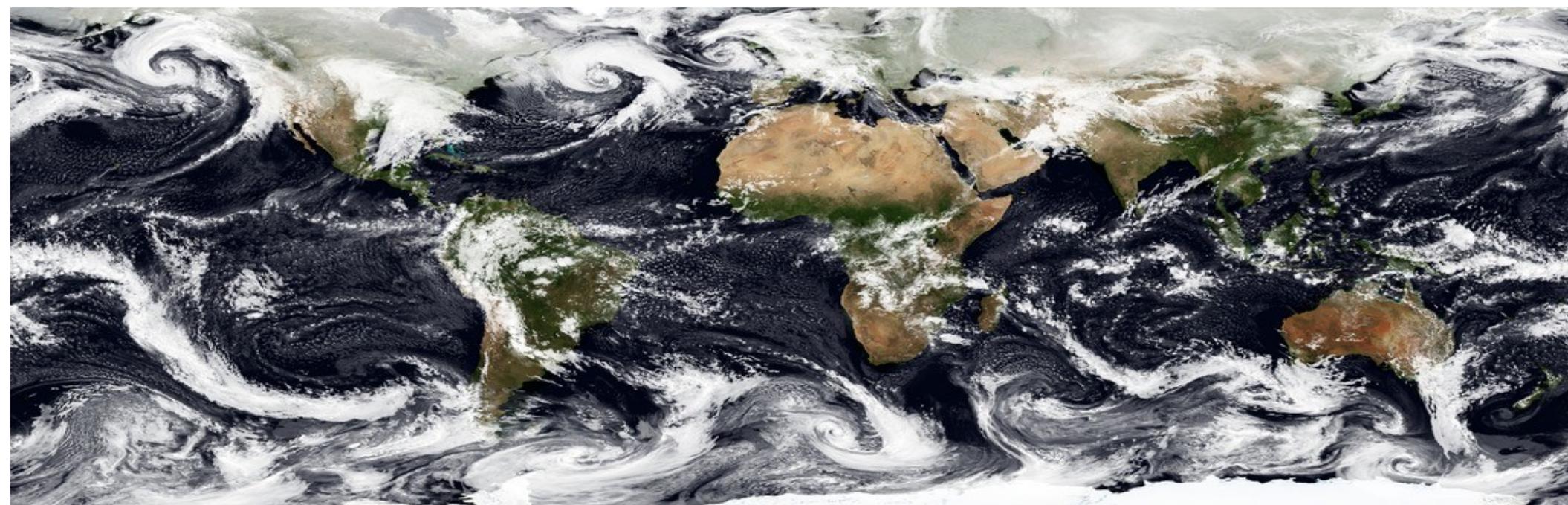


Climat et changements climatiques

Jessica Vial & Venance Journé

*Laboratoire de Météorologie Dynamique,
Institut Pierre Simon Laplace (centre de modélisation climatique)*



**Conférences “Le changement climatique: comprendre et agir”
L’isle Adam, le 12 Juin 2019**

Plan

Première partie (Jessica Vial) :

Climat et météo

Comprendre le réchauffement climatique

Les changements récents: Ce qui a été mesuré

Le futur: Modélisation, scénarios et projections

Deuxième partie (Venance Journé) :

Impacts, adaptation et limitation: Quels défis pour réduire les émissions ?

Qu'est ce que le climat ?

Qu'est ce que le climat ?

Définition simple

Ensemble des phénomènes météorologiques mesurés sur des périodes de temps longues et des zones géographiques étendues

Qu'est ce que le climat ?

Définition simple

Ensemble des phénomènes météorologiques mesurés sur des périodes de temps longues et des zones géographiques étendues

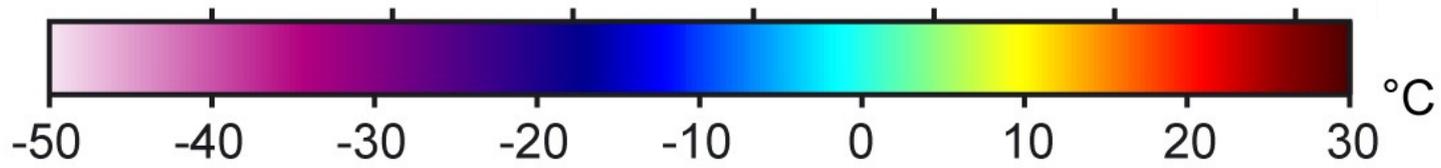
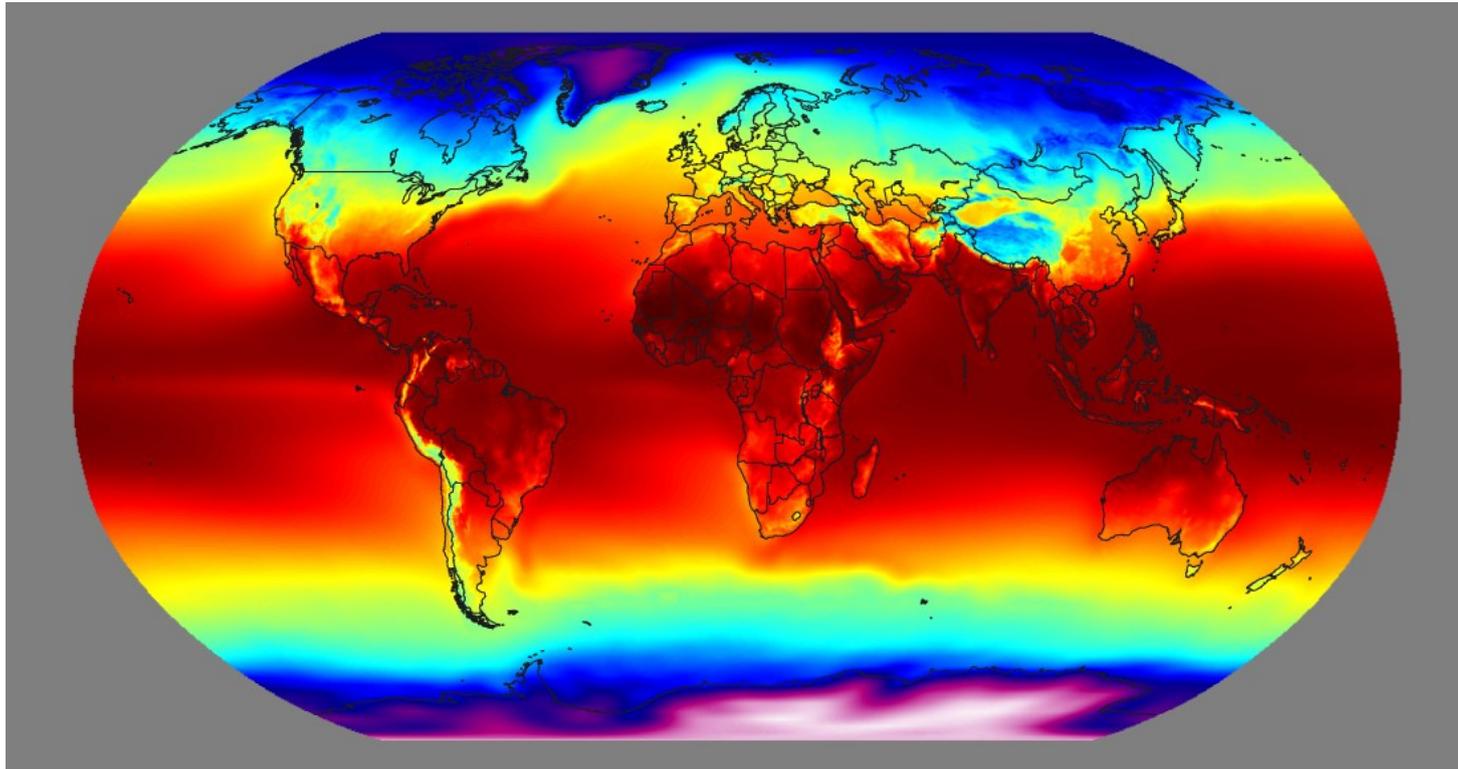


Climat \neq Météo

Les prévisions météorologiques ne sont valides que localement et sur des périodes de temps courtes !

Qu'est ce que le climat ?

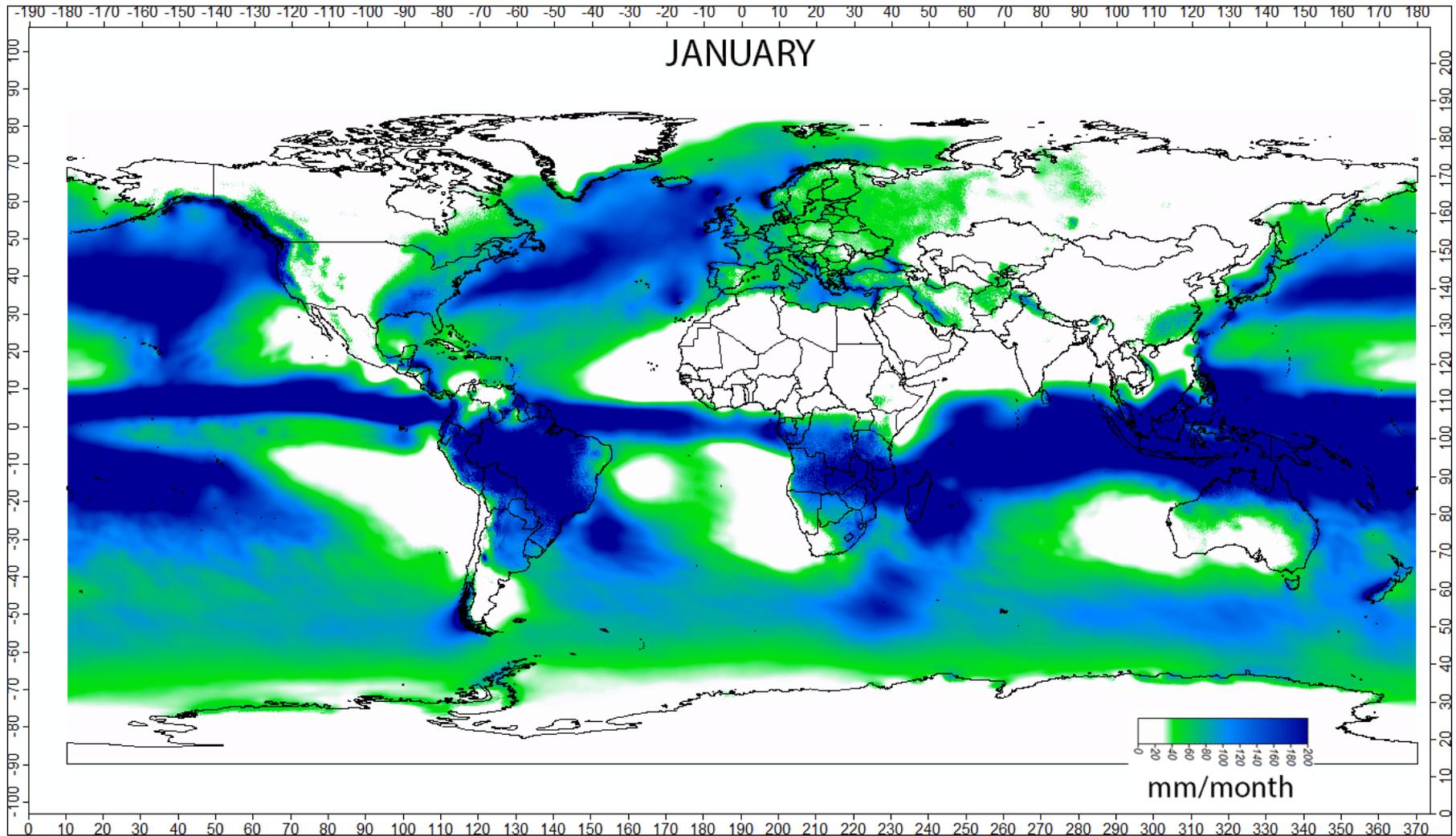
Température annuelle à la surface moyennée sur la période
1961 à 1990



Data source : CRU land surface temperature (New et al. 2002) ; NOAA OISST sea surface temperature (Reynolds et al. 2002) ; NCEP/NCAR Reanalysis (Kalnay et al. 1996)

Qu'est ce que le climat ?

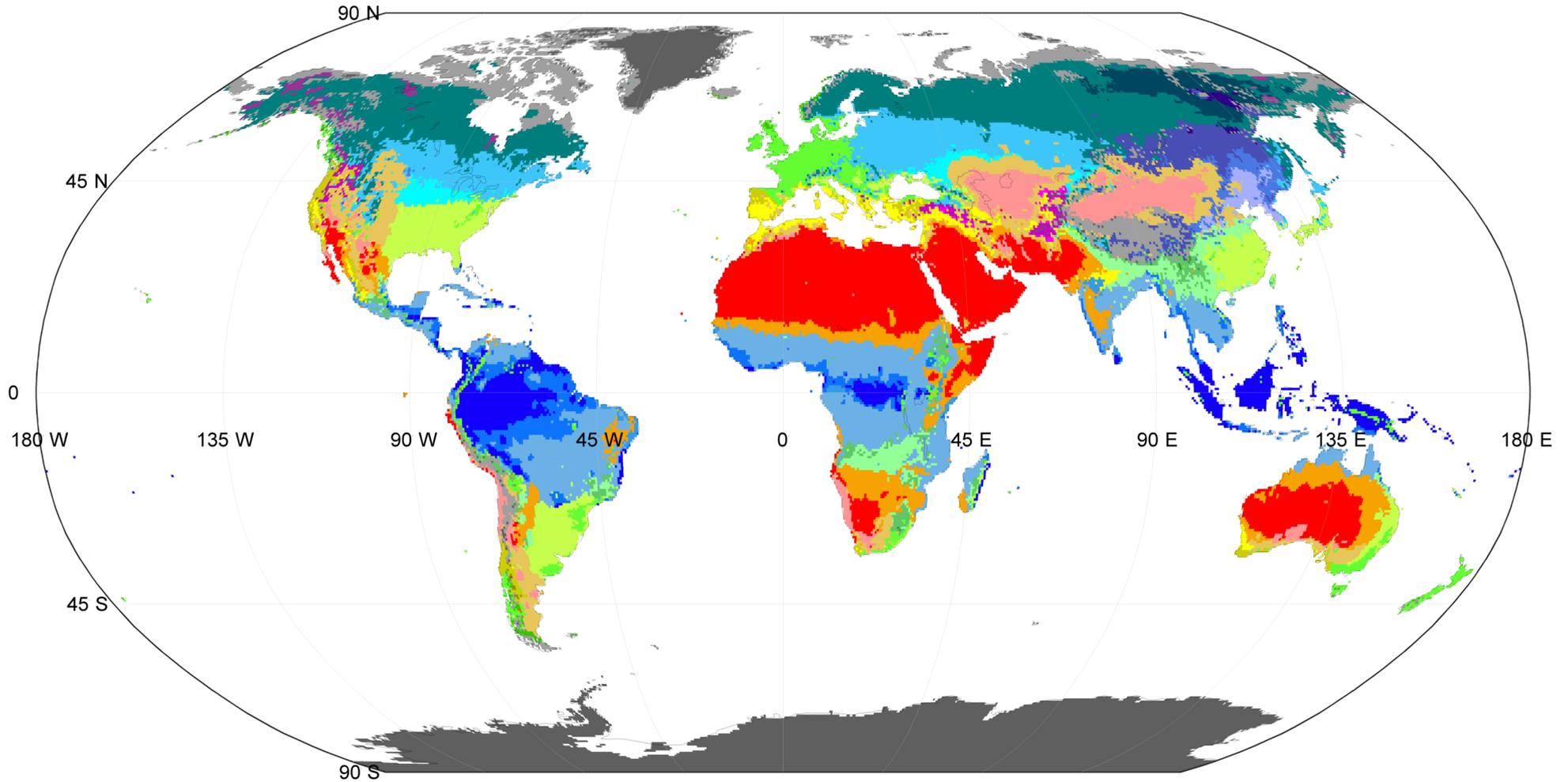
Précipitations au mois de janvier moyennées sur la période 1979 à 2013



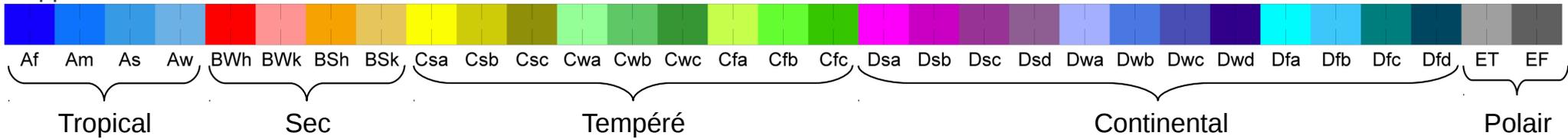
Données : ERA-Interim (Dee et al. 2011)

Source : Karger DN et al., Scientific Data 2017

Les zones climatiques

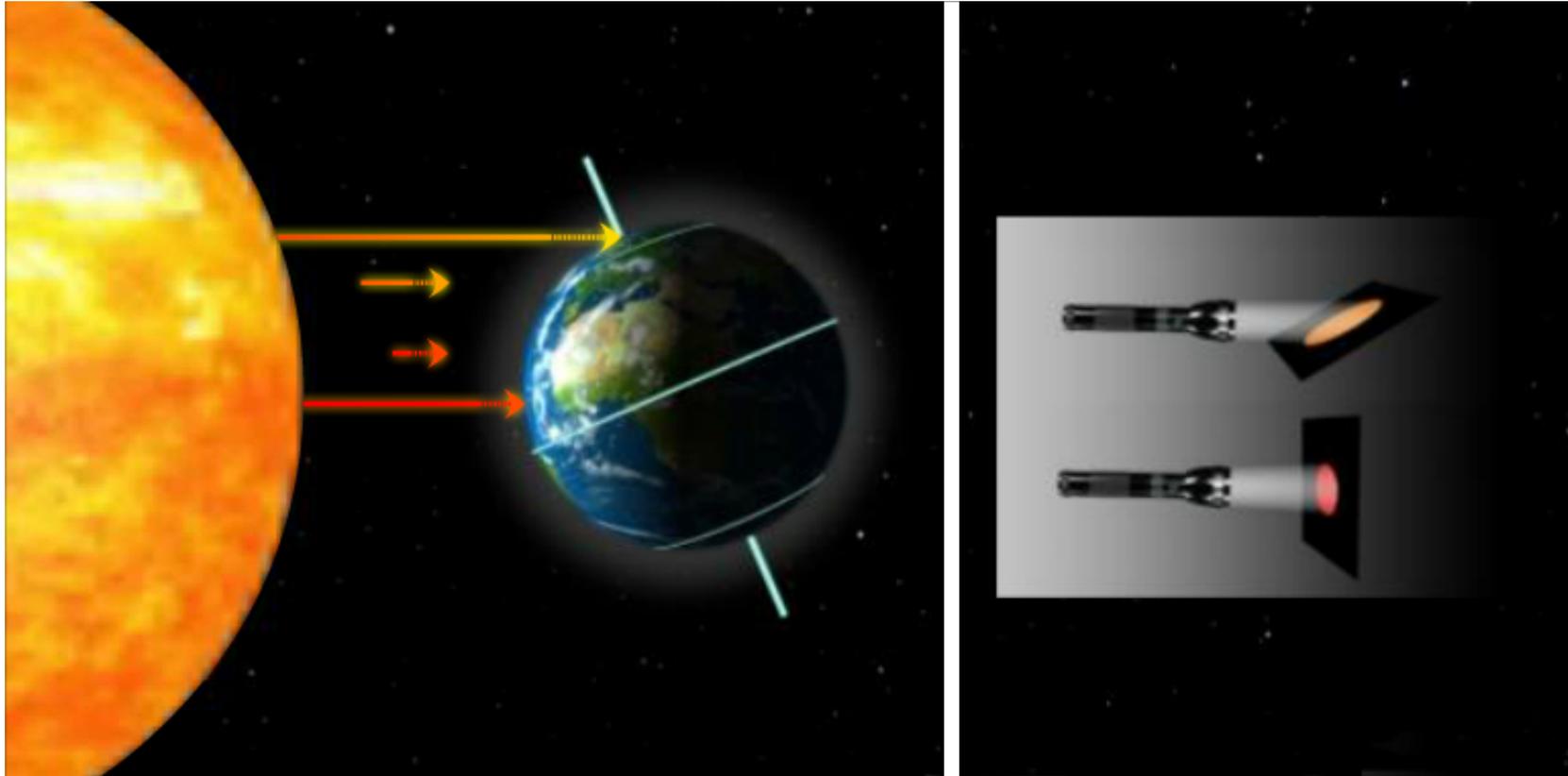


Köppen climate classification for 1901-2010



[Chen & Chen 2013]

Le soleil, moteur du climat !

