



Océan et océanographie

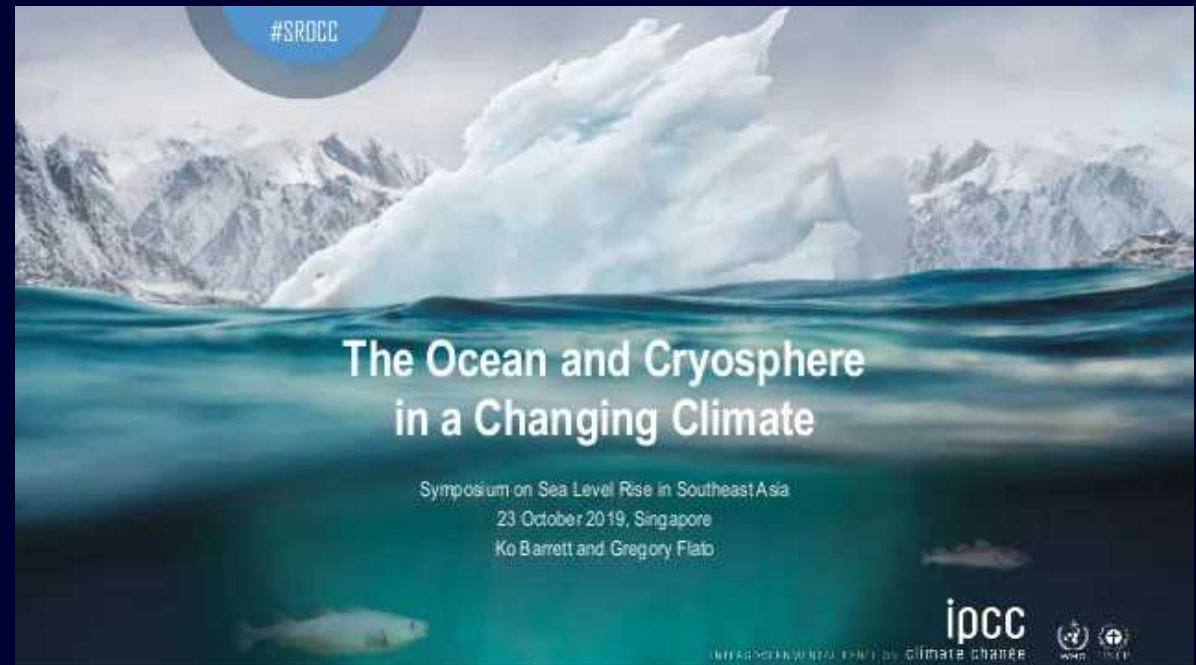
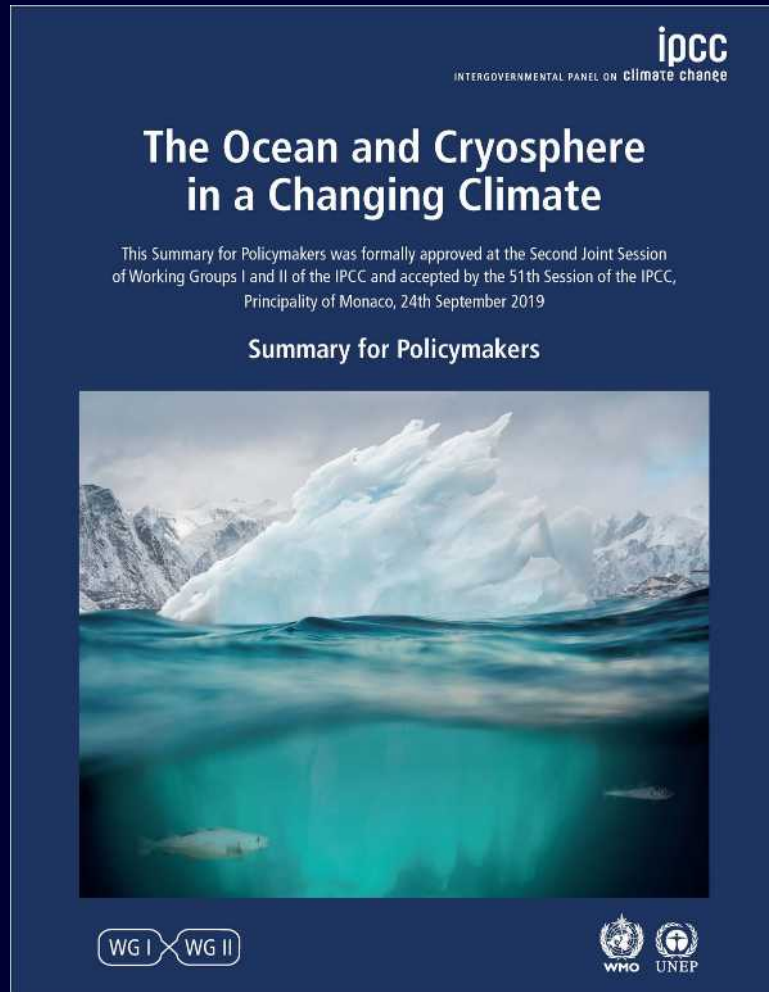


Changements climatiques et systèmes océaniques

Jean-Philippe Labat, 2023



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.).

Un constat : un changement global de l'océan

Il est pratiquement certain que l'océan mondial s'est réchauffé sans relâche depuis 1970 et a absorbé plus de 90 % de la chaleur excédentaire du système climatique (confiance élevée).

Depuis 1993, le taux de réchauffement des océans a plus que doublé (probablement).

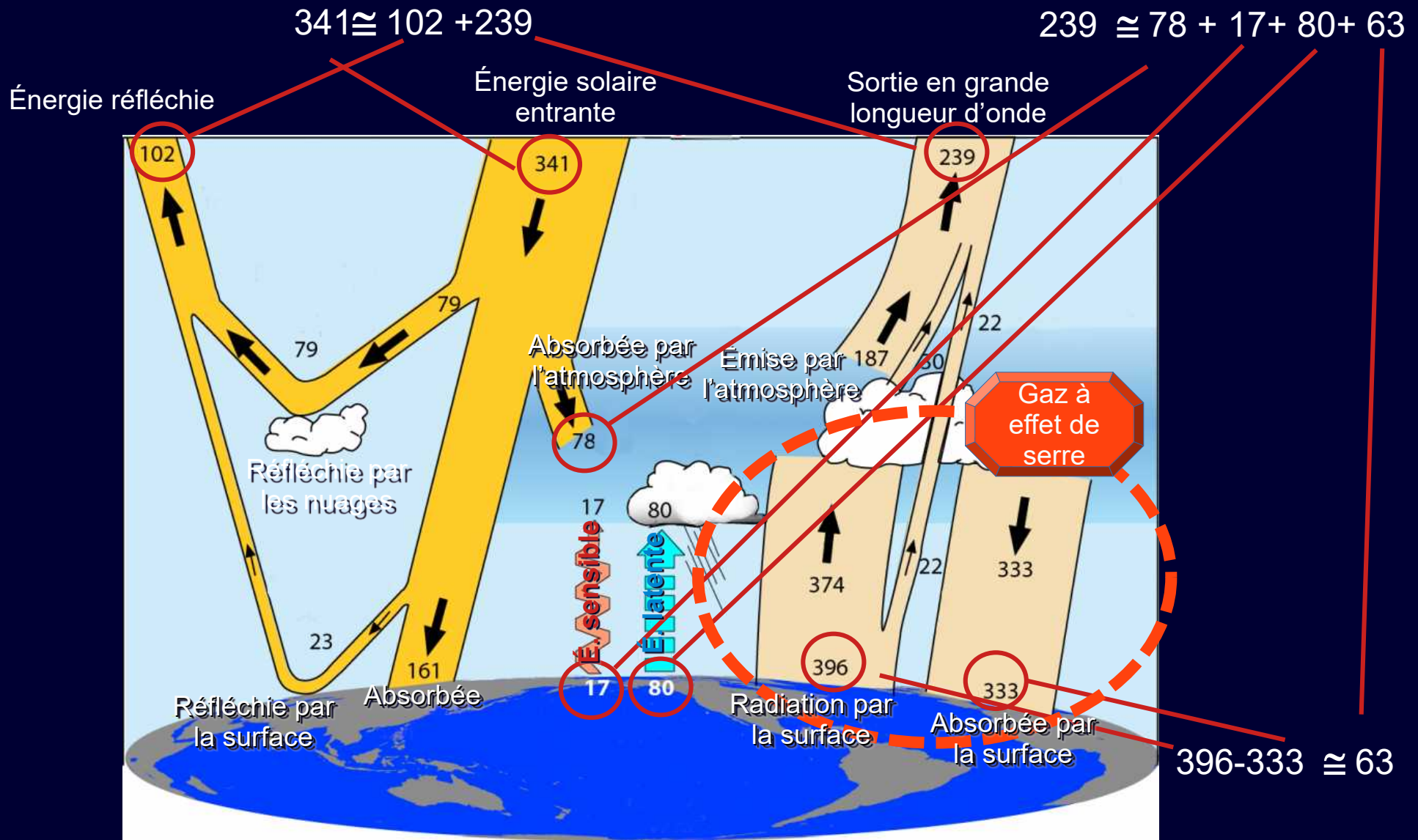
Les canicules (vagues de chaleur) marines ont très probablement doublé de fréquence depuis 1982 et augmentent d'intensité (degré de confiance très élevé).

En absorbant plus de CO₂, l'océan a subi une acidification de surface croissante (quasi certaine).

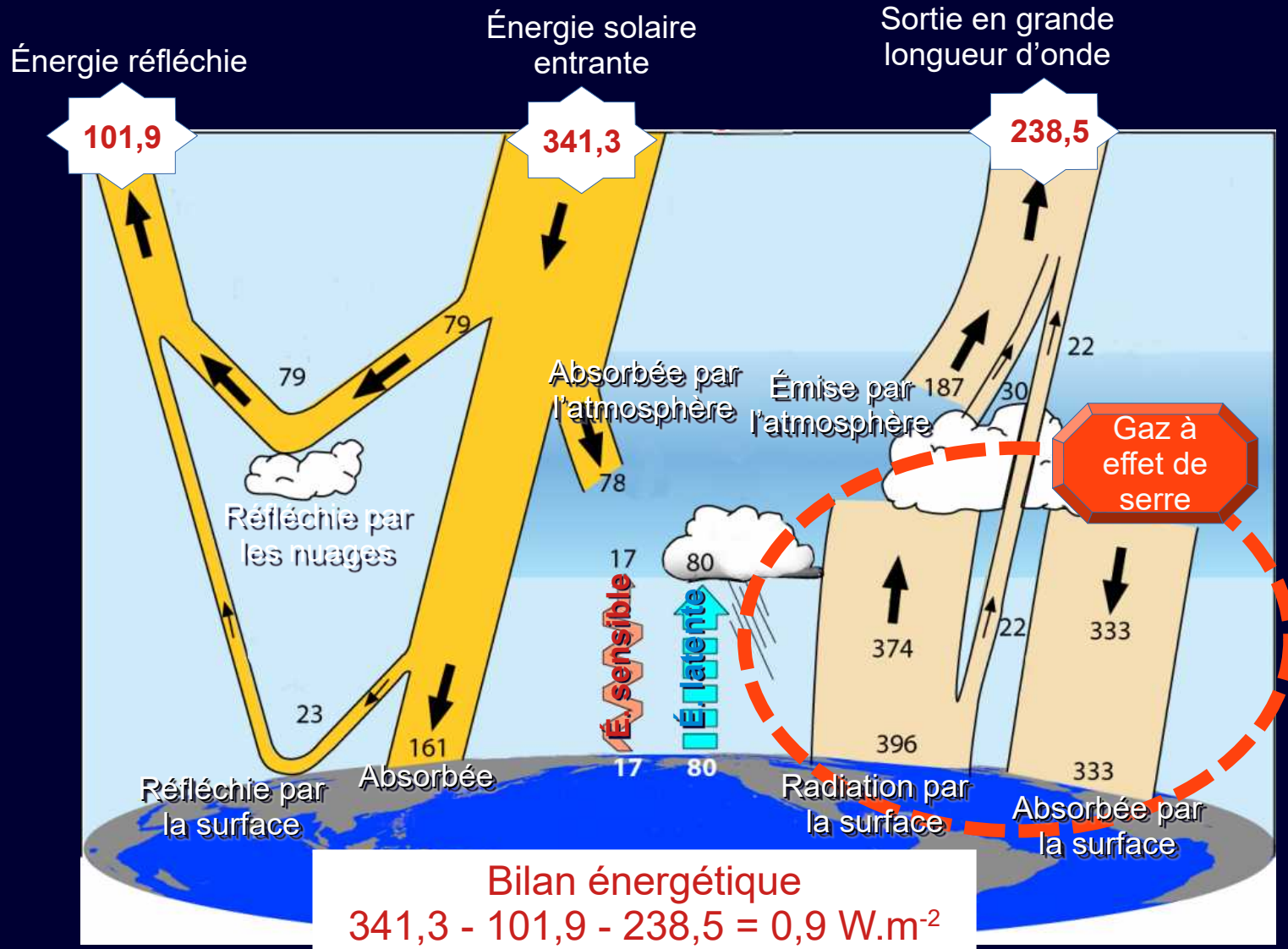
Une perte d'oxygène s'est produite depuis la surface jusqu'à 1000 m (confiance moyenne).

D'où cela vient-il ??

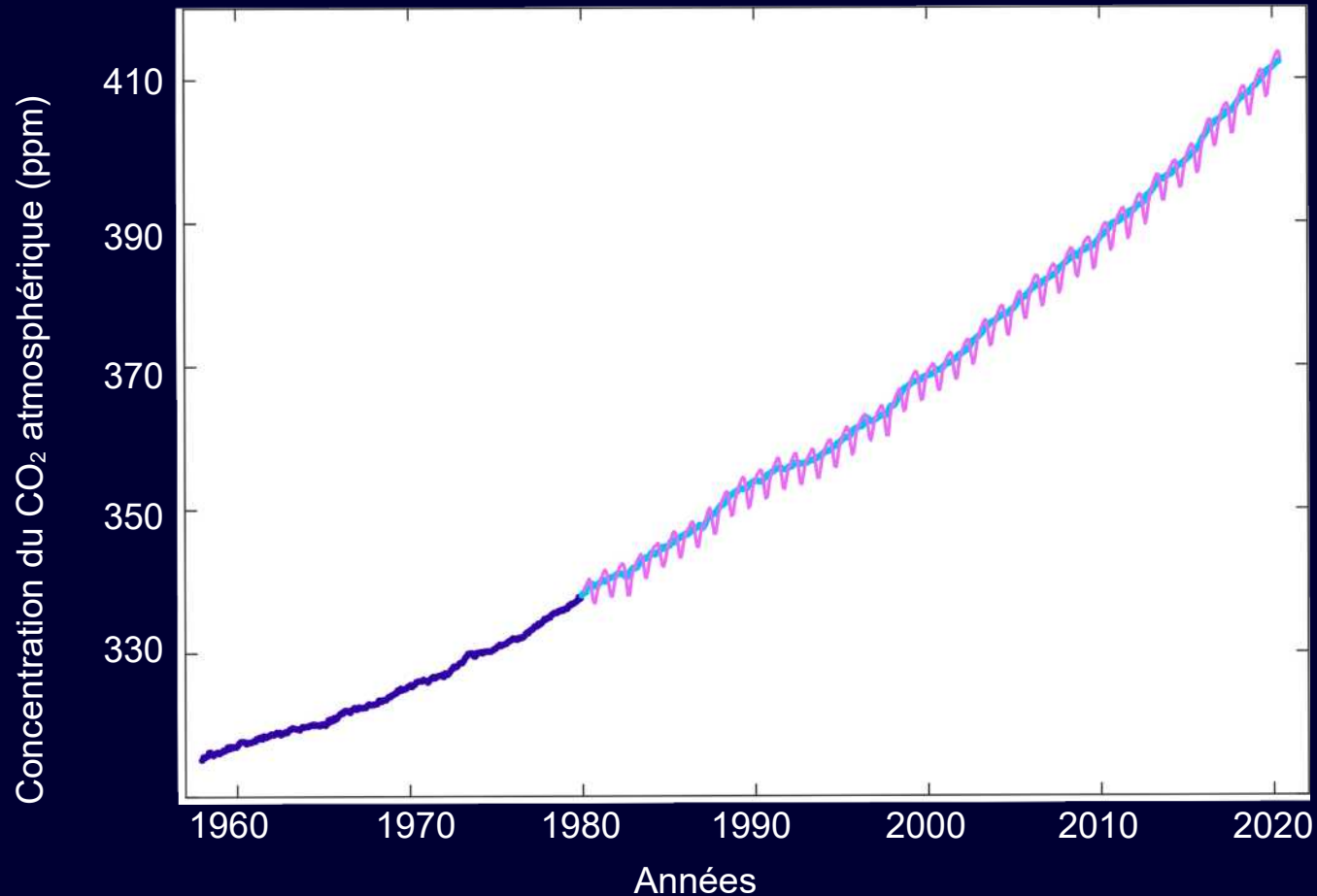
Bilan énergétique moyen annuel de la terre en $W.m^{-2}$



Bilan énergétique moyen annuel et valeurs pour 2000–2005 en W.m⁻²

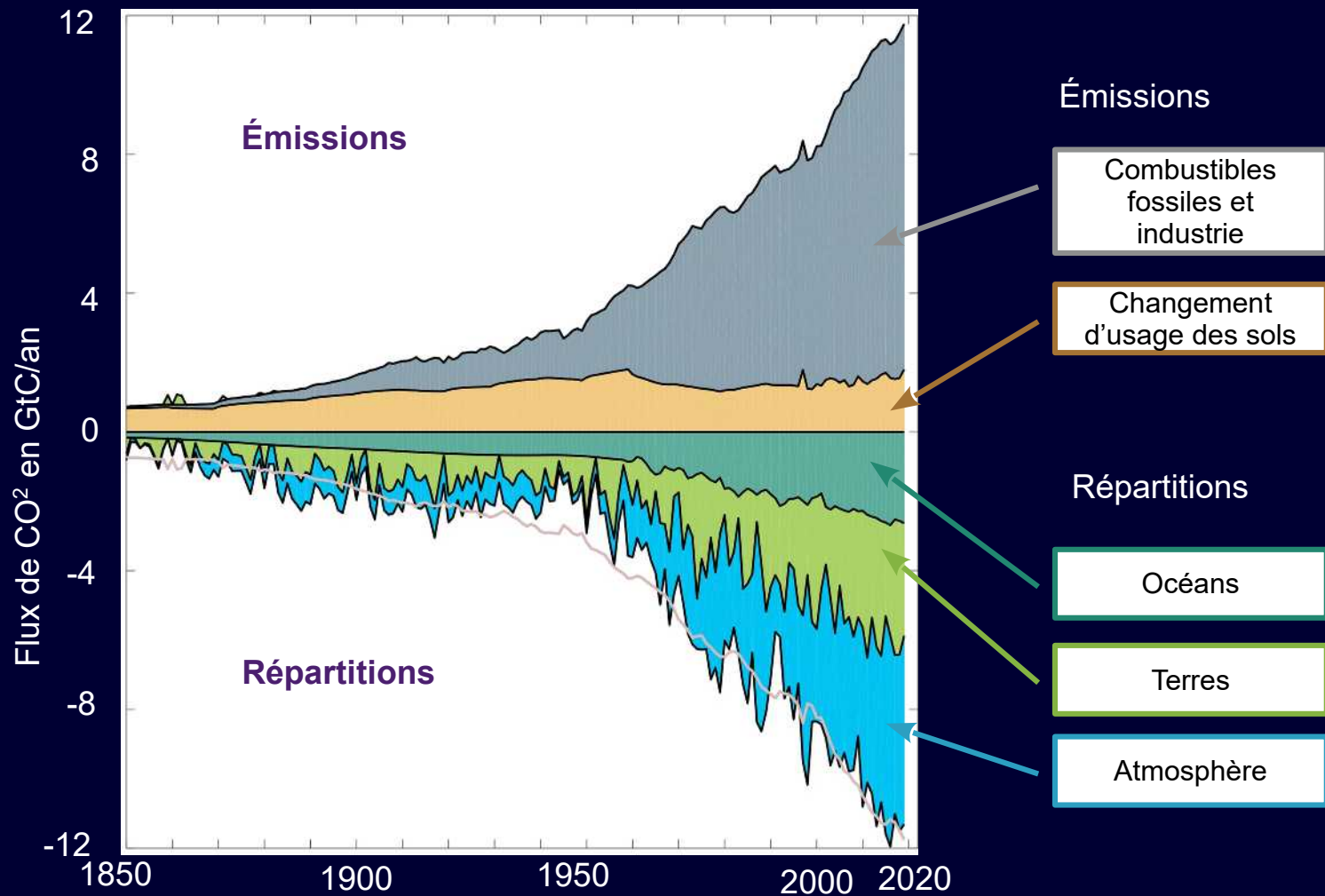


Augmentation du CO₂ atmosphérique, principal gaz à effet de serre

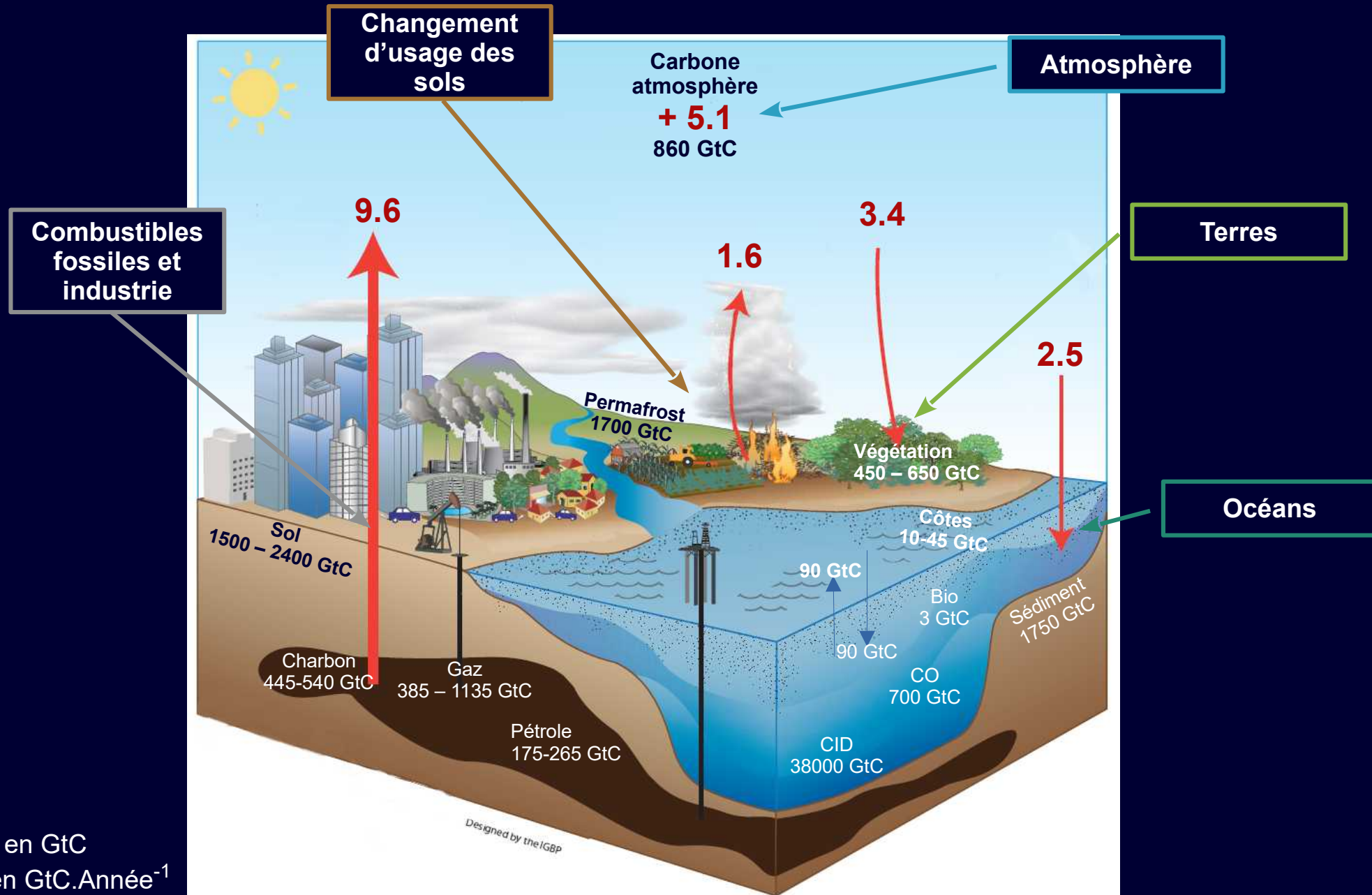


Les données mensuelles de 1980 à 2019 : mesures directes de CO₂ atmosphérique de plusieurs stations (NOAA/ESRL).
Les données de 1958 à 1979 : mesures de CO₂ atmosphérique des stations Mauna Loa et South Pole (Scripps Institution of Oceanography).

