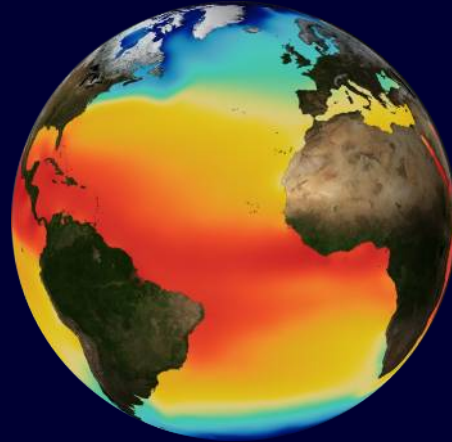




Océan et Océanographie, session 5 A



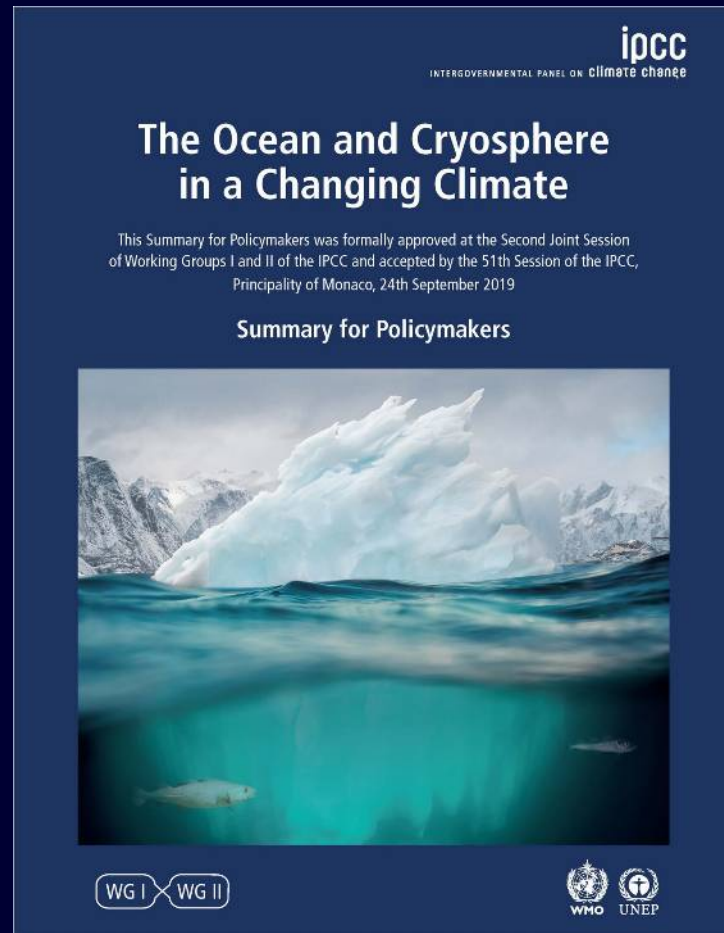
Changements climatiques et systèmes océaniques

Jean-Philippe Labat, 2024

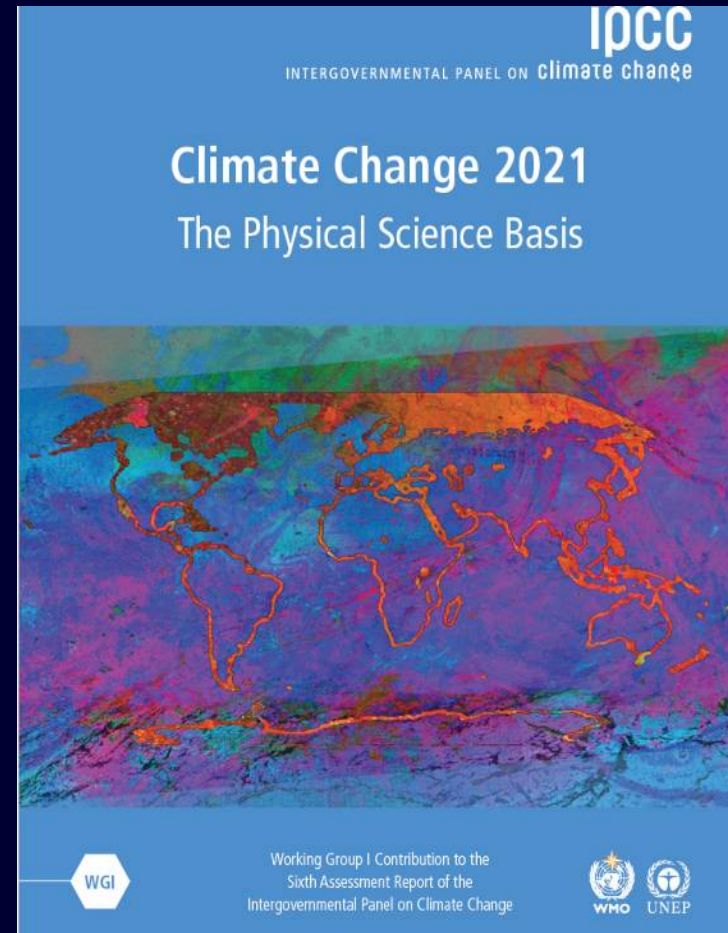


Les rapports du GIEC (IPCC).

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



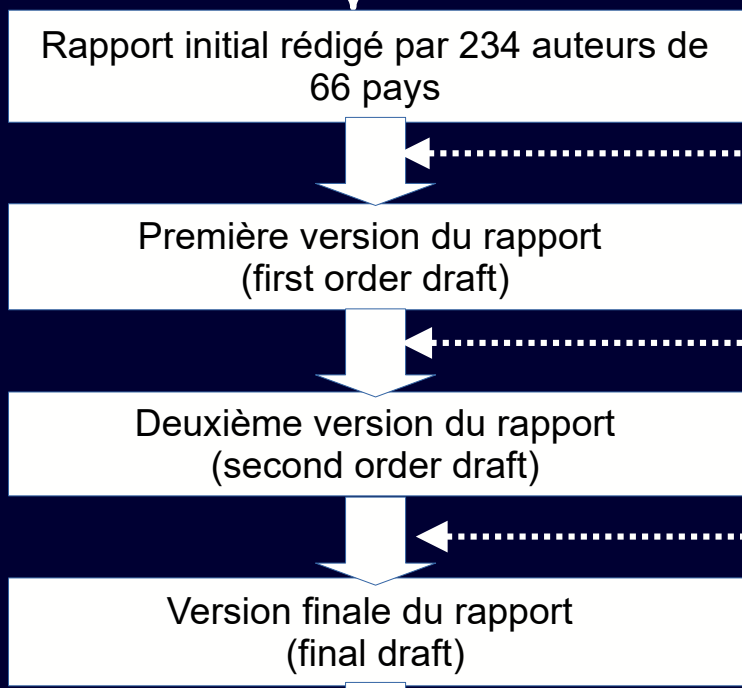
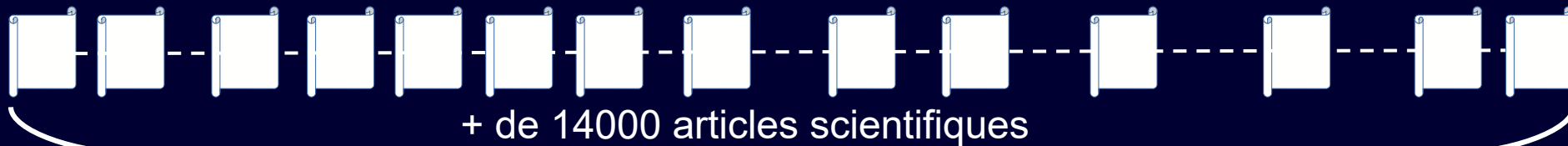
2019, rapport spécial sur l'océan et la cryosphère. GIEC



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



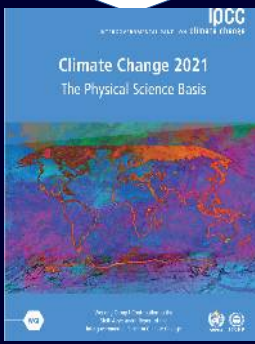
Relecture par les experts
23 462 commentaires

Relecture par les experts et les Gouvernements
51 387 commentaires

Relecture par les Gouvernements
3 158 commentaires

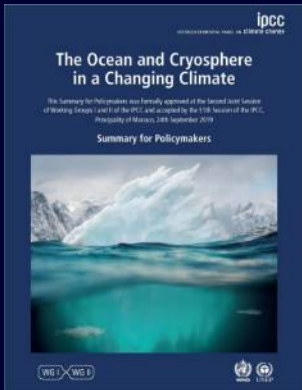
La représentation du degré de certitude

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 %



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)

Exemples de quelques éléments du constat pour l'océan



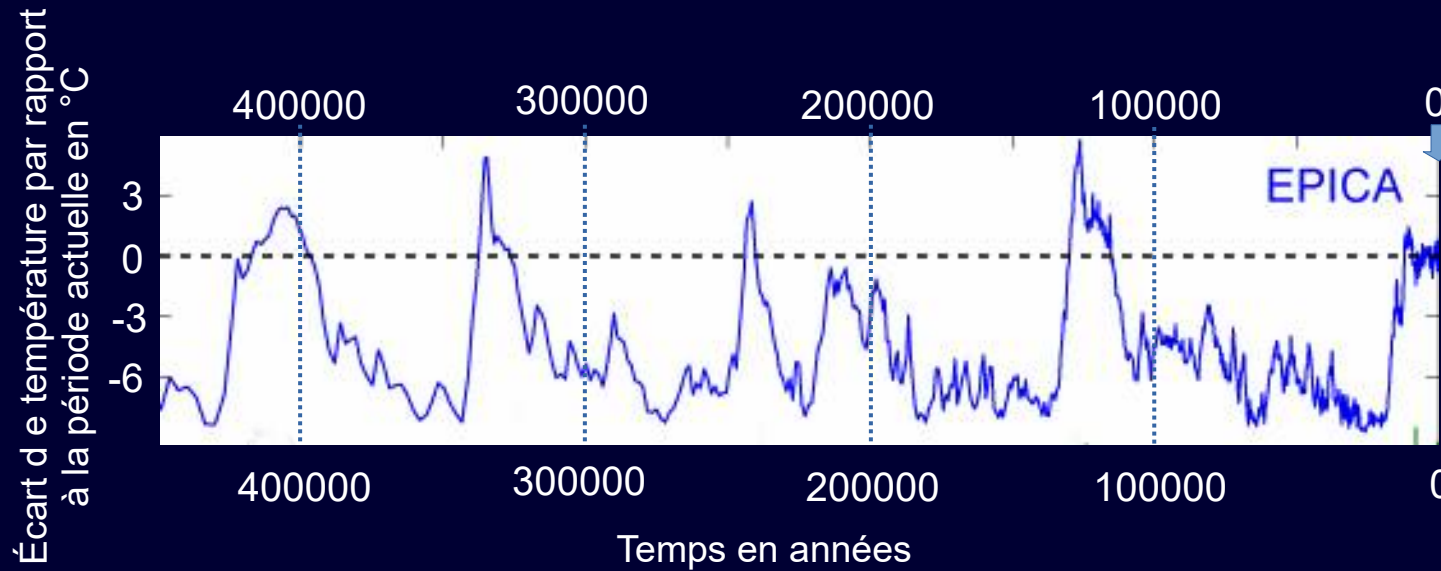
- L'océan mondial s'est réchauffé depuis 1970 et a absorbé plus de 90 % de la chaleur excédentaire du système climatique (confiance élevée).
- Les vagues de chaleur marines ont très probablement doublé de fréquence depuis 1982 et augmentent d'intensité (très élevé).
- En absorbant plus de CO₂, l'océan a subi une acidification de surface croissante (quasi certaine).

D'où cela vient-il ??

Des effets des changements climatiques sur l'océan

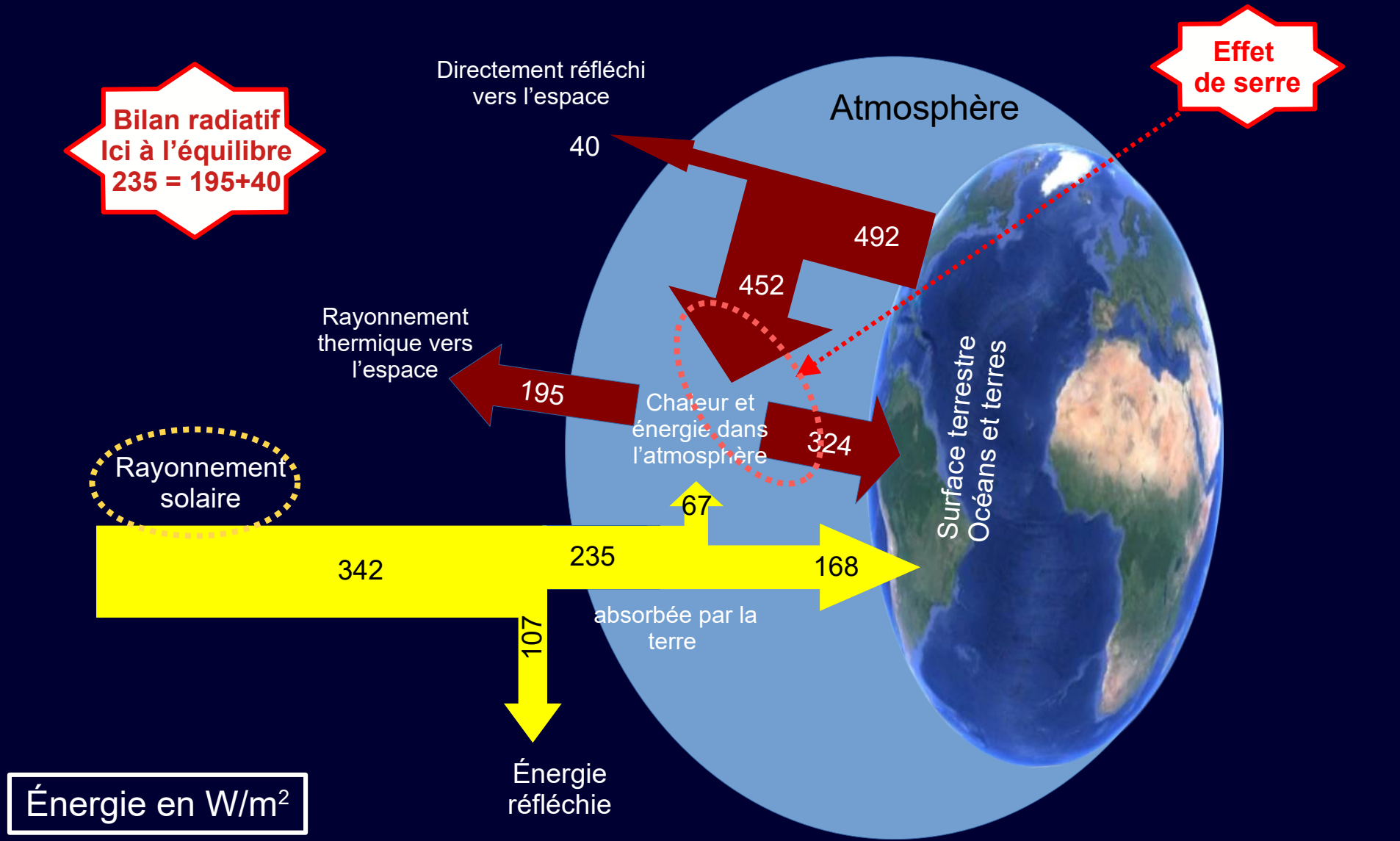
Pourquoi le climat change sur terre ?

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



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

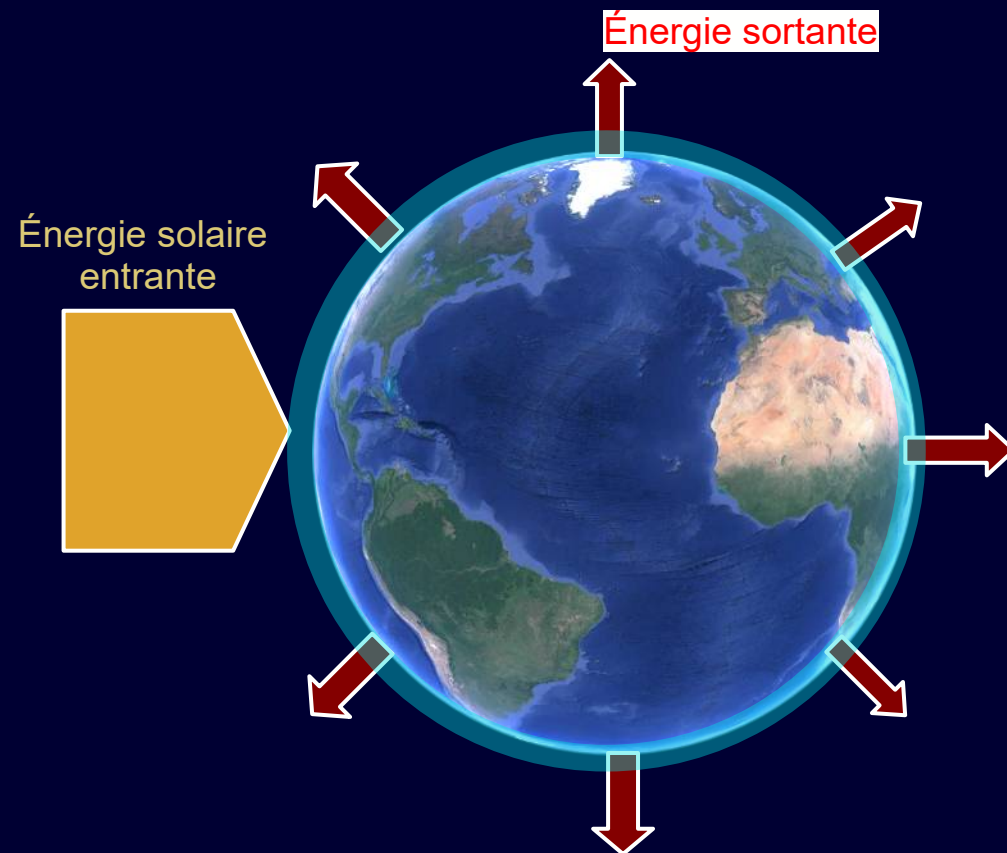
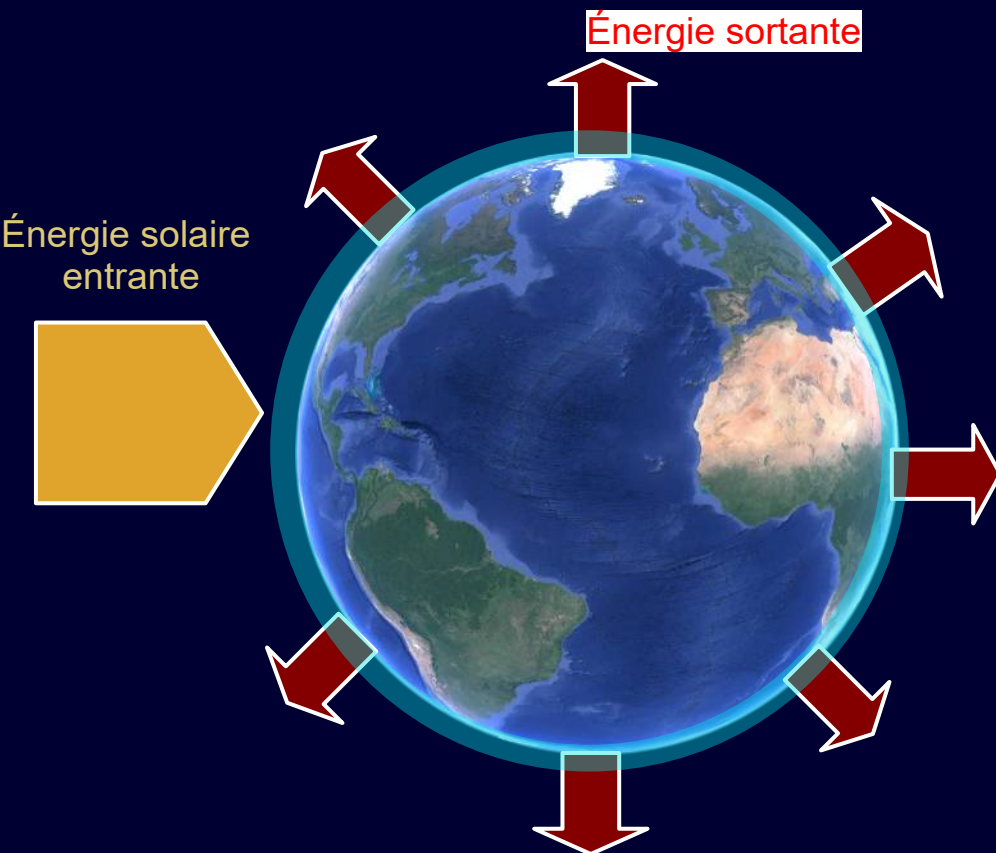
Le bilan radiatif de la terre



Le bilan radiatif de la terre va agir sur le climat

Climat stable : en équilibre
Entrant = sortant

Réchauffement si
Entrant > sortant

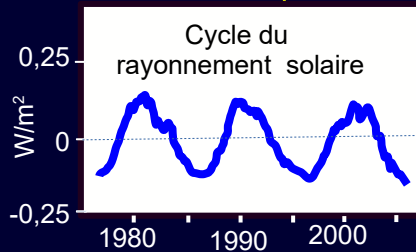
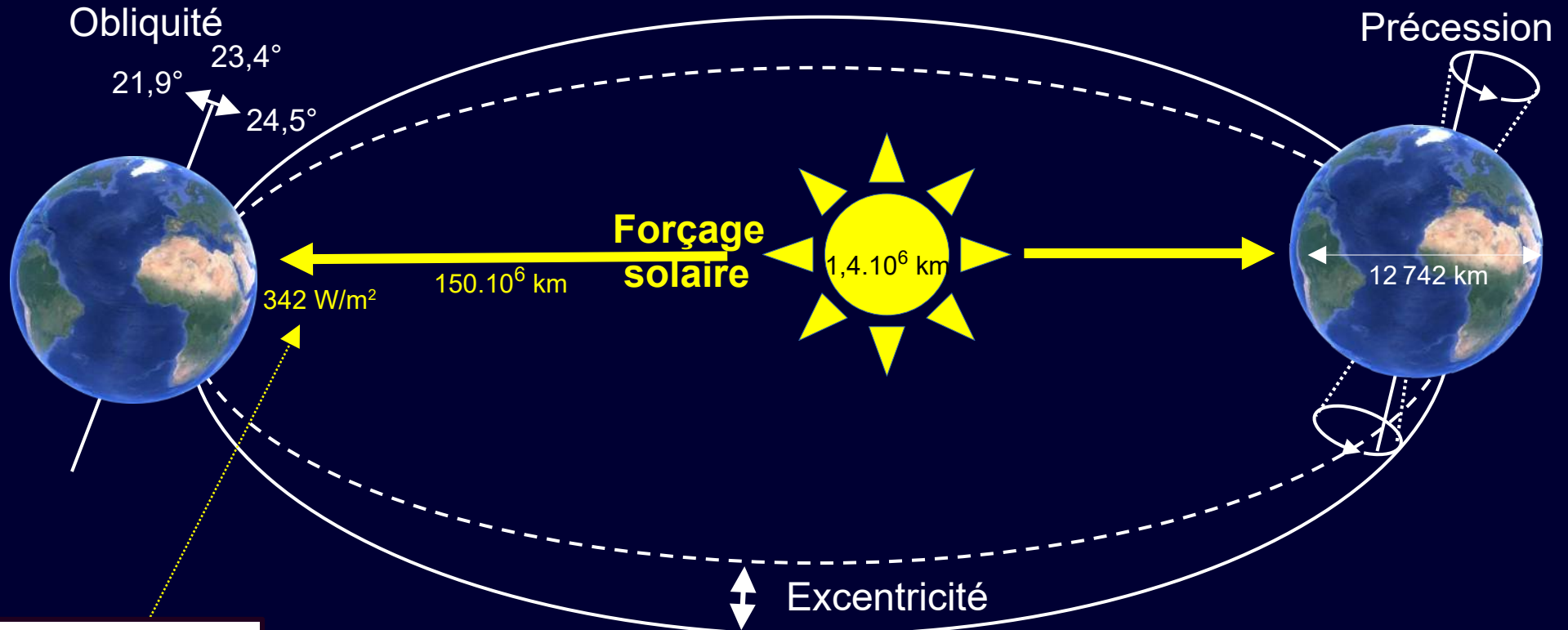


