

Climats : Retour sur la science

Formation EELV-COMENER
Cycle 2021 / Antoine Bonduelle



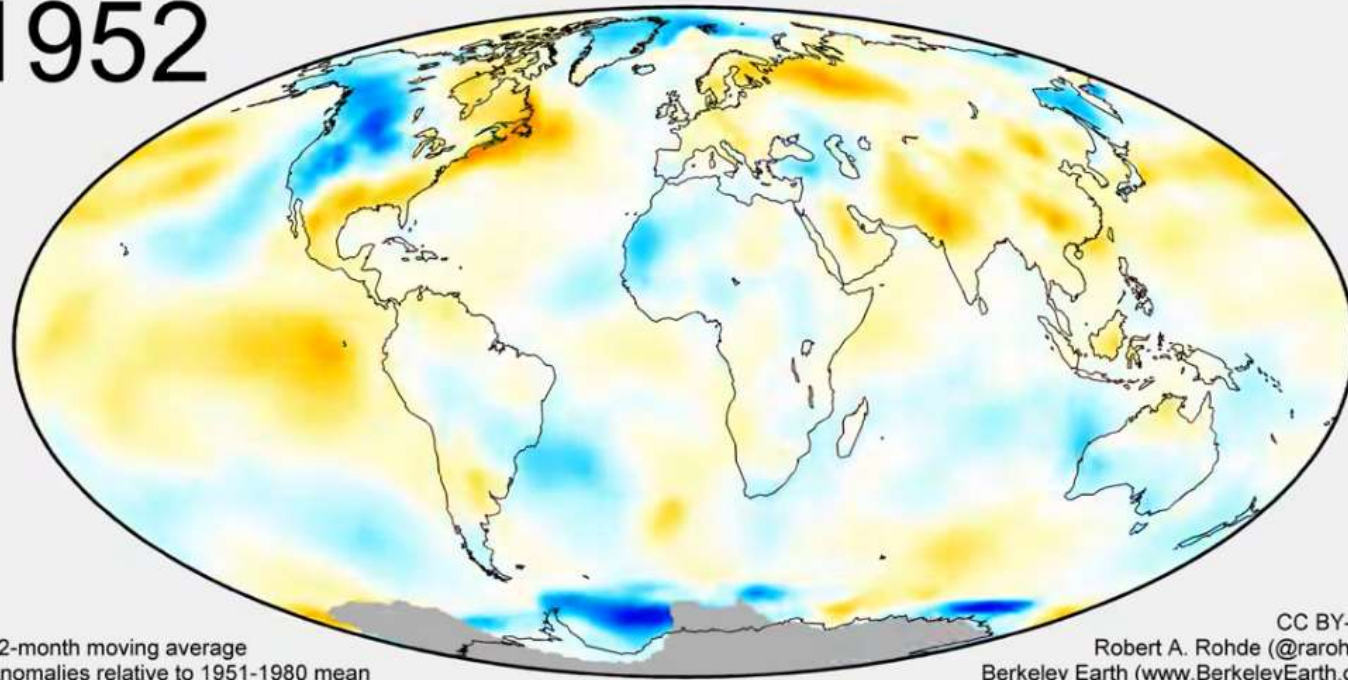
E&E Consultant



Le réchauffement est constaté

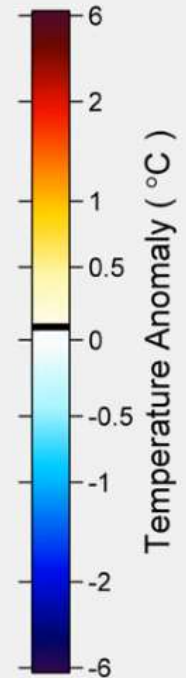
<https://www.youtube.com/watch?v=JObGveVUz7k>

1952

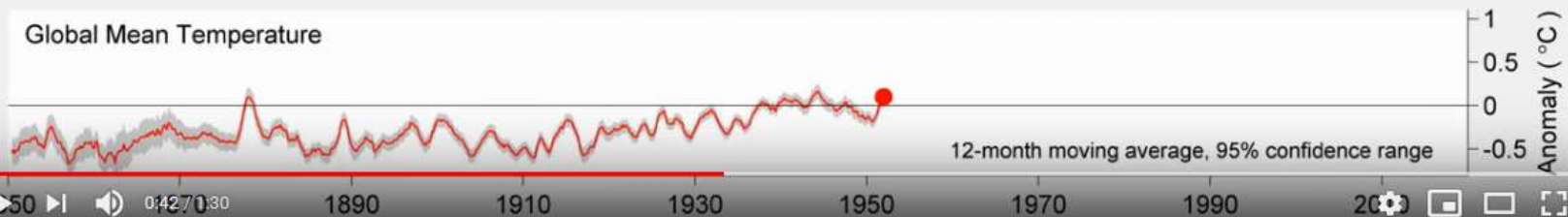


12-month moving average
Anomalies relative to 1951-1980 mean

CC BY-4.0
Robert A. Rohde (@rarohde)
Berkeley Earth (www.BerkeleyEarth.org)



Global Mean Temperature



0:42 / 0:30

1890

1910

1930

1950

1970

1990

2010



Plan de session

- **Le GIEC c'est quoi ?**
- **L'effet de serre c'est quoi ?**
- **Le forçage c'est quoi ?**
- **Observation : les changements sont visibles**
- **Où va le carbone, où va la chaleur?**
- **Une attribution de plus en plus certaine**
- **Le réchauffement est fonction directe du budget**
- **Mais alors, quel scénario pour quelle température?**

Plan de session

- **Le GIEC c'est quoi ?**
- L'effet de serre c'est quoi ?
- Le forçage c'est quoi ?
- Observation : les changements sont visibles
- Où va le carbone, où va la chaleur?
- Une attribution de plus en plus certaine
- Le réchauffement est fonction directe du budget
- Mais alors, quel scénario pour quelle température?

C'est quoi le GIEC ?

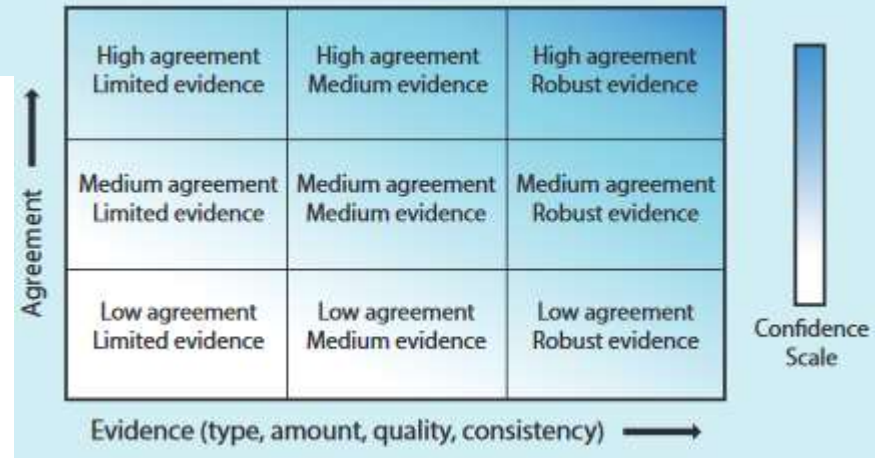
- C'est une organisation conjointe entre météo mondiale (OMM) et Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) qui rend compte à la Convention de l'ONU sur les climats (CNUCC)
- Le Groupe Intergouvernemental d'Etude du Changement Climatique (Intergovernmental Panel on Climate Change) est devenu une institution (prix Nobel de la Paix 2007 avec Al Gore)
- Elle s'est forgée une identité face aux sceptiques du climat et aux pétroliers, sur un rapport de force original avec les gouvernements.
- Pas de publications propres ni de budget, mais une influence sur les formats des publications prise en compte par les trois groupes.

Pas une science « officielle », mais un processus qui s'impose aux gouvernements

- Mots clés: pas de préconisations (« non policy prescriptive »)
- « Approbation » du résumé par les délégués des gouvernements sur bases scientifiques, ligne par ligne et à l'unanimité. Les experts peuvent noter leurs désaccords.
- « Adoption » des synthèses du rapport, section par section
- « Acceptation » sur le rapport principal

Une normalisation du langage et des concepts depuis 1992

Term*	Likelihood of the outcome
<i>Virtually certain</i>	99–100% probability
<i>Very likely</i>	90–100% probability
<i>Likely</i>	66–100% probability
<i>About as likely as not</i>	33–66% probability
<i>Unlikely</i>	0–33% probability
<i>Very unlikely</i>	0–10% probability
<i>Exceptionally unlikely</i>	0–1% probability



Les références et les méthodologies du GIEC s'imposent, par exemple

- Coefficients d'émission
- Equivalences d'impact des GES
- Méthode de comptabilisation de la biomasse

Un effort mondial et varié

(ici groupe 1 AR5)

Key SPM Messages

19 Headlines

on less than 2 Pages

Summary for Policymakers
ca. 14,000 Words

14 Chapters
Atlas of Regional Projections

54,677 Review Comments
by 1089 Experts

2010: 259 Authors Selected

2009: WGI Outline Approved

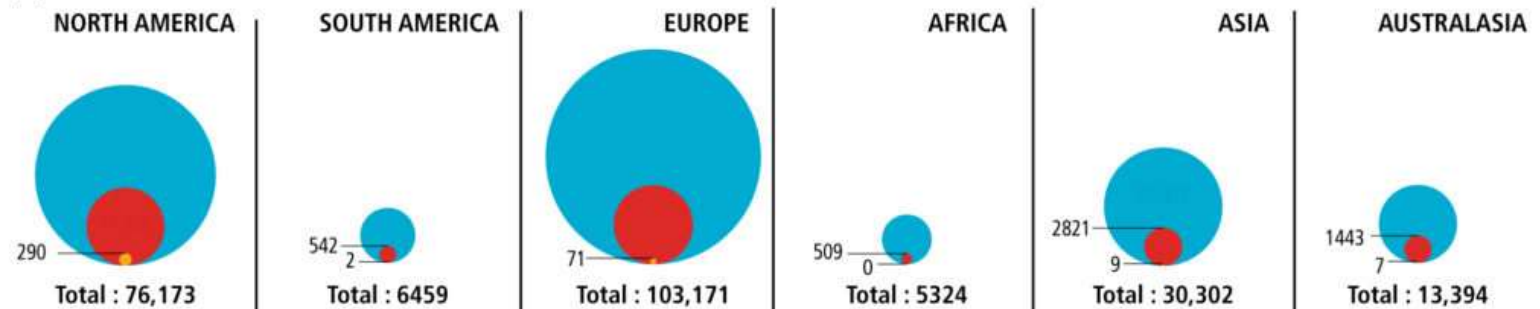


3rd Lead Author Meeting, Marrakech, Morocco, April 2012

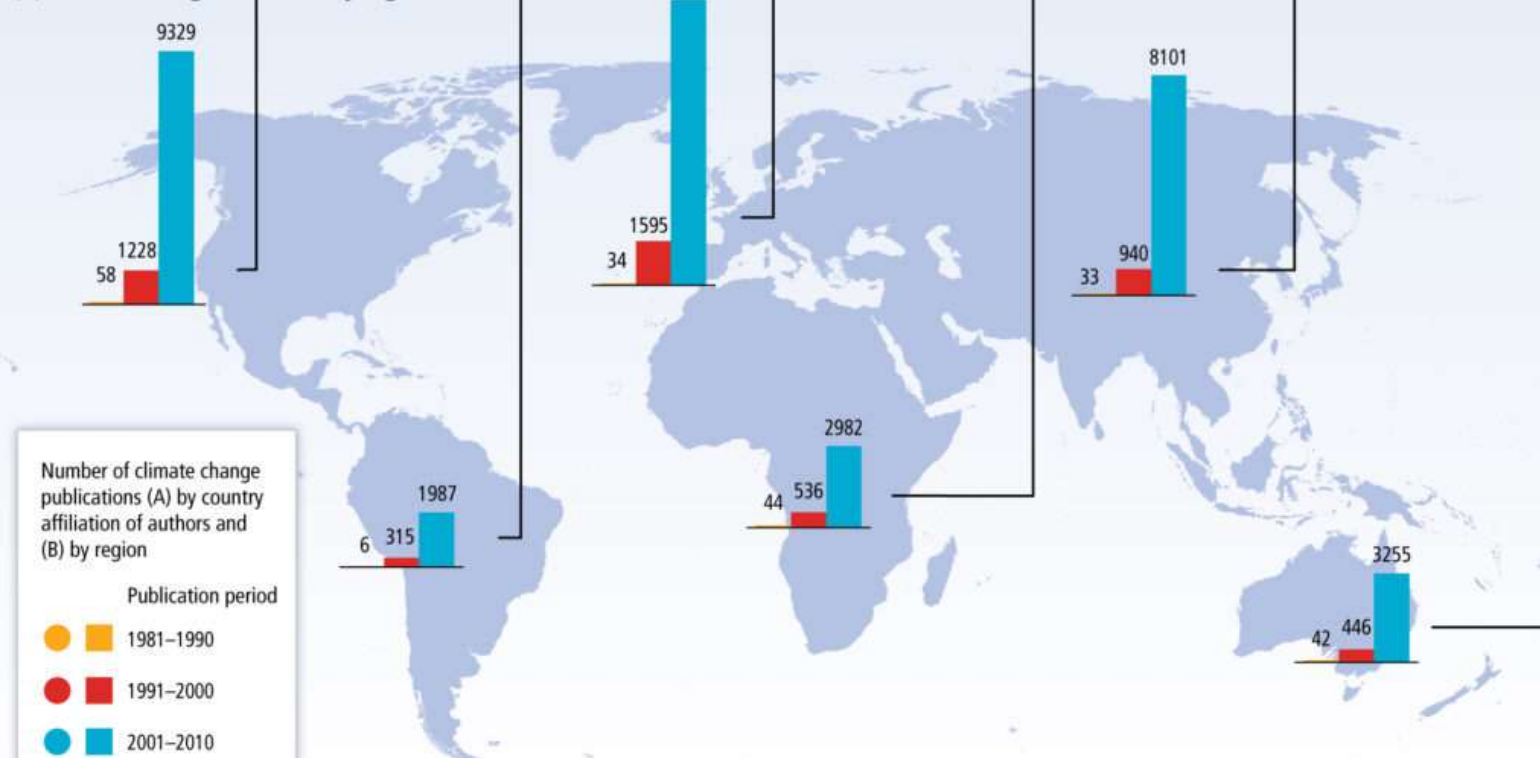


Un effort mondial... surtout US et EU (exemple du groupe 2 des impacts)

(A) Author affiliation



(B) Climate change literature by region



Le rapport 5 du GIEC : 3 volets (1, 2, 3) la science, les impacts et l'adaptation, la mitigation (= solutions)

- Point d'entrée pour le rapport : les FAQ illustrés, le rapport technique (TS).
- Importance politique du « SPM » ou Summary for Policy Makers. Fait partie de la bible du négociateur.
- Enorme importance accordée aux incertitudes et aux inconnues restantes

Le rapport 6 (« AR6 ») du GIEC

- Le second brouillon est en cours de relecture pour les trois groupes
- Des synthèses sortiront pour la COP 26 fin 2021
- Une grande part des connaissances se trouve déjà dans les rapports précédents et notamment les trois rapports commandés à Paris par la COP 21 : « 1,5°C », « Sols et biomasse », « Océans et cryosphère »

La politique du GIEC est dans l'agenda, pas dans le contenu...

Documents d'entrée pour le GIEC

- [La fabrication du GIEC \(groupe 1 les sciences\) par Thomas Stocker](https://www.youtube.com/watch?v=Etc7DNqolzM)
<https://www.youtube.com/watch?v=Etc7DNqolzM>
- [FAQs \(Français\)](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_FAQs_french.pdf)
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_FAQs_french.pdf
- [Technical Summary \(anglais\)](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_technical-summary.pdf)
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_technical-summary.pdf
- [Résumé pour Décideurs \(en français\) du 1,5°C](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_french.pdf)
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_french.pdf

Plan de session

- Le GIEC c'est quoi ?
- **L'effet de serre c'est quoi ?**
- Le forçage c'est quoi ?
- Observation : les changements sont visibles
- Où va le carbone, où va la chaleur?
- Une attribution de plus en plus certaine
- Le réchauffement est fonction directe du budget
- Mais alors, quel scénario pour quelle température?

L'effet de serre c'est quoi?

**C'EST DE LA PHYSIQUE, L'ÉNERGIE
QUI ENTRE (LUMIÈRE DU SOLEIL)
ÉQUILIBRE CELLE QUI SORT
(INFRAROUGE)**

Énergie sur atmosphère et océans >> Climat en équilibre

Planets and atmospheres

Mars
Thin atmosphere
(Almost all CO₂ in ground)
Average temperature : - 50°C

Earth
0,03% of CO₂ in the atmosphere
Average temperature : + 15°C

Venus
Thick atmosphere
containing 96% of CO₂
Average temperature : + 420°C

Principe de base : équilibre de l'énergie entrante et de l'énergie émise par les planètes.

Le principe de l'effet de serre

un phénomène naturel



Le principe de l'effet de serre

un phénomène naturel



Le principe de l'effet de serre

un phénomène naturel



Le principe de l'effet de serre

un phénomène naturel



Le principe de l'effet de serre

un phénomène naturel



Le principe de l'effet de serre

un phénomène naturel



Le principe de l'effet de serre

un phénomène naturel



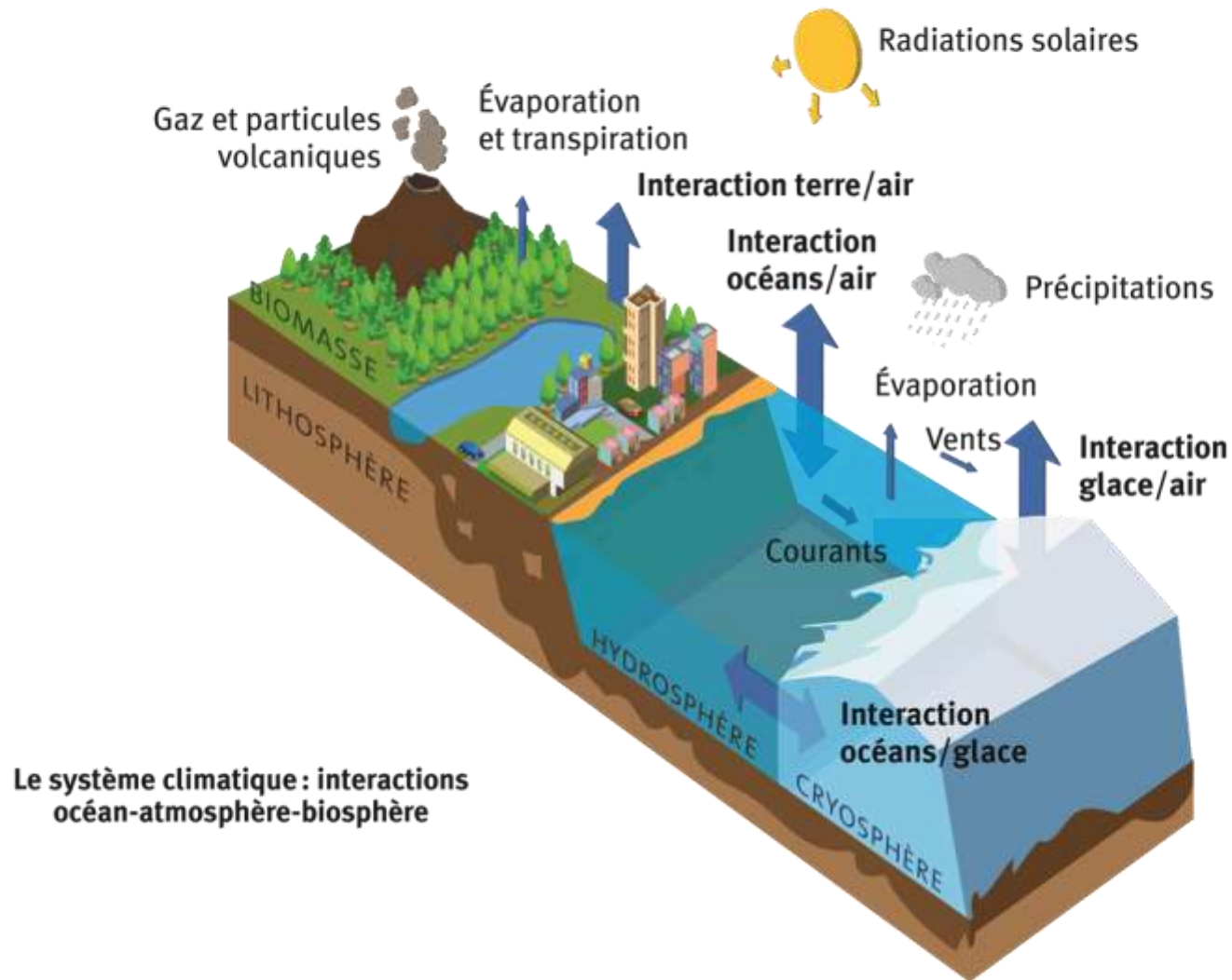
Le principe de l'effet de serre

un phénomène naturel



- **L'effet de serre est bénéfique, il définit l'équilibre de température de la terre et donc notre climat.**
- **L'énergie solaire se diffuse vers la surface puis se déplace avec les vents et les courants marins.**
- **Elle repart sous forme dégradée vers le ciel.**

Les interactions du système climatique (diapo RAC)



Trois débouchés pour l'énergie solaire

L'énergie solaire entrante sur terre se transforme essentiellement par trois méthodes:

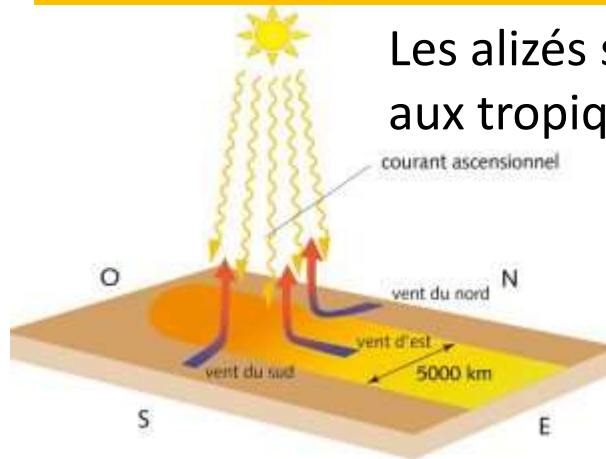
- Des **radiations** (on verra plus loin)
- Des **transferts via l'atmosphère** et les courants aériens
- Des **transferts via les courants océaniques**

Circulation atmosphérique

- L'unique moteur de la circulation atmosphérique est l'ensoleillement. (Hadley 1735)

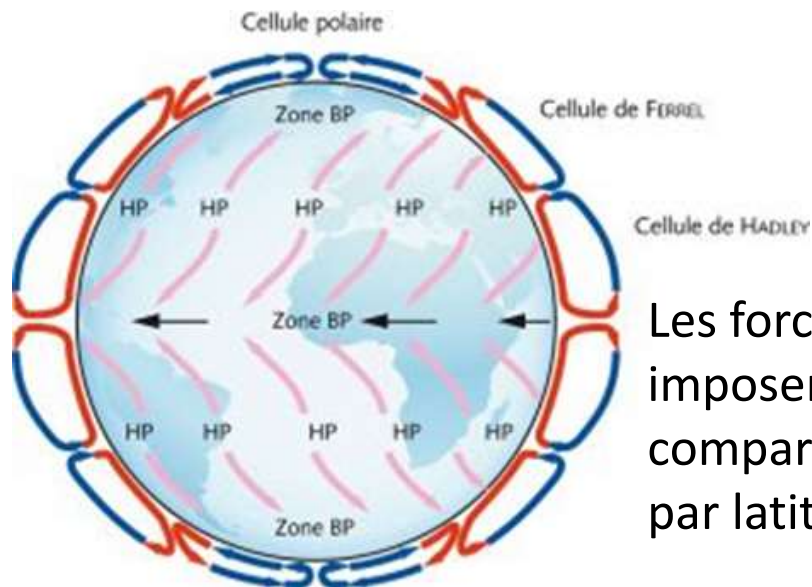
Sous les contraintes de la gravité, de la poussée d'Archimède et de la force de Coriolis due à la rotation de la Terre, les différences de température entre l'équateur et les pôles font circuler l'air tout autour de la Terre. Cette circulation globale, impulsée dans les régions tropicales par les vents alizés, possède une organisation bien définie. Dans leur mouvement, ces masses d'air transportent et redistribuent à la fois la chaleur transmise par les continents et l'humidité produite par évaporation au-dessus des océans.

