

La biodiversité marine à l'Anthropocène : singularités, pressions et réponses



« La » biodiversité : de quoi devrait-on parler?

**Biodiversité souvent réduite à la richesse spécifique
(diversité taxinomique)**

Diversité biologique : Variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.

Convention sur la Diversité Biologique. 1992

« La » biodiversité : de quoi devrait-on parler?

De multiples composantes et un ensemble de variables pour décrire la diversité du vivant et son évolution

Diversité taxonomique
Diversité phylogénétique
Diversité fonctionnelle
Diversité génétique

fonctionnelle
remarquable
connectivité
vivant
génétique
marine
niveaux
observations
biodiversité
paysages
processus
interactions
écosystèmes
changements
évolutions
taxinomique

Biodiversité marine: des singularités

Un monde caché à nos yeux, en 3 dimensions

Ex. 84% de la surface des océans > à 2000 mètres de fond

→ **Lacunes de connaissances pour décrire l'état de la biodiversité marine, dans toutes ses composantes**



La diversité taxinomique en milieu marin est peu élevée relativement à la diversité terrestre

241 099 espèces marines

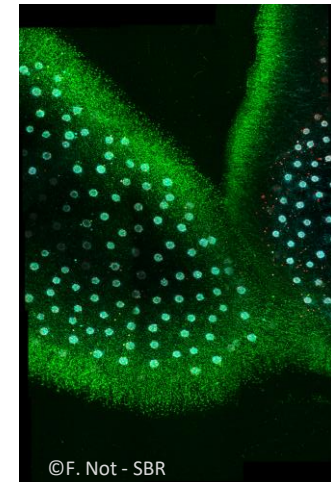
[World Register of Marine Species – Sept. 2022]
[=16% des espèces tout milieu confondu]

→ Intrinsèquement faible?

- 2/3 des espèces seraient décrites
- Faible endémisme, “jeunesse” des clades marins

→ Sous-estimée?

- Zones difficiles d'accès ou mal connues, ex. grands fonds
- Très nombreuses espèces cryptiques
- Groupes moins étudiés: protistes, bactéries, virus



Une diversité phylogénétique remarquable

- 6 règnes; certains particulièrement représentés en milieu marin (Archées)
- De nombreux phylums spécifiques du milieu marin, ex. Echinodermes

WoRMS
World Register of Marine Species

Exemple: Règne Animalia (metazoaires)

Quick search

WoRMS taxon details

★ **Animalia**

AphiaID 2 (urn:lsid:marinespecies.org:taxname:2)

Classification Biota ★ Animalia

Status accepted

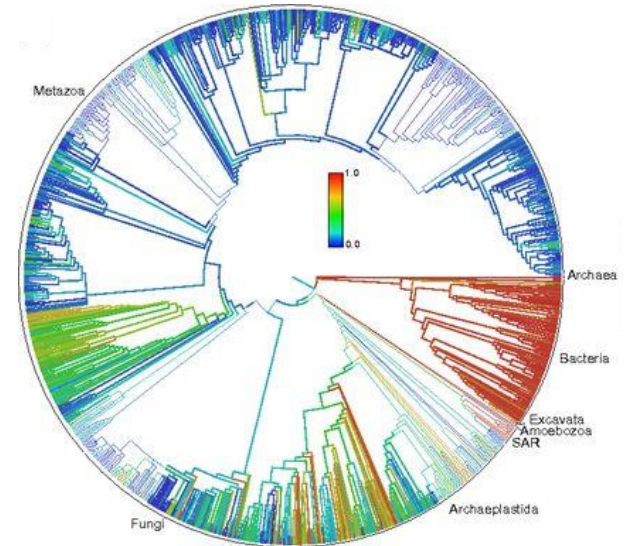
Rank Kingdom

Parent Biota

Direct children (39)
[sort alpha.]

- Phylum ★ Acanthocephala
- Phylum ★ Annelida
- Phylum ★ Arthropoda
- Phylum ★ Brachiopoda
- Phylum ★ Bryozoa
- Phylum ★ Cephalorhyncha
- Phylum ★ Chaetognatha
- Phylum ★ Chordata
- Phylum ★ Cnidaria
- Phylum ★ Ctenophora
- Phylum ★ Cyclophora
- Phylum ★ Dicyemida
- Phylum ★ Echinodermata
- Phylum ★ Entoprocta
- Phylum ★ Gastrotricha
- Phylum ★ Gnathostomulida
- Phylum ★ Hemichordata
- Phylum ★ Mollusca
- Phylum ★ Nemaloda
- Phylum ★ Nematomorpha
- Phylum ★ Nemeritea
- Phylum ★ Orthonecdisa
- Phylum ★ Phoronida
- Phylum ★ Placozoa
- Phylum ★ Platyhelminthes
- Phylum ★ Porifera
- Phylum ★ Rotifera
- Phylum ★ Sipuncula
- Phylum ★ Tardigrada
- Phylum ★ Xenacoelomorpha

30 phylums dont 13 (34%) uniques au milieu marin

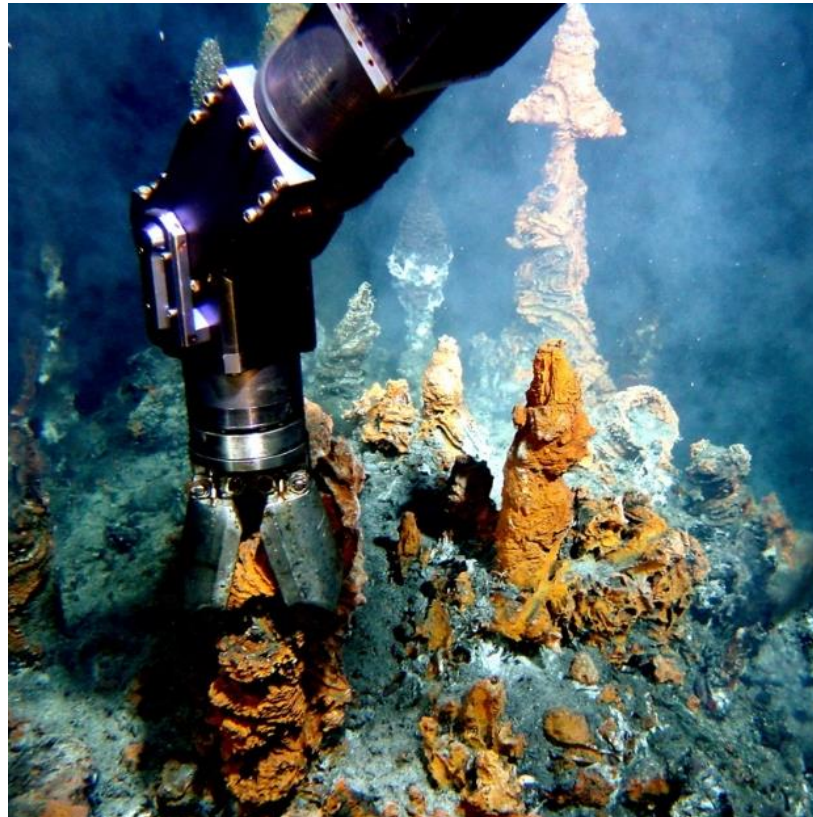


Hinchliff et al. PNAS 2015;112:41:12764-12769

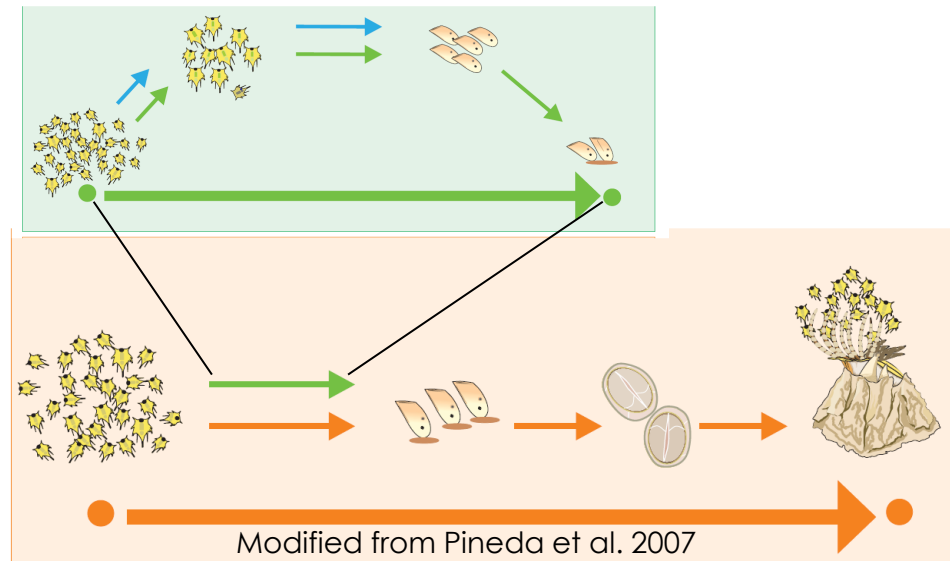
Une grande diversité d'écosystèmes dont des écosystèmes remarquables avec des fonctionnements spécifiques

Ecosystèmes chimiosynthétiques

Chimiosynthèse, l'alternative à la photosynthèse dans un monde noir



Diversité génétique importante chez de nombreuses espèces, en lien avec des traits d'histoire de vie (grande taille de population, fécondité, stade larvaire dispersif etc.)



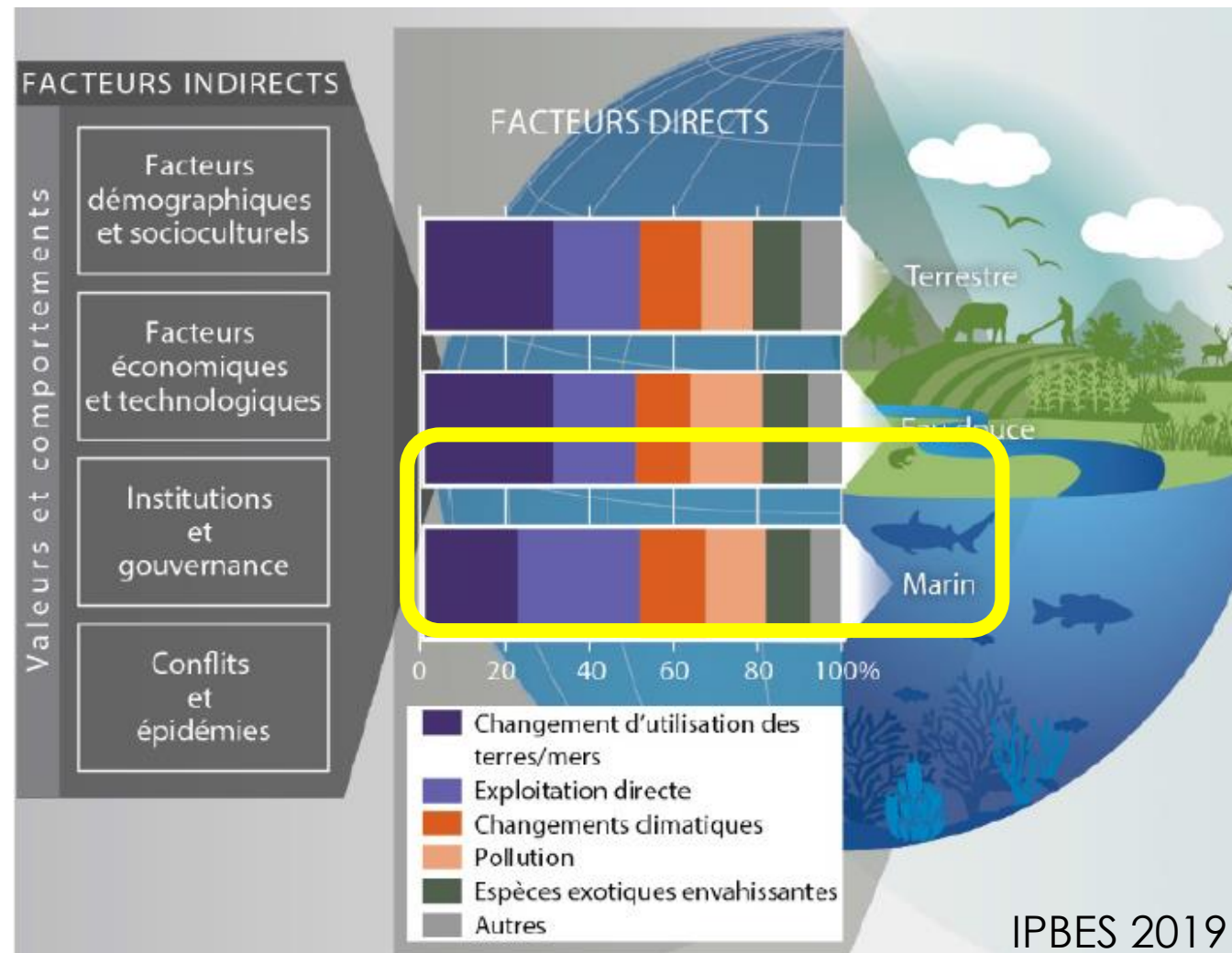
→ Diversité génétique: un carburant pour les processus sélectifs et les capacités d'adaptations