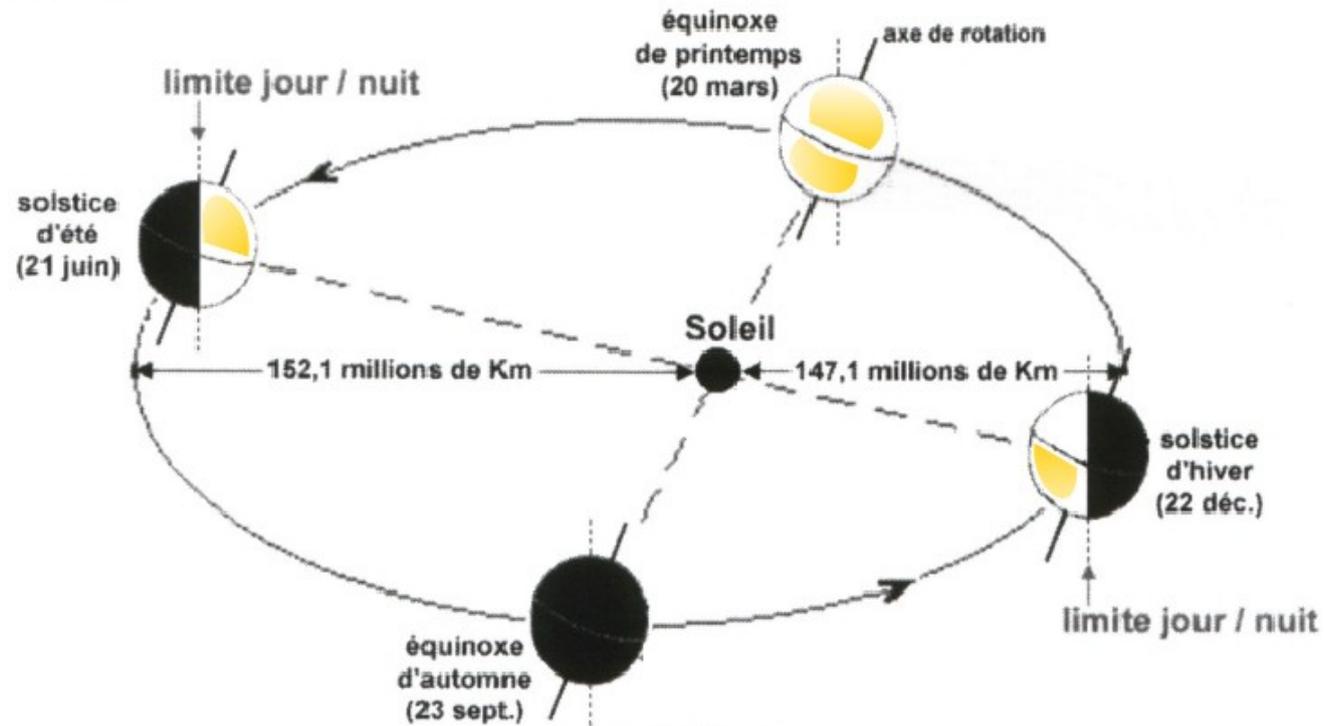


- Les rayons du soleil chauffent la Terre: l'énergie solaire (en Watt/m²)
- L'énergie reçue est inégalement répartie à la surface de la Terre: les régions tropicales chauffent plus (par unité de surface) que les régions polaires.

« Climat » provient du grec « klima » qui signifie « inclinaison »
→ L'inclinaison de la Terre par rapport au Soleil (~ 23.5°)

L'inclinaison de la Terre, à l'origine des saisons

Pour l'hémisphère Nord:



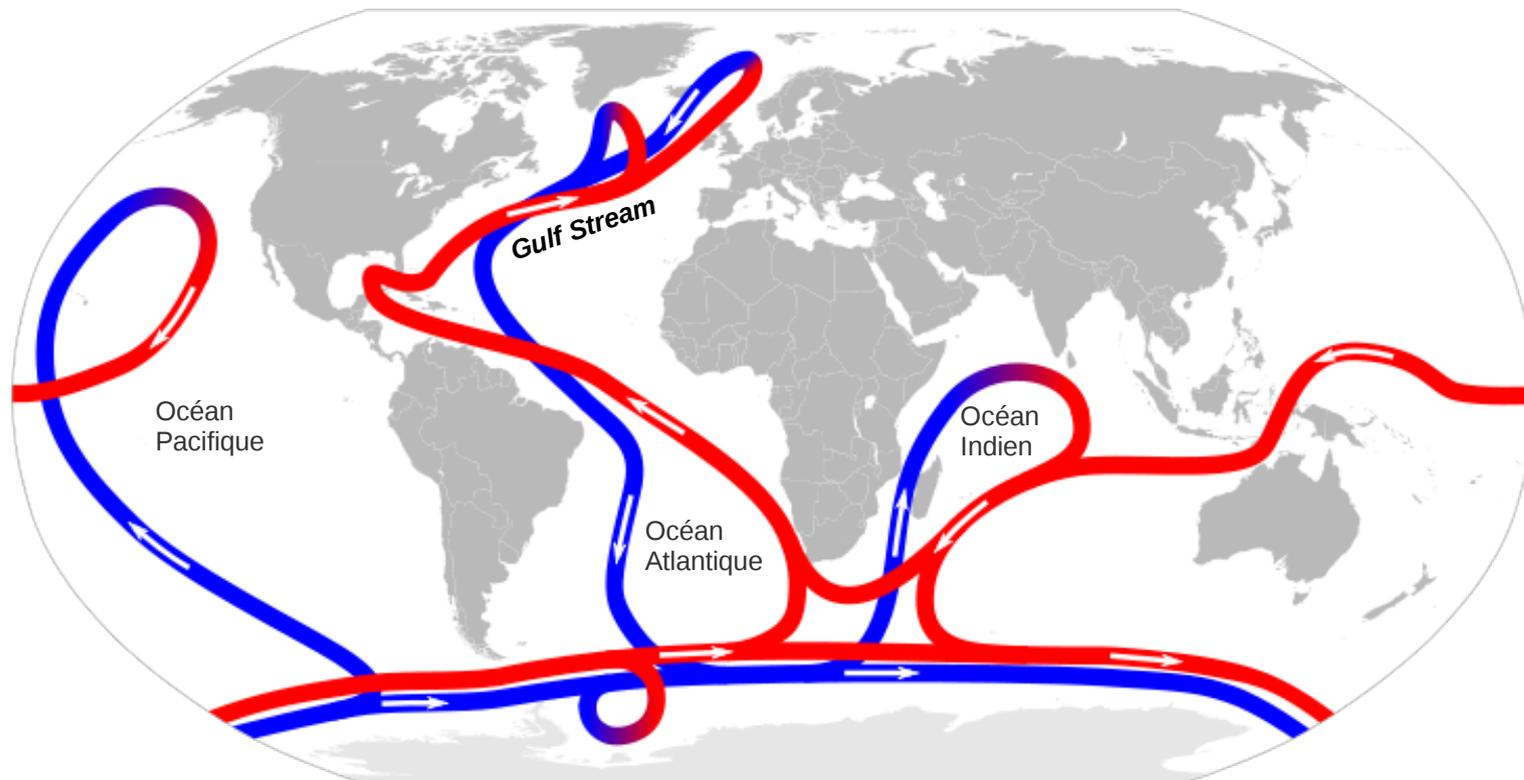
Les vents et les courants marins

Ils redistribuent la chaleur à travers le globe,

... des régions les plus chaudes aux régions les plus froides

Les océans

93% de la chaleur est stockée dans l'océan



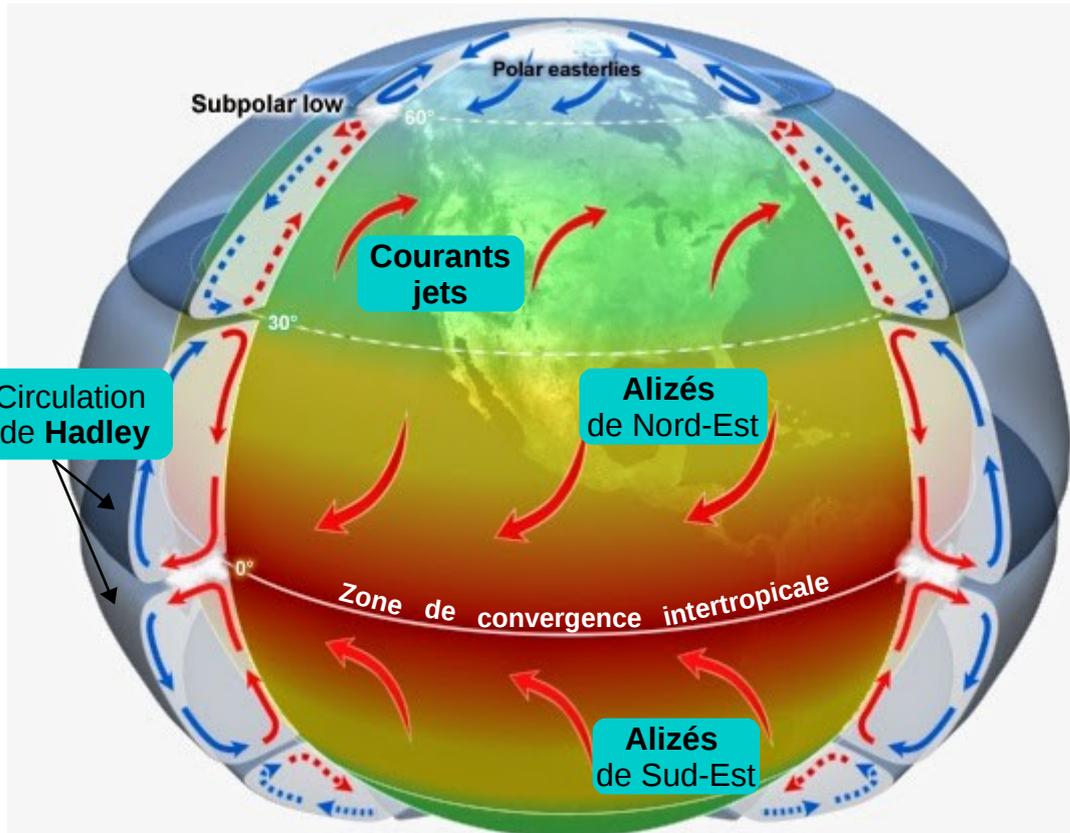
La « *circulation thermohaline* » ou « *circulation méridienne de retournement* »

Les vents et les courants marins

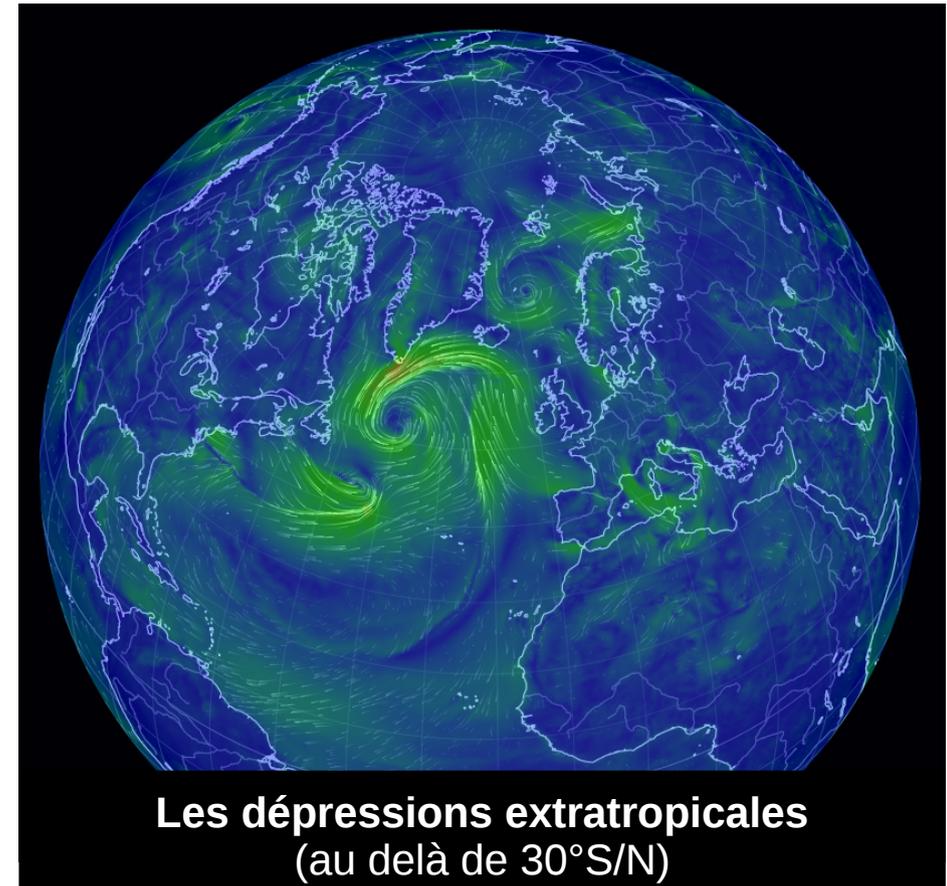
Ils redistribuent la chaleur à travers le globe,

... des régions les plus chaudes aux régions les plus froides

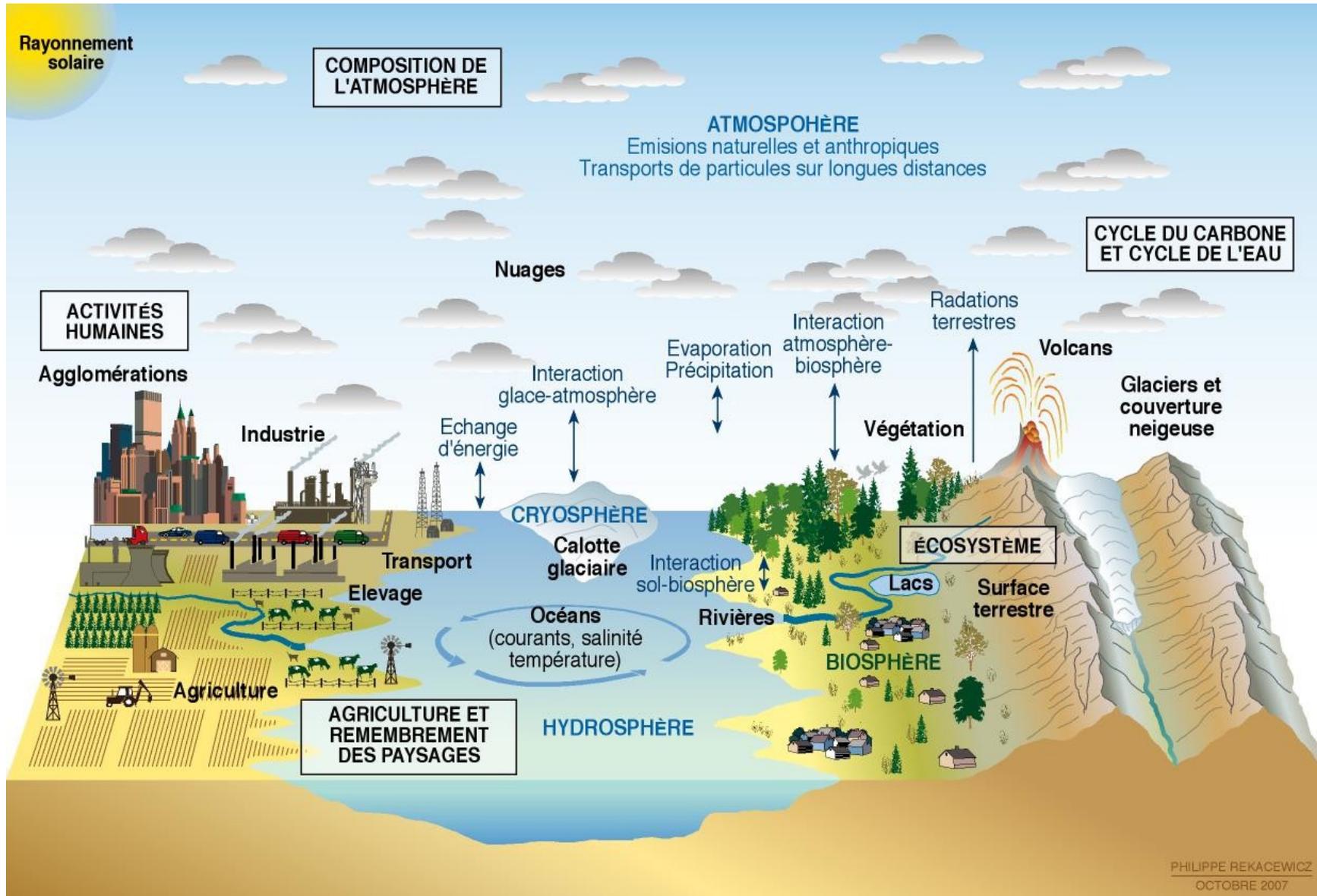
L'atmosphère



La circulation générale de l'atmosphère

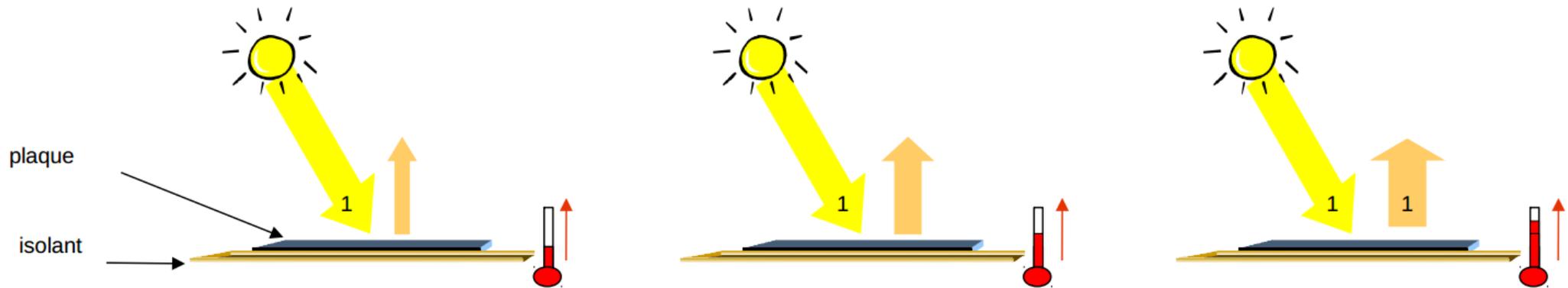


Les composantes du système climatique



Comprendre le réchauffement climatique

Rayonnement et température d'équilibre



- Si un objet reçoit plus d'énergie qu'il n'en perd, sa température augmente.
- Comme sa température augmente, l'énergie perdue par émission de rayonnement augmente.
- L'équilibre est atteint lorsque l'énergie que perd l'objet est exactement compensée par l'énergie qu'il reçoit.