Un transfert thermique massif

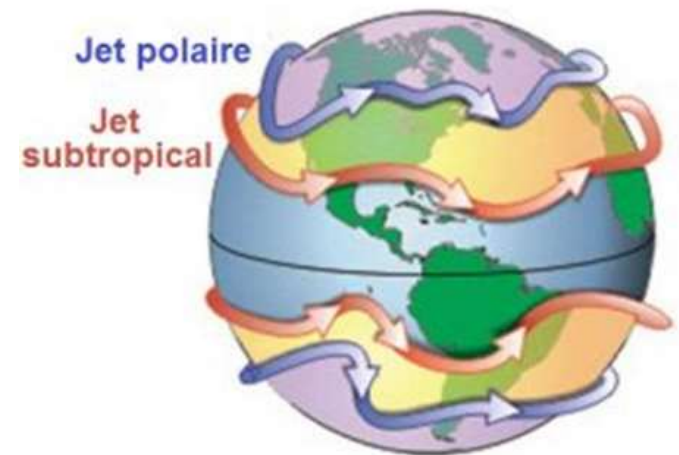


Les alizés se forment
aux tropiques

Les vents d'altitude
violents vers les pôles
et très constants

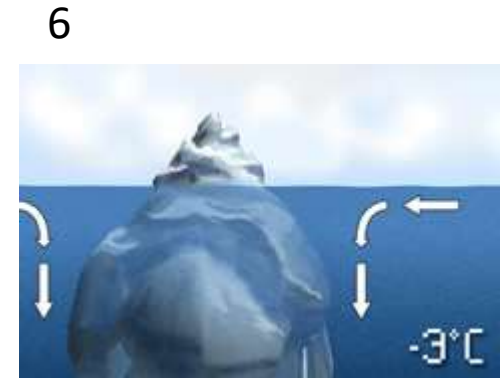
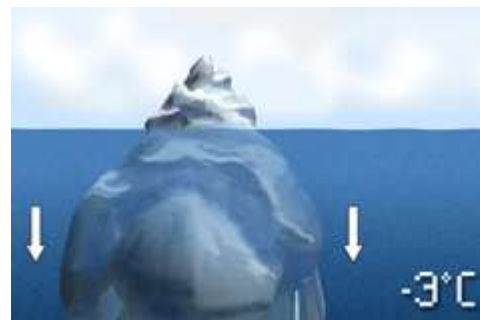
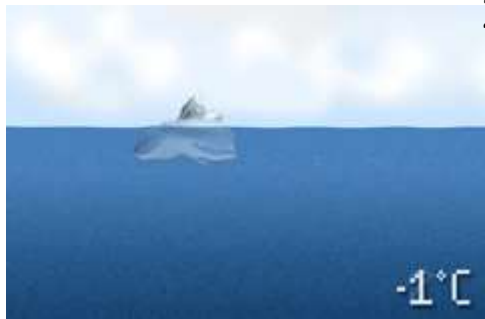


Les forces en présence
imposent des
compartiments distincts
par latitude



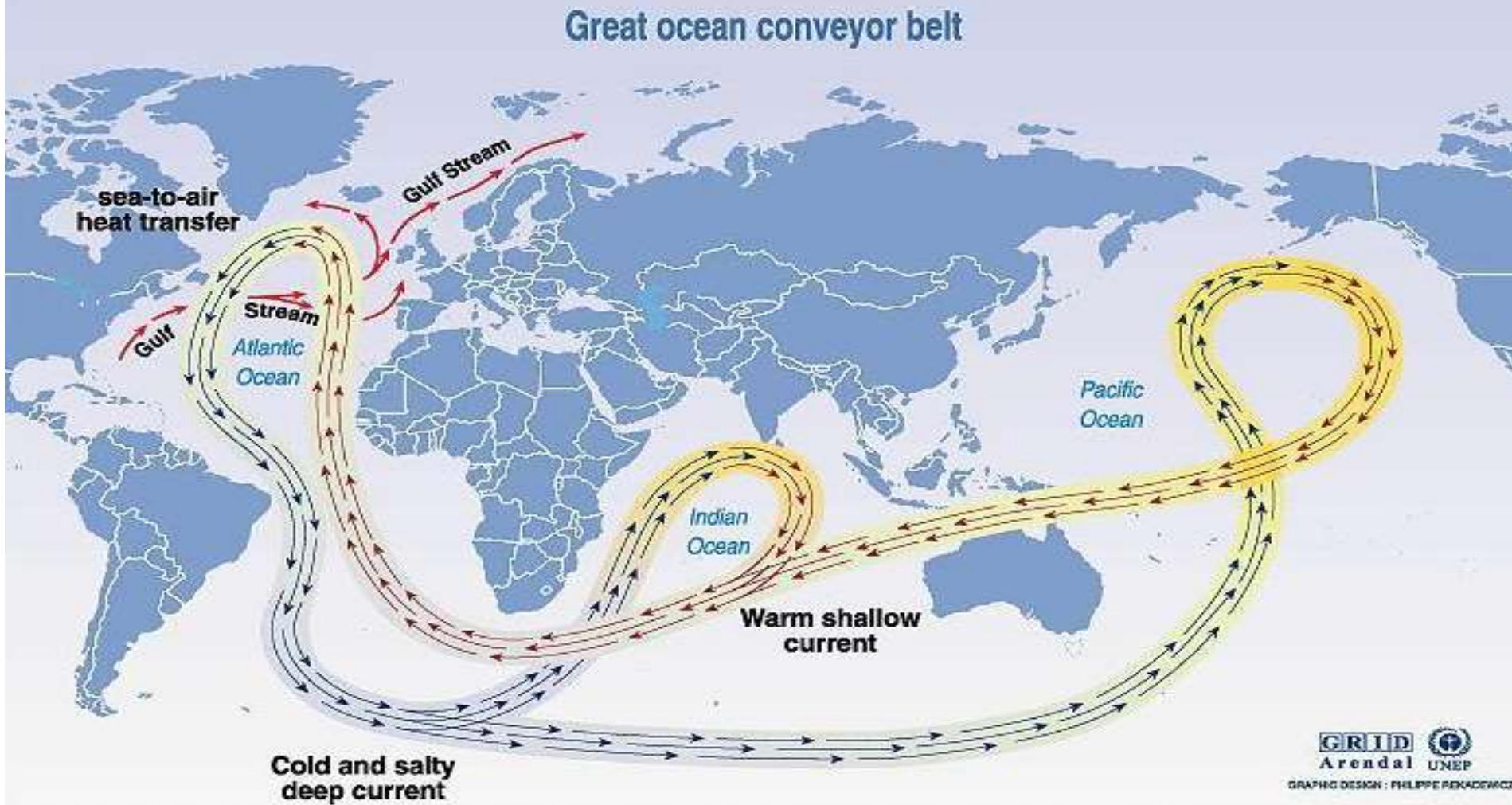
La pompe thermo-haline

Les vents déterminent les courants océaniques des 100 premiers mètres (“courants de derive”). En dessous, les courants profonds sont générés par la différence entre la densité des eaux, liée à la température (“thermo”) et la salinité (“haline”) d’où la “circulation thermo-haline) (documents NOAA)



Circulation des océans :

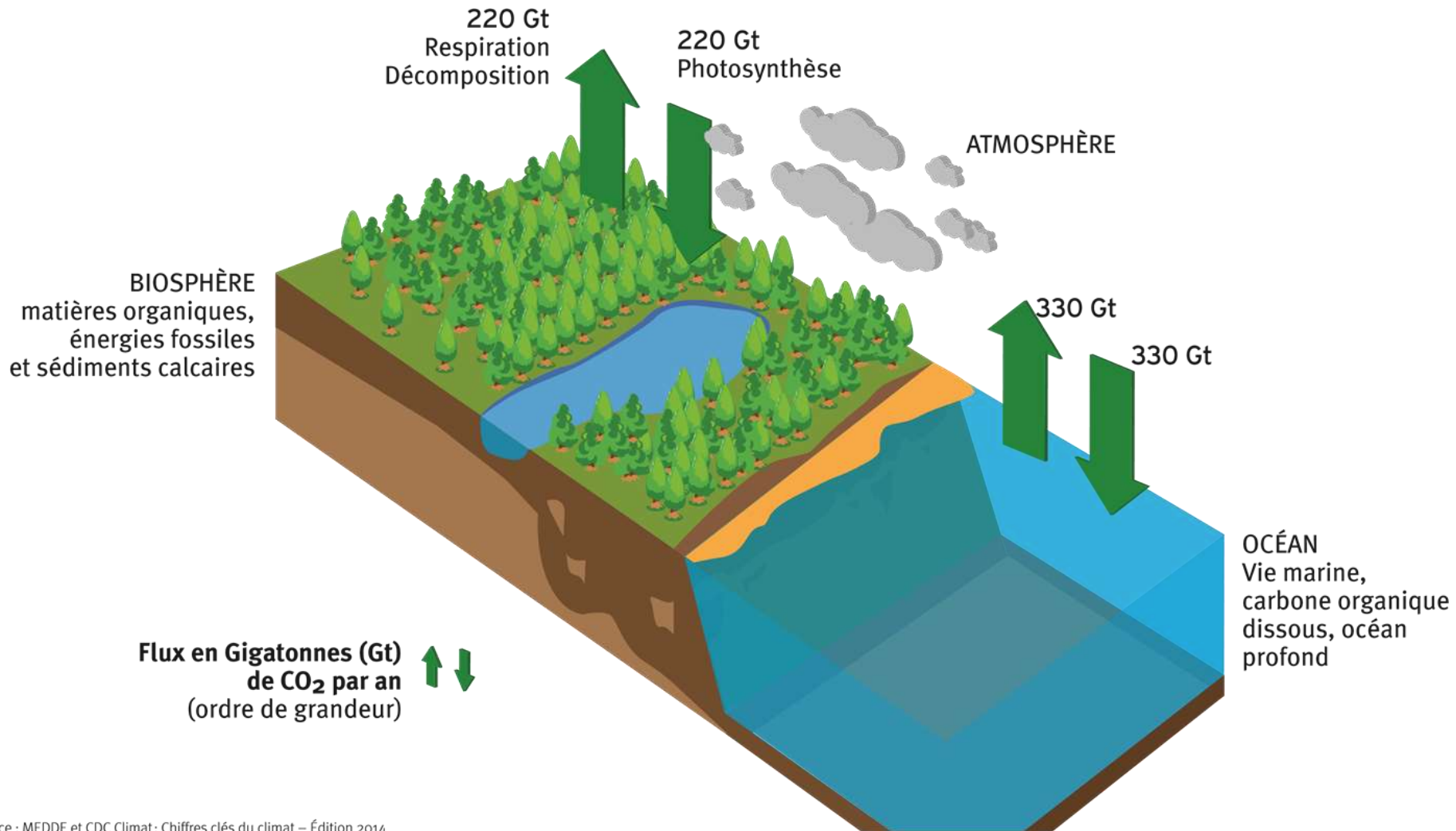
de la chaleur va de l'équateur vers les pôles



Le tour du monde en 1600 ans

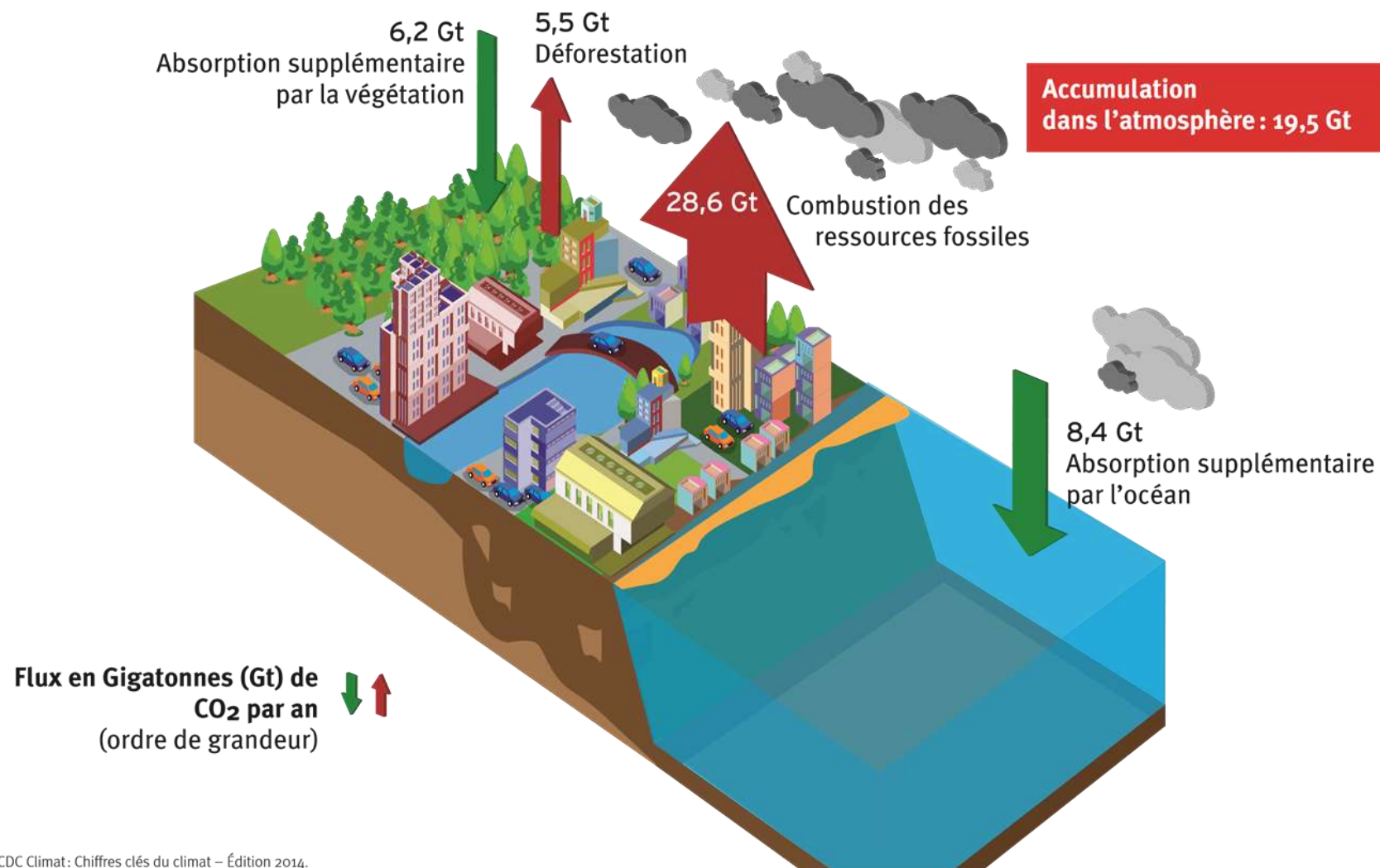
- La ceinture convoyeuse de l'océan mondial ("pompe thermo-haline globale") démarre en mer de Norvège, où aboutit l'eau chaude du Gulf Stream.
- L'eau devient plus froide et dense, et coule vers le fond de l'océan, ce qui attire de l'eau plus chaude venant du sud.
- L'eau froide circule dans le fond de l'océan vers le sud de l'équateur jusqu'en Antarctique et fait ensuite le tour du globe par divers itinéraires

Régime « pré-industriel »



Source : MEDDE et CDC Climat : Chiffres clés du climat – Édition 2014.

Régime « industriel »



Plan de session

- Le GIEC c'est quoi ?
- L'effet de serre c'est quoi ?
- **Le forçage c'est quoi ?**
- Observation : les changements sont visibles
- Où va le carbone, où va la chaleur?
- Une attribution de plus en plus certaine
- Le réchauffement est fonction directe du budget
- Mais alors, quel scénario pour quelle température?

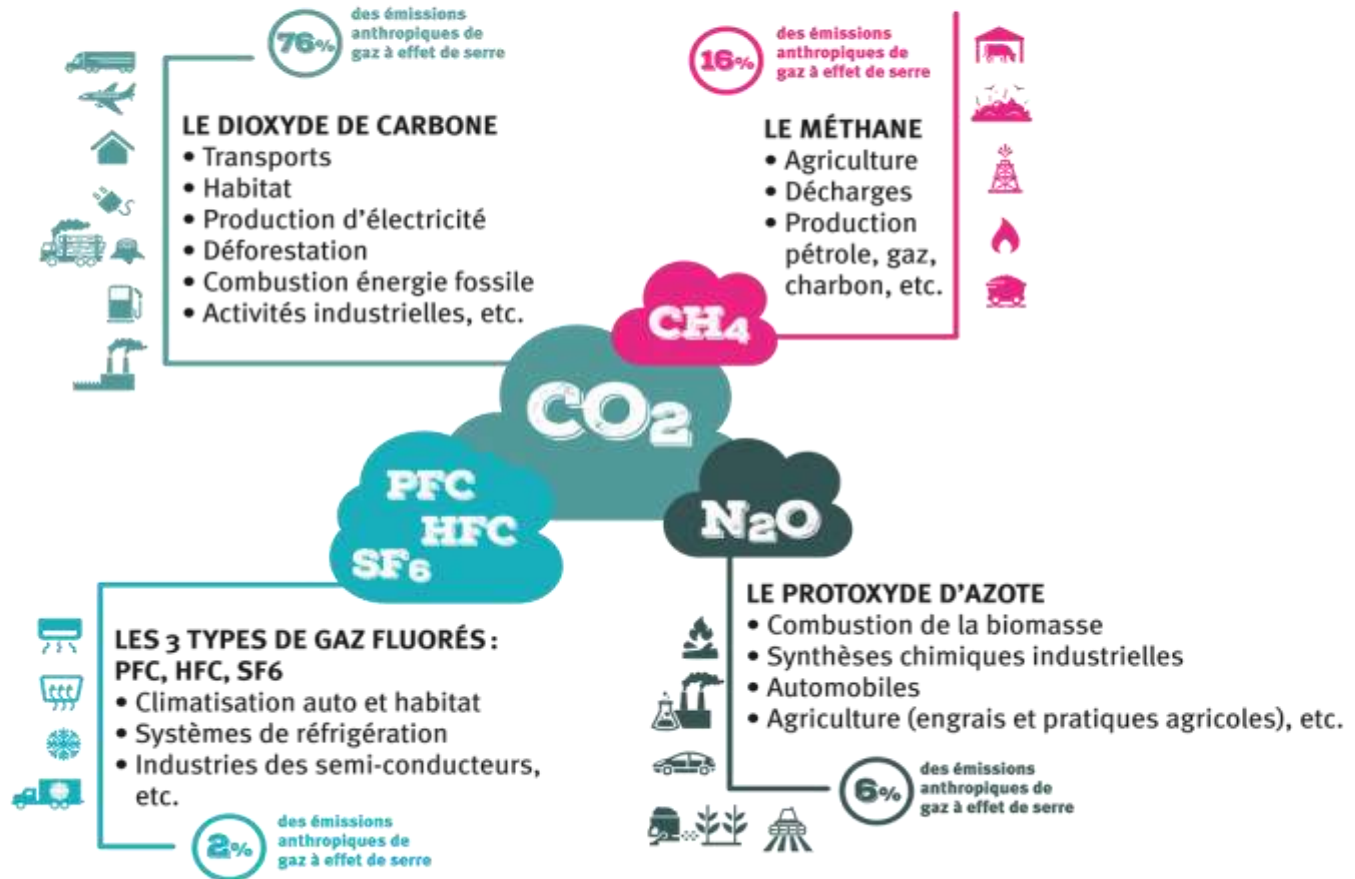
La perturbation de l'équilibre de l'atmosphère est appelée « forçage radiatif »

- Le forçage équivaut à une modification du flux d'énergie entrante (et sortante) dans l'atmosphère de la terre
- Le principal forçage vient de la modification de la composition de l'atmosphère

Le forçage radiatif (en W/m^2)

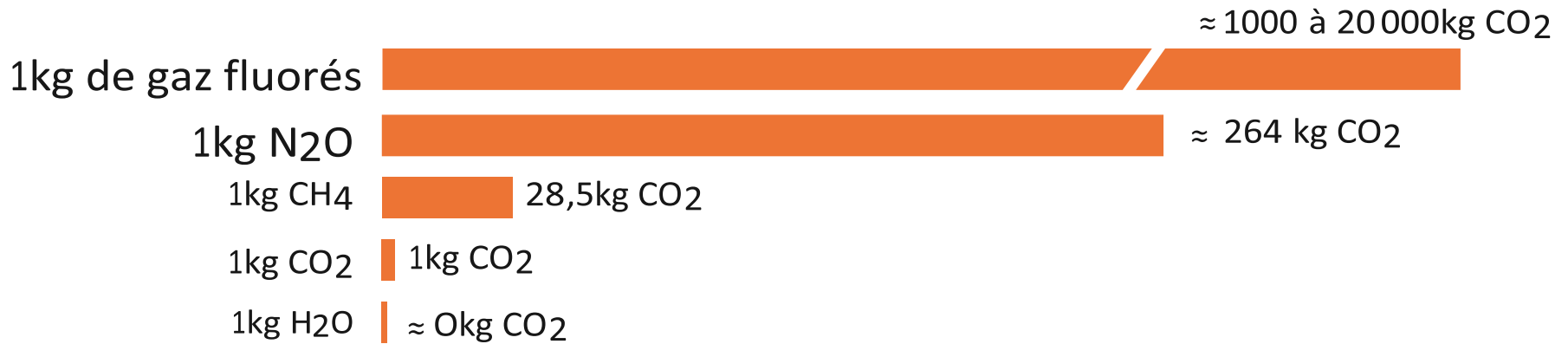
- En anglais RF pour radiative forcing, c'est la notion englobante des impacts globaux des perturbations de l'atmosphère
- Il peut procéder de plusieurs mécanismes : concentration de certains gaz, albédo de surface, formation des nuages, particules en suspension...
- Son effet dépend du gaz concerné, de sa survie et de sa saturation dans l'atmosphère

Les gaz à effet de serre (GES ou « GHG »)



Pourcentages en Gt CO₂ eq / an, pour l'année 2010.

Le potentiel de réchauffement global

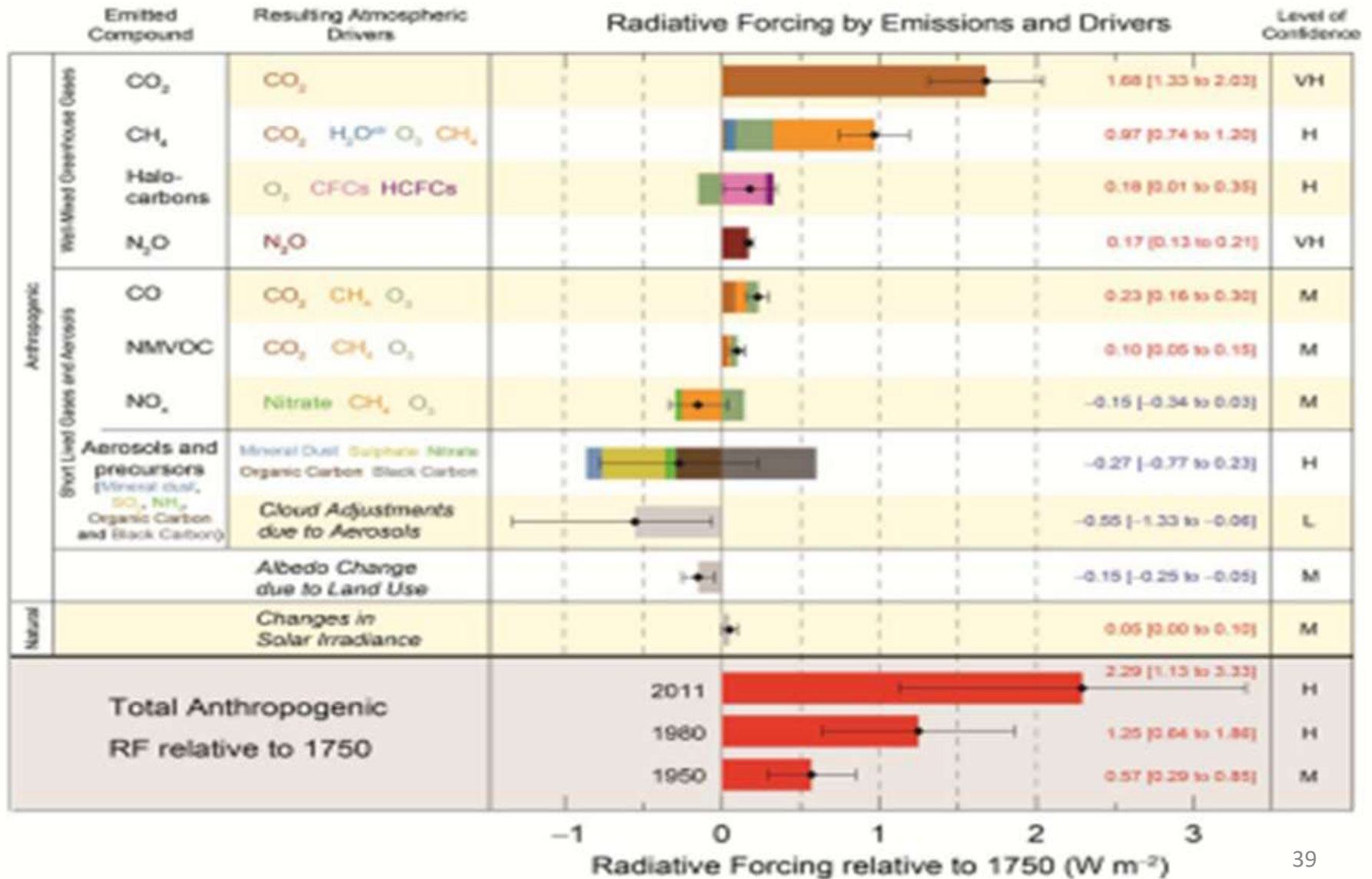


Ce potentiel est incomplet, car il dépend de facteurs comme le temps de séjour dans l'atmosphère, ou les réactions chimiques possibles

Il sert à une approche « panier » simplifiée (« basket approach ») pour un opérateur industriel ou un traité, pas pour une modélisations sérieuse

Les forçages depuis 1750 (GIEC AR5) (en $W.m^{-2}$)

Figure SPM.5 [FIGURE SUBJECT TO FINAL COPYEDIT]



**Exemple :
l'albédo
(blancheur) des
sols a varié
fortement en 200
ans. Ce forçage
est négatif
(=refroidissant)**

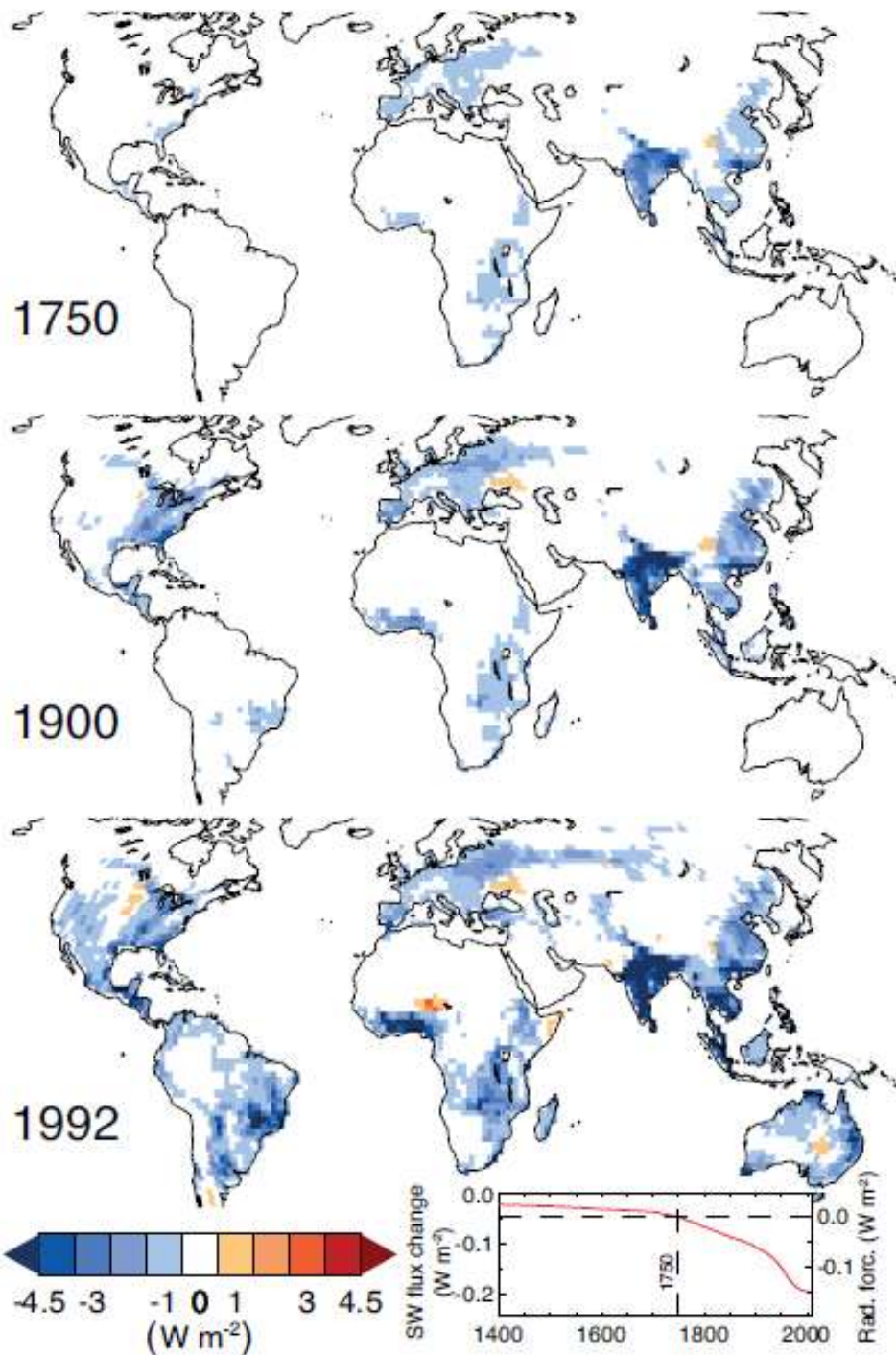


Figure 8.9 | Change in top of the atmosphere (TOA) shortwave (SW) flux (W m^{-2}) following the change in albedo as a result of anthropogenic Land Use Change for three periods (1750, 1900 and 1992 from top to bottom). By definition, the RF is with respect to 1750, but some anthropogenic changes had already occurred in 1750. The lower right inset shows the globally averaged impact of the surface albedo change to the TOA SW flux (left scale) as well as the corresponding RF (right scale) after normalization to the 1750 value. Based on simulations by Pongratz et al. (2009).

