

Changements climatiques et systèmes océaniques.

Changements climatiques et systèmes océaniques.

Préambule :

L'océan change car le climat de la terre change.

Le bilan radiatif de la terre : causes externes et internes des changements du climat.

Changements climatiques actuels sous l'influence de l'homme : il y a consensus !

A- Deux effets principaux, physique et chimique :

- ♦ A1 -Augmentation de la température de l'océan.
 - ♦ Variation du niveau global des océans.
 - ♦ L'augmentation de la stratification des océans
 - ♦ Influence sur leur circulation globale des océans.
 - ♦ La circulation méridionale atlantique de retournement.
 - ♦ La circulation océanique de surface.
 - ♦ Vagues de chaleur marines.
- ♦ A2 -Acidification des eaux de l'océan.

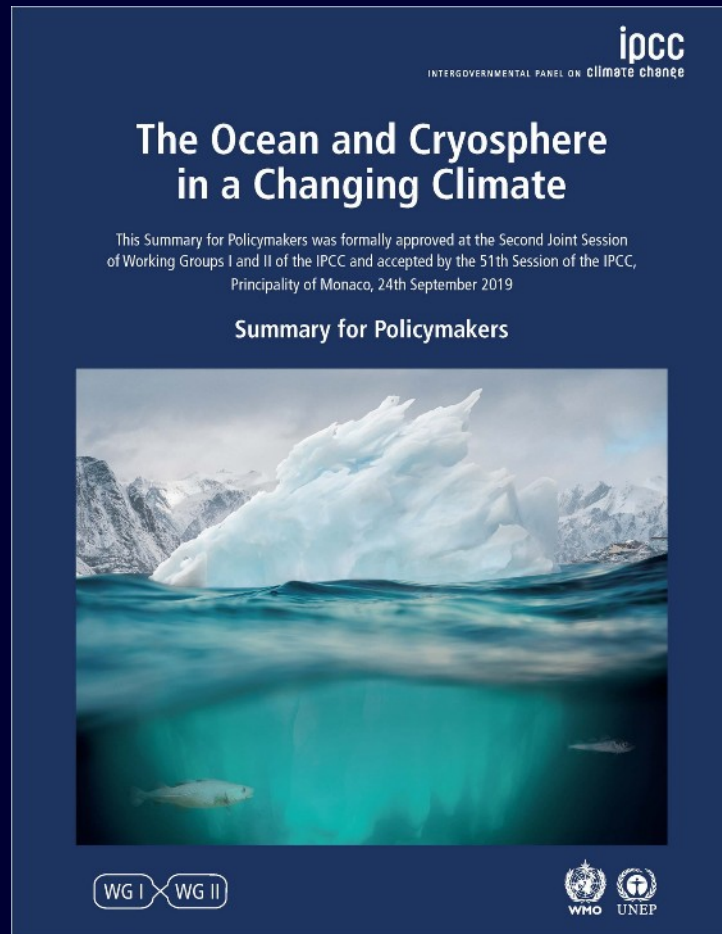
B- Changements dans les écosystèmes marins.

- ♦ Écosystèmes et changements climatiques.
 - ♦ Écosystèmes pélagiques de l'Atlantique nord.
 - ♦ Écosystèmes de la mer du Nord.
 - ♦ Écosystèmes arctiques.
- ♦ Évolution de la distribution d'espèces de poissons exploitées.
- ♦ Gestion halieutique et risque de conflits.

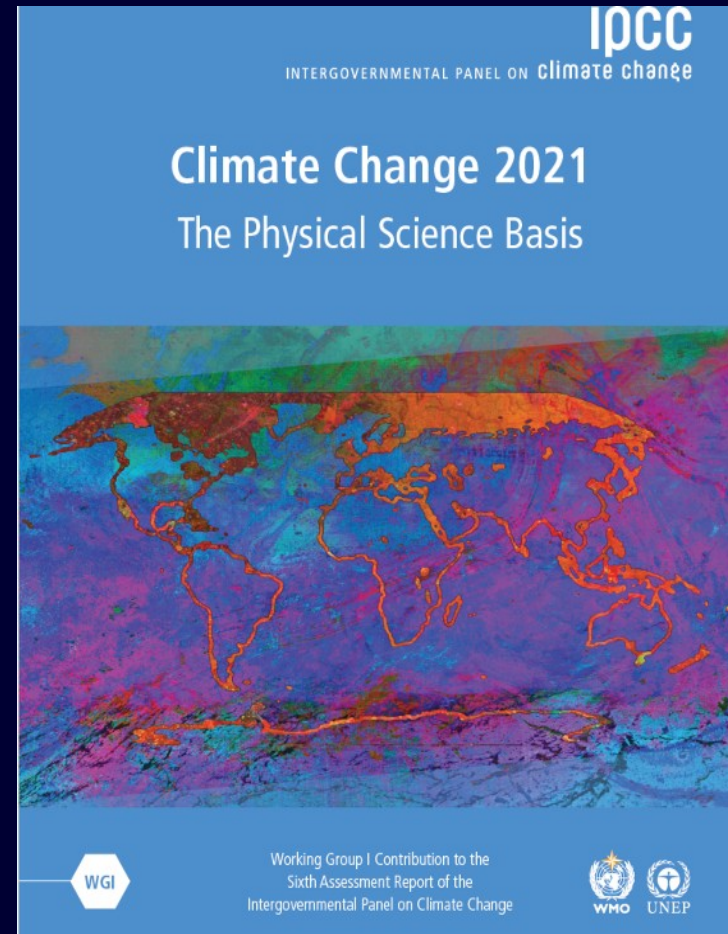
Synthèse

Les rapports du GIEC (IPCC).

Évaluation de l'état des connaissances relatives au changement climatique à partir des publications scientifiques.



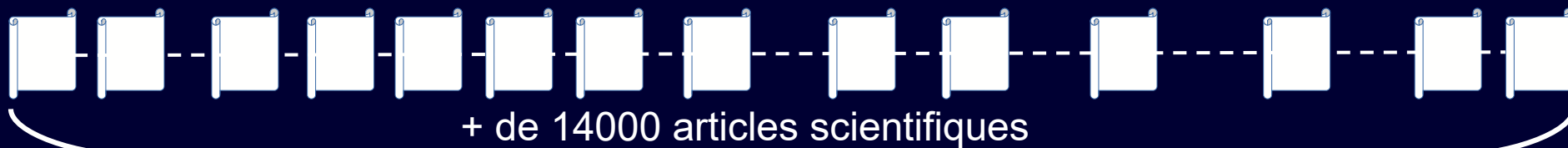
2019, rapport spécial sur l'océan et la cryosphère. GIEC



2021, 6e rapport d'évaluation, WGI : sciences physiques du changement climatique. GIEC

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

Le 6^e rapport d'évaluation du GIEC : évaluation de l'état des connaissances actuelles relatives au changement climatique



Rapport initial rédigé par 234 auteurs de 66 pays

Première version du rapport (first order draft)

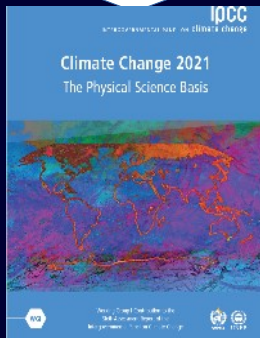
Deuxième version du rapport (second order draft)

Version finale du rapport (final draft)

Relecture par les experts
23 462 commentaires

Relecture par les experts et les Gouvernements
51 387 commentaires

Relecture par les Gouvernements
3 158 commentaires

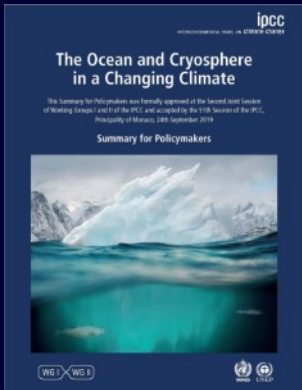


Groupe n°1 : les éléments scientifiques (2021)
Groupe n°2 : les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité (2022)
Groupe n°3 : atténuation du changement climatique (2022)

La représentation du degré de certitude

Quasi certain	de 99 à 100 %
Extrêmement probable	de 95 à 100 %
Très probable	de 90 à 100 %
Probable	de 66 à 100 %
Plus probable qu'improbable	de 50 à 100 %
Aussi probable qu'improbable	de 33 à 66 %
Improbable	de 0 à 33 %
Très improbable	de 0 à 10 %
Extrêmement improbable	de 0 à 5 %
Extraordinairement improbable	de 0 à 1 %

Exemples de quelques éléments du constat pour l'océan



- L'océan mondial s'est réchauffé 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 vagues de chaleur marines ont très probablement doublé de fréquence depuis 1982 et augmentent d'intensité (très élevé).
- En absorbant plus de CO₂, l'océan a subi une acidification de surface croissante (quasi certaine).

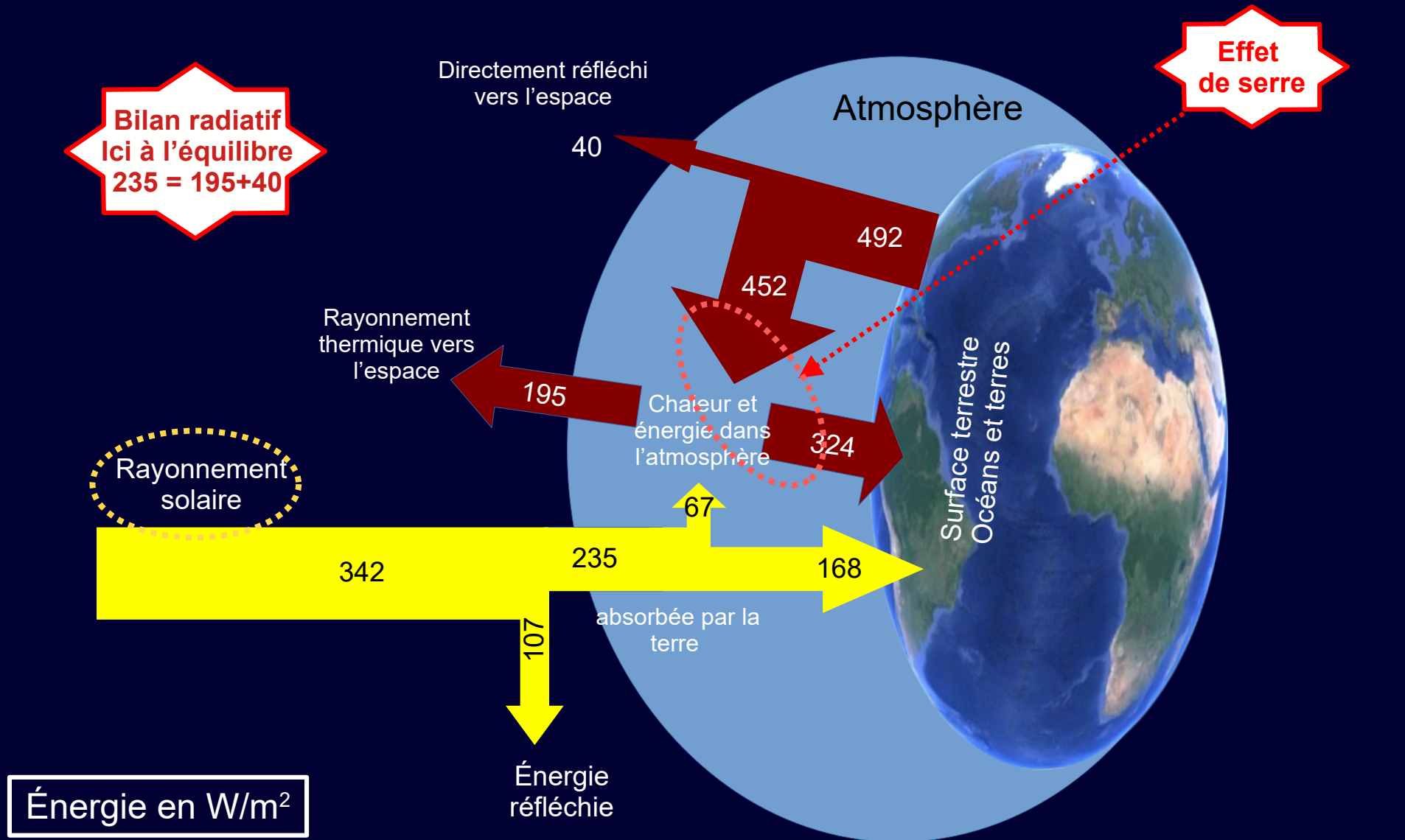
D'où cela vient-il ??

Des effets des changements climatiques sur l'océan

Pourquoi le climat change sur terre ?

- Des causes externes au système terre
- Des causes internes au système terre

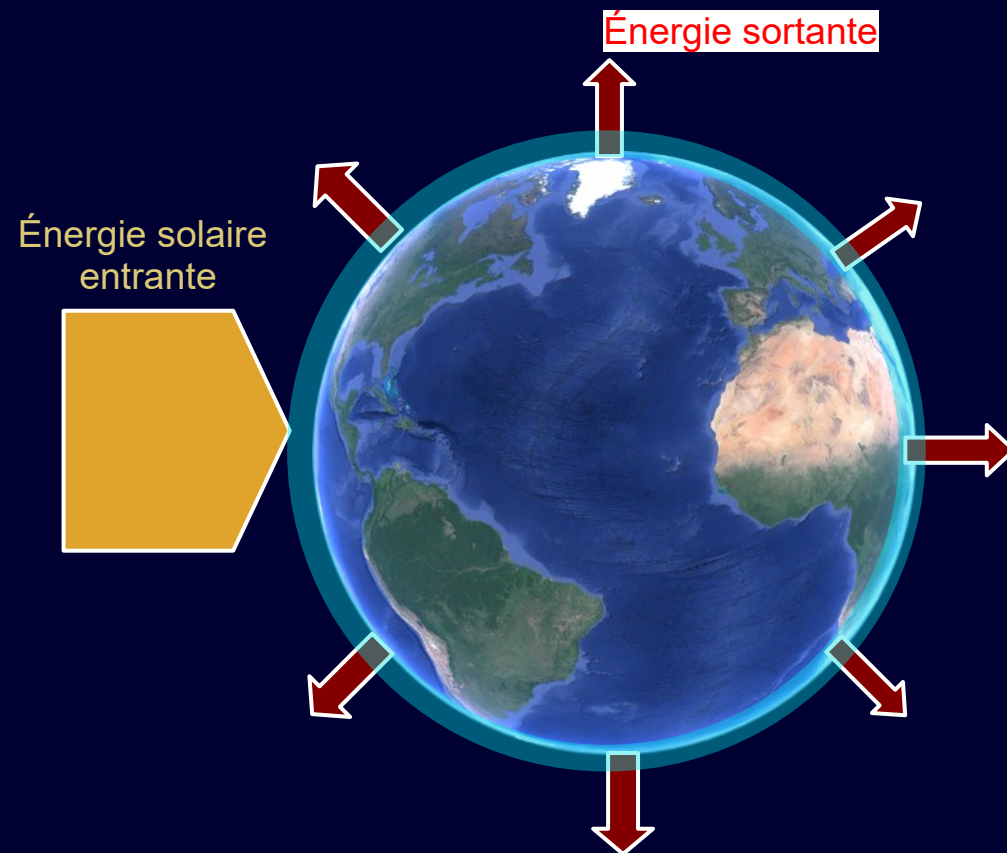
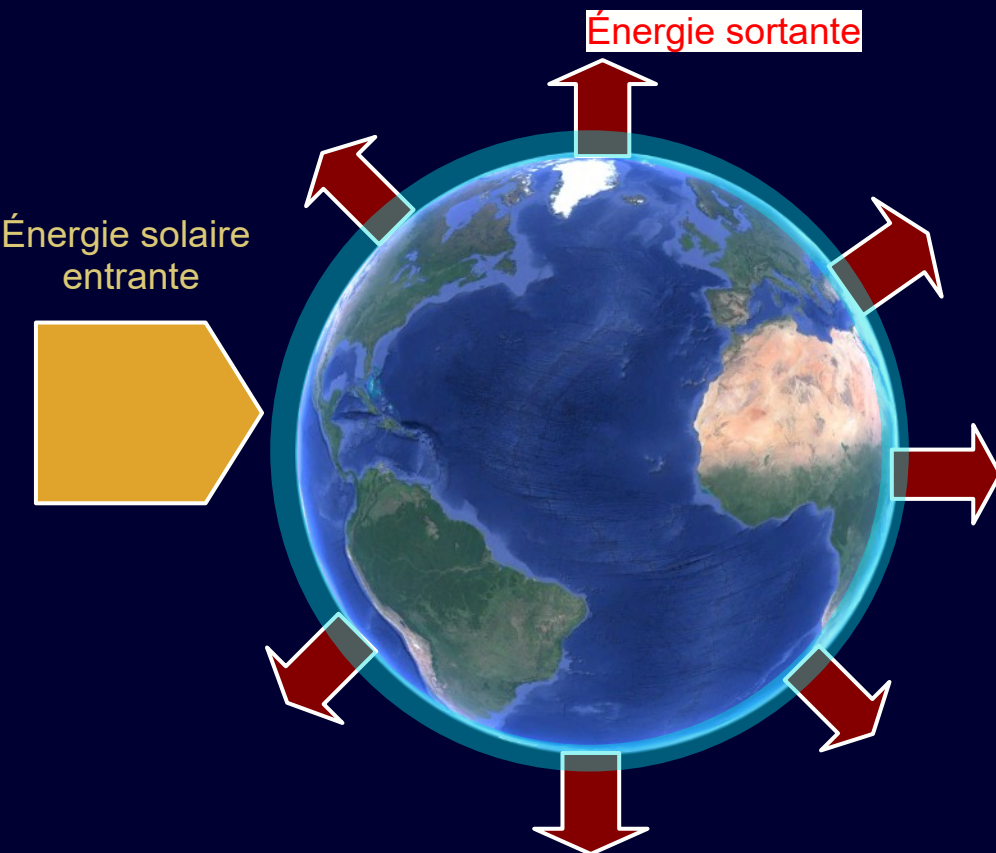
Le bilan radiatif de la terre



Le bilan radiatif de la terre va agir sur le climat

Climat stable : en équilibre
Entrant = sortant

Réchauffement si
Entrant > sortant

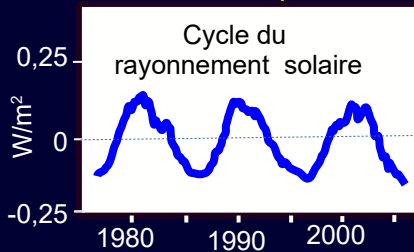
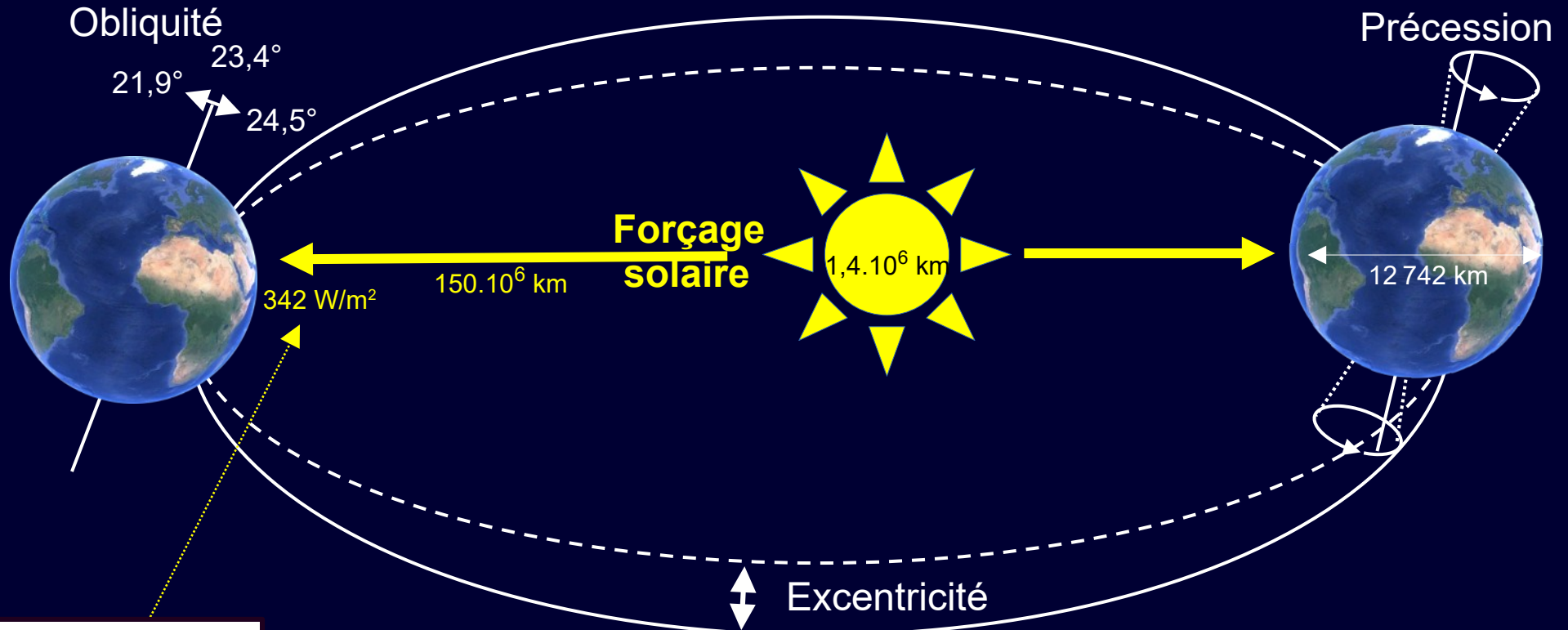


Et

Refroidissement si
Entrant < sortant

L'énergie solaire entrante est soumise à des variations astronomiques

Variations astronomiques : variation du forçage solaire et cycles de Milankovič

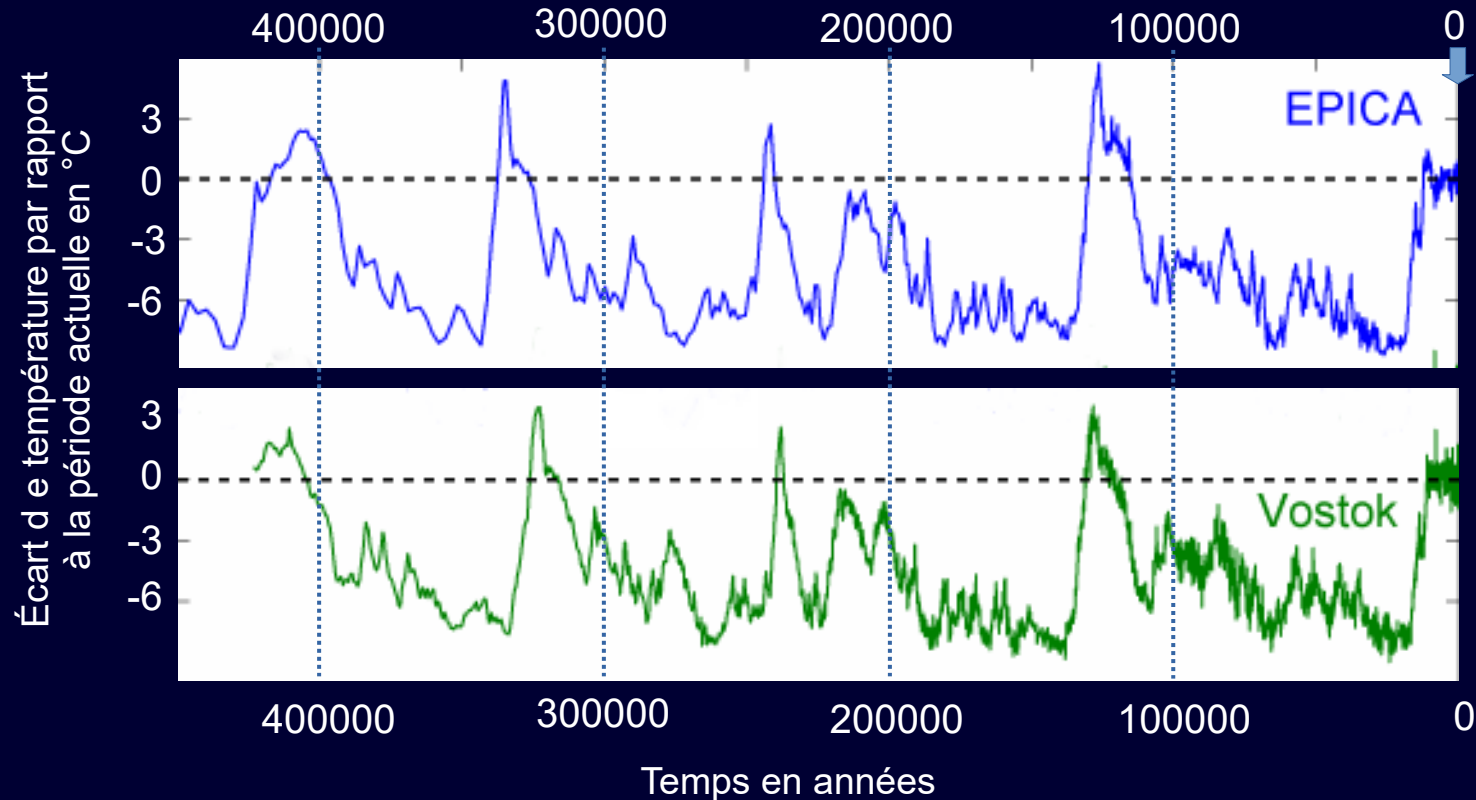


Cycles de Milankovič

- Excentricité : le degré d'aplatissement de l'ellipse par rapport à un cercle. Période principale 413 000 ans.
- Obliquité : l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre. Période d'environ 41 000 ans.
- Précession : changement graduel d'orientation de l'axe de rotation. Période 21 000 ans.

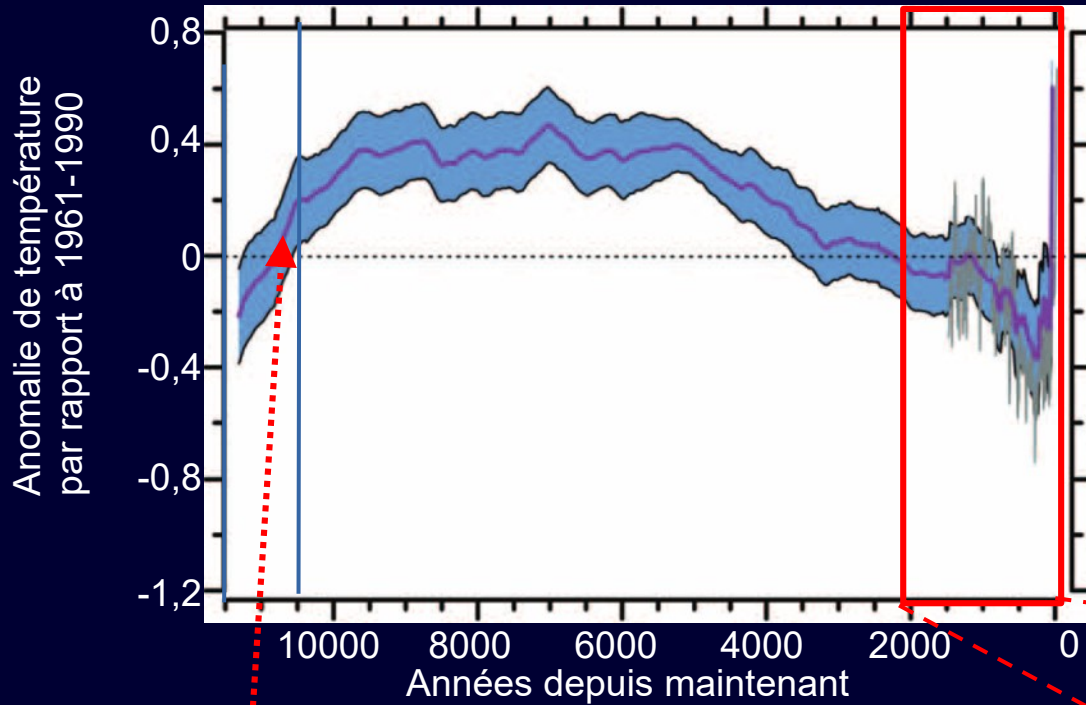
Aux échelles de temps géologiques, le climat a toujours changé.

Exemple la température de la terre depuis 400 000 ans



EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) est un forage dans les glaces profondes de l'Antarctique à la base antarctique du Dome C. VOSTOK est un programme international (URSS, France, USA) de forage à la base antarctique de Vostok.

Aussi aux échelles de temps historique le climat a changé, mais ...