**La biodiversité marine est singulière
sur ses différentes composantes**



**Quelles pressions s'exercent sur
cette biodiversité marine?**

Cinq catégories de pressions liées aux activités humaines ont des impacts sur la biodiversité marine



- **Exploitation des ressources**

Ex. pression de pêche; chalut trainant sur 50 millions de km²

- **Changements d'usages en zones littorales et côtières**

40% pop. mondiale dans une ville côtière (ex. impacts = fertilisants entraînant des zones mortes anoxiques équivalent à la surface du Royaume-Uni; IPBES 2019)

- **Changement climatique**

Un moteur global, une pression croissante; Cf. travaux de l'IPCC

- **Pollution**

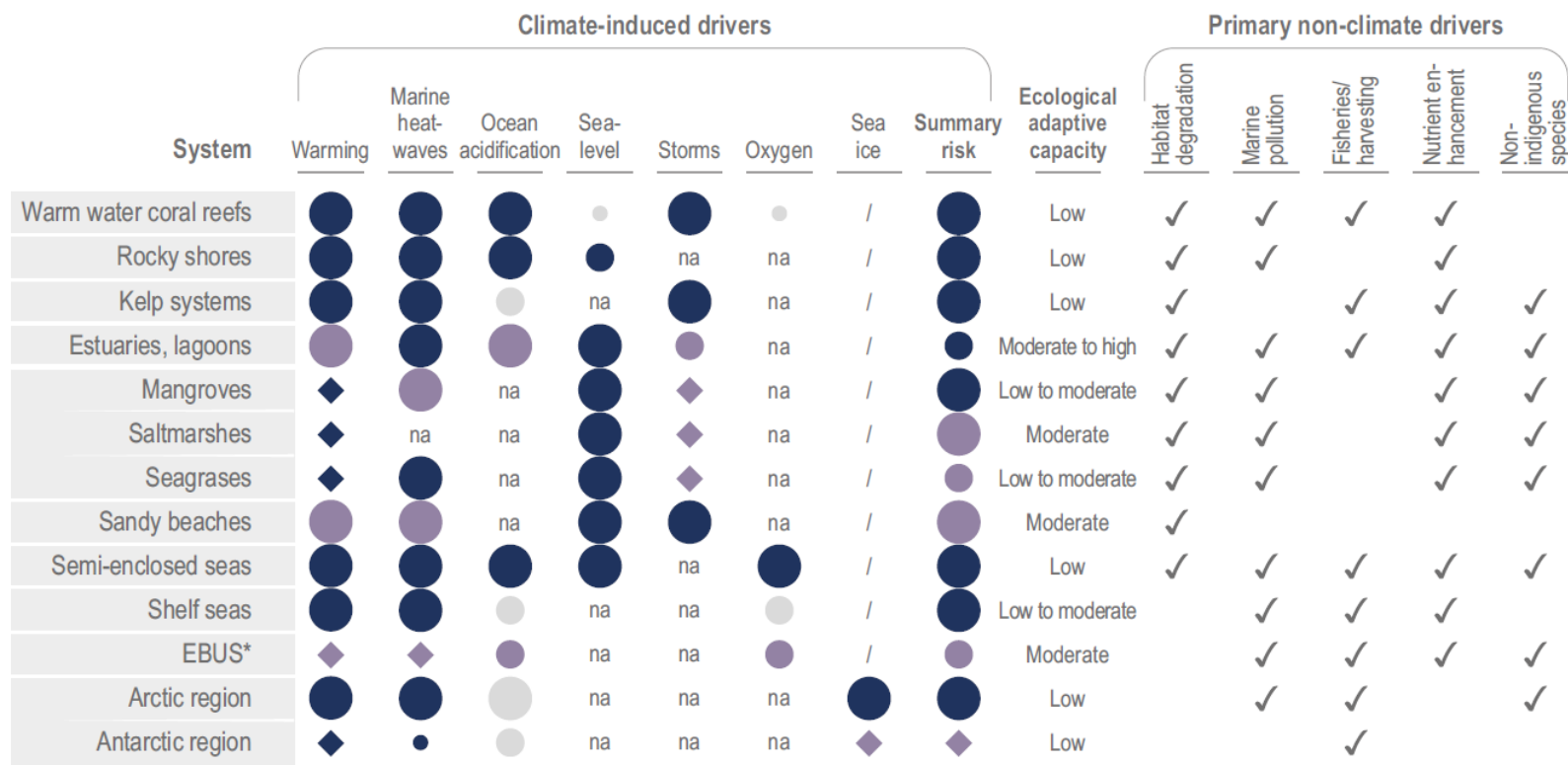
Ex. plastique, X10 en 40 ans

- **Espèces invasives**

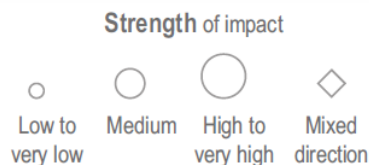
Ex. x4 en Mer Méditerranée entre 1970 et 2012

Aucun écosystème ou biome n'est épargné

Les pressions, liées ou non au changement climatique, sont cumulatives



* Eastern Boundary Upwelling Systems



na = no data or not assessed
 / = not applicable

Intensités variables selon les regions

Par pression, ex. artificialisation

Current and projected global extent of marine built structures

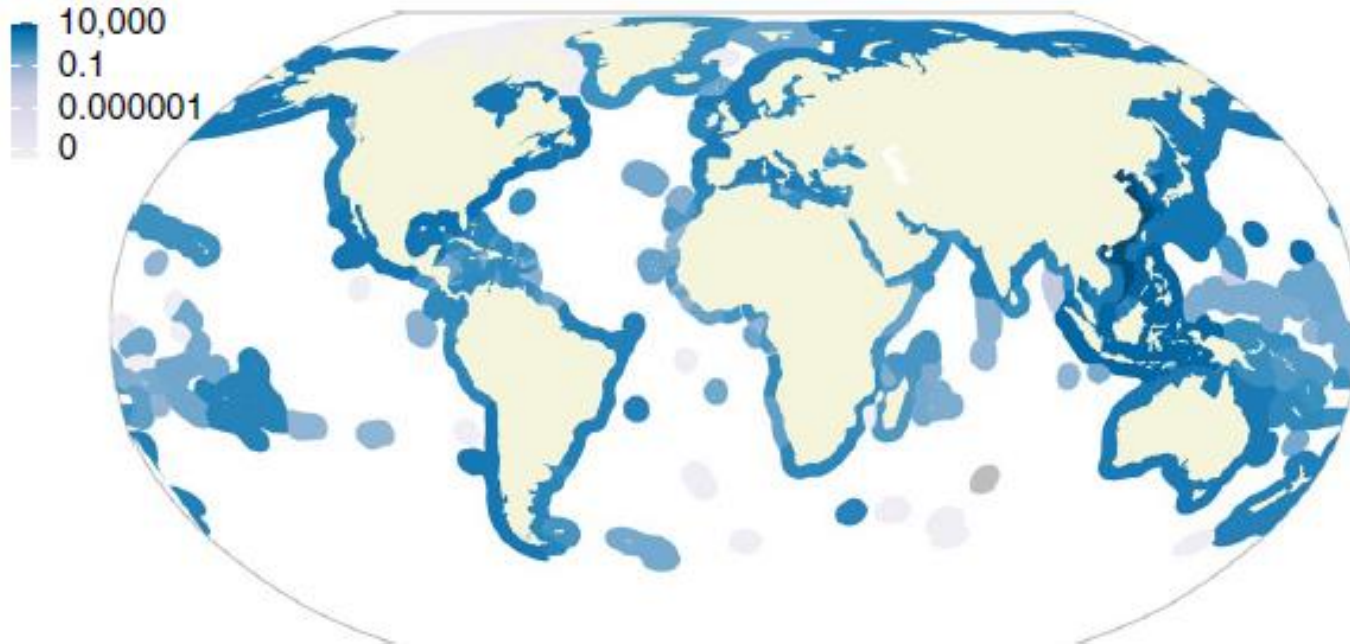
Nature Sustainability, 2020

A. B. Bugnot^{1,2,3}, M. Mayer-Pinto^{2,3}, L. Airoidi^{4,5}, E. C. Heery⁶, E. L. Johnston³, L. P. Critchley⁷, E. M. A. Strain⁸, R. L. Morris⁹, L. H. L. Loke¹⁰, M. J. Bishop⁷, E. V. Sheehan¹¹, R. A. Coleman¹ and K. A. Dafforn^{2,10}

“In 2018, marine construction affected 0.7-2.4% of global Exclusive Economic Zone, comparable to the global extent of urban land (0.02-1.7%)”

Impacts estimés sur 1 à 3 millions de km²
Aquaculture = 71%
Infrastructures portuaires = 14%
Récifs artificiels = 11%

a Physical footprint of marine construction (km²)



Intensités variables selon les regions Par pression, ex. artificialisation, et en cumulant les pressions