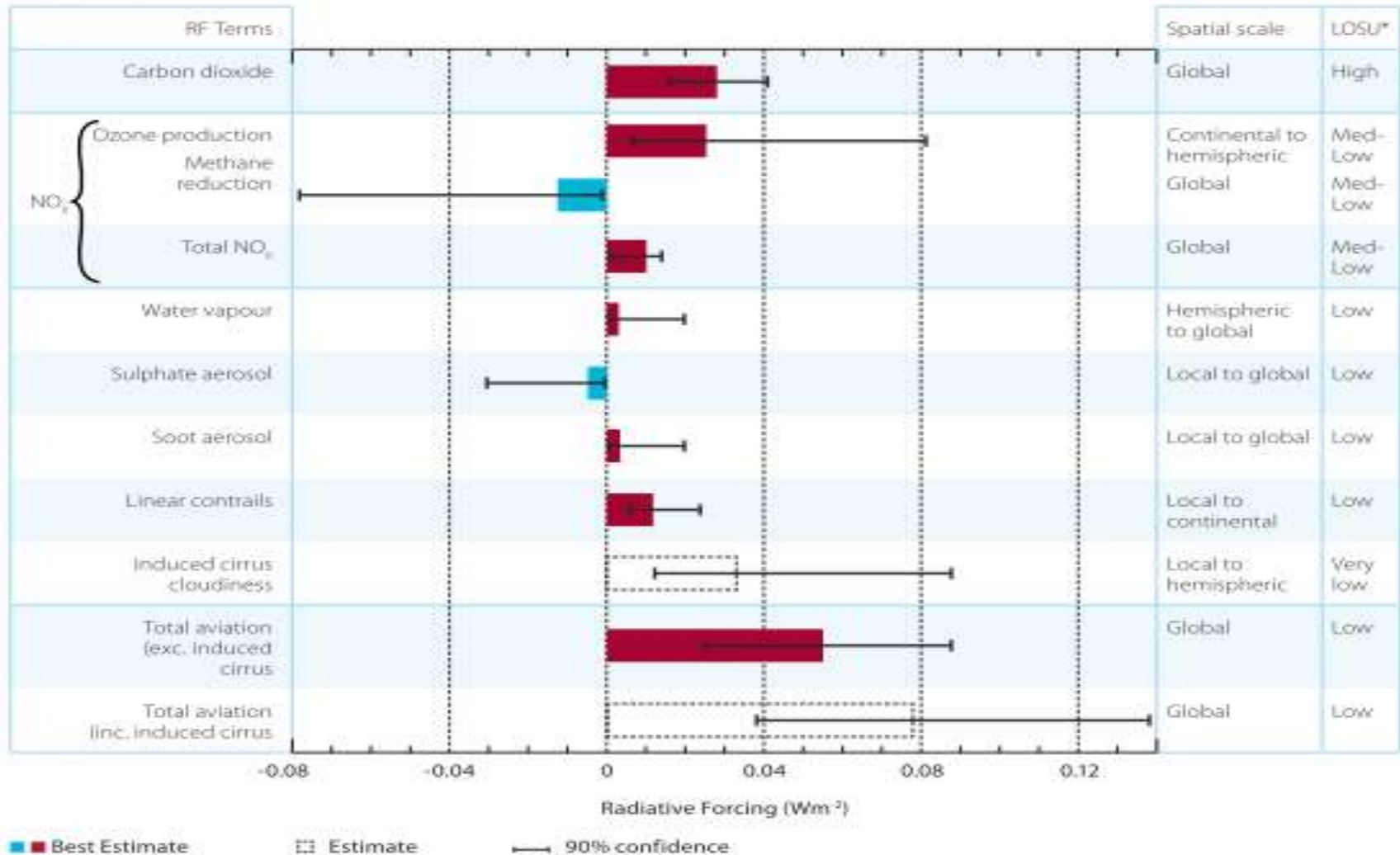
- Application pratique : le paradoxe des soutes maritimes et aériennes

Aviation : bien plus de RF que le carbone

Maritime : bien moins de RF que le carbone émis

Exemple de l'aviation

Figure B6.1 Aviation radiative forcing components in 2005

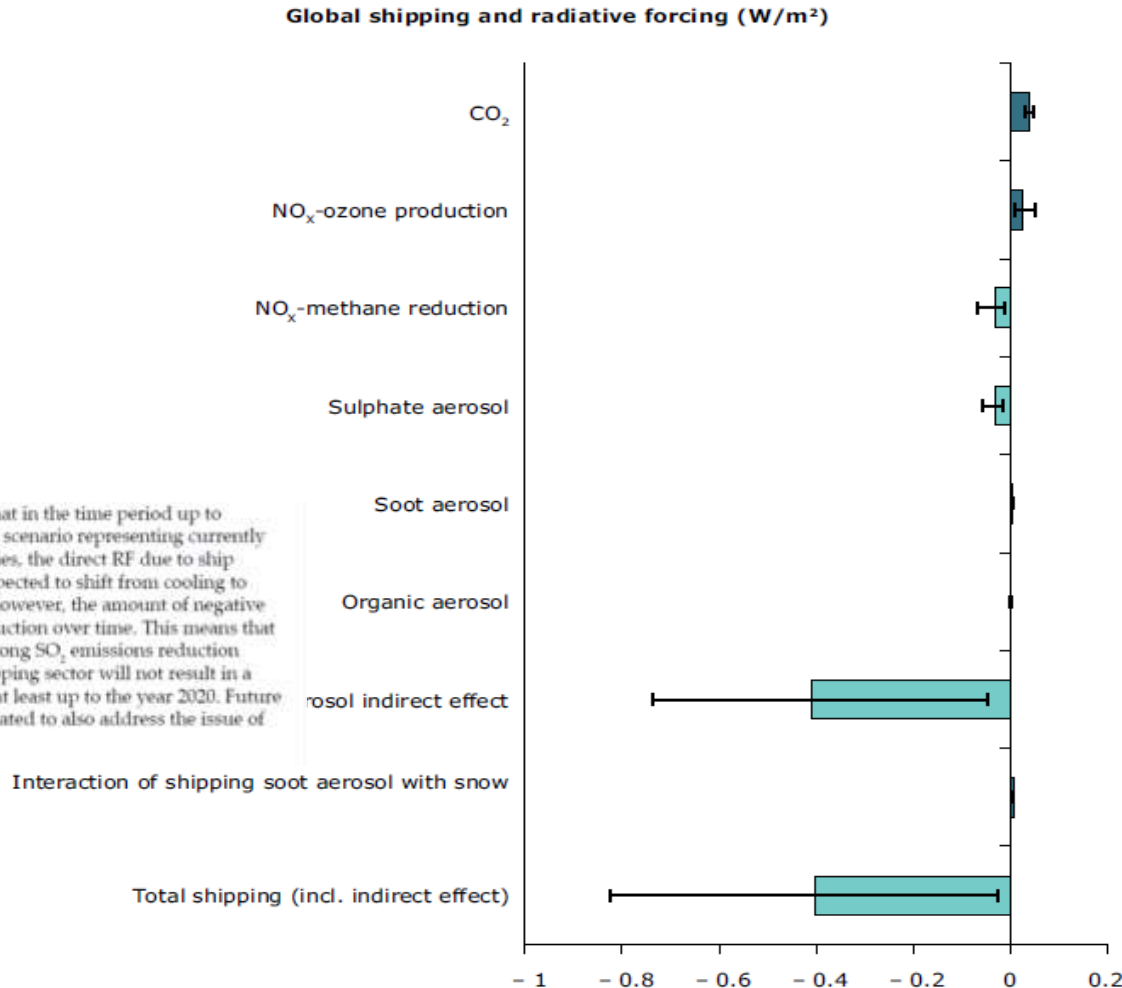


Source: Reproduced from Lee et al. (2009)¹. Global average radiative forcing (in Watts per square metre, Wm⁻²) in the year 2005 from global aviation. Bars are shown for each of the identified aviation effects, with total bars (with and without induced cloudiness) at the bottom. The right hand columns indicate the spatial scales over which these forcing effects operate and the level of scientific understanding (LOSU) regarding each forcing.

Note: *Level of Scientific Understanding

L'impact de la navigation internationale sur le forçage

Figure 6.1 Global radiative forcing impact of global shipping emissions expressed in W/m^2



The results show that in the time period up to 2020, the emissions scenario representing currently implemented policies, the direct RF due to ship emissions is not expected to shift from cooling to warming as such; however, the amount of negative RF will show a reduction over time. This means that in particular the strong SO₂ emissions reduction foreseen in the shipping sector will not result in a positive direct RF, at least up to the year 2020. Future work might be initiated to also address the issue of indirect RF.

Note: Dark blue bars represent a positive RF (warming), light blue bars represent a negative RF (cooling). Please note the relatively large uncertainty ranges. RF from shipping soot aerosol on Arctic snow does not have an uncertainty bar due to lack of data.

Source: EEA, based on Eyring et al., 2010 and Arctic Council, 2012.

Et le CH₄ des zones humides?

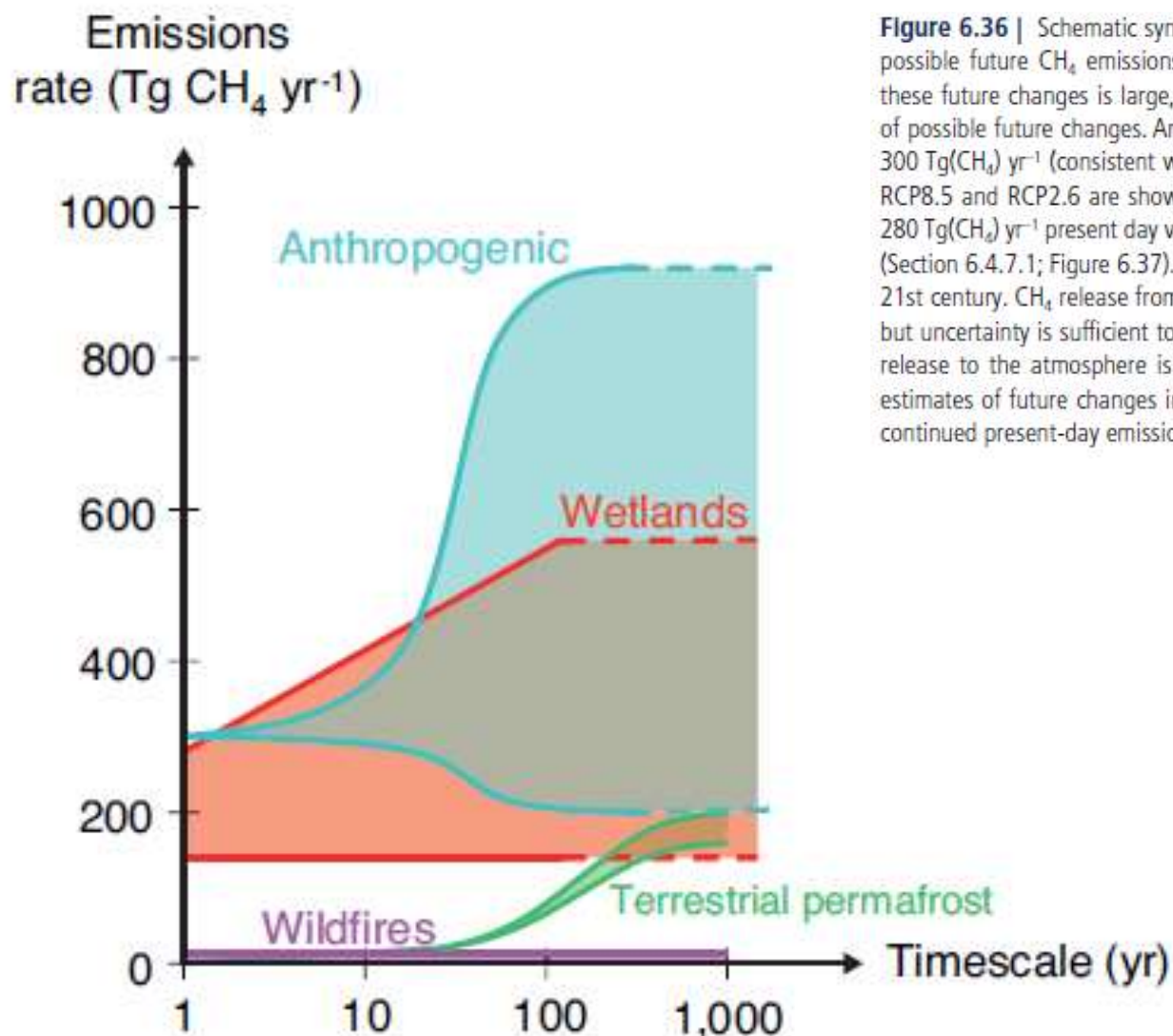


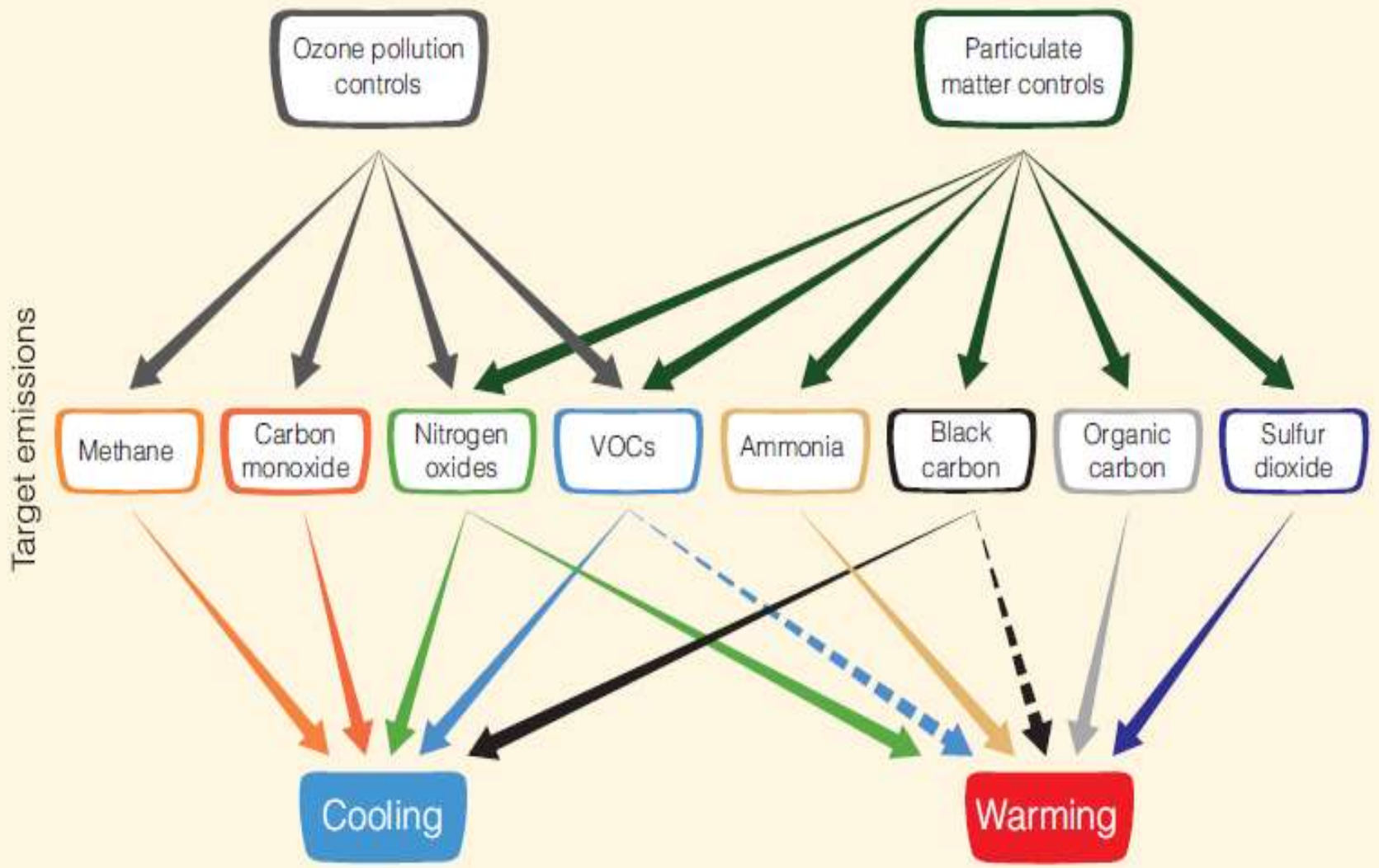
Figure 6.36 | Schematic synthesis of the magnitude and time scales associated with possible future CH₄ emissions (adapted from O'Connor et al., 2010). Uncertainty in these future changes is large, and so this figure demonstrates the relative magnitude of possible future changes. Anthropogenic emissions starting at a present-day level of 300 Tg(CH₄) yr⁻¹ (consistent with Table 6.8) and increasing or decreasing according to RCP8.5 and RCP2.6 are shown for reference. Wetland emissions are taken as 140 to 280 Tg(CH₄) yr⁻¹ present day values (Table 6.8) and increasing by between 0 and 100% (Section 6.4.7.1; Figure 6.37). Permafrost emissions may become important during the 21st century. CH₄ release from marine hydrates and subsea permafrost may also occur but uncertainty is sufficient to prevent plotting emission rates here. Large CH₄ hydrate release to the atmosphere is not expected during the 21st century. No quantitative estimates of future changes in CH₄ emissions from wildfires exist, so plotted here are continued present-day emissions of 1 to 5 Tg(CH₄) yr⁻¹ (Table 6.8).

L'importance des aérosols et des polluants (suies, etc.) est mieux appréhendée dans les nouveaux rapports. Son forçage (néгатif) est très important (voir diapo).

On tient compte notamment de l'impact sur les nuages et des interactions aérosols-radiation (ari) mais aussi de la chimie. Les liens avec la pollution atmosphérique sont complexes

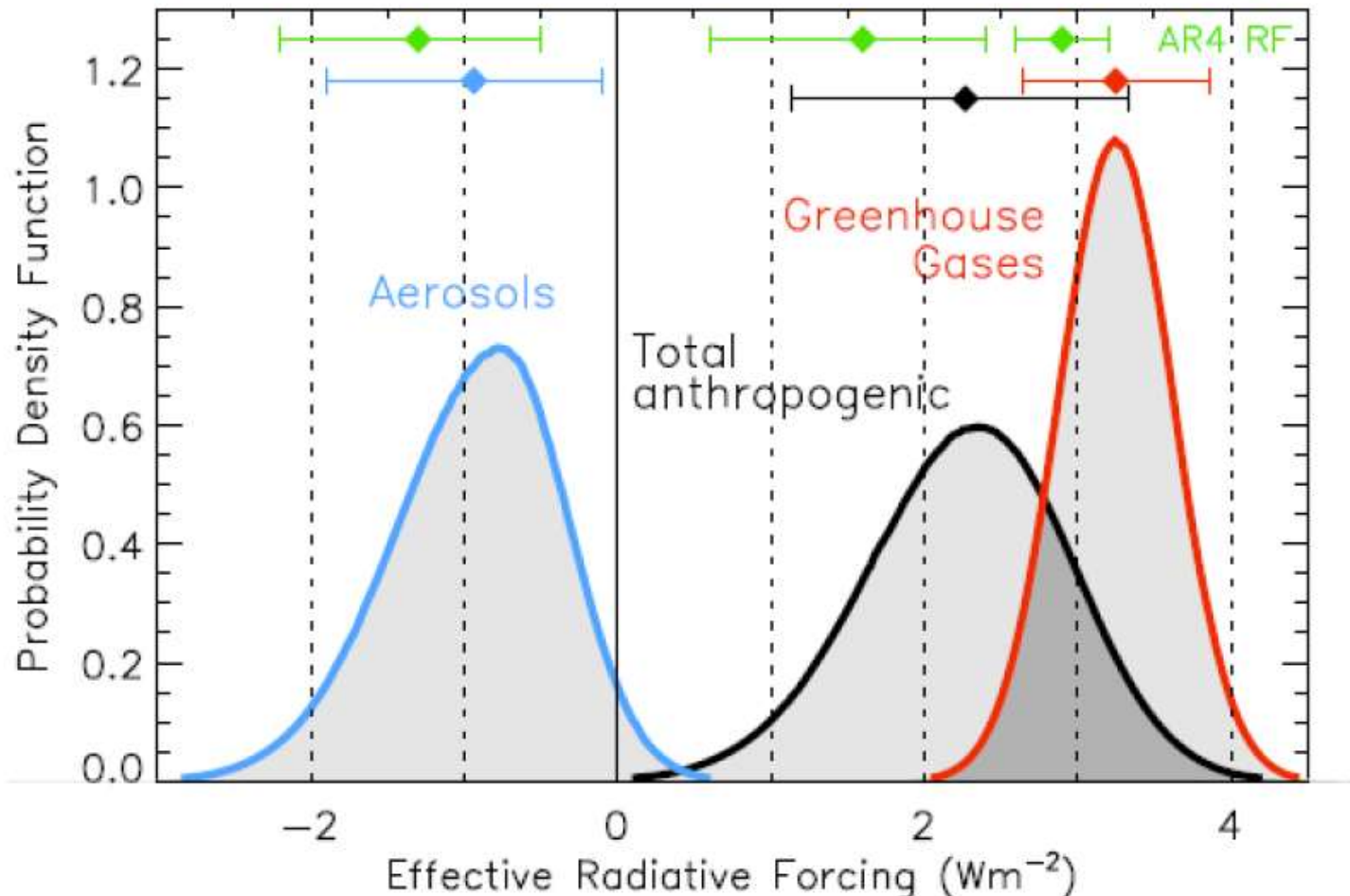
Désormais, le GIEC c'est aussi beaucoup de chimie

Qualité de l'air et forçage radiatif



FAQ 8.2, Figure 1 | Schematic diagram of the impact of pollution controls on specific emissions and climate impact. Solid black line indicates known impact; dashed line indicates uncertain impact.

Climate forcings



“There is *high confidence* that aerosols ... have offset a substantial portion of global mean forcing from well-mixed greenhouse gases. They continue to contribute the largest uncertainty to the total RF estimate.”

Circulation des gaz anthropiques

- Les gaz « mélangés » ne le sont pas vraiment, il existe des concentrations locales et un cycle surtout saisonnier. Les gaz « fugaces » sont encore plus locaux dans leurs impacts.
- Vidéo NASA modélisation d'une année du carbone et du monoxyde de carbone.

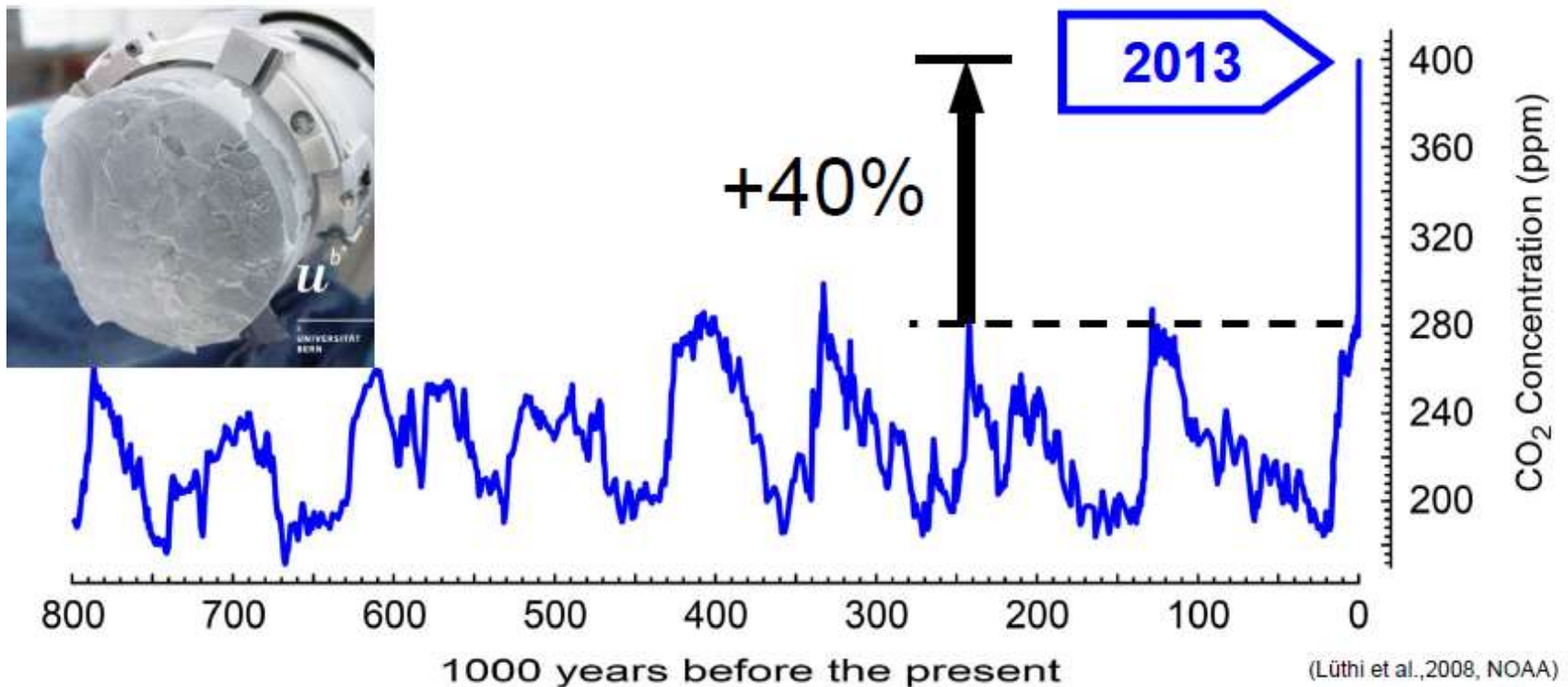
<https://www.youtube.com/watch?v=x1SgmFa0r04>

Plan de session

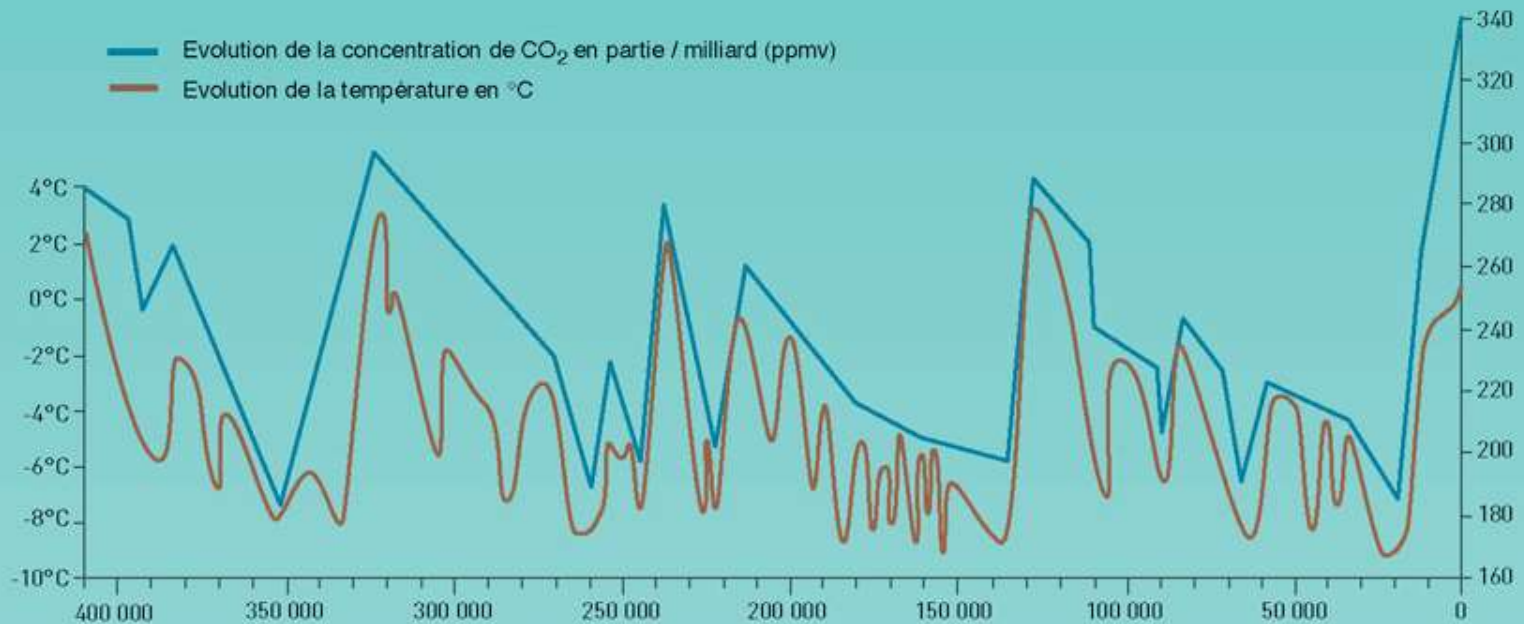
- Le GIEC c'est quoi ?
- L'effet de serre c'est quoi ?
- Le forçage c'est quoi ?
- **Observation : les changements sont visibles**
- Où va le carbone, où va la chaleur?
- Une attribution de plus en plus certaine
- Le réchauffement est fonction directe du budget
- Mais alors, quel scénario pour quelle température?

