

Climat, changements climatiques naturels et anthropiques



Météo VS Climat

La **météorologie** est une **science** qui a pour objet l'étude des phénomènes **atmosphériques** tels que les **nuages**, les **précipitations** ou le **vent** dans le but de comprendre comment ils se forment et évoluent en fonction des paramètres mesurés tels que la **pression**, la **température** et l'**humidité**. Le mot vient du **grec ancien** **μετέωρος / metéōros** (« qui est au-dessus de la terre »), qui désigne les particules en suspension dans l'atmosphère et **-λογία / -logia**, « discours » ou « connaissance ».

Du latin **clima** (génitif **climatis**) lui-même dérivé du grec ancien **κλίμα, klima** (« inclinaison de la Terre vers le pôle », d'où « climat, **région, zone** » et, au figuré « inclinaison, penchant »). Ce terme dérive du verbe **κλίνειν, klinein** (« incliner, faire pencher »).

MÉTÉO



C'est le temps qu'il fait
aujourd'hui et pendant
les jours à venir

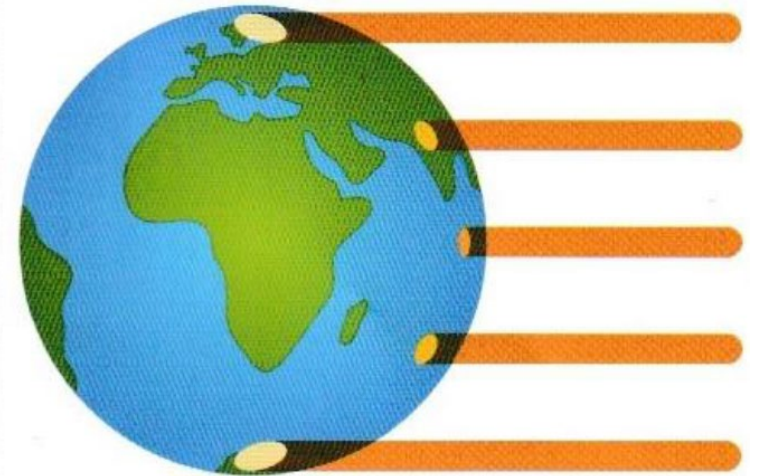


CLIMAT



C'est la moyenne
des conditions météo
sur plusieurs décennies

METEO FRANCE



Le climat : définition

- Le **climat** est une distribution statistique des conditions atmosphériques **moyennes** dans une **région** donnée pendant une période de **30 ans minimum**
- Se distingue de la **météorologie**, qui désigne ces mêmes conditions atmosphériques pour une **courte période** (quelques jours) et dans des **zones localisées**
- La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes statistiques établies à partir de données atmosphériques locales : température, précipitation, ensoleillement, humidité, vitesse du vent

METEO VS. CLIMAT : LES DIFFERENCES

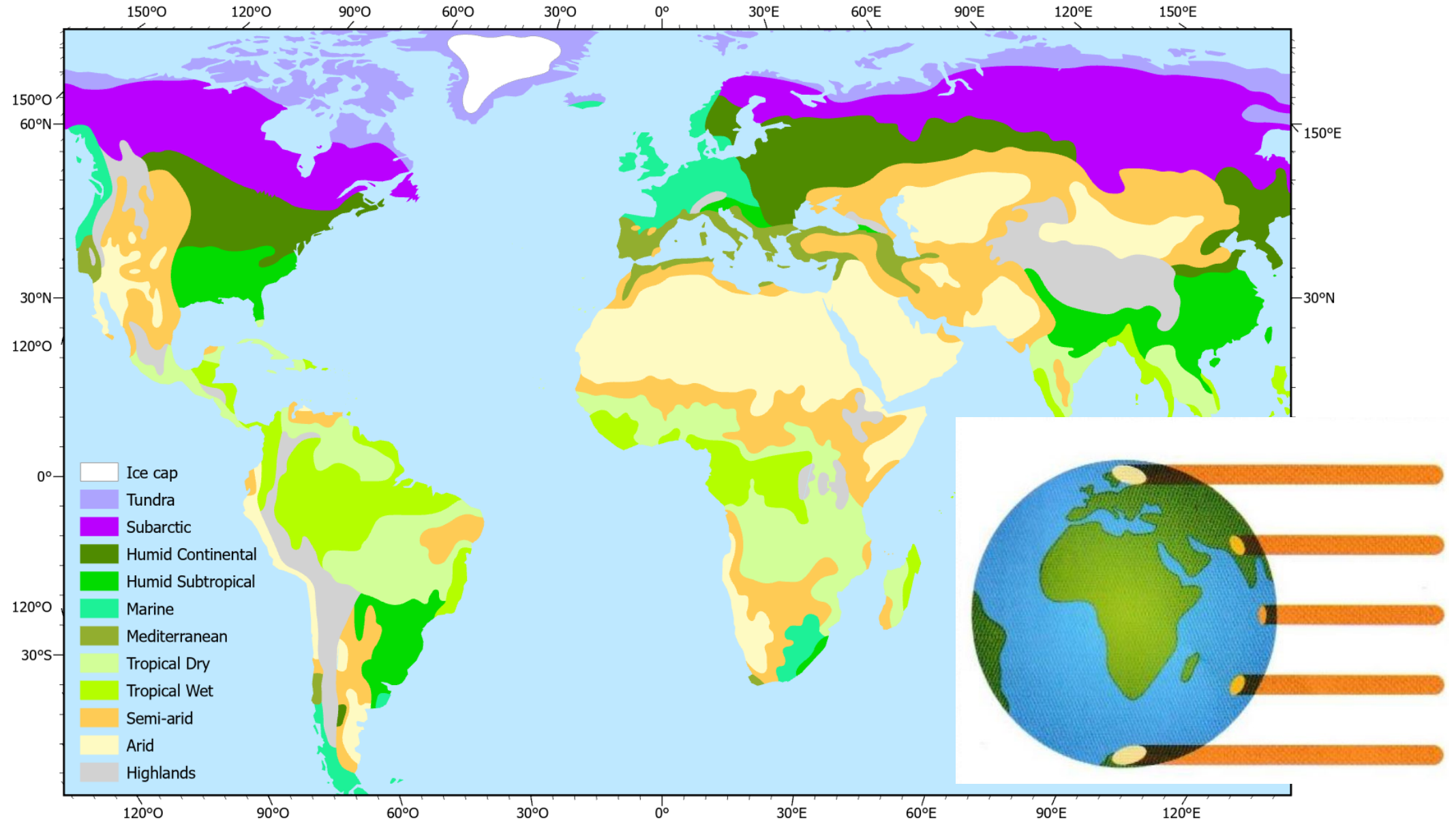
MÉTÉO	CLIMAT
évaluation du temps qu'il fait ou qu'il va faire sur une zone donnée et à très court terme	étude des statistiques de variables atmosphériques sur une longue période de temps
<u>Période</u> 10 jours maximum	<u>Période</u> 30 ans minimum
<u>Intensité</u> Sur la météo, -5°C c'est une petite veste en plus	<u>Intensité</u> Pour le climat, -5°C c'est le pic de la dernière ère glaciaire
<u>Précision</u> Fiable sur le temps très proche Très incertain dès 7 jours	<u>Précision</u> Tendances très précises basées sur des scénarios probables

Sources : GIEC, CNRS, Bon Pote

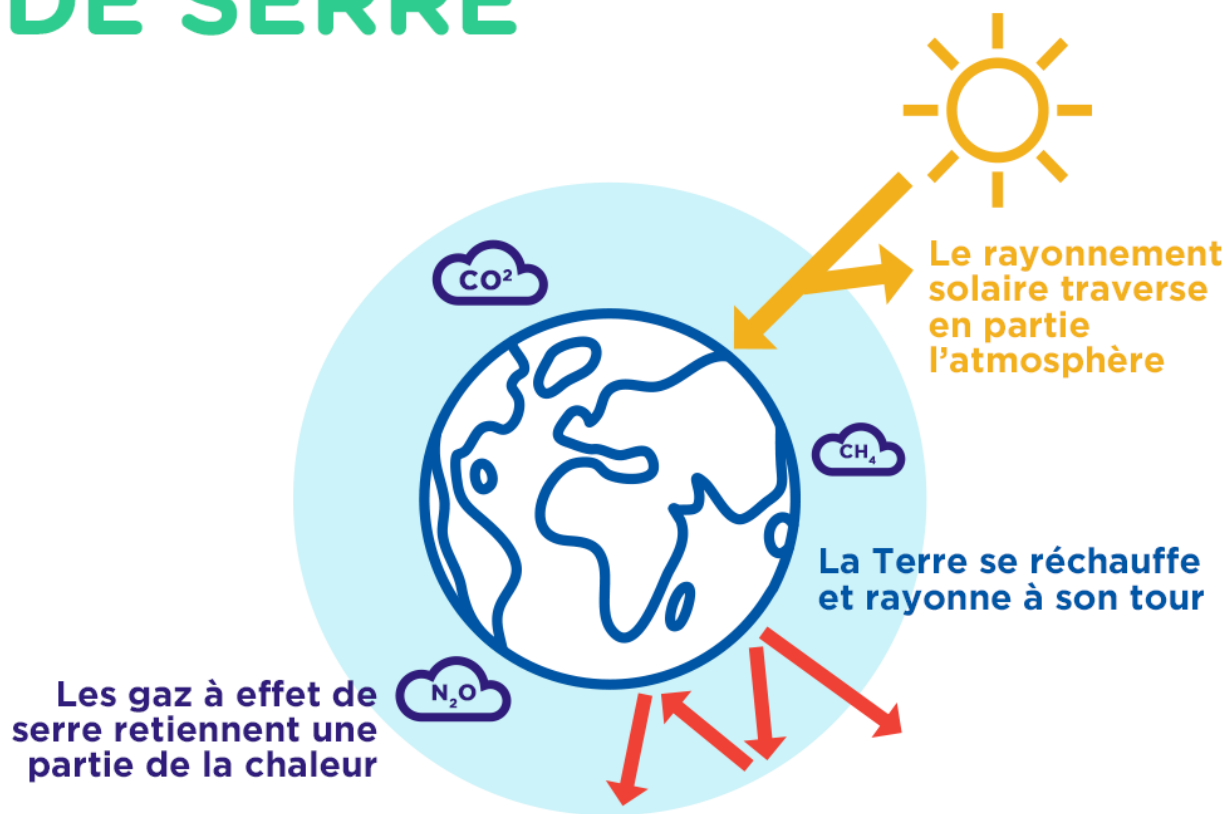
Quels sont les principaux facteurs influençant le climat ?

1. La **latitude** : position d'un lieu par rapport à l'équateur, mesurée en degrés. Elle influence la quantité d'énergie solaire reçue par une région.
2. L'**altitude** : hauteur d'un lieu par rapport au niveau de la mer. Elle influence la température et les précipitations.
3. Les **courants océaniques** : grands mouvements de l'eau de mer qui transportent de la chaleur d'une région à une autre.
4. La distance d'une région par rapport aux **océans** influence son climat, avec des différences entre climat maritime et climat continental.
5. Le **relief** : les configurations des montagnes, des vallées et des plateaux, influencent la circulation de l'air et la répartition des précipitations.
6. La **végétation** : influence le climat local en modifiant l'albédo (capacité d'une surface à réfléchir la lumière solaire) et en interagissant avec l'atmosphère (évapotranspiration).
7. Les **vents** et les systèmes de haute et basse pression régissent la circulation de l'air dans l'atmosphère.

Les principales zones climatiques :



PRINCIPE DE L'EFFET DE SERRE



Définition d'un Gaz à effet de serre (GES):

Composant gazeux qui absorbe le rayonnement infra-rouge réémis par la Terre

Principaux gaz à effet de serre (GES):

Vapeur d'eau H₂O
Dioxyde de carbone CO₂
Méthane CH₄
Protoxyde d'azote N₂O
Ozone O₃
Composés Fluorés

...

Bilan radiatif & forçage radiatif

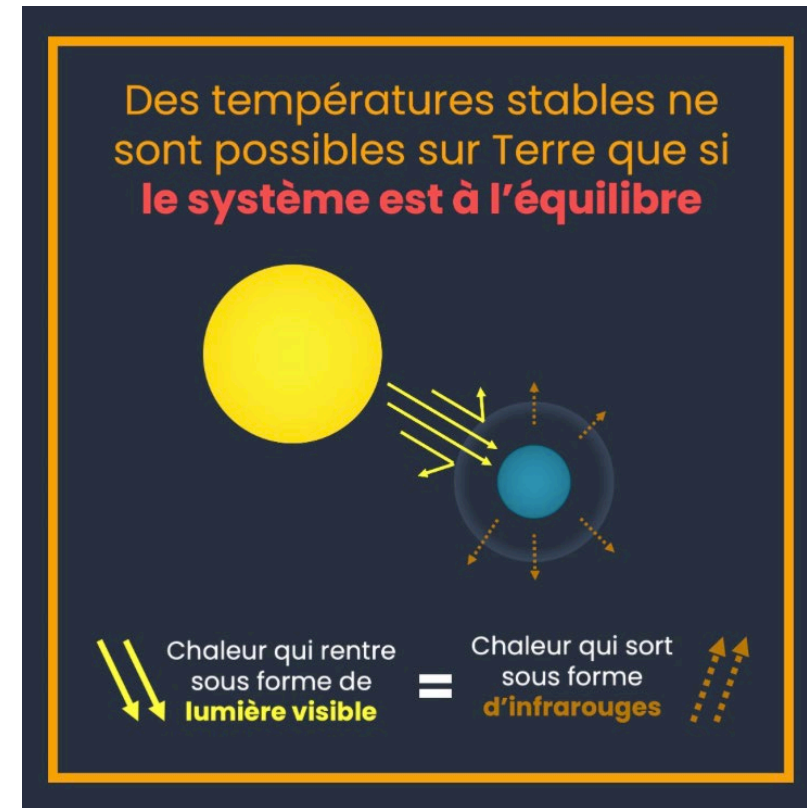
Equilibre : la quantité de rayonnement reçue du soleil est équivalente à celle qui est réémise dans l'espace par la Terre et son atmosphère

= le **bilan radiatif** du système est neutre

Le **forçage radiatif** est un terme de climatologie qui désigne un phénomène de perturbation de cet équilibre par des facteurs externes au climat proprement dit

> *la température augmente ou diminue selon la nature de ces facteurs, pour conduire, par ajustements successifs, à un nouvel état d'équilibre*

Si l'énergie globale reçue par la Terre est supérieure à l'énergie globale émise, le **forçage radiatif est positif** et la **température augmente**