Température d'équilibre de la Terre

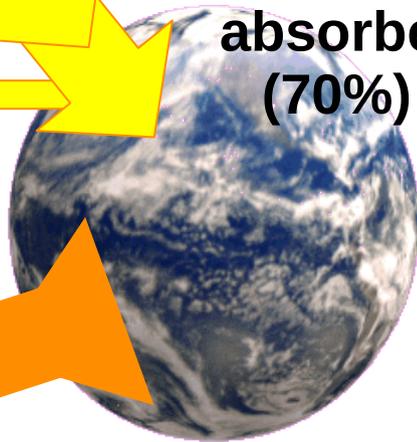


Rayonnement solaire

**Partie
réfléchie
(30%)**

**Partie
absorbée
(70%)**

**Rayonnement
infrarouge**



La température moyenne en surface résulte de l'équilibre énergétique:
Flux solaire absorbé = flux infrarouge émis vers l'espace

Température d'équilibre de la Terre

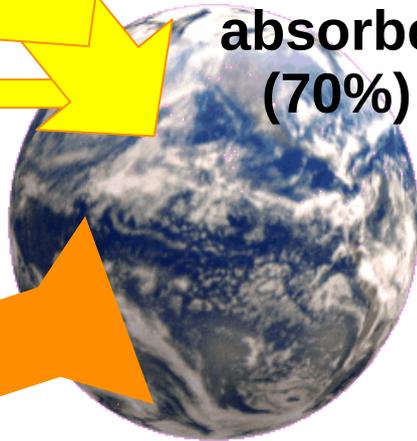


Rayonnement solaire

**Partie réfléchie
(30%)**

**Partie absorbée
(70%)**

Rayonnement infrarouge

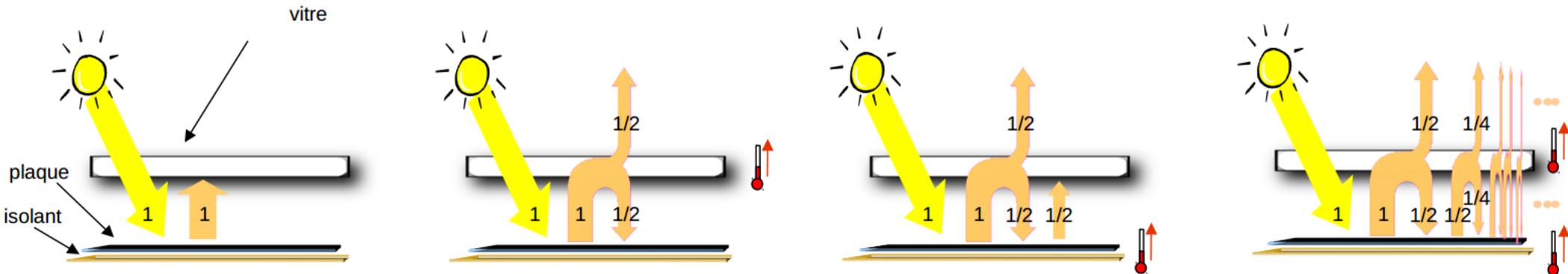


- **Température radiative** d'équilibre à la surface de la Terre: **-18°C**
- Température **mesurée**: **+15°C**
- La différence est due à **l'effet de serre**

La température moyenne en surface résulte de l'équilibre énergétique:

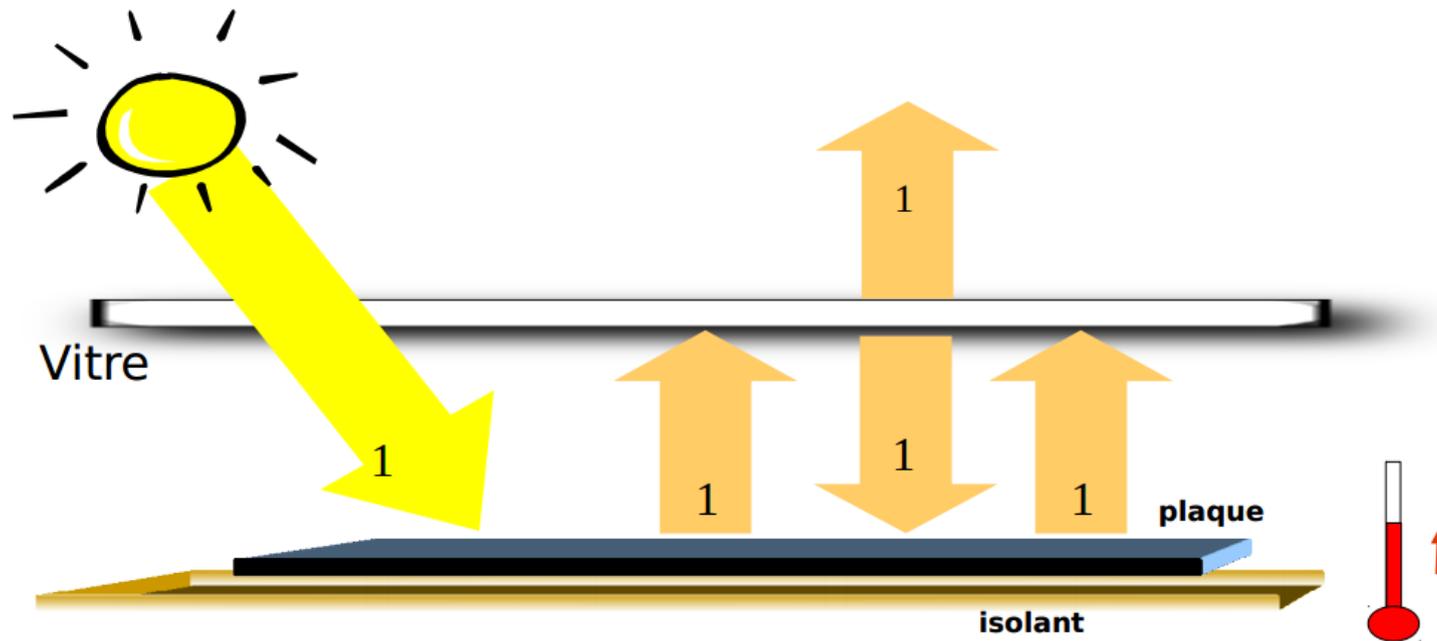
Flux solaire absorbé = flux infrarouge émis vers l'espace

Le principe de l'effet de serre



- La vitre absorbe le rayonnement émis par la plaque, donc sa température augmente
- Comme la température de la vitre augmente, elle émet du rayonnement, jusqu'à ce qu'elle perde autant d'énergie qu'elle en reçoit.
- Le rayonnement émis par la vitre vers le bas est absorbé par la plaque. Donc la plaque chauffe plus et émet encore davantage de rayonnement, ... jusqu'à ce qu'elle perde autant d'énergie qu'elle en reçoit.

Le principe de l'effet de serre



Effet de serre:

Phénomène naturel caractérisé par la présence de constituants laissant passer le rayonnement solaire mais absorbant le rayonnement infrarouge
→ **Augmentation de la température** par rapport à la situation sans vitre

L'effet de serre sur Terre



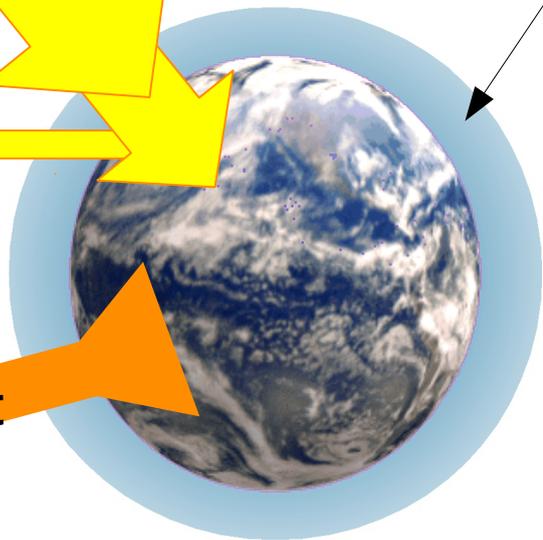
Rayonnement solaire

L'atmosphère de la Terre absorbe le rayonnement infrarouge.

La Terre perd moins d'énergie, elle chauffe plus.

Atmosphère
(// vitre)

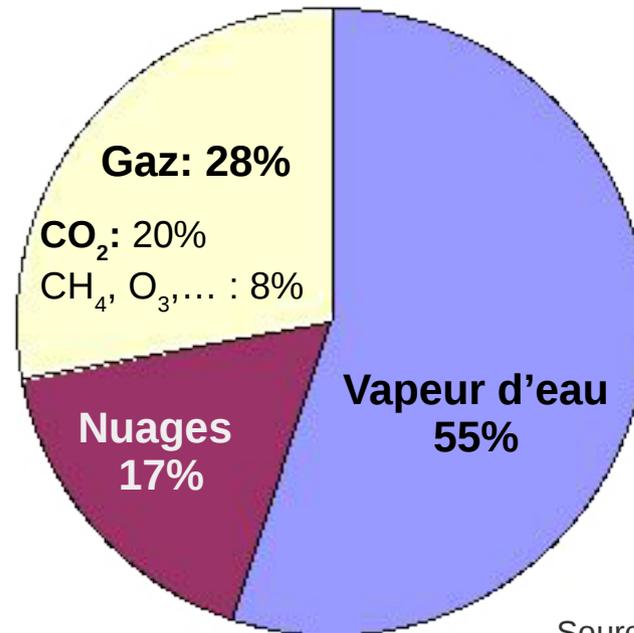
**Rayonnement
infrarouge**



L'effet de serre sur Terre

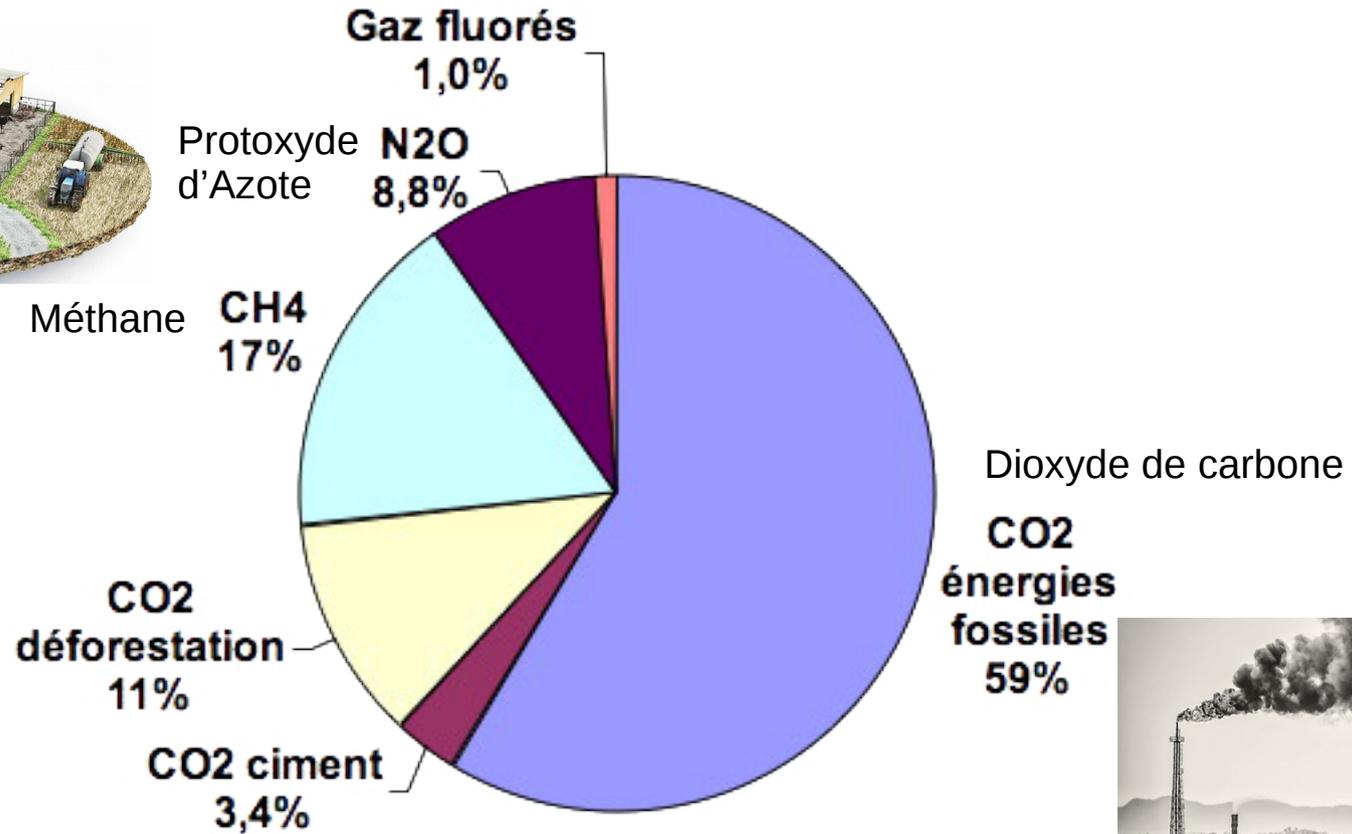
Un phénomène naturel

L'atmosphère est constituée de gaz qui absorbent le rayonnement infrarouge



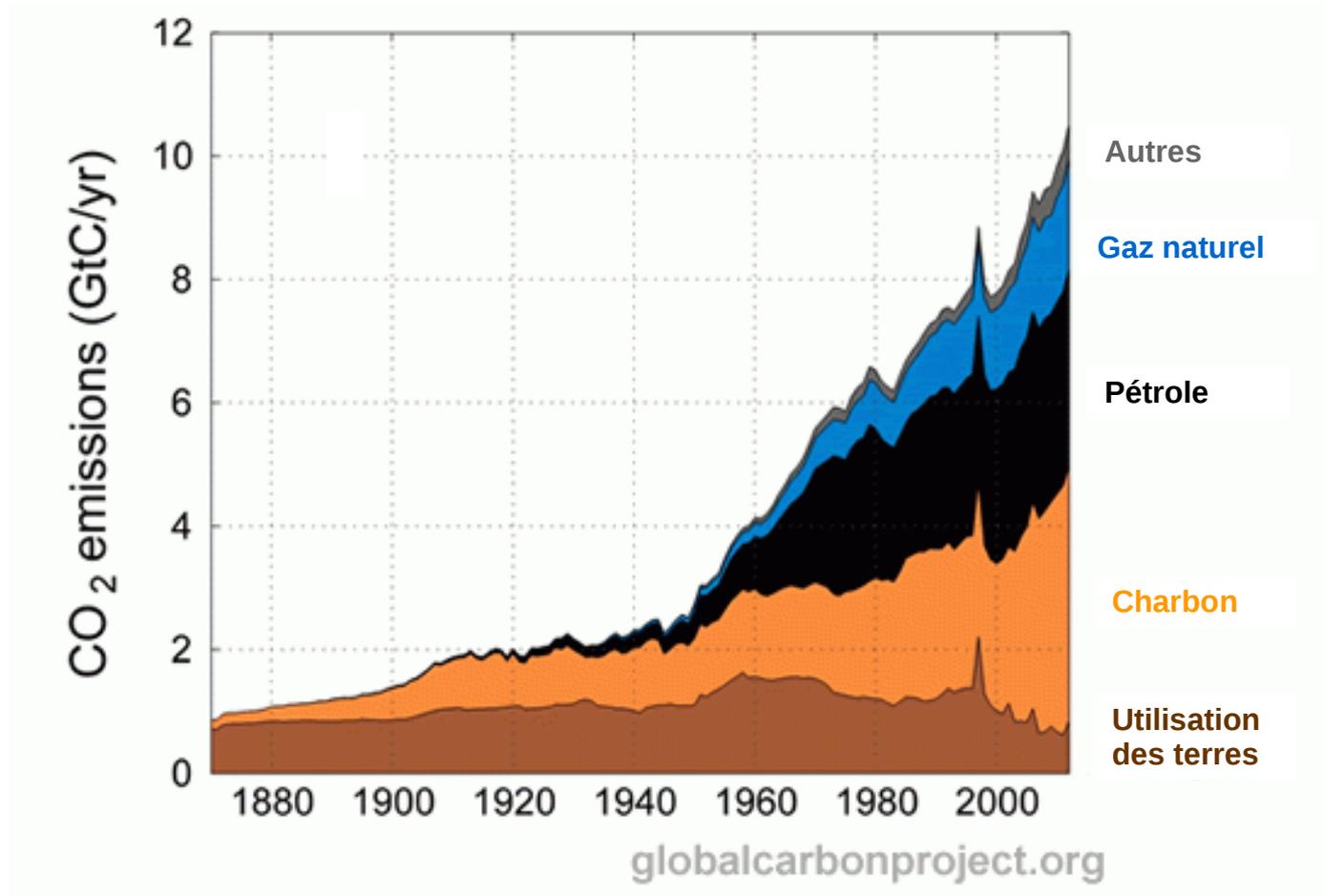
Source: GIEC

Émissions humaines de gaz à effet de serre



Sources: BP statistical Review 2009 pour les consommations de combustibles fossiles ; IPCC AR4 WG 3 (2007) pour la production de ciment et les gaz hors CO₂; Houghton, The Woods Hole Research Center pour le CO₂ du à la déforestation.