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.



Stock en GtC

Flux en GtC.Année⁻¹

Variabilité du bilan global = (↑Combustibles fossiles + ↑Usage terre) - (ΔAtmosphère + ↓Océan + ↓végétation) = -0,1 GtC

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

Le consensus scientifique sur le réchauffement climatique

AUSSÍ, 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.

Comprendre les « niveaux de confiance » des prévisions.

Pratiquement certain - degré de confiance très élevé

Probable - degré de confiance élevé

Possible - degré de confiance moyen

Très peu probable, mais physiquement plausible

Des prévisions qu'il faut regarder avec leurs niveaux de confiance car souvent :

+ Basées sur des observations encore peu étendues dans la durée au regard des phénomènes étudiés.

+ Utilisant la modélisation de systèmes complexes, non linéaires et couvrant des échelles de temps et d'espaces très variés.

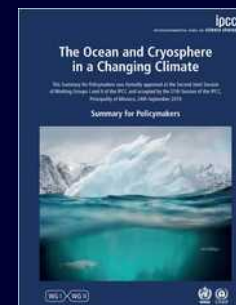
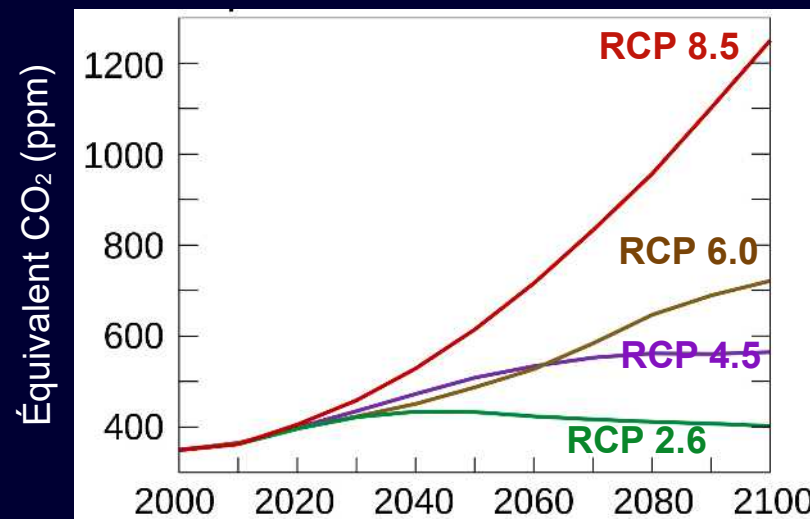
Prévisions antérieures : bonne adéquation actuelle avec ce qui avait été prévu précédemment.

Scénarios 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).

Scenarii			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

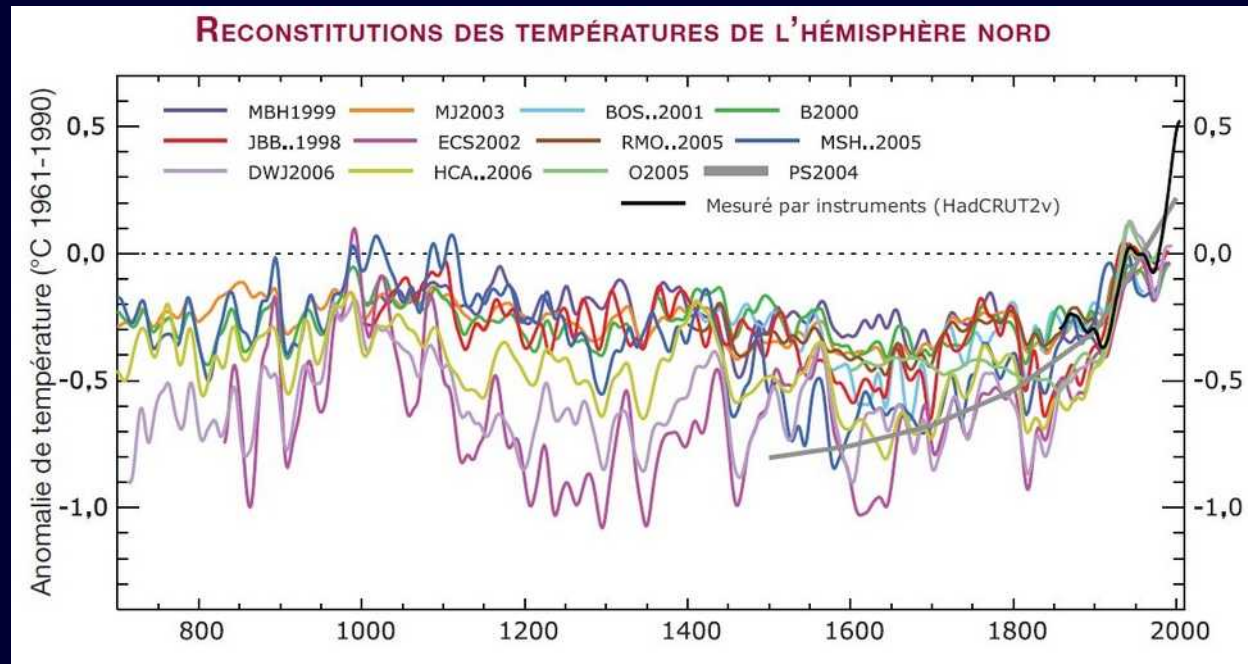


Changements climatiques et océans

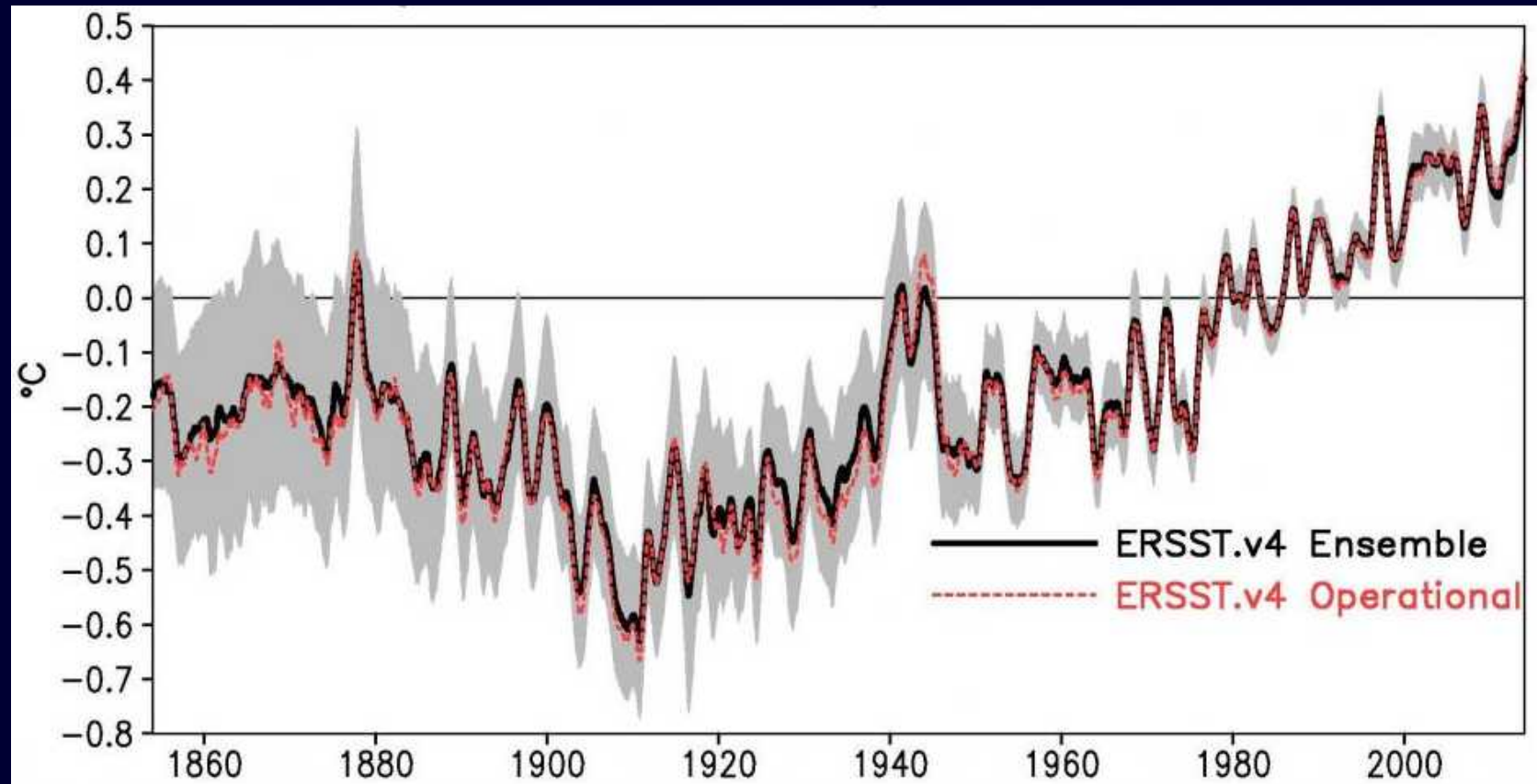
Deux axes principaux :

- 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

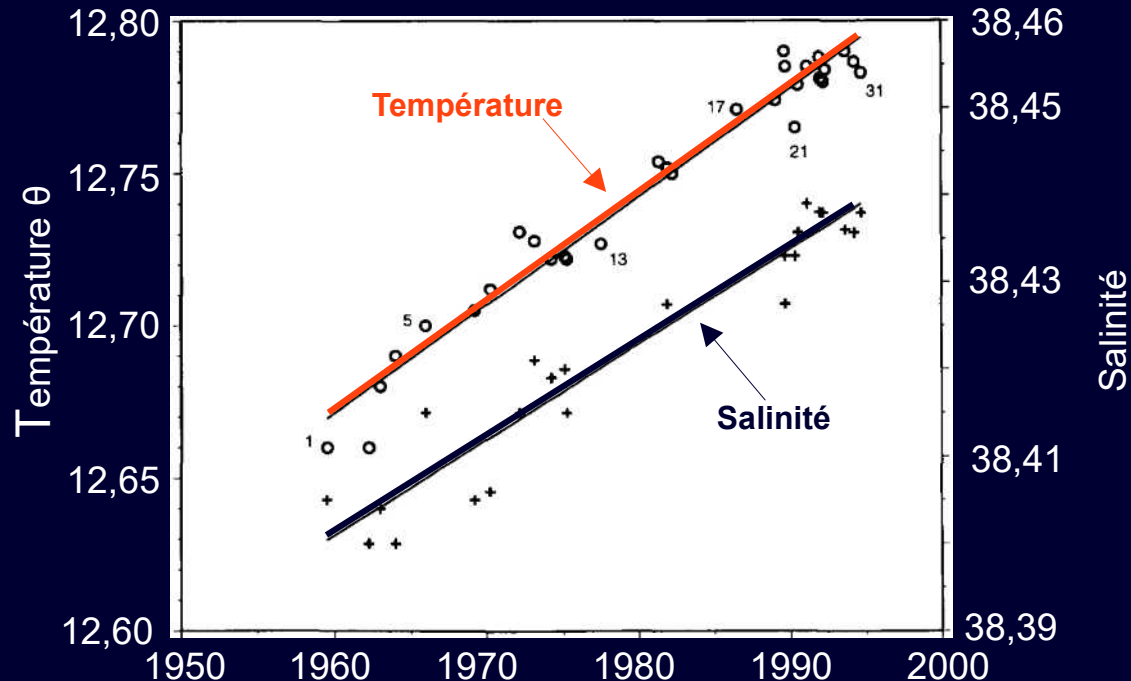
Déjà
il y a 30 ans

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

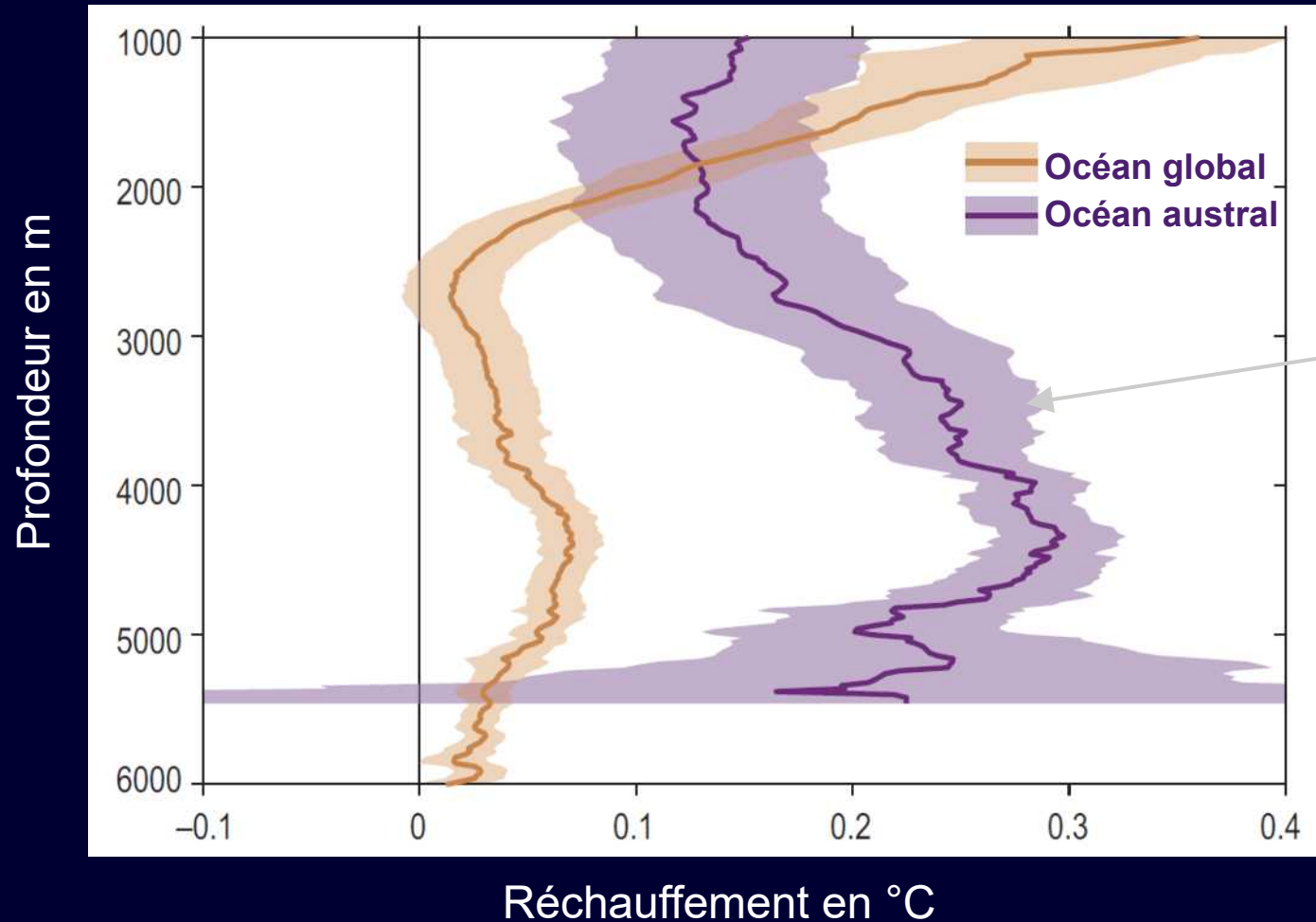
Nous rapportons ici les mesures des campagnes Medatlante de décembre 1988 et août 1989 qui montrent que la couche profonde a une température de $0,12\text{ °C}$ plus chaude et $0,03\text{ p.s.u.}$ plus saline qu'en 1959. Elles montrent une hausse continue des températures au cours des trois dernières 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 »

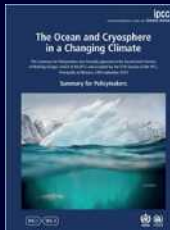
Evolution de l'eau de fond du bassin de Méditerranée occidentale



Réchauffement de 1981 à 2019 en fonction de la profondeur

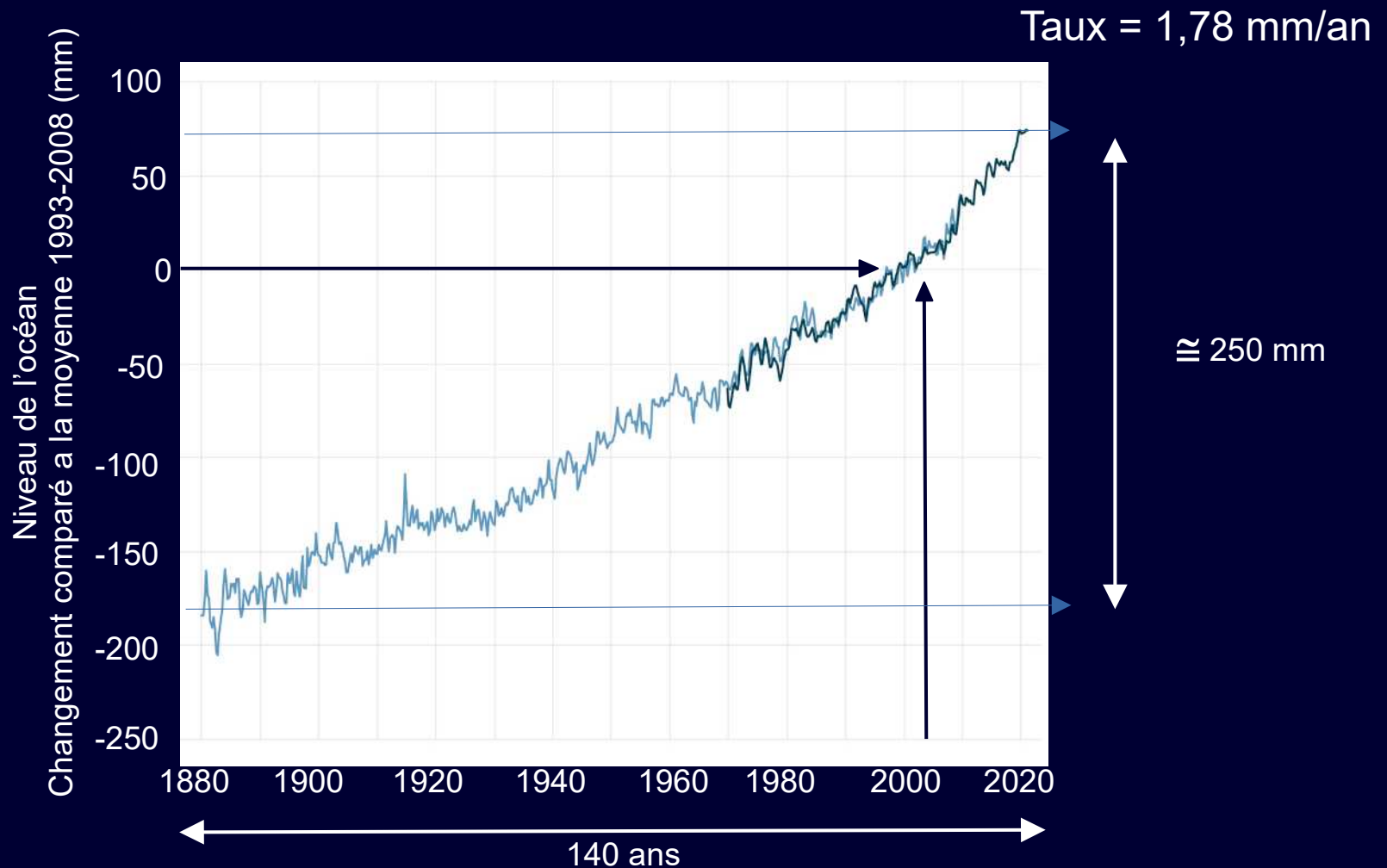


Taux de réchauffement observés de 1981 à 2019 en fonction de la profondeur à l'échelle mondiale (orange) et au sud du front subantarctique (à environ 55°S) (violet) avec des intervalles de confiance à 90 %



Effets du réchauffement des océans

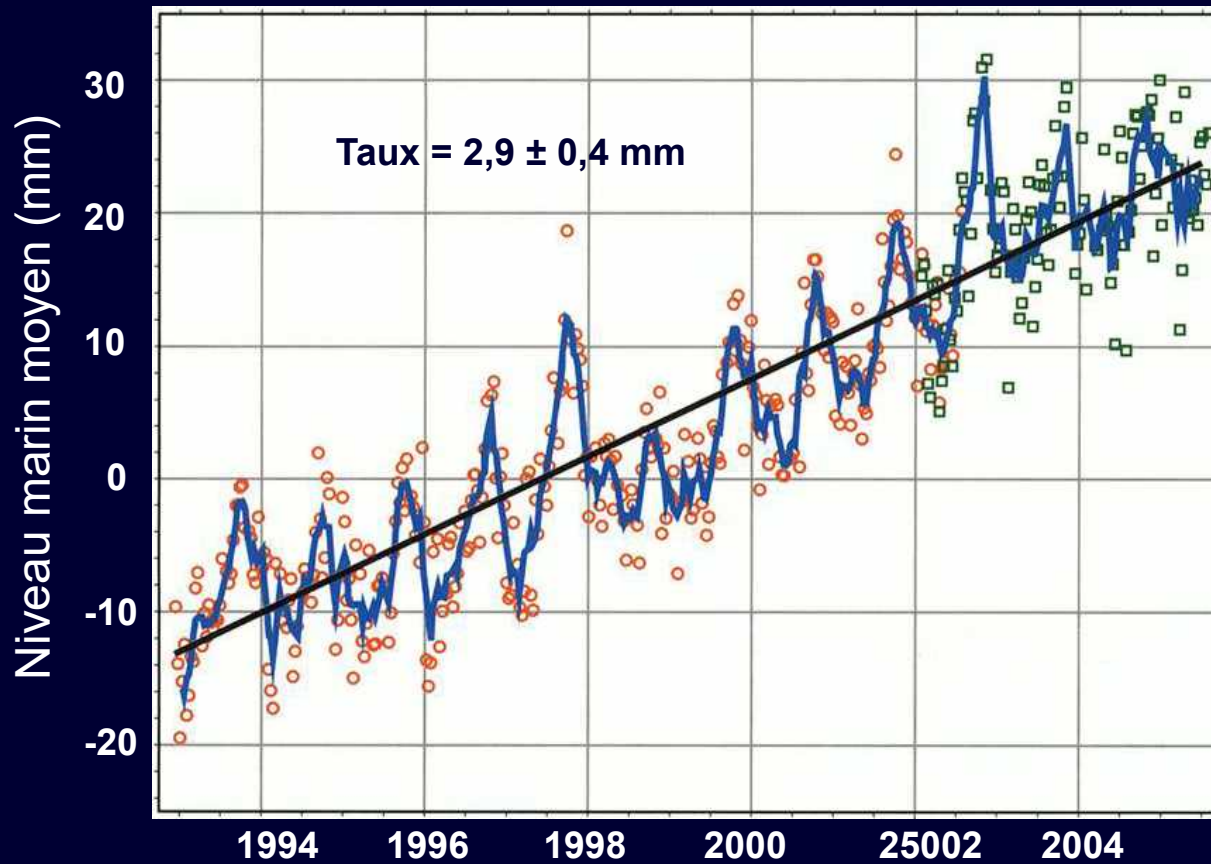
Variation du niveau global des océans



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).