**0,4°C
en 1000 ans**

**La rapidité de la
hausse actuelle
des
températures n'a
pas d'équivalent
dans notre
passé**



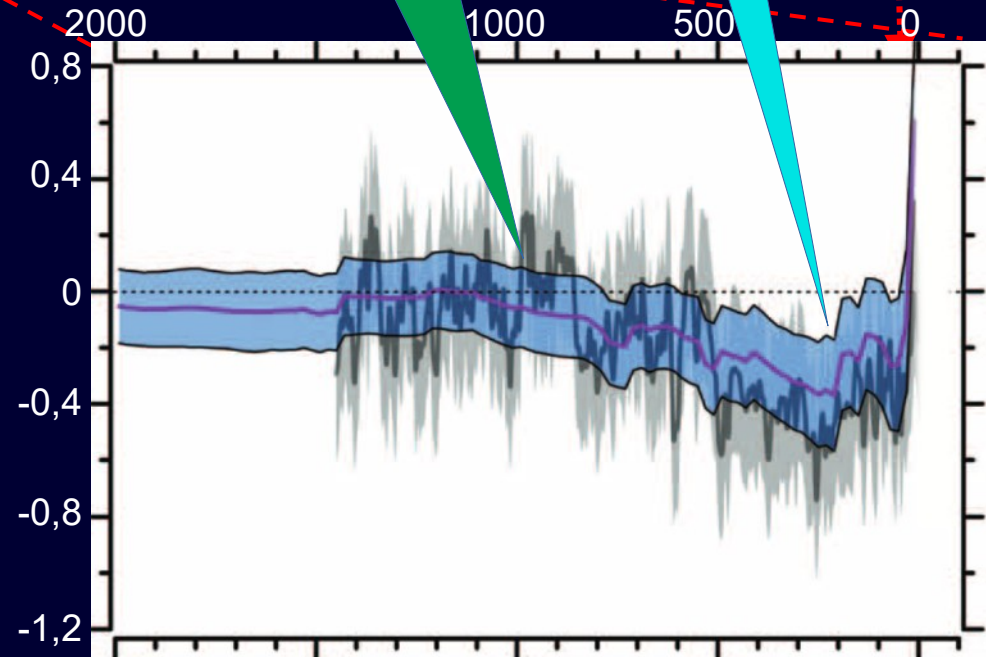
**1°C
en 100 ans**

Petit âge
glaciaire

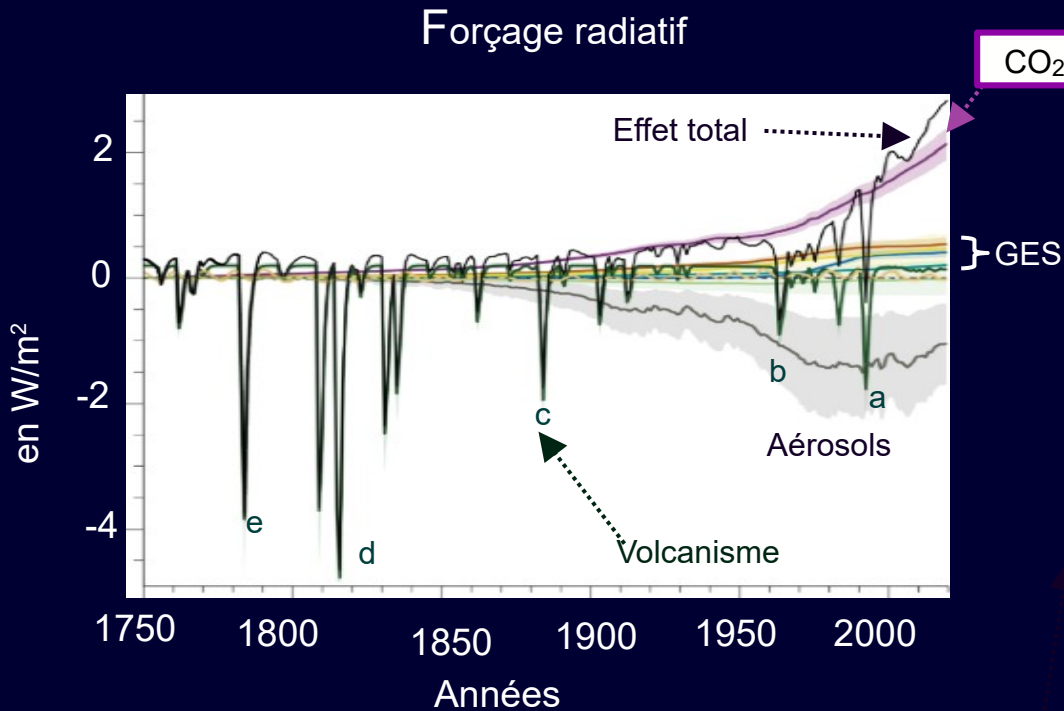
Optimum
médiéval
De 900 et 1300

Années depuis maintenant

Anomalie de température
par rapport à 1961-1990

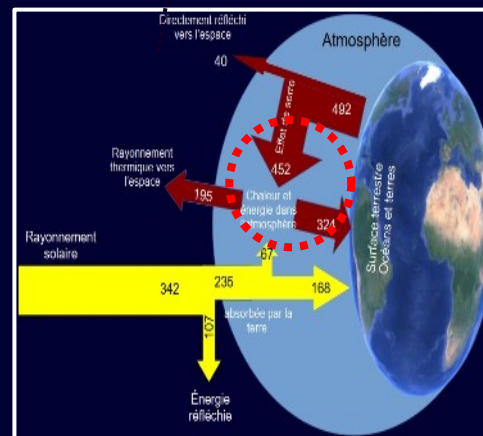
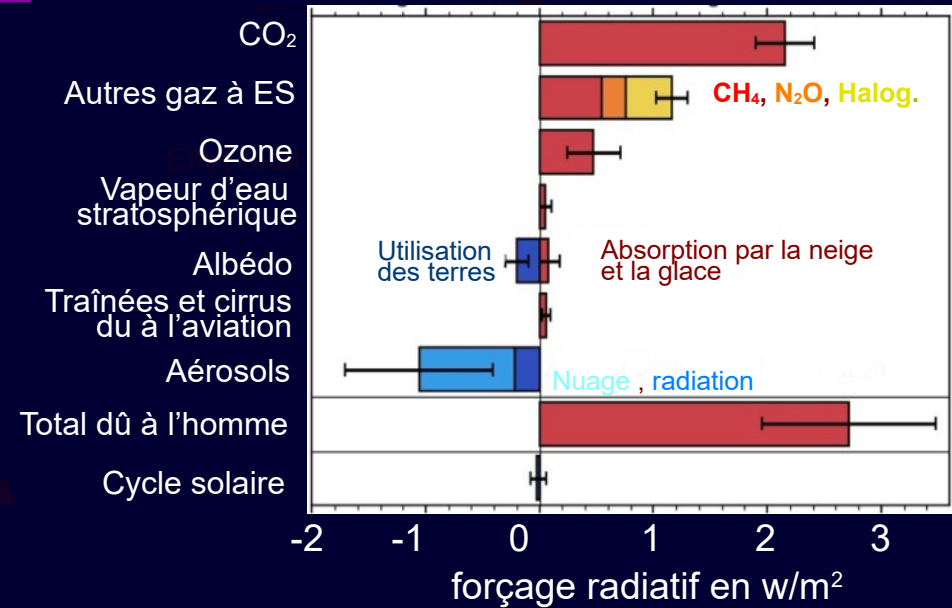


Évolution récente du bilan radiatif* de la terre et l'influence humaine



- Volcanisme
- a : Pinatubo (Philippines)
 - b : El Chichón
 - c : Krakatoa (Indonésie)
 - d : Tambora (Indonésie)
 - e : Laki (Islande)

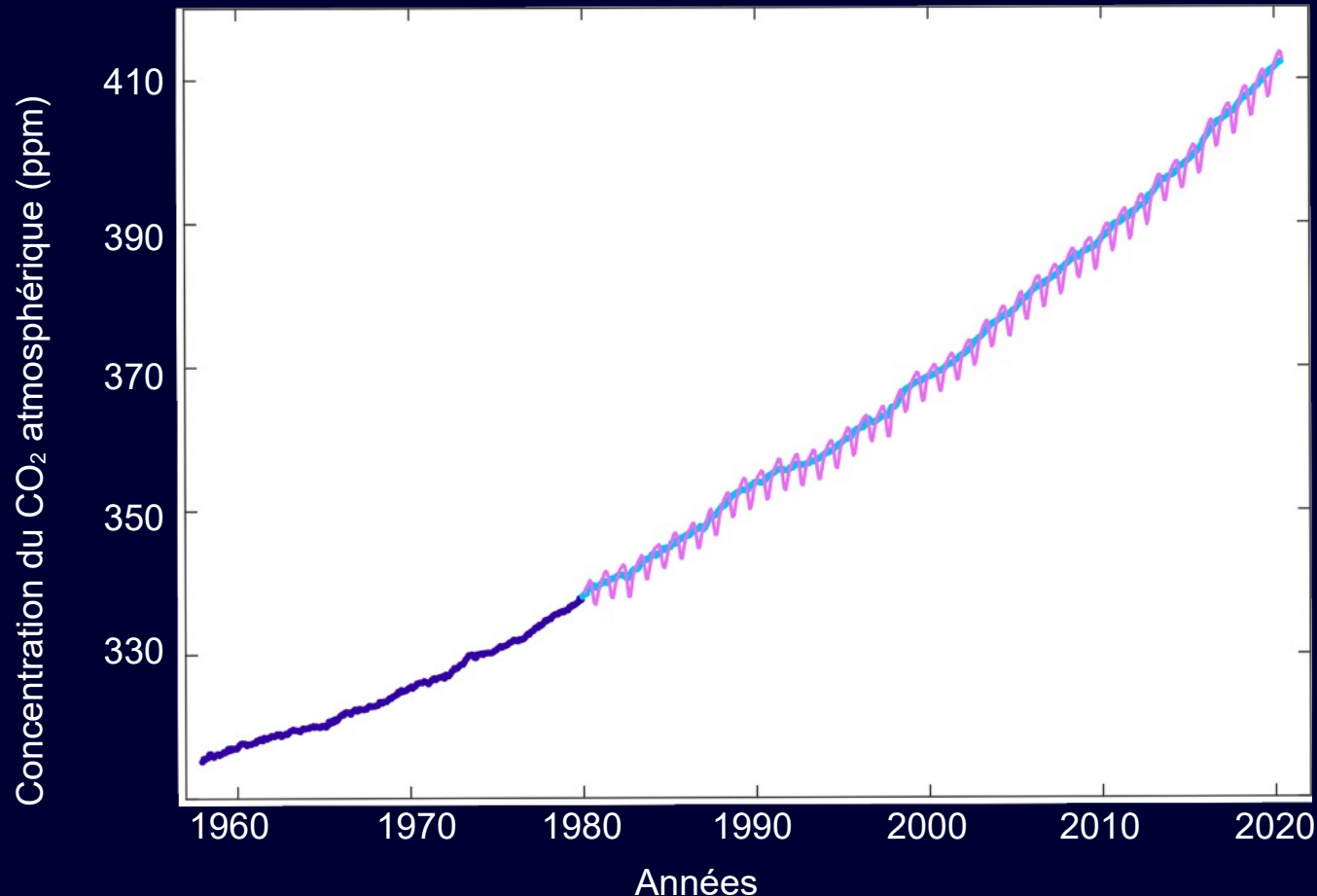
Changement du forçage radiatif 1750 à 2019



* bilan radiatif = forçage radiatif

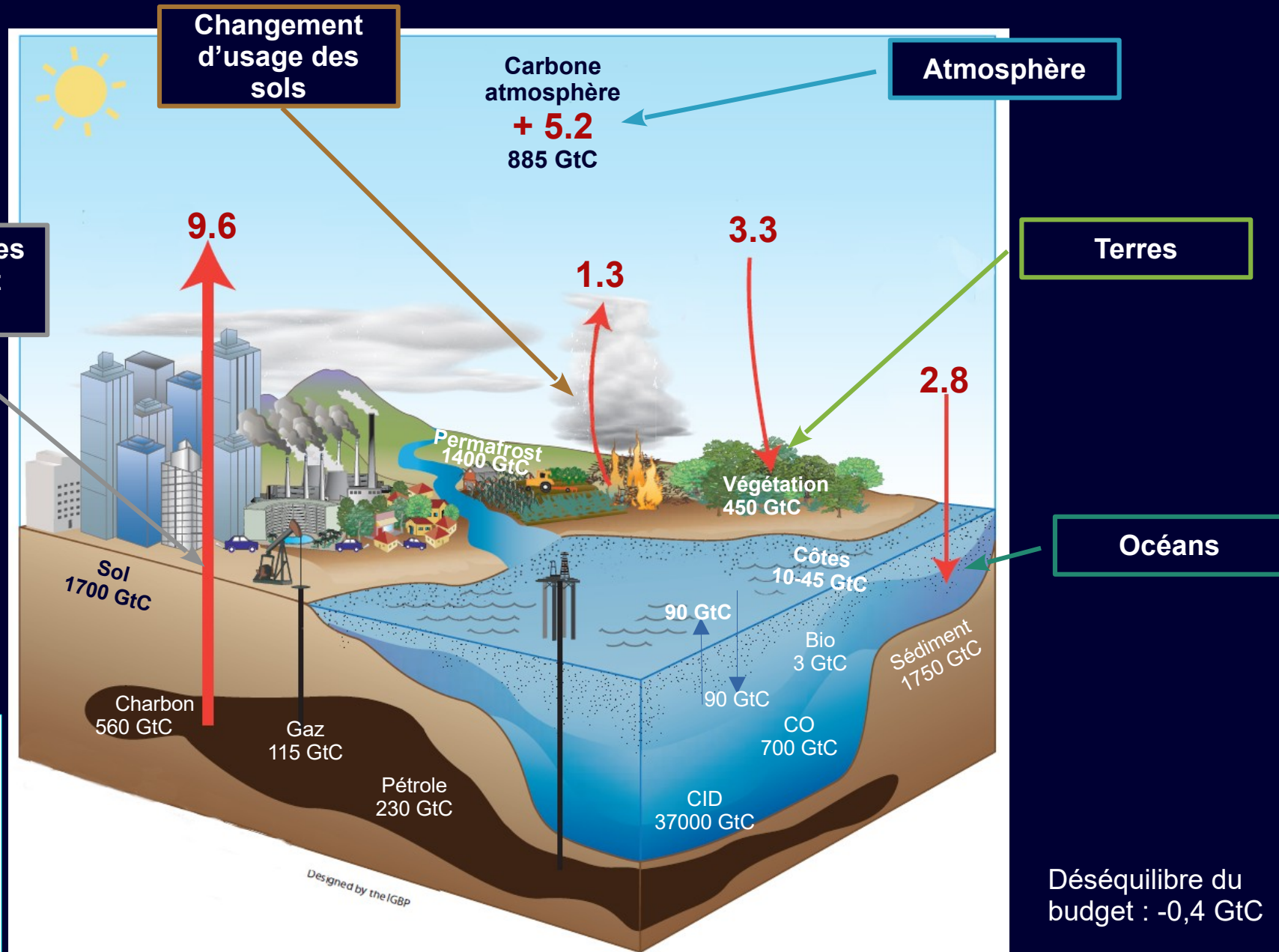
Augmentation du CO₂ atmosphérique, principal gaz à effet de serre

Co₂ en 2022: 417.06 ppm
419.3 ppm en 2023 ?



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).

Perturbation globale du cycle du carbone causée par les activités anthropiques pour la décennie 2013-2022.



Changements climatiques sous l'influence de l'homme : il y a consensus !

CARACTÉRISTIQUES DU CONSENSUS SCIENTIFIQUE :



IL AUGMENTE AVEC LE VOLUME DE RECHERCHES SUR UN SUJET



IL IMPLIQUE UN ACCORD GÉNÉRAL (PAS FORCÉMENT UNANIME)



IL EST BASÉ SUR DES ÉLÉMENTS SCIENTIFIQUES

POURQUOI SE FIER AU CONSENSUS SCIENTIFIQUE ?

CONSENSUS SCIENTIFIQUE



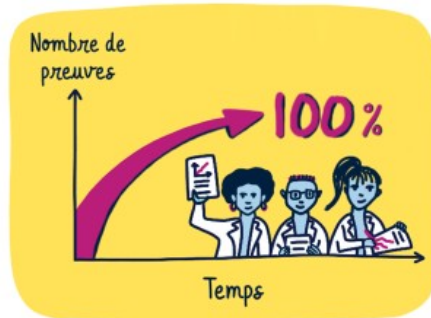
CONSENSUS POLITIQUE

: IL N'Y A PAS DE VOTE

MAIS

C'EST UN PROCESSUS LONG, QUI ÉMERGE AU FIL DU TEMPS ET BASÉ SUR DES PREUVES SCIENTIFIQUES.

SA CRÉDIBILITÉ REPOSE SUR LA TRANSPARENCE, LA QUALITÉ DE LA PREUVE ET LES MÉTA-ANALYSES.



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

QU'EN DIT LE GIEC ?

LE GIEC EST LA RÉFÉRENCE MONDIALE SUR LE CLIMAT :



SON TRAVAIL DE SYNTHÈSE, SES MÉTHODES ET SA TRANSPARENCE SONT SANS ÉGAL.

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

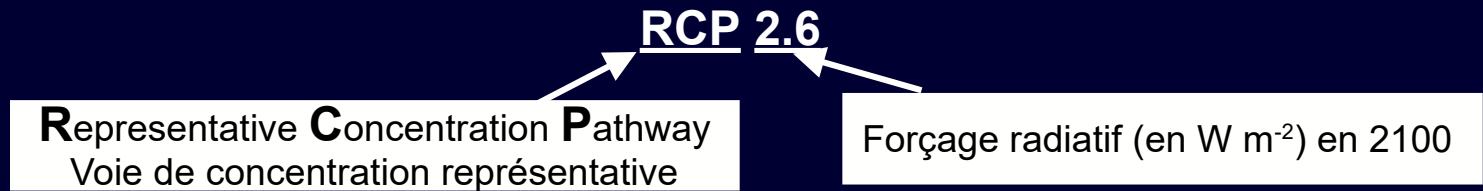
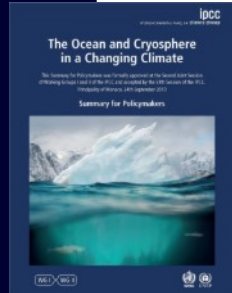
ALORS, 97%, 99% OU 100% ?

CE QU'IL FAUT RETENIR C'EST QUE :

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



Scénarios pour le futur : les voies de concentration représentatives

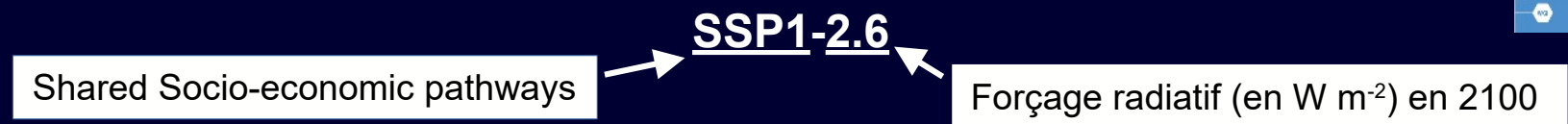
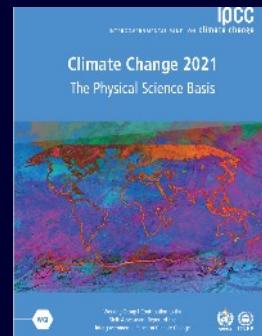


Les « RCP » : des voies différentes au 21^e siècle pour les émissions de gaz à effet de serre (GES).

- RCP 2.6 atténuation des tensions
- RCP 4.5 scénarios intermédiaires de stabilisation
- RCP 6.0 scénarios intermédiaires de stabilisation
- RCP 8.5 émissions de GES très élevées.

Pour le 6^e rapport, le Giec a élaboré des scénarios de référence, appelés Trajectoires socio-économiques communes (*Shared Socio-economic pathways* ou SSP), qui commencent tous en 2015.

- SSP1-2.6 [scénario +2,0°C – baisse continue des émissions après 2025]
- SSP2-4.5 [scénario +3°C - pic des émissions vers 2030]
- SSP3-7.0 [scénario de hausse forte des émissions]
- SSP5-8.5 [scénario de hausse très forte des émissions]

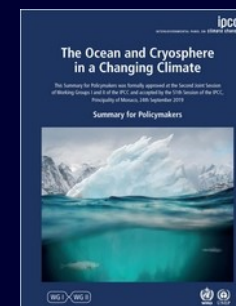
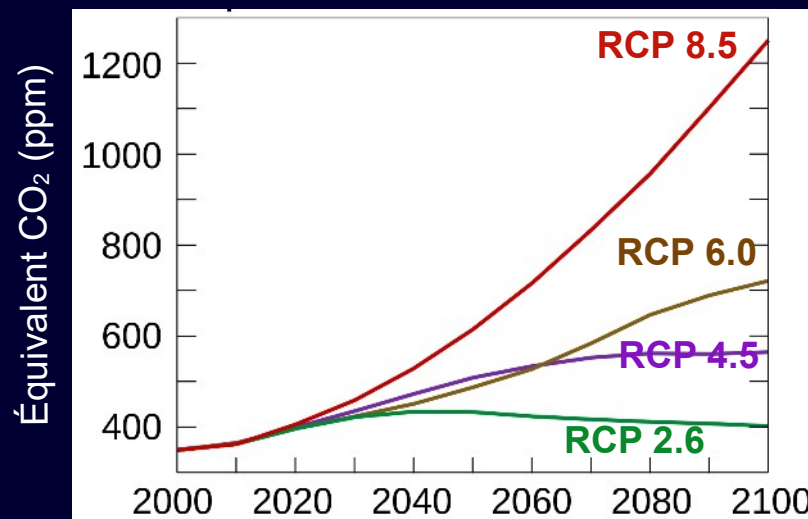


Scénarios d'évolution climatique pour différents forçages radiatifs

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

Noms	Scenarii CO ² (ppm) vers 2100	Forçage radiatif W.m ⁻²	A court terme : 2031–2050		Fin du siècle : 2081–2100	
			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 en 2022: 417.06 ppm
419.3 ppm en 2023 ?



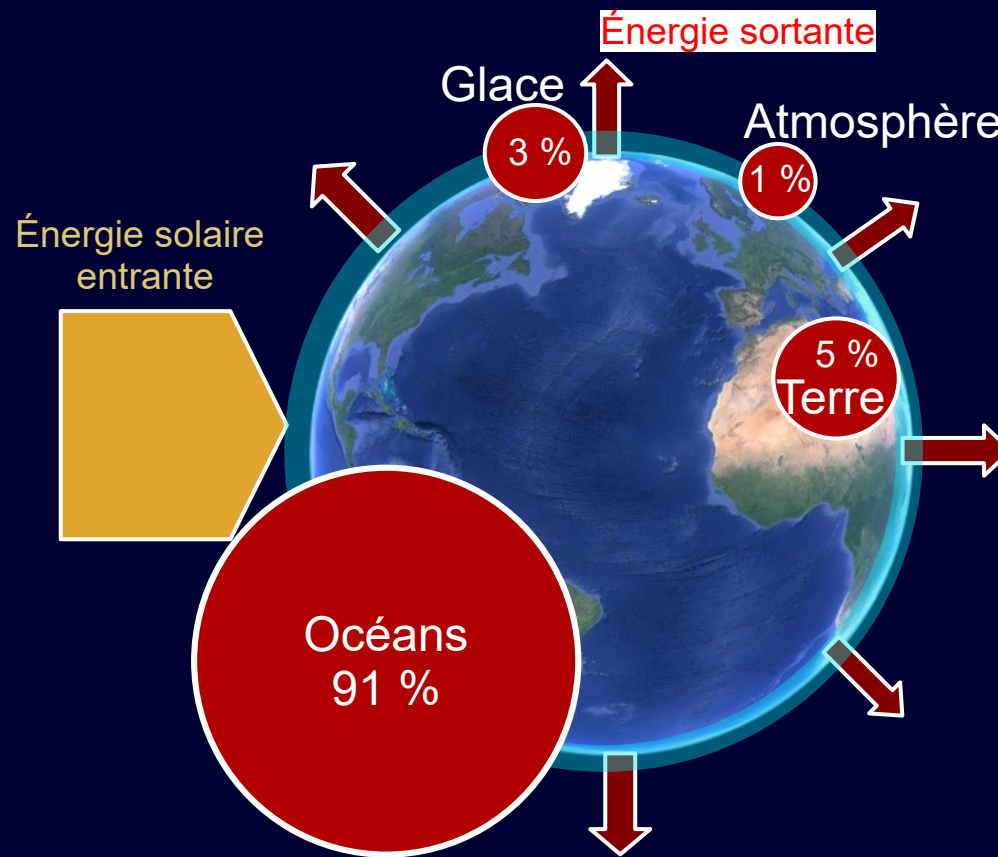
Que devient l'excès de chaleur dû au forçage radiatif ?

Aujourd'hui : un forçage radiatif déséquilibré : Entrant > Sortant

Depuis au moins les années 1970, il sort moins d'énergie qu'il n'en entre dans le système terre.

En 2019, le forçage radiatif d'origine humaine : 2,72 [1,96 à 3,48] W/m² (par rapport à 1750)

L'excès d'énergie est absorbé par l'océan, la terre, la glace et l'atmosphère



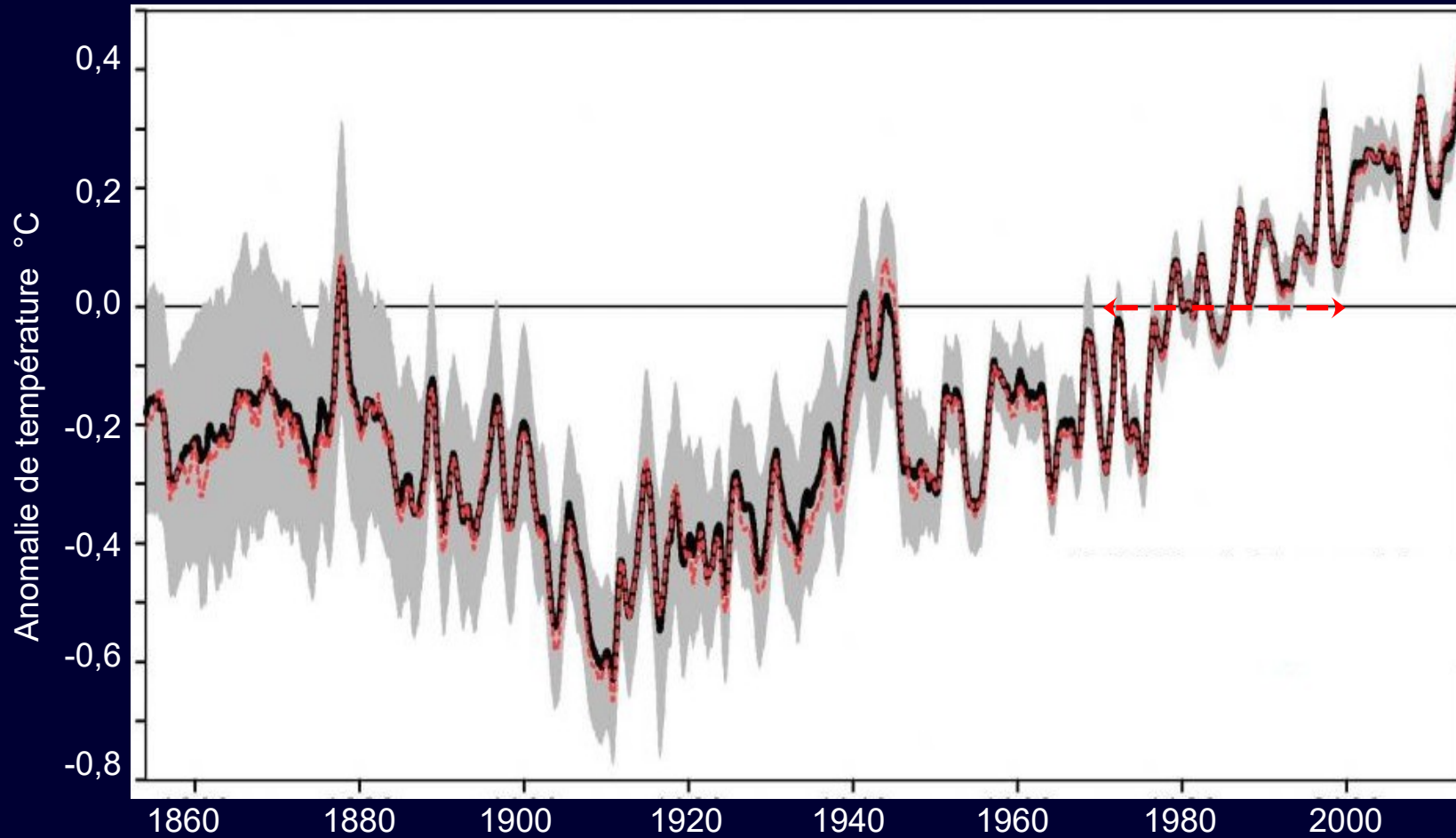
Changements climatiques et océans

Deux effets principaux, physique et chimique :

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

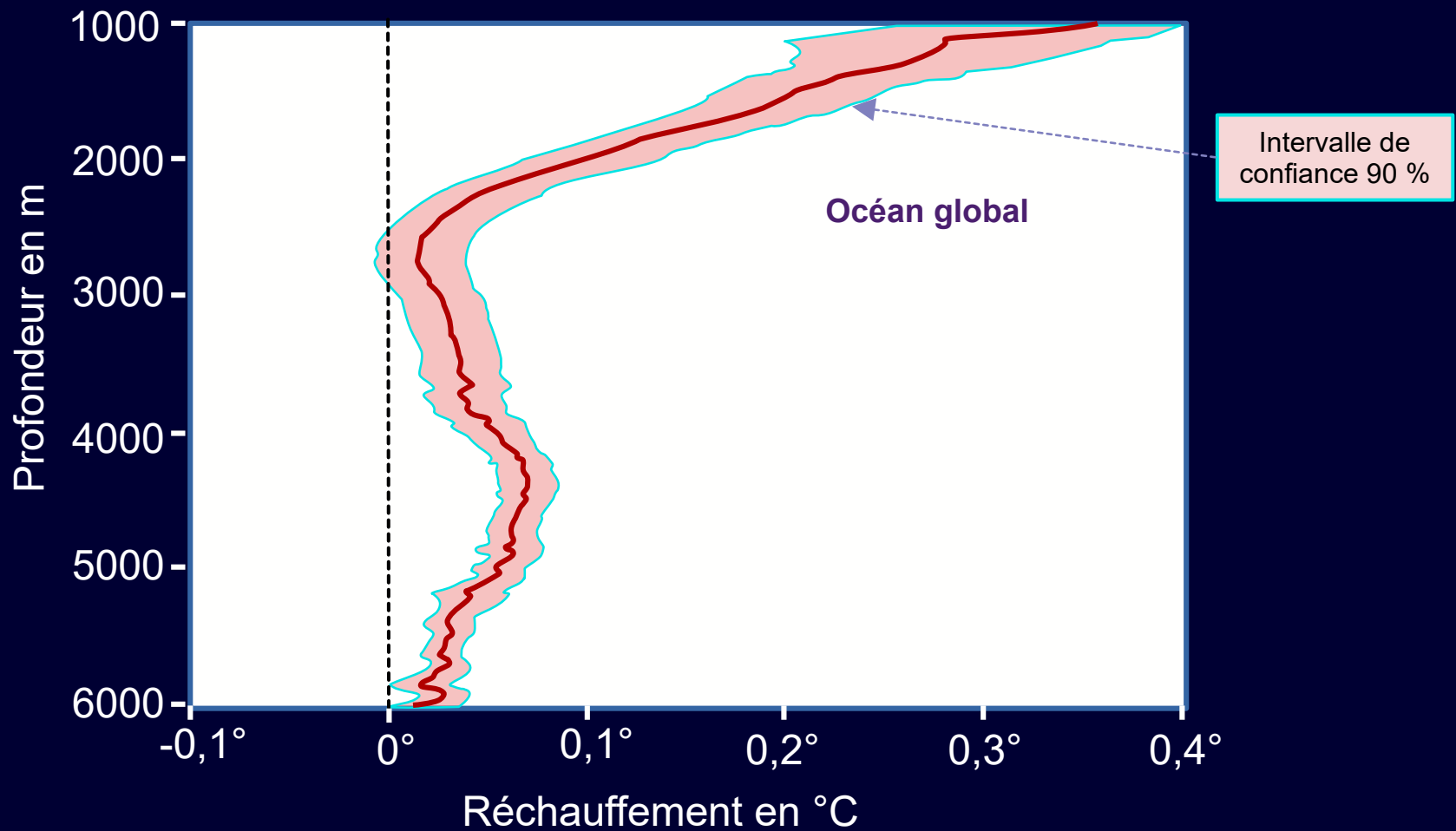
Evolution de la température de surface de l'océan de 1854-2016

Anomalies calculées par rapport à une climatologie mensuelle de 1971-2000, de janvier 1854 et 2016



Données SST: NOAA Extended Reconstruction SSTs Versions 4 et 5 (ERSST)

Réchauffement de 1981 à 2019 en fonction de la profondeur Océan global

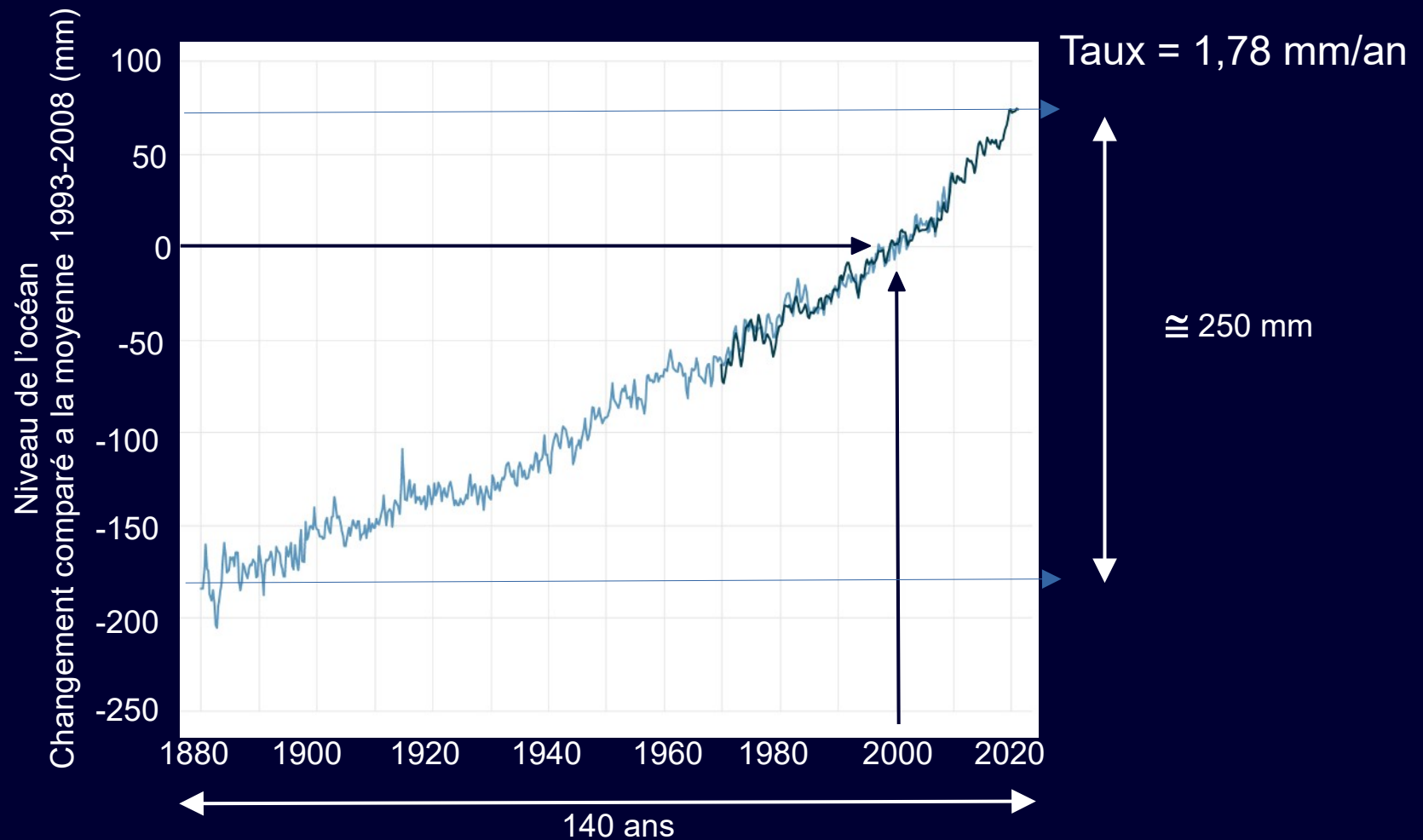


Taux de réchauffement pour l'océan global observé de 1981 à 2019 en fonction de la profondeur et avec l'intervalle de confiance à 90 %