- Les changements sont observés et mesurés
- Ils sont sans équivoque

Les concentrations atmosphériques atteignent des niveaux sans précédents depuis au moins 800 000 ans

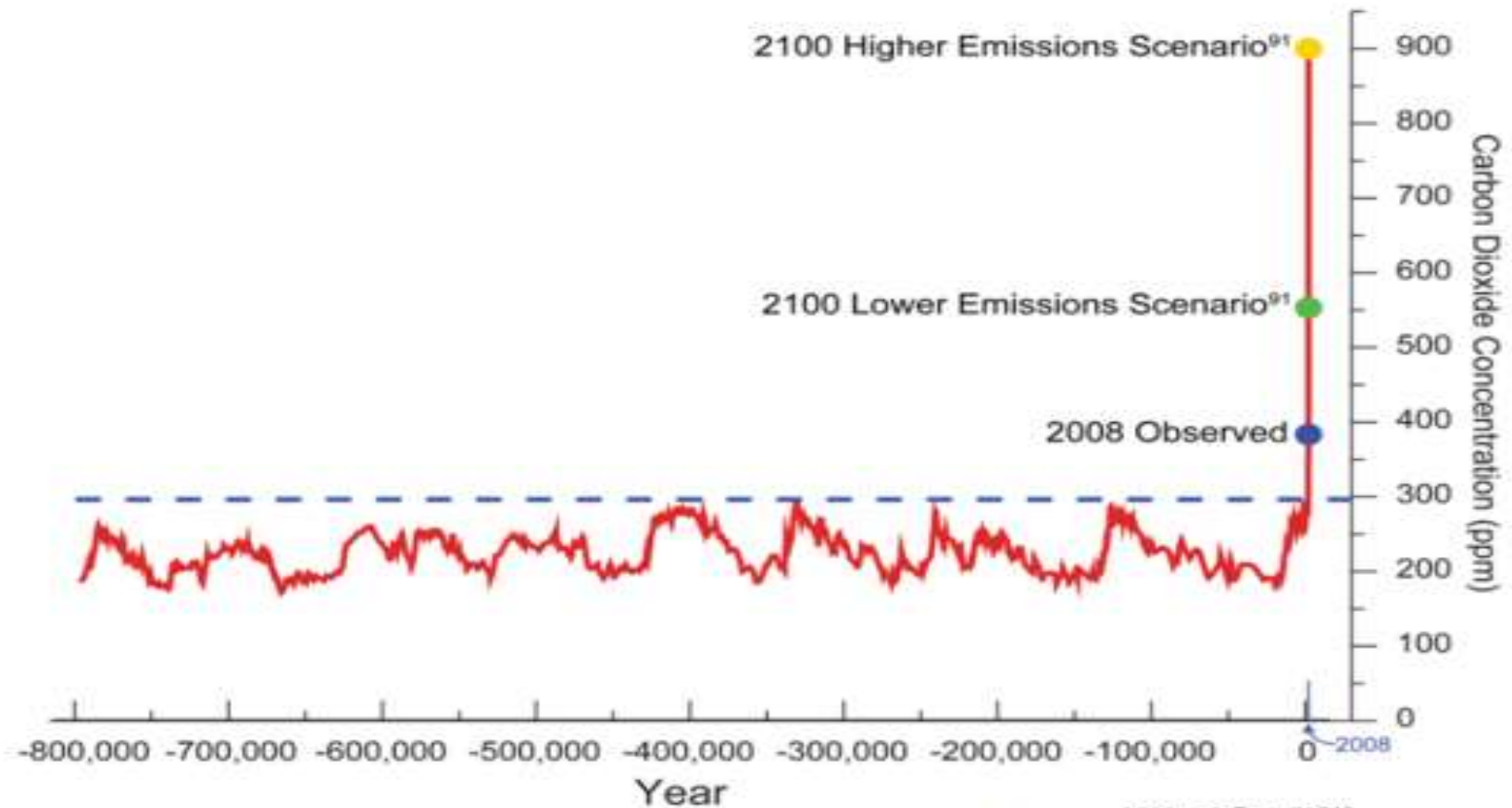


Un thermomètre atomique qui nous fait remonter le passé : les bulles d'air associées à la glace des carottes. (d'après une diapo source RAC-F). Deux paramètres sont mesurés : température de formation de la glace et composition de l'atmosphère.



La concentration est sans équivoque

Atmospheric CO₂ over the last 800000 years



Lüthi et al.; Tans; IIASA²

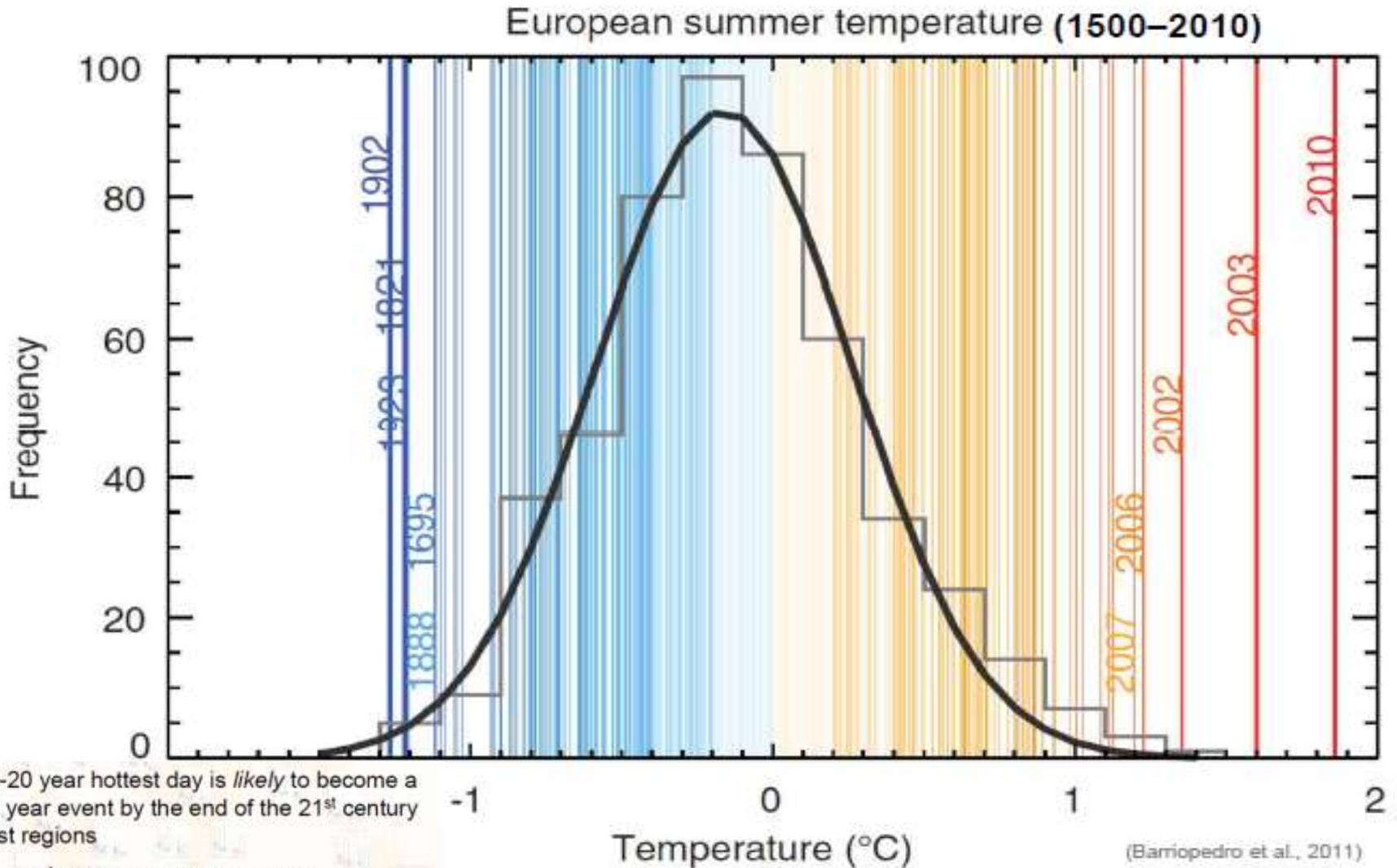
U.S. Global Change Research Program: Lüthi et al.; Tans; IIASA²



Les évènements extrêmes observés ne sont plus dans les variations naturelles historiques

Par exemple, incendies (Californie, Australie), pluies diluviennes, nombre de canicules sortent du cadre observé dans le passé...

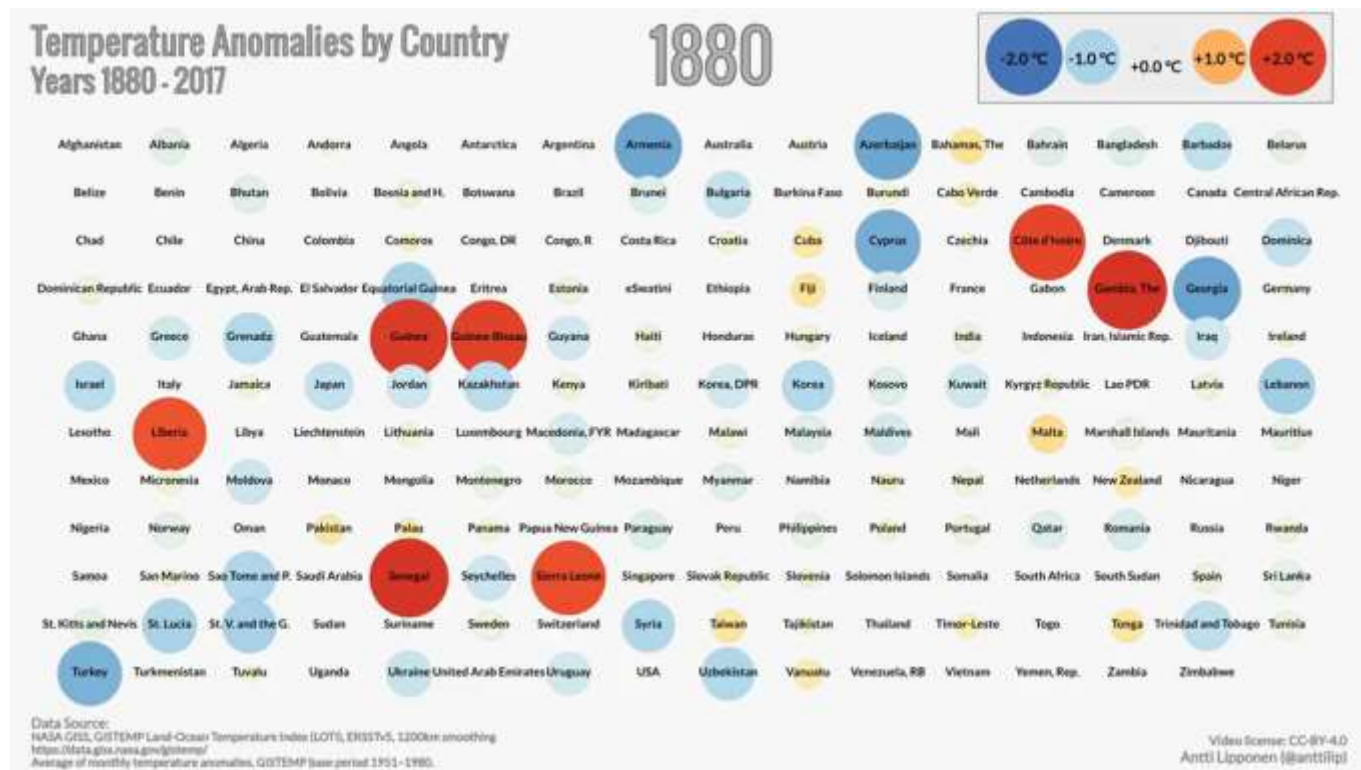
Une fréquence d'évènements extrêmes décuplée, une certitude que ce n'est plus « naturel » mais aussi l'absence de records de froid depuis longtemps



Les anomalies constatées

<https://www.youtube.com/watch?v=PhbdyNnUliM>

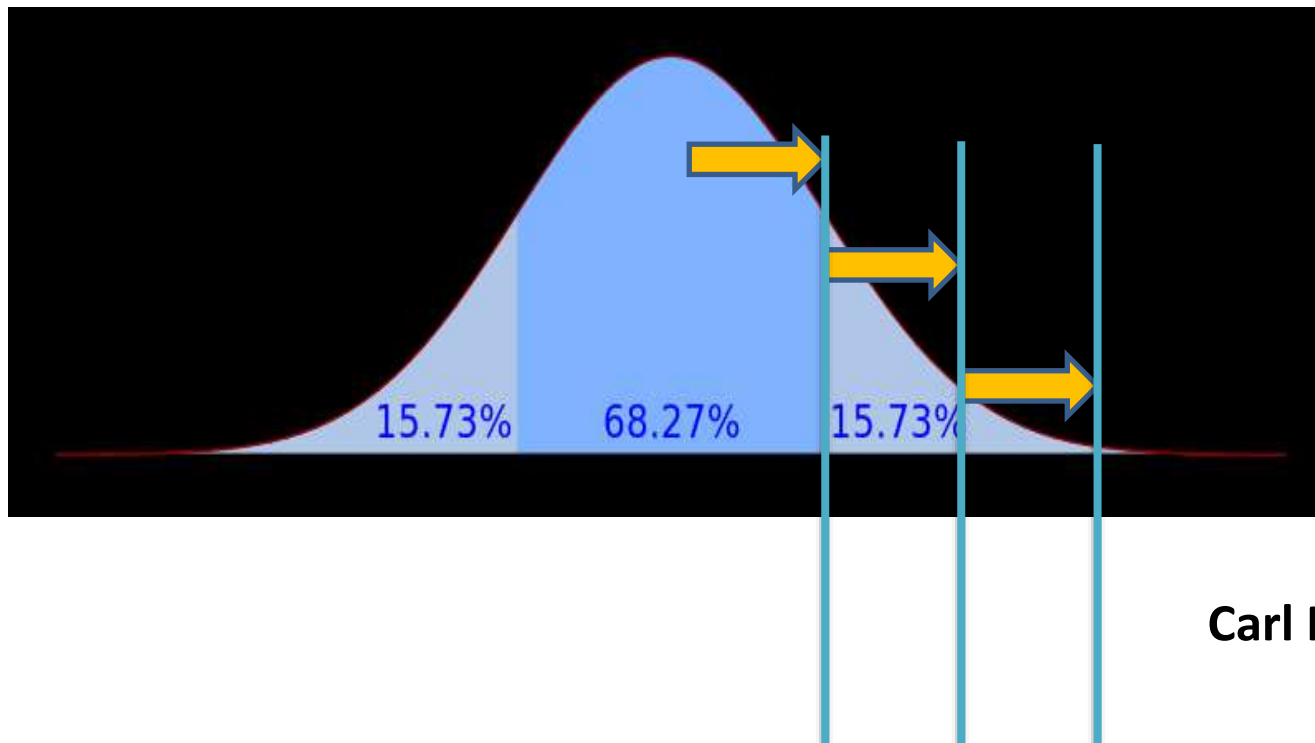
Vu en nombre de pays



La normale, c'est quoi?

La « courbe en cloche » visualise une distribution dite normale.

Elle définit des valeurs « centrales » et des valeurs « marginales »
68 % des valeurs sont dans l'intervalle entre les deux σ (reste 32%)
95 % d'entre elles sont dans l'intervalle de $\sigma \times 2$ (reste 5%) ;
99,7 % d'entre elles sont dans l'intervalle $\sigma \times 3$ (reste 0,3%)

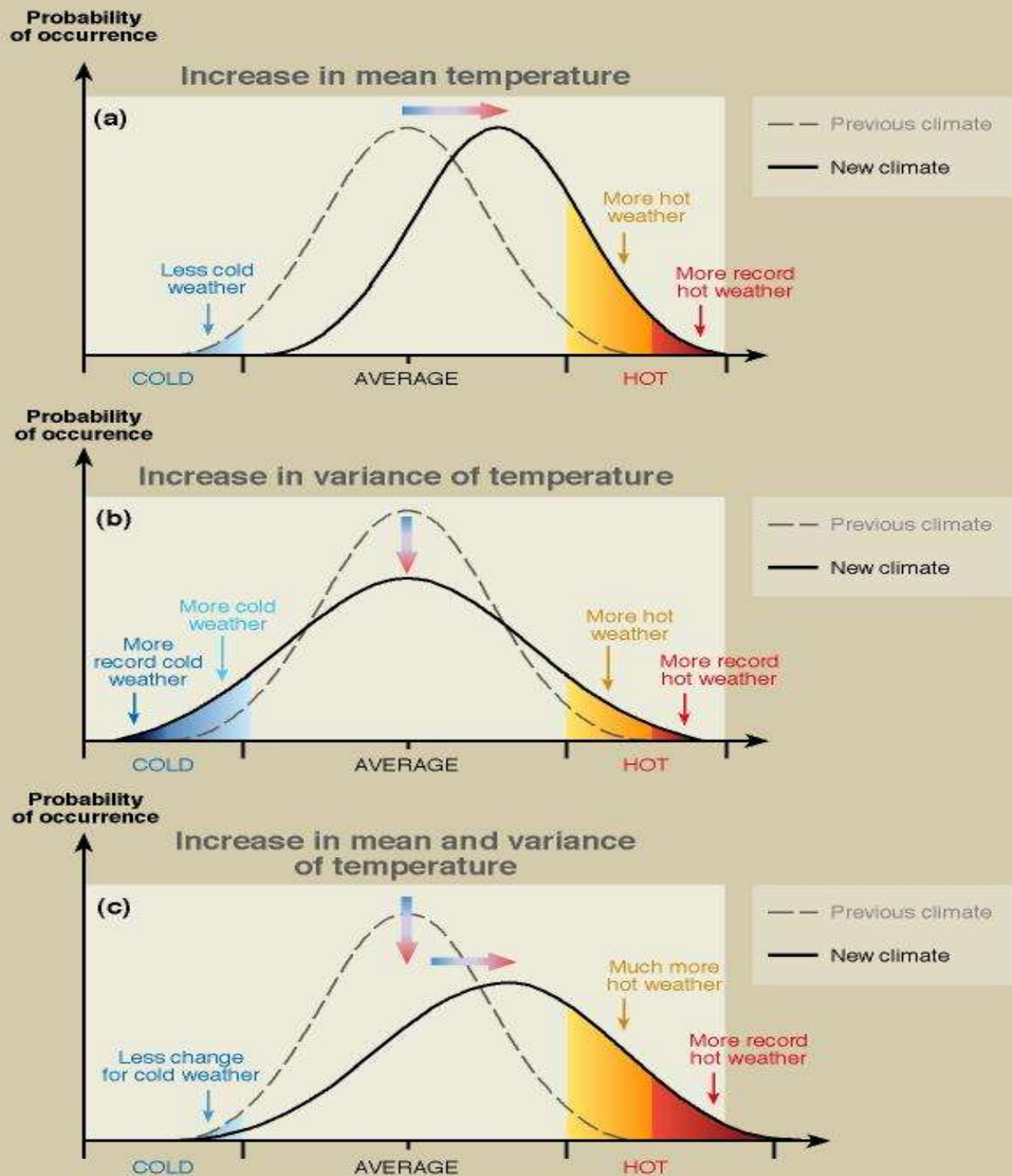


Carl Friedrich Gauss 1777-1855



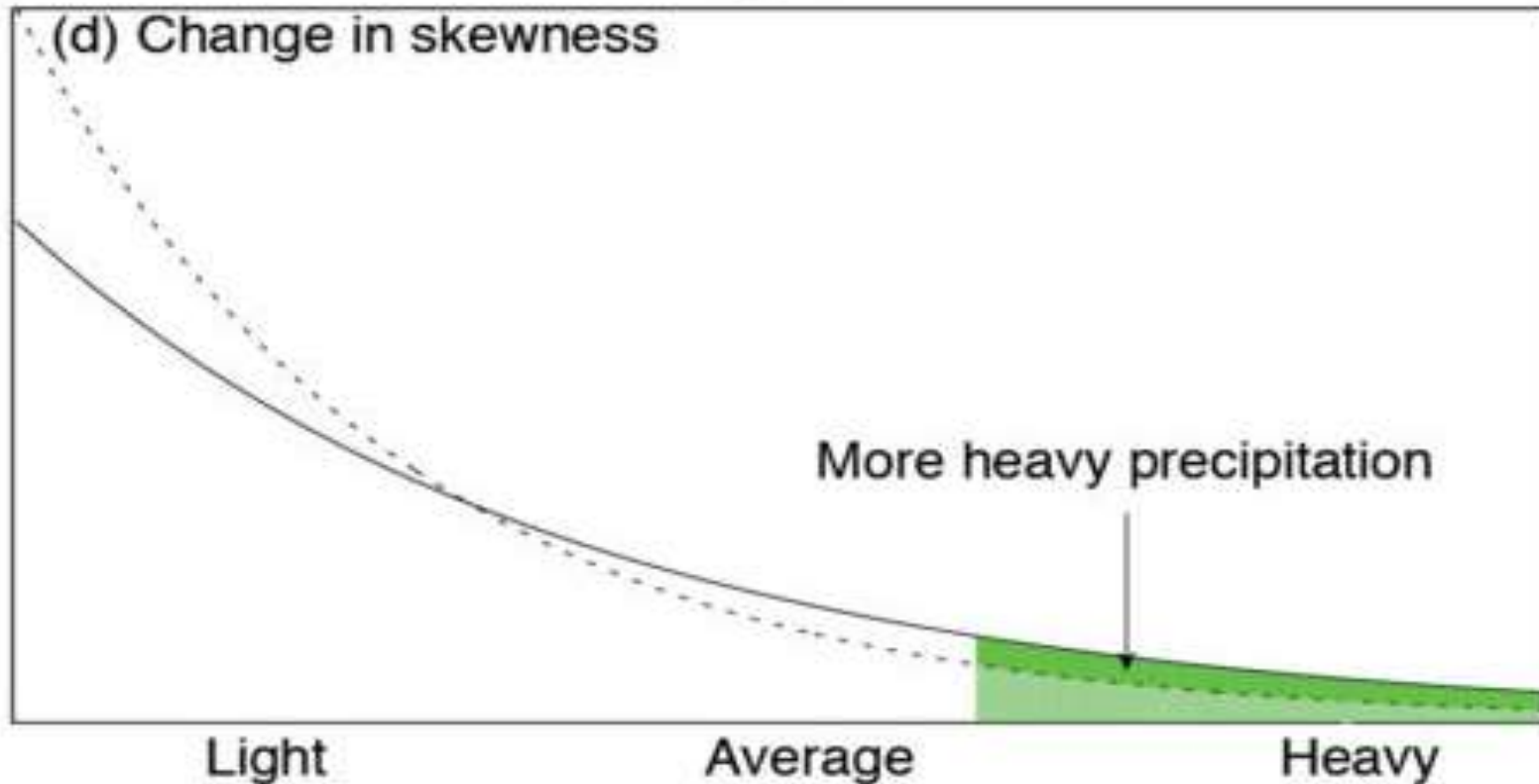
Le réchauffement amène une multiplication des phénomènes extrêmes et l'apparition (en rouge) d'évènements inédits.

Ceci quelle que soit la distribution des nouvelles configurations des températures ou des intempéries (GIEC AR5)



Une asymétrie peut aussi être observée, c'est le cas pour certaines précipitations (ici AR5)

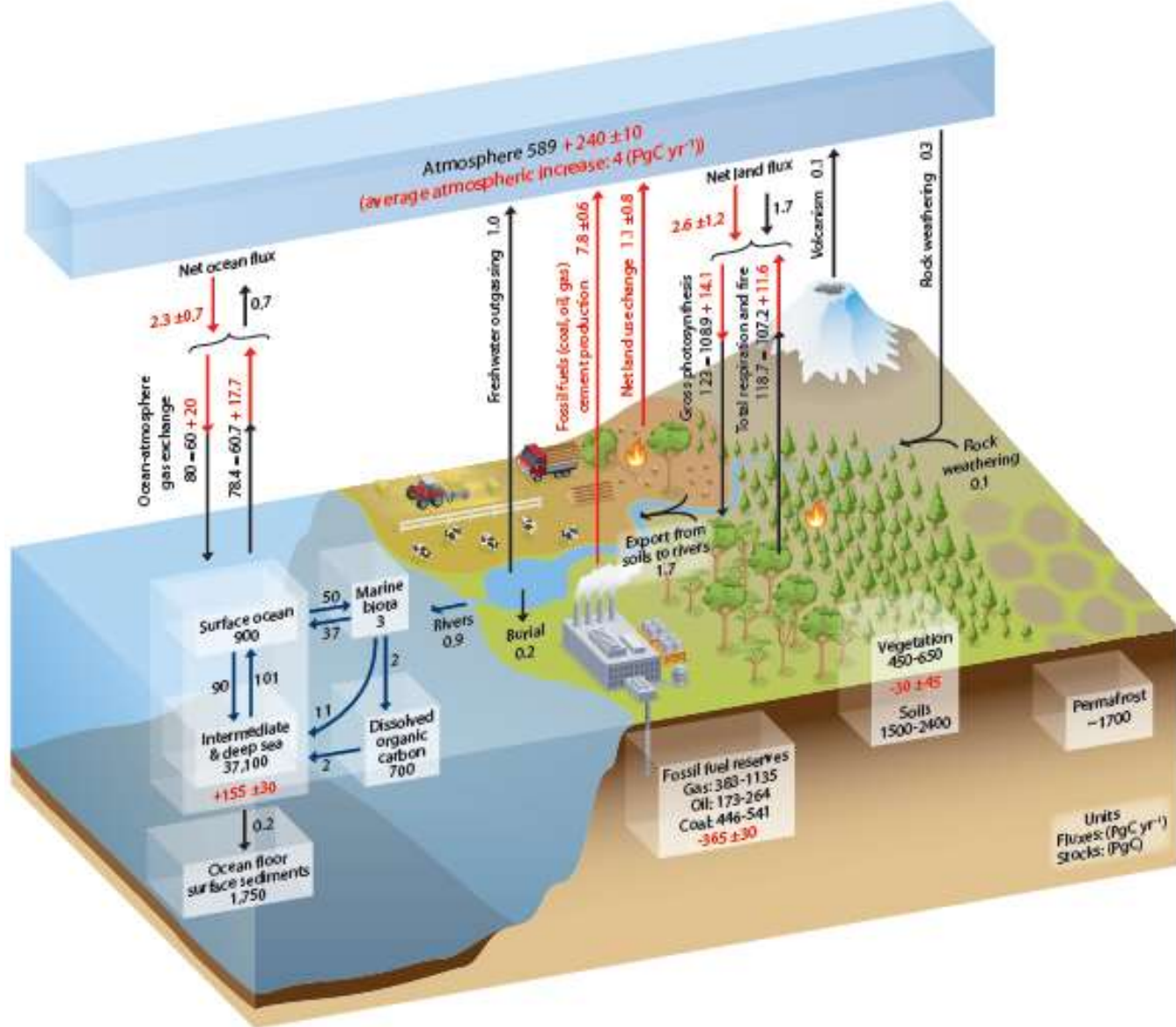
Precipitation



Plan de session

- Le GIEC c'est quoi ?
- L'effet de serre c'est quoi ?
- Le forçage c'est quoi ?
- Observation : les changements sont visibles
- **Où va le carbone, où va la chaleur?**
- Une attribution de plus en plus certaine
- Le réchauffement est fonction directe du budget
- Mais alors, quel scénario pour quelle température?