Et

Refroidissement si
Entrant < sortant

L'énergie solaire entrante est soumise à des variations astronomiques

Variations astronomiques : variation du forçage solaire et cycles de Milankovič

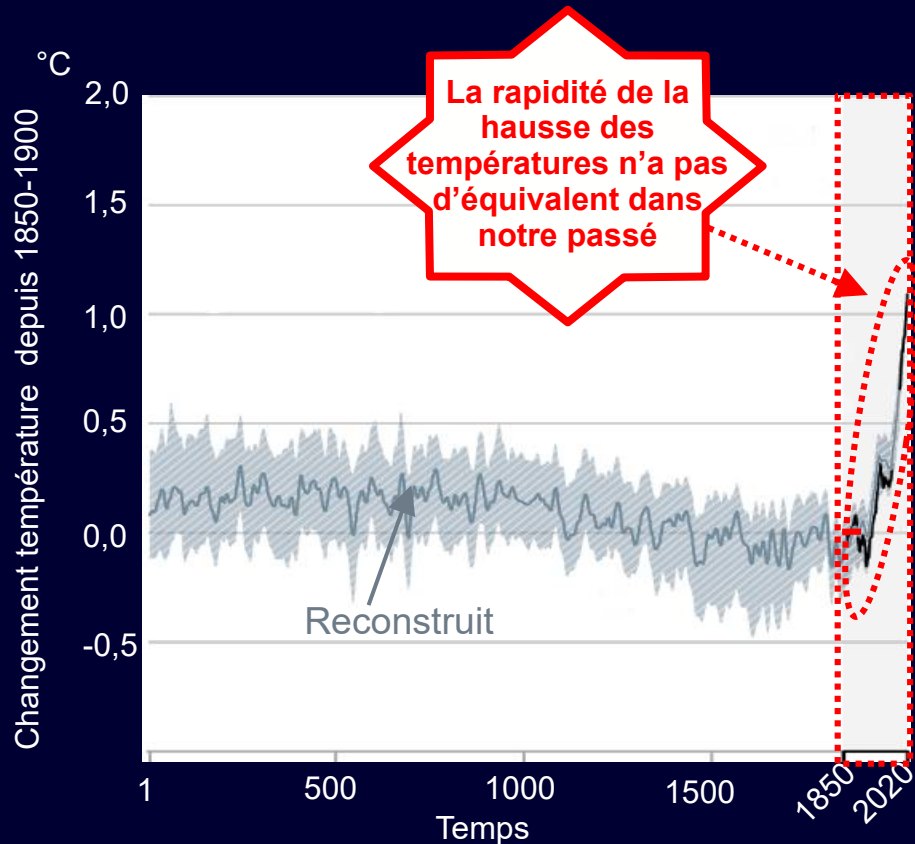


Cycles de Milankovič

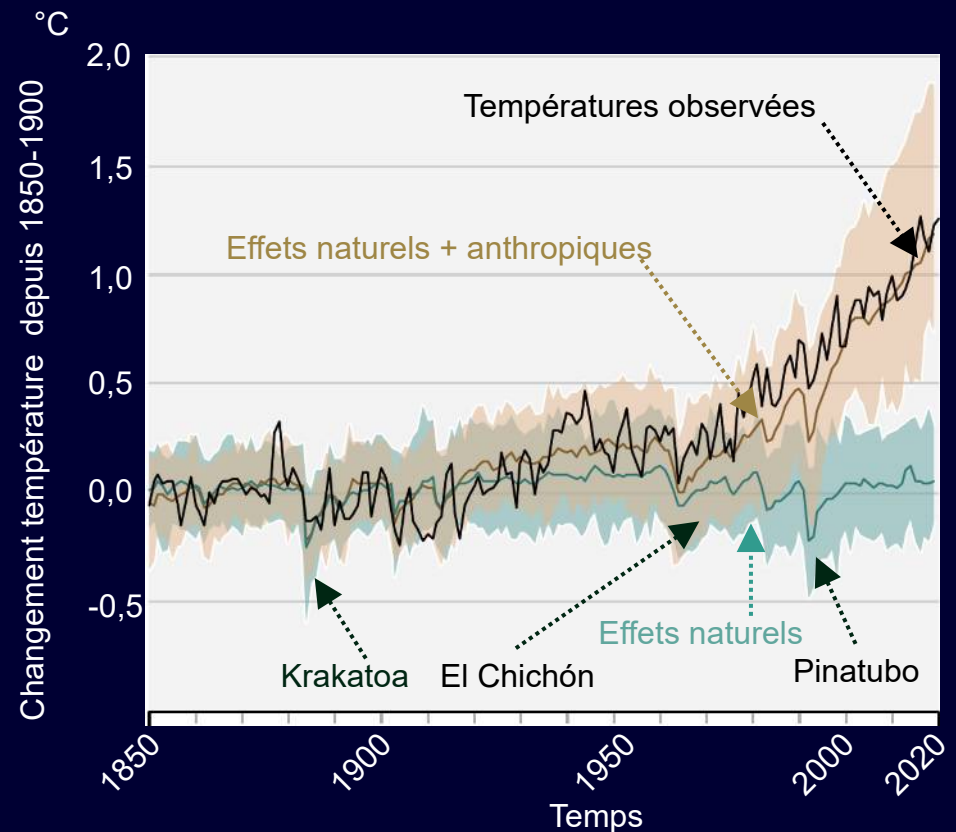
- **Excentricité** : le degré d'aplatissement de l'ellipse par rapport à un cercle. Période principale 413 000 ans.
- **Obliquité** : l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre. Période d'environ 41 000 ans.
- **Précession** : changement graduel d'orientation de l'axe de rotation. Période 21 000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

Anomalies des températures globales de surface. (Par rapport à la période 1850 – 1900)

Changement de la température mondiale, reconstruite (1-2000) et observée (1850-2020)
Depuis 2000 ans



Changement de la température mondiale, observé et simulé : facteurs humains et naturels.
Depuis 1850

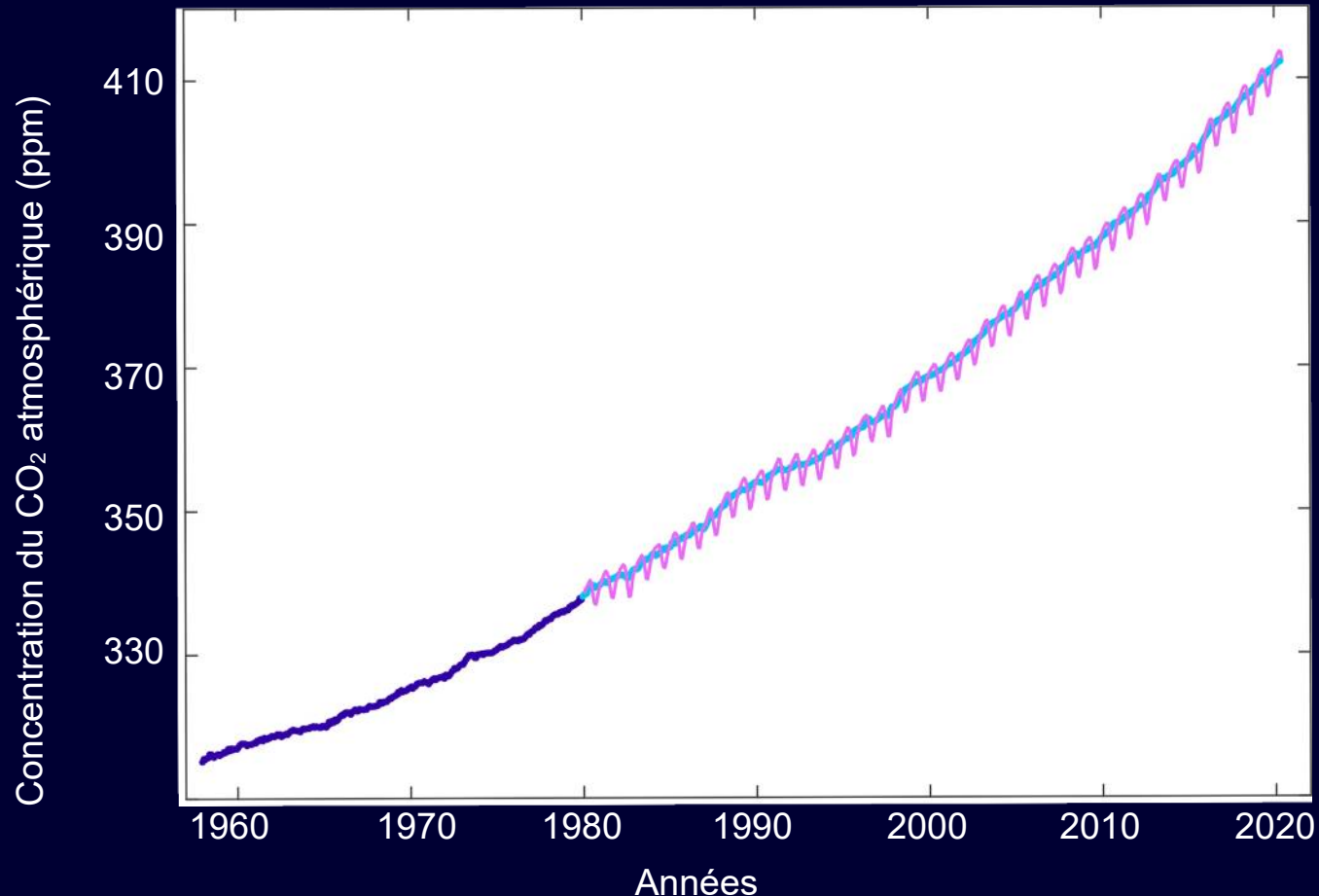


Effets naturels = Obliquité + précession + excentricité + Δ du forçage solaire + volcanisme

Effets anthropiques = Augmentation de l'effet de serre

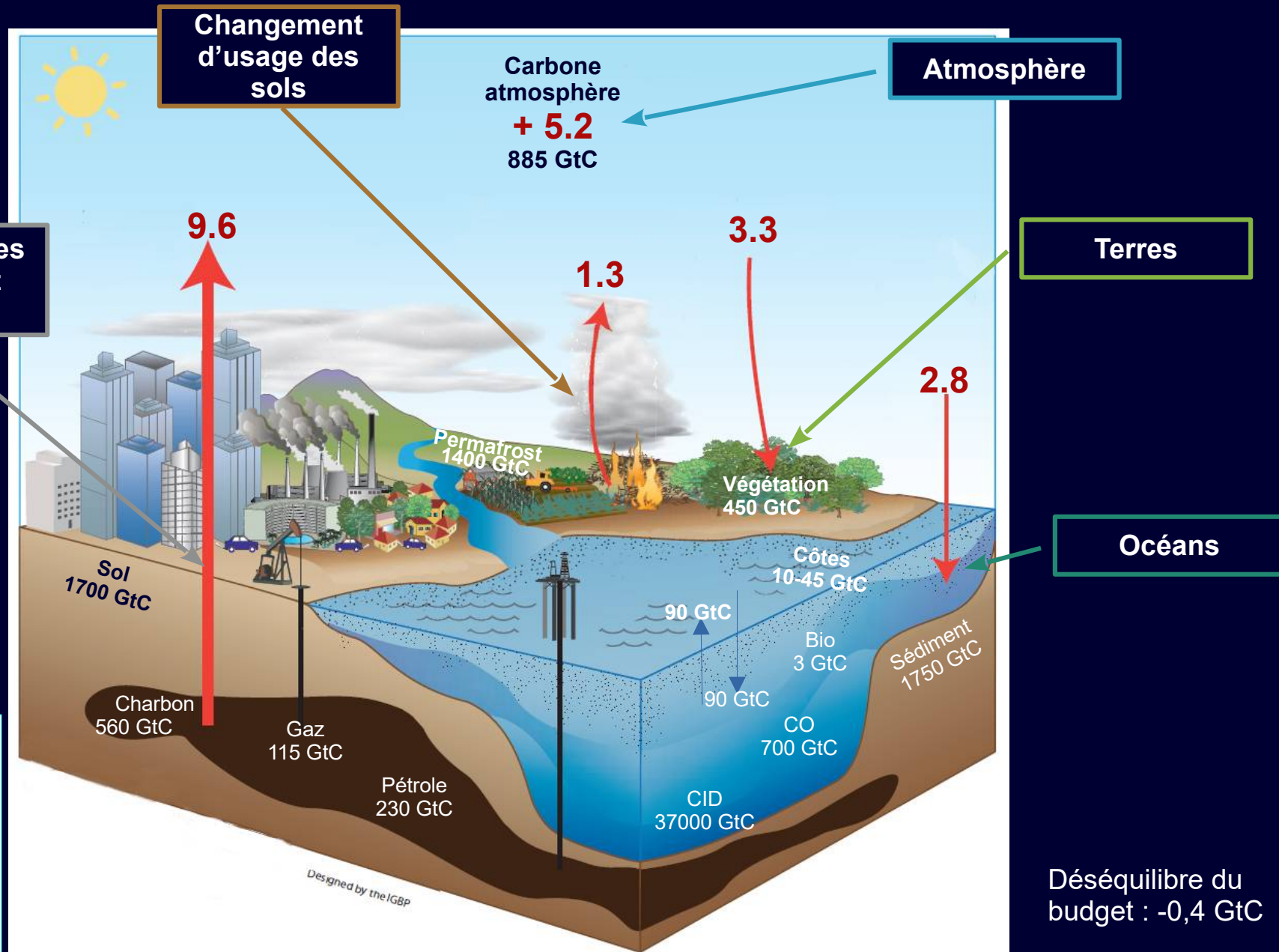
Augmentation du CO₂ atmosphérique, principal gaz à effet de serre

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



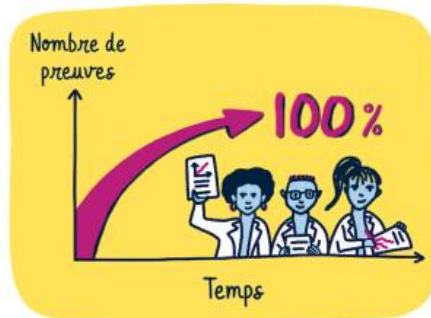
CONSENSUS POLITIQUE

: 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

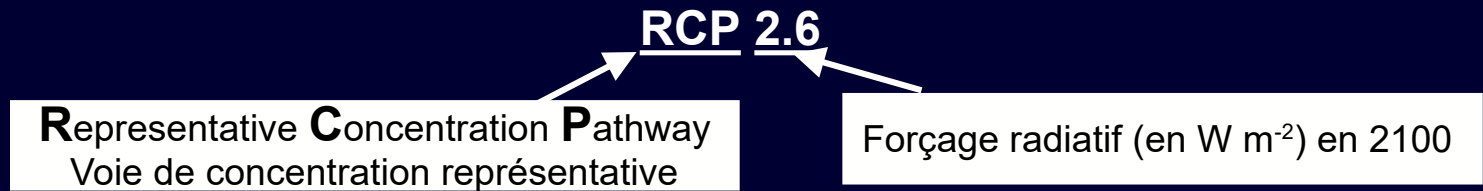
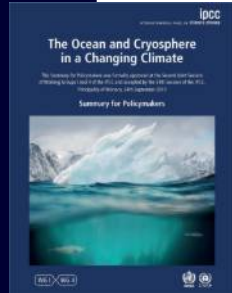
ALORS, 97%, 99% OU 100% ?

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]

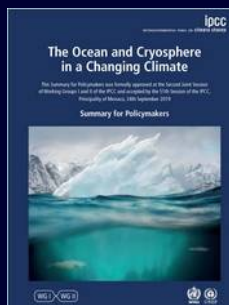
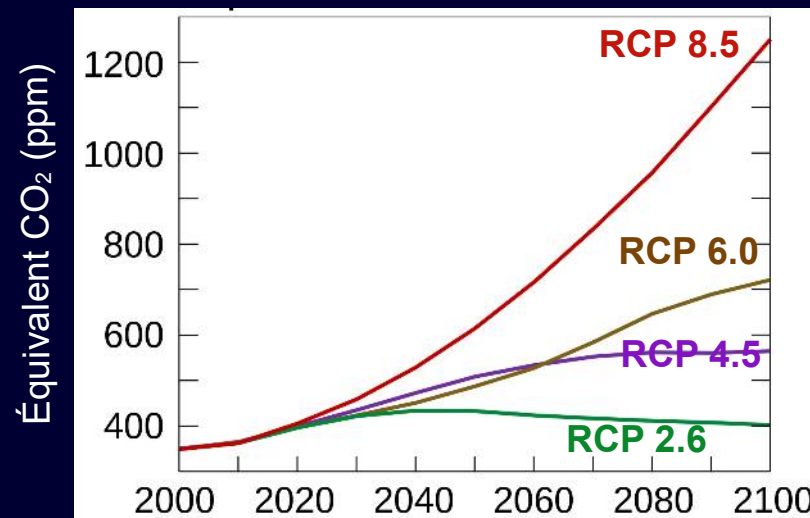


Scénarios d'évolution climatique pour différents forçages radiatifs

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).

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 en 2022: 417.06 ppm
419.3 ppm en 2023 ?



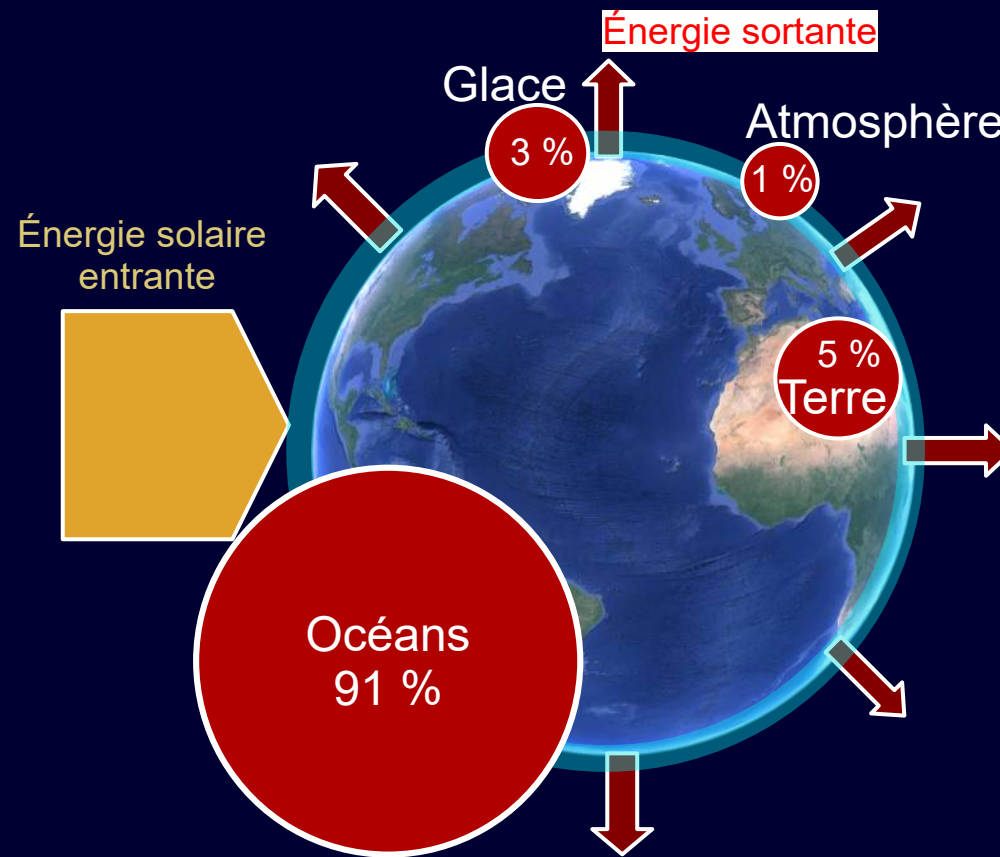
Que devient l'excès de chaleur dû au forçage radiatif ?

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)

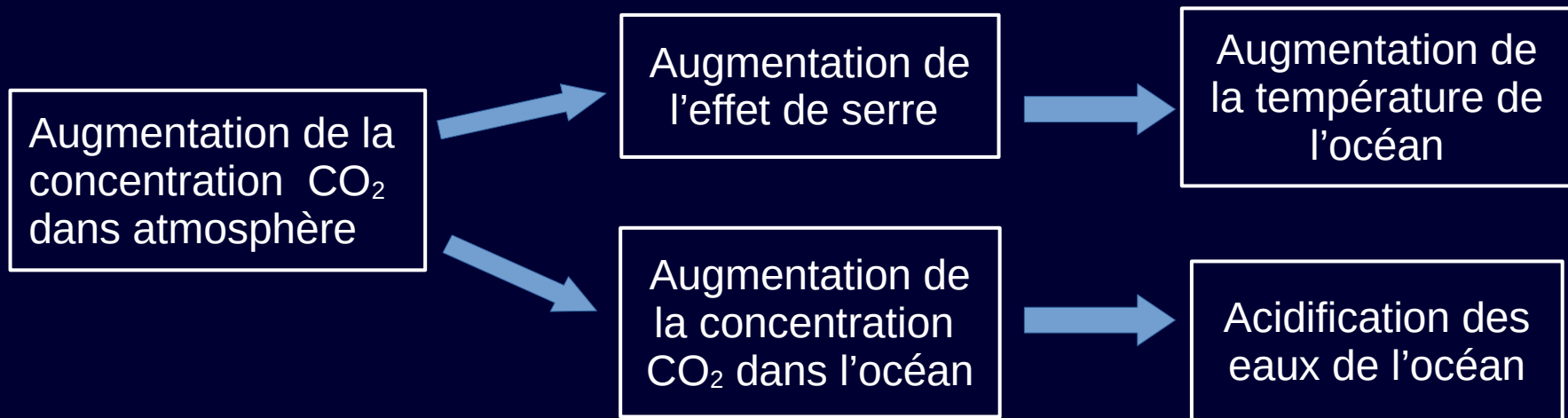
L'excès d'énergie est absorbé par l'océan, la terre, la glace et l'atmosphère



Changements climatiques et océans

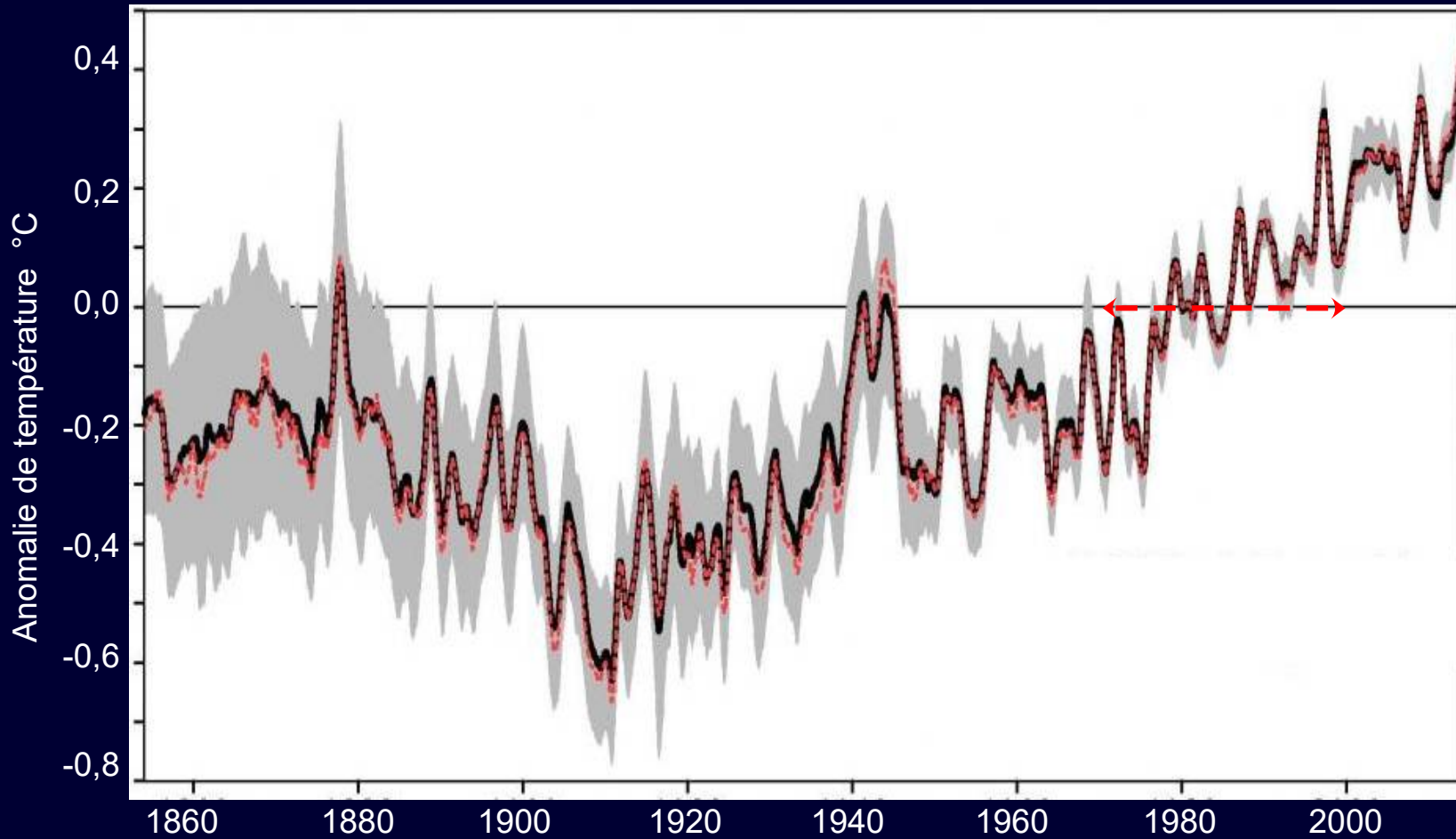
Deux effets principaux, physique et chimique :