Effets du réchauffement des océans

1-Variation du niveau global des océans

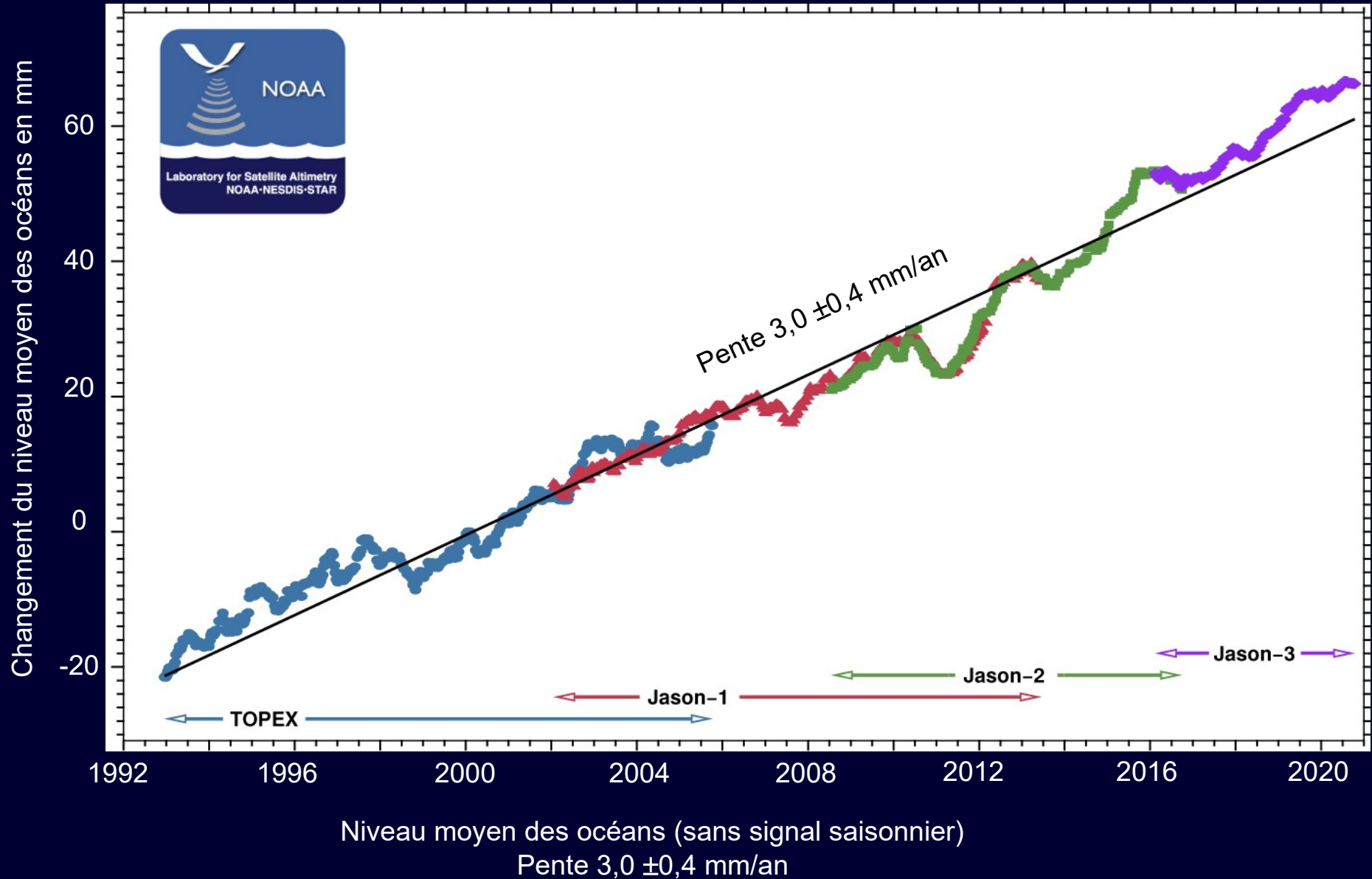
Variation du niveau global des océans 1980 -2020



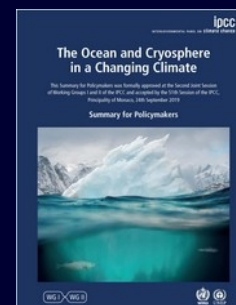
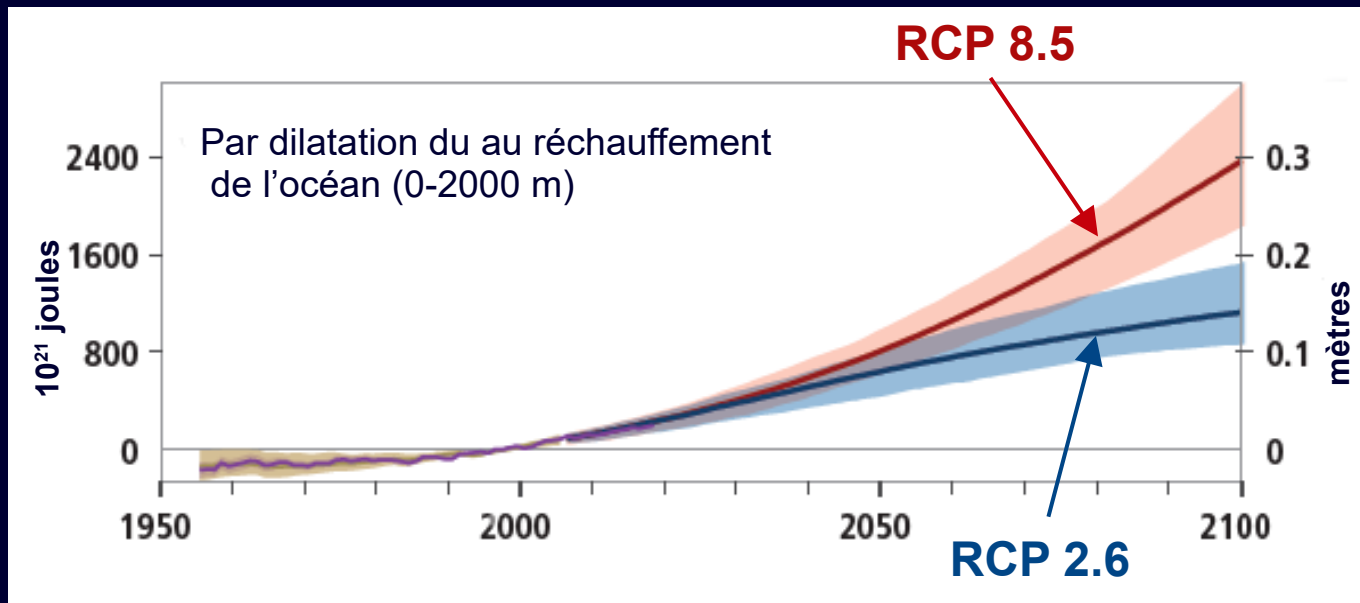
Estimations saisonnières (3 mois) du niveau de la mer à partir des données de Church and White (2011) (ligne bleu clair) et de l'Université d'Hawaï Fast Delivery (bleu foncé).

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

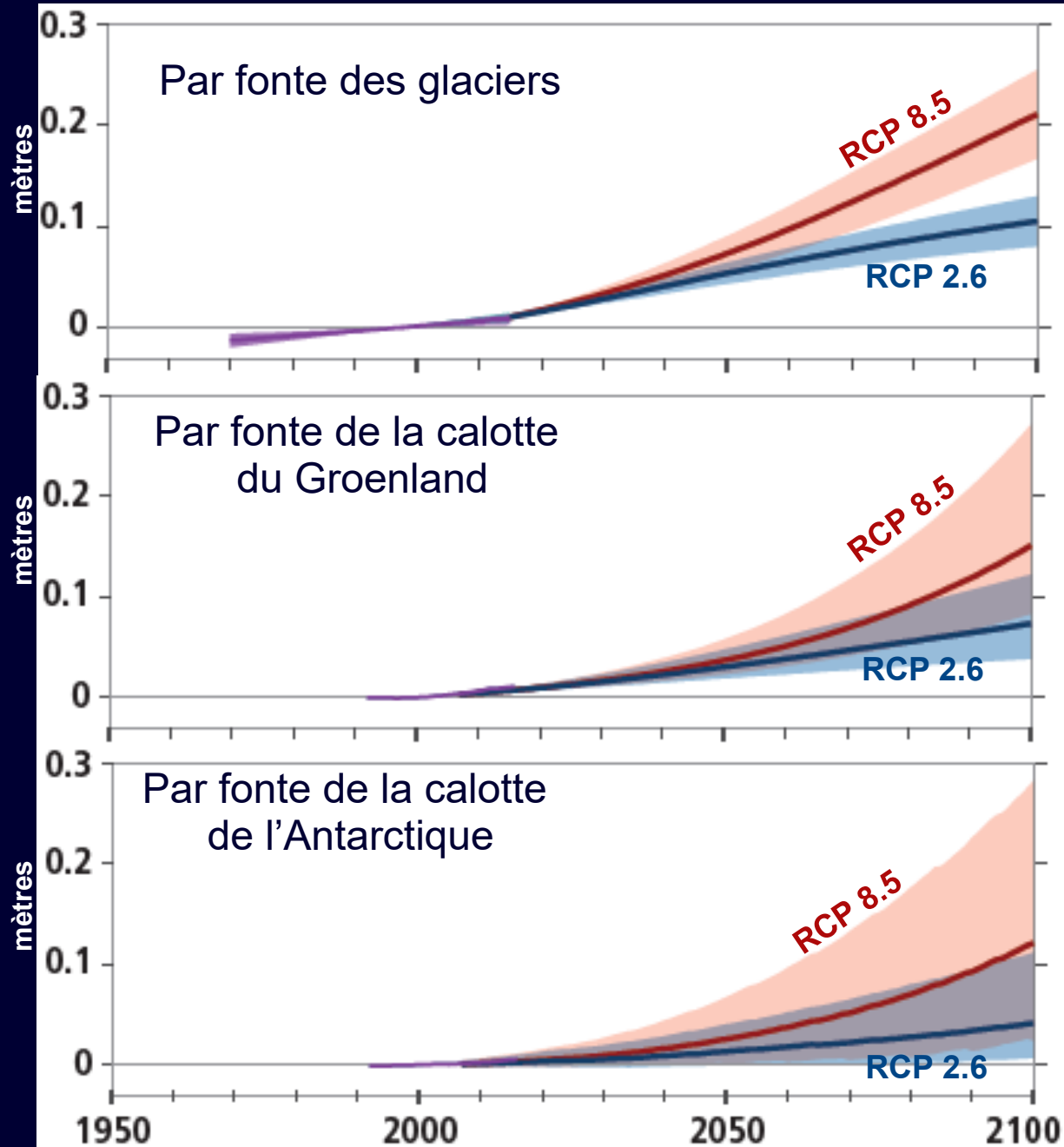
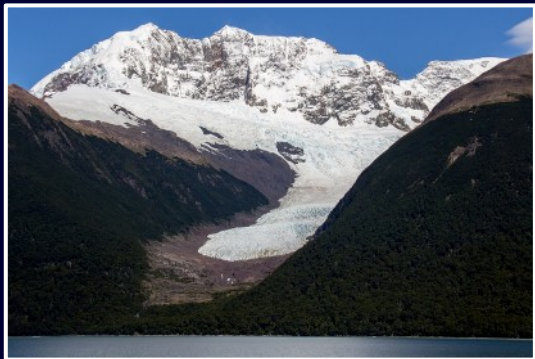
Changement du niveau moyen des océans



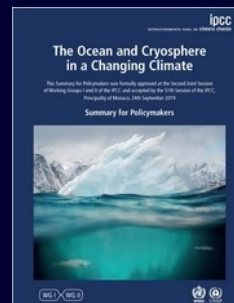
Élévation du niveau des océans par la dilatation, observée et prévue dans des scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5



Élévation du niveau des océans par fonte des glaces, observée et prévue dans des scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5

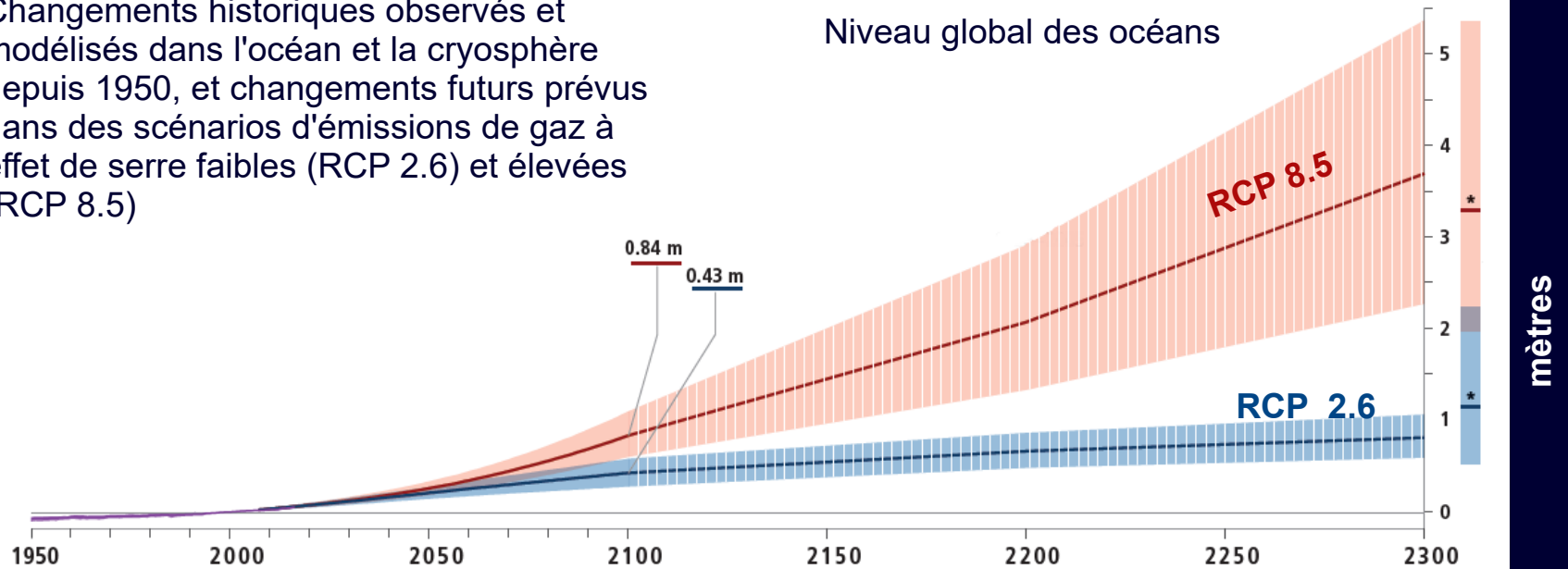


Changements relatifs par rapport à la période 1986-2005

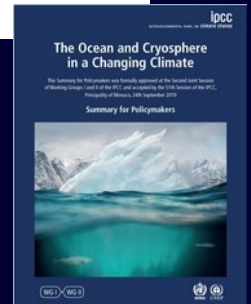


Élévation du niveau global des océans observée et prévue dans des scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5

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 élevées (RCP 8.5)



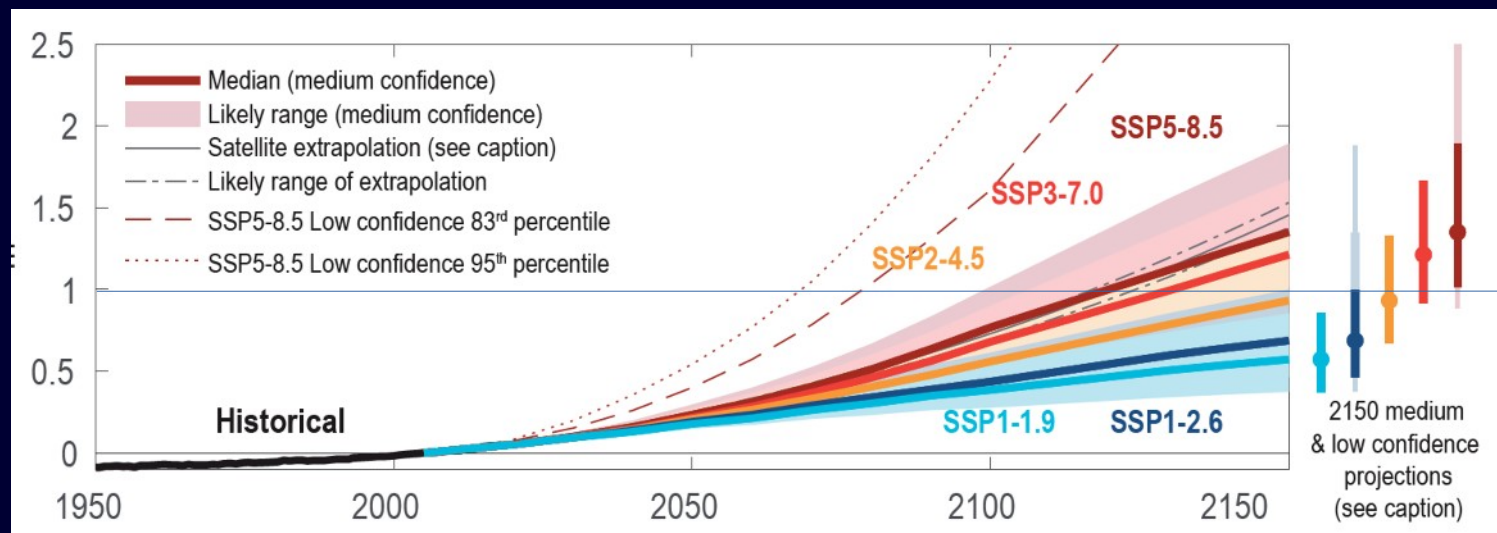
Changements relatifs par rapport à la période 1986-2005



IPCC, 2019

Mais il existe des limites dans la compréhension des mécanismes de rétroaction qui réduisent notre confiance dans le réchauffement futur des océans à proximité de l'Antarctique et dans la manière dont cela affectera la glace de mer et les plates-formes de glace.

Hausse projetée du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale selon différents scénarios de trajectoire socio-économique partagée (SSP).



0,84 cm ça peut être beaucoup !

02/08/2023



27/10/2023

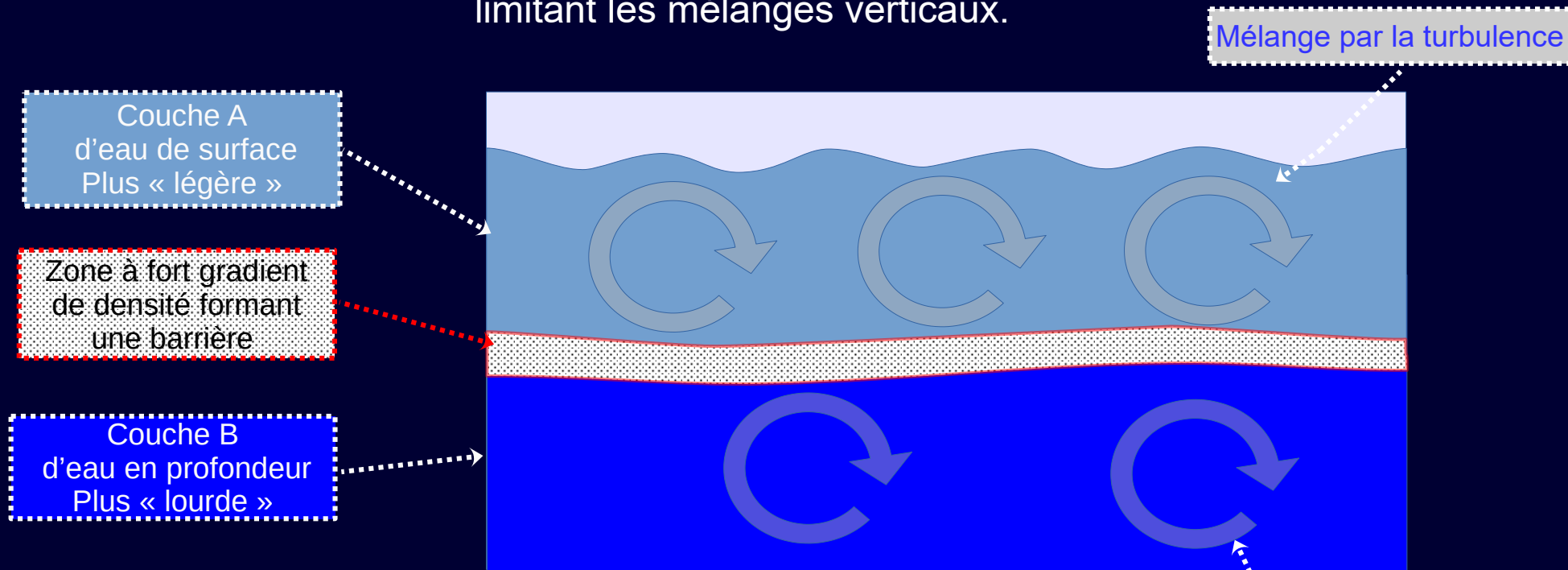


27/10/2023 16:10, pleine mer 16:21, coeff. 097, pression atm. : 1005 hPa, vent 28km/h, rafale 50km/h

Effets du réchauffement des océans

2- L'augmentation de la stratification des océans

La stratification de l'océan se produit lorsque des masses d'eau ayant des propriétés différentes forment des couches qui agissent comme des barrières limitant les mélanges verticaux.



Eau « légère » : Eau avec un densité plus faible souvent plus chaude et/ou moins salée.
Eau « lourde » : Eau avec un densité plus forte souvent plus froide et/ou plus salée.

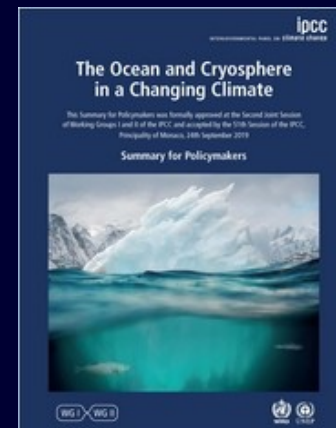
Mélange par la turbulence

Augmentation de la stratification avec le réchauffement climatique

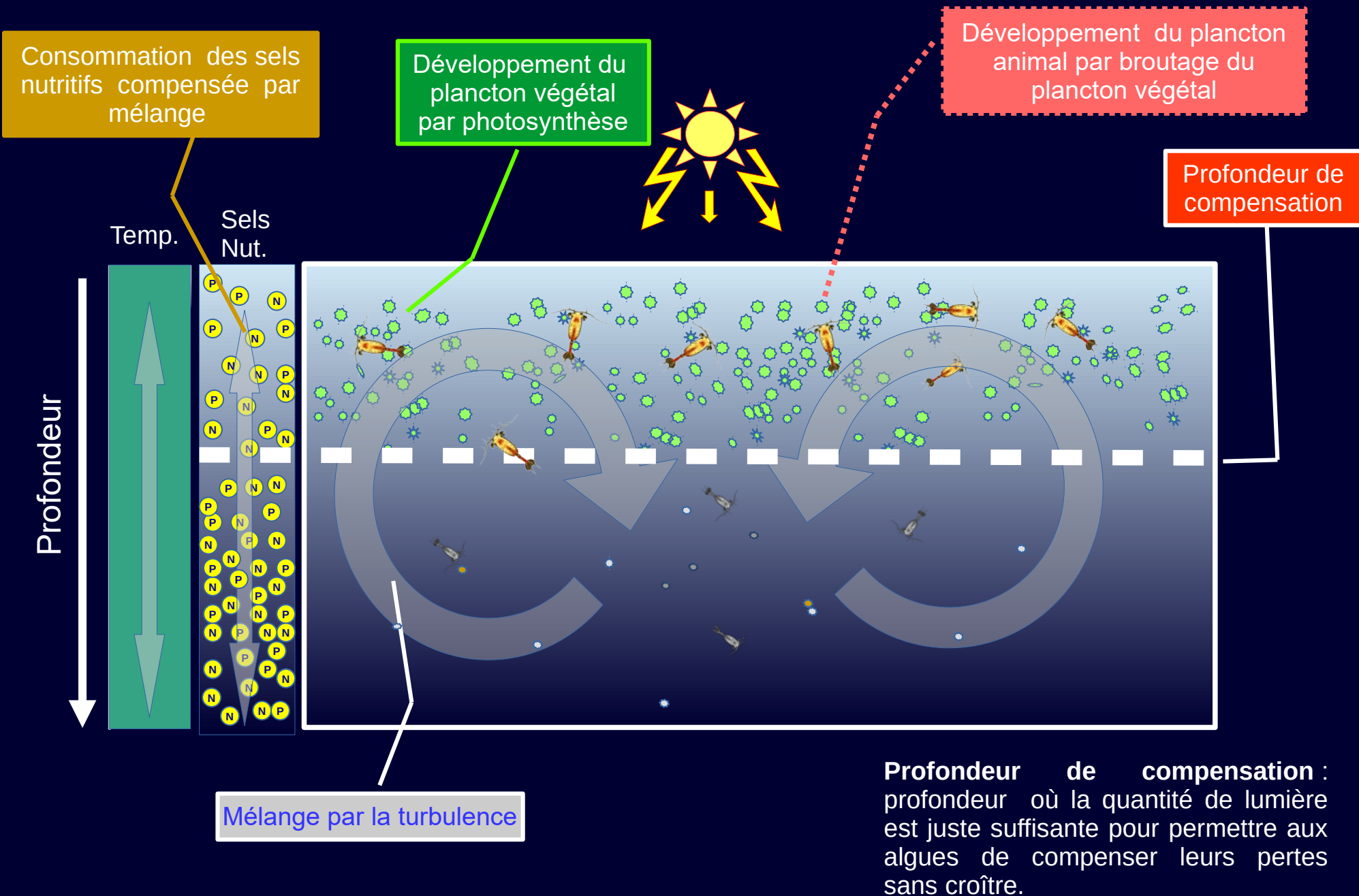
La stratification de la densité a augmenté dans les 200 m supérieurs de l'océan depuis 1970 (très probablement).

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 $2,3 \pm 0,1$ % (très probable) de la moyenne 1971-1990 à la moyenne 1998-2017.

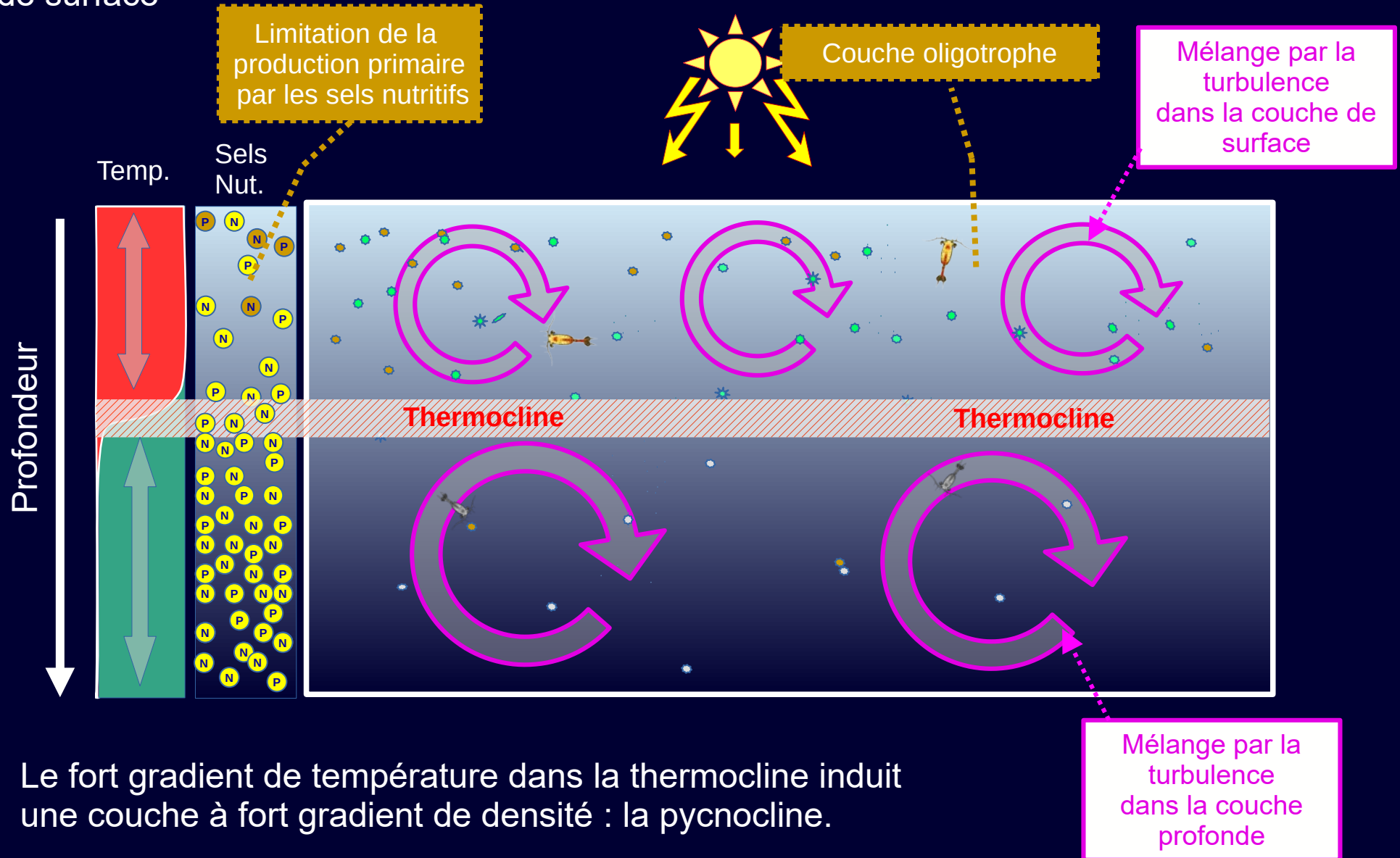


Fonctionnement d'océan non stratifié



Fonctionnement d'océan stratifié

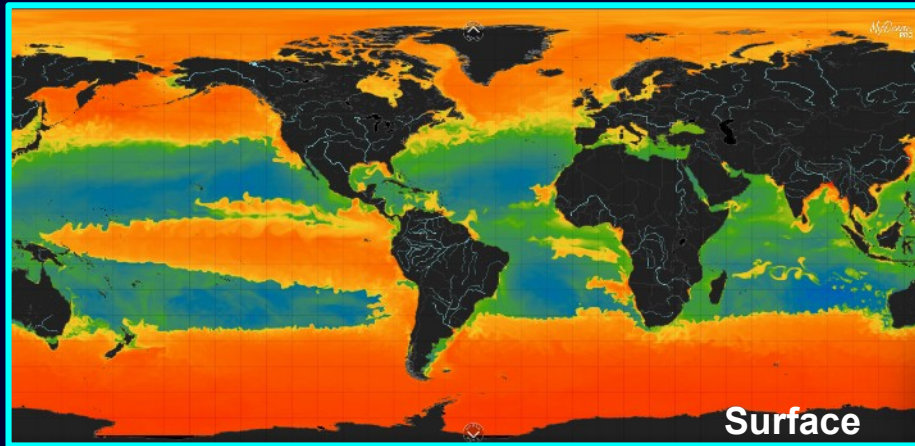
La stratification de l'océan entraîne l'appauvrissement en éléments nutritifs des eaux de surface



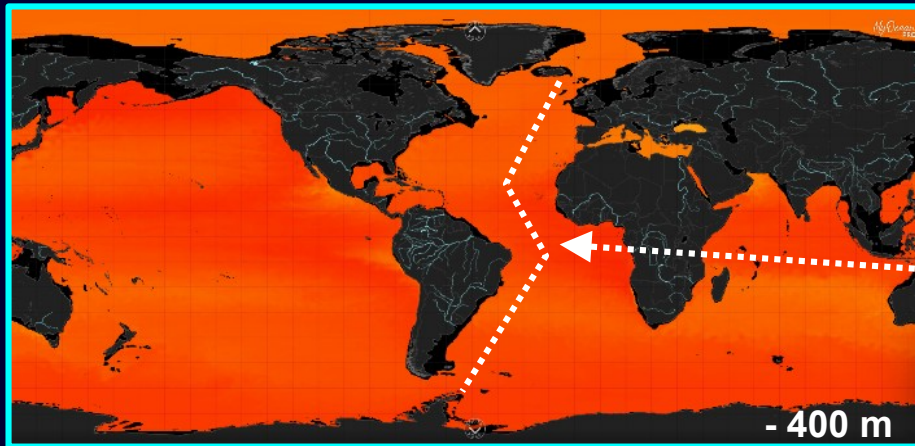
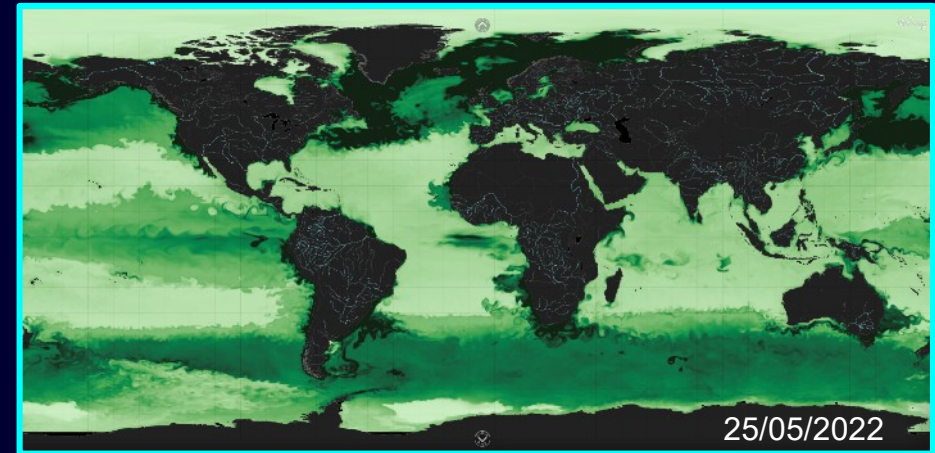
Le fort gradient de température dans la thermocline induit une couche à fort gradient de densité : la pycnocline.