Le cycle du carbone : de mieux en mieux mesuré



Cycle du méthane de mieux en mieux compris

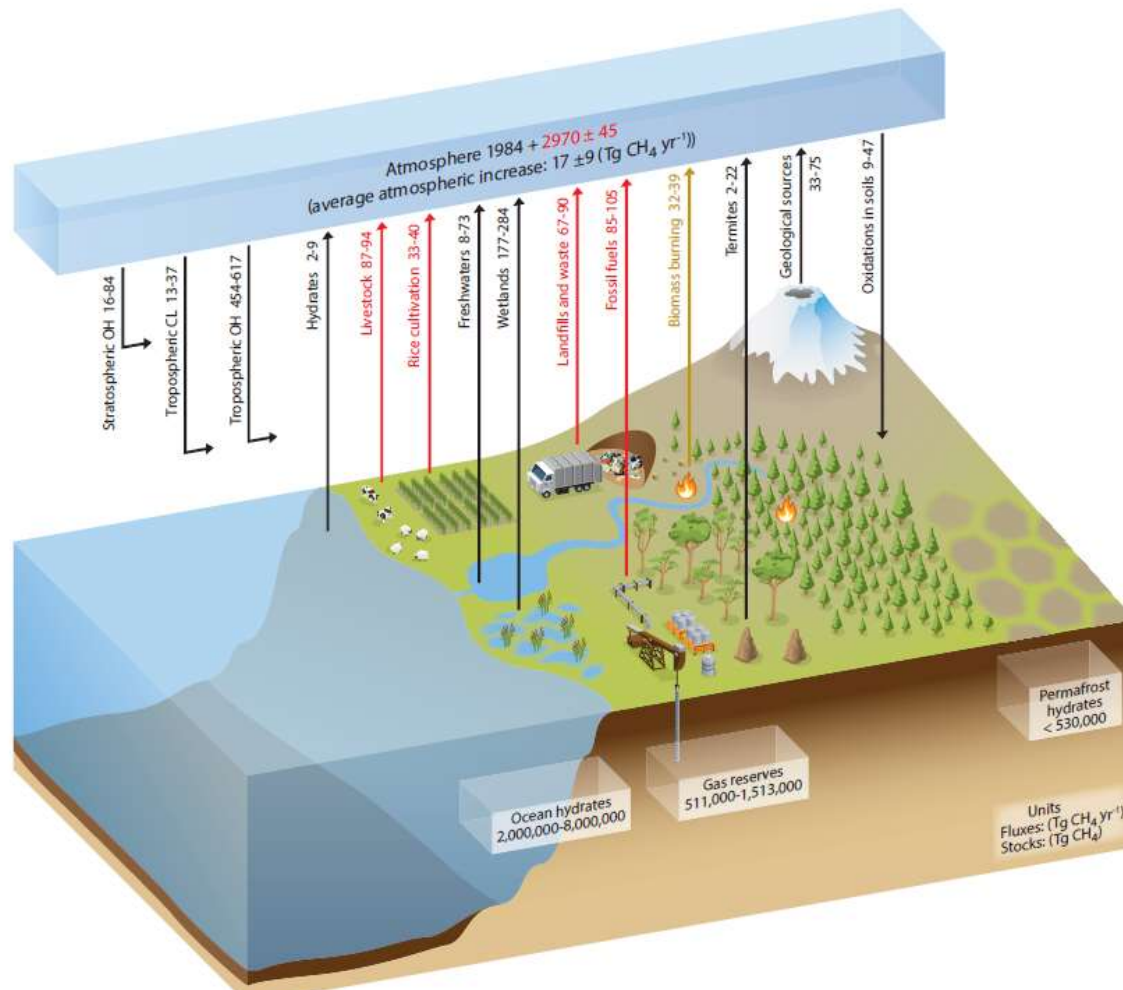


Figure 6.2 | Schematic of the global cycle of CH₄. Numbers represent annual fluxes in Tg(CH₄) yr⁻¹ estimated for the time period 2000–2009 and CH₄ reservoirs in Tg (CH₄) in the atmosphere and three geological reservoirs (hydrates on land and in the ocean floor and gas reserves) (see Section 6.3.3). Black arrows denote “natural” fluxes, that is, fluxes that are not directly caused by human activities since 1750, red arrows anthropogenic fluxes, and the light brown arrow denotes a combined natural + anthropogenic flux. Note that human activities (e.g., land use) may have modified indirectly the global magnitude of the natural fluxes (Section 6.3.3). Ranges represent minimum and maximum values from cited references as given in Table 6.B in Section 6.3.3. Gas reserves are from GEA (2006) and are consistent with numbers used by IPCC WG III for future scenarios. Hydrate reservoir sizes are from Archer et al. (2007). The atmospheric inventories have been calculated using a conversion factor of 2.7476 Tg CH₄ per ppb (Prather et al., 2012). The assumed preindustrial annual mean globally averaged CH₄ concentration was 722 ± 25 ppb taking the average of the Antarctic Law Dome ice core observations (MacFarling-Meuser et al., 2006) and the measurements from the GRIP ice core in Greenland (Kunzi et al., 1995; see also Table 2.1). The atmospheric inventory in the year 2011 is based on an annual globally averaged CH₄ concentration of 1803 ± 4 ppb in the year 2011 (see Table 2.1). It is the sum of the atmospheric increase between 1750 and 2011 (in red) and of the pre-industrial inventory (in black). The average atmospheric increase each year, also called growth rate, is based on a measured concentration increase of 2.2 ppb yr⁻¹ during the time period 2000–2009

Où va le carbone absorbé? Dans l'océan...

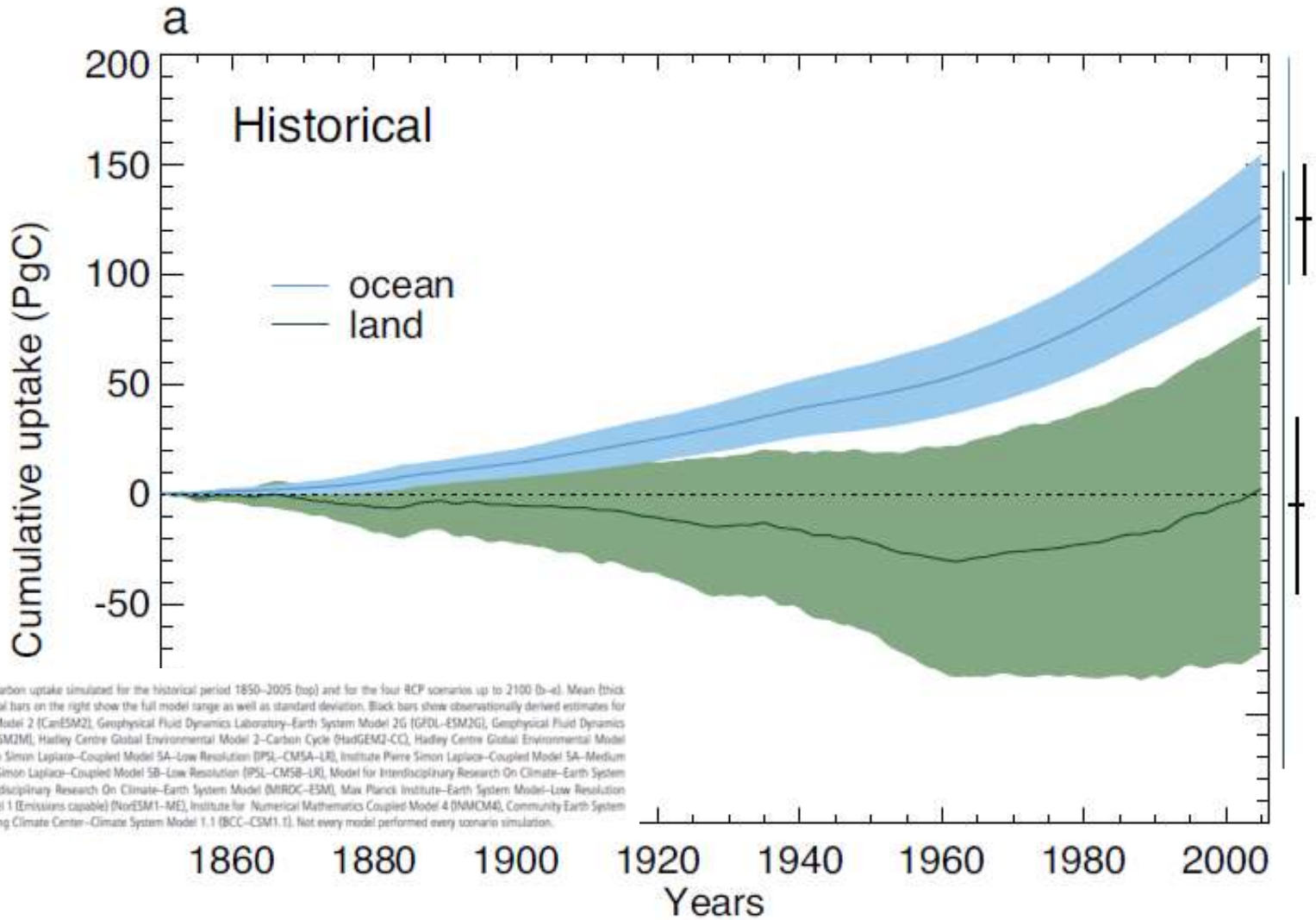
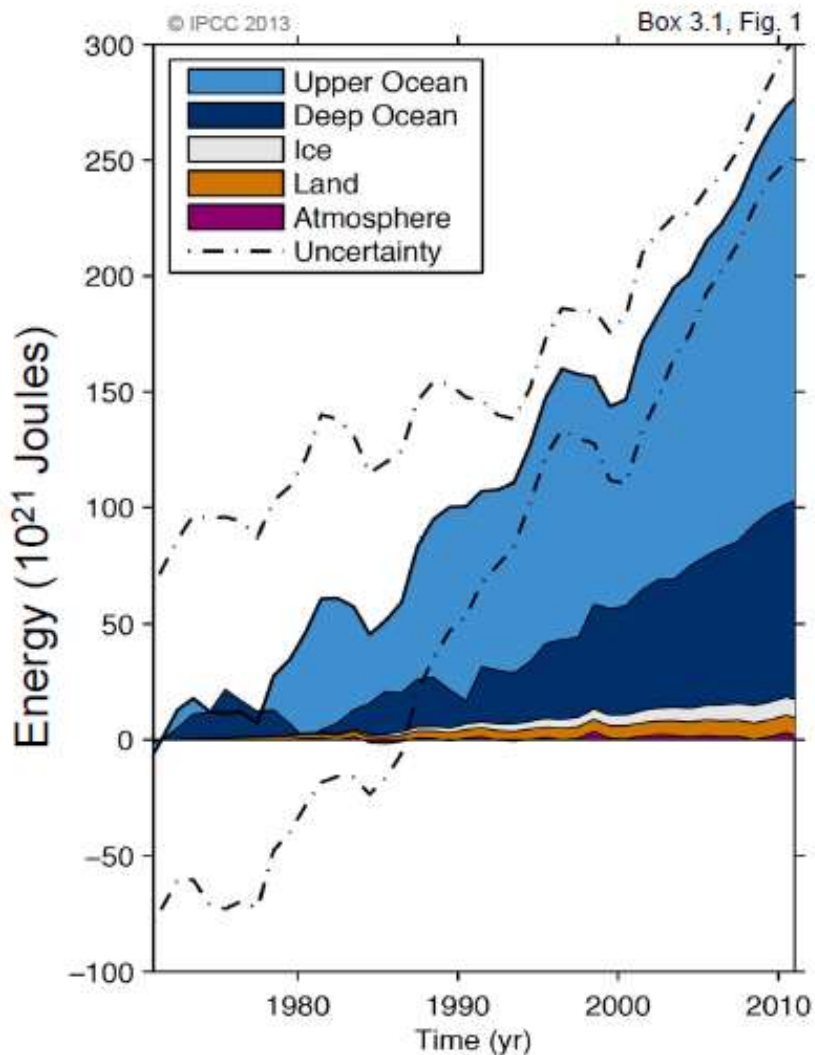


Figure 6.24 | Cumulative land and ocean carbon uptake simulated for the historical period 1850–2005 (top) and for the four RCP scenarios up to 2100 (b–d). Mean (thick line) and 1 standard deviation (shaded). Vertical bars on the right show the full model range as well as standard deviation. Black bars show observationally derived estimates for 2005. Models used: Canadian Earth System Model 2 (CanESM2), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory–Earth System Model 2G (GFDL-ESM2G), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory–Earth System Model 2M (GFDL-ESM2M), Hadley Centre Global Environmental Model 2–Carbon Cycle (HadGEM2-CC), Hadley Centre Global Environmental Model 2–Earth System (HadGEM2-ES), Institute Pierre Simon Laplace–Coupled Model 5A–Low Resolution (IPSL-CM5A-LR), Institute Pierre Simon Laplace–Coupled Model 5A–Medium Resolution (IPSL-CM5A-MR), Institute Pierre Simon Laplace–Coupled Model 5B–Low Resolution (IPSL-CM5B-LR), Model for Interdisciplinary Research On Climate–Earth System Model (MIROC-ESM-CHEM), Model for Interdisciplinary Research On Climate–Earth System Model (MIROC-ESM), Max Planck Institute–Earth System Model–Low Resolution (MPI-ESM-LR), Norwegian Earth System Model 1 (Emissions capable) (NorESM1-ME), Institute for Numerical Mathematics Coupled Model 4 (INMCM4), Community Earth System Model 1–Biogeochemical (CESM1-BGC), Beijing Climate Center–Climate System Model 1.1 (BCC-CSM1.1). Not every model performed every scenario simulation.

Où va la chaleur?

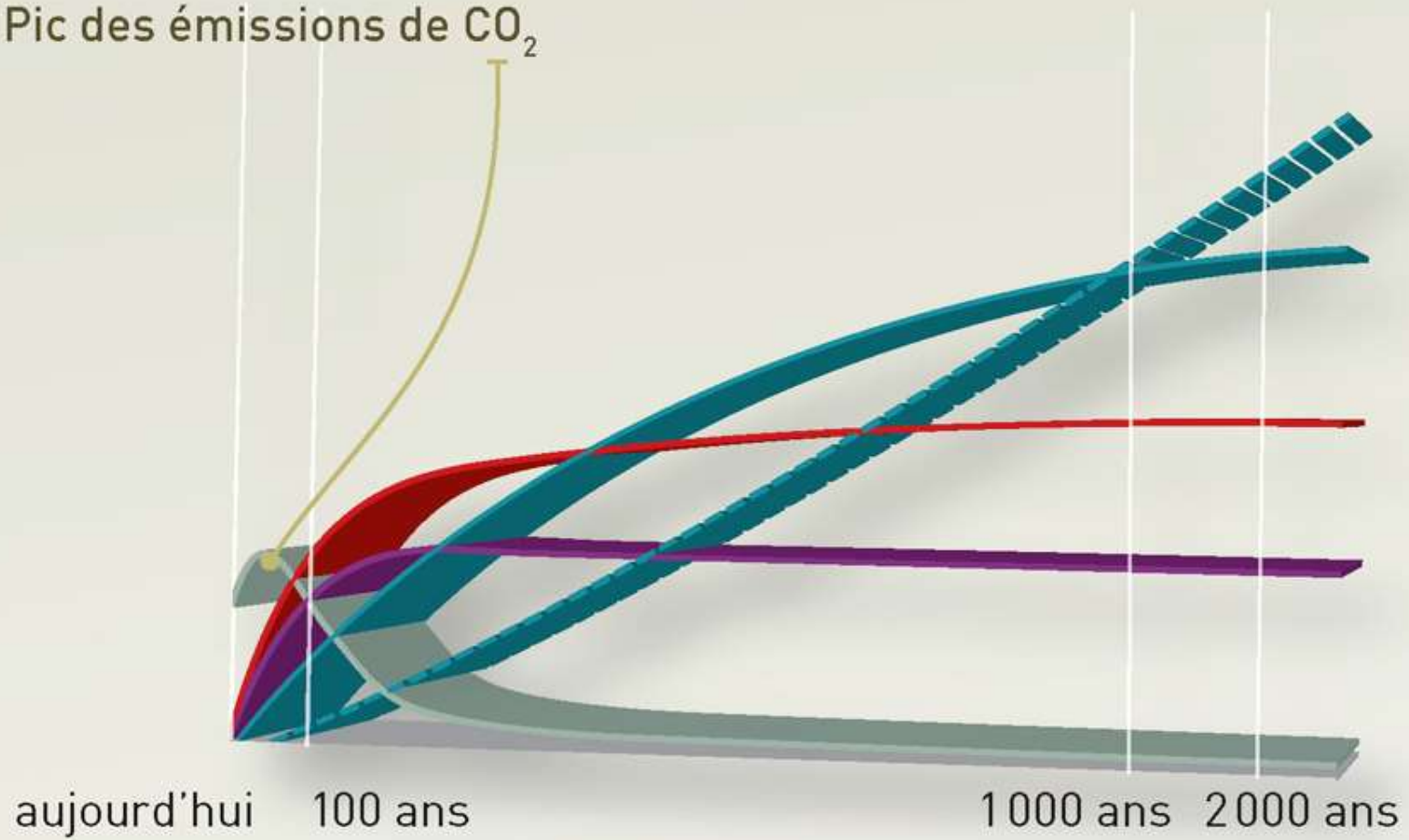


L'océan absorbe la plus grande partie de l'énergie et accumule plus de 90% de la chaleur excédentaire entre 1971 et 2010
[high confidence] GIEC AR5

Inertie des systèmes climatiques

Temps nécessaire pour parvenir à l'équilibre

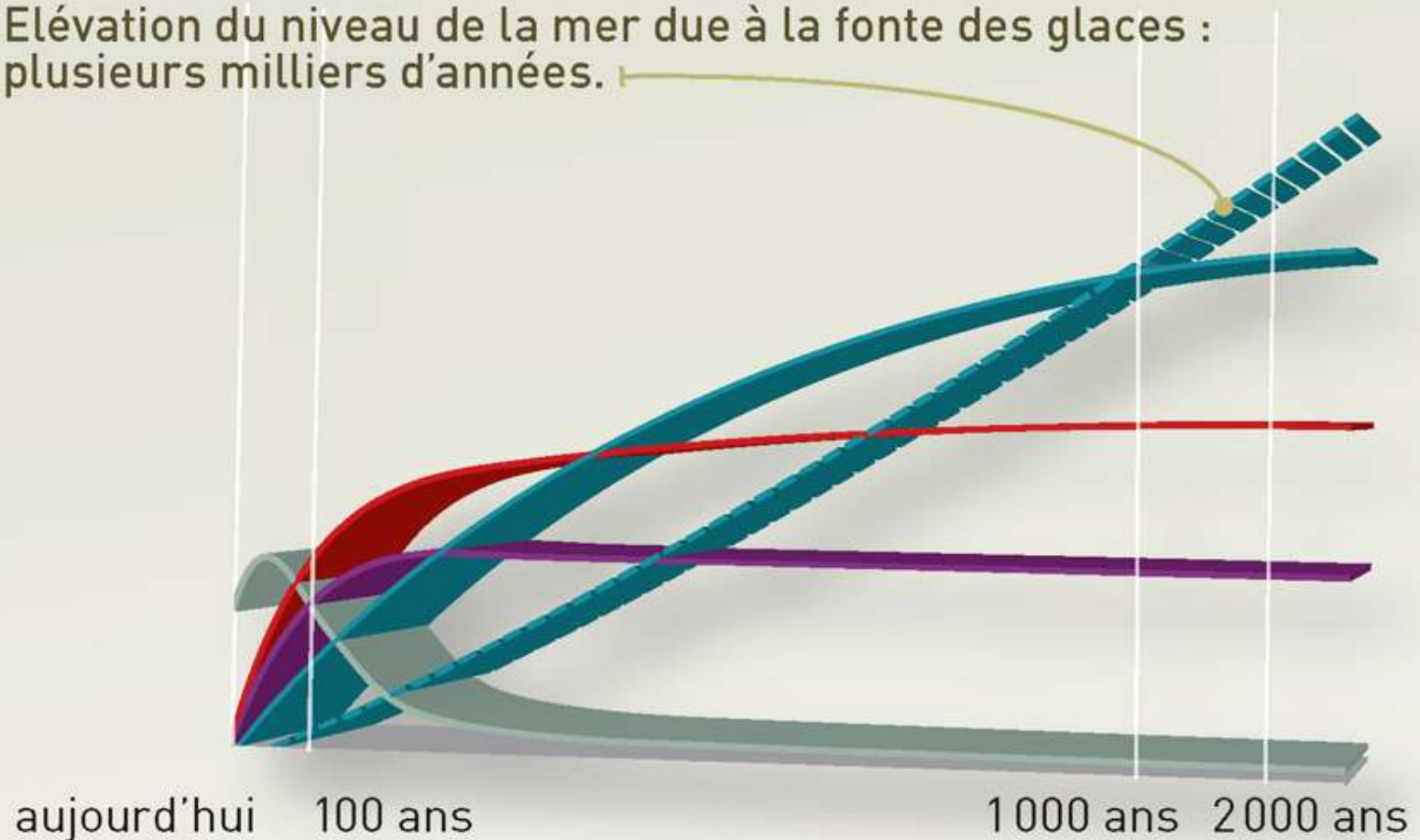
Pic des émissions de CO₂



Inertie des systèmes climatiques

Temps nécessaire pour parvenir à l'équilibre

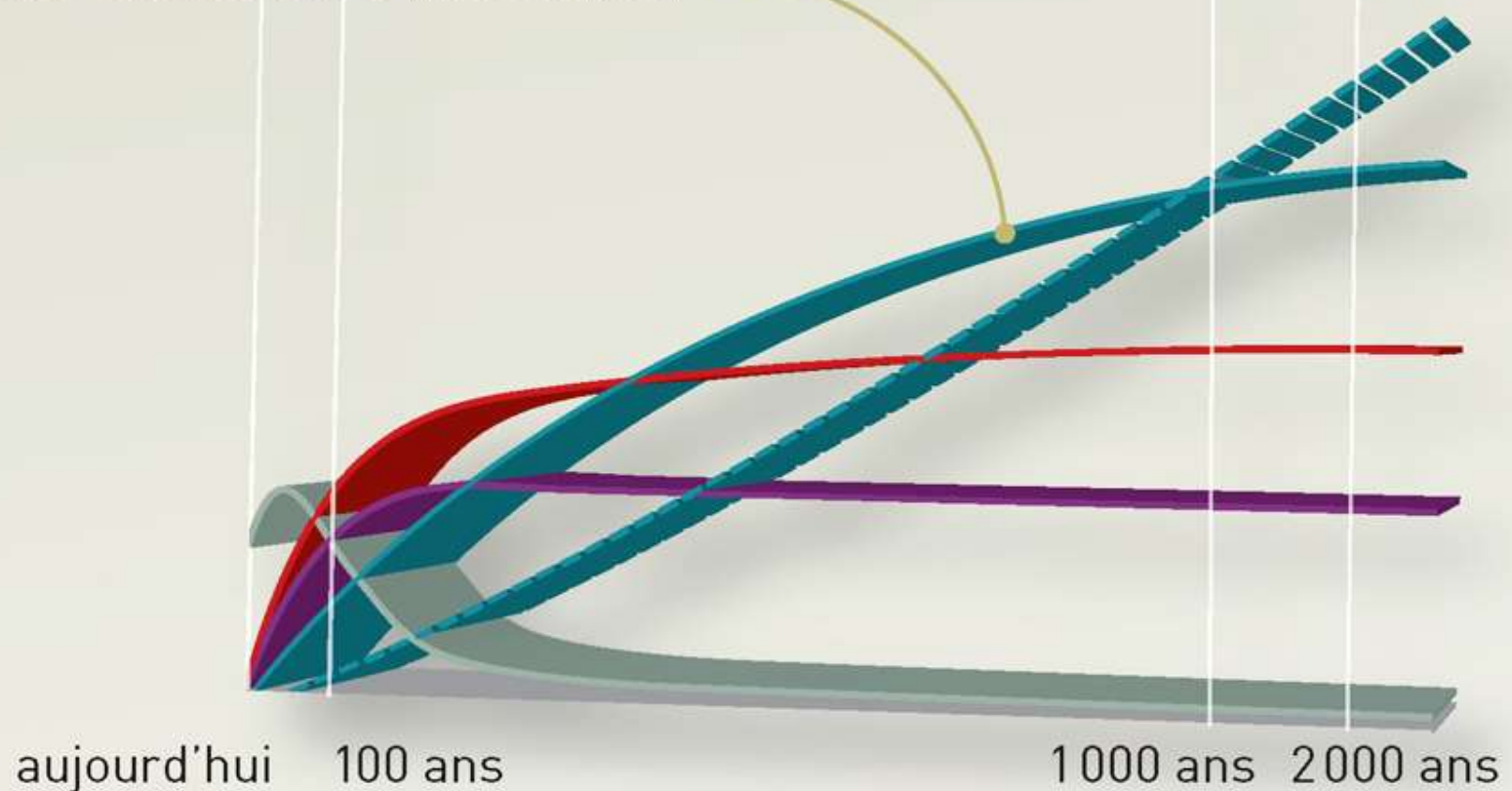
Elévation du niveau de la mer due à la fonte des glaces : plusieurs milliers d'années.



