

L'arrêt de la circulation thermohaline d'ici 50 à 100 ans et un coup de froid sur l'Europe, un scénario réaliste ?

Ecole d'Eté Sauvons le Climat Brest 2025

Laurent Labeyrie

Professeur associé Université Bretagne Sud

Professeur Honoraire Institut Universitaire de France

IPCC author and co-editor for Oceans and Climate WG1 2004-2008

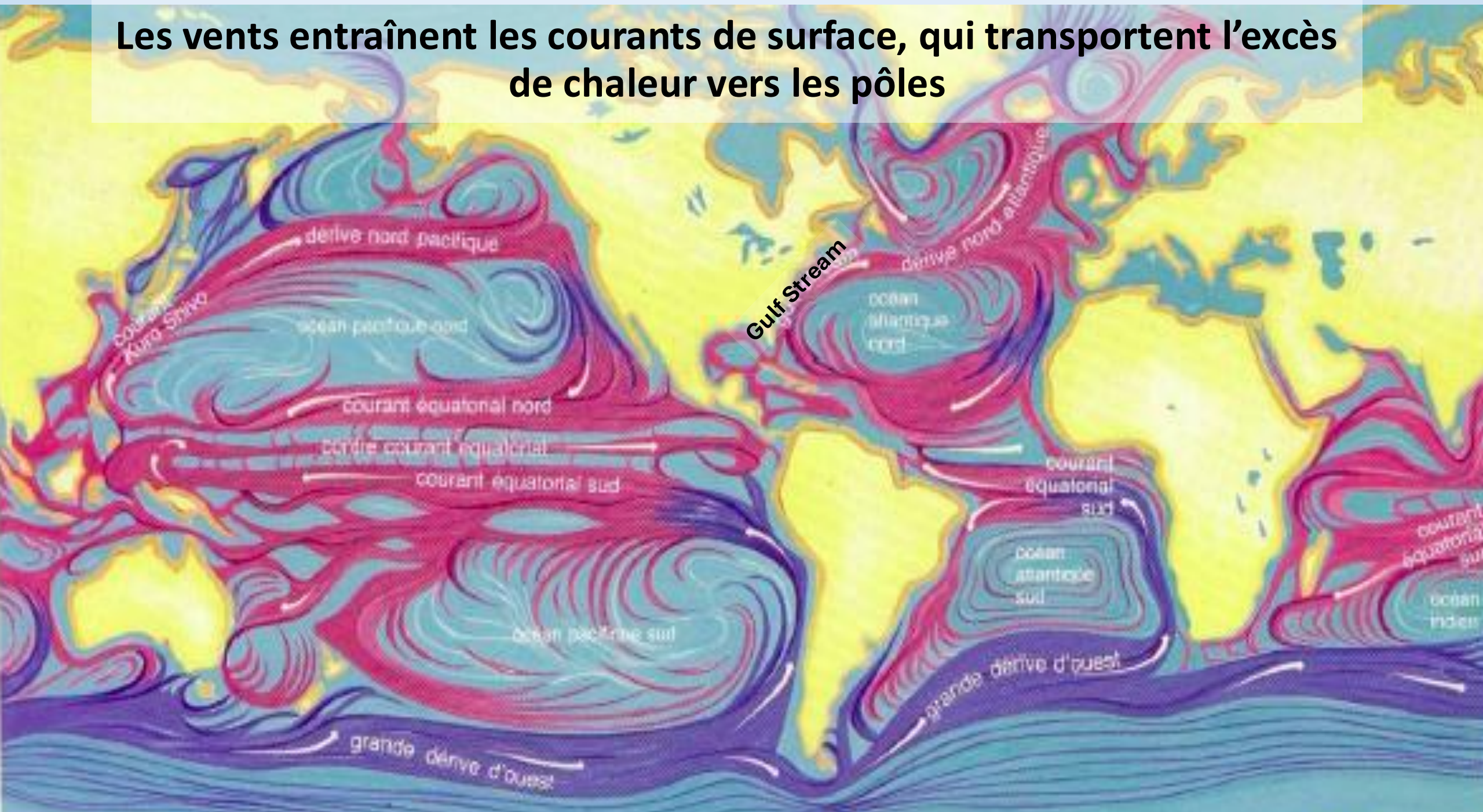
Membre Haut Conseil Breton pour le Climat (2022-)

ldlabeyrie@gmail.com

Le Gulf Stream, un courant comme les autres..

Il ne peut pas s'arrêter tant que la Terre tourne
et reçoit de la chaleur du soleil!

Les vents entraînent les courants de surface, qui transportent l'excès de chaleur vers les pôles



Oberflächennahe
Strömung
und Temperatur
in einer
Computersimulation

01 / 1995

Simulation: IFM GEOMAR Animation: DKRZ



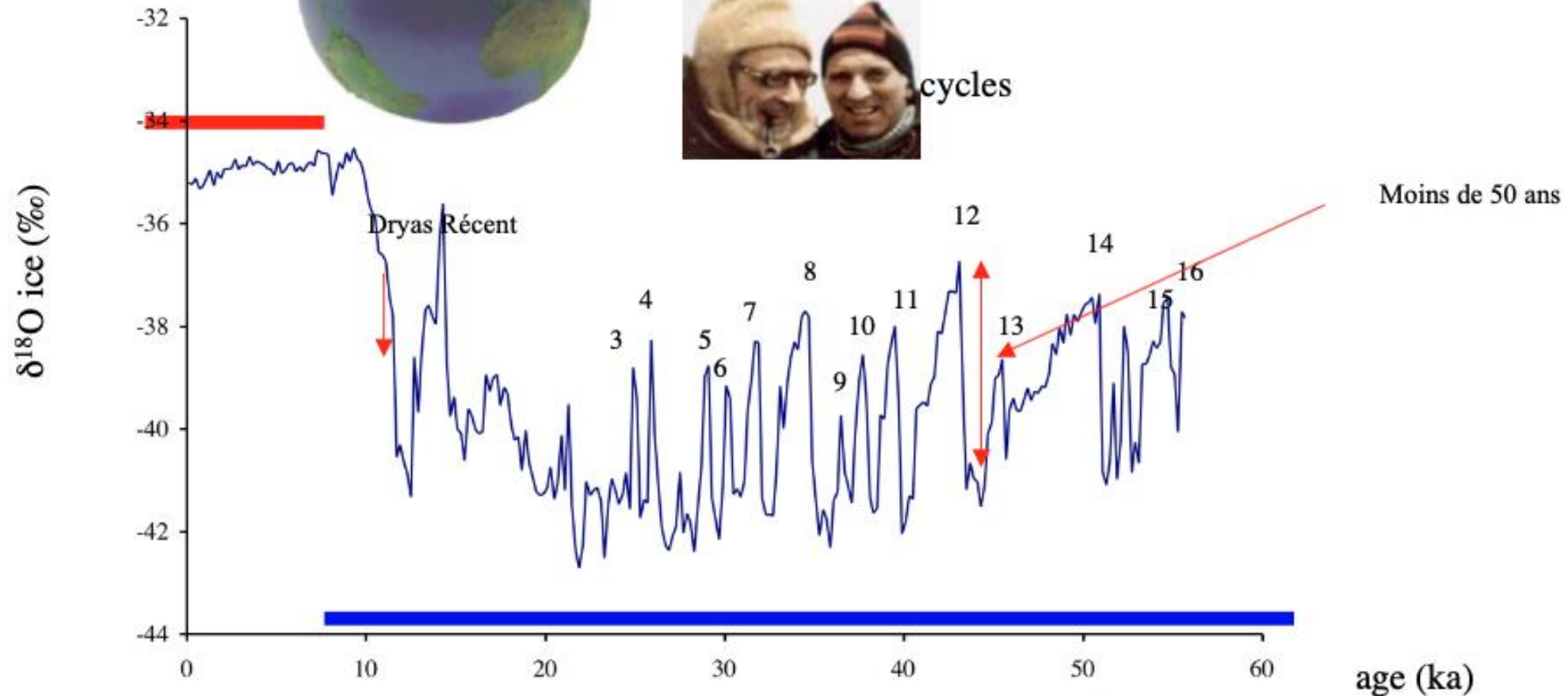
D'où vient l'inquiétude:
l'étude des changements climatiques passés

L'enregistrement des changements climatiques abruptes dans le forage GRIP 1992

Periode interglaciale

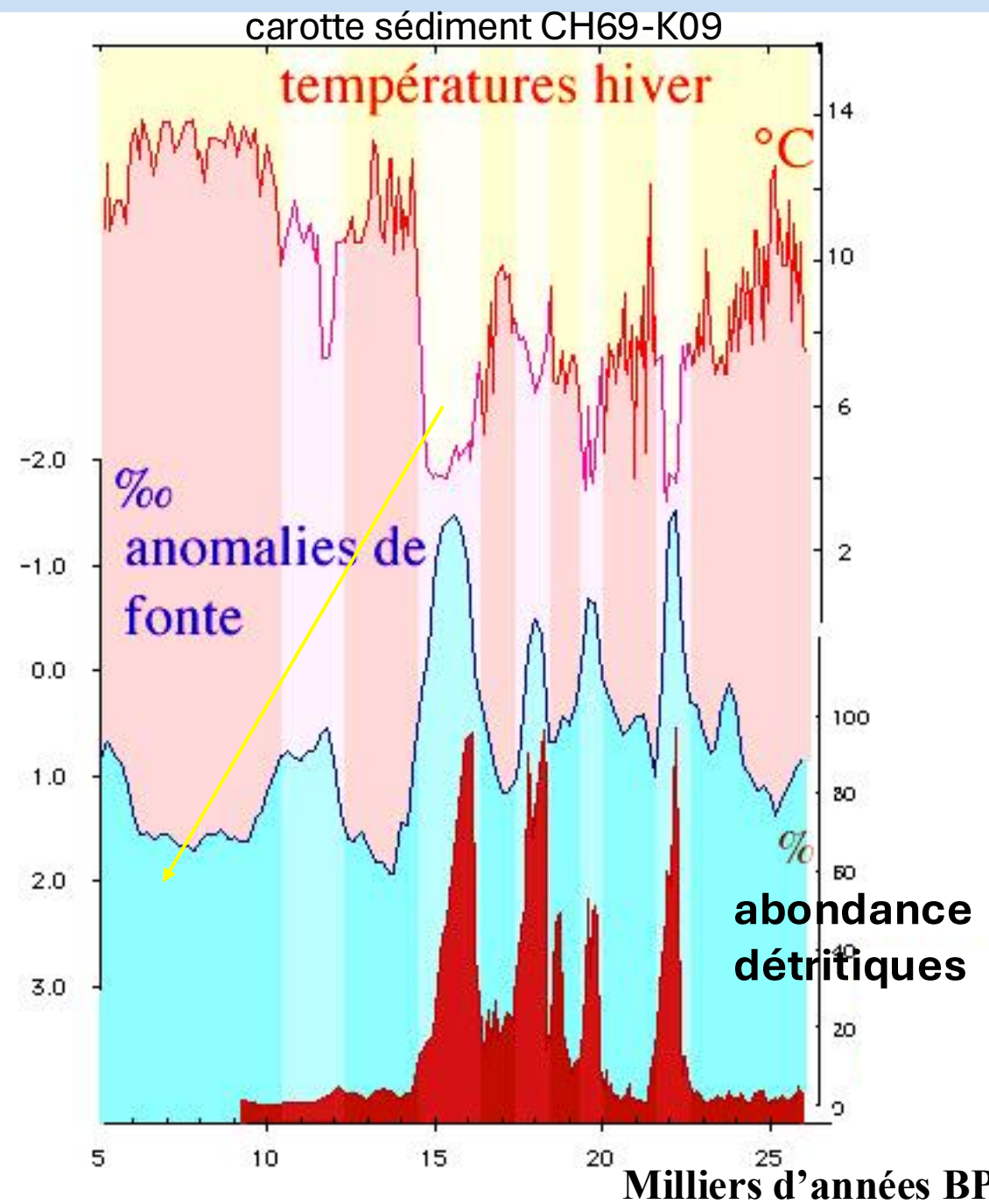
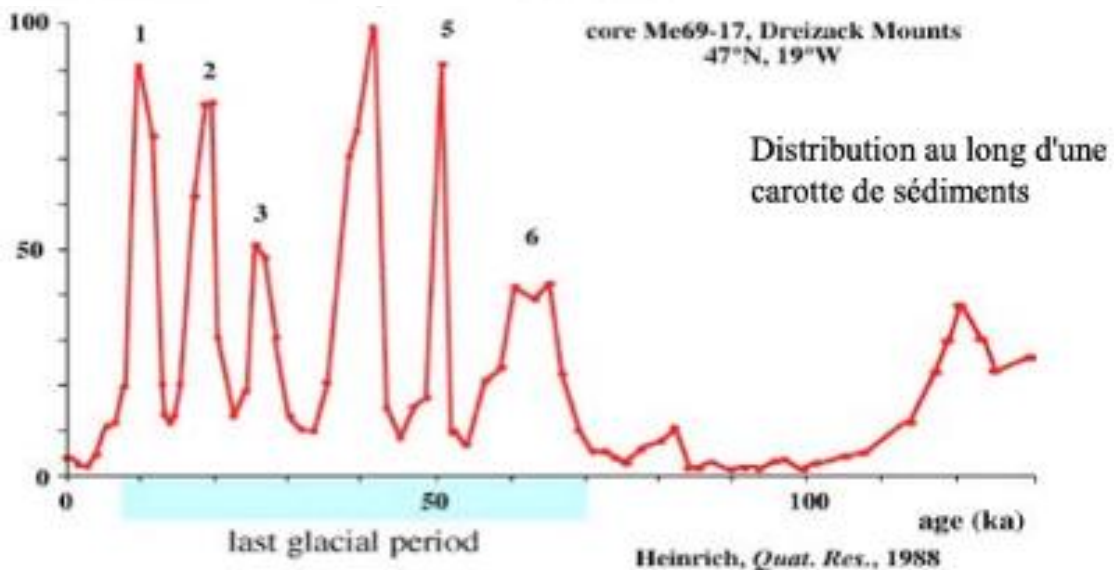
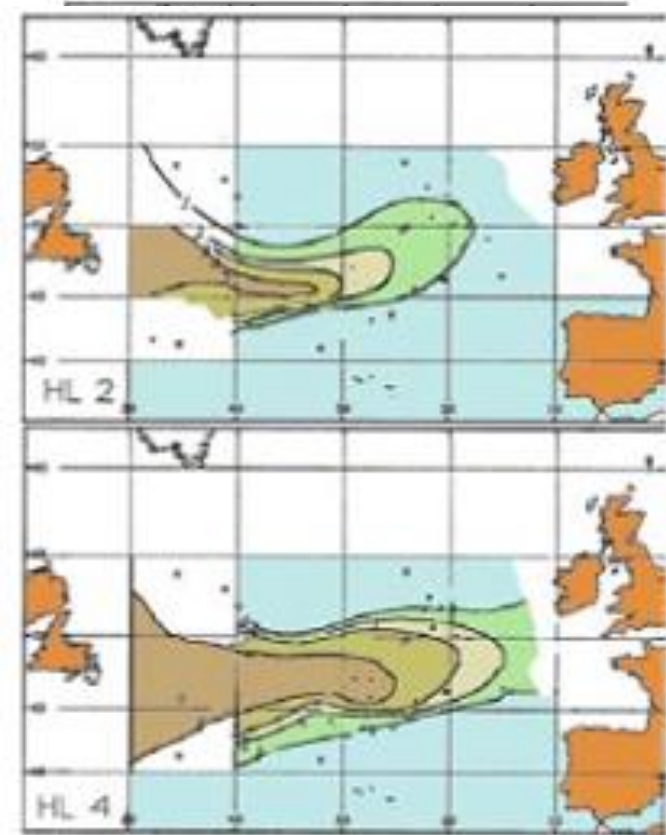


cycles



Periode glaciale





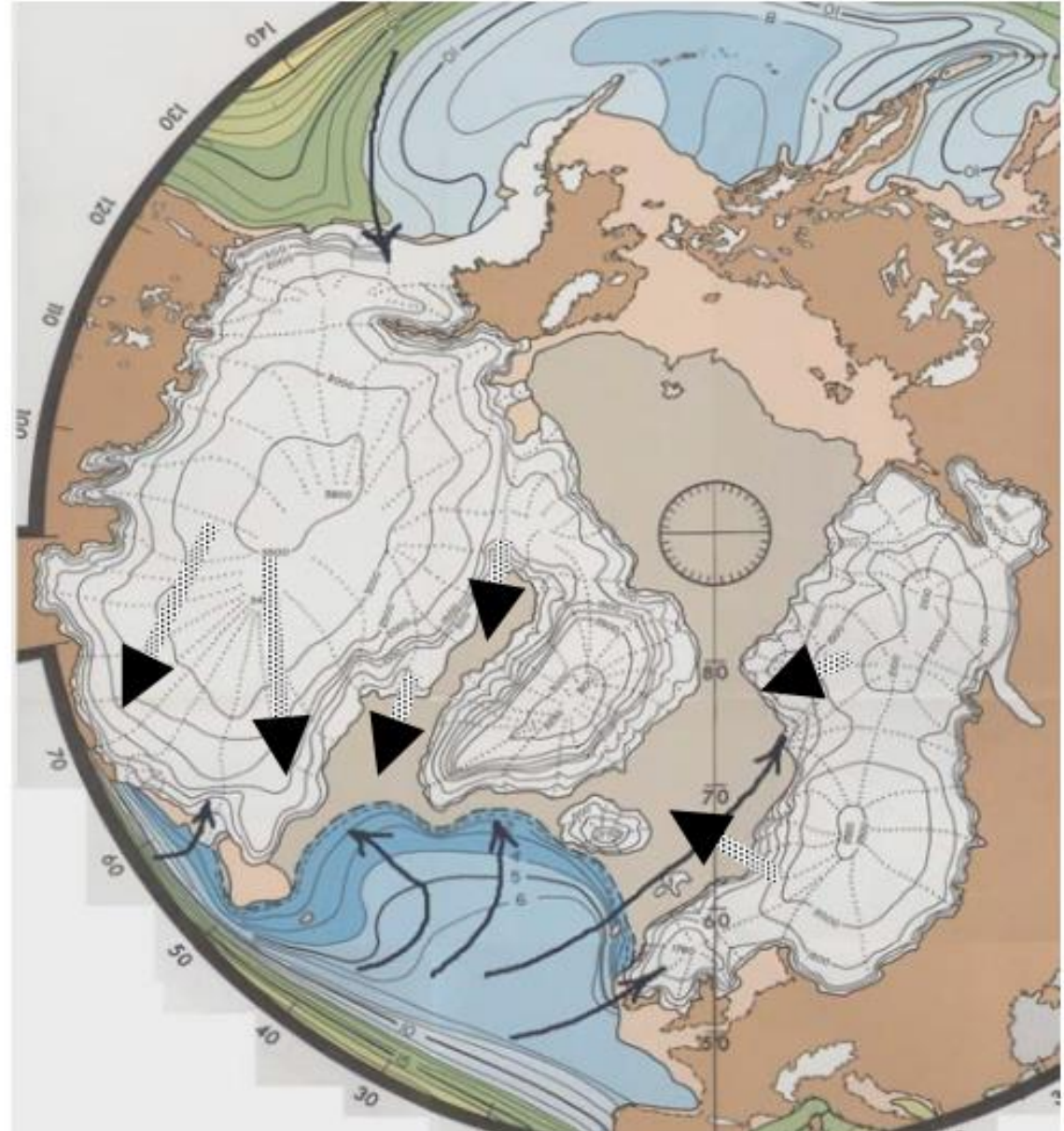
Le moteur: Calottes de glace boréales au cours du dernier Maximum Glaciaire