La stratification permanente des zones tropicales

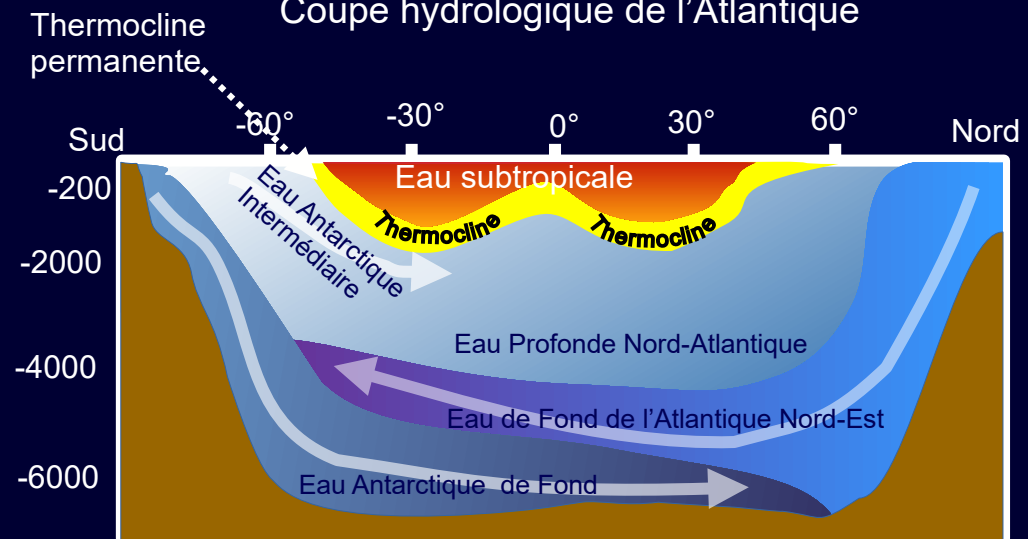
Stratification des nitrates



Chlorophylle

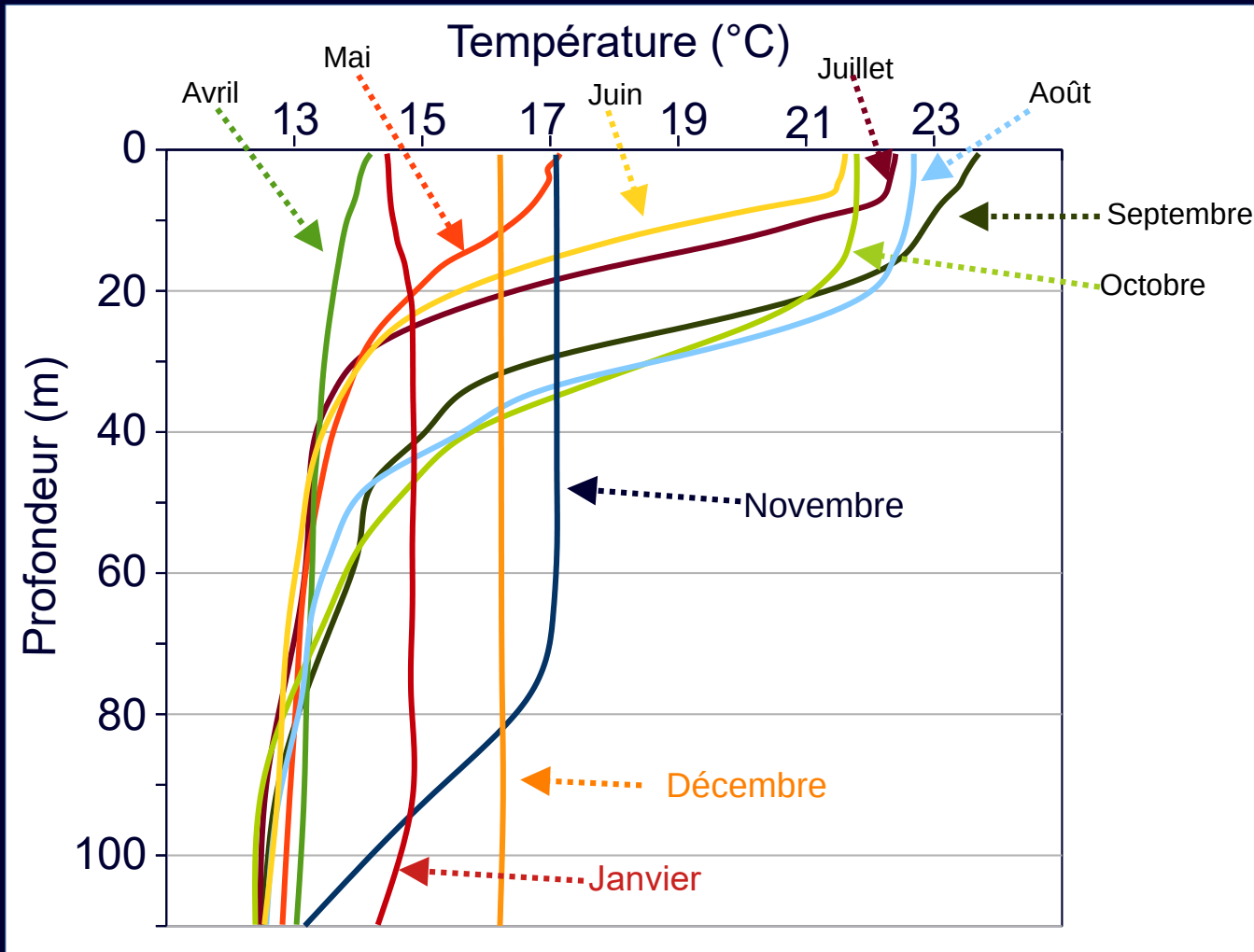


Coupe hydrologique de l'Atlantique



Stratification saisonnière durant la période estivale

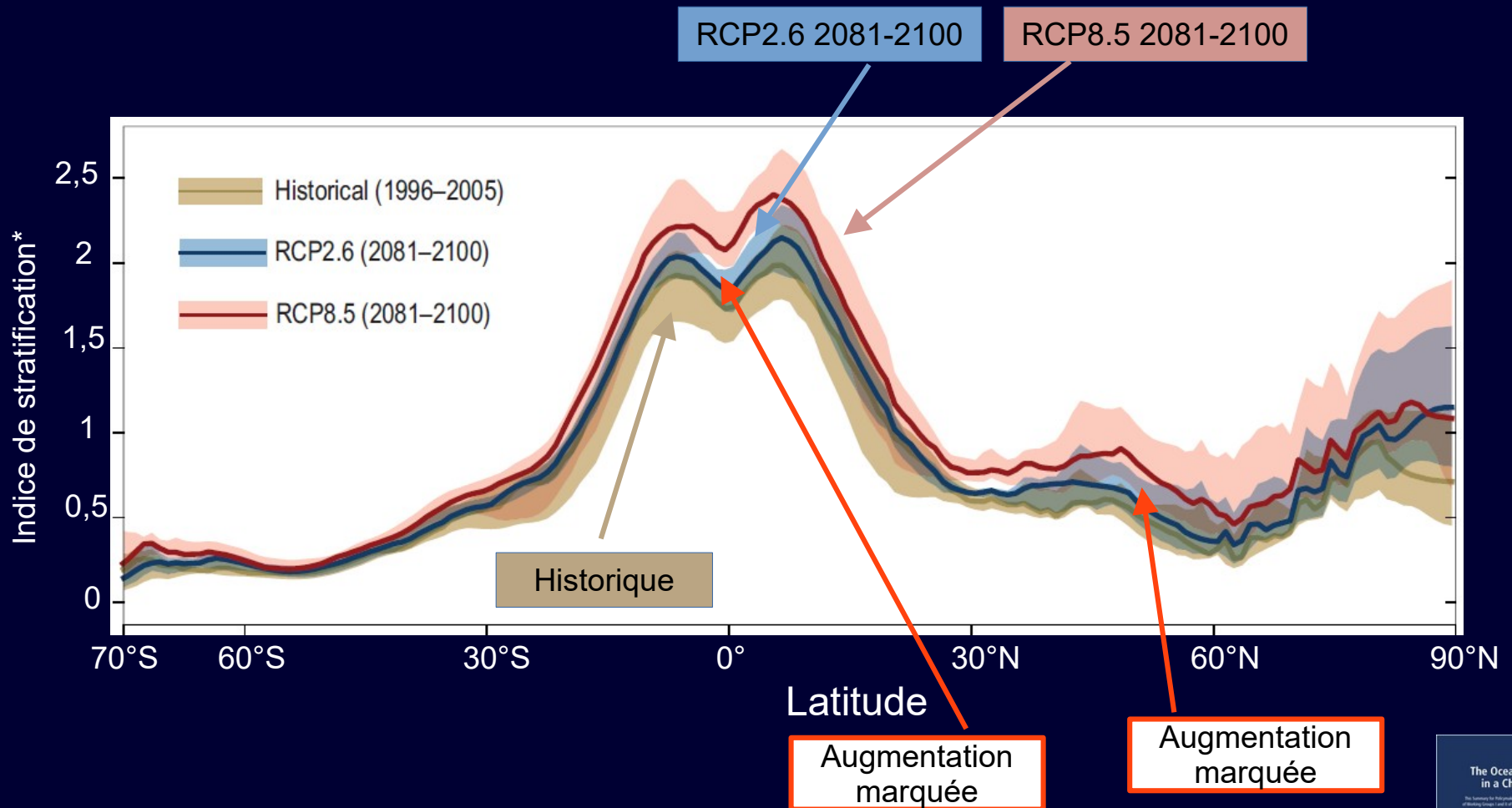
Exemple dans le golfe de Gascogne



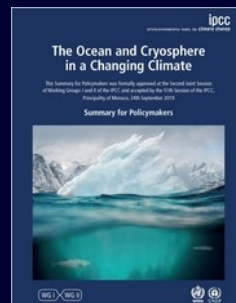
Profils des températures d'avril 2023 à janvier 2024,
43.69° Nord, 1.7° Ouest

Augmentation de la stratification avec le réchauffement climatique observée et prévue dans des scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5

Stratification entre la surface et 200 m



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

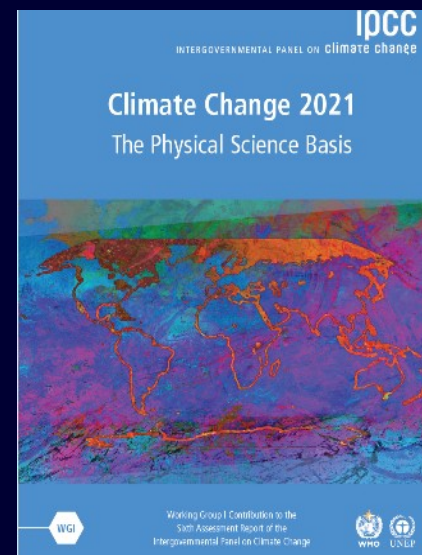
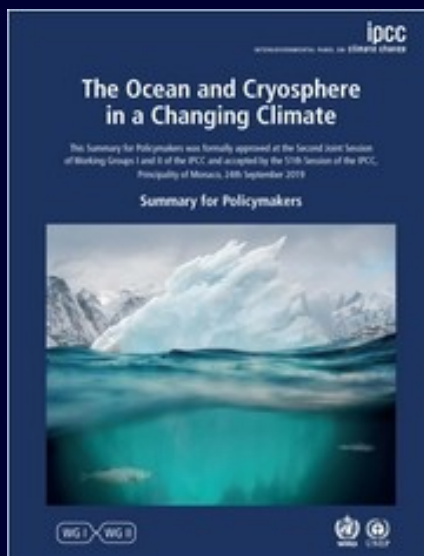


Stratification des océans : de SROCC à AR6

- La stratification observée dans les couches supérieures de l'océan (0 à 200 m) a augmenté à l'échelle mondiale depuis au moins 1970. De très probable pour le SROCC 2019 (probabilité de 90 à 100 %) à quasi certain pour le AR6 2023 (probabilité de 99 à 100 %) .
- Il est hautement probable qu'elle a augmenté de $4,9 \pm 1,5$ % entre 1970 et 2018 (quasi certain) soit environ deux fois plus que ce qui est évalué dans le SROCC, et qu'elle continuera d'augmenter tout au long du 21^e siècle à un rythme en fonction du scénario d'émissions .

SROCC : Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. 25 septembre 2019

AR6 : 6^e rapport d'évaluation, Synthesis Report: Climate Change 2023.



La représentation du degré de certitude

Quasi certain	de 99 à 100 %
Extrêmement probable	de 95 à 100 %
Très probable	de 90 à 100 %
Probable	de 66 à 100 %
Plus probable qu'improbable	de 50 à 100 %
Aussi probable qu'improbable	de 33 à 66 %
Improbable	de 0 à 33 %
Très improbable	de 0 à 10 %
Extrêmement improbable	de 0 à 5 %
Extraordinairement improbable	de 0 à 1 %

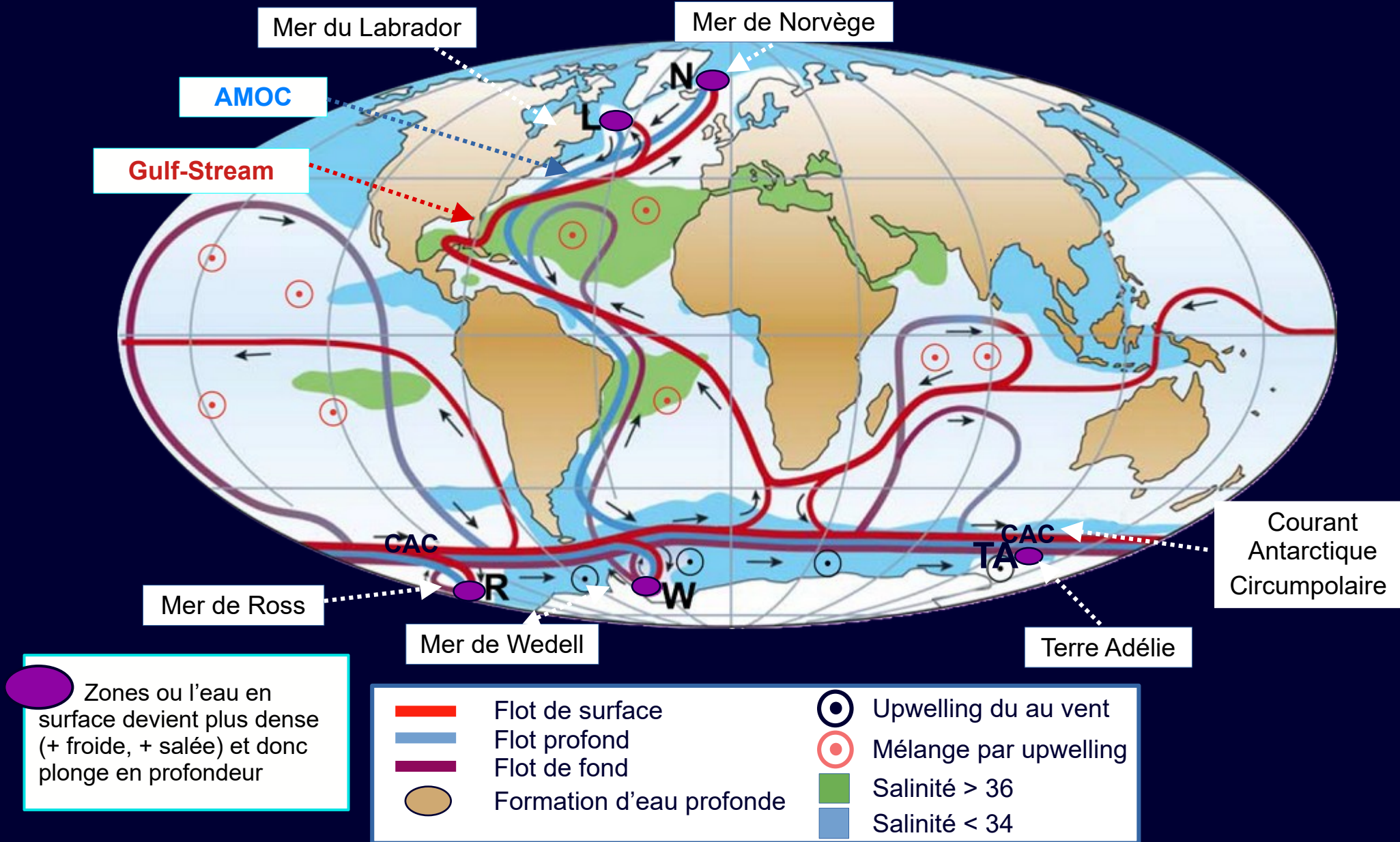
Effets du réchauffement des océans ... et de quelques autres changements

Deux aspects de la circulation différents mais liés :

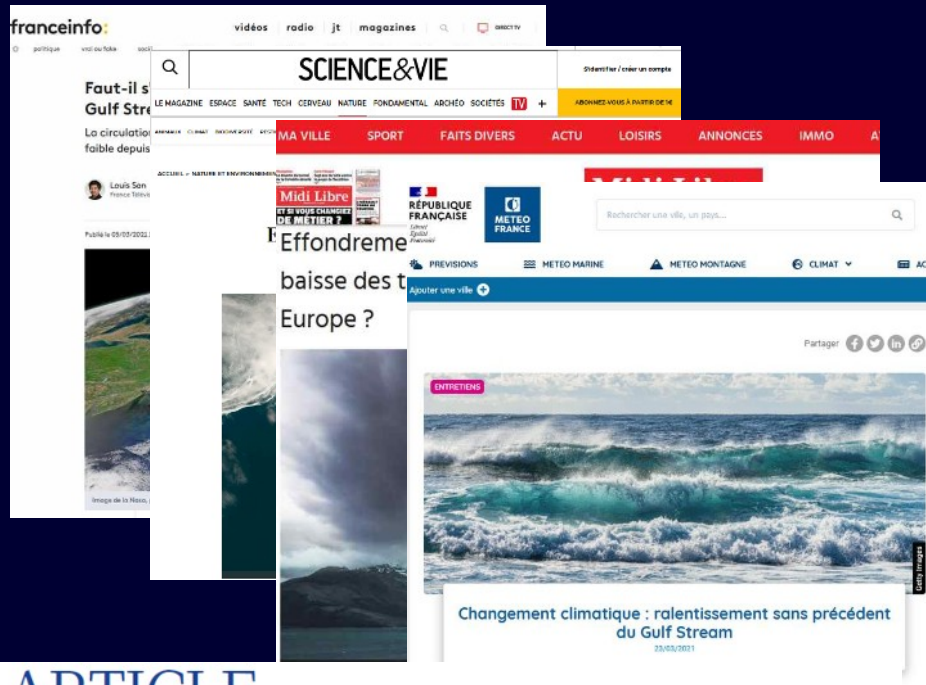
- La circulation méridionale atlantique de retournement ou AMOC : Atlantic Meridional Overturning Circulation.
- La circulation océanique de surface.

Circulation méridienne de retournement

AMOC Atlantic meridional overturning circulation



Une délicate question d'actualité !



ARTICLE

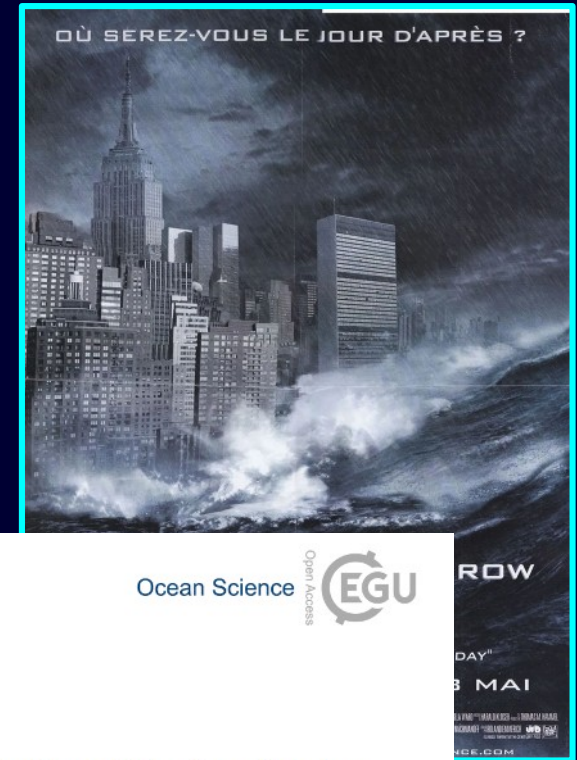
<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0006-5>

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

...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).



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 

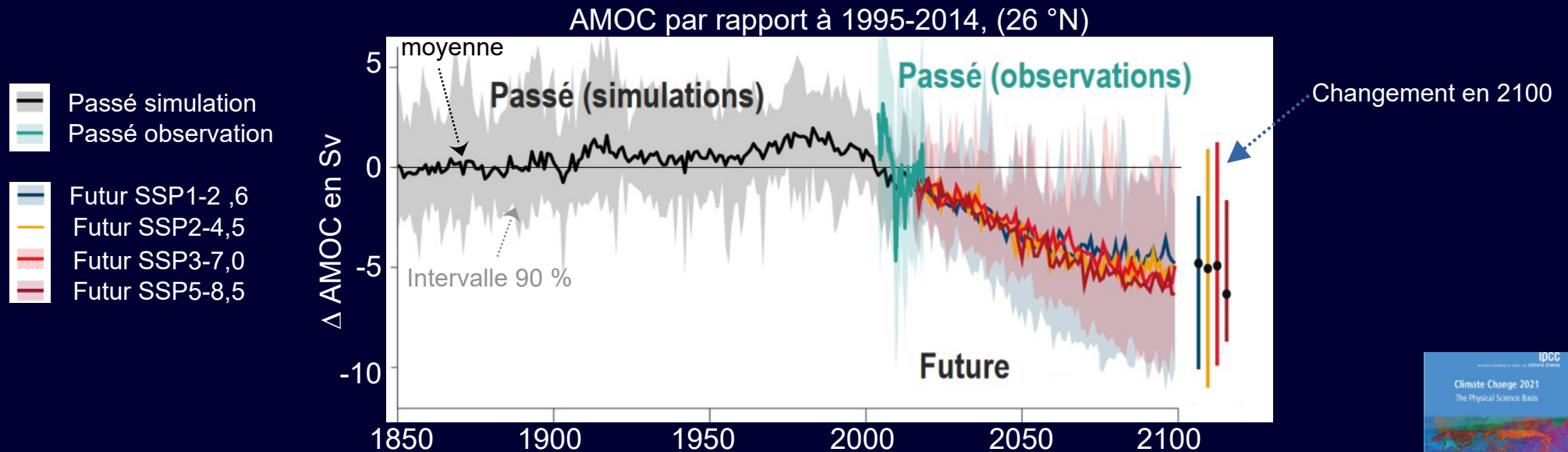
A 30-year reconstruction of the Atlantic meridional overturning circulation shows no decline

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

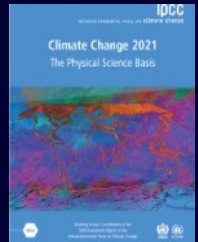
Notre modèle n'a pas révélé de déclin de l'AMOC indiquant un changement climatique anthropique (Stocker et al., 2013) ni le déclin à long terme signalé dans les reconstructions de l'AMOC basées sur la température de surface de la mer (Caesar et al., 2018).

Worthington, E. L. et al. A 30-year reconstruction of the Atlantic meridional overturning circulation shows no decline. *Ocean Sci.* 17, 285–299 (2021)

Circulation méridionale de renversement de l'Atlantique, AMOC



- L'AMOC a été relativement stable au cours des 8 000 dernières années (confiance moyenne).
- Les enregistrements d'observation directe depuis le milieu des années 2000 sont trop courts pour déterminer les contributions relatives de la variabilité interne, du forçage naturel et du forçage anthropique au changement de l'AMOC (confiance élevée).
- Un déclin de l'AMOC au cours du 21^{ème} siècle est très probable pour tous les scénarios SSP, mais son importance est difficile à être estimée (confiance faible).
- Il existe une confiance moyenne quant au fait qu'il n'y aura pas d'effondrement brutal avant 2100.



Effets du réchauffement des océans

3- Influence sur leur circulation globale des océans

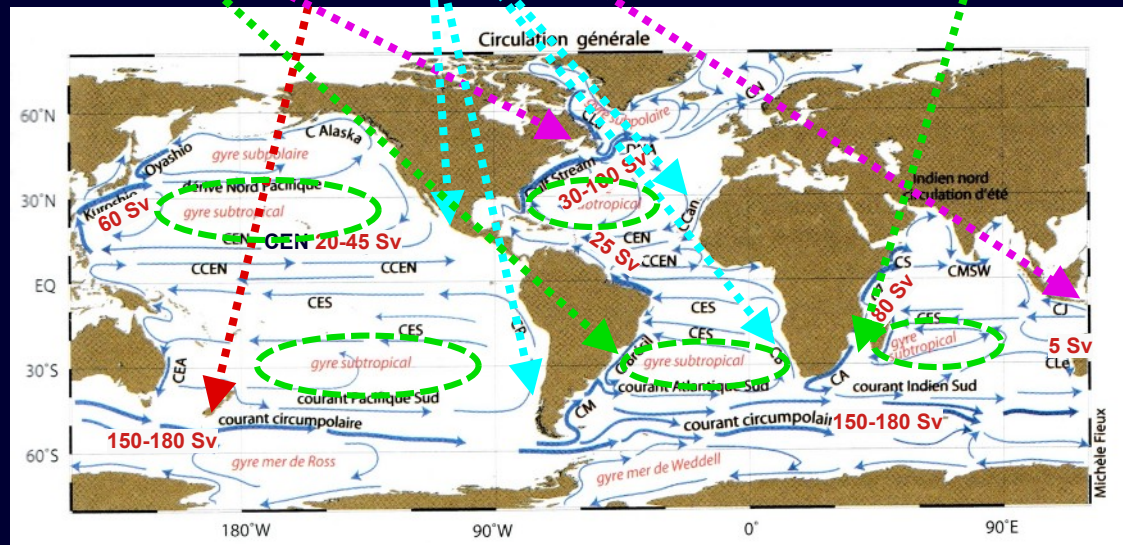
Deux aspects de la circulation différents mais liés :

- La circulation méridionale atlantique de retournement ou AMOC : Atlantic Meridional Overturning Circulation.
- La circulation océanique de surface.

Circulation océanique de surface

Il est probable que de nombreux courants océaniques changeront au 21^e siècle en réponse aux changements dans le régime des vents.

- l'évolution de la circulation dans l'océan Austral au 21^e siècle, est incertaine même si l'on estime qu'elle sera sensible aux changements dans la configuration des vents et à l'augmentation de la fonte des plateformes glaciaires.
- Les gyres subtropicaux, l'extension du courant est-australien, le courant des Aiguilles et le courant du Brésil devraient s'intensifier au 21^e siècle en réponse aux changements de contrainte éolienne, (confiance moyenne).
- Le Gulf Stream et le débit indonésien devraient s'affaiblir (confiance moyenne).
- Les quatre principaux systèmes d'upwelling de la limite orientale devraient s'affaiblir aux basses latitudes et s'intensifier aux hautes latitudes au 21^e siècle (confiance élevée).



Unité : Sverdrup (Sv), 1 Sv = 10⁶ m³ par seconde

Effets du réchauffement des océans

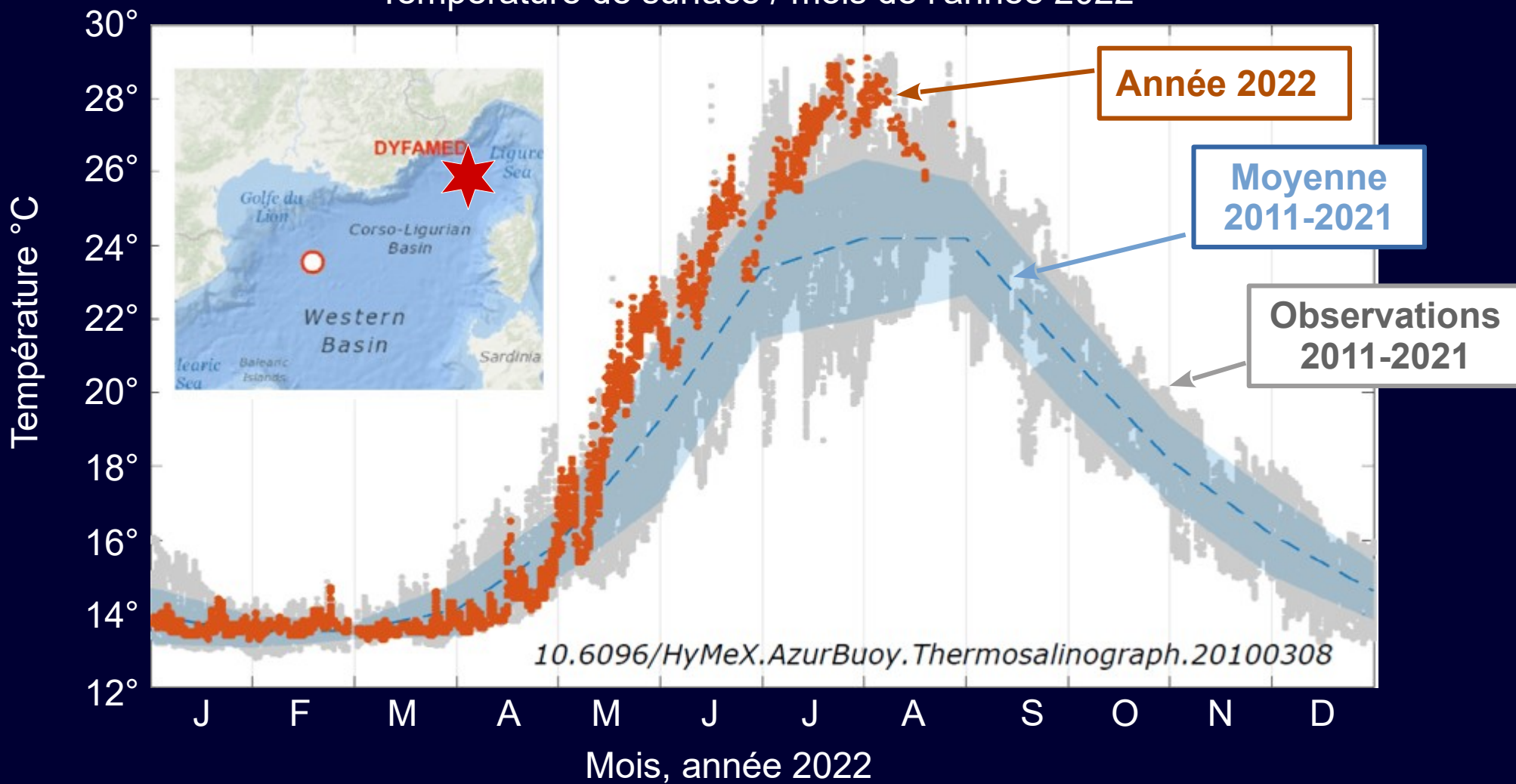
4 - Vagues de chaleur marines* en surface

* 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.