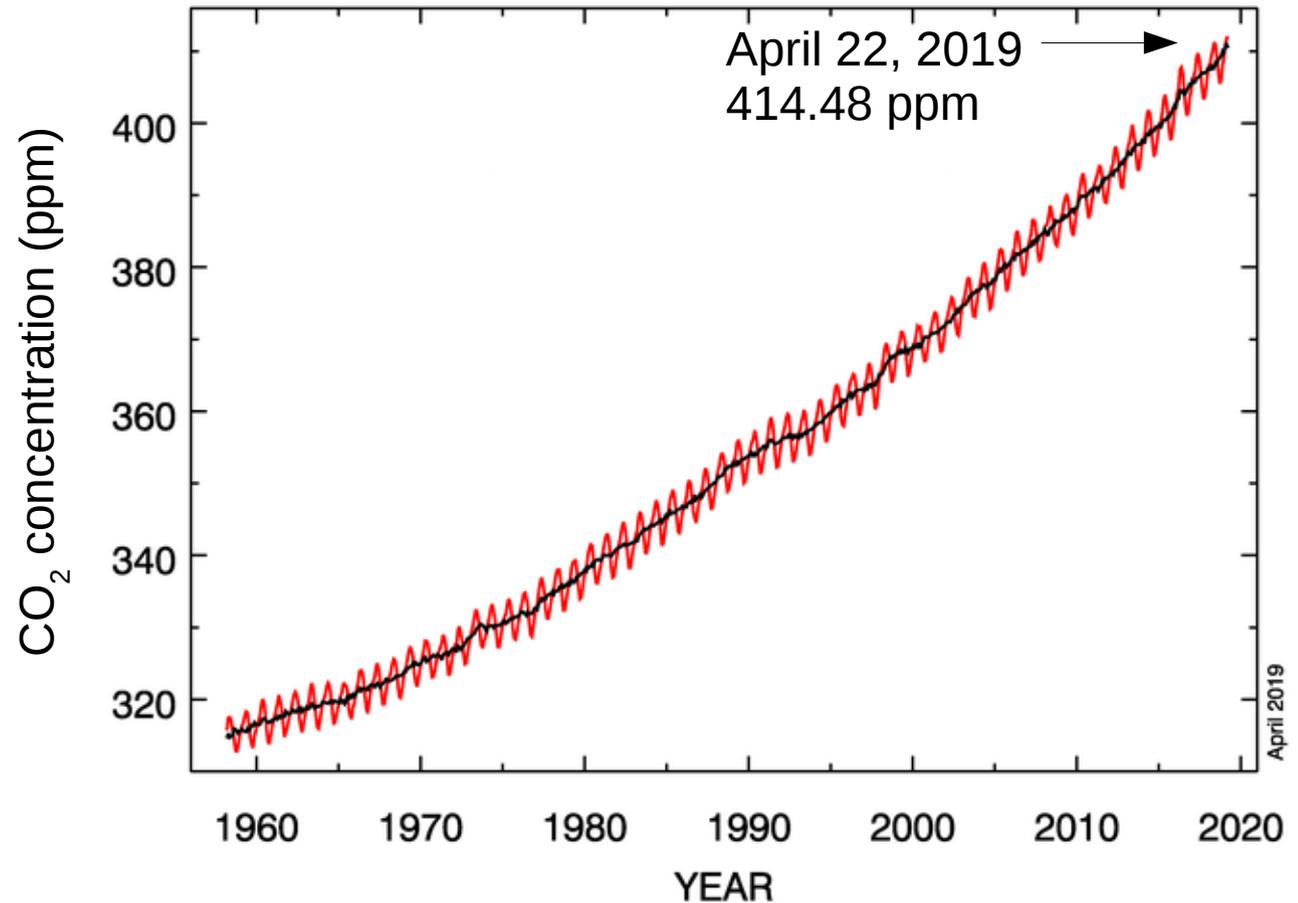
Évolution des émissions de CO₂ par source



La moitié des émissions de CO₂ est absorbée par la végétation terrestre et les océans. L'autre moitié s'accumule dans l'atmosphère.

Évolution de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère

Mesures de l'Observatoire de Mauna Loa (Hawaii)



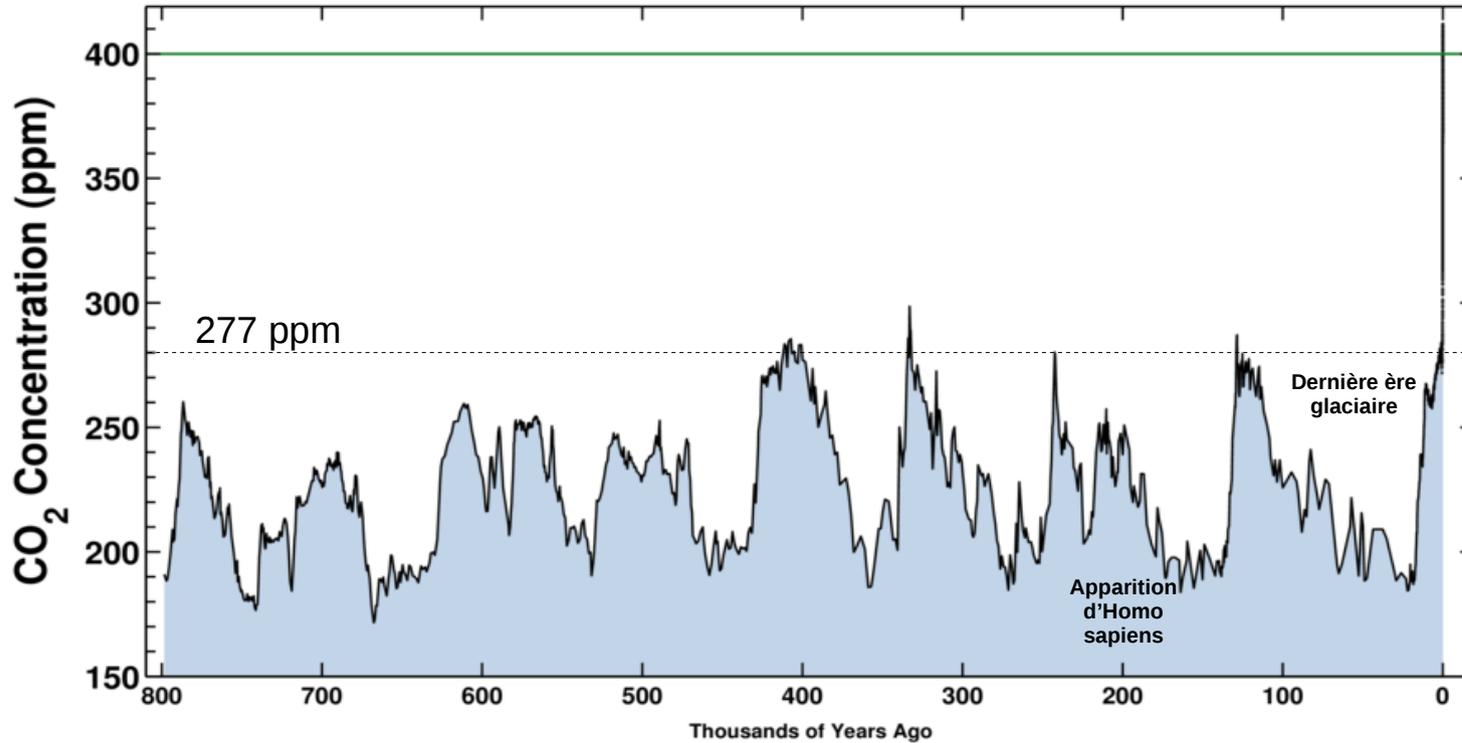
Une augmentation de **277 ppm en 1750** à 414 ppm aujourd'hui (+50%)

Évolution de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère

Latest CO₂ reading
April 22, 2019

414.48 ppm

Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.



aujourd'hui

Le CO₂ n'a jamais été aussi élevé en presque 1 million d'années !

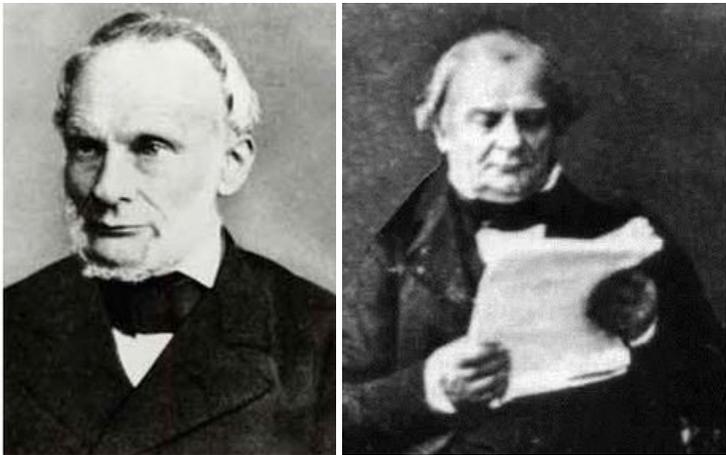
800 000 ans d'histoire



Évolution de la concentration en vapeur d'eau

La vapeur d'eau n'est pas le moteur du réchauffement climatique,
... mais elle y participe par un **effet amplificateur**

→ La loi physique de Clausius-Clapeyron



Rudolf
Clausius

Benoît
Clapeyron

**Plus la température augmente,
plus l'atmosphère peut contenir
de la vapeur d'eau**

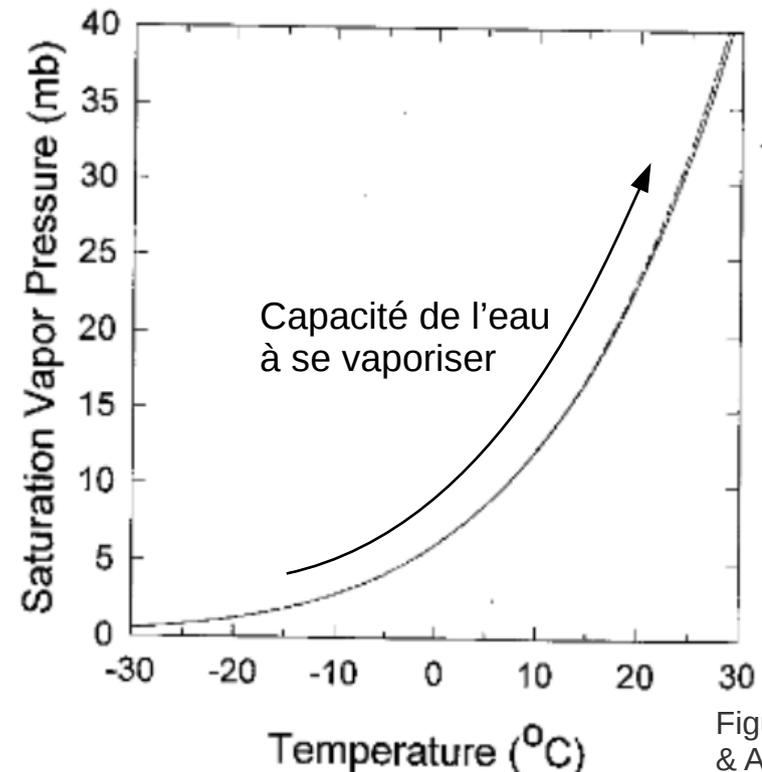
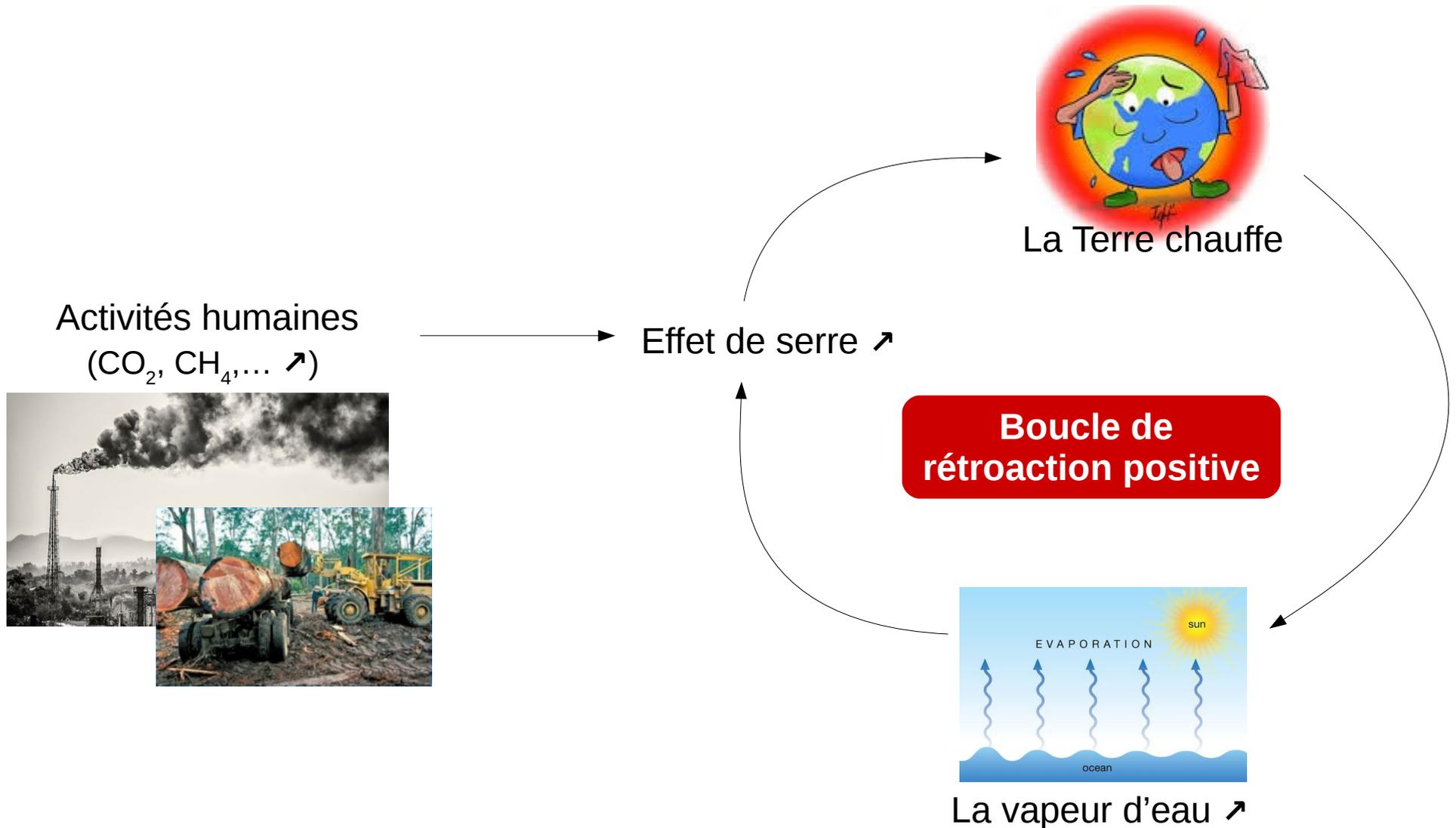


Figure: Bohren
& Albrecht

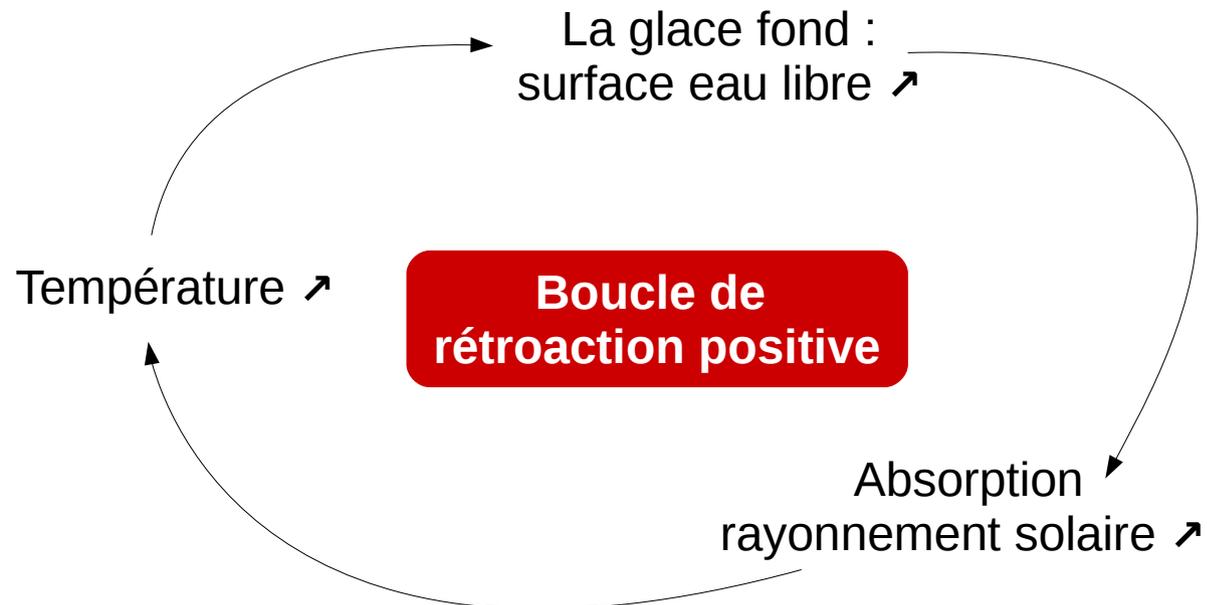
Évolution de la concentration en vapeur d'eau