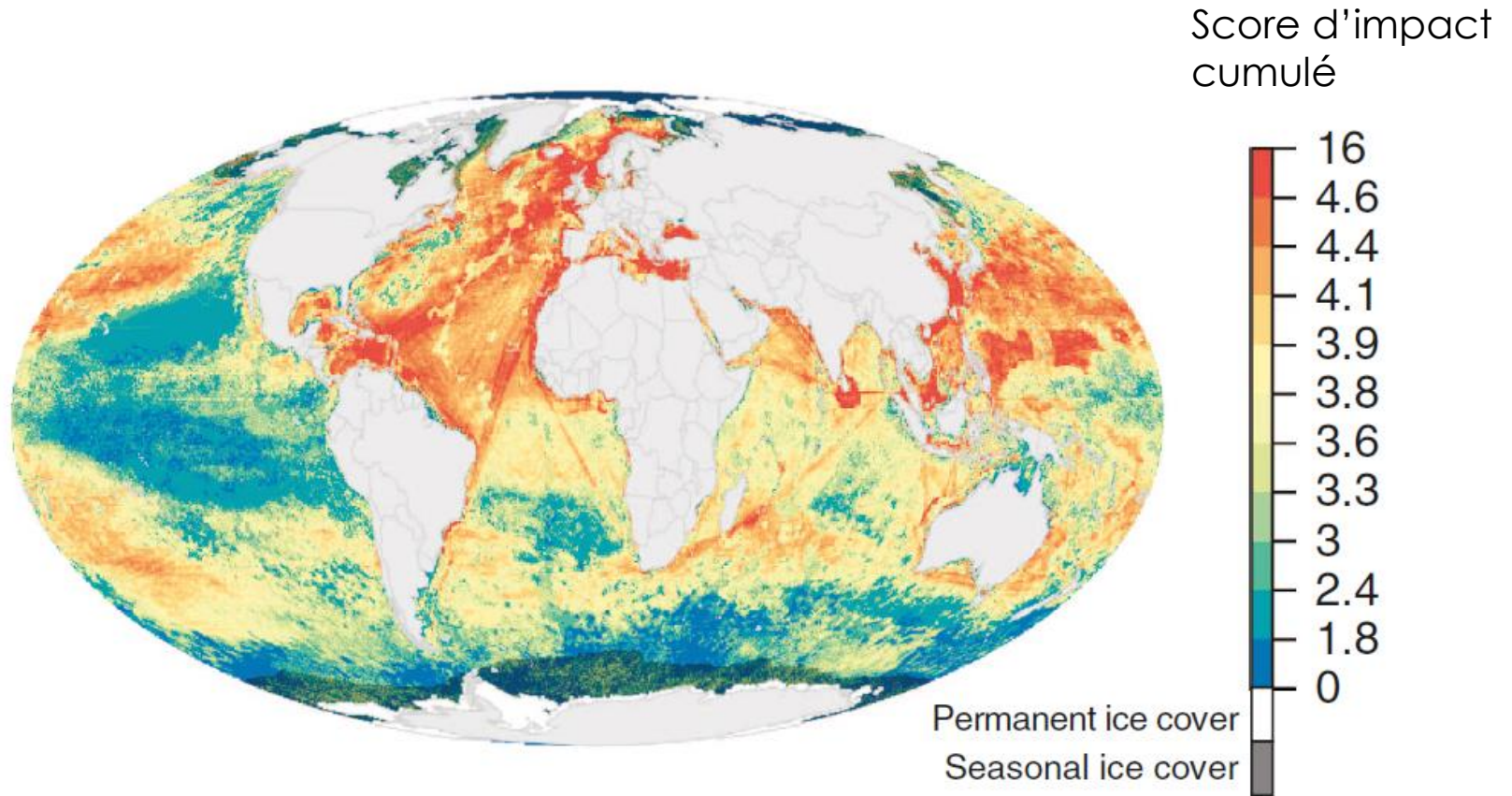


Figure 4 | Cumulative human impact to marine ecosystems as of 2013.

Le cumul de ces pressions a des effets amplificateurs

Changement climatique
Usages /urbanisation
Espèces invasives

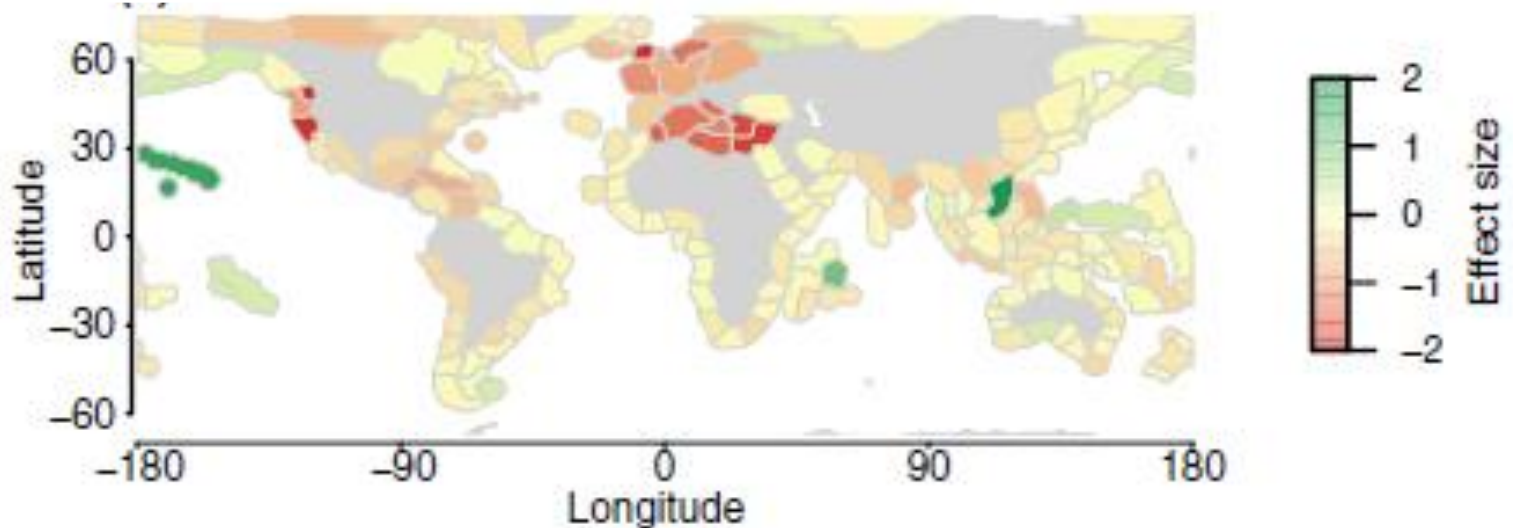
Ex. Impacts écologiques des espèces invasives accrus là où les populations humaines sont les plus denses, et les impacts cumulés (SST, ENI, densité) les plus grands

→ “Points chauds” de vulnérabilité = côtes urbanisées et soumises à forts impacts CC.

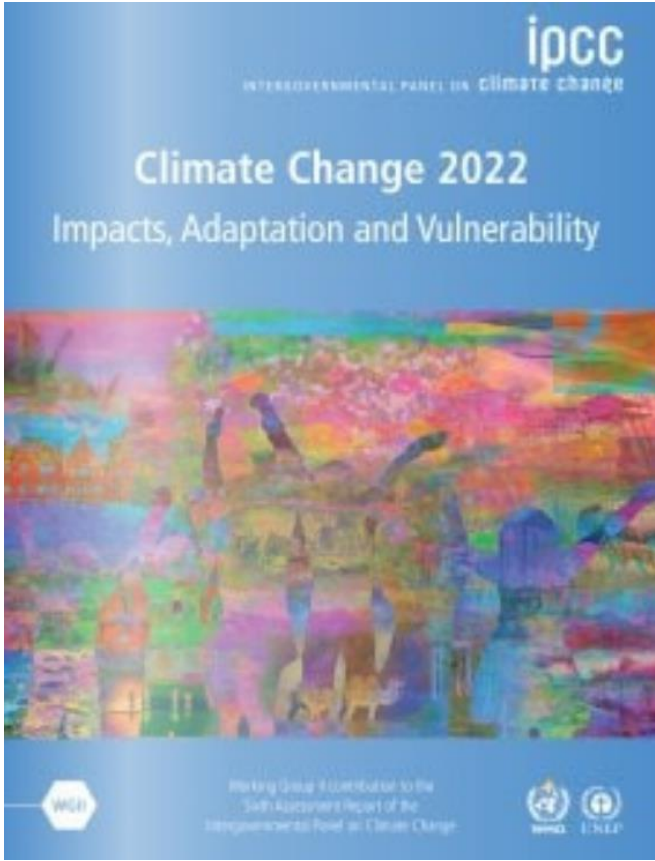
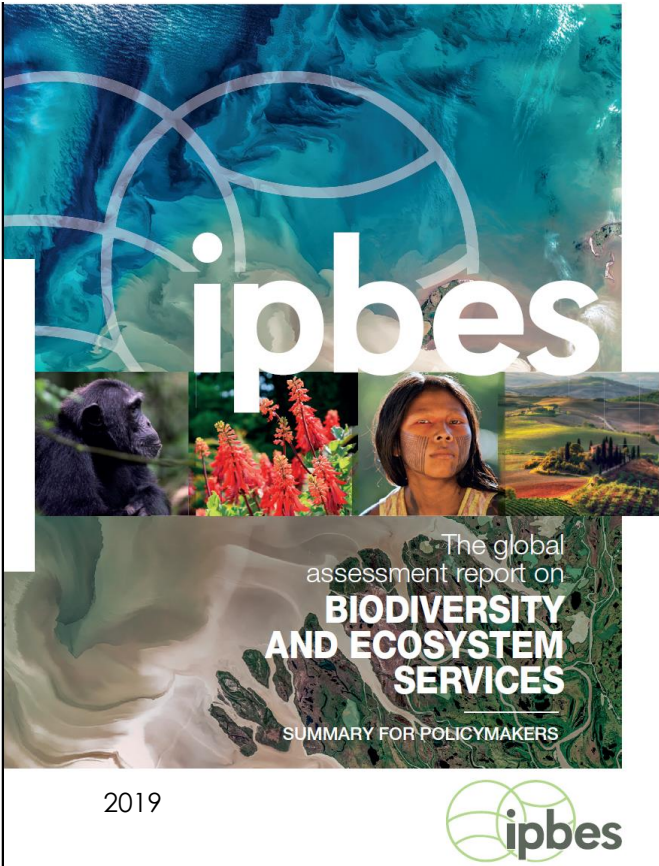
Ecological effects of non-native species in marine ecosystems relate to co-occurring anthropogenic pressures

Nathan R. Gerald¹ | Andrea Anton¹ | Julia Santana-Garcon² | Scott Bennett² |
Nuria Marbà² | Catherine E. Lovelock³ | Eugenia T. Apostolaki⁴ | Just Cebrian^{5,6,7} |
Dorte Krause-Jensen^{8,9} | Paulina Martinetto¹⁰ | John M. Pandolfi¹¹ | Carlos M. Duarte¹

Effets sur biodiversité (richesse spécifique) autochtone



Globalement, 66% de la surface des océans (77% ZEE) sont soumis à ces pressions (75% en milieu terrestre, >85% zones humides)

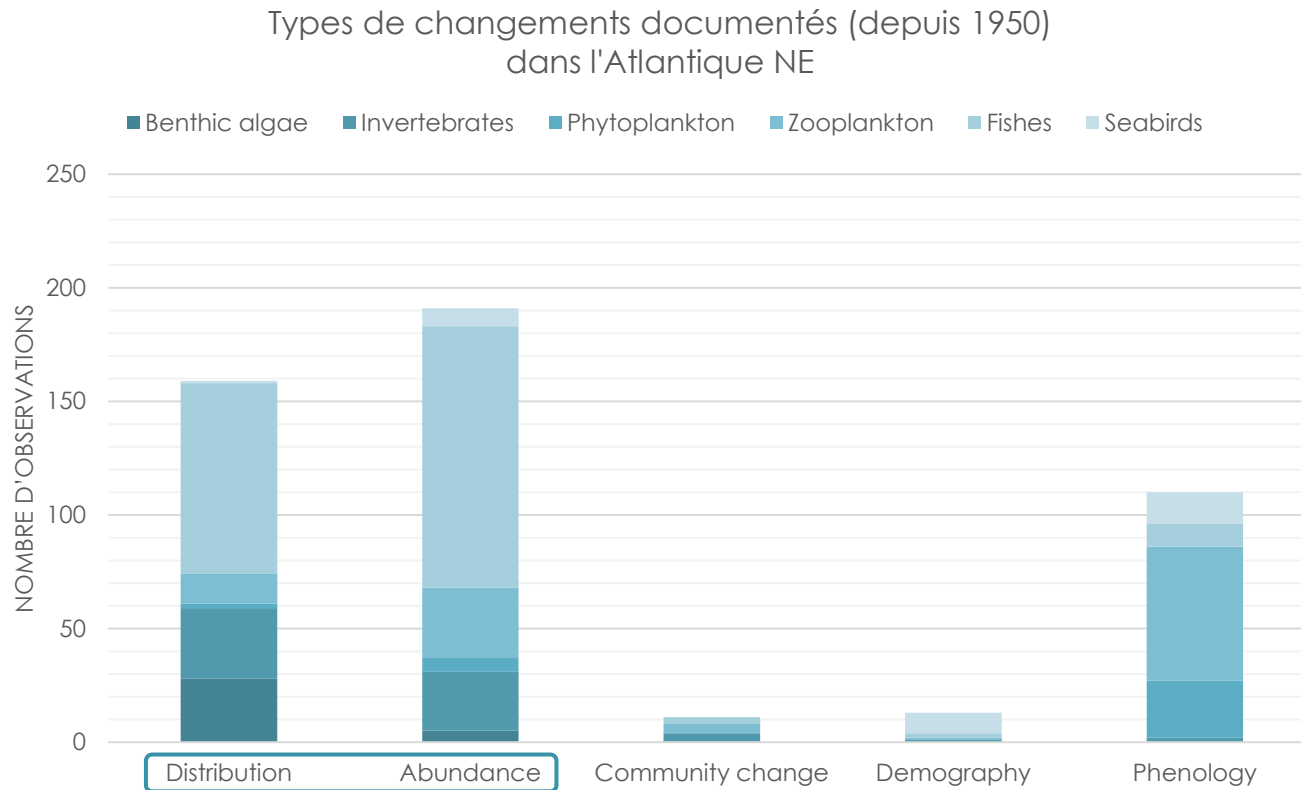


De multiples pressions liées aux activités humaines s'exercent sur l'ensemble des milieux marins



Quelles sont les réponses observées à ce jour?