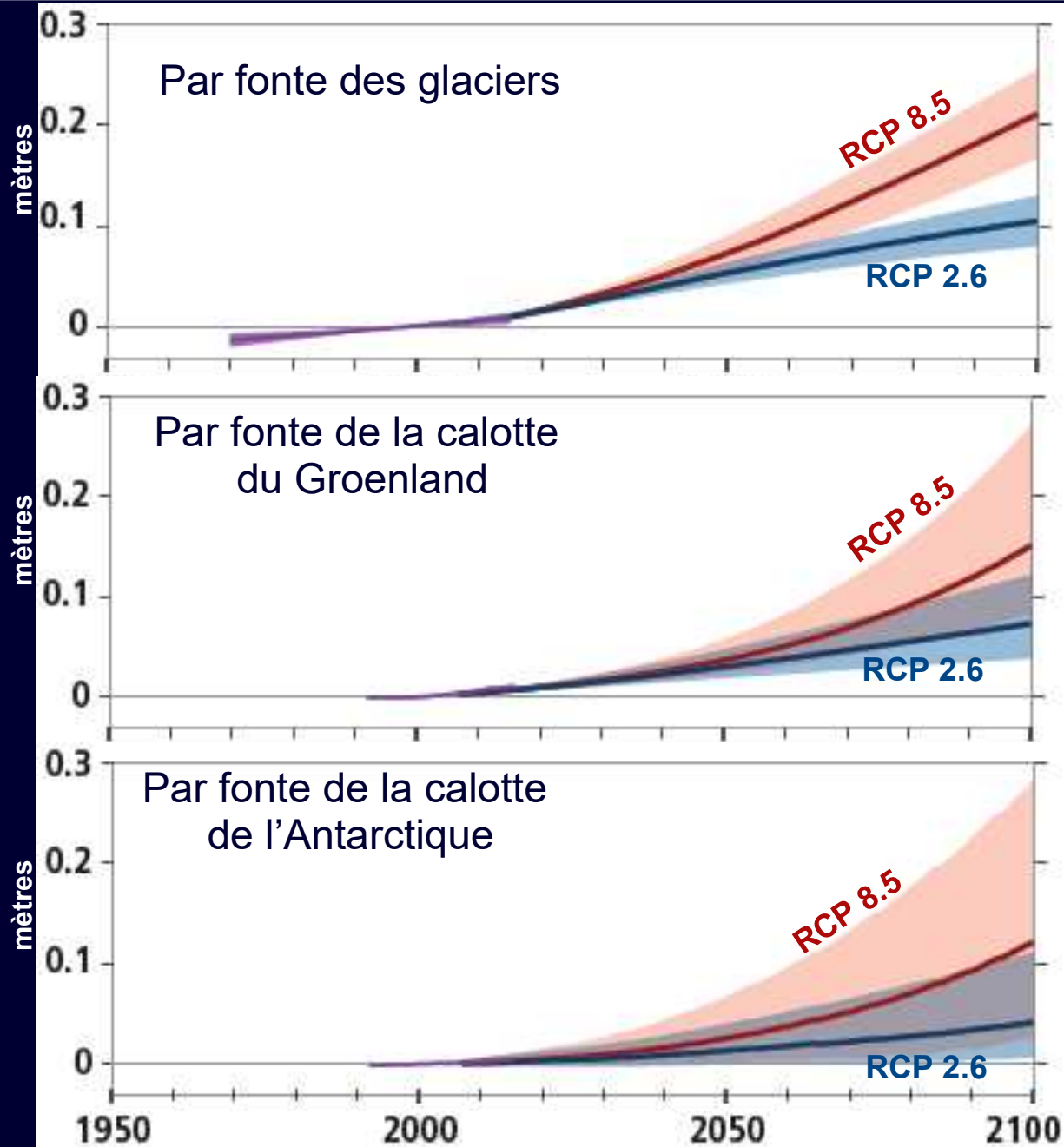
Image NOAA Climate.gov basée sur l'analyse et les données de Philip Thompson, University of Hawaii Sea Level Center.

Niveau global des océans par TOPEX Poseidon

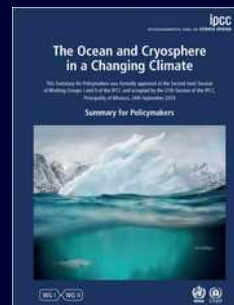


Le taux d'élévation du niveau moyen de l'océan est de 2,9 mm/an \pm 0,4 mm, depuis le lancement de Topex-Poseidon en 1992. En vert, les observations du satellite Jason 1 sont prises en compte. D'après document Cnes.

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



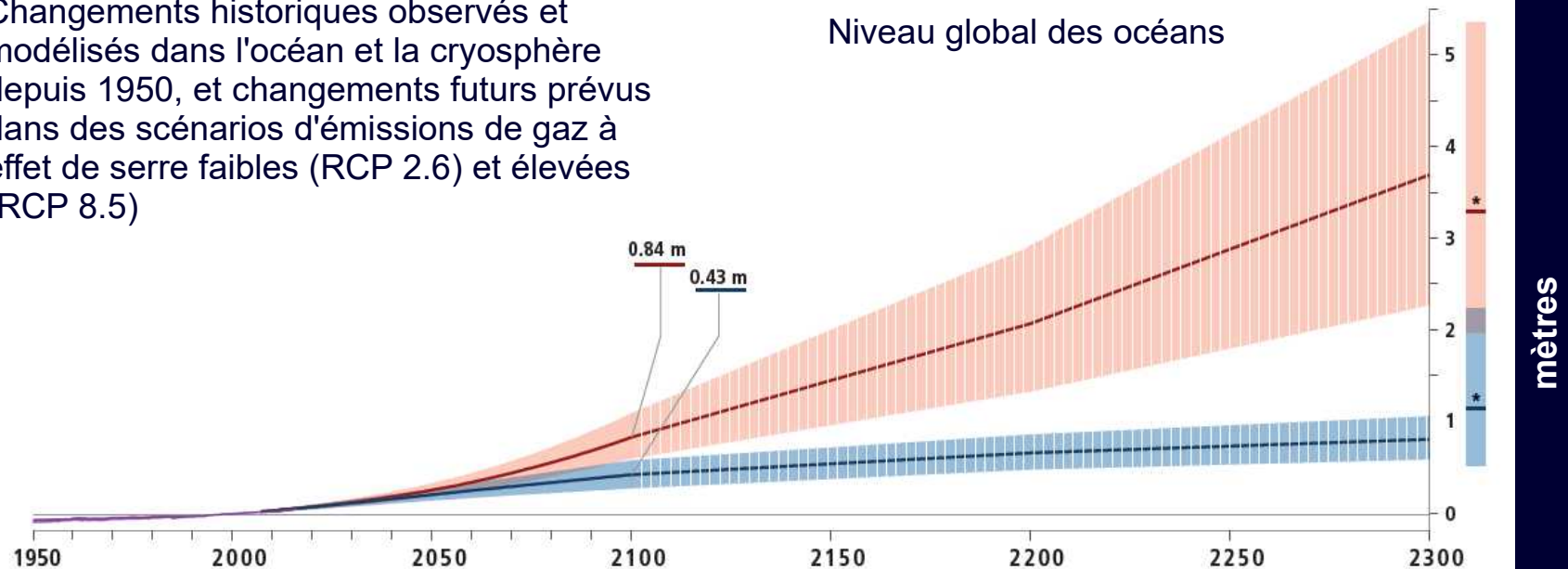
Changements relatifs par rapport à la période 1986-2005



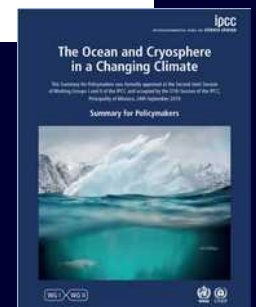
Élévation du niveau global des océans

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

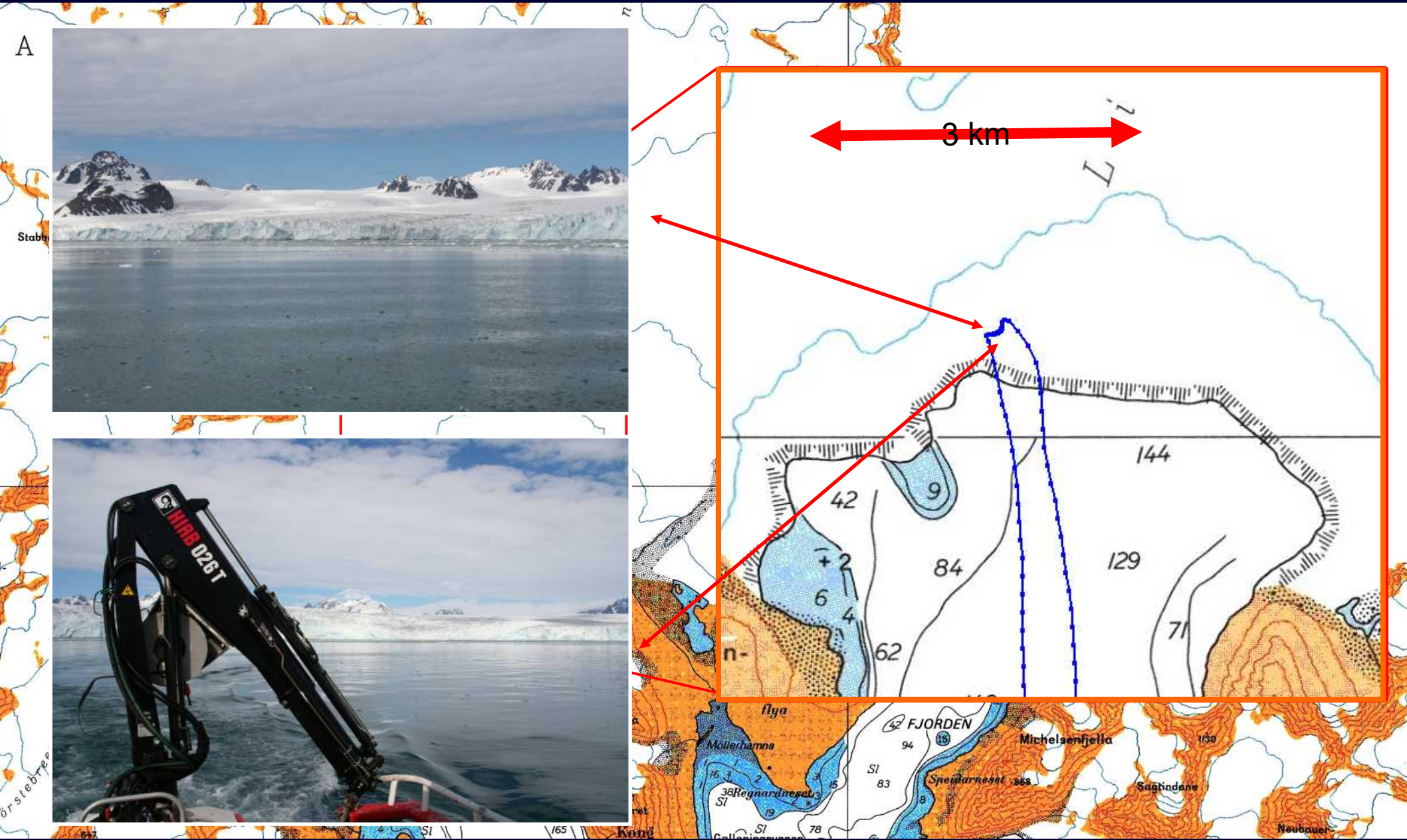


Changements relatifs par rapport à la période 1986-2005

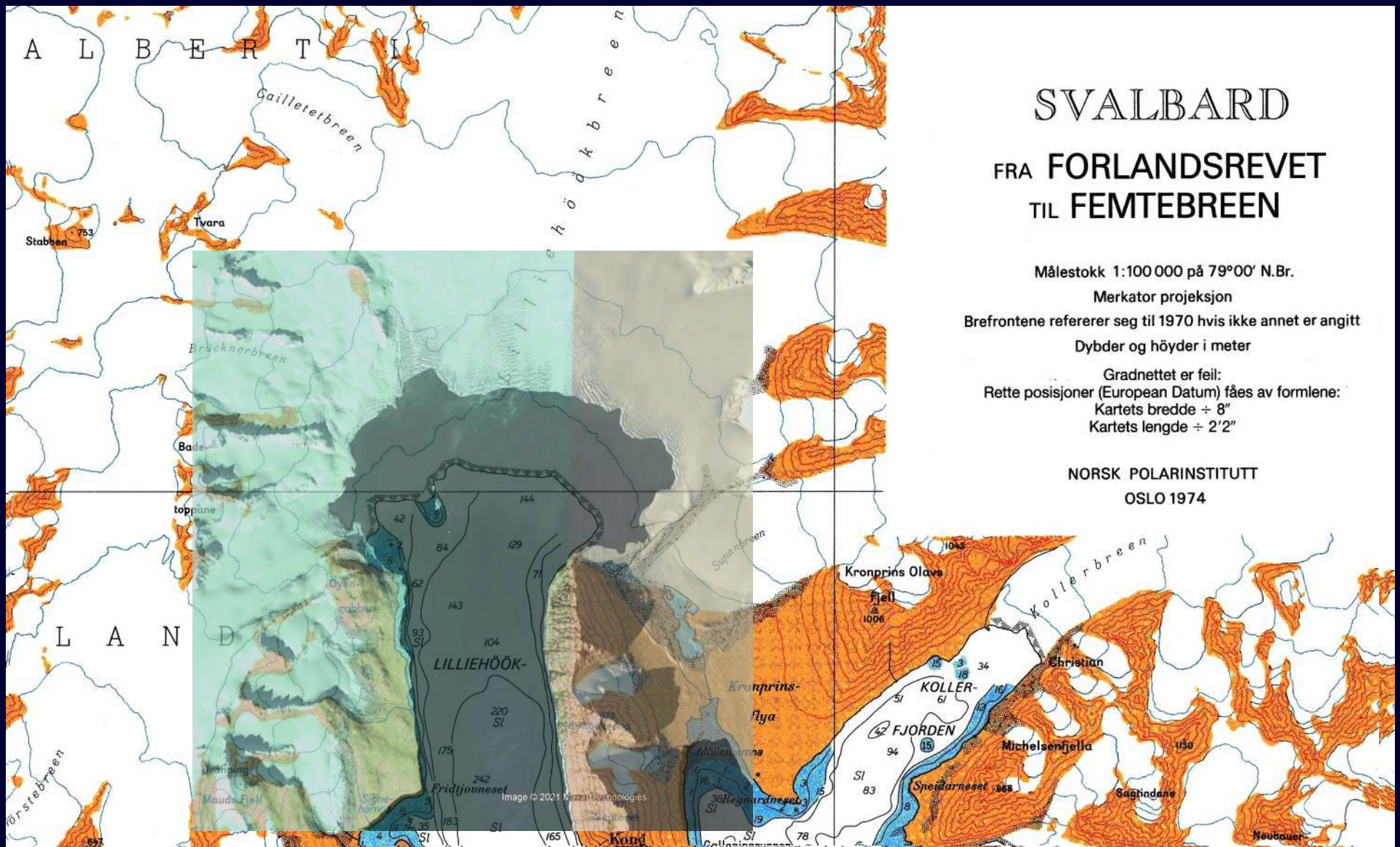


IPCC, 2019

Recul des glaciers au Svalbard



Recul des glaciers au Svalbard



SVÅLBARD

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

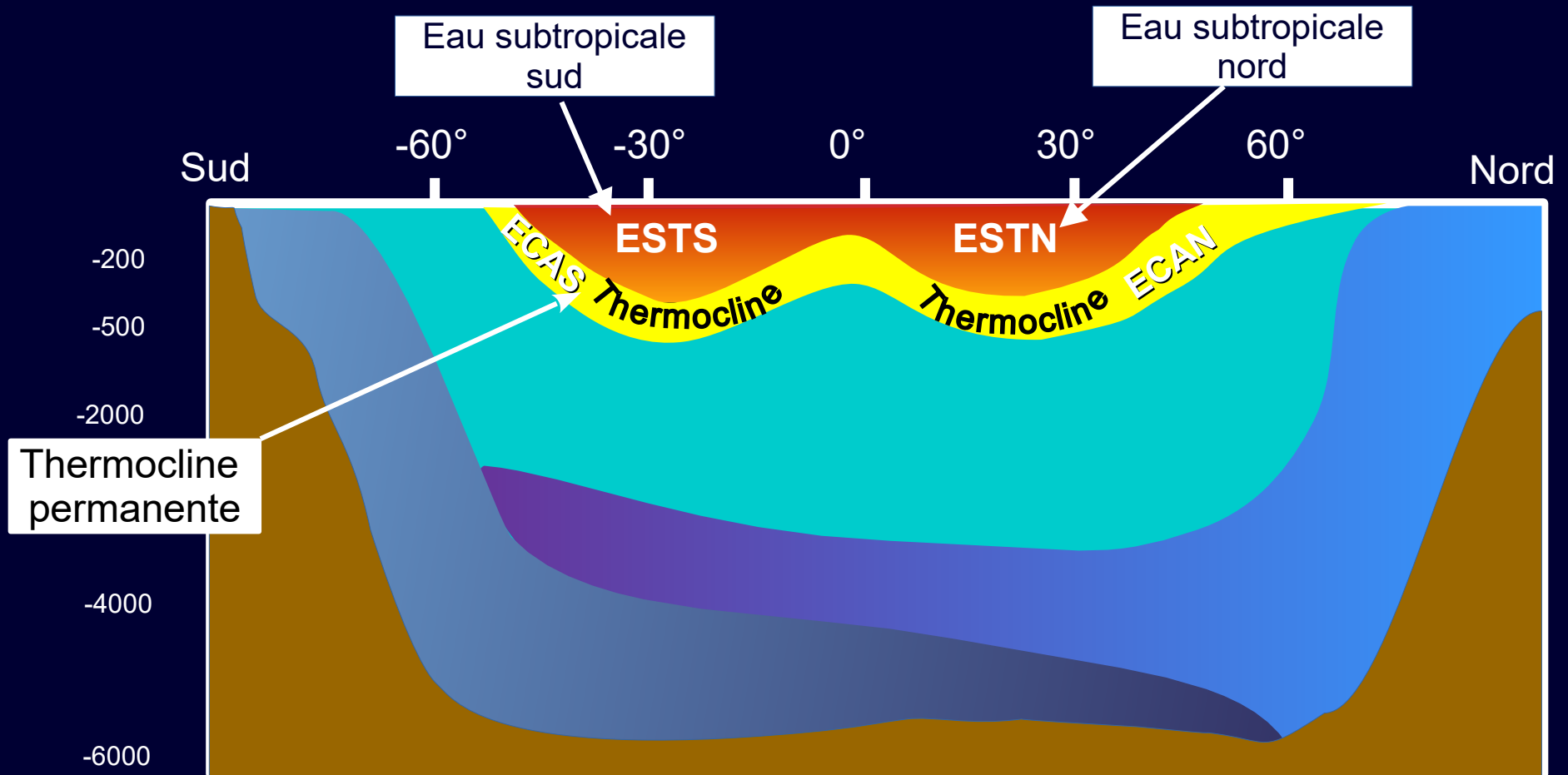
Augmentation de la stratification avec le réchauffement climatique

La stratification de la densité a augmenté dans les 200 m supérieurs de l'océan depuis 1970 (très probablement).

Le réchauffement observé de l'océan de surface et l'ajout d'eau douce aux hautes latitudes rendent l'océan de surface moins dense par rapport aux parties plus profondes de l'océan (degré de confiance élevé) et inhibent le mélange entre les eaux de surface et les eaux plus profondes (degré de confiance élevé).

La stratification moyenne des 200 m supérieurs a augmenté de $2,3 \pm 0,1$ % (fourchette très probable) de la moyenne 1971-1990 à la moyenne 1998-2017.

Augmentation de la stratification avec le réchauffement climatique

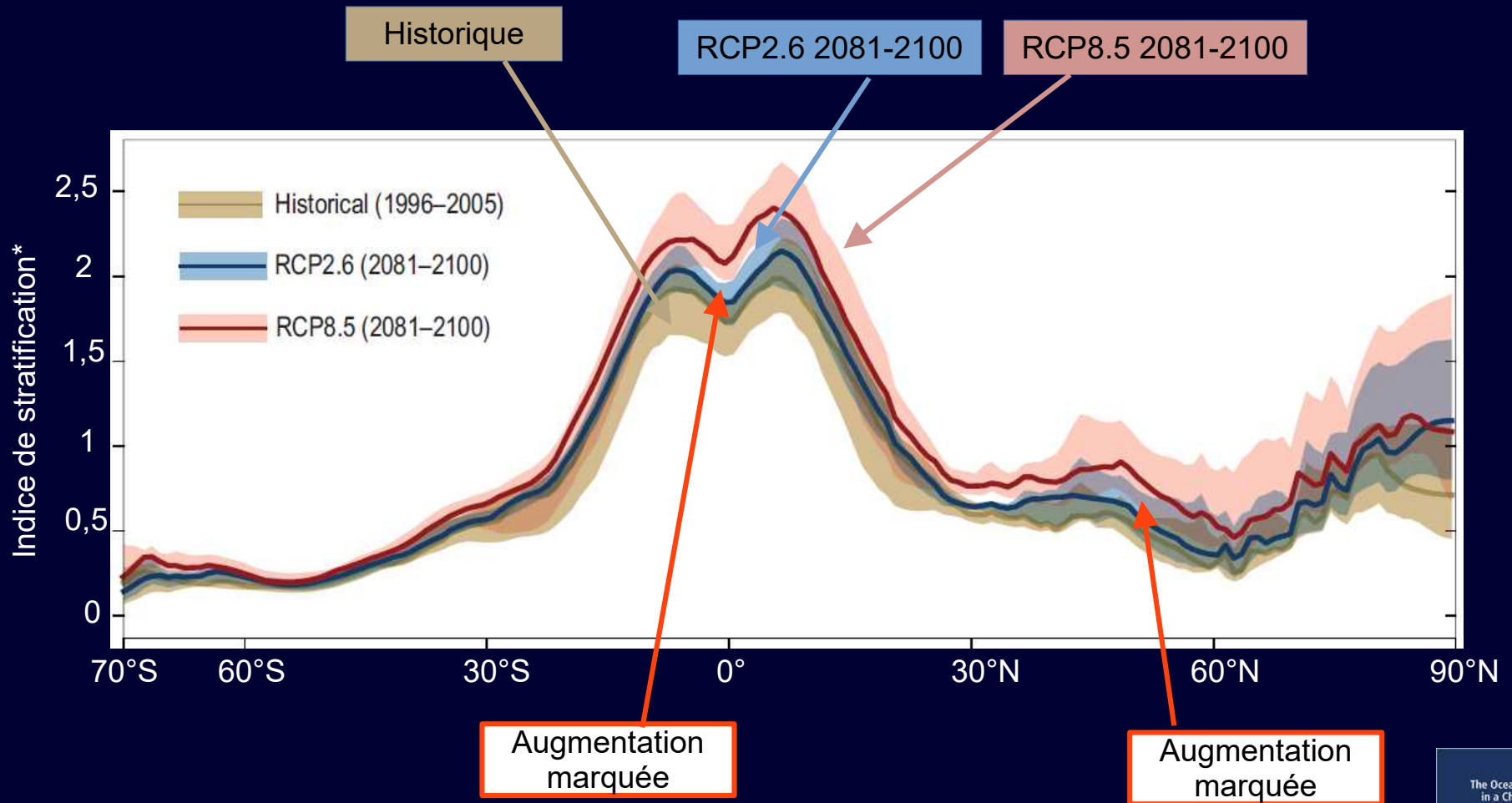


Inspiré de SEOS -Science Education through Earth Observation for High Schools

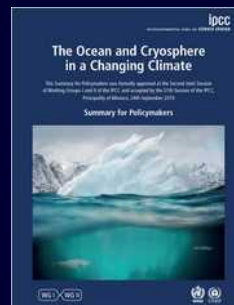
Coupe hydrologique de l'Atlantique

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



Une délicate question d'actualité !