La vapeur d'eau n'est pas le moteur du réchauffement climatique,
... mais elle y participe par un **effet amplificateur**



Rétroaction de la glace de mer

50 – 70% du rayonnement solaire réfléchi

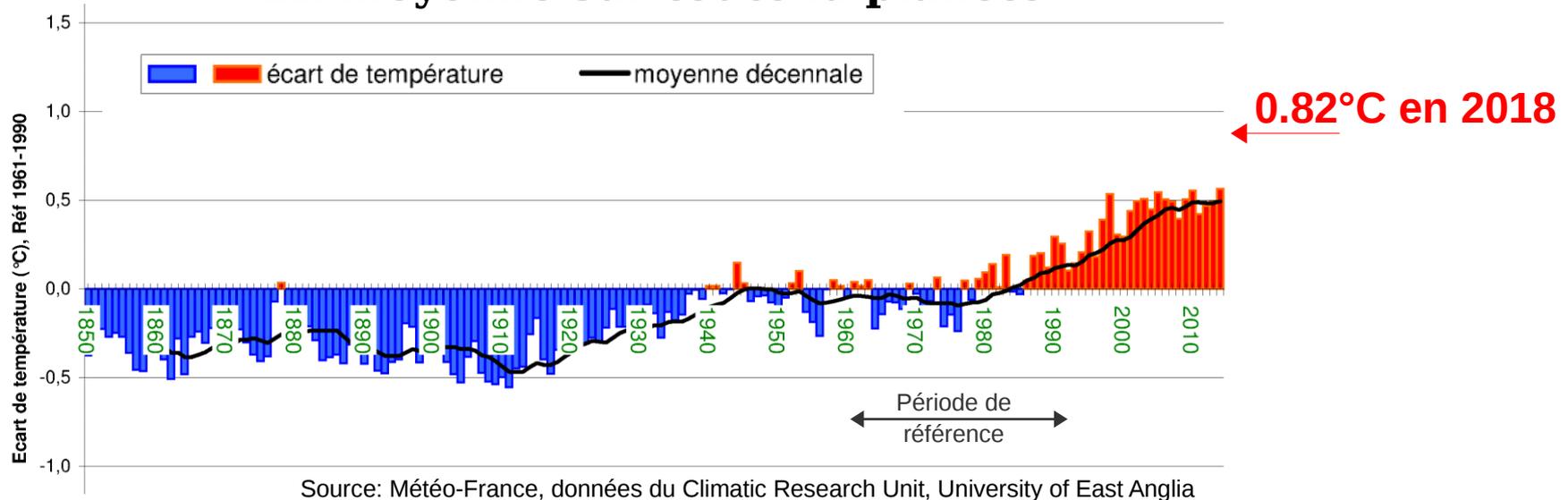


Les changements récents

Ce qui a été mesuré

Changements de température à la surface de la Terre

En moyenne sur toute la planète



- **Réchauffement planétaire**

 - 1,1°C depuis 1850

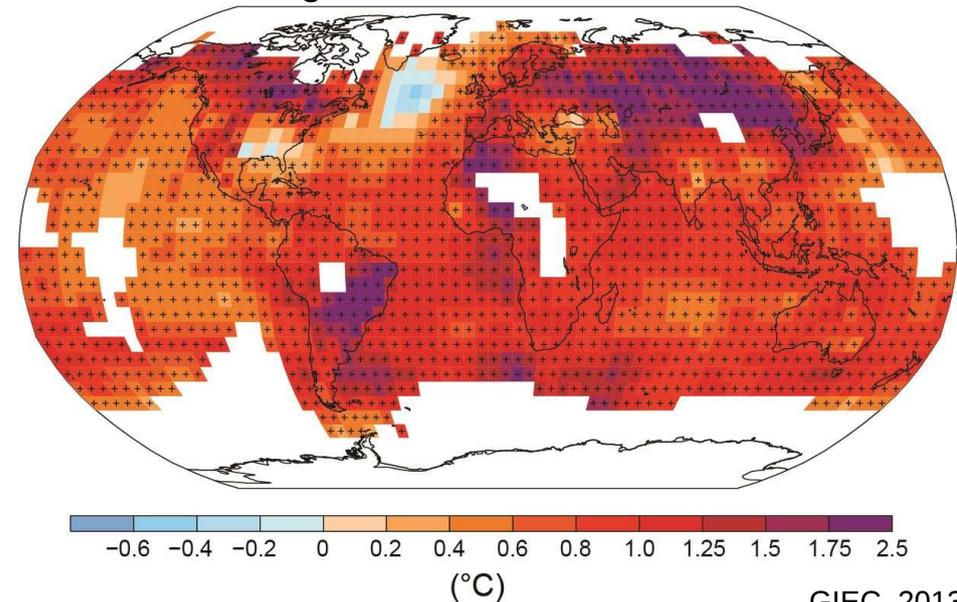
- « **Variabilité interne** » du climat

 - Disparité géographique



 - Une année peut être plus froide localement !

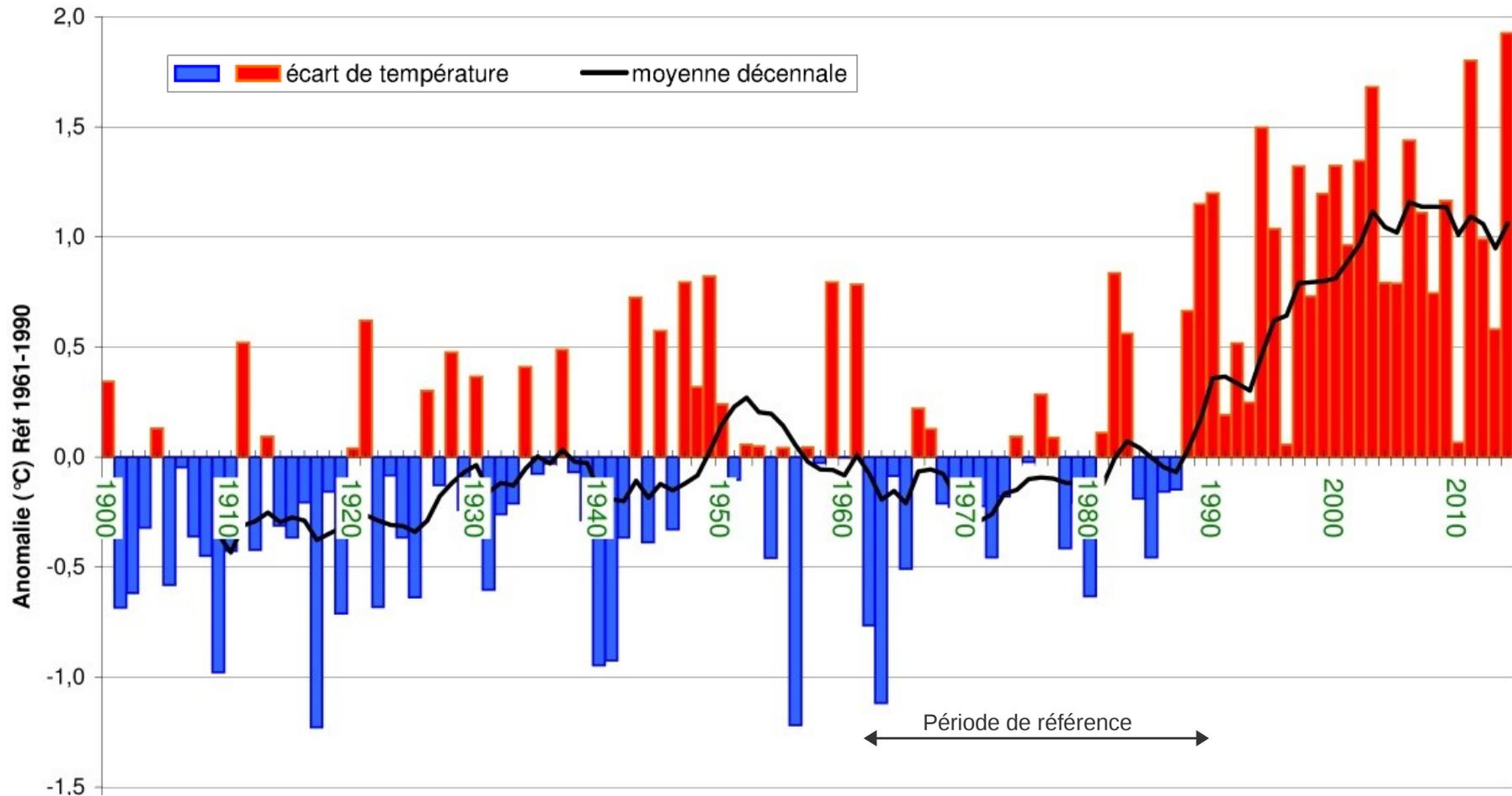
Changement entre 2012 et 1901



GIEC, 2013

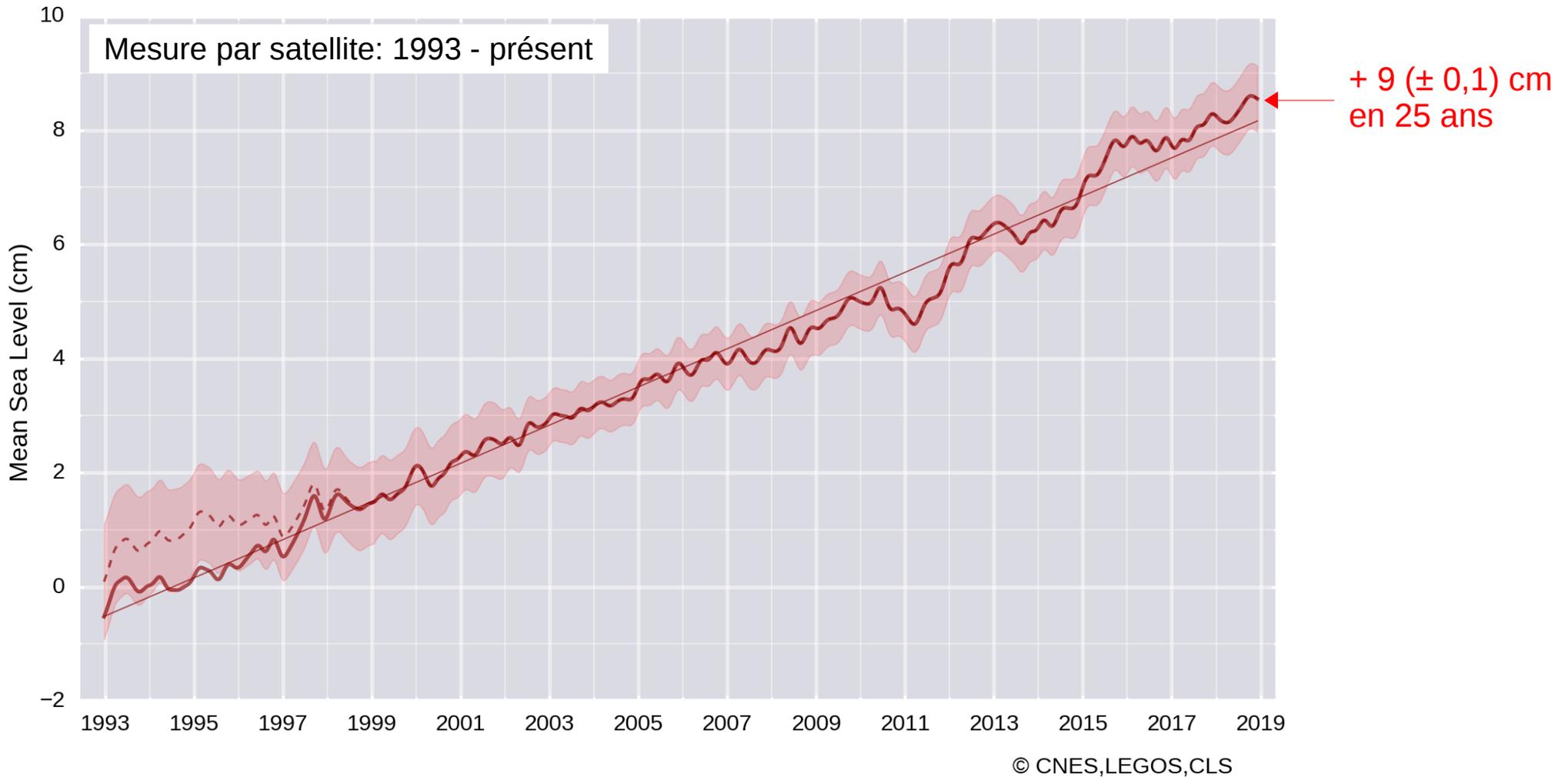
Changements de température à la surface

En moyenne sur toute la France



- La décennie 2002-2011 a été la plus chaude: **le réchauffement a dépassé 1°C!**
- 2010: année relativement froide, alors qu'à l'échelle planétaire, elle est parmi les plus chaudes des 130 dernières années! C'est la variabilité interne.

Évolution du niveau de la mer



- Niveau stable jusqu'à environ 1900, puis +1-3 mm / an
- Augmentation moyenne de 3,34 mm / an depuis 1992

Causes de l'élévation du niveau de la mer

Expansion thermique:

→ Plus la température augmente, plus l'eau se dilate: 1,1 (\pm 0,3) mm / an

Glaces continentales:

→ Fonte des glaciers de montagnes: 0,8 (\pm 0,4) mm / an

→ Perte de masse des calottes polaires

Groenland: 0,33 (\pm 0,08) mm/an

Antarctique de l'ouest: 0,27 (\pm 0,11) mm/an

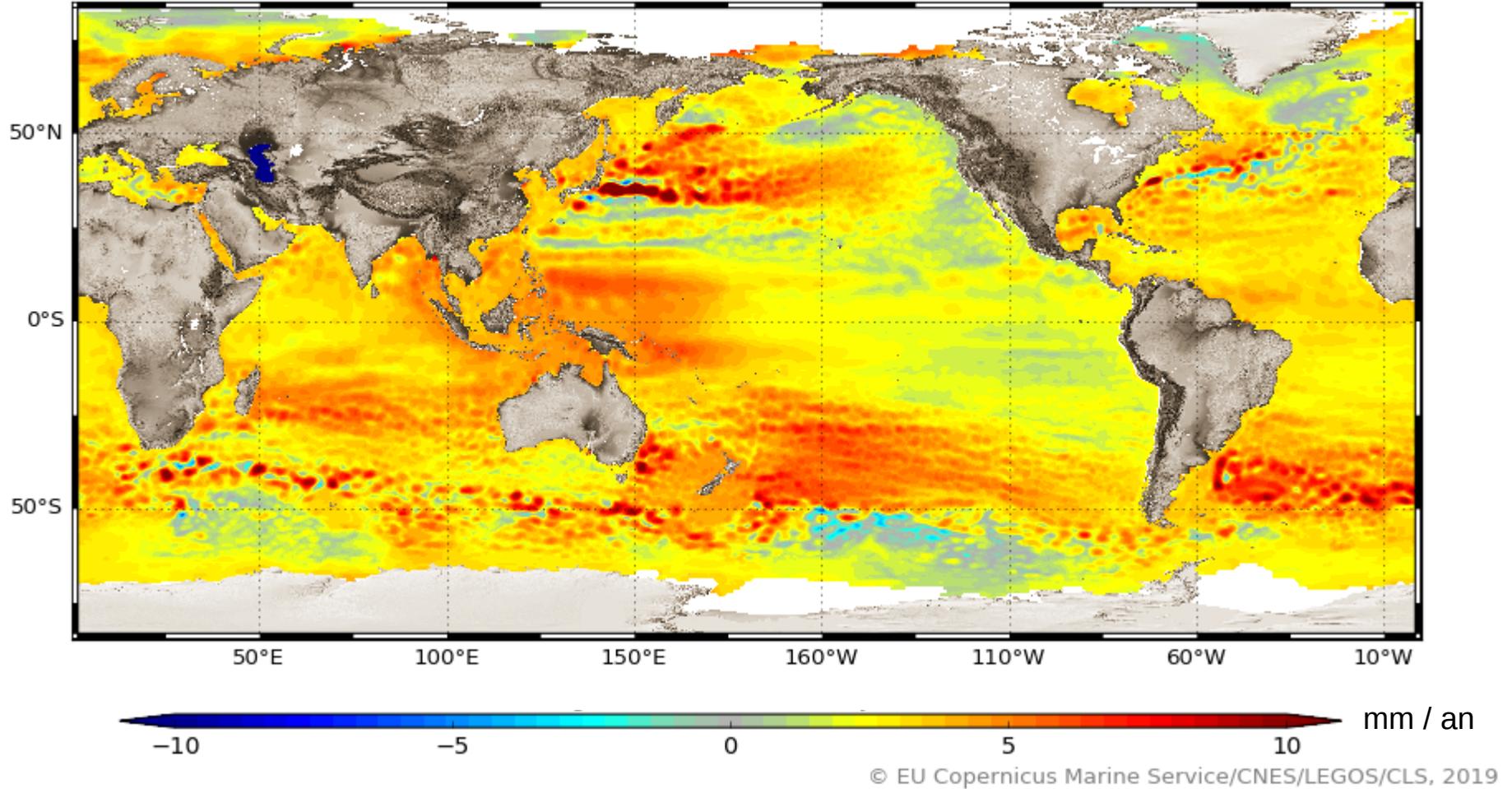


La fonte des icebergs n'entraîne pas l'élévation de la mer!

Autres facteurs: enfoncement du sol, pompage des nappes phréatiques, barrages, urbanisation du littoral, courants marins,...