Inertie des systèmes climatiques

Temps nécessaire pour parvenir à l'équilibre

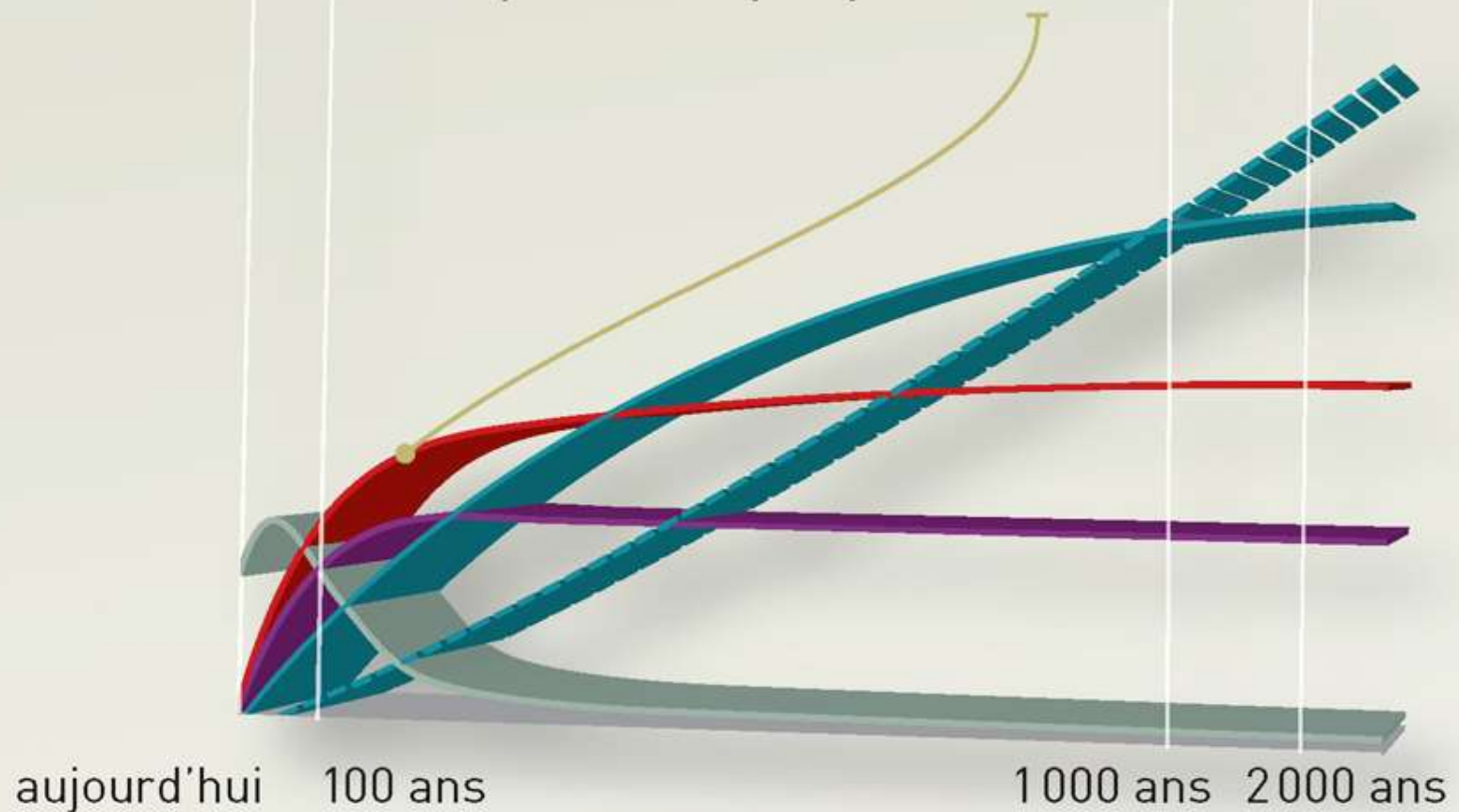
Elévation du niveau de la mer due à la dilatation thermique :
des siècles à des millénaires.



Inertie des systèmes climatiques

Temps nécessaire pour parvenir à l'équilibre

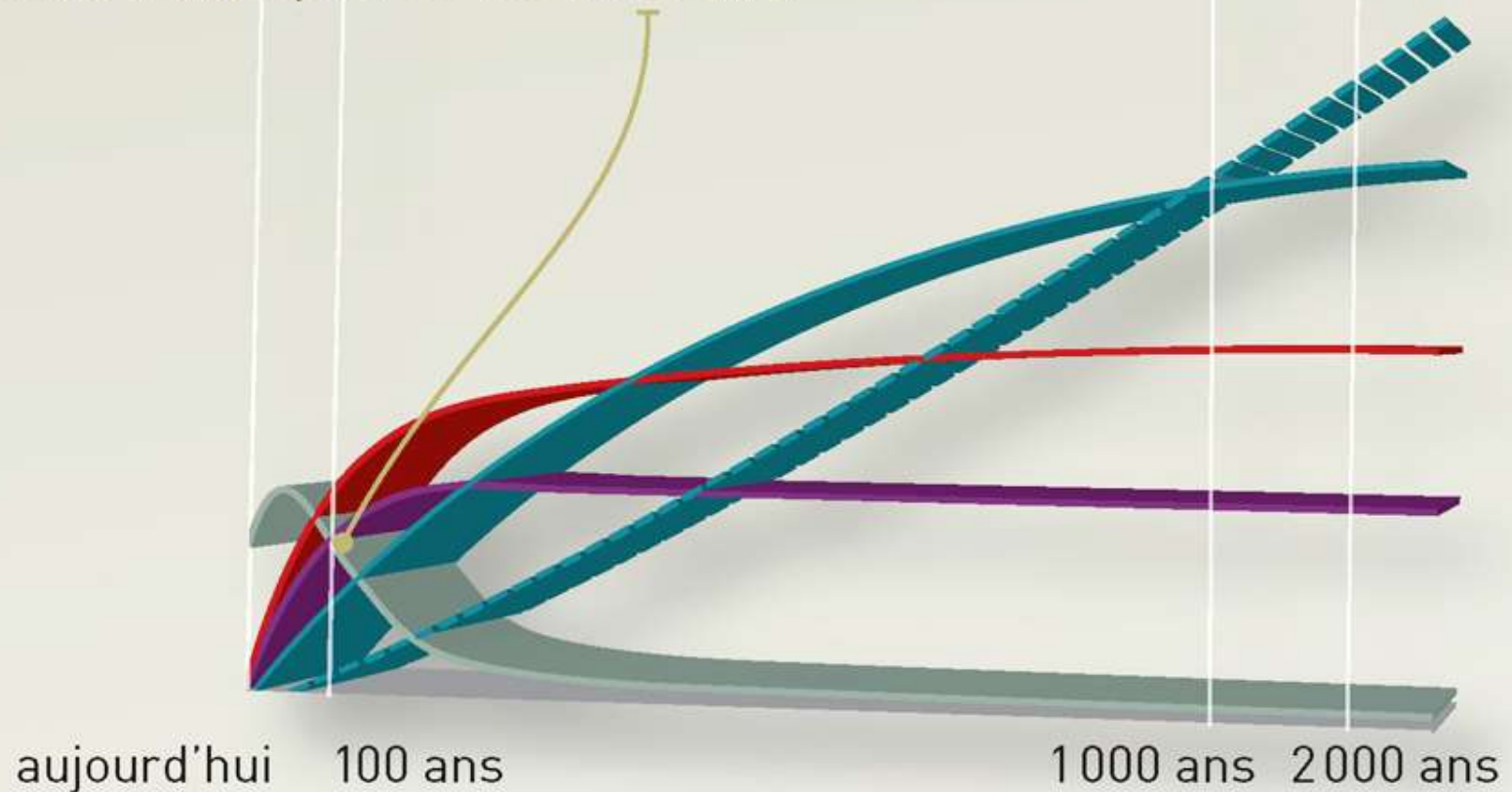
Stabilisation de la température : quelques siècles.



Inertie des systèmes climatiques

Temps nécessaire pour parvenir à l'équilibre

Stabilisation de la concentration du CO₂
dans l'atmosphère : 100 à 300 ans.



Plan de session

- Le GIEC c'est quoi ?
- L'effet de serre c'est quoi ?
- Le forçage c'est quoi ?
- Observation : les changements sont visibles
- Où va le carbone, où va la chaleur?
- **Une attribution de plus en plus certaine**
- Le réchauffement est fonction directe du budget
- Mais alors, quel scénario pour quelle température?

L'attribution des changements à l'homme devient certaine

- “It is extremely likely that human influence has been the dominant cause of the observed warming since the mid 20th century”,
résumé pour décideurs du 5^{ème} rapport du GIEC

L'attribution du changement climatique à l'homme d'un rapport du GIEC à l'autre

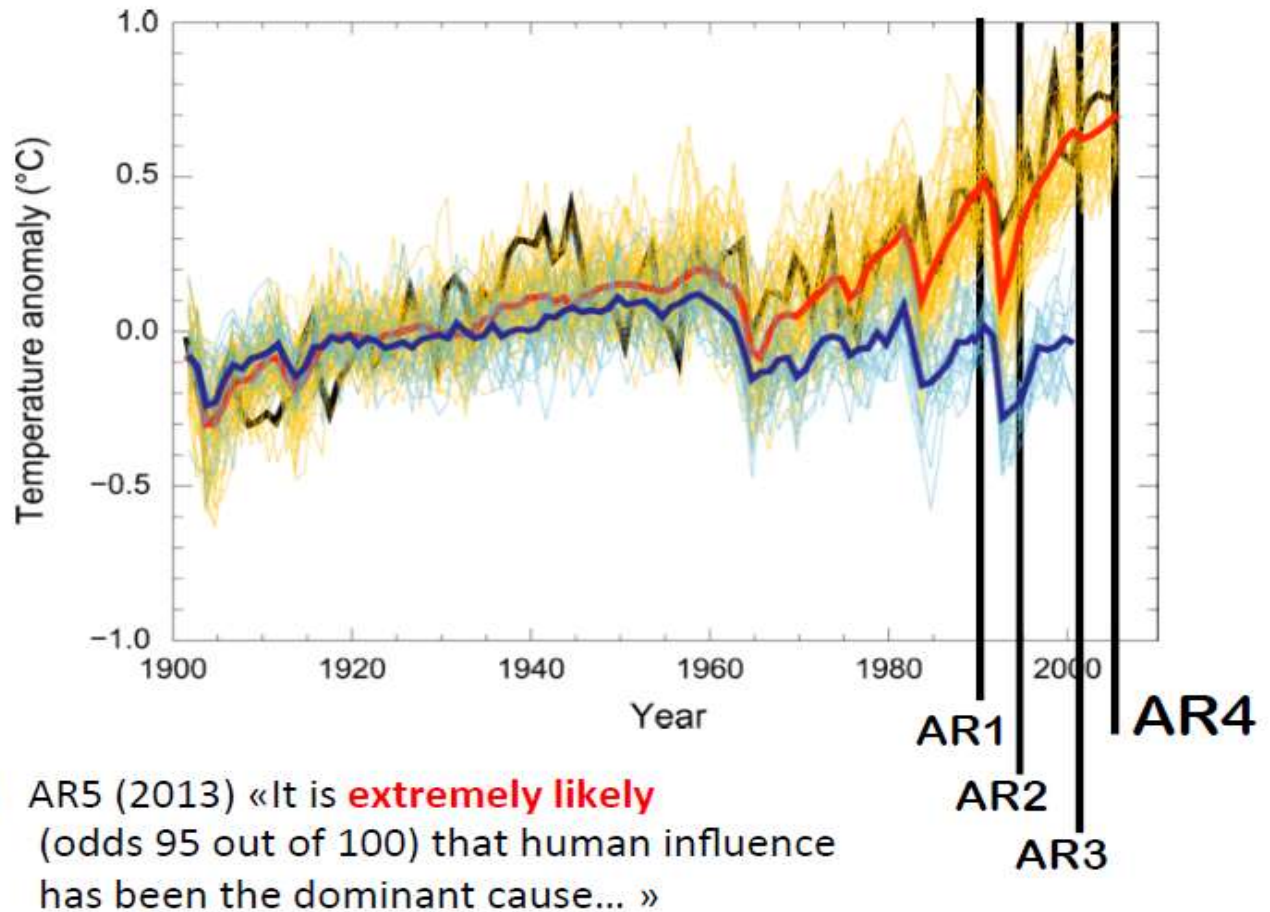
A Progression of Understanding: Greater and Greater Certainty in Attribution

AR1 (1990):
“unequivocal detection
not likely for a decade”

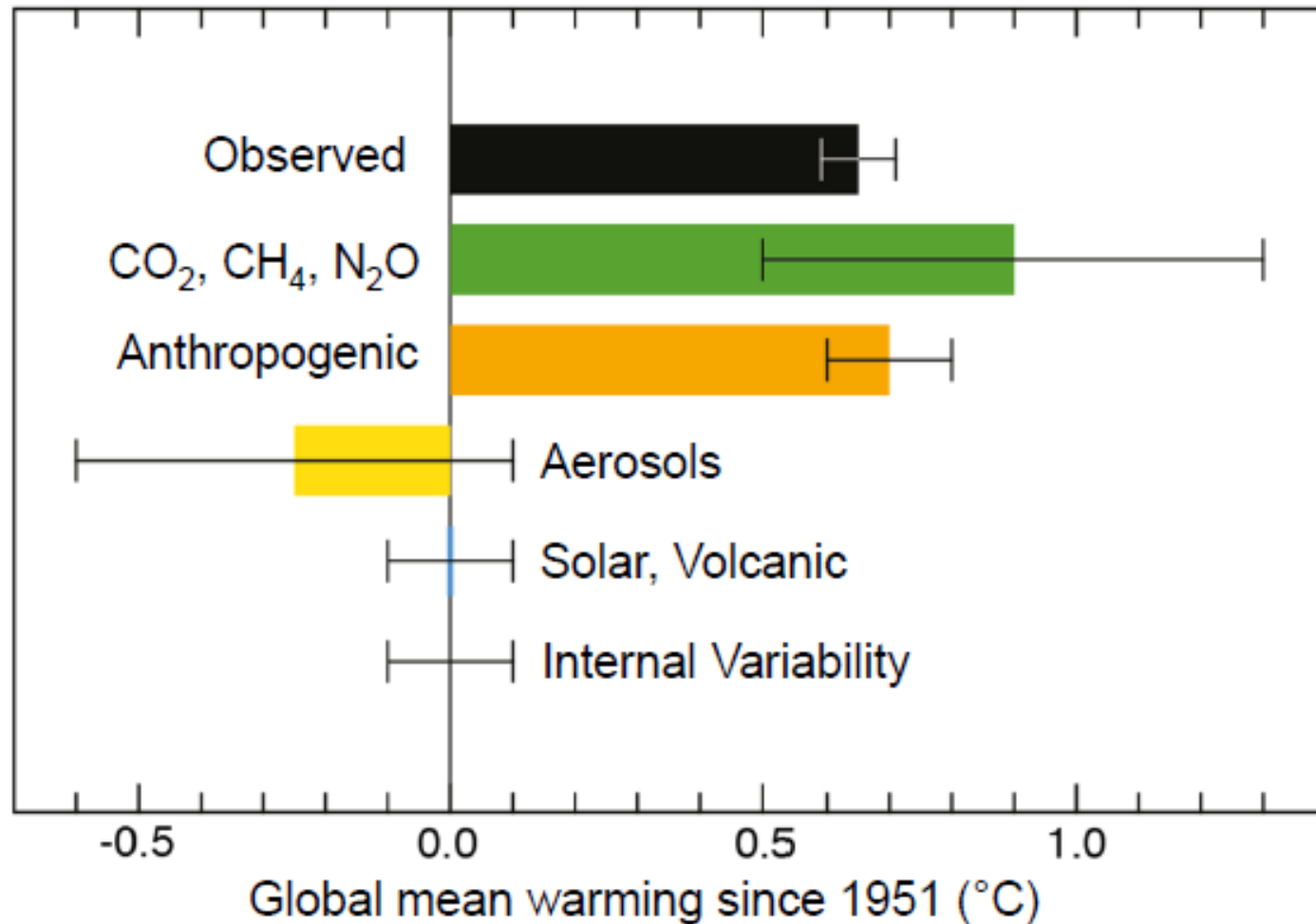
AR2 (1995): “balance
of evidence suggests
discernible human
influence”

AR3 (2001): “most of
the warming of the
past 50 years is **likely**
(odds 2 out of 3) due
to human activities”

AR4 (2007): “most of
the warming is **very
likely** (odds 9 out of 10)
due to greenhouse
gases”



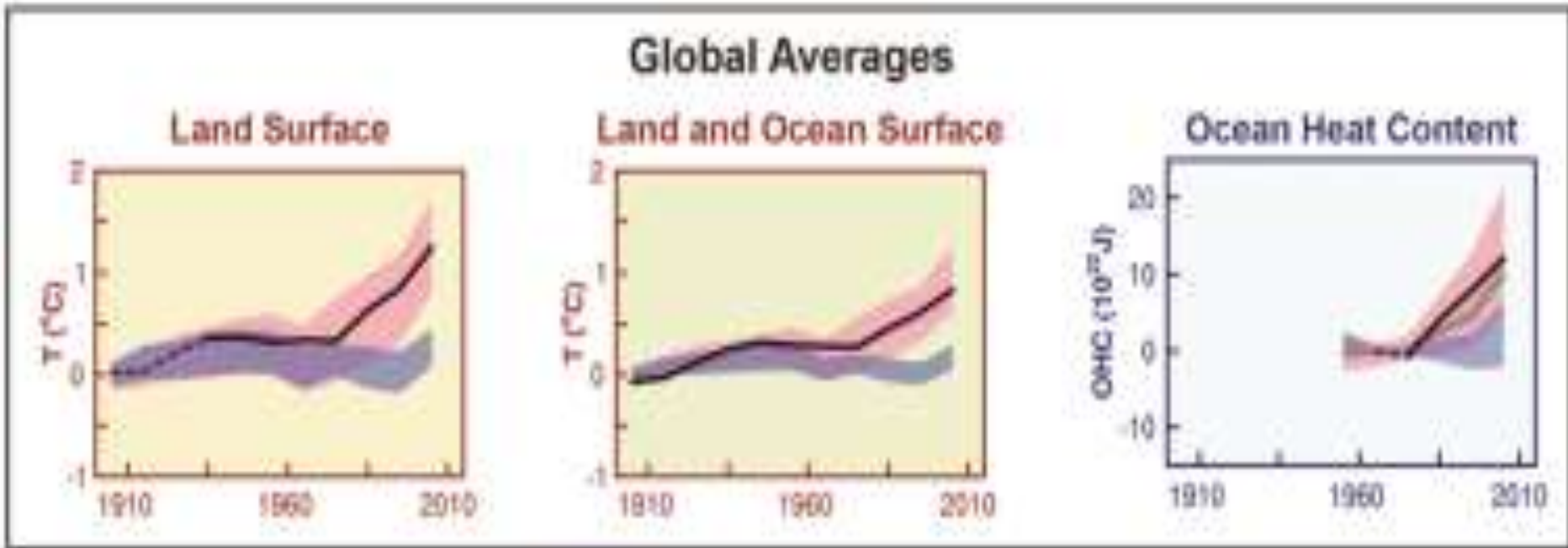
La responsabilité écrasante de l'homme dans l'augmentation de la température



© IPCC 2013

Fig. TS.10

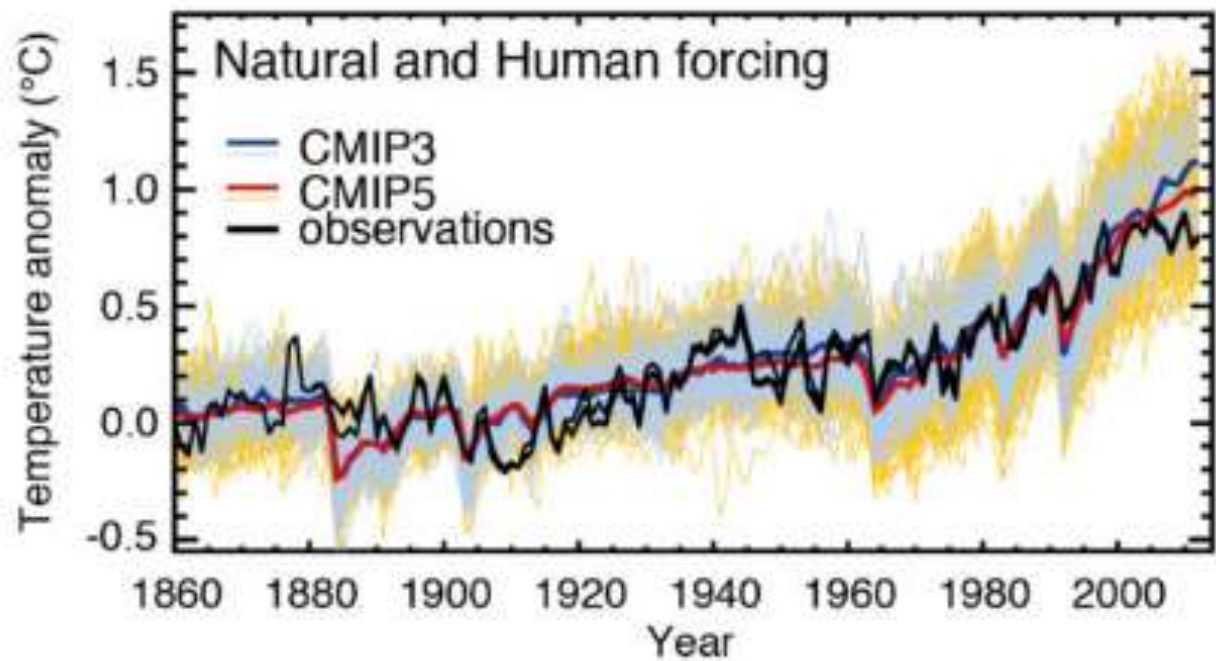
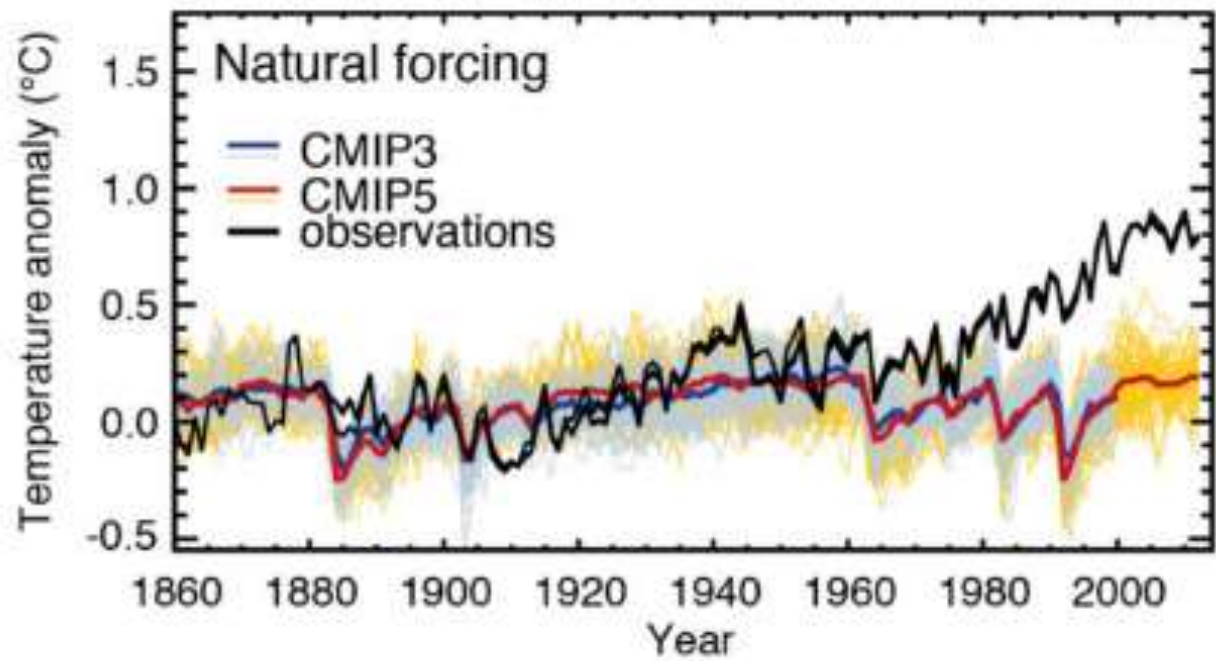
L'attribution est sans équivoque, avec ou sans forçage dans les modèles



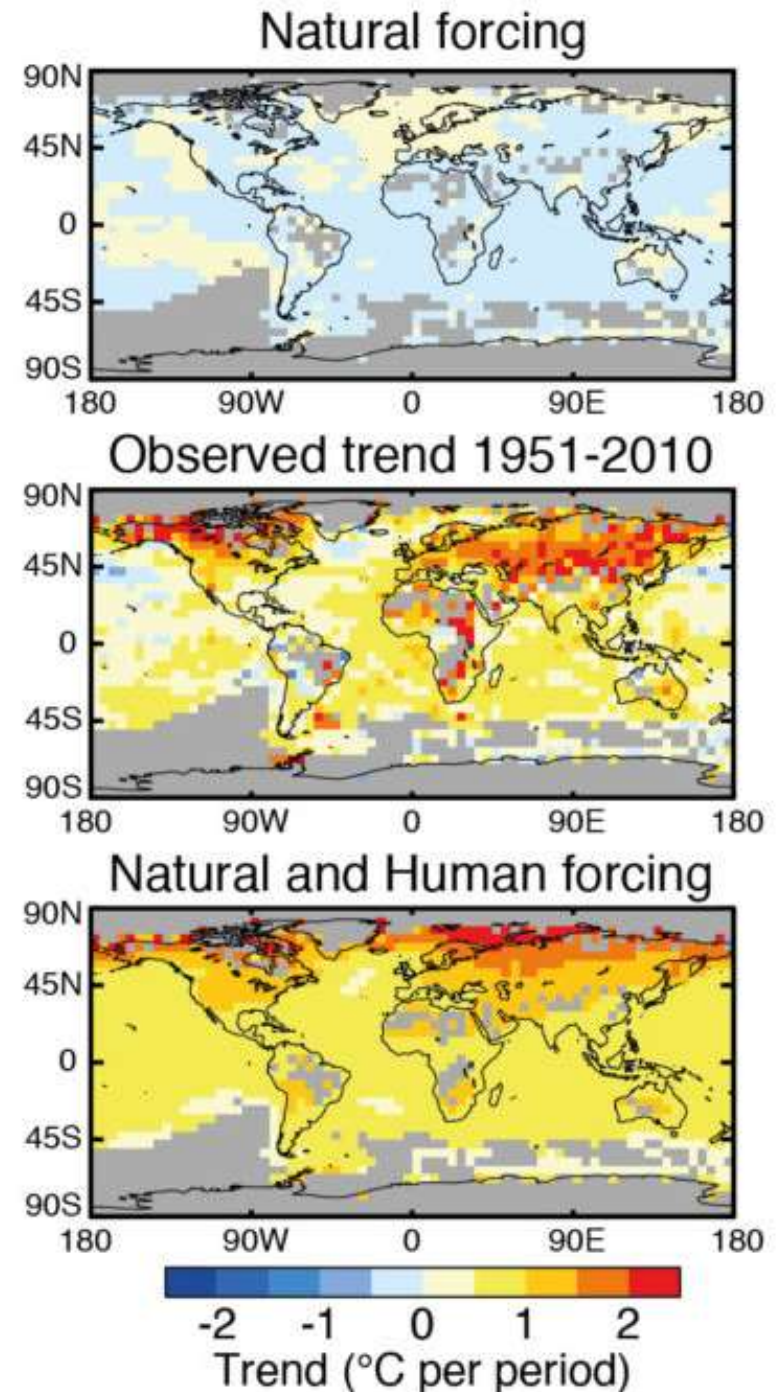
— Observations

■ Models using only natural forcings

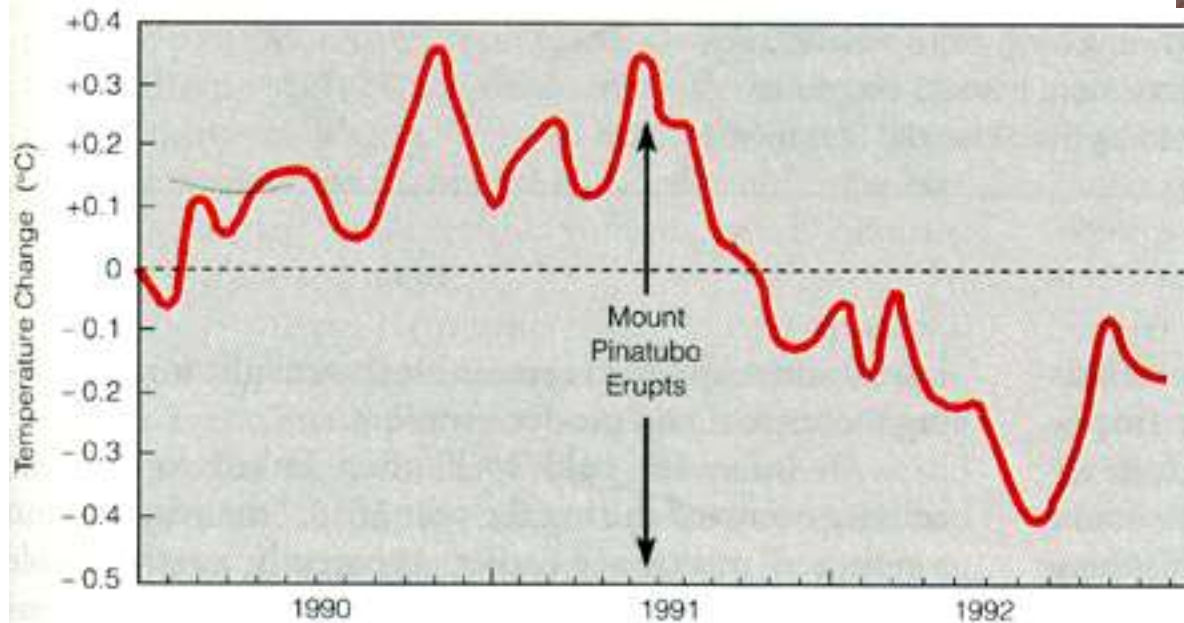
■ Models using both natural and anthropogenic forcings