The screenshot shows the 'SCIENCE&VIE' section of the franceinfo website. The main headline is 'Effondrement de la température : baisse de la température en Europe'. Below it, a sub-headline reads 'Changement climatique : ralentissement du Gulf Stream' with a date of '23/03/2021'. The article is categorized as 'ENTRETIENS'. The website interface includes navigation tabs for 'MA VILLE', 'SPORT', 'FAITS DIVERS', 'ACTU', and 'LOISIRS', along with a search bar and various service icons like 'METEO FRANCE'.

The movie poster for 'The Day After Tomorrow' features a dramatic scene of a city, including the Empire State Building, being inundated by massive, turbulent waves. The text at the top asks 'OÙ SEREZ-VOUS LE JOUR D'APRÈS ?'. The title 'THE DAY AFTER TOMORROW' is prominently displayed in the center. Below the title, it states 'PAR LE RÉALISATEUR DE "INDEPENDENCE DAY"' and 'SORTIE MONDIALE LE 28 MAI'. At the bottom, the website 'WWW.THEDAYAFTERTOMORROW.COM' and 'WWW.FOXFRANCE.COM' are listed.

Une délicate question d'actualité : vision 1

ARTICLE

<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0006-5>

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

The Atlantic meridional overturning circulation (AMOC)—a system of ocean currents in the North Atlantic—has a

...

Nous apportons ici la preuve d'un affaiblissement de l'AMOC d'environ 3 ± 1 sverdrups (environ 15 %) depuis le milieu du vingtième siècle. Cet affaiblissement est révélé par une « empreinte digitale » spatiale et saisonnière caractéristique de la température de surface de la mer, consistant en un schéma de refroidissement dans l'océan Atlantique subpolaire et de réchauffement dans la région du Gulf Stream, et est calibré grâce à un ensemble de simulations de modèles du projet CMIP5.

...

Caesar, L., Rahmstorf, S., Robinson, A., Feulner, G. & Saba, V. Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature* 556, 191–196 (2018).

Une délicate question d'actualité : vision 2

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  Open Access

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

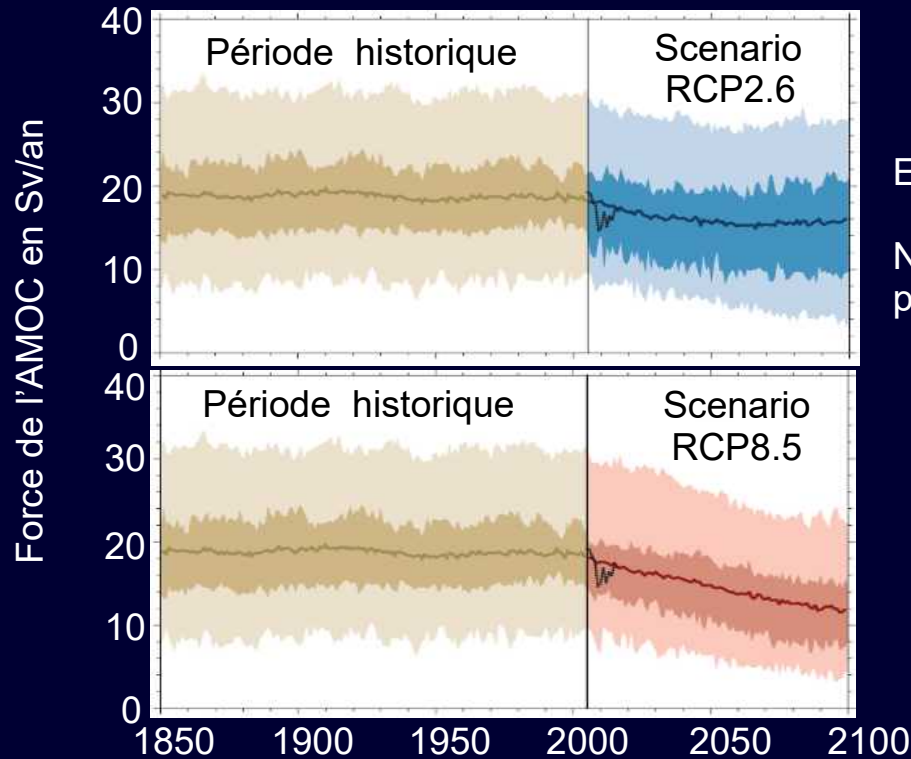
¹University of Southampton, European Way, Southampton, SO14 3ZH, UK

²National Oceanography Centre, European Way, Southampton, SO14 3ZH, UK

³ICARUS, Department of Geography, Maynooth University, Maynooth, Co. Kildare, Ireland

Notre modèle n'a pas révélé de déclin de l'AMOC indiquant un changement climatique anthropique (Stocker et al., 2013) ni le déclin à long terme signalé dans les reconstructions de l'AMOC basées sur la température de surface de la mer (Caesar et al., 2018).

Quid des variations de l'AMOC* pour le GIEC

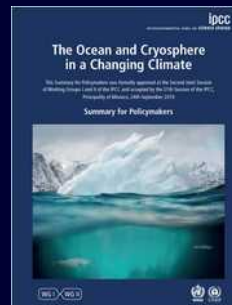


Evolution de l'AMOC : une diminution au 21e siècle

Niveau de confiance : Très peu probable, mais physiquement plausible

Effets attendus : augmentation des tempêtes hivernales en Europe, réduction des précipitations et des capacités agricoles sahéniennes, variations des tempêtes tropicales, augmentation du niveau de la mer sur les côtes atlantiques

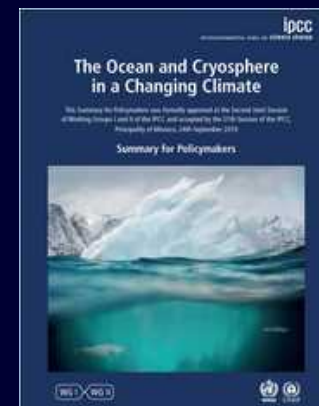
* AMOC : Atlantic Meridional Overturning Circulation ou circulation méridionale atlantique de retournement.



Acidification des océans

L'océan a absorbé entre 20 et 30 % (très probable) des émissions anthropiques totales de CO₂ depuis les années 1980, provoquant une acidification supplémentaire des océans.

Le pH de la surface de l'océan a diminué dans une plage de 0,017 à 0,027 unités de pH par décennie depuis la fin des années 1980 (très probable), la baisse du pH de l'océan de surface ayant très probablement déjà émergé de la variabilité naturelle de fond pour plus de 95% de la surface de l'océan région.



Acidification des océans

Augmentation du gaz carbonique atmosphérique

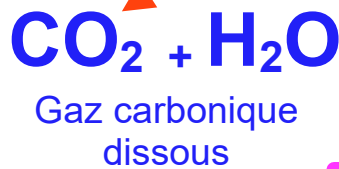


Atmosphère

Océan

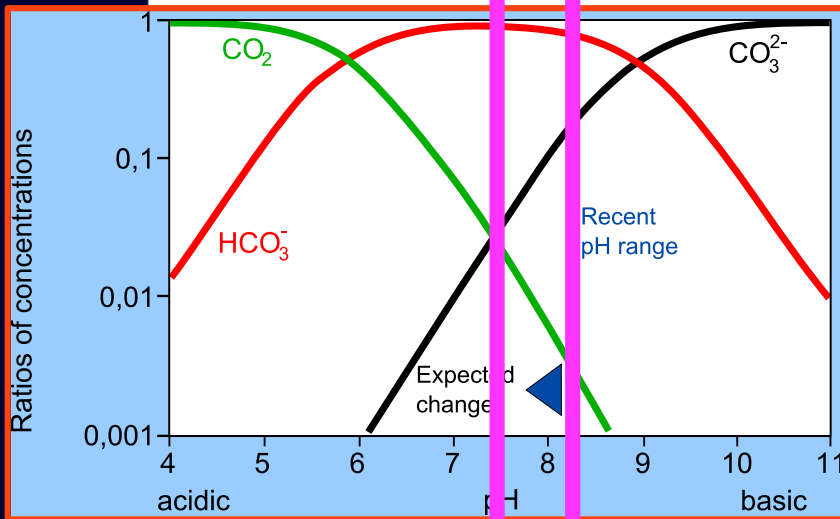
Augmente le gaz carbonique dans l'océan

Augmente les ions H^+



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 :

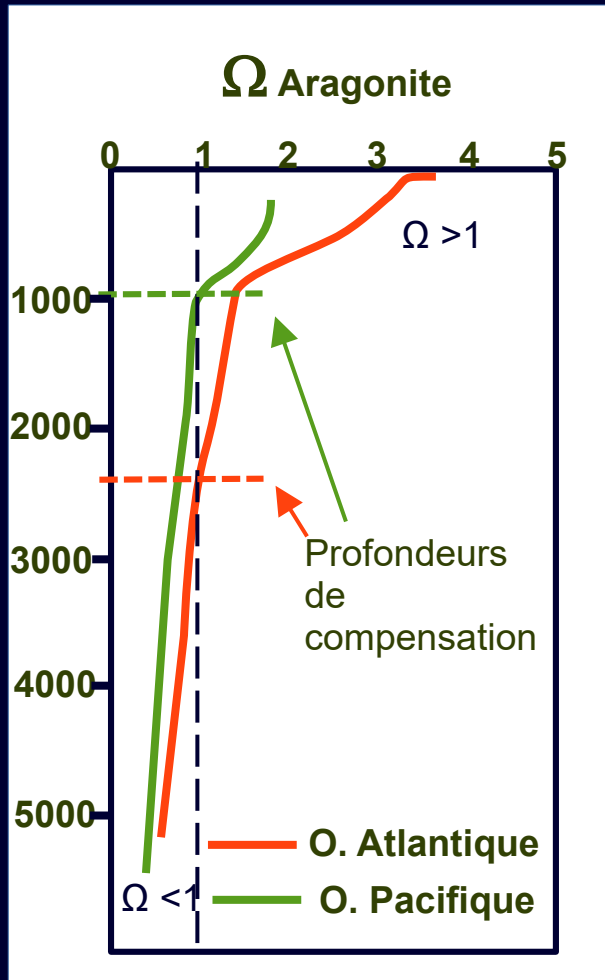
$$\text{Ou } \Omega = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}] / K_{sp}$$

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

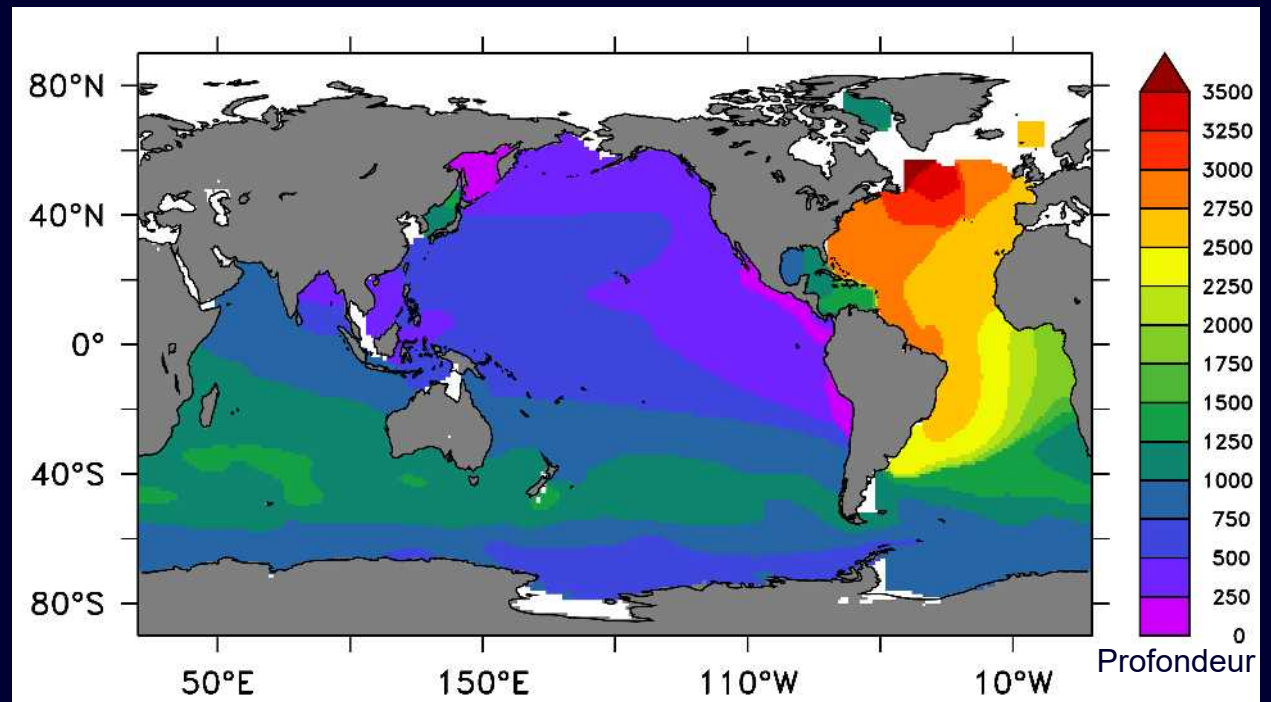
$[\text{CO}_3^{2-}]$: la concentration en ions carbonate

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

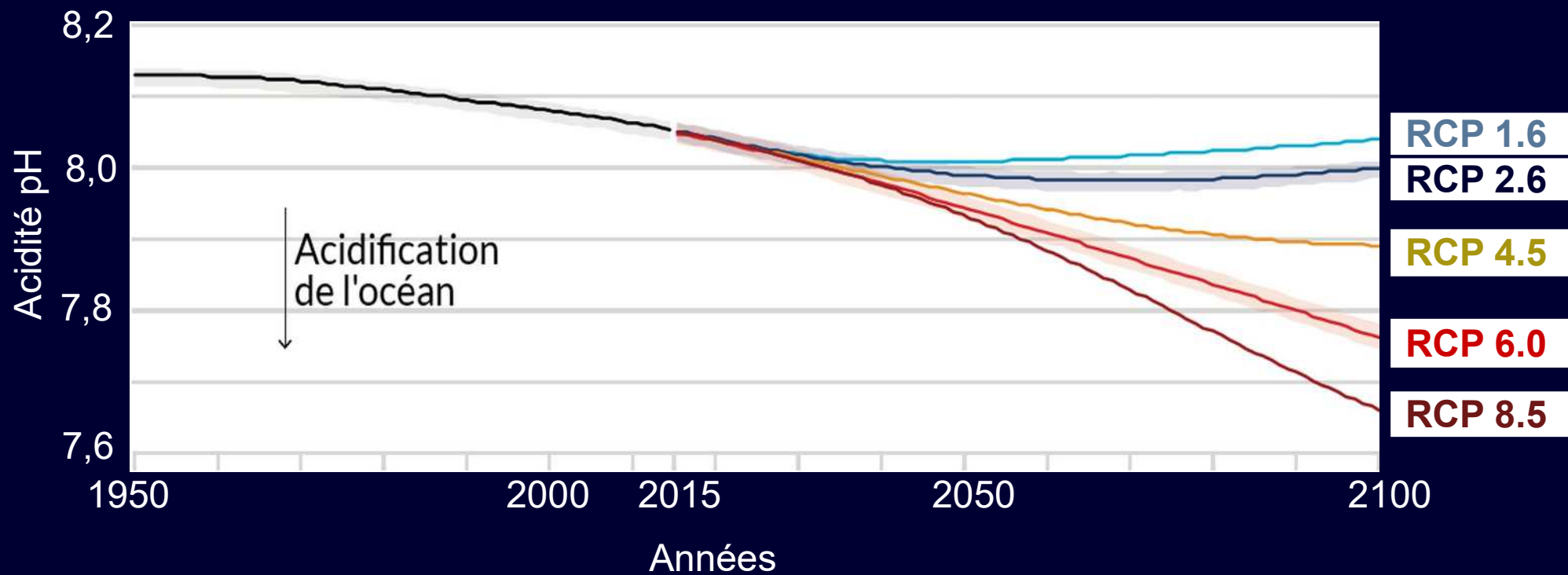
K_{sp} varie avec la température, la salinité et la pression il augmente avec la pression et diminue avec la température.



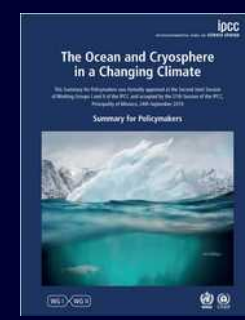
Profondeur du niveau de saturation de l'aragonite



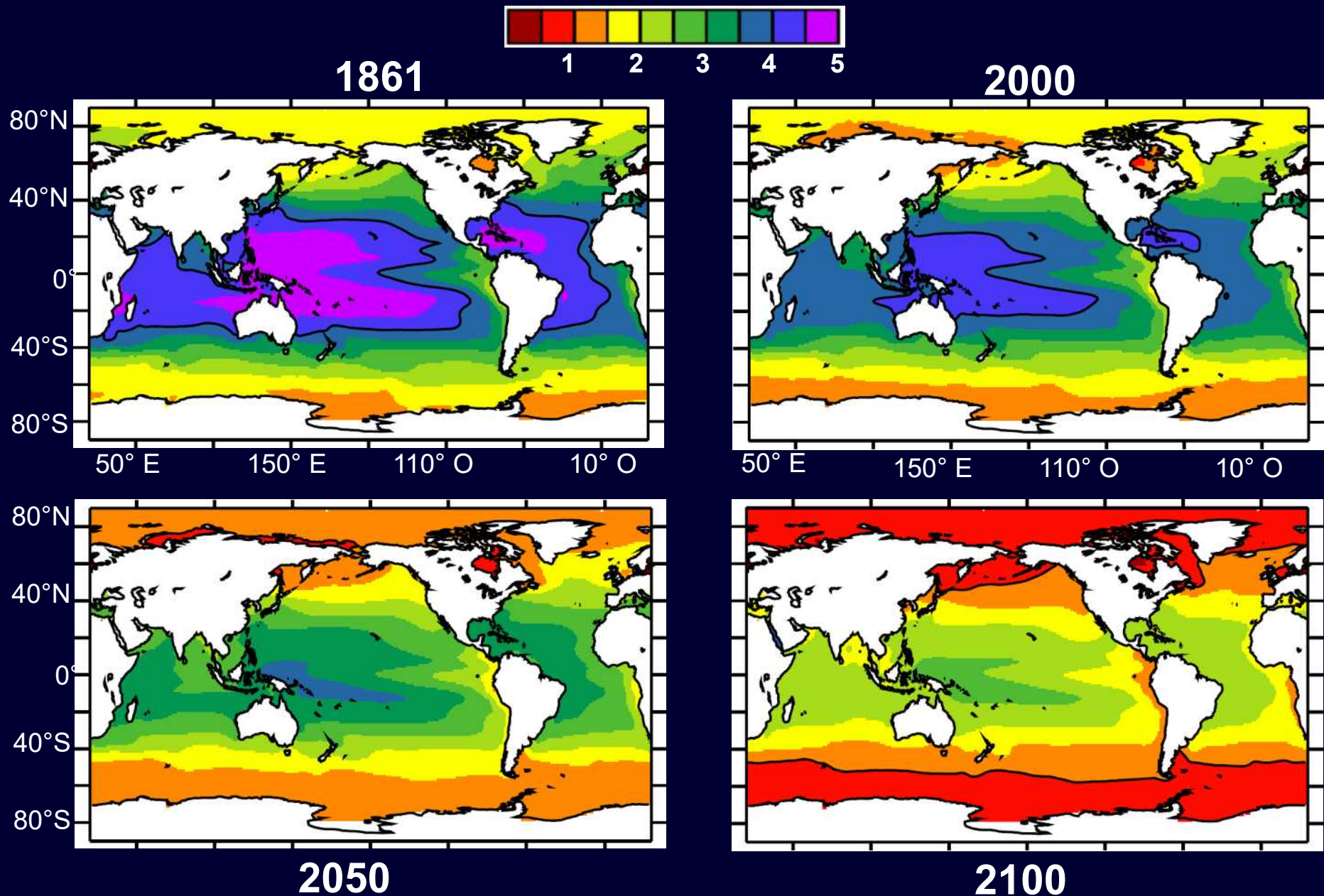
Evolution du pH (mesure de l'acidité) de surface de l'océan



- RCP 1.6
- RCP 2.6
- RCP 4.5
- RCP 6.0
- RCP 8.5

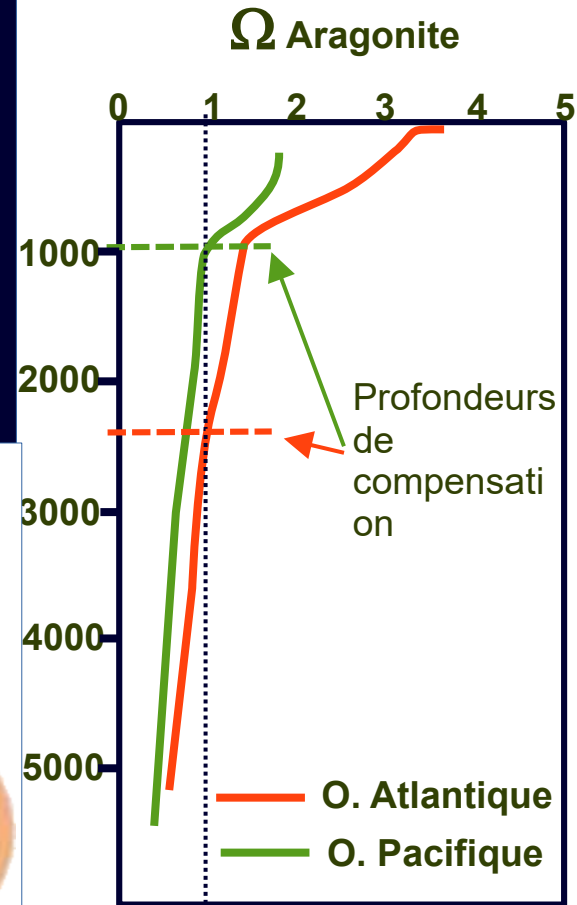
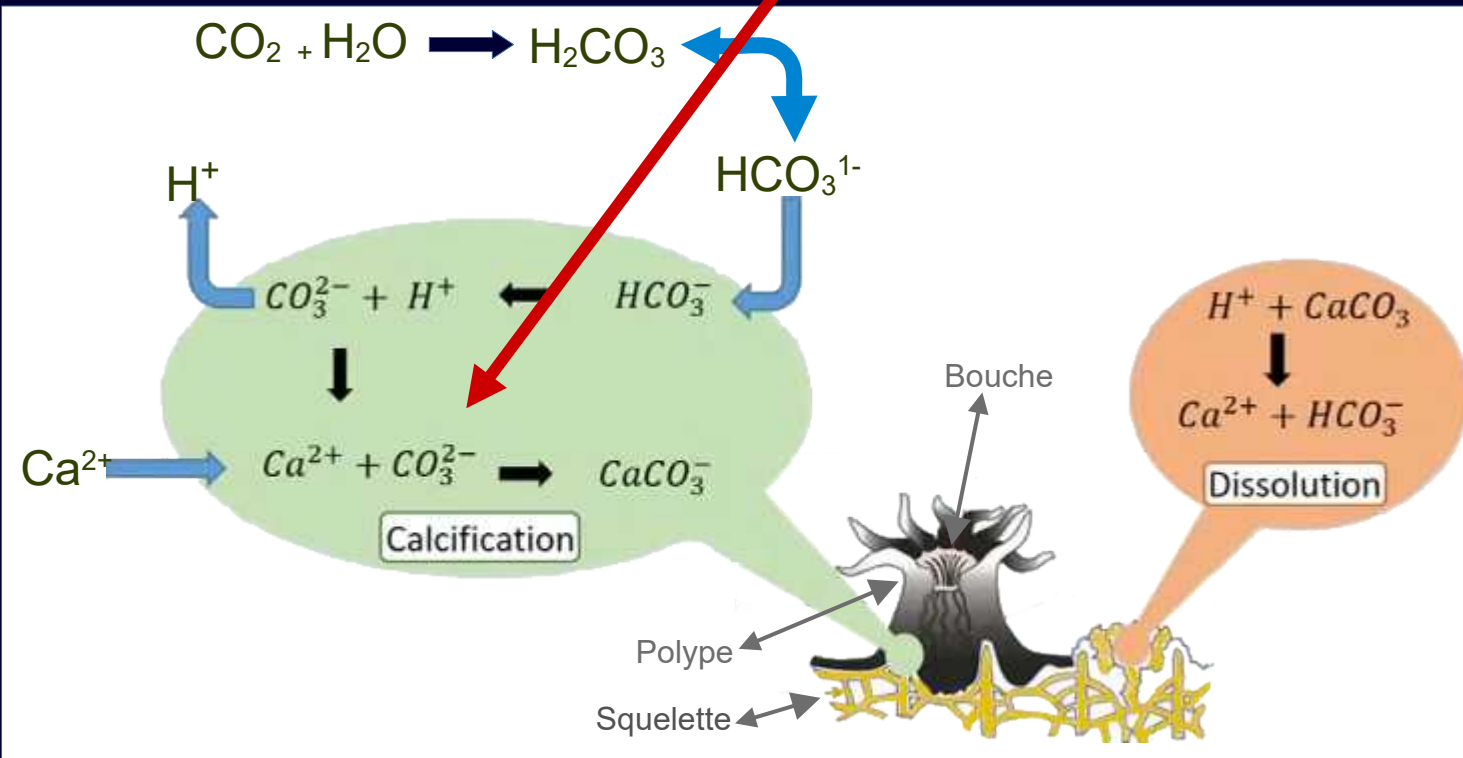