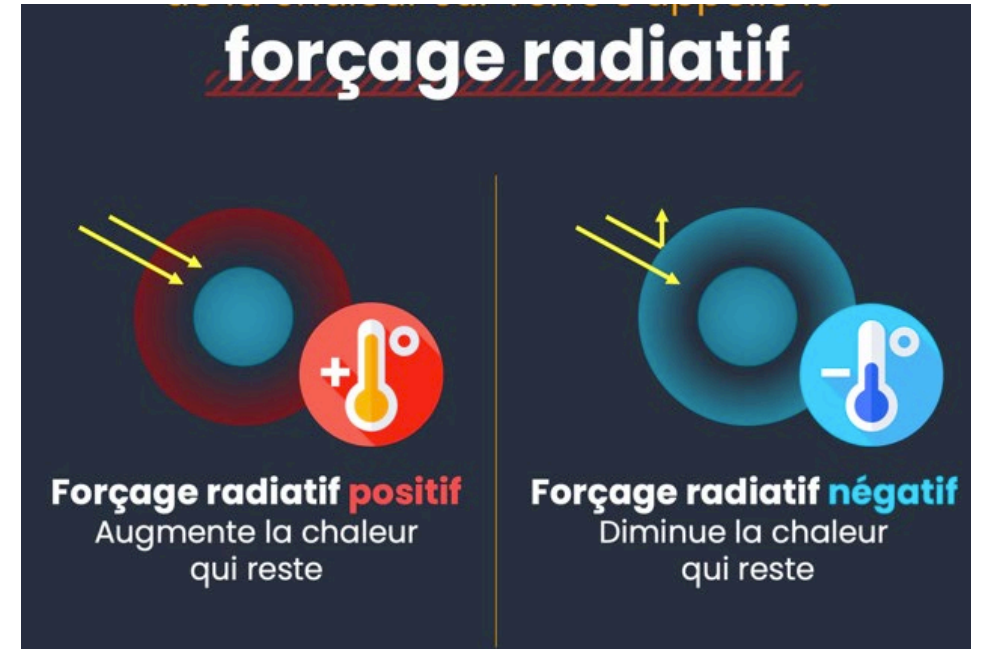
Le forçage radiatif

Le **forçage radiatif** est la mesure du déséquilibre entre l'énergie qui arrive chaque seconde sur Terre et celle qui repart

Il vaut $3,8 \text{ W/m}^2$ pour l'effet de serre et -1 W/m^2 pour les aérosols (ex: poussières volcaniques)

Soit un total de $2,8 \text{ W/m}^2$

Si l'énergie globale reçue est supérieure à l'énergie globale émise, le forçage radiatif est positif et la température augmente (et inversement)

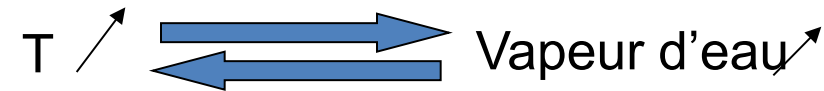


Actions – rétroactions naturelles associées au climat

Le rôle de l'eau

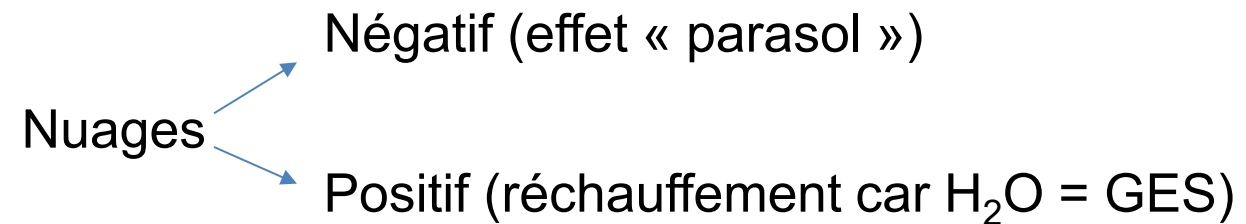


Rôle du cycle de l'eau:



> rétroaction de renforcement de l'effet

Double rôle des nuages:



Actions – rétroactions naturelles associées au climat

Le rôle des glaces

Albedo = rayonnement réfléchi/rayonnement incident

Si fonte = moins d'albédo -> rétroaction positive

Gradient thermique atmosphérique $\approx -6,5 \text{ °C / km}$.

Quand la calotte fond, sa surface s'abaisse. Elle se retrouve alors dans un air plus chaud.

La fonte s'accélère -> rétroaction positive

La fonte des glaces continentales entraîne une élévation du niveau marin.

Cette élévation fragilise les calottes -> rétroaction positive

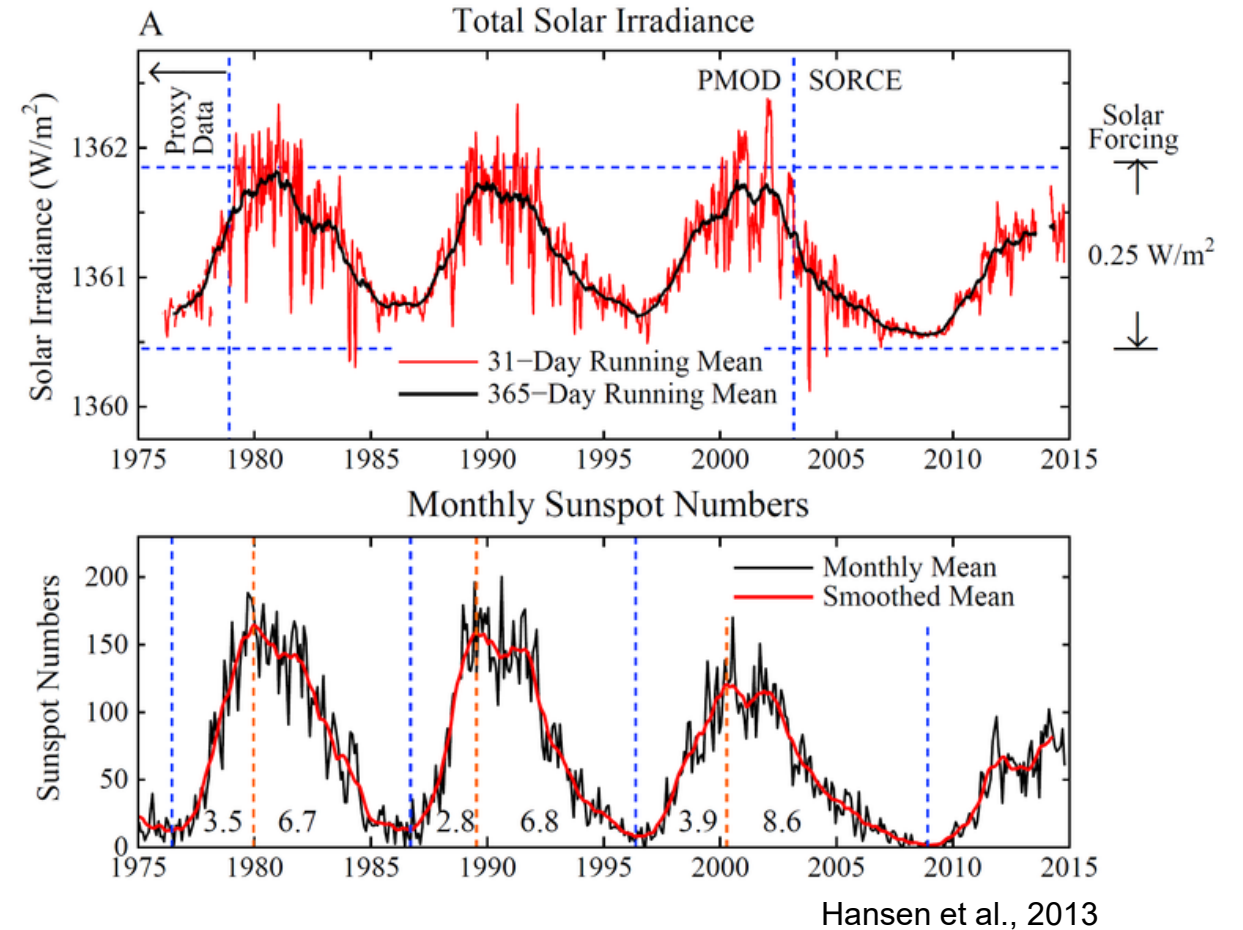
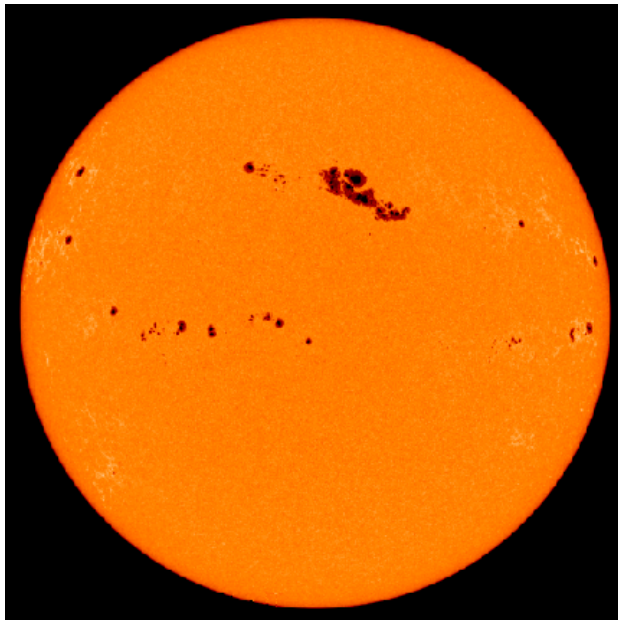


Mécanismes naturels des changements climatiques

Le forçage solaire

Cycle de 11 ans = cyclicité moyenne de entre les maxima du nombre de taches solaires

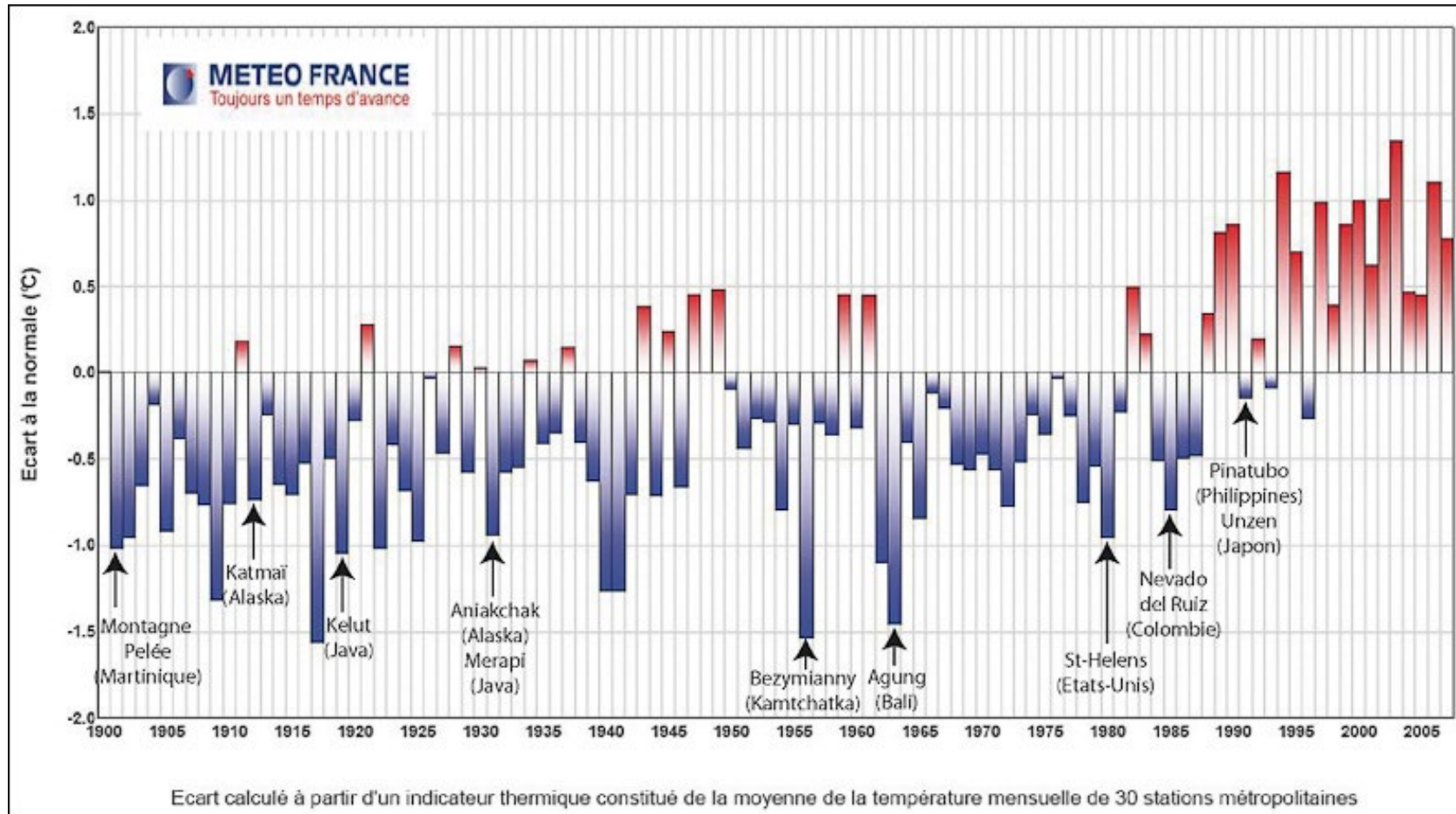
Observation des taches solaires depuis le début du 17^{ème} siècle et mesure avec les satellites depuis les années 1970



Mécanismes naturels des changements climatiques

Le volcanisme

Particules fines volcaniques (aérosols) qui bloquent le rayonnement solaire et causent une baisse de la température moyenne de quelques dixièmes de degrés pendant 6 mois à quelques années



