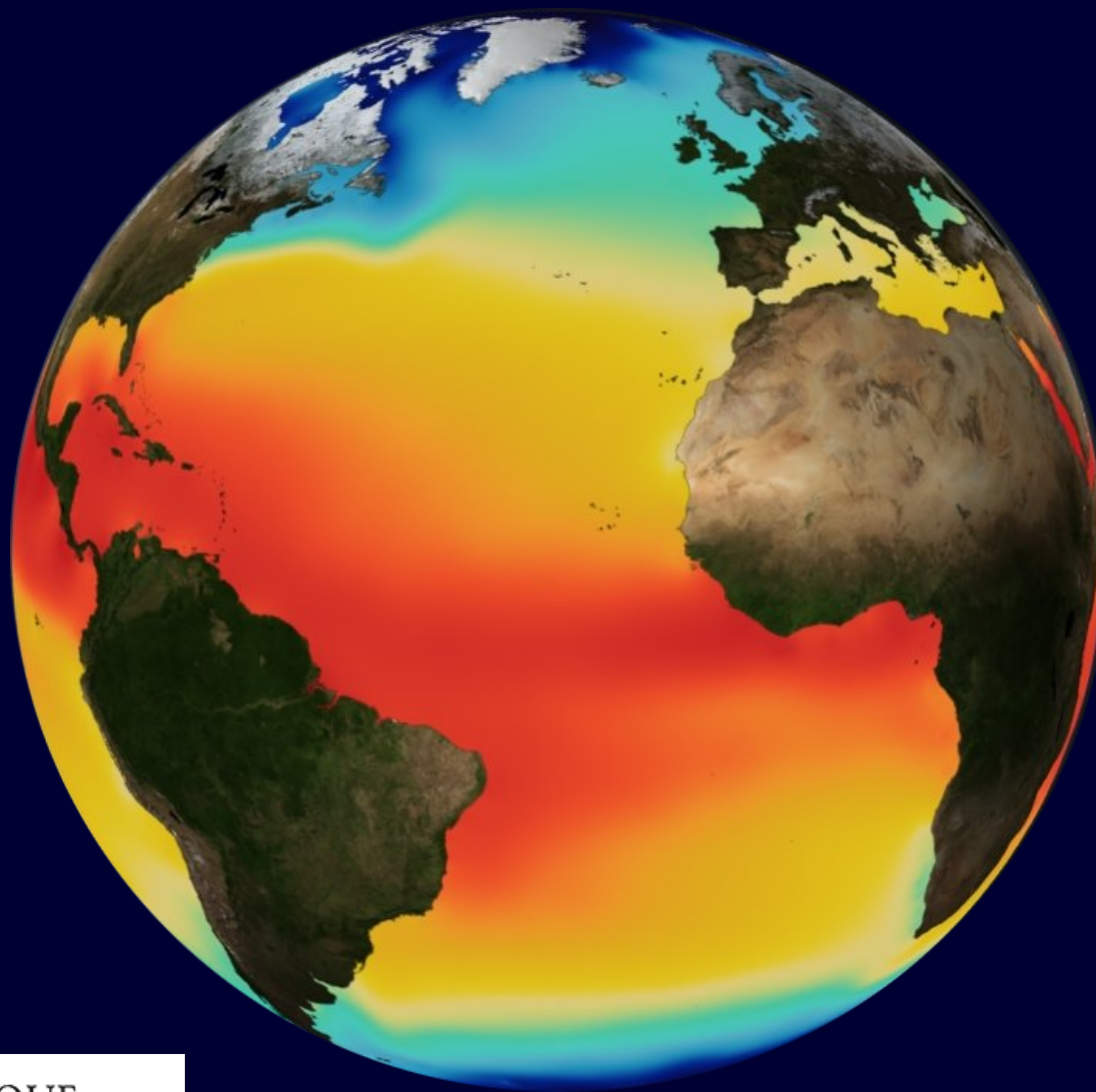
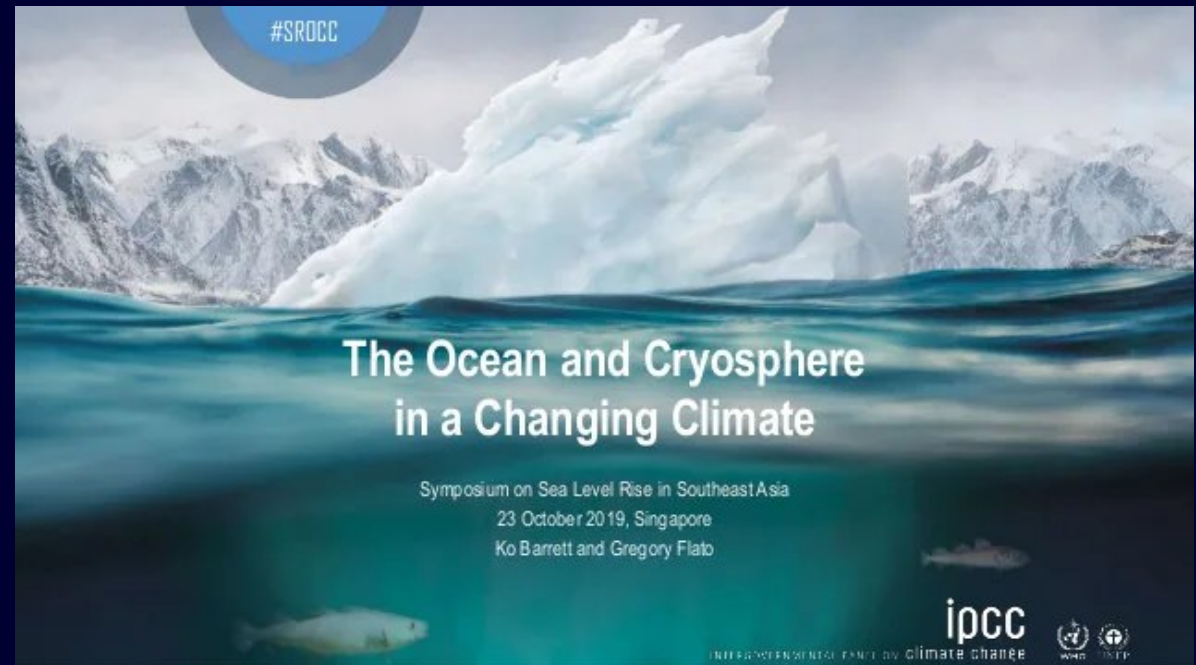
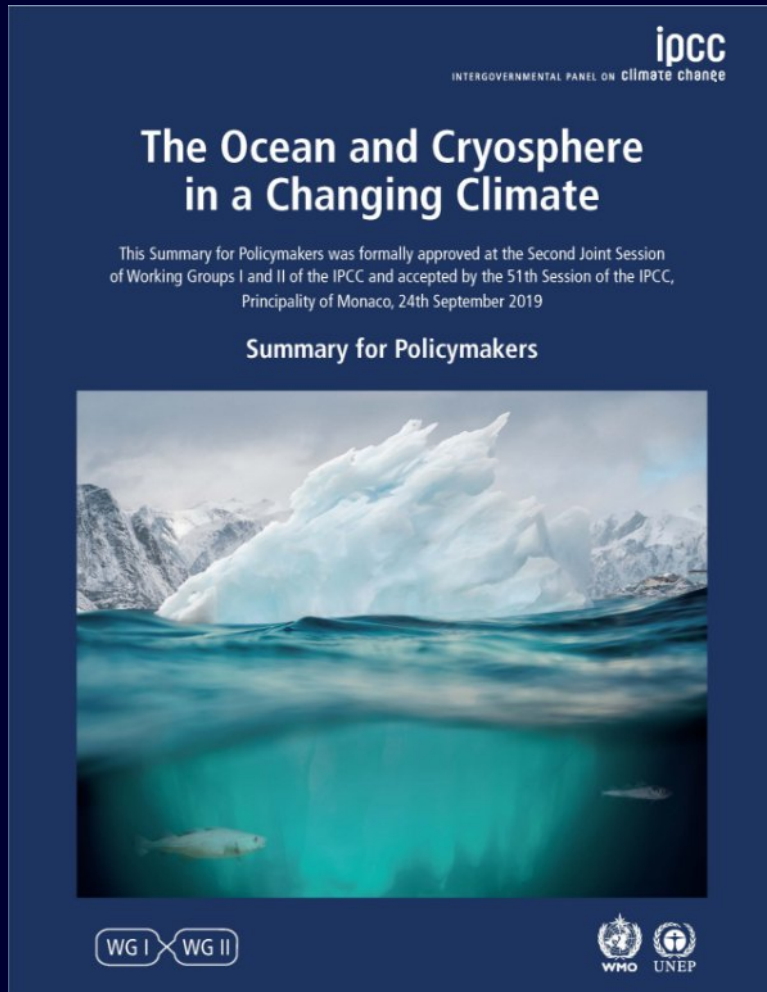


Cycle de "formation pour tous" en Océanographie



1- Changements climatiques et systèmes océaniques

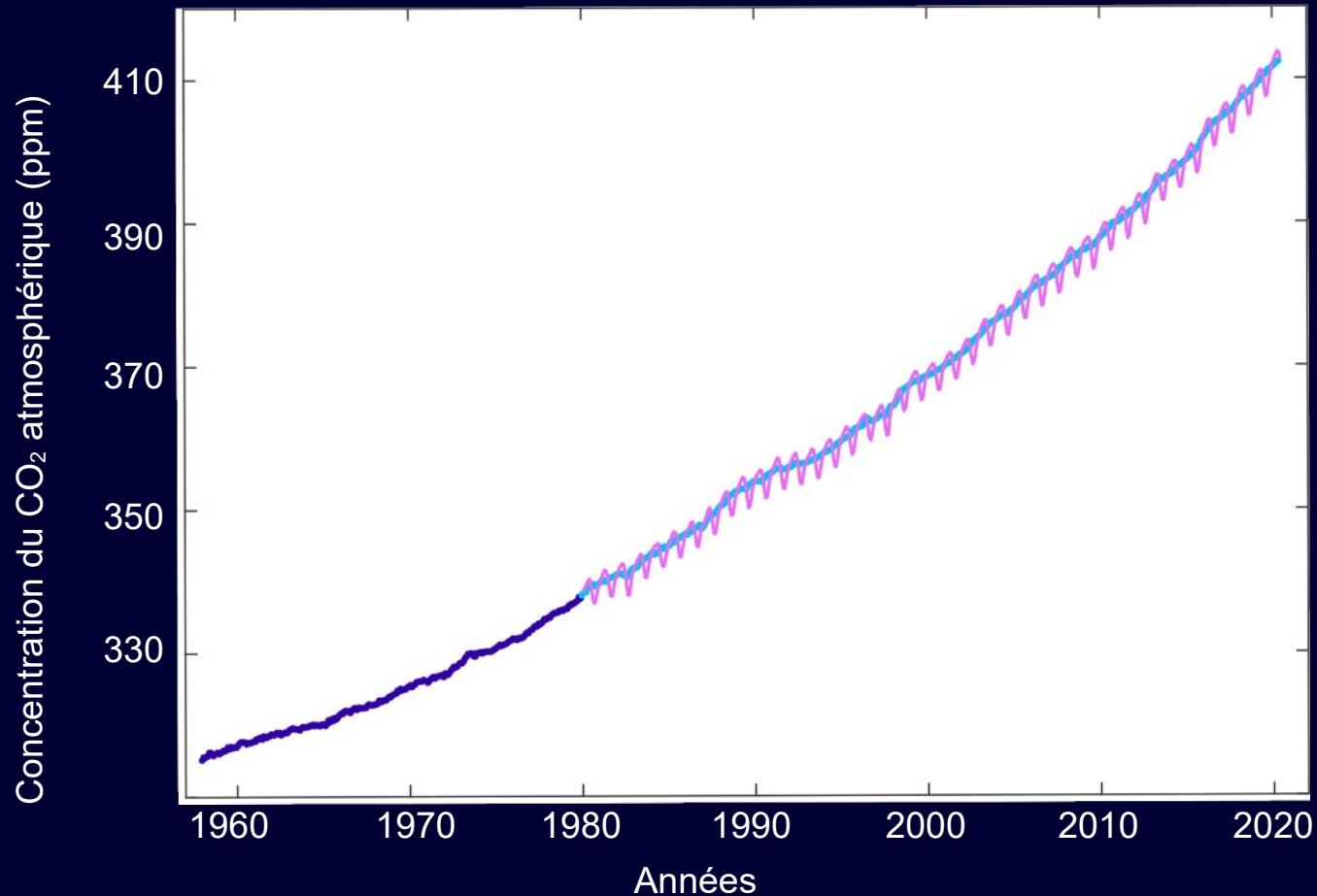
IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate



IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

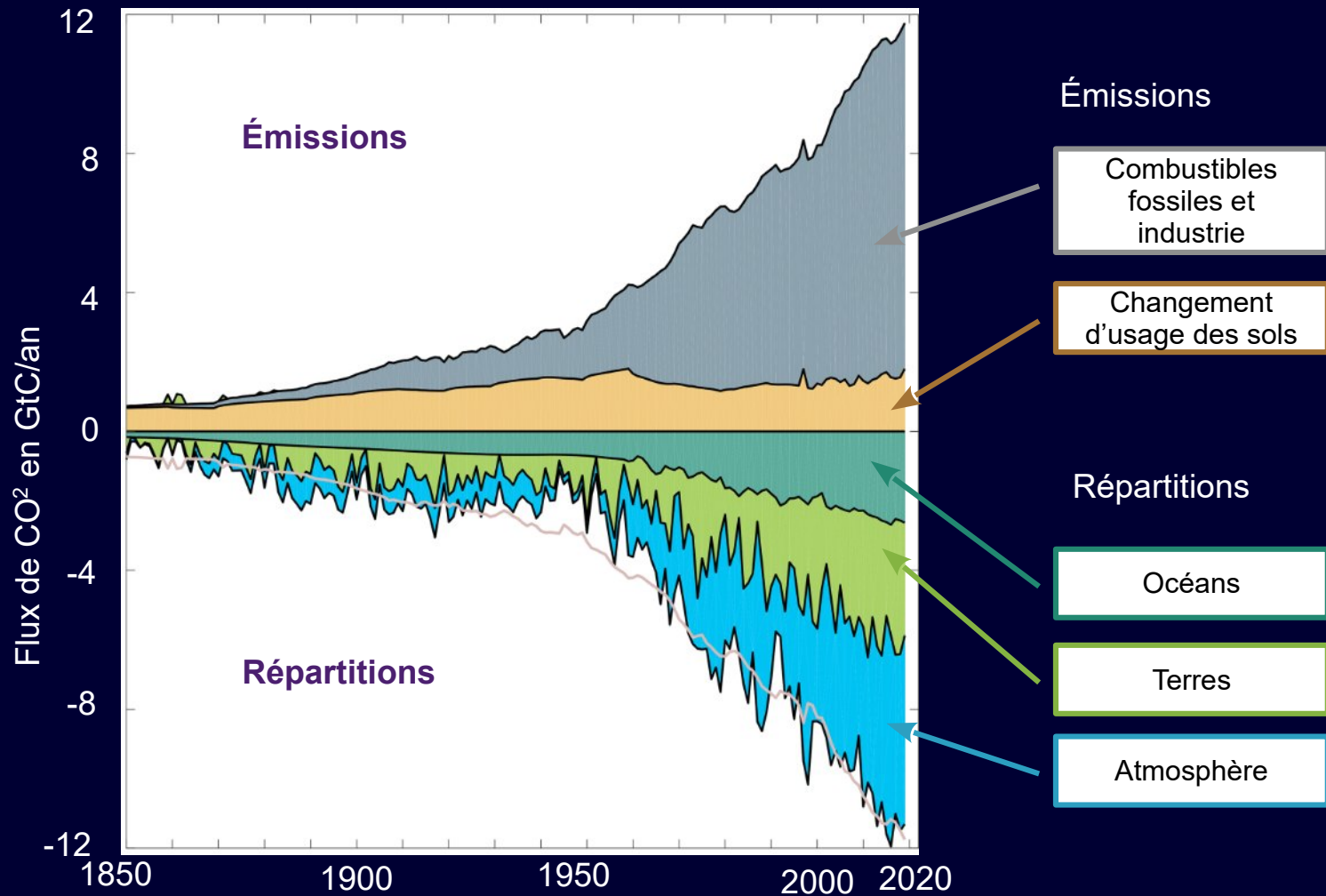
IPCC, 2019 : IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.
H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.).

Augmentation du CO₂ atmosphérique, gas à effet de serre

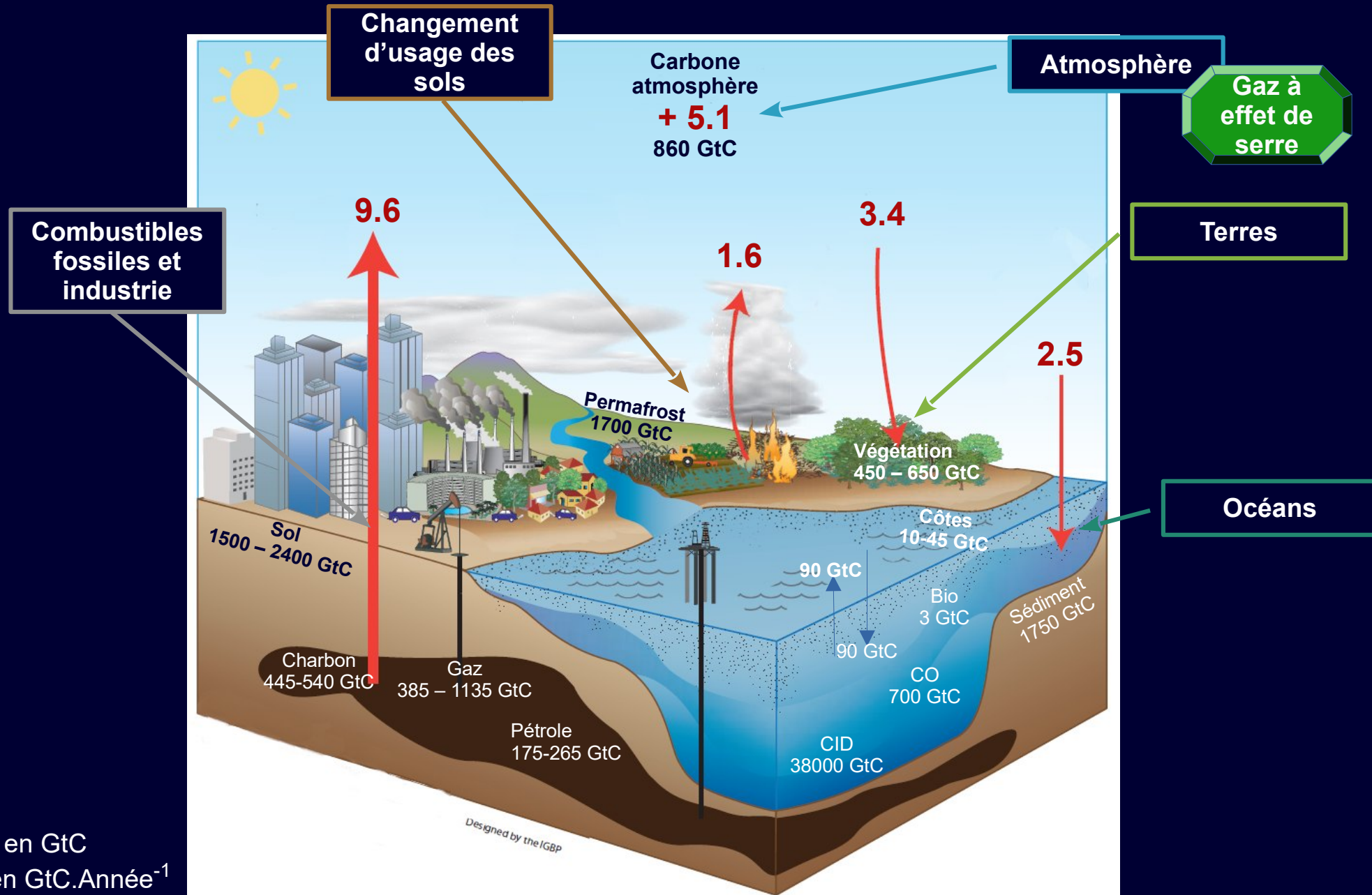


Les données mensuelles de 1980 à 2019 : mesures directes de CO₂ atmosphérique de plusieurs stations (NOAA/ESRL).
Les données de 1958 à 1979 : mesures de CO₂ atmosphérique des stations Mauna Loa et South Pole (Scripps Institution of Oceanography).

2020 - Composantes du bilan carbone mondial en fonction du temps



Perturbation globale du cycle du carbone causée par les activités anthropiques pour la décennie 2010-2019.

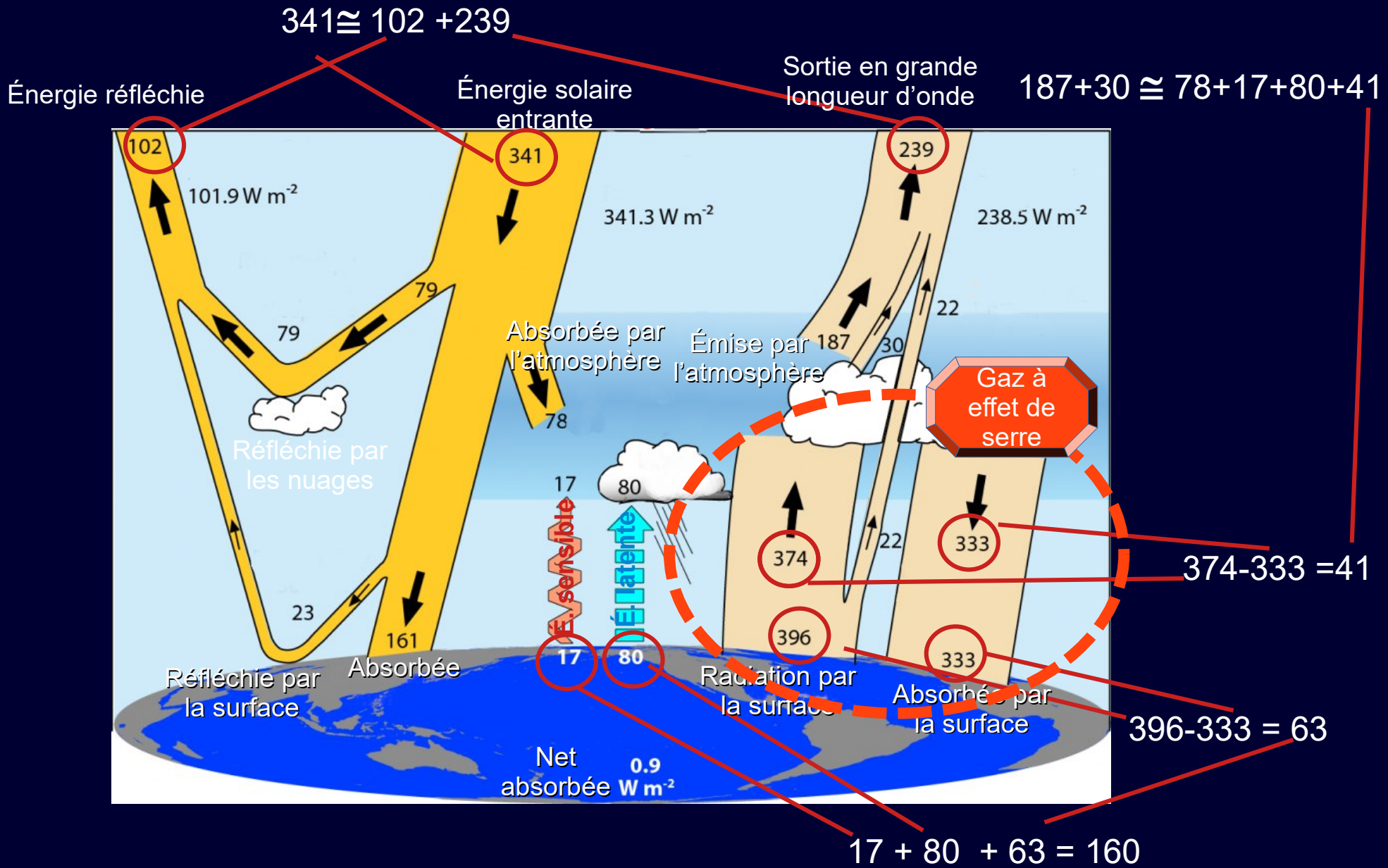


$$BIM = (EFOS + ELUC) - (GATM + SOCEAN + SLAND) = -0,1 \text{ GtC}$$

Adapté de Friedlingstein, P. et al. Global Carbon Budget 2020. Earth Syst. Sci. Data 12, (2020).