Évolution du niveau de la mer

Évolution moyenne de 1992 à 2018



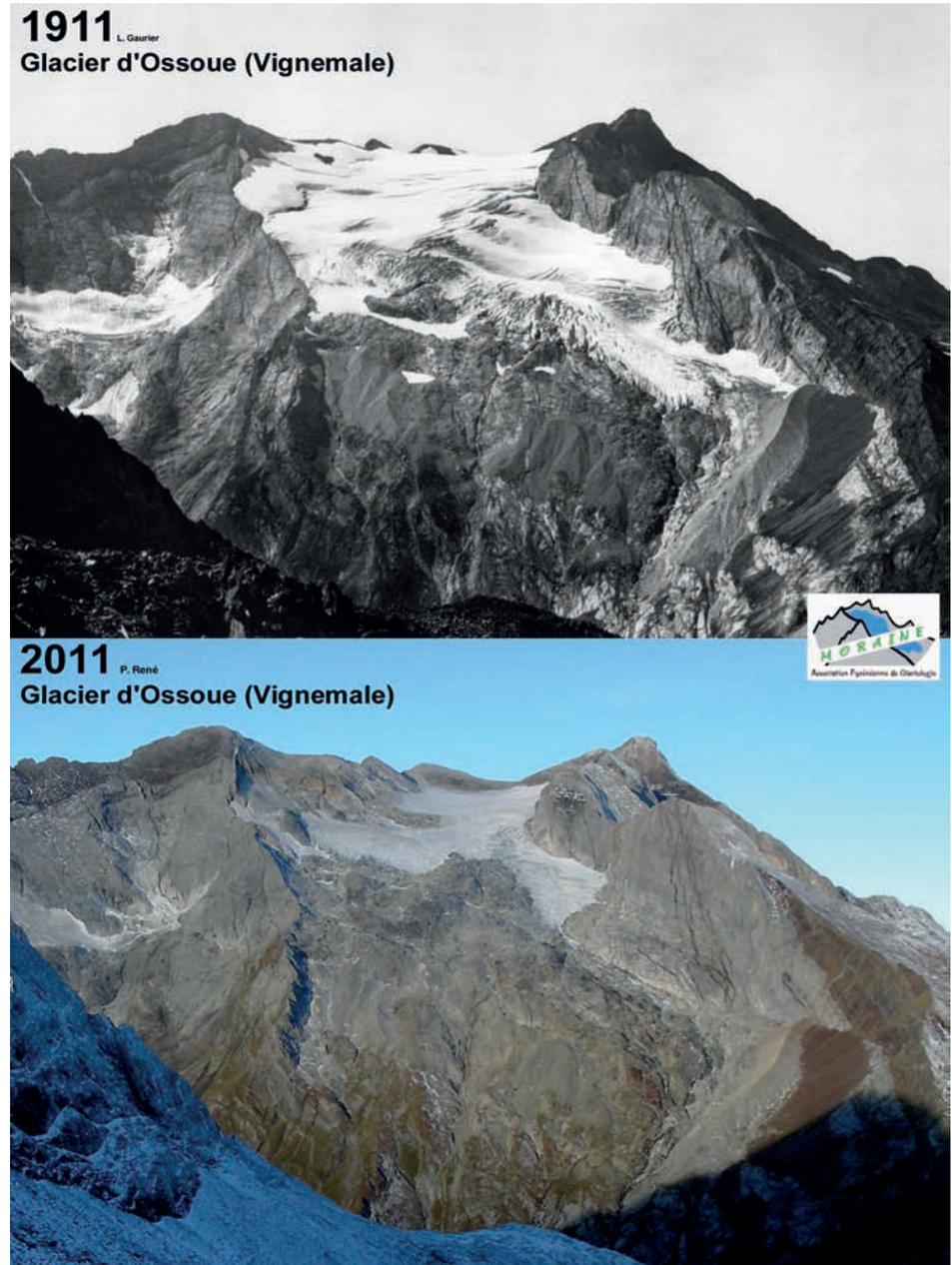
Répartition non uniforme de la chaleur dans l'océan

→ la mer monte plus vite dans certaines régions que dans d'autres

Évolution des glaces continentales

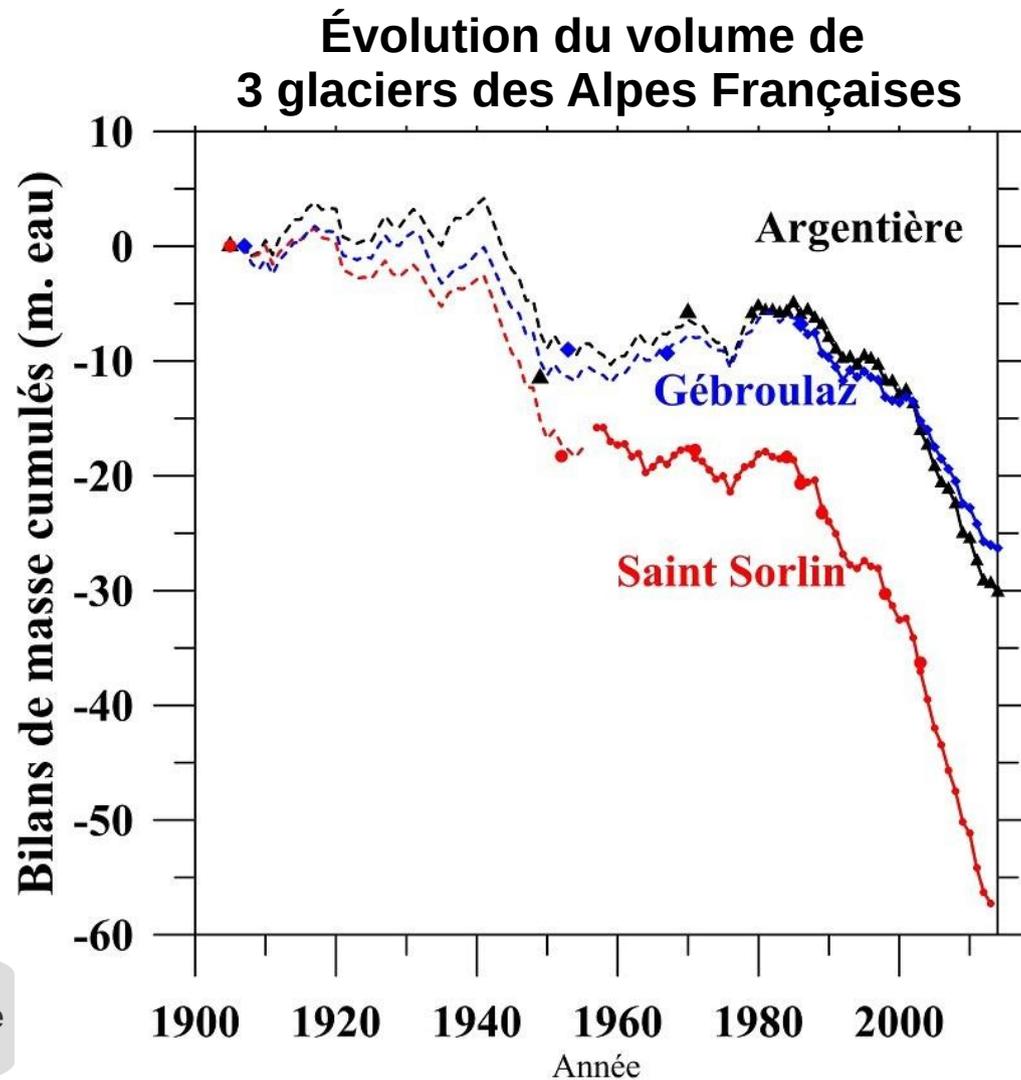
Le glacier d'Ossoue (Pyrénées)

-59% de sa surface en 100 ans
-1,80 m / an d'épaisseur depuis 2001



Source: Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC)

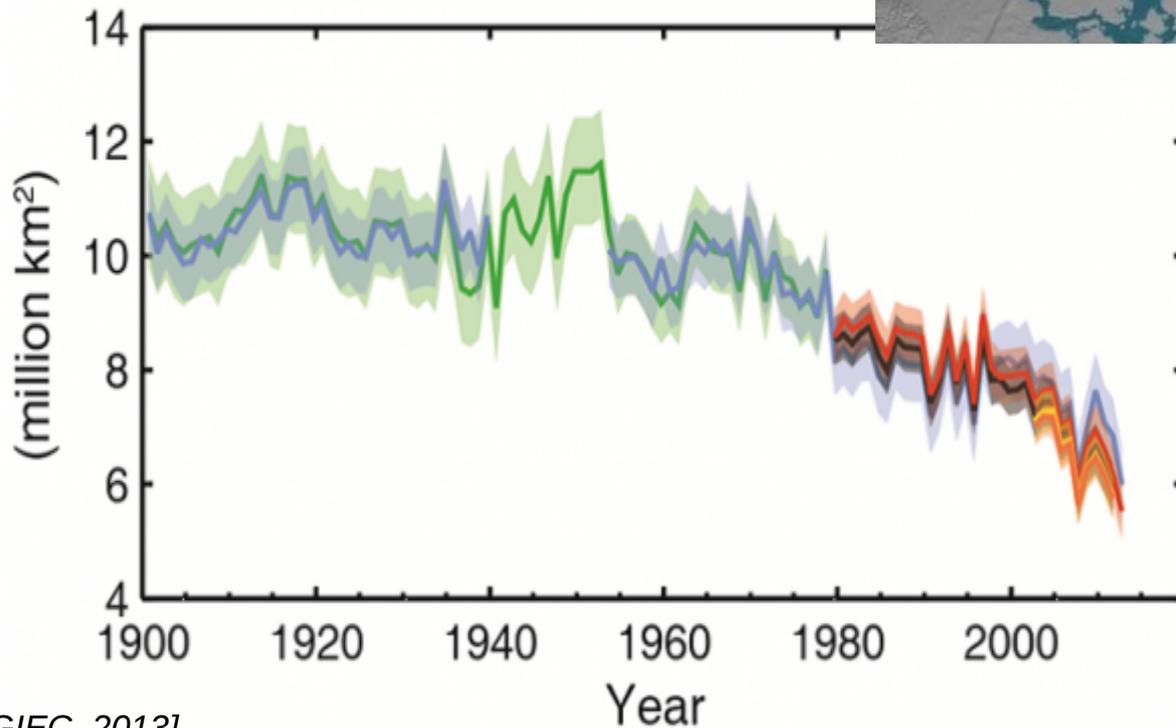
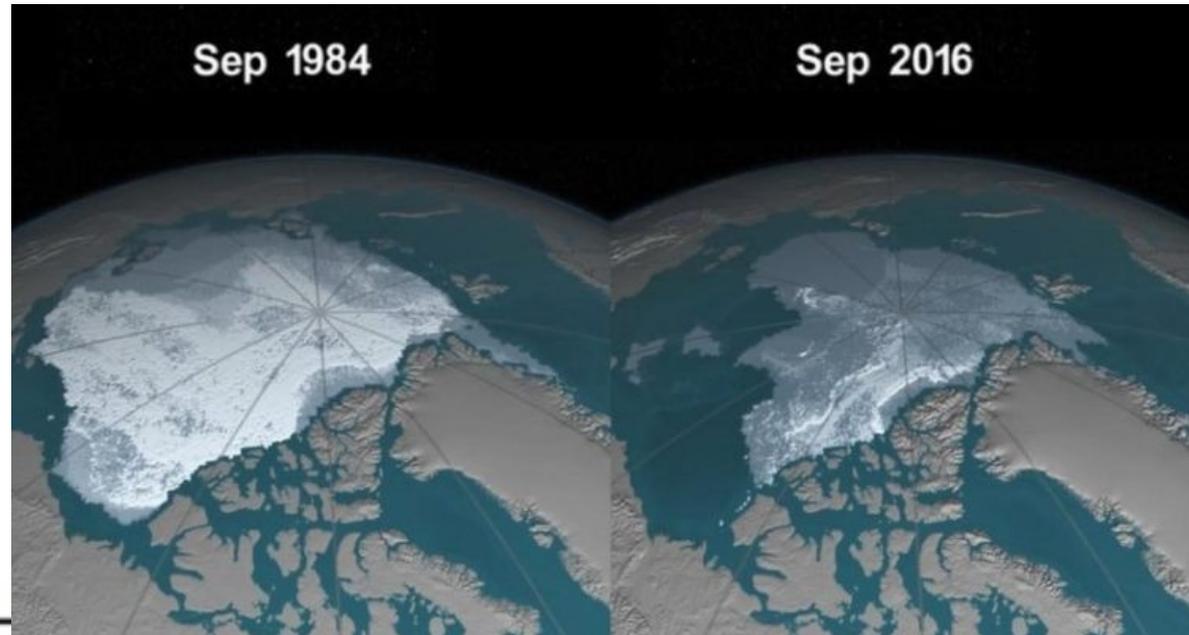
Évolution des glaces continentales



Différence entre
accumulation hivernale
et fonte estivale

Fonte de la glace de mer en Arctique

Évolution de l'étendue de la glace de mer en été



-12.8% par décennie

Enneigement dans le massif de la Chartreuse (Alpes)

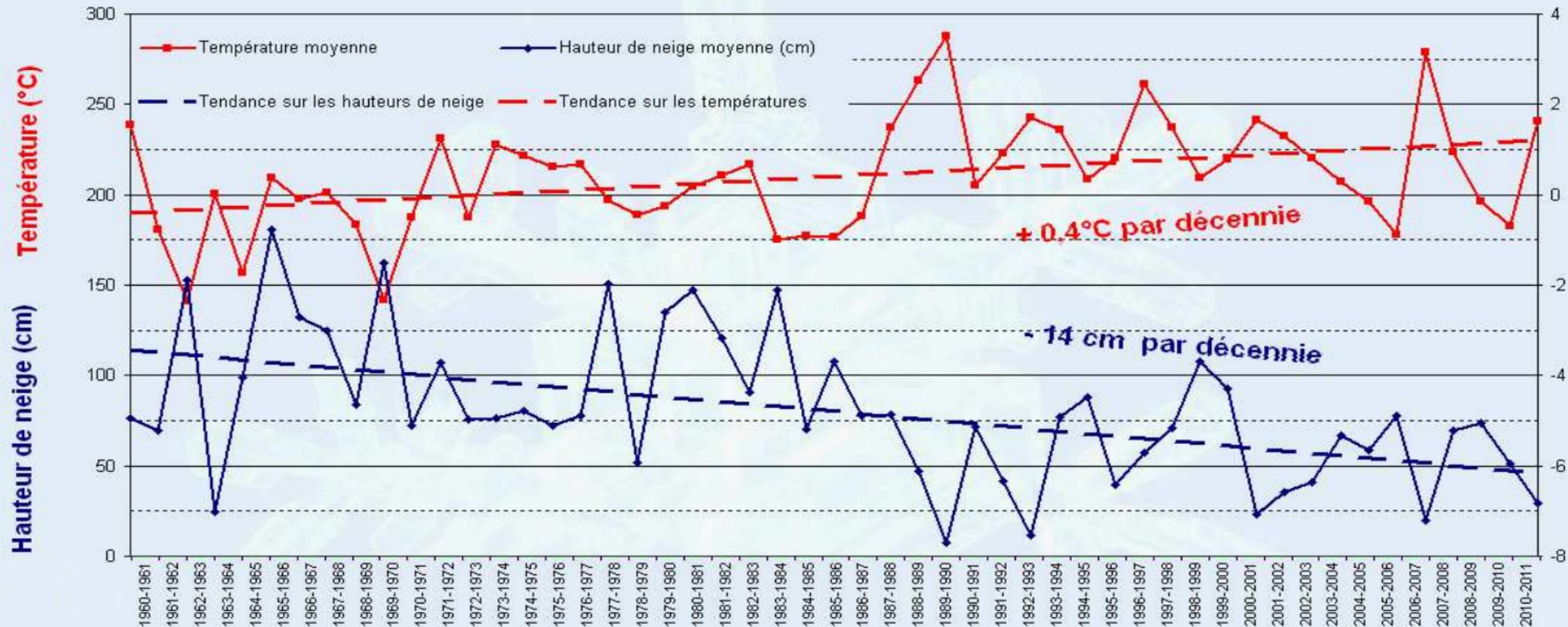
Évolution pendant les mois d'hivers de 1960 - 2013



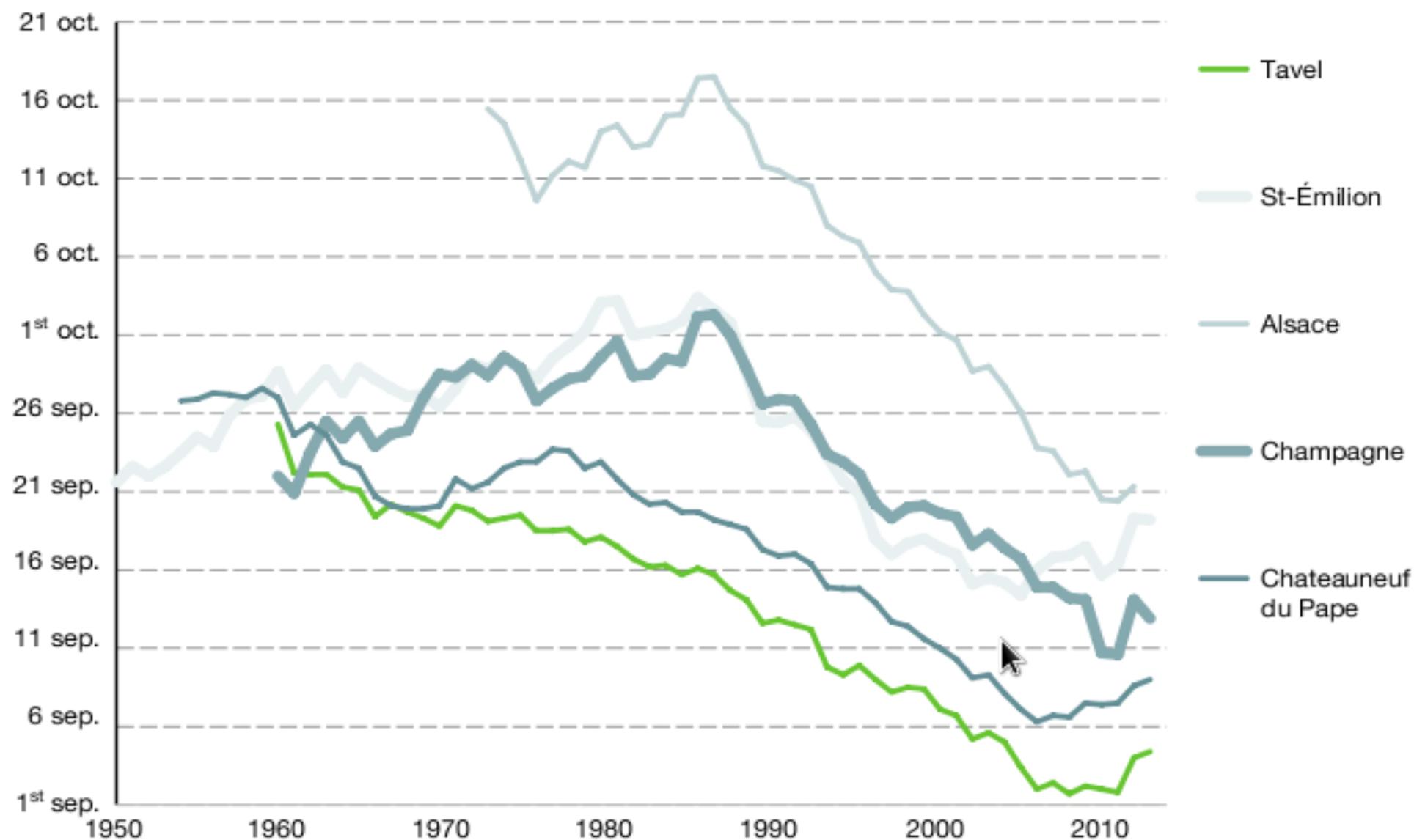
Evolution des hauteurs de neige, des températures