La répartition géographique est aussi assez convaincante



**Eruptions volcaniques:
Preuves de la réponse rapide
du climat à un forçage
Elles ont permis d'intégrer les
aérosols dans les modèles**

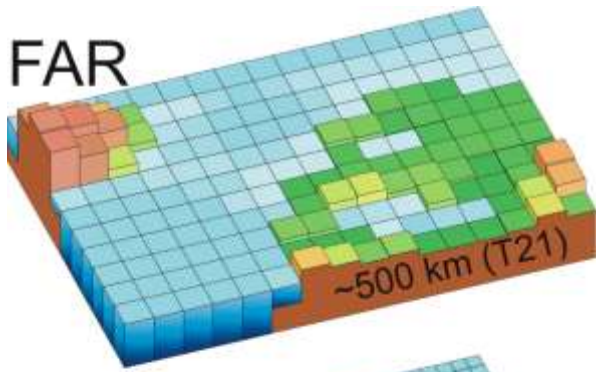


Des modèles en forte progression pour représenter le système terrestre

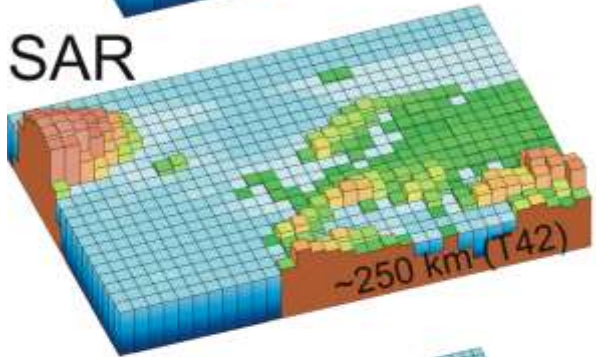
- Une progression des échelles de représentation géographique maillée sur le globe (FAR= premier rapport du GIEC, SAR le second... AR6 le sixième)
- Des fonctions de plus en plus détaillées et bouclées entre elles : océans, forêt, chimie de l'atmosphère
- La connexion avec les données satellitaires
- Les modèles sont coordonnés pour être comparés (CMIPS-5) sur des scénarios similaires

Diapo suivante, FAR est pour « First Assessment Report », etc. et AR4 AR5 AR5 pour « Assessment Report N »

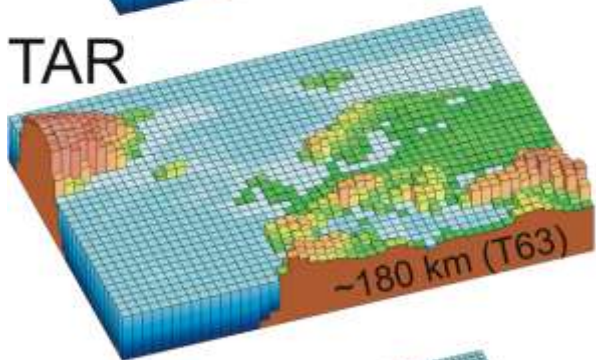
FAR



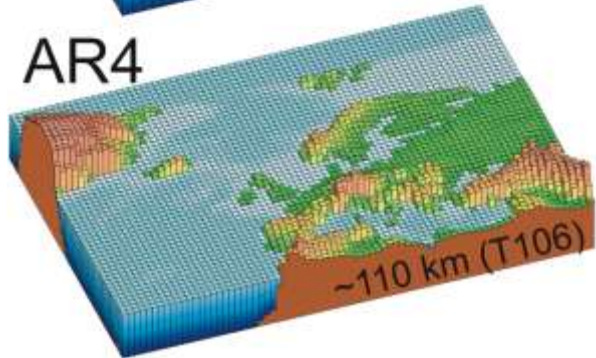
SAR



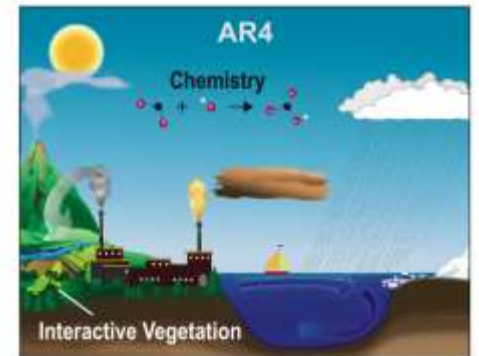
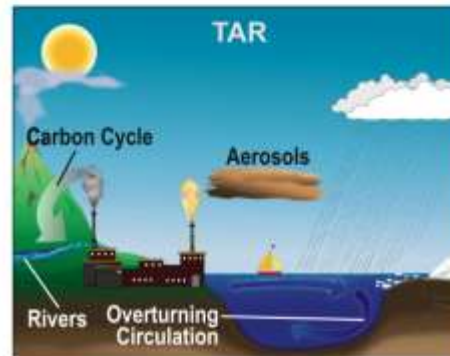
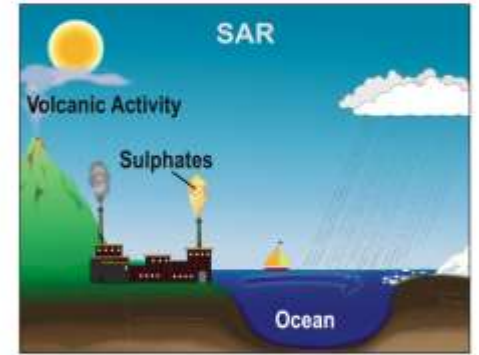
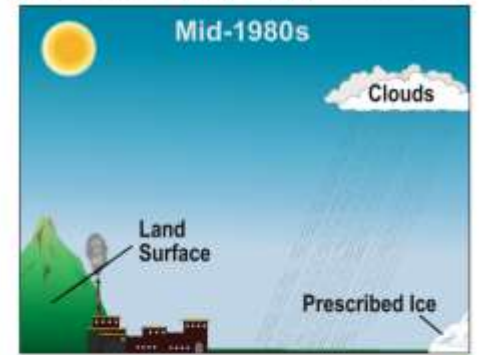
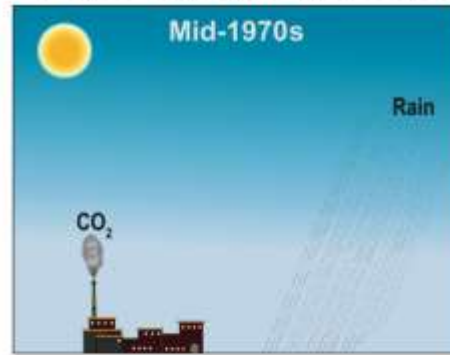
TAR



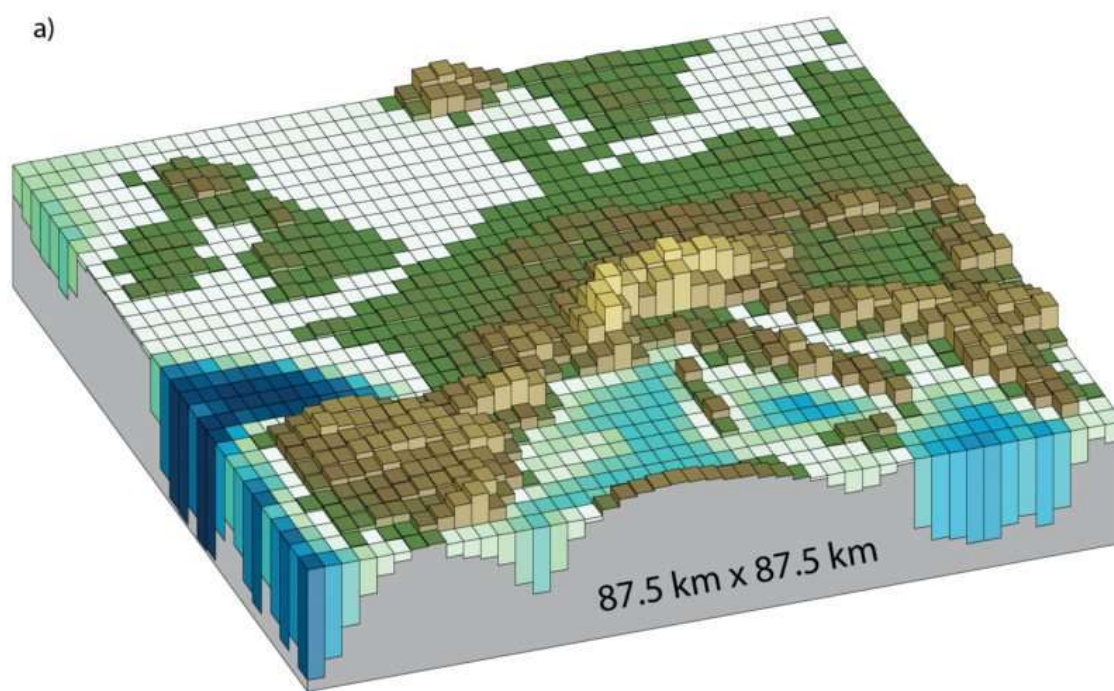
AR4



The World in Global Climate Models

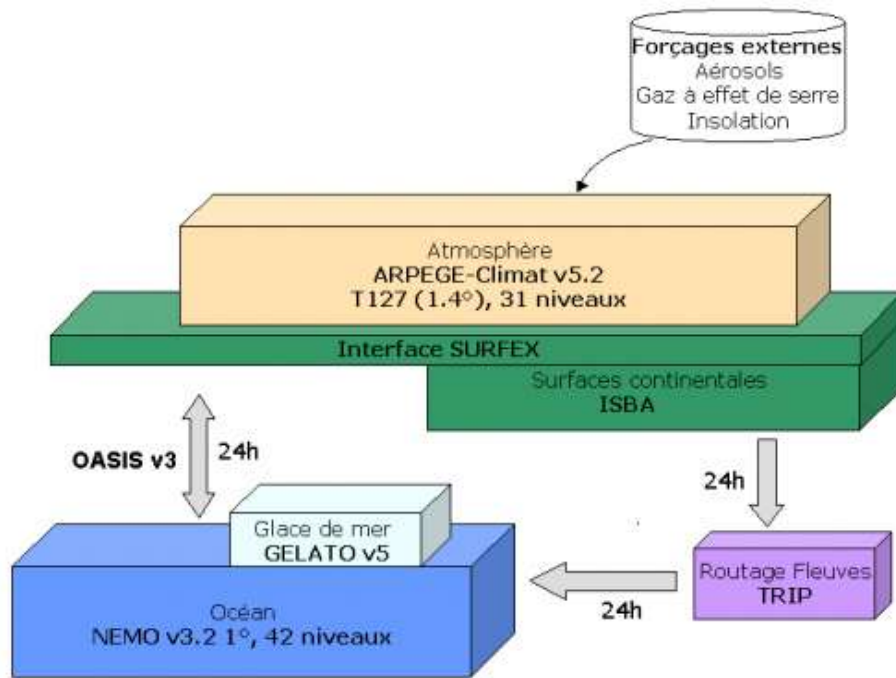


AR5 (2014)



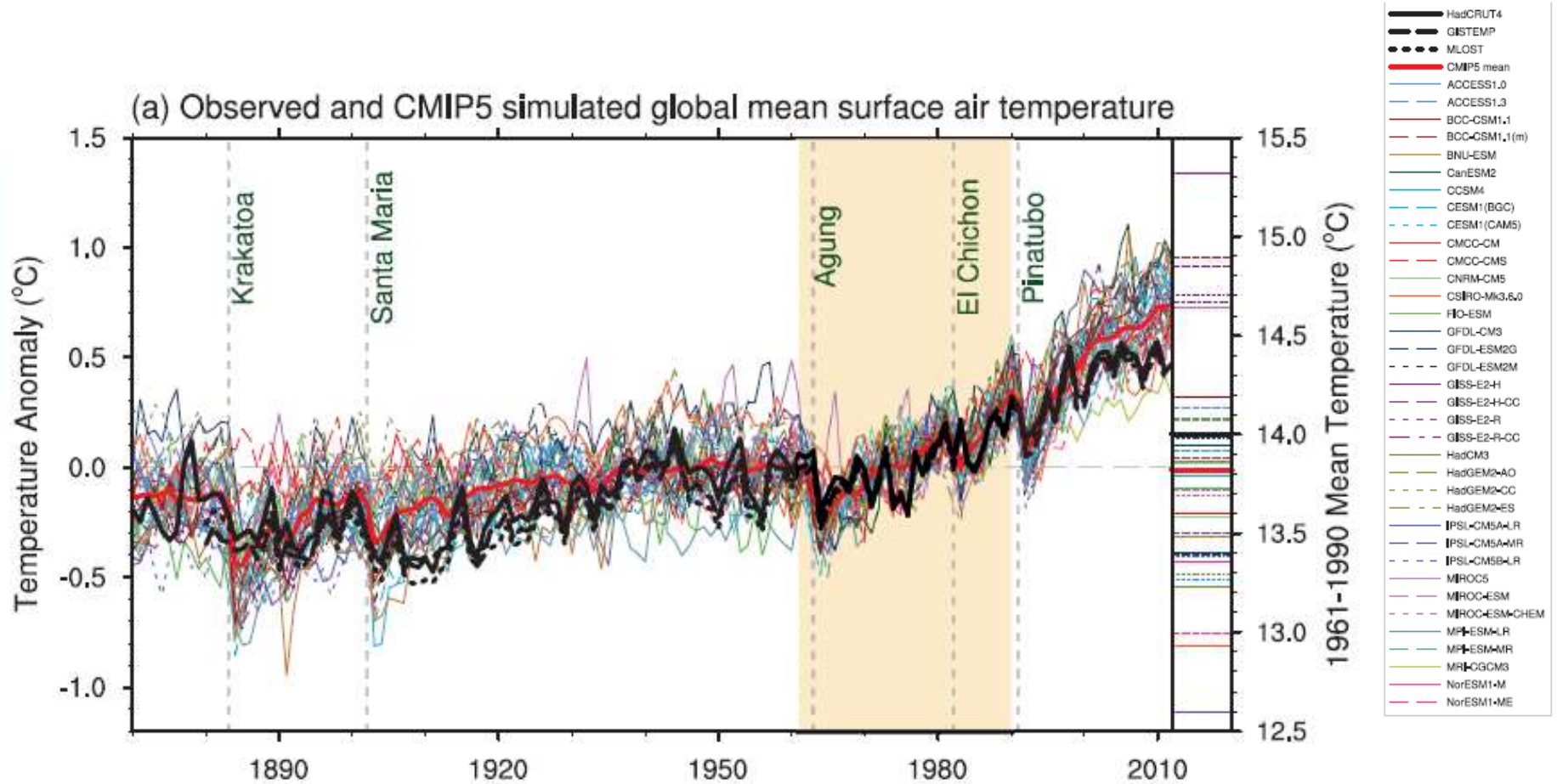
Une quarantaine de modèles
internationaux dont deux
ensembles français, autour
de Jussieu-CEA-IPSL et
de Météo-France

Exemple CNRM-C5



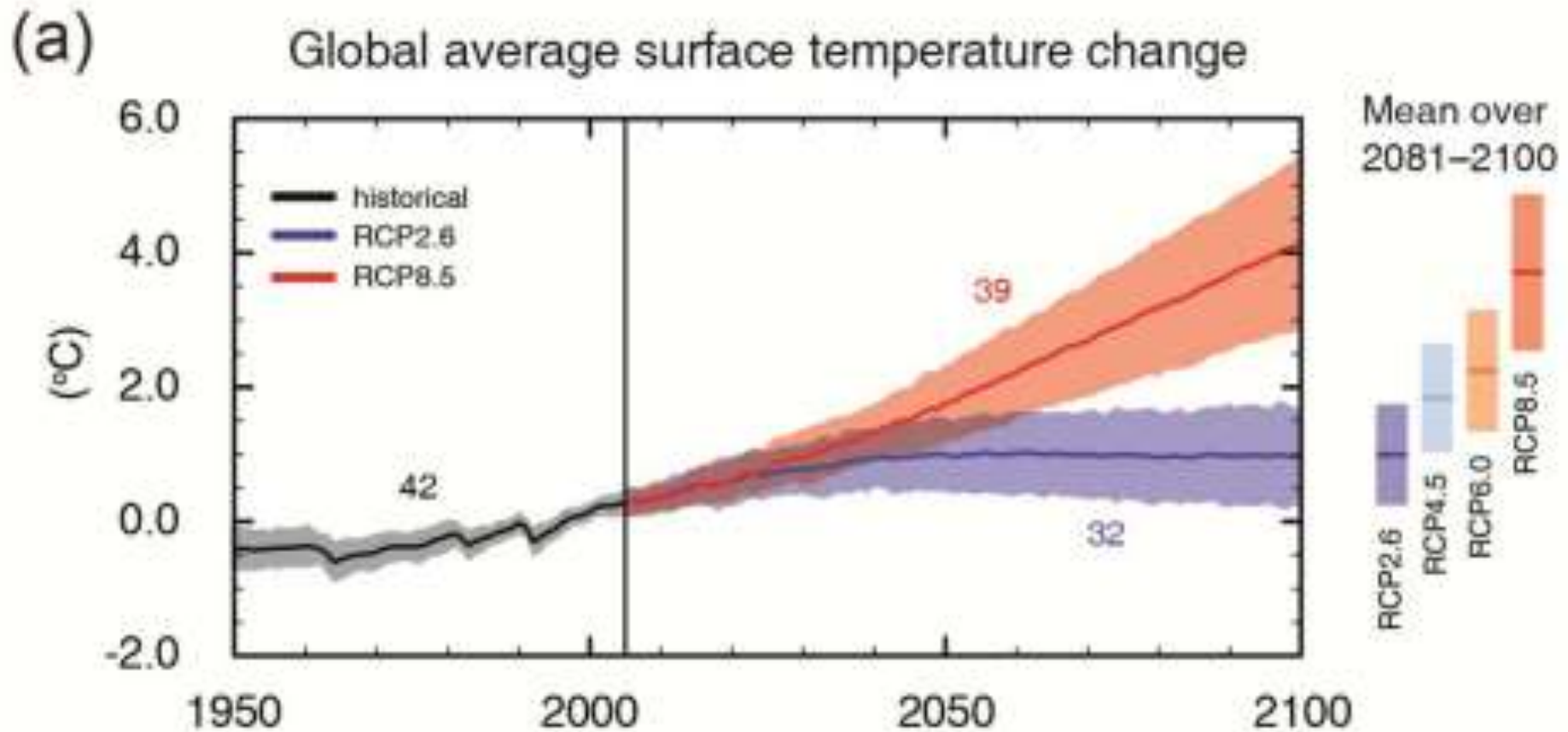
- CNRM-CM5 est un modèle du « système-Terre » dédié principalement à la réalisation de scénarios climatiques. Un tel modèle est constitué de plusieurs modèles développés indépendamment les uns des autres et couplés via le coupleur OASIS3, développé au CERFACS.
- - ARPEGE-Climat pour l'atmosphère
- - NEMO pour l'océan, modèle développé par le LOCEAN (Paris)
- - GELATO pour la glace de mer, modèle développé au CNRM-GAME (Salas-Mélia, 2002)
- - SURFEX pour les surfaces continentales (ISBA) et les flux océan-atmosphère
- - TRIP pour simuler le transport de l'eau douce des fleuves vers les océans, initialement développé à l'Université de Tokyo.
- CNRM-CM5 est développé en collaboration avec l'équipe GLOBEC du CERFACS. &

Une représentation cohérente des climats passés dans les modèles



Le réchauffement prédit par le 5^{ème} Rapport a une amplitude liée au scénario et une incertitude provenant de la variété des modèles

Figure SPM.7 [FIGURE SUBJECT TO FINAL COPYEDIT]



Plan de session

- Le GIEC c'est quoi ?
- L'effet de serre c'est quoi ?
- Le forçage c'est quoi ?
- Observation : les changements sont visibles
- Où va le carbone, où va la chaleur?
- Une attribution de plus en plus certaine
- **Le réchauffement est fonction directe du budget**
- Mais alors, quel scénario pour quelle température?

L'augmentation de température dépend directement du budget carbone mondial (SPM AR5)

Graphes suivants : les scénarios de température fonction du total émis.

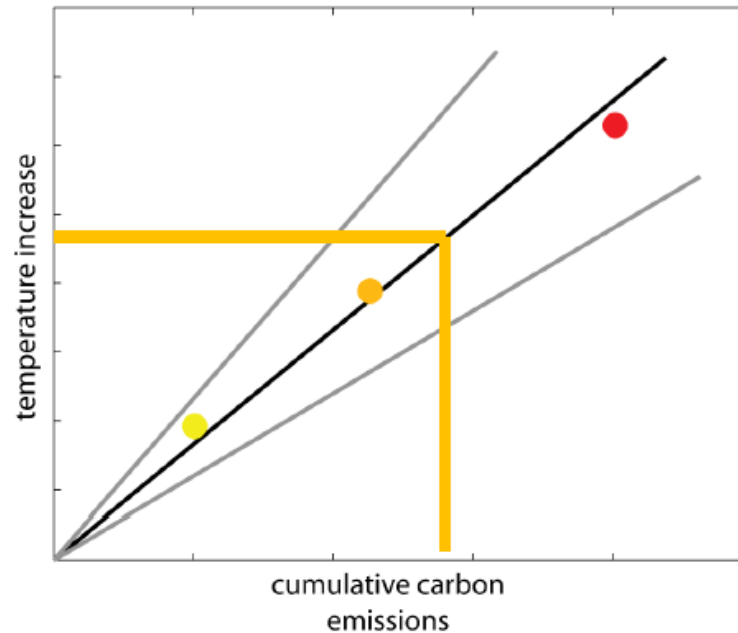
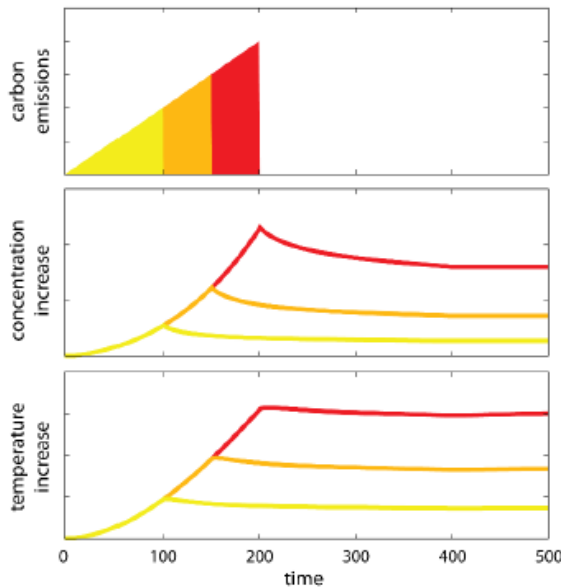
Thomas Stocker explique bien sur:

http://www.youtube.com/watch?v=5fCZBKPw_RU

Ce graphe, accepté par les gouvernements de la Convention Climat, représentés au GIEC par des délégués scientifique dans le « Summary for Policymakers » ou SPM, suggère une décroissance rapide des émissions, partout dans le monde et dans tous les secteurs.

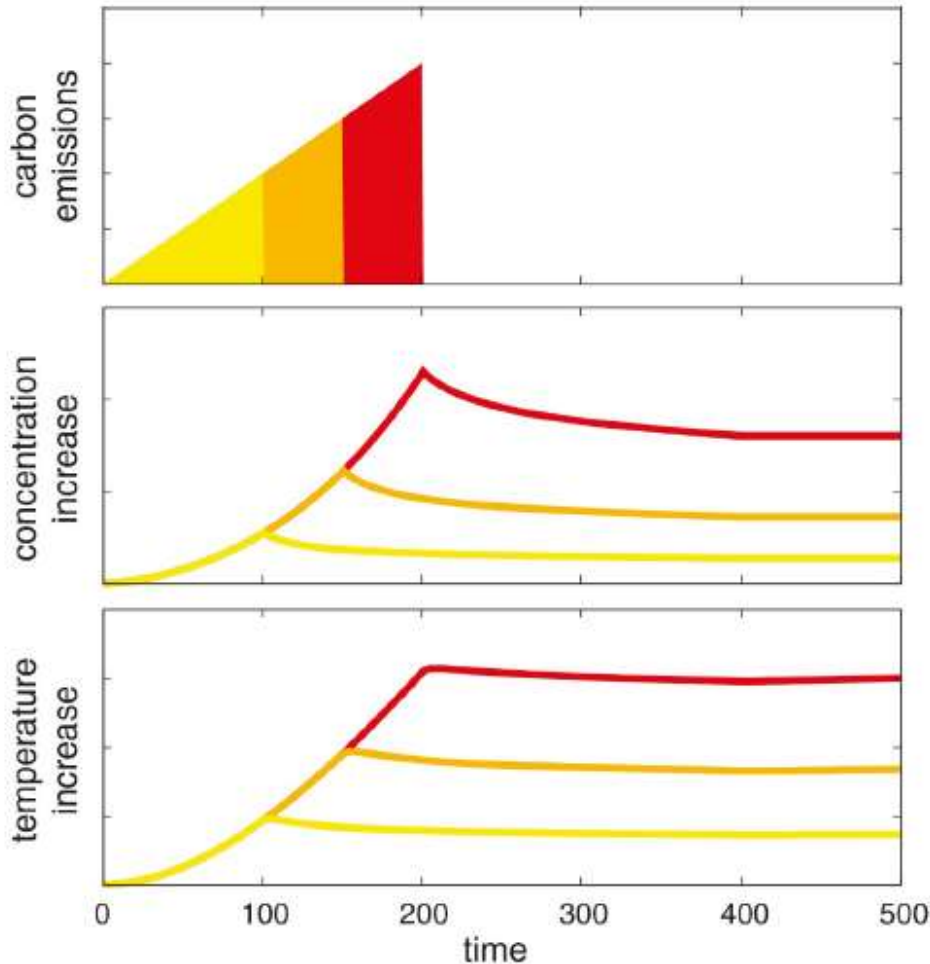
C'est le budget carbone qui détermine le réchauffement