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



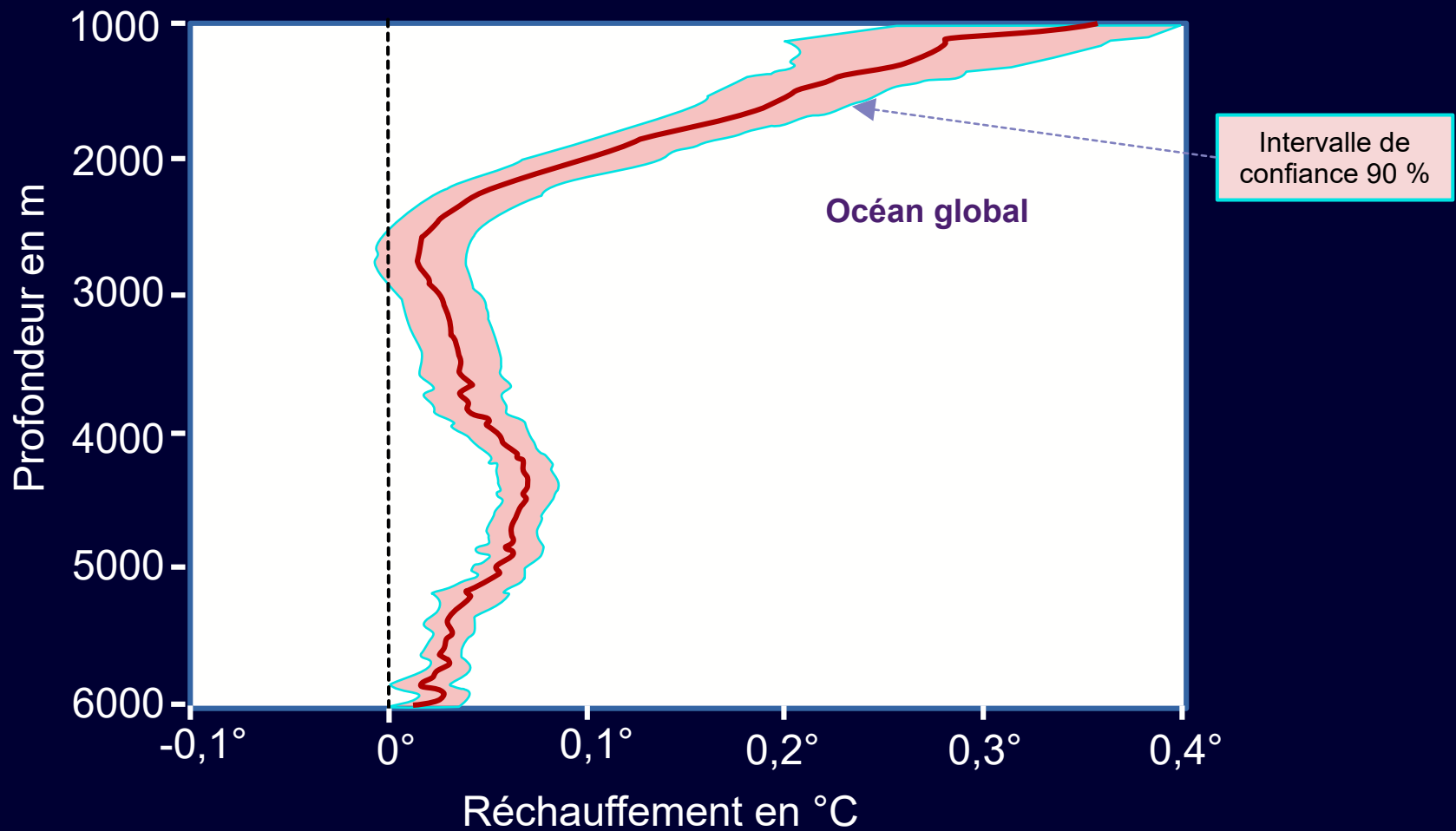
Evolution de la température de surface de l'océan de 1854-2016

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

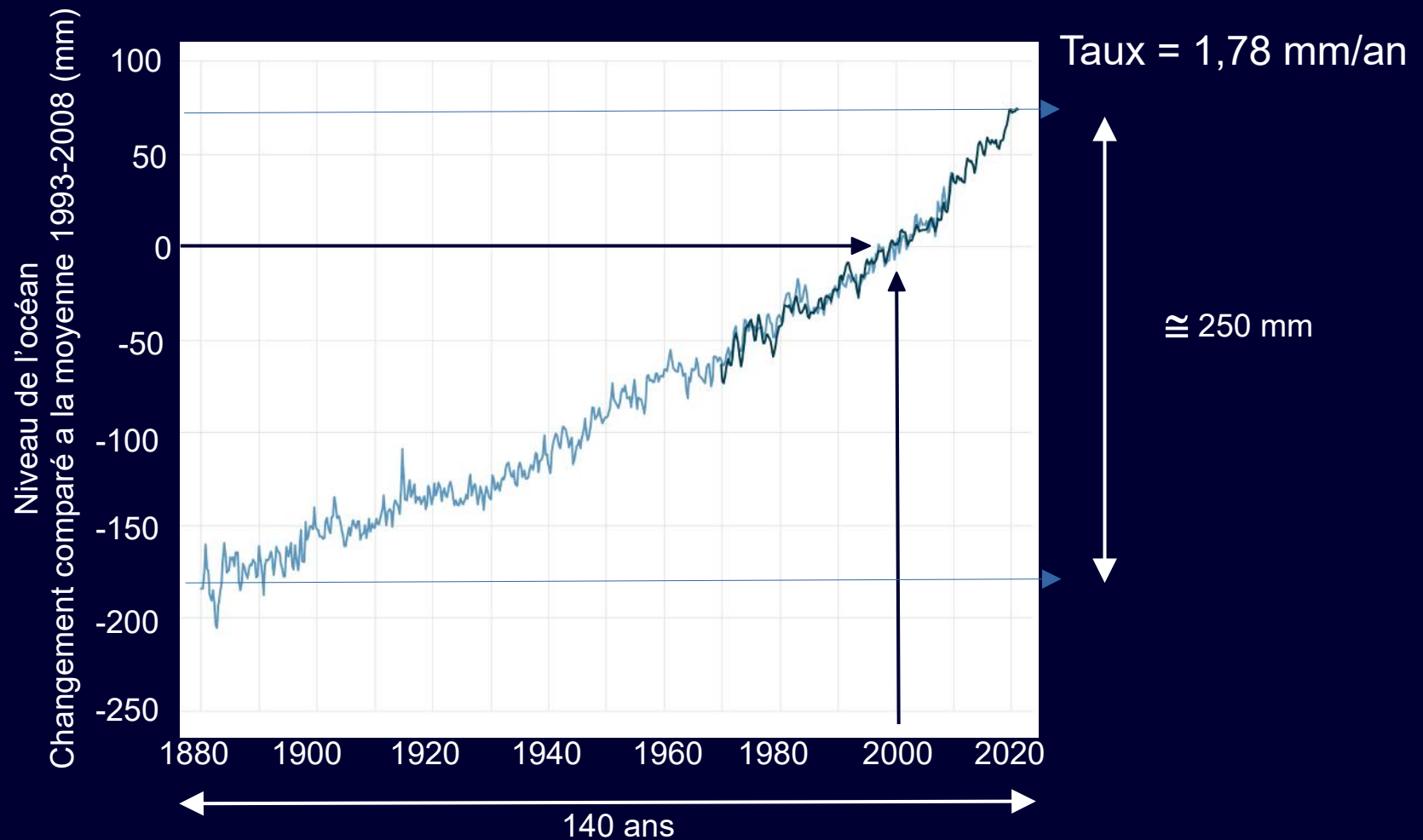


Taux de réchauffement pour l'océan global observé de 1981 à 2019 en fonction de la profondeur et avec l'intervalle de confiance à 90 %

Effets du réchauffement des océans

1-Variation du niveau global des océans

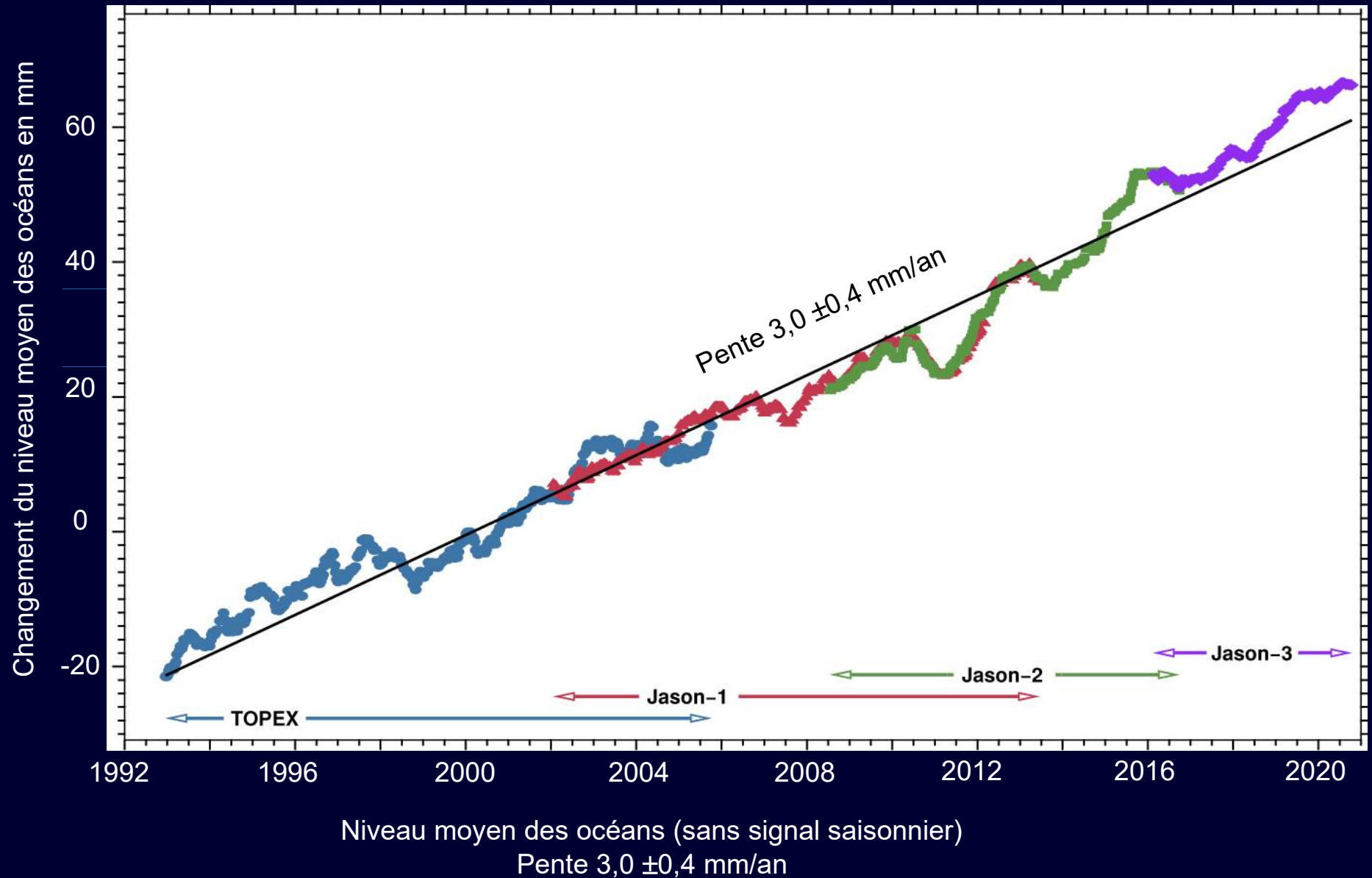
Variation du niveau global des océans 1980 -2020



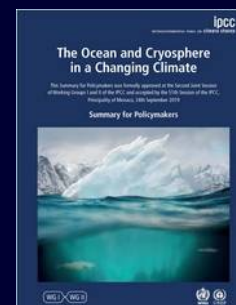
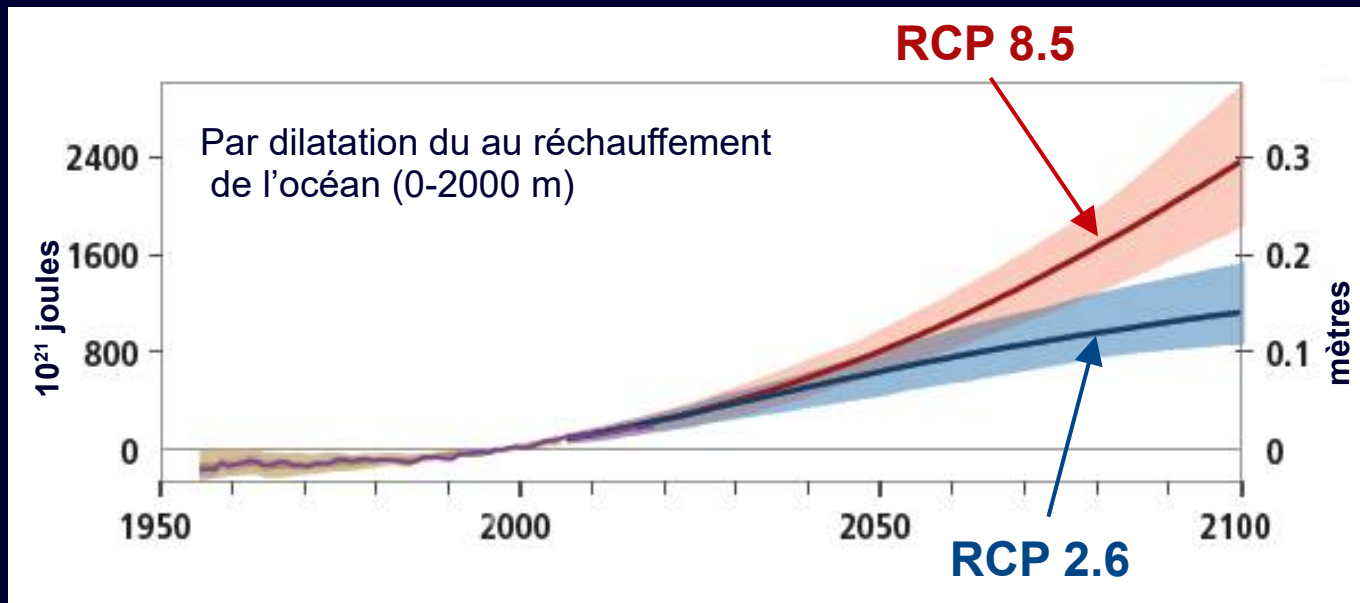
Estimations saisonnières (3 mois) du niveau de la mer à partir des données de Church and White (2011) (ligne bleu clair) et de l'Université d'Hawaï Fast Delivery (bleu foncé).

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

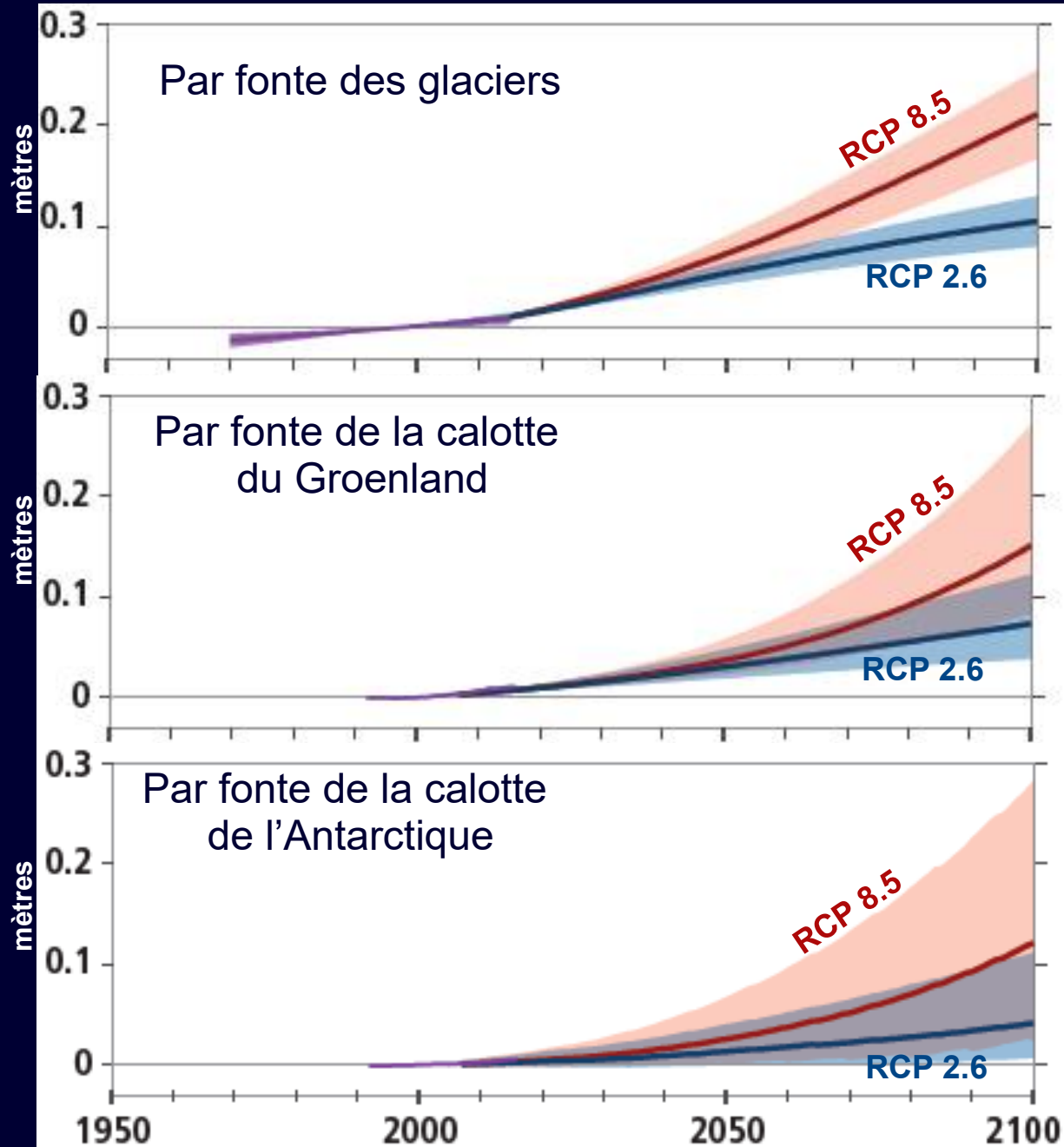
Changement du niveau moyen des océans



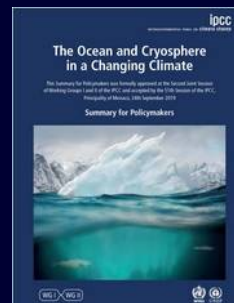
Élévation du niveau des océans par la dilatation, observée et prévue dans des scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5



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

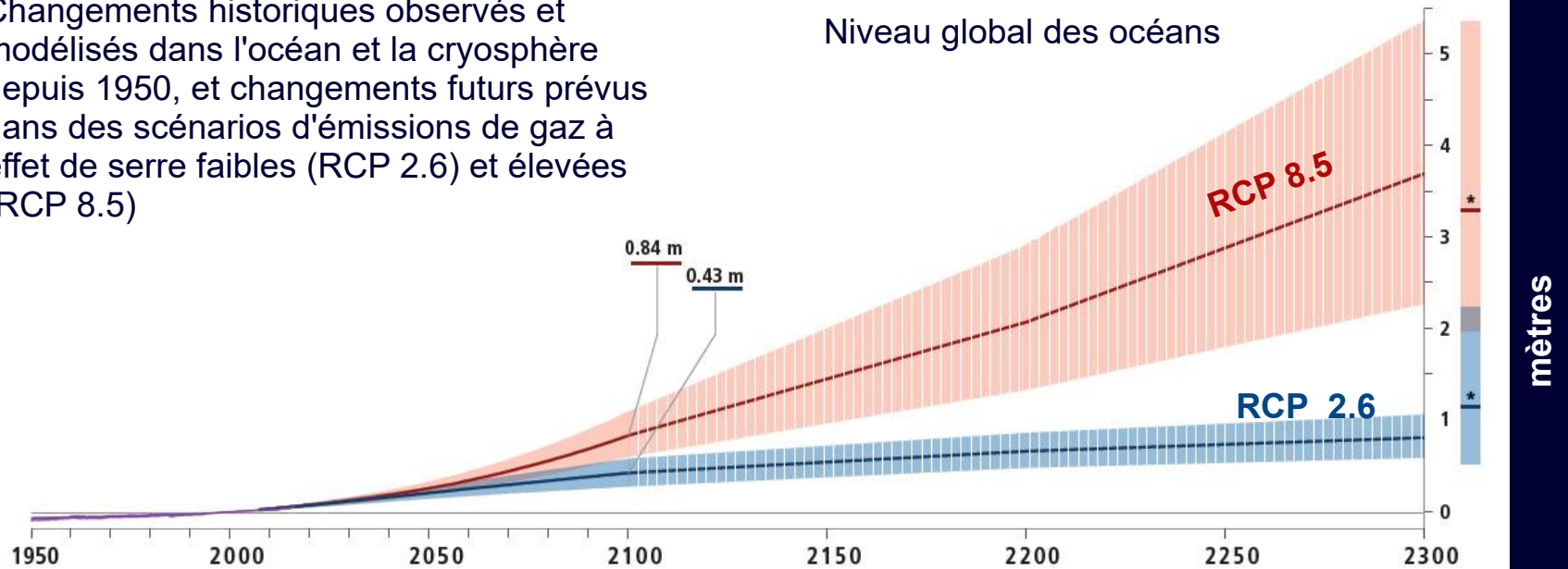


Changements relatifs par rapport à la période 1986-2005



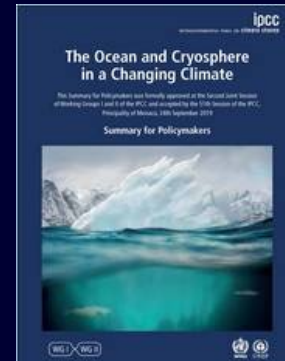
Élévation du niveau global des océans observée et prévue dans des scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5

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 élevés (RCP 8.5)



Changements relatifs par rapport à la période 1986-2005

Scenario de faible probabilité mais à fort impact.
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.



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

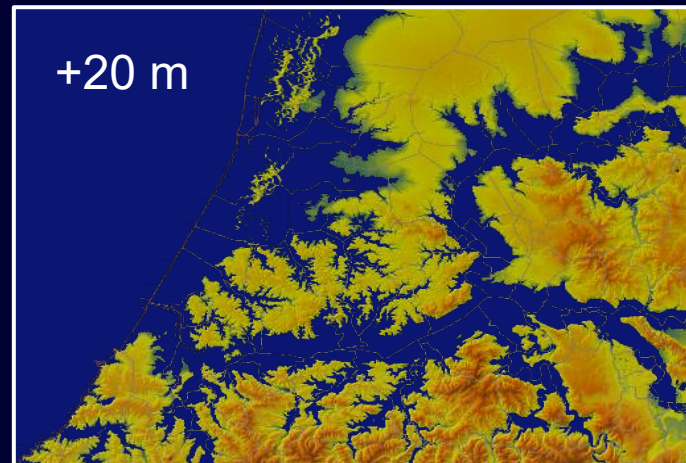
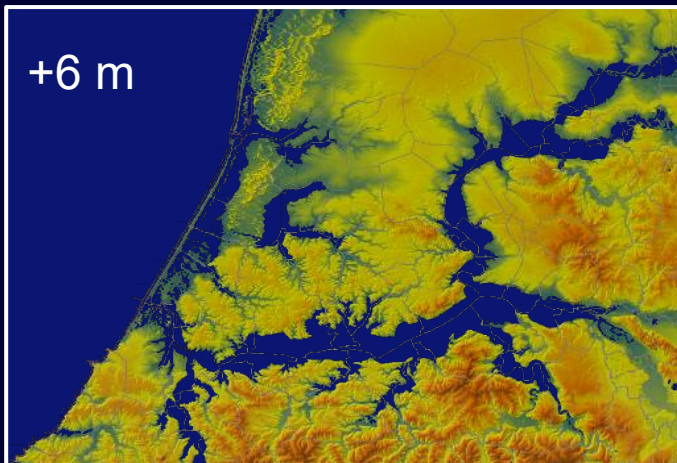
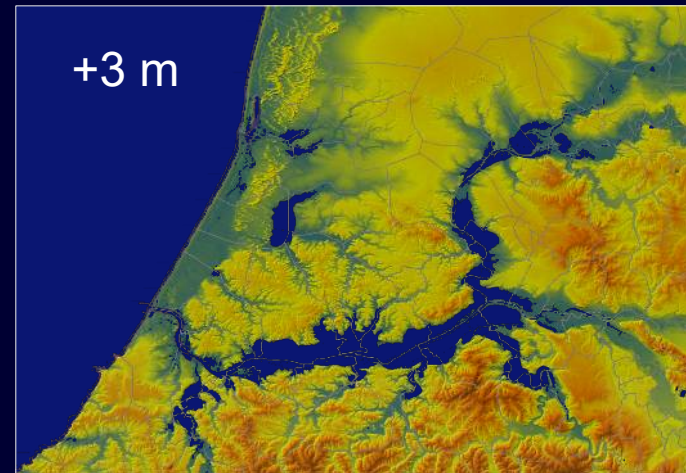
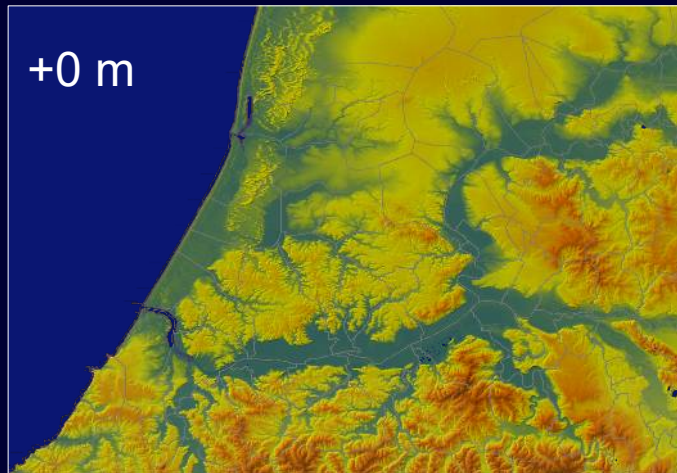
Élévation du niveau global des océans à long terme.