(entre le 1^{er} déc et le 30 avril) au Col de Porte de 1961 à 2010

Centre d'Etude de la Neige

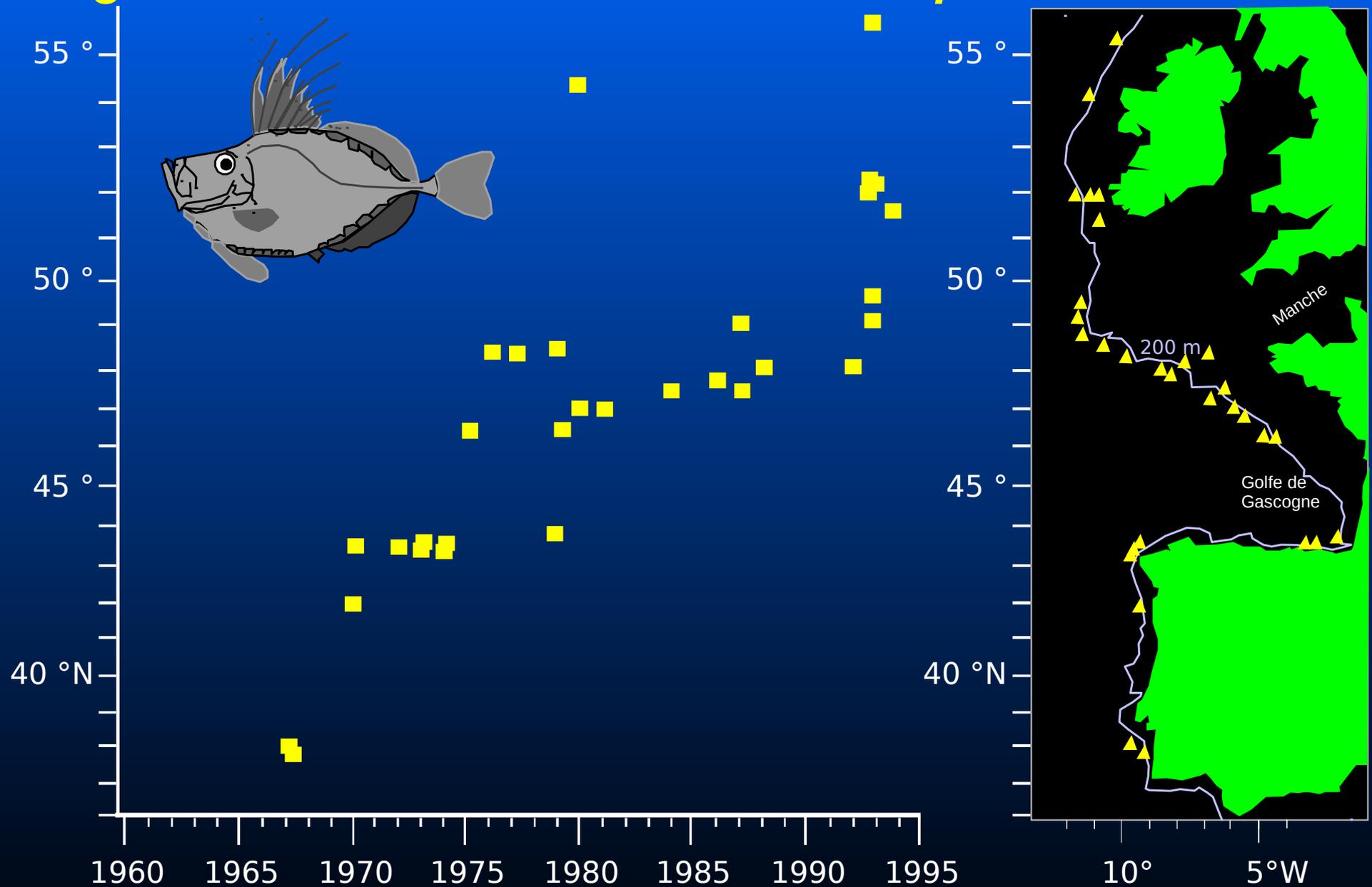


ÉVOLUTION DES DATES DE VENDANGES



Sources : Inter-Rhône, ENITA Bordeaux, Inra, CICV, Inter-Rhône

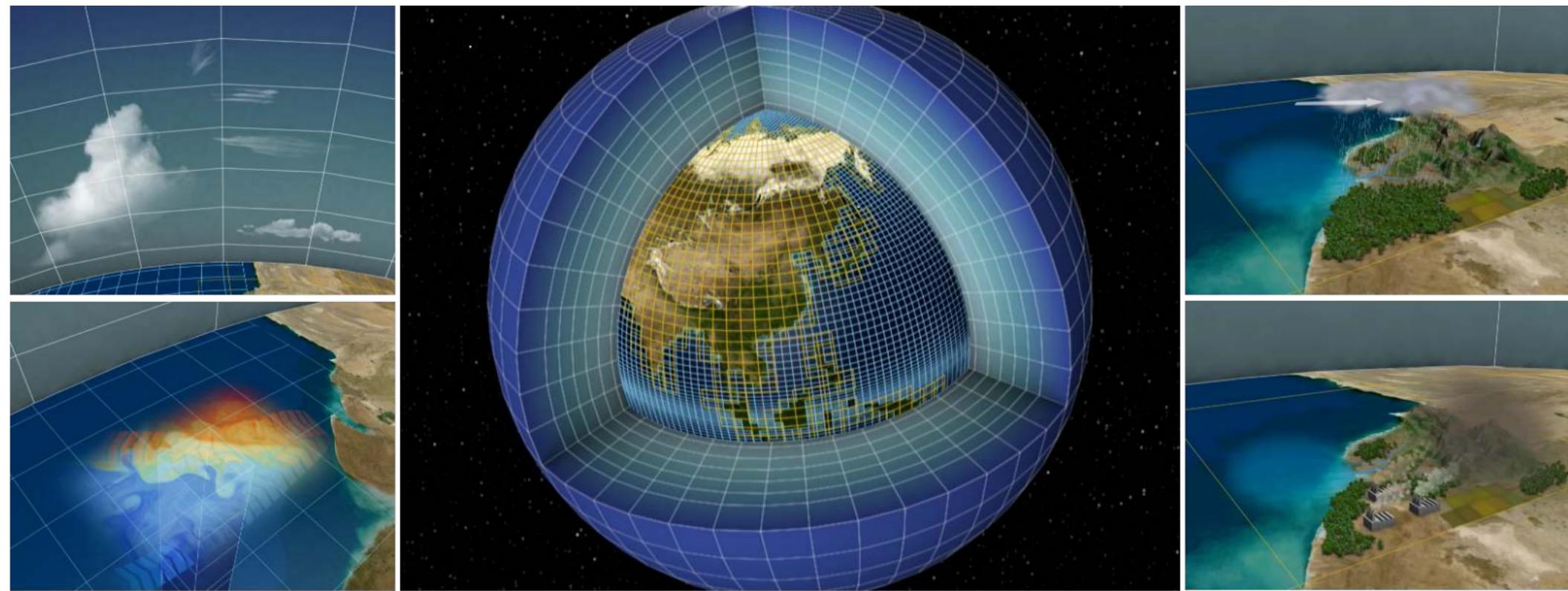
Progression de la distribution de *Zenopsis conchifer*



Le futur :

Modélisation, scénarios et projections

La modélisation climatique

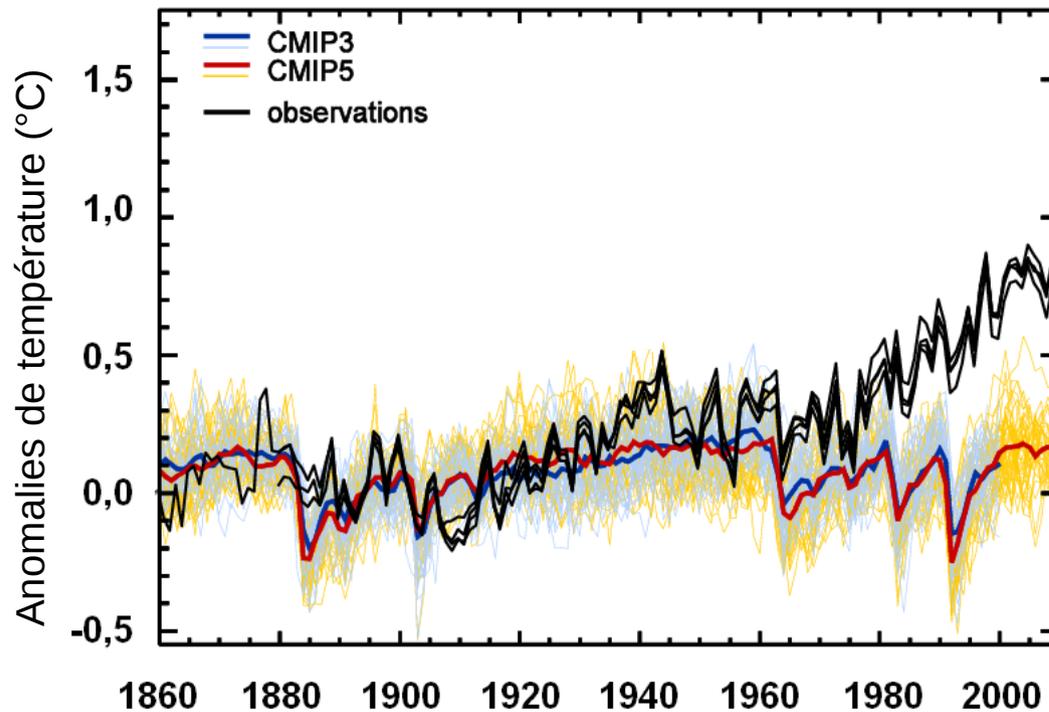


Film présentant la modélisation du climat. Copyright CEA

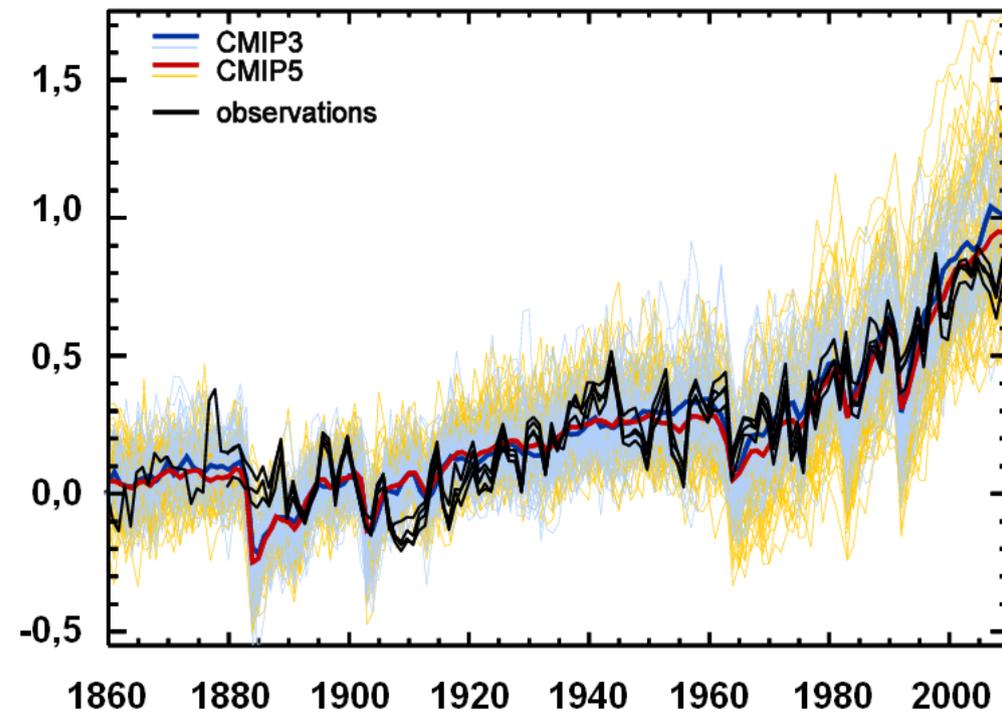
Dans quelle mesure les variations climatiques sont-elles liées aux activités humaines ou à la « variabilité naturelle du climat » ?

Attribution des variations climatiques

Simulations avec **facteurs naturels seulement** (variabilité interne, éruptions volcaniques, variabilité solaire)

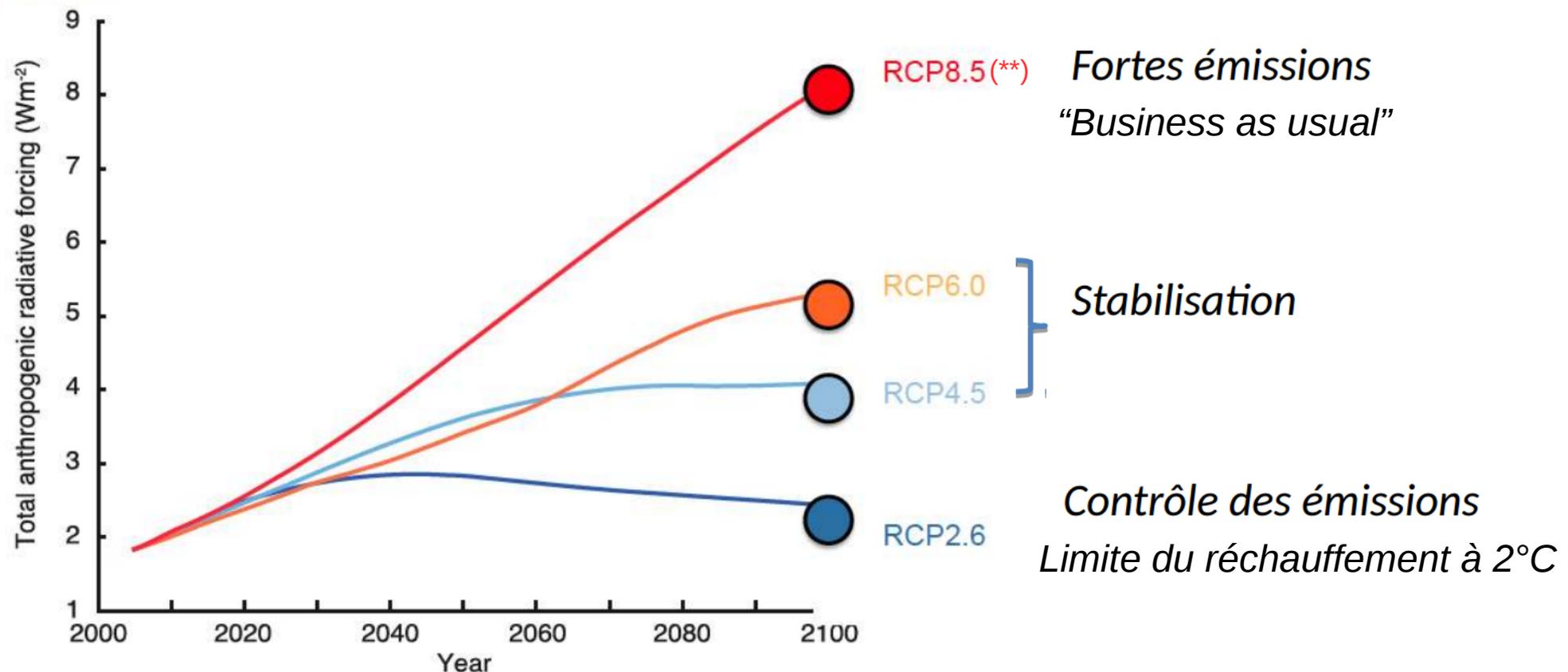


Simulations avec **facteurs naturels et anthropiques** (... + gaz à effet de serre, aérosols)



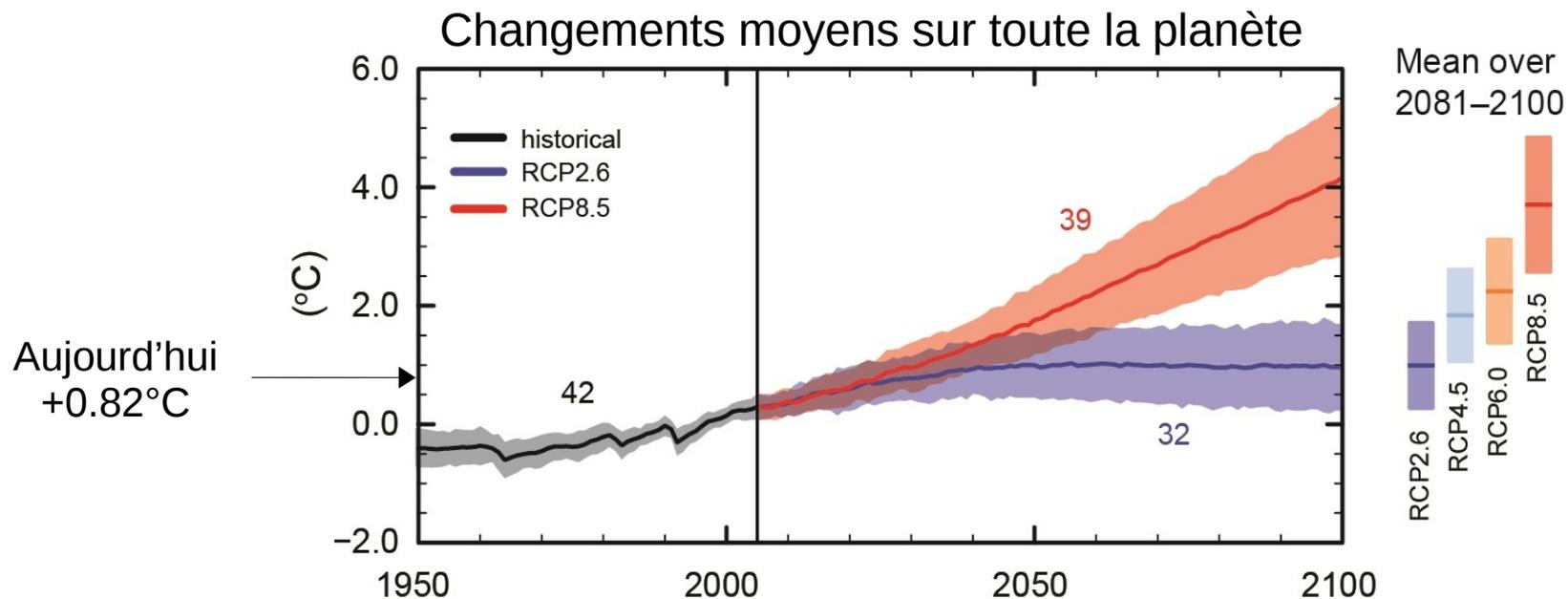
Les scénarios du GIEC(*) d'émission de gaz à effet de serre