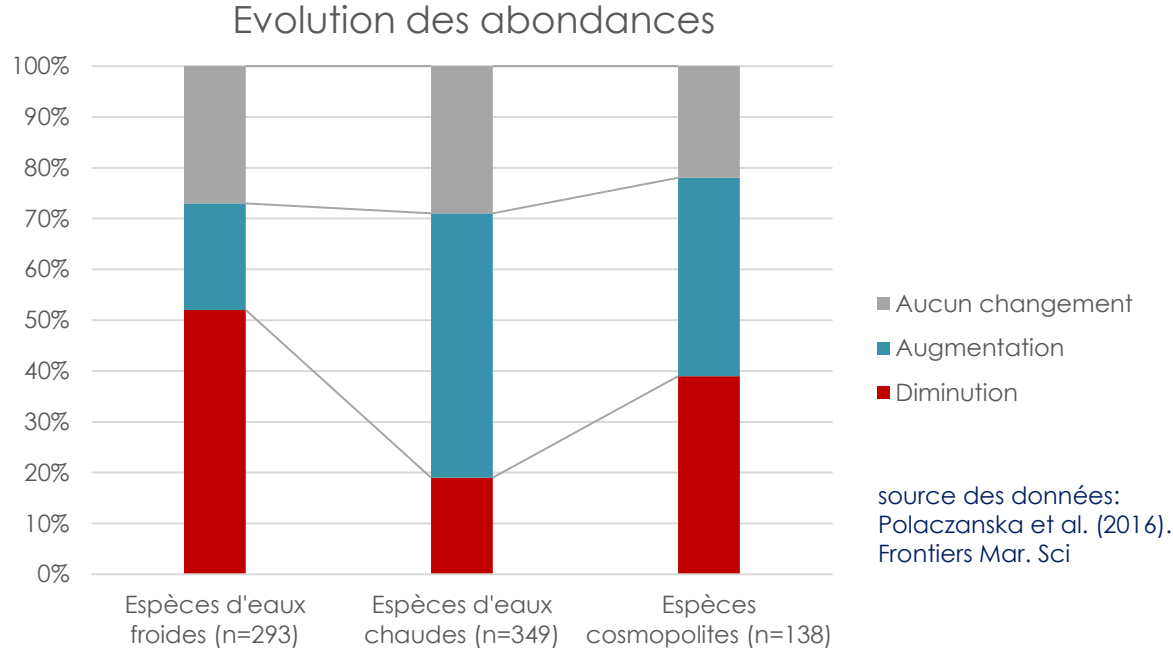
Plusieurs types de changements, au niveau des populations, espèces et communautés, dans les différents groupes taxinomiques



source des données: Polaczanska et al. (2013)

Changements d'abondance

Diminution (52% chez les espèces d'eaux froides) mais aussi augmentation (52% chez les espèces d'eaux chaudes), en accord avec prédiction des effets du CC pour les ectothermes




source des données:
Poloczanska et al. (2016).
Frontiers Mar. Sci

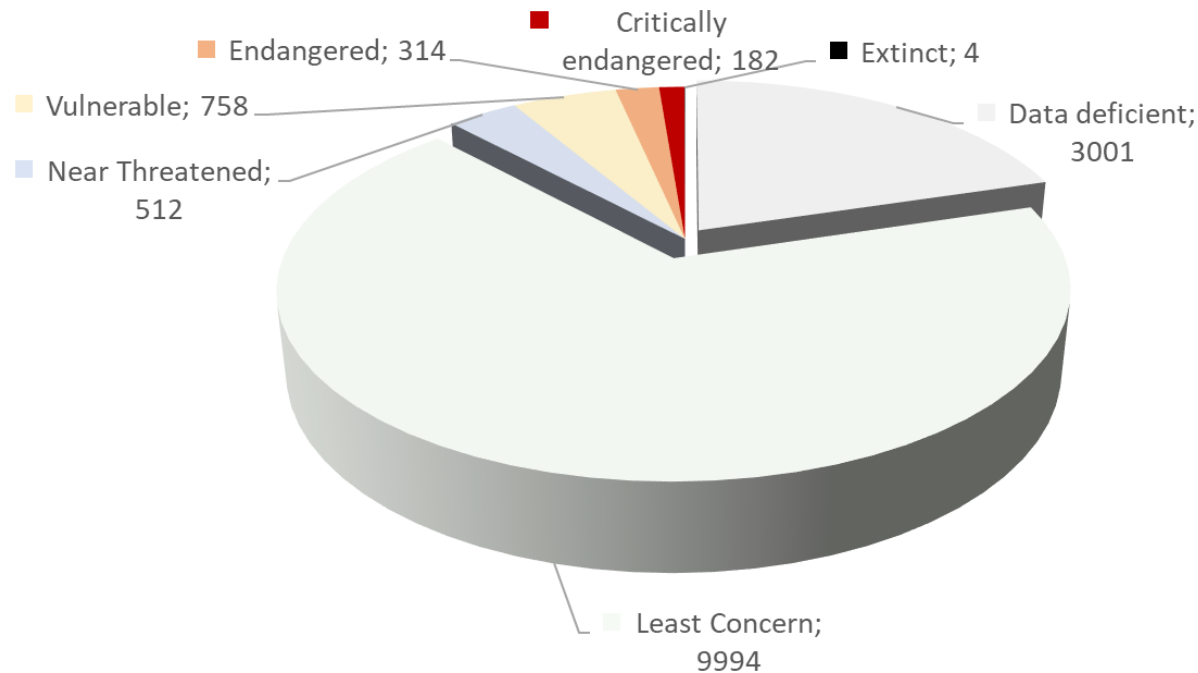


Ex. *Semibalanus balanoides* vs. *Chtamalus* spp.
Poloczanska et al. 2008

- Réponse variable selon les régions, ex. pour les forêts de grandes algues brunes, en moyenne stable mais déclin (38%) et accroissement (27%) selon les écorégions (Krumhansl et al. 2016)

Déclin de l'abondance → risques d'extinctions

- 182 espèces marines en danger critique (données IUCN sept. 2022)
-  242 000 espèces décrites mais seulement 6% évaluées...
- Menacées: 37% élastomobranches, 33% coraux & mammifères (IUCN 2022); 25% parmi 1306 invertébrés pour lesquels des données existent (Young et al. 2016)



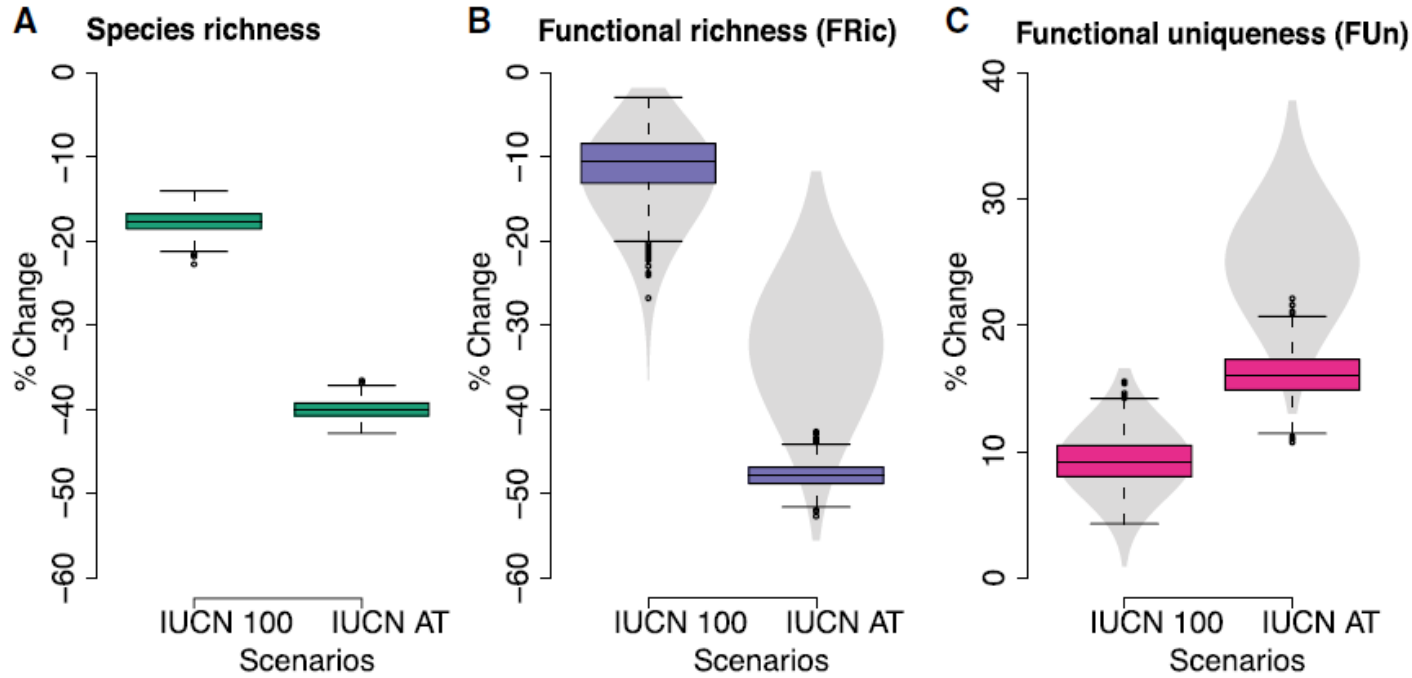
Source: IUCN – 9 sept. 2022

- Dans les 50 dernières années, aucune extinction globale (Young et al. 2016); à pondérer avec l'anémone d'Ivell et la raie *Urolophus javanicus* - statut en danger critique « possibly extinct » (IUCN 2022)
- Mais de très nombreuses **extinctions locales**, ex. 1/3 des espèces de poissons et d'invertébrés des côtes N. Américaines (McCauley et al. 2015)

Extinctions

- diminution de la diversité taxinomique & fonctionnelle
- impact sur la resilience des écosystèmes
(vulnérabilité accrue par moindre redondance fonctionnelle)

Megafaune marine - scenarios d'extinctions IUCN



Extinctions locales par changements d'aires de distribution

→ Contraction (extinction locale) vs. expansion (colonisation)

