBSERVER L'OCÉAN ?

**Réseaux REPHY & REPHYTOX IFREMER**

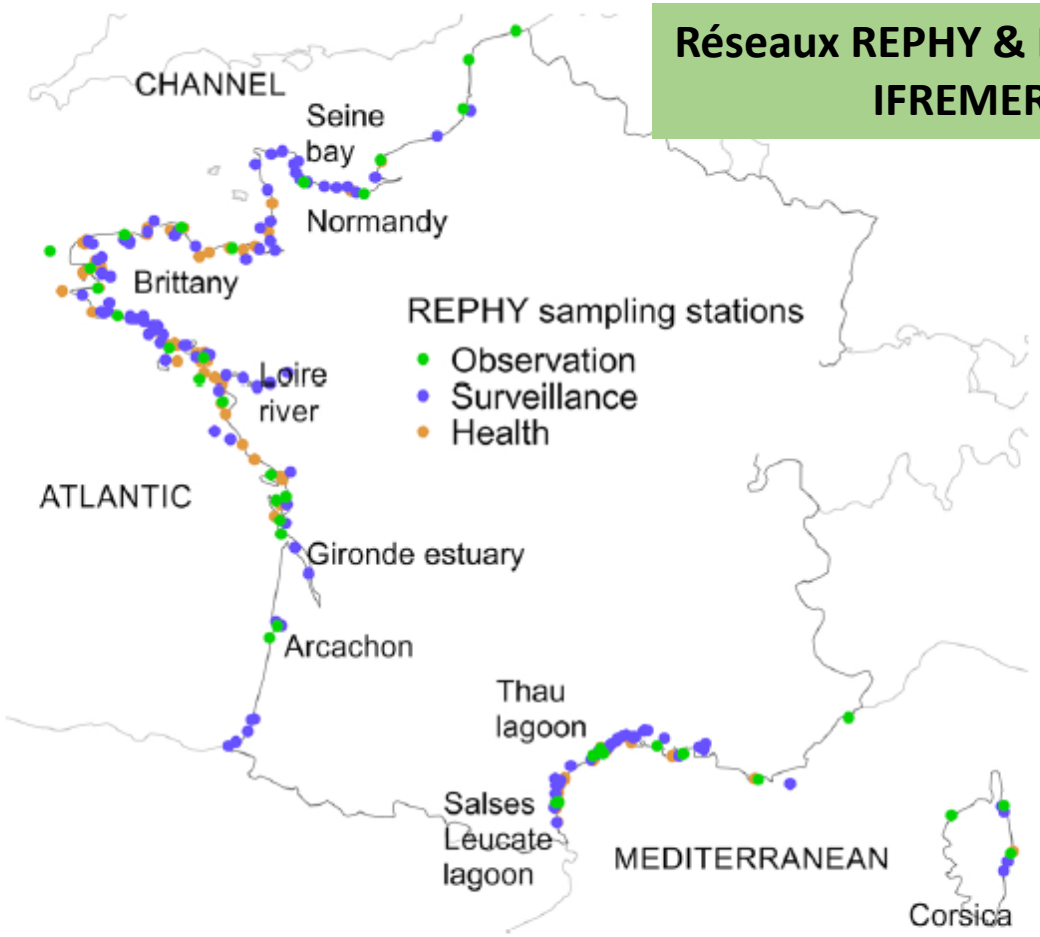



**Fig. 1.** The sampling stations of the REPHY network, classified according their belonging to the three components: Observation (36 stations), Surveillance (116 stations), strictly Health (71 stations).

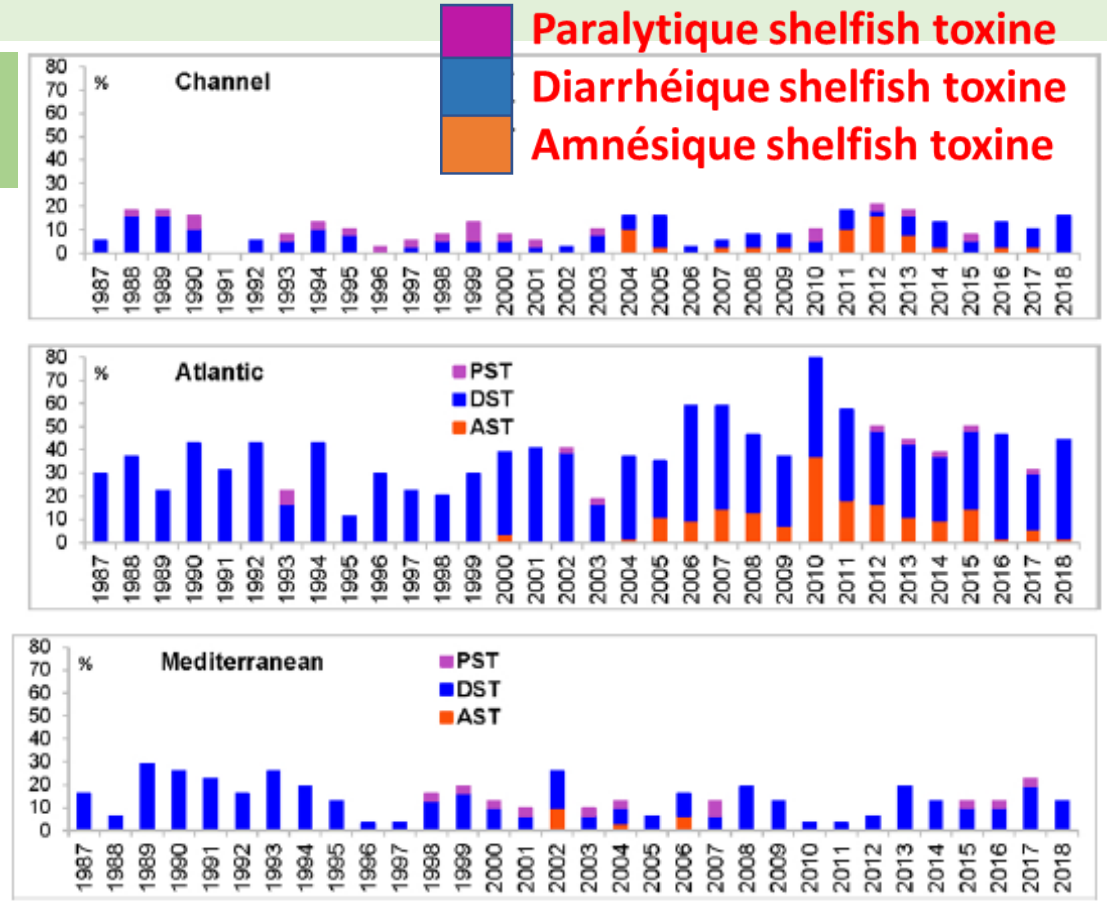



**Fig. 3.** Percentage of marine areas affected by a toxic episode, for each province (Channel, Atlantic, Mediterranean), relative to the total number of marine areas in each of these provinces (38 areas for Channel, 54 for Atlantic, 31 for Mediterranean). Per year from 1987 to 2018, and for each category of toxins. If two categories of toxins have affected the same area in the same year, each is counted, which increases the total percentage by the same amount.

BELIN et al. 2021

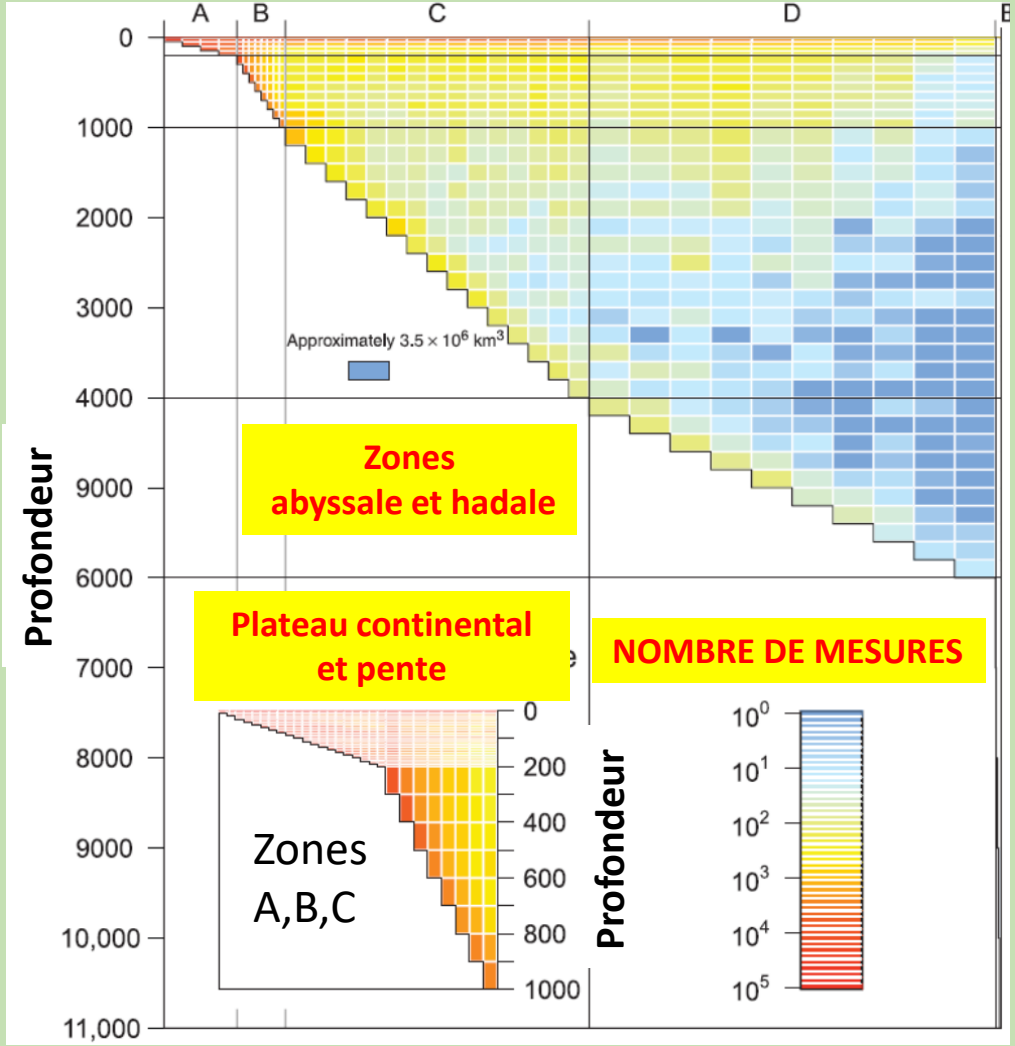
# POURQUOI OBSERVER L'OCÉAN ?

- ✓ **Définir l'état de « normalité » de la dynamique des écosystèmes marins – état de référence/climatologie**
- ✓ **Décrire et comprendre les réponses des organismes et des écosystèmes marins à la variabilité climatique naturelle et aux différents forçages anthropiques à différentes échelles d'espace et de temps**
- ✓ **Évaluer les impacts du changement climatique et son importance relative par rapport aux activités humaines**
- ✓ **Fournir les données nécessaires au développement de modèles prédictifs**
- ✓ **Evaluer l'état écologique des zones marines en appui aux politiques publiques (cf. pêcheries, création des AMPs)**

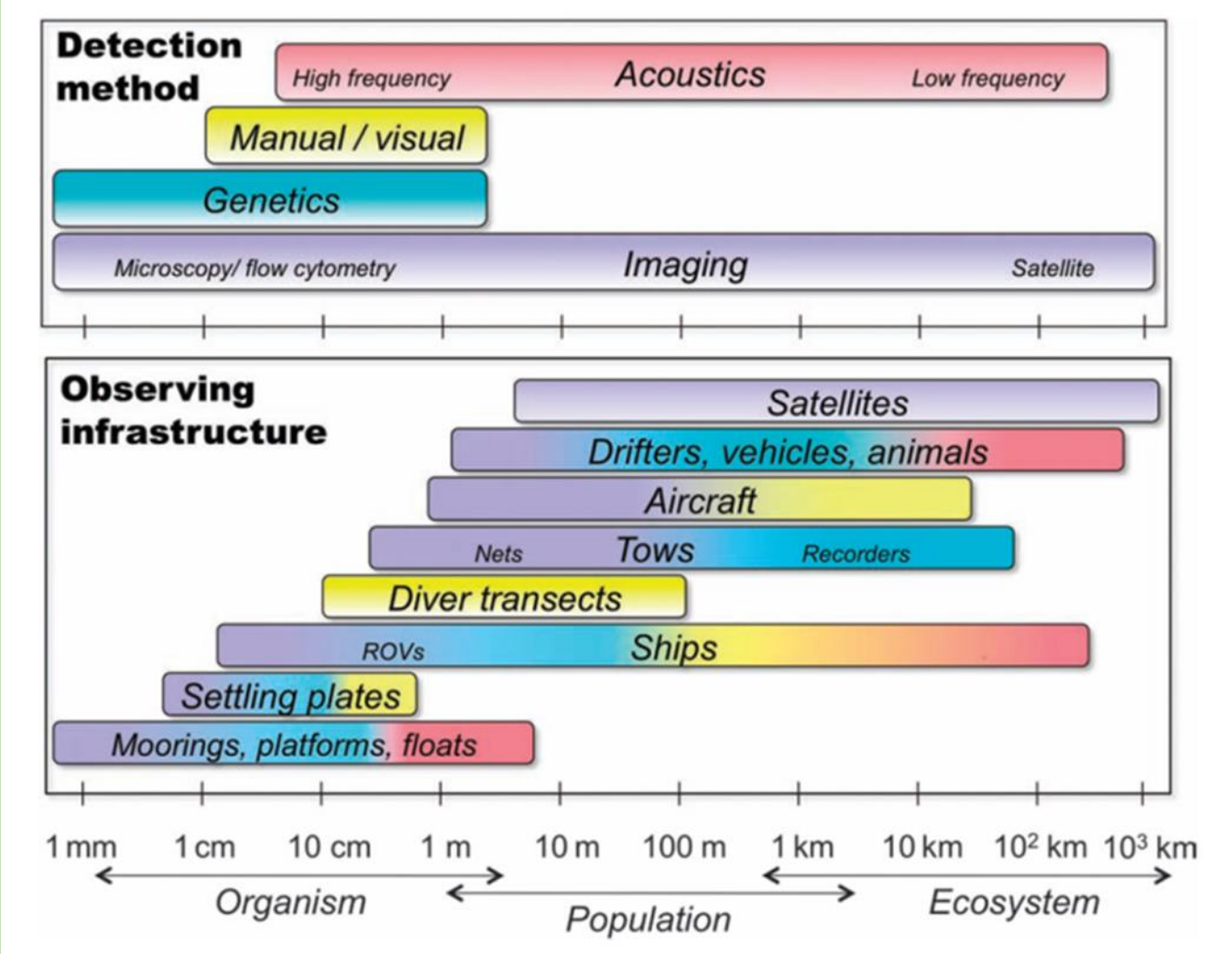
Emprunté à Éric Thiebaut (2021)

# EXEMPLE DE MESURE COMPLEXE : La biodiversité marine

## Echantillonnage d'organisme pélagiques




## Méthodes de détection & Outils

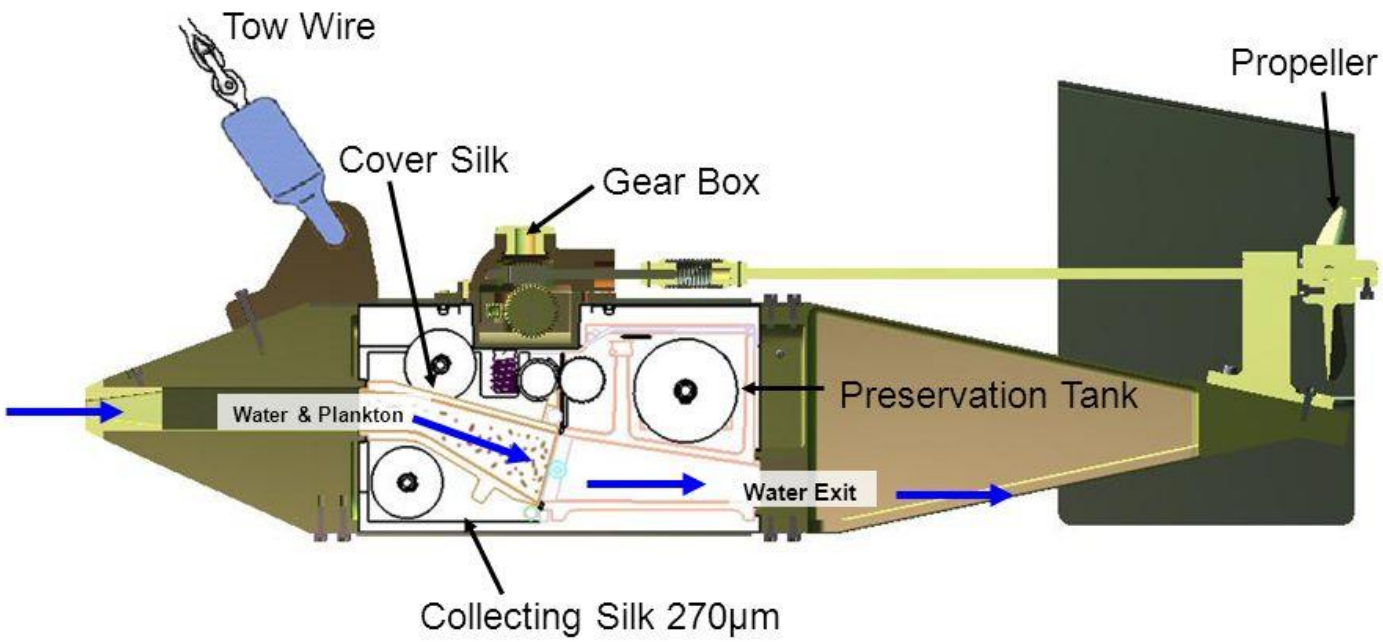



Duffy et al. 2013

# EXEMPLE DE MESURE COMPLEXE

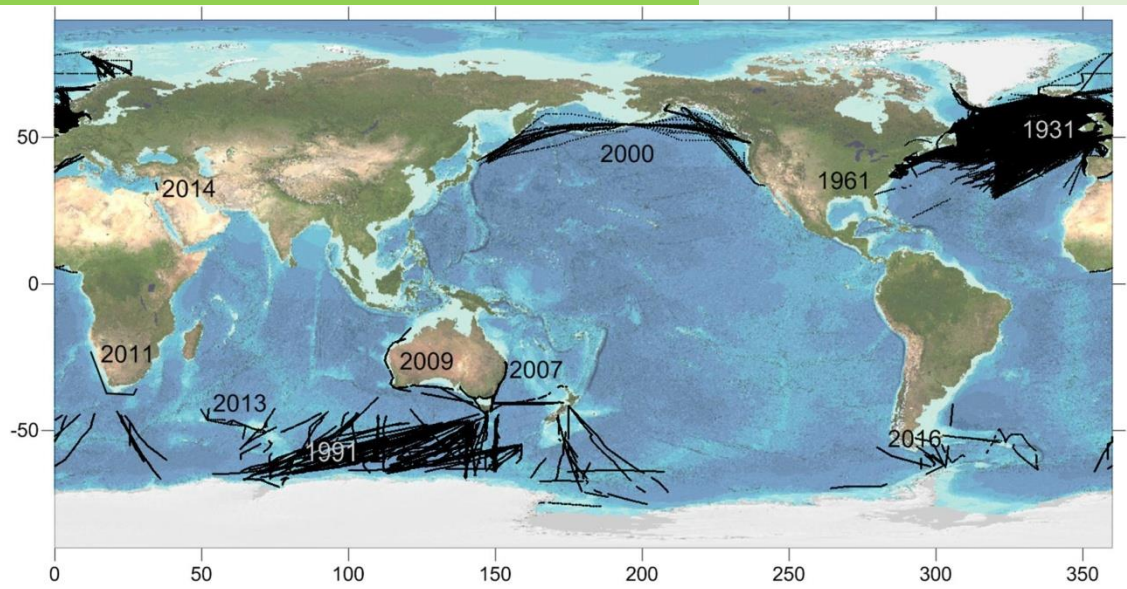
## Populations planctoniques: Les enregistrements CPR

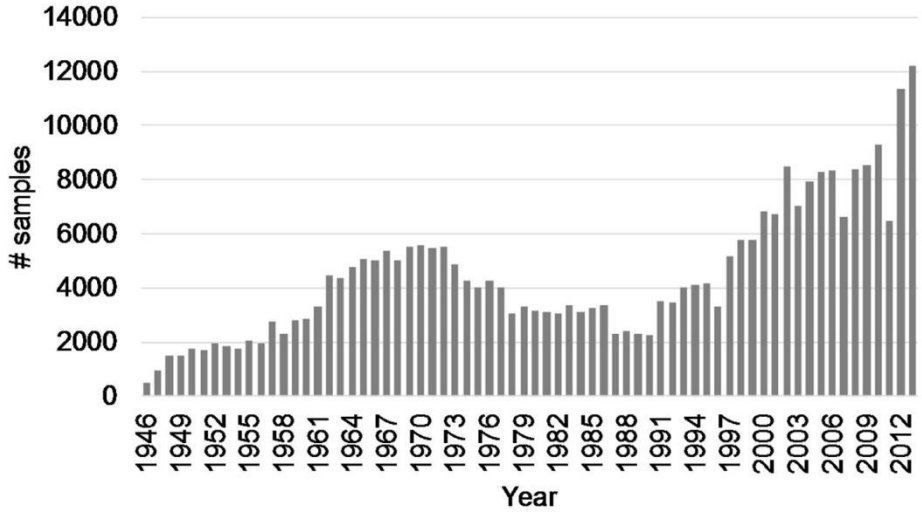
## Comment fonctionne un CPR ?