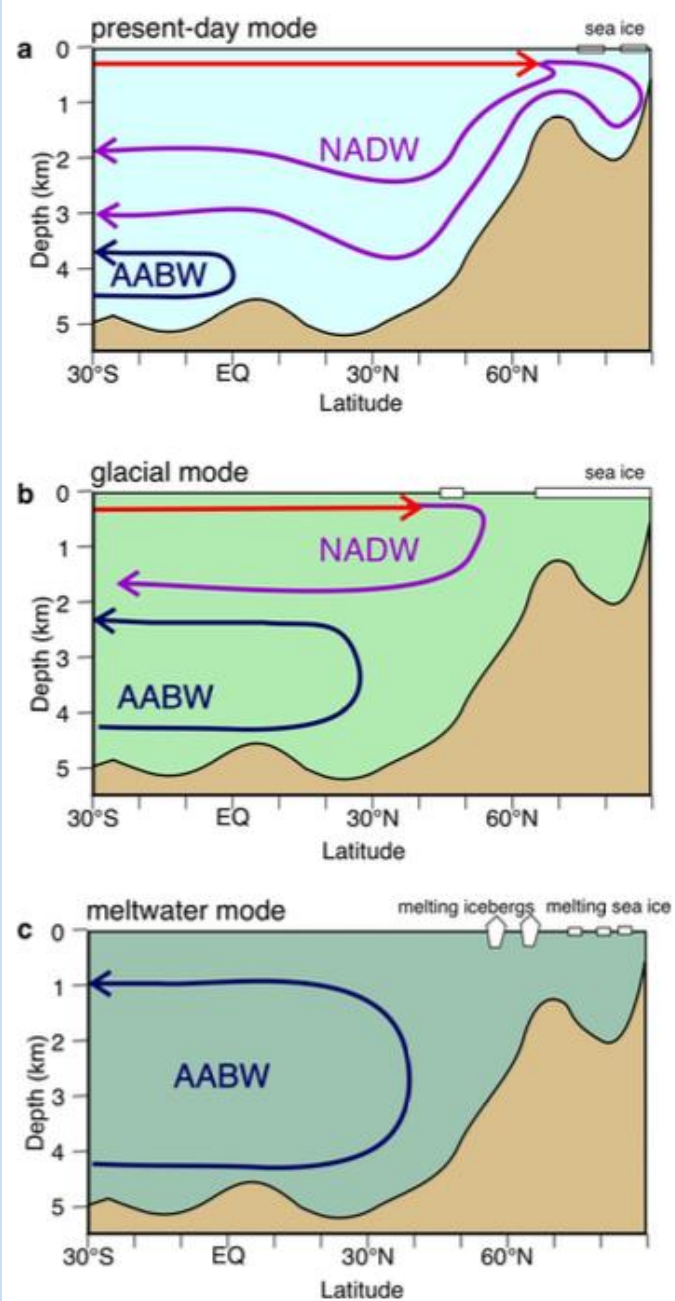
Calottes boréales au dernier maximum glaciaire
reconstruites par le groupe CLIMAP (1981)

Les zones possibles de croissance rapide et d'écoulement
préférentielles ont été ajoutées

→
Apport de neige(circulation atmosphérique)

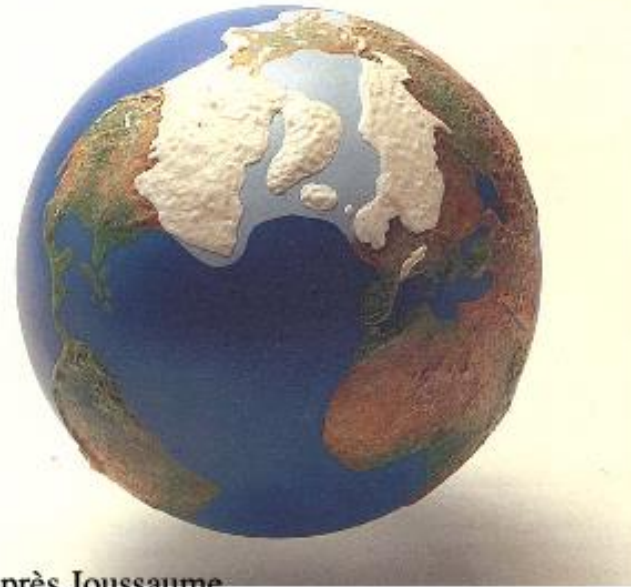
→
Écoulement de la glace





données géochimiques fossiles

La terre glaciaire (il y a 21 000 ans)



D'après Joussaume

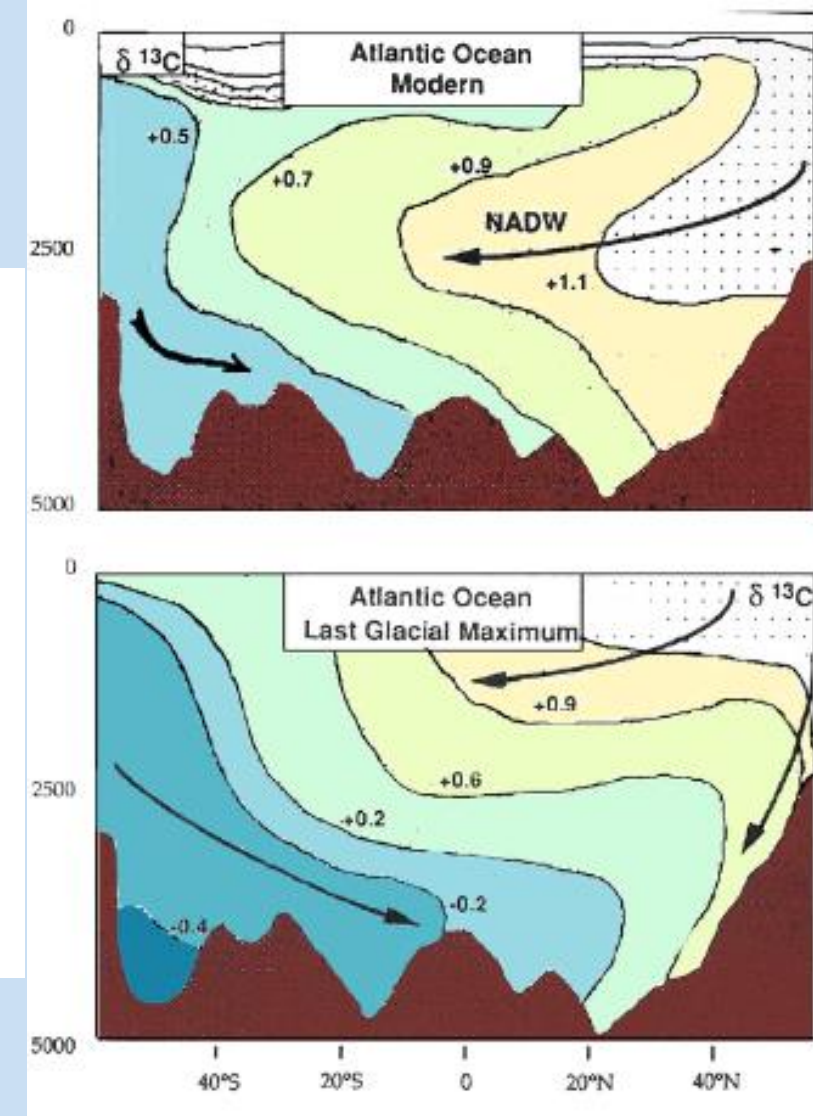
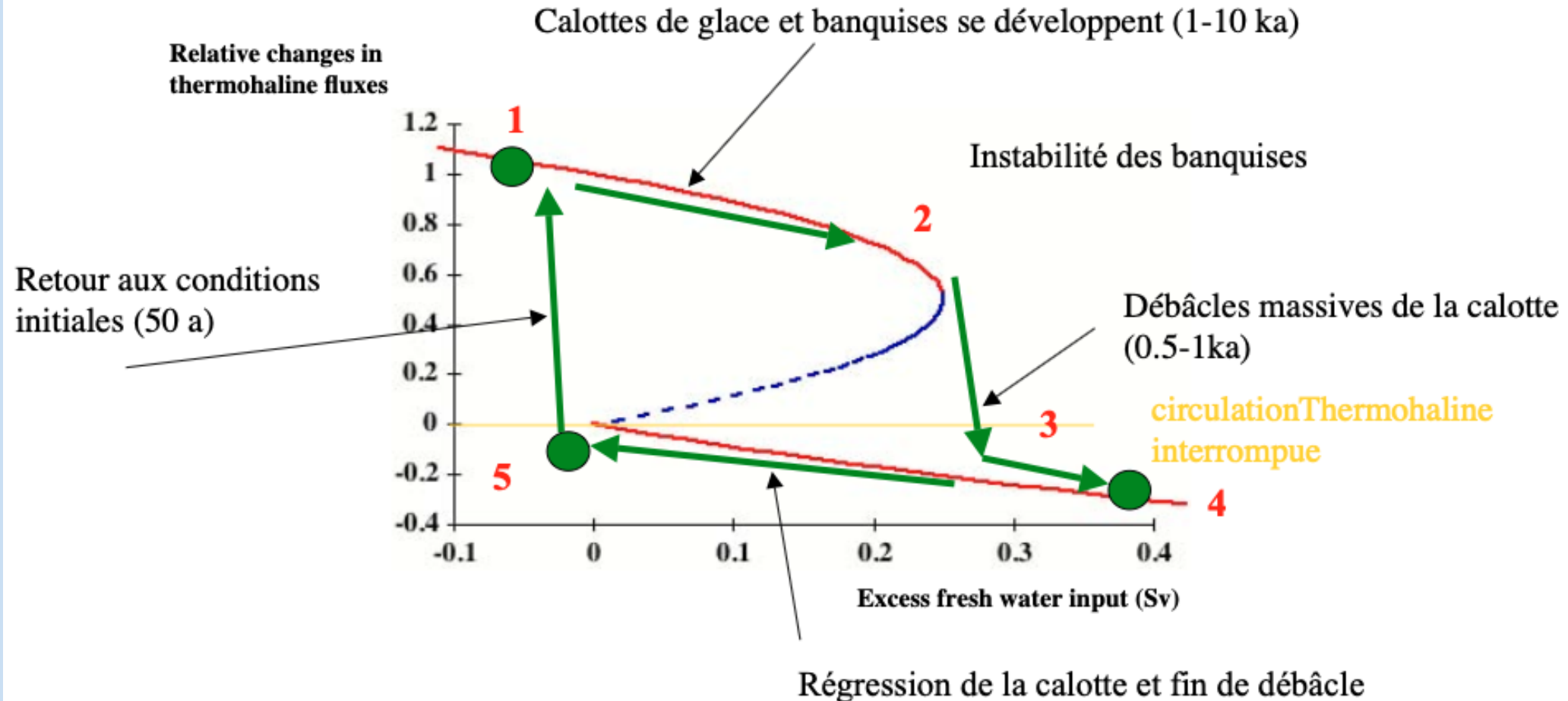


Figure 15. Three principal modes of AMOC operation: (a) contemporary or robust present-day mode, (b) glacial mode (e.g., LGM or weakened mode), and (c) interglacial or meltwater mode with minimal or reversed AMOC.

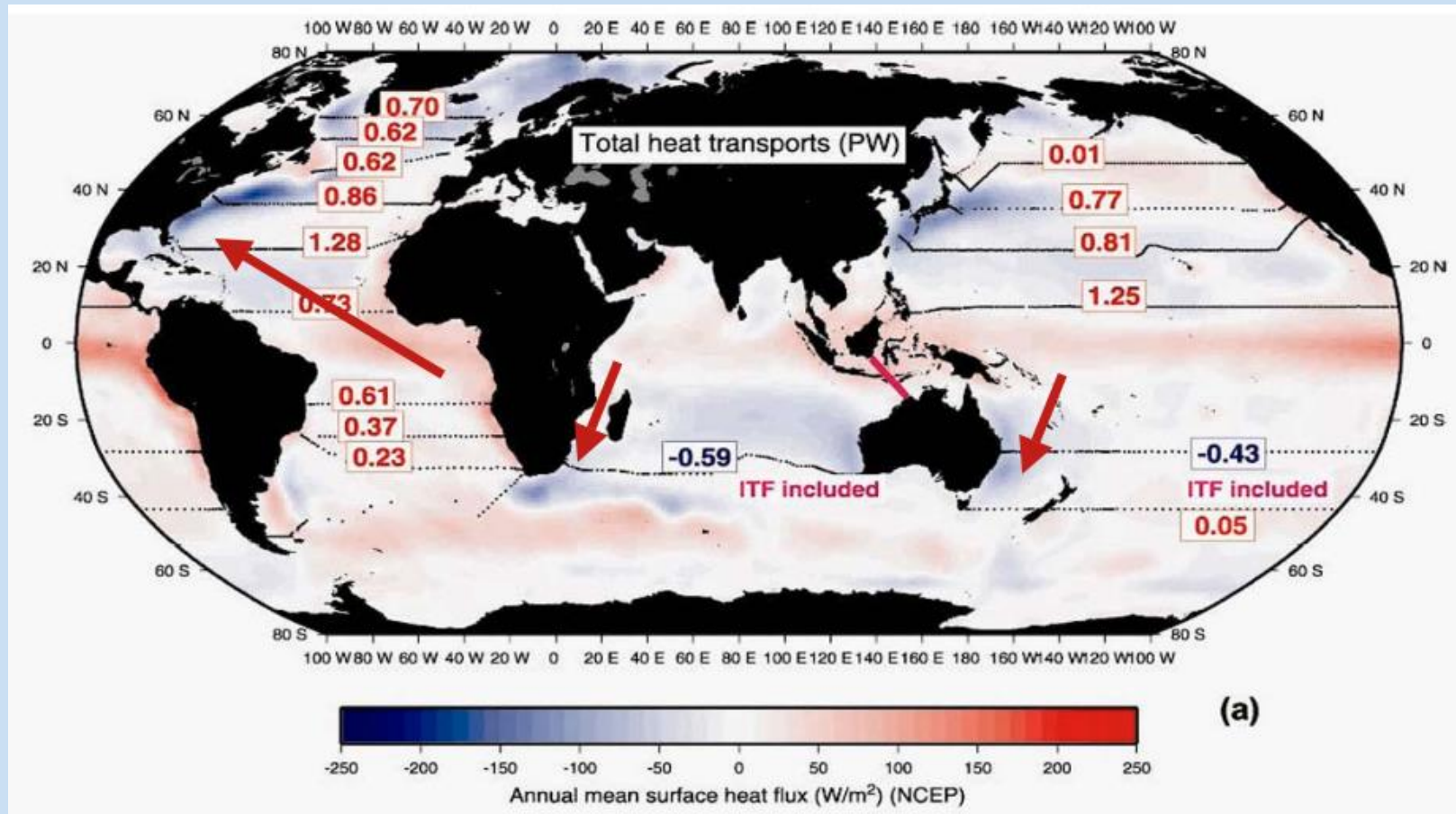
Instabilité de la THC liée aux événements de Heinrich



Océan actuel et futur

Qu'en est il, avec la baisse de densité des eaux de l'Atlantique nord liée à leur réchauffement, et au risque de fonte massive de la glace du Groenland?

Est ce qu'un excès de fonte peut arrêter la grande boucle thermohaline et le flux de chaleur associé?