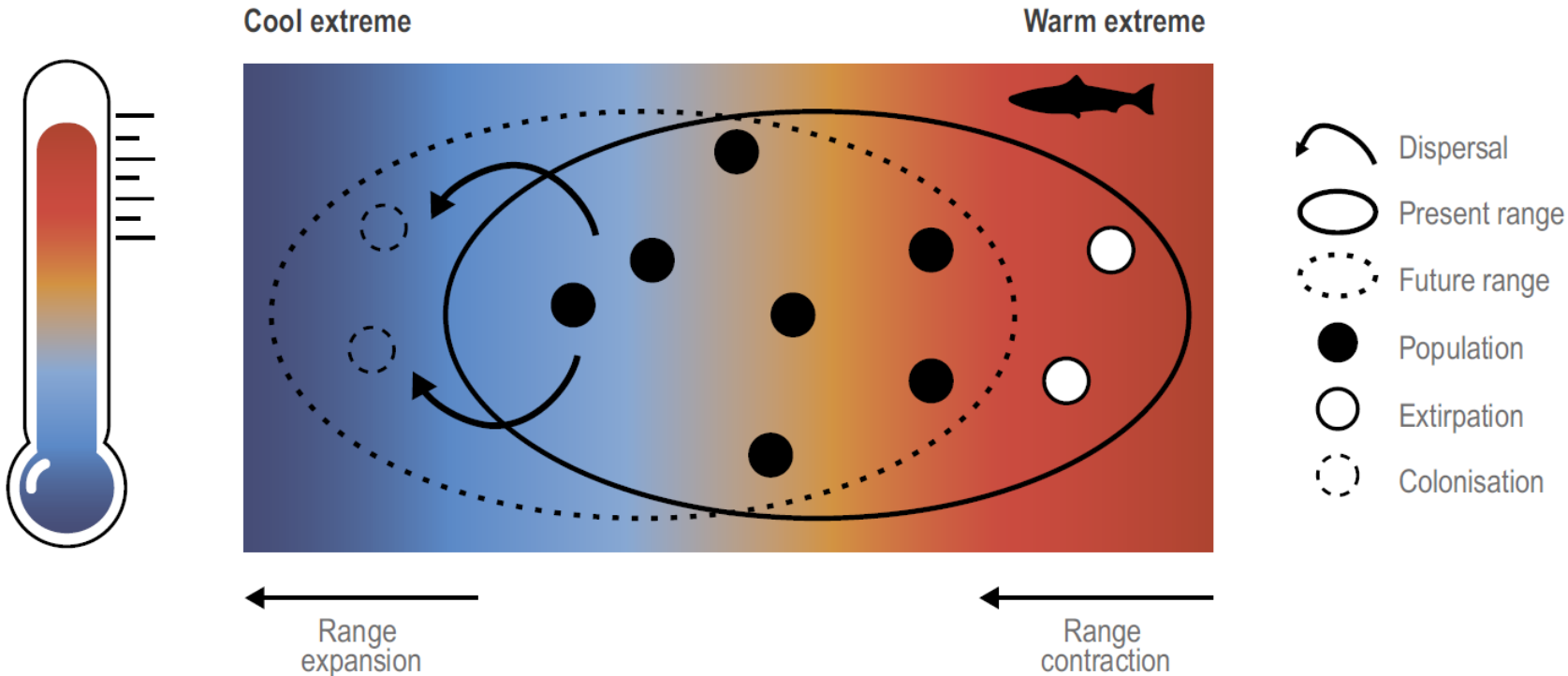


Figure: IPCC 2022 ; Pinsky et al. 2020

Changements d'aire de distribution

Latitudinaux

Global Change Biology (2009) 15, 1790-1803, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01848.x

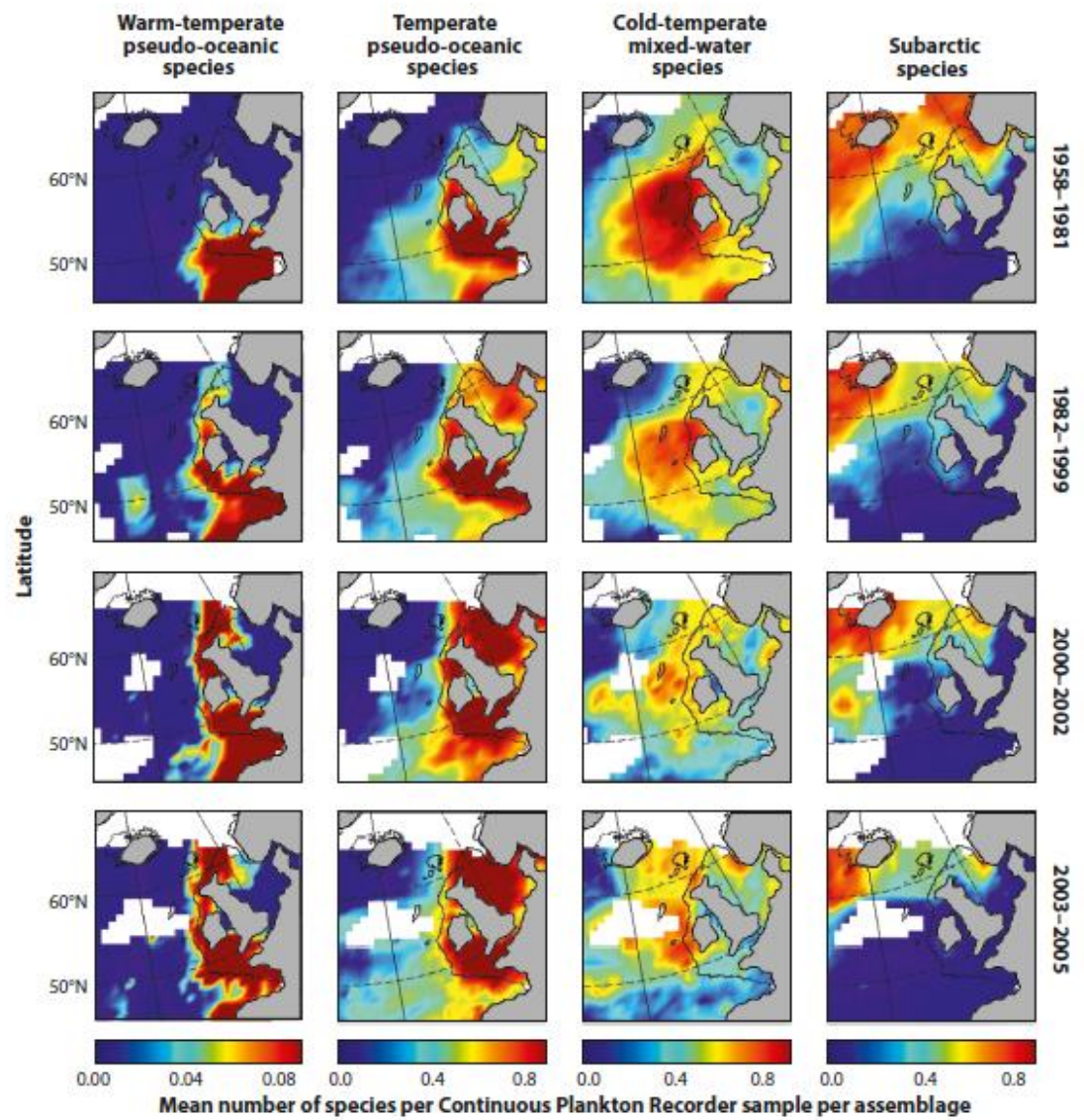
Rapid biogeographical plankton shifts in the North Atlantic Ocean

GREGORY BEAUGRAND*, CHRISTOPHE LUCZAK** and MARTIN EDWARDS†§

Copépodes
Séries temporelles d'observation (CPR)

Espèces pseudo-océaniques des eaux chaudes: 23 km/an

[esp. terrestres: 610 m/an]

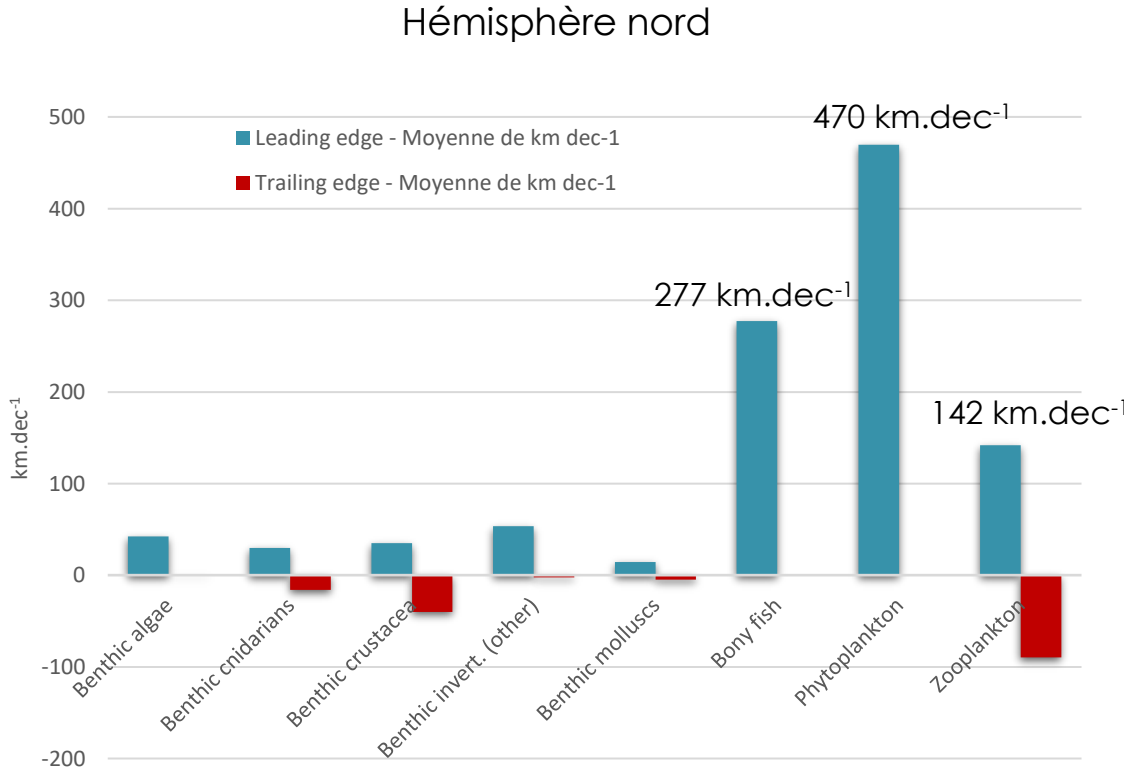


Changements d'aire de distribution

→ Déplacements documentés chez de nombreux groupes

(ex. meta-analyses/revue Polaczanska et al., 2013, 2016; Beaugrand & Kirby 2019, Lenoir et al. 2019, Pinsky et al. 2020)

- Principalement vers les pôles
- Asymétrie → changement moindre sur le front arrière (contraction)
- Sur le front avant, expansion fonction des capacités de dispersion (taxons pélagiques ou très mobiles)
- En moyenne (1735 espèces), 74 km/décennie à l'échelle du globe

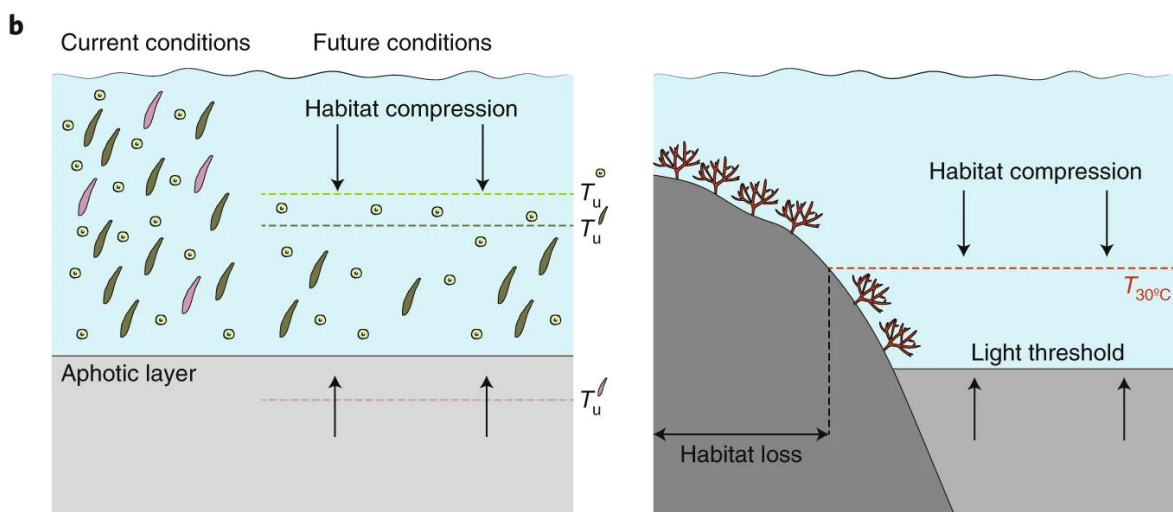
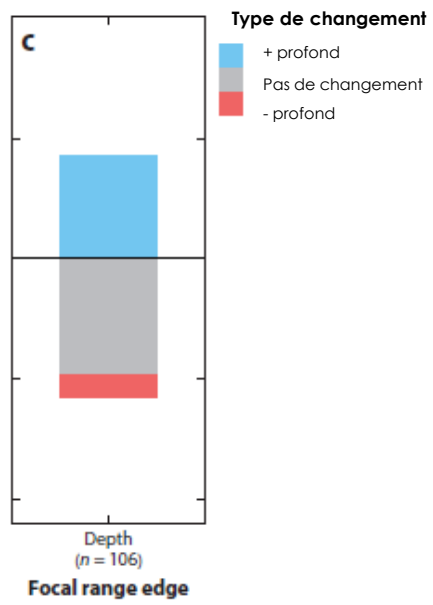


Source des données: Polaczanska et al. (2013)
208 études, 857 espèces (majorité Hemisph. N et tempéré)

Changements d'aire de distributions

Dans les trois dimensions

Déplacement pas seulement latitudinal: déplacement également le long des gradients de profondeur, avec de possibles effets de « compression d'habitat » (Jorda et al. 2020 Nat. Ecol. Evol.)