Hypothèses sur l'évolution de la démographie mondiale et de la croissance économique à travers la planète



(*) Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)
(**) Profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP)

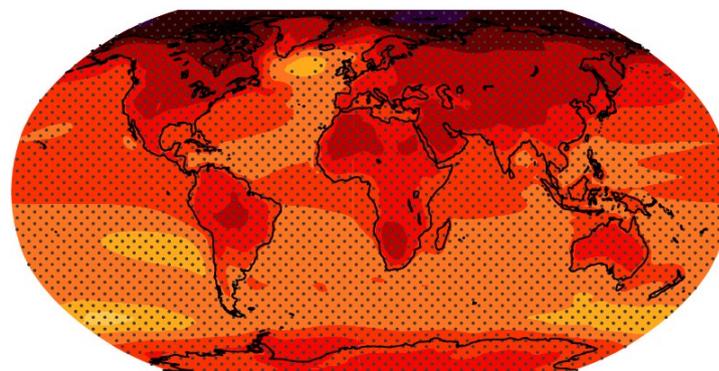
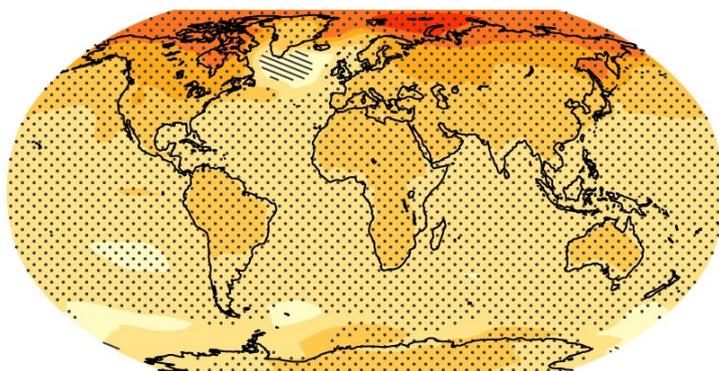
Projections de changements de température



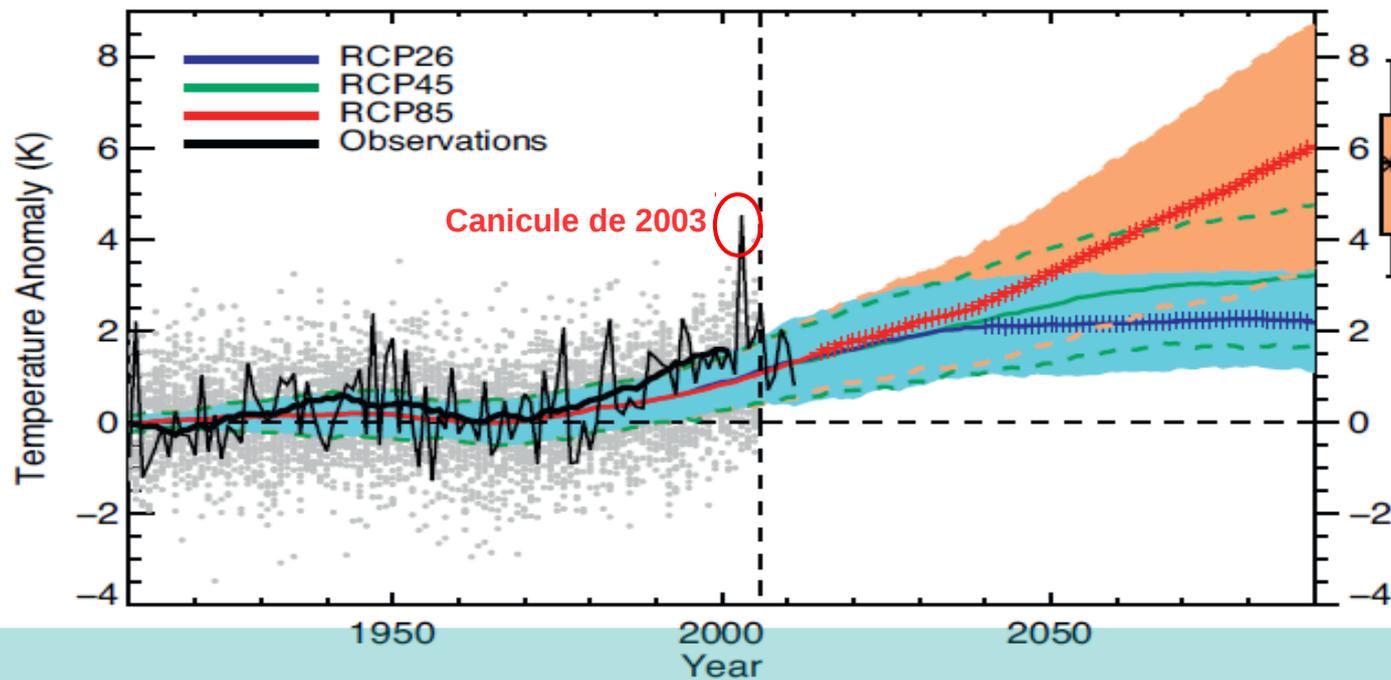
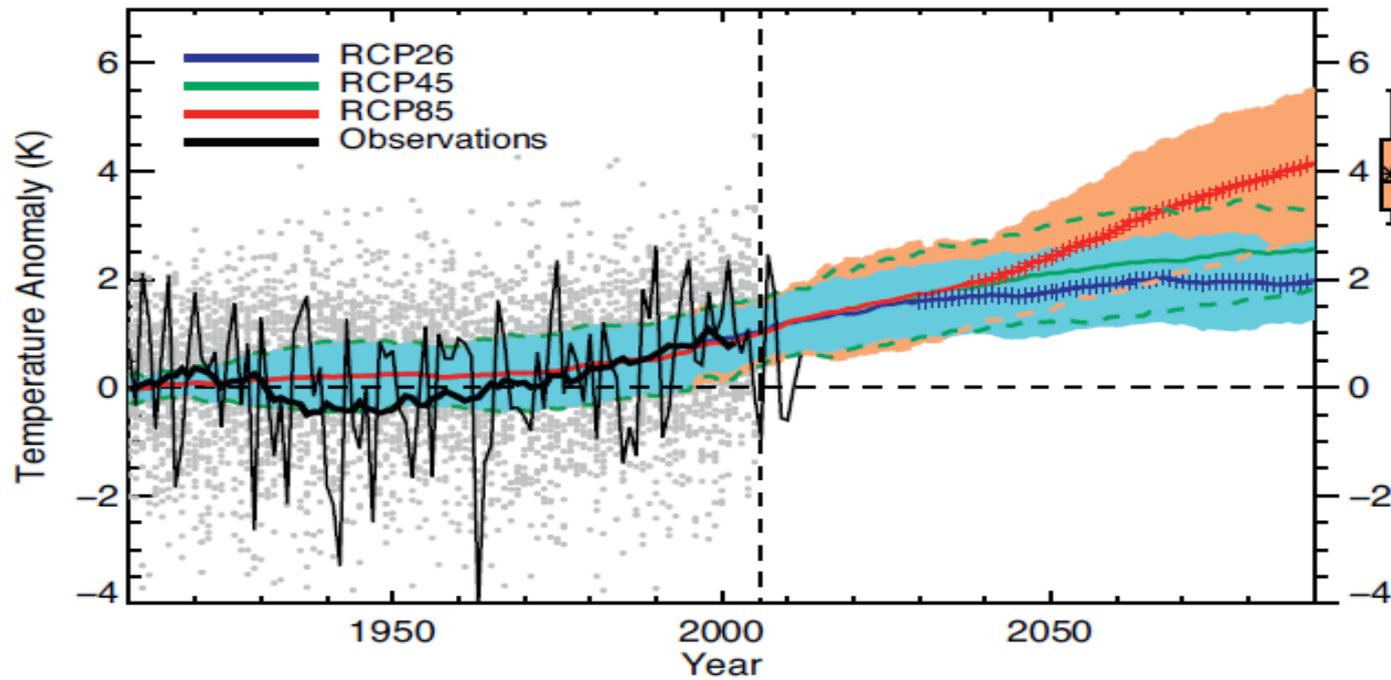
RCP2.6

RCP8.5

Changements
entre 2081-2100
et 1986-2005

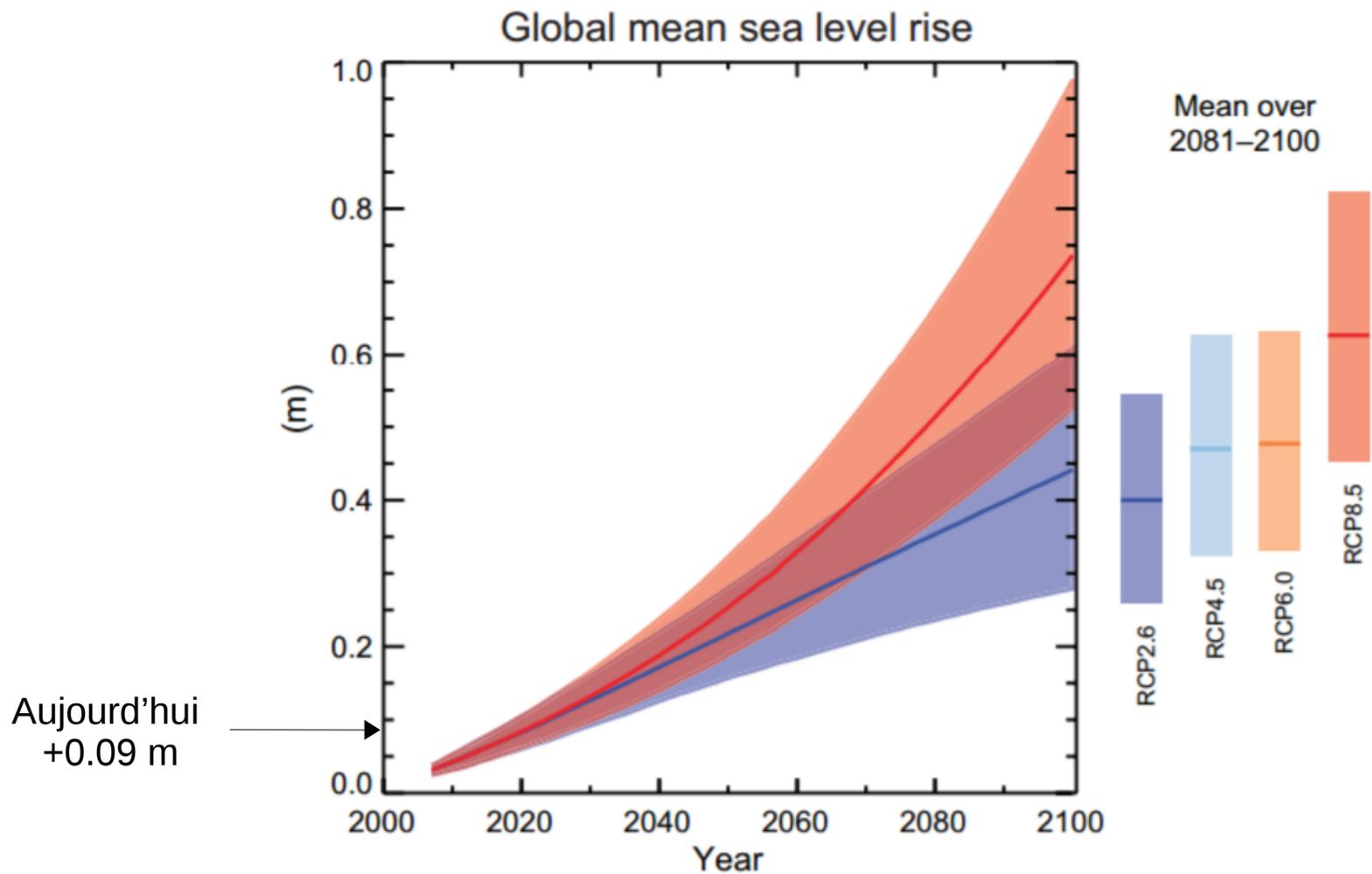


Projections de changements de température en France

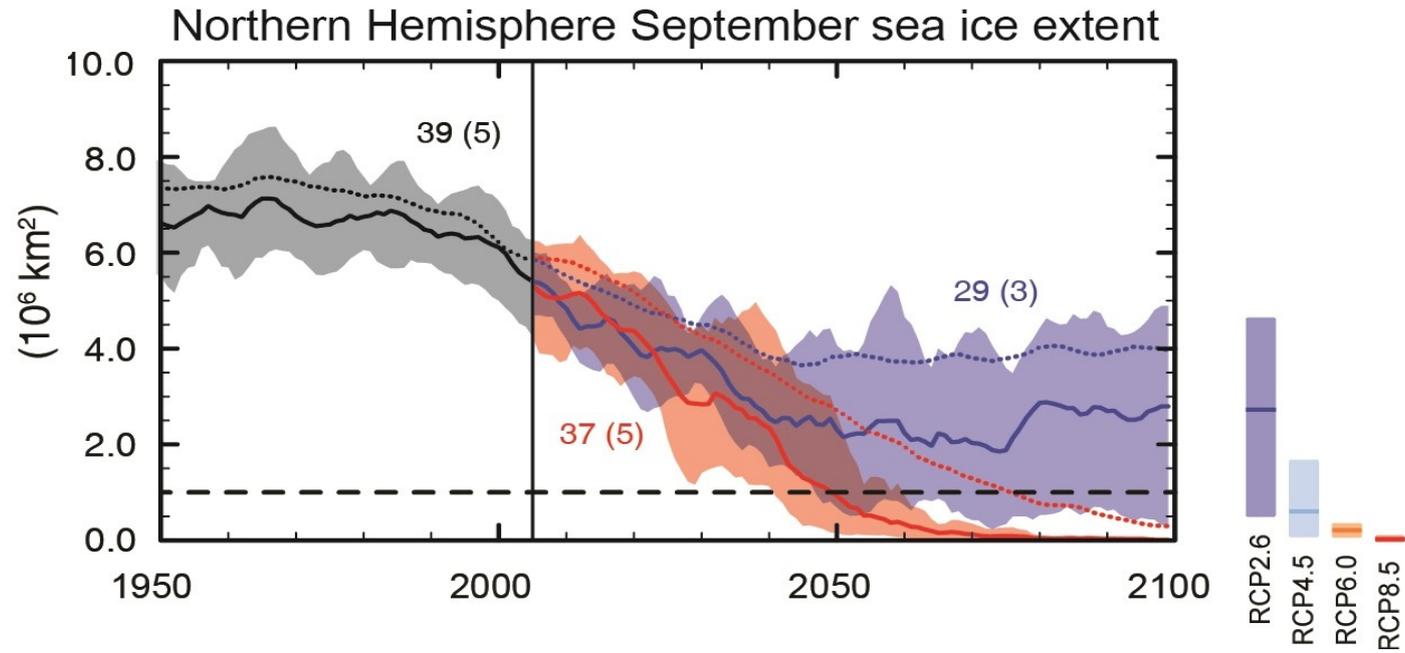


[Terray et Boé, 2013]

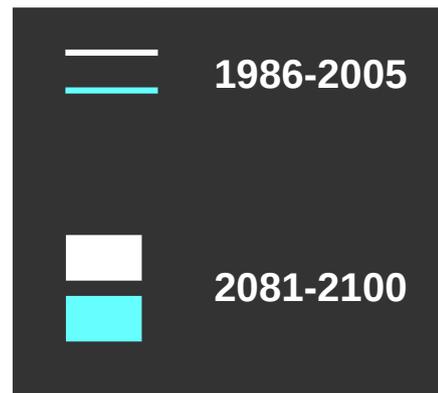
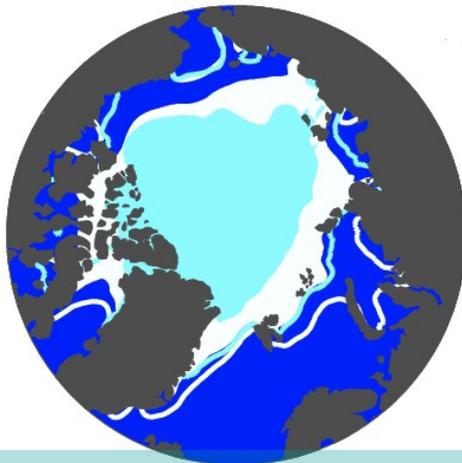
Projections de changements du niveau de la mer



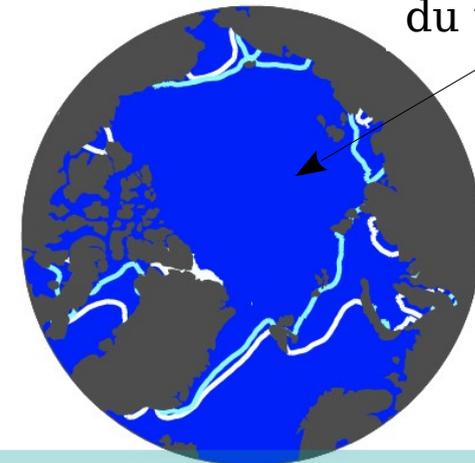
Projections de l'extension de la glace de mer



RCP2.6



RCP8.5



Plus de glace du tout!

Conclusions

Le **réchauffement** climatique est **sans équivoque**, et l'**influence de l'homme** est **clairement établie**.

Depuis les années **1950**, beaucoup de **changements observés** sont **sans précédent** depuis des décennies, voire des millénaires.

Les projections climatiques montrent que ces **changements** pourraient **se poursuivre** et parfois même **s'accélérer** d'ici la **fin du siècle**.

Limiter le réchauffement à 1,5 ou 2°C nécessite une **réduction radicale** des **émissions de CO₂**.