État de saturation de l'aragonite des eaux de surface



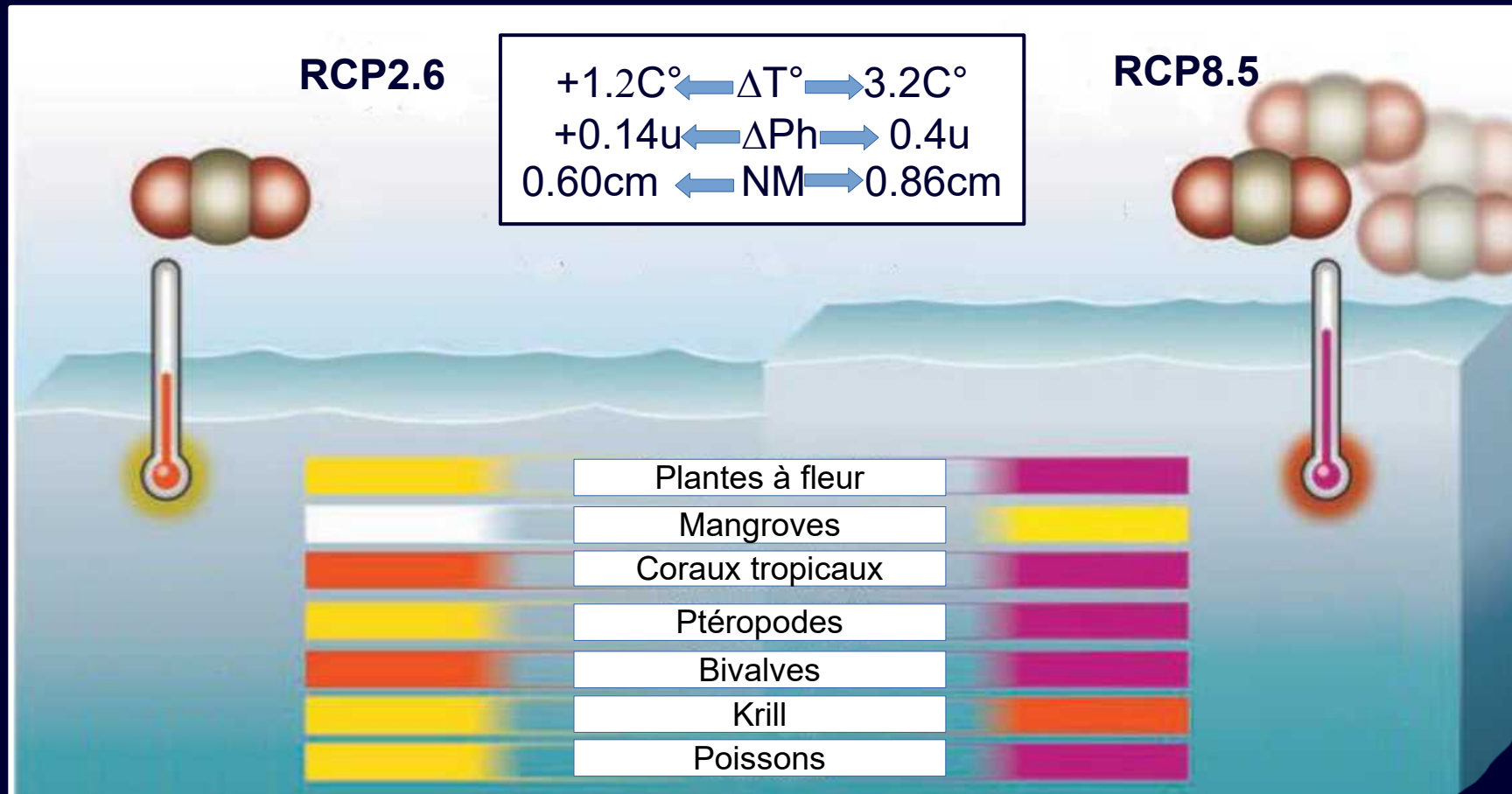
Acidification des océans : effets sur les organismes calcifiant

Ce sont les ions carbonates CO_3^{2-} qui sont utilisés par les organismes biologiques construisant des structures calcifiées.

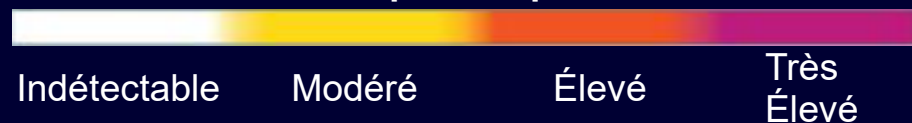


L'état de saturation de l'eau de mer
 $\Omega = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}] / K_{sp}$
 $\Omega < 1$: Dissolution
 $\Omega > 1$: Calcification

Acidification des océans, scénarios d'évolution



Risque d'impact



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).

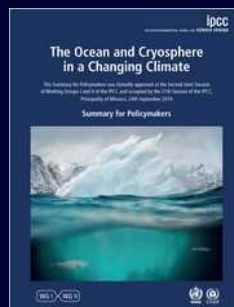
Acidification des océans

Acidification des océans :

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

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

Pratiquement certain (confiance très élevée)



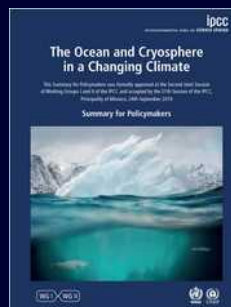
2- Changements dans les écosystèmes pélagiques

Depuis les années 1950, l'aire de répartition de diverses espèces marines se déplace vers les pôles (fourchette très probable) :

- 52 ± 33 km par décennie pour les organismes des écosystèmes épipélagiques (premiers 200 m de profondeur)
- 29 ± 16 km par décennie pour les organismes des écosystèmes des fonds marins.

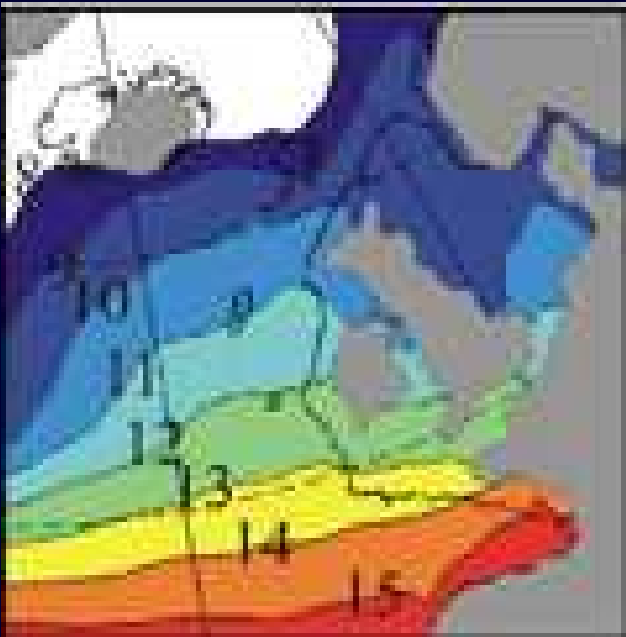
La vitesse et la direction des changements observés dans ces distributions sont déterminées par les températures locales, la teneur en oxygène et les courants océaniques au sein de gradients de profondeur, de latitude et de longitude (degré de confiance élevé).

L'expansion de l'aire de répartition des espèces sous l'effet du réchauffement a entraîné une altération de la structure et du fonctionnement des écosystèmes, par exemple dans l'Atlantique Nord, le Pacifique Nord-Est et l'Arctique (degré de confiance moyen).

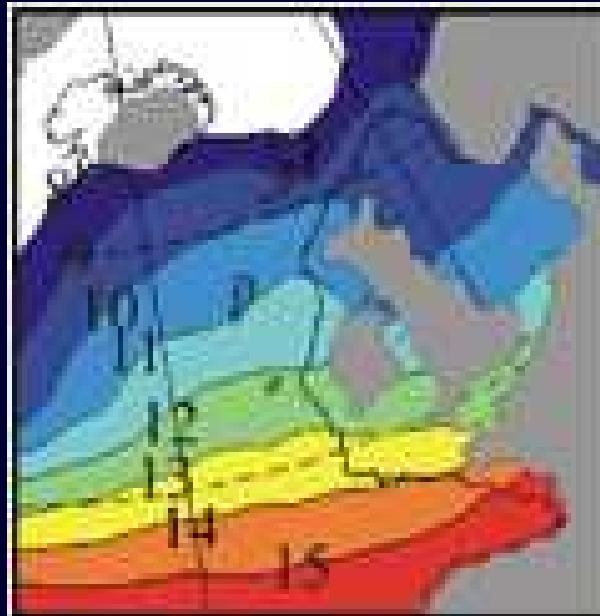


Evolution de la température de surface de l'Atlantique nord-est

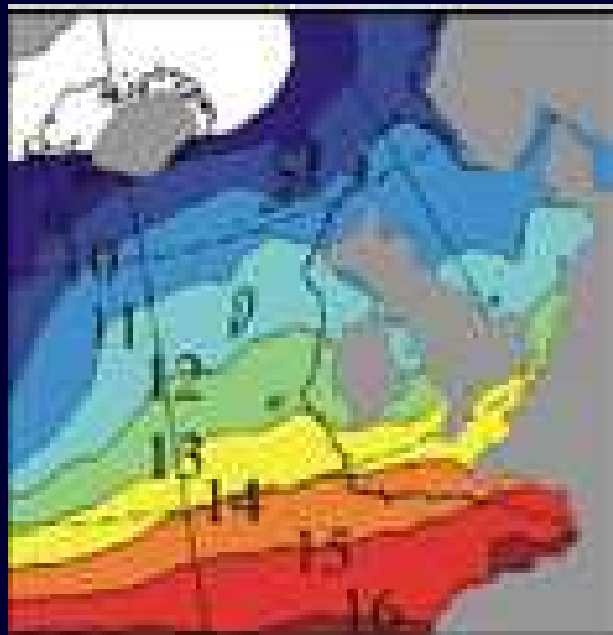
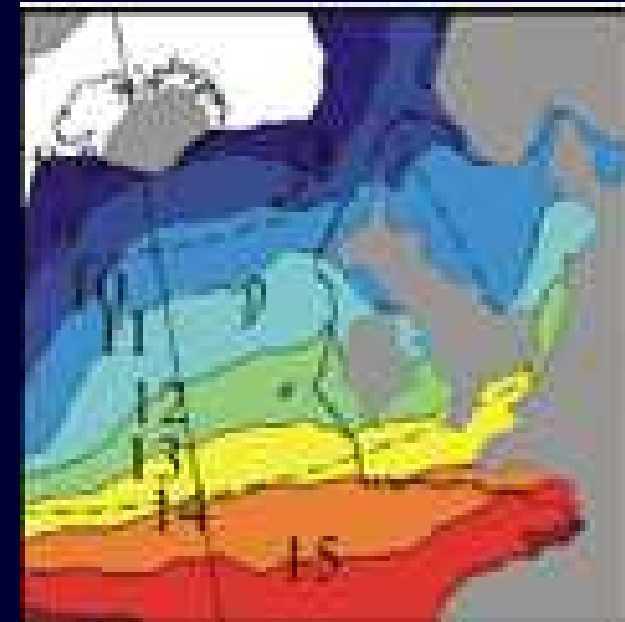
1960-1981



1982-1999

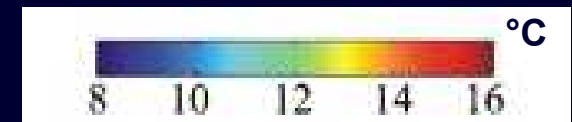


2000-2002



2003-2005

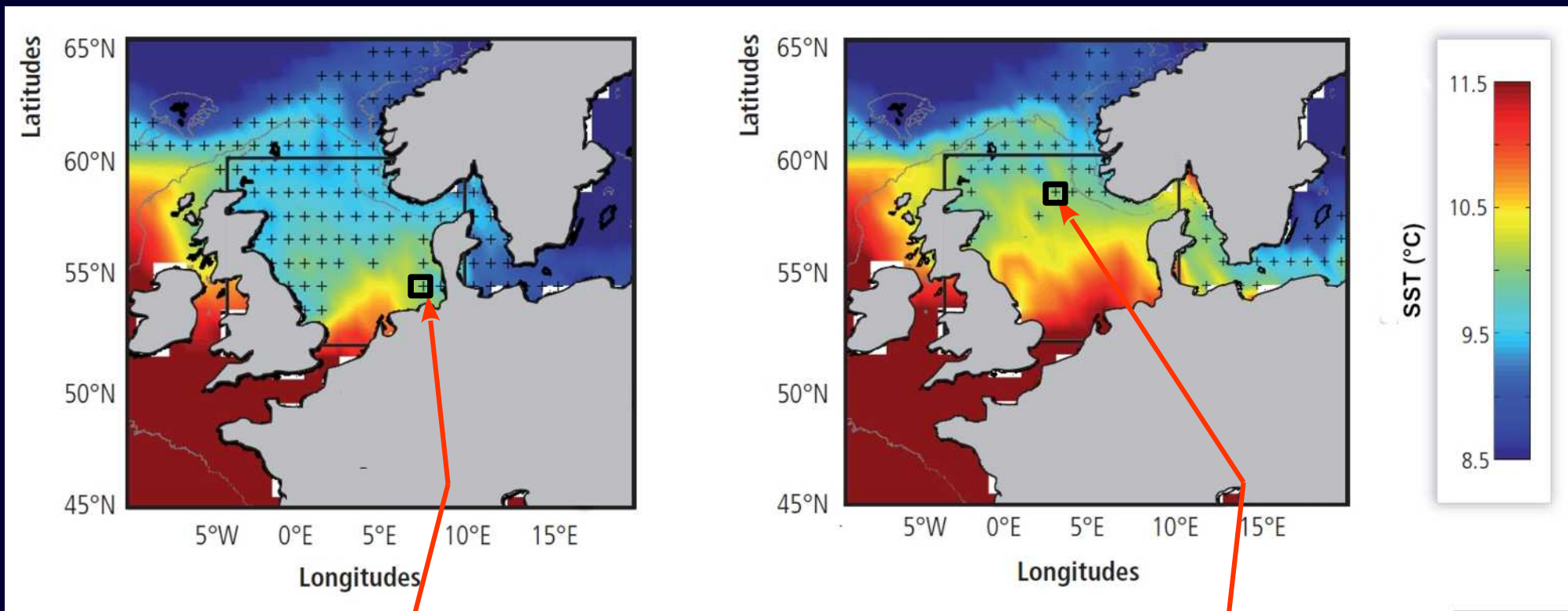
température moyenne de surface



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

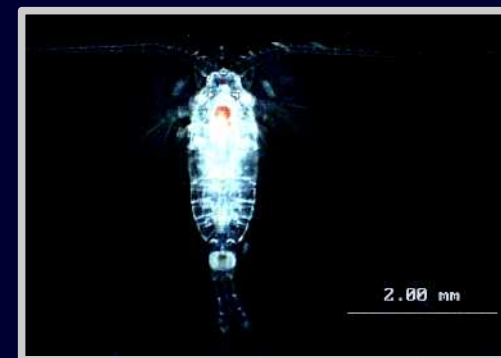
Aetideus armatus, *Pleuromamma robusta*, *Acartia* spp., *Metridia lucens*

Espèces sub-arctiques :

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

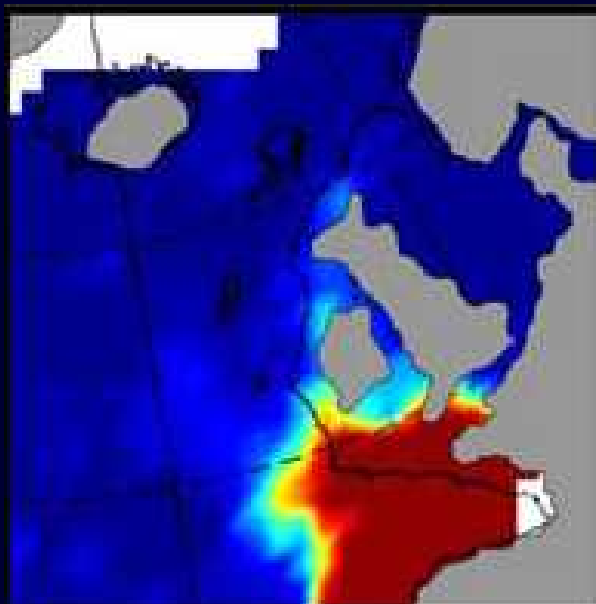
Espèces arctiques :

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

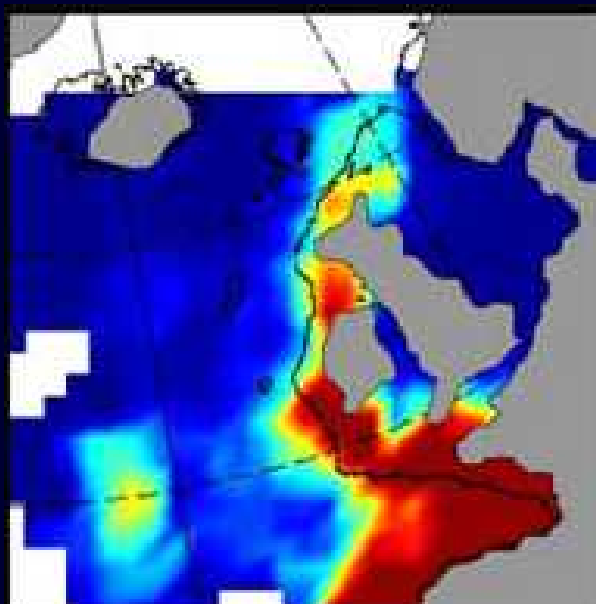


Espèces tempérées chaudes océaniques

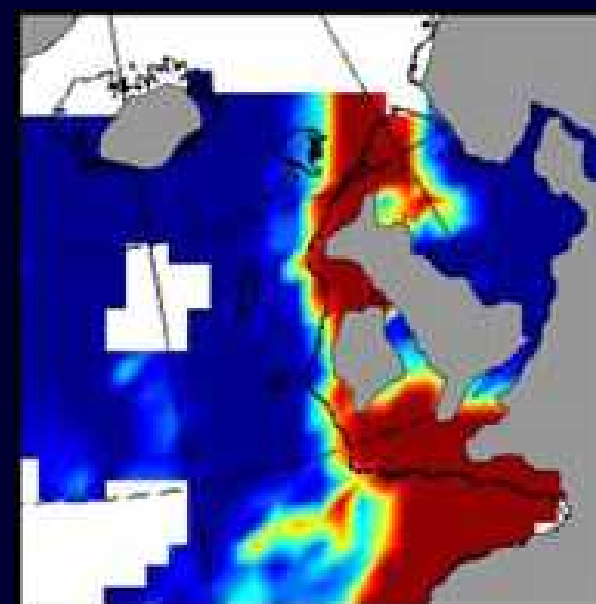
1958-1981



1982-1999



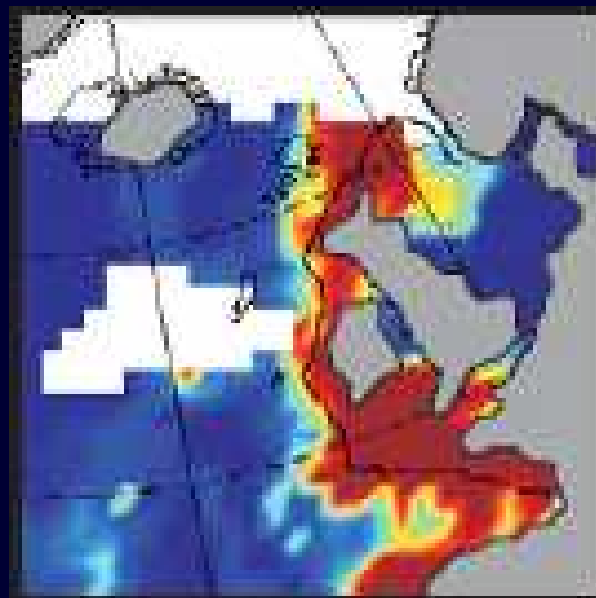
2000-2002



60°N

50°N

2003-2005



60°N

50°N

0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10

Mean number of species
per CPR sample

Espèces pseudo-océaniques tempérées

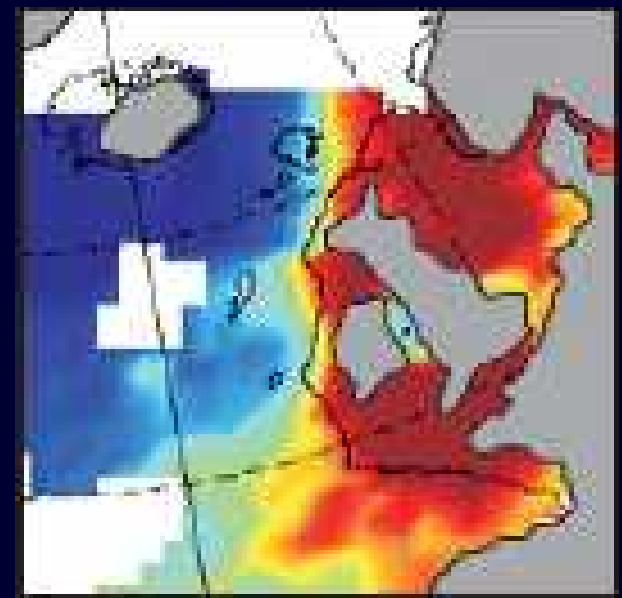
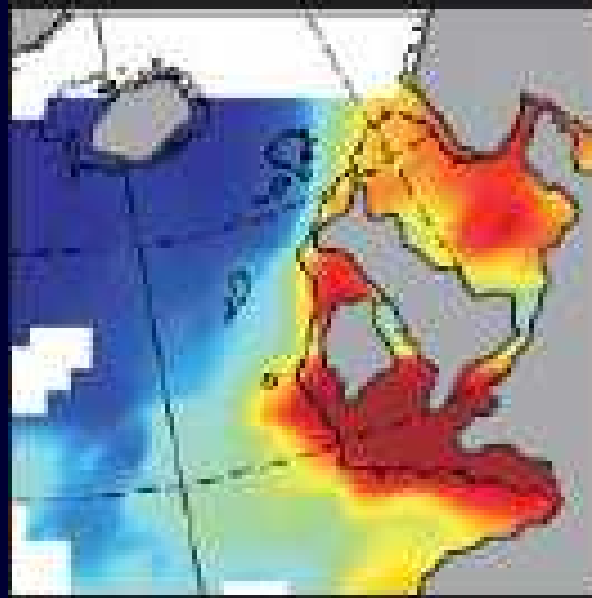
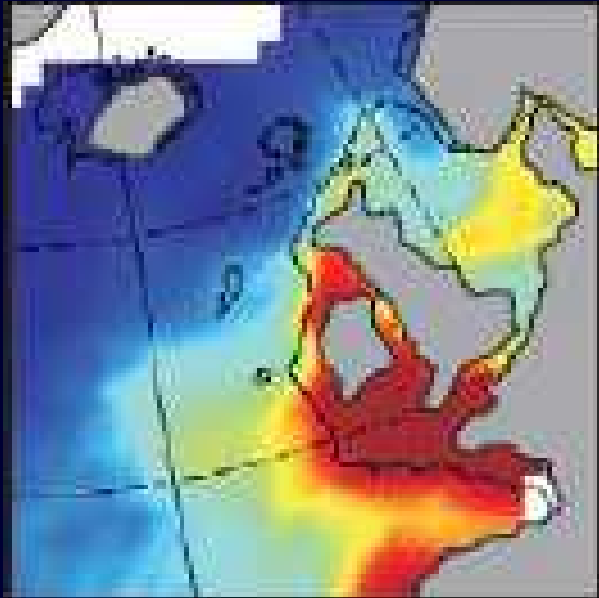
1958-1981