Excess heat transferred to the North in the Atlantic Ocean

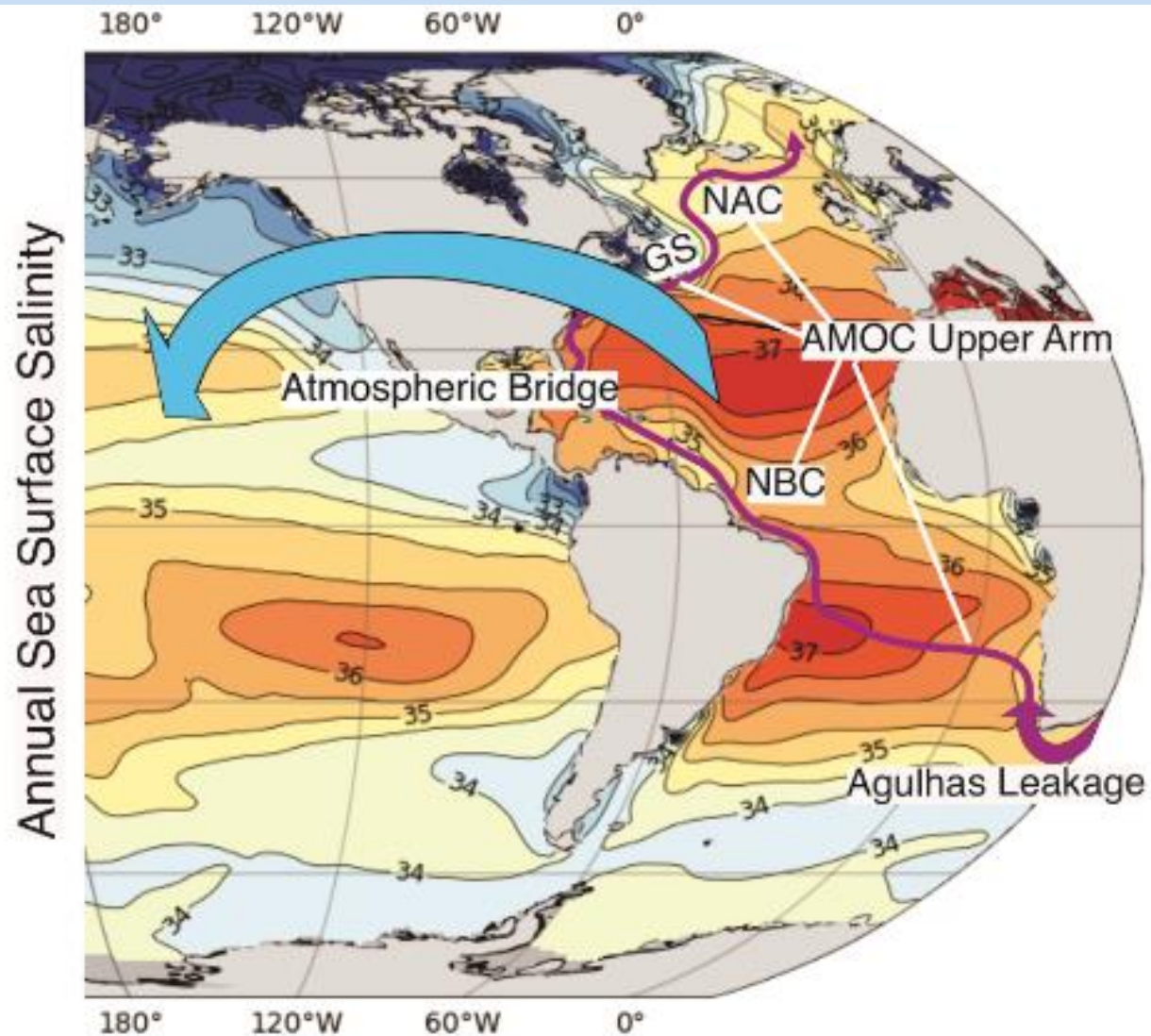
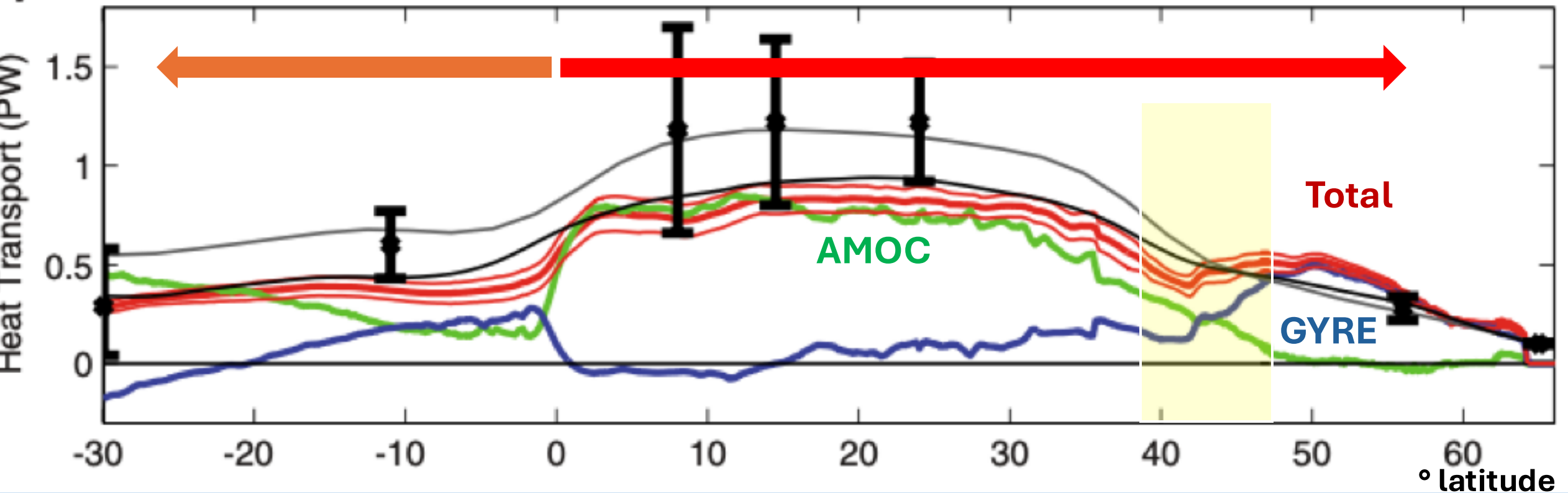


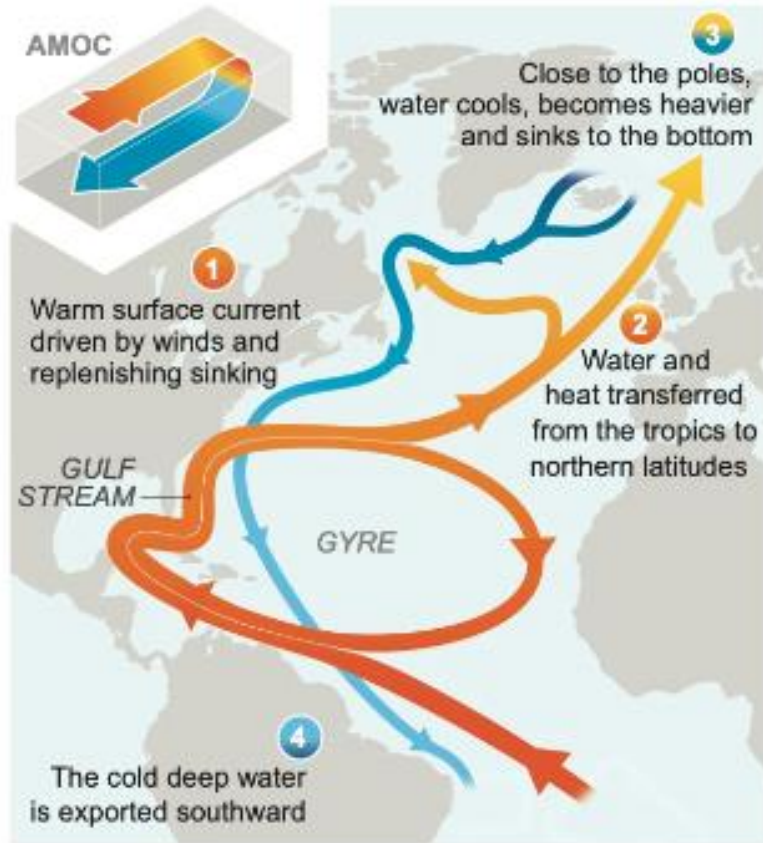
Figure 12. Schematic diagram showing the Freshwater Atmospheric Bridge and salty water Agulhas Leakage from the Indian Ocean, two significant processes that can impact the AMOC and global thermohaline conveyor. The warm upper arm of the AMOC has four major components: Agulhas

transport de chaleur méridien Océan Atlantique



Today

The Gulf Stream is part of both the horizontal, subtropical gyre and the vertical, Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC)



In a warmer world

Climate change weakens the AMOC, which slows the Gulf Stream down

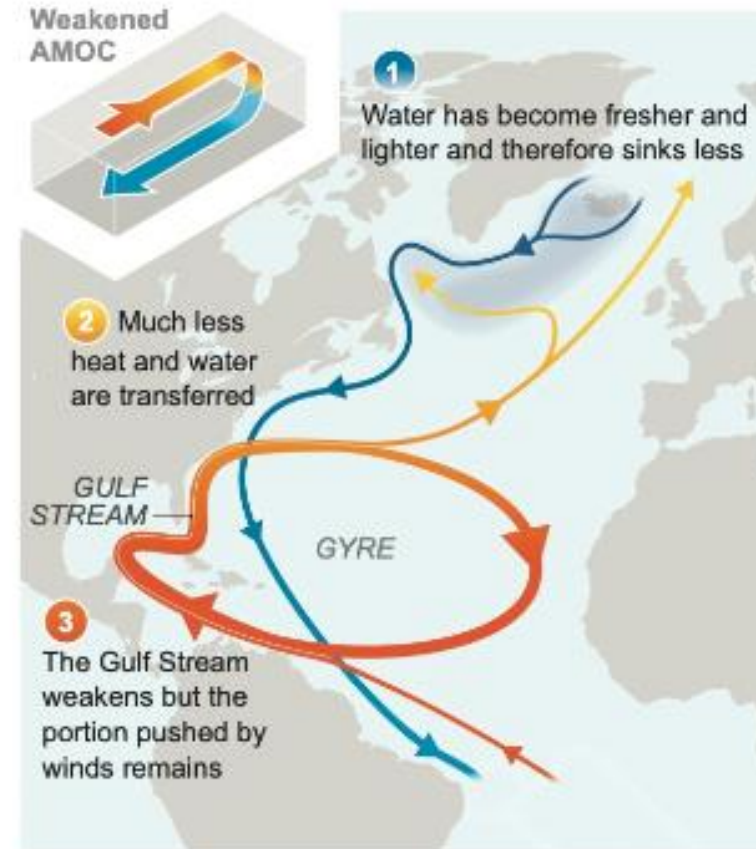


Figure 16. The GS at present (left panel) and in a warmer future (right panel). The GS is expected to slow down, but it is not likely to collapse in the foreseeable future or the coming several decades. The AMOC is also expected to slow down, but will not collapse. Reproduced from Ref. [237].

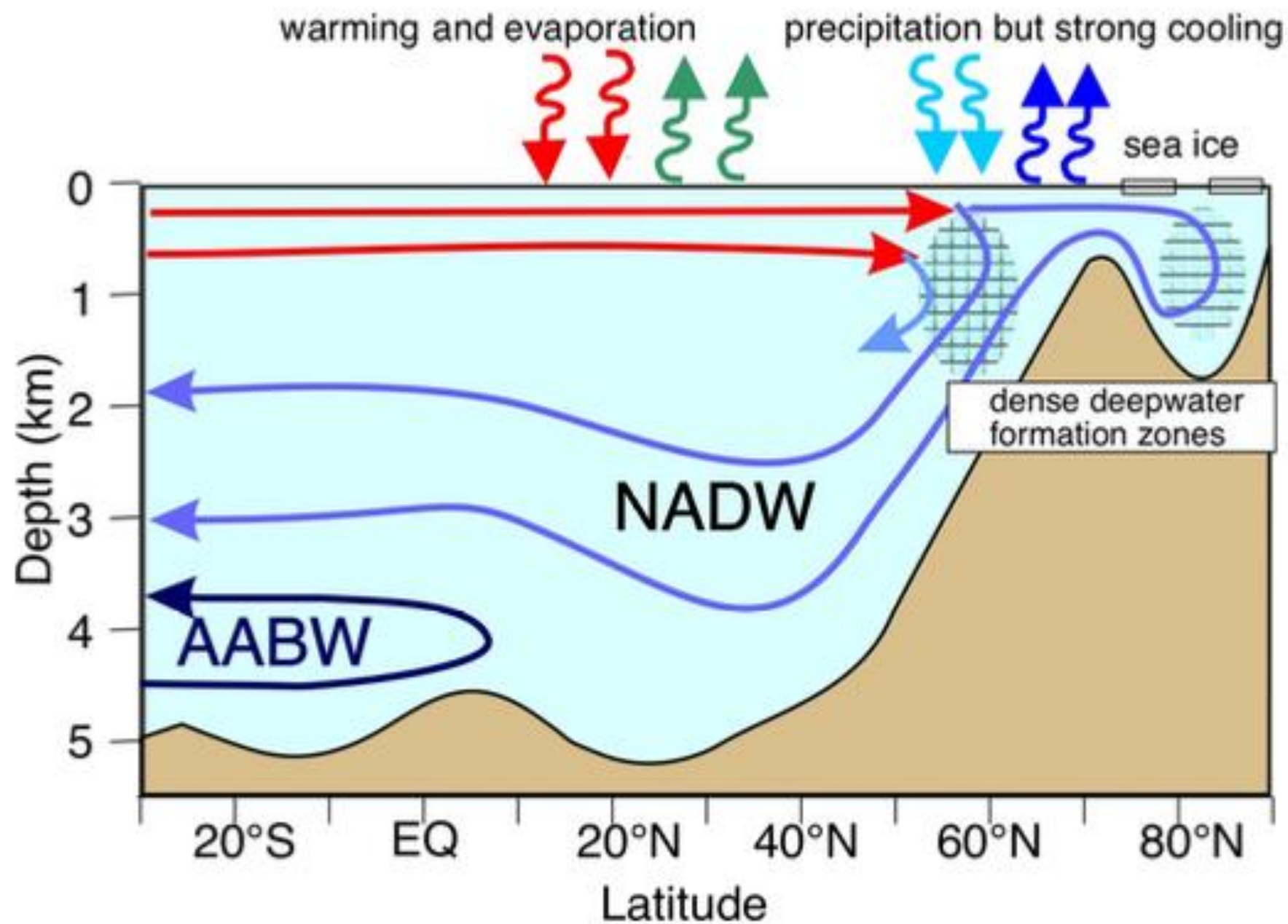


Figure 5. Schematic representation of AMOC and NADW formation.

**Mode : tout est expliqué par les oscillations de l'activité
thermohaline**

THE DAY AFTER TOMORROW
IN THEATRES WORLDWIDE 28 MAY 2004

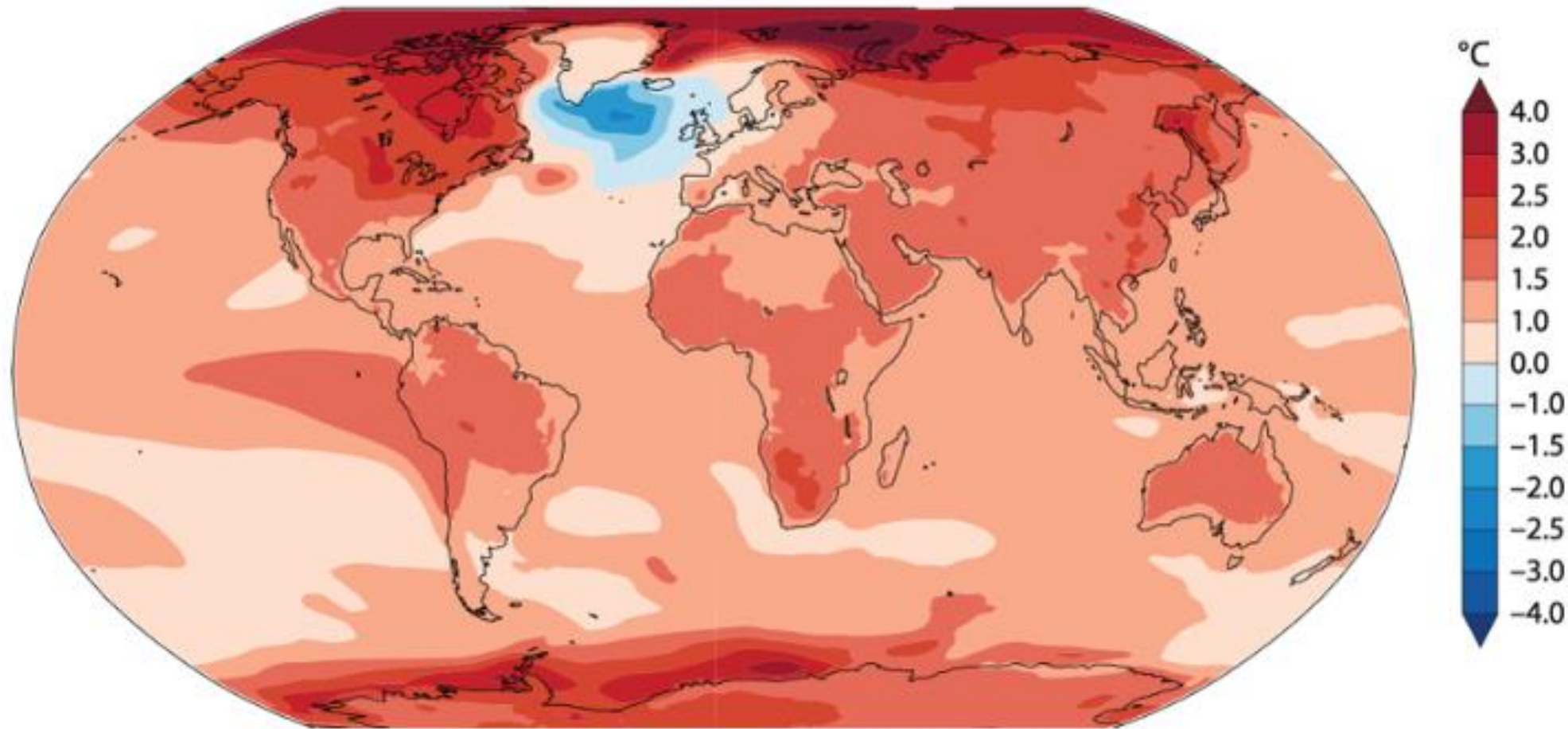


Figure 19. Global temperature changes by 2100 for a low emissions scenario in high-warming models ([237]; reproduced after [261]).