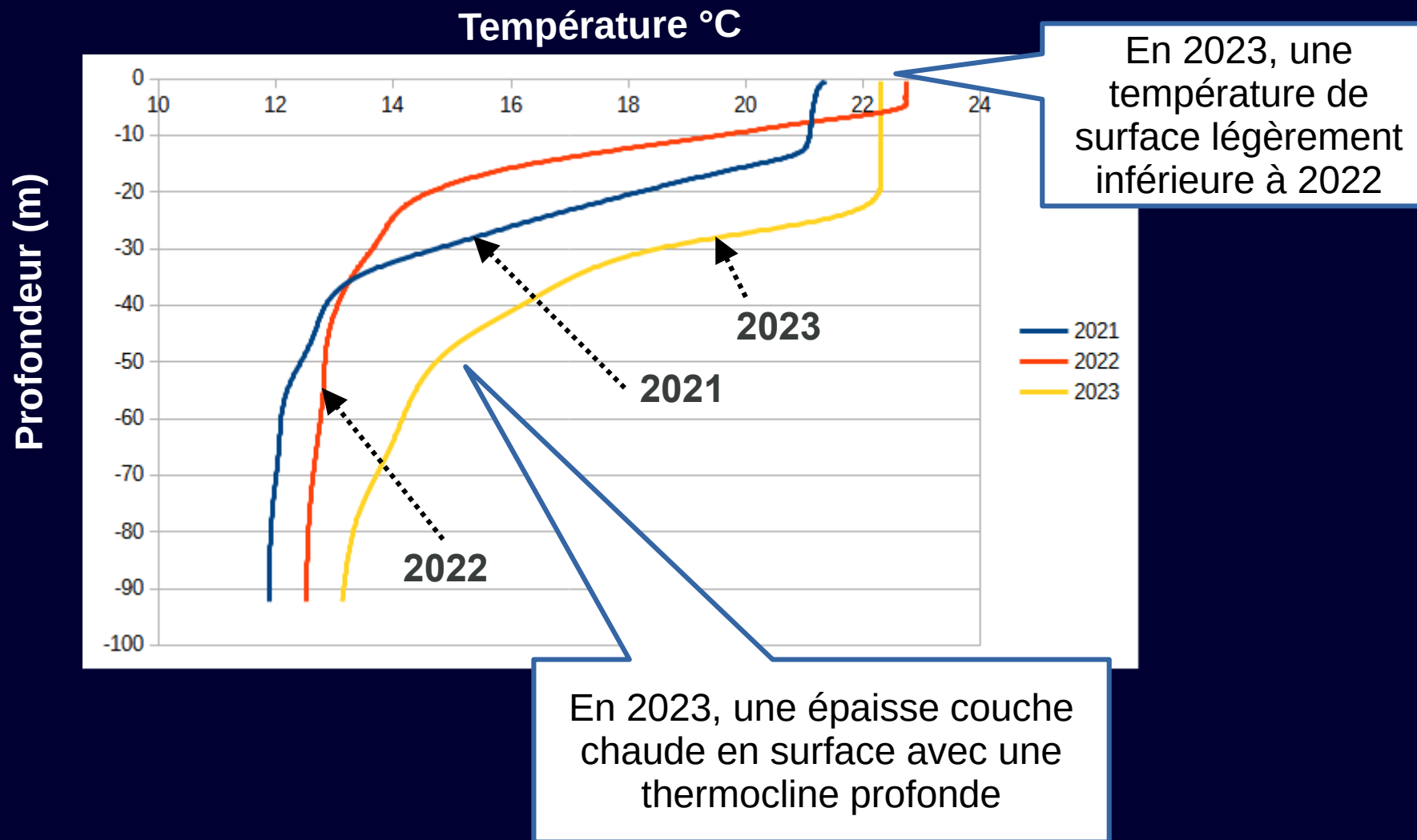
* Vague de chaleur ou canicule marine : quand pendant cinq jours ou plus, des températures supérieures au 90e percentile sont observées, sur la base d'une période de référence historique de 30 ans.

Vague de chaleur en surface

Température de surface / mois de l'année 2022



Profils température/profondeur pour les années 2021 2022 2023 au 9 août au point 43.7° Nord, 1.5° Ouest



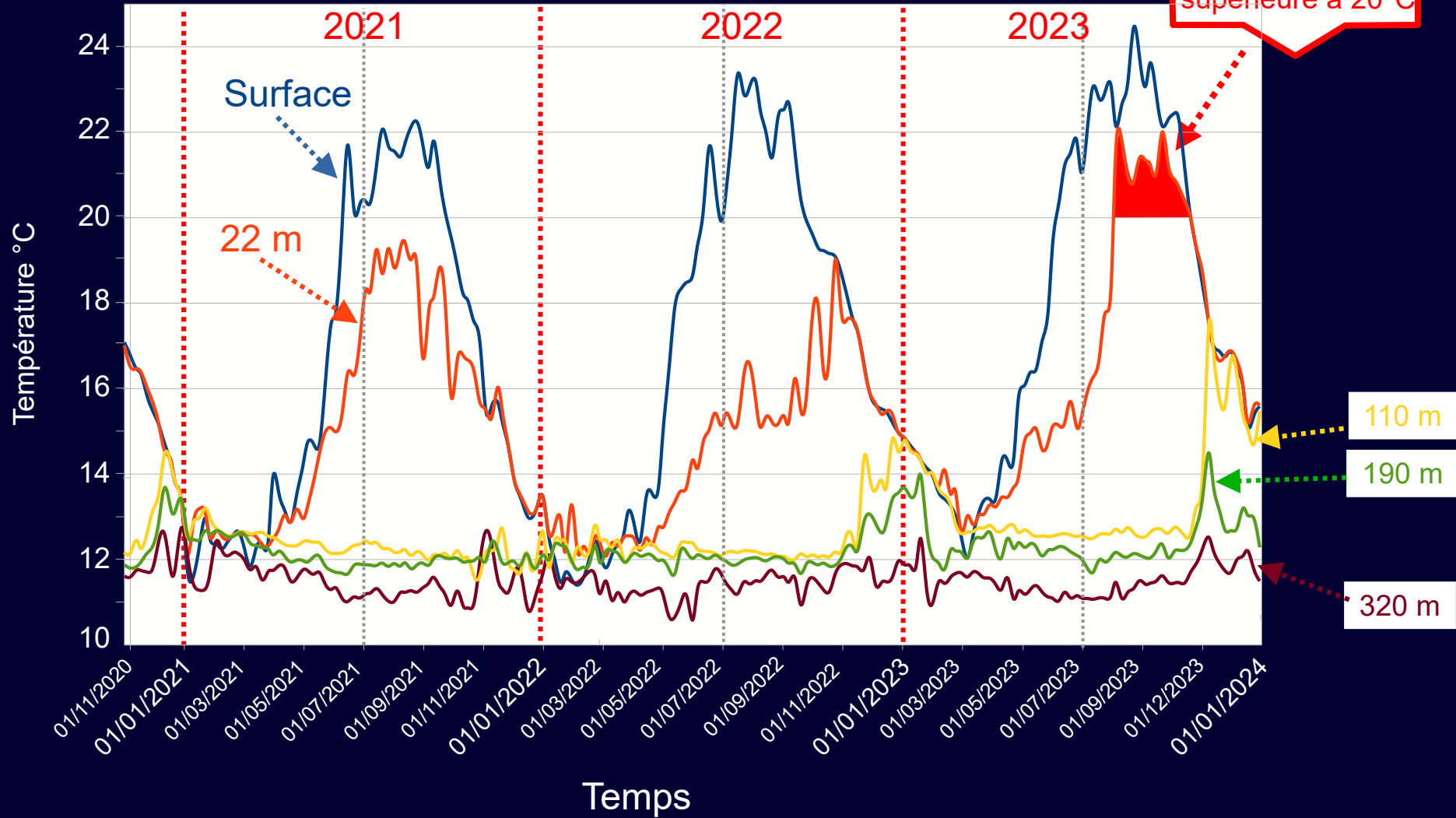
Le réchauffement important de l'océan en mai a conduit à des températures très supérieures à la moyenne saisonnière durant cette période.

Par la suite si la température de surface est restée plus proche de valeurs standard, la dynamique thermique s'est traduite par une couche chaude de surface plus épaisse que d'habitude.

Températures dans le golfe de Gascogne

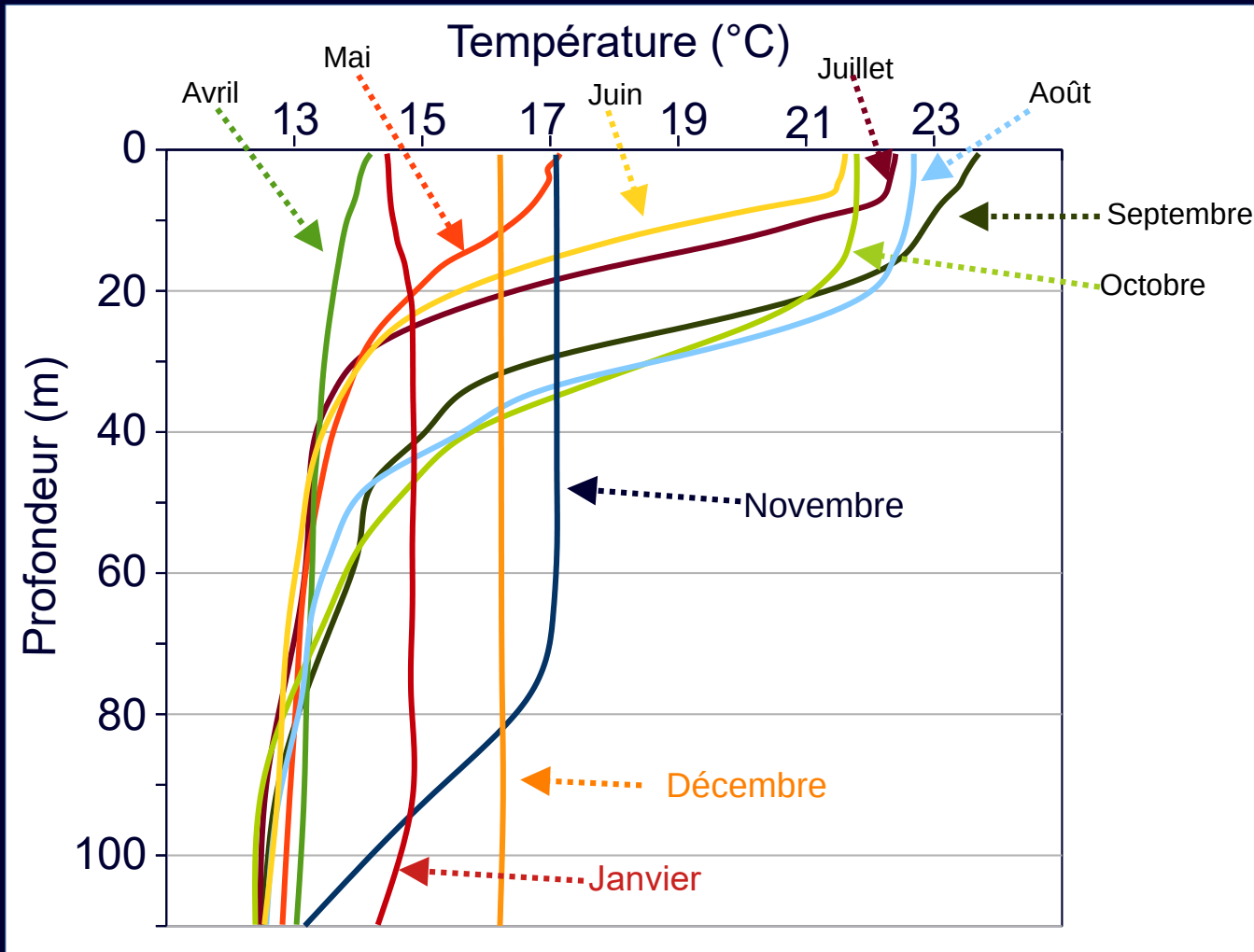
43,7 °N, 1,9°O

D'août à octobre, la température a 22 m a été supérieure a 20°C



Vague de chaleur, l'été 2023 dans le golfe de Gascogne

Stratification saisonnière



Profils des températures d'avril 2023 à janvier 2024,
43.69° Nord, 1.7° Ouest

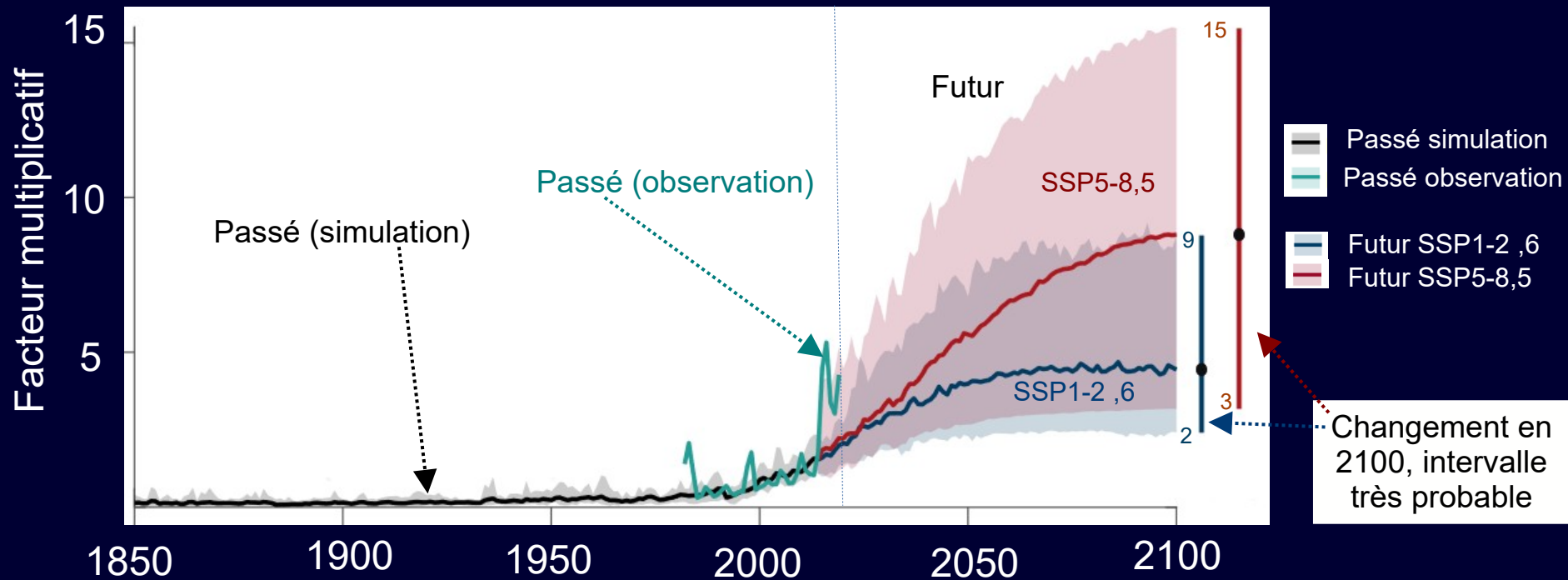
Effets d'une vague de chaleur sur des organismes benthiques - Video

[Video des effets d'une vague de chaleur marine en AVI](#)

[Video en MP4](#)

Prévision de l'évolution des vagues de chaleur marines

Changement du coefficient multiplicateur des jours de vague de chaleur marine à la surface de l'océan par rapport à 1995-2014



Jour de vague de chaleur : jour dont la température de surface de la mer (SST) dépasse le 99e percentile de celle de la distribution 1995-2014.



Changements climatiques et océans

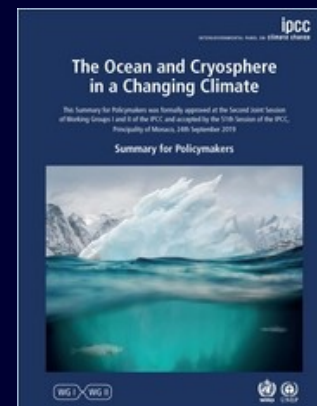
Deux effets principaux, physique et chimique, directs :

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

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 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)



Acidification des océans

Augmentation du gaz carbonique atmosphérique

Précipitation et dissolution du CaCO_3 sont contrôlées par la concentration des ions CO_3^{2-}



Atmosphère

Océan

Augmente le gaz carbonique dans l'océan

Augmente les ions H^+



Gaz carbonique dissous



Acide carbonique



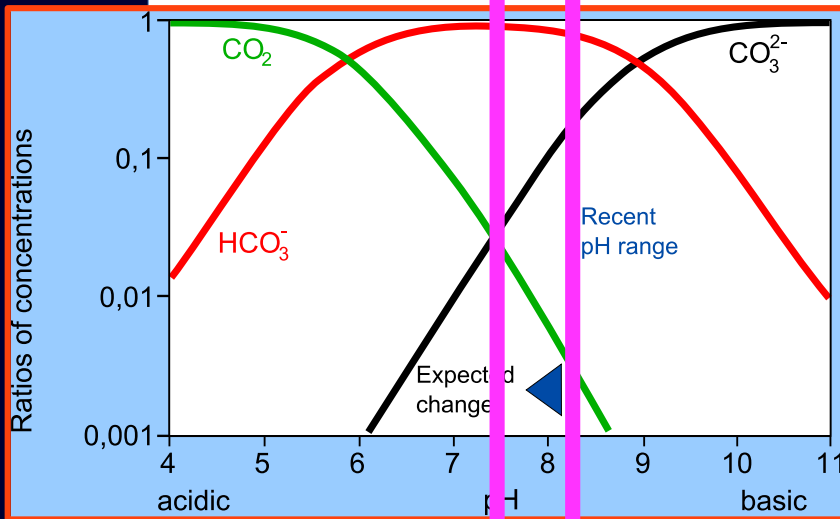
ions bicarbonates



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.).

Acidification des océans : effets sur les organismes calcifiant

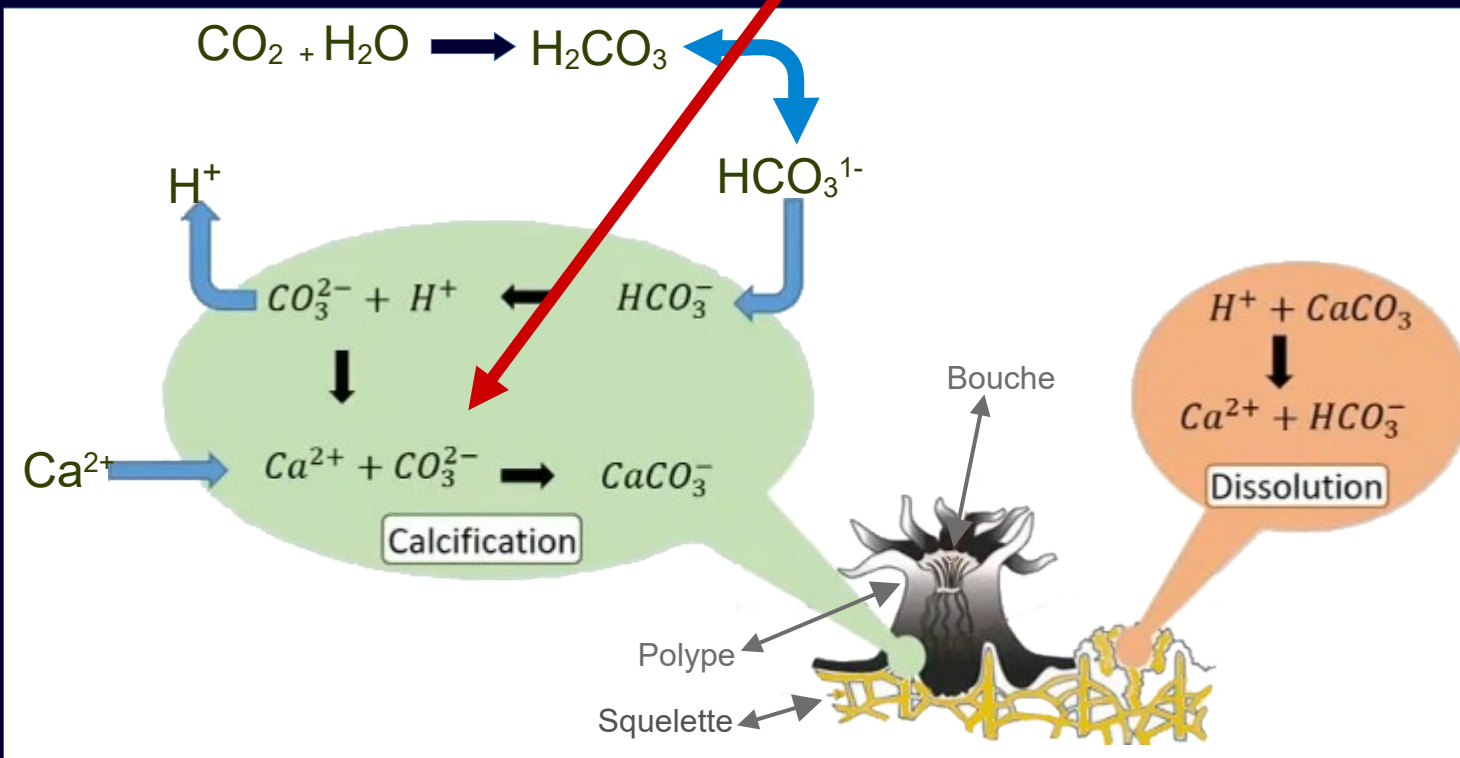
Ce sont les ions carbonates CO_3^{2-} qui sont utilisés par les organismes biologiques construisant des structures calcifiées.

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



L'acidification gêne la capacité des organismes marins à produire des coquilles et des squelettes à partir du carbonate de calcium (CaCO_3).

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 :

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

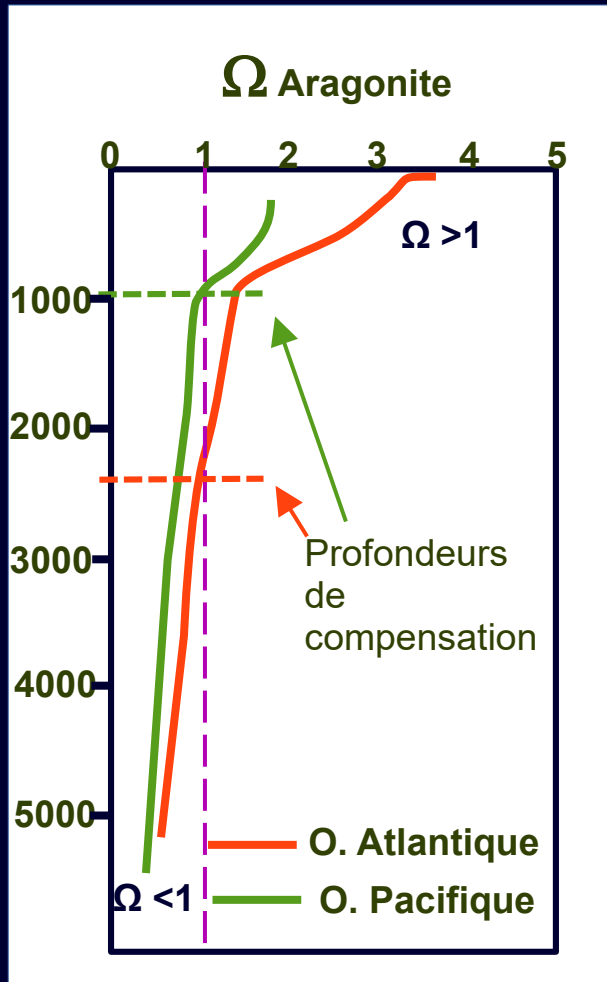
$[\text{Ca}^{2+}]$: concentration en ions calcium,

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

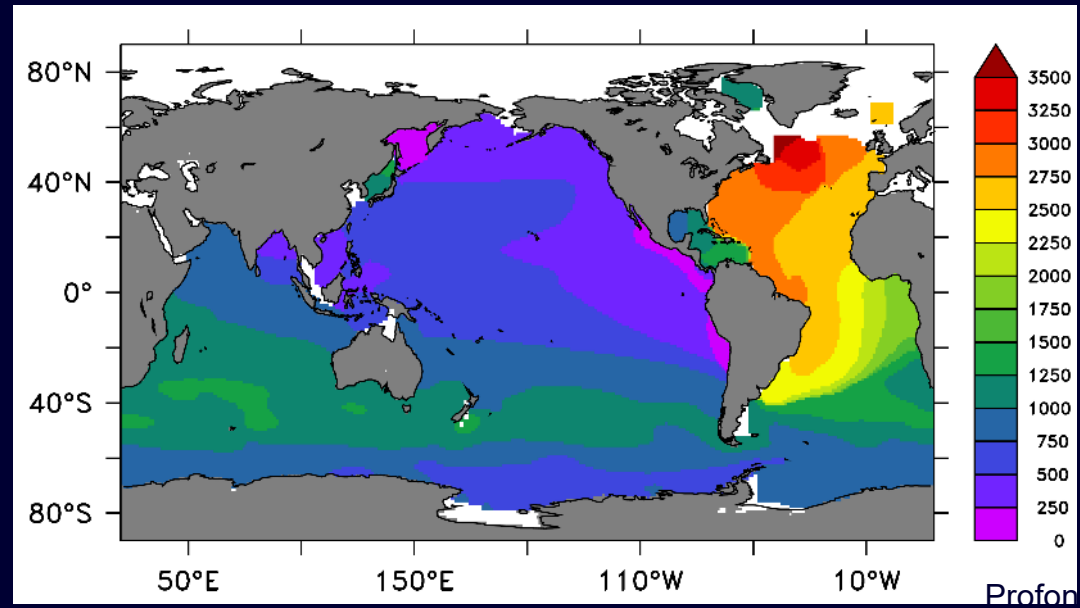
K_{sp} est une constante relative à la forme de CaCO_3

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

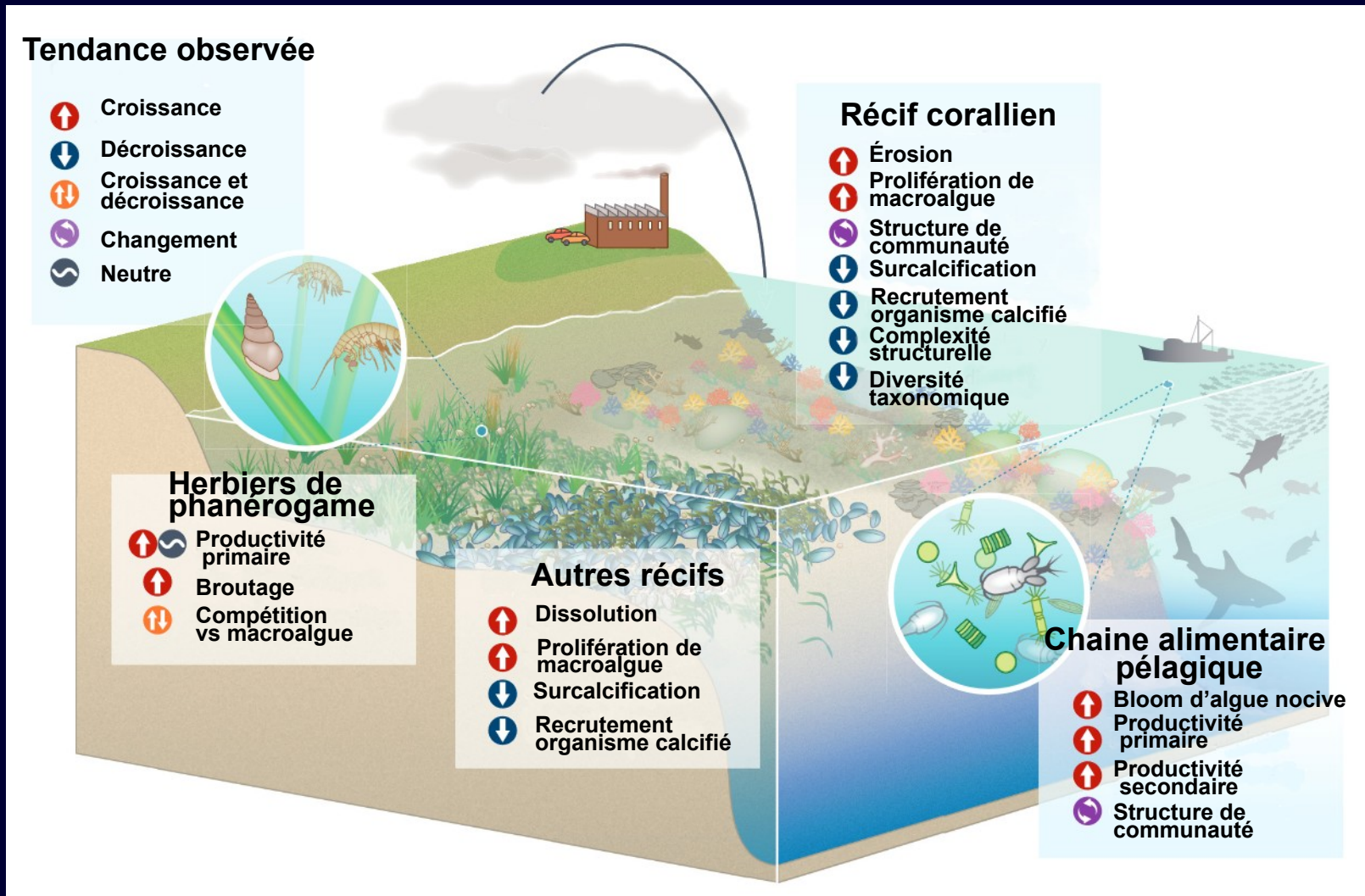
Ω diminue avec la pression et augmente avec la température



Profondeur du niveau de saturation de l'aragonite, $\Omega = 1$

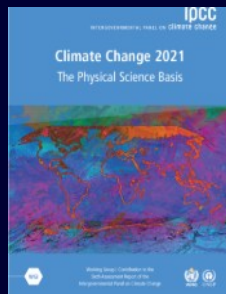


Influences de l'acidification sur des écosystèmes concernés

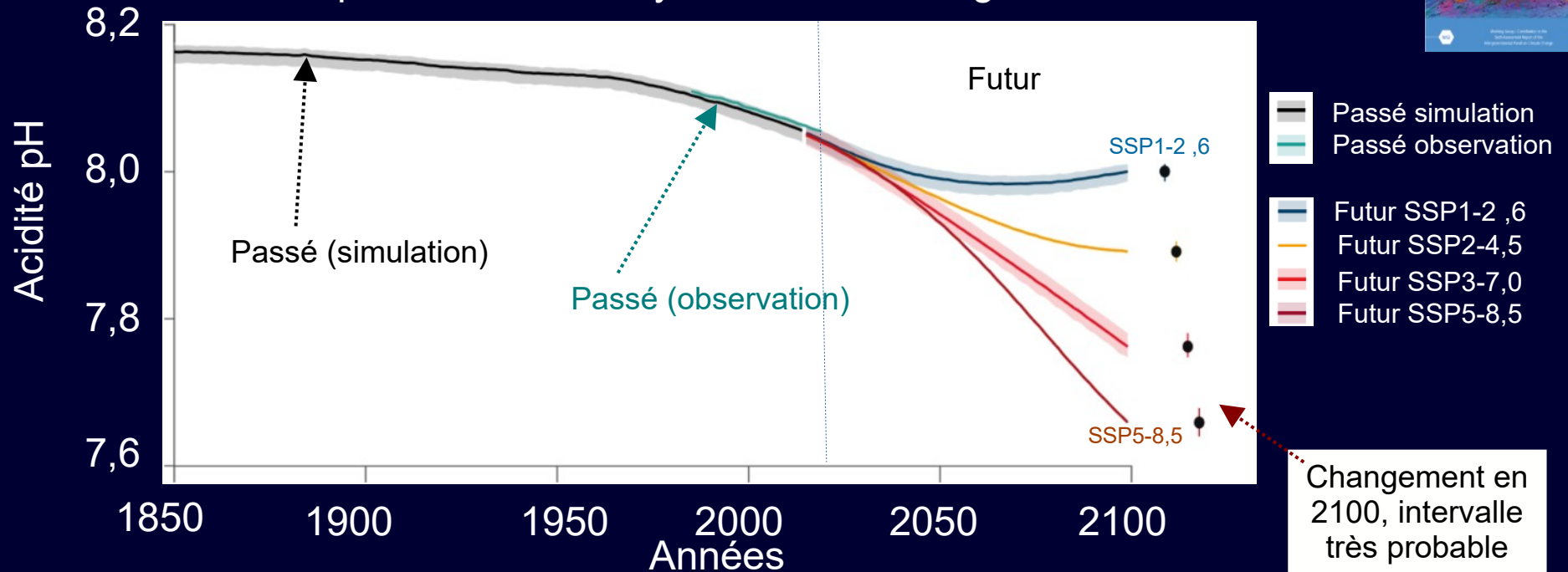


Tendances générales des propriétés et processus clés des communautés et des écosystèmes en réponse à l'acidification des océans dans les herbiers marins, les récifs coralliens, d'autres écosystèmes de récifs carbonatés et les réseaux trophiques pélagiques.

Evolution l'acidification de surface de l'océan

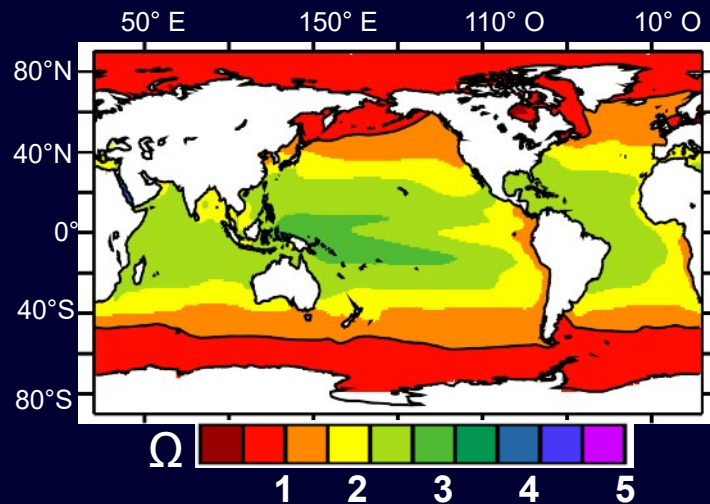


pH de surface moyen à l'échelle du globe.