Stock en GtC
Flux en GtC.Année⁻¹

Bilan énergétique moyen annuel pour 2000–2005 en $W.m^{-2}$

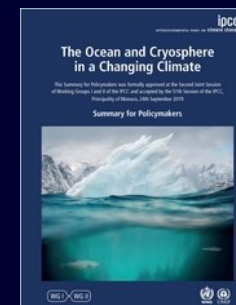
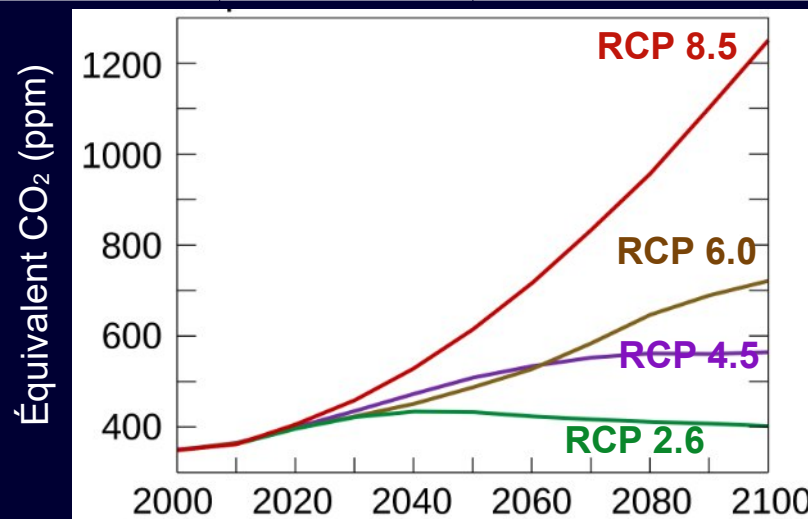


Scénarii d'évolution climatique pour différents forçages radiatifs

Changement de température de surface, moyenne mondiale par rapport à 1850-1900 pour quatre RCP «Representative Concentration Pathway» profils d'évolution de concentration des gaz à effet de serre).

Scénarii			A court terme : 2031–2050		Fin du siècle : 2081–2100	
Noms	CO ² (ppm) vers 2100	Forçage radiatif W.m ⁻²	Moy. (°C)	Intervalle probable (°C)	Moy. (°C)	Intervalle probable (°C)
RCP 2.6	↗ 490 ↘ 400	+ 2.6	1.6	1.1 - 2.0	1.6	0.9 - 2.4
RCP 4.5	↗ 660	+ 4.5	1.7	1.3 - 2.2	2.5	1.7 - 3.3
RCP 6.0	↗ 850	+ 6.0	1.6	1.2 - 2.0	2.9	2.0 - 3.8
RCP 8.5	> 1370	+ 8.5	2.0	1.5 - 2.4	4.3	3.2 - 5.4

Co₂ actuel : 415.95 ppm



Le consensus scientifique sur le réchauffement climatique

AUSSI, DEPUIS 2007, AUCUN CORPS SCIENTIFIQUE DE CALIBRE NATIONAL OU INTERNATIONAL N'A CONTESTÉ LA RESPONSABILITÉ HUMAINE D'UN RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE.

ATTENTION À LA DÉSINFORMATION

N'EST PAS "EXPERT CLIMATIQUE" QUI VEUT... IL / ELLE DOIT ÊTRE :



- ✓ UN OU UNE CLIMATOLOGUE
- ✓ QUI PUBLIE DES RECHERCHES SUR LE CLIMAT
- ✓ ÉVALUÉES PAR DES PAIRS (DONC D'AUTRES CLIMATOLOGUES)

3 CONSEILS POUR REPÉRER FACILEMENT LA DÉSINFORMATION SUR LE CLIMAT :

1 L'ÉCHELLE DE TEMPS

Les tendances calculées sur des temps courts ne reflètent pas les tendances au long terme.



2 LA QUALITÉ DES SOURCES

Il faut que les propos soient sourcés et que leurs sources proviennent de revues scientifiques car les articles y sont approuvés par des pairs.



3 DISTINGUER SCIENCE ET OPINION

Consensus scientifique et opinion publique sont deux choses bien distinctes. Une tribune dans la presse ou une interview n'auront jamais la même valeur qu'un article revu par les pairs.



LES MOTS DU GIEC SONT LES SUIVANTS :

"Le réchauffement du système climatique est sans équivoque."

"L'influence de l'Homme sur le système climatique est clairement établie."

ET CES MOTS SONT DITS AVEC CERTITUDE.

LE MOT DE LA FIN

ALORS, 97%, 99% OU 100% ?

CE QU'IL FAUT RETENIR C'EST QUE :

CES CHIFFRES REPRÉSENTENT LE NIVEAU D'ACCORD SCIENTIFIQUE SUR L'ORIGINE HUMAINE DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE.



ET QU'ILS N'ONT PAS ÉTÉ CONTESTÉS DEPUIS 2007.



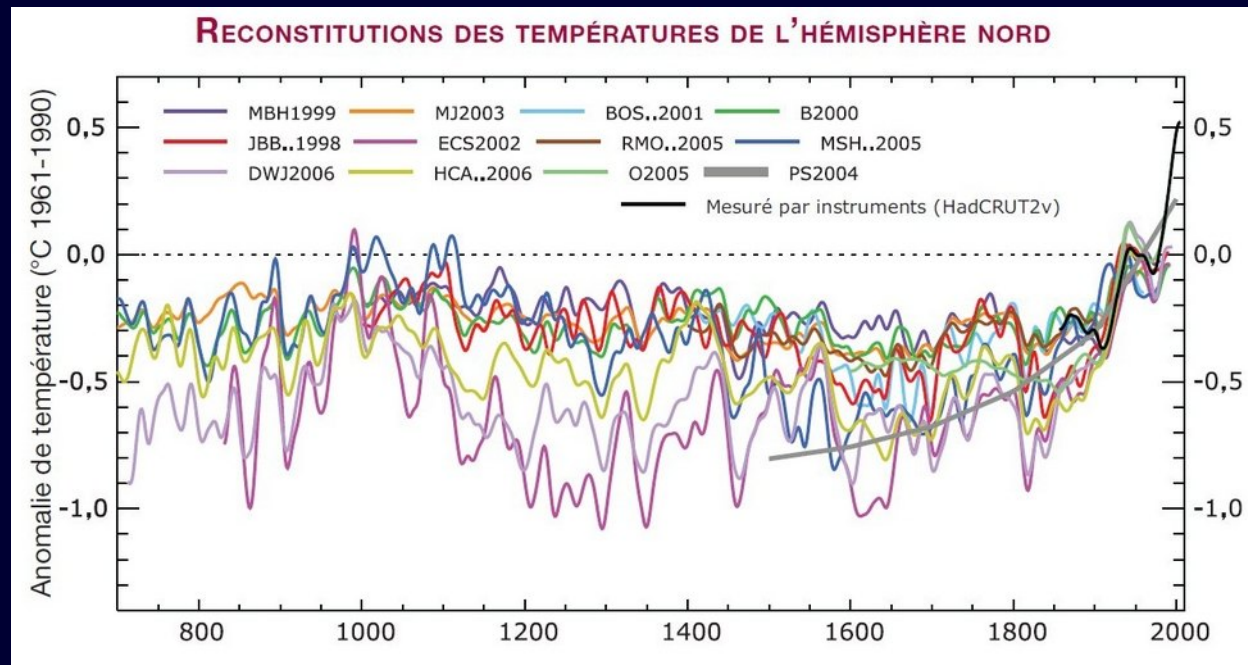
ILS SONT BASÉS SUR DES MILLIERS DE RECHERCHES SCIENTIFIQUES QUI APPORTENT CHAQUE JOUR PLUS DE PREUVES ET QUI VALENT BIEN PLUS QUE DES COMMENTAIRES SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX.

Changements climatiques et océans

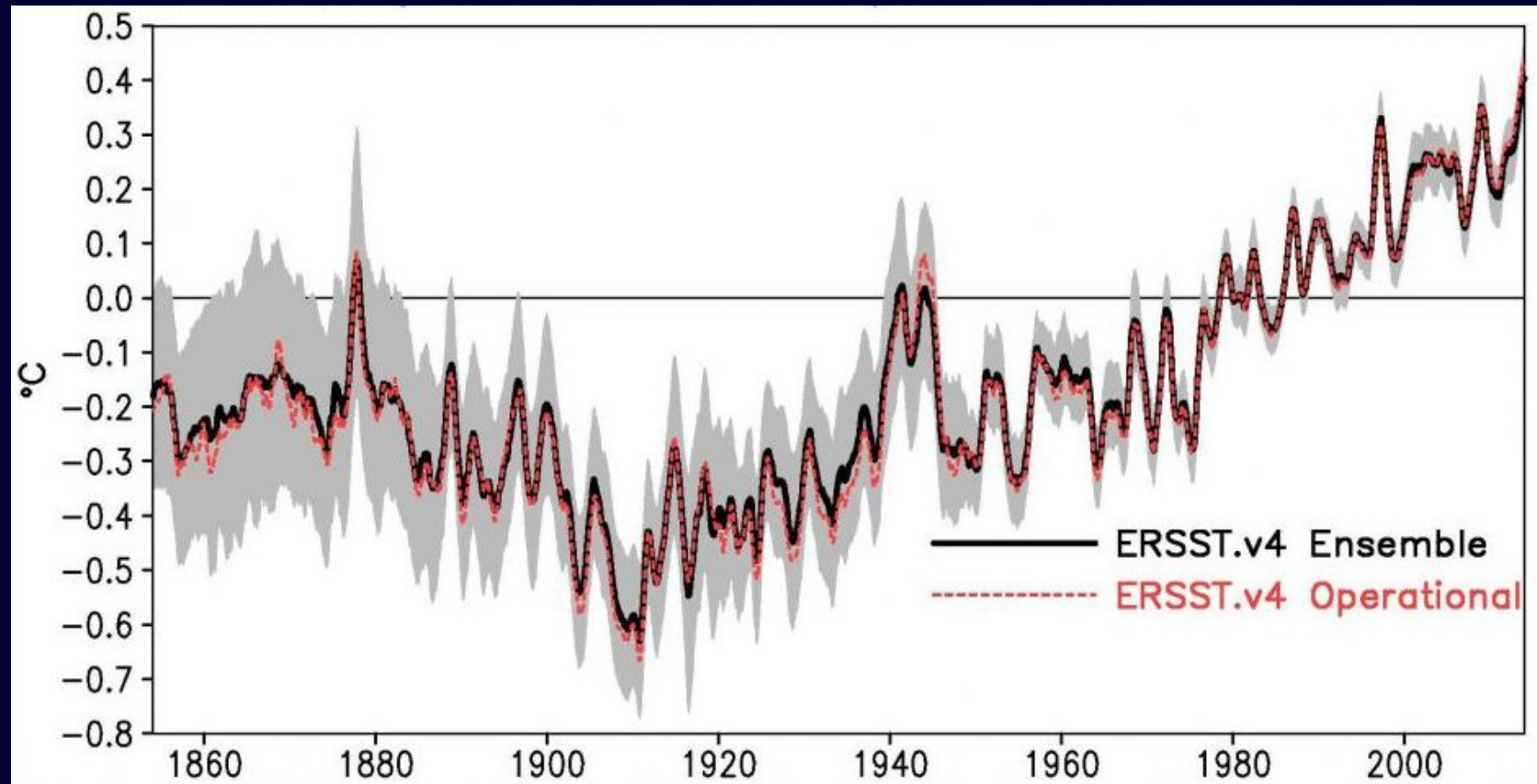
Deux axes principaux :

- Augmentation de la température
- Acidification des eaux de l'océan

Evolution de la température



Anomalies des températures de l'océan calculées par rapport à une climatologie mensuelle de 1971-2000.

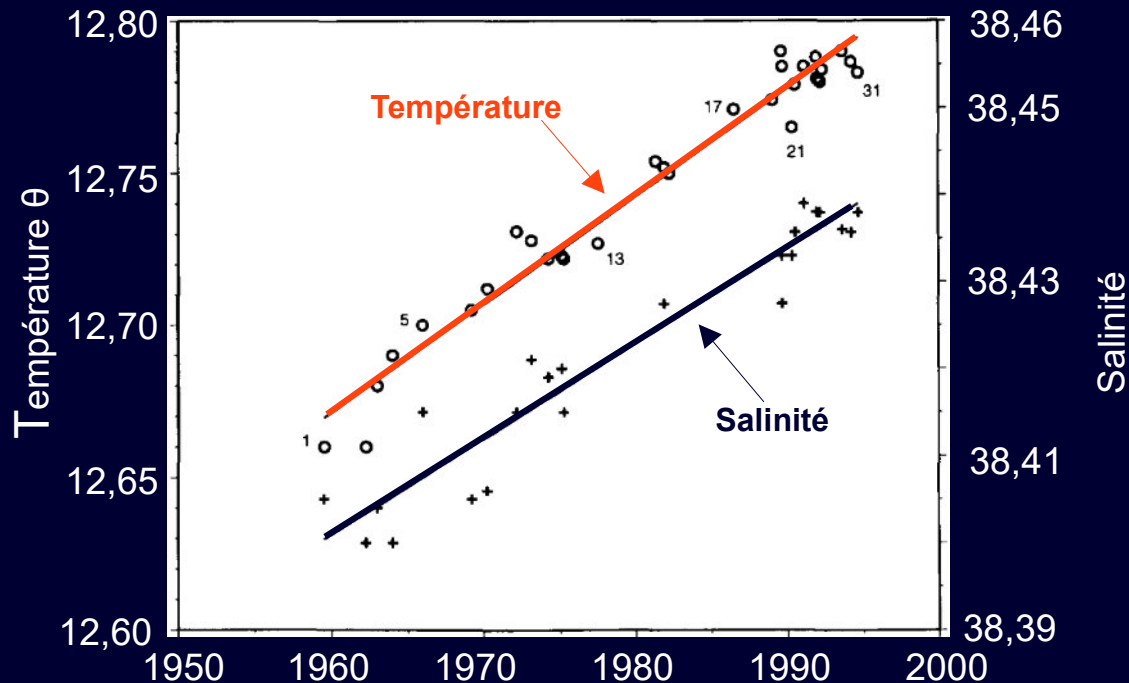


Anomalies calculées par rapport à une climatologie mensuelle de 1971-2000, de janvier 1854 et jusqu'à aujourd'hui

Déjà
il y a 30 ans

Bethoux, J.P., Gentili, B., Raunet, J., Tailliez, D., 1990.
Warming trend in the western Mediterranean deep water.
Nature 247, 660-662

Evolution de l'eau de fond du bassin de Méditerranée occidentale

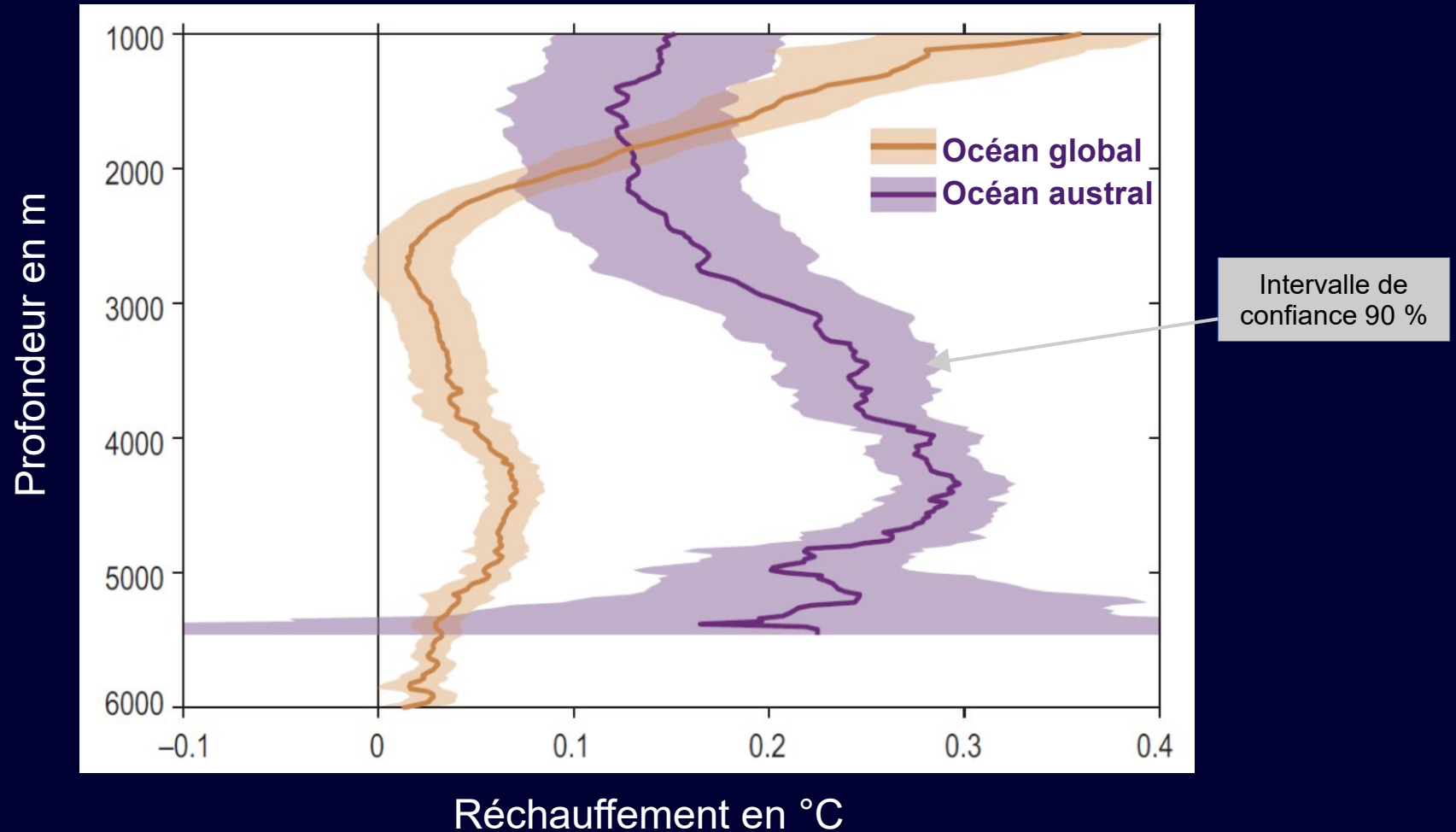


« Nous rapportons ici les mesures des campagnes Medatlante de **décembre 1988 et août 1989** qui montrent que la couche profonde a une température de **0,12 ° C plus chaude et 0,03 p.s.u. plus saline qu'en 1959.**

Ces données, jointes à celles des campagnes précédentes, révèlent une tendance à la hausse continue des températures au cours des trois dernières décennies.