Annual Review of Marine Science
 Climate-Driven Shifts in
 Marine Species Ranges:
 Scaling from Organisms
 to Communities

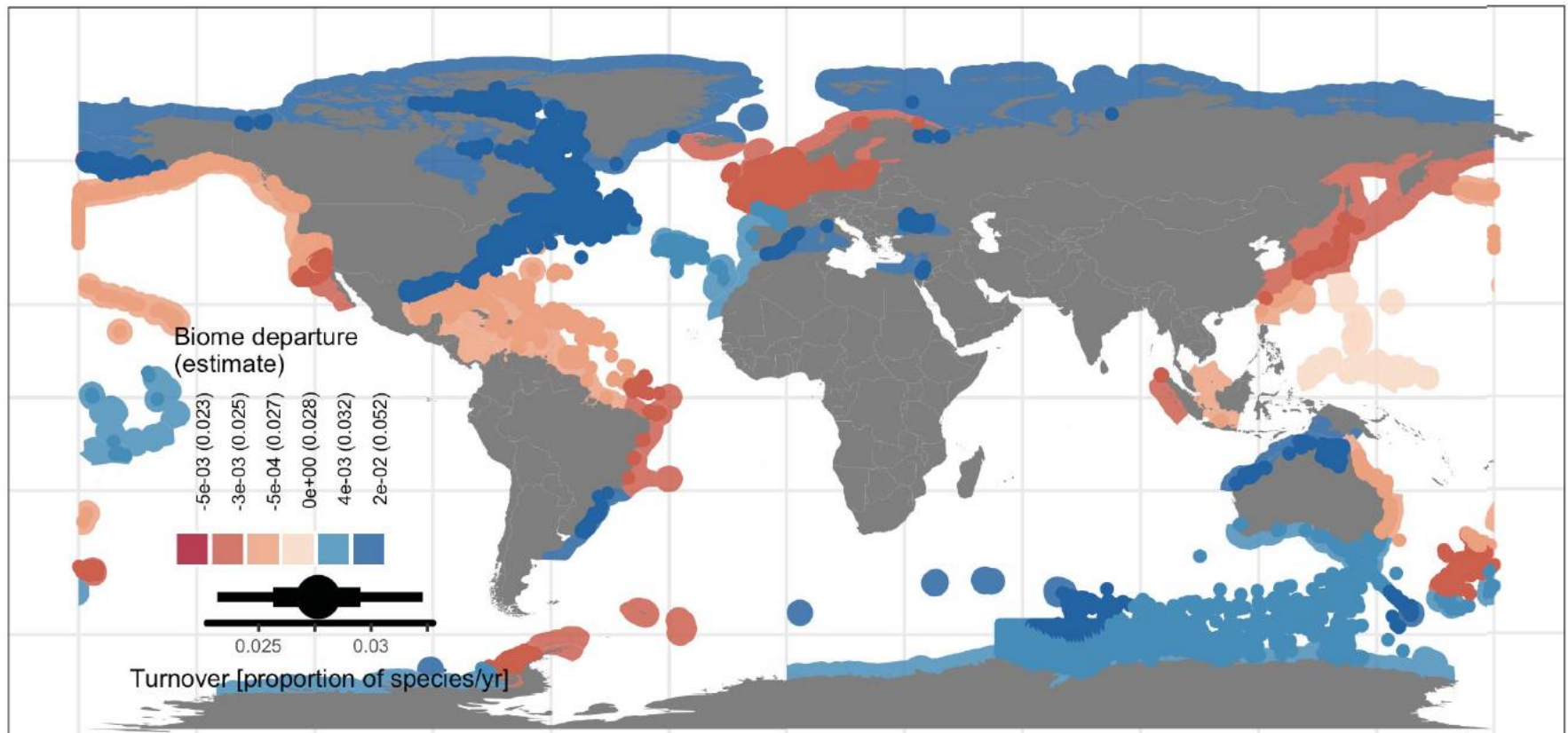
Malin L. Pinsky, Rebecca L. Selden, and Zoë J. Kitchel
 Department of Ecology, Evolution, and Natural Resources, Rutgers University, New Brunswick,
 New Jersey 08901, USA; email: malin.pinsky@rutgers.edu

Figure issue de Molinos et al. 2020 Nat. Ecol. Evol.
 (ref. Jorda et al. 2020 Nat. Ecol. Evol.)

Changements de distributions – les conséquences...

La richesse spécifique a peu évolué au contraire de la composition des communautés qui a évolué rapidement (turn-over)

→ Emergence de nouveaux assemblages d'espèces et donc interactions écologiques et évolutives



Changements de distributions – les conséquences...

Changements de composition des communautés

- Homogénéisation locale
- modification des interactions spécifiques

Exemple: relations proies-prédateurs

Déplacement d'aire d'une espèce d'oursin herbivore → diminution d'abondance des macro-algues, sauf dans les zones en réserve de pêche (oursin: proie des langoustes)

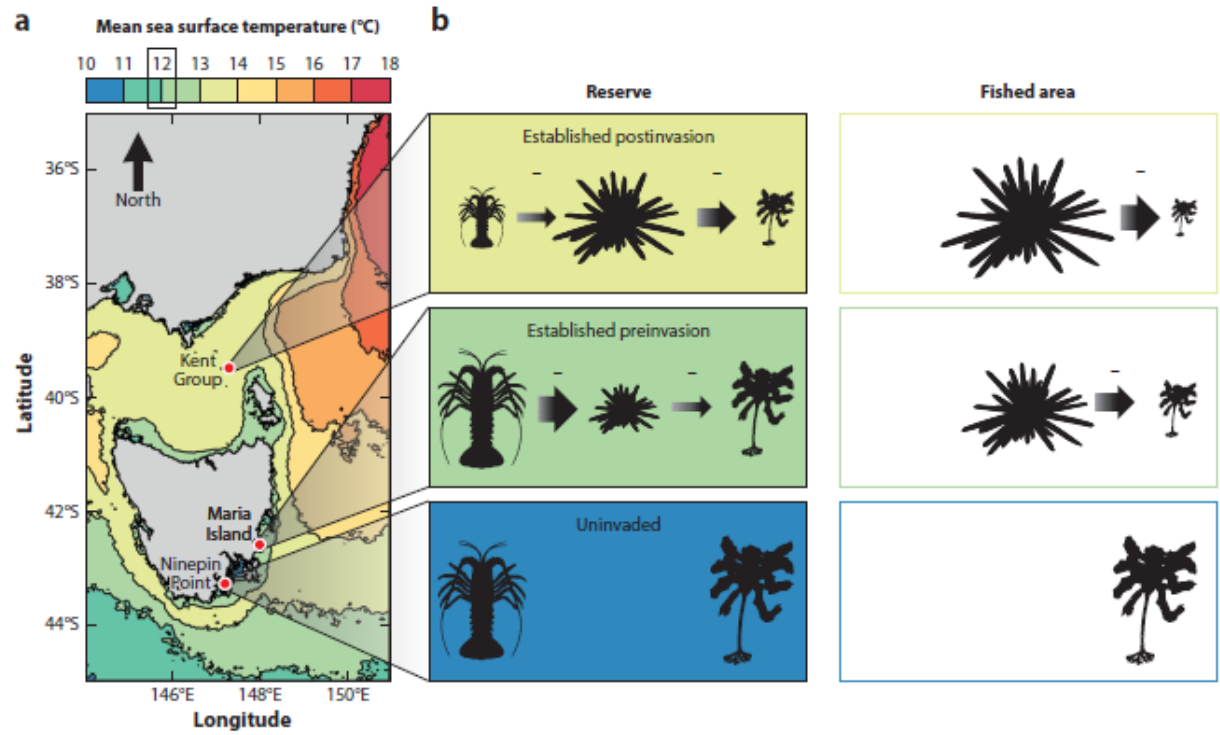


Figure issue de Pinsky et al. (2020). Ann. Rev. Mar. Sci.

Changements d'aire de distribution



« S'acclimater, s'adapter ou s'échapper »

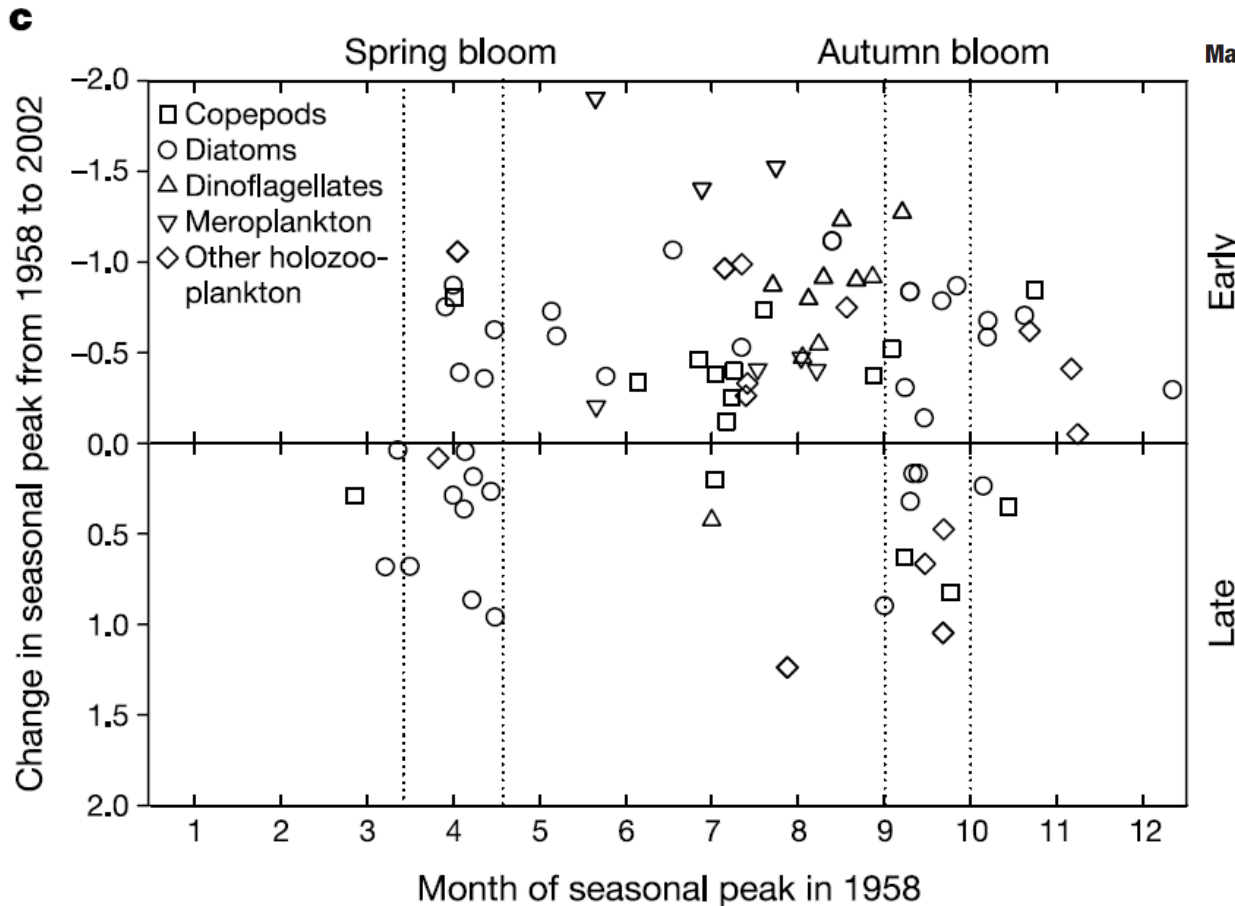
Décalage de phénologie (acclimatation)

une réponse qui est limitée (tolérance, niche réalisée etc.)

Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch

Martin Edwards & Anthony J. Richardson

Nature 2004



Modifications génétiques (adaptation contemporaine)

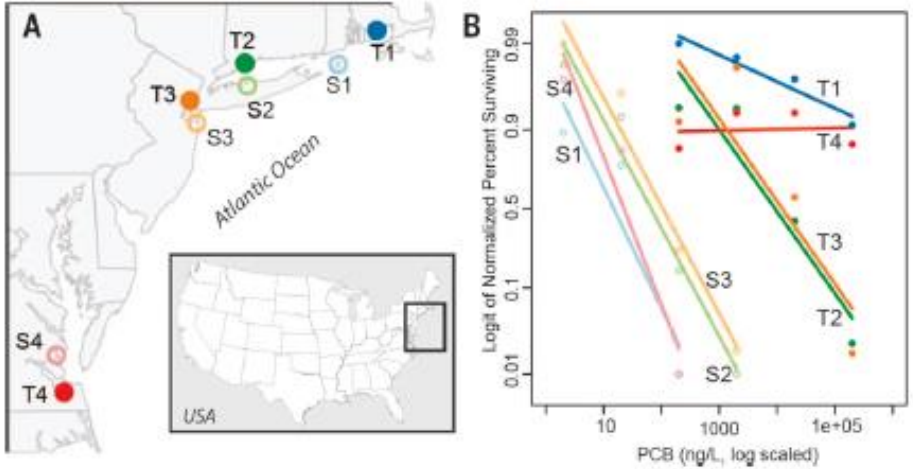
- Mobilisation de la variation génétique préexistante ou issue d'hybridation post contacts secondaires
- Observées chez des espèces à temps de générations courts (ex. phytoplancton) ou dans des cas où les pressions de sélection sont très fortes (ex. adaptation aux hydrocarbures)

The genomic landscape of rapid repeated evolutionary adaptation to toxic pollution in wild fish

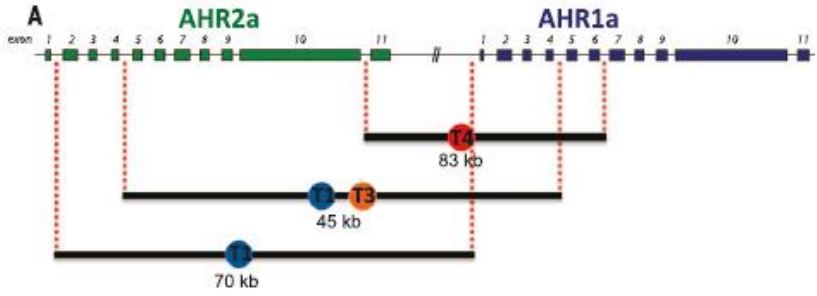
Noah M. Reid,¹ Dina A. Proestou,² Bryan W. Clark,³ Wesley C. Warren,⁴ John K. Colbourne,⁵ Joseph R. Shaw,^{5,6} Sibel I. Karchner,^{7,8} Mark E. Hahn,^{7,8} Diane Nacci,⁹ Marjorie F. Oleksiak,¹⁰ Douglas L. Crawford,¹⁰ Andrew Whitehead^{1*}



Brian Gratwicke
Creative Commons Attribution 2.5



Délétions sur les gènes codant pour le récepteur d'aryl hydrocarbure
Mécanismes de réponses (tolérance; detoxification) aux hydrocarbures





En résumé...
constats et questionnements

1. Des changements mesurables pour les différentes composantes de la biodiversité en réponse aux pressions, locales ou globales, exercées par les activités humaines

Diversité taxonomique → changement des communautés
Diversité fonctionnelle → résilience face aux perturbations
Diversité génétique → base d'une réponse évolutive

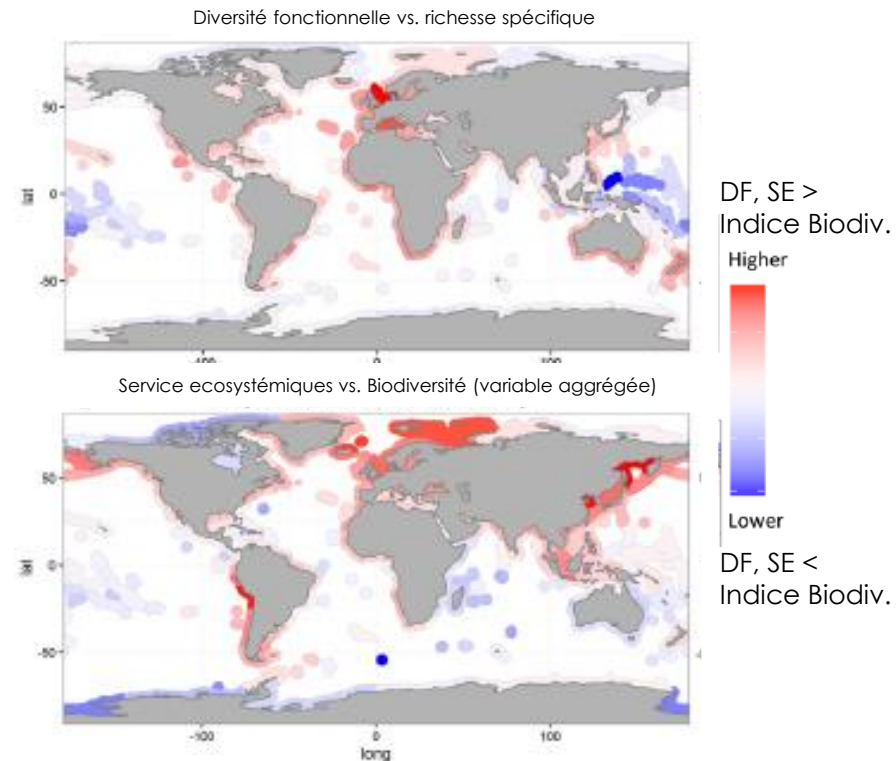
→ Que veut-on gérer et/ou préserver ?

A global mismatch in the protection of multiple marine biodiversity components and ecosystem services

Martin Lindegren¹, Ben G. Holt^{2,3}, Brian R. MacKenzie^{1,2} & Carsten Rahbek^{2,4}

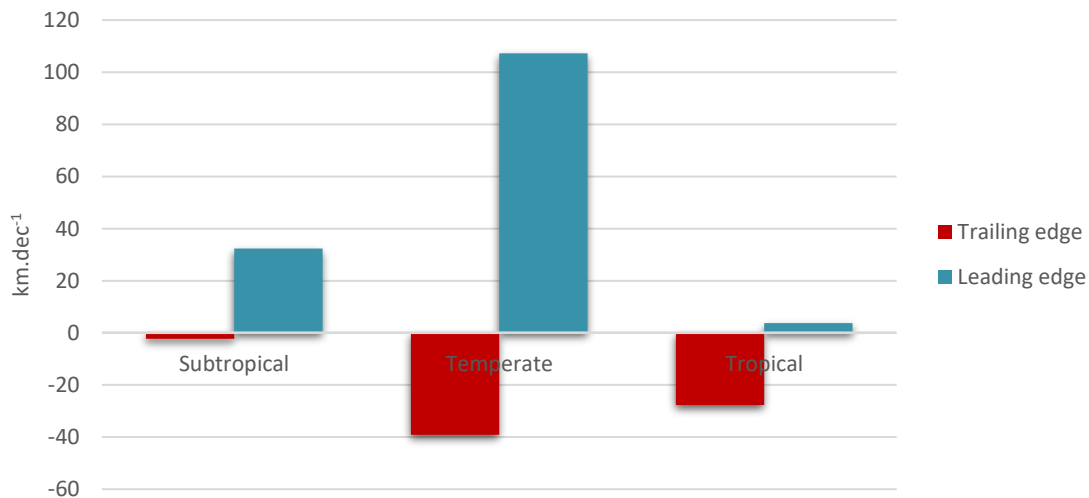
Scientific Reports - 2018

Non-adéquation spatiale entre variables
Non-adéquation spatiale avec services écosystémiques
Non-adéquation avec la localisation des AMPs



2. Un fort impact du changement climatique sur les déplacements d'espèces et changements de communautés

- Variations les plus rapides là où les isothermes ont bougé le plus vite (mais pas nécessairement en phase – vague d'avance ou retard)
- 80% des observations en accord avec les attendus liés au CC
- 38% des observations de contraction sur le front arrière là où réchauffement important



Source des données:
Polanczanska et al. (2013)

➔ Déplacement des espèces avec leur niche écologique en absence d'acclimatation ou d'adaptation

Beaugrand & Kirby (2018). Ann. Rev. Mar. Sci

Les autres pressions ne doivent pas être oubliées pour autant

Exemple: effet majeur de l'exploitation des ressources sur l'abondance des populations de poissons d'intérêt halieuthique

De plus, le cumul de ces pressions a des effets complexes en cascade

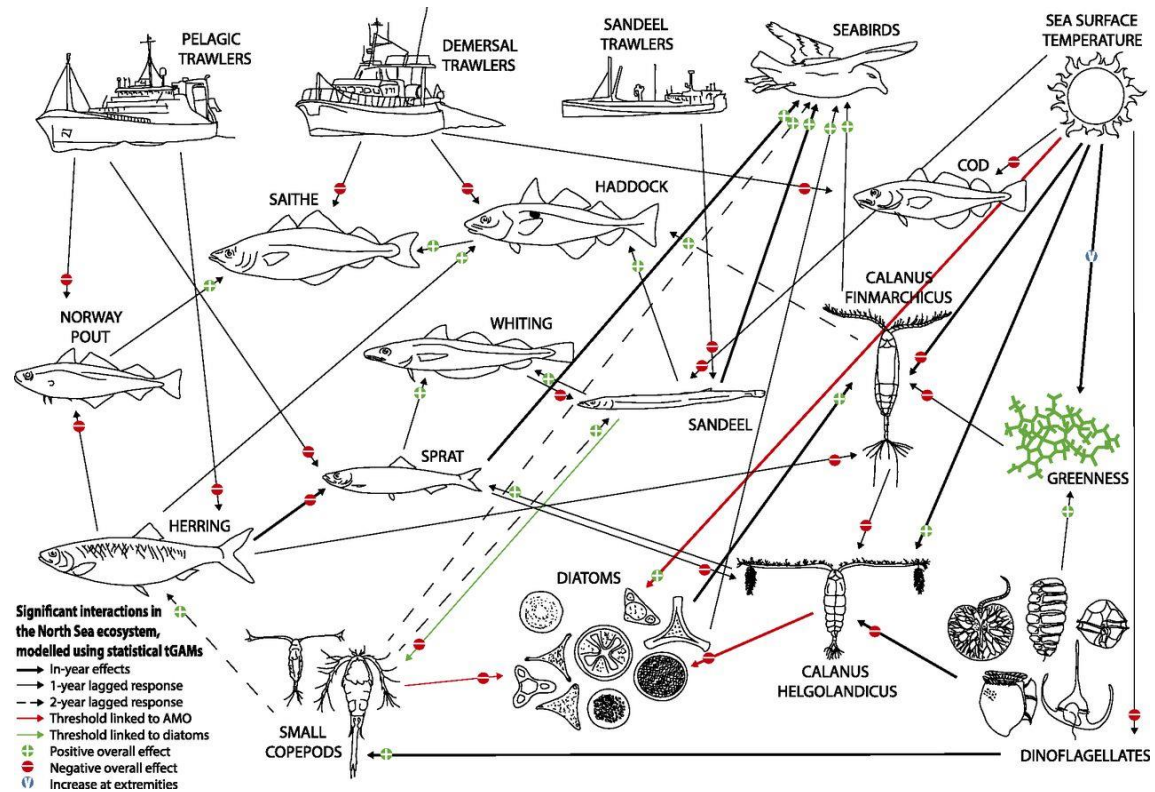
Changement climatique:

contrôle bottom-up

Exploitation des ressources:

contrôle top-down

→ Propriétés émergentes sur les interactions entre espèces du réseau trophique et sur l'écosystème



Interaction between top-down and bottom-up control in marine food webs

PNAS- (2017)

Christopher Philip Lynam^a, Marcos Llope^{b,c}, Christian Möllmann^d, Pierre Helaouët^e, Georgia Anne Bayliss-Brown^f, and Nils C. Stenseth^{a,b,h,1}

Figure issue de Lynam et al. (2017)

→ Comment gérer, préserver ?