Is the Atlantic Overturning Circulation approaching a tipping point?
Rahmstorf, S.: Oceanography 2024,

- l'eau de surface polaire se réchauffe, et accumule l'eau douce issue de l'excès de précipitation et fonte des glaces
- Les modèles globaux font apparaître une baisse progressive associée de la plongée en Atlantique nord
- Les conclusions IPCC : baisse prévue de la boucle thermohaline
- et même risque d'arrêt dans les prochains siècles pour des études récentes

Atlantic meridional overturning circulation

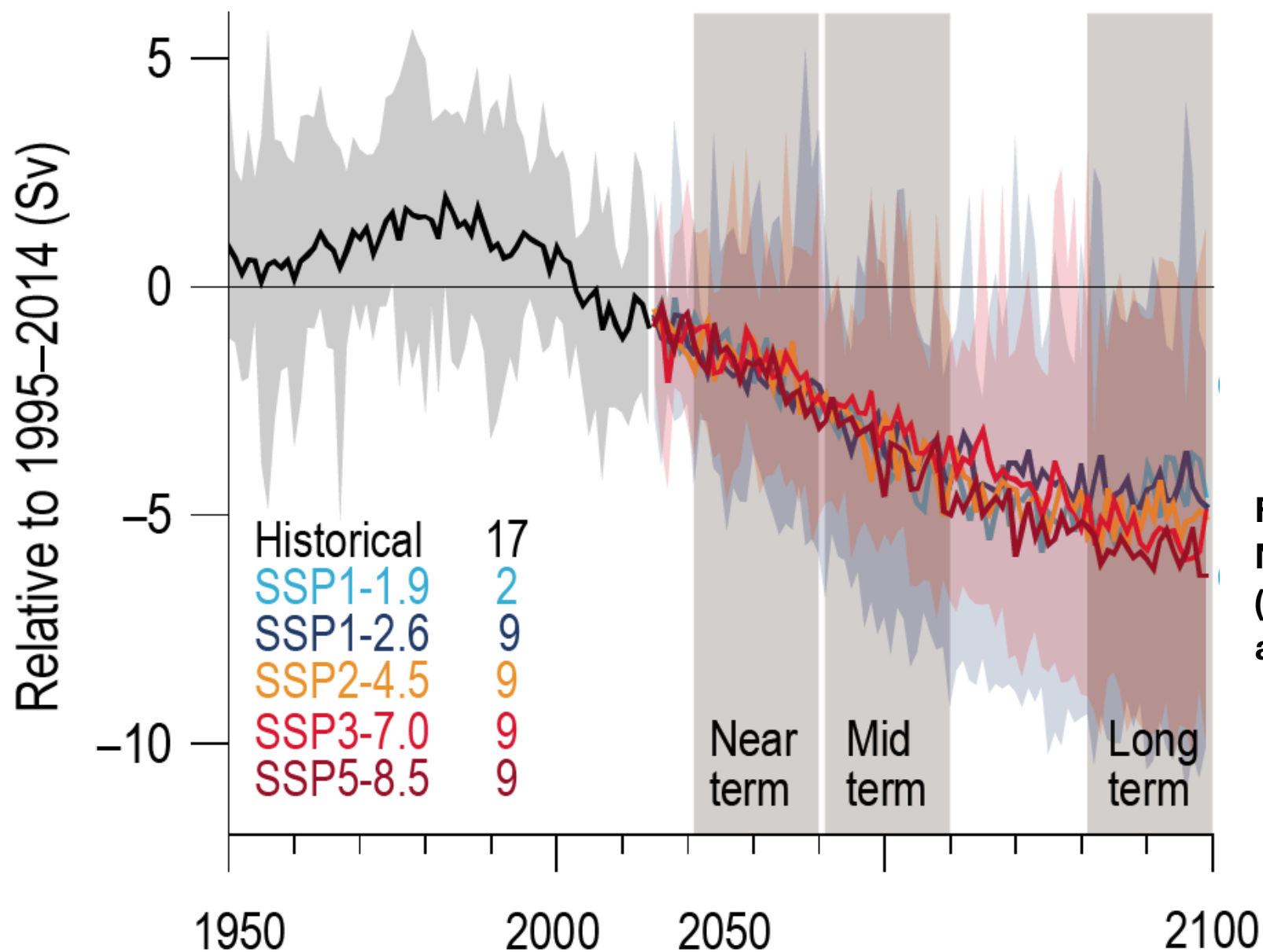
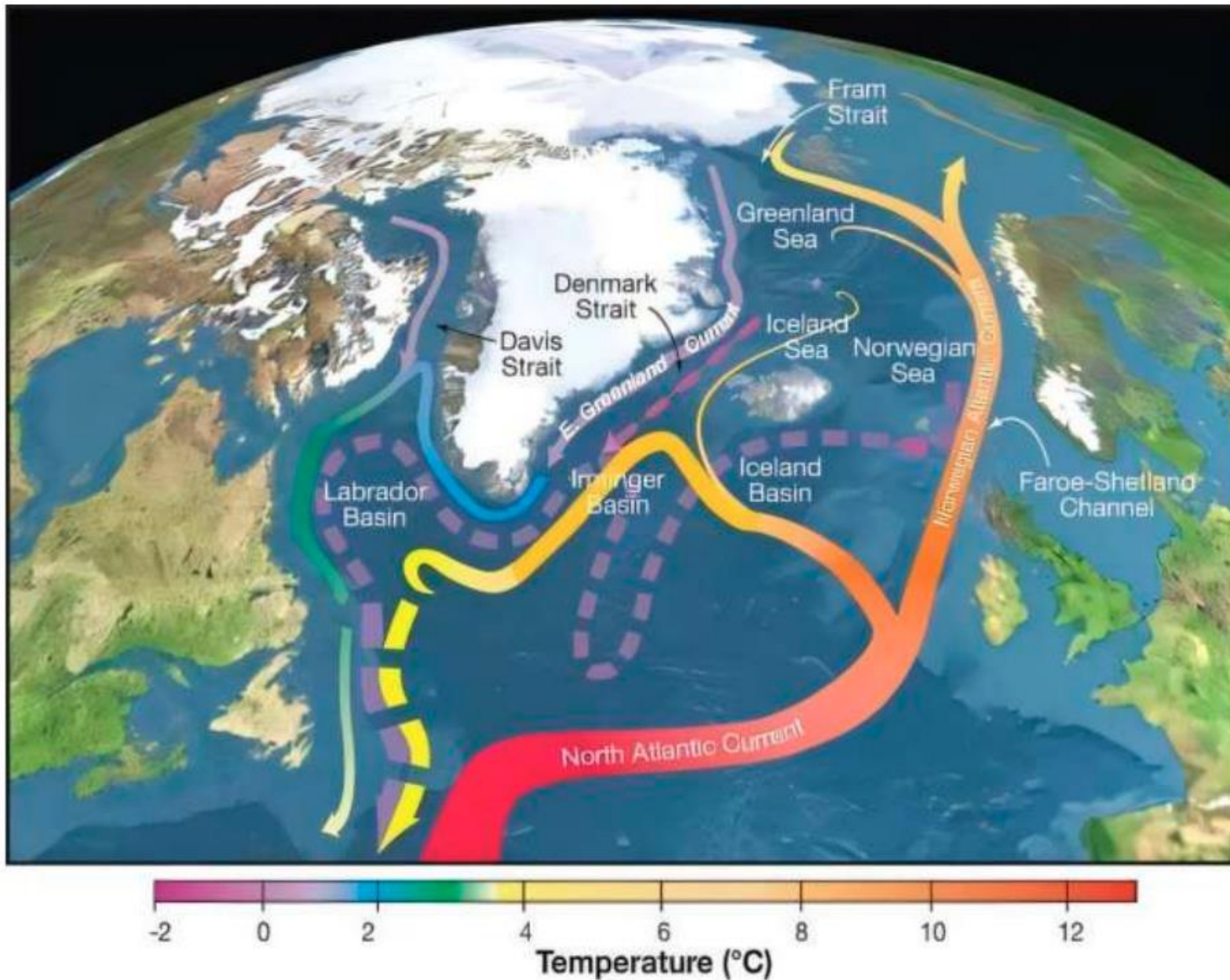


Figure 4.6 | CMIP6 annual mean Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) strength change in historical and scenario simulations.

Nous ne sommes pas en période glaciaire, et la circulation est plus complexe que celle simulée par les modèles à grande échelle



Map depicting the direction that the AMOC carries warm water, from the tropics

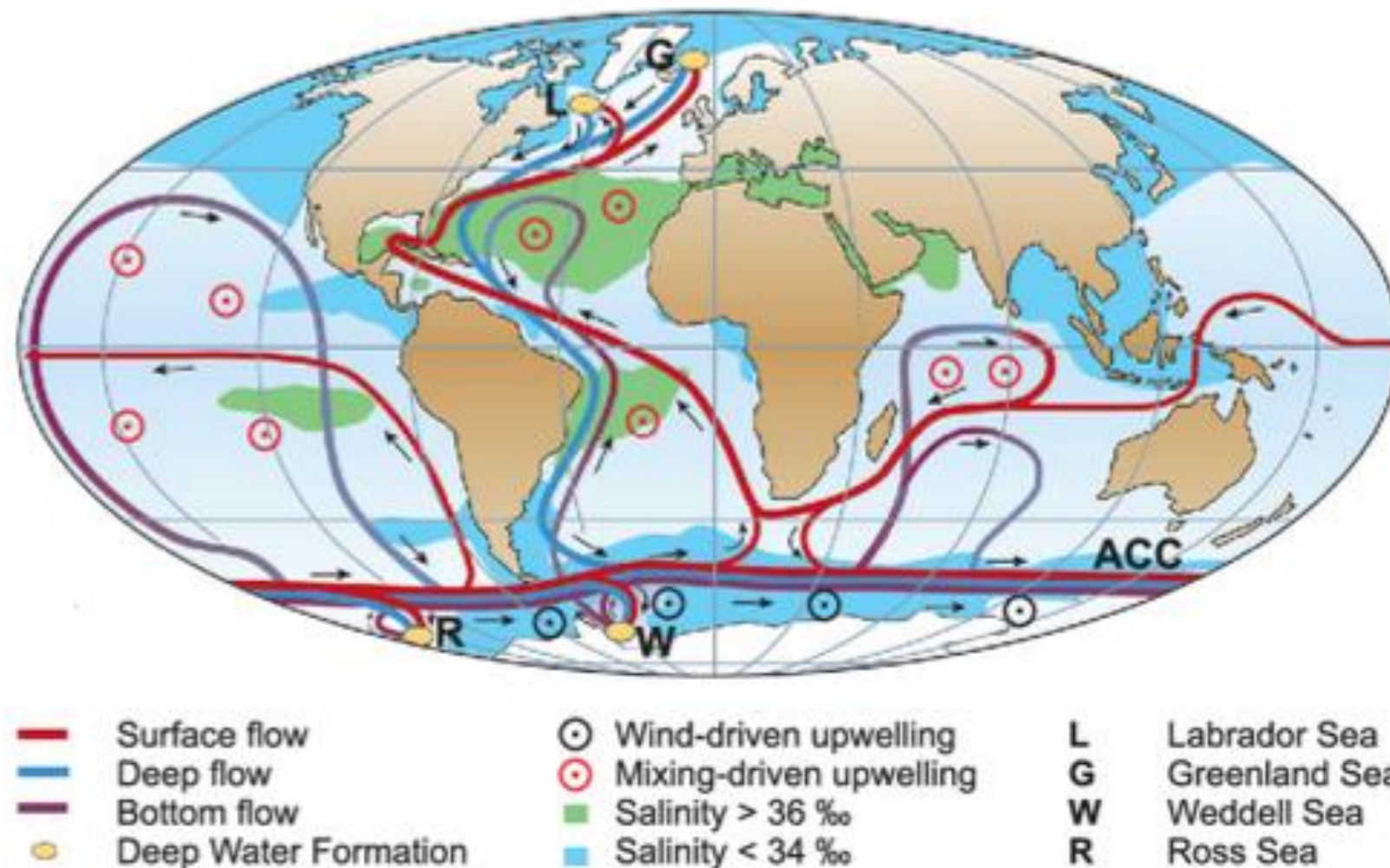


Figure 2. Simplified scheme of the global overturning circulation system. In the Atlantic, warm and saline waters flow northward into the Labrador and Nordic Seas, where they are cooled and descend to deep layers as the North Atlantic Deep Water (NADW). The North Pacific has no deepwater formation, and its surface water is fresher. Deep waters formed in the Southern Ocean became denser and spread deeper than those formed in the North Atlantic Ocean. Wind-driven upwelling occurs along the Antarctic Circumpolar Current (ACC). Reproduced from Ref. [22].

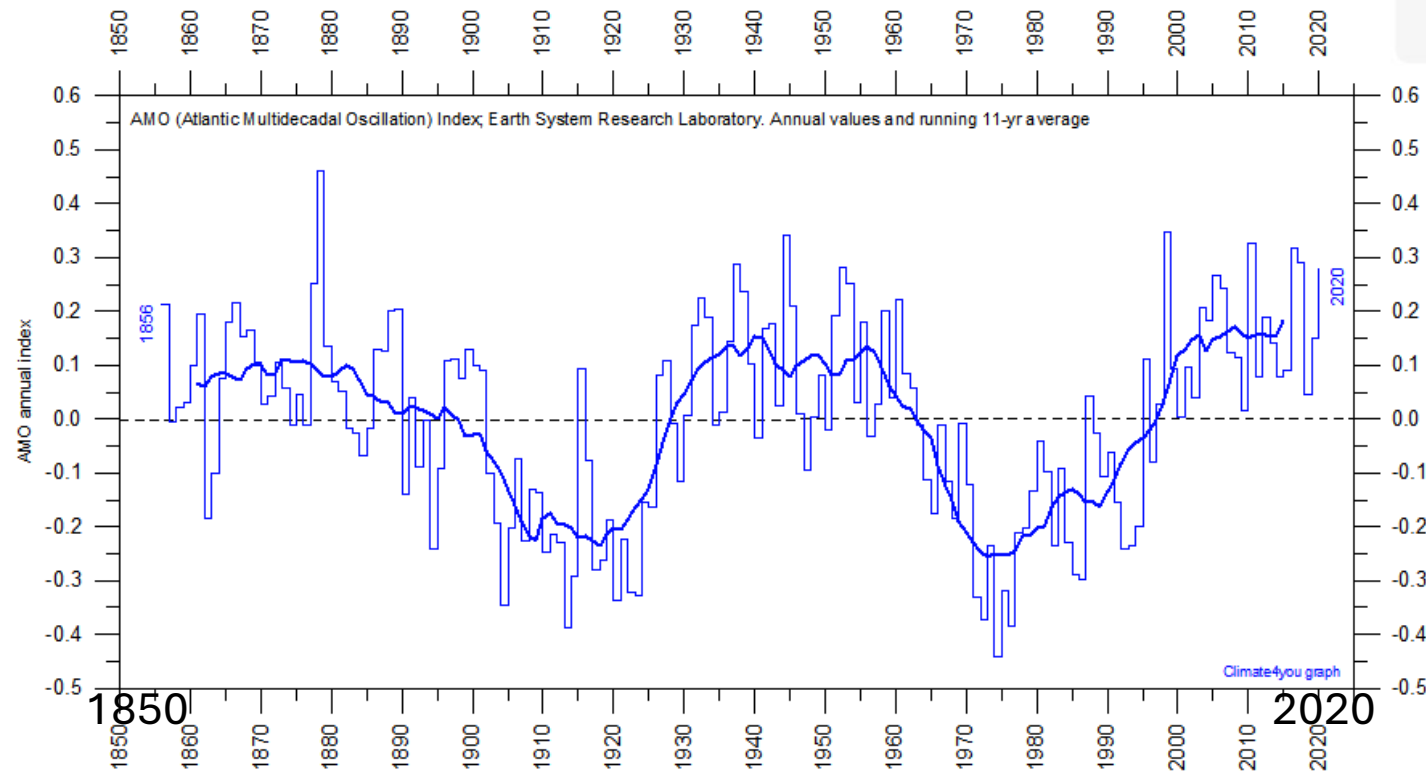
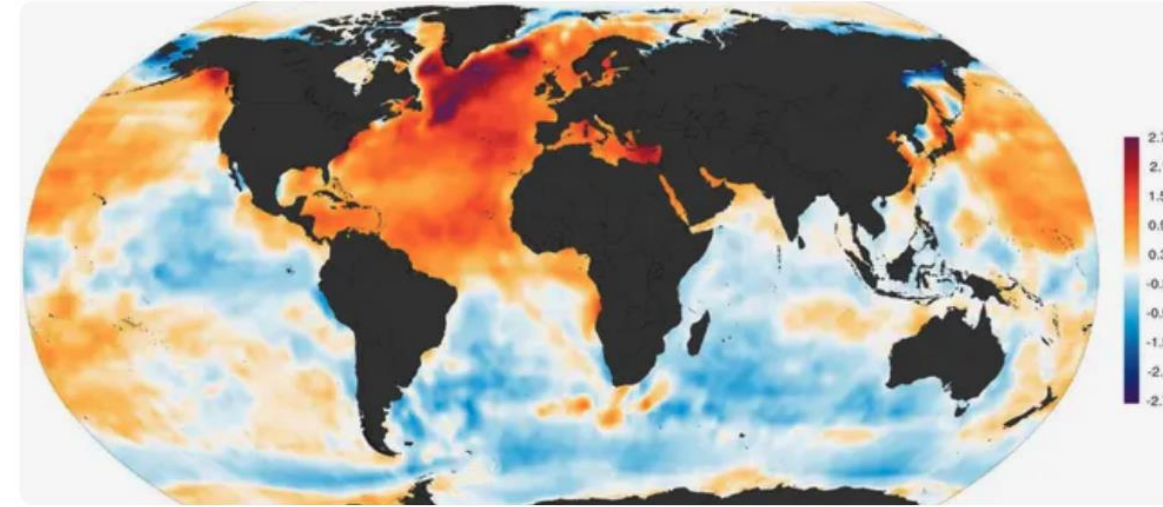
- Mais l'eau de surface polaire se réchauffe, et accumule eau douce issue de l'excès de précipitation et fonte des glaces
- Les modèles globaux font apparaître une baisse progressive associée de la plongée en Atlantique nord
- Les conclusions IPCC : baisse prévue de la boucle thermohaline
- et même risque d'arrêt dans les prochains siècles pour des études récentes

Toutefois le suivi des données océanographiques et modèles très haute résolution ne permet pas d'être aussi affirmatifs

variabilité importante de l'hydrographie
de surface depuis 1850 sans tendances
à long terme

Atlantic multidecadal oscillation

Climate cycle that affects the surface temperature of the North Atlantic
From Wikipedia, the free encyclopedia