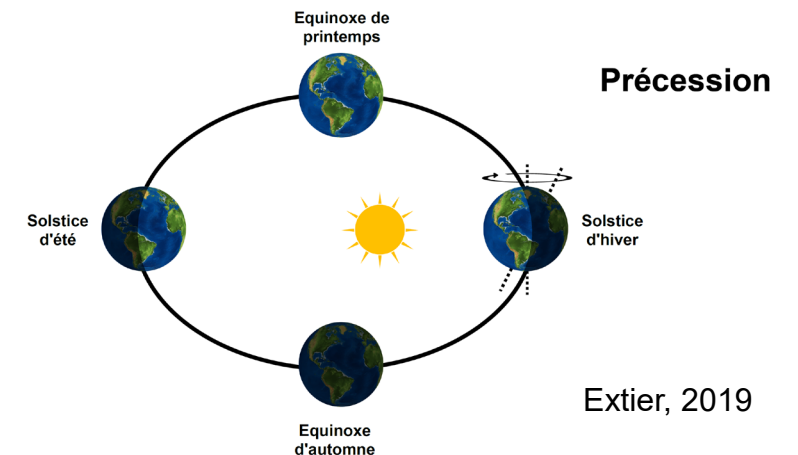
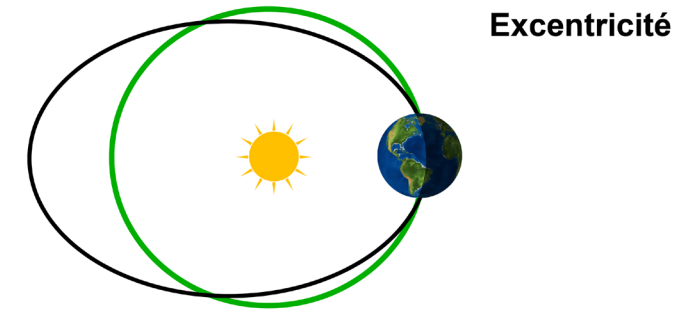
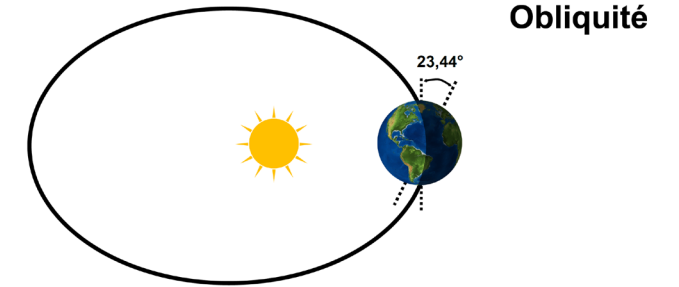
Mécanismes naturels des changements climatiques

Paramètres de Milankovitch

Variations cycliques des paramètres de l'orbite de la Terre qui engendrent des variations du climat terrestre (utilisation pour étudier les climats passés)

- obliquité : cycle de 41 000 ans
- excentricité : cycles de 100 000 ans et 400 000 ans
- précession : cycles de 19 000 ans et 23 000 ans

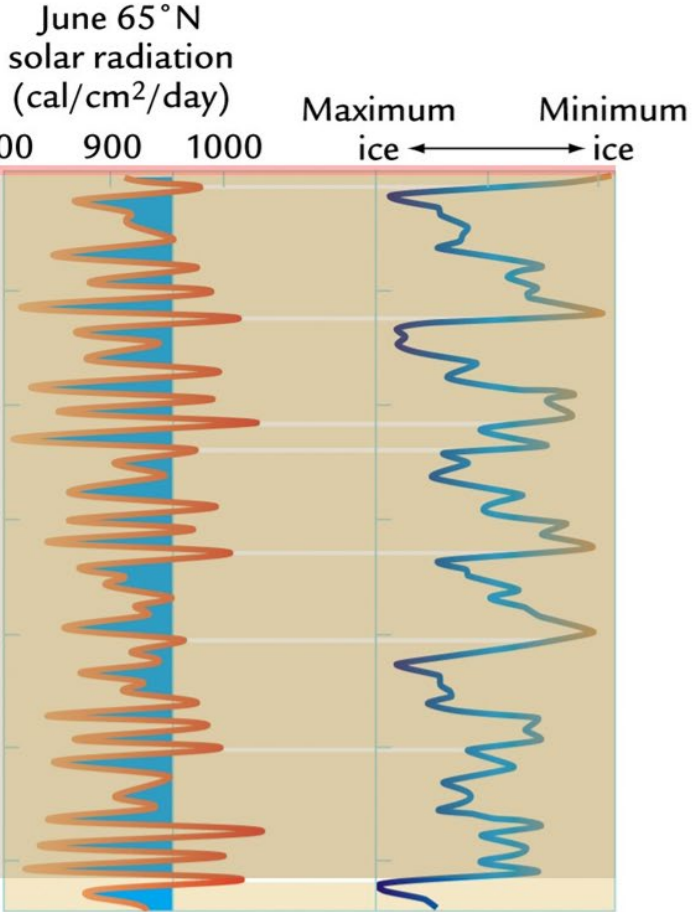
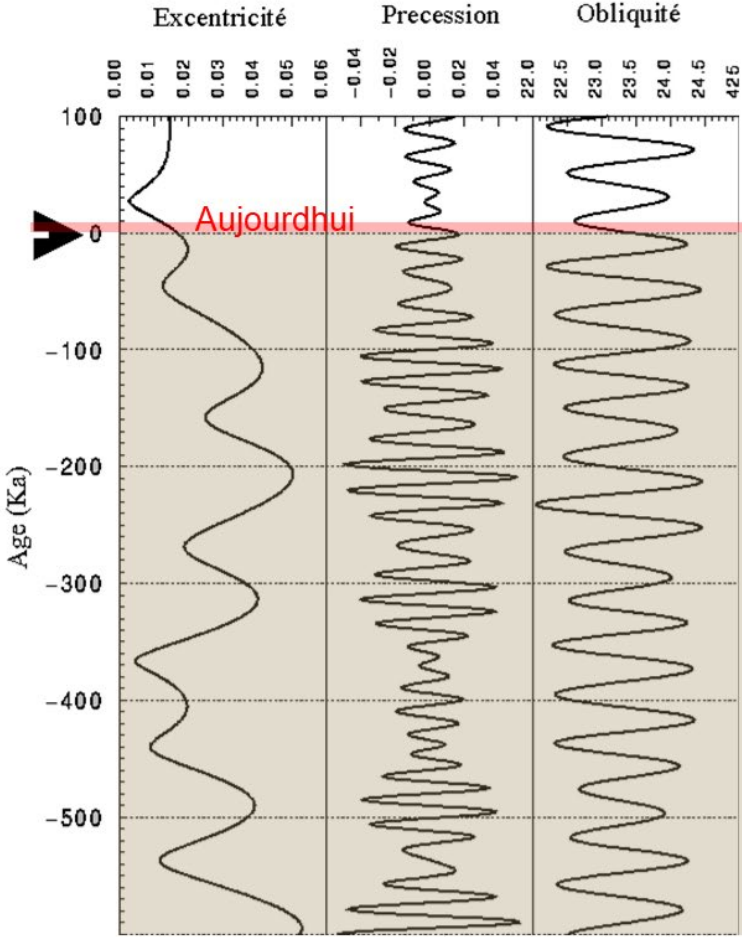
Les changements à long terme de l'insolation reçue sur Terre, et donc du climat et de l'alternance des périodes glaciaires et interglaciaires, dépendent de ces paramètres



Mécanismes naturels des changements climatiques

Δ clim. /orbital

⇒ impacts sur terre
(oscillations glaciaires /interglaciaires)

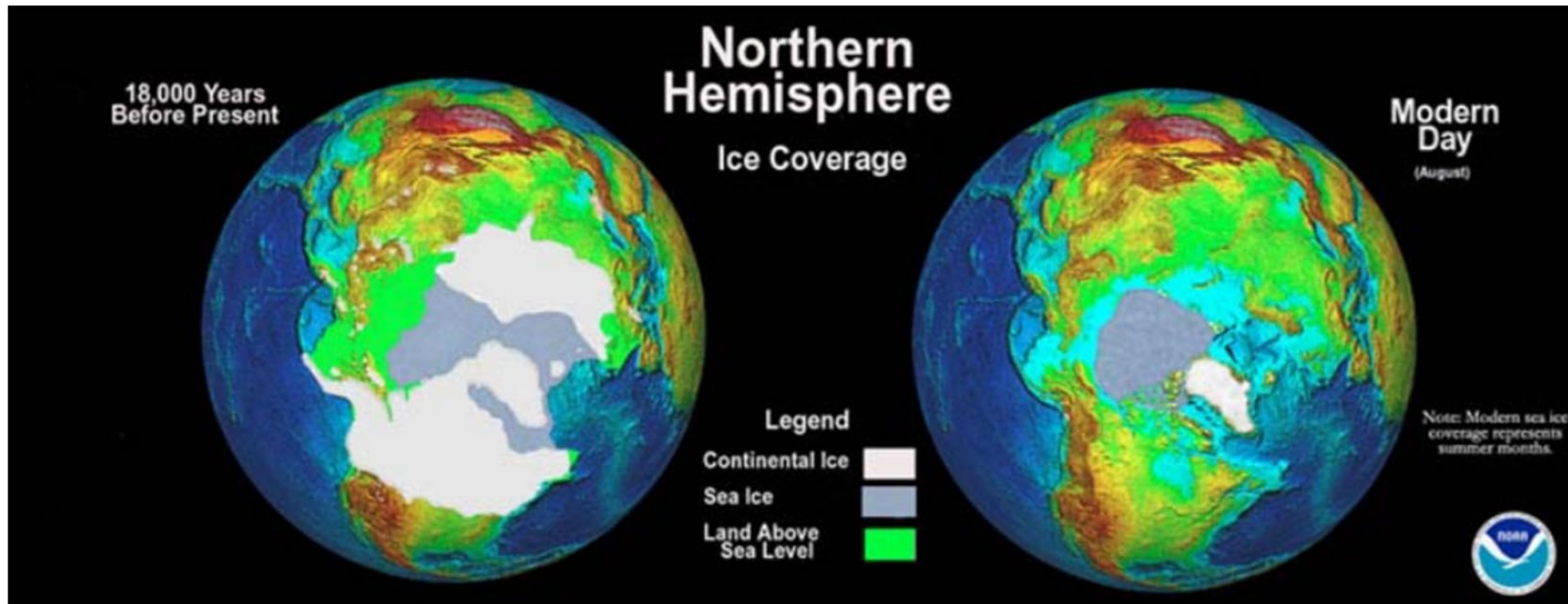


D'après Loutre (1996),
paramètres calculables pour notre
système solaire (lois de Kepler)

Ruddiman, W-F., 2001

Les Cycles Naturels du Climat à travers le temps

Les alternances glaciaires /interglaciaires => construction des glaciers boréaux (vue polaire de la Terre)