Ces enregistrements en eaux profondes reflètent l'évolution moyenne des conditions climatiques à la surface en hiver, lorsque les eaux profondes se forment. La prise en compte du bilan thermique et du flux d'eau en Méditerranée laisse penser que la **tendance de la température des eaux profondes pourrait être le résultat d'un réchauffement local induit par les gaz à effet de serre** »

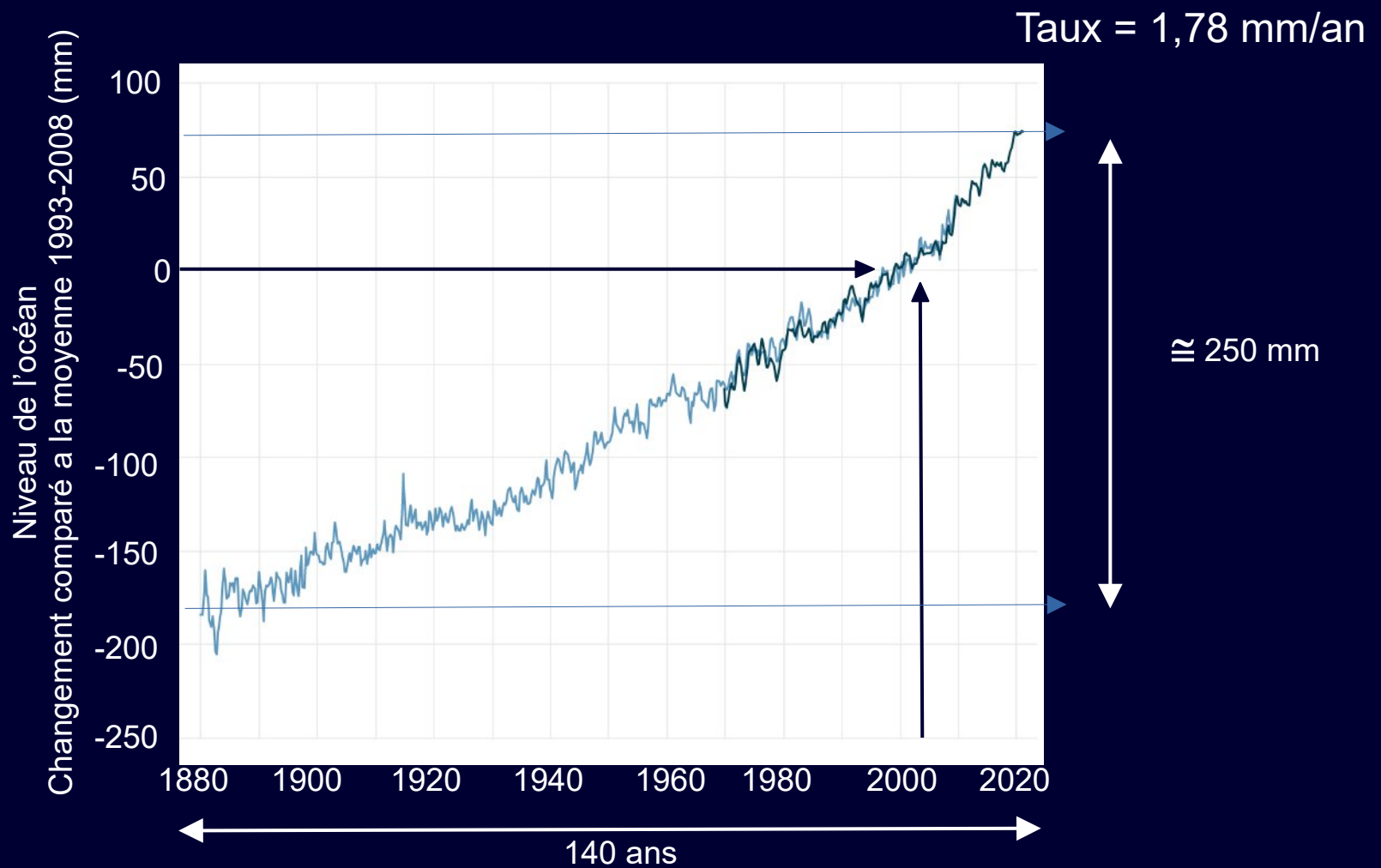
Réchauffement de 1981 à 2019 en fonction de la profondeur



Taux de réchauffement observés de 1981 à 2019 en fonction de la profondeur à l'échelle mondiale (orange) et au sud du front subantarctique (à environ 55°S) (violet) avec des intervalles de confiance à 90 %

Effets du réchauffement des océans

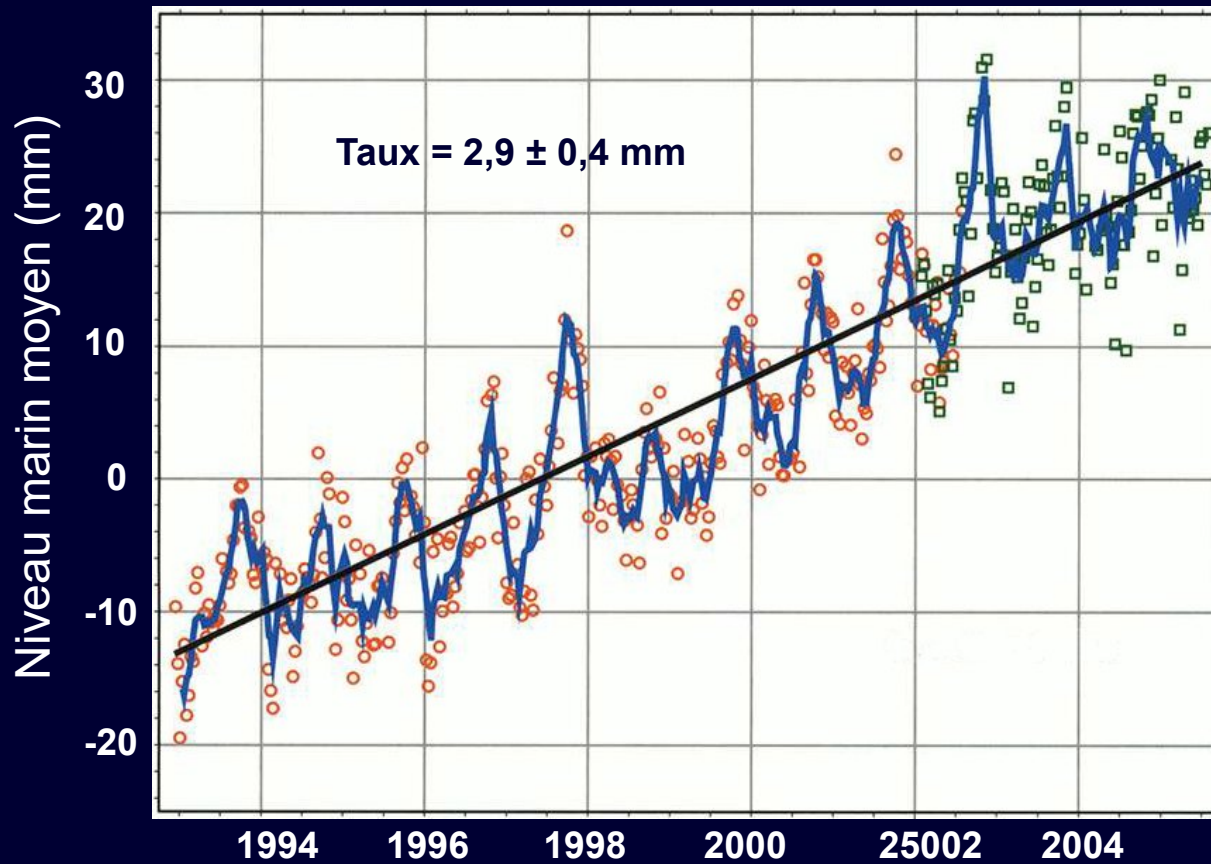
Variation du niveau global des océans



Estimations saisonnières (3 mois) du niveau de la mer à partir des données de Church and White (2011) (ligne bleu clair) et de l'Université d'Hawaï Fast Delivery (bleu foncé).

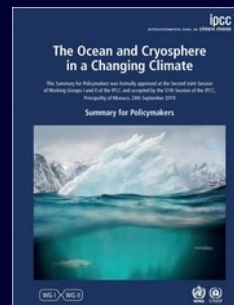
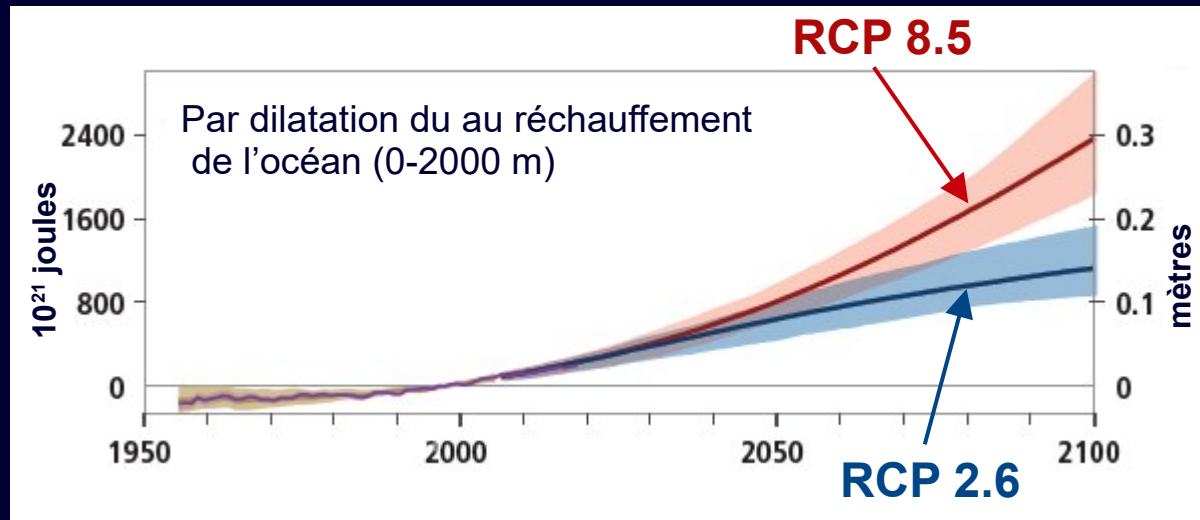
Image NOAA Climate.gov basée sur l'analyse et les données de Philip Thompson, University of Hawaii Sea Level Center.

Niveau global des océans par TOPEX Poseidon

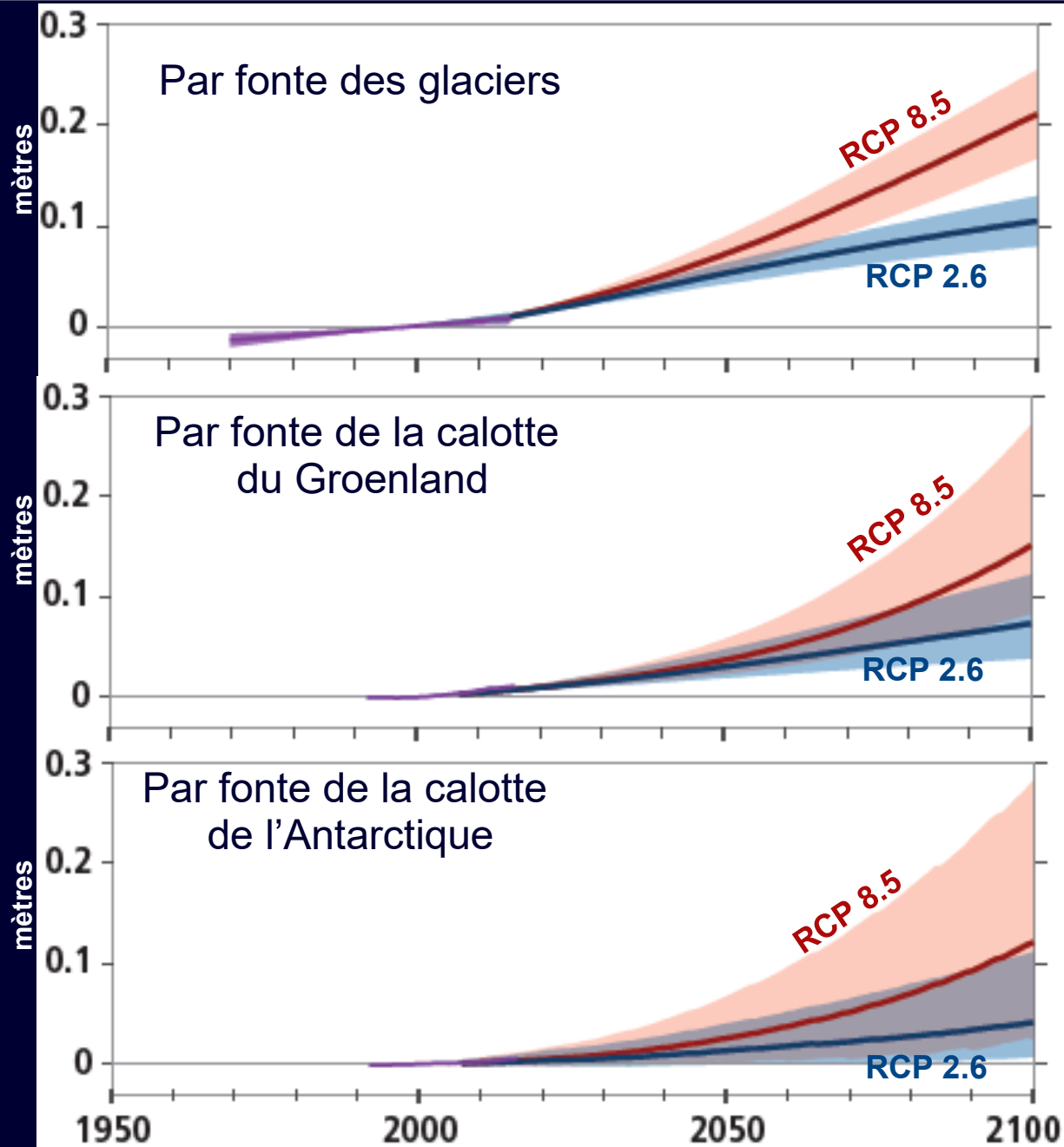


Le taux d'élévation du niveau moyen de l'océan est de $2,9 \text{ mm/an} \pm 0,4 \text{ mm}$, depuis le lancement de Topex-Poseidon en 1992. En vert, les observations du satellite Jason 1 sont prises en compte. D'après document Cnes.

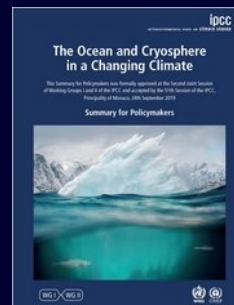
Élévation du niveau des océans par la dilatation



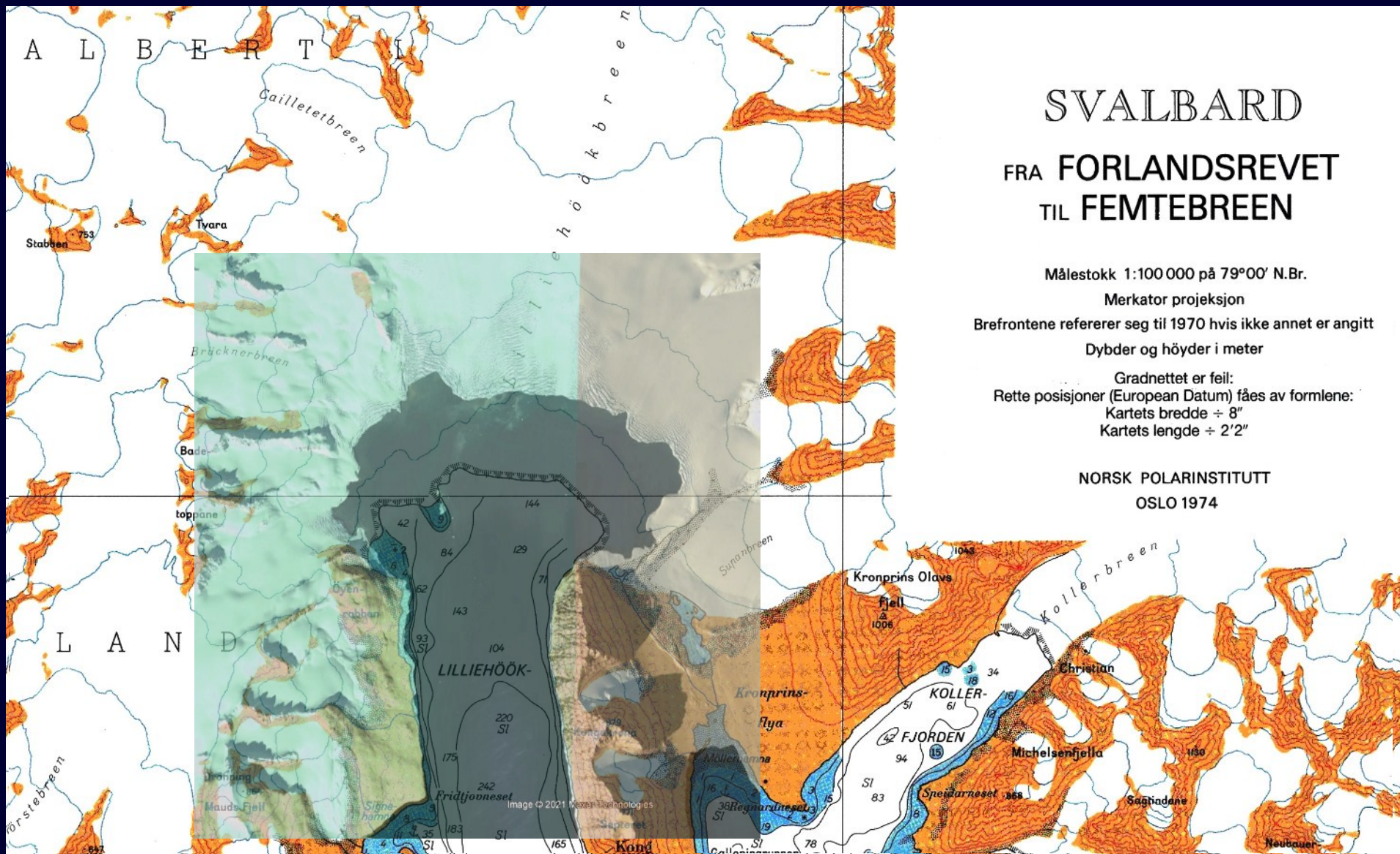
Élévation du niveau des océans observée et prévue dans des scénarios d'émissions de gaz RCP 2.6 et RCP 8.5



Changements relatifs par rapport à la période 1986-2005



Recul des glaciers au Svalbard



SVVALBARD

FRA FORLANDSREVET TIL FEMTEBREEN

Målestokk 1:100 000 på 79°00' N.Br.

Merkator projeksjon

Brefrontene refererer seg til 1970 hvis ikke annet er angitt

Dybder og høyder i meter

Gradnettet er feil:

Rette posisjoner (European Datum) fåes av formlene:

Kartets bredde ÷ 8"

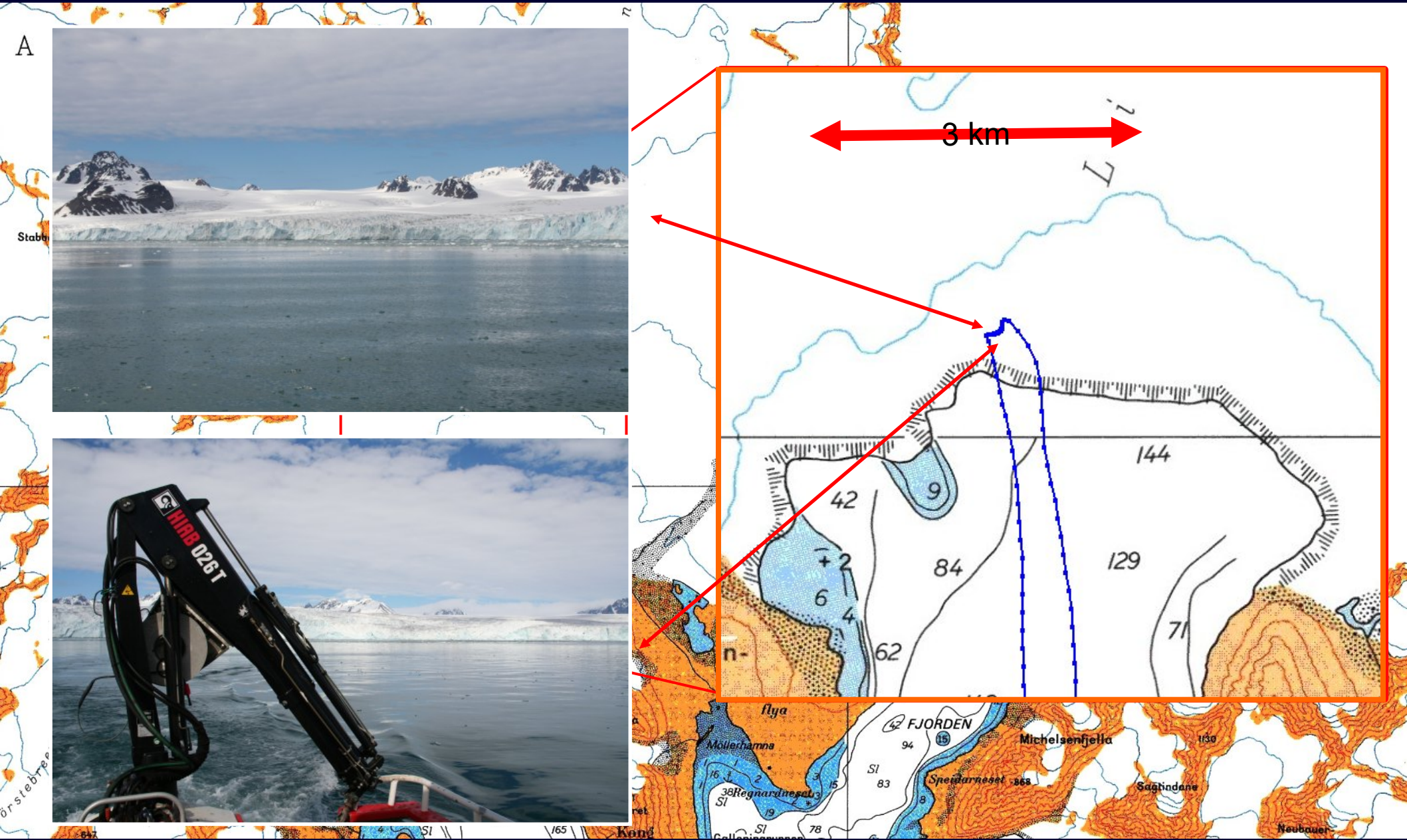
Kartets lengde ÷ 2'2"

NORSK POLARINSTITUTT

OSLO 1974

2 km

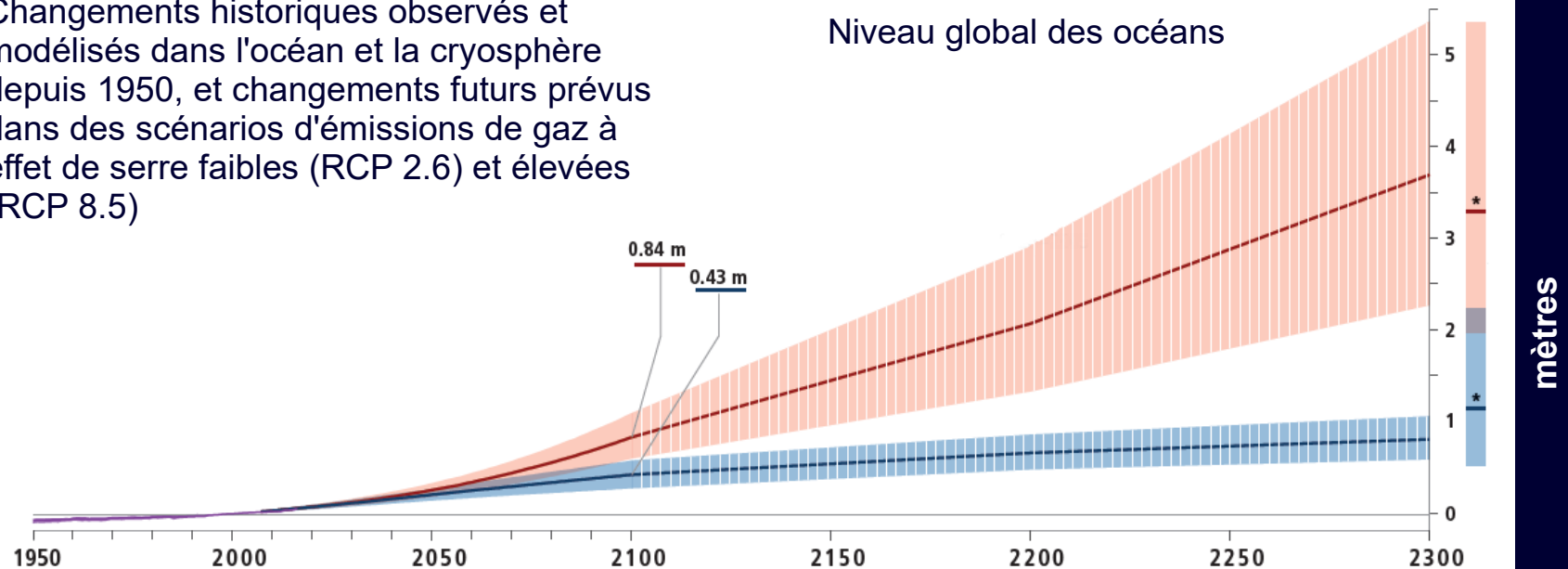
Recul des glaciers au Svalbard



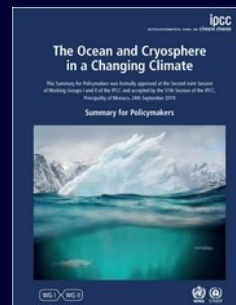
Élévation du niveau global des océans

Changements historiques observés et modélisés dans l'océan et la cryosphère depuis 1950, et changements futurs prévus dans des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre faibles (RCP 2.6) et élevés (RCP 8.5)