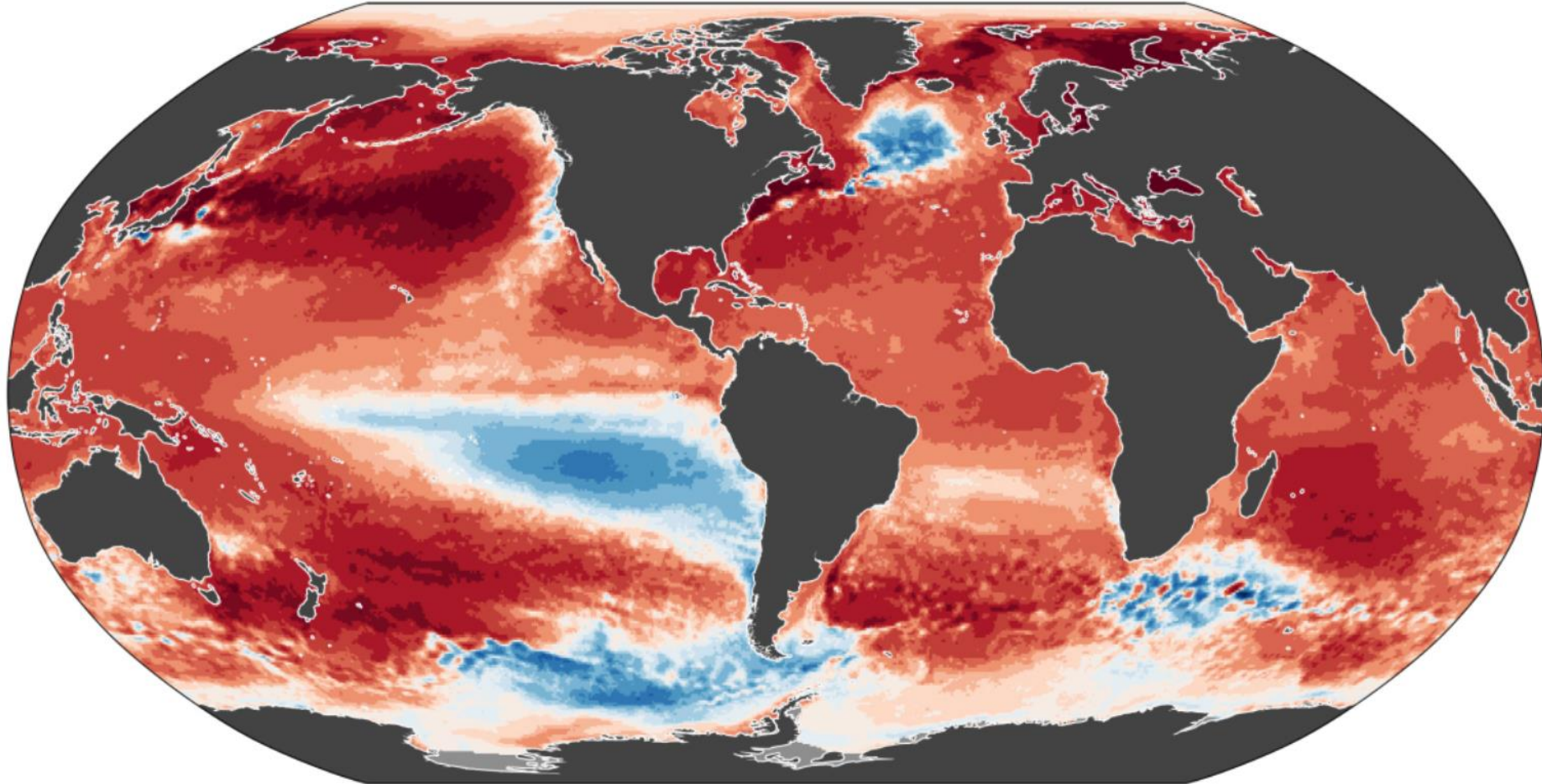


Michael Mann, the originator of the term AMO, put it more succinctly in a blog post on the matter: "my colleagues and I have provided what we consider to be the most definitive evidence yet that the AMO doesn't actually exist."

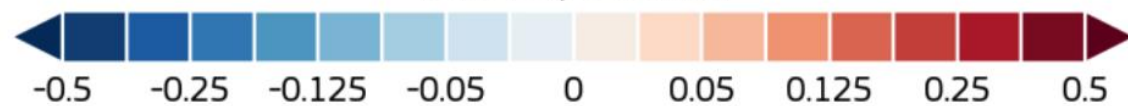
Annual Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) detrended index values since 1856. The thin line indicates 3 month average values, and the thick line is the simple running 11 year average. Further explanation in text [above](#). Data source: [Earth System Research Laboratory](#) at NOAA. Last year shown: 2020. Last

Trend in sea surface temperature for 1993–2023

Data: ESA CCI SST v3.0 • Reference period: 1991–2020 • Credit: C3S/ECMWF



Trend (°C per decade)



Copernicus Climate Change Service
European State of the Climate | 2023



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



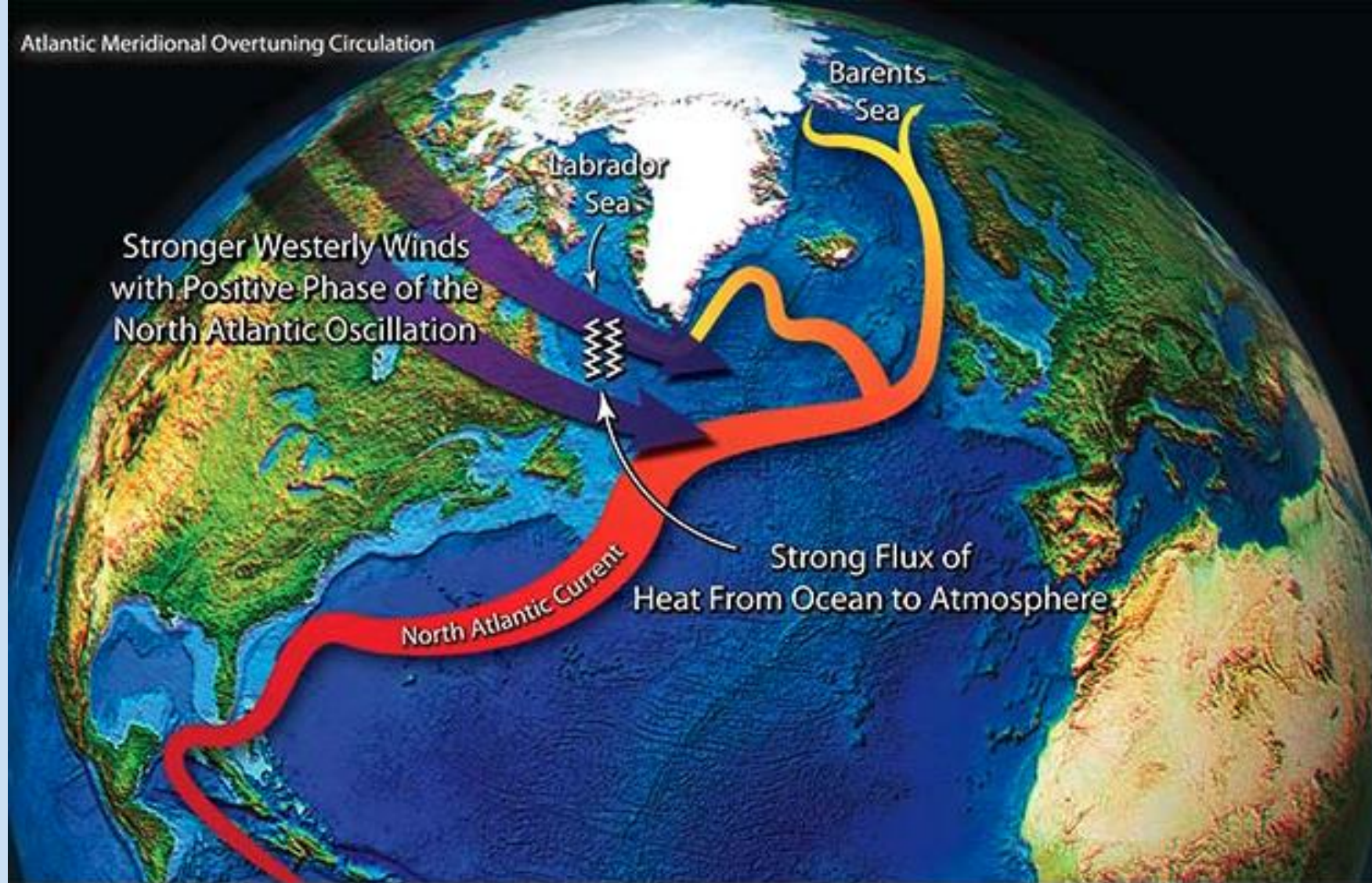
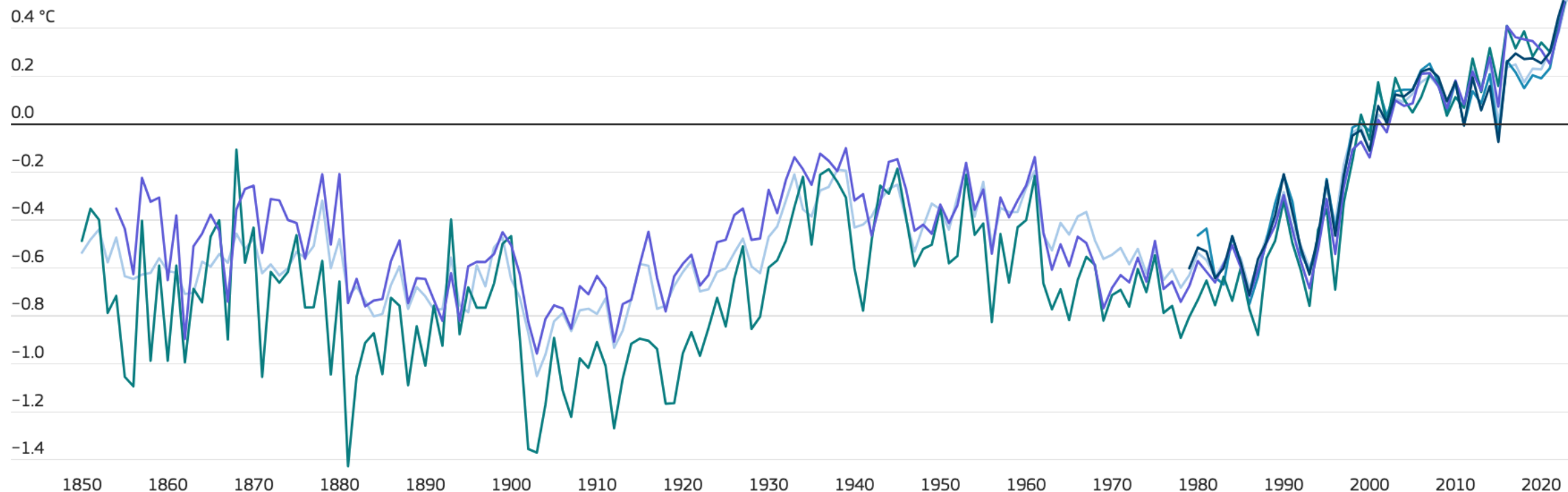


Figure Schematic of some of the impacts of the North Atlantic Oscillation (NAO) on the ocean. A positive phase of the NAO has stronger westerly winds over the subpolar gyre, thereby extracting more heat from the Labrador Sea and subpolar gyre. This leads to increasing density of water in the Northwest Atlantic, thereby increasing the west-east density gradient across the North Atlantic. In turn, this altered density contrast leads to a strengthening of the Atlantic Meridional Overturning Circulation

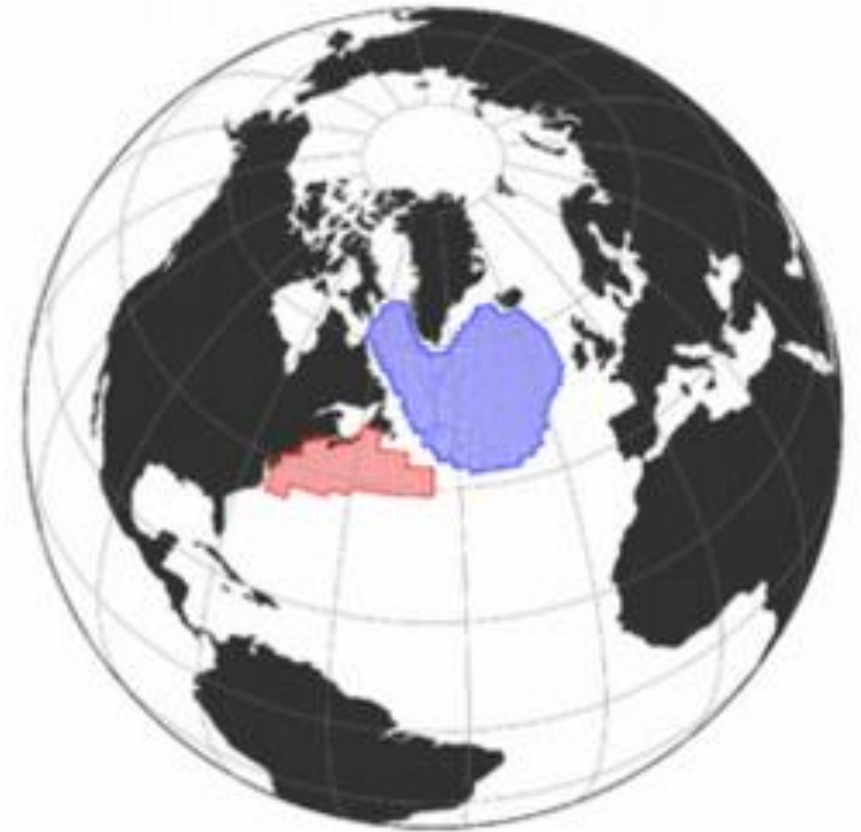
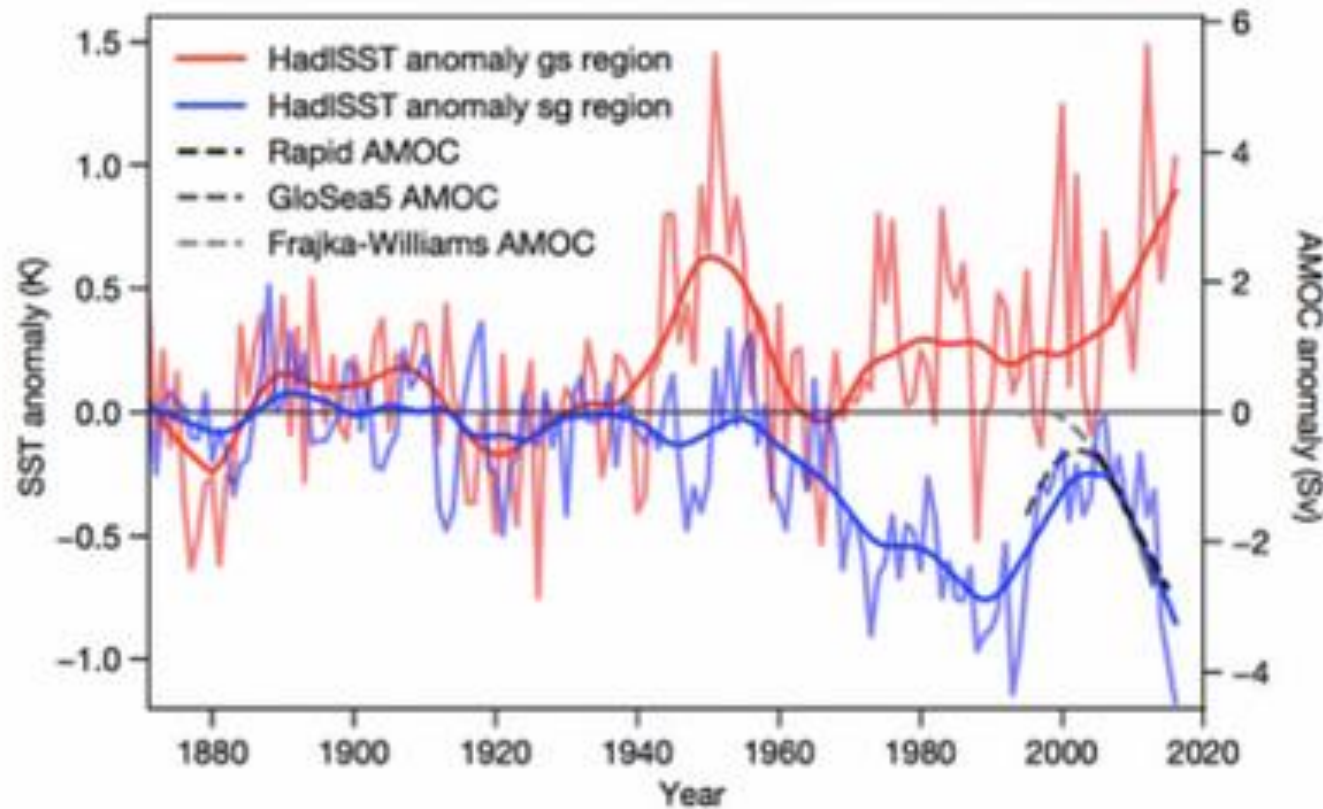
Anomalies in annual sea surface temperature for European ocean