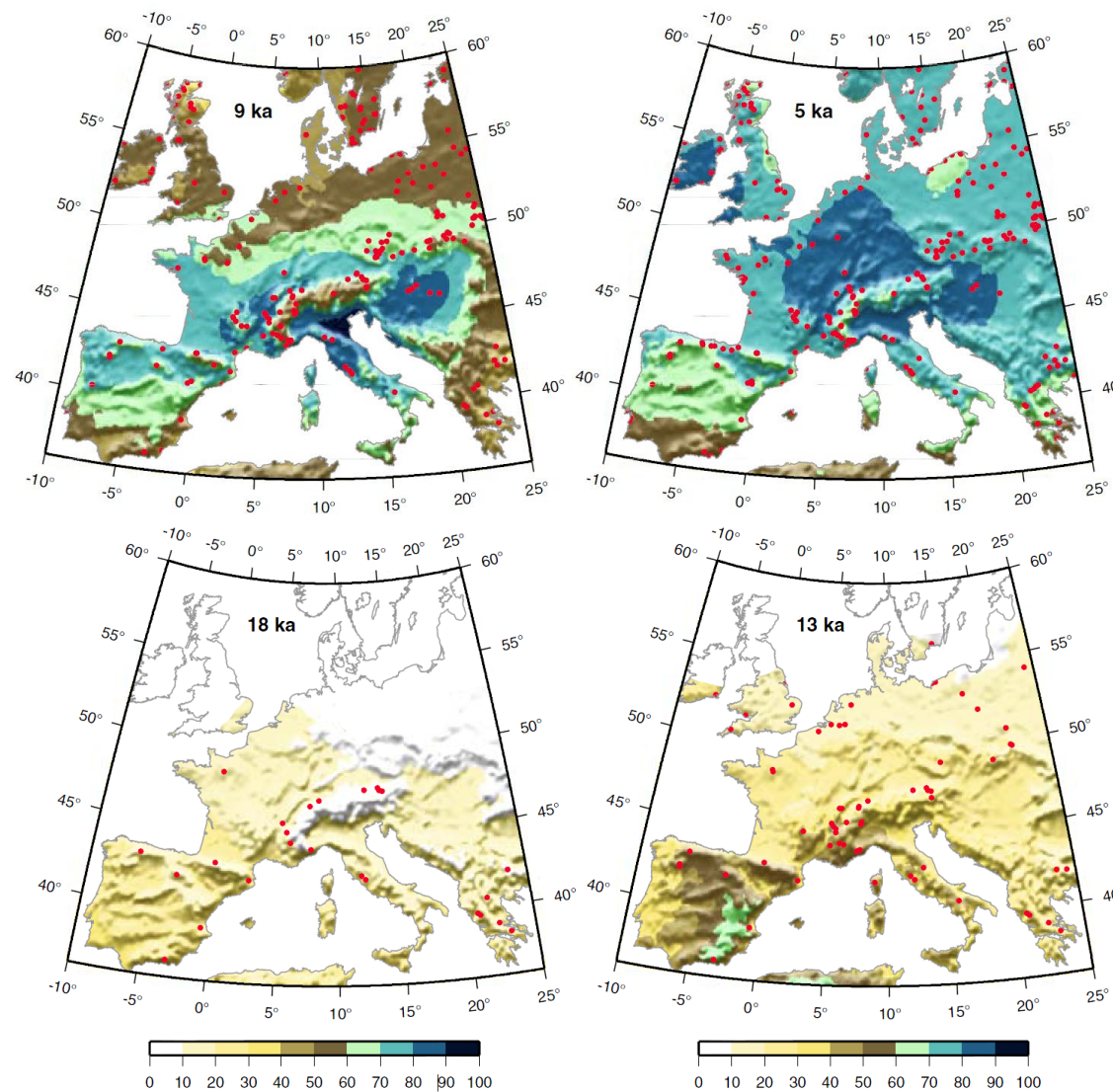


**Dernier maximum glaciaire
(il y a seulement ~20 000 ans)**

Actuel

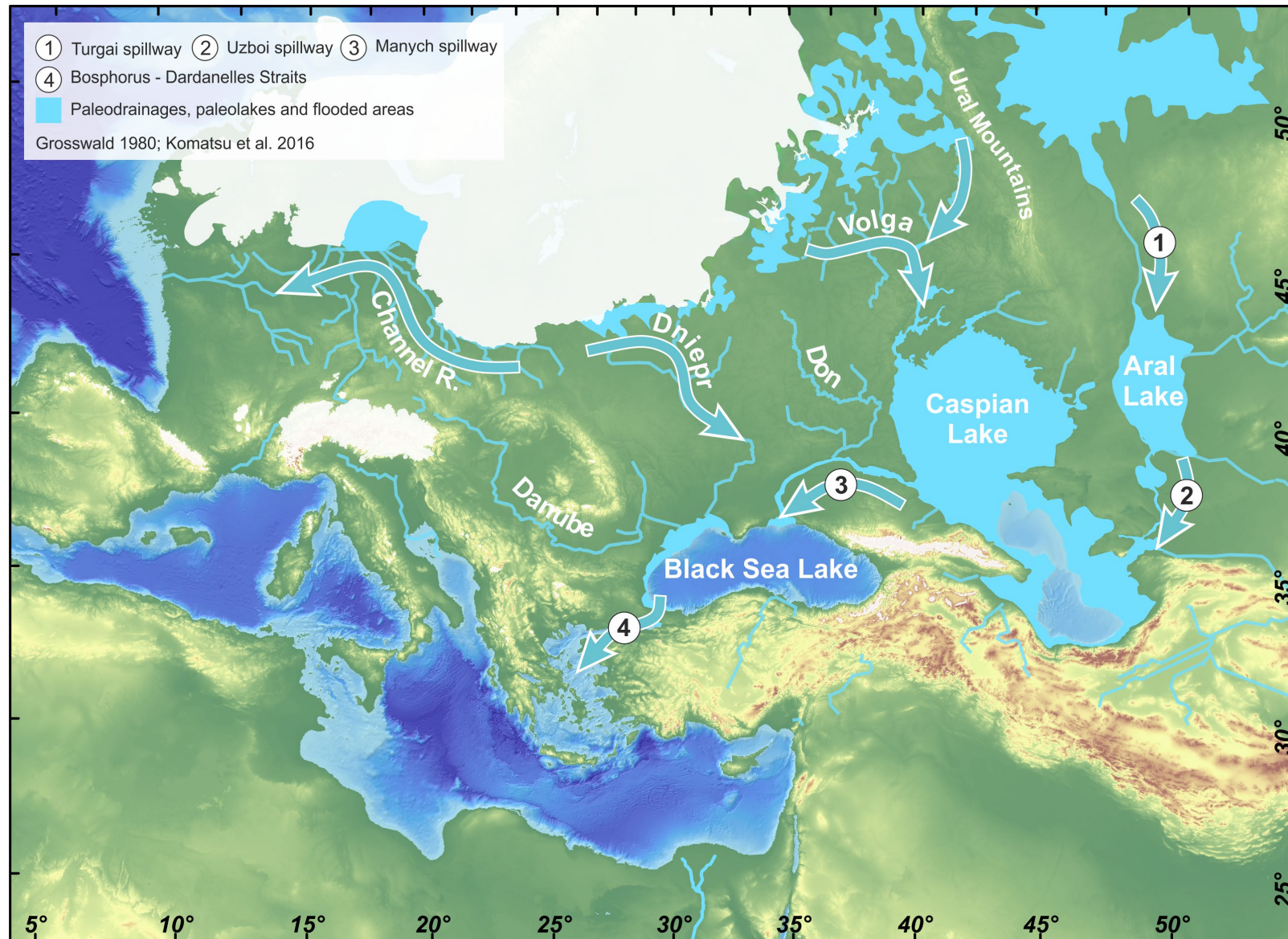
Les Cycles Naturels du Climat à travers le temps

% de pollens d'arbres
(Palynologie)



Cheddadi, R., Bar-Hen, A., 2008. Spatial gradient of temperature and potential vegetation feedback across Europe during the late Quaternary. *Clim Dyn* 32, 371–379.

L'Europe il y a -18 000 ans

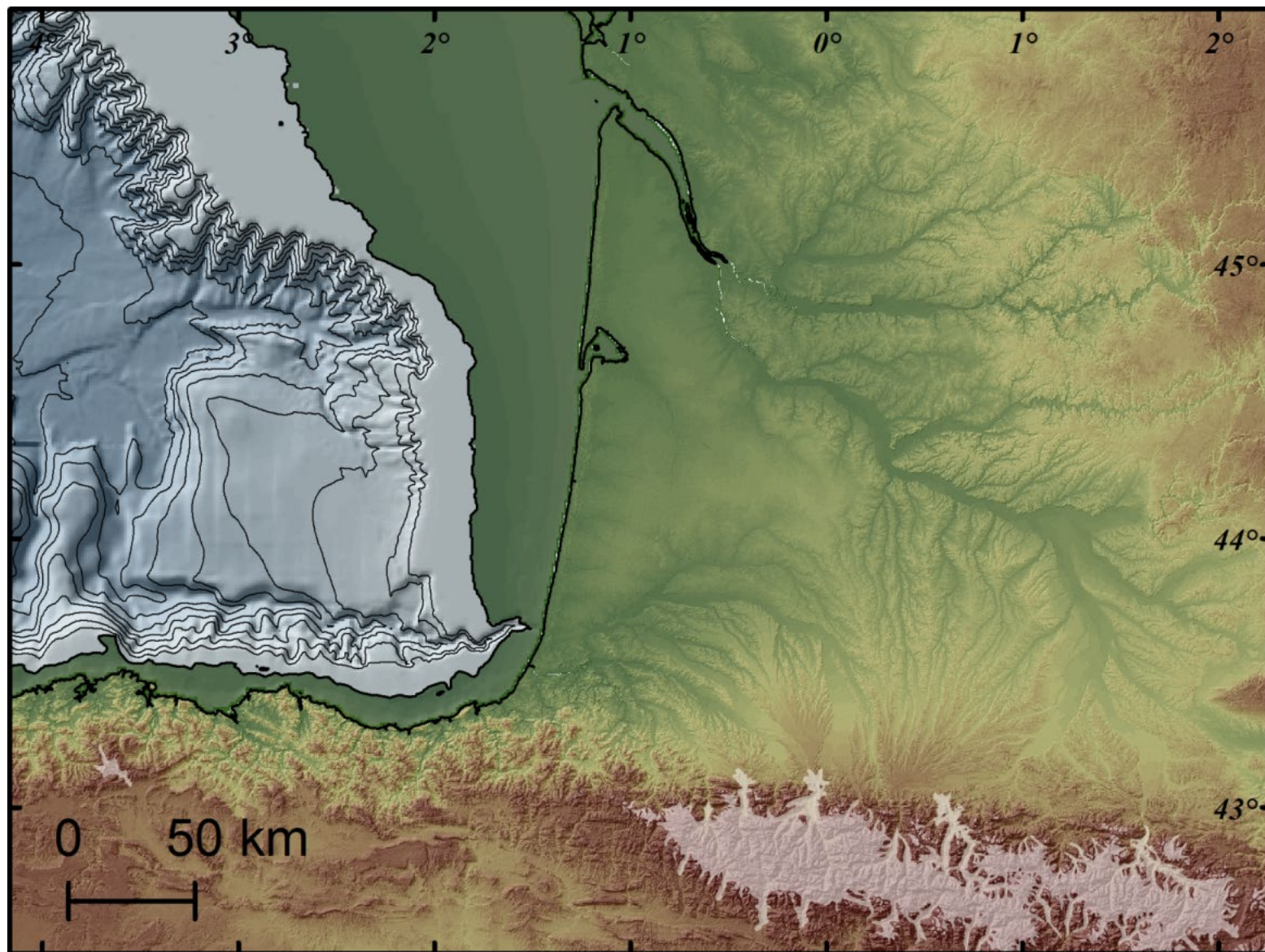


Vadsaria, T., Zaragosi, S., Ramstein, G., Dutay, J.-C., Li, L., Siani, G., Revel, M., Obase, T., Abe-Ouchi, A., 2022. Freshwater influx to the Eastern Mediterranean Sea from the melting of the Fennoscandian ice sheet during the last deglaciation. *Sci Rep* 12, 8466.

L'Europe il y a -18 000 ans



L'Aquitaine il y a -18 000 ans



LA POSTE 2006



Il y a 25 000 ans, quand la Dordogne avait des allures de Sibérie

FRANCE

0,55€

Grotte de Rouffignac

ITVF

LARRIVIERE

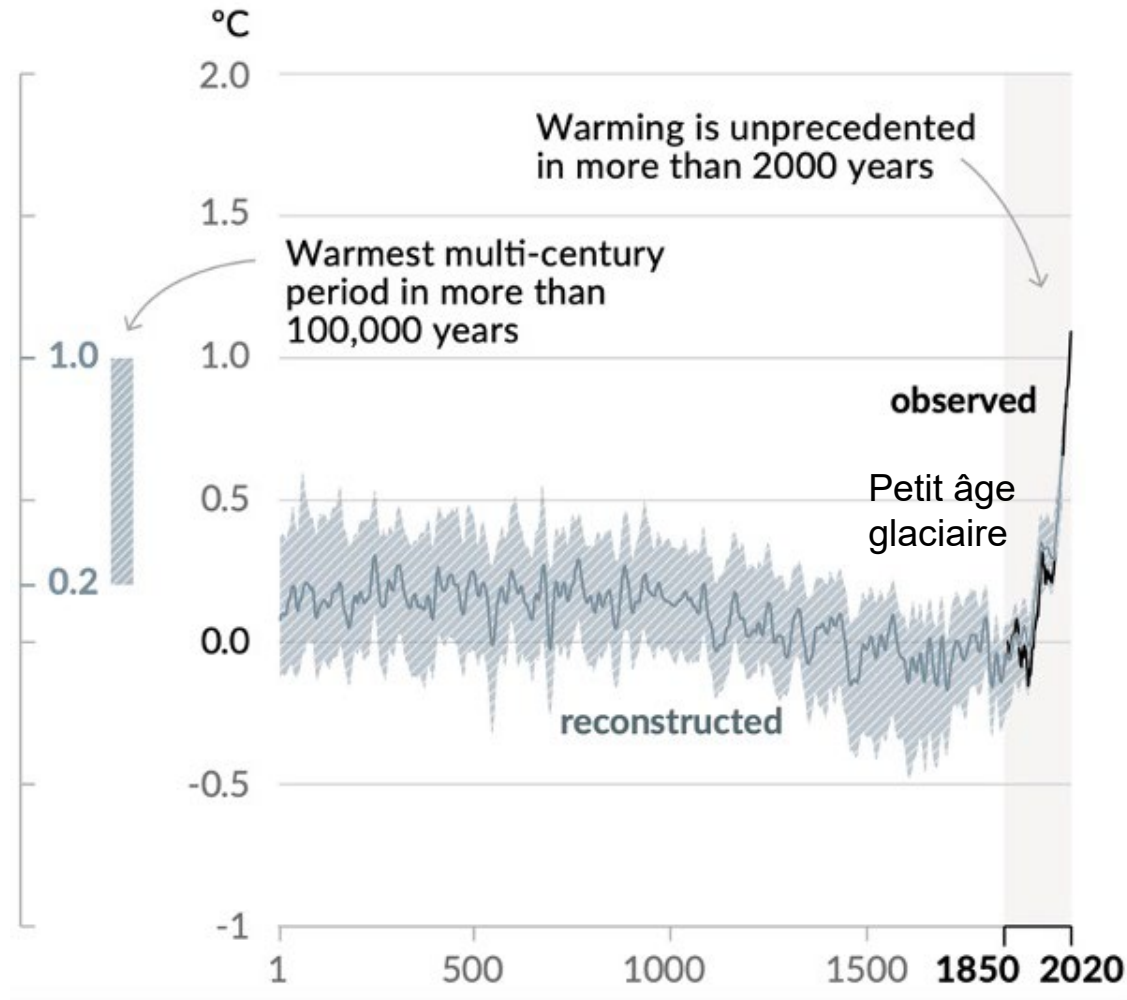
Il y a 25 000 ans, quand les rivages méditerranéens accueillait des pingouins



La grotte Cosquer (Cap Morgiou) œuvres peintes et gravées

L'évolution du climat depuis 2000 ans

En moyenne sur les 10 dernières années $+1,15^{\circ}\text{C}$ de réchauffement à l'échelle globale par rapport à la période préindustrielle ($2,2^{\circ}\text{C}$ en Europe)



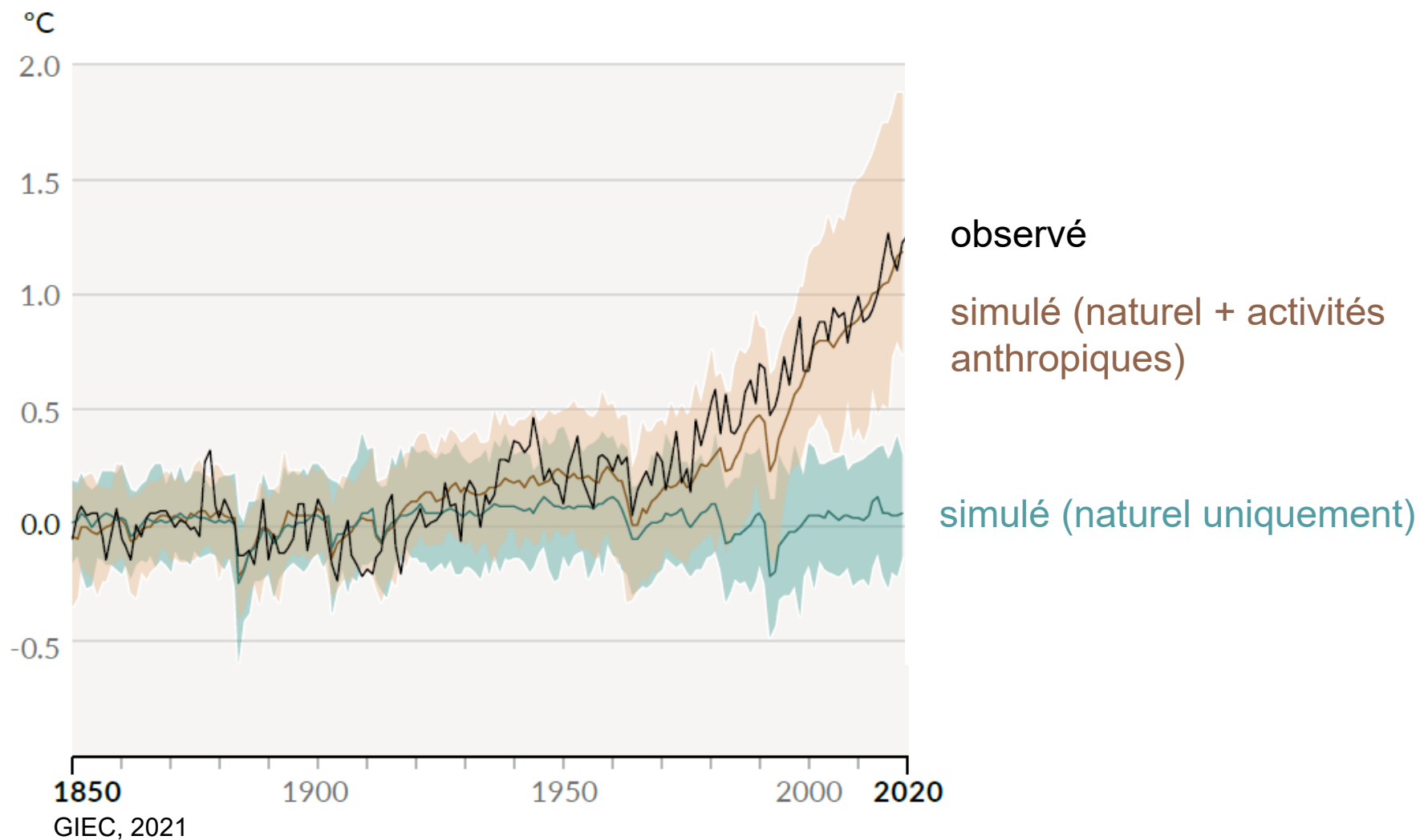
Bruxelles au XVI^e siècle



Brueghel Pieter the Elder Winter (Hunters in the Snow). 1569 Brussel (Vienna, Kunsthistorisches Museum)