À plus long terme, le niveau de la mer va inéluctablement continuer à s'élever pendant des siècles à des millénaires, du fait de la poursuite du réchauffement de l'océan profond et de la fonte des calottes glaciaires, et restera élevé pendant des milliers d'années (degré de confiance élevé).

Au cours des 2000 prochaines années, le niveau moyen de la mer à l'échelle globale s'élèvera :

- De 2 à 3 m si le réchauffement est limité à 1,5 °C,
- de 2 à 6 m s'il est limité à 2 °C,
- de 19 à 22 m pour un réchauffement de 5 °C,

et continuera à augmenter au cours des millénaires suivants (degré de confiance faible).



Effets du réchauffement des océans

2- L'augmentation de la stratification des océans

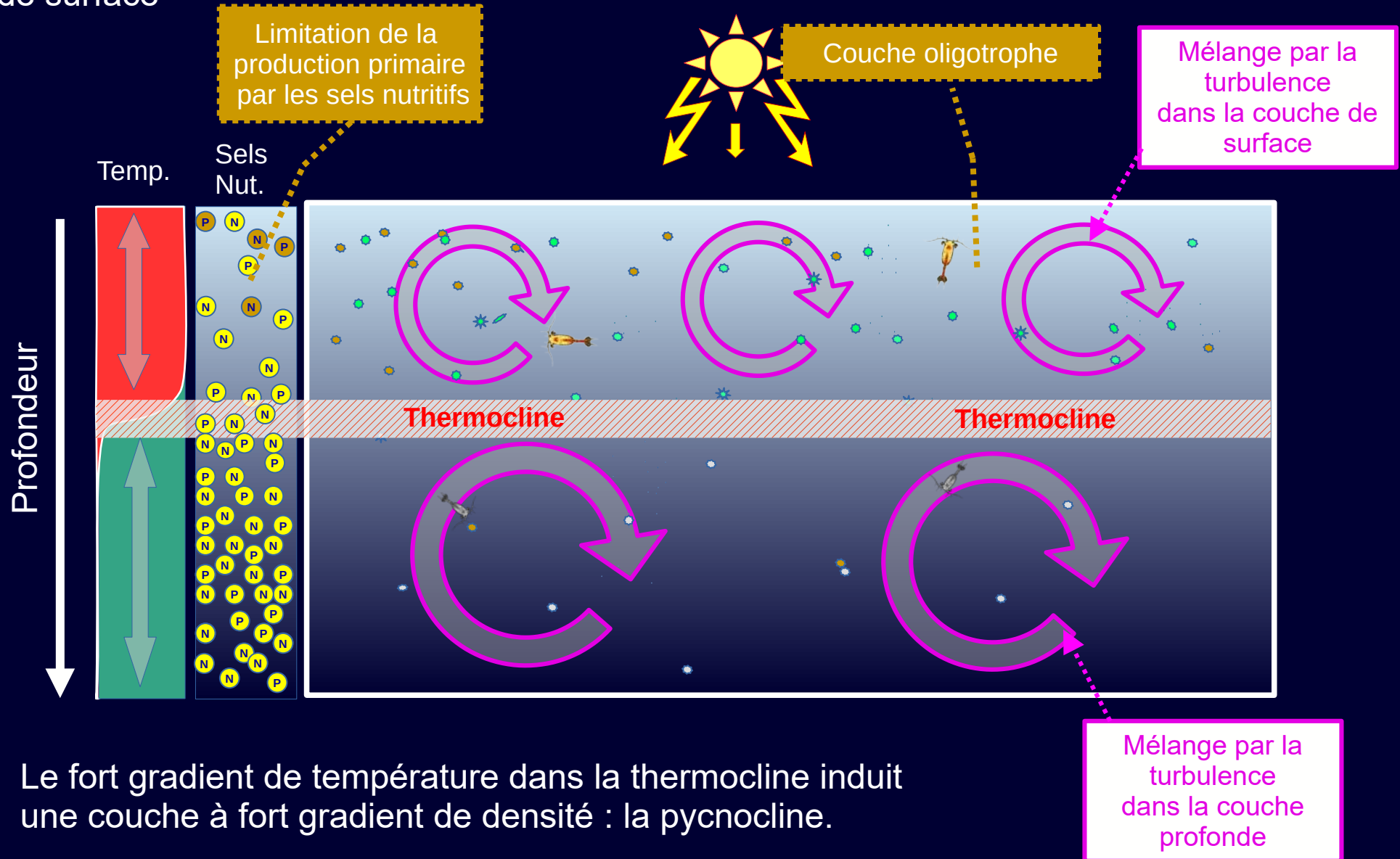
La stratification de la densité a augmenté dans les 200 m supérieurs de l'océan depuis 1970 (très probablement).

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 stratifié

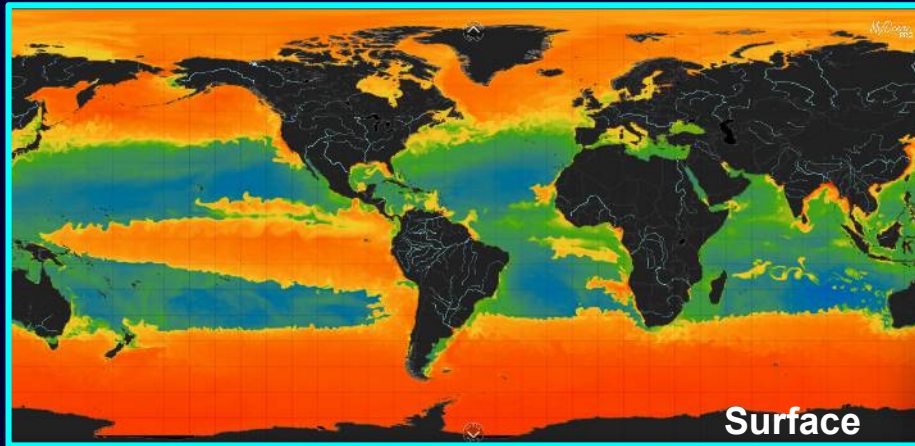
La stratification de l'océan entraîne l'appauvrissement en éléments nutritifs des eaux de surface



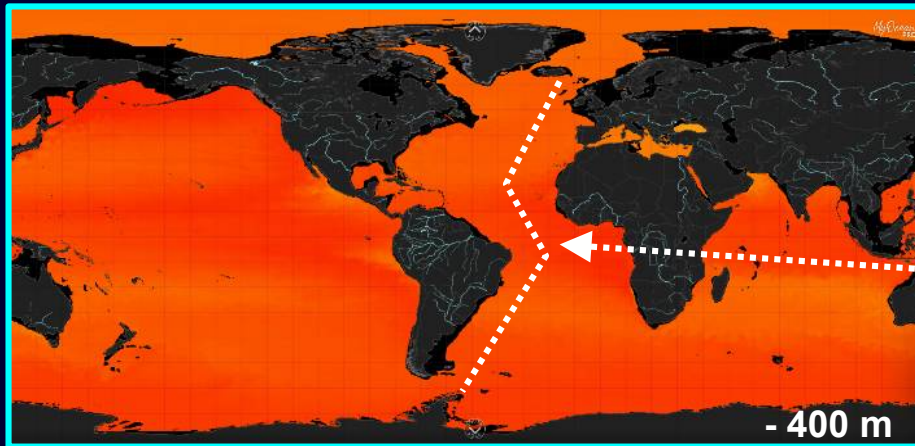
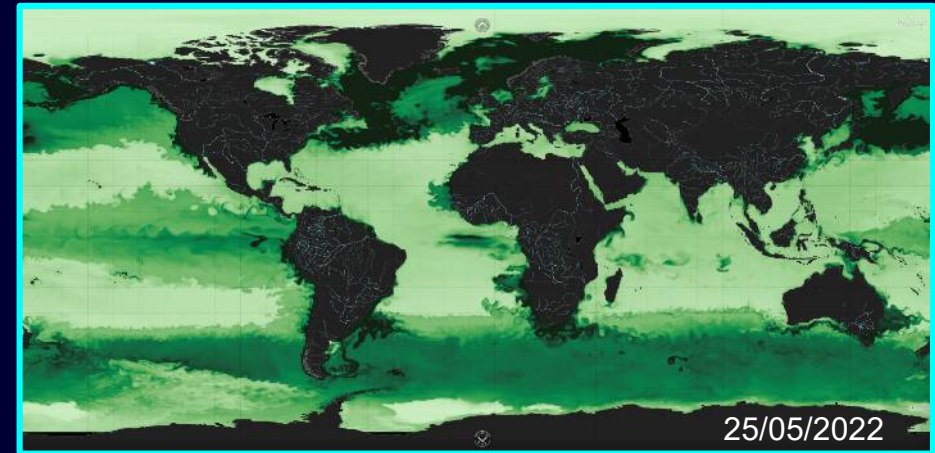
Le fort gradient de température dans la thermocline induit une couche à fort gradient de densité : la pycnocline.

La stratification permanente des zones tropicales

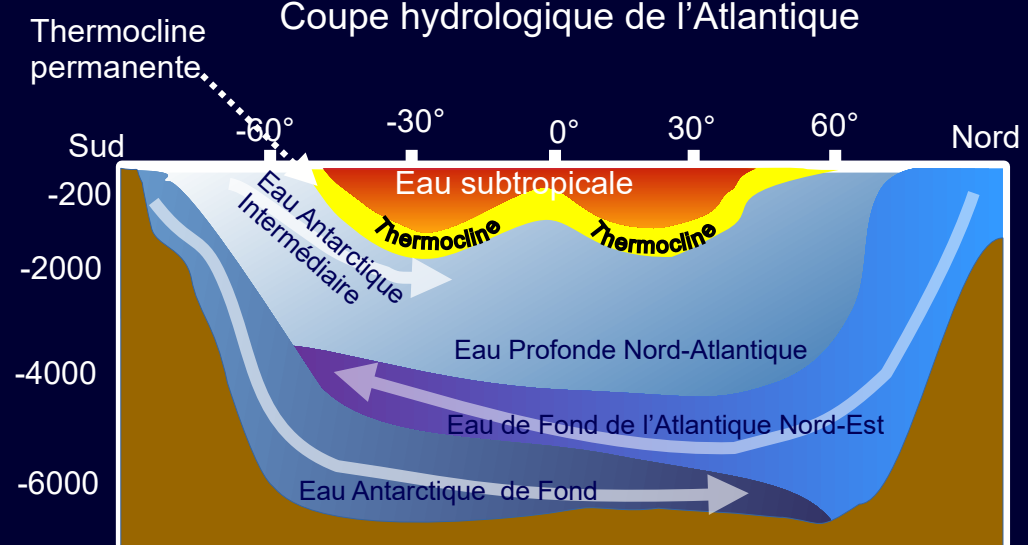
Stratification des nitrates



Chlorophylle

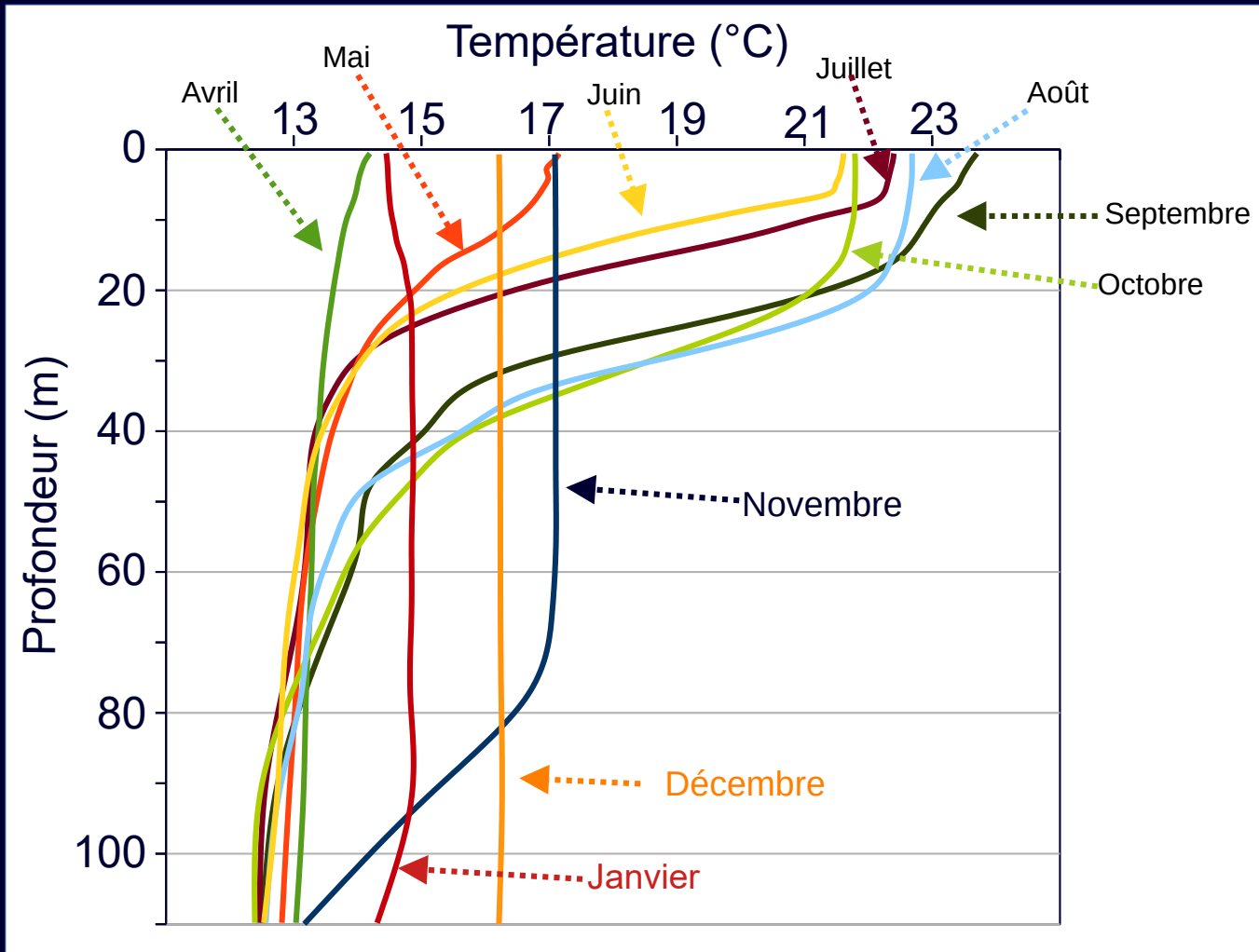


Coupe hydrologique de l'Atlantique



Stratification saisonnière durant la période estivale

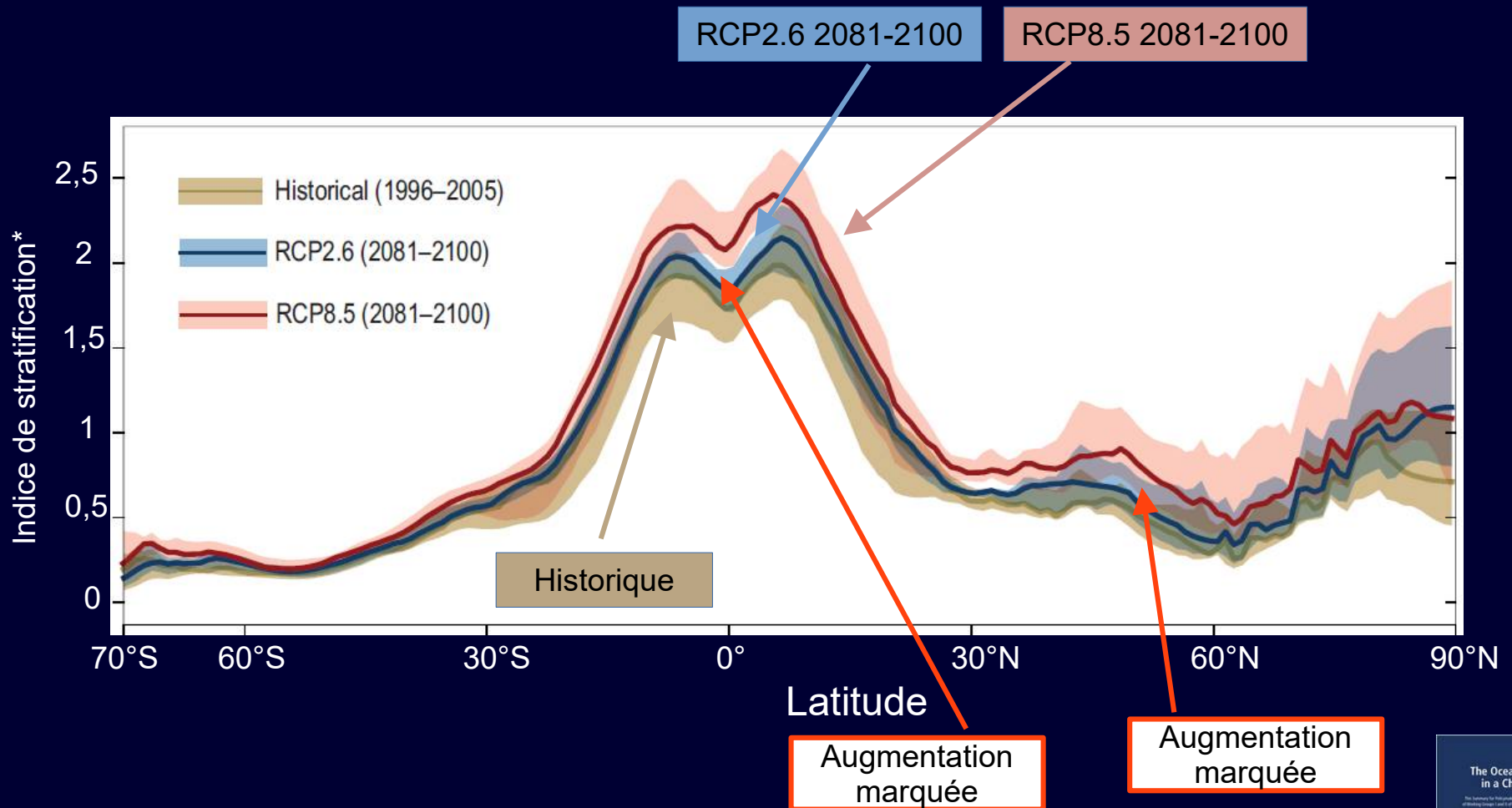
Exemple dans le golfe de Gascogne



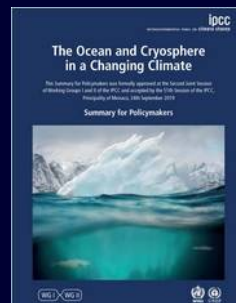
Profils des températures d'avril 2023 à janvier 2024,
43.69° Nord, 1.7° Ouest

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

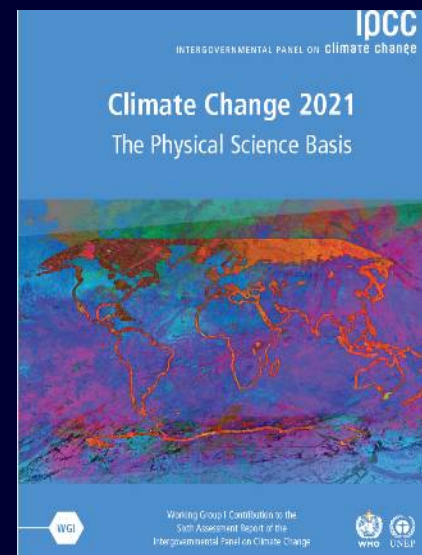
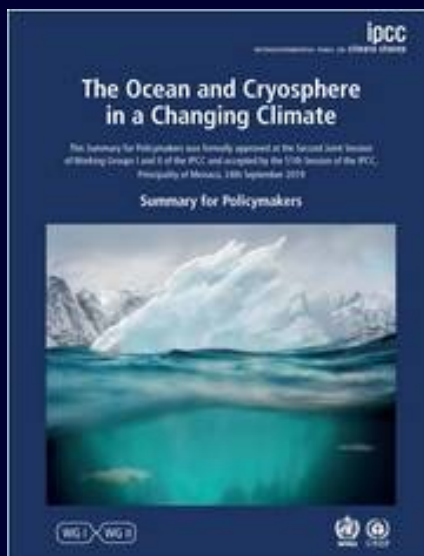


Stratification des océans : de SROCC à AR6

- 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 21e 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 %

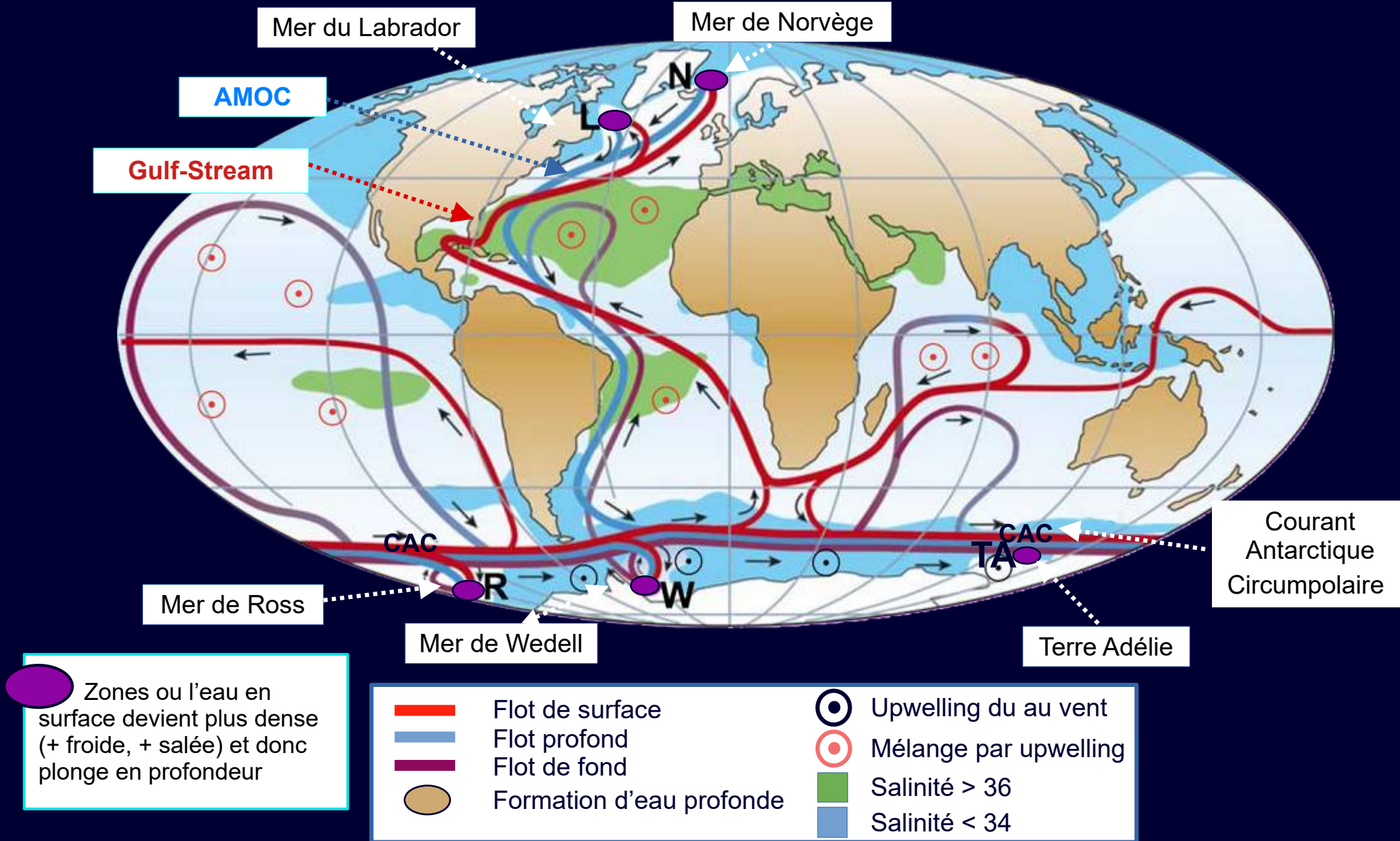
Effets du réchauffement des océans ... et de quelques autres changements

Deux aspects de la circulation différents mais liés :

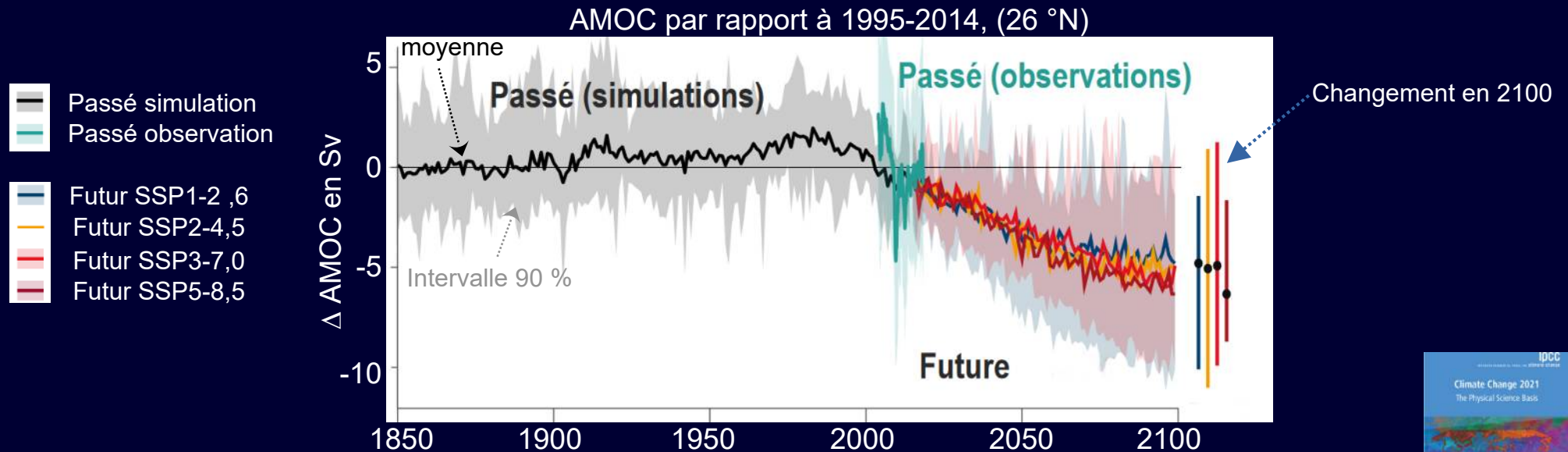
- La circulation méridionale atlantique de retournement ou AMOC : Atlantic Meridional Overturning Circulation.
- La circulation océanique de surface.