Water and plankton enter through small aperture into the collecting tunnel

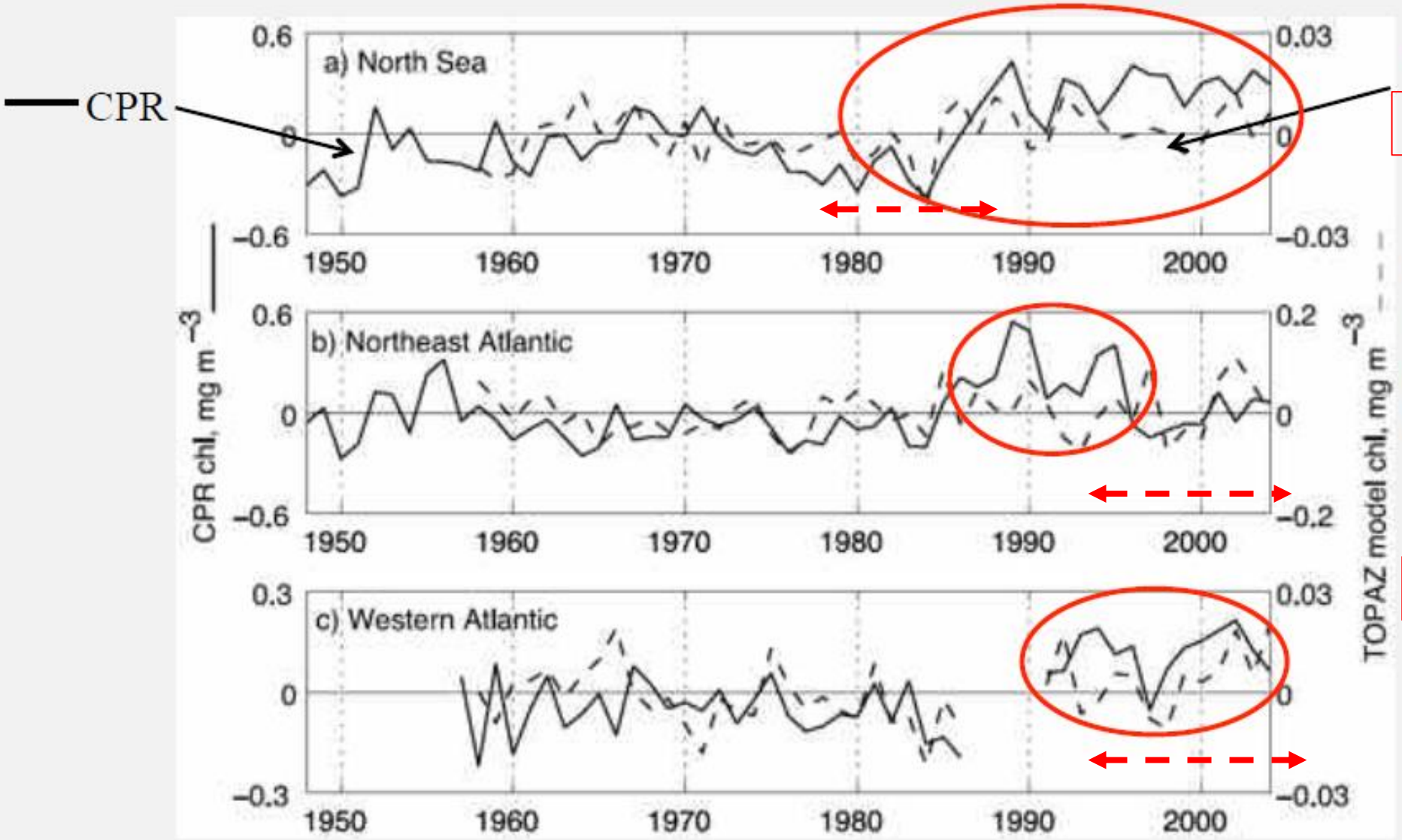
Sir Alister Hardy Foundation



# Henson *et al.*, 2009, *Geophys. Res. Letters*, 36

Comparaison entre l'enregistrement du "color index" du CPR recalé avec les données SeaWiFS et les modèles (modèle écosystème TOPAZ intégré dans GFDL MOM-4)




Modèle - - -

**Satellite NIMBUS 7**

**(1979……1986)**

(Anomalies annuelles par rapport à la moyenne)

**Satellite SeaWiFS**

**(1997……2010)**

# SÉRIES CHRONOLOGIQUES et CHANGEMENT CLIMATIQUE

**-Paramètres physiques :**

*Marée

*Température

**-Paramètre chimique :**

*$CO_2$ atmosphérique

# OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE-
# SÉRIE CHRONOLOGIQUE DE LA MARÉE

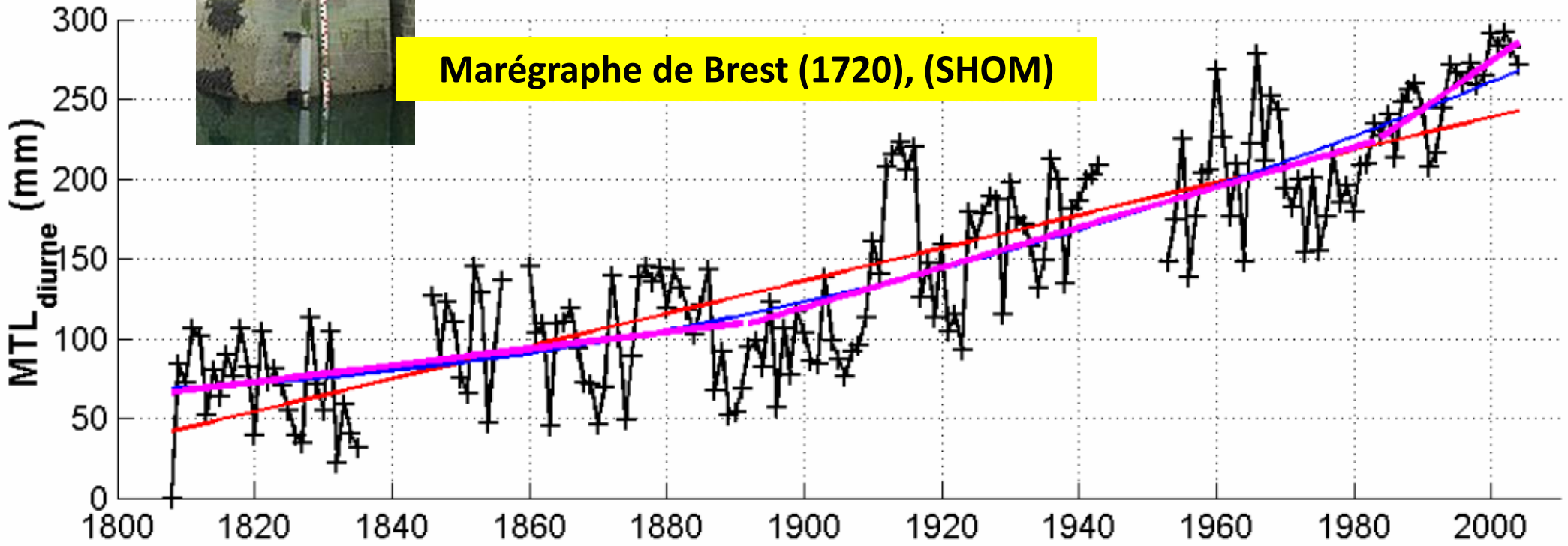



Fig. 8.17 – Moyennes annuelles des niveaux moyens diurnes de la marée ($MTL_{diurnes}$) à Brest depuis 1807. La droite rouge correspond à la tendance linéaire et la courbe bleue prend en compte une accélération. Les droites violettes correspondent aux tendances calculées pour : 1807-1892, 1892-1983, 1983-2004.

Prouveau N., 2008

# OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE-
## SÉRIE CHRONOLOGIQUE DE LA MARÉE (suite)

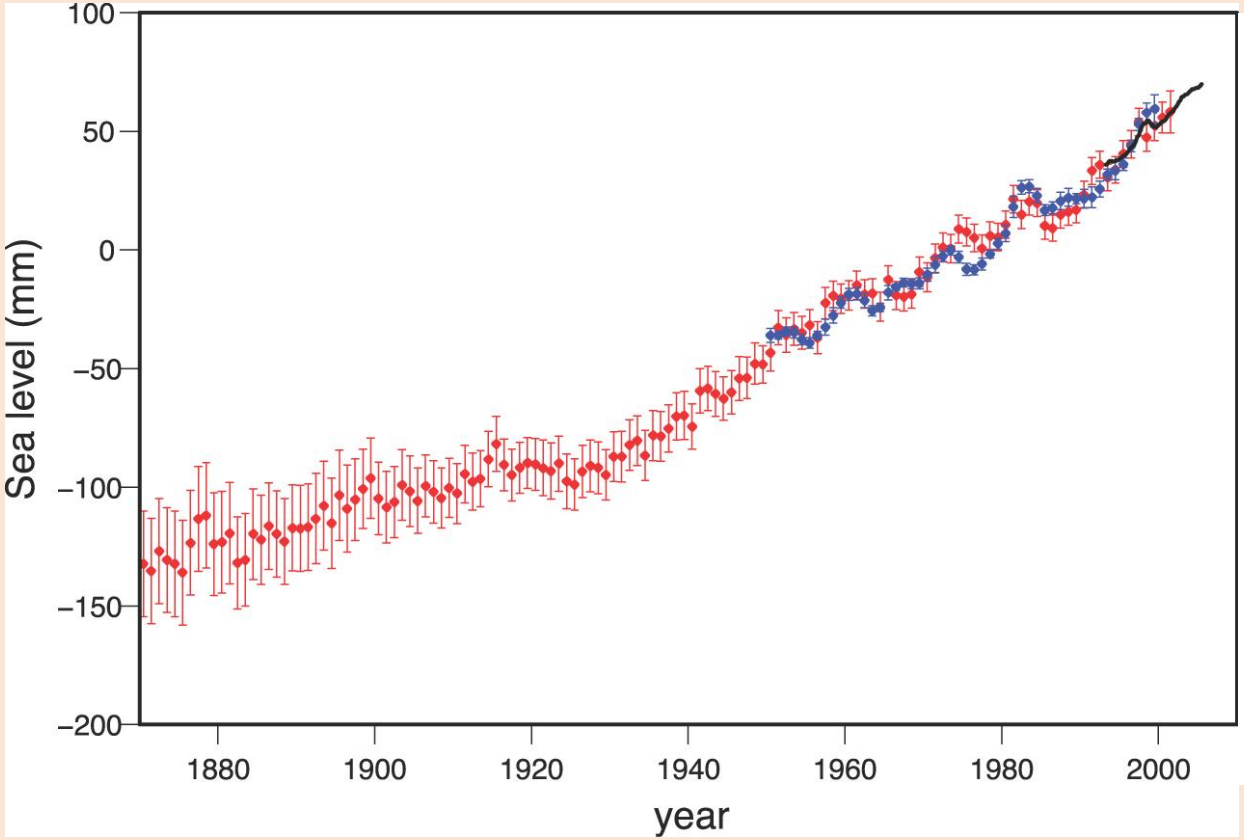



**Figure 1.** [Moyennes annuelles du niveau moyen mondial de la mer](). **(Période 1870-2010).**

Source - © 2007 GIEC rapport GT1,

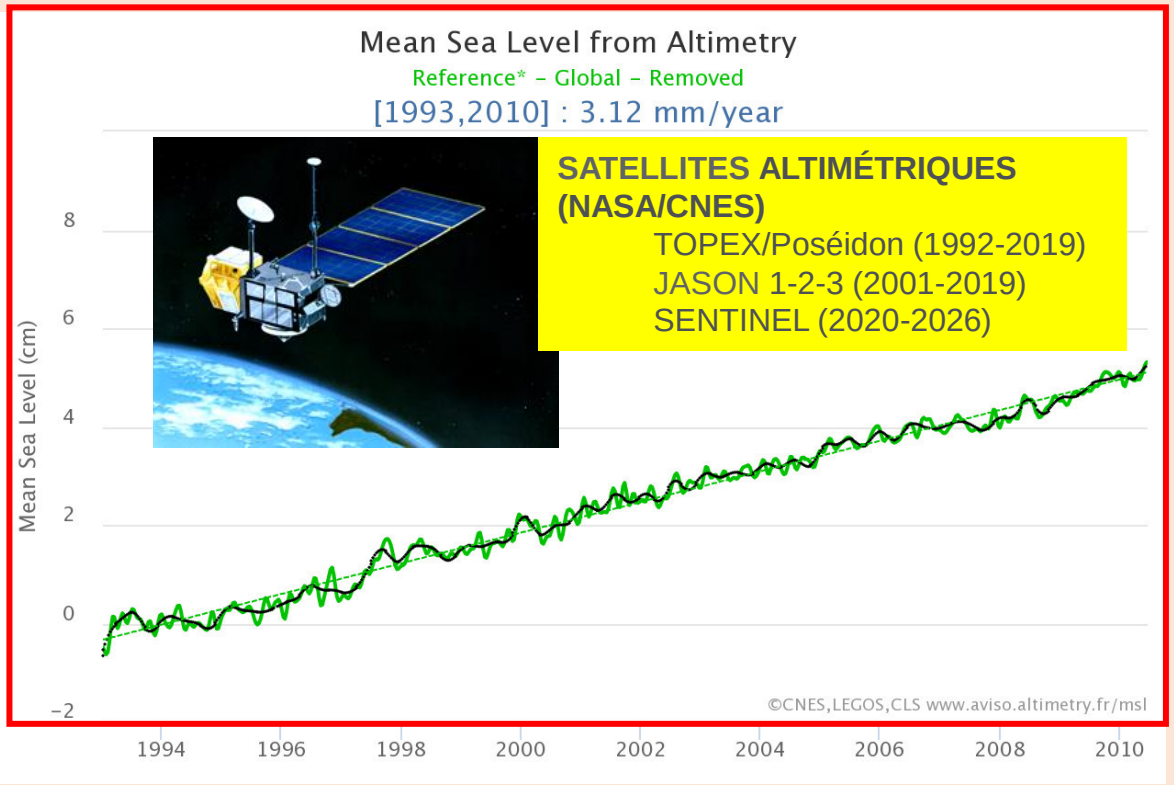
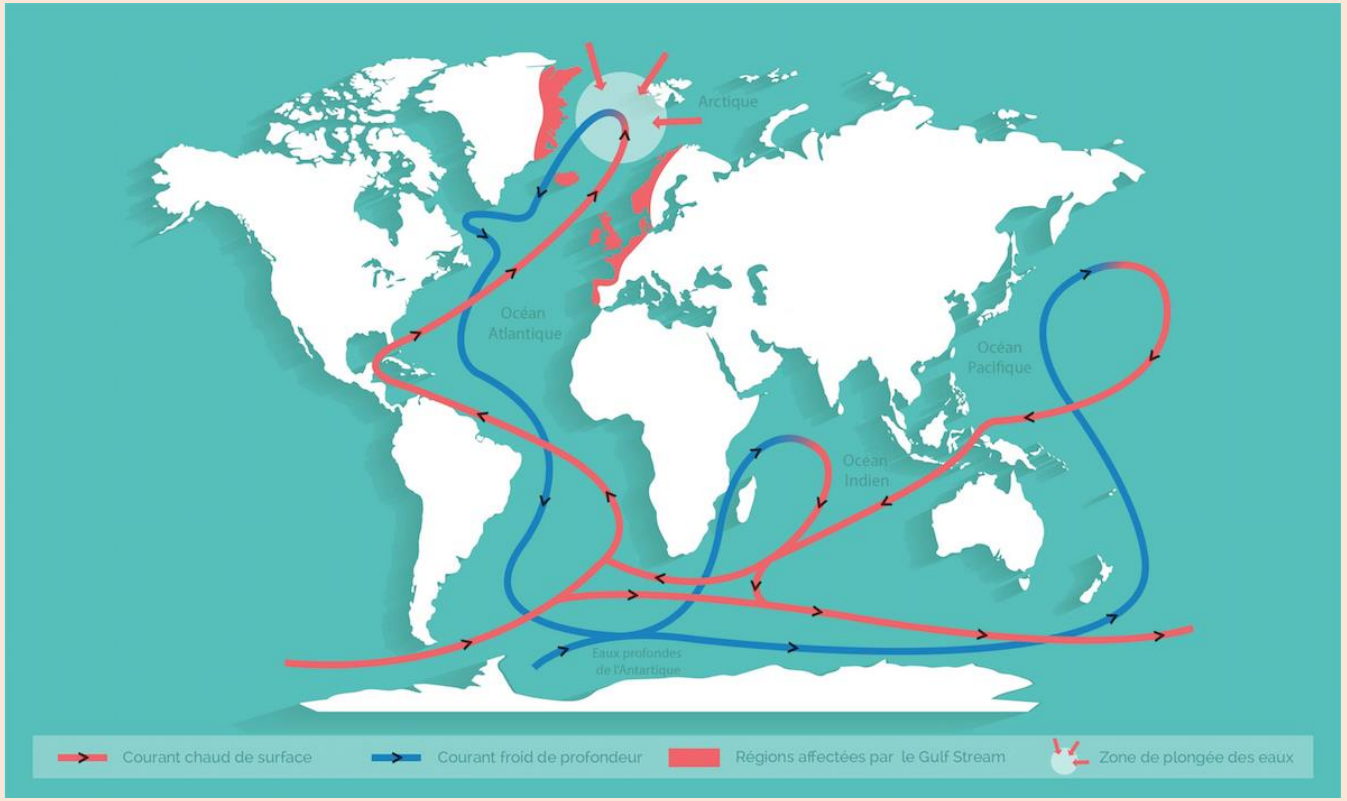