L'évolution du climat depuis 200 ans

En moyenne sur les 10 dernières années +1,15°C de réchauffement à l'échelle globale par rapport à la période préindustrielle (2,2°C en Europe)



La Seine 1880



Claude Monet – La débacle – hiver 1880

Bassin d'Arcachon 1880



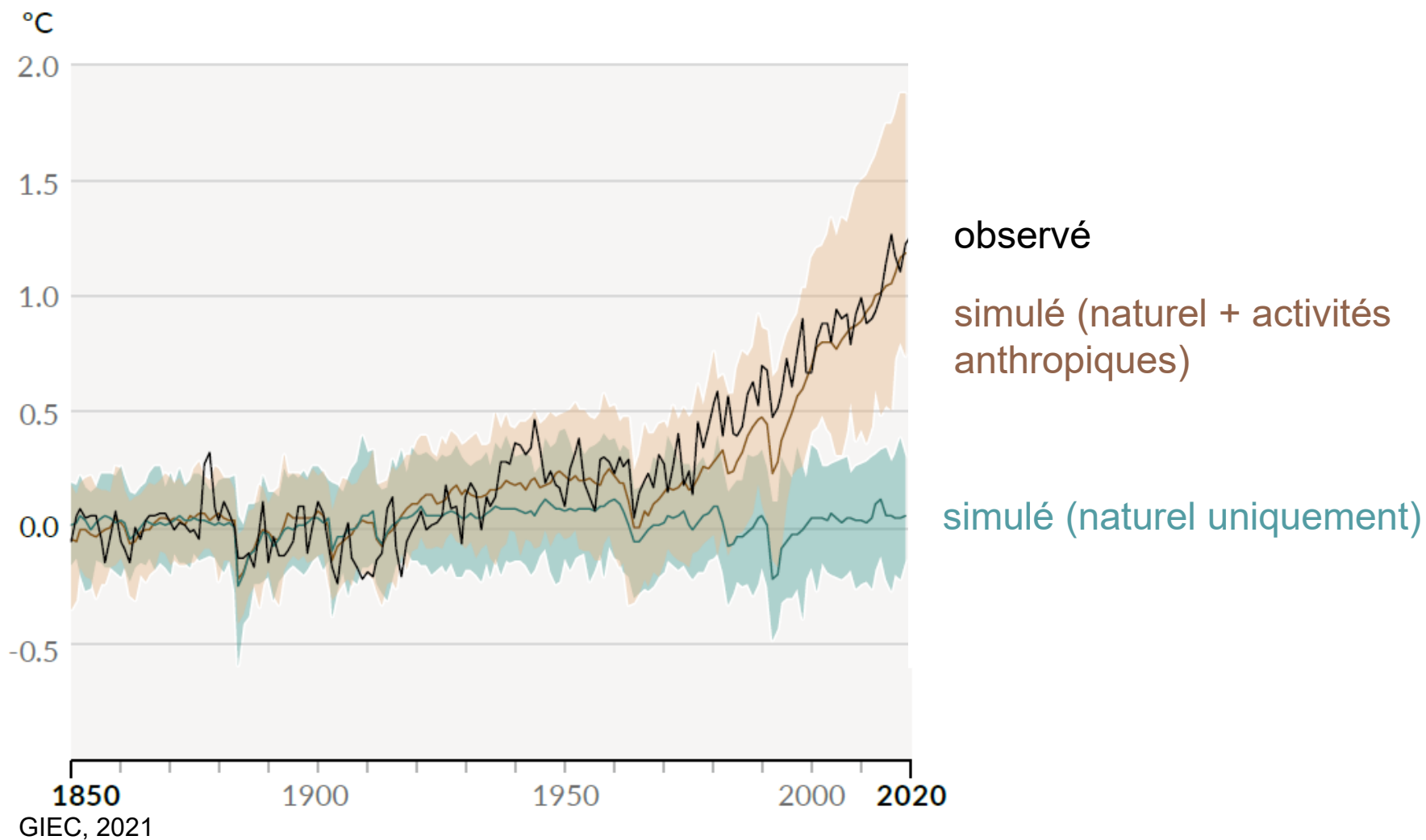
Le Monde illustré

Bordeaux (1956)



L'évolution du climat depuis 200 ans

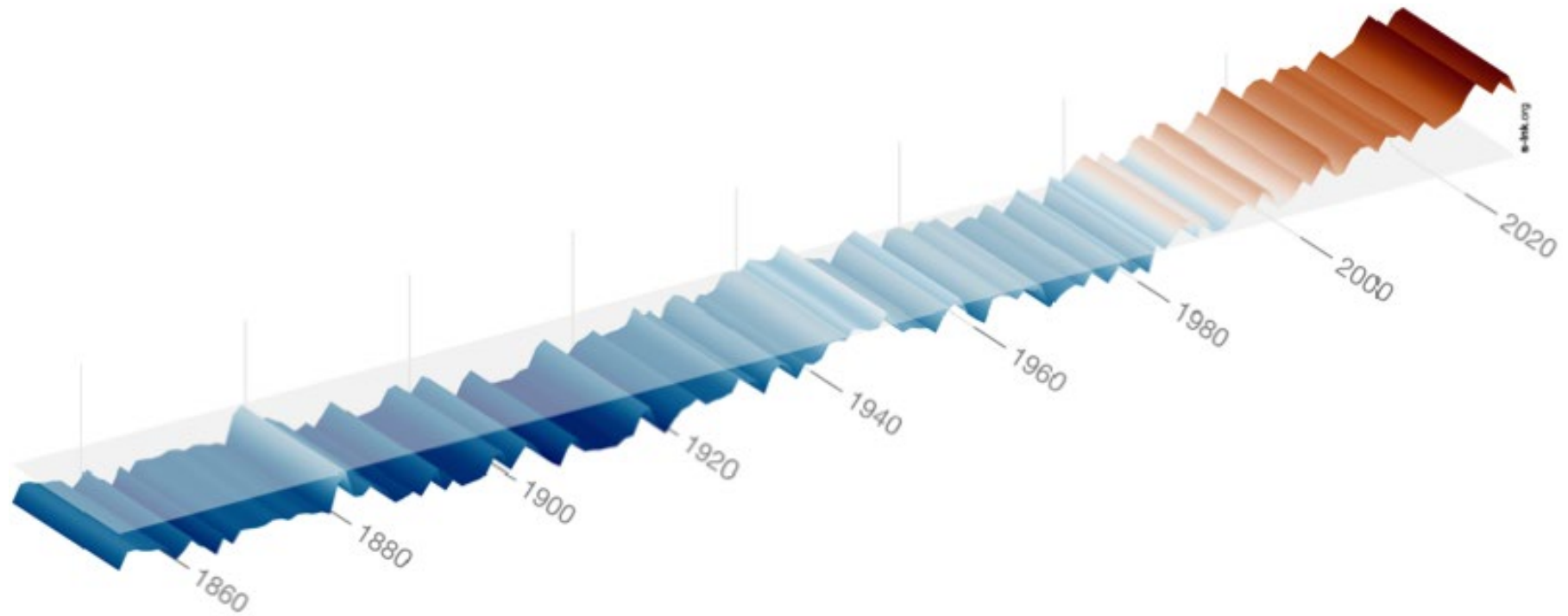
En moyenne sur les 10 dernières années +1,15°C de réchauffement à l'échelle globale par rapport à la période préindustrielle (2,2°C en Europe)



L'évolution du climat depuis 200 ans

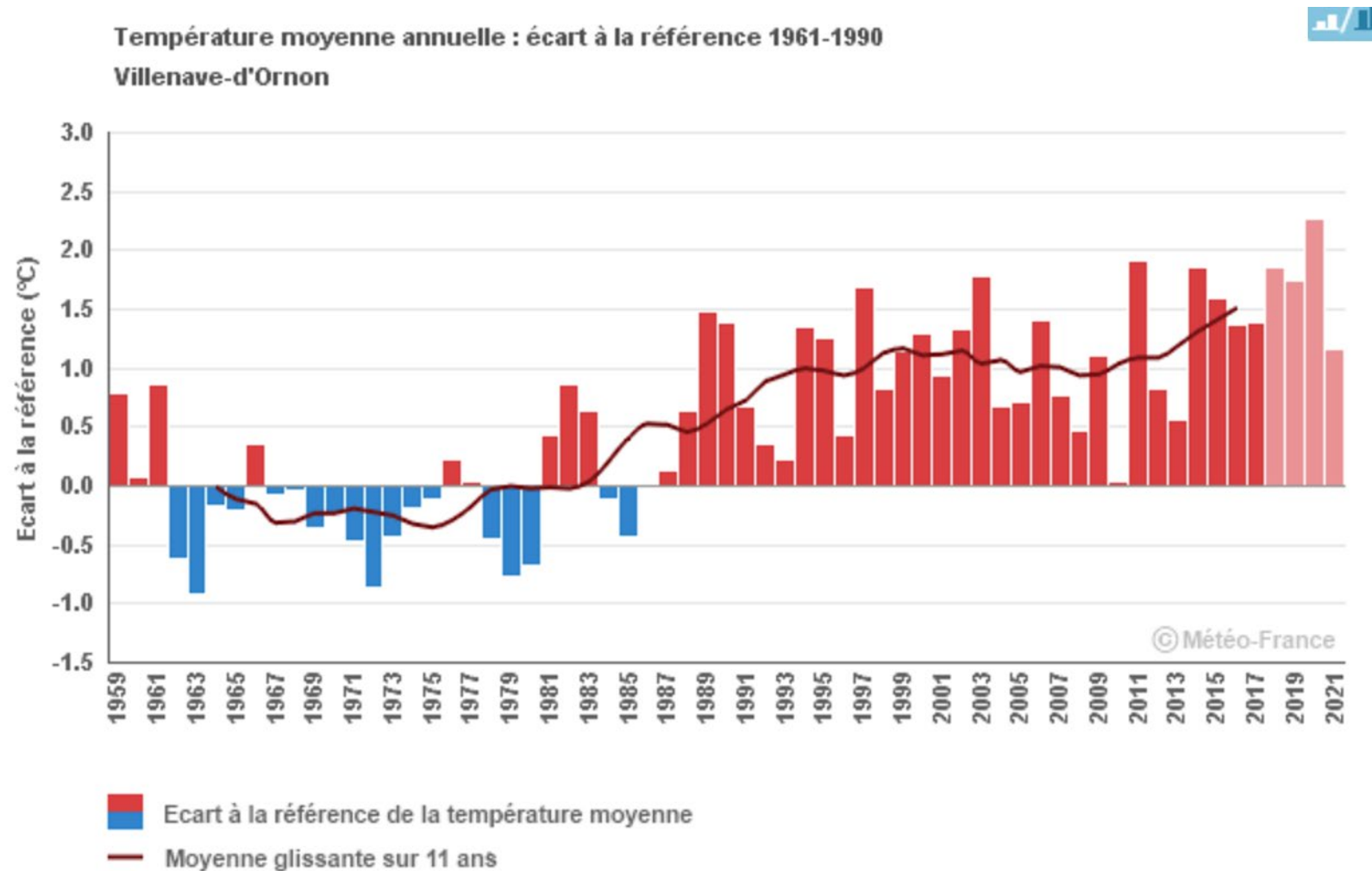
En moyenne sur les 10 dernières années $+1,15^{\circ}\text{C}$ de réchauffement à l'échelle globale par rapport à la période préindustrielle ($2,2^{\circ}\text{C}$ en Europe)

2024 année la plus chaude jamais enregistrée avec $+1,6^{\circ}\text{C}$ de réchauffement global par rapport à la période préindustrielle



L'évolution du climat depuis 60 ans

Un exemple local d'évolution de la température moyenne à Villenave-d'Ornon depuis 60 ans



Les travaux du GIEC



GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
en anglais IPCC pour Intergovernmental Panel on Climate Change

Crée en 1988, 195 états, 2500 experts scientifiques, 800 auteurs

> Source principale d'informations sur le réchauffement climatique :

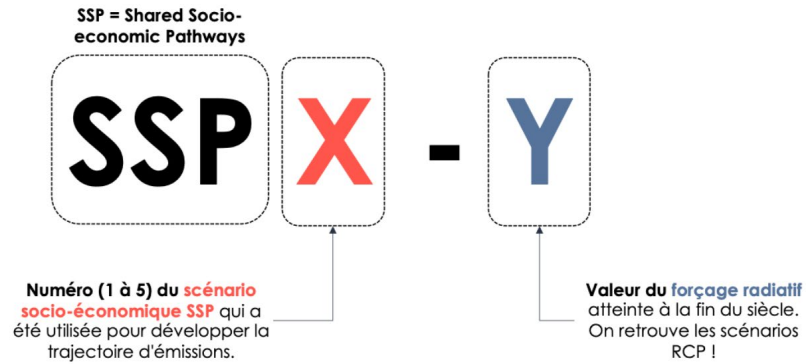
Publie périodiquement une synthèse des travaux scientifiques sur l'état de la planète, l'étendue du réchauffement climatique, les scénarios d'évolution du climat en fonction des émissions de GES, du forçage radiatif, mais aussi de paramètres socio-économiques et des pistes de solutions pour lutter contre ce réchauffement à destination des gouvernants (mais aussi du grand public)

Prix Nobel de la Paix en 2007 avec Al Gore

2023 : Sixième Rapport du GIEC (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>)