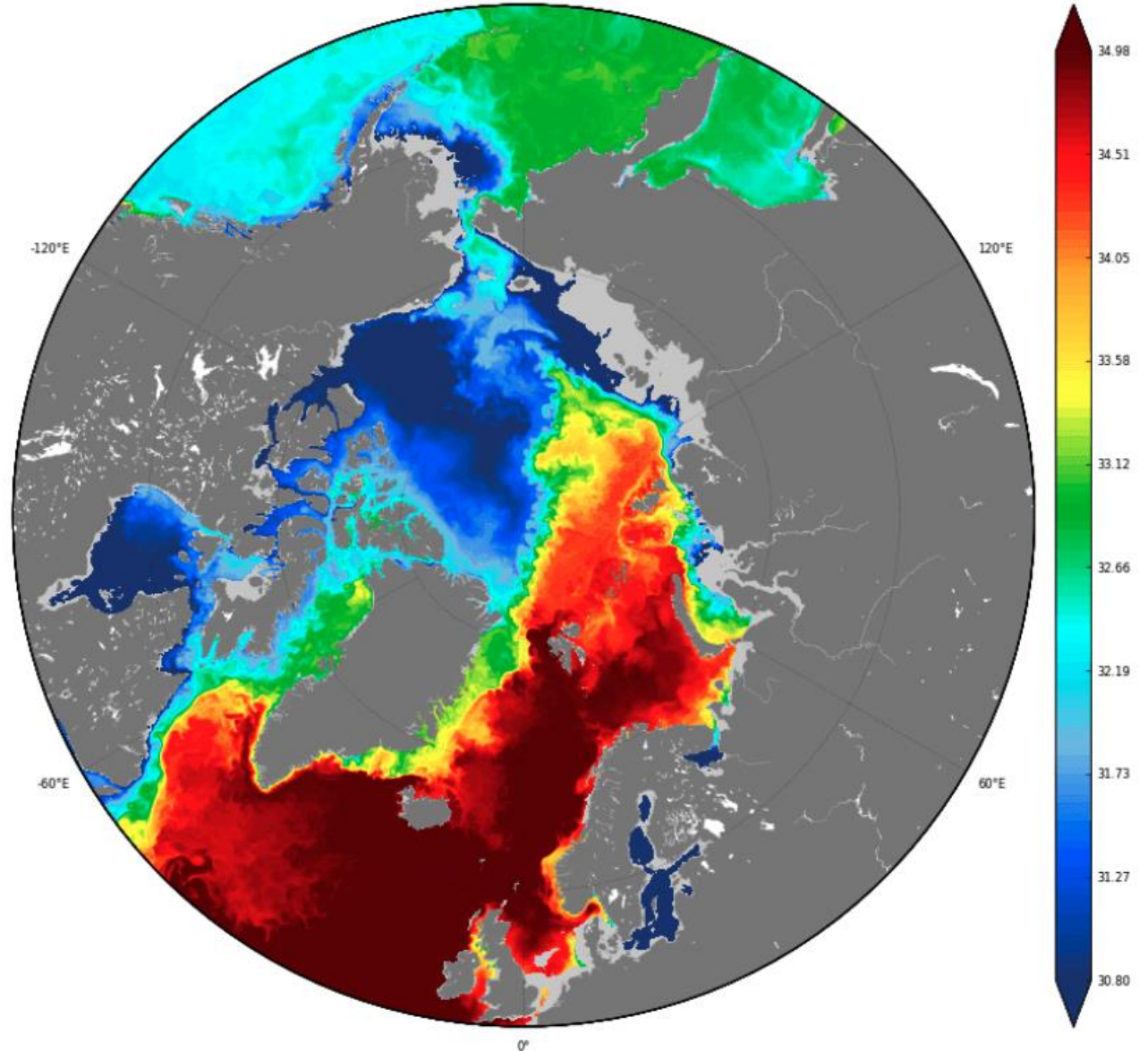
— ERA5 — ESA — ERSST — COBE — HadSST



Data source: ERA5, ESA SST CCI Analysis v3, ERSSTv5, COBE2-SST, HadSST 4.0.1.0 • Reference period: 1991–2020 • Credit: C3S/ECMWF

Le «trou de chaleur » qui se développe dans le nord atlantique laisse un passage au long des côtes nord européennes pour le passage d'eau plus chaudes et salées chassées par les vents vers l'Arctique

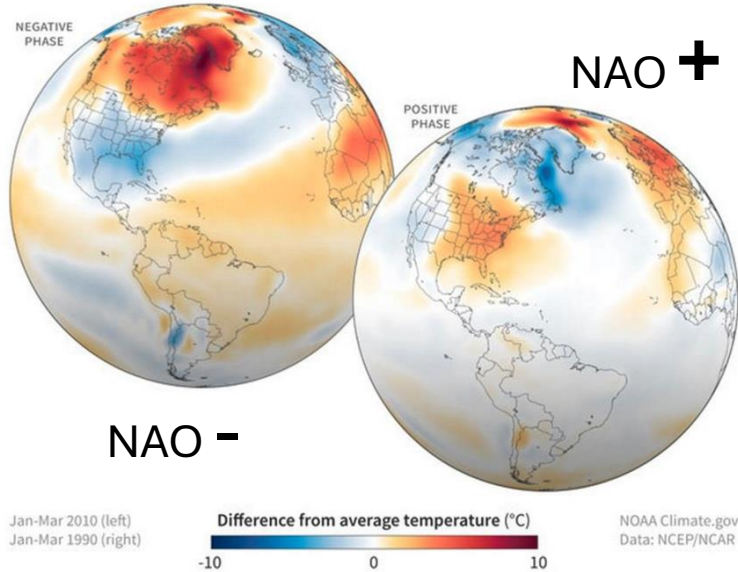




Les vents sur la bordure ouest européenne chassent les eaux salées vers le nord et contribuent ainsi au maintien de la convection profonde

Il y a claire séparation en Arctique entre les eaux salées issues du NE Atlantique et les eaux moins salées issues des fontes glaciaires et excès de pluie nord-Pacifique

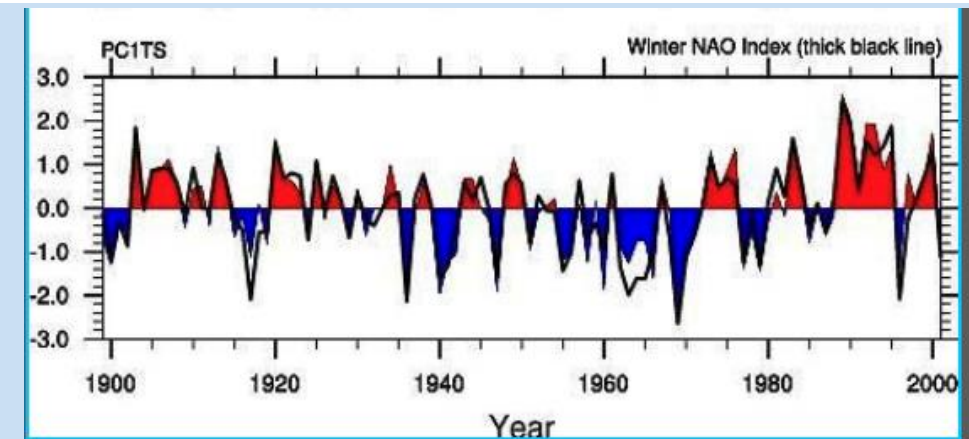
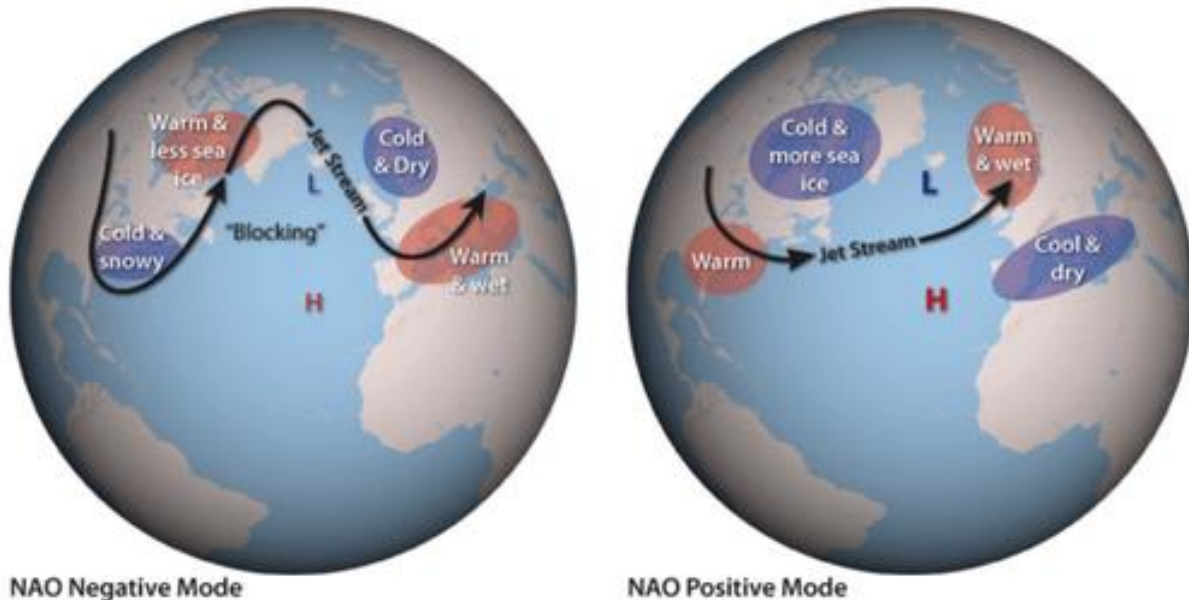
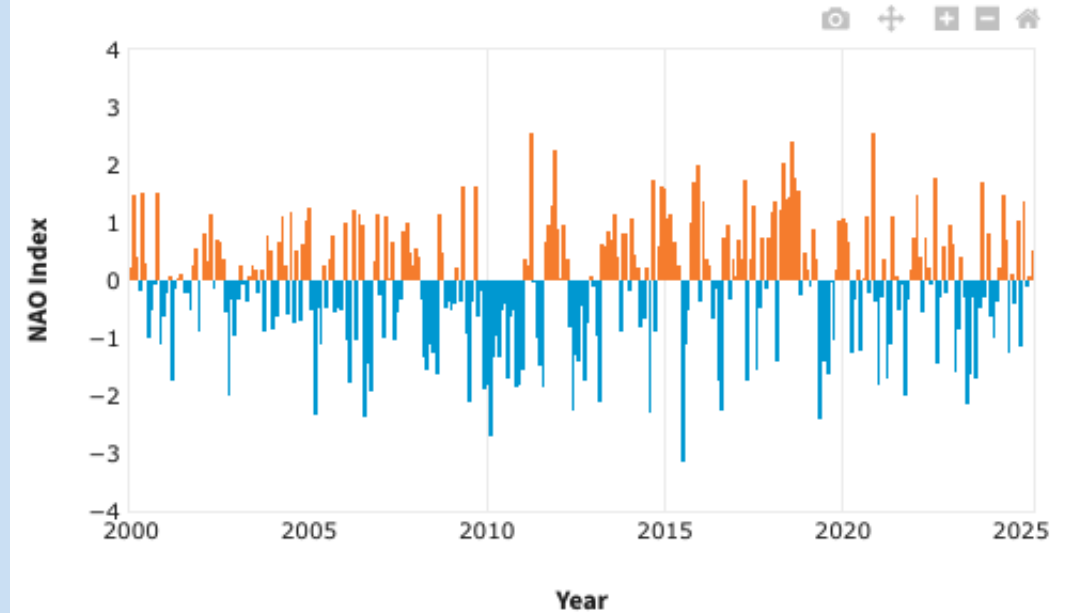
North Atlantic Oscillation contributes to 'cold blob' in Atlantic Ocean



Late winter temperatures compared to the 1981-2010 average when the North Atlantic Oscillation (NAO) was strongly negative (top, Jan-March 2010) and when it was strongly positive (bottom, January-March 1990). Credit: NOAA Climate.gov . All Rights Reserved.

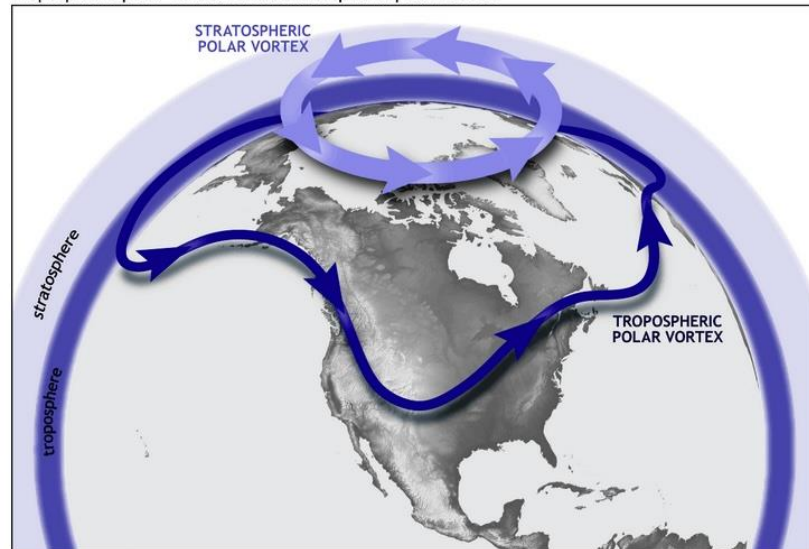
L'atmosphère est aussi impliquée par les oscillations « North Atlantic Oscillation NAO » (différence de pression atmosphérique entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande en fin d'hiver)

NORTH ATLANTIC OSCILLATION (NAO)

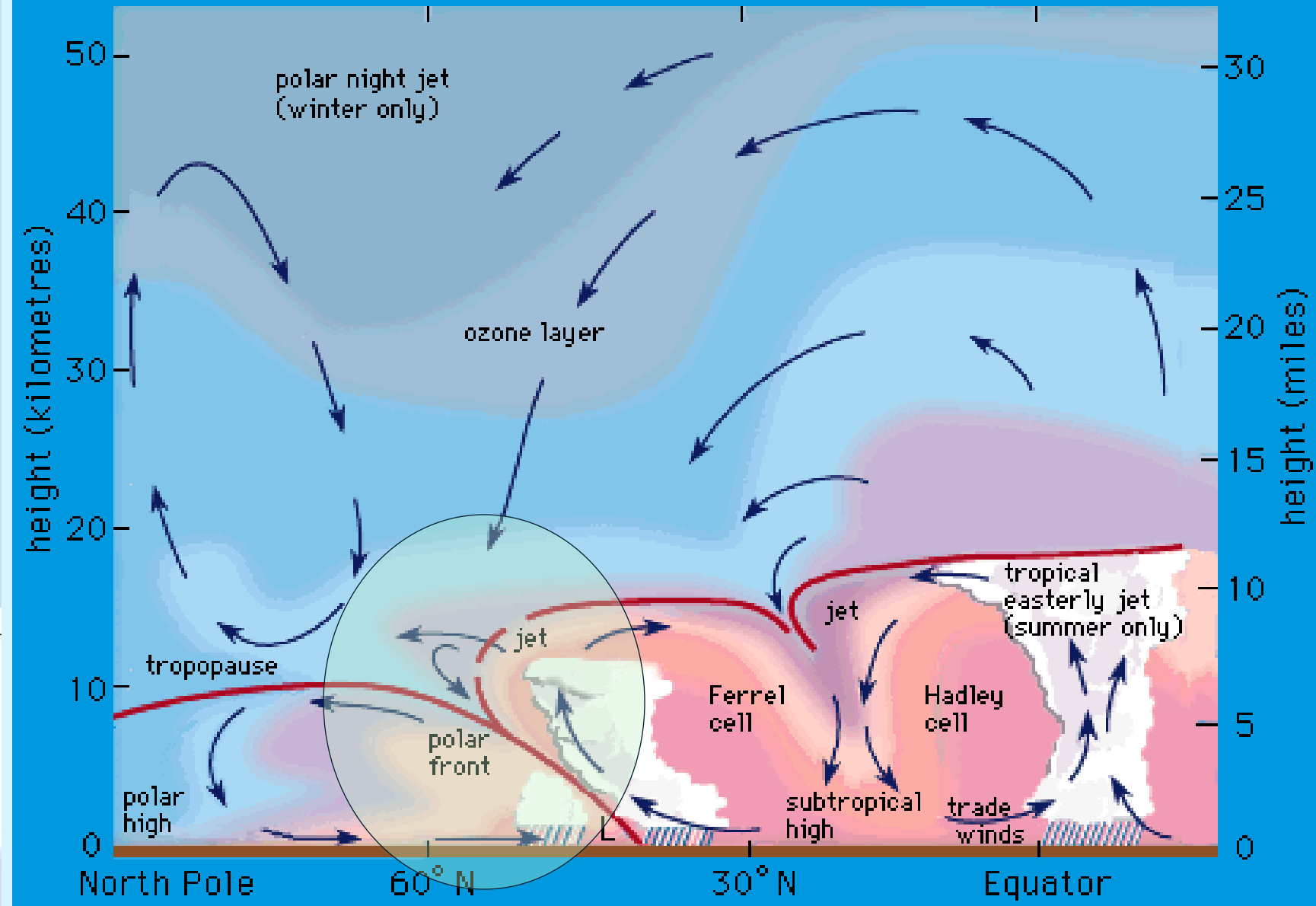


et l'atmosphère..

Tropospheric polar vortex versus stratospheric polar vortex



NOAA Climate.gov
Data: Waugh et al., 2017



©1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.

-> L'éruption du Hunga Tonga en fin 2023 a peut-être directement influé sur le vortex polaire et des extrêmes climatiques en Europe!