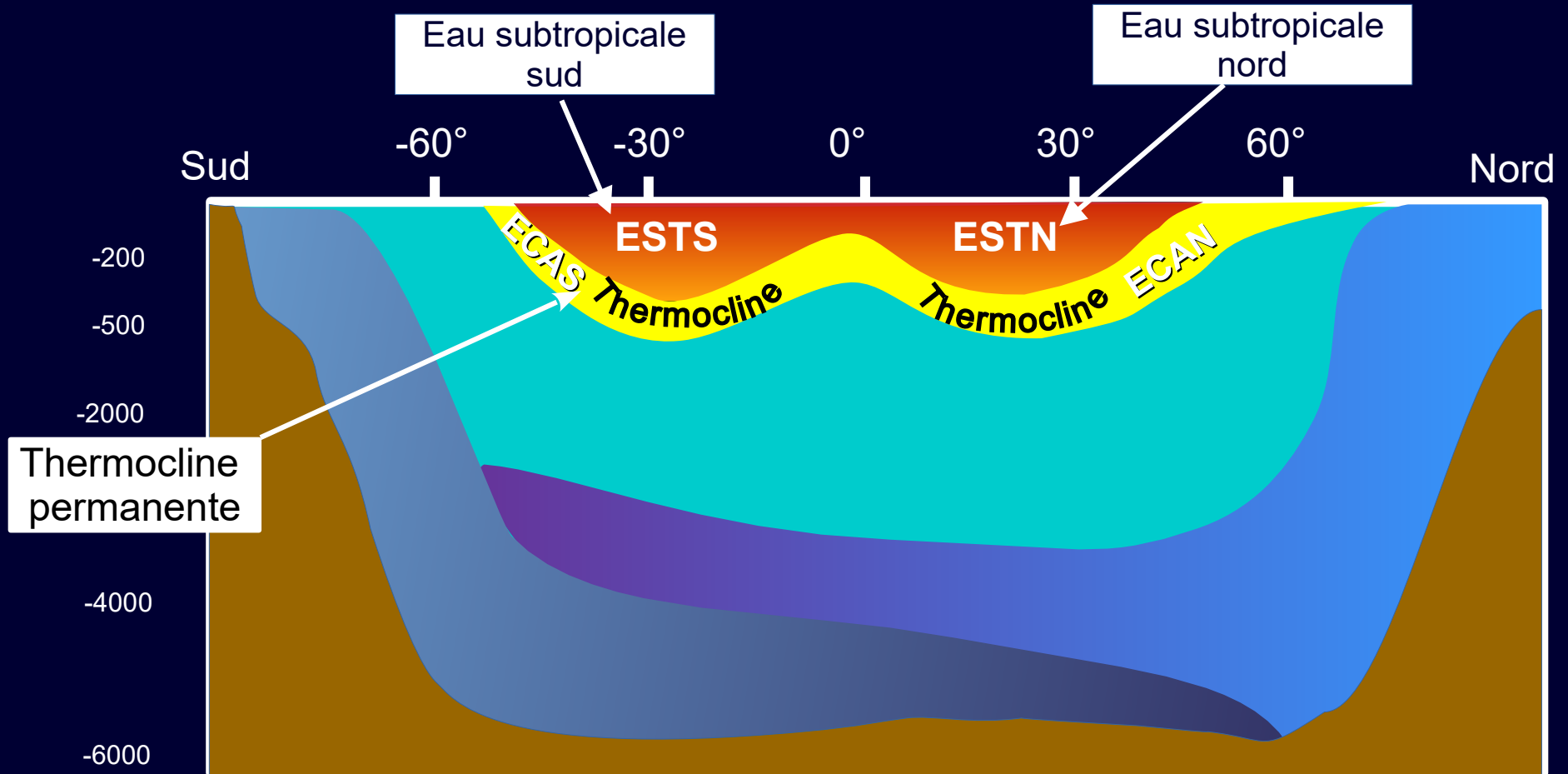
Niveau global des océans



Changements relatifs par rapport à la période 1986-2005



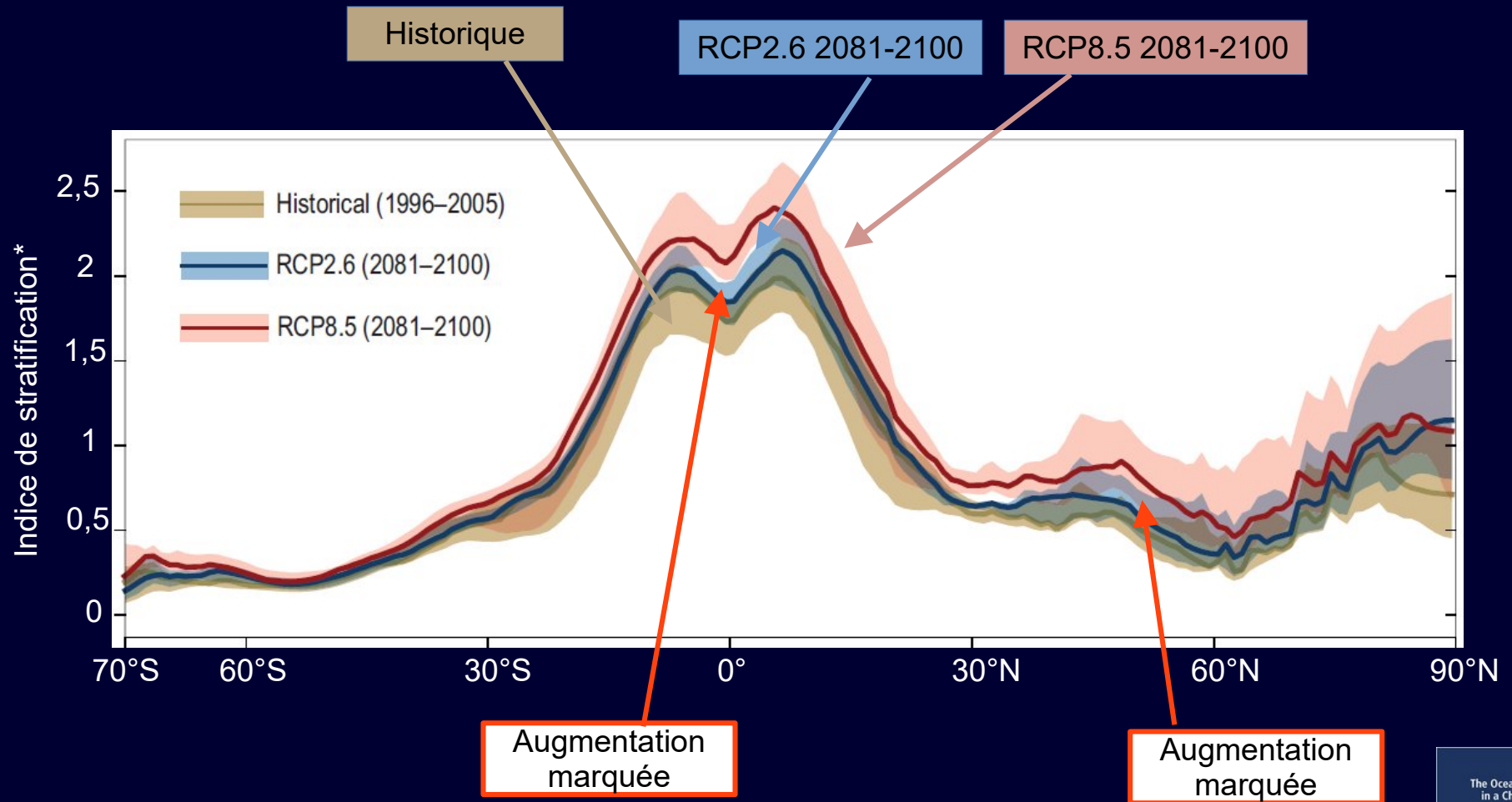
Augmentation de la stratification avec le réchauffement climatique



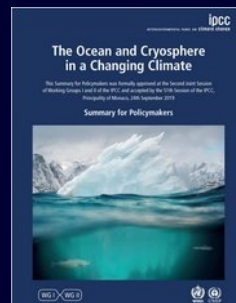
Inspiré de SEOS - Science Education through Earth Observation for High Schools

Augmentation de la stratification avec le réchauffement climatique

Stratification entre la surface et 200 m



*Indice de stratification : Peut être compris comme la différence de densité entre la surface et 200 m



Quid des variations de l'AMOC ?

ARTICLE

Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation

L. Caesar^{1,2*}, S. Rahmstorf^{1,2*}, A. Robinson^{1,3,4,5}, G. Feulner¹ & V. Saba⁶

Nature Geoscience
February 2013, Volume 6, Pages 146-152
<http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1680>
© 2013 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved

Atlantic Ocean CO₂ uptake reduced by weakening of the meridional overturning circulation

Fiz F. Pérez^{1,*}, Herlé Mercier², Marcos Vázquez-Rodríguez¹, Paula C. Pardo¹, Gabriel Rosó¹

Ocean Sci., 10, 29–38, 2014
www.ocean-sci.net/10/29/2014/
doi:10.5194/os-10-29-2014
© Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.



Observed decline of the Atlantic meridional overturning circulation 2004–2012

D. A. Smeed¹, G. D. McCarthy¹, S. A. Cunningham², E. Frajka-Williams³, D. Rayner¹, W. E. Johns⁴, C. S. Meinen⁵, M. O. Baringer⁵, B. I. Moat¹, A. Duchez¹, and H. L. Bryden³

Archimer
<http://archimer.ifremer.fr>

A 30-year reconstruction of the Atlantic meridional overturning circulation shows no decline

Emma L. Worthington¹, Ben I. Moat², David A. Smeed², Jennifer V. Mecking², Robert Marsh¹, and Gerard D. McCarthy³

Ocean Sci., 17, 285–299, 2021
<https://doi.org/10.5194/os-17-285-2021>
© Author(s) 2021. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Ocean Science

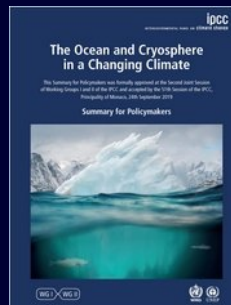
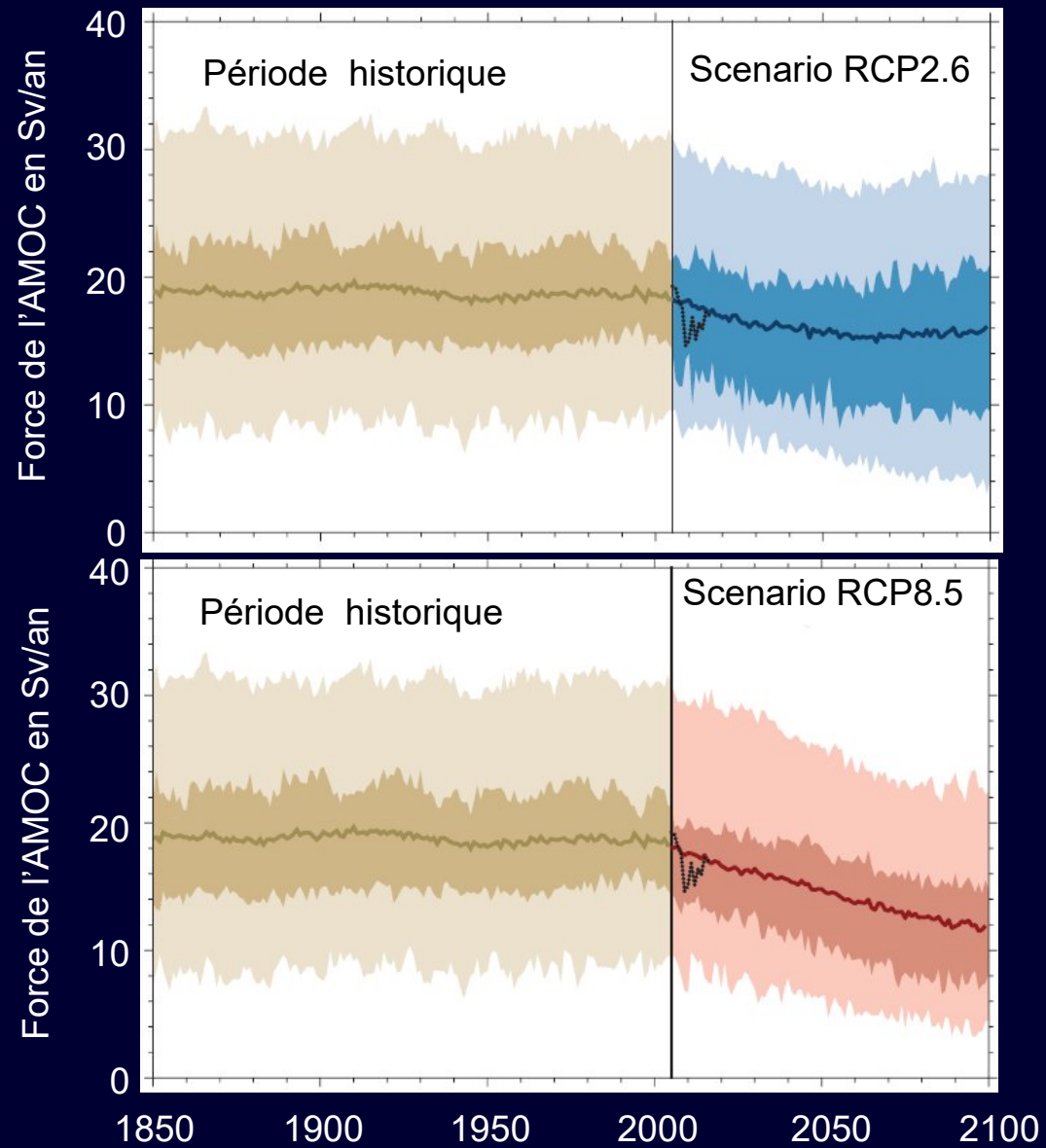


Ocean Science



AMOC : circulation de retournement atlantique (en anglais Atlantic Meridional Overturning Circulation)

Quid des variations de l'AMOC pour le GIEC



Acidification des océans

Acidification des océans

Augmentation du gaz carbonique atmosphérique



Atmosphère

Océan

Augmente le gaz carbonique dans l'océan

Augmente les ions H^+



Gaz carbonique dissous



Acide carbonique



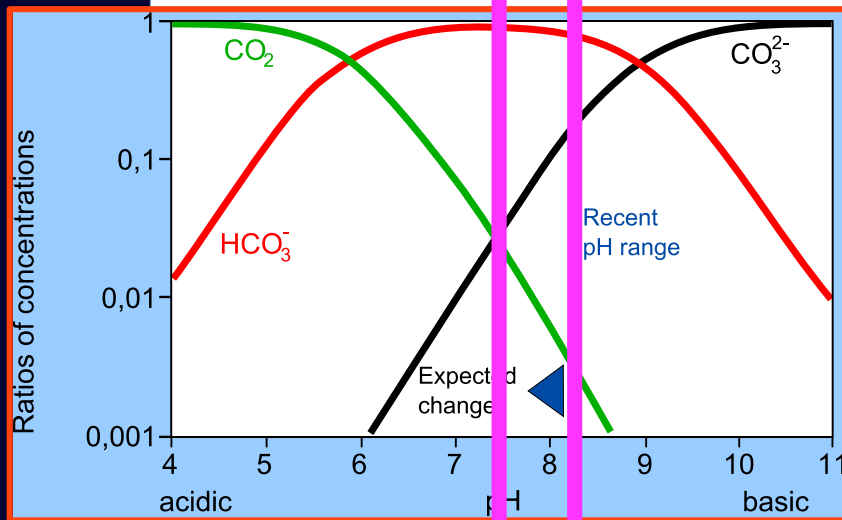
ions bicarbonates



ions carbonates

Augmente les ions bicarbonates

Diminue les ions carbonates



Dans les conditions actuelles d'équilibre thermodynamique, à $\text{pH} = 8,2$, la forme dominante de carbone est l'ion bicarbonate HCO_3^{1-} (~ 88 %), les autres formes (CO_3^{2-} et CO_2) étant peu présentes (11 % et 0,5 % respectivement.). La précipitation et la dissolution du CaCO_3 sont contrôlées par la concentration des ions CO_3^{2-}

Profondeur du niveau de saturation de l'aragonite

$\Omega > 1$ = précipitation
 $\Omega < 1$ = dissolution

L'état de saturation de l'eau de mer en CaCO_3 (Ω) qui contrôle les processus de précipitation et dissolution du CaCO_3 est défini Ω :

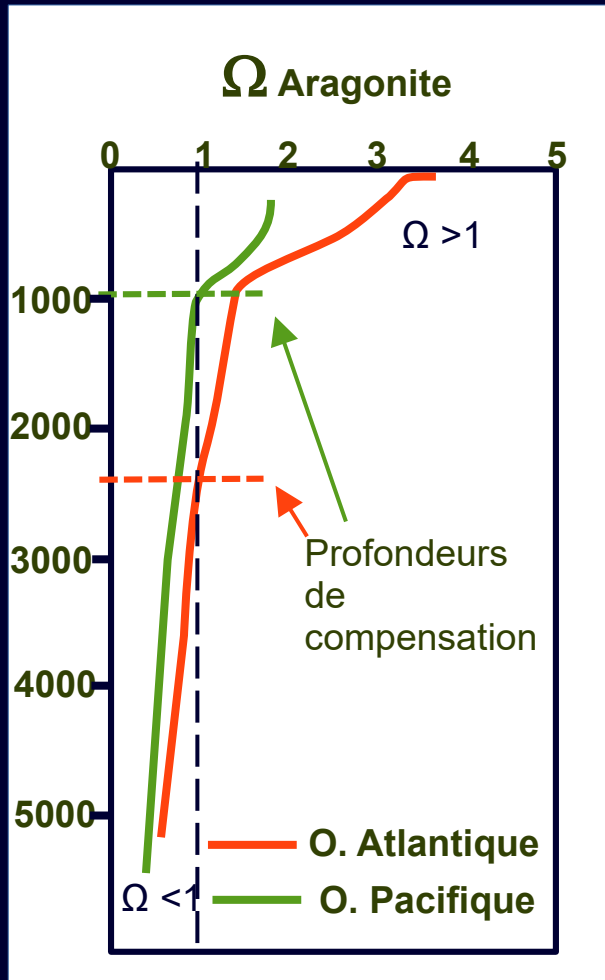
$$\text{Ou } \Omega = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}] / K_{sp}$$

$[\text{Ca}^{2+}]$: concentration en ions calcium,

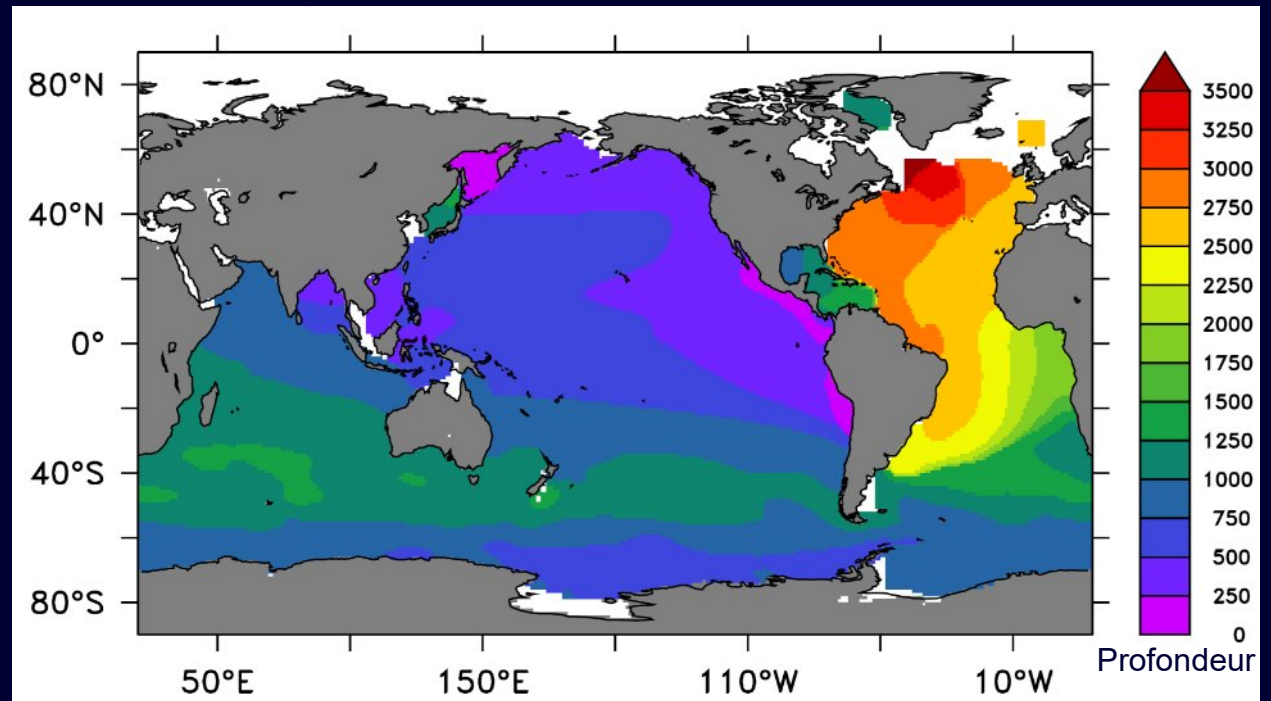
$[\text{CO}_3^{2-}]$: la concentration en ions carbonate

K_{sp} est une constante relative à la forme de CaCO_3

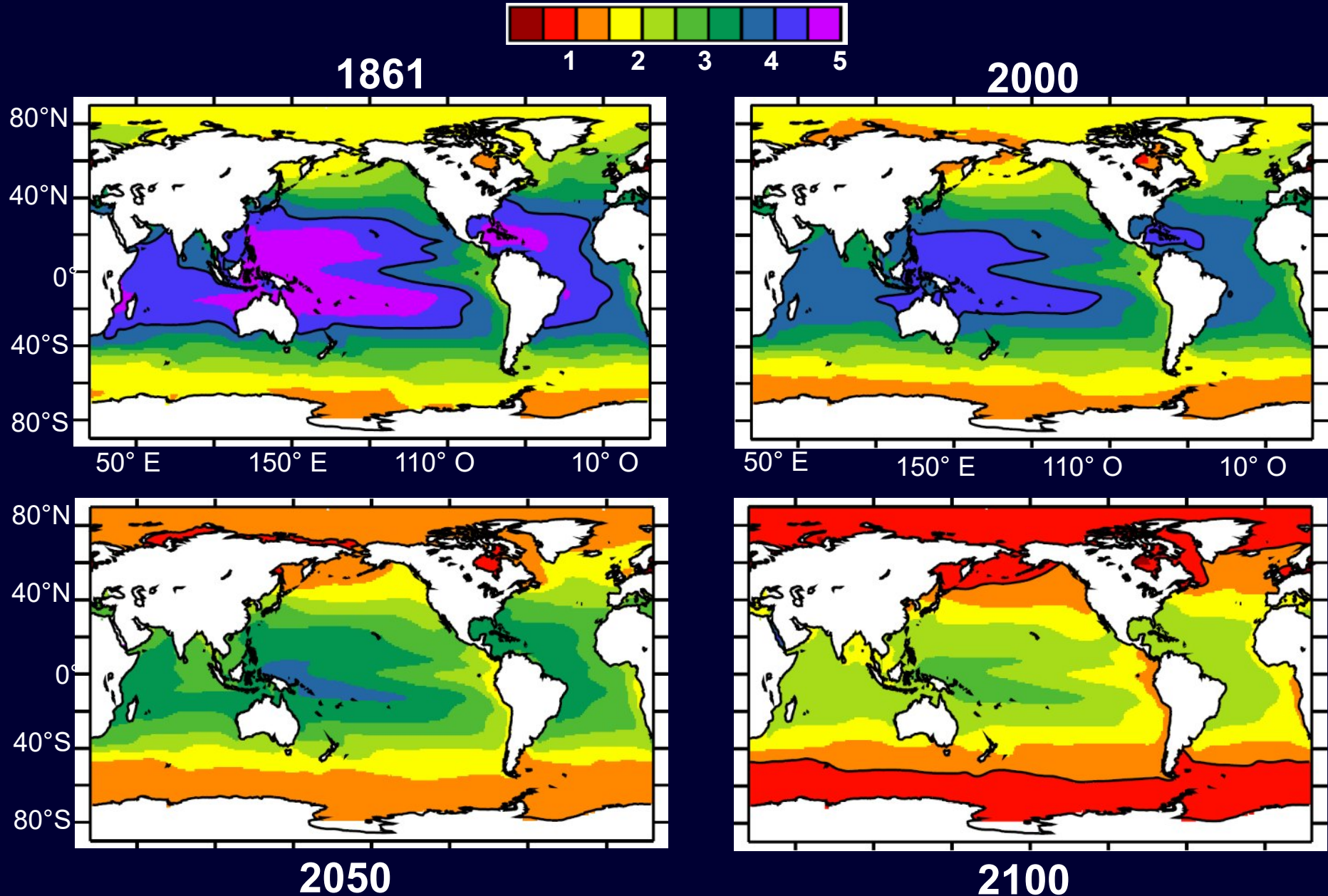
K_{sp} varie avec la température, la salinité et la pression il augmente avec la pression et diminue avec la température.