1982-1999

2000-2002

60°N

50°N

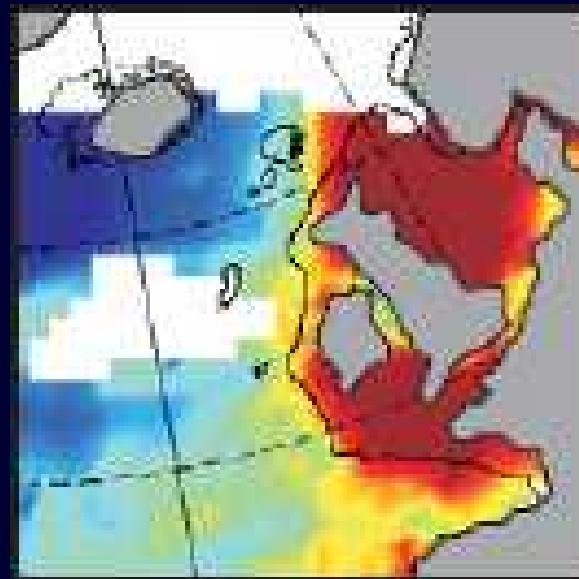


0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10
Mean number of species
per CPR sample

Calanus helgolandicus

60°N

50°N

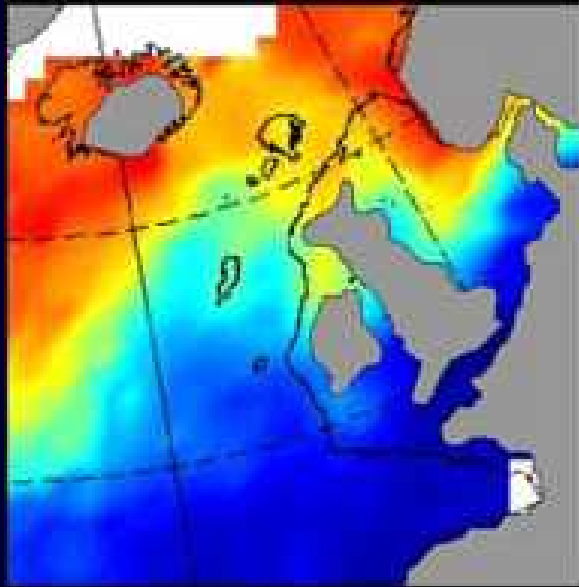


2003-2005

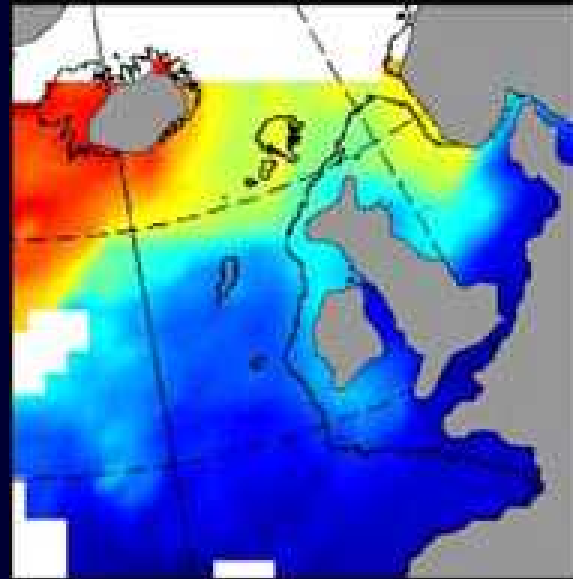
Beaugrand G. 2005. Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. ICES Journal of Marine Science, 62.

Espèces subarctiques

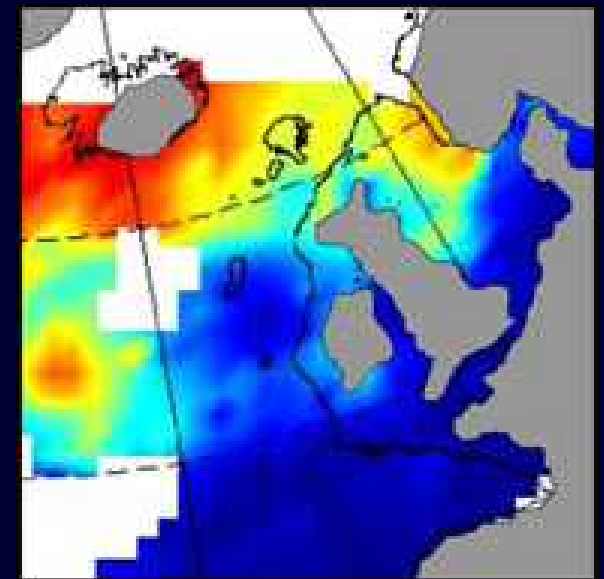
1958-1981



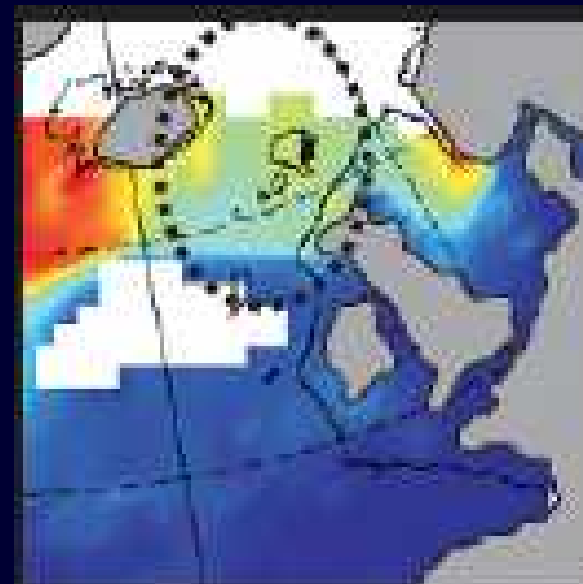
1982-1999



2000-2002



2003-2005



60°N

50°N

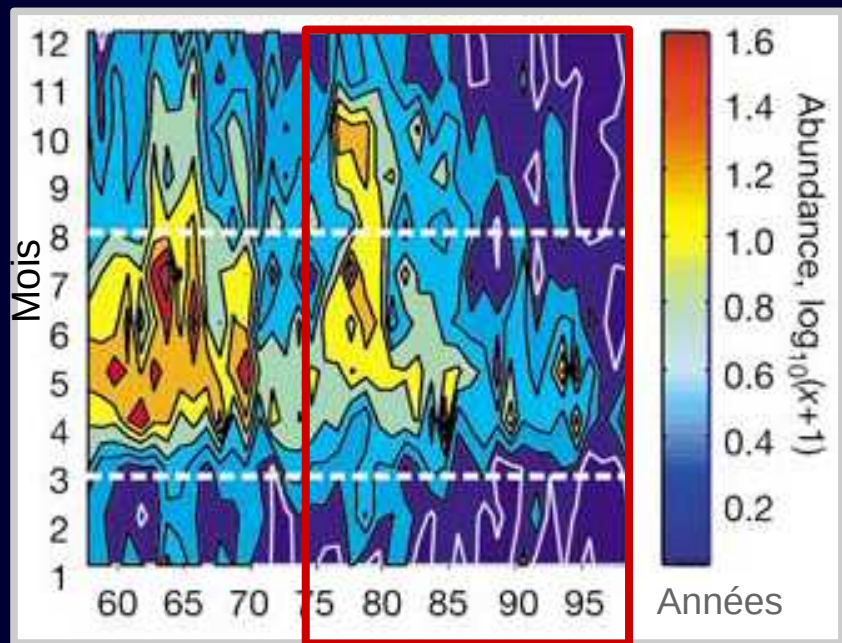
60°N

50°N

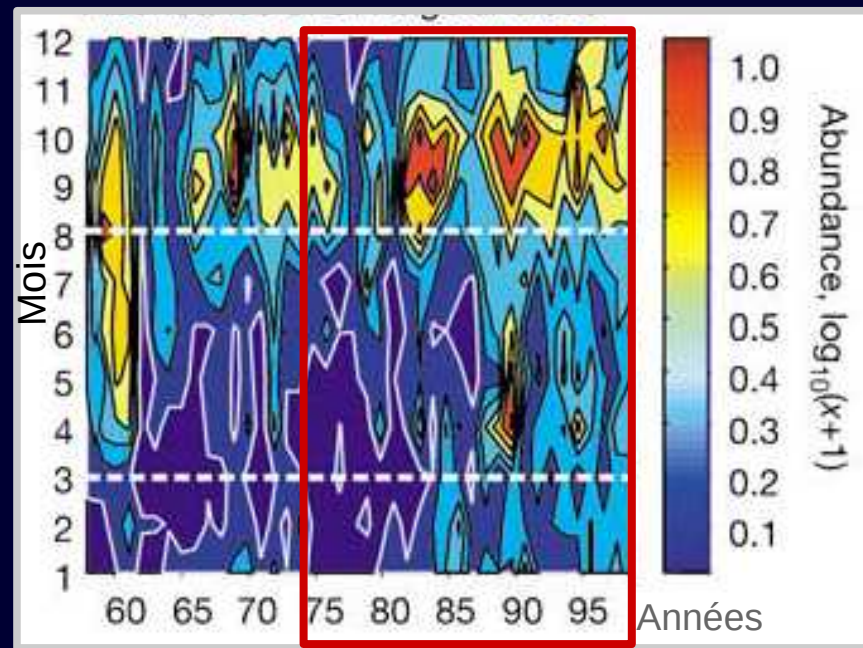
0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10

Mean number of species
per CPR sample

Calanus finmarchicus

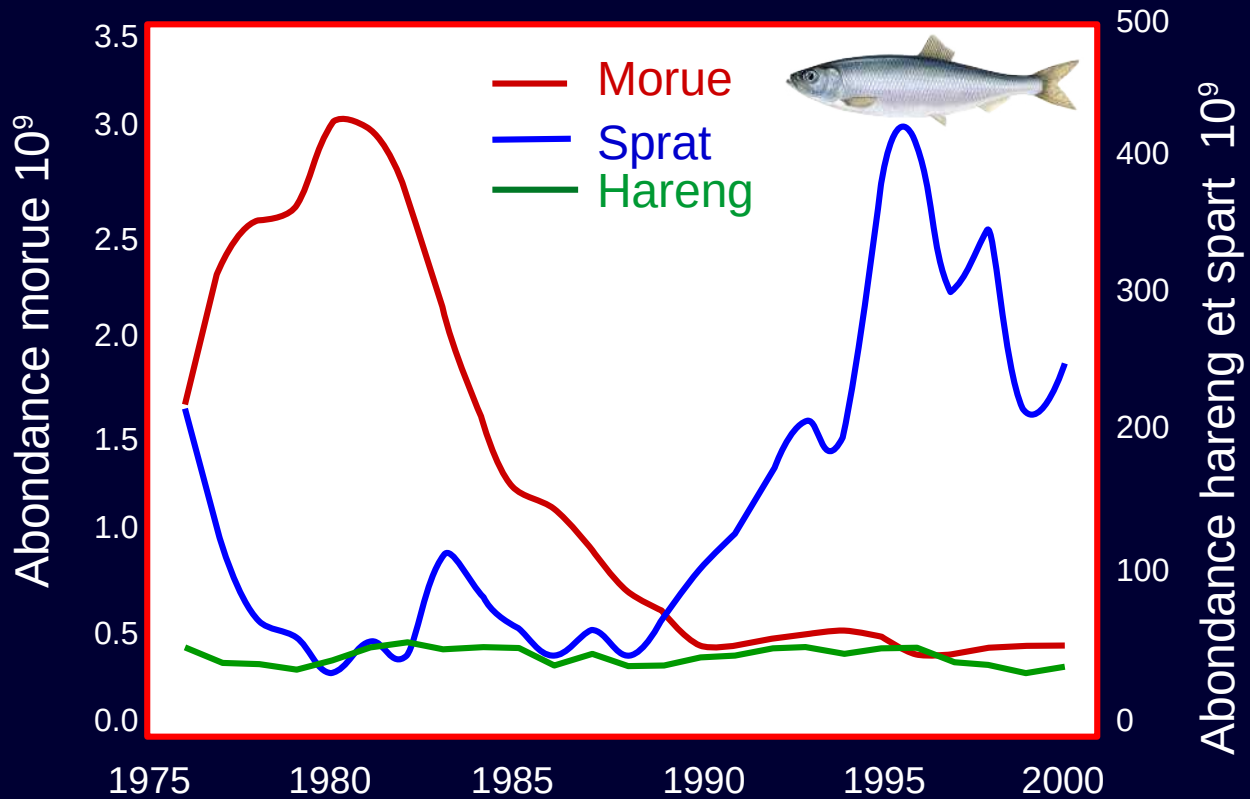


Abondance de *Calanus finmarchicus*



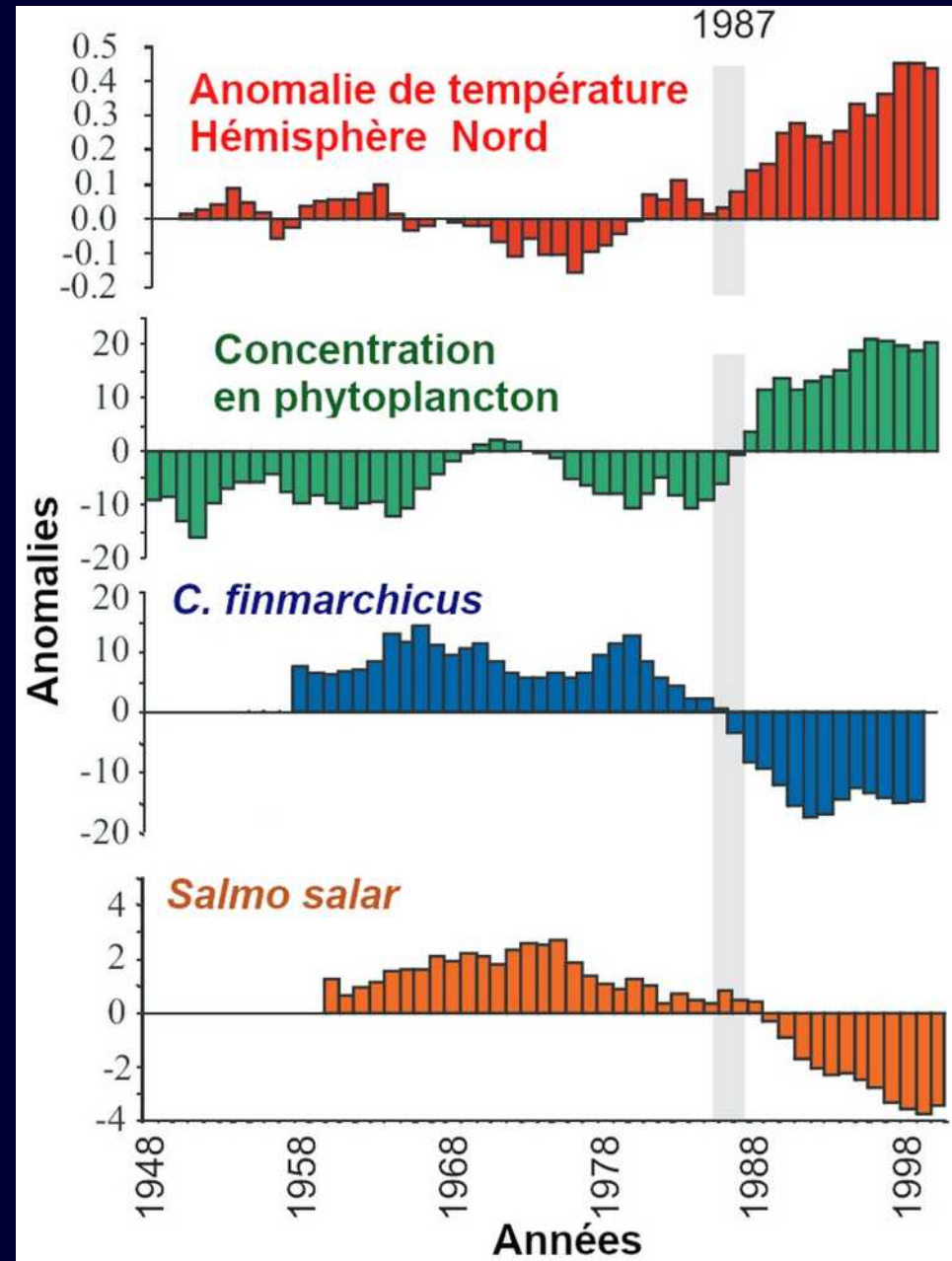
Abondance de *Calanus helgolandicus*

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.



Le poisson-roi de la civilisation de la Mer du Nord: le hareng

Jacob Van ES



G. Schalcken



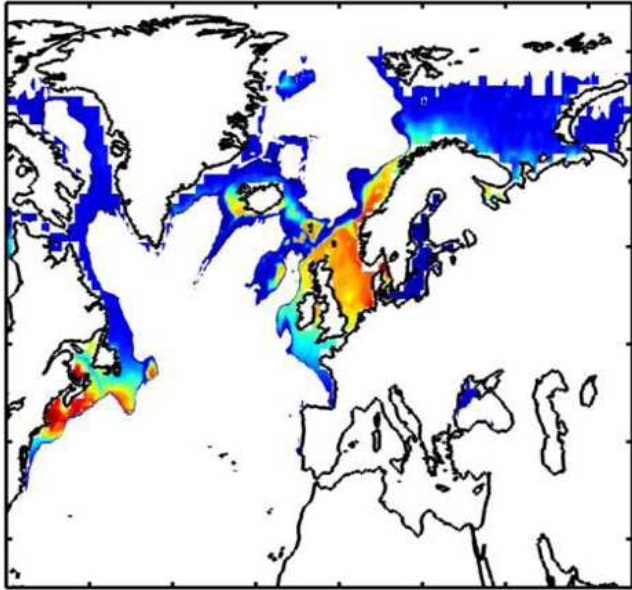
Atelier de Georg Flegel

Joachim Beuckelaer



Projection de la distribution spatiale du hareng (scénario B2)