Et l'hémisphère sud
se réchauffe aussi, et
participe à l'excès de
salinité

Trend in the heat content of the global ocean, for 1993–2023

Depth: upper 2000 m • Data: ORAS5 • Credit: C3S/ECMWF

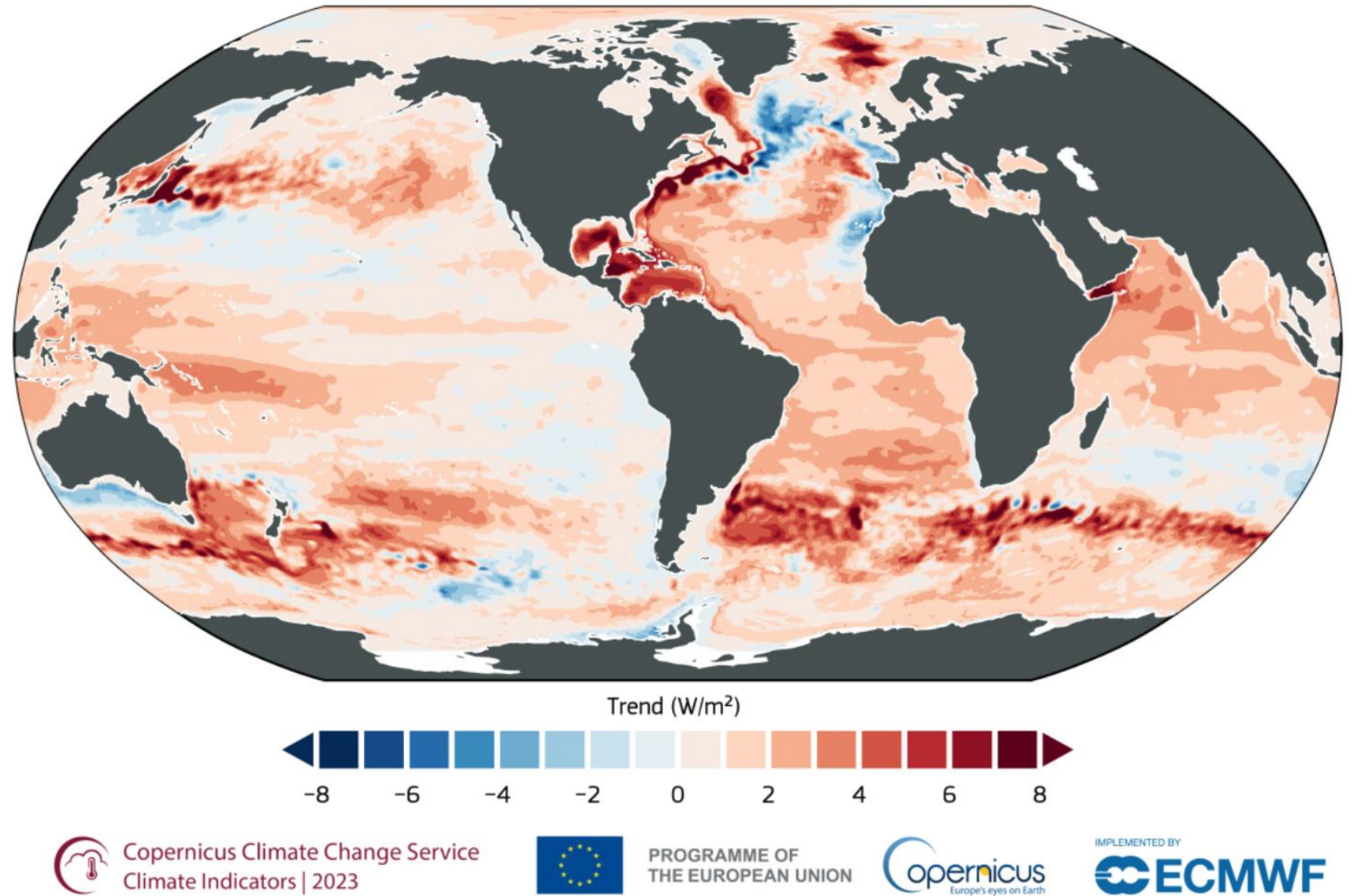


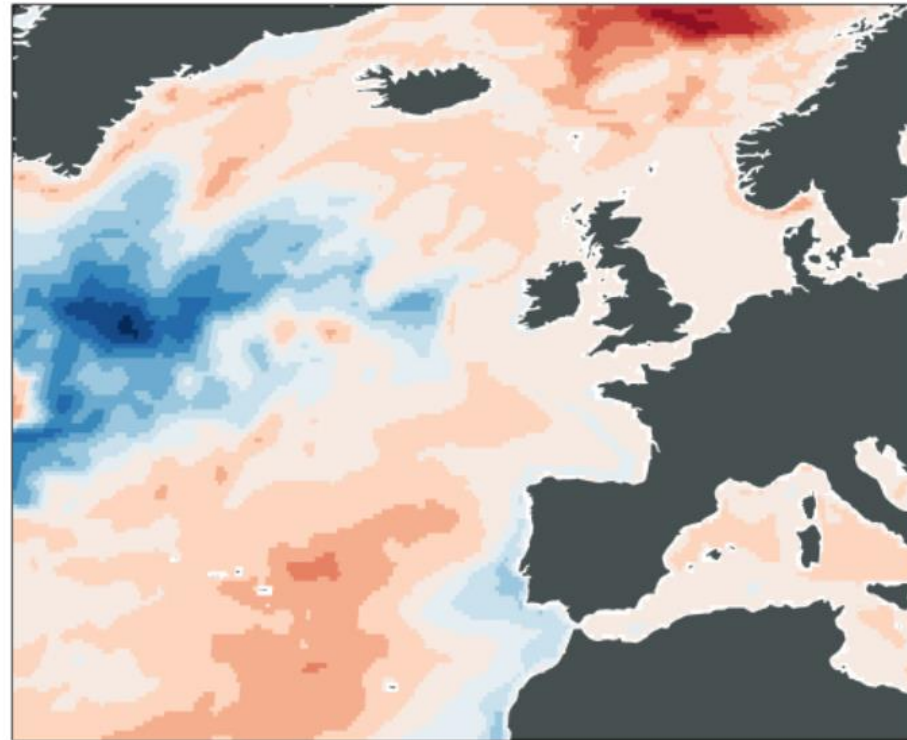
Figure 2. Trend in the ocean heat content (W/m^2) of the upper 2000 m for 1993–2023. Source: ORAS5. Credit: ECMWF/C3S.

Les réchauffements sont très contrastés entre les eaux proches de la surface et plus profondes



Trend in the upper ocean heat content, for 1993–2023

Depth: 0–700 m • Data: ORAS5 • Credit: C3S/ECMWF



Copernicus Climate Change Service
Climate Indicators | 2023



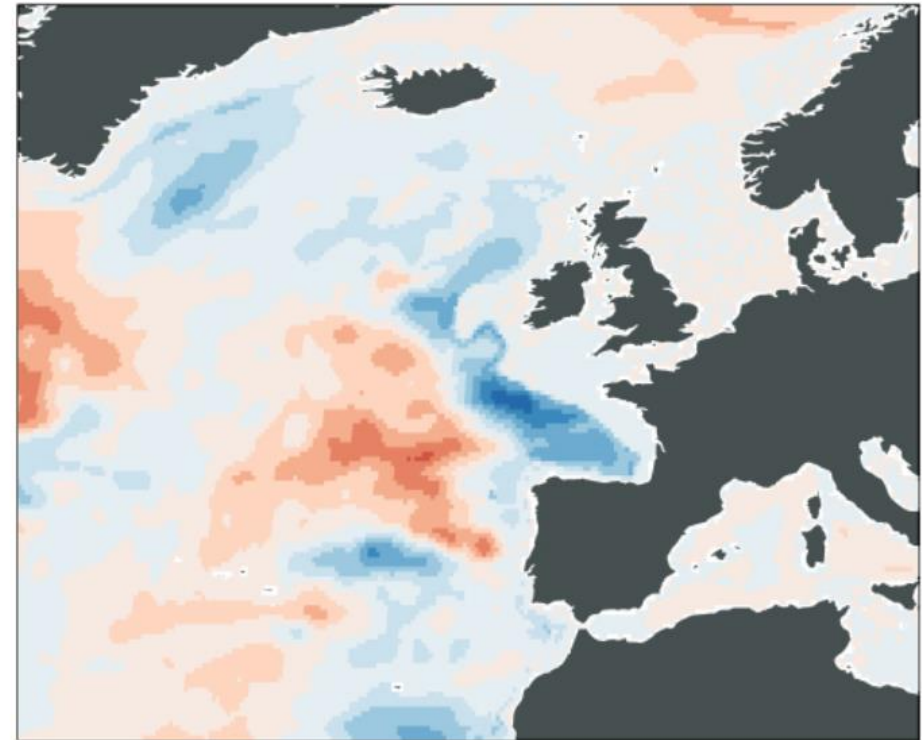
PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



IMPLEMENTED BY
ECMWF

Trend in the upper ocean heat content, for 1993–2023

Depth: 700–2000 m • Data: ORAS5 • Credit: C3S/ECMWF



Copernicus Climate Change Service
Climate Indicators | 2023

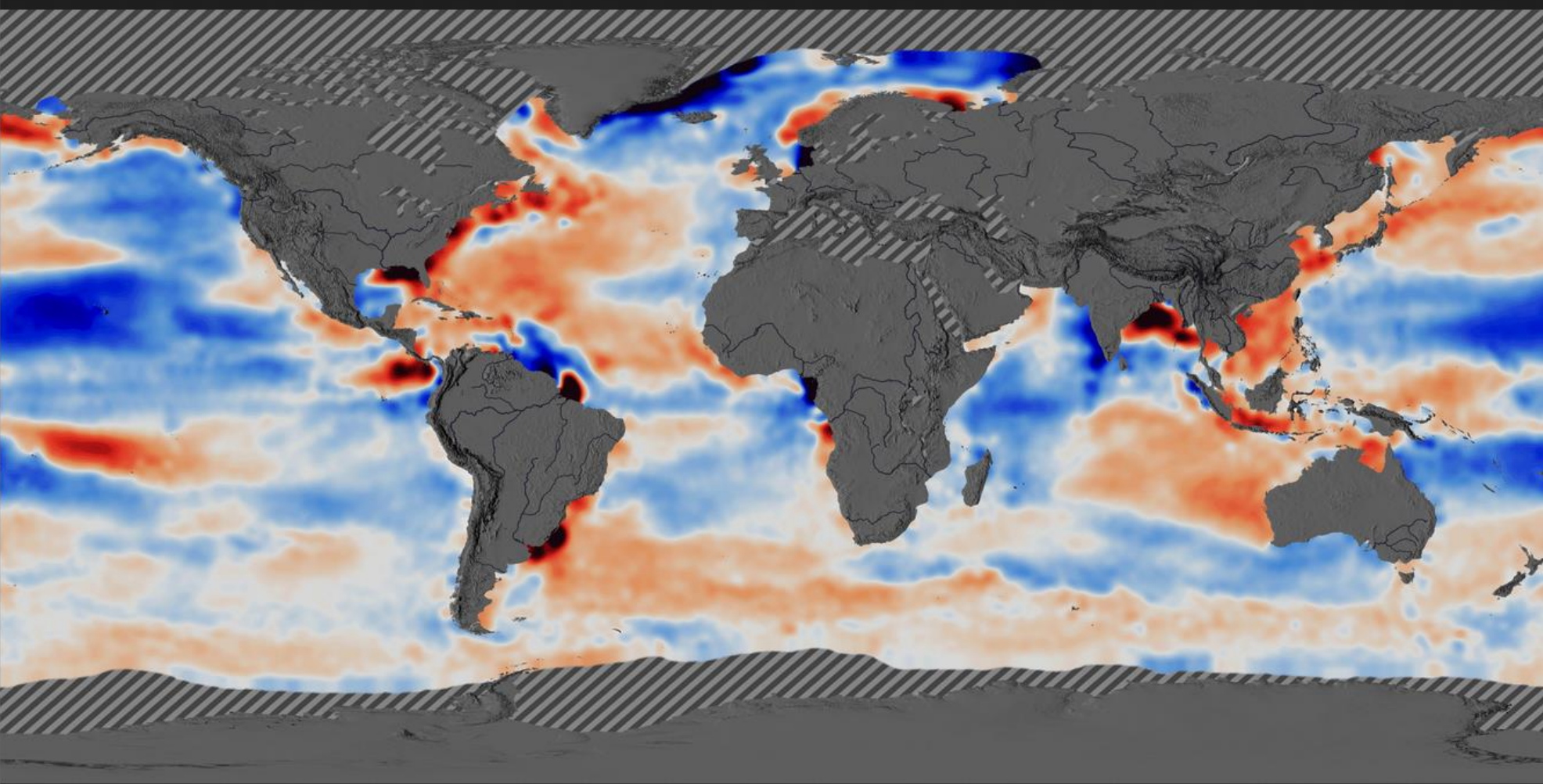


PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



IMPLEMENTED BY
ECMWF

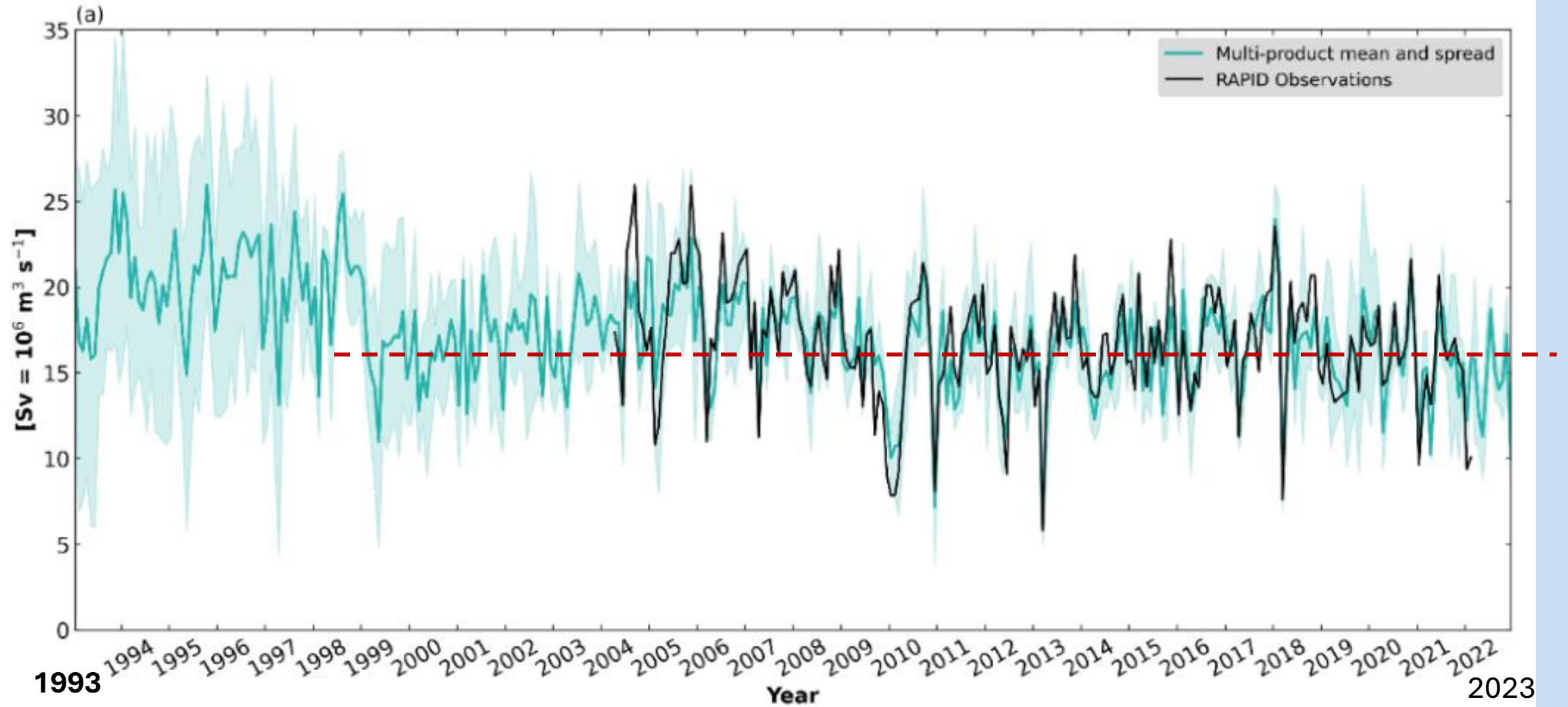
Figure 4. Trend in upper ocean heat content (W/m^2) for (left) the upper 700 m and (right) the 700–2000 m layer in the northeastern Atlantic Ocean for 1993–2023. Source: ORAS5. Credit: ECMWF/C3S.



Tendances

**areas where sea surface salinity has increased (depicted in red)
and decreased (depicted in blue) over ten years (2011 to 2021)**

Atlantic Meridional Overturning Strength



The Atlantic Meridional Overturning Circulation shows no significant decline but varies substantially

The state of the global ocean 2024 Copernicus Karina von Schuckmann et al

conclusion:

il y aura des changements dans les circulations atmosphériques et océaniques, d'autant plus que les émissions ne seront pas fortement diminuées rapidement, mais quels changements?

le risque le plus probable :

**accentuation de la variabilité du climat (extrêmes chauds et froids)
dans une tendance au réchauffement qui n'est plus prête à s'arrêter
(au moins pour le siècle en cours)**

éléments de discussion

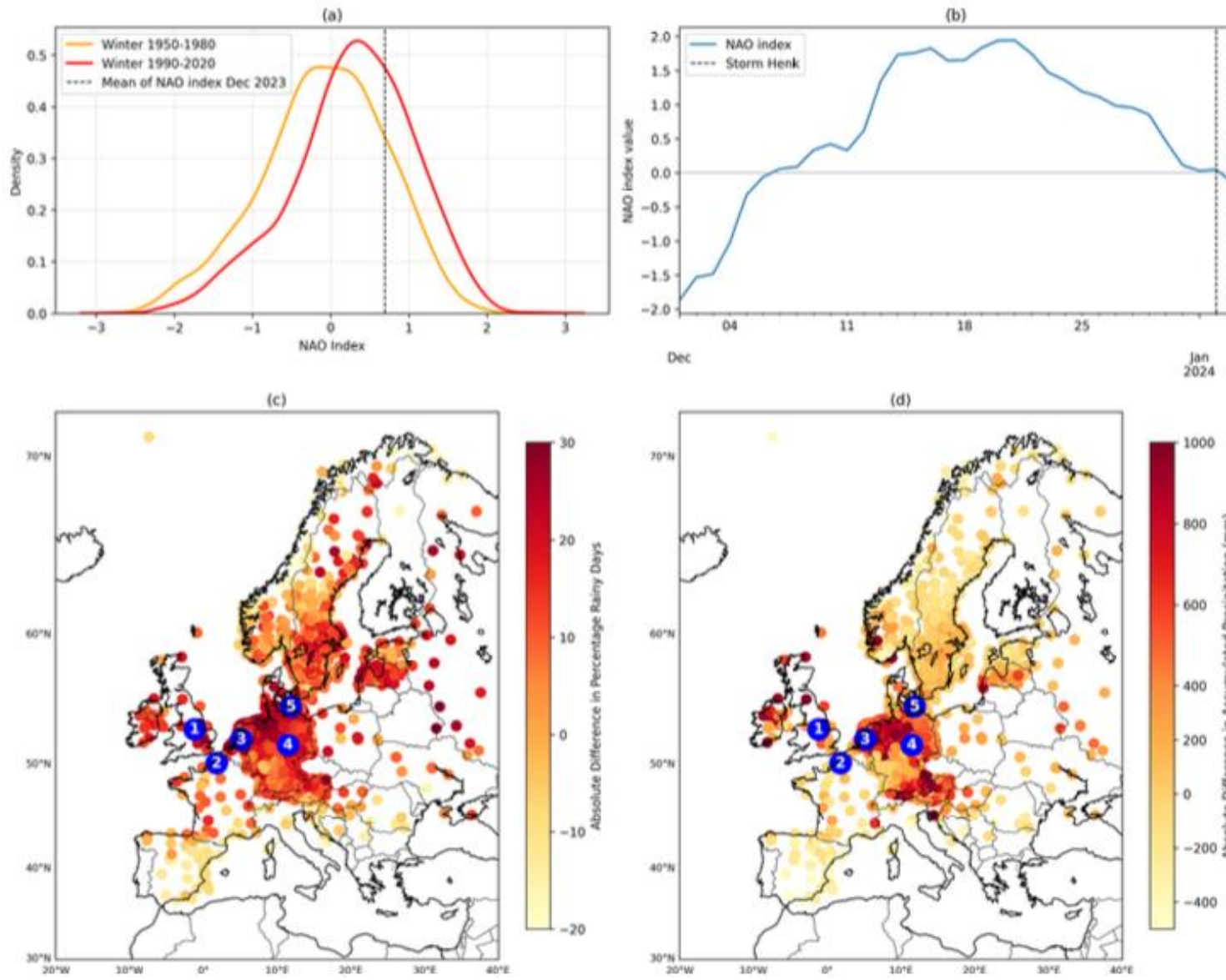


Fig. 1 | NAO index patterns and precipitation anomalies in December 2023.

a Kernel density estimates of the NAO index in winter for 1950–1980 in orange and 1990–2020 in red. The vertical dashed line represents the mean of the NAO index in December 2023. **b** NAO index in December 2023. The vertical dashed line depicts the arrival of Storm Henk. **c** Absolute difference in percentage of days with pre-

between December 2023 and the December months of 1950–2020. **d** Absolute difference in accumulated precipitation between December 2023 and the December months of 1950–2020 for weather stations across Europe. (1)–(5) denote recorded floods in the UK (1), northern France (2), eastern Germany (4) and southern Denmark (5)^{9,10}. Record-high water levels were recorded in the Netherlands (3)¹¹.