État de saturation de l'aragonite des eaux de surface en 2100

Pour un scénario SRES A2 \cong RCP 8.5



Gangstø, R. et al. Modeling the marine aragonite cycle: changes under rising carbon dioxide and its role in shallow water CaCO₃ dissolution. (2008)

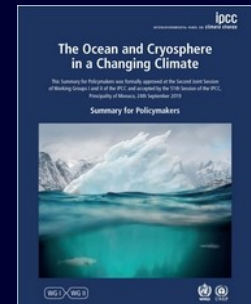
Acidification des océans

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)



Pernet, F., Gazeau, F., 2024. L'acidification des océans: Quels effets ? Quelles solutions ? Editions Quæ.

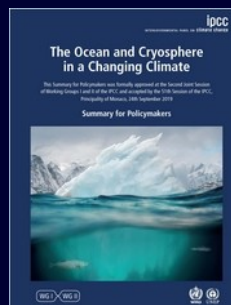
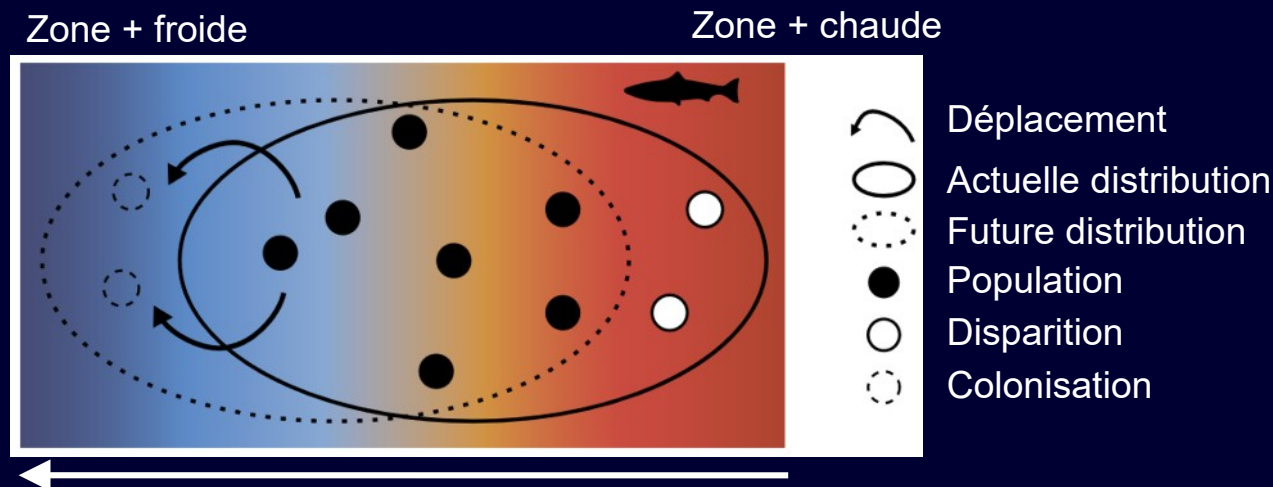
B- Changements dans les écosystèmes marins

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 épipelagiques (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 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).

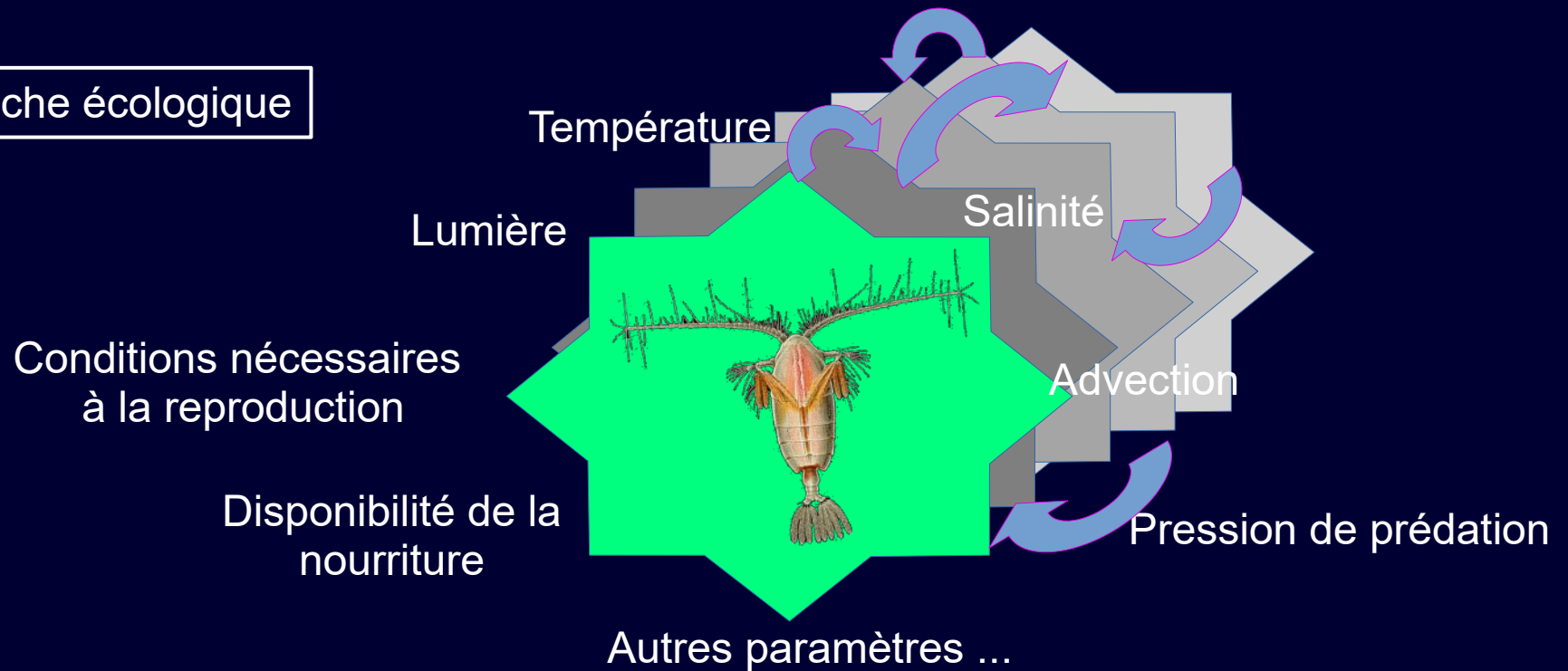
L'expansion de l'aire des espèces sous l'effet du réchauffement a entraîné une altération de la structure et du fonctionnement des écosystèmes (Atlantique Nord, Pacifique Nord-Est, l'Arctique ; degré de confiance moyen).



Écosystèmes et changements climatiques

La réponse d'un écosystème : les dynamiques d'un ensemble d'espèces et de leurs interactions aux changements environnementaux. Elle est multifactorielle et non linéaire.

Niche écologique

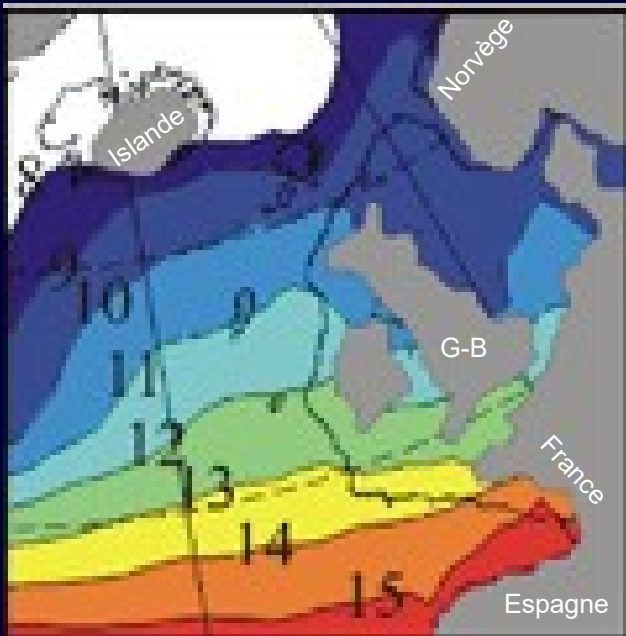


La niche écologique est l'hypervolume occupé par une espèce dans un hyperespace à n dimensions, n correspondant au nombre total des paramètres définissant le milieu.

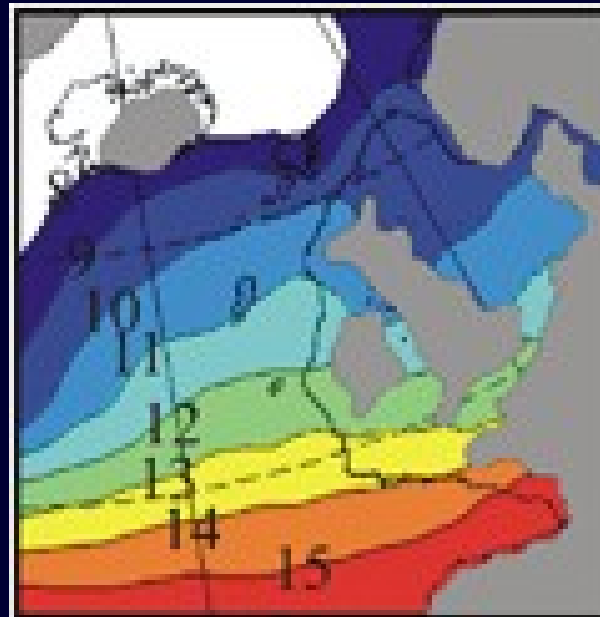
Cette niche fondamentale, propre à chaque espèce, constitue son habitat. Hutchinson (1957)

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

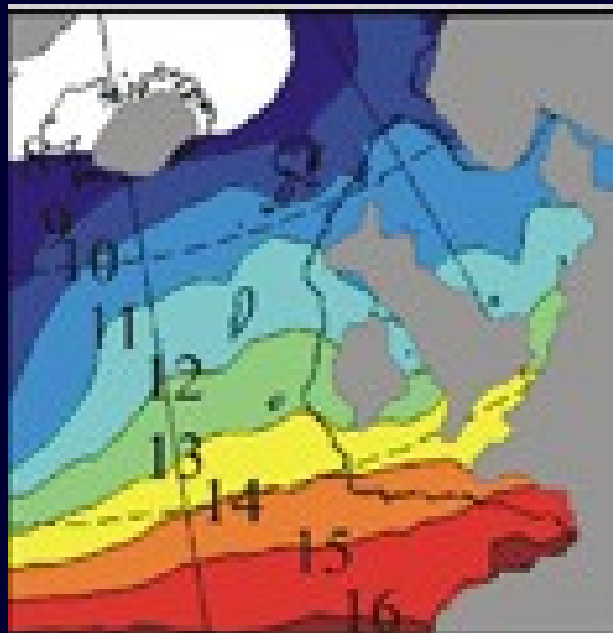
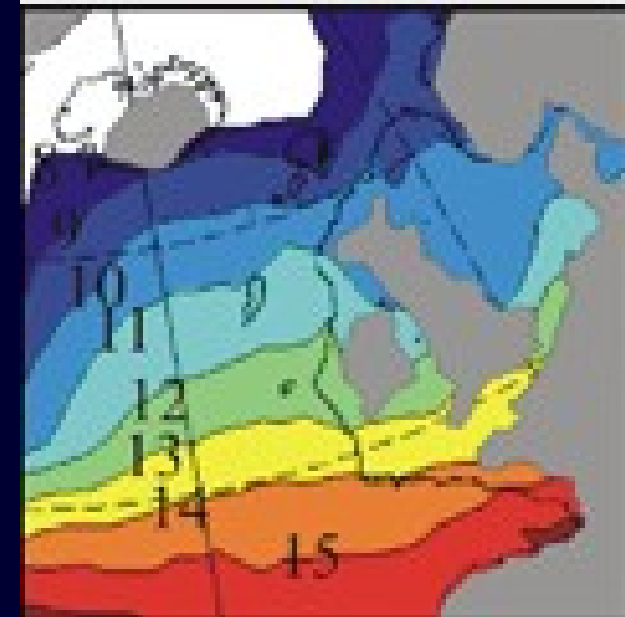
1960-1981



1982-1999



2000-2002



2003-2005

température moyenne de surface





Assemblages d'espèces de copépodes, Atlantique nord-est

Les copépodes : Ils
représentent rarement
moins de 60 % et parfois
plus de 80 % de la
biomasse zooplanctonique.

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 :

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

Espèces tempérées froides

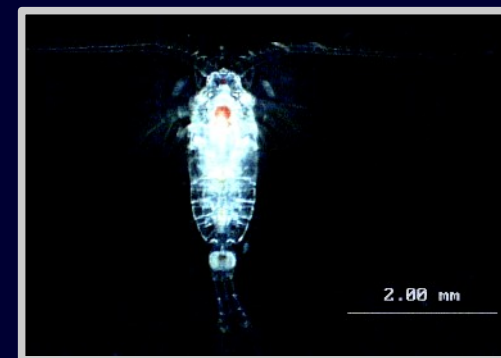
Aetideus armatus, *Pleuromamma robusta*, *Acartia spp.*, *Metridia lucens*

Espèces sub-arctiques :

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

Espèces arctiques :

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



Espèces pseudo-océaniques tempérées

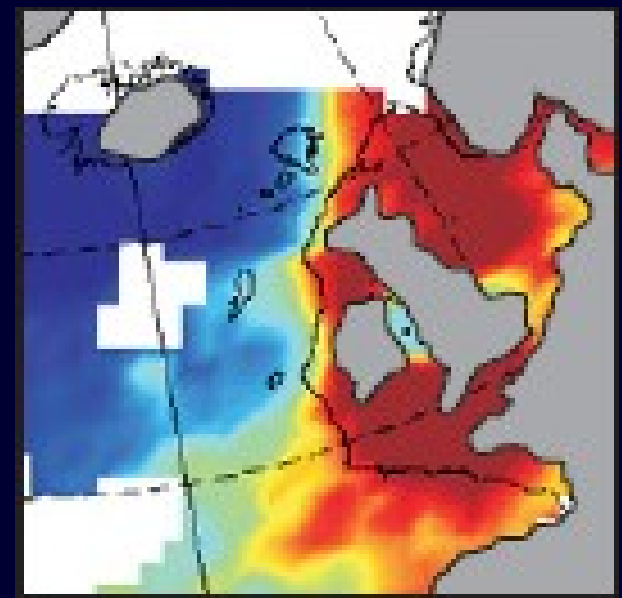
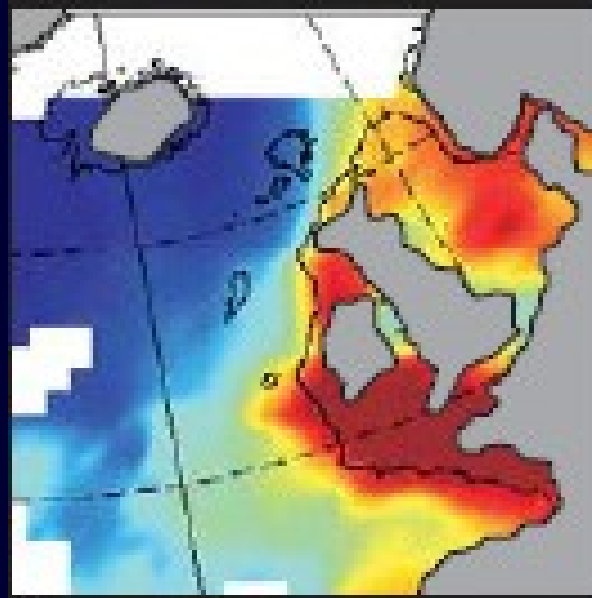
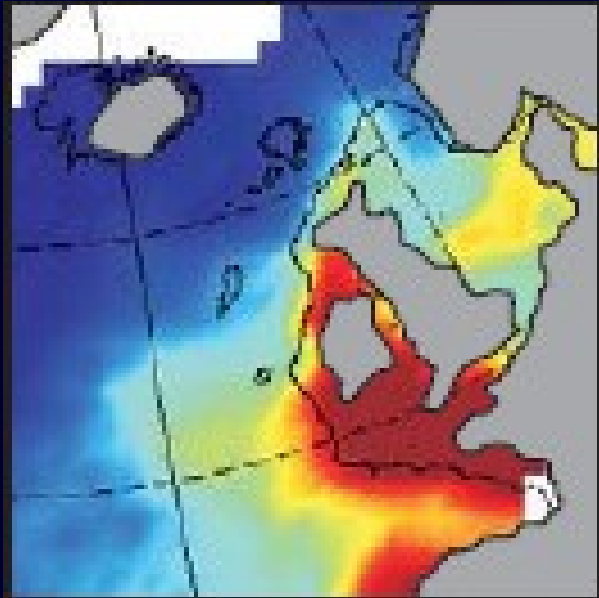
1958-1981

1982-1999

2000-2002

60°N

50°N



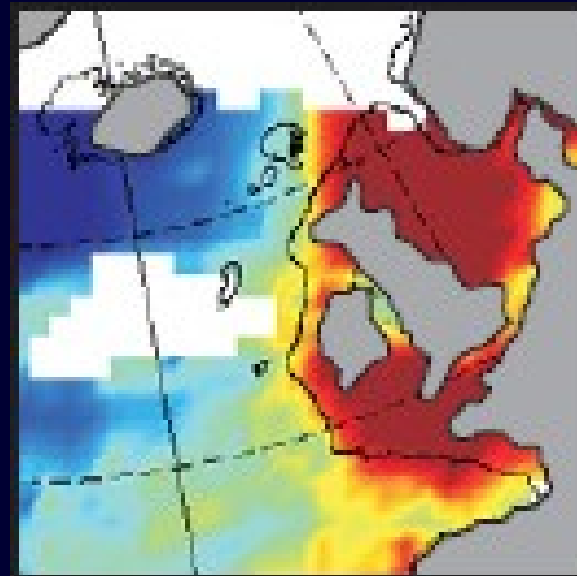
0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10
Mean number of species
per CPR sample

Calanus helgolandicus

60°N

50°N

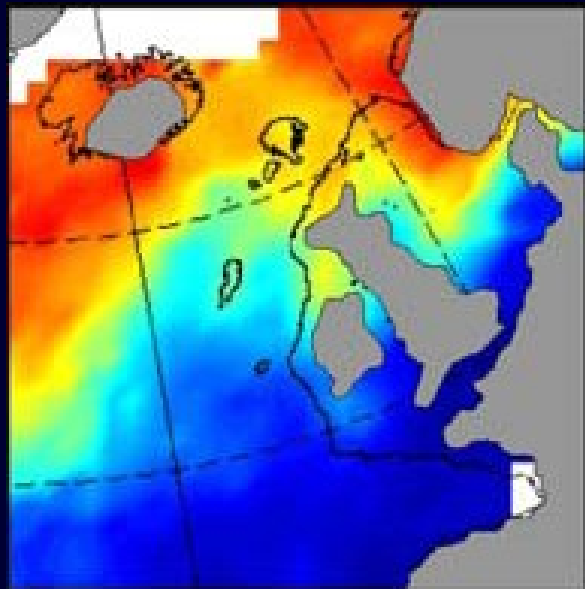
2003-2005



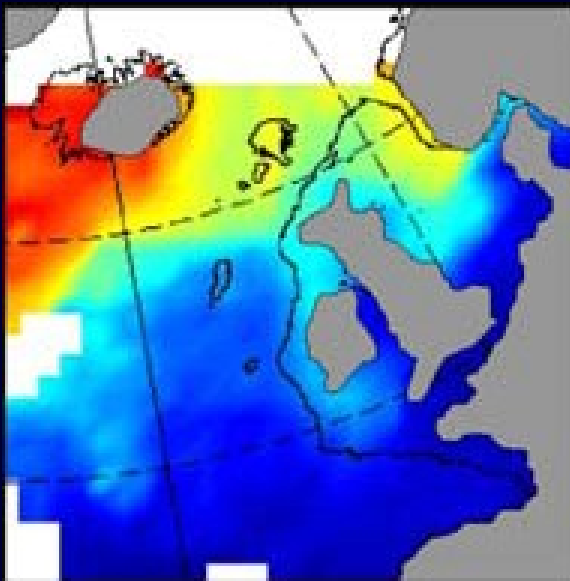
Beaugrand G. 2005. Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. ICES Journal of Marine Science, 62.

Espèces subarctiques

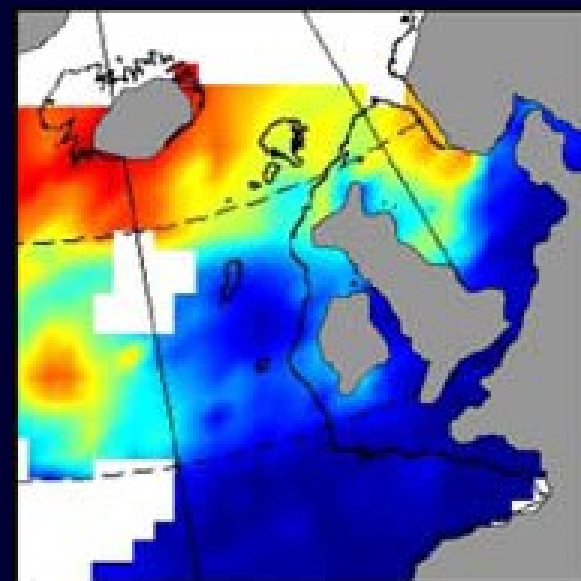
1958-1981



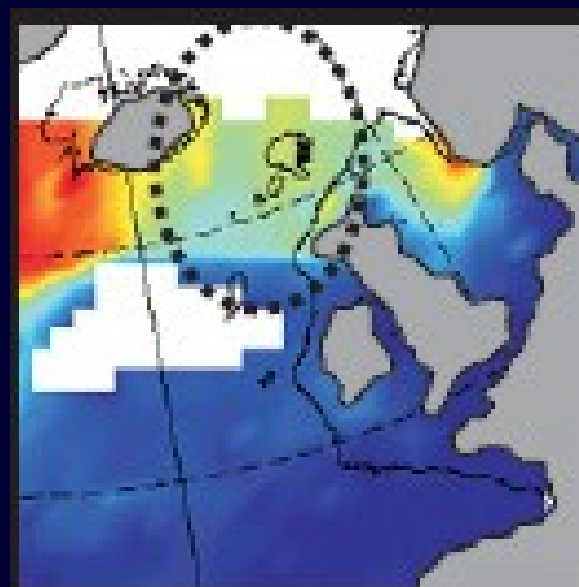
1982-1999



2000-2002



2003-2005



60°N

50°N

60°N

50°N

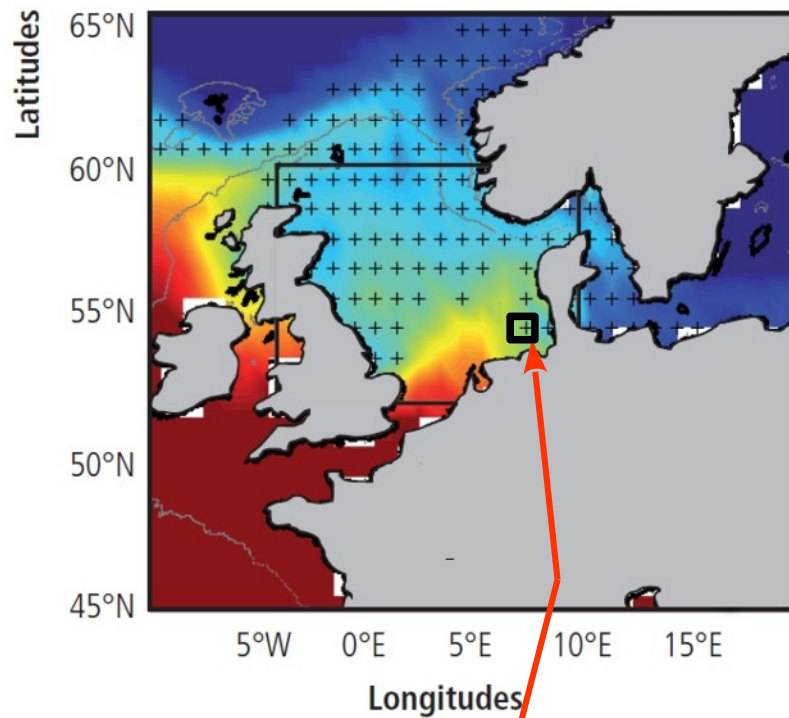
0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10

Mean number of species
per CPR sample

Calanus finmarchicus

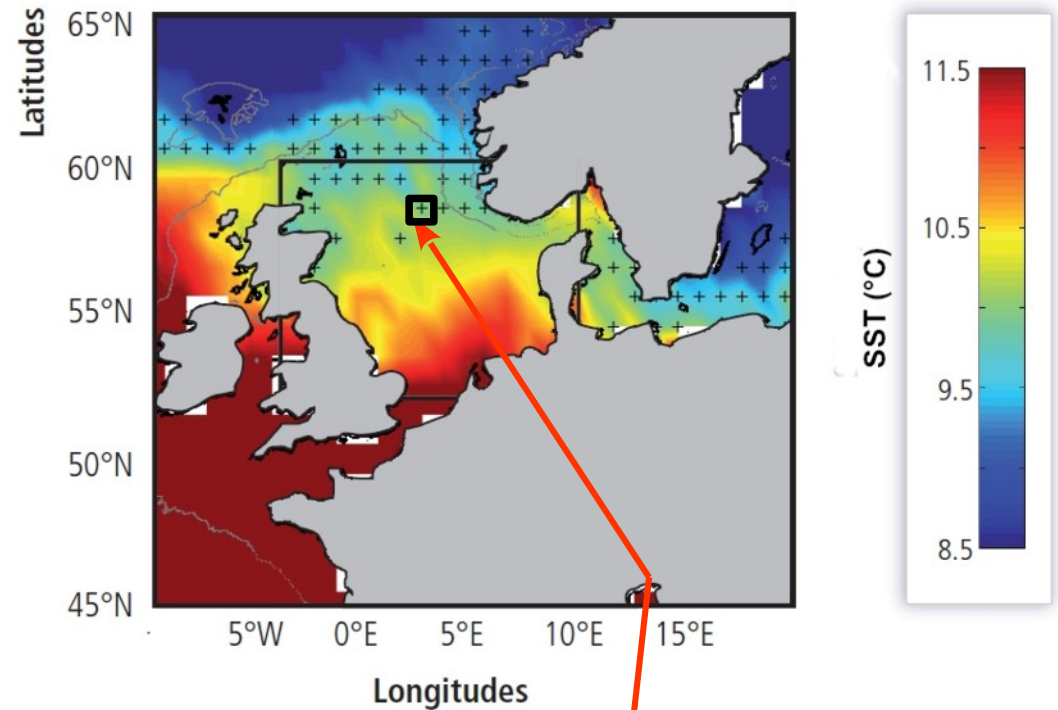
Evolution de la température de surface en mer du Nord

1960-1981

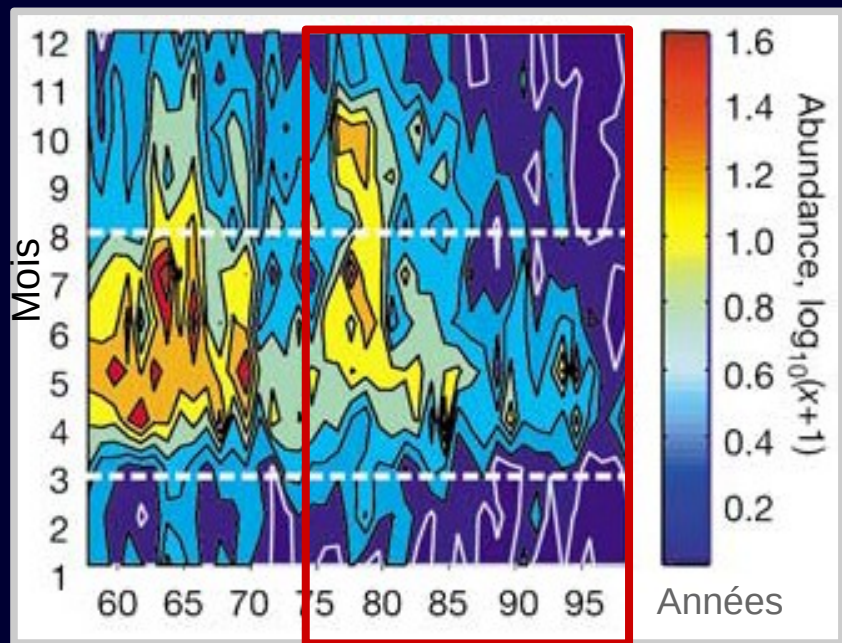


72.15 % des cellules ont une température entre 9 et 10 °C

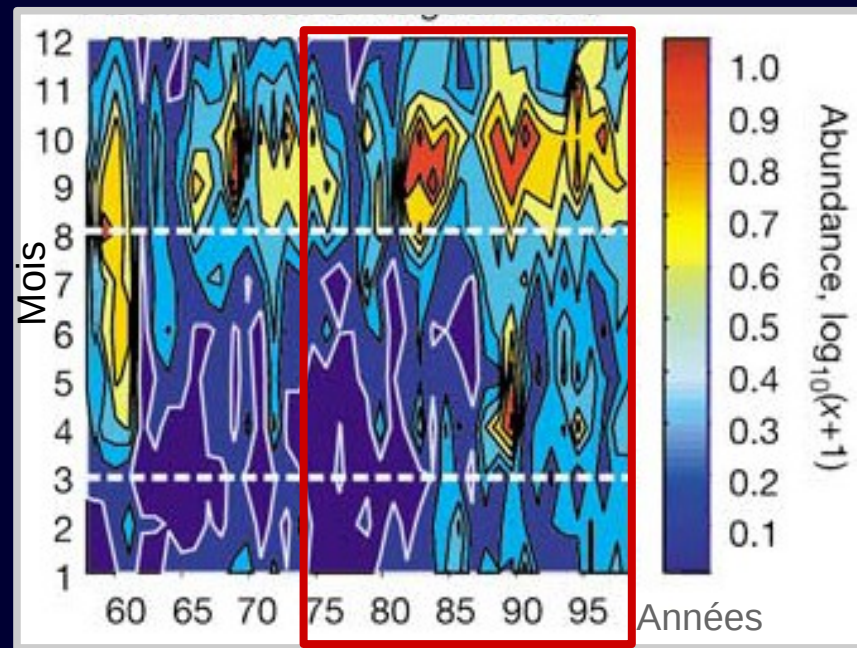
1988-2005



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

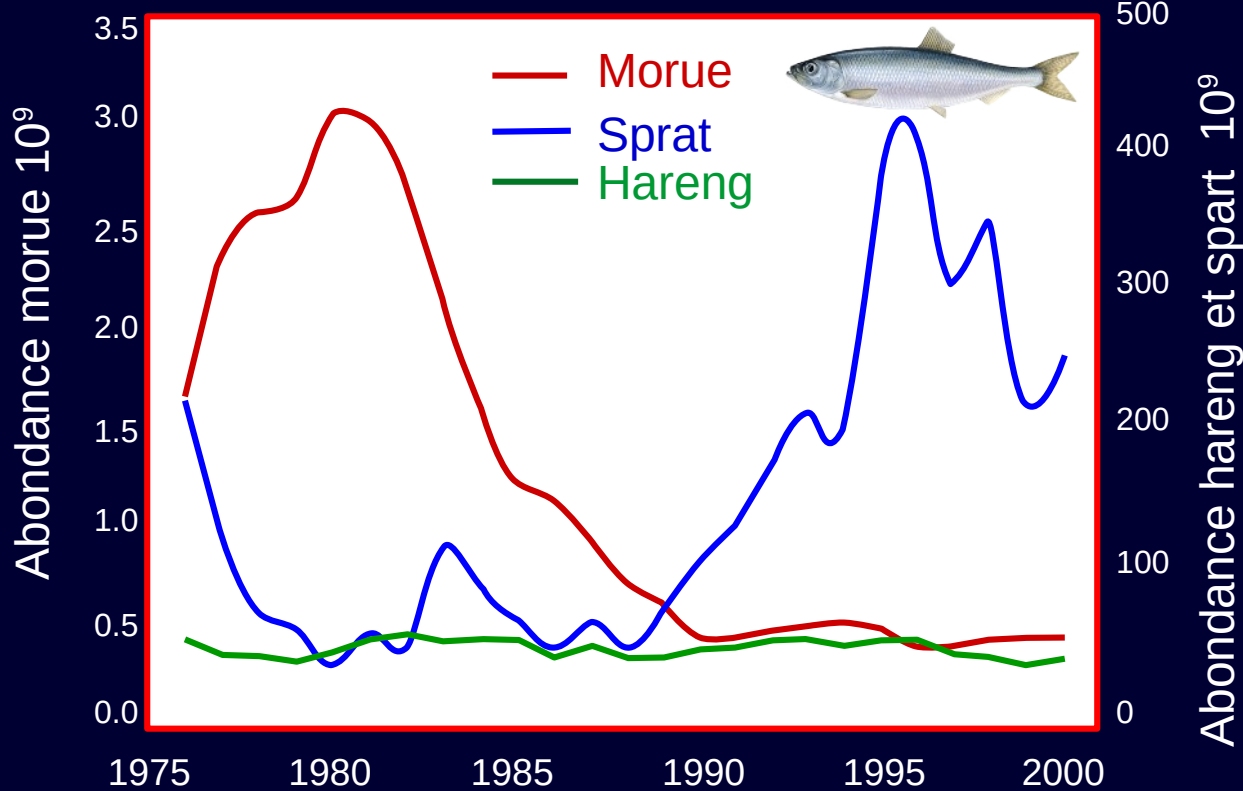


Abondance de *Calanus finmarchicus*



Abondance de *Calanus helgolandicus*

Zooplankton en Mer du Nord



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



Jacob Van Es



G. Schalcken



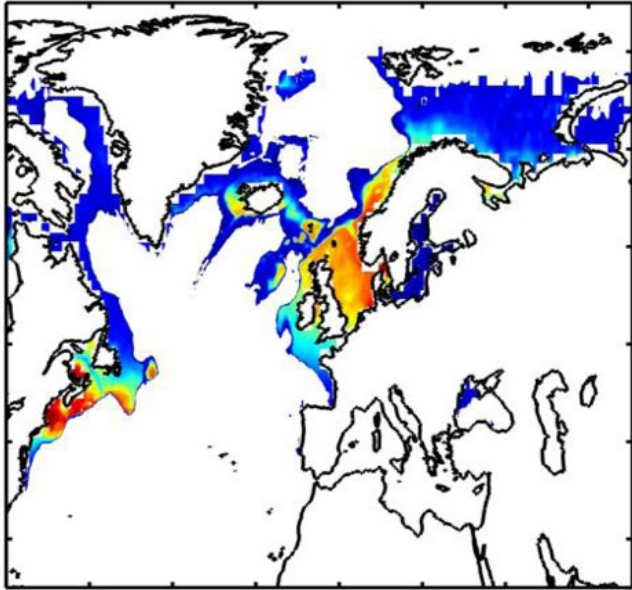
Atelier de Georg Flegel



Joachim Beuckelaer

Projection de la distribution spatiale du hareng (scénario B2)