**Figure 2.** [Évolution du niveau moyen des mers vu par les altimètres](). **(Période 1992-2010).**

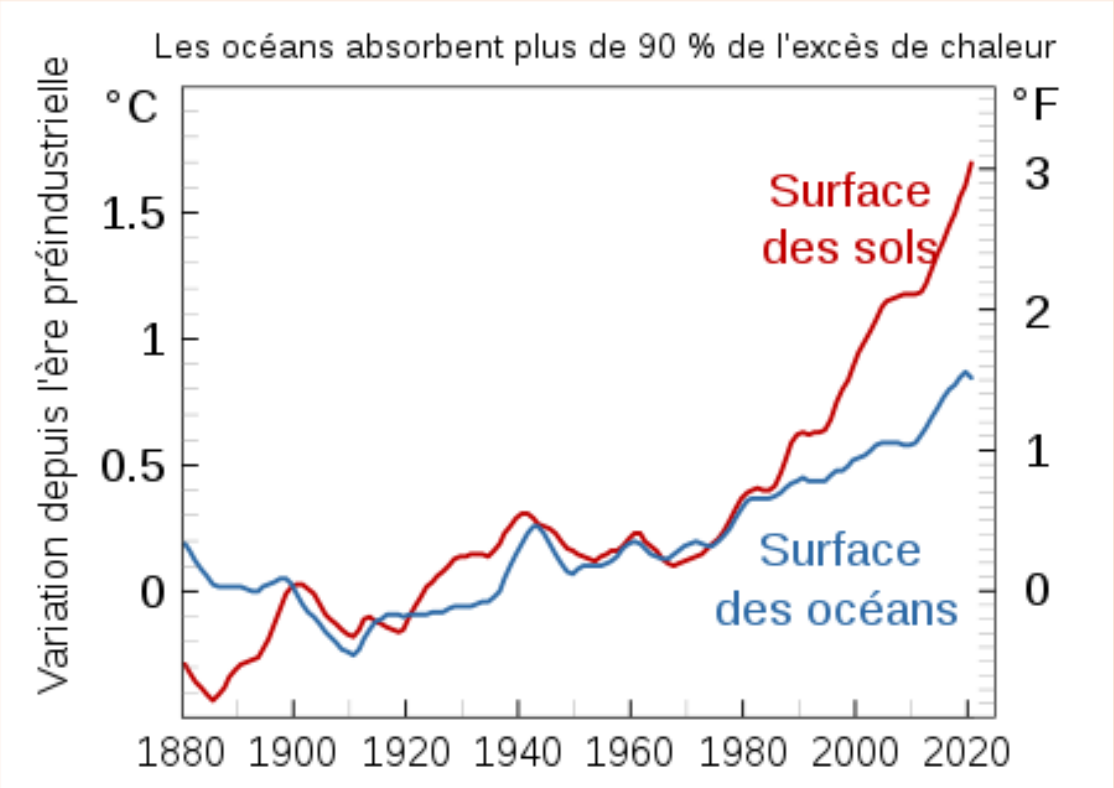
Source - © CNES / LEGOS / CLS

# OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE- SÉRIE CHRONOLOGIQUE DE LA TEMPÉRATURE

La circulation thermohaline

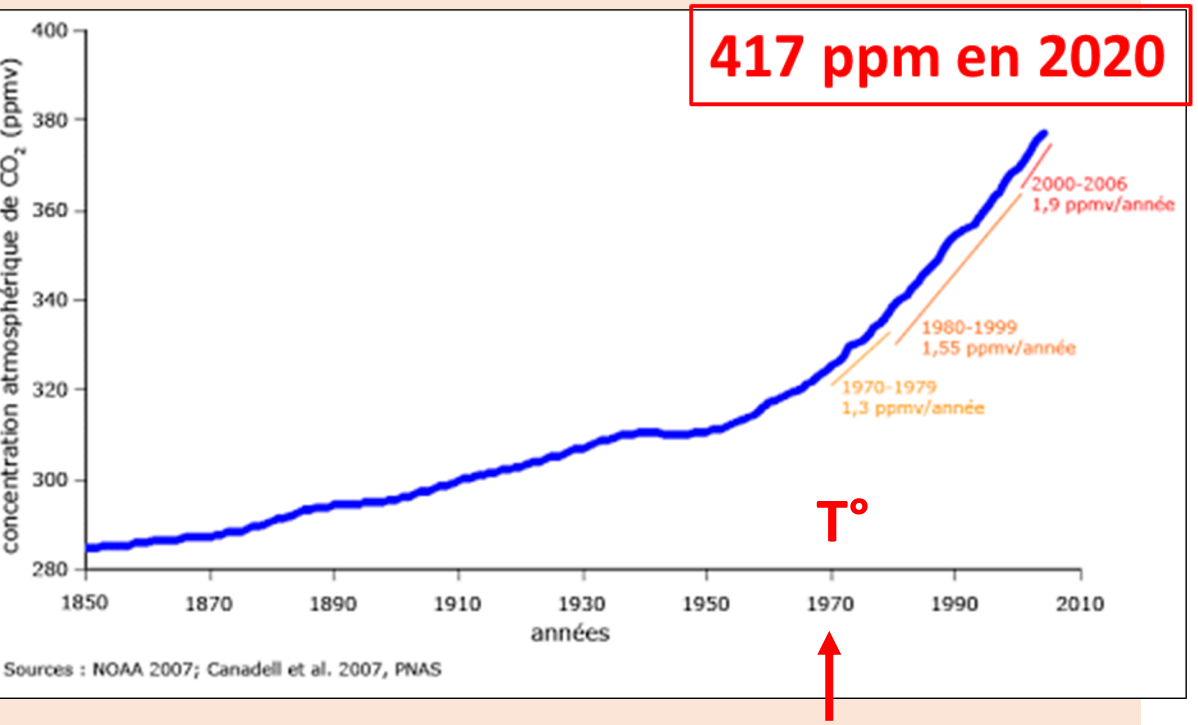


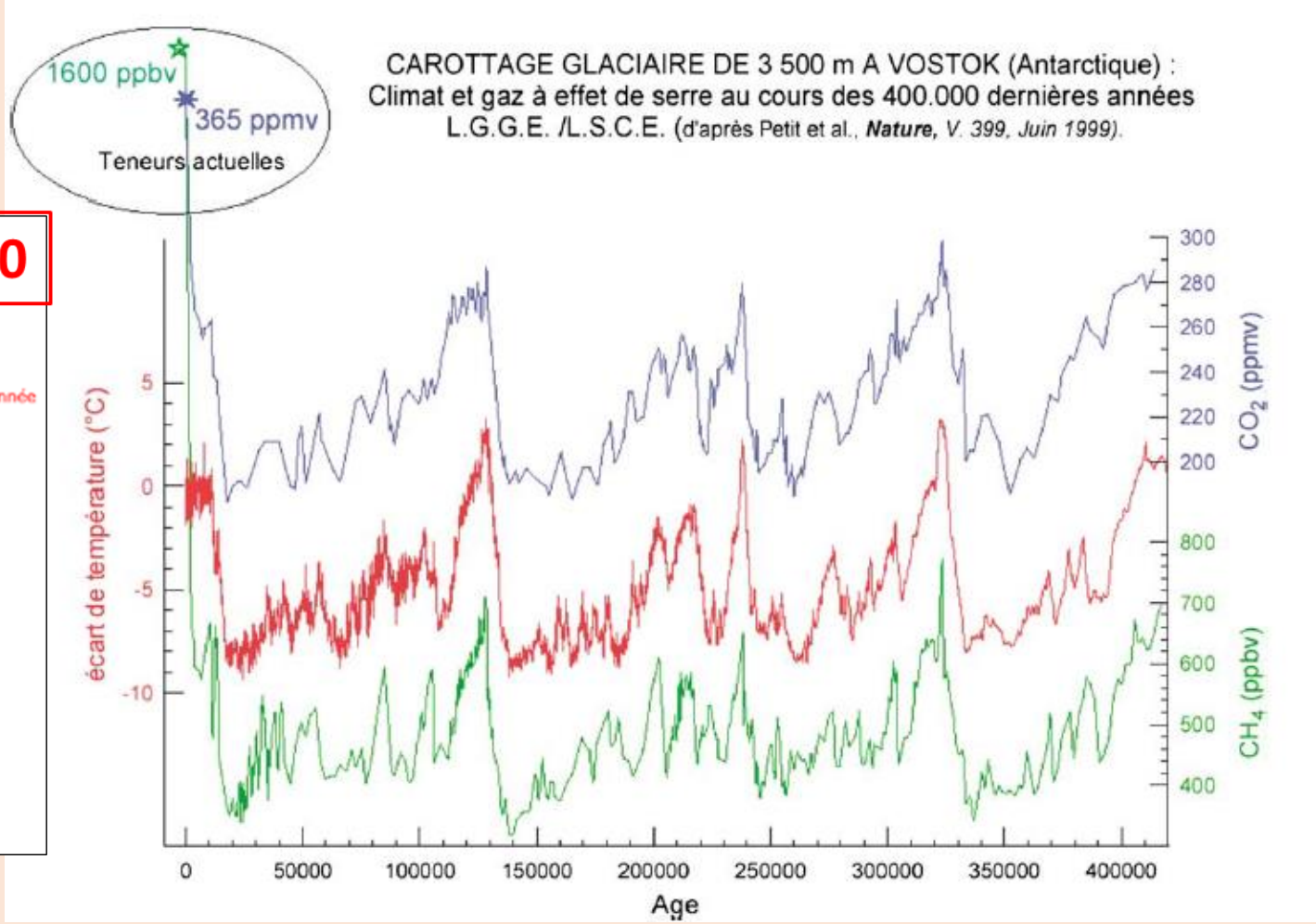

**Les données de la NASA montrent que les températures à la surface des terres ont augmenté plus rapidement que celles des océans.**




U.S. Global Change Research Program

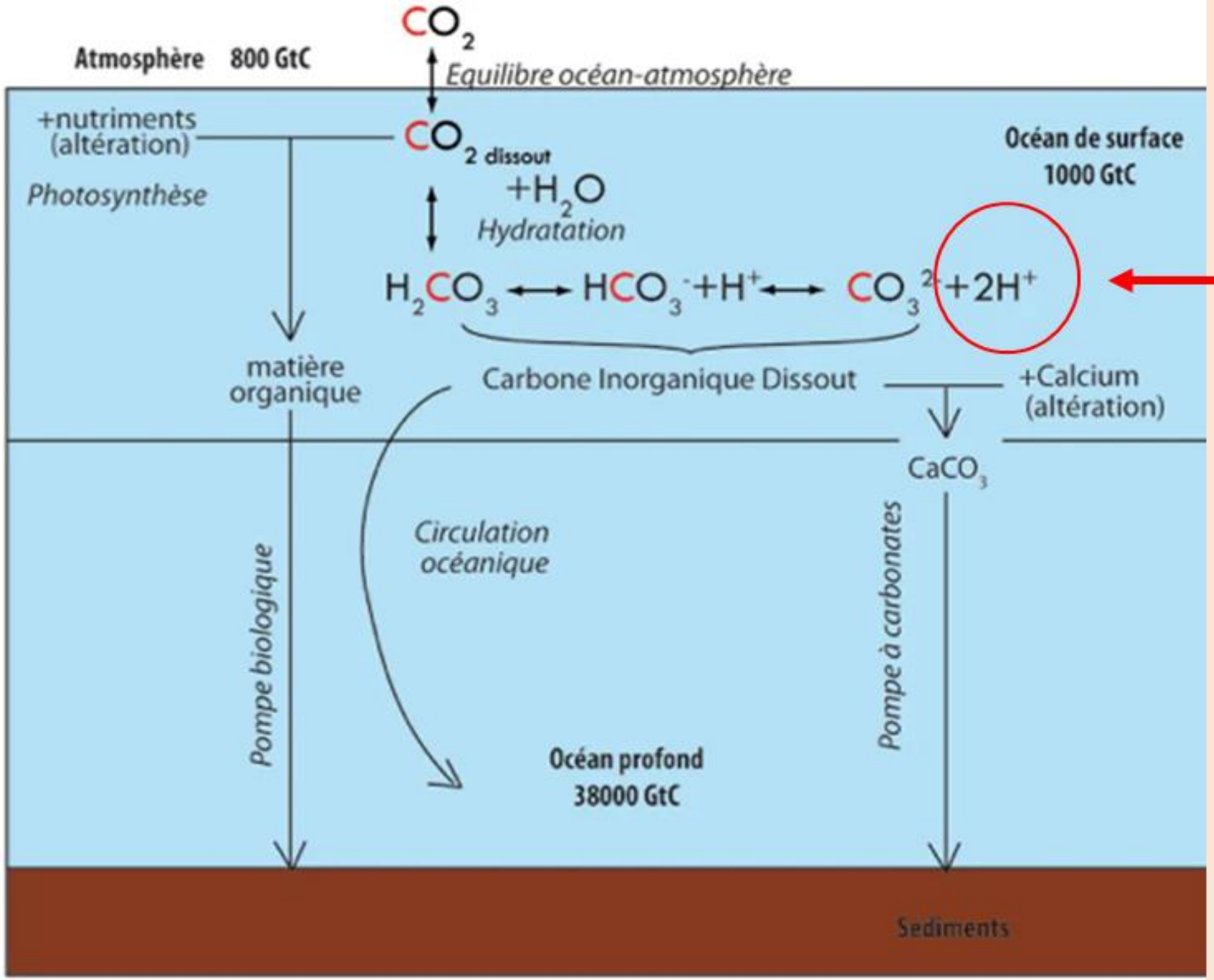
# OCÉANOGRAPHIE CHIMIQUE-
## SÉRIE CHRONOLOGIQUE DU $CO_2$ ATMOSPHÉRIQUE




CANADEL et al. 2007

JOUZEL 2003

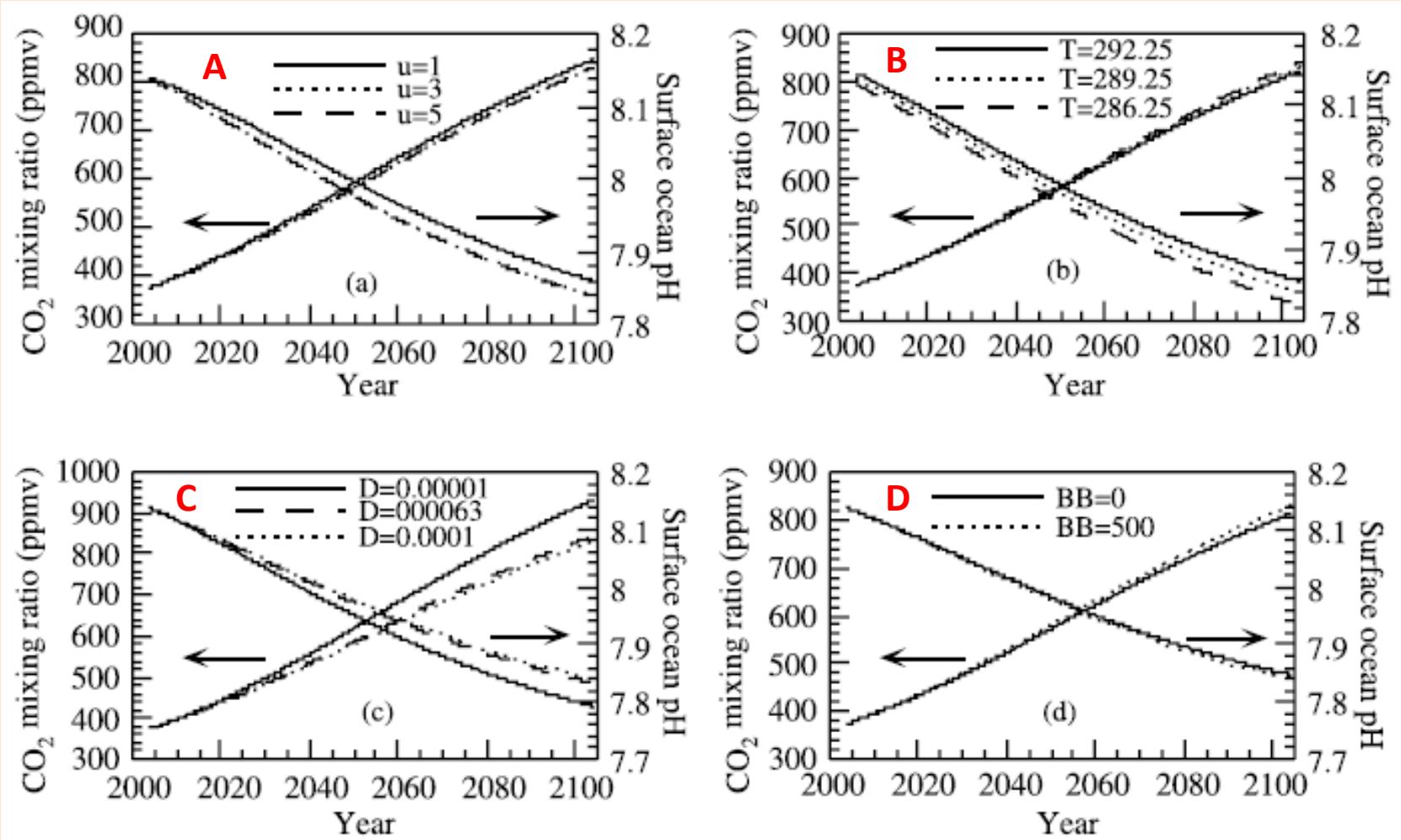



# L'OCÉAN : PIÈGE À CO2

L'océan (via pompe biologique et pompe à carbonates capte plus de 50 % des quelque 40 milliards de tonnes ($GtCO_2$) émises /an par les activités humaines (cf. Industries, agriculture, transports, déforestation)

Fabry et al. 2008

# $CO_2$ ATMOSPHÉRIQUE ET ACIDIFICATION DES OCÉANS




Les océans ont absorbé 20 à 30 % des émissions (40 Gt/an en moyenne) d'origine anthropiques de dioxyde de carbone depuis les années 1980.

Depuis 2001, cela s'est traduit par une diminution du pH de surface des océans de 0,1; correspondant à une augmentation de 30 % de l'acidité des océans.

**A- Vitesse du vent : U, m/s**
**B- Température atmosphérique : T, K°**
**C- Coefficient de diffusion : D, $m^2/s$**
**D- Emission par déforestation/feu : B, Tg-C/an** **JACOBSON, 2005**

# CONSÉQUENCES SOCIÉTALES

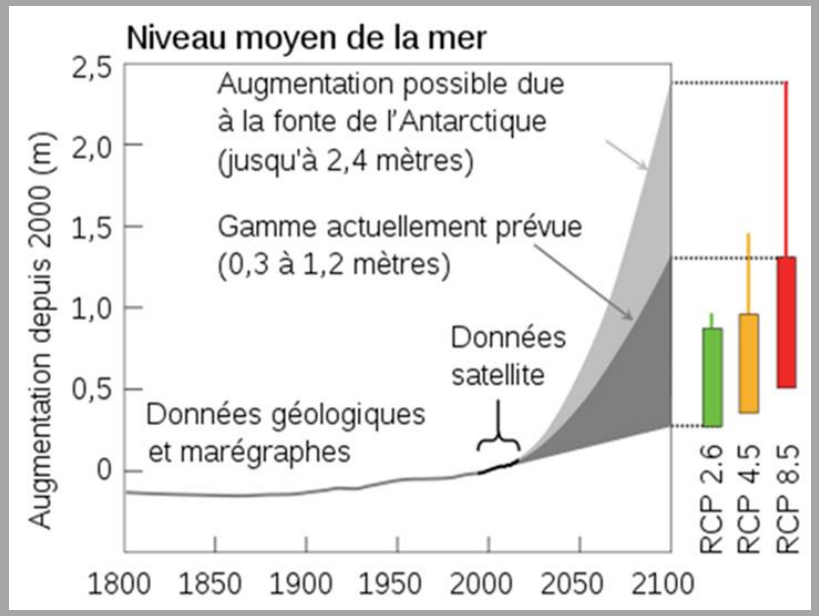
## *Augmentation de la température

Fonte des calottes glaciaires

Fonte du pergélisol

Dilatation des océans

Élévation du niveau de la mer




Rapport GIEC

Tessler et al. 2015

# VARIATION DU NIVEAU DE LA MER

# CONSÉQUENCES SOCIÉTALES et ENJEUX

**300-500 millions de personnes, résidant à moins de 10 mètres au-dessus du niveau de la mer, pourraient être concernées, voir menacées, par la montée des eaux marines d'ici le demi-siècle.**

**L'Asie** serait particulièrement touchée par ce phénomène puisque plus des deux-tiers de la population concernée habitent les zones côtières en Chine, au Bangladesh, en Inde, au Viêtnam, en Indonésie et en Thaïlande.