- Prendre en compte les pressions cumulées

Ex. Gestion des pêches intégrant CC → atténuer les effets du CC & permettre une exploitation durable; Gaines et al. (2018), Free et al. (2020)

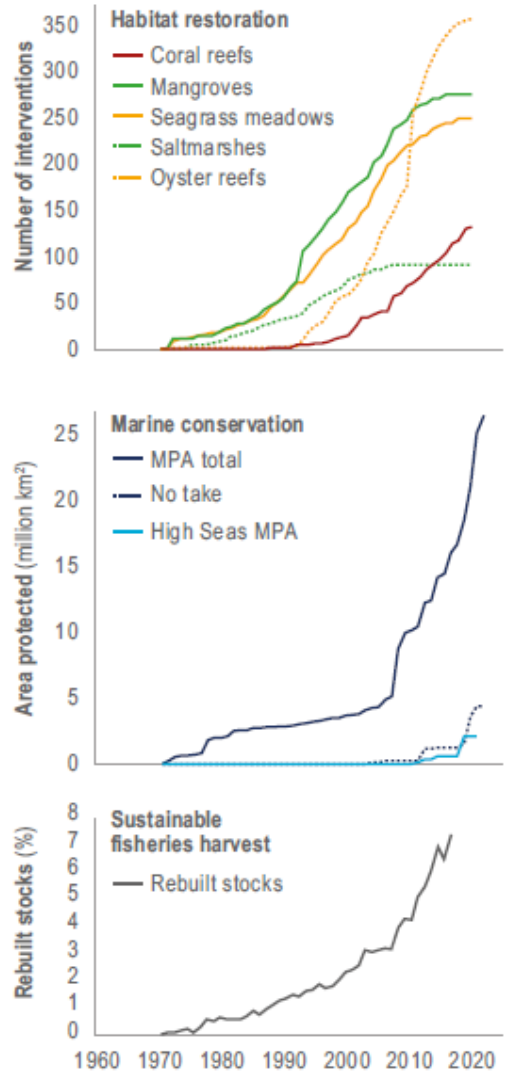
- Développer de réserves intégrales & inclure le CC dans le choix des réserves (refuges)

Aires protégées = 7.4% des océans (Diaz et al. 2020) mais 90% des AMPs autorisent la pêche

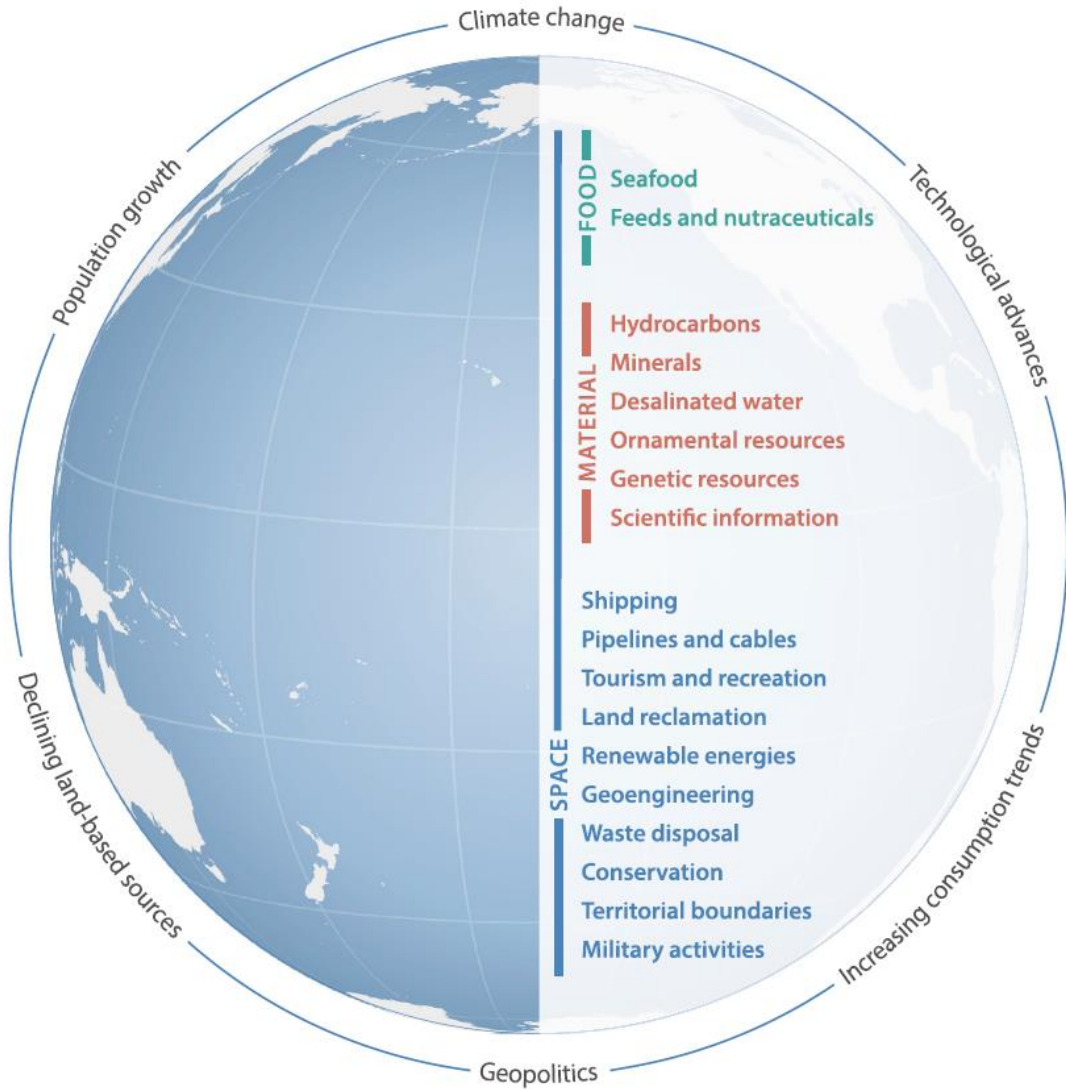
- Développer de nouvelles solutions, telles que les « solutions fondées sur la nature », ex. restauration d'habitats

Des SFN interventionnistes (ex. « Evolution assistée », « Translocation », « Construction de récifs naturels » etc.) sont débattues. Quid des propositions d' « évolution libre »?

(a) Implemented nature-based solutions



3. Une réflexion à mener dans un contexte d'intensification de l'utilisation et exploitation de l'océan mondial

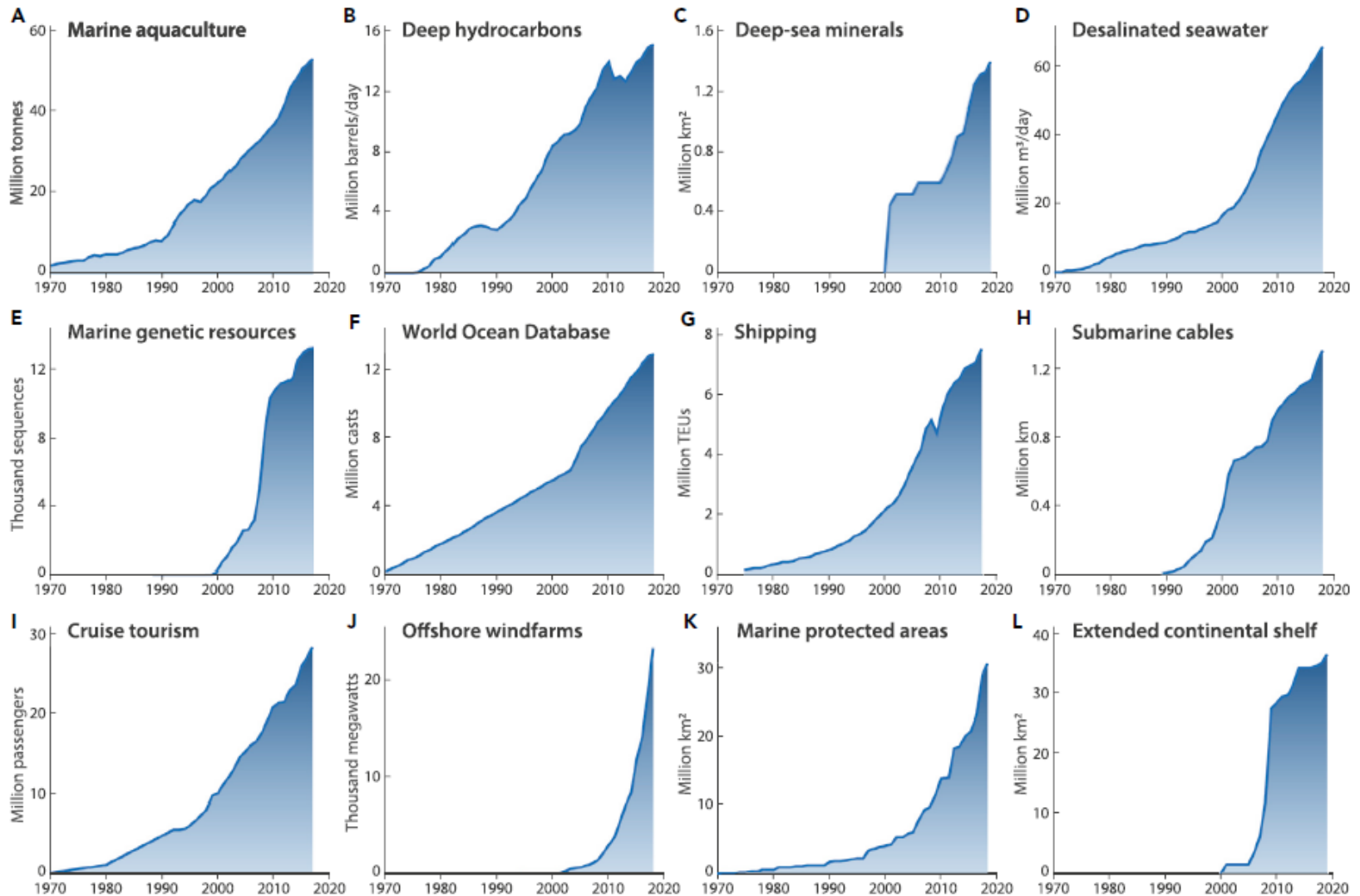


“The Ocean claims”

The Blue Acceleration: The Trajectory of Human Expansion into the Ocean

The Blue Acceleration: The Trajectory of Human Expansion into the Ocean

Jean-Baptiste Jouffray,^{1,2,*} Robert Blasiak,¹ Albert V. Norström,¹ Henrik Österblom,¹ and Magnus Nyström¹



La biodiversité marine à l'Anthropocène...

Des changements avérés, diversifiés et continus

- Des lacunes de connaissance (biais) → taxons, habitats, variables, usages etc.
→ **Comment mieux « Voir » les diversités et pressions, et leur évolution ?**
- Des processus multi-acteurs et multi-échelles à comprendre et décrypter
→ **Comment anticiper et/ou accompagner les changements ?**
- Un milieu soumis à des changements multi-échelles
→ **Quels seront les refuges à l'Anthropocène...?**

Quel futur pour la biodiversité marine?

Merci de votre attention...