Circulation méridienne de retournement

AMOC Atlantic meridional overturning circulation



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

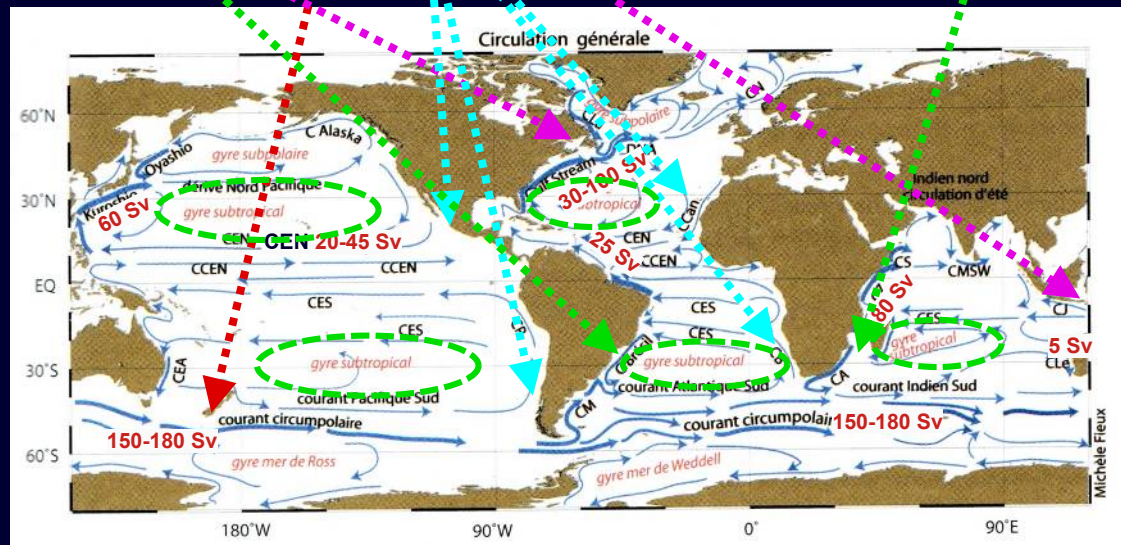
Deux aspects de la circulation différents mais liés :

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

Circulation océanique de surface

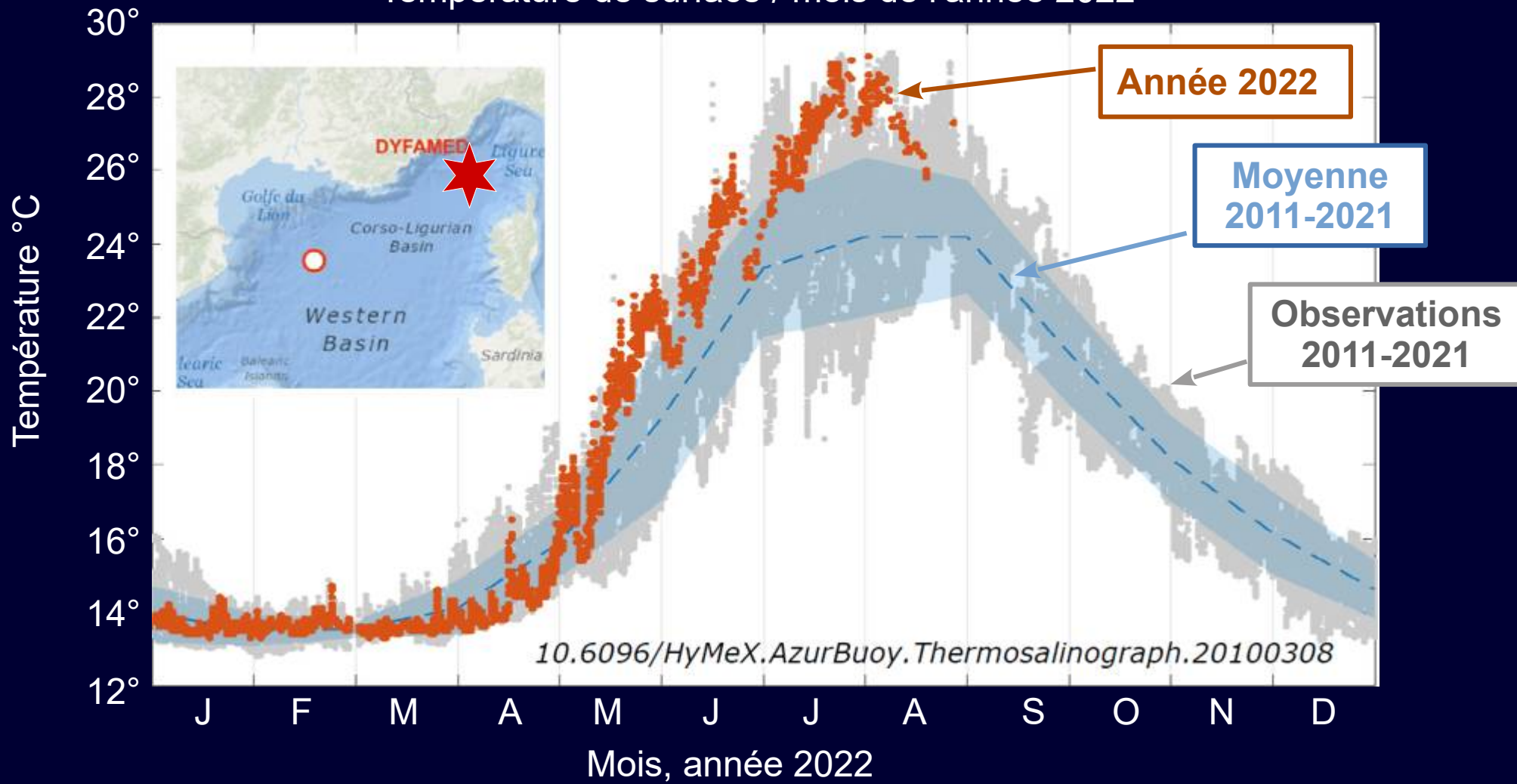
Il est probable que de nombreux courants océaniques changeront au 21^e siècle en réponse aux changements dans le régime des vents.

- 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).



Vague de chaleur en surface

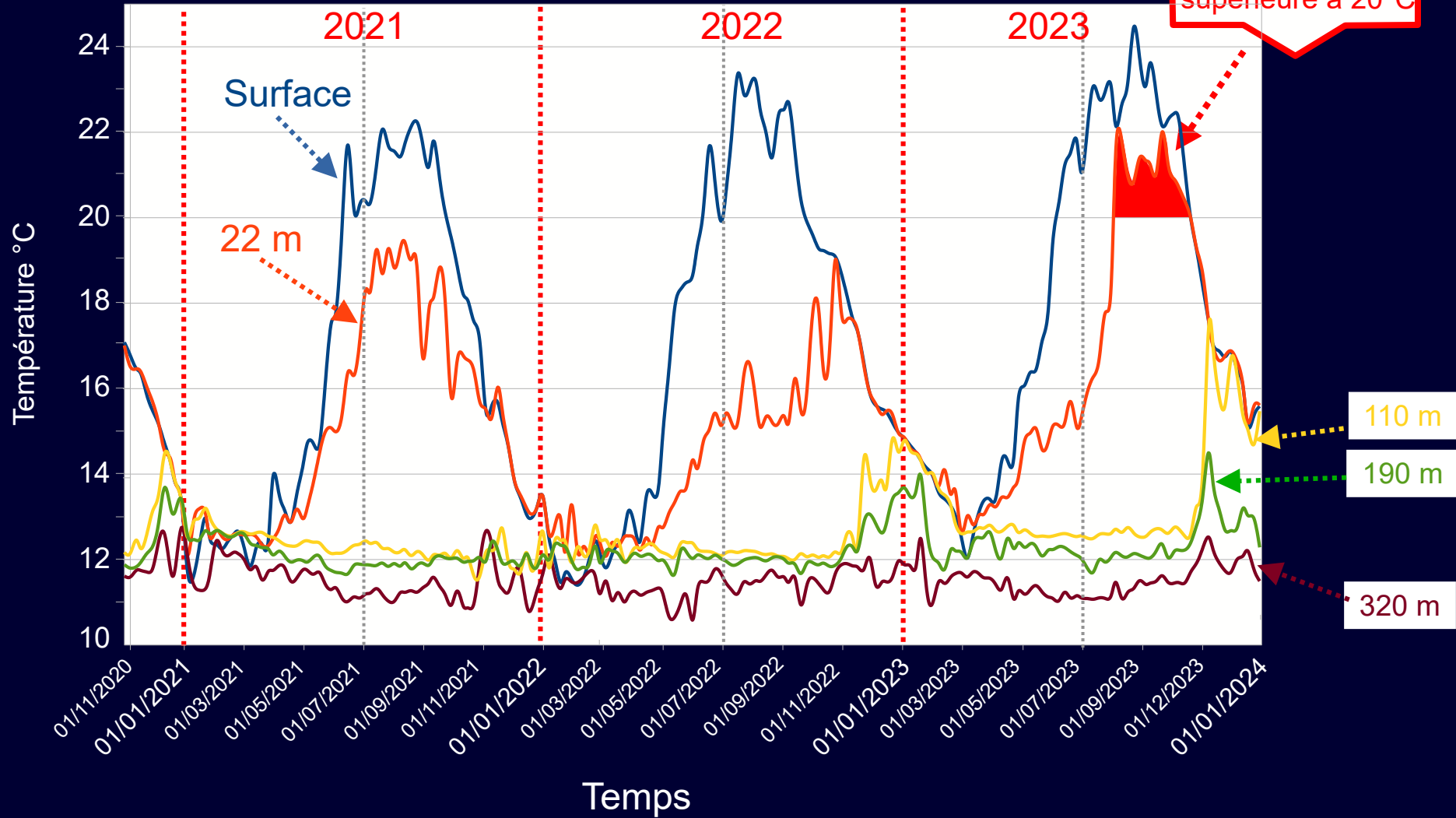
Température de surface / mois de l'année 2022



Températures dans le golfe de Gascogne

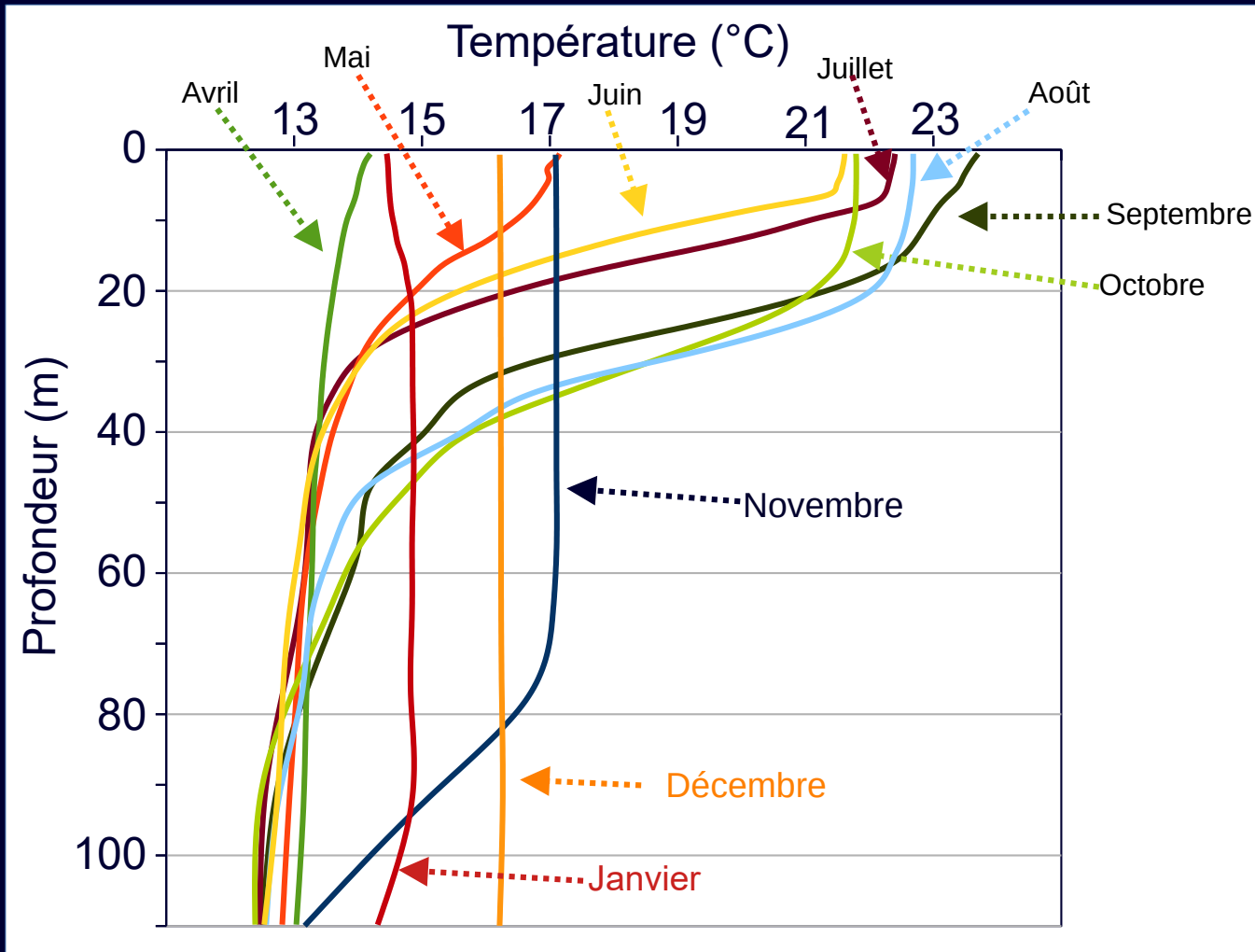
43,7 °N, 1,9°O

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

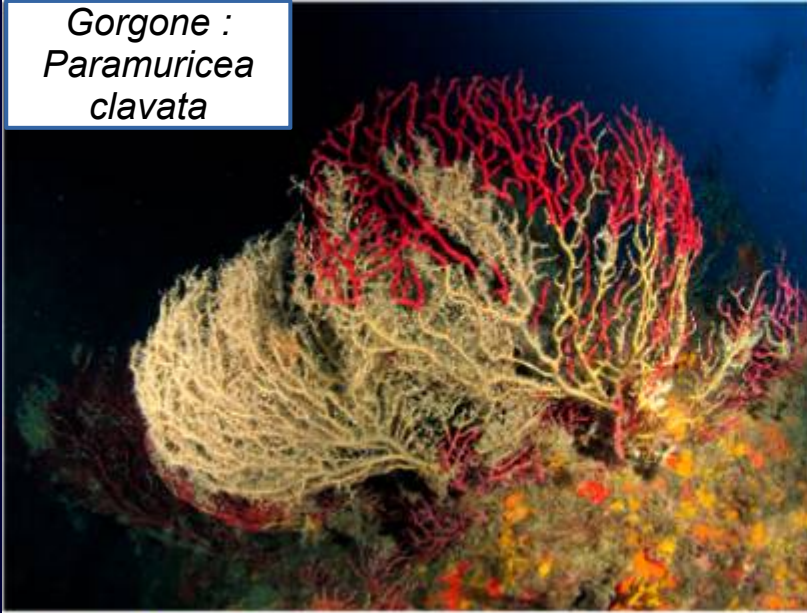
Stratification saisonnière



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 - 1

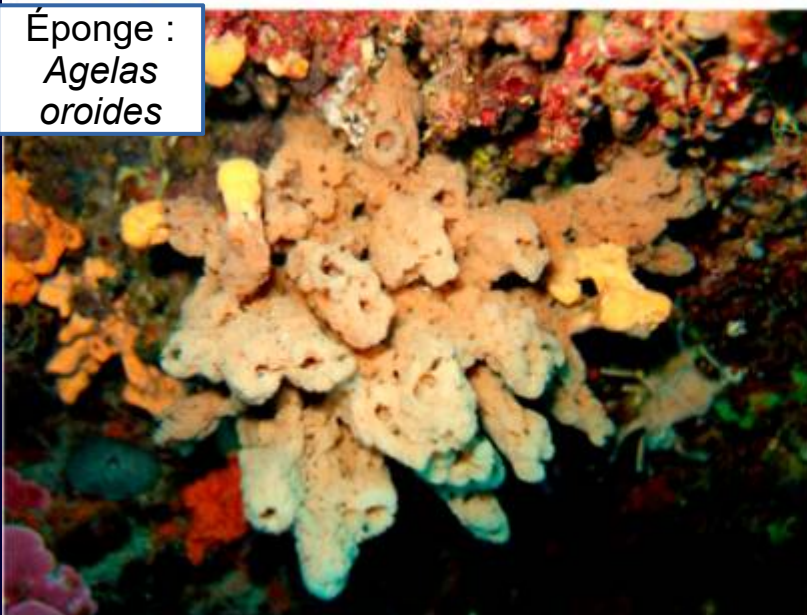
Gorgone :
*Paramuricea
clavata*



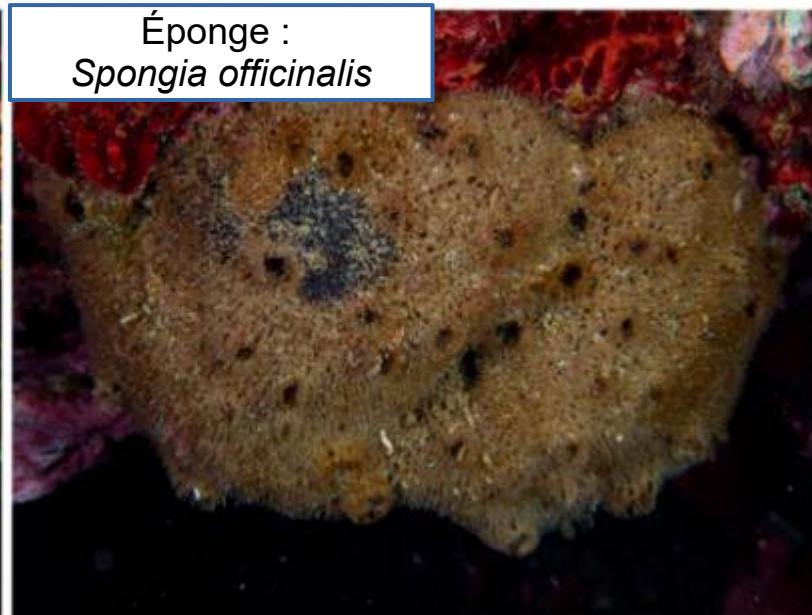
Hexacorraliaire
*Cladocora
caespitosa*



Éponge :
*Agelas
oroides*



Éponge :
Spongia officinalis

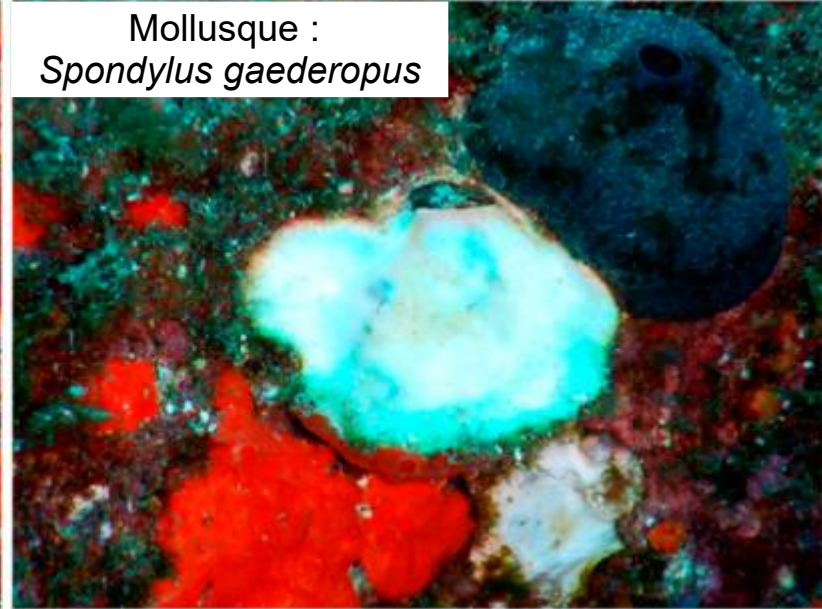


Effets d'une vague de chaleur sur des organismes benthiques - 2

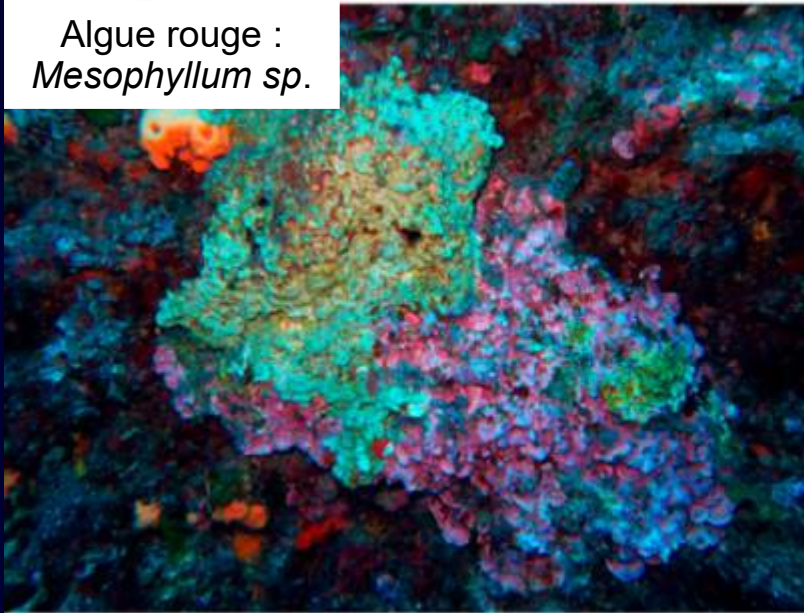
Bryzoaire :
Myriapora
truncata



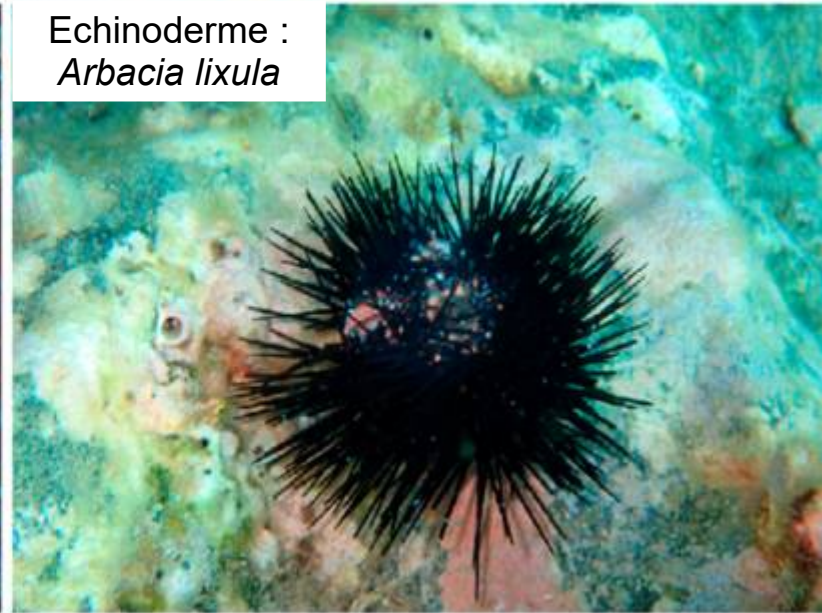
Mollusque :
Spondylus
gaederopus



Algue rouge :
Mesophyllum sp.