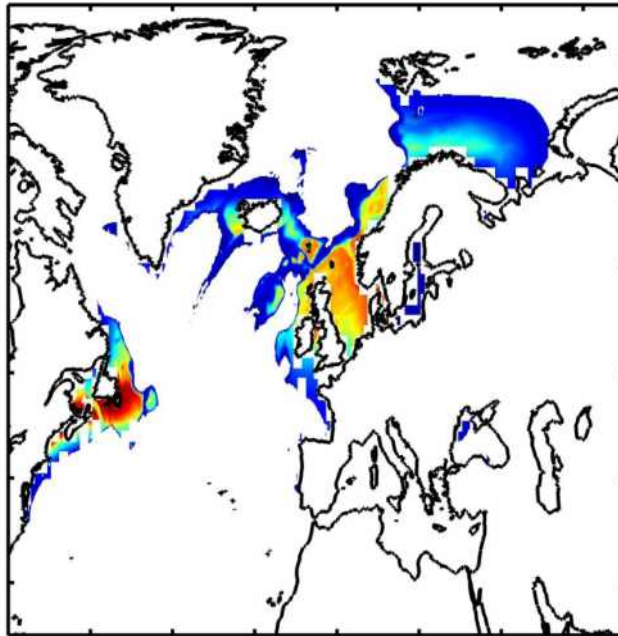
1960-1969



Pêche en Mer du Nord
546 à 1168 kt

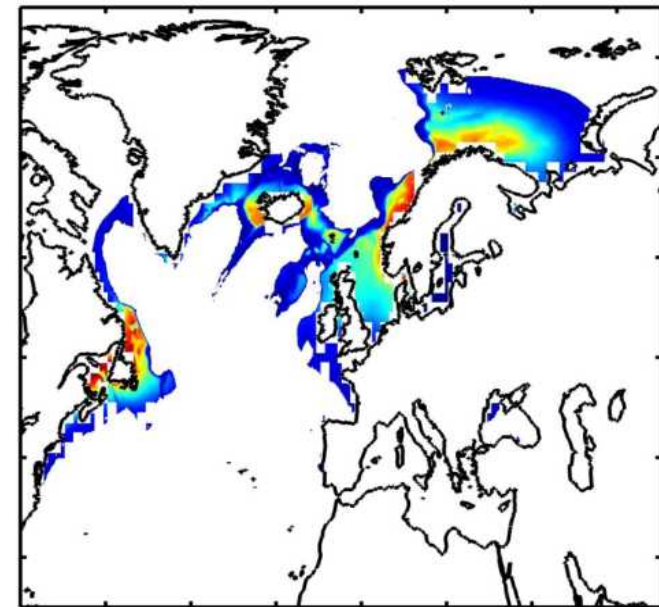


2010-2019

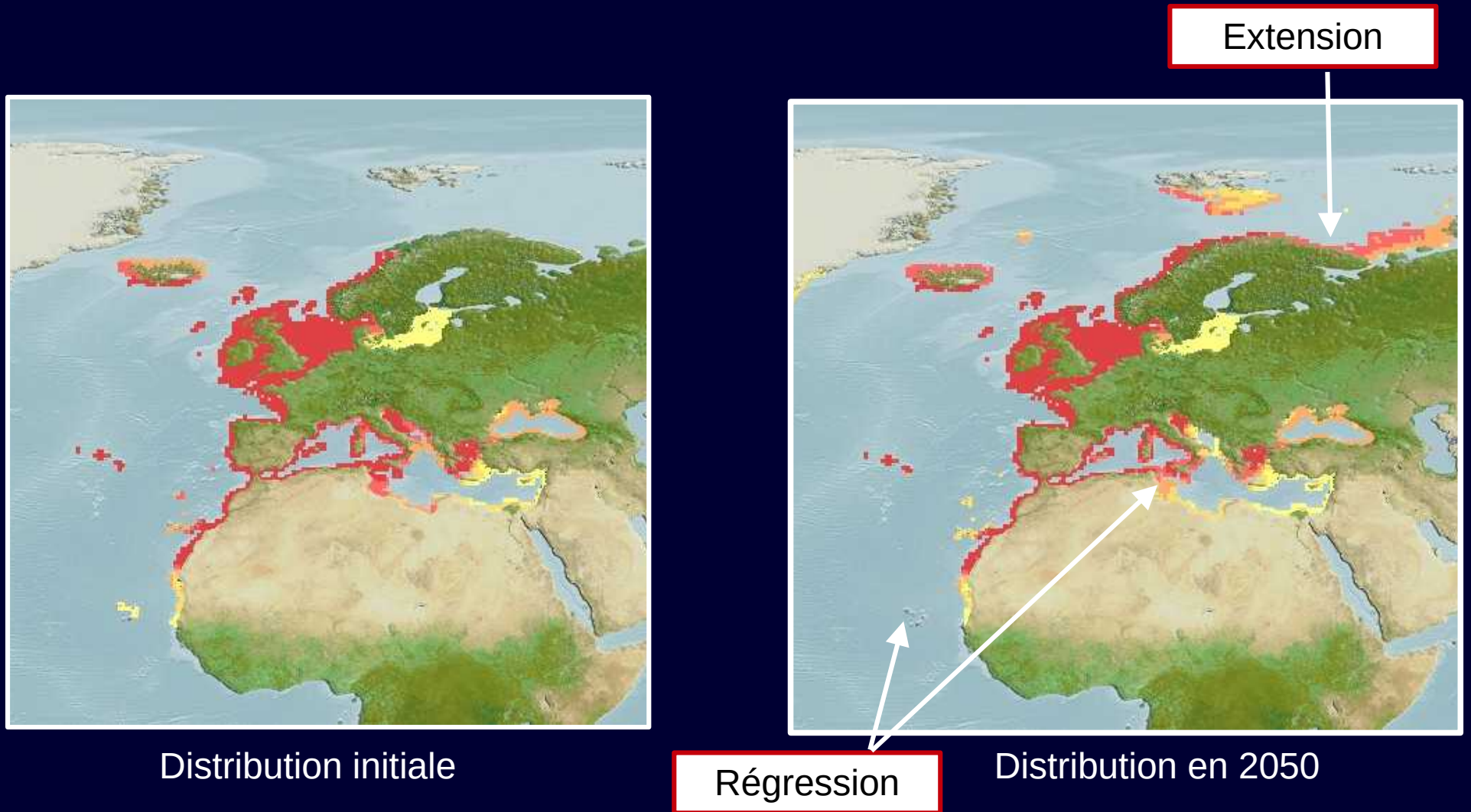


Pêche en Mer du Nord
187 à 603 kt

2090-2099



Sardine - *Sardina pilchardus*



Basé sur le scénario IPCC/GIEC RCP8.5

Anchois - *Engraulis encrasicolus*



Distribution initiale



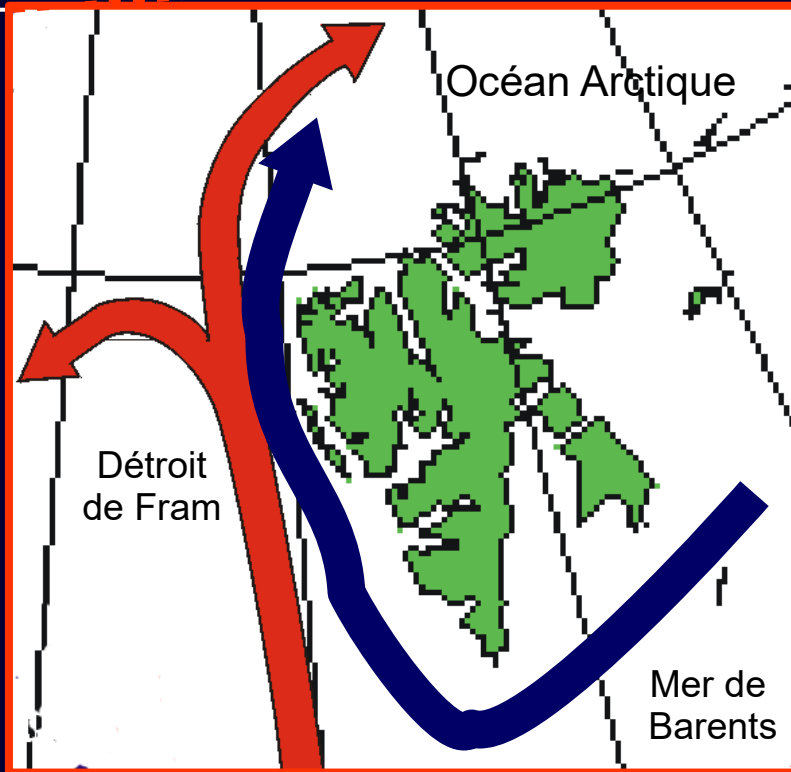
Extension

Régression

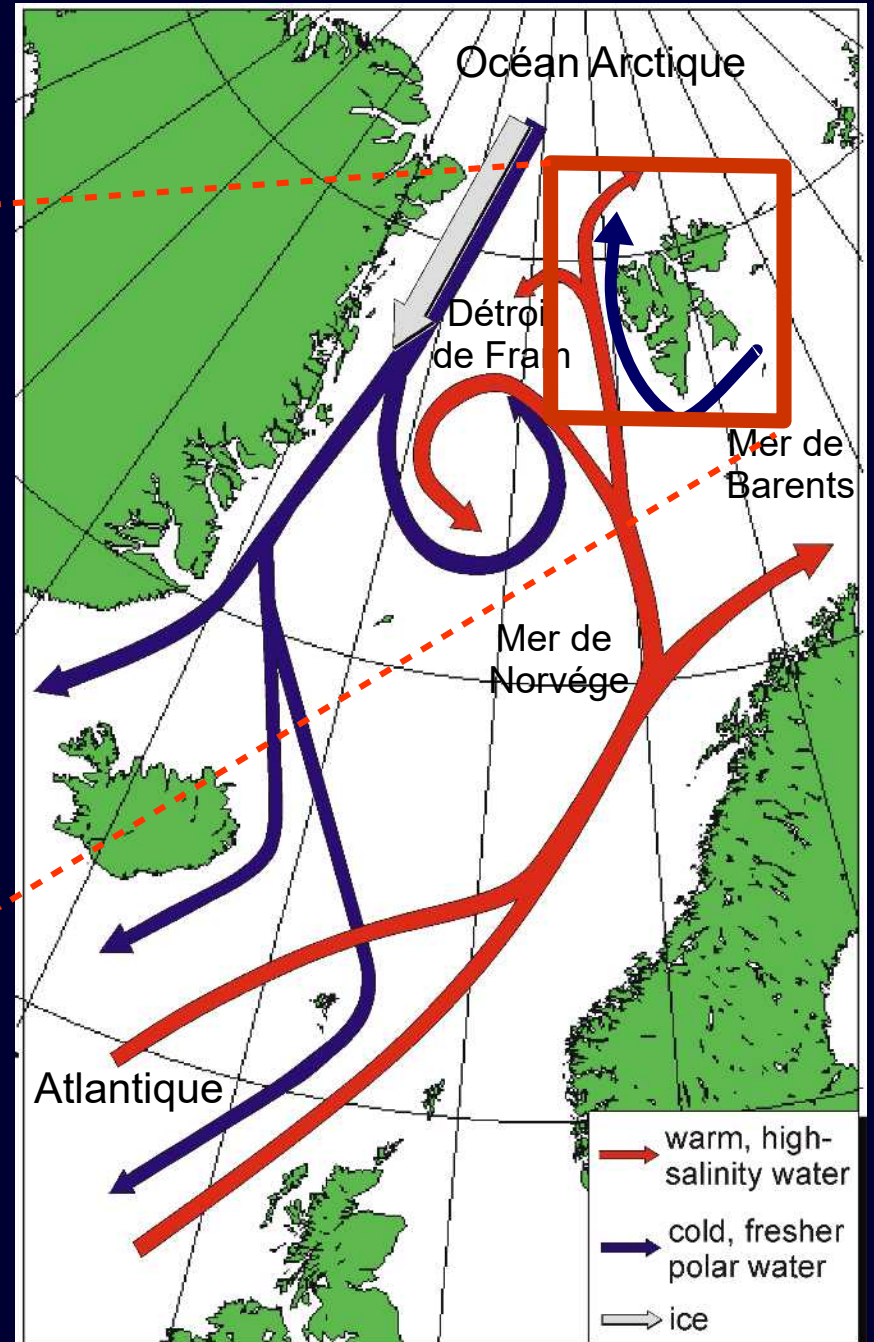
Distribution en 2050

Basé sur le scénario IPCC/GIEC RCP8.5

Et plus au nord !!!



Archipel du svalbard
(Spitzberg)



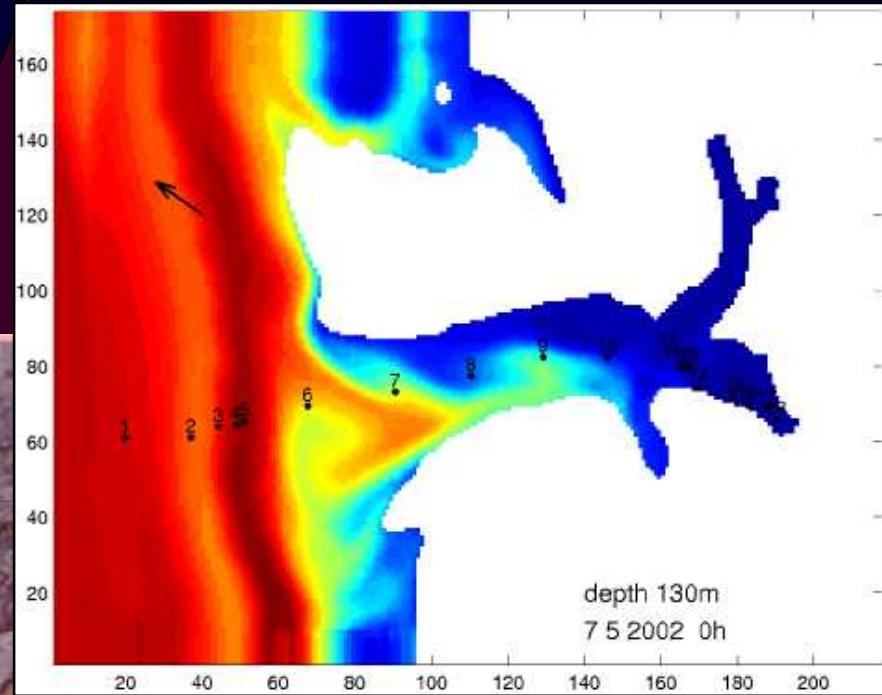
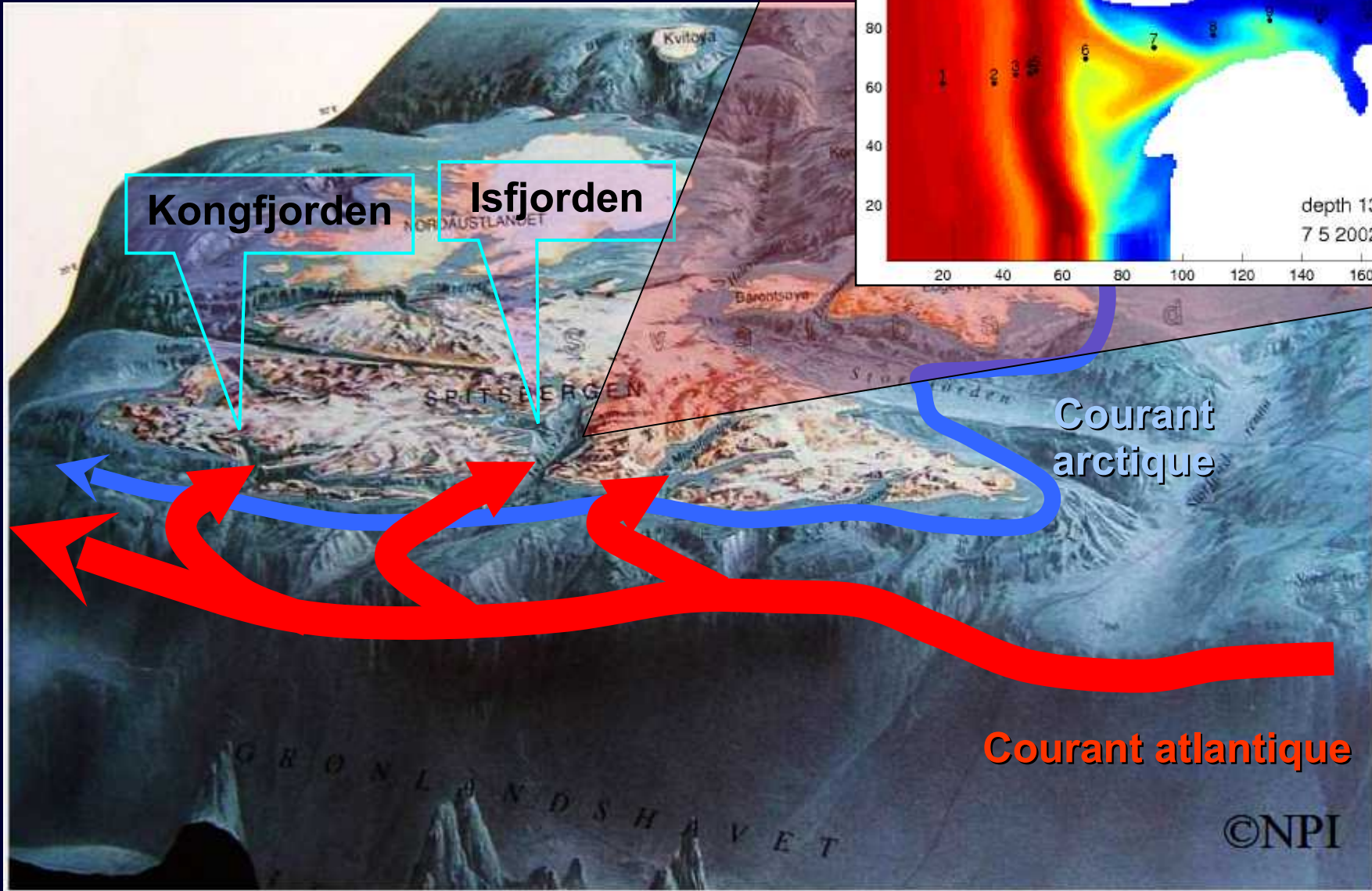
From F. Cottier



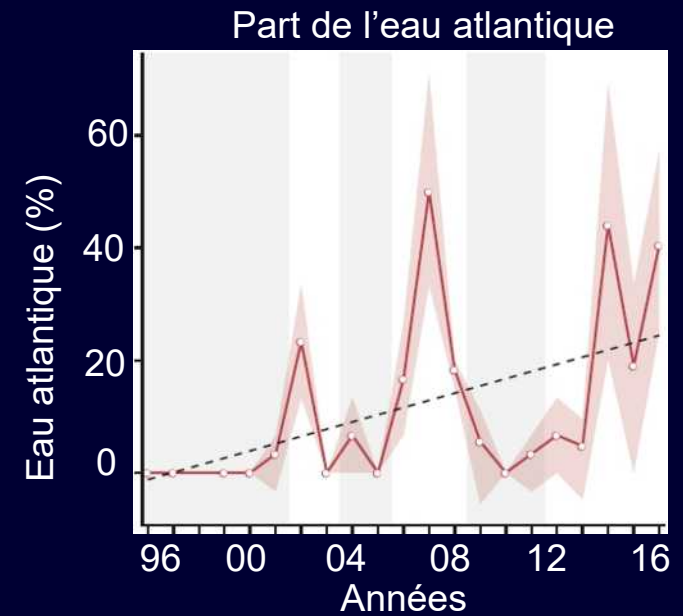
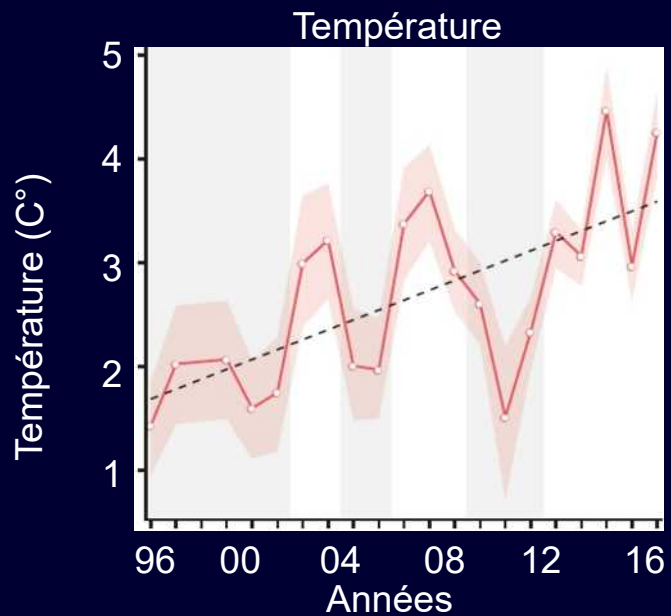
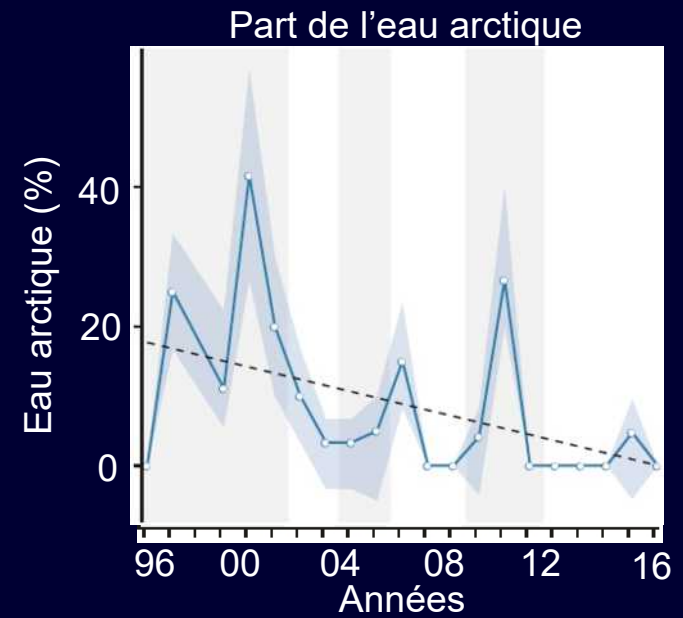
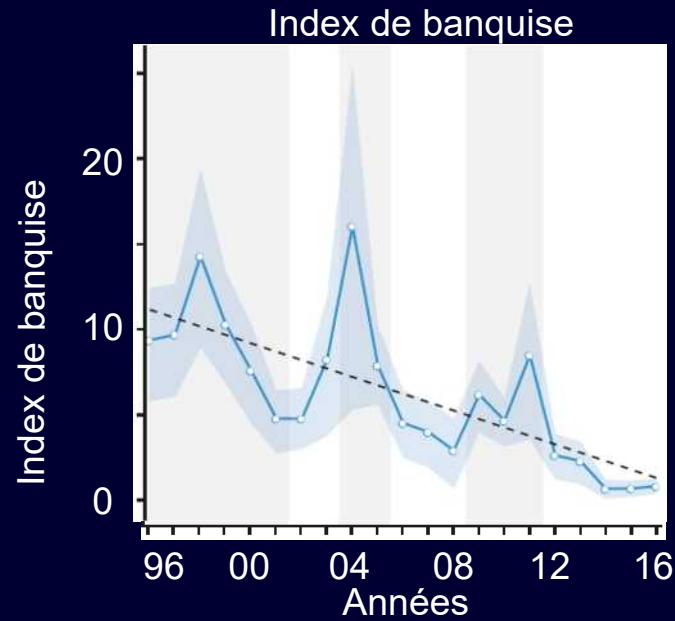
Côte Ouest du Svalbard



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:

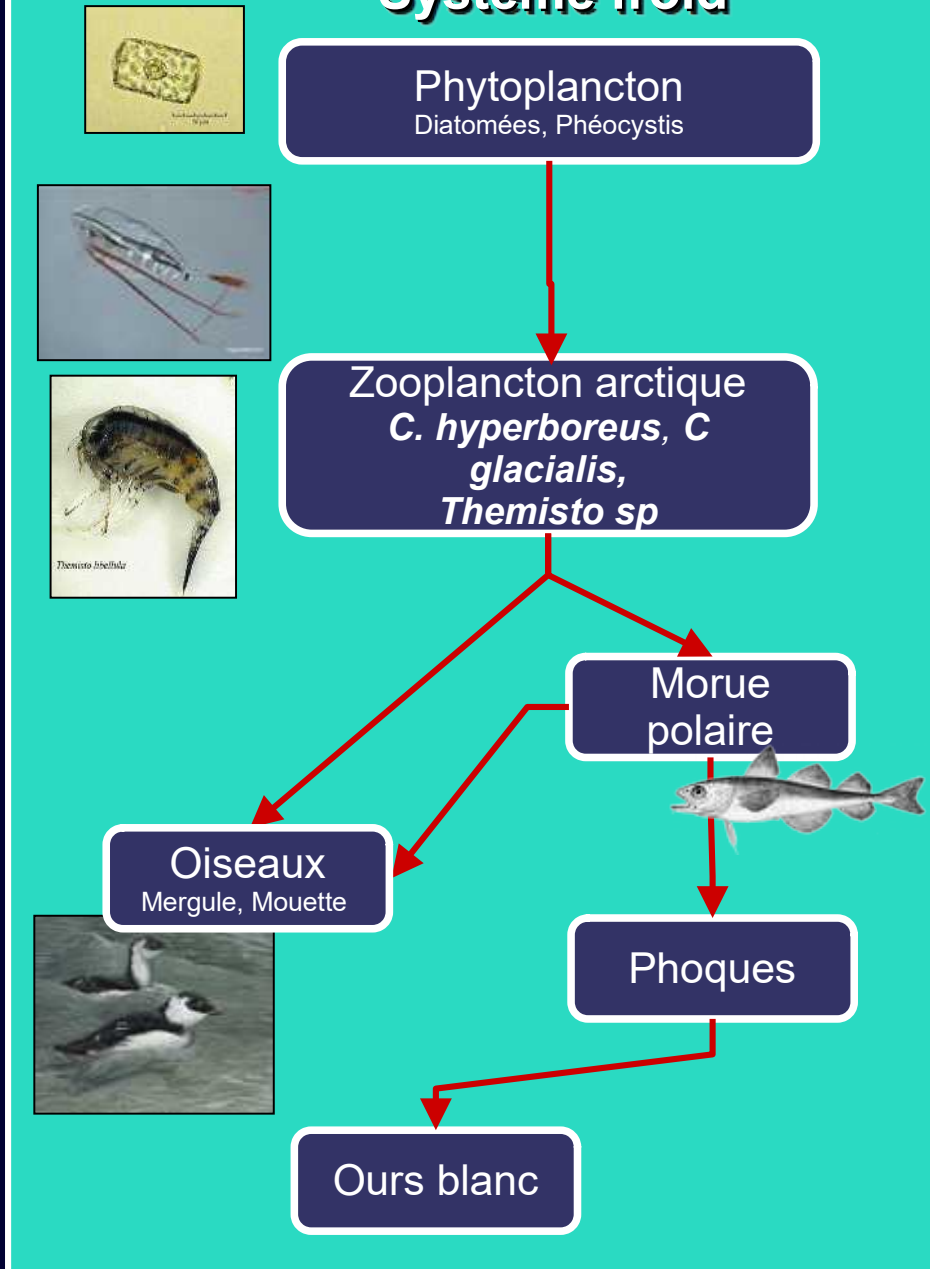
Systeme froid : riche en *Calanus hyperboreus* et *Calanus glacialis*