Profondeur du niveau de saturation de l'aragonite



État de saturation de l'aragonite des eaux de surface



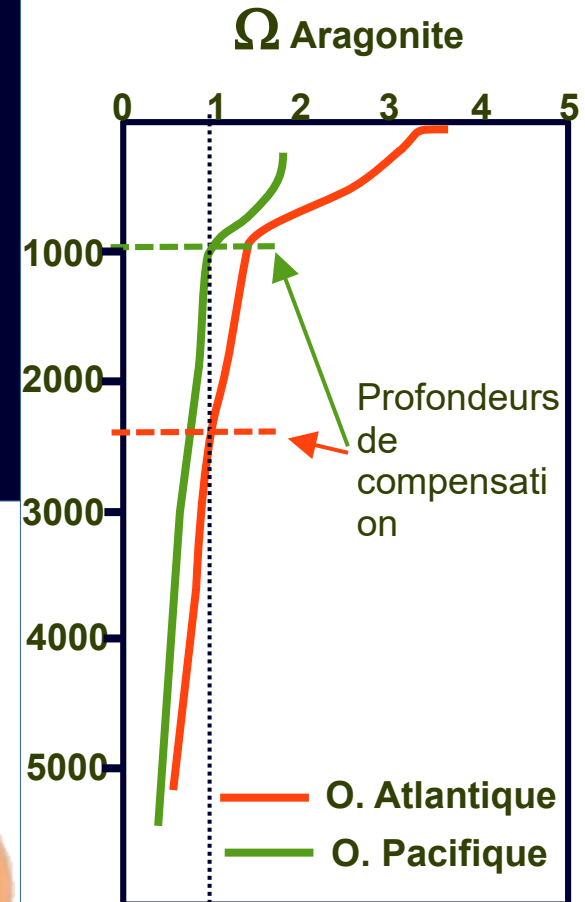
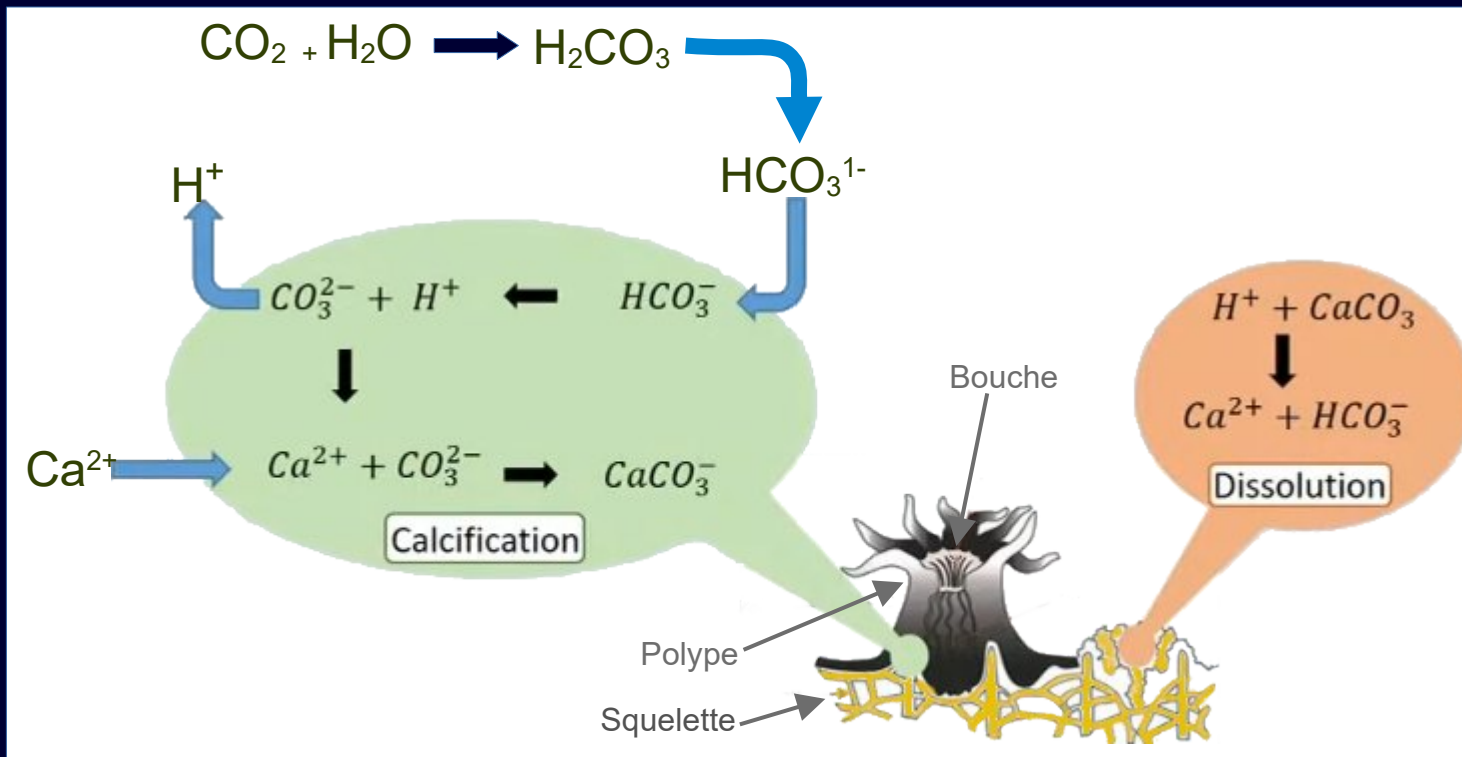
Acidification des océans

L'état de saturation de l'eau de mer

$$\Omega = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}] / K_{sp}$$

$\Omega < 1$: Dissolution

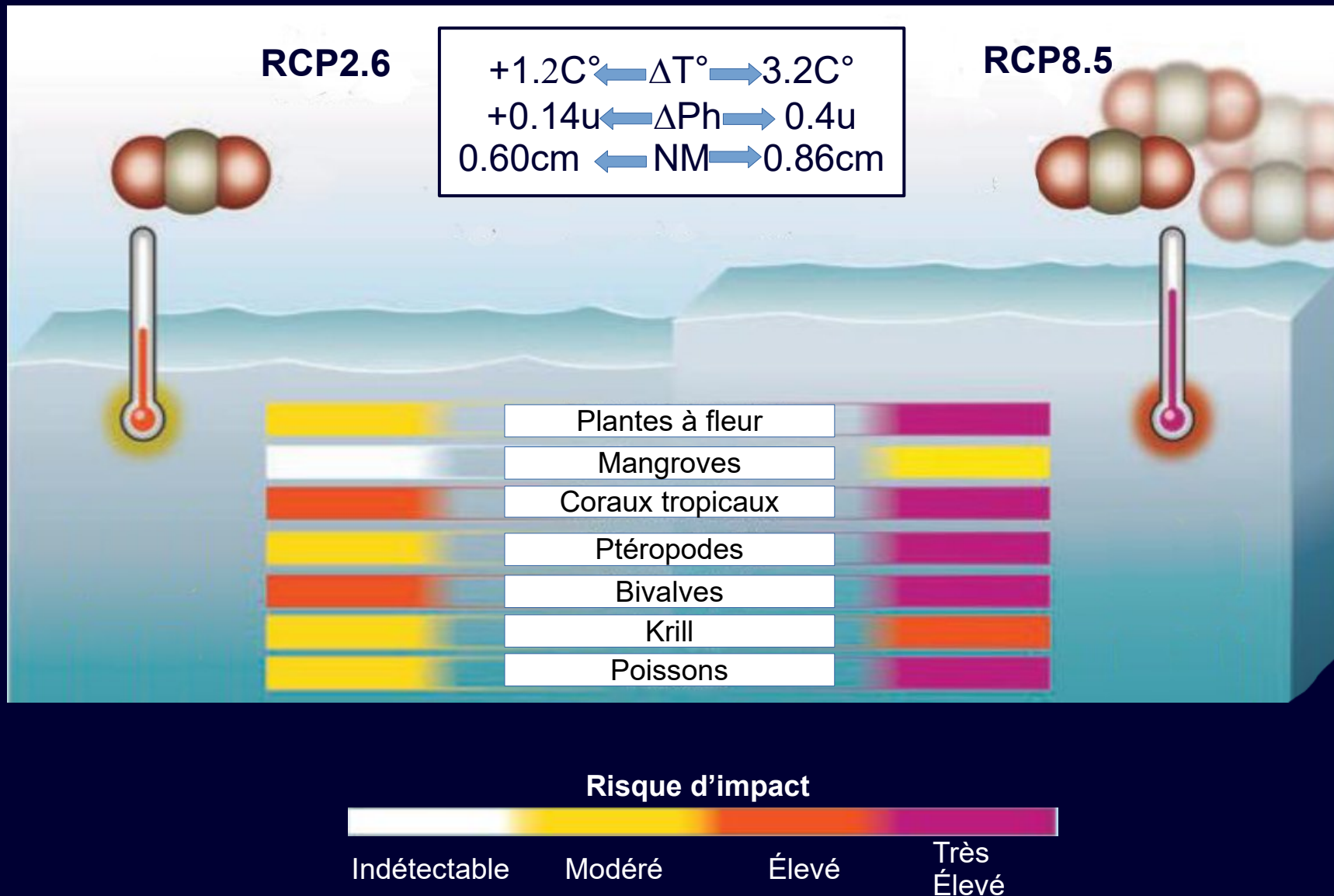
$\Omega > 1$: Calcification



"Ça chauffe pour les coraux d'eau froide", Lénaïck Menot et Franck Lartaud, Conférence Oceanopolis Brest, 2021

<https://www.youtube.com/watch?v=Wp4ITZrxS5s>

Acidification des océans, scénarios d'évolution



Adapté de : Gattuso J.P. & A. K. Magnan. Risks related to climate change. In Euzen, A., Gaill, F., Lacroix, D. & Cury, P. The Ocean Revealed. (2017).

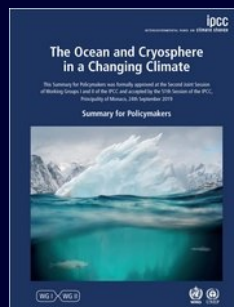
Acidification des océans

Acidification des océans :

Réversible en surface, mais irréversible pendant des siècles ou des millénaires en profondeur.

Changements dans la croissance, le développement, la calcification, la survie et l'abondance d'espèces, des algues aux poissons.

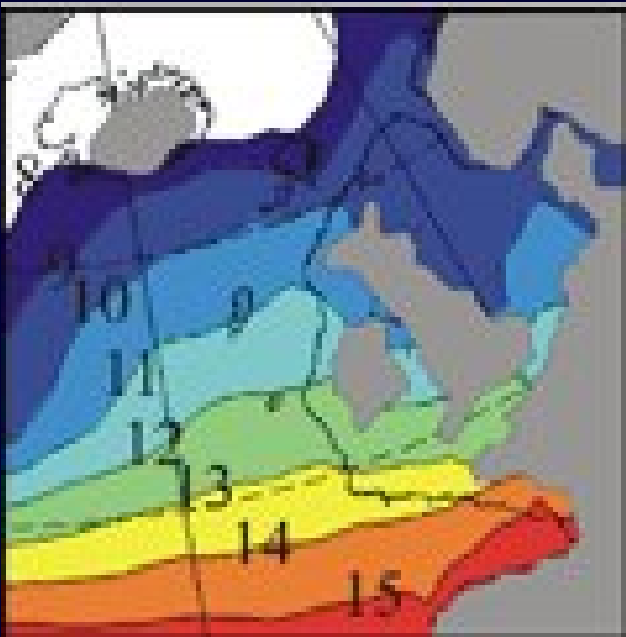
Pratiquement certain (confiance très élevée)



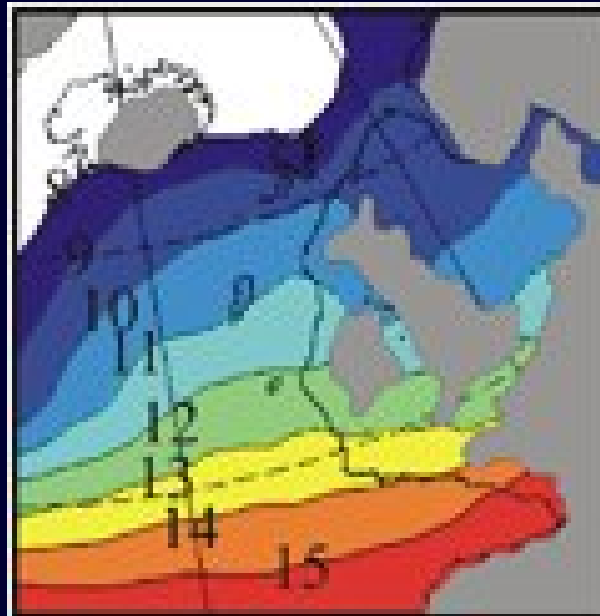
2- Changements dans les écosystèmes pélagiques

Evolution de la température de surface de l'Atlantique nord-est

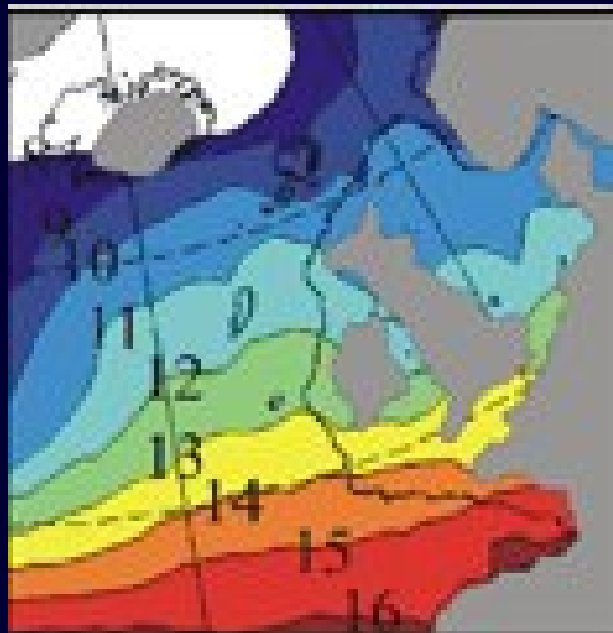
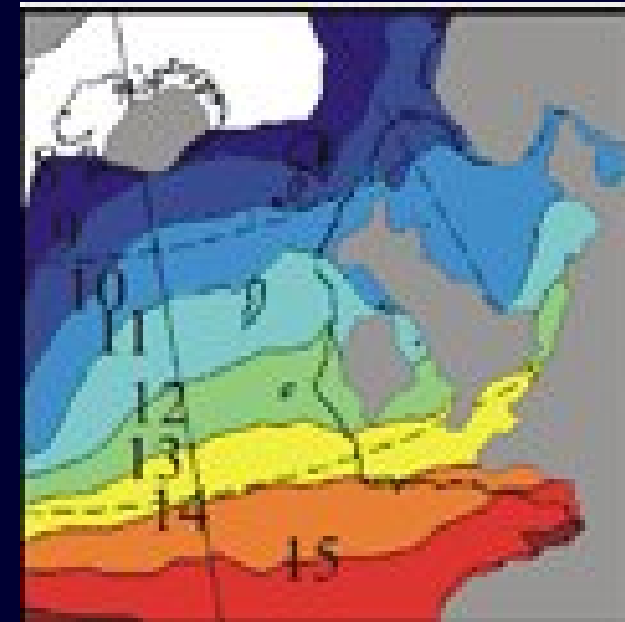
1960-1981



1982-1999



2000-2002



2003-2005

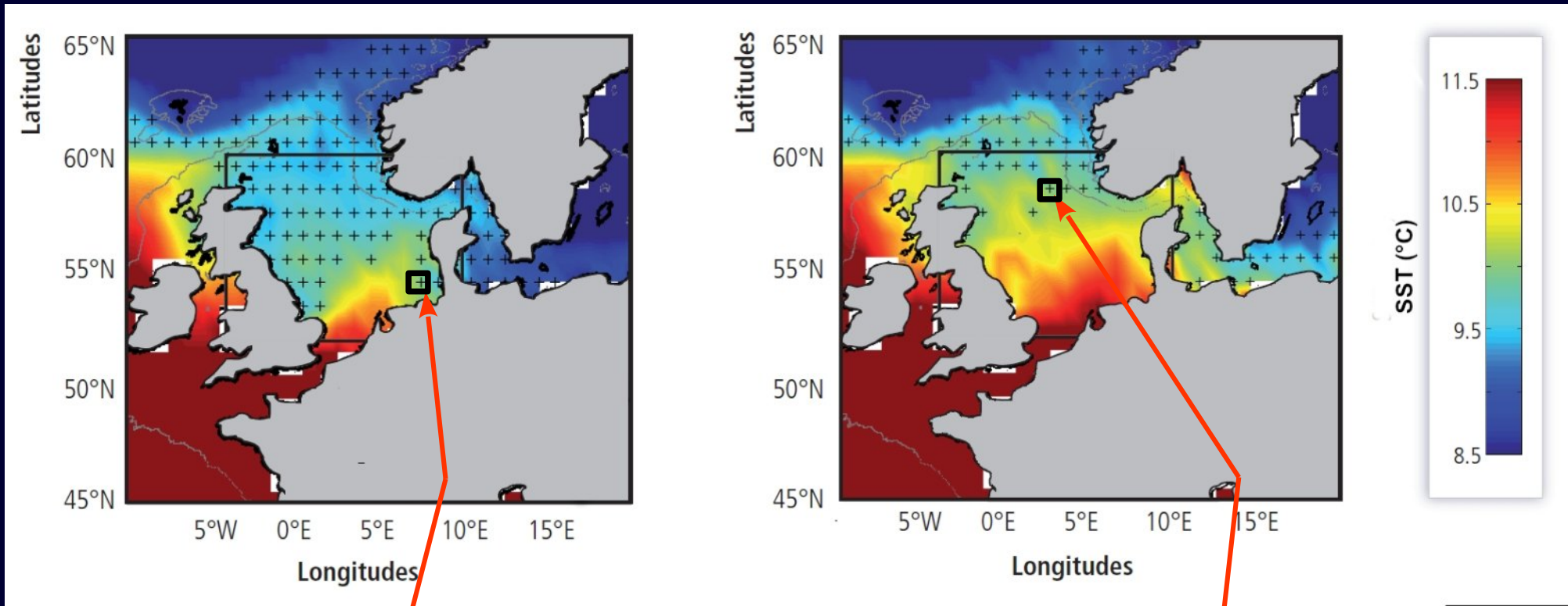
température moyenne de surface



Evolution de la température de surface zoom sur la mer du nord

1960-1981

1988-2005



72.15 % des cellules ont une température entre 9 et 10 °C

20.25 % des cellules ont une température entre 9 et 10 °C



Assemblages d'espèces de copépodes, Atlantique nord-est



Espèces tempérées chaudes océaniques :

Euchaeta acuta, *Undeuchaeta plumosa*, *Euchirella rostrata*, *Neocalanus gracilis*, *Clausocalanus* spp., *Nannocalanus minor*, *Pleuromamma borealis*, *P. gracilis*, *P. abdominalis*, *P. xiphias*, *P. piseki*, *Calocalanus* spp., *Mesocalanus tenuicornis*, *Heterorhabdus papilliger*, *Centropages bradyi*, *Mecynocera clausi*

Espèces tempérées pseudo-océaniques :

Rhincalanus nasutus, *Eucalanus crassus*, *Centropages typicus*, *Candacia armata*, ***Calanus helgolandicus***

Espèces tempérées froides

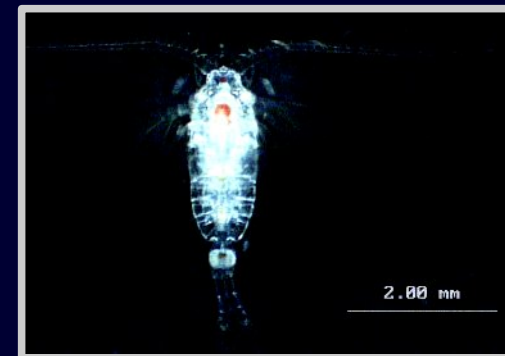
Aetideus armatus, *Pleuromamma robusta*, *Acartia* spp., *Metridia lucens*