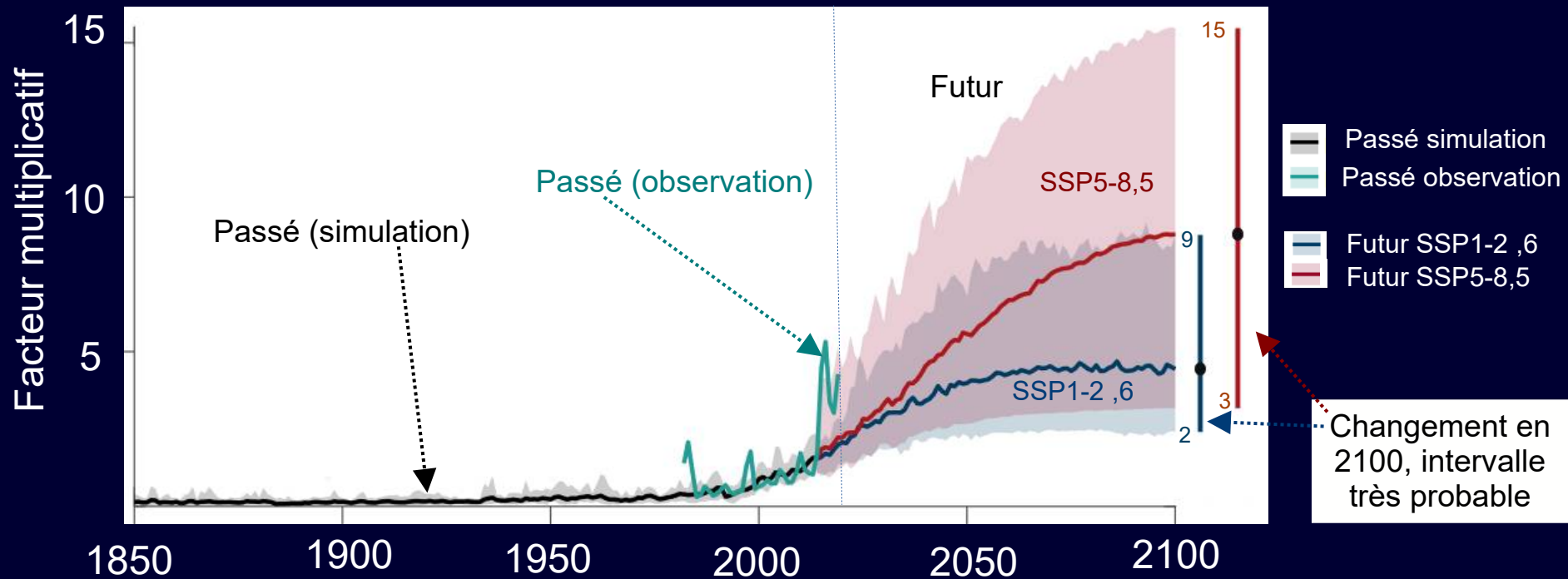


Echinoderme :
Arbacia
lixula

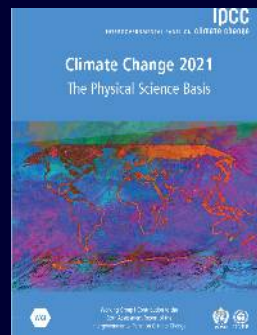


Prévision de l'évolution des vagues de chaleur marines

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

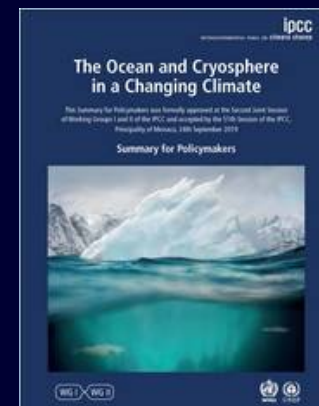
Deux effets principaux, physique et chimique, directs :

- 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

Augmente le gaz carbonique dans l'océan

Océan

Augmente les ions H^+



Gaz carbonique dissous



Acide carbonique

H^+ ions hydrogène



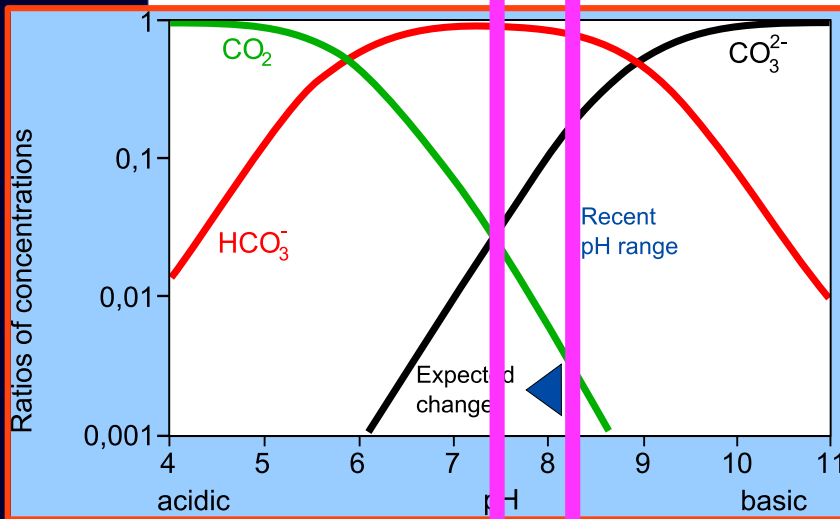
ions bicarbonates

Augmente les ions bicarbonates



ions carbonates

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

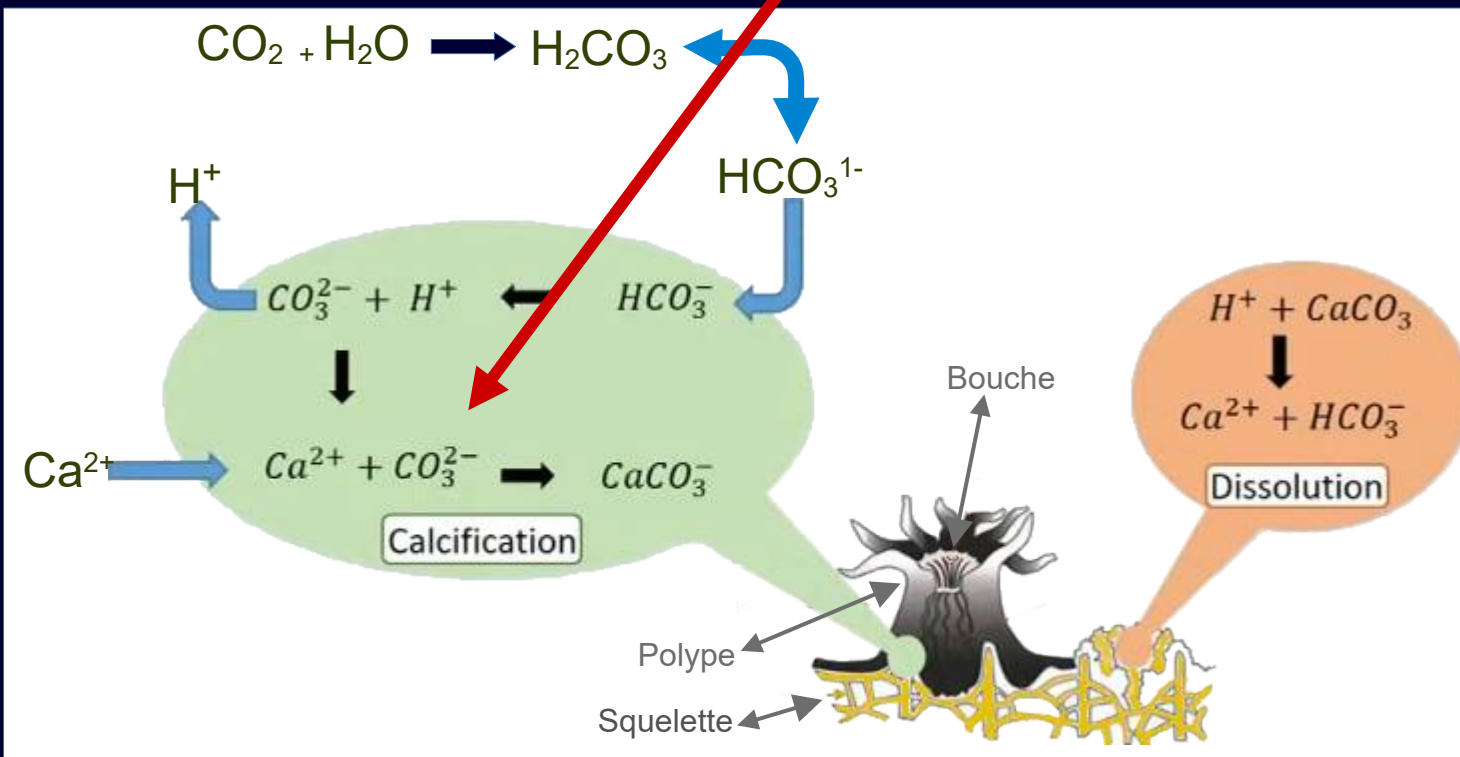
Ce sont les ions carbonates CO_3^{2-} qui sont utilisés par les organismes biologiques construisant des structures calcifiées.

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 :

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

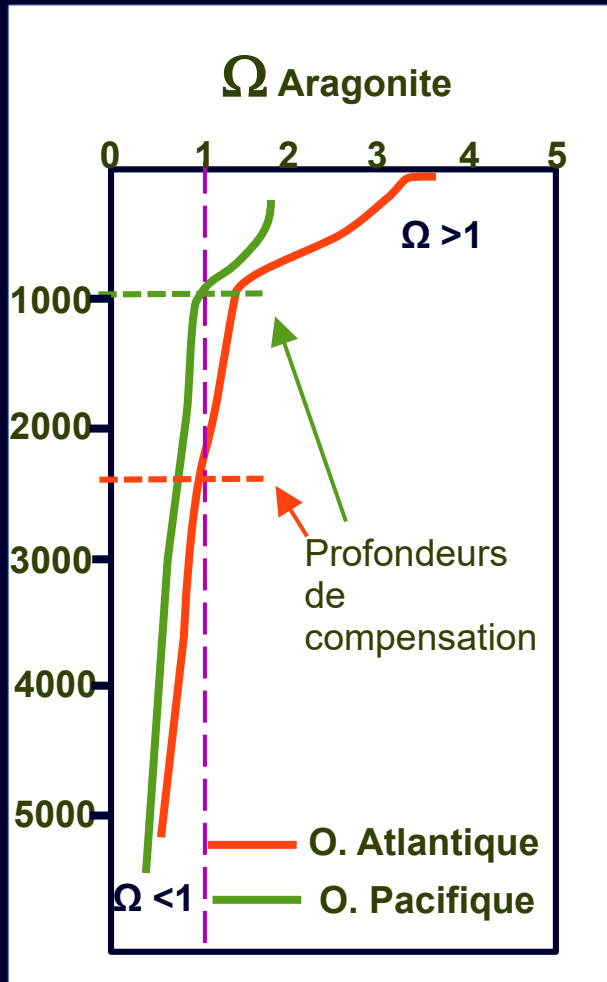
$[\text{Ca}^{2+}]$: concentration en ions calcium,

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

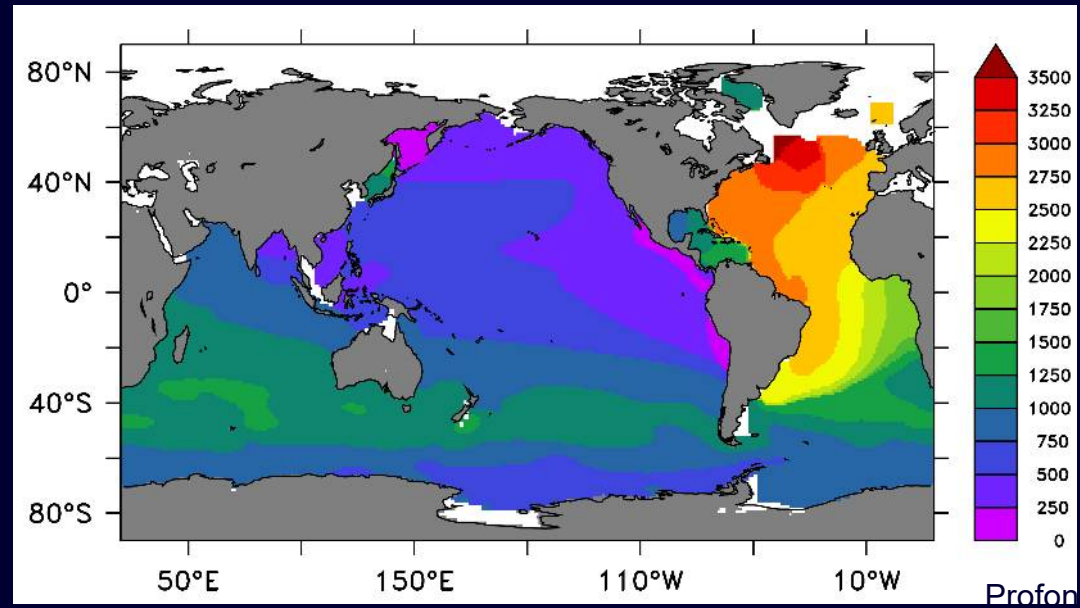
K_{sp} est une constante relative à la forme de CaCO_3

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

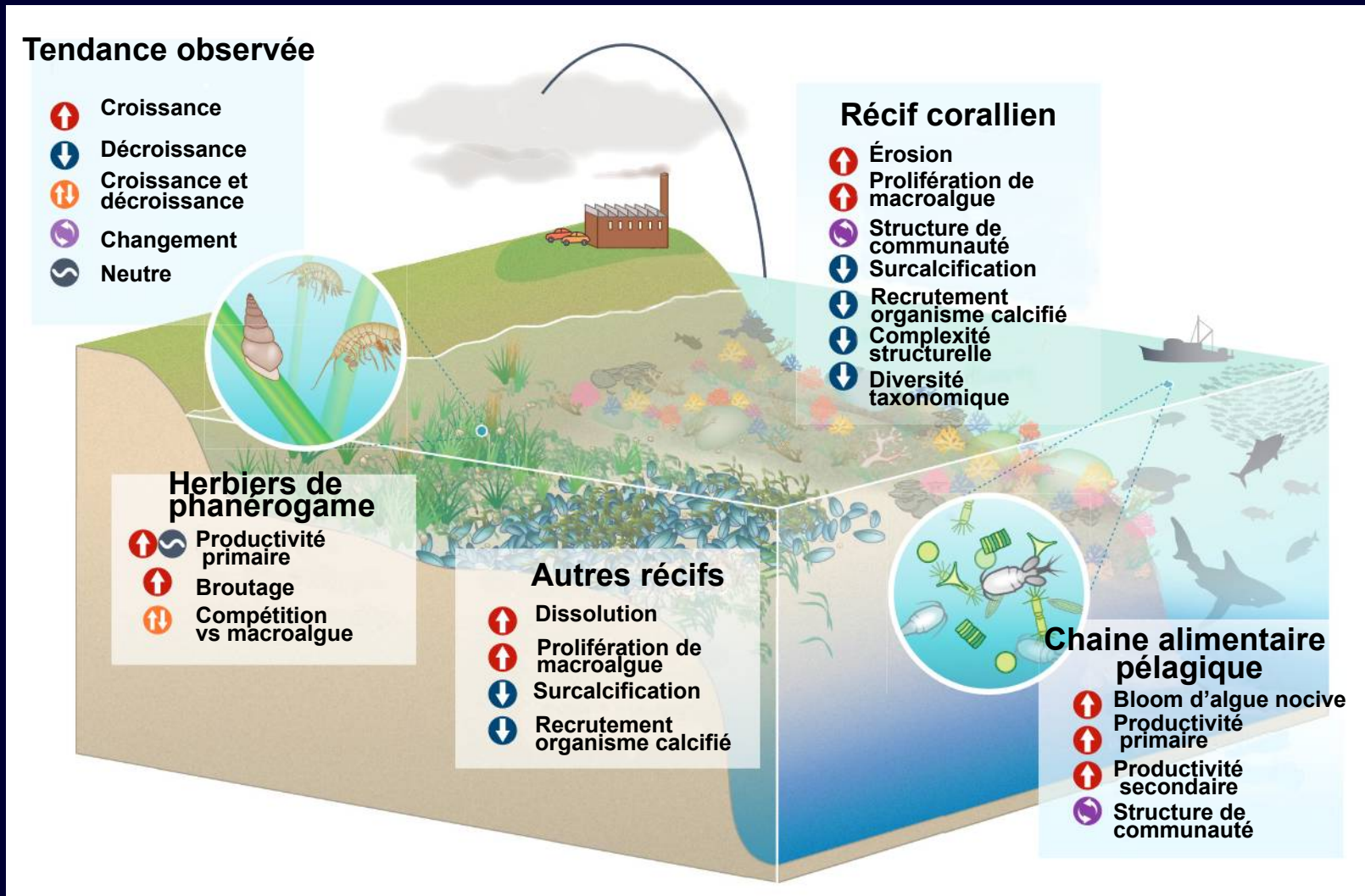
Ω diminue avec la pression et augmente avec la température



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

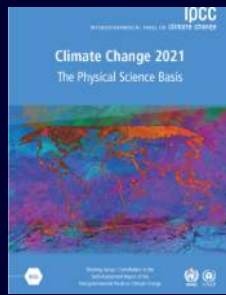


Influences de l'acidification sur des écosystèmes concernés

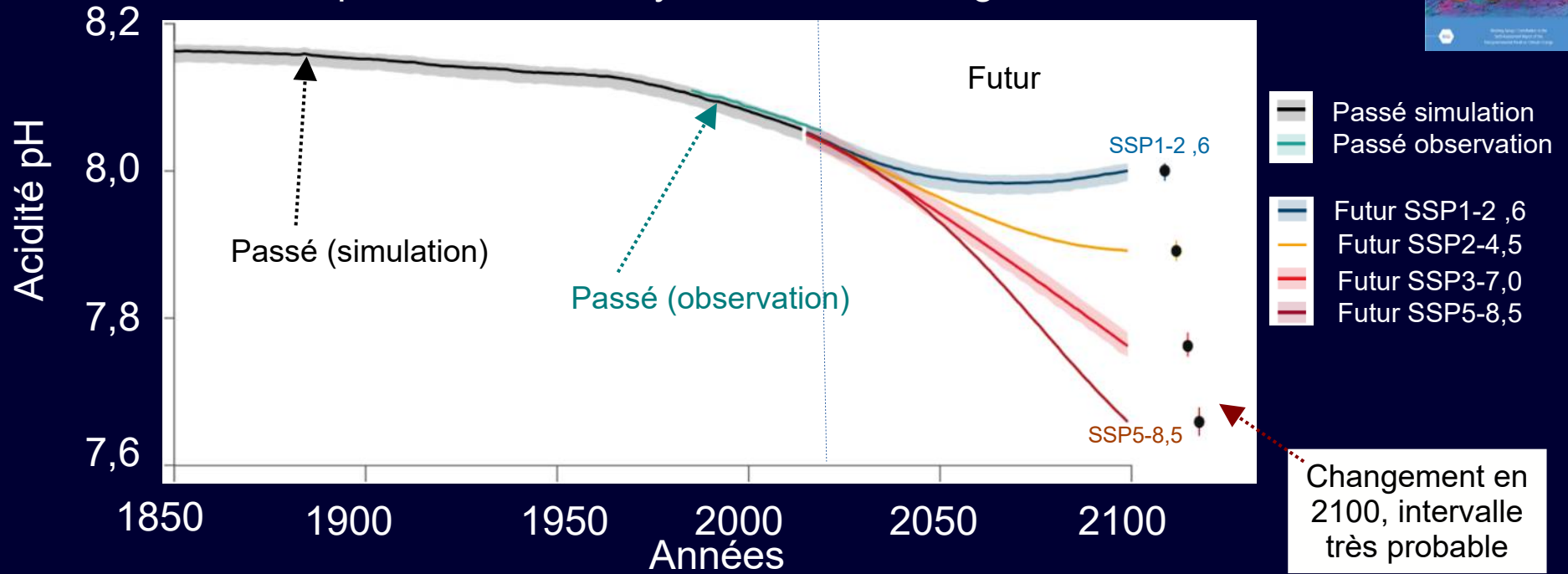


Tendances générales des propriétés et processus clés des communautés et des écosystèmes en réponse à l'acidification des océans dans les herbiers marins, les récifs coralliens, d'autres écosystèmes de récifs carbonatés et les réseaux trophiques pélagiques.

Evolution l'acidification de surface de l'océan

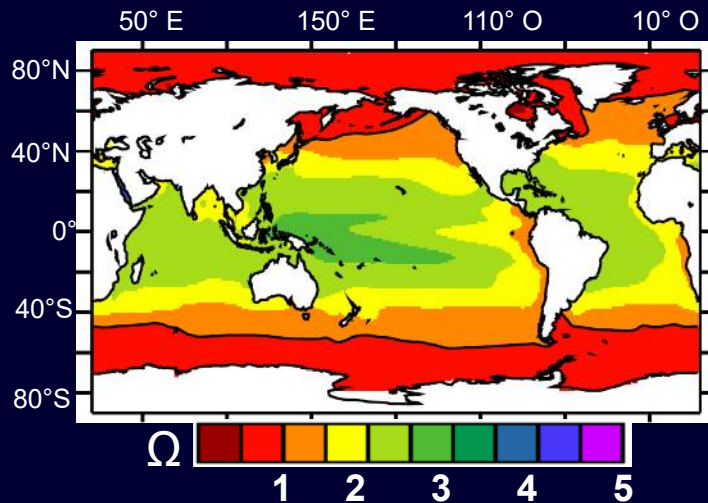


pH de surface moyen à l'échelle du globe.



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)

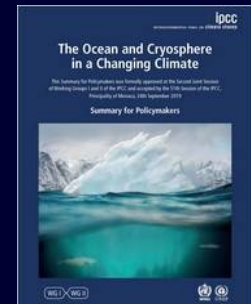
Acidification des océans

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.