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

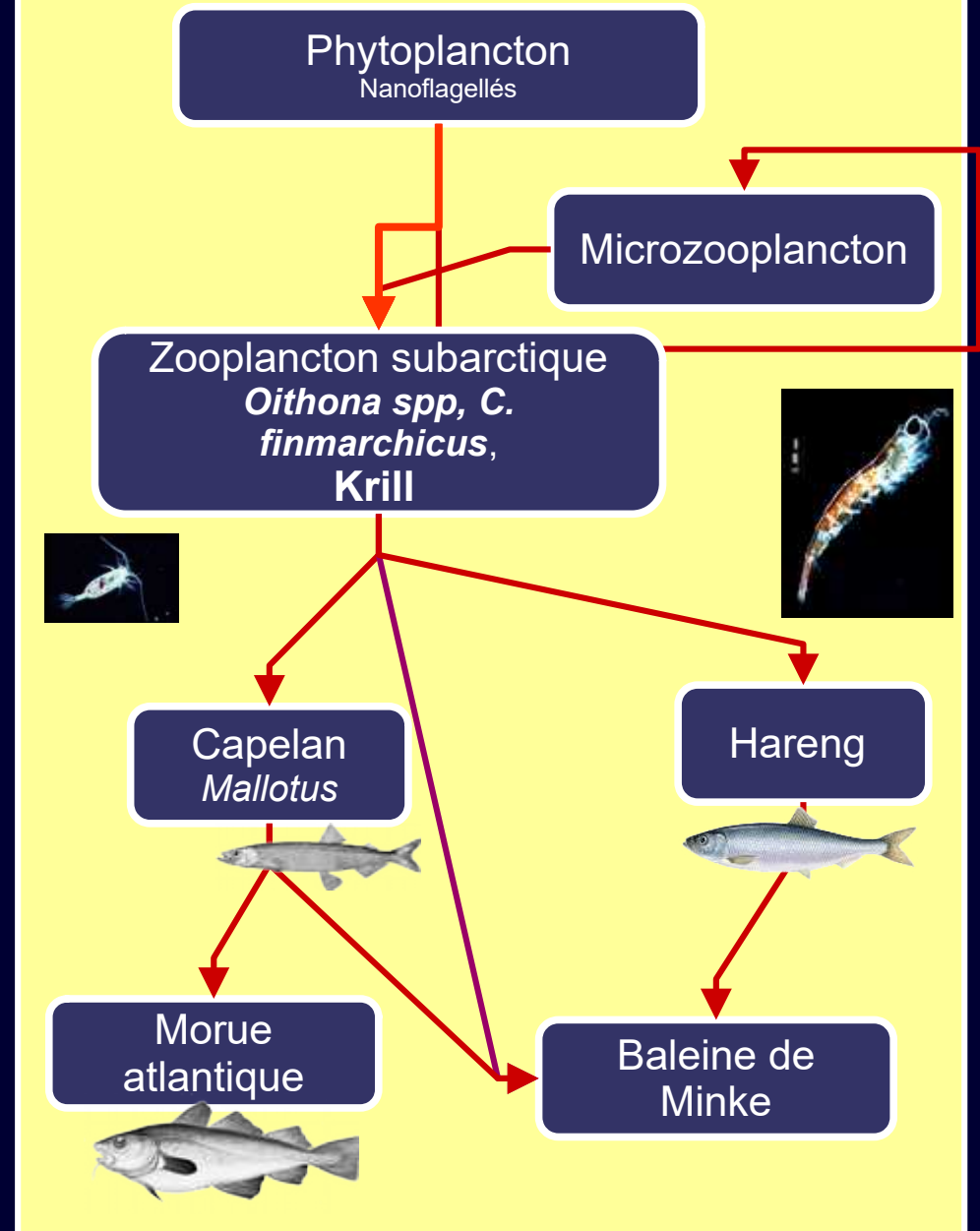
- *C. glacialis* est 6 à 7 fois plus énergétique que *C. finmarchicus* et 15 fois plus que *Pseudocalanus spp* (à biomasse égale).
- *C. hyperboreus* est 13 fois plus énergétique que *C. finmarchicus* et 30 fois plus que *Pseudocalanus spp* (à biomasse égale)

Axes prédominants des réseaux alimentaires

Système froid



Système chaud



Vagues de chaleur marines en surface

À l'échelle mondiale, les événements liés à la chaleur marine ont augmenté.

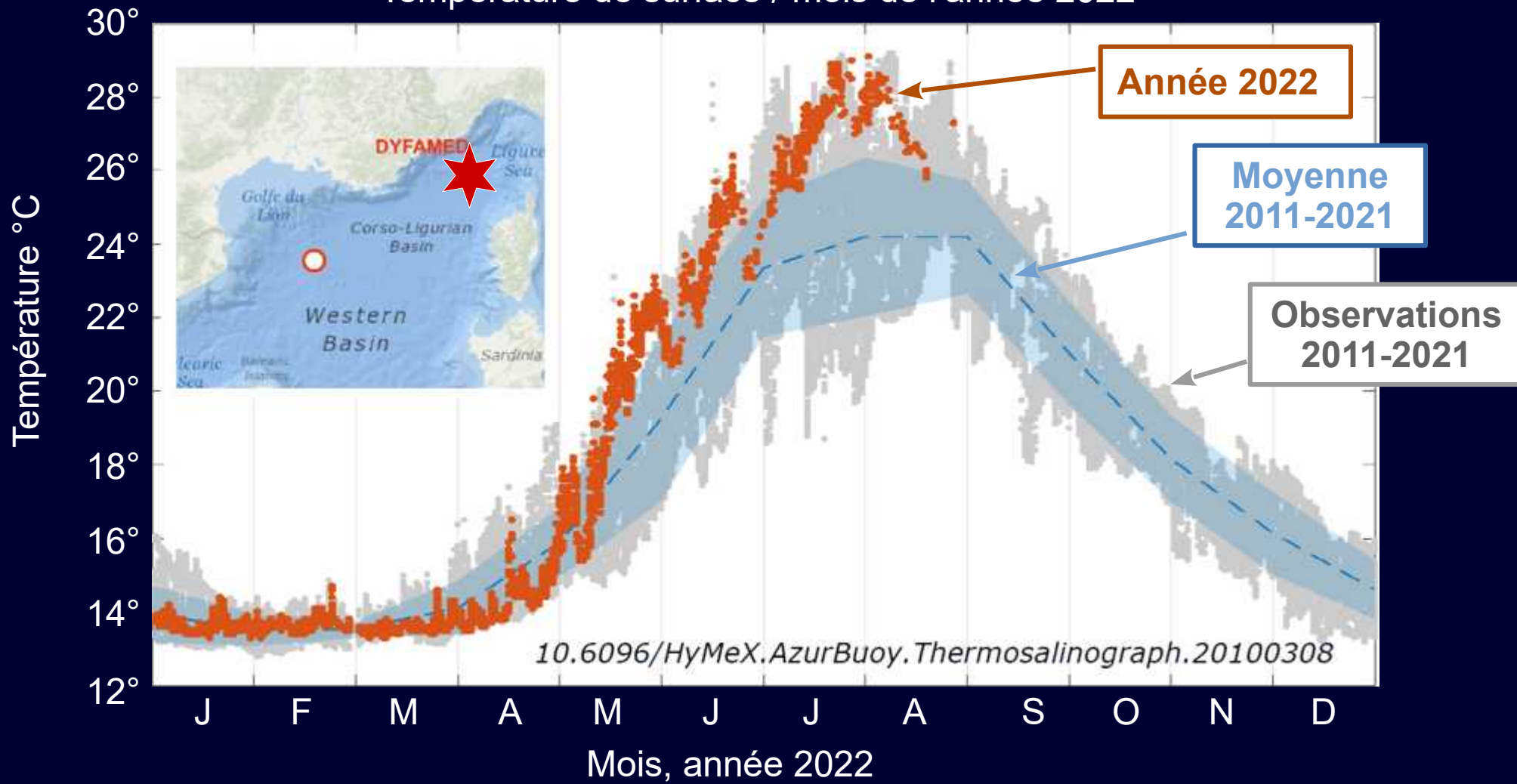
Les vagues de chaleur marines, ont doublé de fréquence et sont devenues plus durables, plus intenses et plus étendues (très probablement).

Il est très probable qu'entre 84 et 90 % des vagues de chaleur marines survenues entre 2006 et 2015 soient attribuables à l'augmentation anthropique de la température.

* Vague de chaleur ou canicule marine : défini lorsque la température quotidienne à la surface de la mer dépasse le 99e centile local sur la période 1982 à 2016.

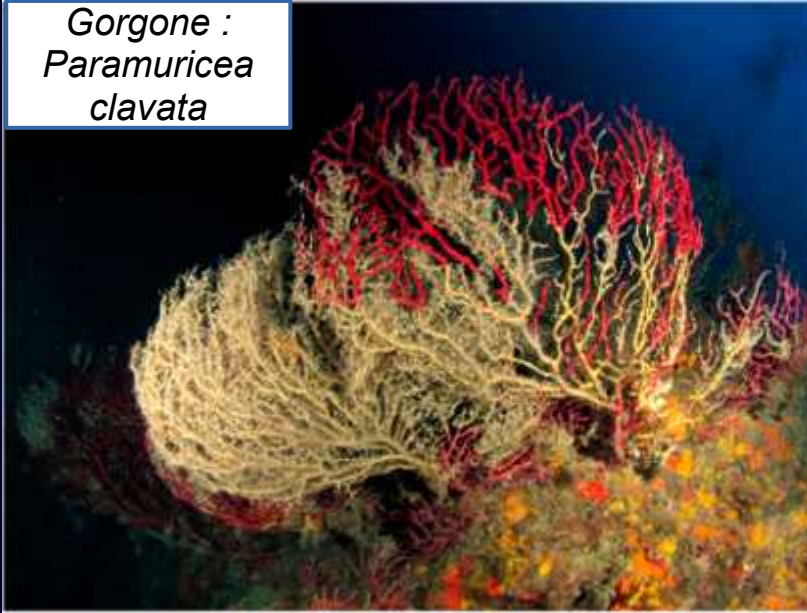
Vague de chaleur en surface

Température de surface / mois de l'année 2022



Vague de chaleur en surface

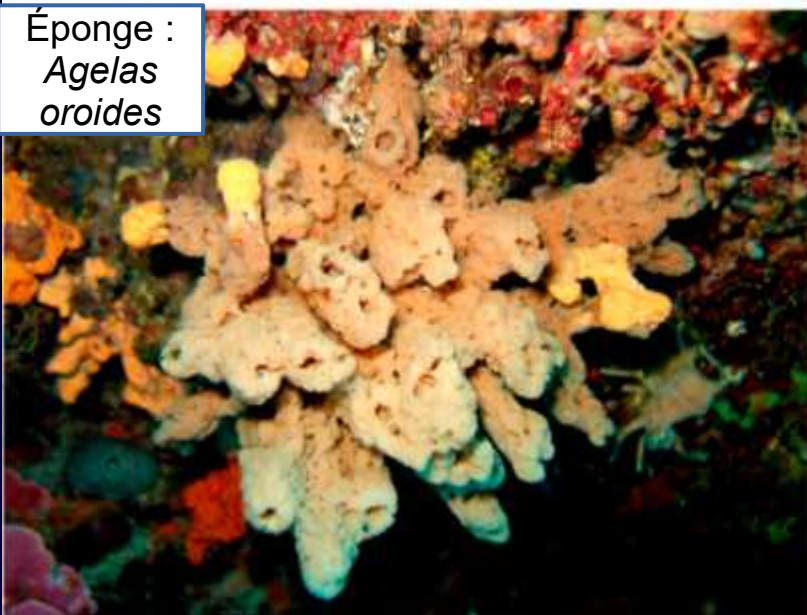
Gorgone :
Paramuricea
clavata



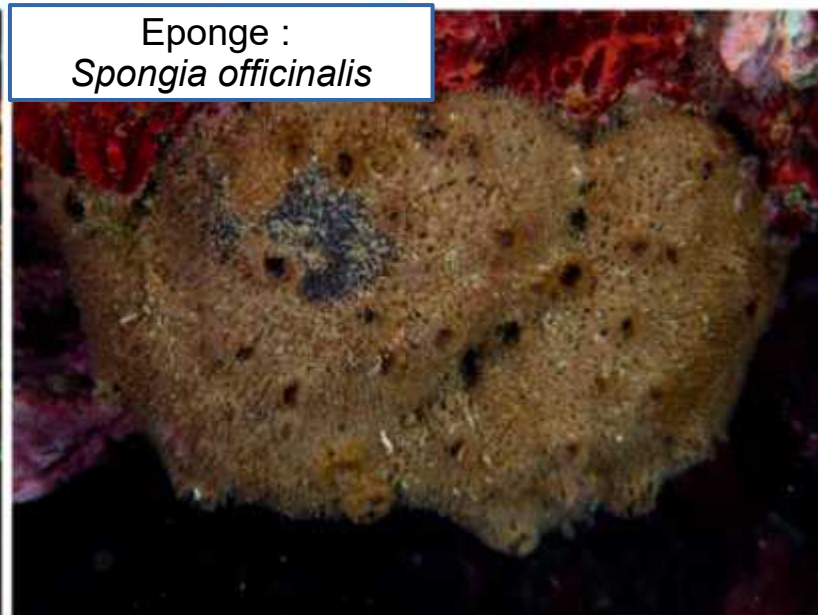
Hexacorraliaire
Cladocora
caespitosa



Éponge :
Agelas
oroides



Eponge :
Spongia
officinalis



Vague de chaleur en surface

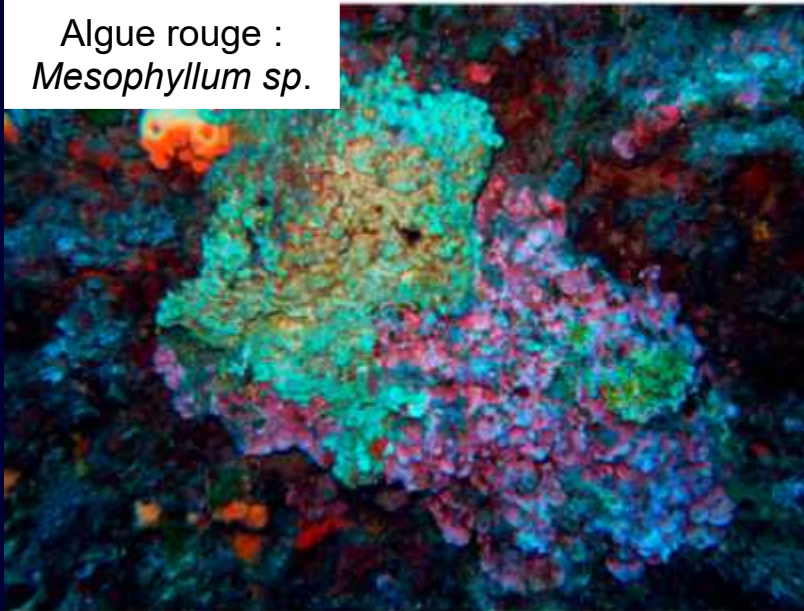
Bryzoaire :
Myriapora
truncata



Mollusque :
Spondylus gaederopus



Algue rouge :
Mesophyllum sp.

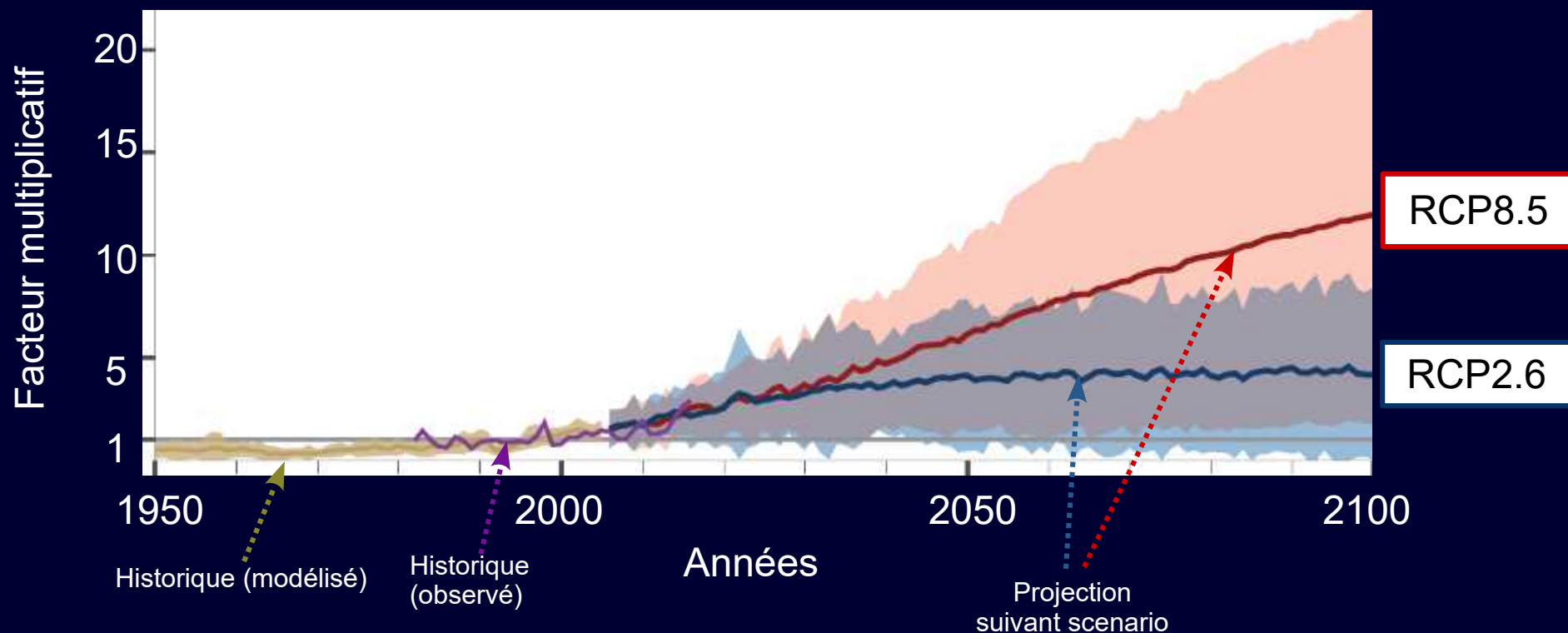


Echinoderme :
Arbacia lixula



Prévision de l'évolution des vagues de chaleur marines

Jours de vagues de chaleur : changement par rapport à la période 1986 -2005






* Vague de chaleur ou canicule marine : définie lorsque la température quotidienne à la surface de la mer dépasse le 99e centile local sur la période 1982 à 2016.

En synthèse de cette partie

Impacts régionaux observés résultant de changements de l'océan et la cryosphère

Changements physiques	Océan											
	Arctique	EBUS ¹	Atlantique Nord	Pacifique Nord	Atlantique Sud	Pacifique Sud	Océan Austral	Océan Indien tempéré	Atlantique tropical	Océan indien tropical	Pacifique tropical	
Température	●●	●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●	
Oxygène		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
pH de l'océan	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	
Étendue de la glace de mer	●●●						●					
Niveau de la mer	●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	

Changements physiques

	augmentation
	diminution
	augmentation et diminution

Degré de confiance accordé à l'attribution




●●●	élevée
●●	moyenne
●	faible

EBUS¹ : Eastern Boundary Upwelling Systems (Courants du Benguela, de sCanaries de Californie et de Humboldt).

Impacts régionaux observés résultant de changements de l'océan et la cryosphère

Écosystèmes	Océan										
	Arctique	EBUS ¹	Atlantique Nord	Pacifique Nord	Atlantique Sud	Pacifique Sud	Océan Austral	Indien tempéré	Atlantique tropical	Océan indien tropical	Pacifique tropical
Partie supérieure de la colonne d'eau	••	•	•••	••	••	••	••	•	••	•	••
Coraux			•			•••			•••	•••	•••
Zones humides côtières			••	••	••	••		••	••	••	••
Forêts de laminaires	••	••	••	••	•	•		•			•
Côtes rocheuses			•••	••				•			
Grands fonds				•							
Benthos polaire	••						••				
Liés à la glace de mer	••						••				

Systèmes

	positif
	négatif
	positif et négatif

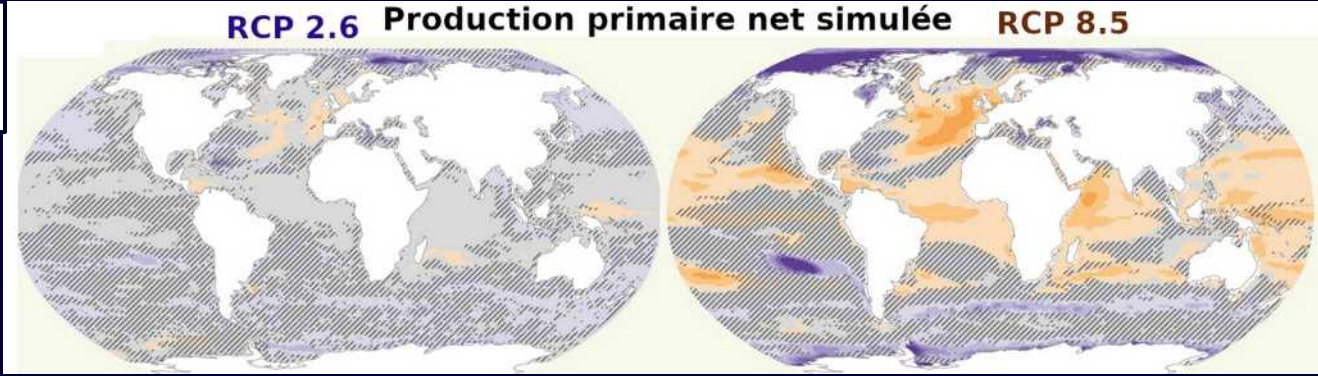
Degré de confiance accordé à l'attribution

•••	élevée
••	moyenne
•	faible

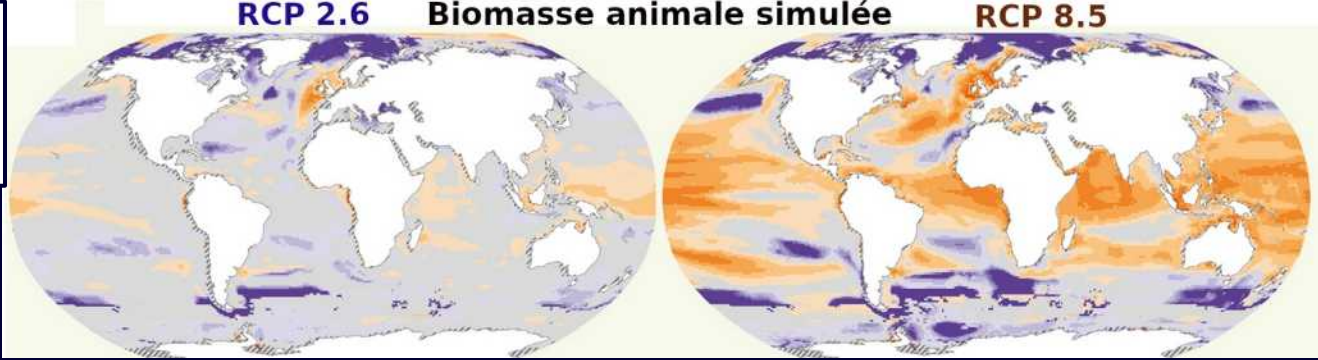
EBUS¹ : Eastern Boundary Upwelling Systems (Courants du Benguela, de sCanaries de Californie et de Humboldt).

Évolutions suivant les scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5

Production primaire



Biomasse animale marine



Potentiel de pêche