Minderhoud et al. 2019
Tessler et al. 2015

**DE 2050 À LA FIN DU SIÈCLE**

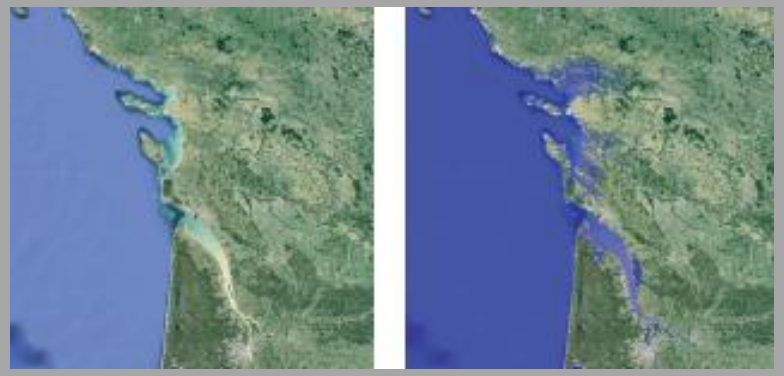
**400 000 EUROPÉENS**

**POURRAIENT QUITTER LEUR LOGEMENT**

## CONSÉQUENCES SOCIÉTALES (suite)

## EN EUROPE

-Erosion des côtes
-Inondations
-D'ici la fin du siècle, 400 000 Européens pourraient être impactés en zone littorale



## EN FRANCE MÉTROPOLITAINE ET OUTRE-MER

-Risque de disparition de 150 000 habitations
-Nombre de personnes concernées > 100 000
-Dommage potentiel financier > 15 Mds €

-En Polynésie : 1/3 des îles serait menacé de submersion

**C**entre **E**uropéen de **P**révention du **R**isque d'**I**nondation (**CEPRI**)

## FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

*Acidification des océans
*Augmentation de la température
*Effets collatéraux de la surpêche

## CONSÉQUENCES BIOLOGIQUES

**SUR DIVERS ORGANISMES MARINS :**

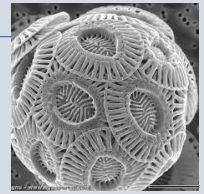
**PLANCTON et MOLLUSQUES** (coquille ou squelette calcaire)
**OISEAUX**
**PHYTOPLANCTON**
**POISSONS**

# CONSÉQUENCES ENVIRONNEMENTALES

## ACIDIFICATION DES OCÉANS

**Effets négatifs** chez diverses espèces qui fabriquent des coquilles ou des squelettes en perturbant la métabolisation du carbonate de calcium dissout.

**PLANCTON**
Foraminifères
Coccolithophoridés

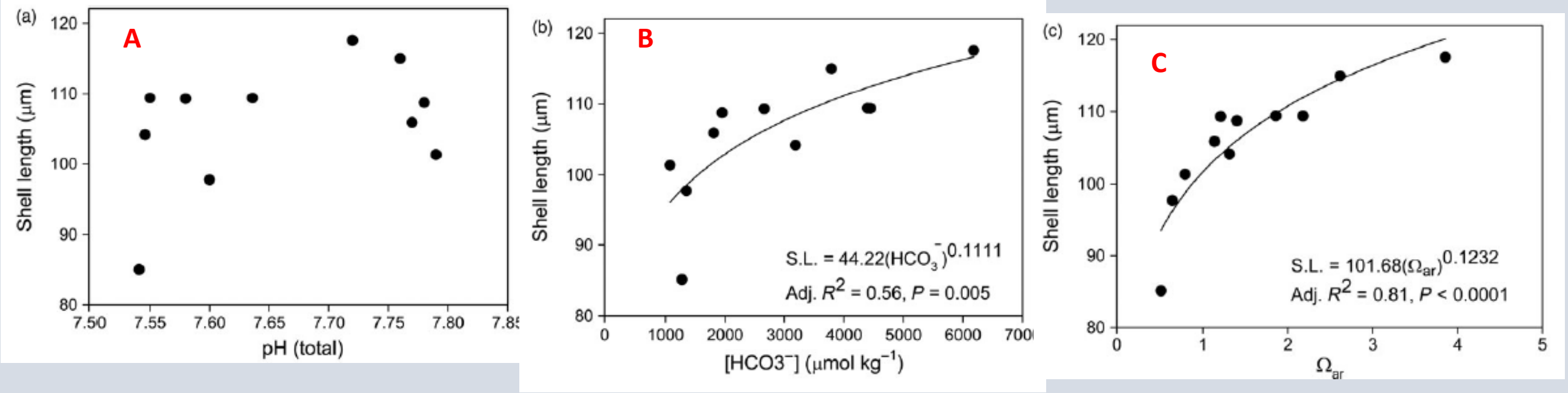


Incidences sur les populations

**BENTHOS**
Coraux
Mollusques (huîtres, moules, etc…)

L'acidification participe au blanchiment des coraux, complique l'ostréiculture ou la mytiliculture et perturbe fortement les écosystèmes marins.

# ACIDIFICATION DES OCÉANS

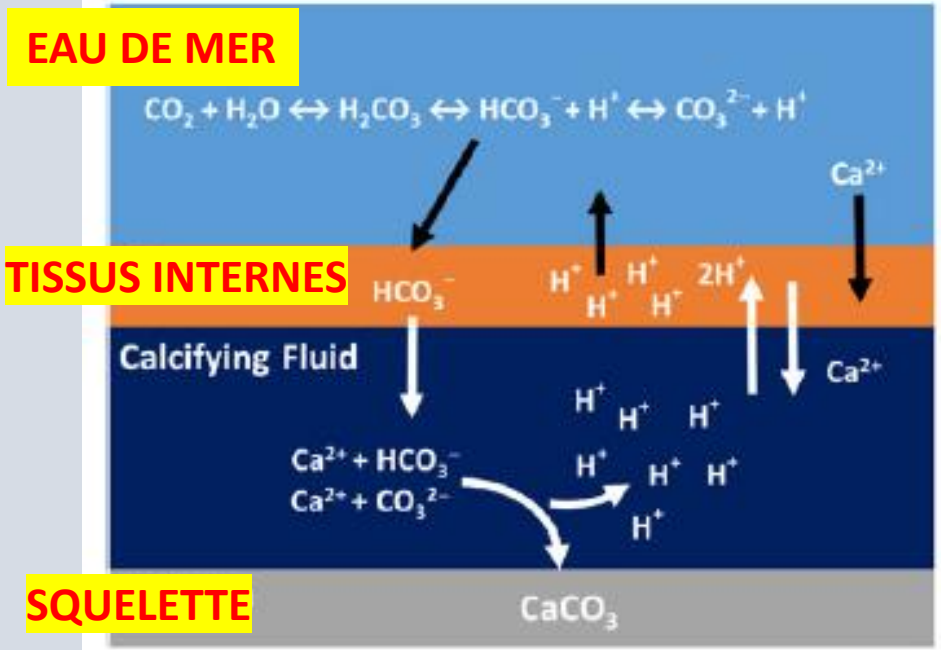


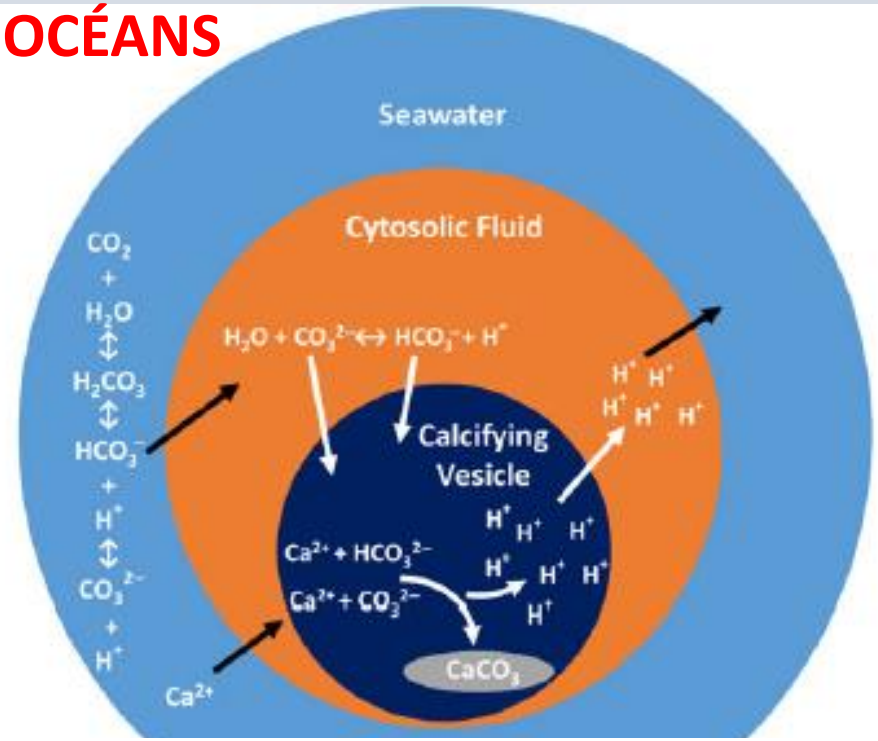

## FACTEURS DÉTERMINANTS DANS LA CALCIFICATION DE LA COQUILLE DES MOULES

Variation de la longueur de la coquille (**SL**) chez des larves D de moules *Mytilus* âgées de 48 hr en fonction : (**A**) du pH, (**B**) concentration bicarbonate, et (**C** ) saturation en aragonite.

WALDBUSSER et al. 2016

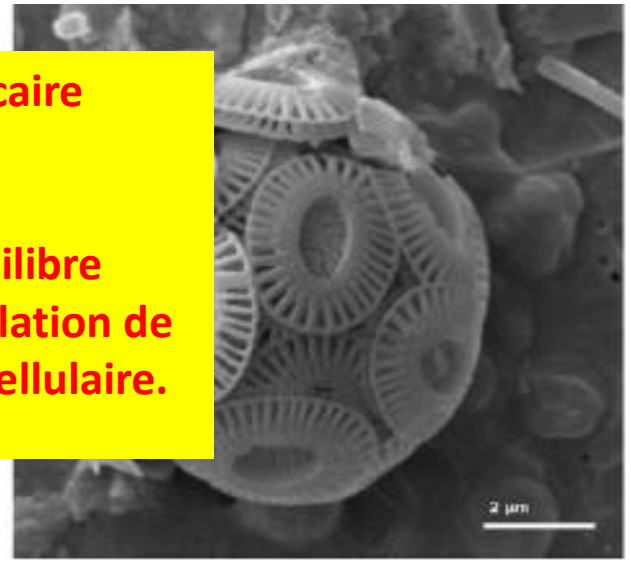
# ACIDIFICATION DES OCÉANS




## SQUELETTE DES CORAUX

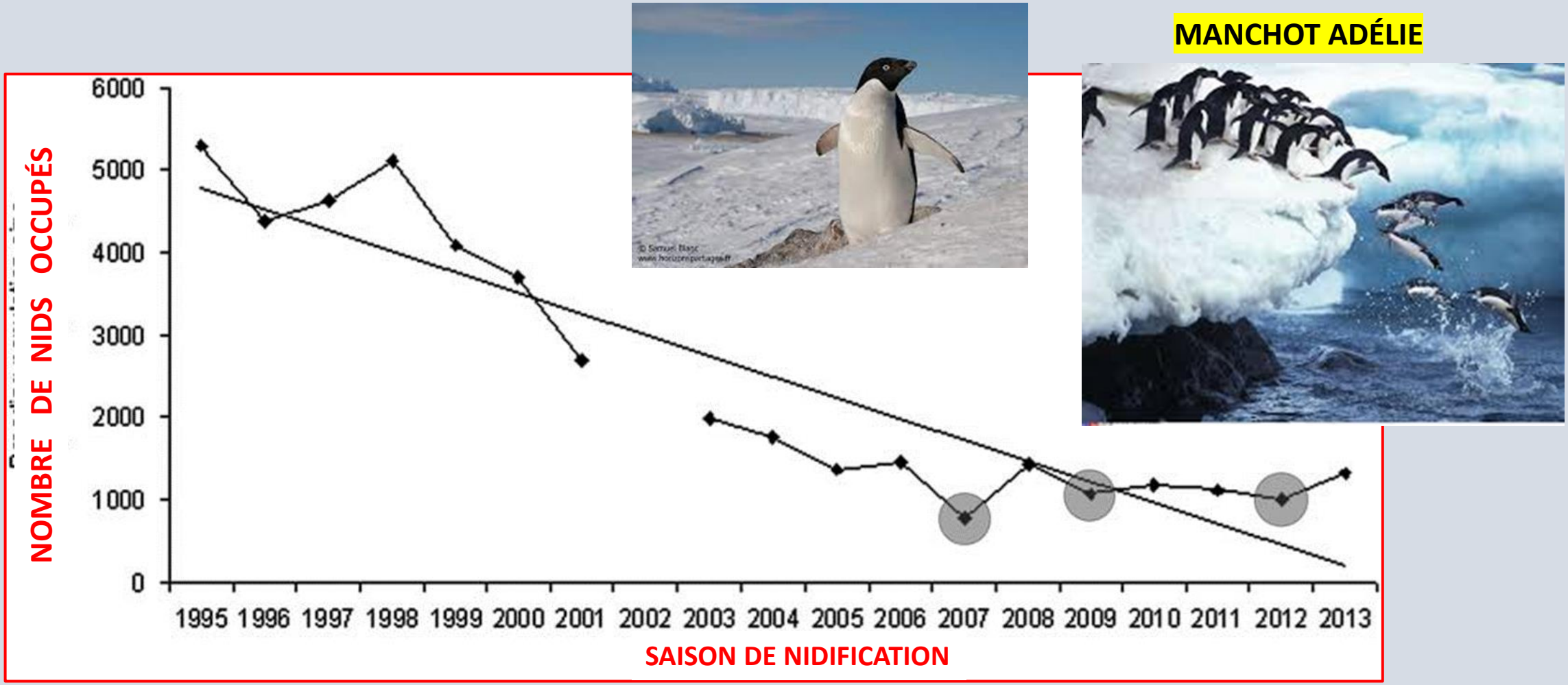
## PLANCTON CALCAIRE (cf. Foraminifères)




**Métabolisation du calcaire perturbée par :**
***excès de protons $H^+$**
***modification de l'équilibre osmotique par dérégulation de l'homéostasie du pH cellulaire.**