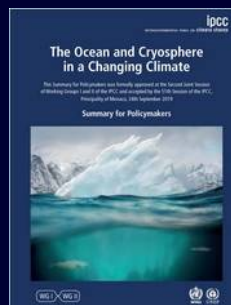
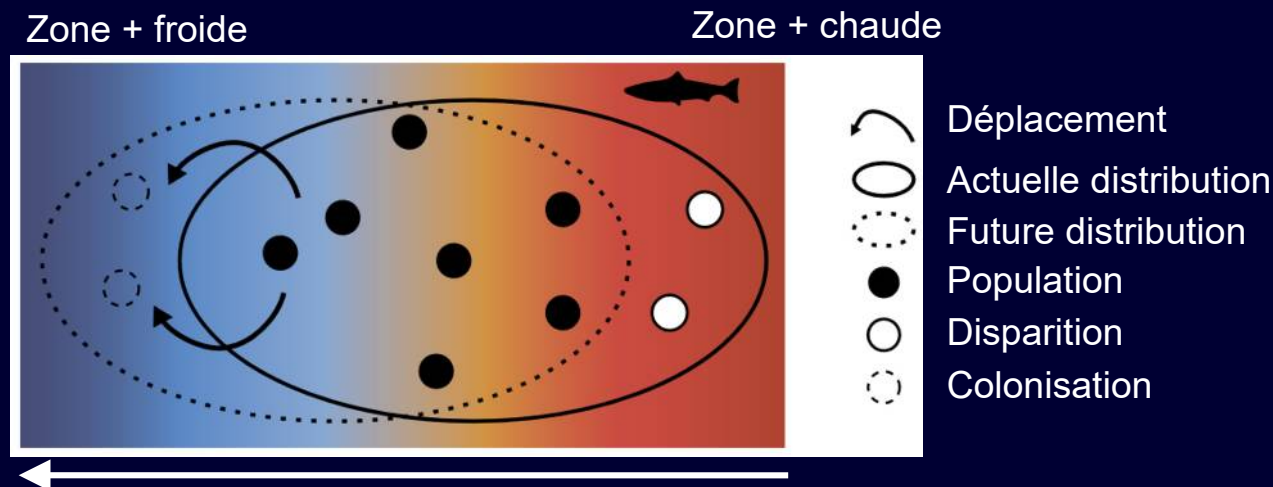
B- Changements dans les écosystèmes marins

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 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 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).

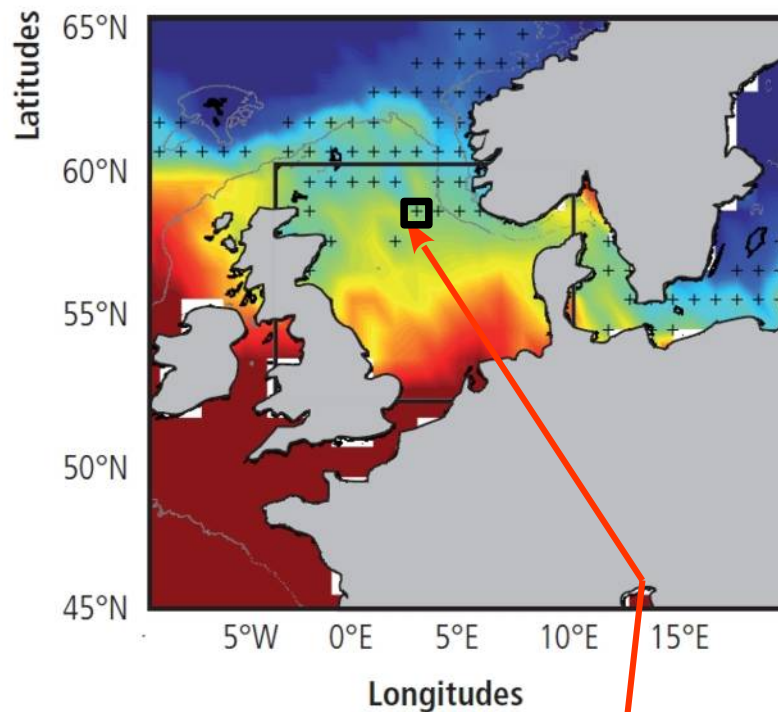
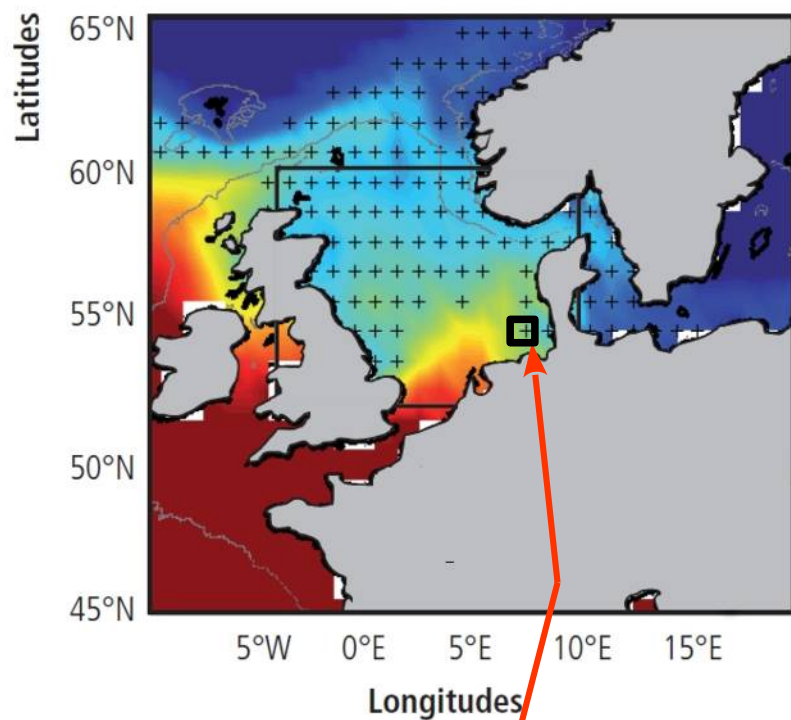
L'expansion de l'aire des espèces sous l'effet du réchauffement a entraîné une altération de la structure et du fonctionnement des écosystèmes (Atlantique Nord, Pacifique Nord-Est, l'Arctique ; degré de confiance moyen).



Evolution de la température de surface en mer du Nord

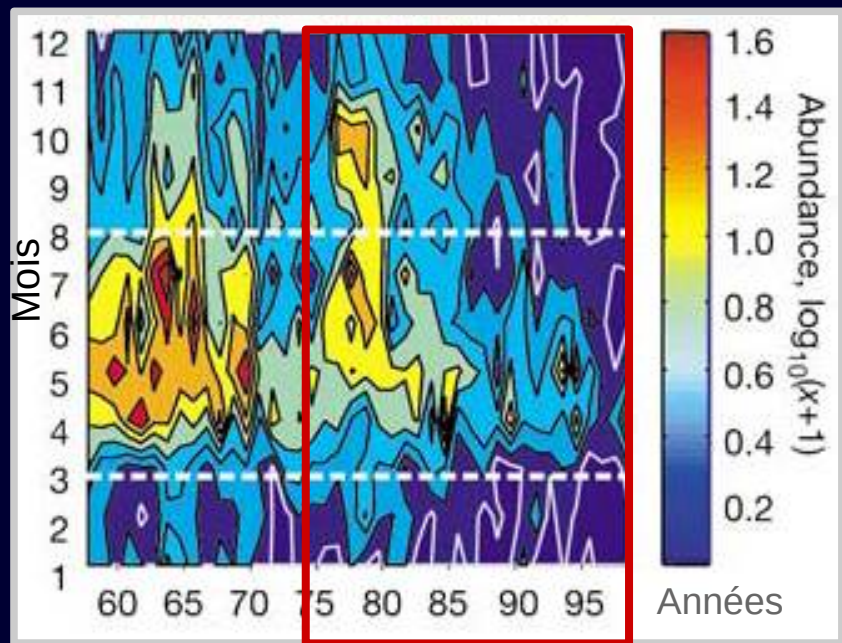
1960-1981

1988-2005

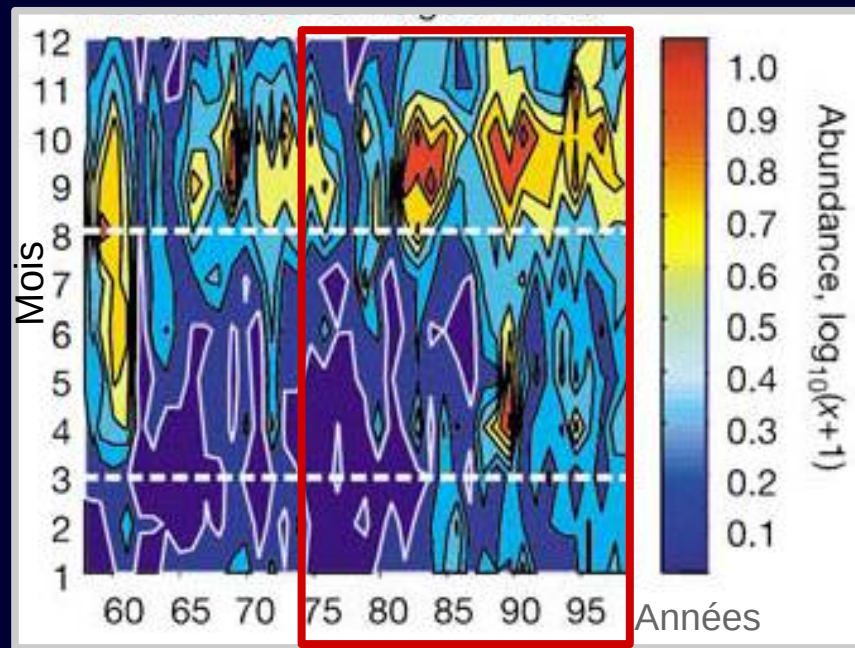


72.15 % des cellules ont une température entre 9 et 10 °C

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

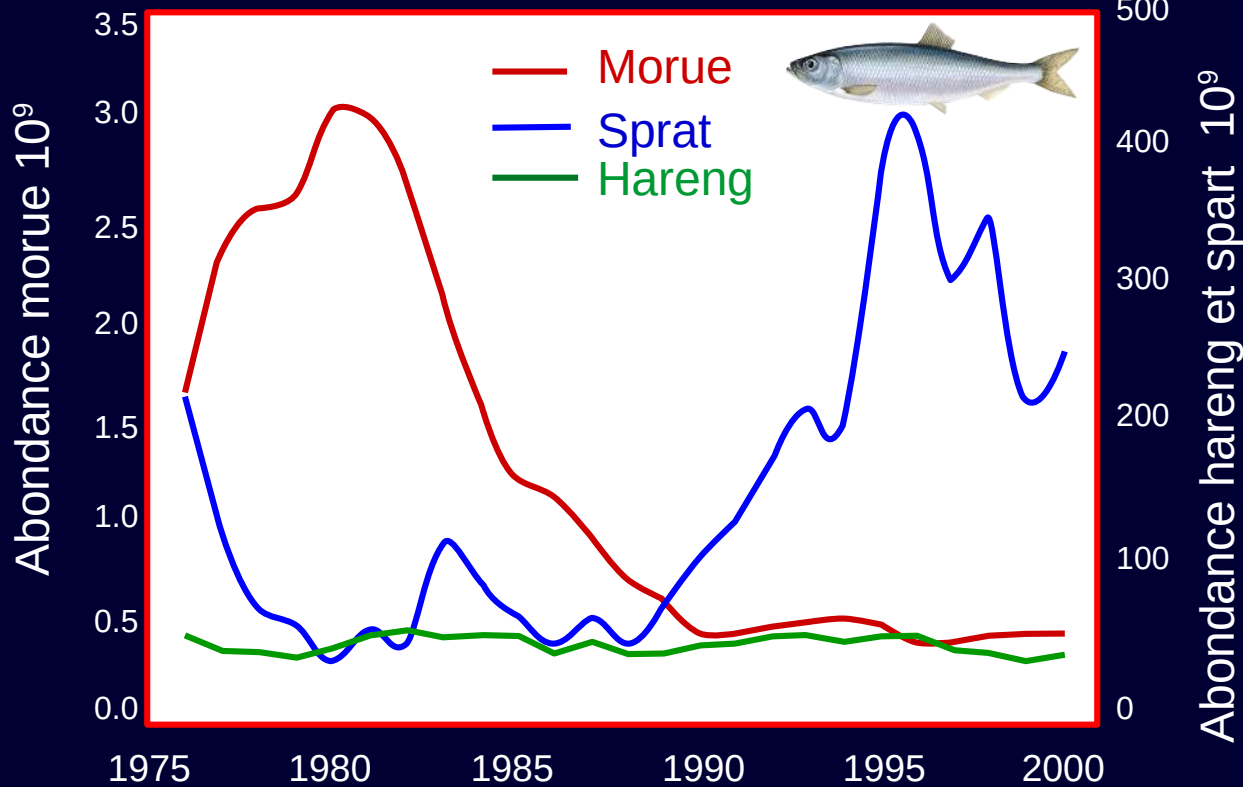


Abondance de *Calanus finmarchicus*



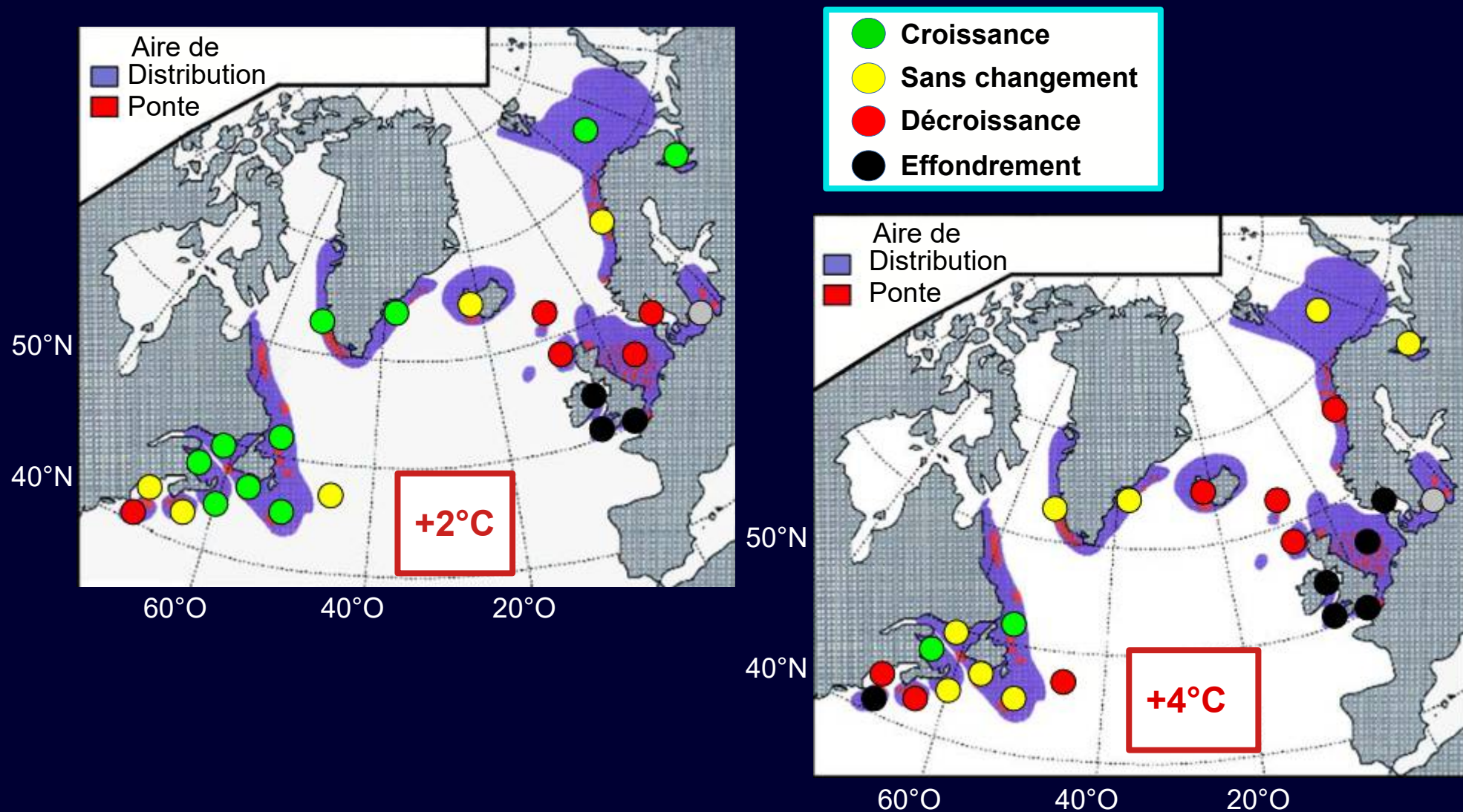
Abondance de *Calanus helgolandicus*

Zooplankton en Mer du Nord



G. Beaugrand et al. NATURE, 2003
J. Alheit. ICES 2005

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

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



Jacob Van Es



G. Schalcken



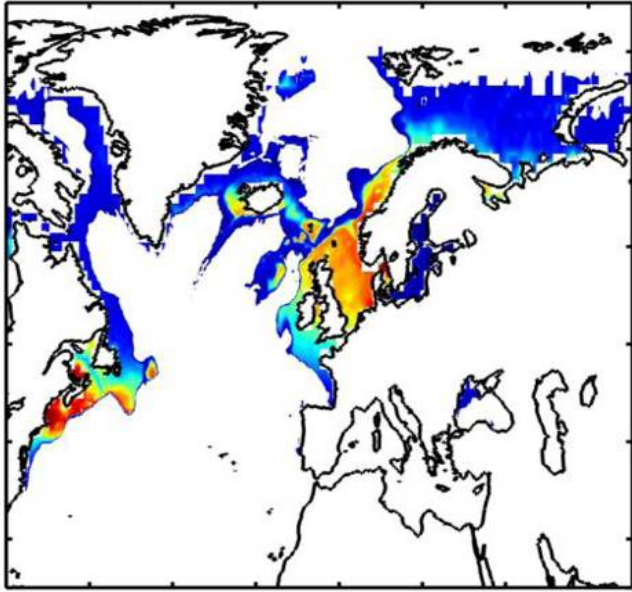
Atelier de Georg Flegel



Joachim Beuckelaer

Projection de la distribution spatiale du hareng (scénario B2)

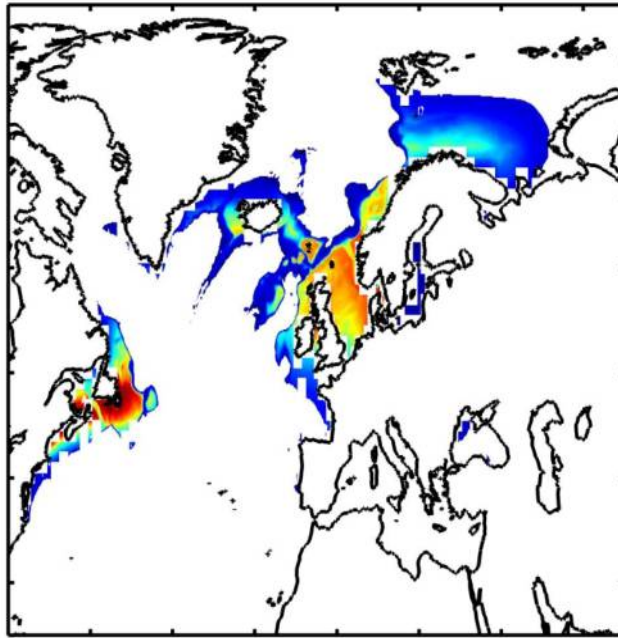
1960-1969



Pêche en Mer du Nord
546 à 1168 kt

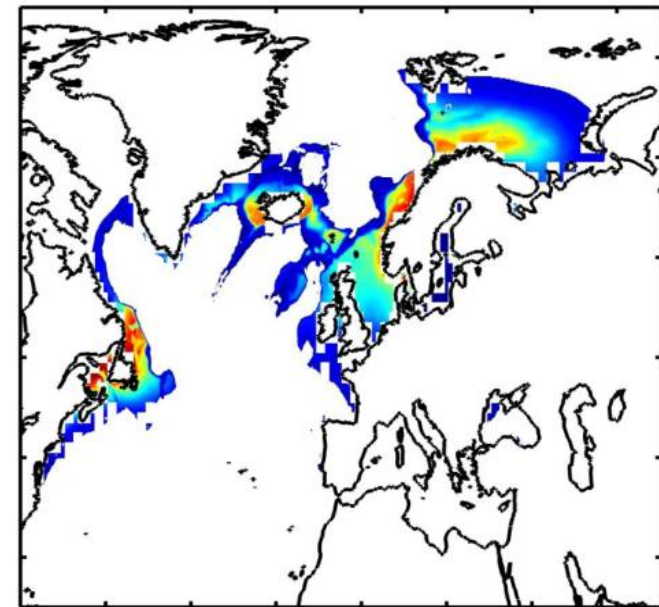


2010-2019

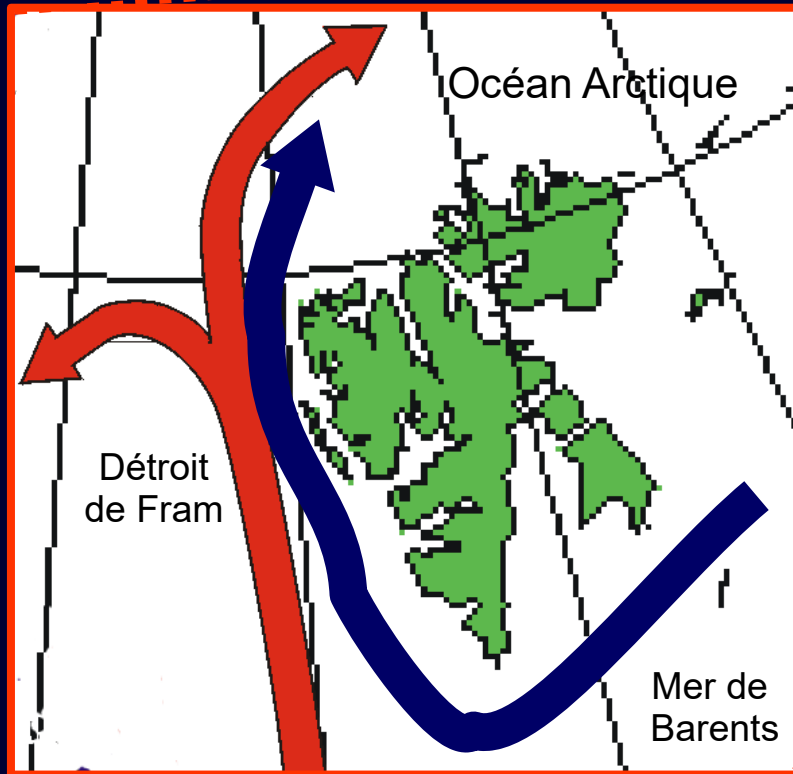


Pêche en Mer du Nord
187 à 603 kt

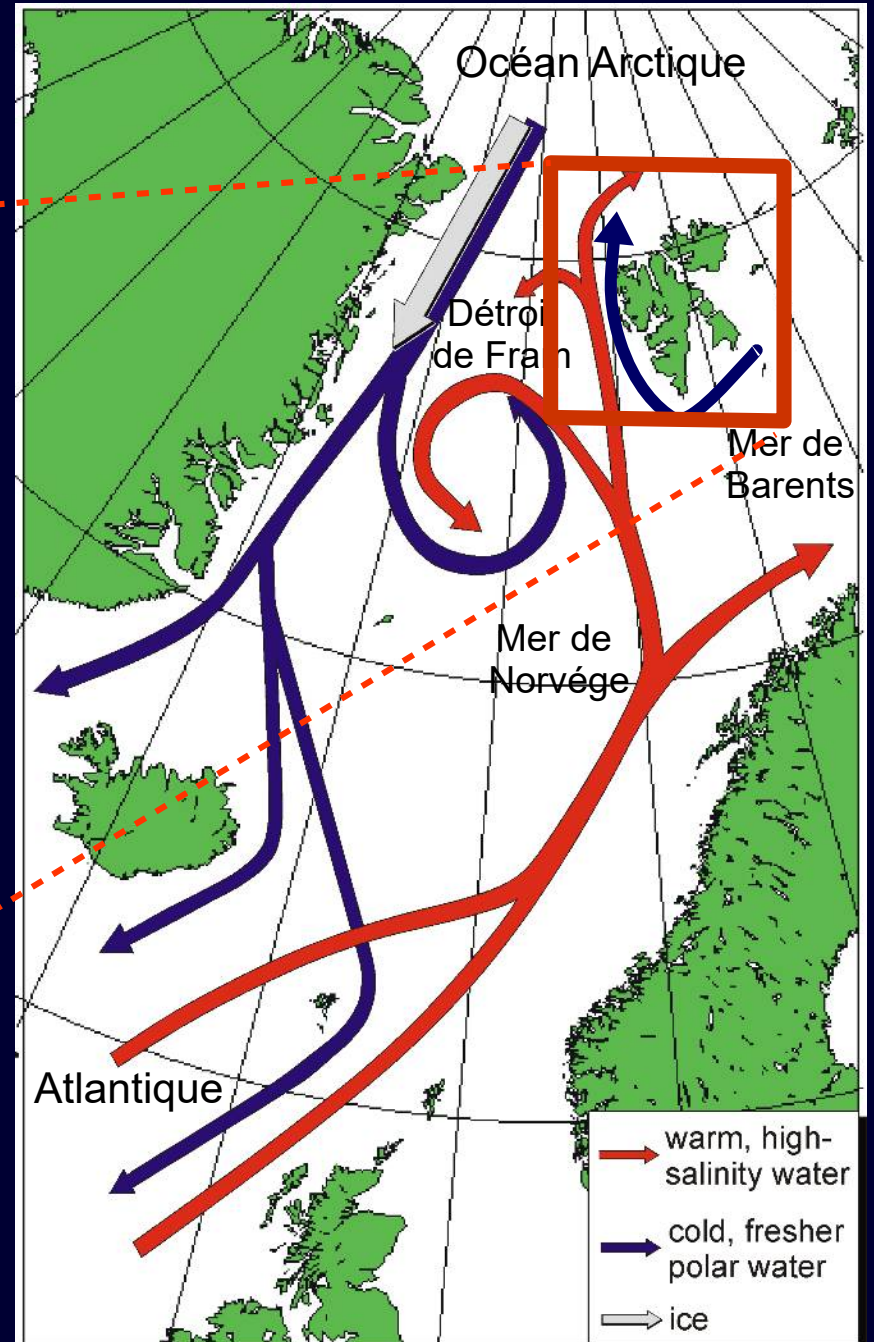
2090-2099



Et plus au nord !!!