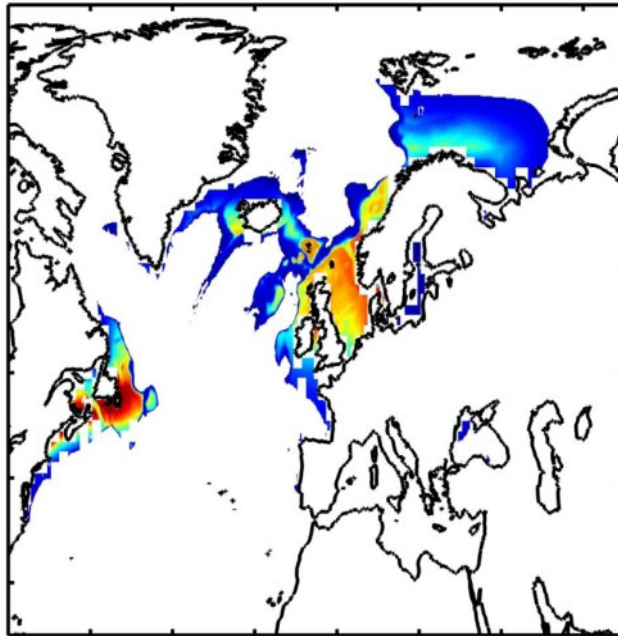
1960-1969



Pêche en Mer du Nord
546 à 1168 kt

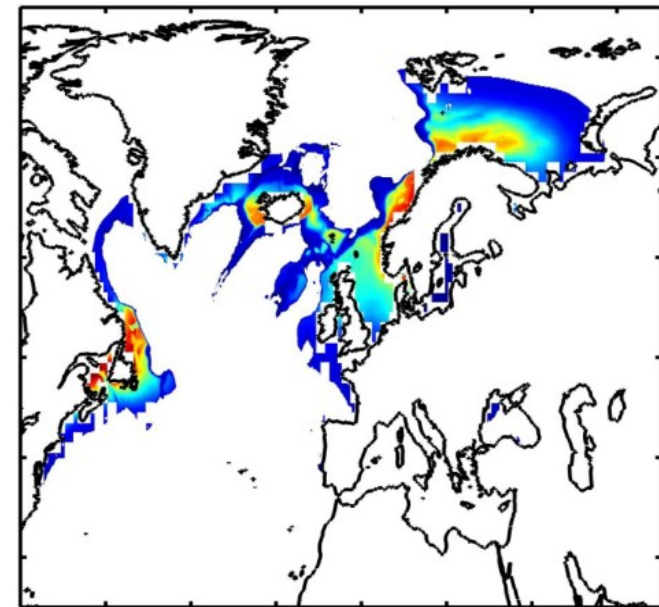


2010-2019

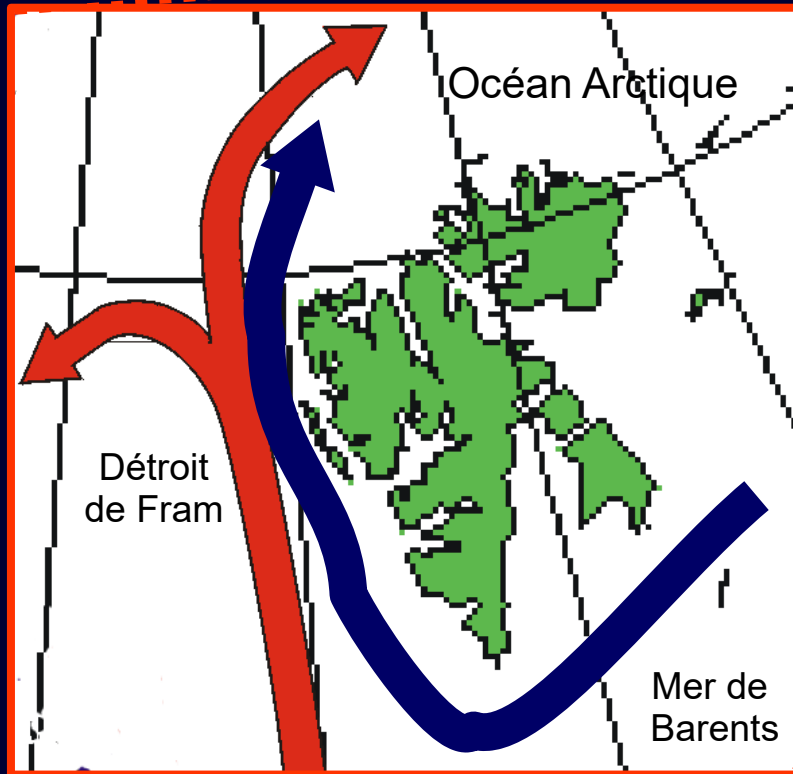


Pêche en Mer du Nord
187 à 603 kt

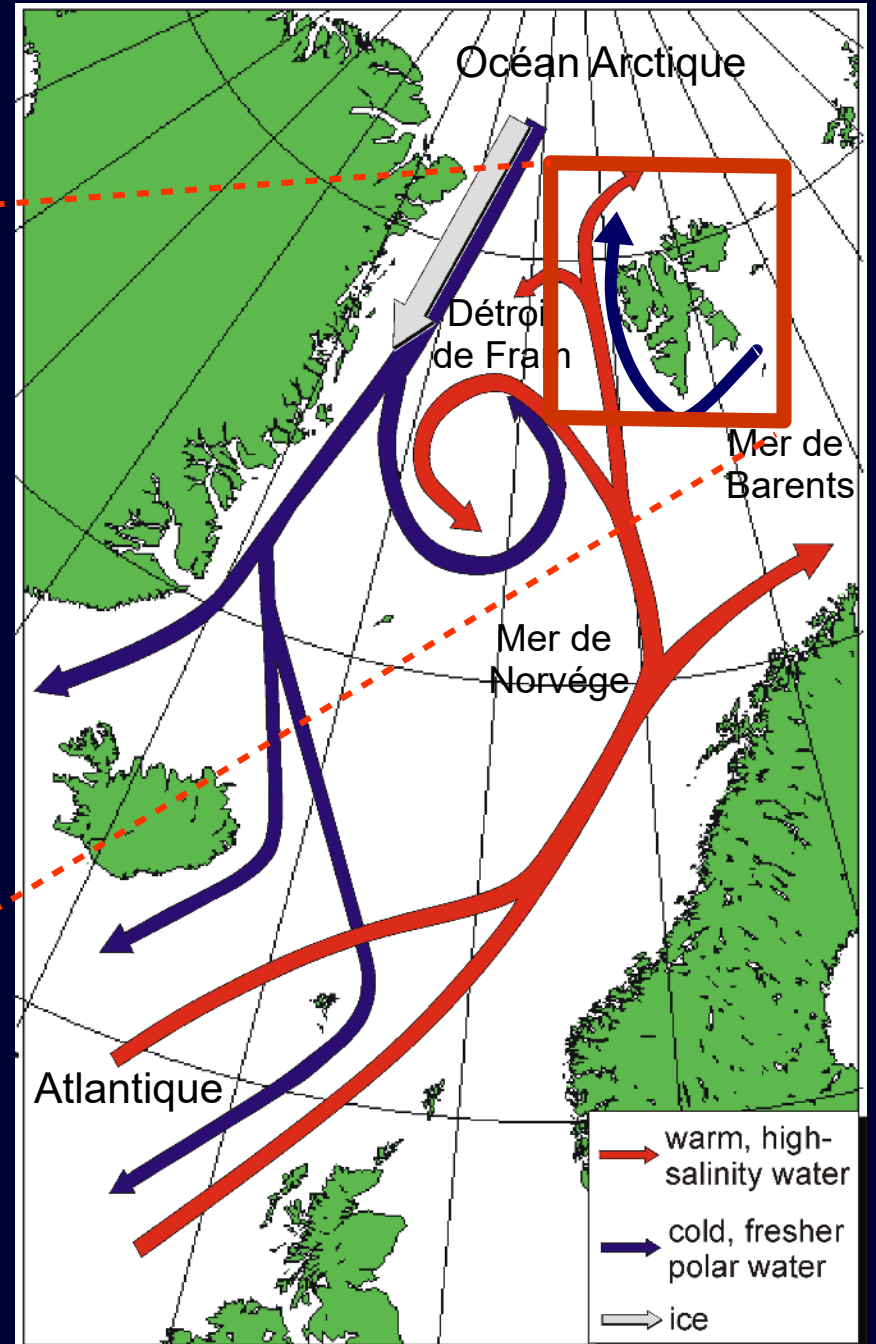
2090-2099



Et plus au nord !!!

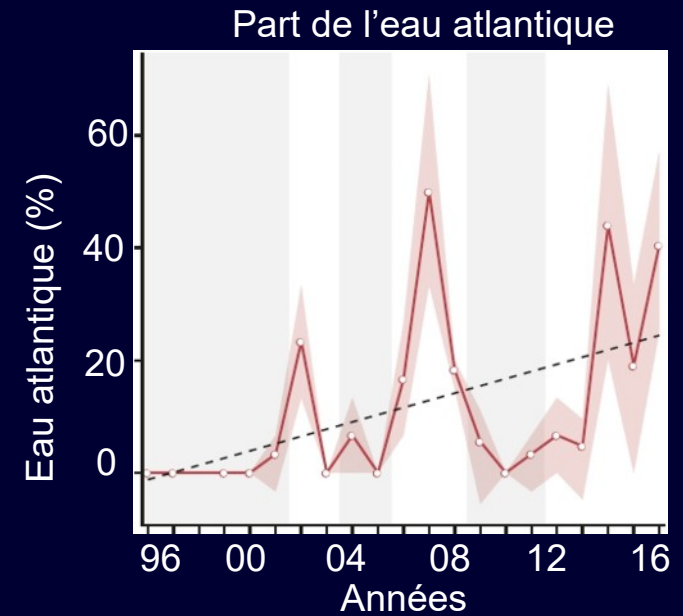
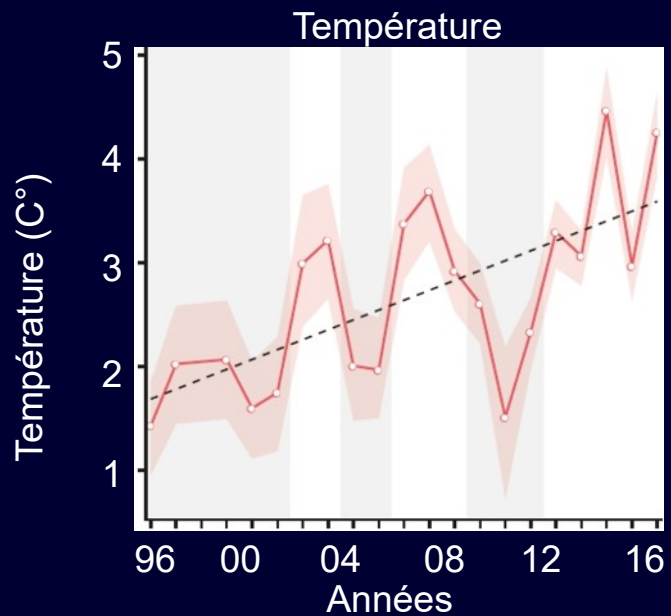
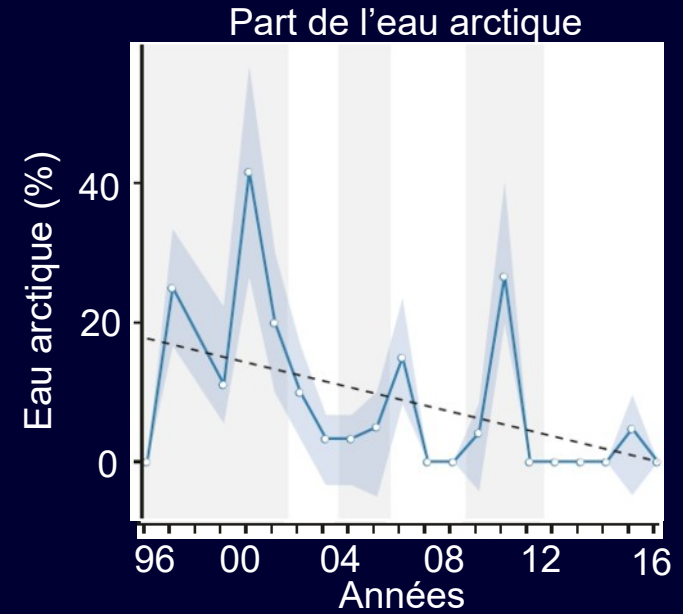
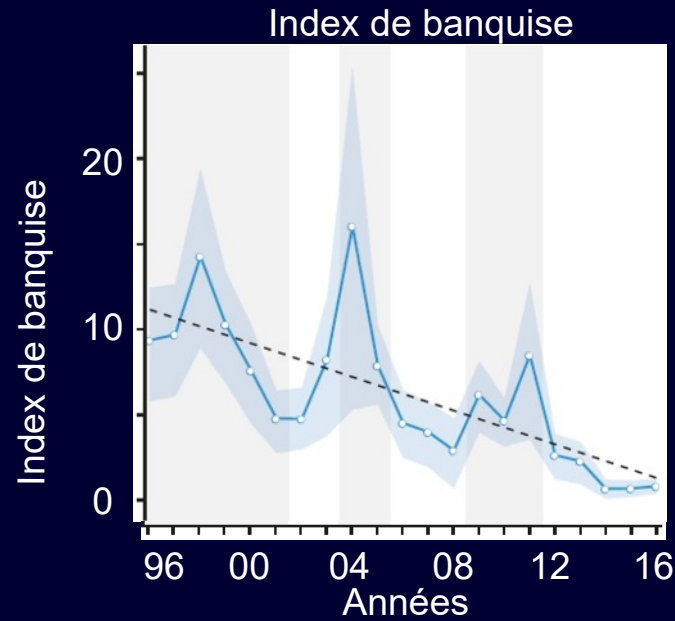


Archipel du svalbard
(Spitzberg)



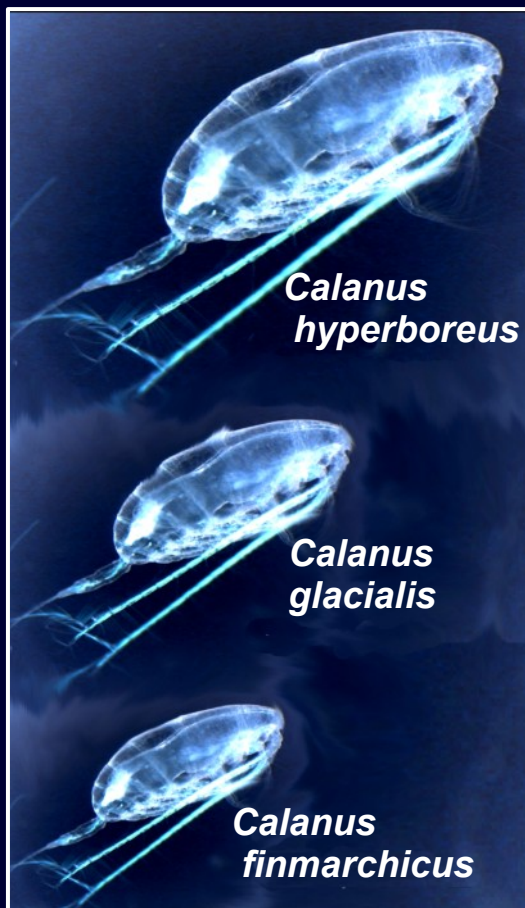
From F. Cottier

Evolution de l'hydroclimat du fjord Kongsfjorden



Evolution des Influences subarctiques et arctiques : des écosystèmes en changement

Espèces planctoniques arctiques et espèces subarctiques



Une composition spécifique
différente suivant l'environnement :

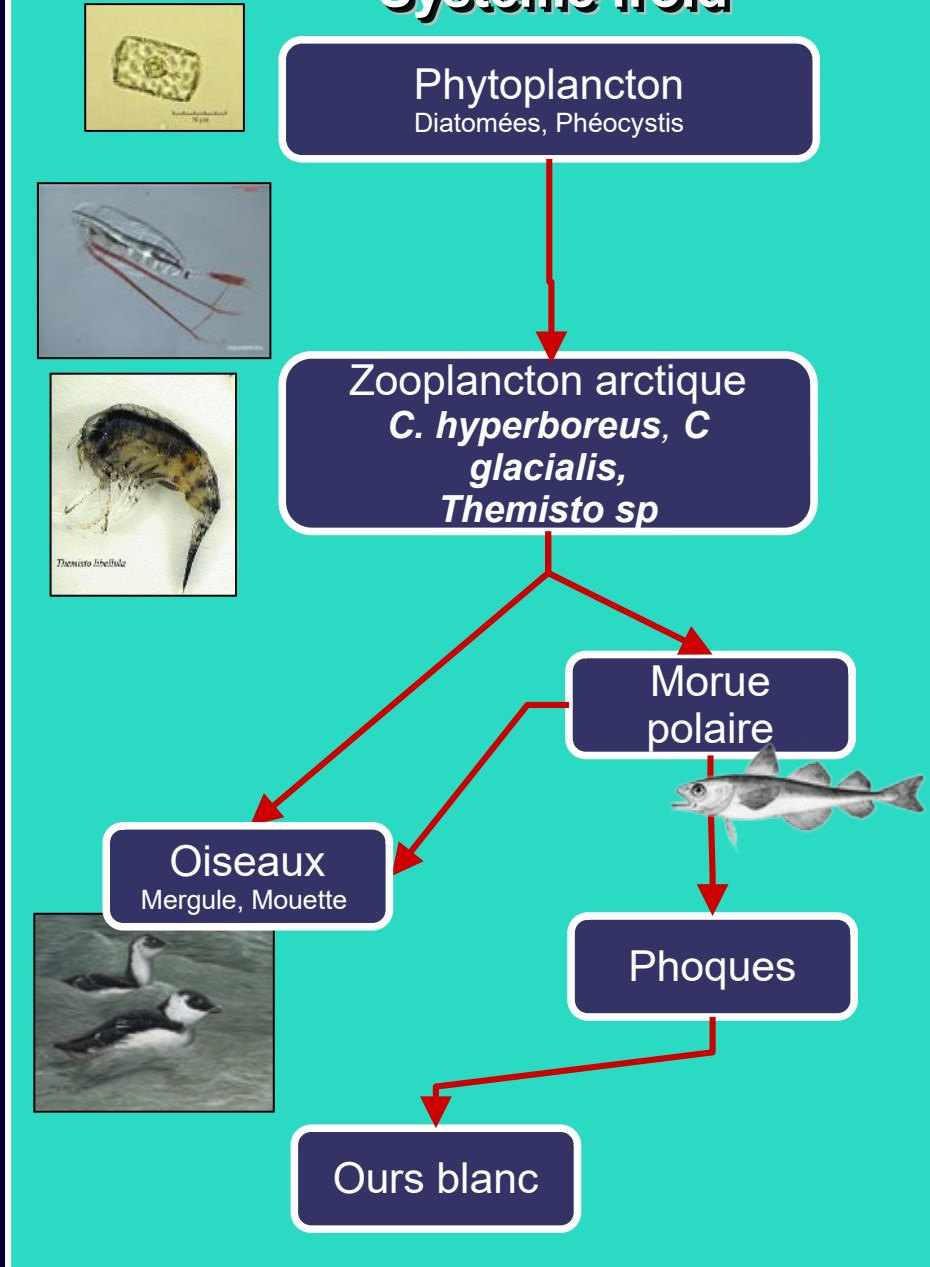
Système arctique «froid» :
riche en *Calanus hyperboreus*
et *Calanus glacialis*

Système subarctique «chaud» :
riche en *Calanus finmarchicus*
et *Pseudocalanus spp*

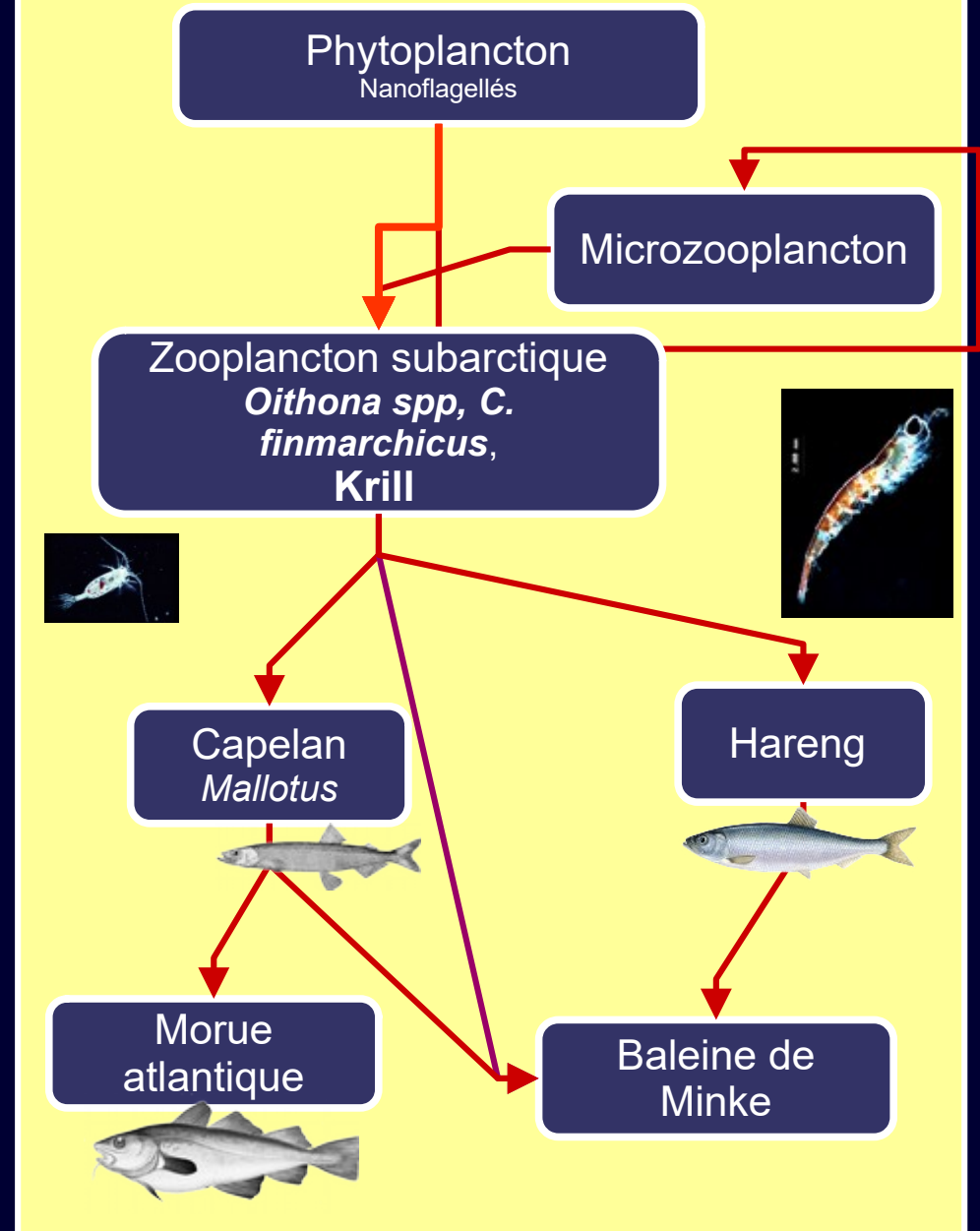
- *C. glacialis* est 6 à 7 fois plus énergétique que *C. finmarchicus* et 15 fois plus que *Pseudocalanus spp* (à biomasse égale).
- *C. hyperboreus* est 13 fois plus énergétique que *C. finmarchicus* et 30 fois plus que *Pseudocalanus spp* (à biomasse égale)

Axes prédominants des réseaux alimentaires

Systeme froid

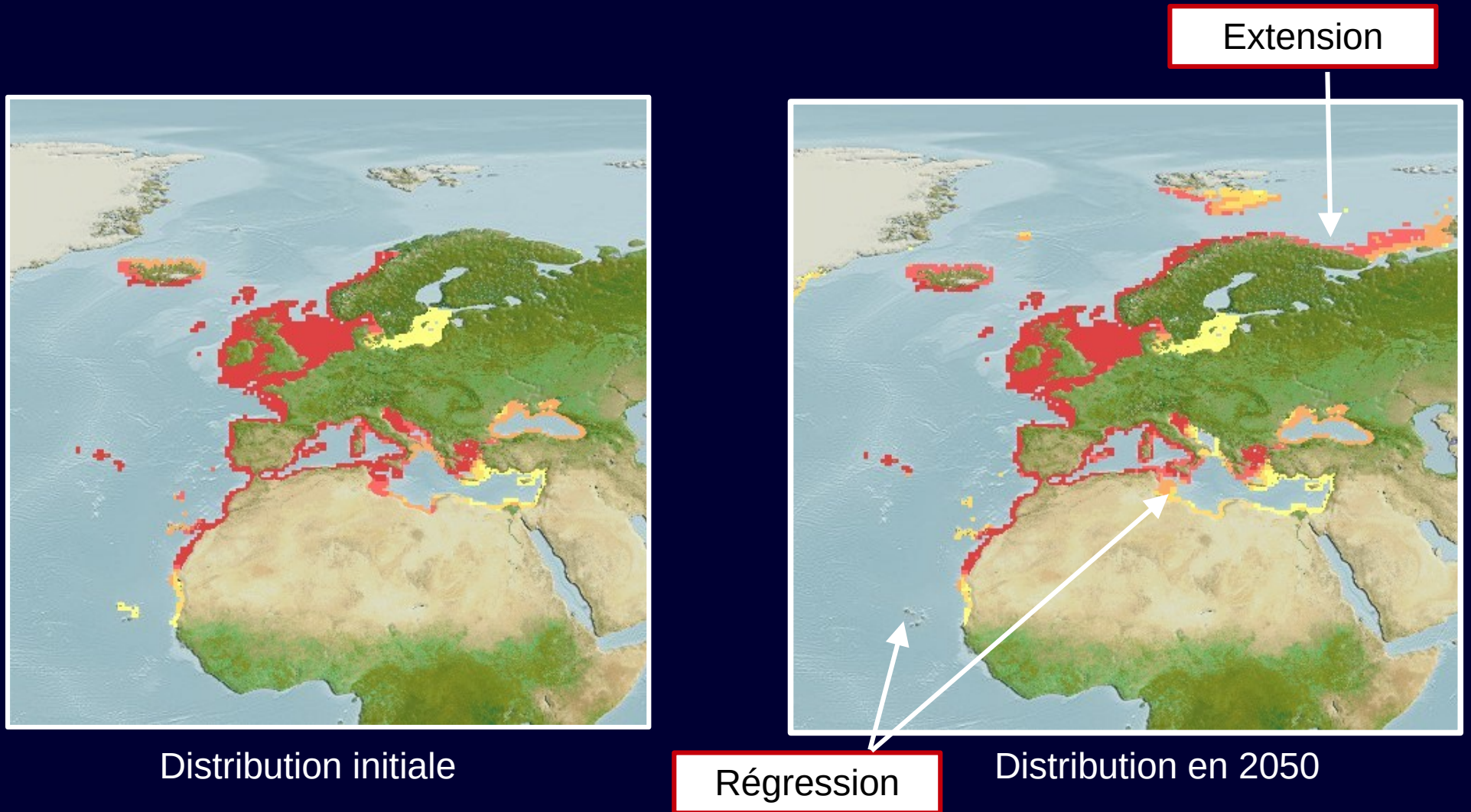


Systeme chaud



Les évolutions prévisibles du climat vont avoir une influence sur la distribution des espèces de poissons exploitées

Sardine - *Sardina pilchardus*



Basé sur le scénario IPCC/GIEC RCP8.5
Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2022. FishBase. www.fishbase.org,

This map was computer-generated and has not yet been reviewed.

Anchois - *Engraulis encrasicolus*



Distribution initiale



Extension

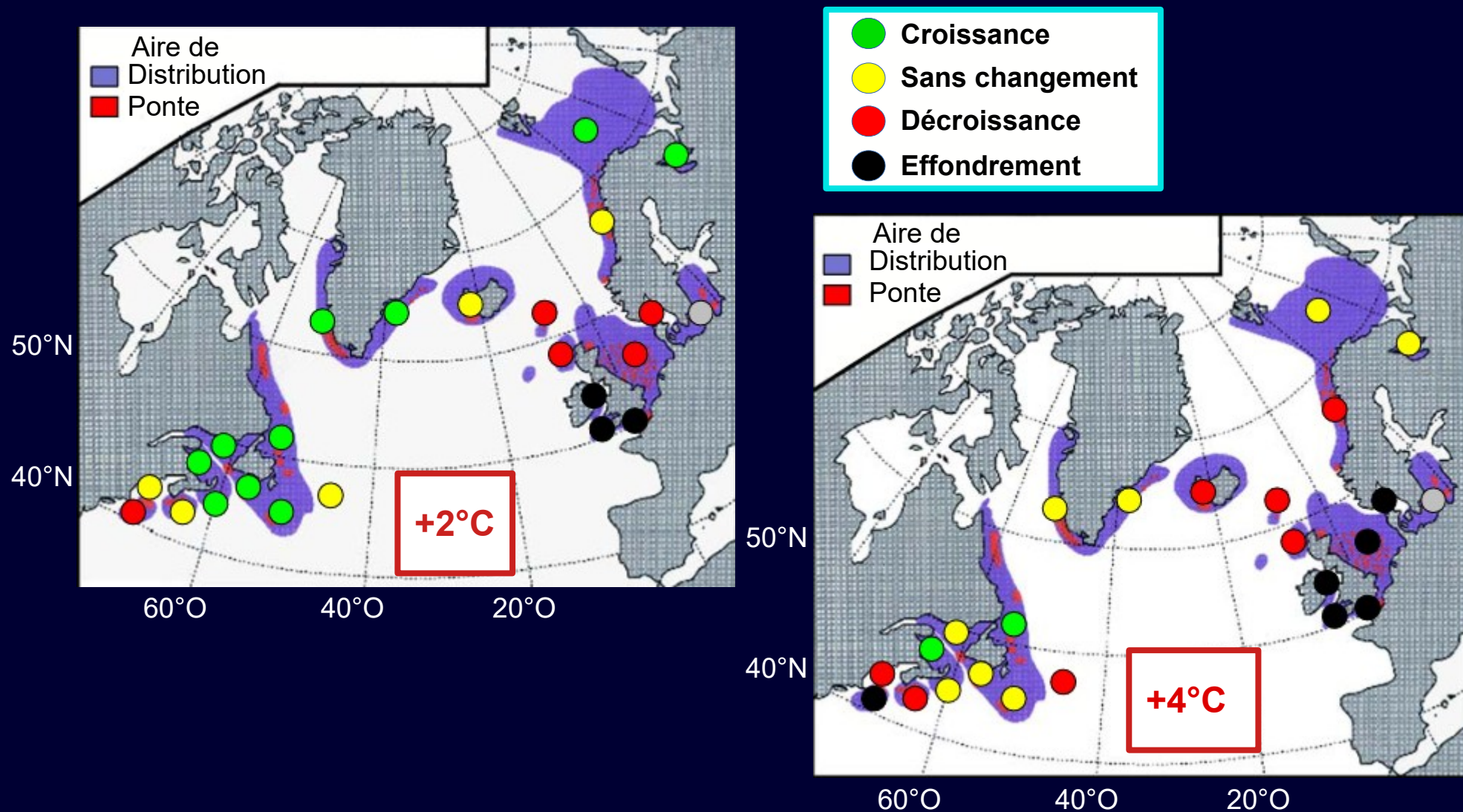
Régression

Distribution en 2050

Basé sur le scénario IPCC/GIEC RCP8.5

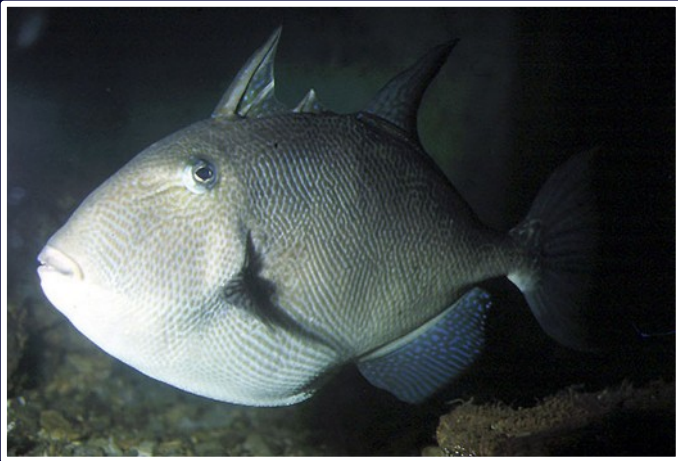
Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2022. FishBase. www.fishbase.org,

La réponse de la morue franche (*Gadus morhua*) au futur changement climatique



Changements attendus dans l'abondance des stocks de morue avec une augmentation de la température de 2°C et 4°C au-dessus des niveaux actuels

Poissons remontant du sud dans le Golfe de Gascogne



Baliste cabris
Balistes capriscus



Saint Pierre argenté
Zenopsis conchifer



Bourse licorne
Aluterus monoceros



Poisson rubis
Erythrocles monodi

Changement climatique et distribution de mammifères marins

Avec le changement : plus de visites de formes des eaux chaudes dans l'atlantique nord-est.