Cumulative carbon determines warming



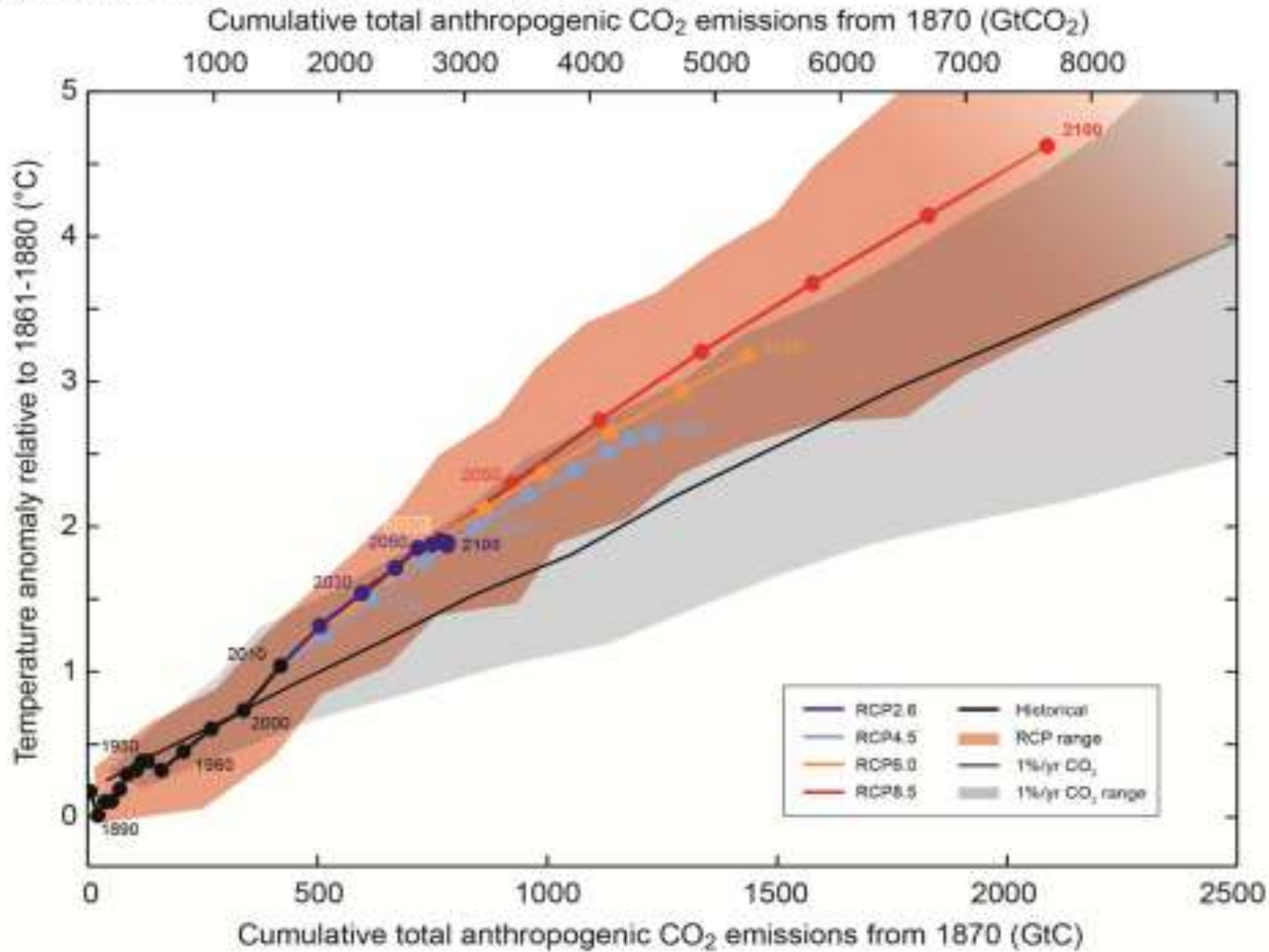
- Peak warming is approximately proportional to cumulative (total) emissions.
- Transient climate response to cumulative carbon emissions $TCRE = \text{Warming per } 1000 \text{ PgC}$

Le réchauffement durera des siècles

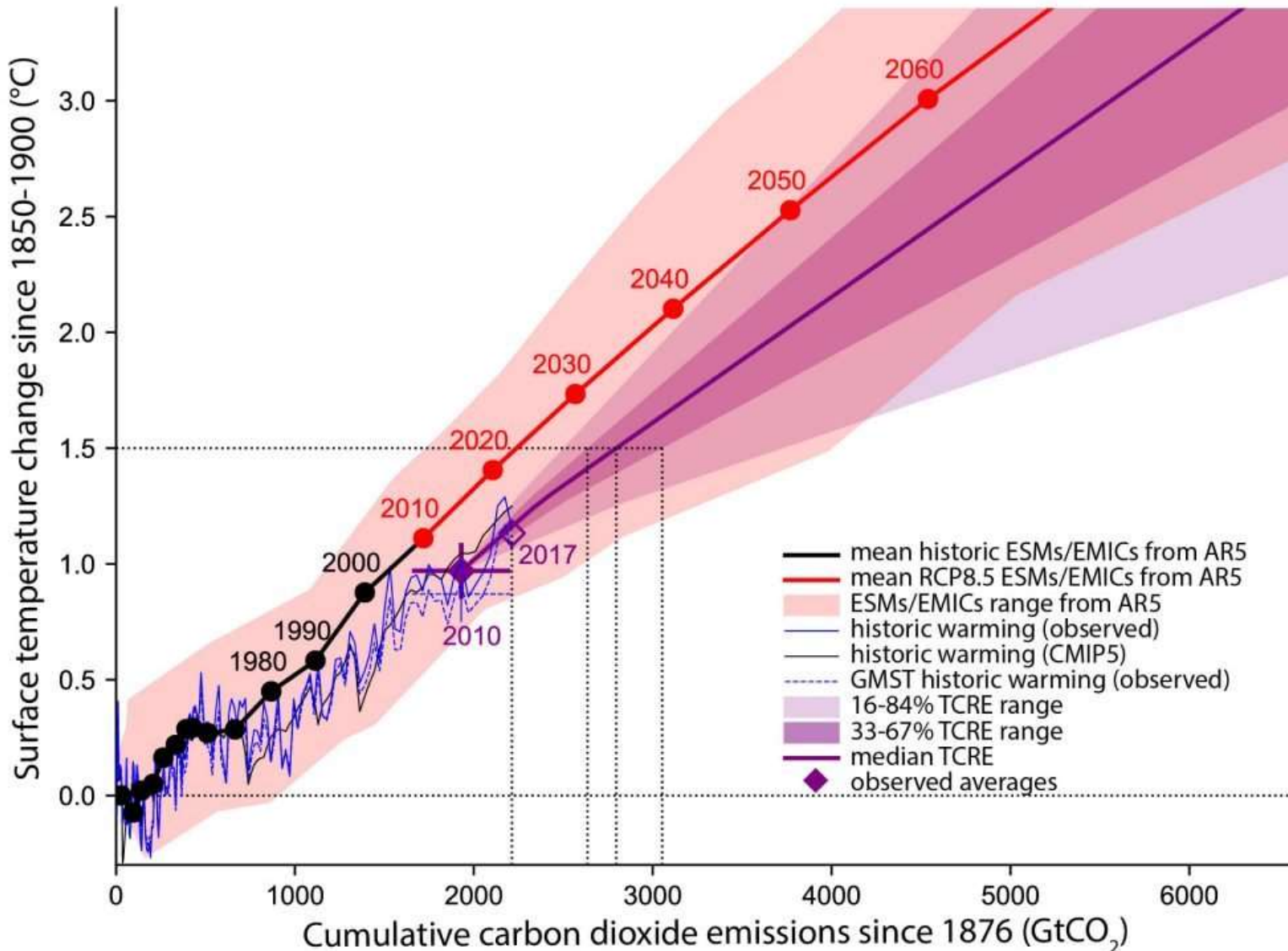


- Zero CO₂ emissions lead to near constant surface temperature.
- A large fraction of climate change persists for many centuries.
- Depending on the scenario, about 15-40% of the emitted carbon remains in the atmosphere for 1000 yrs.

Figure SPM.10 [FIGURE SUBJECT TO FINAL COPYEDIT]



Le même par le rapport 1,5



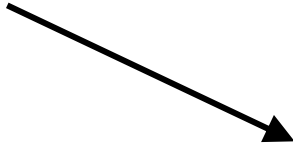
Quel scénario atteint 2° C ? 1,5° C ?

- Rappel sur la chaîne de causalité : émissions, concentrations, forçages, réchauffement...
- Les étapes de l'incertitude
- Le choix du 2° C puis du 1,5° C sera détaillé dans la séance « négociations climatiques »

Changements climatiques : la chaîne des causalités

(d'après TAR WGI Ch.10)

Emissions



Concentrations

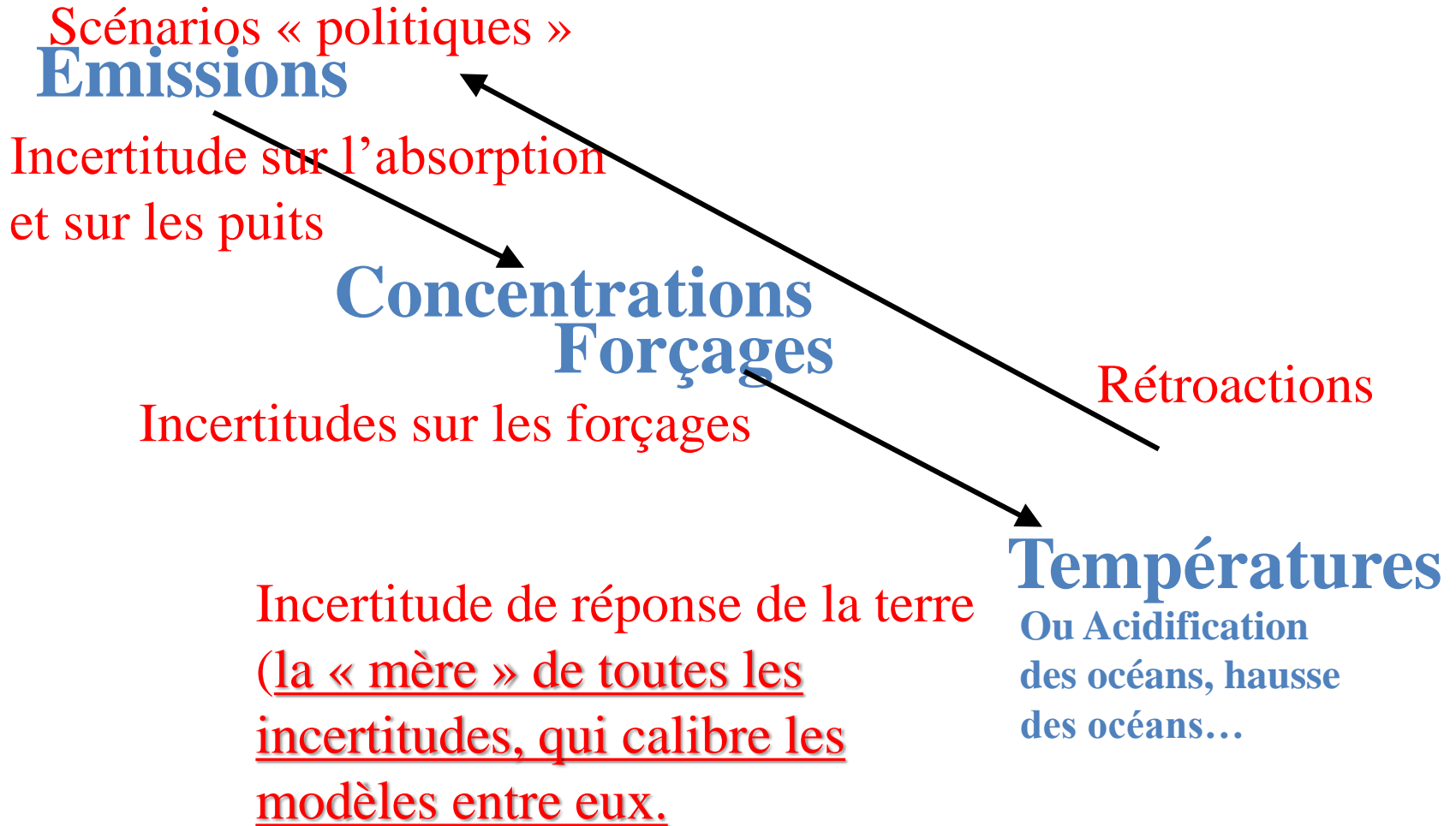
Forçages radiatifs



Réponses

Températures,
Acidification des
océans, hausse
des océans...

Les incertitudes dans la chaîne des causalités



Les étapes de la négociation correspondent à des compréhensions différentes des scénarios

Emissions

Protocole de Kyoto (diminution dans les pays riches)

Concentrations
Forçages radiatifs

Convention de Rio (stabilisation des concentrations de GES)

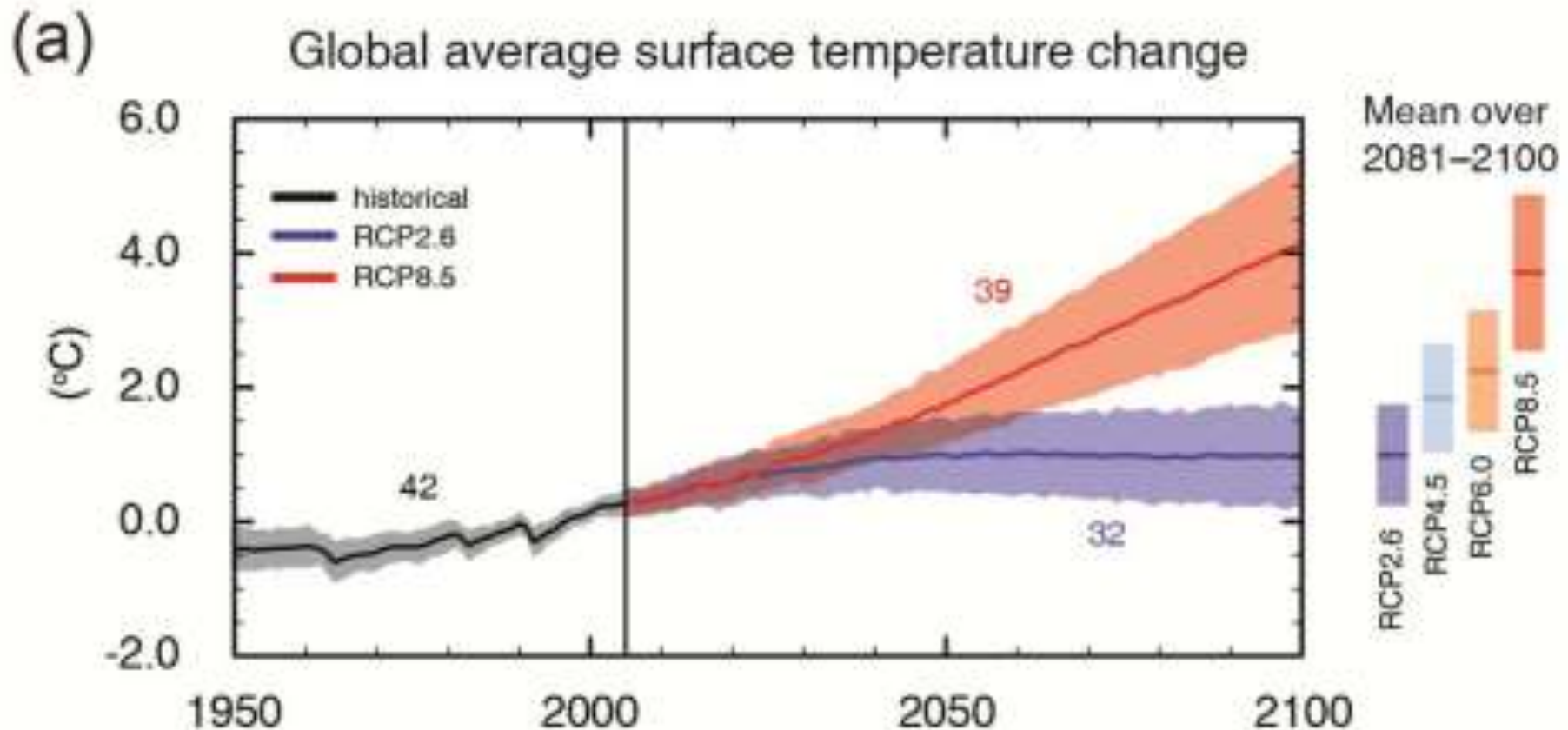
« Accord » de Copenhague sur le 2° C,

Accord de Paris ajoutant l'objectif de 1,5° C

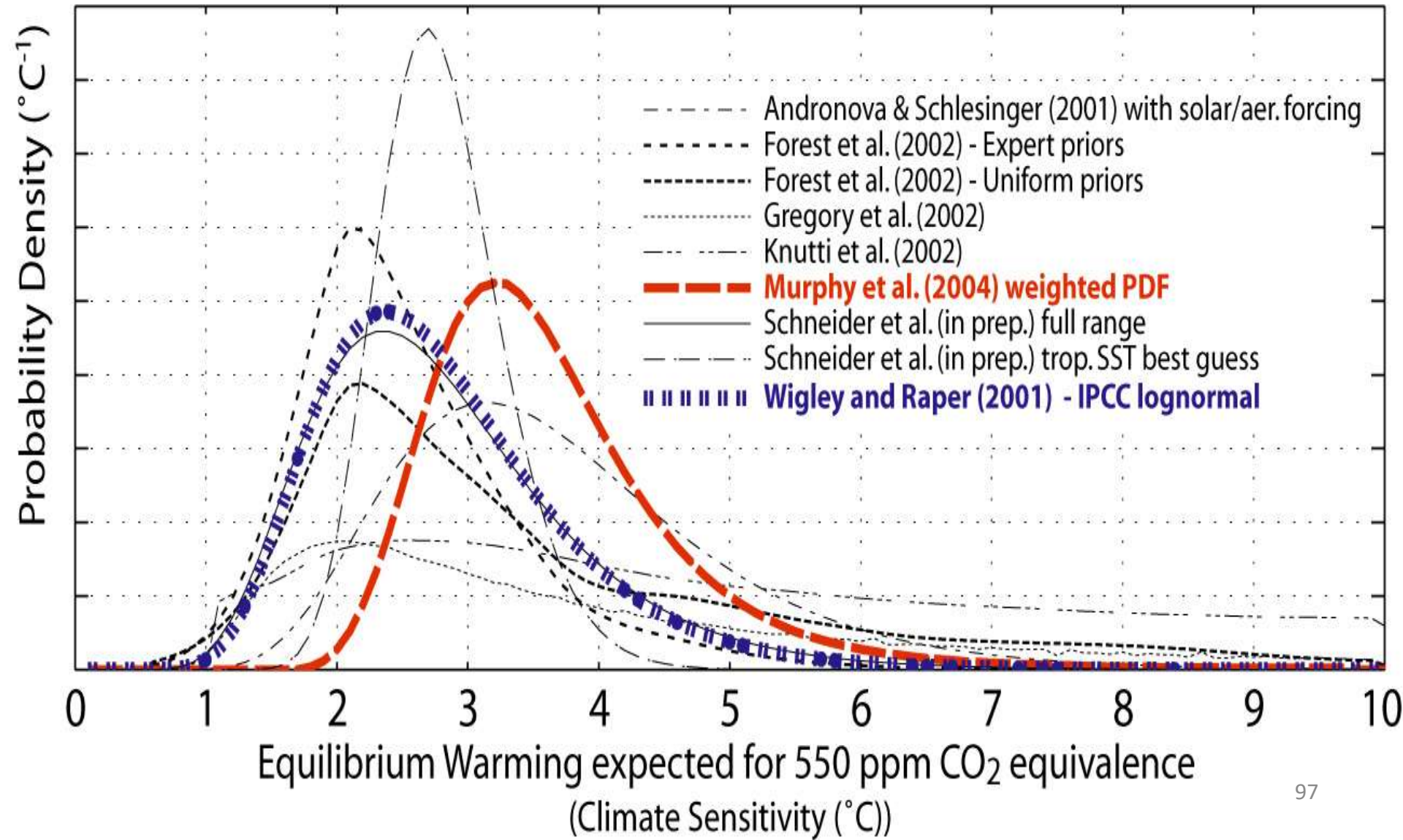
Réponses
Températures,
Acidification des océans,
hausse des océans...

Le réchauffement prédit par le 5^{ème} Rapport, mais comment « viser » une température?

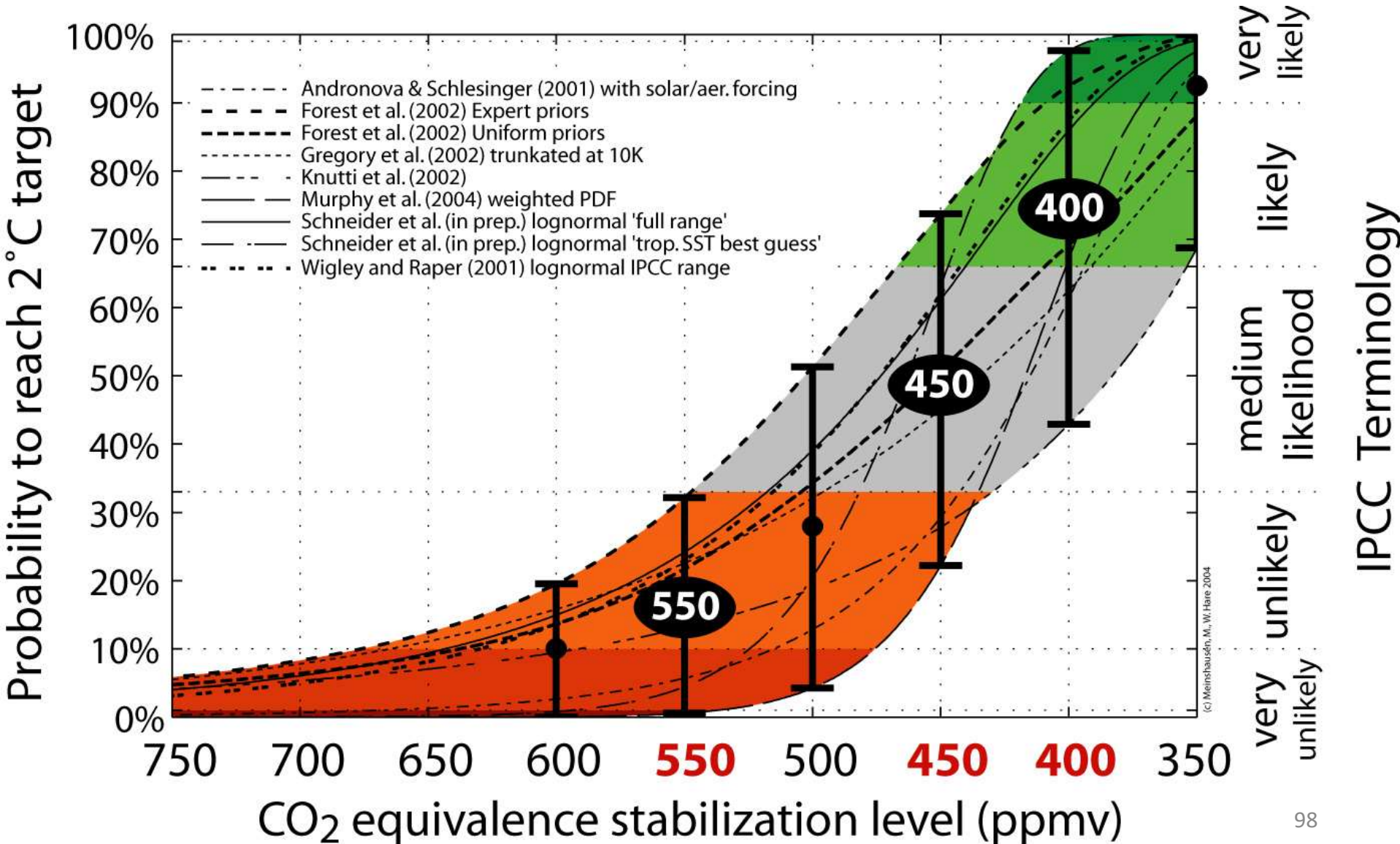
Figure SPM.7 [FIGURE SUBJECT TO FINAL COPYEDIT]



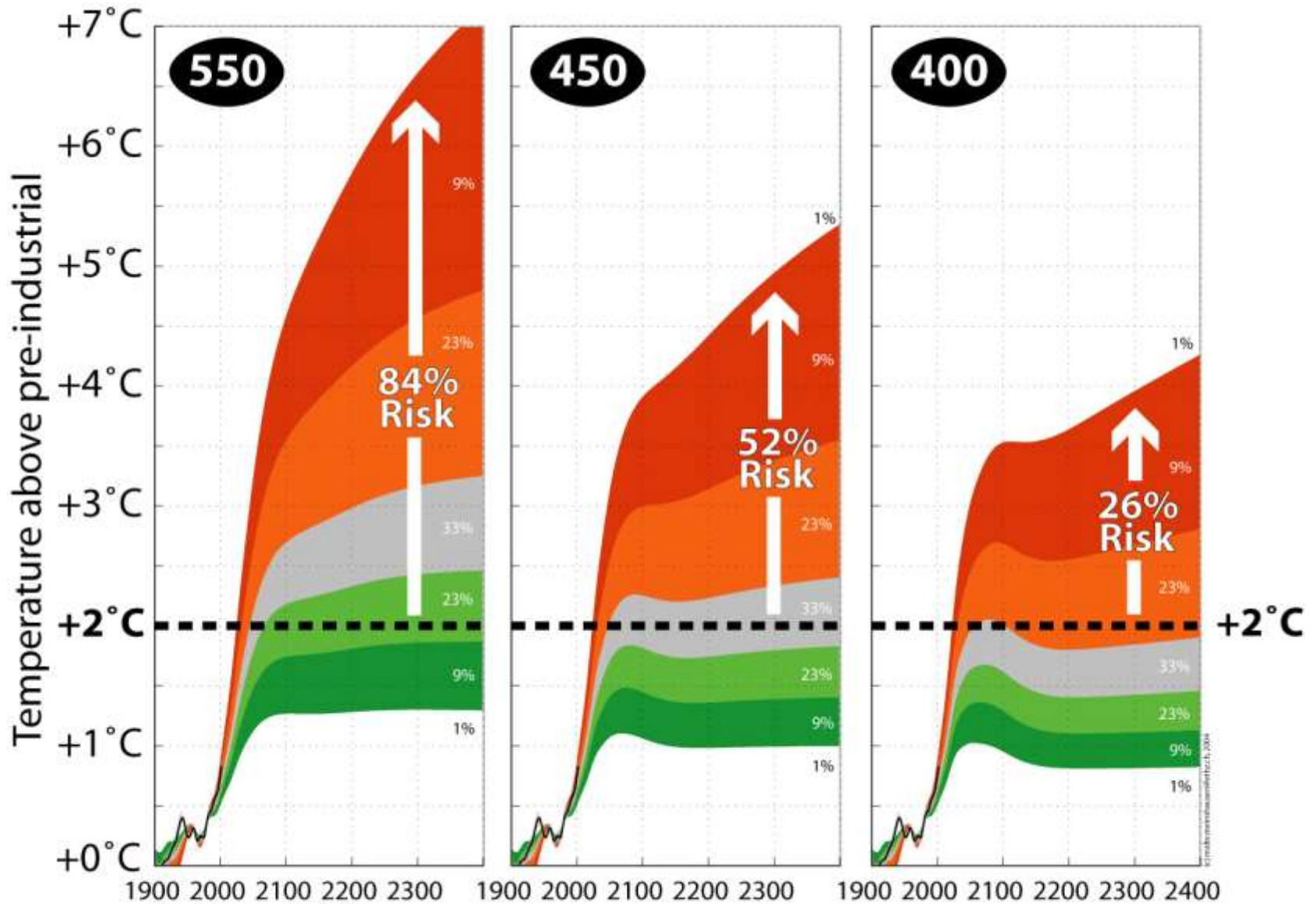
Une grande diversité de modèles



Quelle est la probabilité d'atteindre l'objectif de 2°C (d'après Malte Meinshausen et AR4)



Ceci conduit au risque de dépasser 2°C



Mean climate sensitivity PDF

Note: Climate sensitivity probability density function averaged over 9 published estimates since 2001. Only uncertainties in climate sensitivity considered. Other climate parameters are default settings consistent with IPCC Third Assessment Report. Simple climate model used: MAGICC 4.1 (Wigley, Raper et al.) Historical temperature data and uncertainties according to Folland et al. (2001)

Au final, des pièges nombreux

- Température d'équilibre et anomalie de température de court terme
- Augmentation de la température vis-à-vis de la période pré-industrielle ou depuis 1990 (ou 2005)
- Equivalences à 20 ou 100 ans de l'impact des différents GES (dans le traité ou dans le dernier rapport du GIEC)
- Contributions cumulées à l'effet de serre ou contribution annuelle, voire future

Des questions ?