CYRONAK et al. 2016

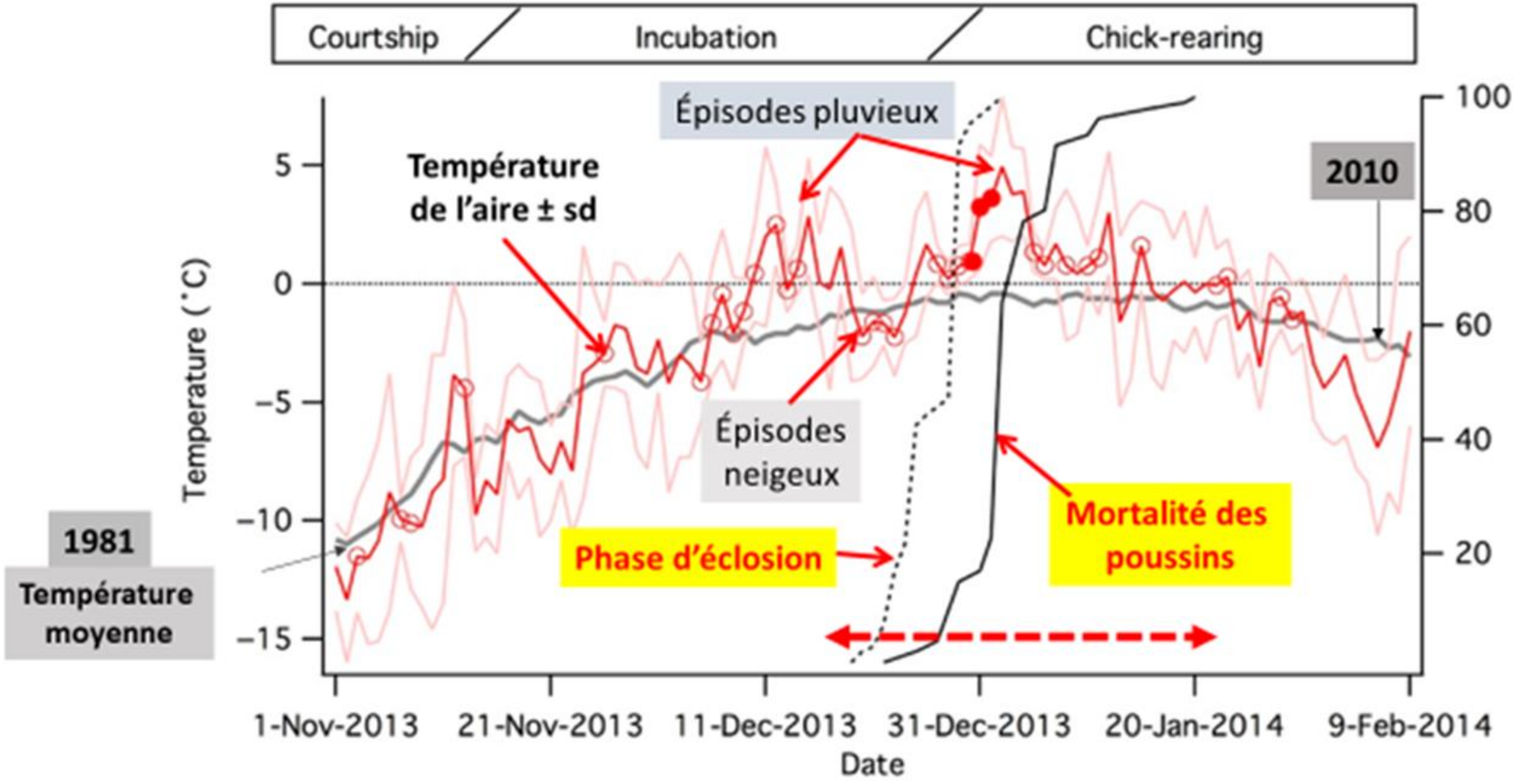
# CONSÉQUENCES BIOLOGIQUES CHEZ LES OISEAUX MARINS




Juares et al. 2015

# CONSÉQUENCES BIOLOGIQUES CHEZ LES OISEAUX MARINS

**MANCHOT ADÉLIE (SUITE)**

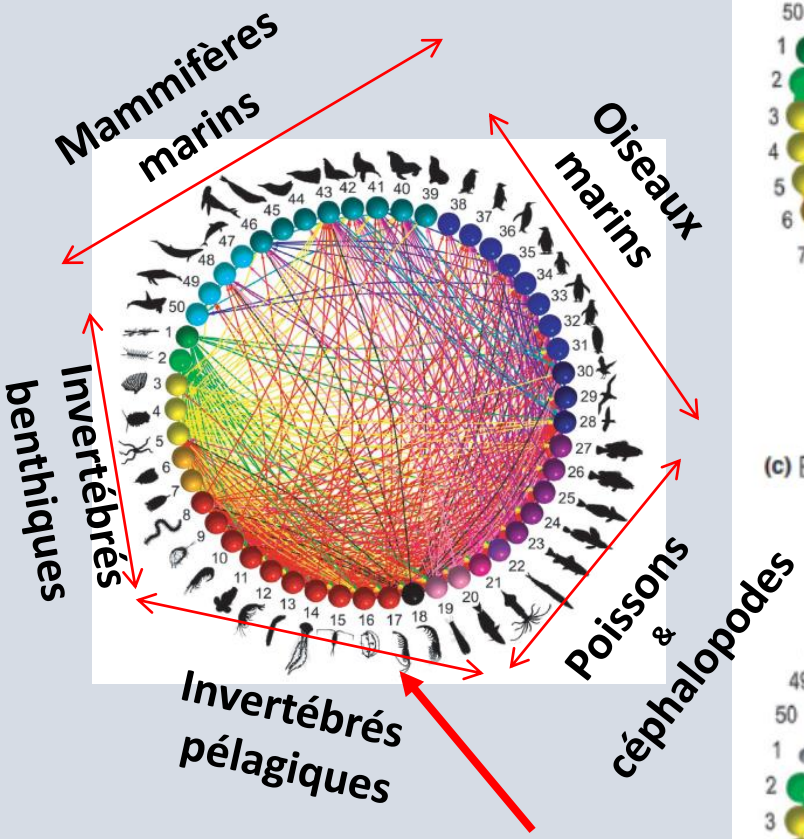


Manchot Adélie

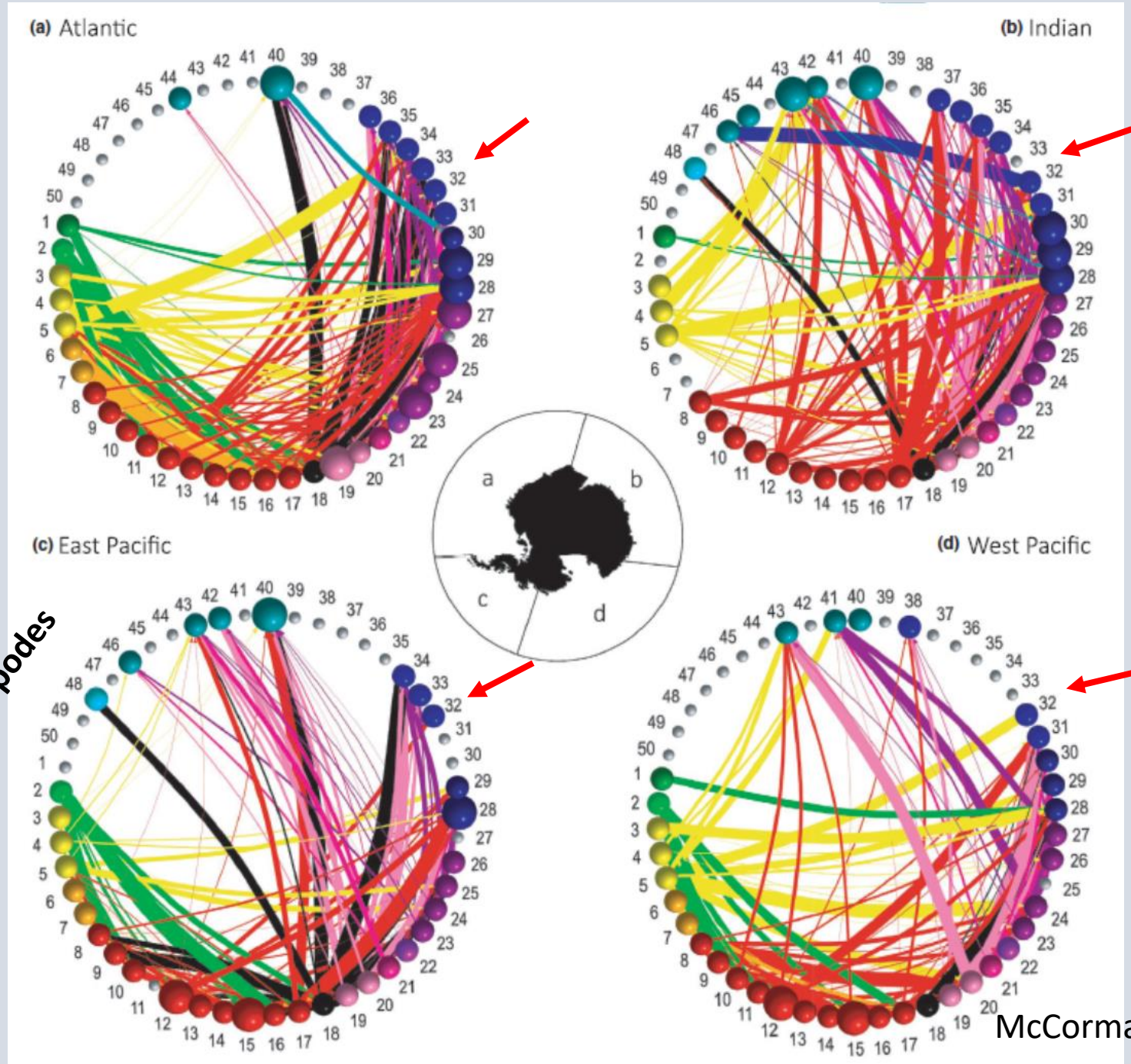
Ropert-Coudert et al. 2015

**BASE DUMONT-D'URVILLE**

# Réseaux trophiques en zones Antarctiques

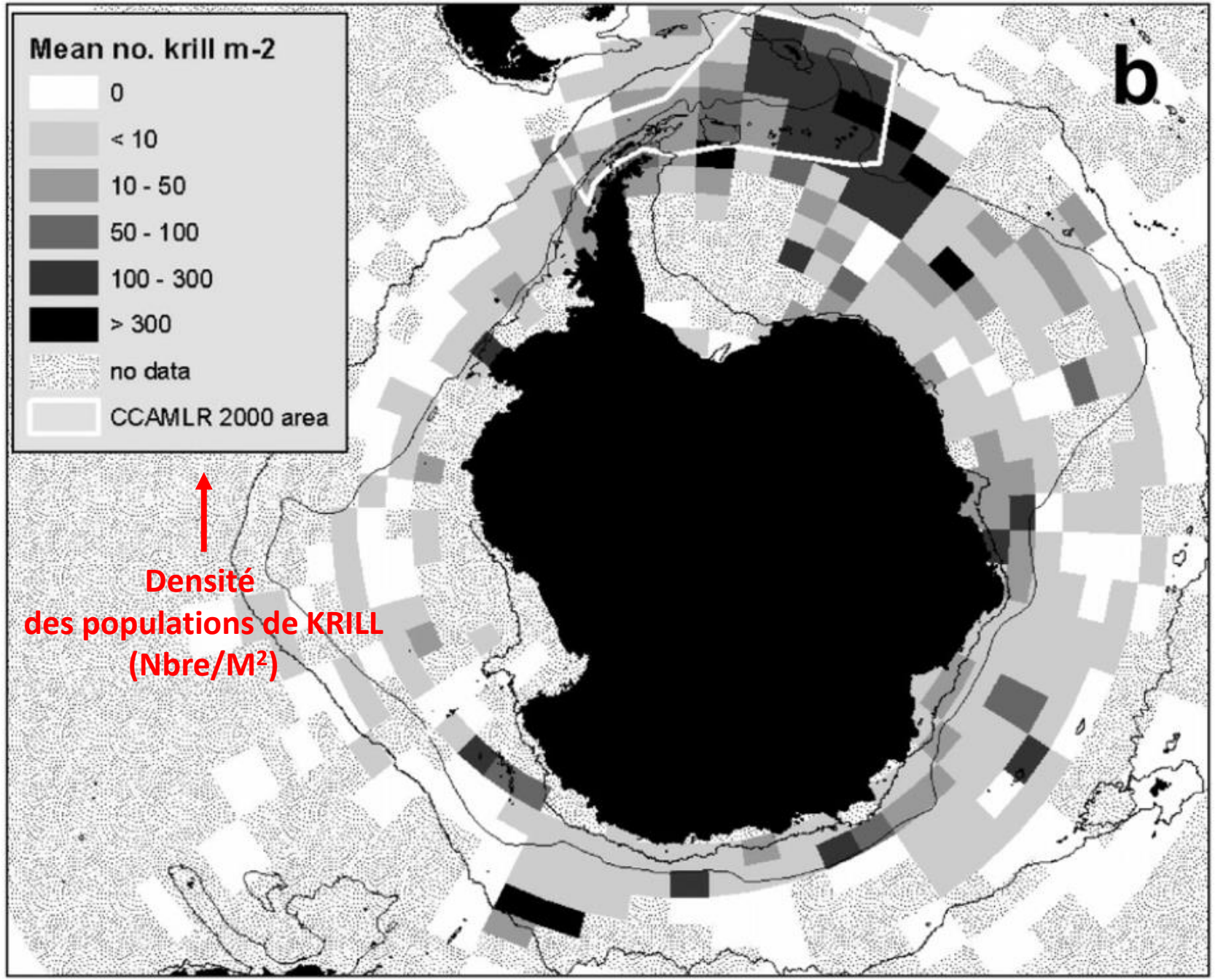



KRILL (#17)



MANCHOT ADÉLIE (SUITE)

McCormack et al. 2020




## ESTIMATIONS

*Euphausia superba*

**BIOMASSE du KRILL:**
379 Millions de Tonnes

**PRODUCTION de KRILL:**
342-536 Millions de Tonnes /An

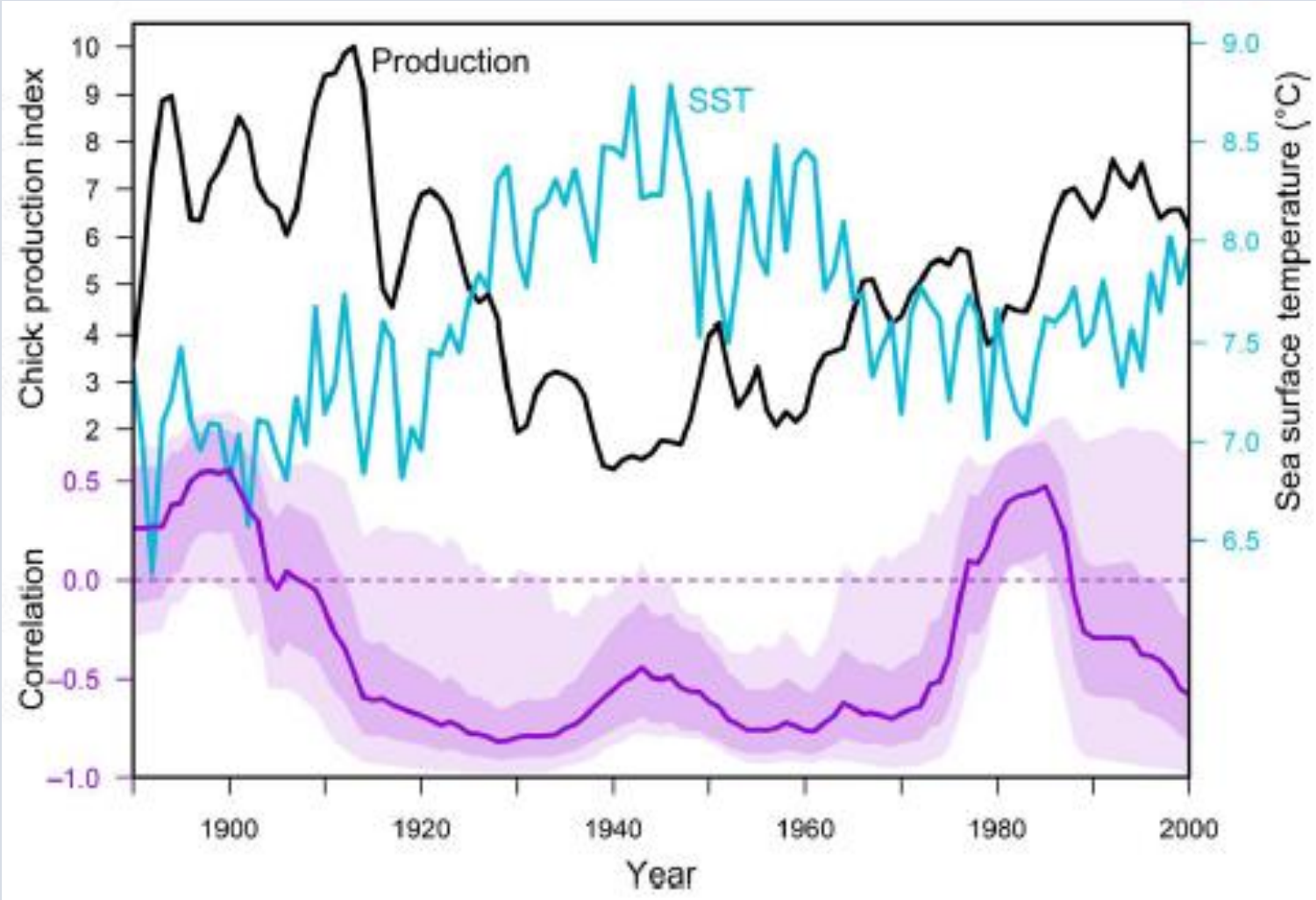
**CONSOMMATION par les MANCHOTS ADÉLIE**:
≤ 400 Millions de Kg/an

**COMSOMMATION par l' ENSEMBLE des BALEINES à FANONS:**
435 Millions de Tonnes/An

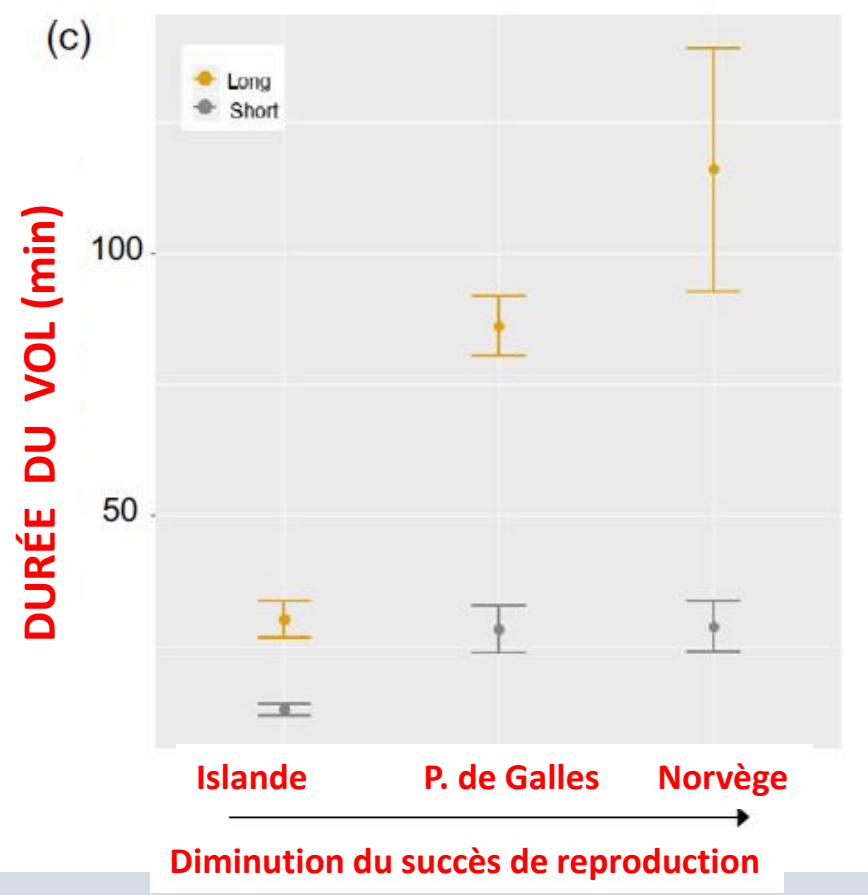
**CAPTURE par les PÊCHERIES:**
≤ 500 000 Tonnes/an

LISHMAN et al. 1985
GROSS 2005
ATKINSON et al. 2009
SAVOCA et al. 2021

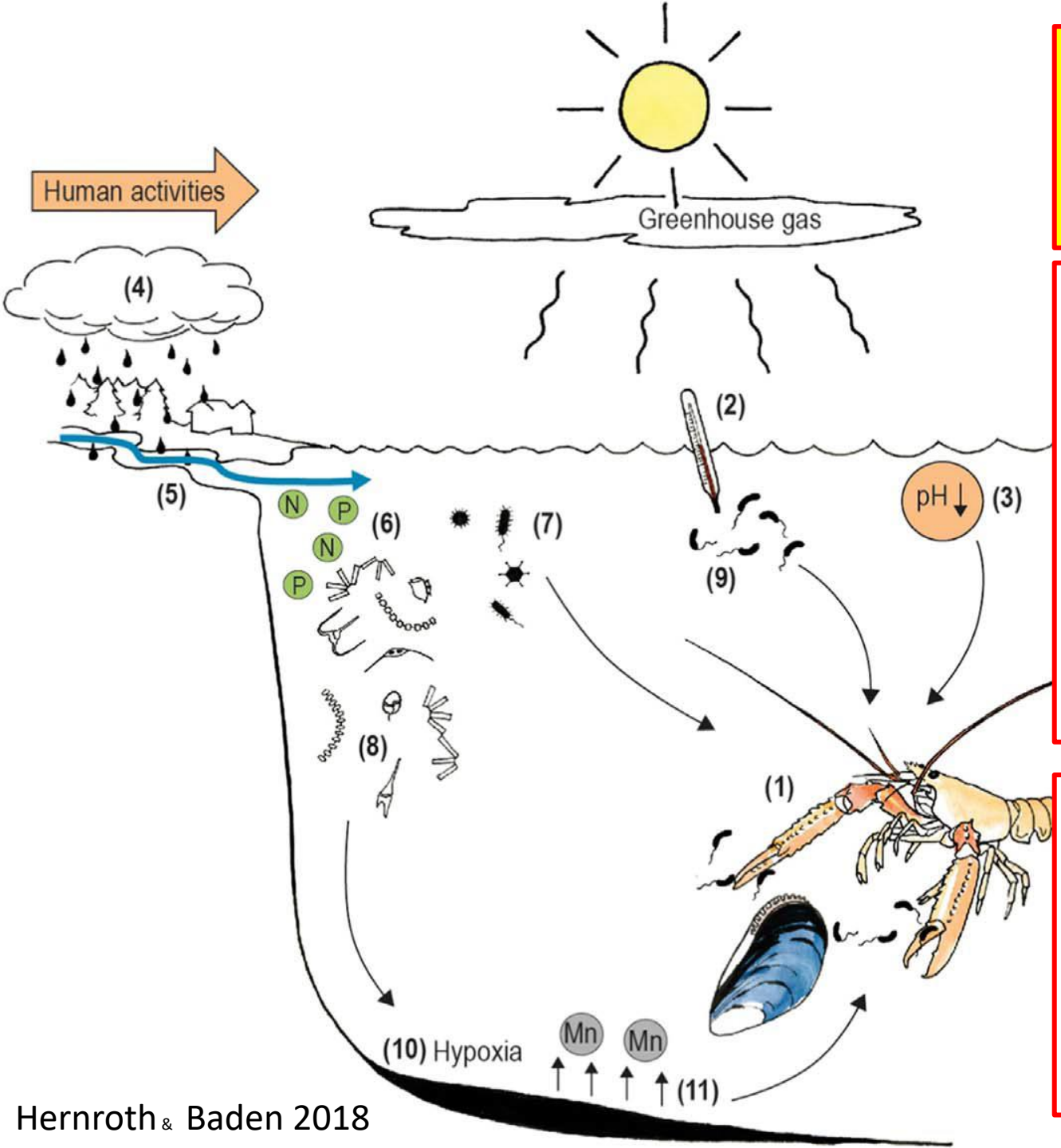
# Reproduction des macareux (Atlantique Nord)