Espèces sub-arctiques :

Heterorhabdus norvegicus, *Scolecithricella* spp., *Euchaeta norvegica*, ***Calanus finmarchicus***

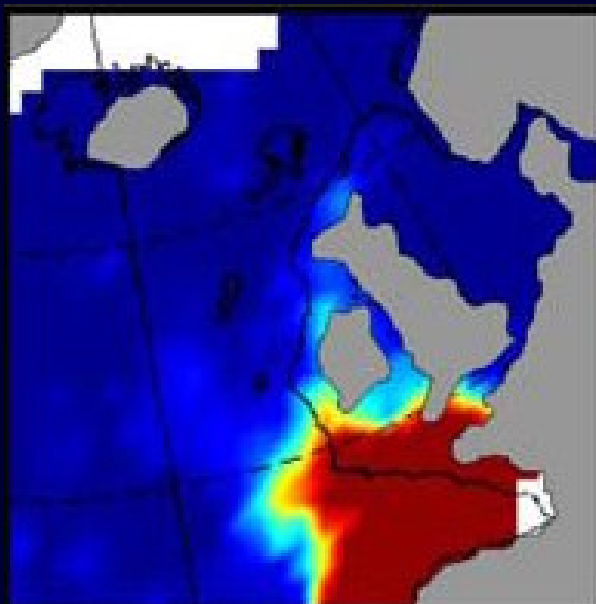
Espèces arctiques :

Calanus hyperboreus, *Metridia longa*, ***Calanus glacialis***

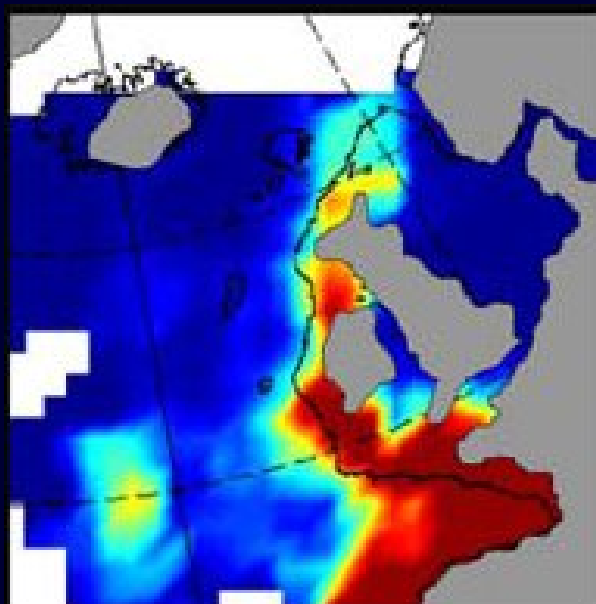


Espèces tempérées chaudes océaniques

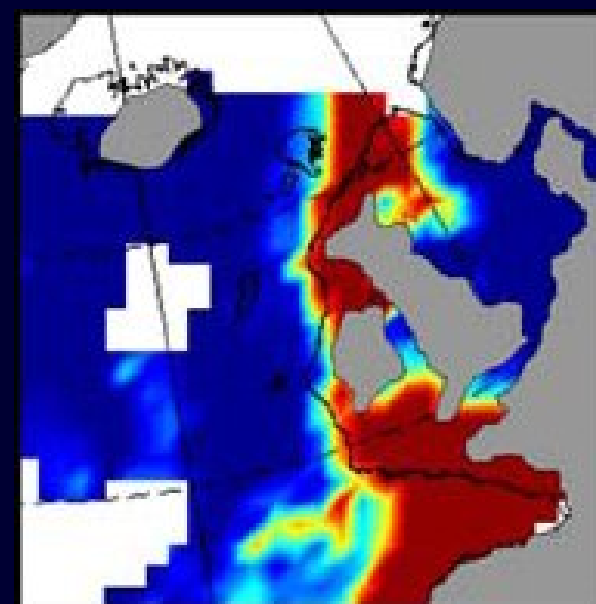
1958-1981



1982-1999

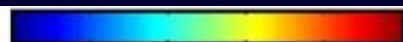


2000-2002



60°N

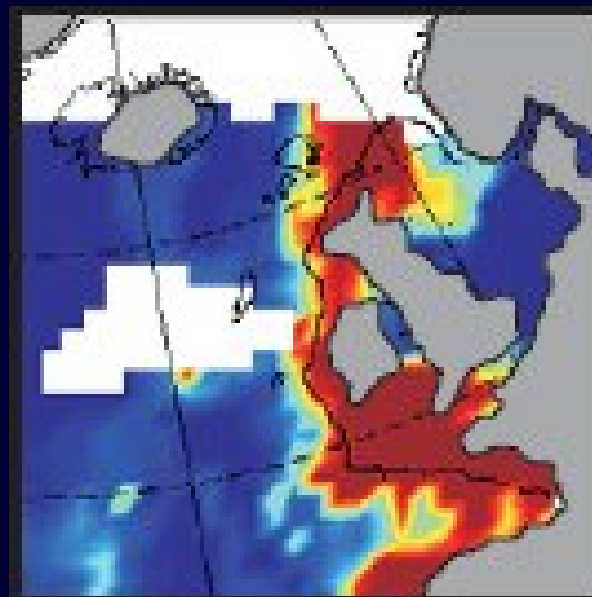
50°N



0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10

Mean number of species
per CPR sample

2003-2005



60°N

50°N

Espèces pseudo-océaniques tempérées

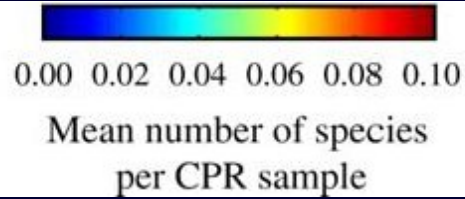
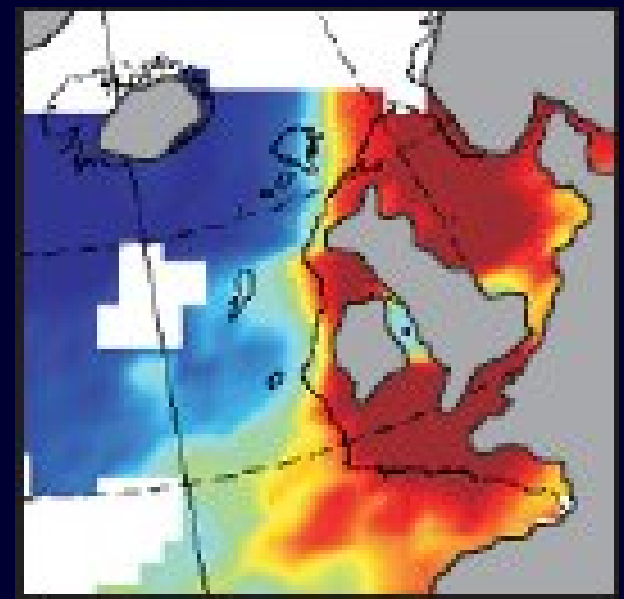
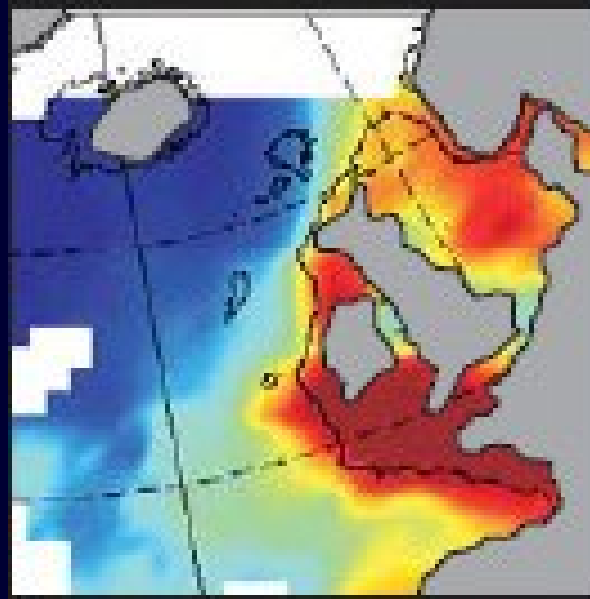
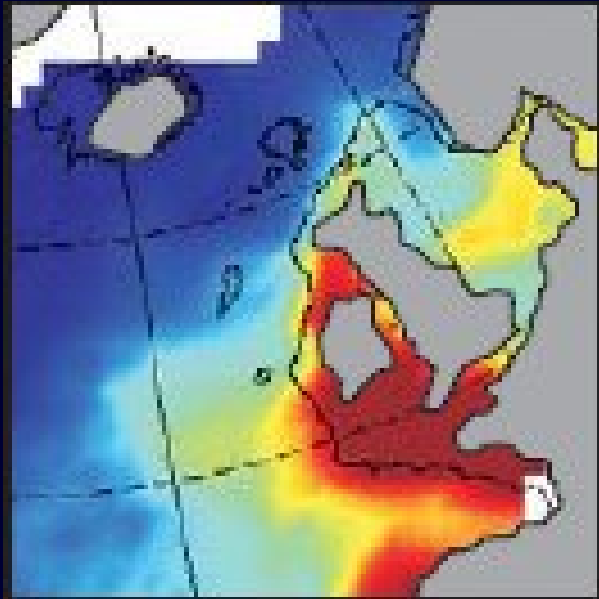
1958-1981

1982-1999

2000-2002

60°N

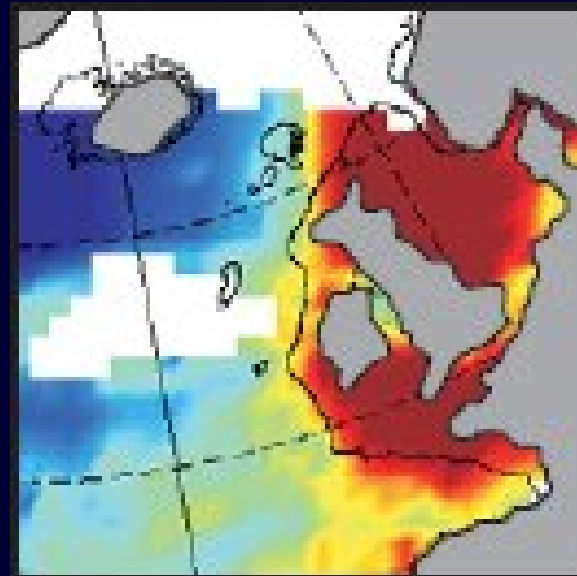
50°N



Calanus helgolandicus

60°N

50°N

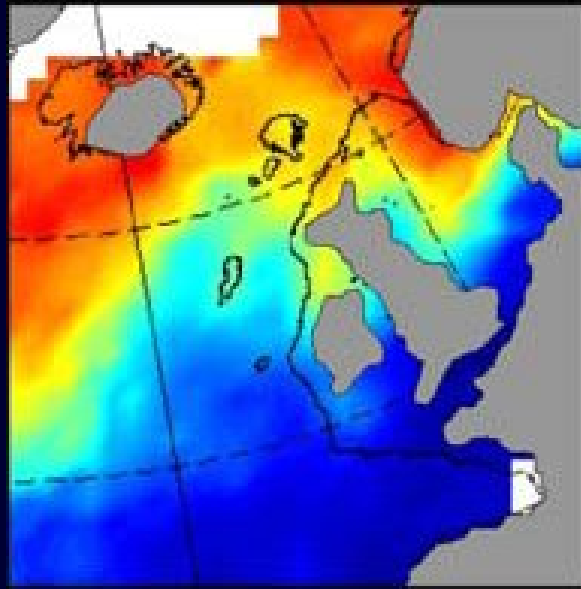


2003-2005

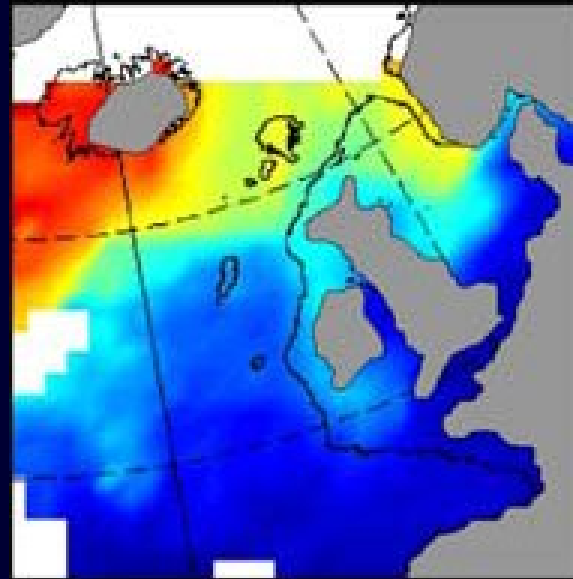
Beaugrand G. 2005. Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. ICES Journal of Marine Science, 62.