Scénarios SSP (Shared Socio-economic Pathways) envisagés pour modéliser le changement climatique :



Les scénarios SSP (*Shared Socio-economic Pathways*) sont des narratifs, traduits en ensembles d'hypothèses socio-économiques (Population, Éducation, Urbanisation, PIB). Ces narratifs décrivent des évolutions alternatives de la société future en l'absence de changement climatique ou de politique climatique. Cinq narratifs ont été construits par le GIEC, chacun étant numéroté de 1 à 5 :

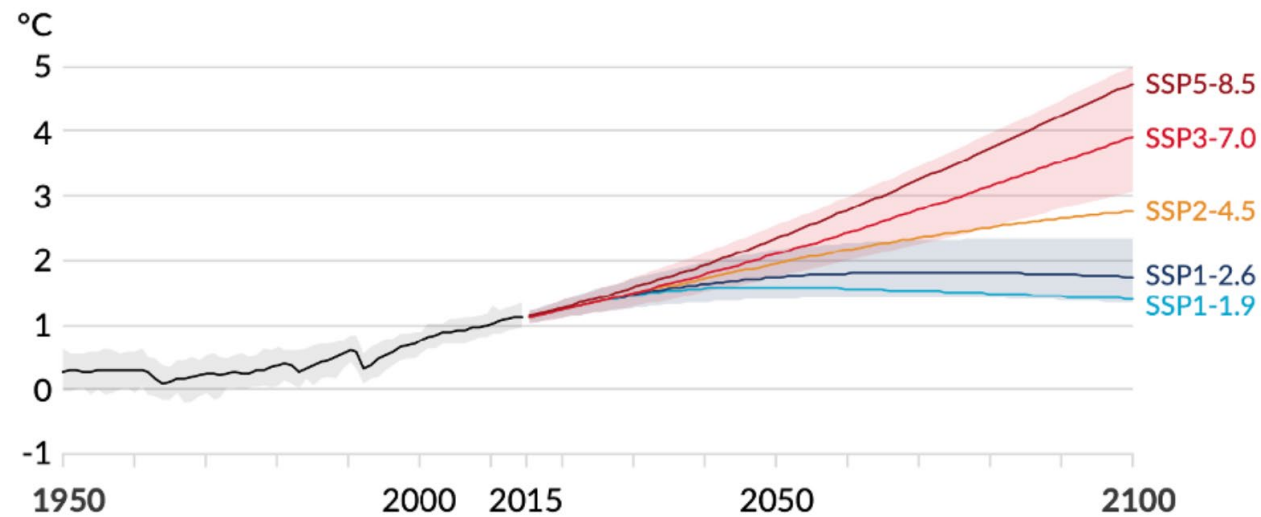
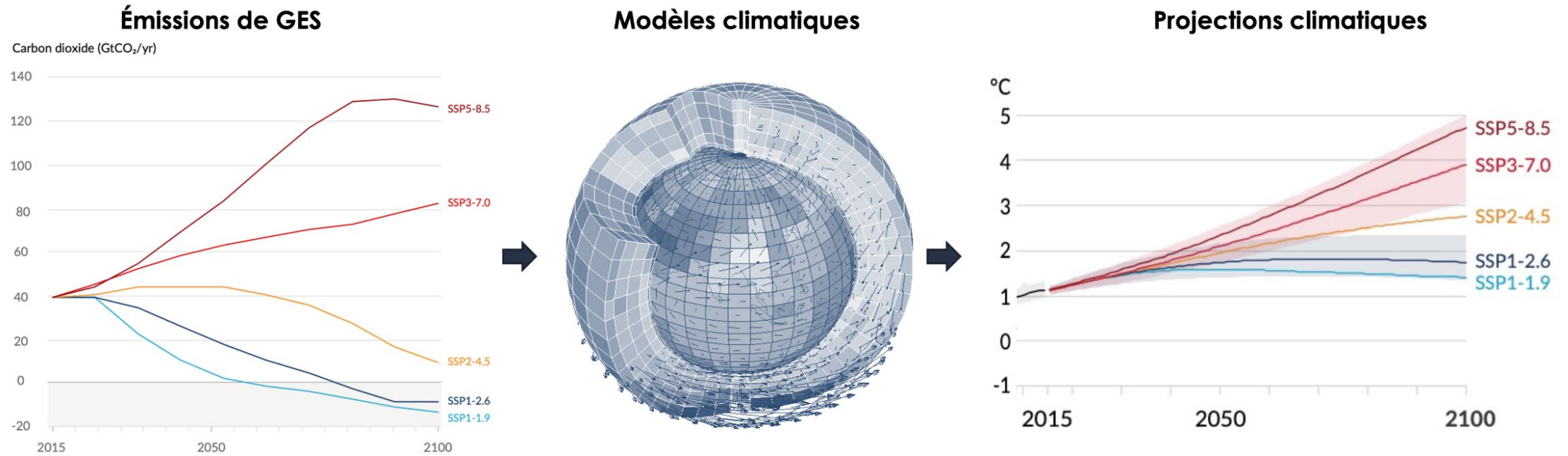


Figure 5 - Trajectoires de réchauffement planétaire selon les cinq scénarios SSPx-y retenus dans le résumé pour décideur du GIEC[5].

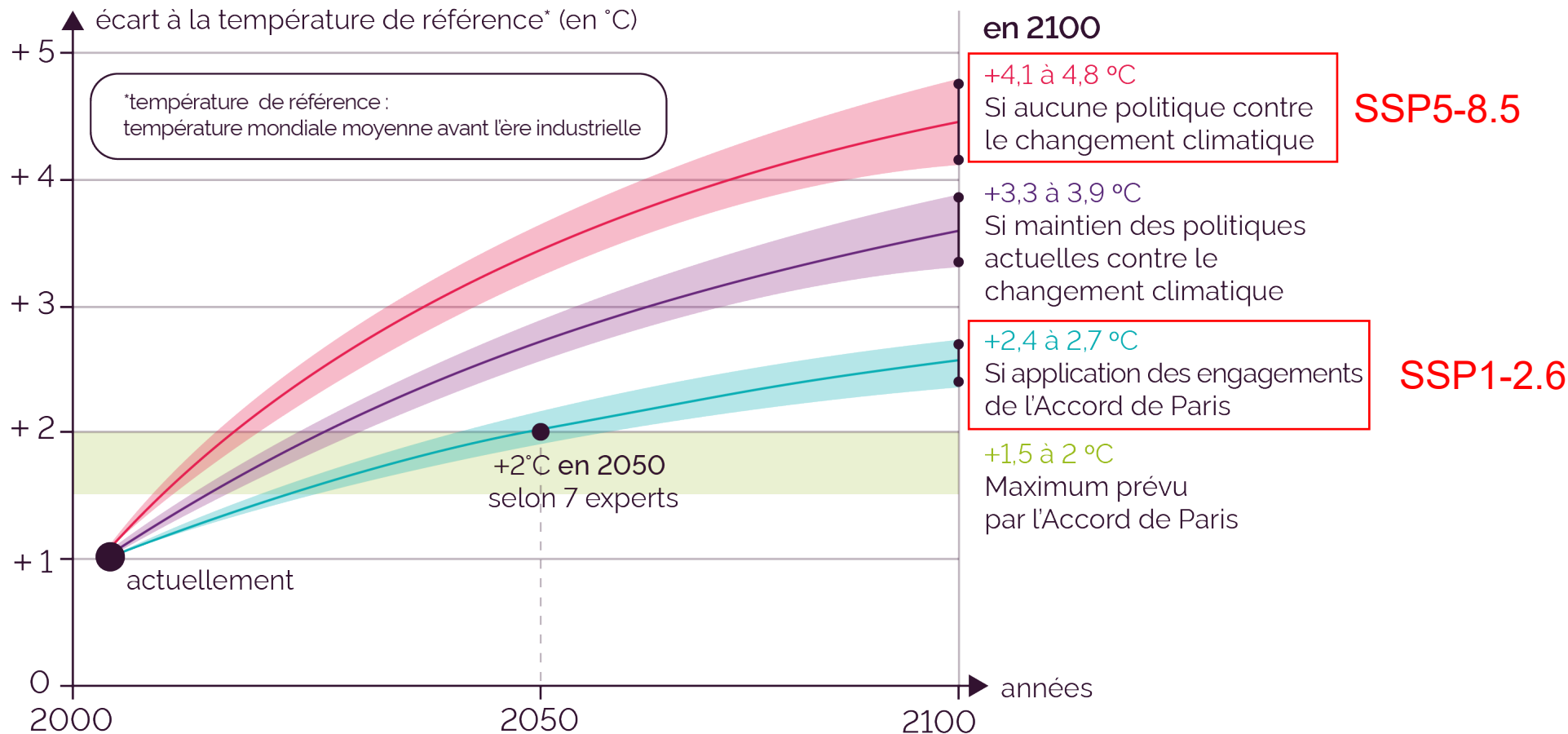
Projections futures du climat

Scénarios SSP (Shared Socio-economic Pathways) envisagés pour modéliser le changement climatique :



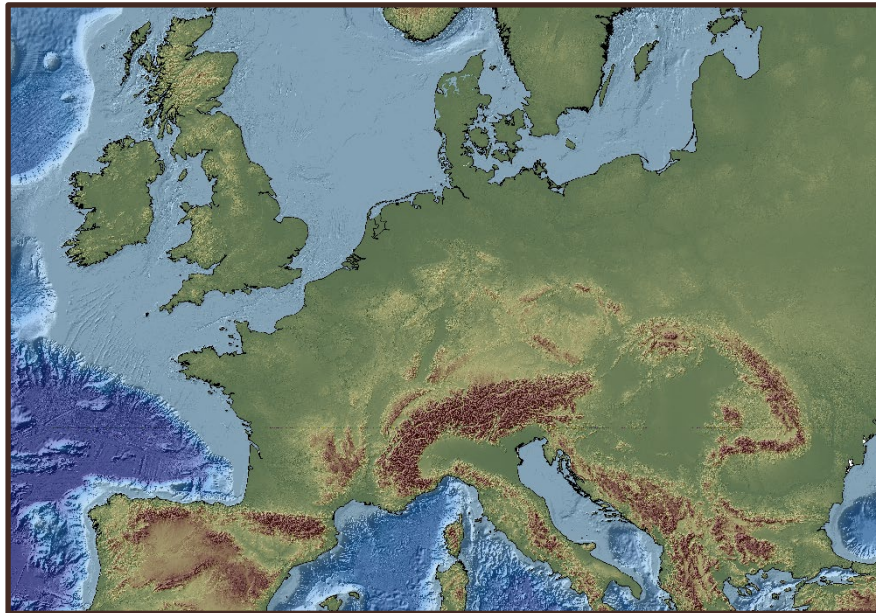
Projections futures du climat

Possibilité de tester plusieurs scénarios du climat futur de la Terre selon les émissions de gaz à effet de serre (travaux du GIEC)





Quelle est la différence de température moyenne entre le dernier maximum glaciaire et l'actuel ?

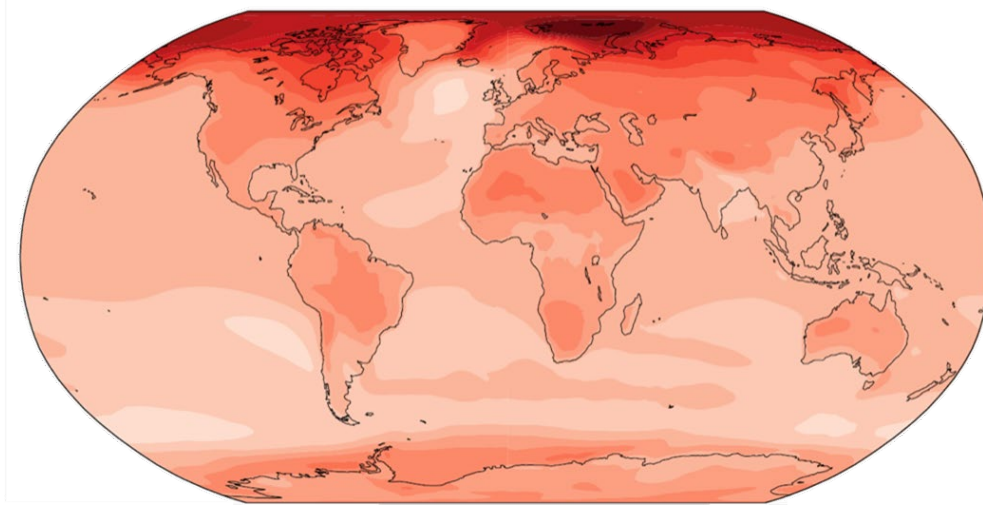


5 à 6°C !!!