Les espèces probables :

Rorqual de Bryde (*Balaenoptera edeni*)

Cachalot pygmée (*Kogia breviceps*)

Cachalot nain (*Kogia sima*)

Dauphin à bec étroit (*Steno bredanensis*)

Dauphin tacheté de l'Atlantique (*Stenella frontalis*).

Mais aussi des 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)

Rôle possible du changement climatique dans l'arrivée d'espèces « exotiques »

*Dinoflagellé benthique toxique *Ostreopsis cf. ovata**



Action d'une palytoxine au niveau cellulaire par action sur l'équilibre ionique. Contraction des muscles (lisses, striés et cardiaques), augmentation de la libération de neuromédiateurs entraînant des problèmes gastrique, intestinaux, cutanés, neurologique et cardiaque.



Initialement endémique des Antilles, première observation de *Plicopurpura patula* (Gastropoda: Muricidae) : nouvelle évidence de la «tropicalisation» du golfe de Gascogne ou espèce introduite ??

POLICY FORUM

OCEAN POLICY

Preparing ocean governance for species on the move

Policy must anticipate conflict over geographic shifts

By Malin L. Pinsky¹, Gabriel Reygondeau², Richard Caddell^{3,4}, Juliano Palacios-Abrantes², Jessica Spijkers^{5,6}, William W. L. Cheung²

“...widespread noncooperative management... risks...fractured international relationships, and political conflicts that could spill over into other, nonfishery areas of international politics.”

« ... une gestion non coopérative généralisée... risque... de fractures dans les relations internationales et de conflits politiques qui pourraient s'étendre à d'autres domaines de la politique internationale, non liés à la pêche. »

Zone Économique Exclusive

Exemple la ZEE de la Norvège

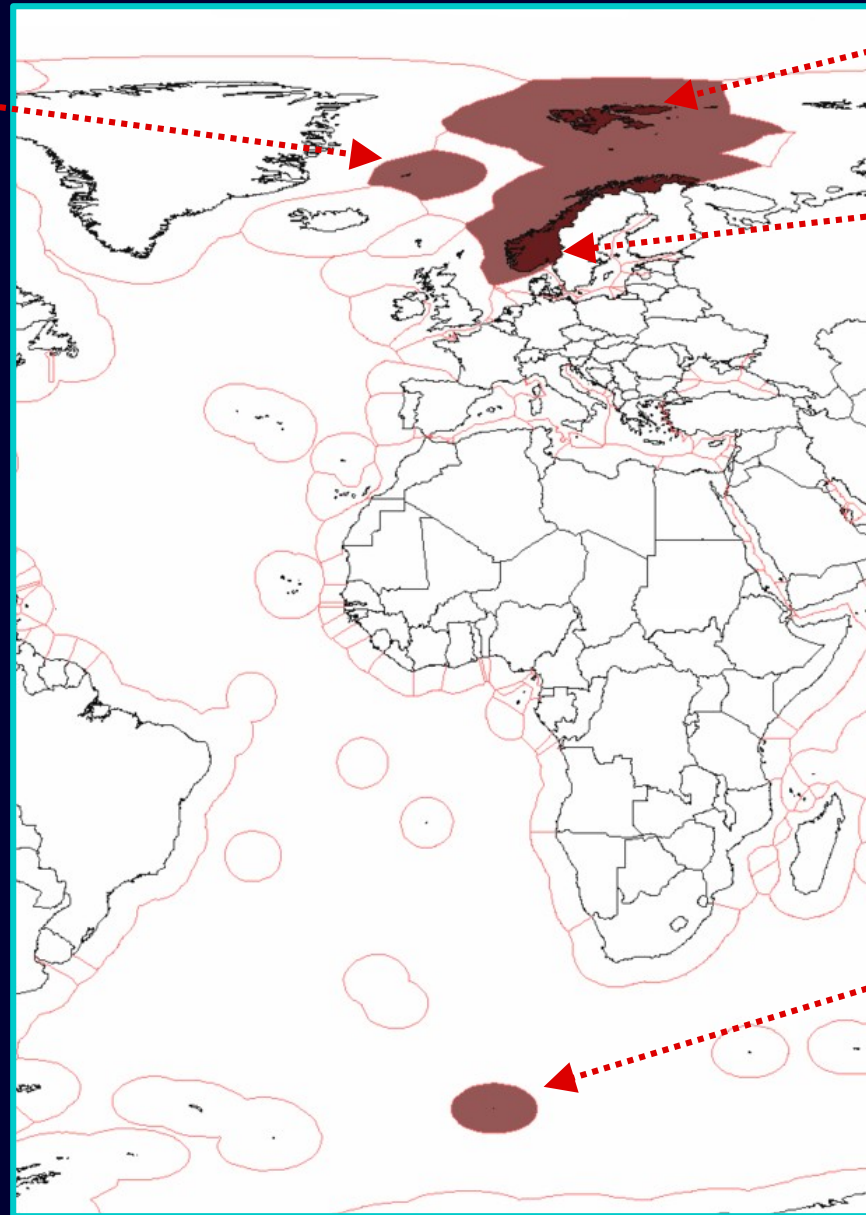
Île Jan Mayen

Svalbard

Norvège

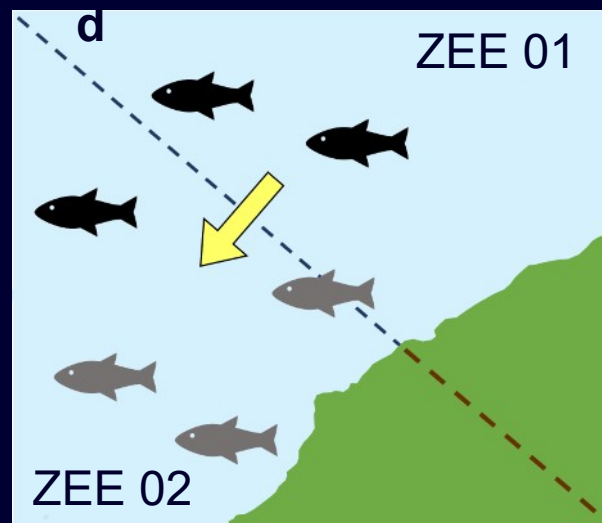
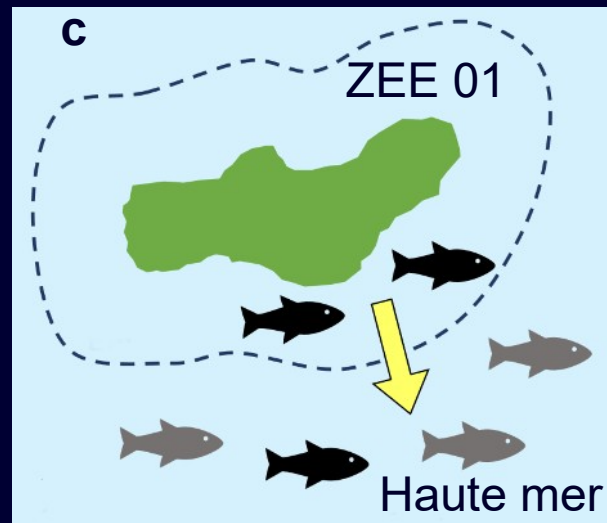
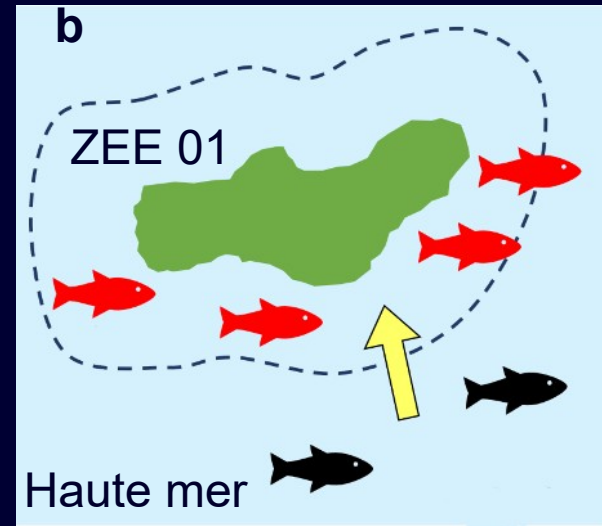
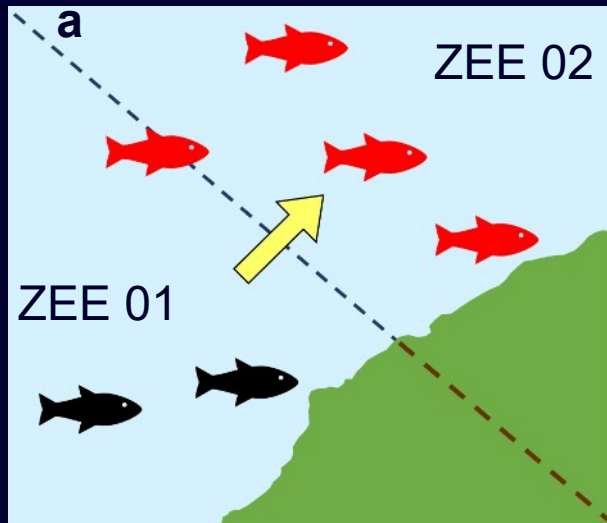
Une zone économique exclusive (ZEE) est un espace maritime sur lequel un État côtier exerce des droits souverains et économiques en matière d'exploration et d'usage des ressources naturelles.

Elle s'étend à partir de la ligne de base de l'État jusqu'à 200 milles marins de ses côtes au maximum.



Île Bouvet

Gestion halieutique et risque de conflits dans les relations internationales



ZEE : Zone Économique Exclusive

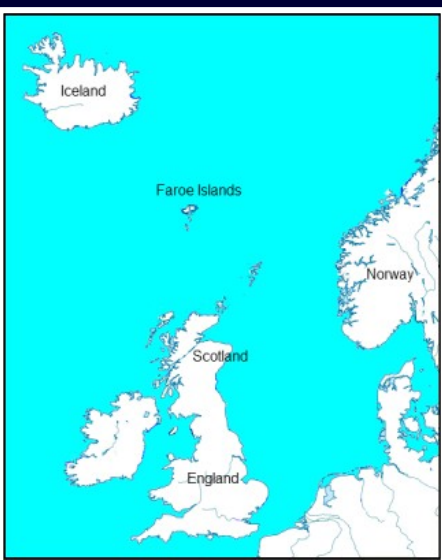
- a) : Nouveau stock migrant entre des ZEEs.
- b) : Nouveau stock migrant entre la haute mer et une ZEE.
- c) : Stock existant migrant entre une ZEE et la haute mer.
- d) : Stock existant migrant entre des ZEEs.

La « guerre du maquereau »

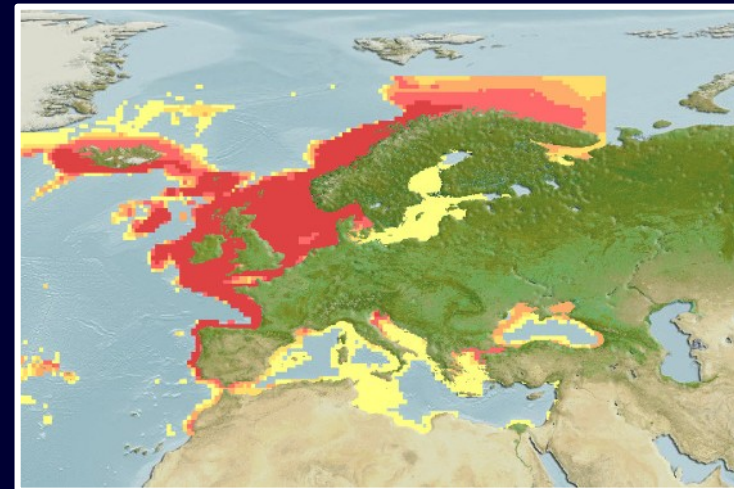
La « guerre du maquereau » a éclaté en 2007. Le stock de maquereau de l'Atlantique Nord-Est (*Scomber scombrus*) – une pêcherie alors gérée par l'Union européenne, la Norvège et les îles Féroé – s'est déplacé vers la zone économique exclusive (ZEE) de l'Islande.

Des conflits ont éclaté au sujet des quotas attribués, aggravés par des désaccords sur les facteurs responsables et donc sur la durée prévue du changement.

En l'absence de coopération, le stock de maquereau est devenu de plus en plus surexploité.

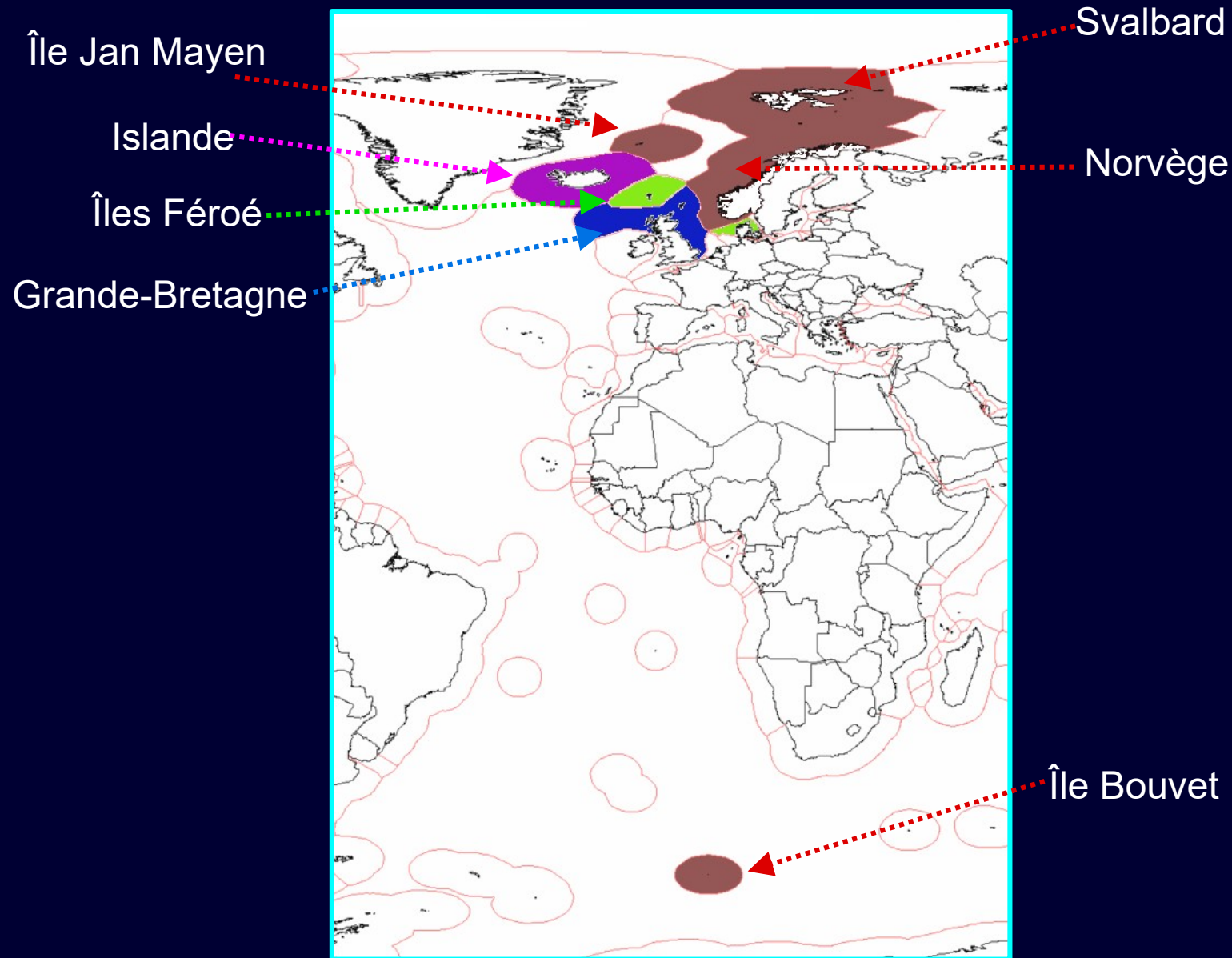


Pinsky, M.L., et al., 2018. Preparing ocean governance for species on the move. *Science* 360

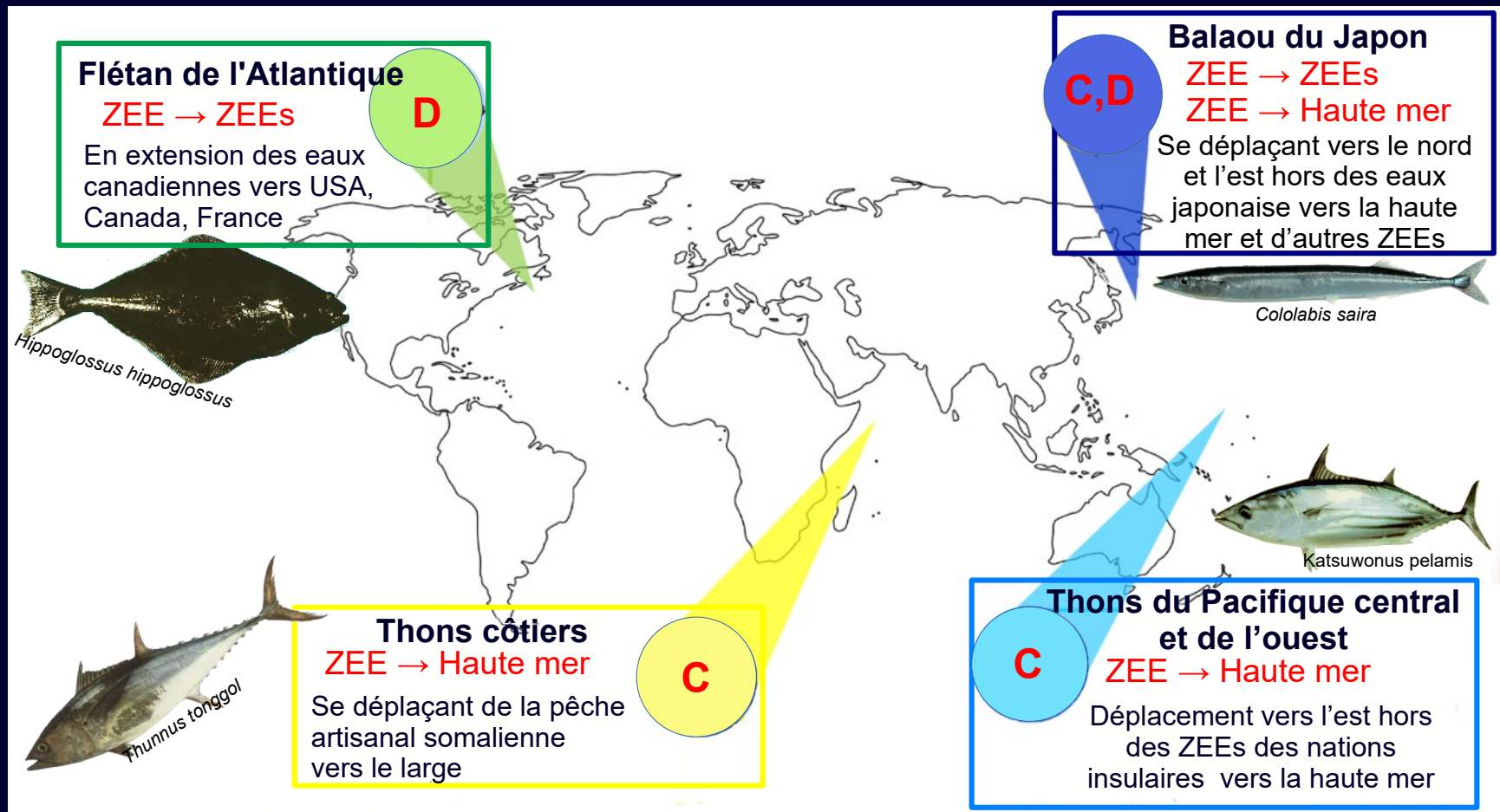


Zone Économique Exclusive

Exemple ZEE de la Norvège, Islande, GB, Danemark



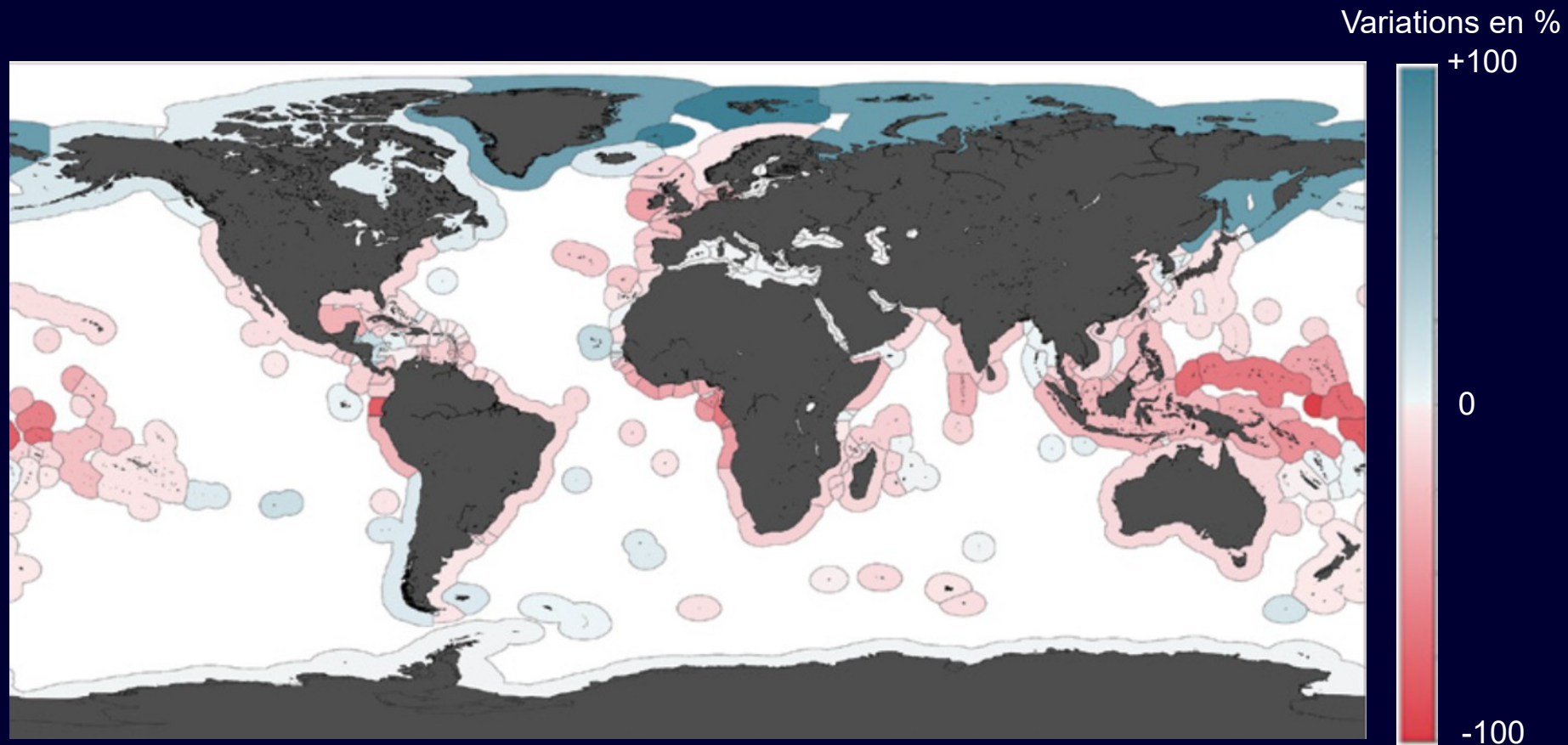
Facteurs de conflit et de résilience dans l'évolution des pêcheries transfrontalières



- Flétan de l'Atlantique (*Hippoglossus hippoglossus*)
- Thons du Pacifique central et de l'ouest : thon listao (*Katsuwonus pelamis*), thon albacore (*Thunnus albacares*), et thon obèse (*Thunnus obsesus*)
- Balaou du Japon (*Cololabis saira*)
- Thons côtiers de la corne de l'Afrique : Juvénile de thon albacore (*Thunnus albacares*), thon listao (*Katsuwonus pelamis*), thonine orientale (*Euthynnus affinis*), thon mignon (*Thunnus tonggol*), et thazard ponctué (*Scomberomorous guttatus*)

Changements potentiels sur la pêche

Variations du potentiel de capture maximal (%) dans le cadre du RCP 8.5 d'ici 2050 dans les zones d'activités exclusives (ZEE)



Projections du Modèle de bioclimat dynamique (DBEM)

En synthèse

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

		Arctique	EBUS ¹	Atlantique Nord	Pacifique Nord	Atlantique Sud	Pacifique Sud	Océan Austral	Océan Indien tempéré	Atlantique tropical	Océan indien tropical	Pacifique tropical
Changements physiques	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, des Canaries, de Californie et de Humboldt).

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

Écosystèmes	Systèmes											
	Arctique	EBUS ¹	Atlantique Nord	Pacifique Nord	Atlantique Sud	Pacifique Sud	Océan Austral	Océan 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

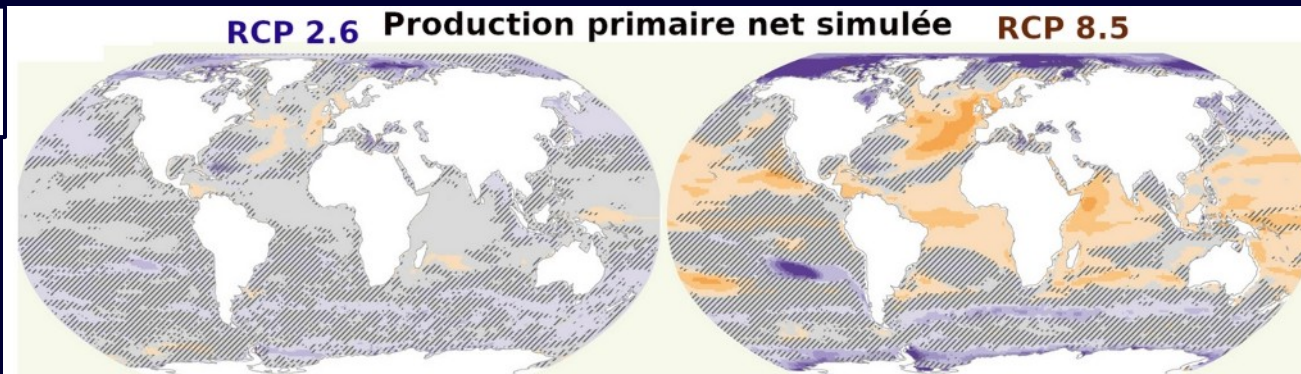
Degré de confiance accordé à l'attribution

- élevée
- moyenne
- faible

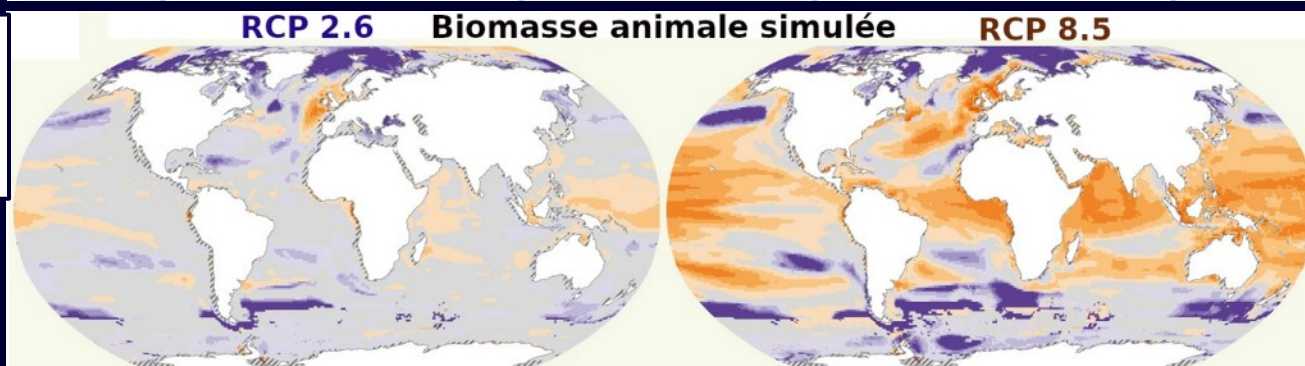
EBUS¹ : Eastern Boundary Upwelling Systems (Courants du Benguela, de sCanaries de Californie et de Humboldt).

Évolutions suivant les scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5

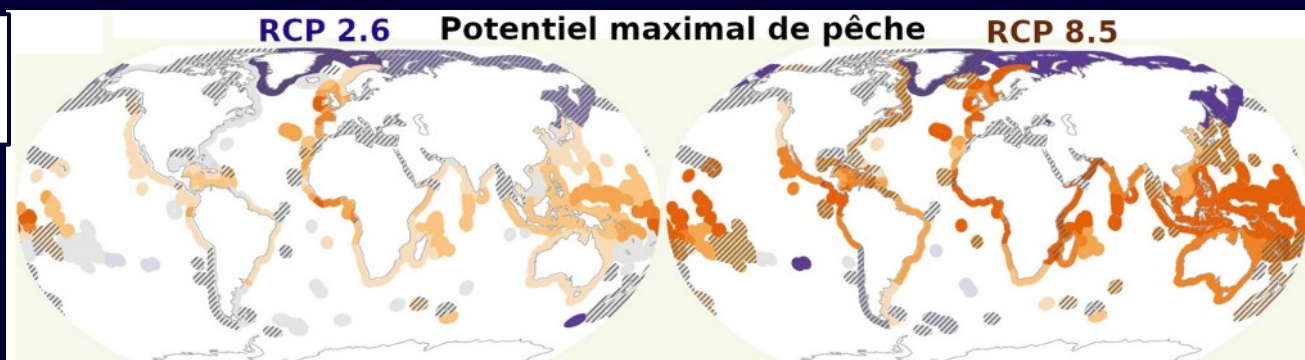
Production
primaire



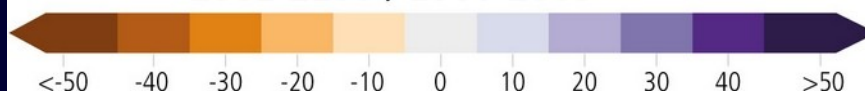
Biomasse
animale
marine



Potentiel
de pêche



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



 Inadéquation
modélisation

 no data

Merci de votre attention

Lien direct vers le fichier en PDF de la conférence



Site des conférences : <http://jpqlabat.fr/Conferences>

Emel : jeanphilippe@jpqlabat.fr