Espèces subarctiques

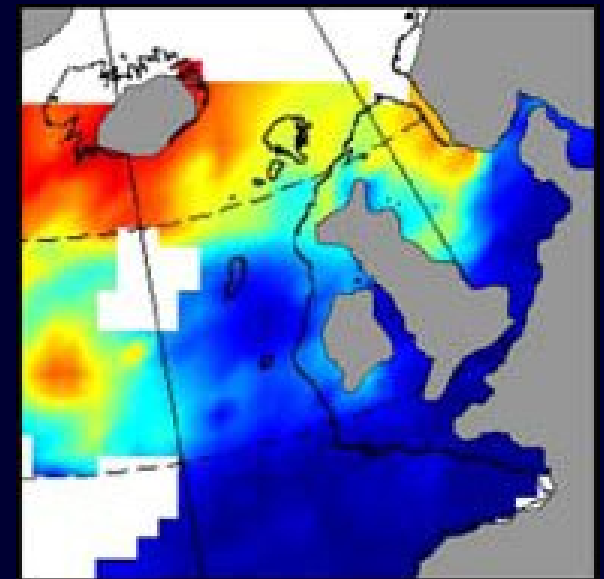
1958-1981



1982-1999

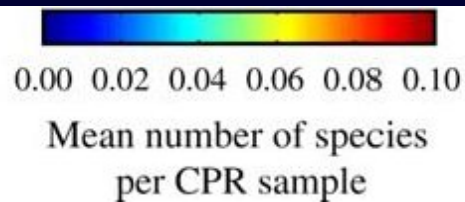


2000-2002



60°N

50°N

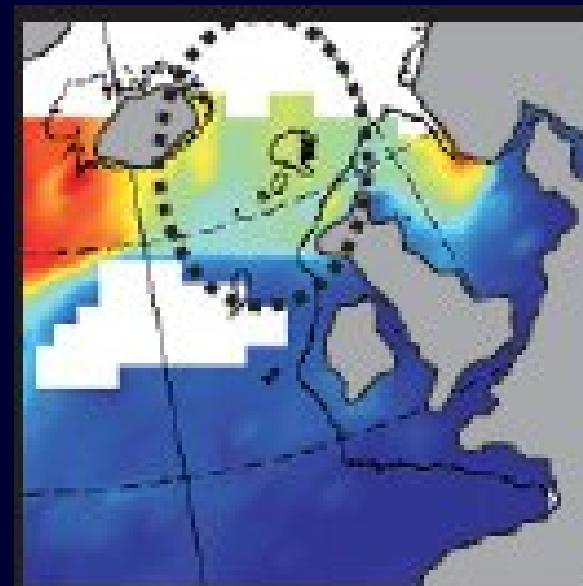


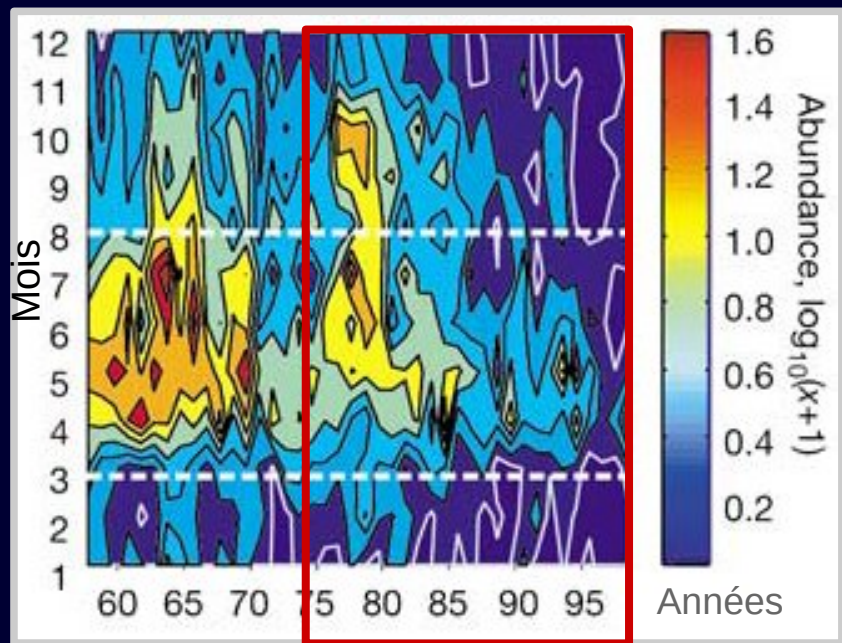
Calanus finmarchicus

2003-2005

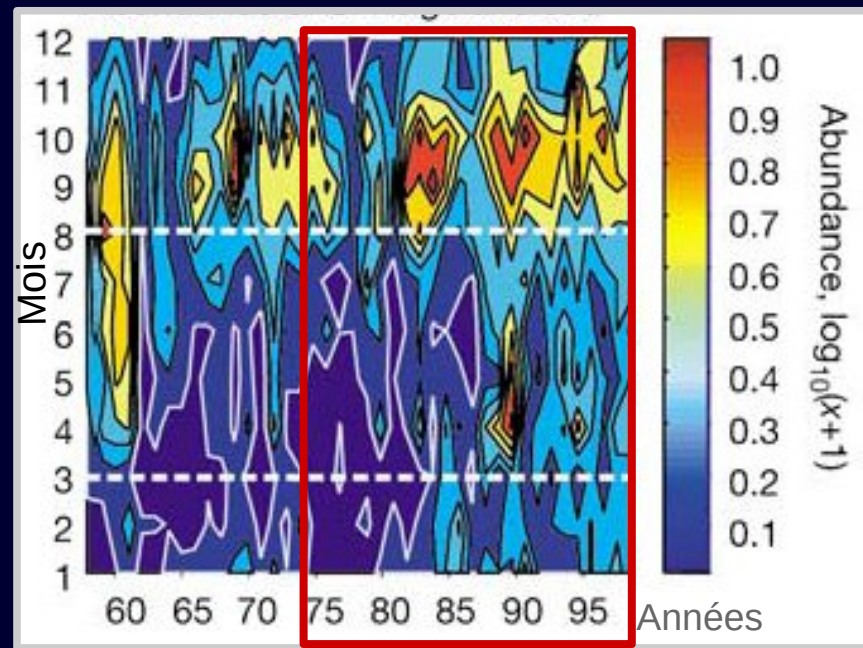
60°N

50°N



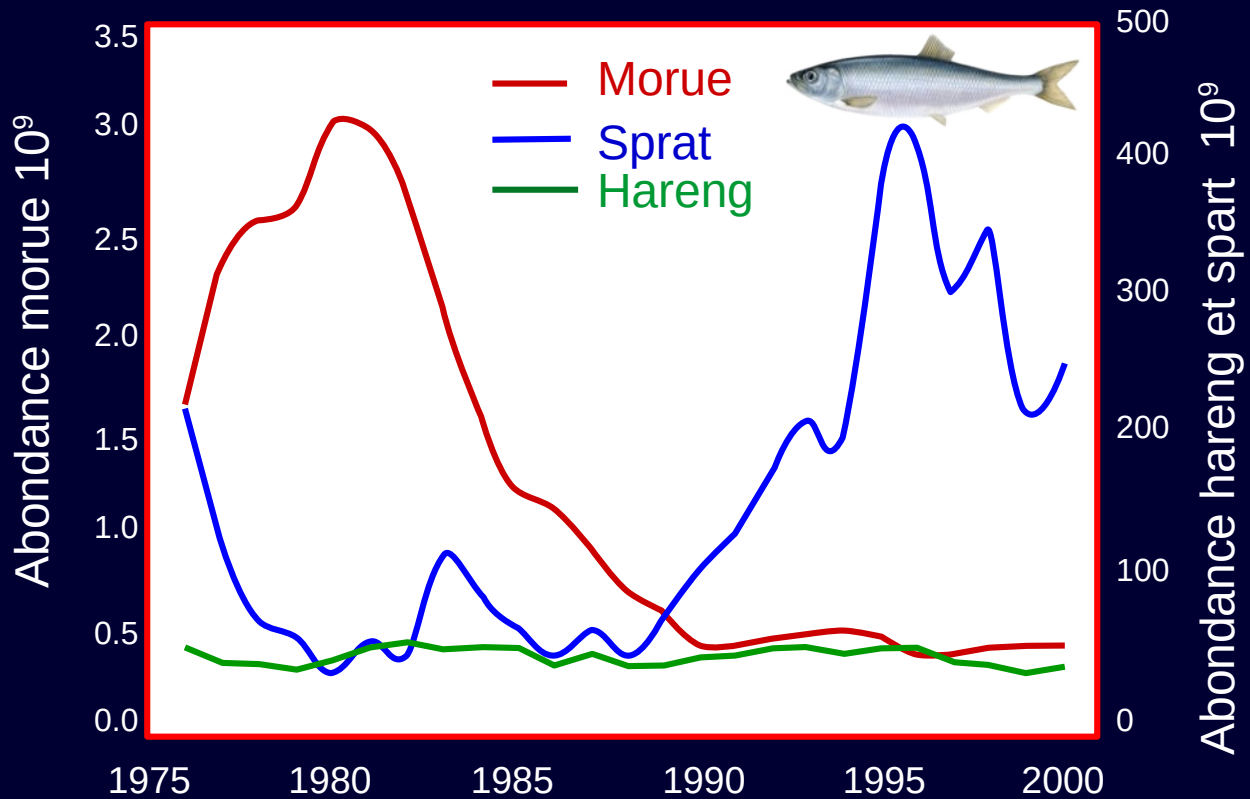


Abondance de *Calanus finmarchicus*



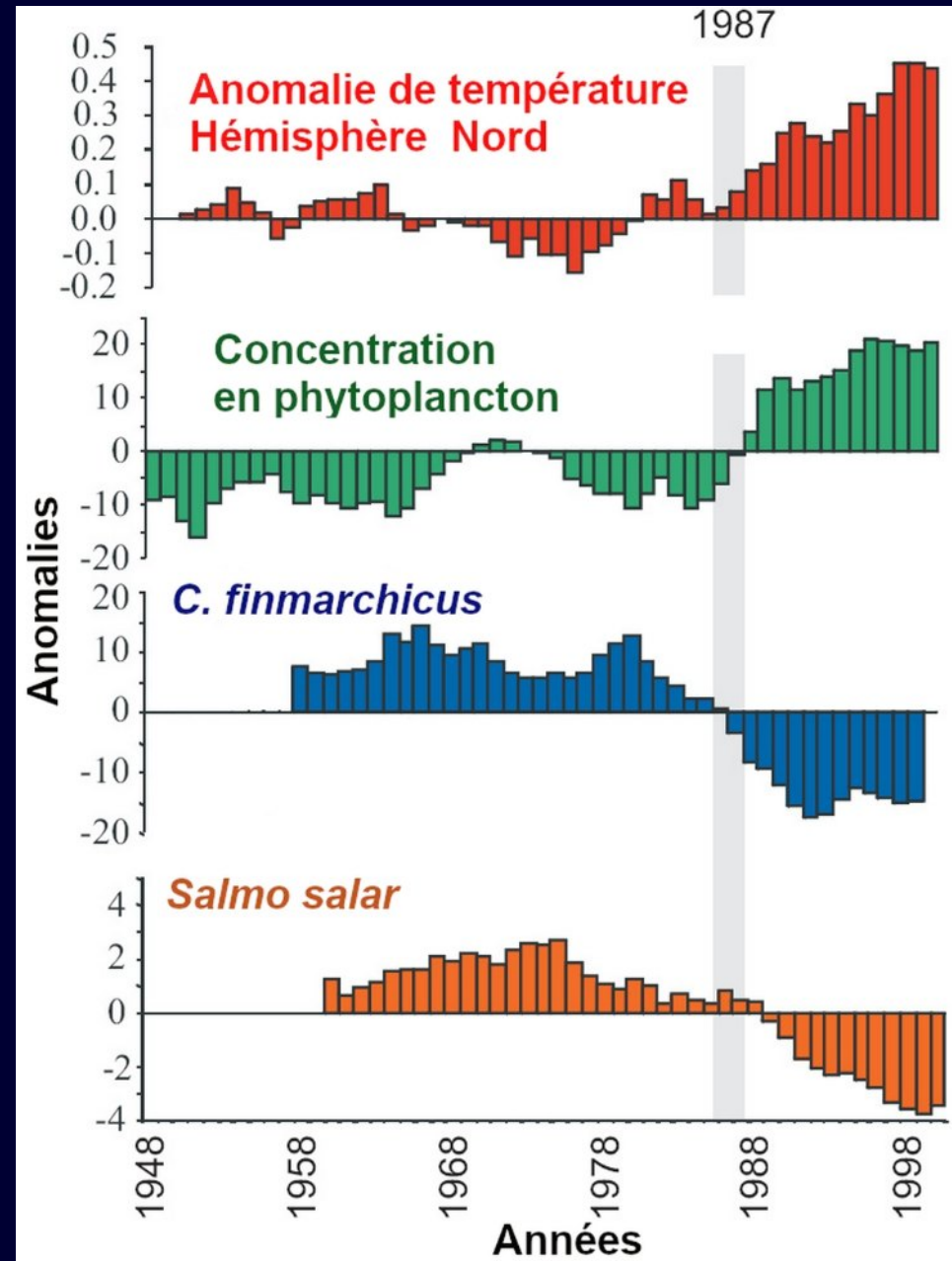
Abondance de *Calanus helgolandicus*

Zooplancton en Mer du Nord



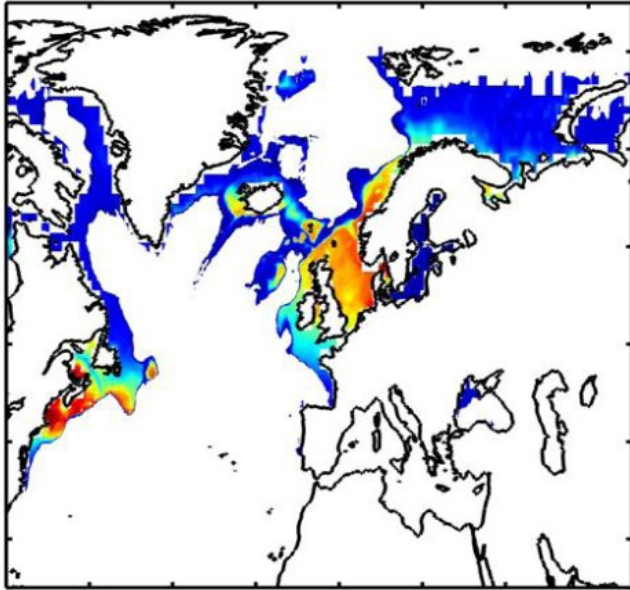
Changements à long-terme dans l'Hémisphère nord

Anomalies de la concentration en phytoplancton, des abondances d'un copépode subarctique et du saumon dans une zone autour des îles britanniques.

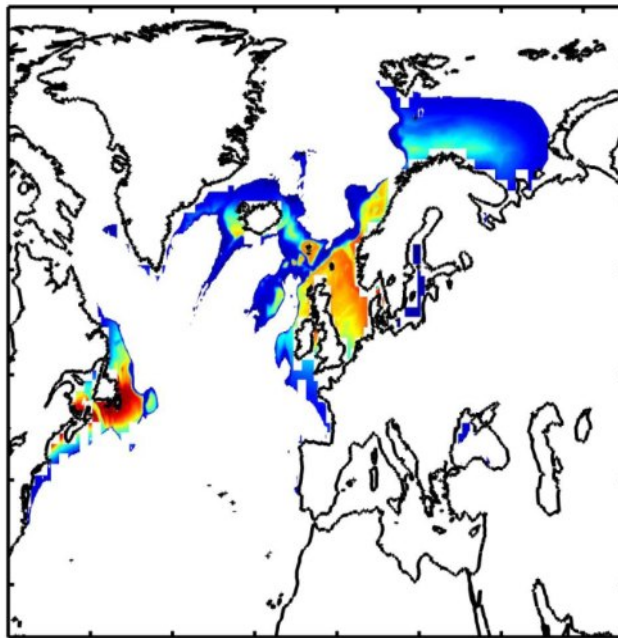


Projection de la distribution spatiale du hareng
(scénario B2)

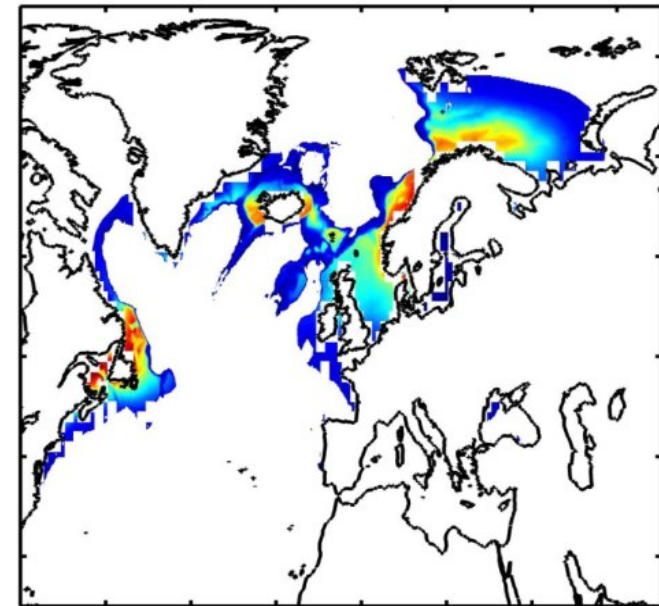
1960-1969



2010-2019

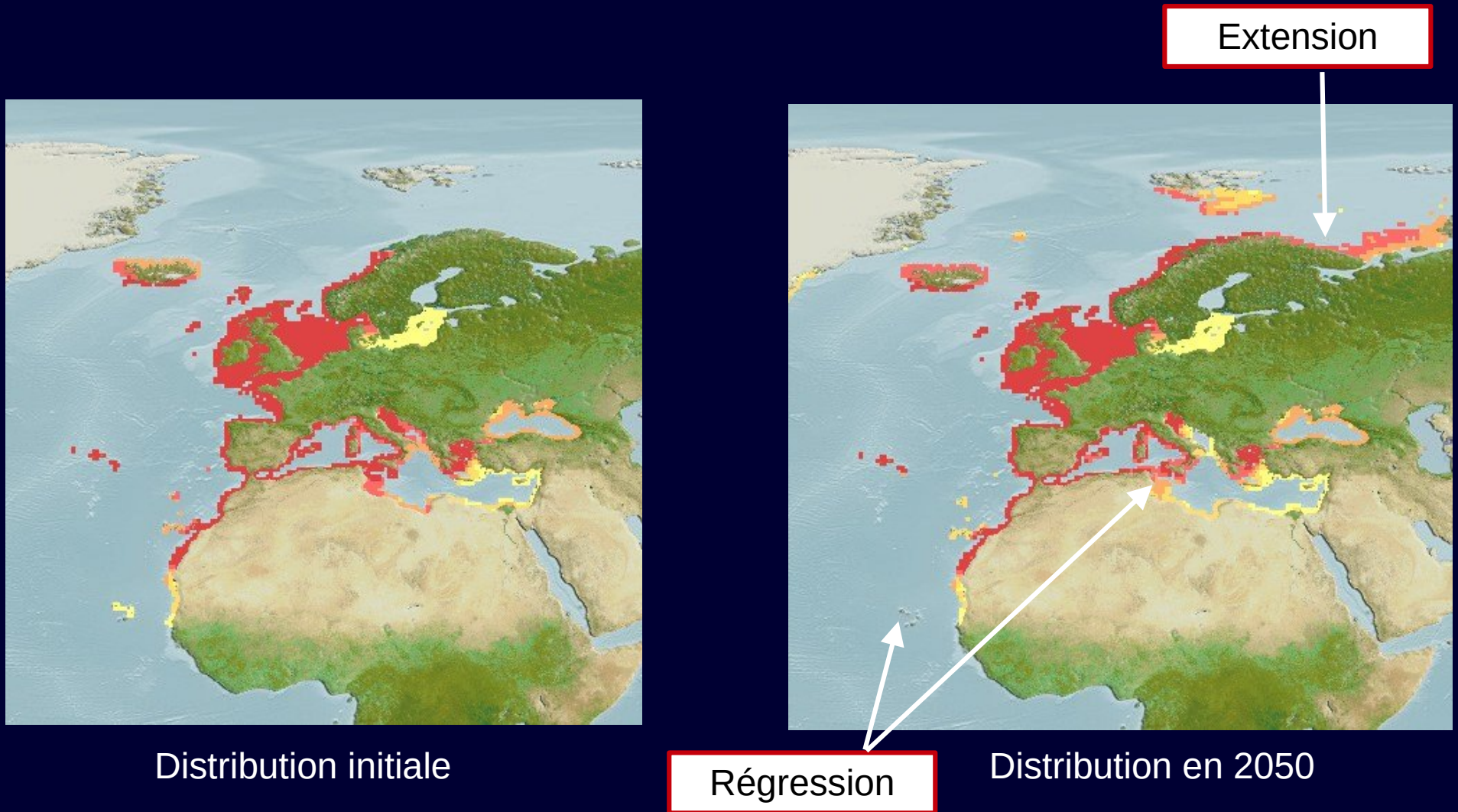


2090-2099



Source: Beaugrand & Lenoir (2008), modèle NPPEN - ECHAM 4, Scénario B2

Sardine - *Sardina pilchardus*



Basé sur le scénario IPCC/GIEC RCP8.5

Anchois - *Engraulis encrasicolus*



Distribution initiale



Extension

Régression

Distribution en 2050

Basé sur le scénario IPCC/GIEC RCP8.5

Changement climatique et distribution de mammifères marins

Si le changement se poursuit, il faut s'attendre à davantage de visites de formes des eaux chaudes dans l'atlantique nord-est.

Les espèces probables comprennent le Rorqual de Bryde (*Balaenoptera edeni*), le cachalot pygmée (*Kogia breviceps*), le cachalot nain (*Kogia sima*), le dauphin à bec étroit (*Steno bredanensis*) et le Dauphin tacheté de l'Atlantique (*Stenella frontalis*).

Les baleines à fanons, comme les baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*) et les rorquals communs (*Balaenoptera physalus*), qui se déplacent normalement vers le sud en hiver vers des eaux plus chaudes pour se reproduire, peuvent de plus en plus le faire dans les eaux autour du Royaume-Uni, certaines même dans la mer du Nord (Evans et Bjørge 2014).



Baleine à bosse



Rorqual de Bryde



Dauphin à bec étroit

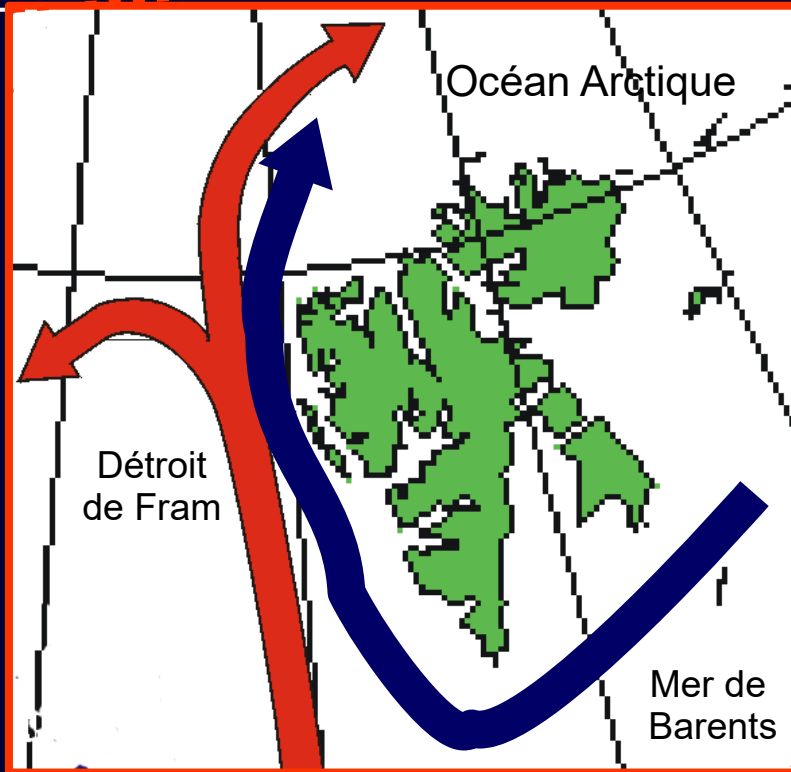


Cachalot nain

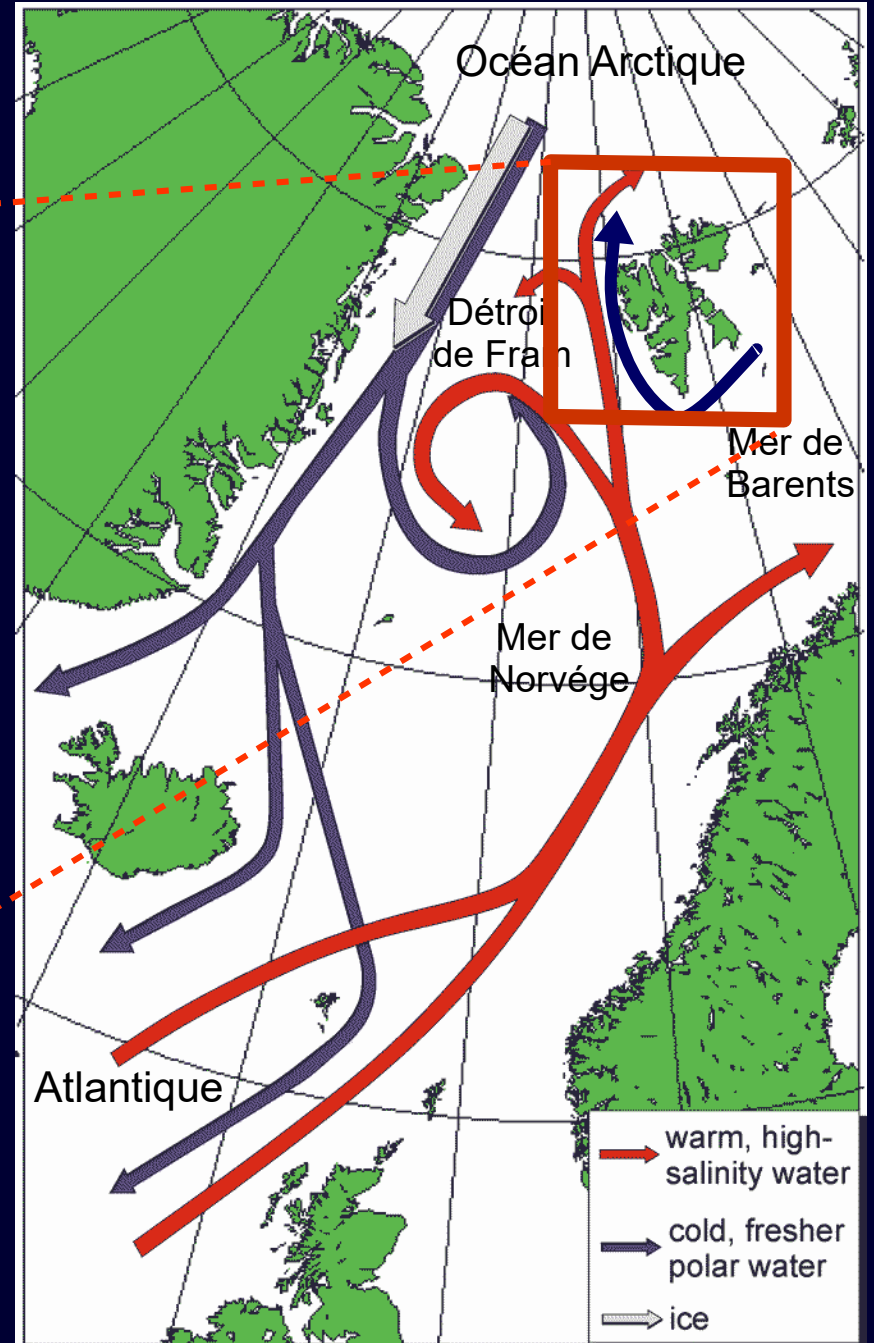
Brander, K. M. et al. Environmental Impacts—Marine Ecosystems. in North Sea Region Climate Change Assessment (eds. Quante, M. & Colijn, F.) 241–274 (Springer International Publishing, 2016).

Evans, P. G. H. & Bjørge, A. Impacts of climate change on marine mammals. MCCIP Science Review 2013 15 pages (2013)

Et plus au nord !!!



Archipel du svalbard
(Spitzberg)



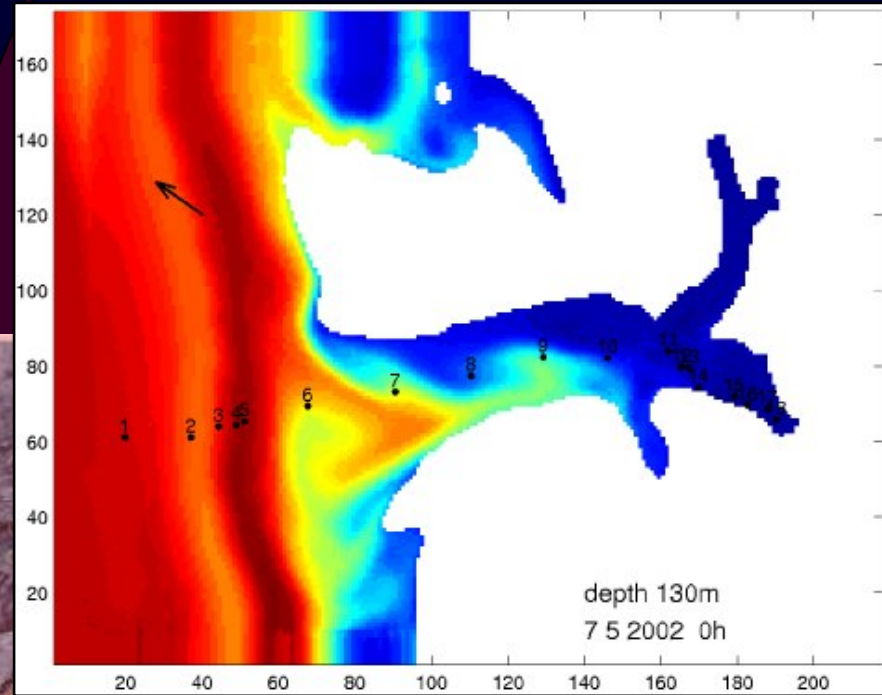
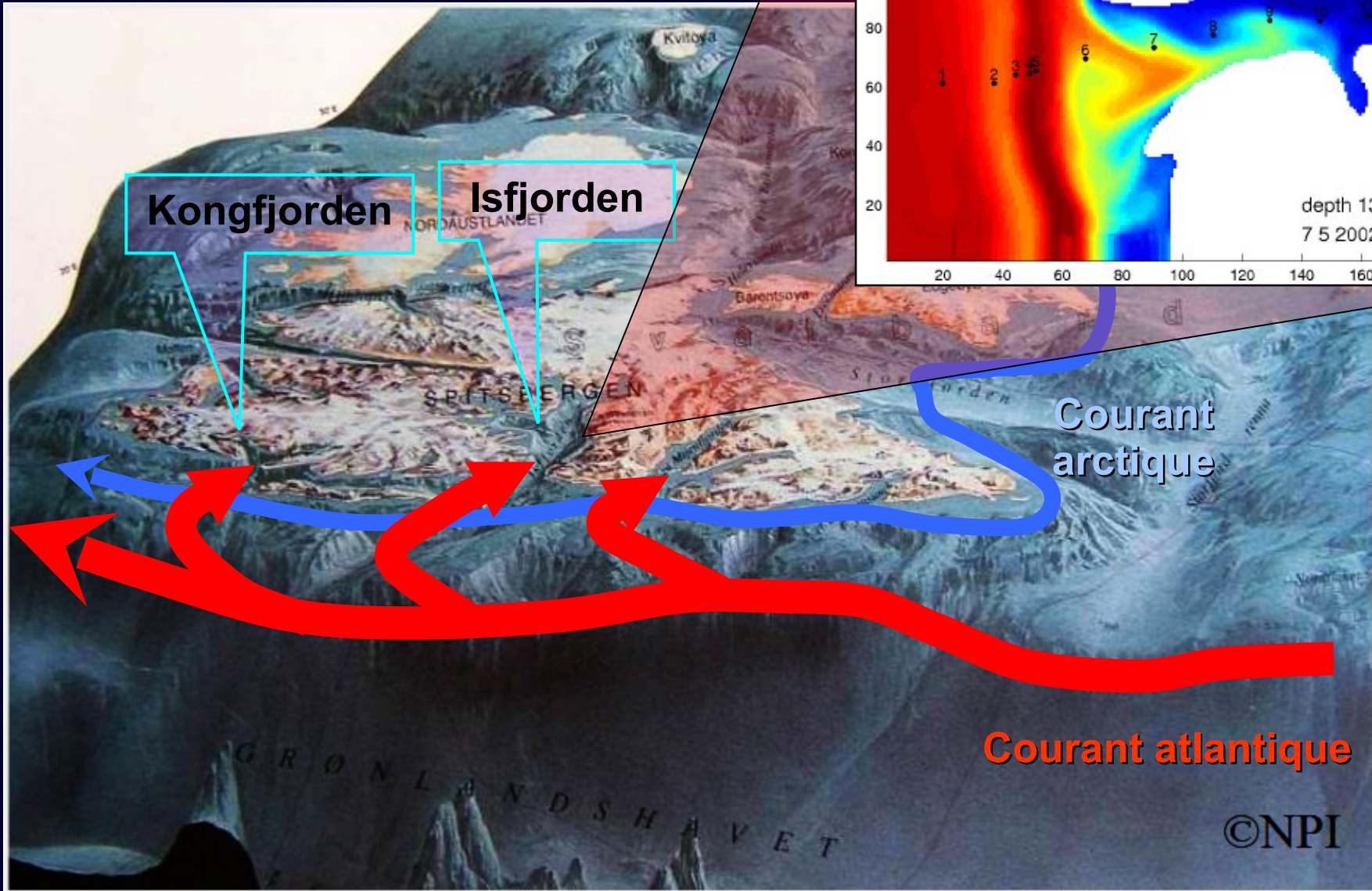
From F. Cottier