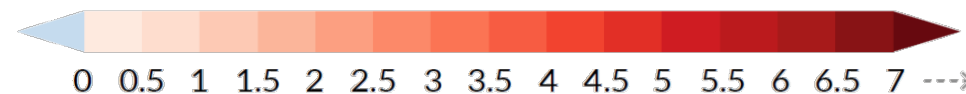
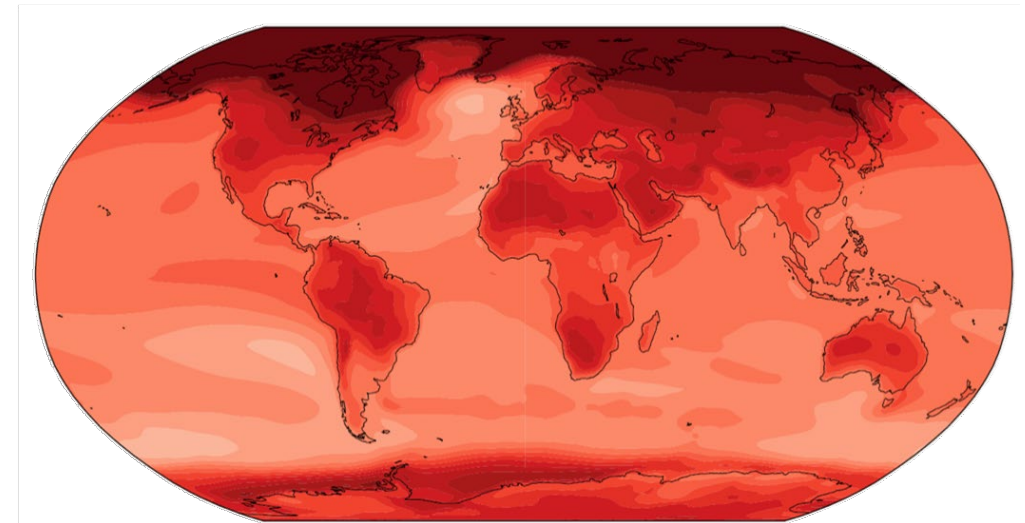
Projections futures du climat

Modélisation de la température moyenne sur la période 2081-2100 en comparaison à la période 1986-2005 pour deux scénarios

SSP1-2.6
(monde à 2°C de plus)



SSP5-8.5
(monde à 4°C de plus)



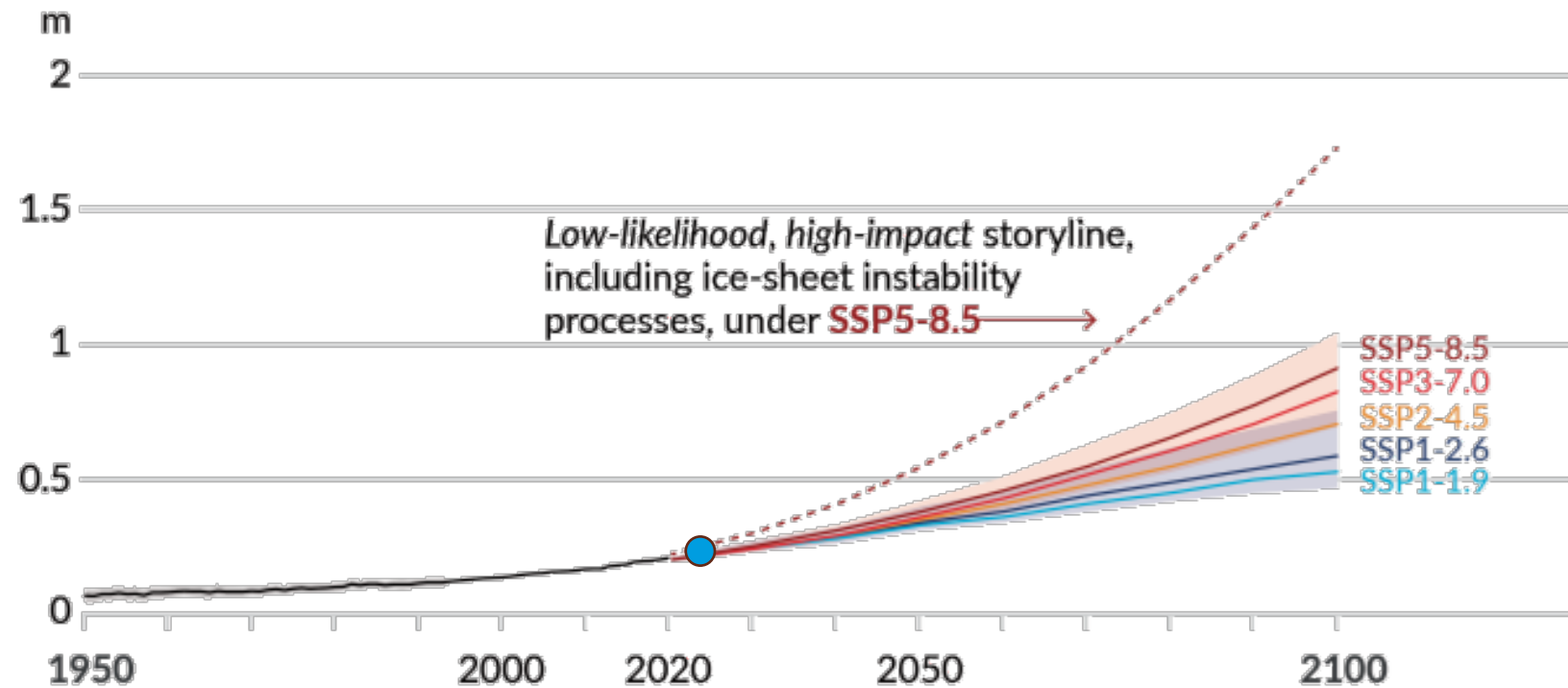
Changement de
température (°C)

Projections futures du climat

Différents scénarios du GIEC selon la valeur du forçage radiatif induit à l'horizon 2100 suite à l'augmentation des gaz à effet de serre

Réponses différentes de la température, du niveau marin, des précipitations, des événements extrêmes...

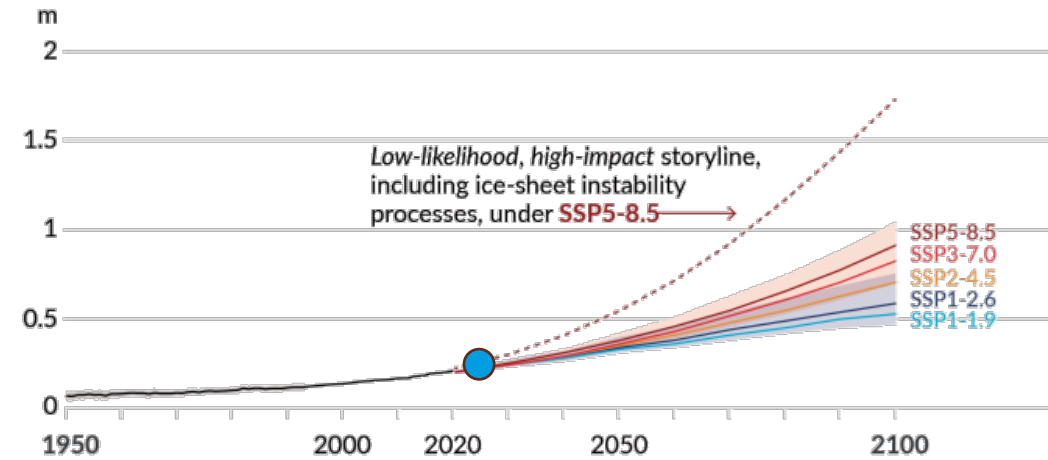
(d) Global mean sea level change relative to 1900



aujourd'hui +20 cm de niveau marin global

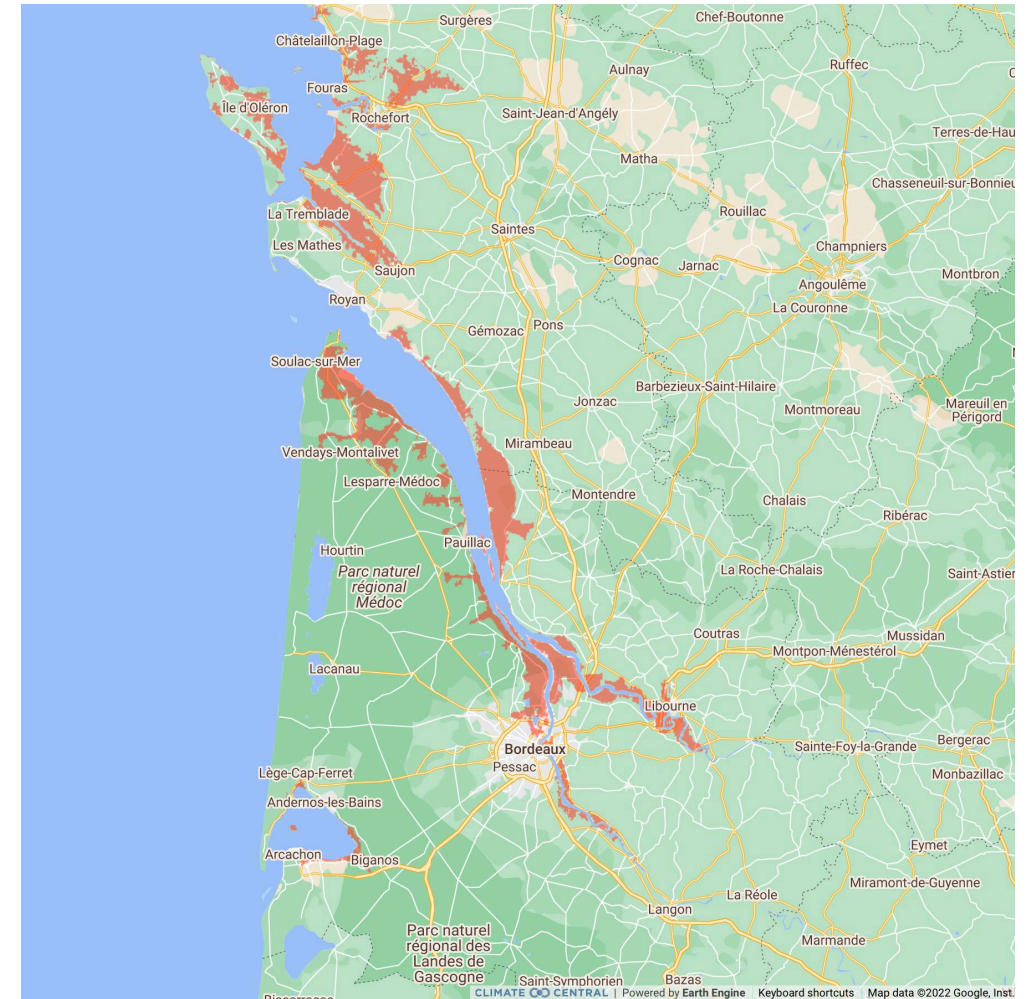
Projections futures du climat

(d) Global mean sea level change relative to 1900



aujourd'hui +20 cm de niveau marin global

+1 m de niveau marin global d'ici à 2100



Les conséquences du changement climatique

Les **extrêmes climatiques** plus probables et plus intenses due à l'influence humaine



**Chaleur extrême
(canicules terrestres et marines)**

3x plus probable
Et plus intense



**Fortes
précipitations**

30 % plus probable
Et plus intenses



Sécheresse

Augmentation dans
certaines régions
(+70% subtropicales)



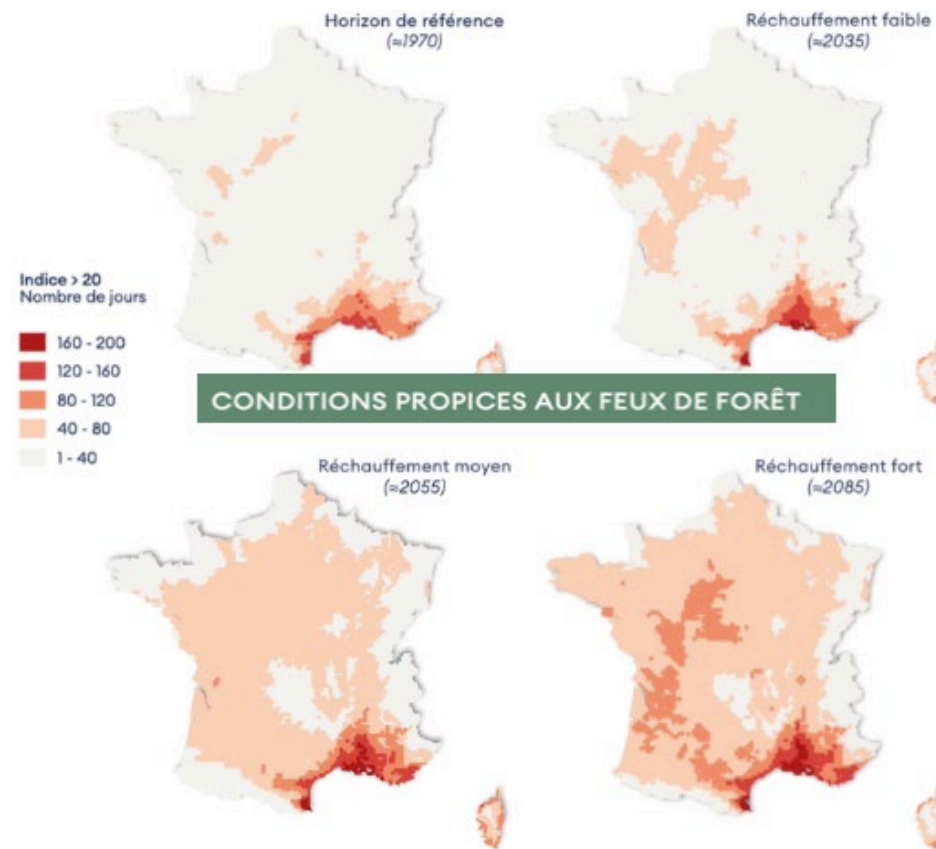
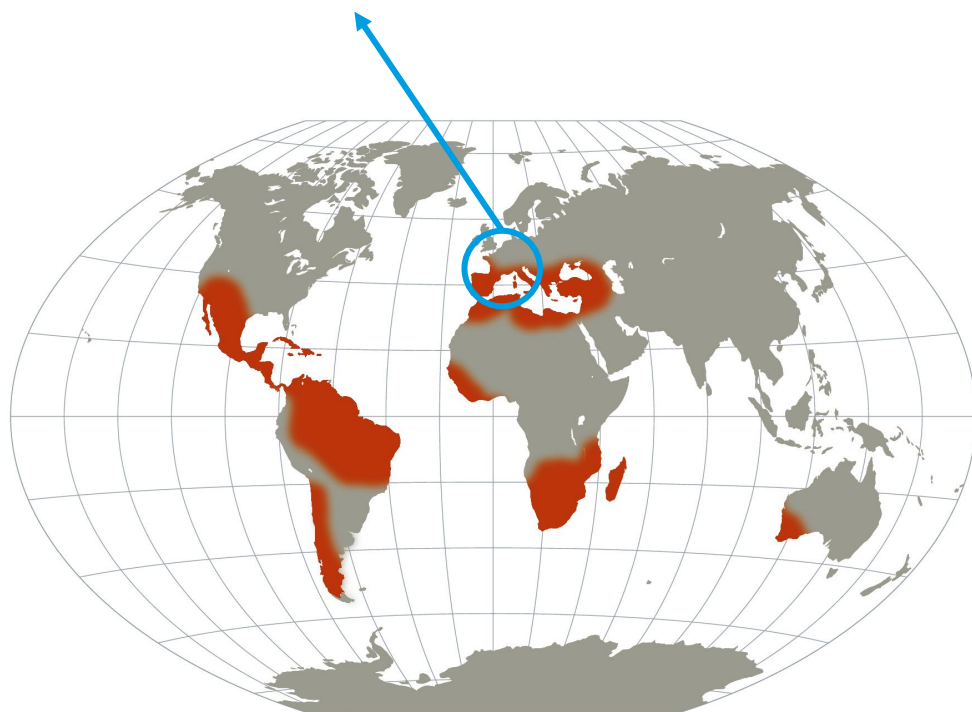
**Conditions
météorologiques
propices aux incendies**

plus fréquentes

Les conséquences du changement climatique

Zones vulnérables à une augmentation des **sécheresses et incendies** en climat plus chaud

risque de sécheresse fort
dans le sud de la France



Les conséquences du changement climatique

La fonte des glaciers

Exemple de la mer de glace dans les Alpes

- troisième plus grand glacier d'Europe
- niveau 220 m plus haut il y a 150 ans
- recul de 700 m entre 1900-1990 (en 90 ans)
puis de 800 m entre 1990-2020 (en 30 ans)

recul de 8 à 10 m tous les ans



<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/Mer-de-Glace.xml>

Les conséquences du changement climatique

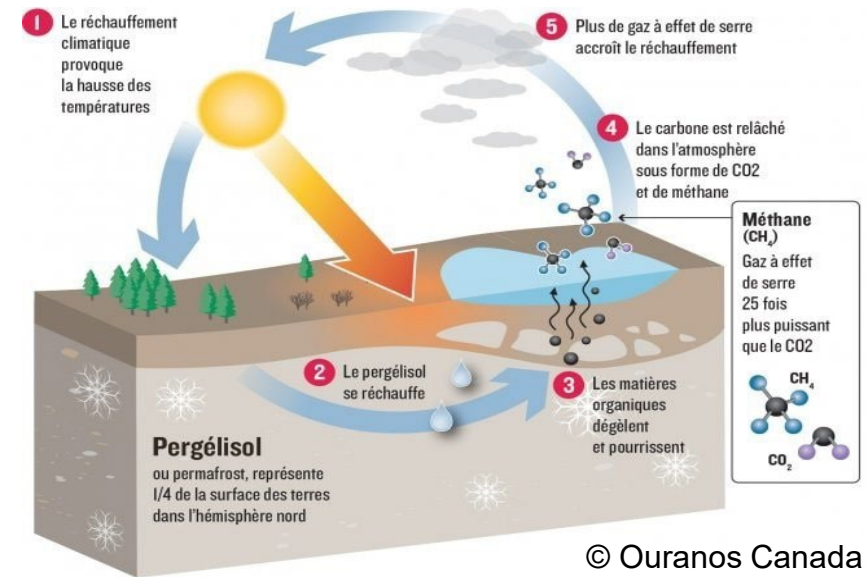
La fonte du pergélisol

Sol gelé en permanence

Stock de 1600 GtC (soit deux fois plus que dans l'atmosphère)