HANSEN et al. 2021




FAYET et al. 2021




Hernroth & Baden 2018

**SCHÈMA DES INTERACTIONS ENTRE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET VARIATIONS DES PARAMÉTRES ENVIRONNEMENTAUX (T°C, RUISSELLEMENT, SELS NUTRITIFS, pH).**

**EFFETS OBSERVES CHEZ LES INVERTÉBRES (1)**

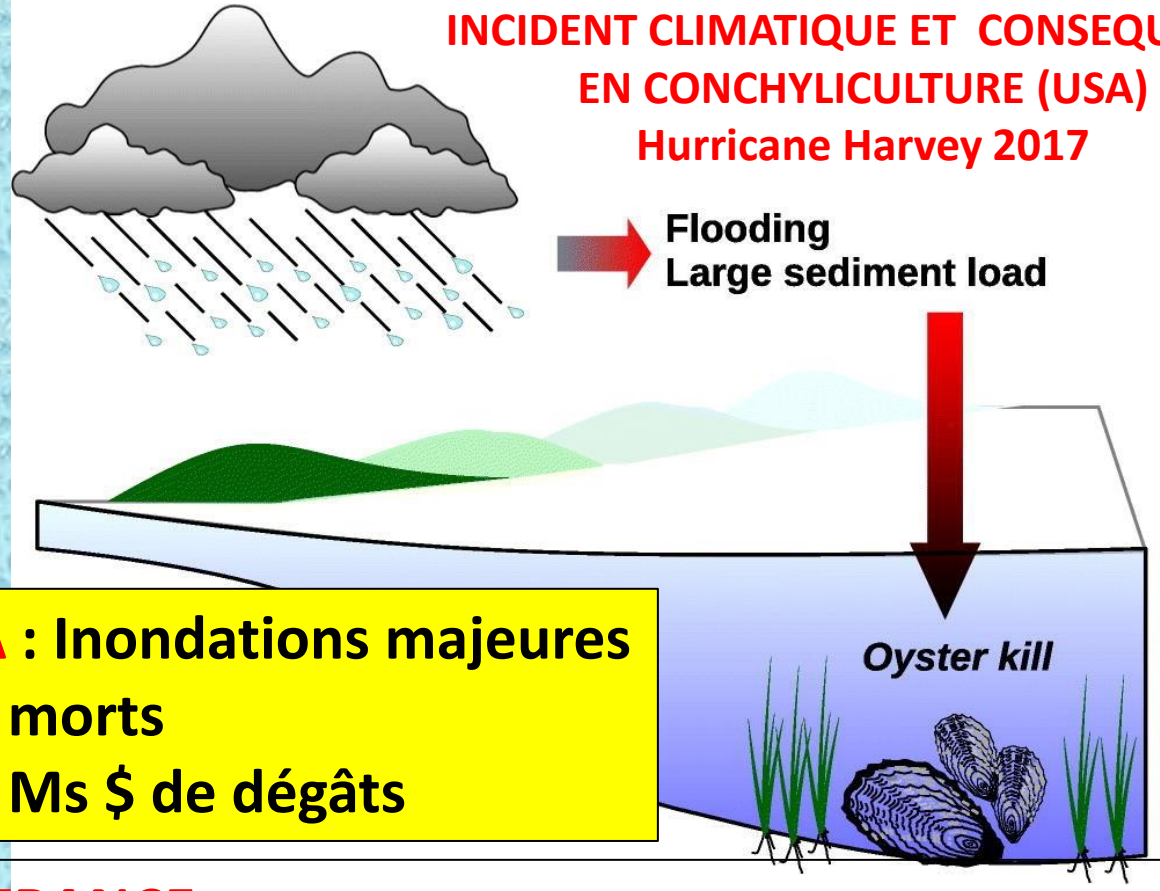
## FACTEURS

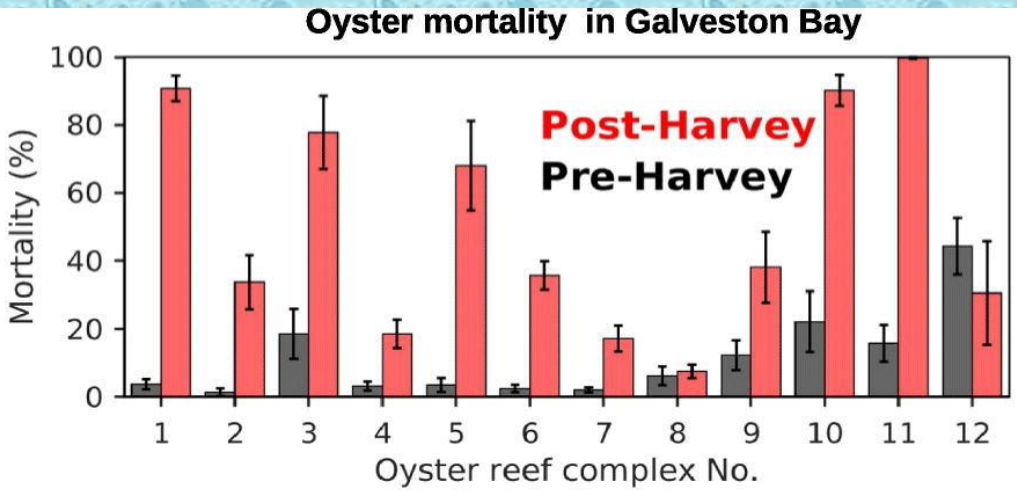
2- Augmentation de la température
3- $CO_2$ et Acidification
4- Fréquence et intensité des précipitations
5- Augmentation du ruissellement
6- Eutrophisation via sels nutritifs
7- Charge en pathogènes d'origine terrestre
8- Proliférations algales (macro algues, phytoplancton)
9- Recrudescence de *Vibrio* sp. pathogènes
10/11- Périodes d'hypoxie et relargage de Mn du sédiment

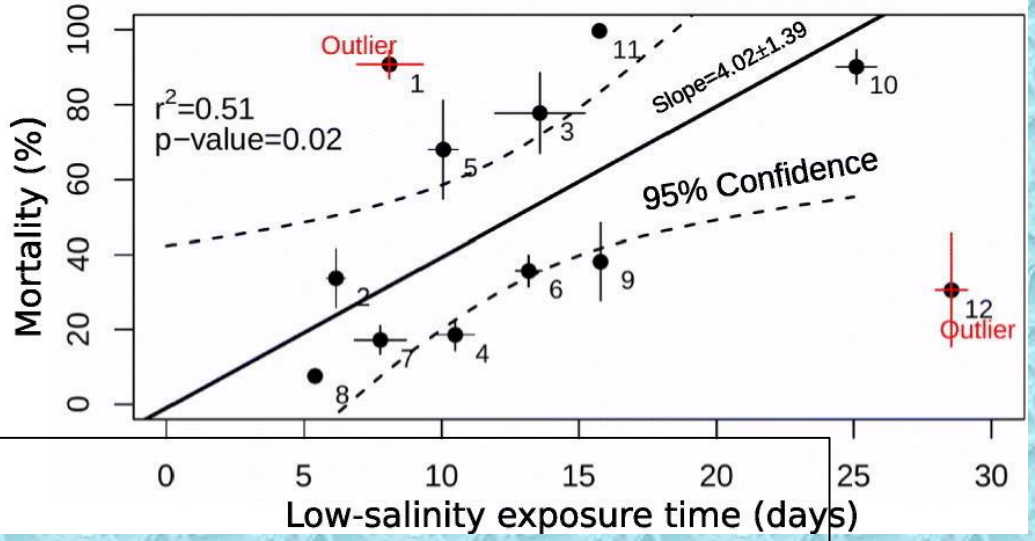
## EFFETS OBSERVÉS

- Marées vertes côtières (cf. Bretagne)
- Susceptibilité accrue aux infections
- Transmission de pathogènes aux consommateurs
- Surmortalité en aquaculture

## INCIDENT CLIMATIQUE ET CONSEQUENCE EN CONCHYLICULTURE (USA)
## Hurricane Harvey 2017



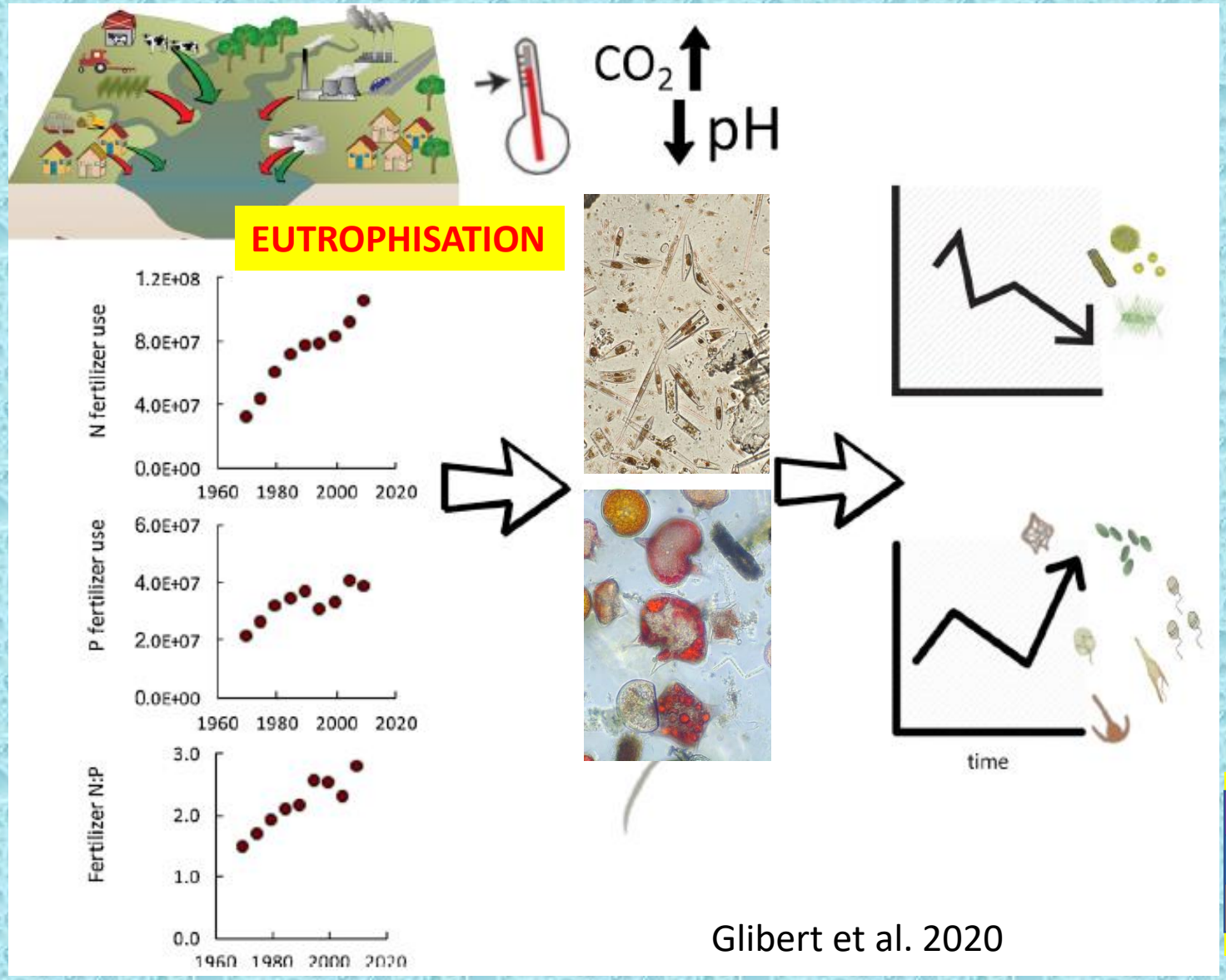

**USA : Inondations majeures**
**100 morts**
**125 Ms $ de dégâts**

**EN FRANCE :**

**(1) Perte des naissains d'huîtres**
**(2) Présence de pathogènes (Virus, Vibrio). Mortalité > 20-30 %**
**(3) Risque sur le chiffre d'affaire (2016 : ~ 450 M€)**

Du et al. 2021

# CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MICRO ALGUES PLANCTONIQUES / MACROALGUES




Glibert et al. 2020

PLANCTON → DIATOMÉES

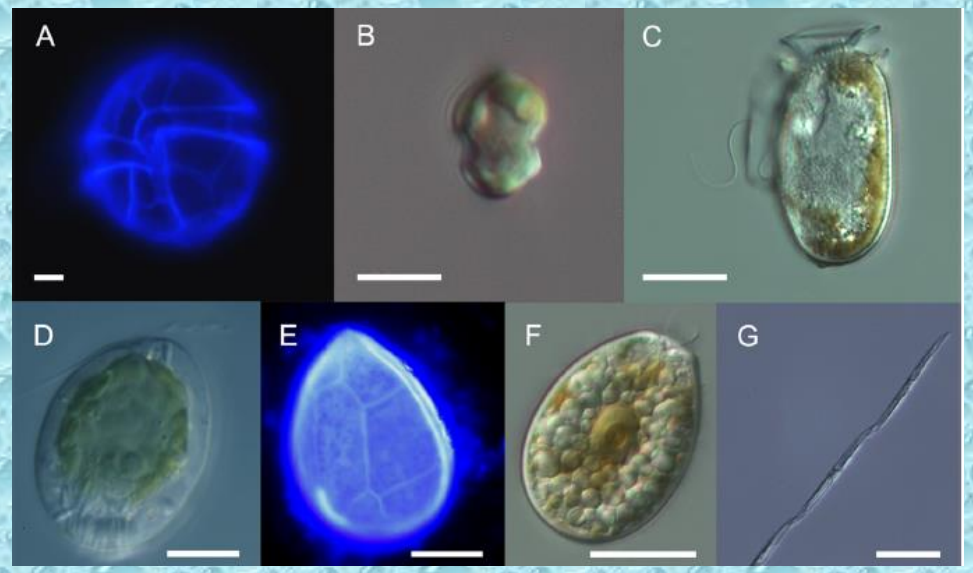
BENTHOS → MARÉES VERTES (cf. Bretagne)

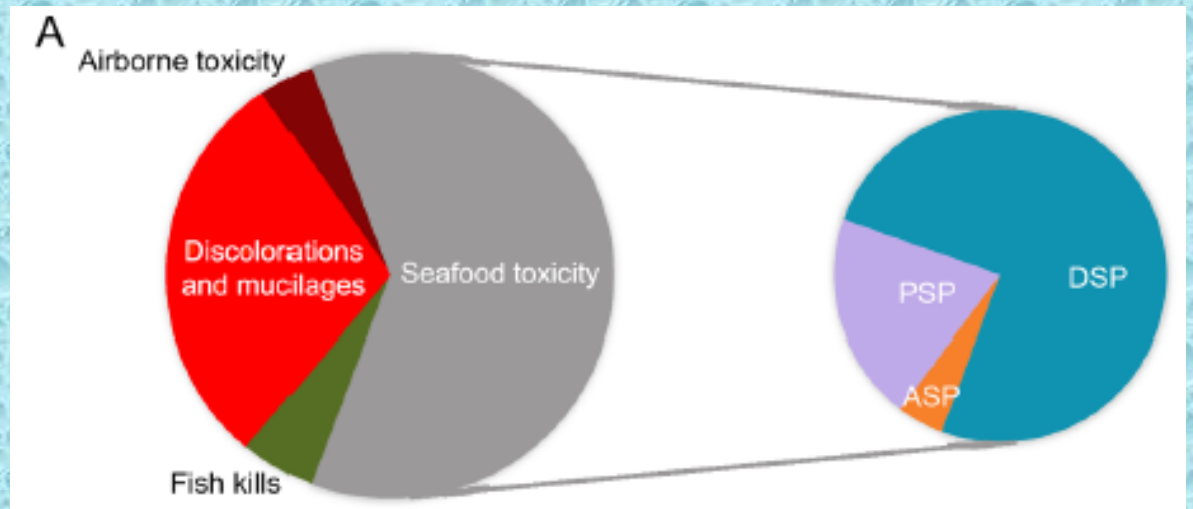
Efflorescence d'algues toxiques

DINOFLAGELLÉS →

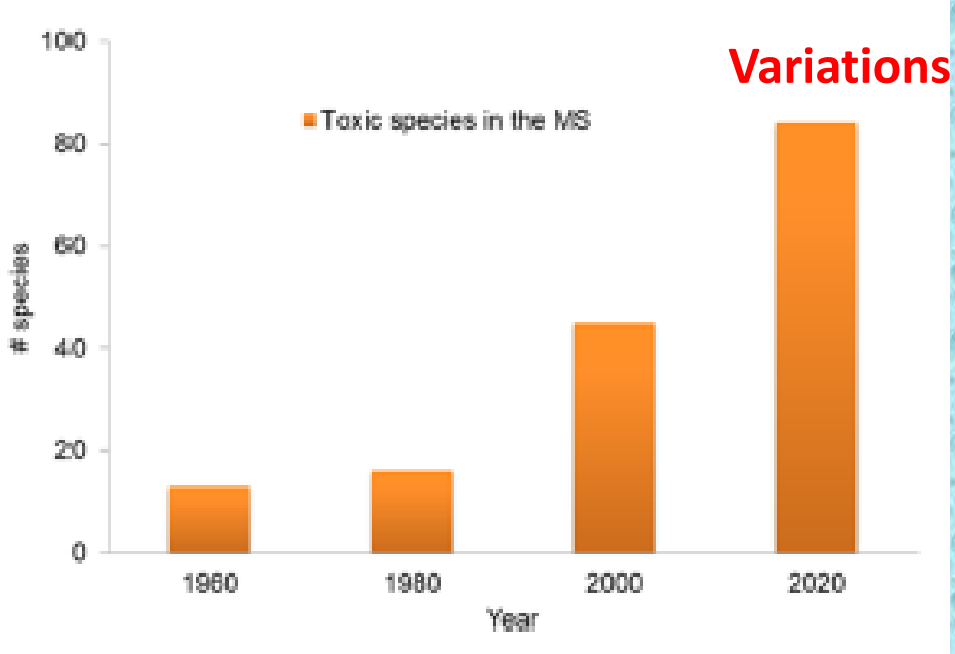
- Paralytique shelfish toxine
- Diarrhéique shelfish toxine
- Amnésique shelfish toxine