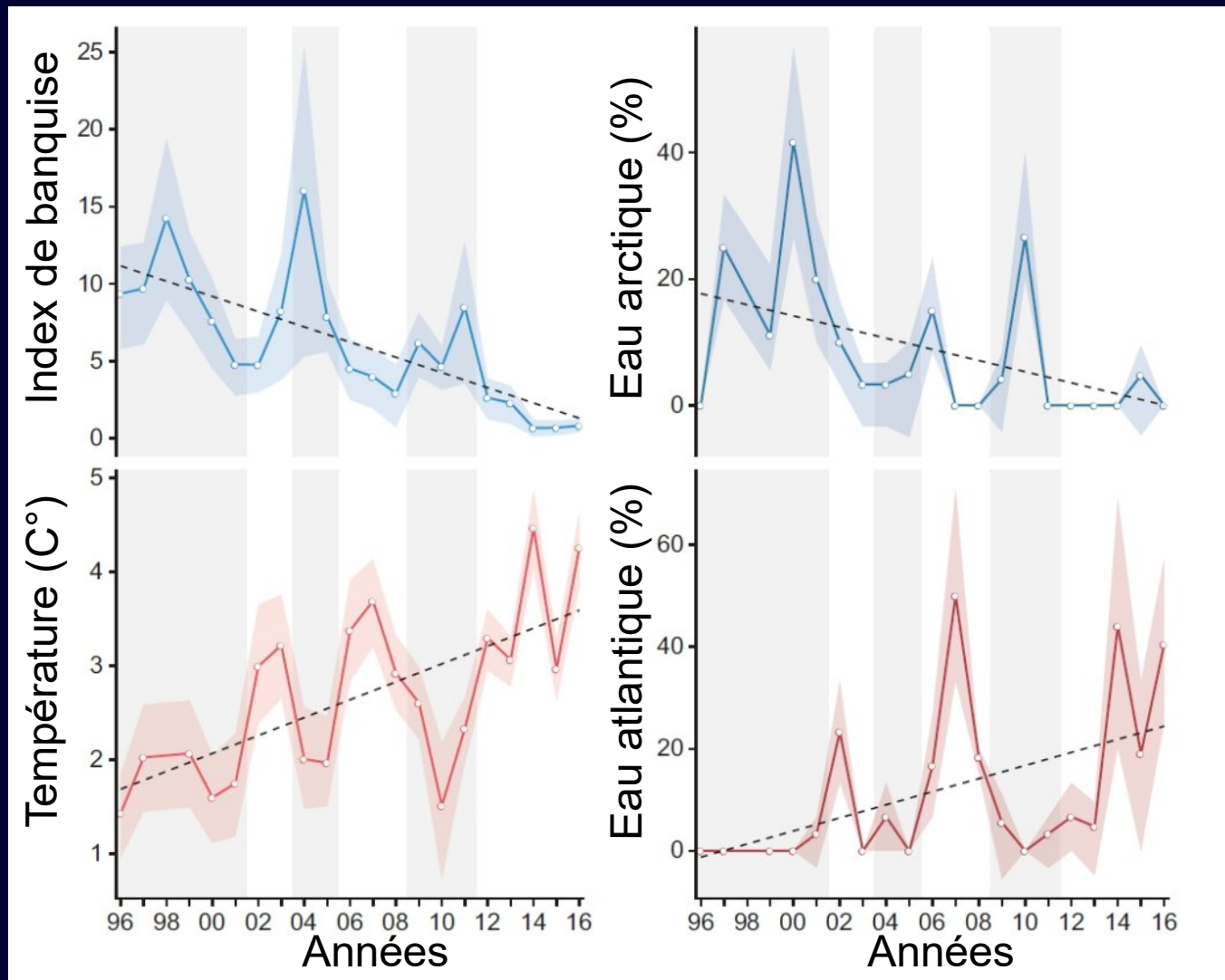
Côte Ouest du Svalbard



Côte ouest du Svalbard



Evolution de l'hydroclimat du fjord Kongsfjorden



Espèces planctoniques arctiques et espèces subarctiques



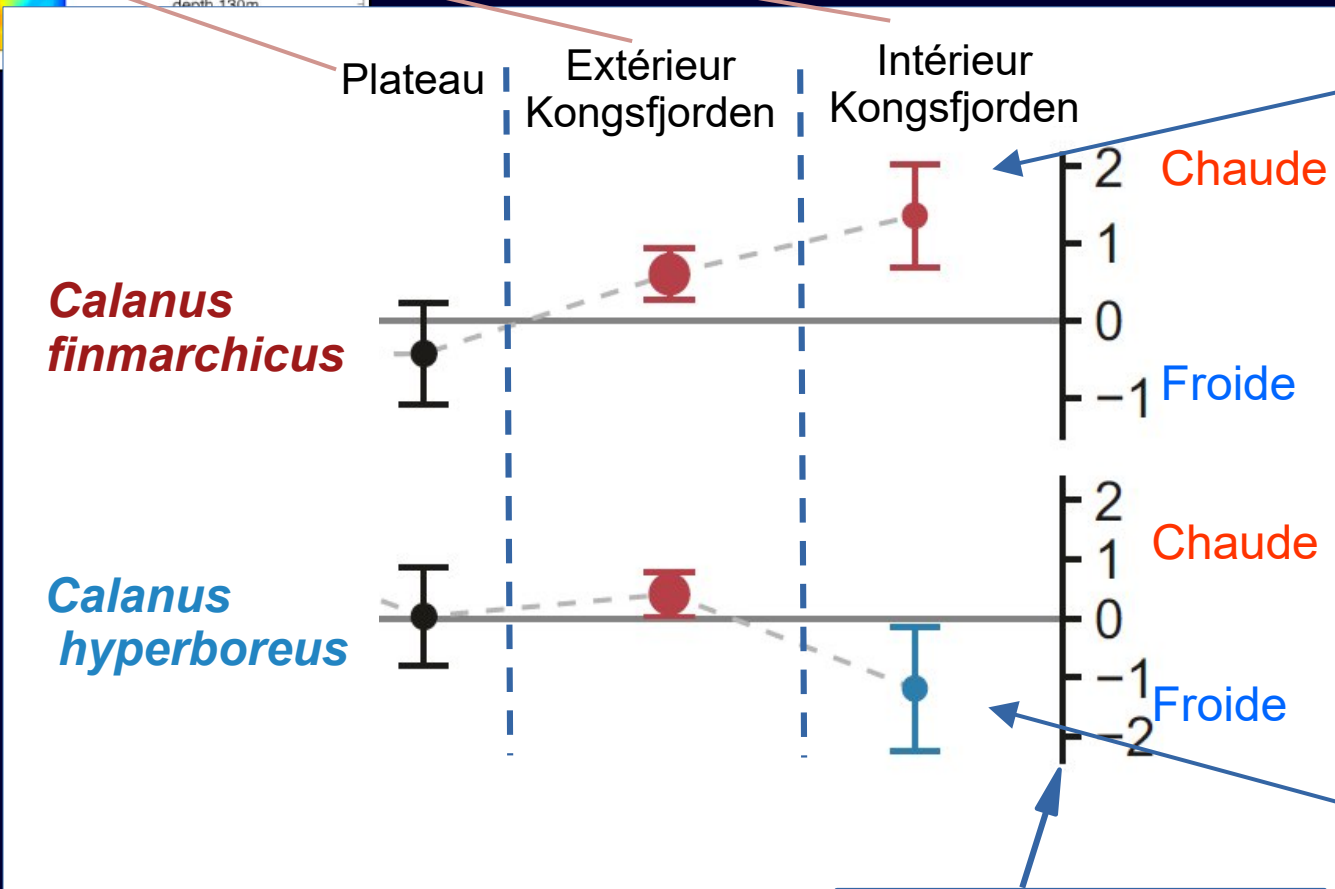
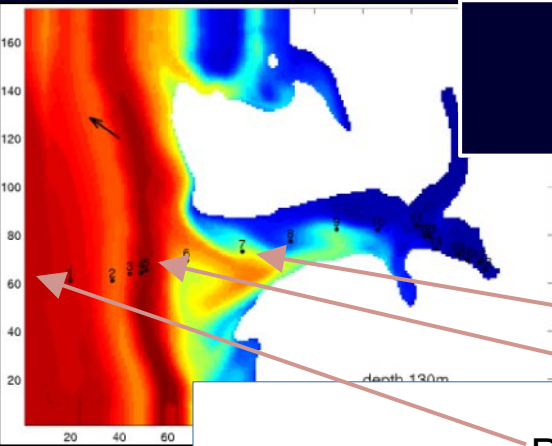
Une composition spécifique bien différente suivant l'environnement:

Systeme froid : riche en *Calanus hyperboreus* et *Calanus glacialis*

Systeme chaud : riche en *Calanus finmarchicus* et *Pseudocalanus spp*

- *C. glacialis* est 6 à 7 fois plus énergétique que *C. finmarchicus* et 15 fois plus que *Pseudocalanus spp* (à biomasse égale).
- *C. hyperboreus* est 13 fois plus énergétique que *C. finmarchicus* et 30 fois plus que *Pseudocalanus spp* (à biomasse égale)

Réponse des communautés zooplanctonique en fonction des années froides ou chaudes.



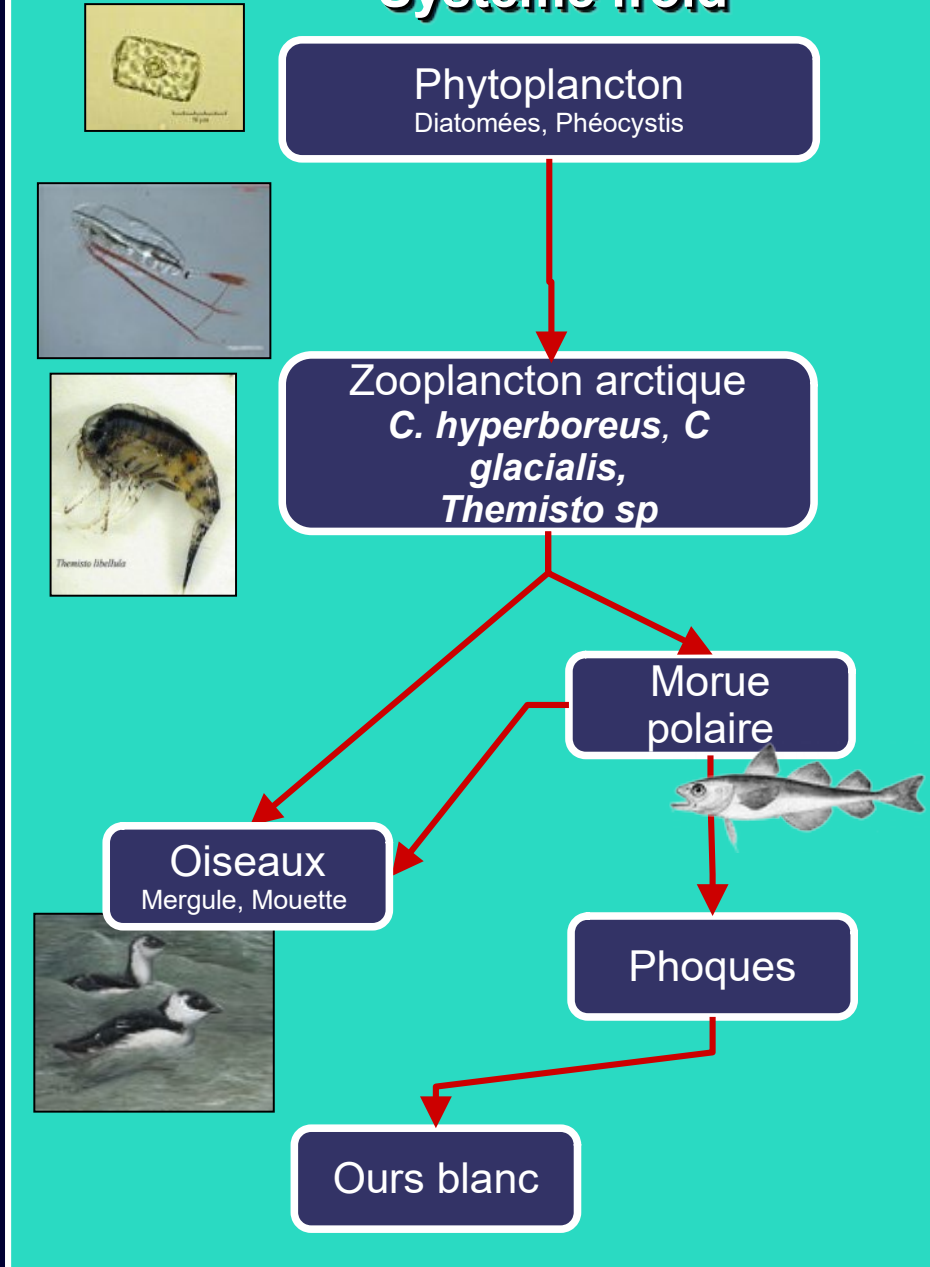
Année chaude les *C. finmarchicus* en nombre élevé

Année froide les *C. hyperboreus* en nombre élevé

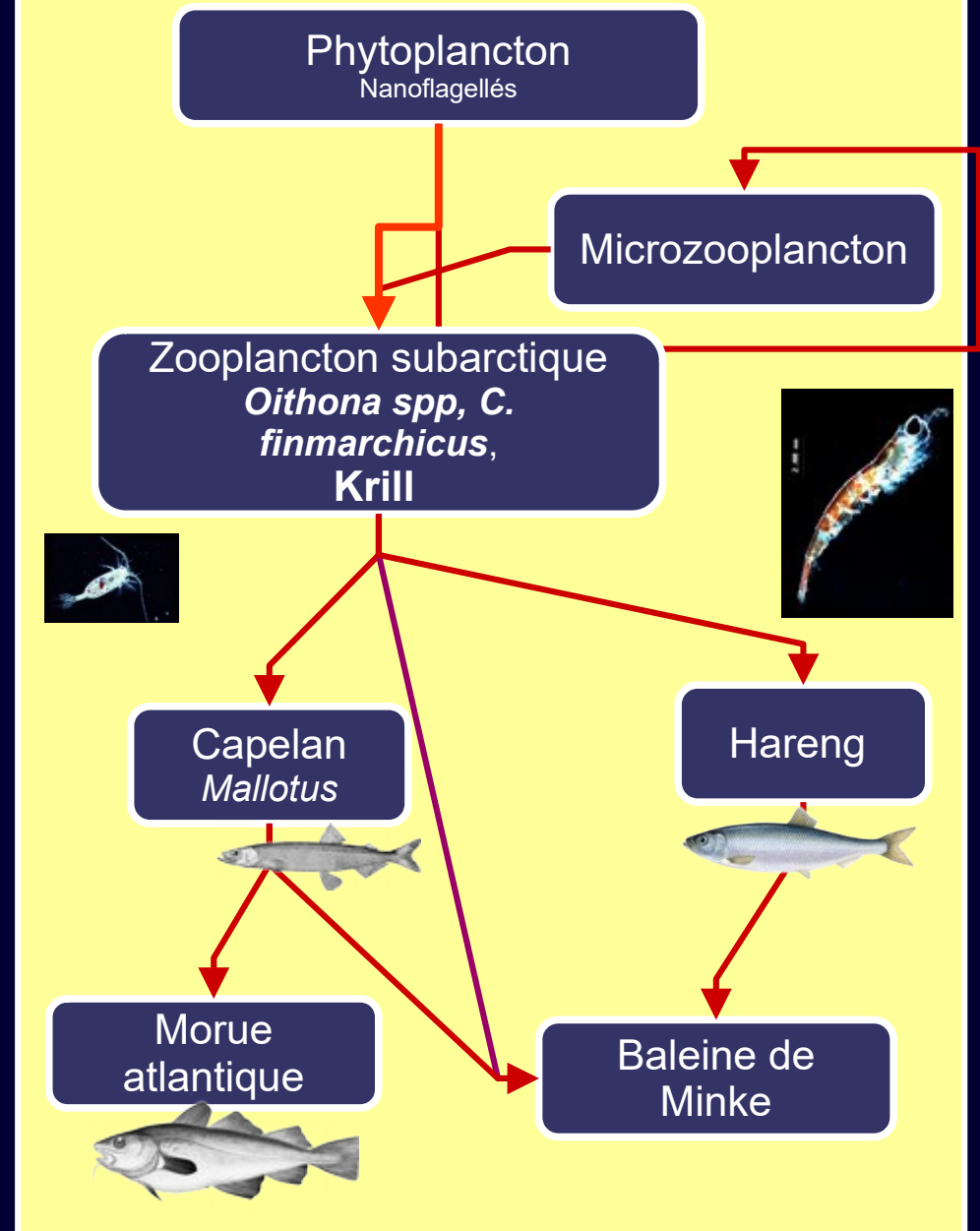
Index de réponse de la biomasse entre les années chaudes et froides.

Axes prédominants des réseaux alimentaires

Système froid



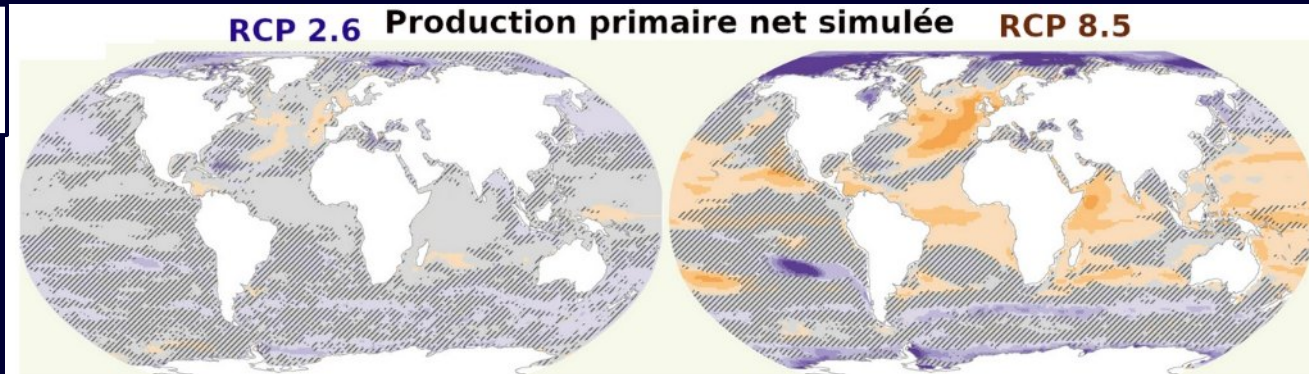
Système chaud



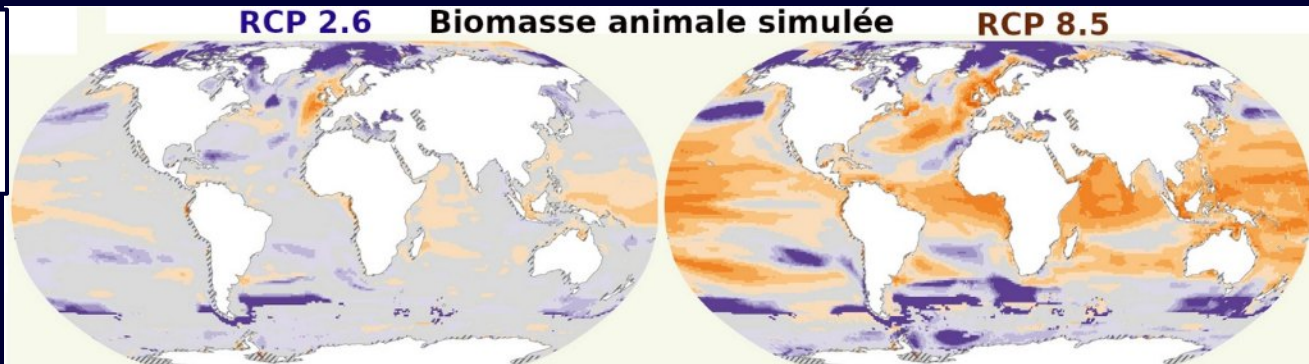
En synthèse de cette partie

Évolutions suivant les scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5

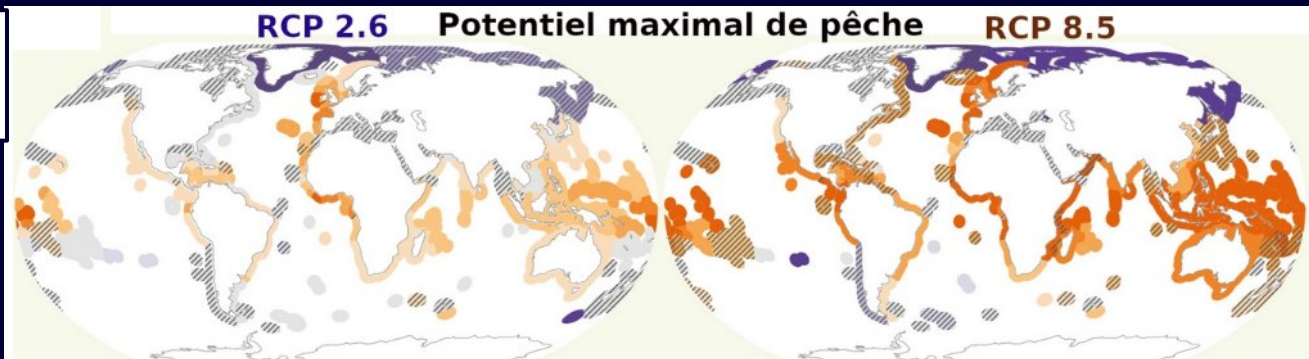
Production
primaire



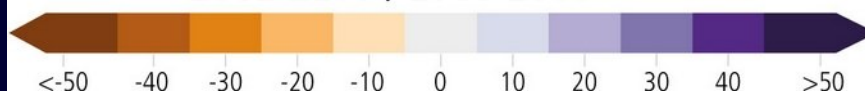
Biomasse
animale
marine



Potentiel
de pêche



**% de changement
2081-2100 / 1986-2005**



Inadéquation
modélisation

no data