Hausse de la température du pergélisol

Fonte de 24 % si le réchauffement est limité dessous les 2°C (autrement 69 %)



© National Geographic



Contribution anthropique aux changements climatiques

La **concentration en gaz à effet de serre** (principalement le CO₂) est à l'origine de la hausse des températures.

Des concentrations exceptionnelles depuis les derniers 800 000 ans

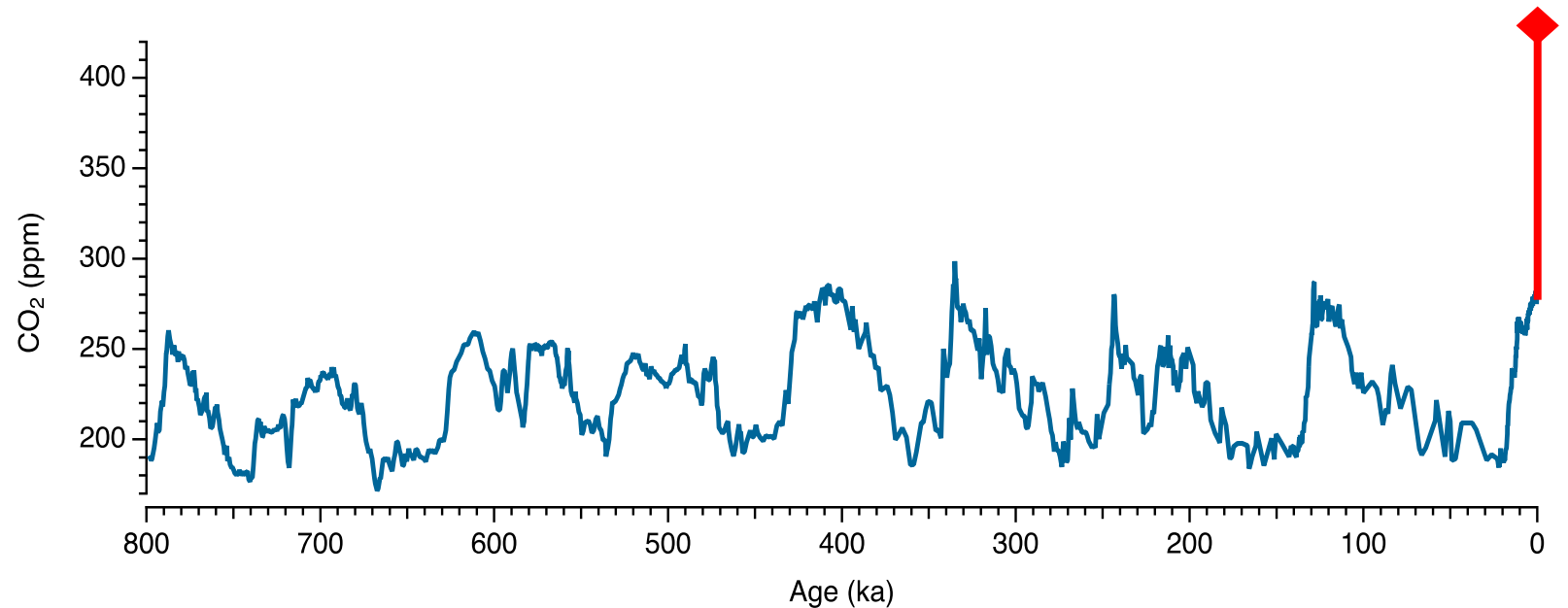
aujourd'hui
426 ppm



interglaciaire
280 ppm



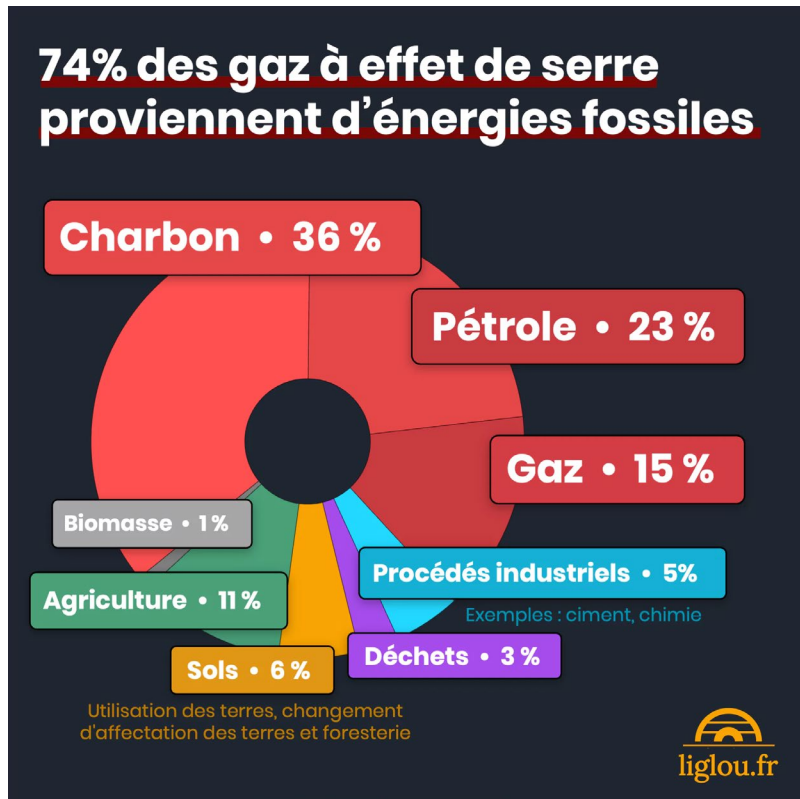
glaciaire
180 ppm



données : Bereiter et al., 2015; Lan et al., 2022

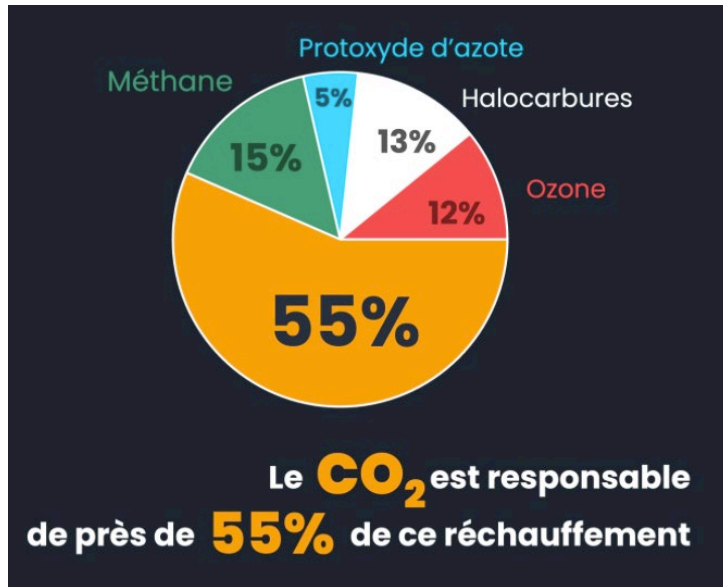
Les causes du changement climatique

Effet de serre additionnel de part l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre, émis en majorité par l'utilisation d'énergies fossiles



Les causes du changement climatique

La **concentration en gaz à effet de serre** (principalement le CO₂) est à l'origine de la hausse des températures.



© L'iglou

Gaz à effet de serre	Formule	Concentration préindustrielle ^{T 1}	Concentration actuelle ^{n 2}	Durée de séjour (ans) ^{T 2}	Potentiel de Réchauffement Global
					PRG à 100 ans ^{T 2}
Vapeur d'eau	H ₂ O	3 ‰	3 ‰	~0,02 (1-2 semaines)	ns
Dioxyde de carbone	CO ₂	280 ppm	396 ppm ¹⁷	100 ²	1
Méthane	CH ₄	0,6 à 0,7 ppm	1,8 ppm	12 ^{n 3}	25
Protoxyde d'azote	N ₂ O	0,270 ppm	0,327 ppm ¹⁸	114	298
Dichlorodifluorométhane (CFC-12)	CCl ₂ F ₂	0	0,52 ppb	100	10 900
Chlorodifluorométhane (HCFC-22)	CHClF ₂	0	0,105 ppb	12	1 810
Tétrafluorométhane ^{n 4}	CF ₄	0	0,070 ppb	50 000	7 390
Hexafluorure de soufre	SF ₆	0	0,008 ppb	3 200	22 800

- Temps de séjour dans l'atmosphère des GES:
 - CO₂ : 100-150 ans jusqu'à plusieurs milliers d'années
 - CH₄ : 8-12 ans
 - N₂O : 120 ans
 - Hydrocarbures fluorés : jusqu'à plusieurs milliers d'années

Les émissions de CO₂ et empreinte carbone

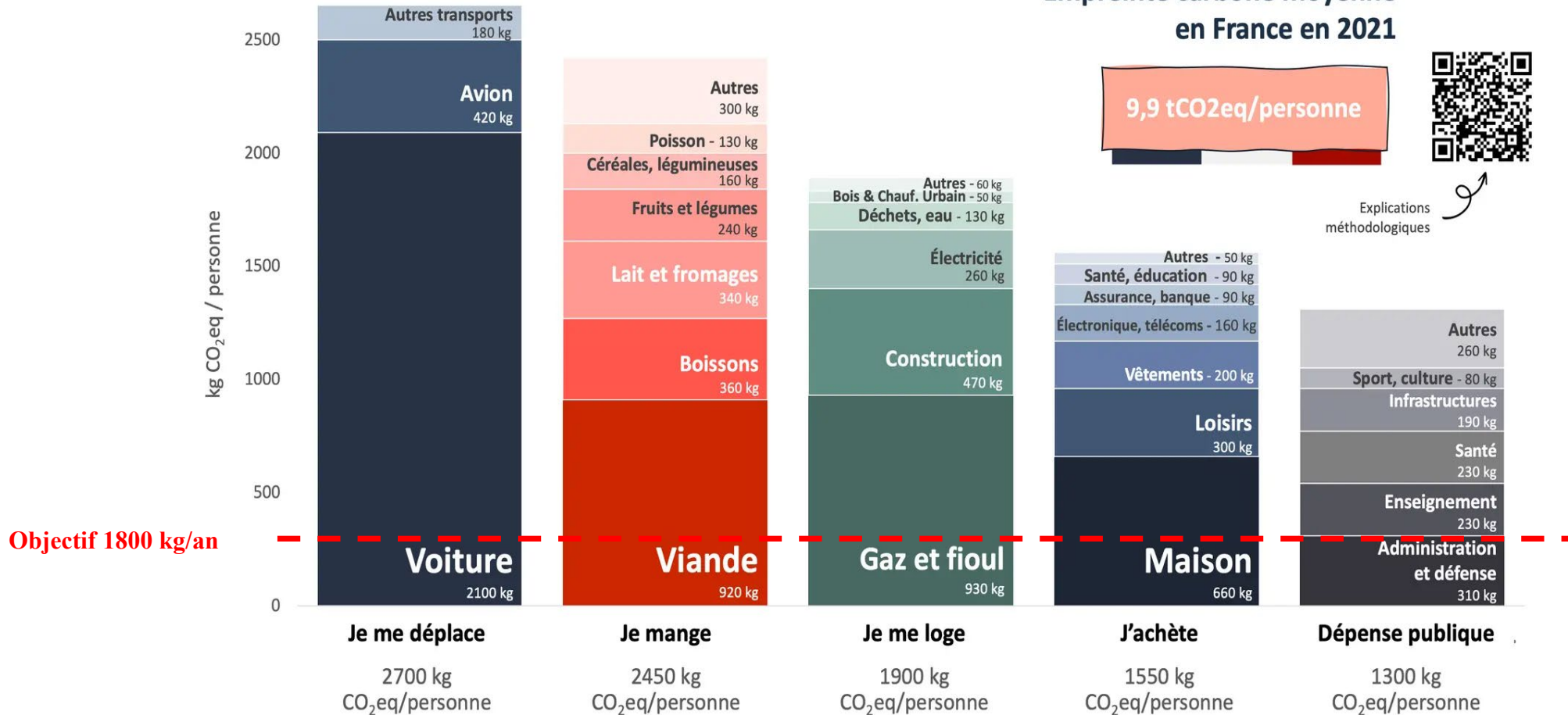


Empreinte carbone moyenne en France en 2021

9,9 tCO₂eq/personne



Explications méthodologiques



Objectif 1800 kg/an

Gaz inclus : CO₂ (hors UTCATF France), CH₄, N₂O, HFC, SF₆, PFC, H₂O (trainées de condensation).

Source : MyCO₂ par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat, le CITEPA, Agribalyse V3 et INCA 3.

La courbe du changement Kübler Ross