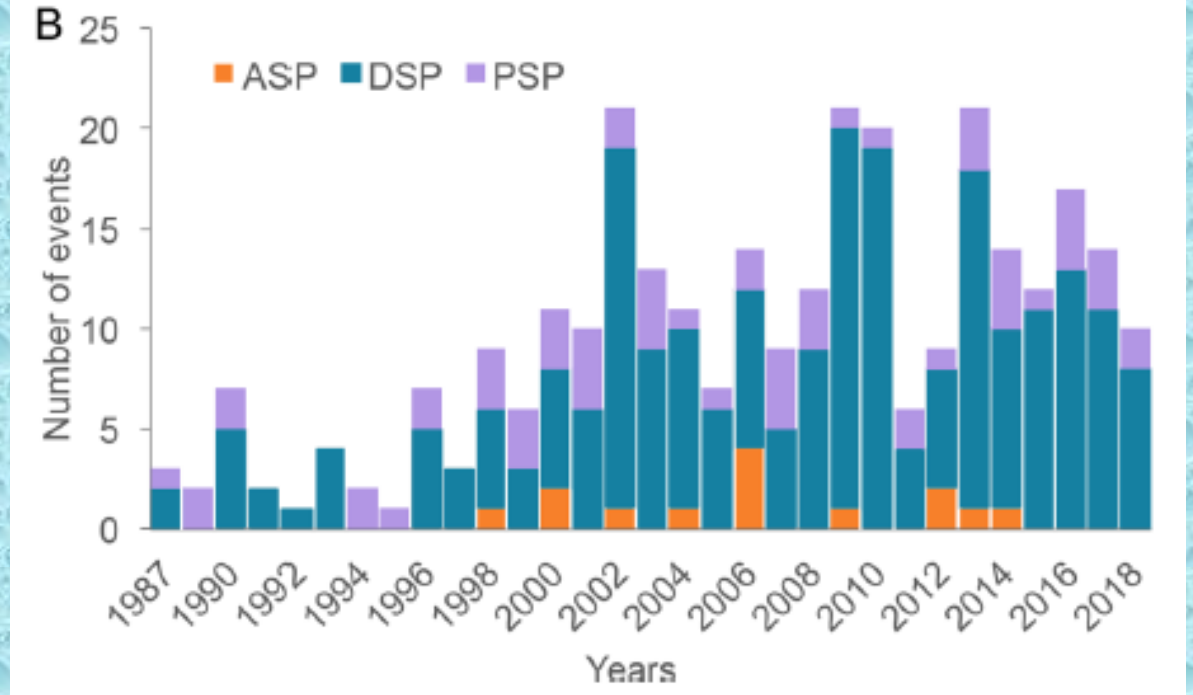
# CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MICRO ALGUES PLANCTONIQUES




## Variations en Méditerranée Occidentale



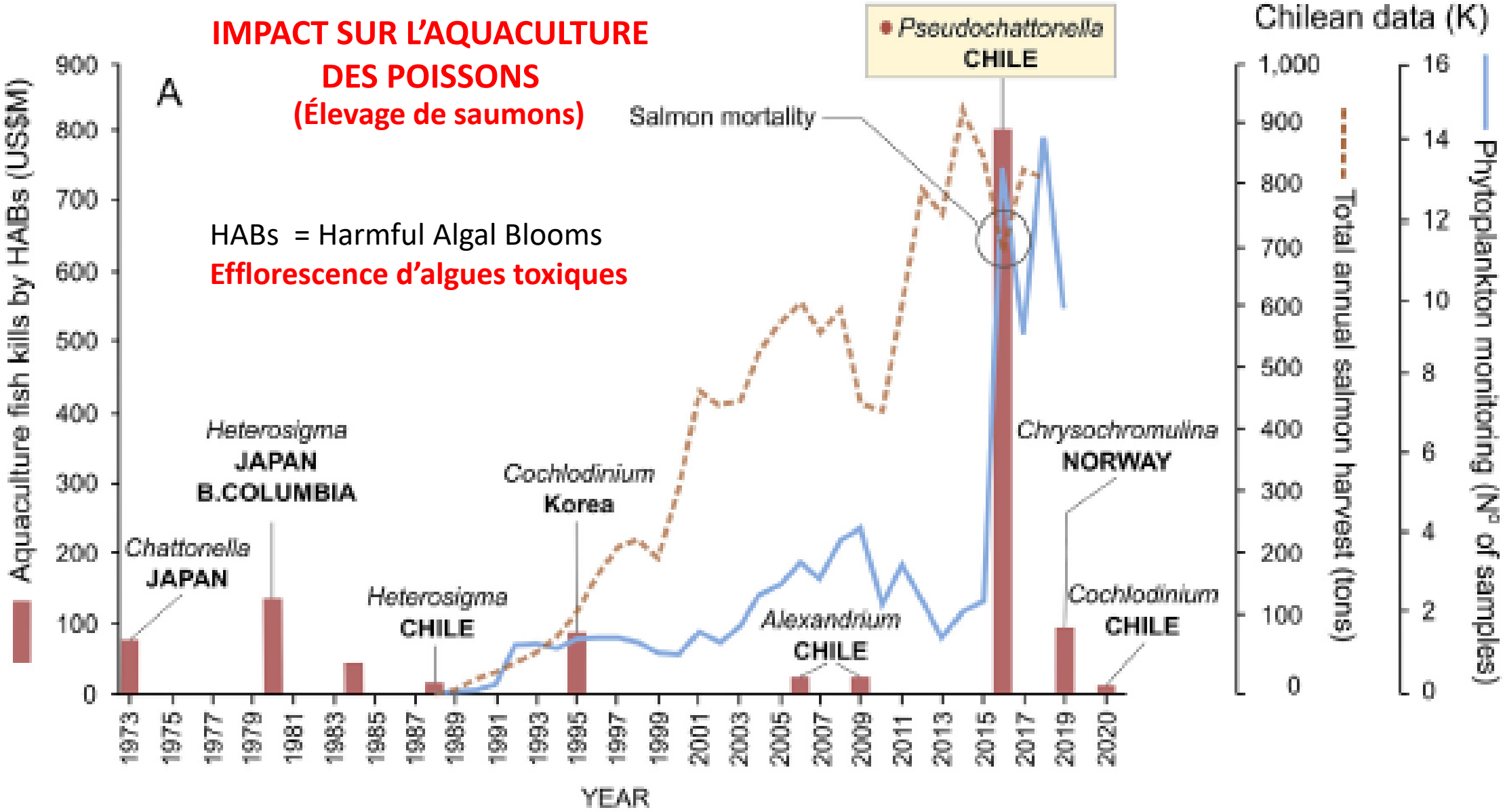




Zingone et al. 2021

# IMPACT SUR L'AQUACULTURE DES POISSONS
## (Élevage de saumons)

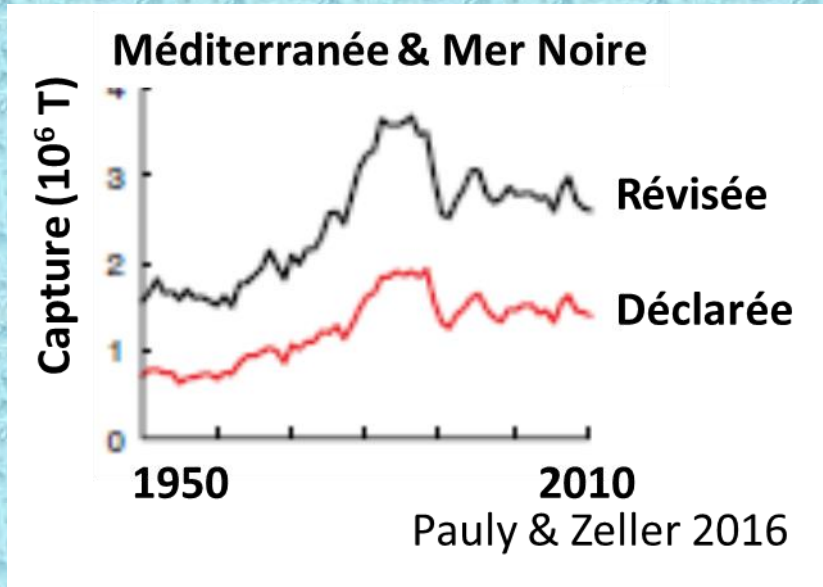
HABs = Harmful Algal Blooms

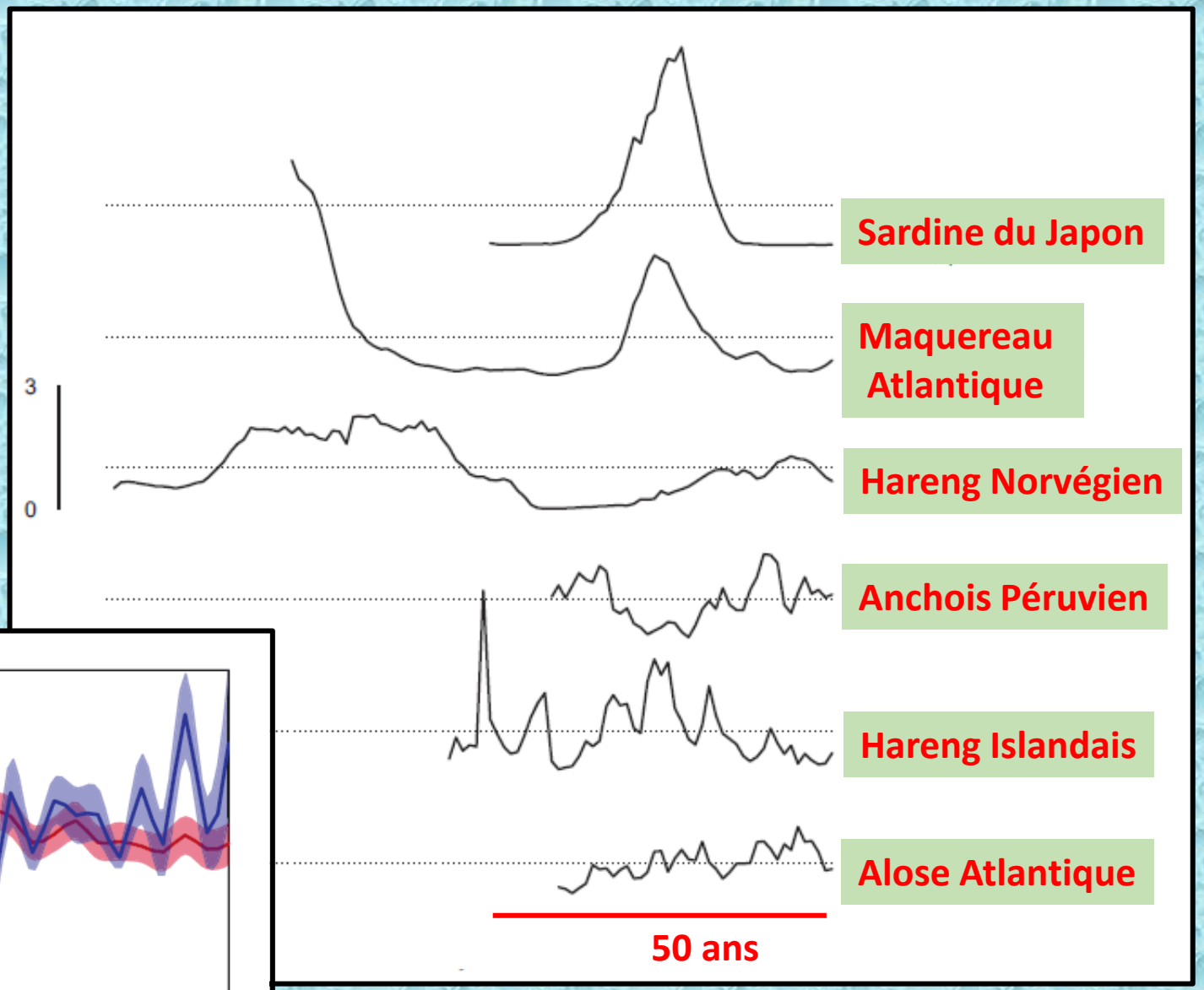
**Efflorescence d'algues toxiques**

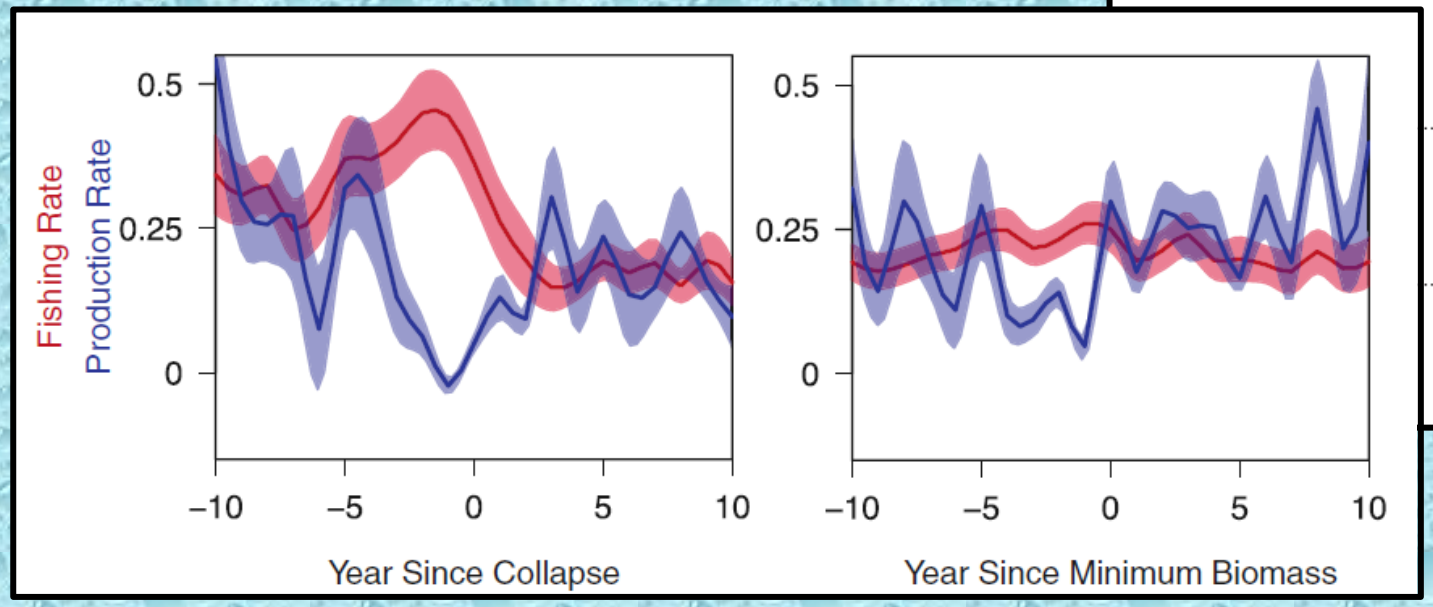



Mardones et al. 2021

# SURPÊCHE ET RÉSILIENCE DES STOCKS DE POISSONS



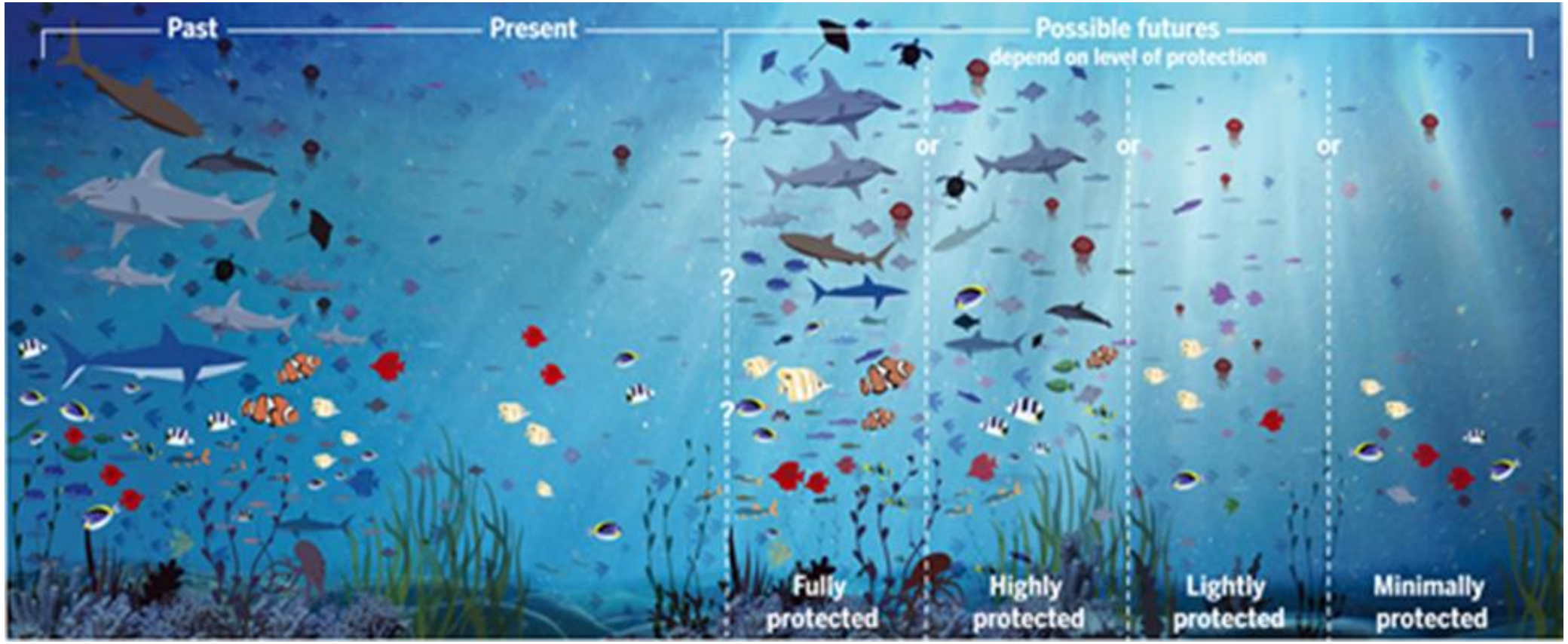




ESSINGTON et al 2015

## QUELLES SOLUTIONS POUR RÉDUIRE CES TENDANCES?

# Création, extension, préservation des aires marines protégées (AMPS)




Grorud-Colvert et al. 2021, Science

**Guides pour des Aires Marines Protégées (AMPs)**

**IUCN**
**IPBES**
**OFB**

Grorud-Colvert et al. 2021

## RÉSULTATS

## NIVEAU DE PROTECTION

| | | Fully | Highly | Lightly | Minimally |
|---|---|---|---|---|---|
| Biodiversity conservation | Abundance | ● | ● | ● | ● |
| | Population age structure | ● | ● | ● | ● |
| | Biomass | ● | ● | ● | ● |
| | Species richness (no. of species) | ● | ● | ● | ● |
| | Reproductive output and replenishment | ● | ● | ● | ● |
| | Connectivity of populations | ● | ● | ● | ● |
| | Rare and endangered species protected | ● | ● | ● | ● |
| | Genetic diversity | ● | ● | ● | ● |
| | Habitats | ● | ● | ● | ● |
| | Ecosystem functioning | ● | ● | ● | ● |
| | Ecosystem resilience (ability to recover after disturbance) | ● | ● | ● | ● |
| Effects on exploited species | Spillover | ● | ● | ● | ● |
| | Larval export | ● | ● | ● | ● |
| | Insurance against management failure or stock collapse | ● | ● | ● | ● |
| | Protection of vulnerable life stages | ● | ● | ● | ● |

**Conservation de la biodiversité**

**Effets sur espèces exploitées**

Grorud-Colvert et al. 2021

# MESURES POLITIQUES, ÉCONOMIQUES

**Proposition 1:** **Réduire** les émissions de $CO_2$, **atteindre** la **neutralité** carbone en 2050, pour **maintenir** la température atmosphérique terrestre ≤ 1,5 °C par rapport à l'ére préindustrielle.

**GIEC**, rapport 2018

**Proposition 2:** **Réorienter la pression fiscale** sur les activités et les produits qui contribuent significativement à la dégradation du capital naturel, de manière à changer les modes de production et les comportements de consommation.

**Proposition 3:** **Taxer les entreprises** qui contribuent le plus à la dégradation du capital naturel et qui font le plus obstacle à la transition écologique et économique, de manière à en faire des instruments de celle-ci.