Indice winter NAO 2023 supérieur à indice prévu avec modèles forte émission:
Test de l'évolution précipitations hivernales..

significant increases in the persistence of warm weather and precipitation in north-western Europe -> increases the likelihood of prolonged wet spells and associated flood risk

Spanjers et al.
Nature comm. 2025

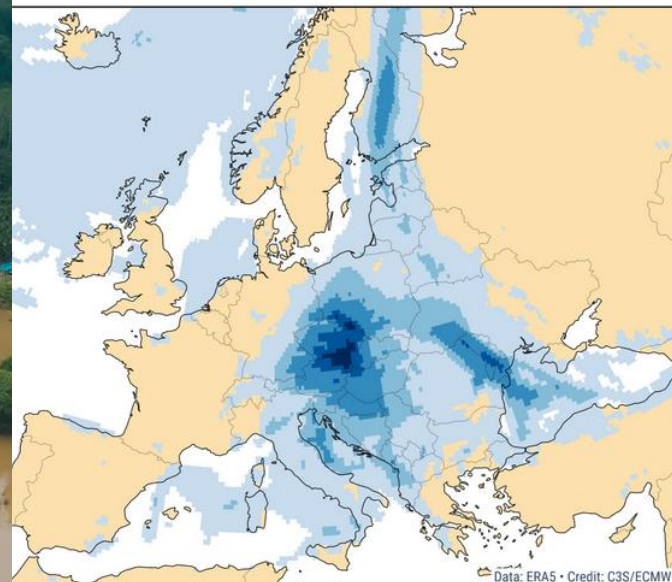
Augmentation des extrêmes:

Pluies exceptionnelles en Europe



How many months' worth of rain fell on 12-16 September?

Ratio between 5-day total precipitation and monthly average total during 1991-2020



Data: ERA5 • Credit: C3S/ECMWF

PROGRAMME OF
IMPLEMENTED BY
Climate



Fréjus



ACTUALITÉS INTERNATIONAL

Orages Diluviens En Espagne : La Région De Valence Paralisée

Orages Diluviens En Espagne :



France 3 Régions - Franceinfo

il y a 5 heures

29 Octobre 2024

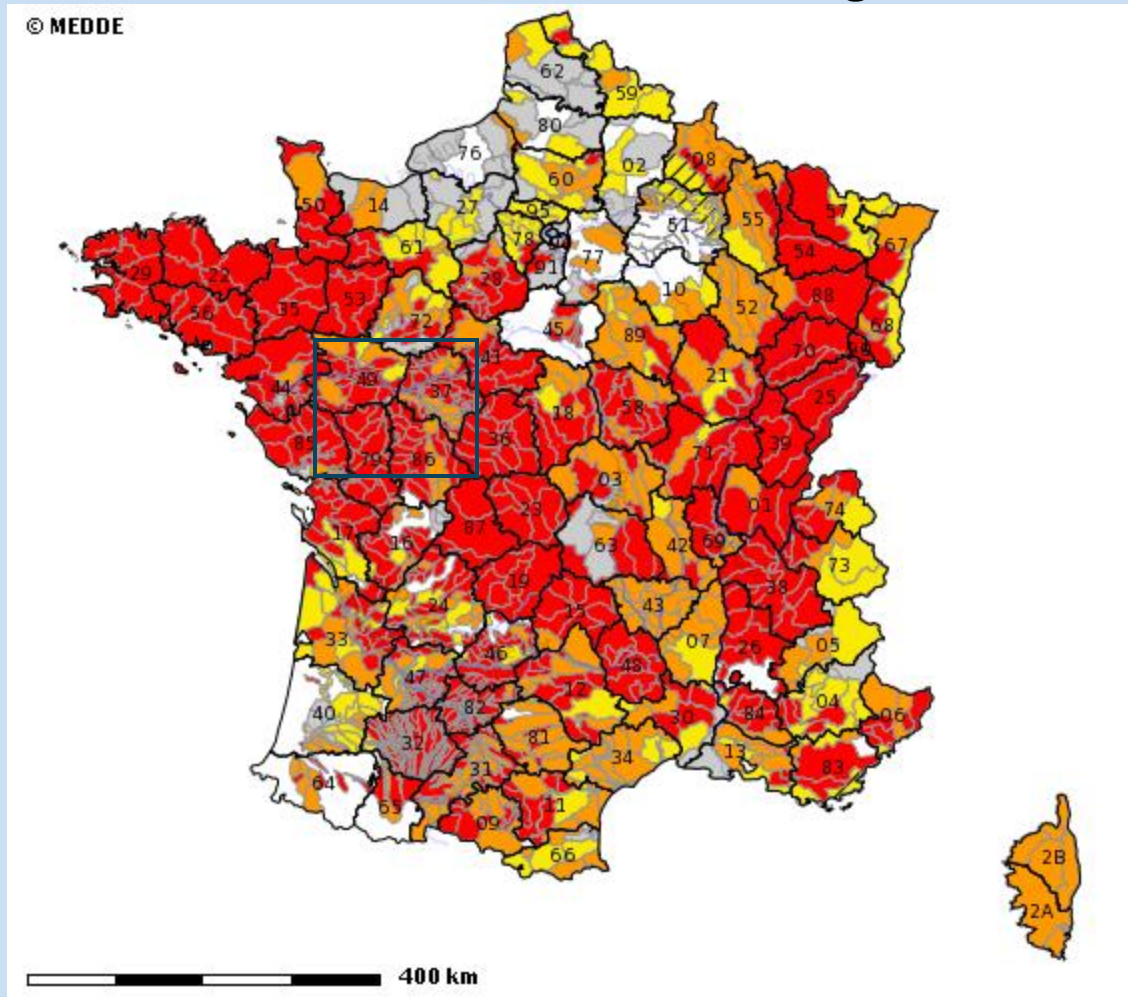


EN IMAGES. Inondations meurtrières en Espagne : 72 morts et 4 disparus, c'est le bilan provisoire...

[Consulter >](#)

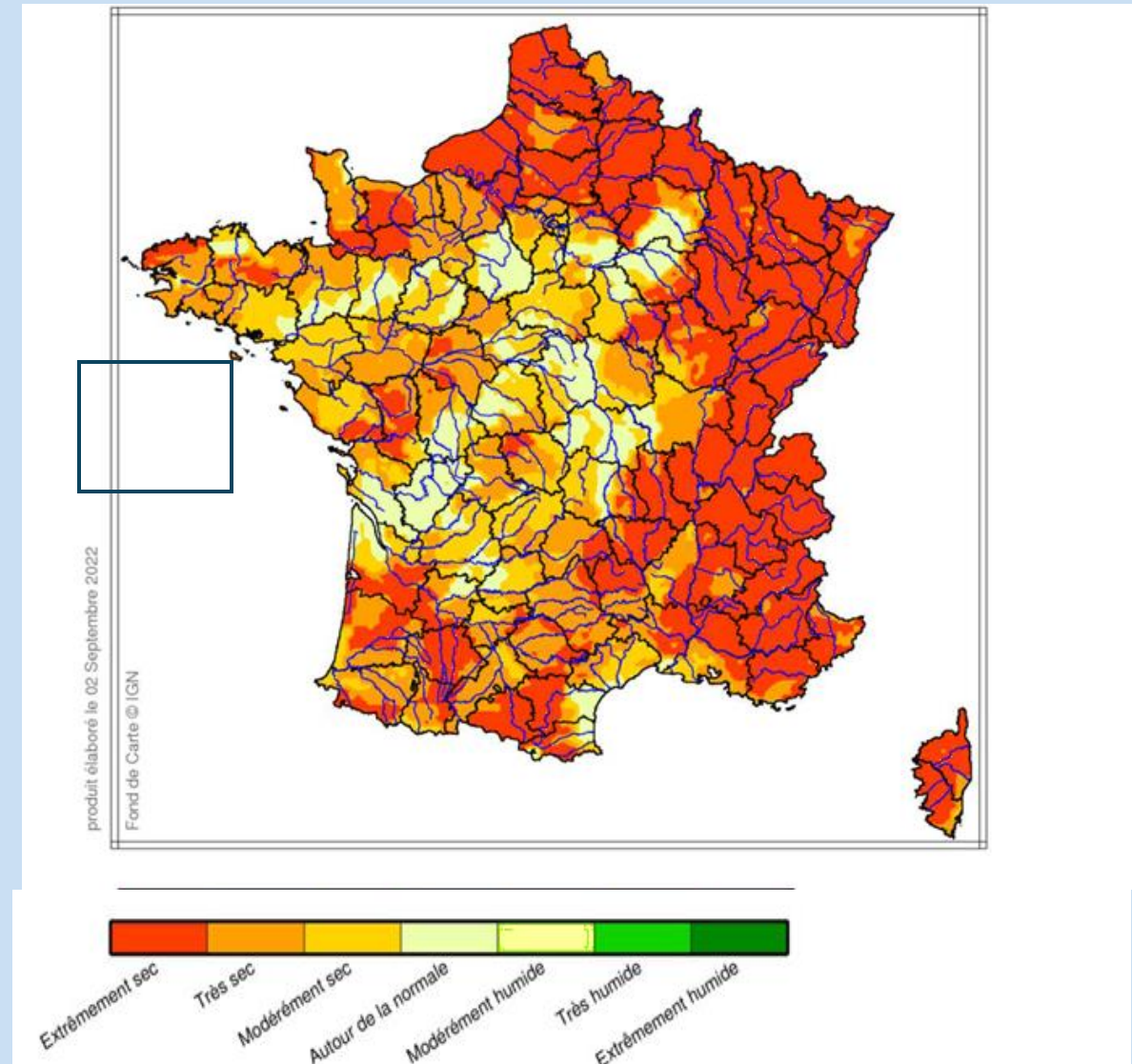
Sécheresse 2022

Restriction d'usage



**80/96 départements avec des
restrictions d'eau
fin août 2022**

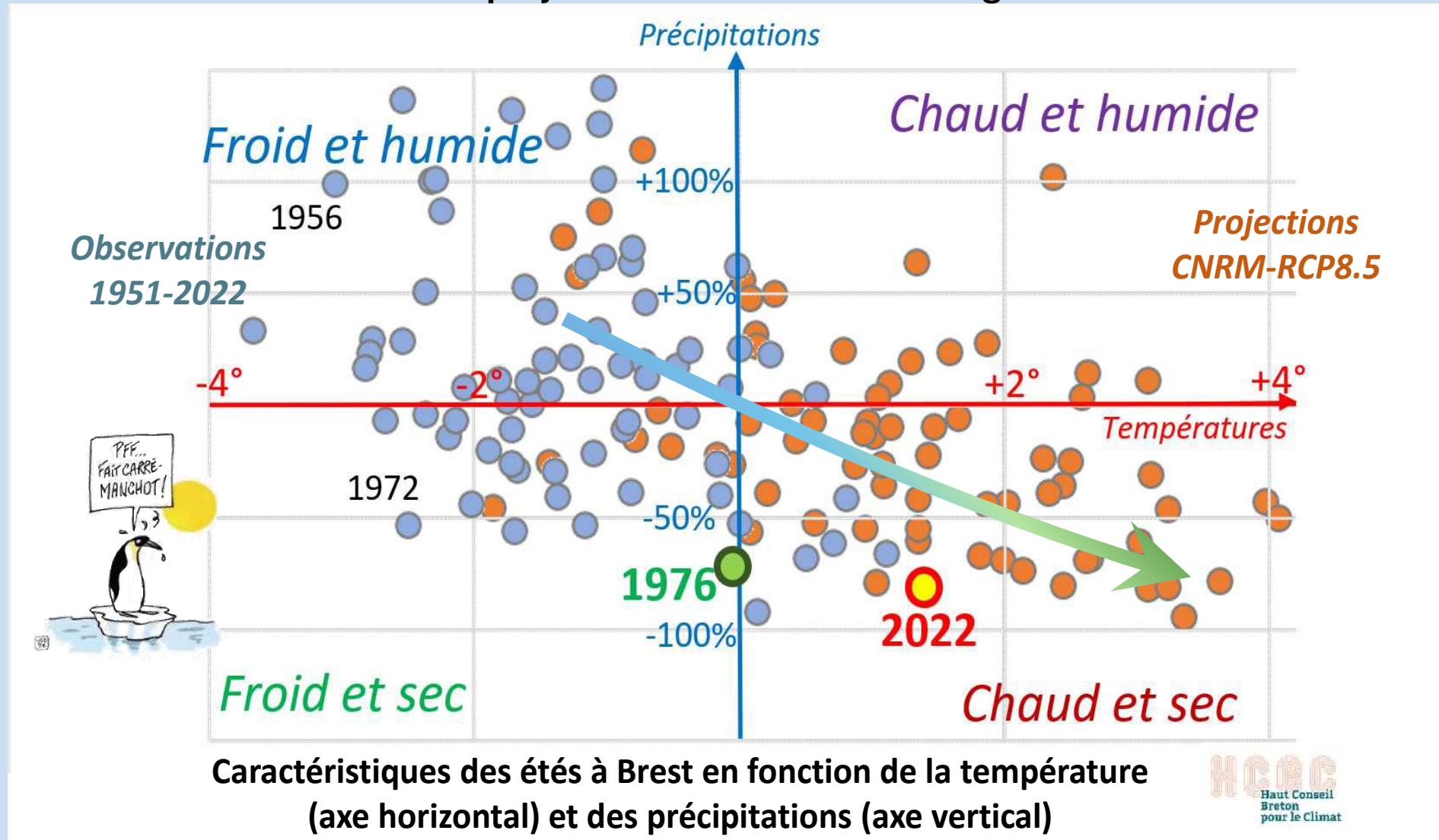
Etat de sécheresse des sols



Sources Météo France & Propluvia

Evolution des températures et précipitations estivales

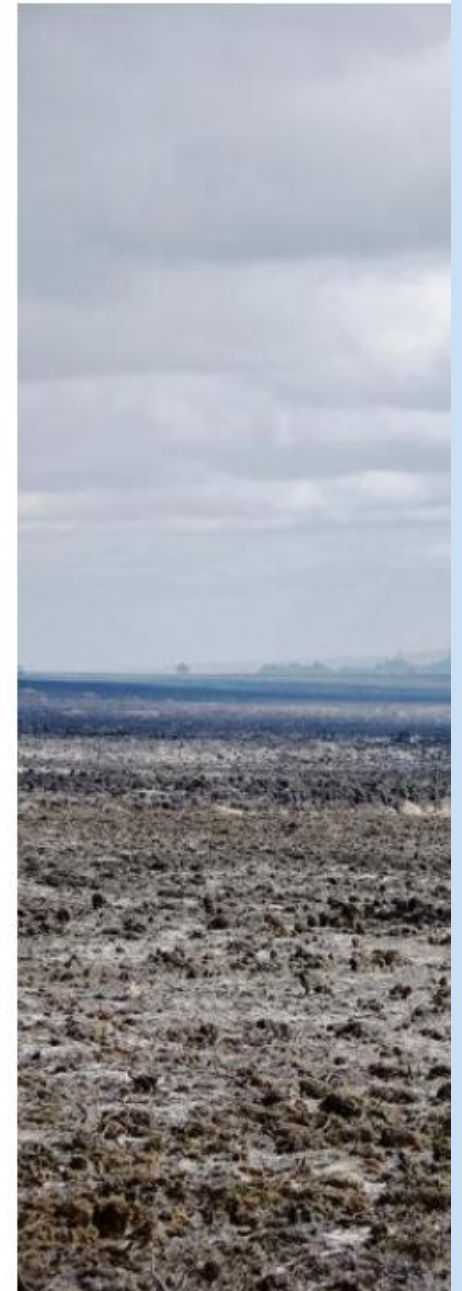
À Brest, de 1950 à 2022 pour les observations en bleu
Et projections 2020-2100 en orange



**Le nouveau plan
d'adaptation au
changement climatique:
PNACC-3**

Climat **Comment** **se mettre en** **quatre degrés**

Constructions, agriculture, ressources en eau, îlots de chaleur urbains, hausse du niveau de la mer, centrales nucléaires... Face au dérèglement climatique, la France va devoir s'adapter. Le gouvernement a annoncé un plan pour 2023 fondé sur un scénario de +4 degrés.



Selon le ministre Christophe Béchu,

littérature récente

Baker et al : Nature 2025: Future fate of the AMOC We have shown that SO wind-driven upwelling prevents an AMOC col-

lapse under extreme climate forcing in CMIP6 climate models.

Grist GRL 2021 Projections reveal greater warming in the western Atlantic in the high resolution model and a pronounced increase in eastern Atlantic storminess with changes six times greater than in the eddy-permitting model.

Worthington Ocean sci. 2021 a 30-year reconstruction of the Atlantic meridional overturning circulation shows no decline