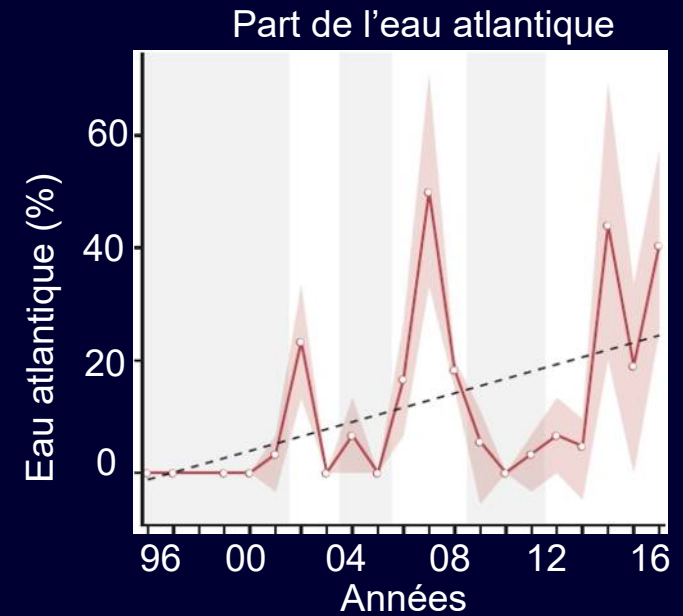
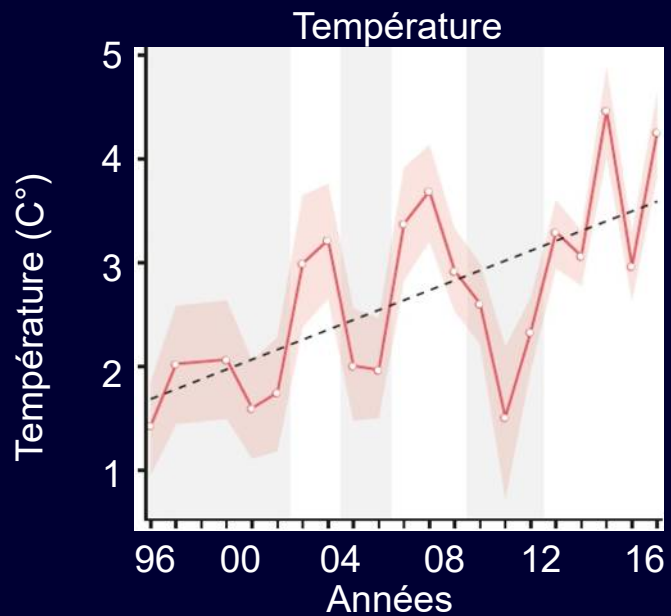
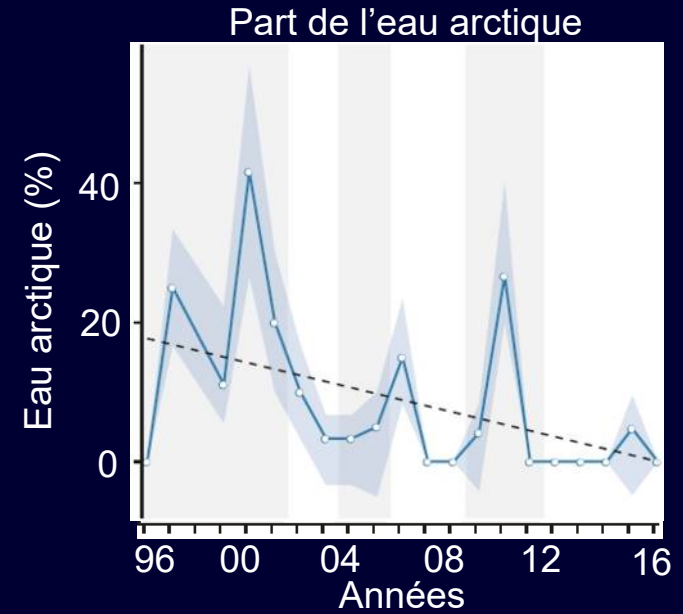
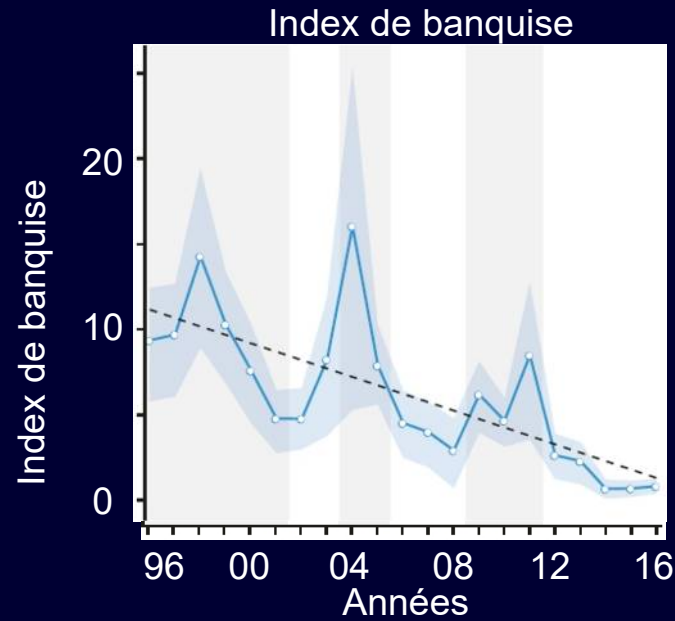


Archipel du svalbard
(Spitzberg)



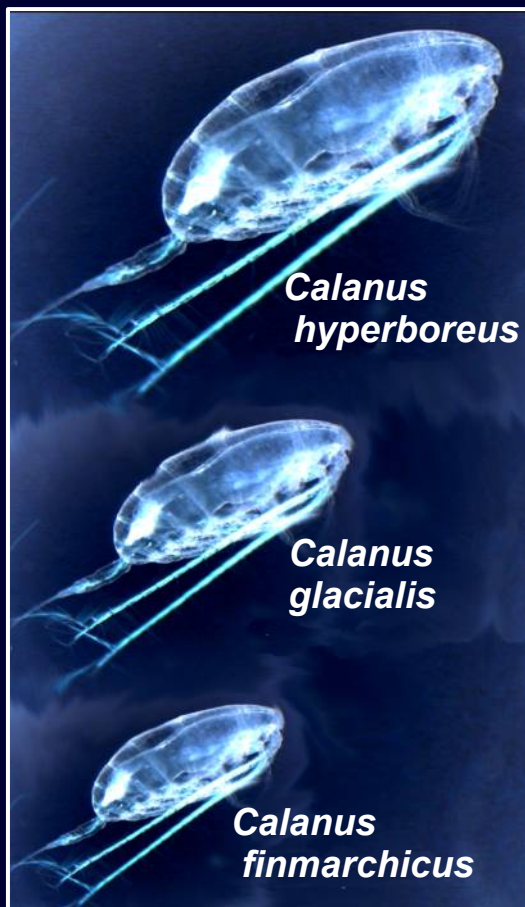
From F. Cottier

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 :

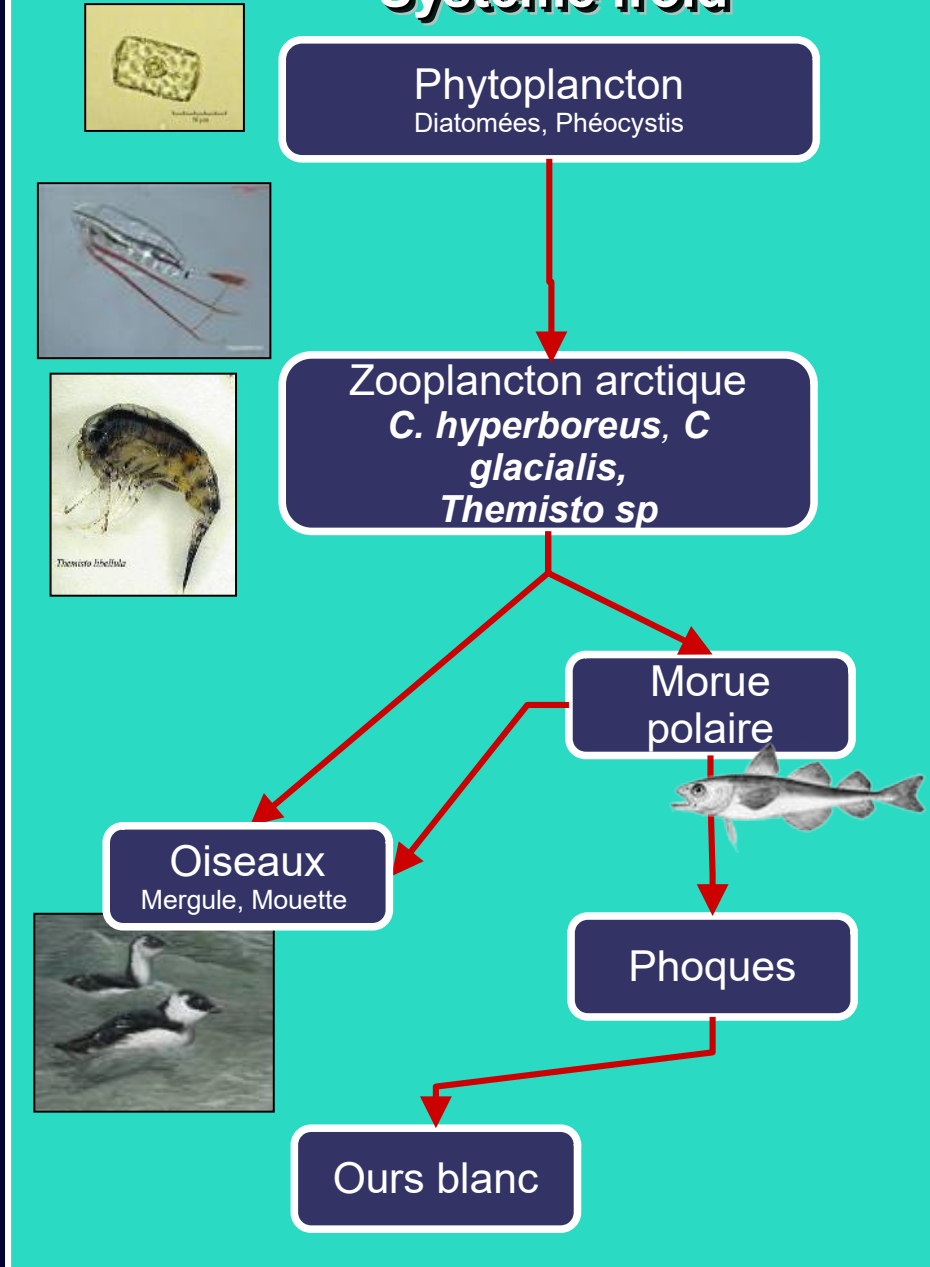
Système arctique «froid» :
riche en *Calanus hyperboreus*
et *Calanus glacialis*

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

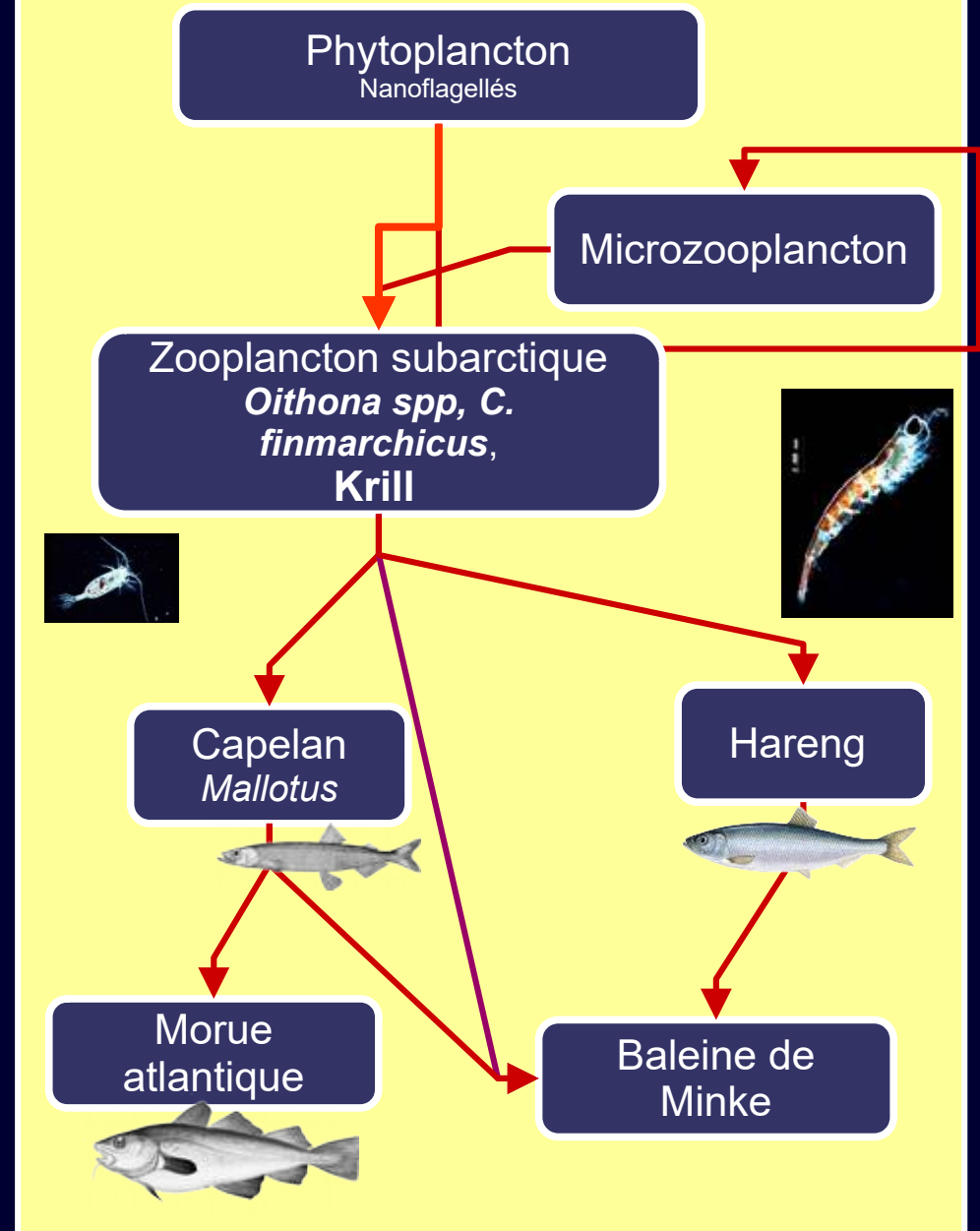
- *C. glacialis* est 6 à 7 fois plus énergétique que *C. finmarchicus* et 15 fois plus que *Pseudocalanus spp* (à biomasse égale).
- *C. hyperboreus* est 13 fois plus énergétique que *C. finmarchicus* et 30 fois plus que *Pseudocalanus spp* (à biomasse égale)

Axes prédominants des réseaux alimentaires

Systeme froid

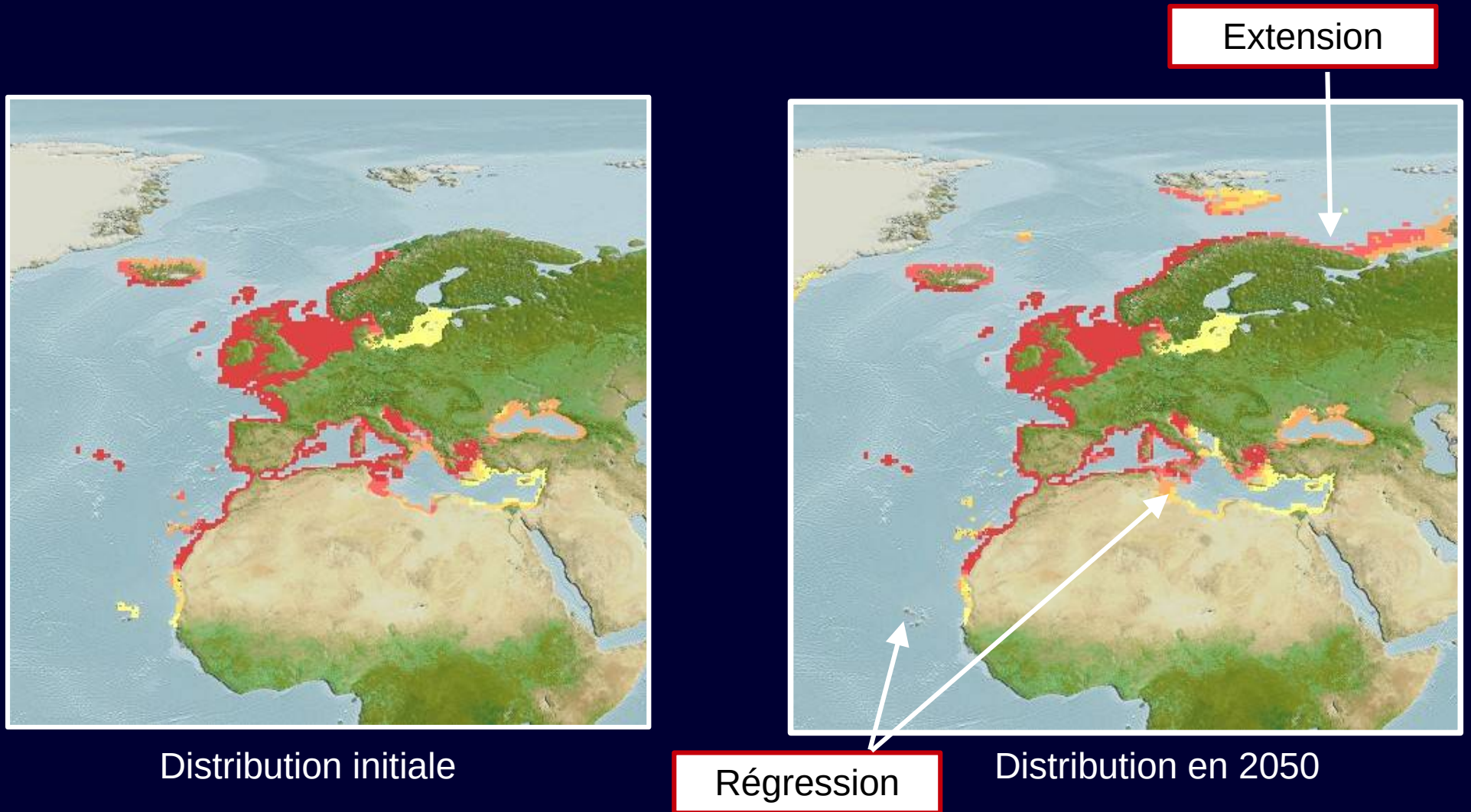


Systeme chaud



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

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

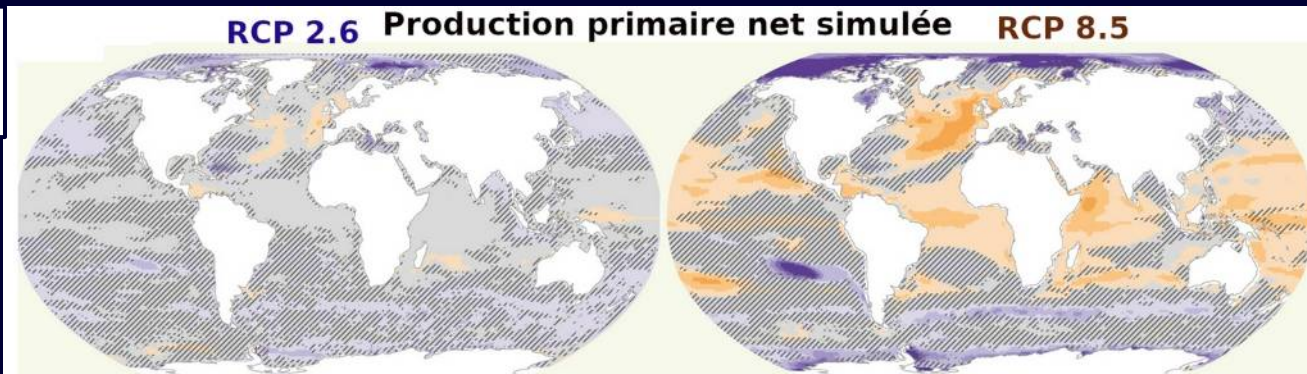
Degré de confiance accordé à l'attribution

- élevée
- moyenne
- faible

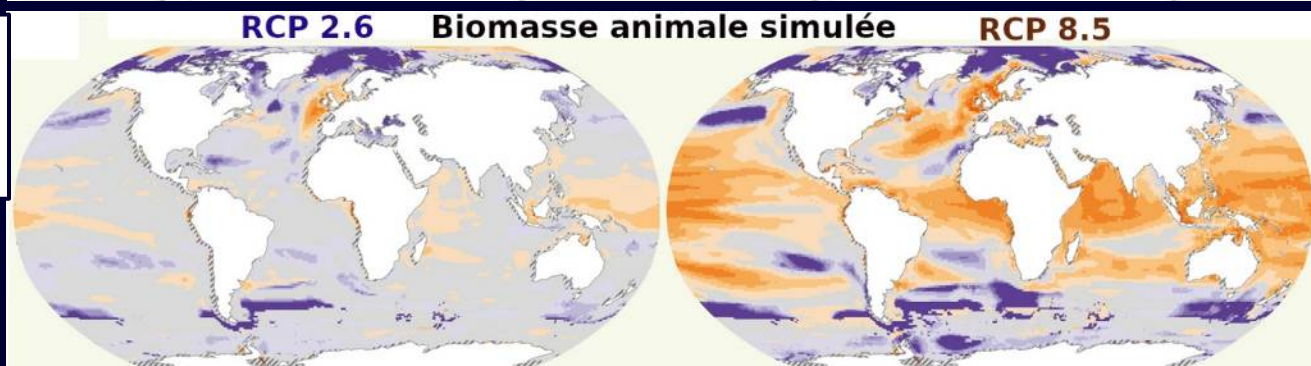
EBUS¹ : Eastern Boundary Upwelling Systems (Courants du Benguela, des Canaries, de Californie et de Humboldt).

Évolutions suivant les scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5

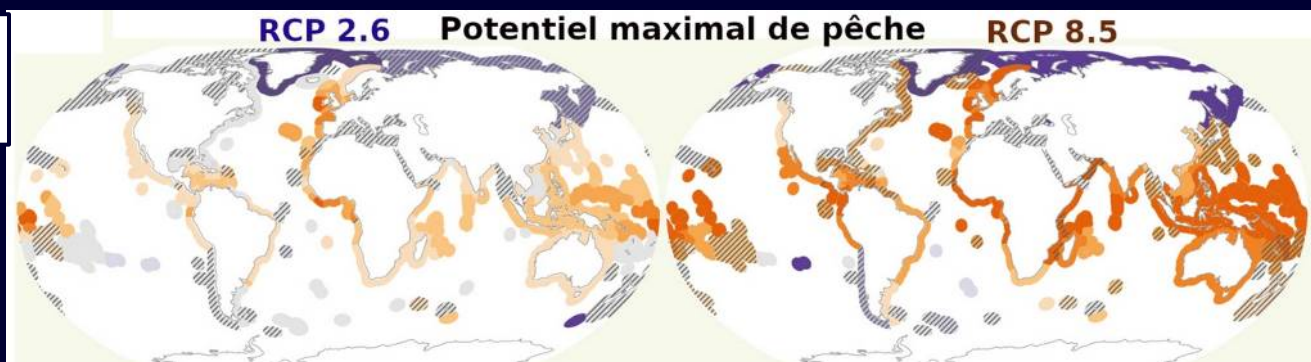
Production
primaire



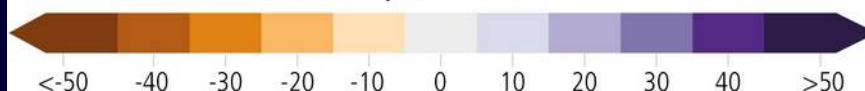
Biomasse
animale
marine



Potentiel
de pêche



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



 Inadéquation
modélisation

 no data

Merci de votre attention