**Proposition 4:** **Substituer un modèle d'agriculture*** fondé sur la biologie au modèle fondé sur la chimie.

**(Incluant l'utilisation et l'exploitation des biomasses terrestres et marines)*

**Claude Henry**
Economiste, Professeur de développement durable
In : Tribune du Monde, 2018

**Proposition 5:** via l'OMC, **recommander l'arrêt** des subventions accordées aux pêcheries « ***pernicieuses*** ».

**Sumaila** et al. 2021, Science

**Quel intérêt avons-nous à réagir aux tendances signalées par les séries chronologiques évoquées au cours de mon exposé**

**?**

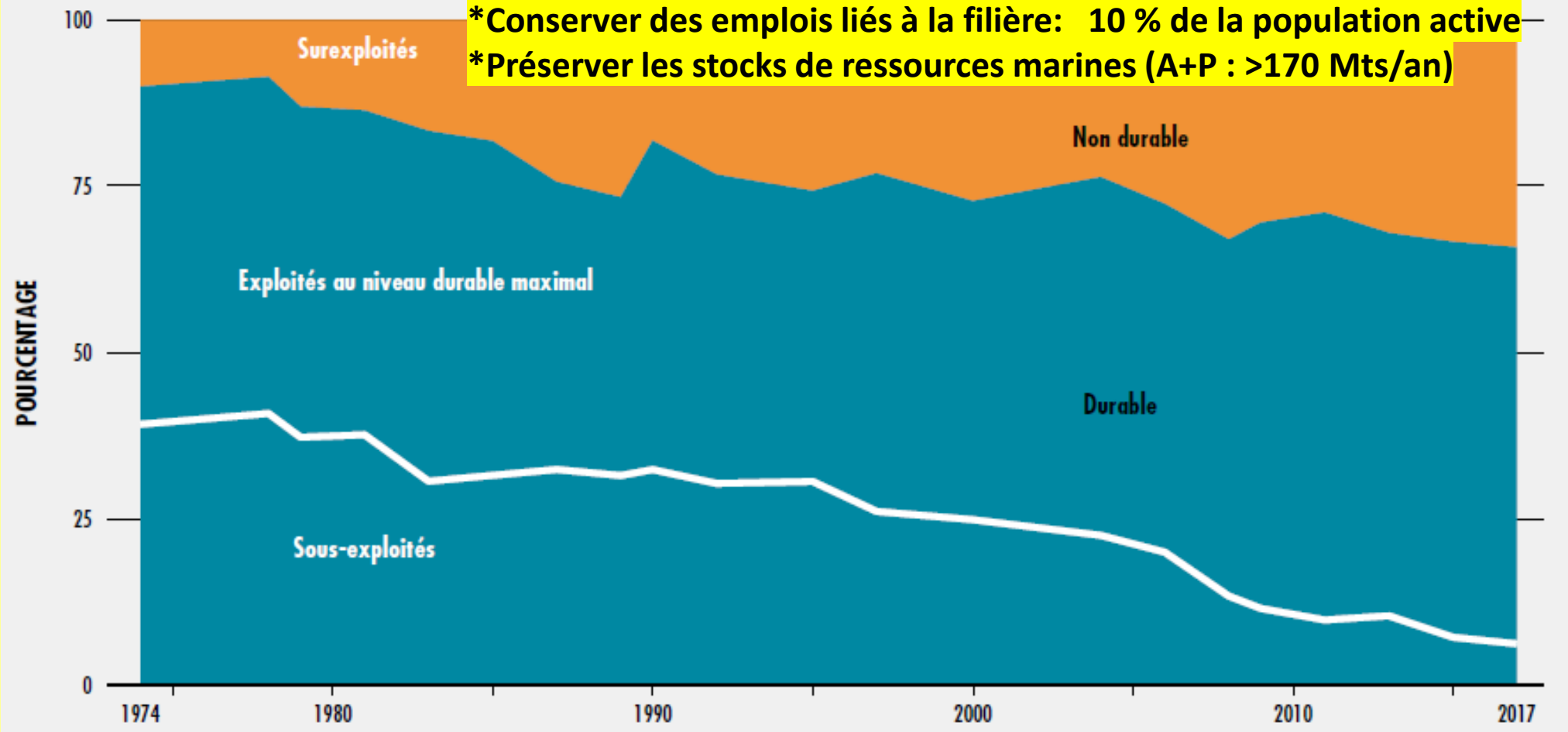
# PRÉSERVER LES ÉCOSYSTÈMES & LA BIODIVERSITÉ MARINE, POUR MAINTENIR DURABLEMENT PÊCHERIES/AQUACULTURES MONDIALES

***Zones de pêche : > 40 % sont surexploitées de façon non-durable; 50 % sont à la limite de la surexploitation**

***Alimenter ~ 100 M pers/J**

***Conserver des emplois liés à la filière: 10 % de la population active**

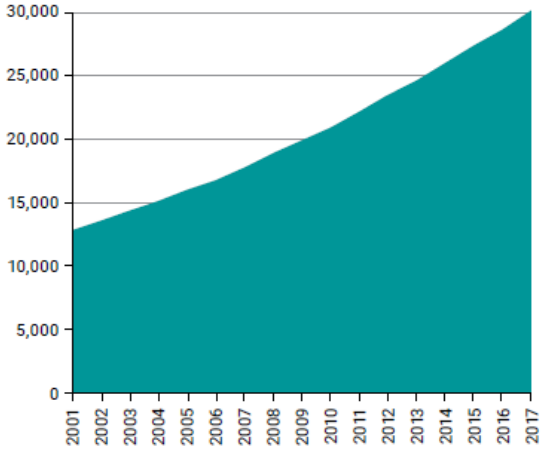
***Préserver les stocks de ressources marines (A+P : >170 Mts/an)**




Rapport FAO 2020 (Situation mondiale des Pêches et Aquaculture)

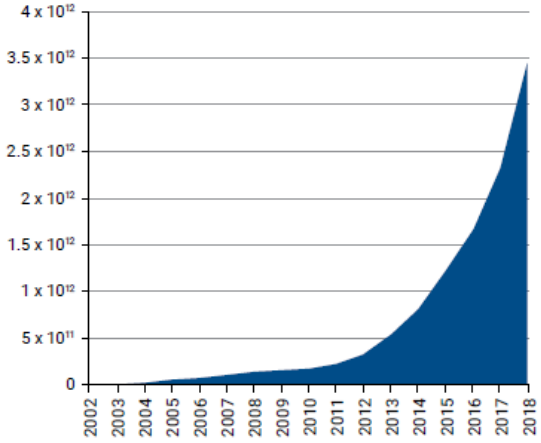
Figure I
Recent trends related to marine genetic resources

Figure I.A
Number of new marine natural products (cumulative)



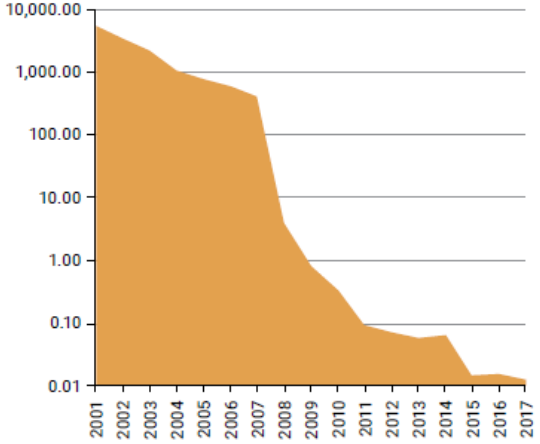

*Source*: Carroll and others, 2019.

Figure I.B
Number of sequences deposited in GenBank (cumulative number of base pairs)



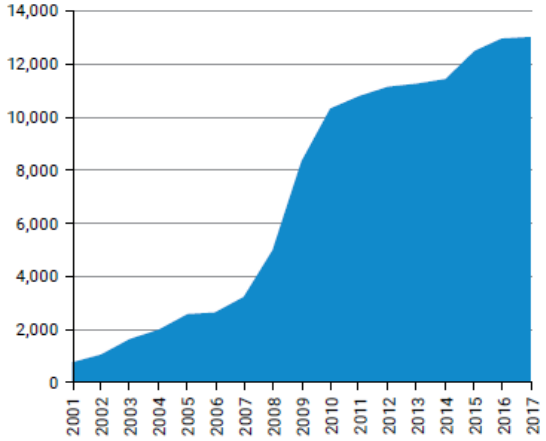

*Source*: United States National Institutes of Health (Wetterstrand, 2018; National Center for Biotechnology Information (NCBI), 2018).

Figure I.C
Cost of sequencing (dollars per base pair)



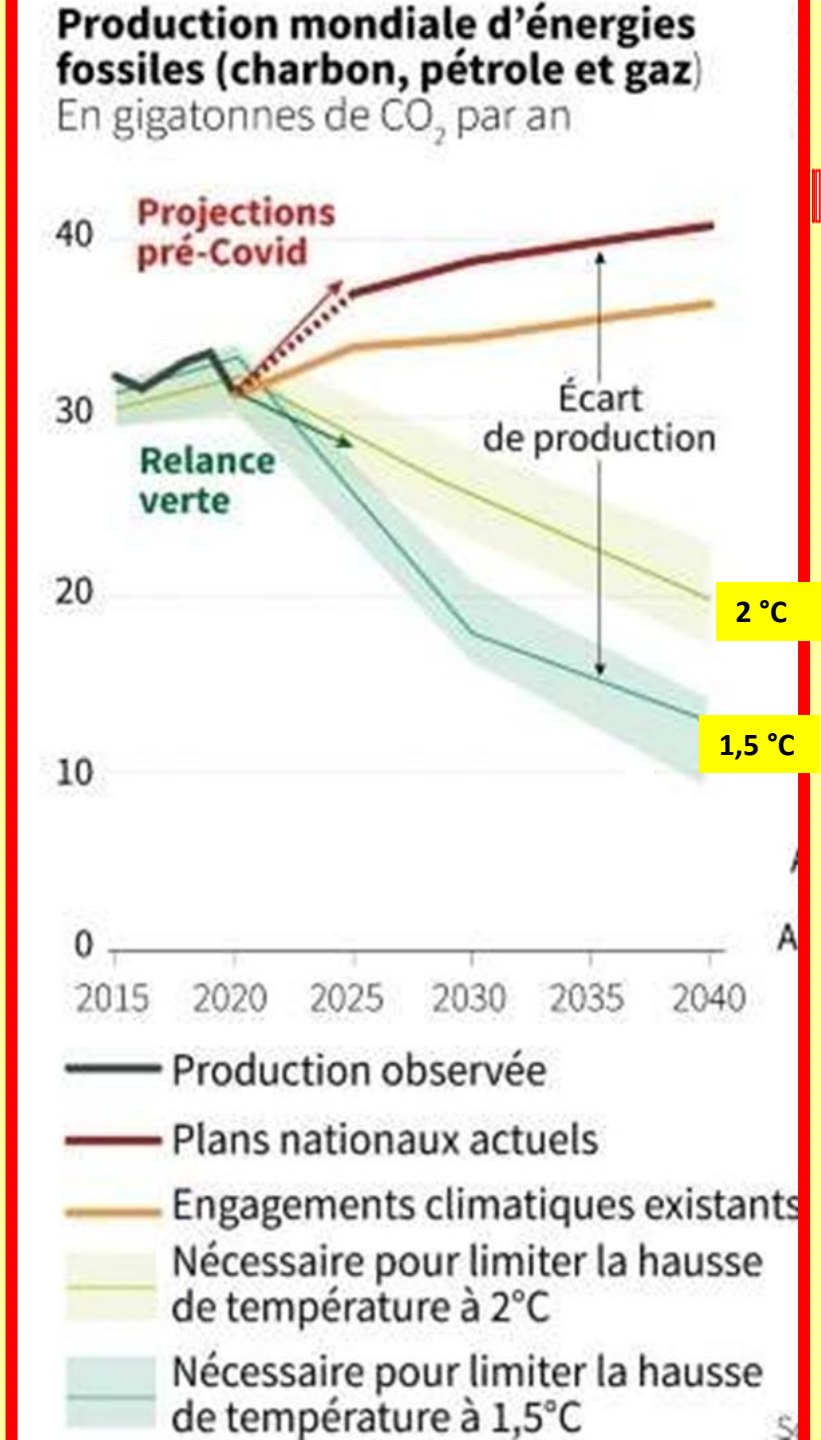

*Source*: National Human Genome Research Institute.

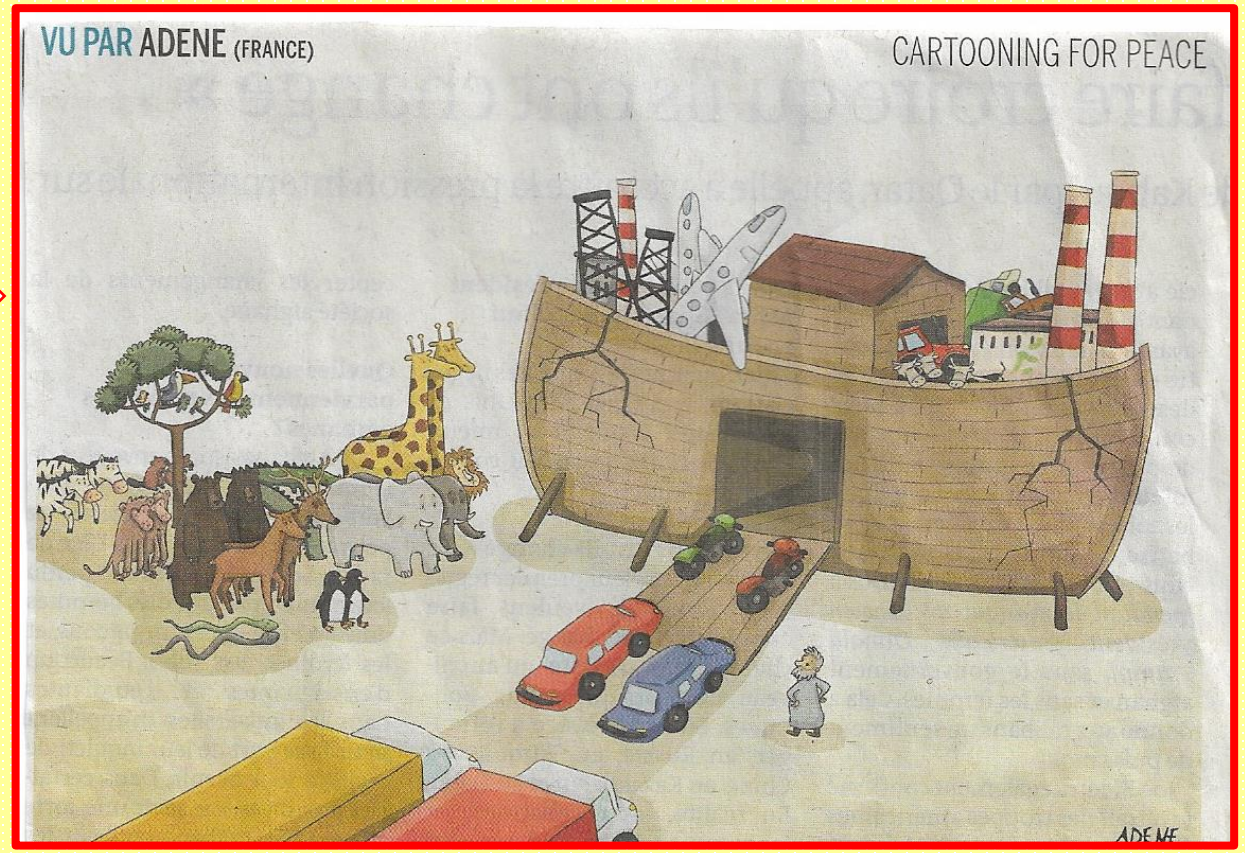
Figure I.D
Number of marine sequences associated with patent filings (cumulative)




*Source*: Blasiak and others, 2018.

**CONSERVER UN RÉSERVOIR GÉNÈTIQUE ET MOLÉCULAIRE DONT L'INVENTAIRE EN EXPANSION DEMEURE INACHEVÉ**




**« Business as usual » !**

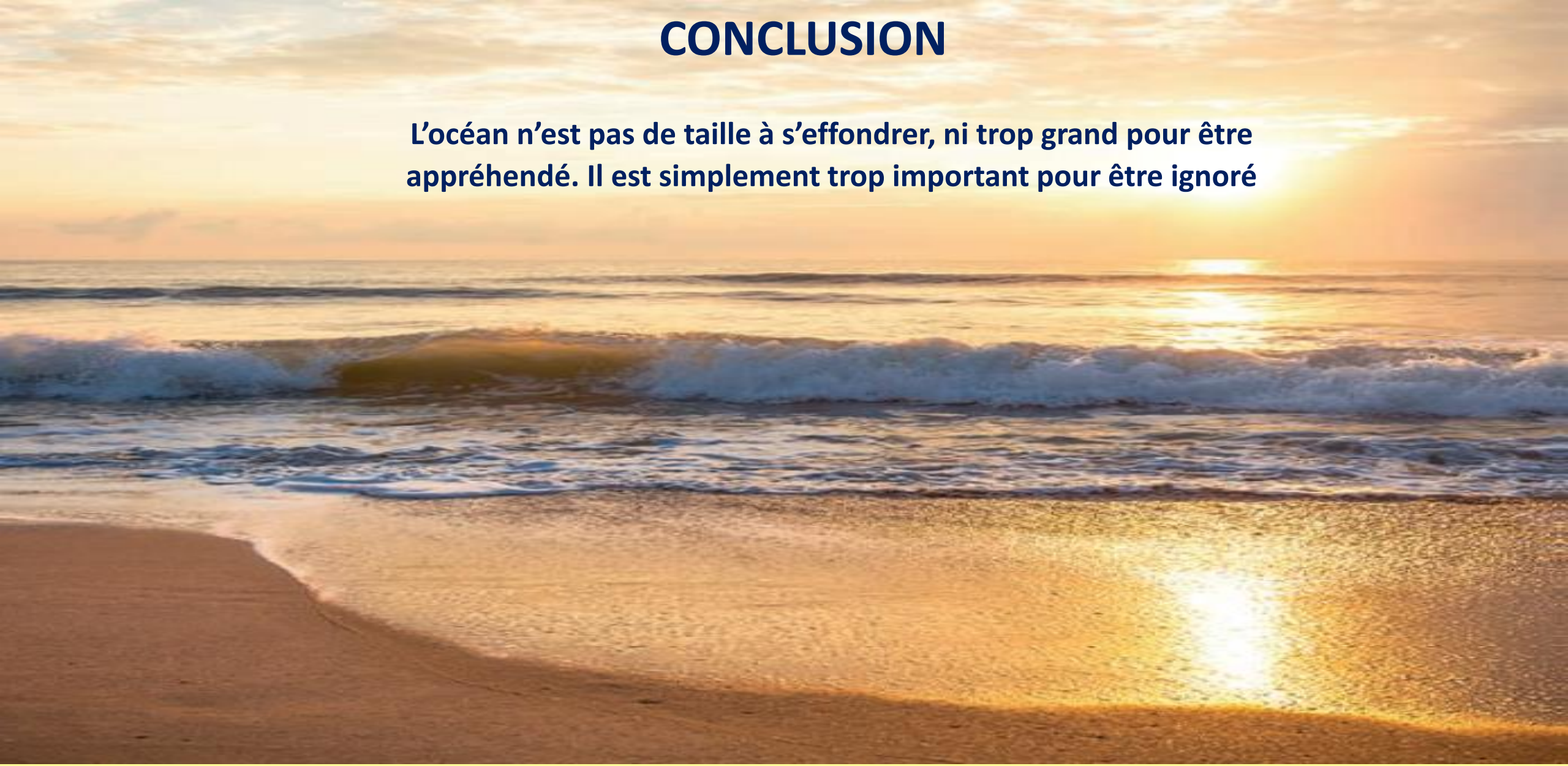
**Porte ouverte**

**au grand « remplacement » ?**

Rapport *United in Science , 2021*

# CONCLUSION

**L'océan n'est pas de taille à s'effondrer, ni trop grand pour être appréhendé. Il est simplement trop important pour être ignoré**



**"The ocean is not too big to fail, nor is it too big to fix. It is too big to ignore"**

**Jane Lubchenco and Steven D. Gaines;  Science 2019**