

Point sur le réchauffement climatique

Etat des connaissances

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

François-Marie
Bréon



Laboratoire des Sciences du
Climat et de l'Environnement

CEA-CNRS-UVSQ



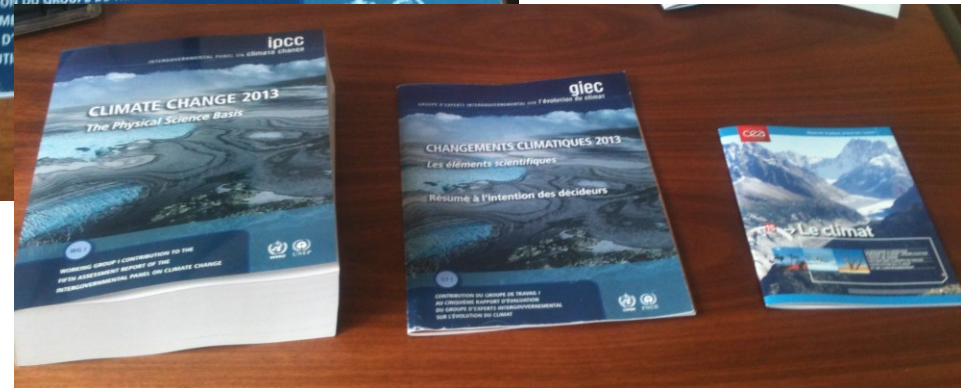
On part de la littérature scientifique

Rapport complet (500-1000 pages)



"Résumé pour les décideurs"
(20-30 pages)

Et la communication grand public qui va avec...



Aujourd'hui



Période glaciaire

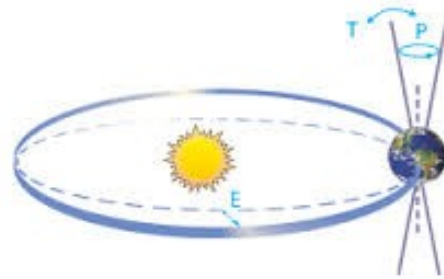


Il y a 20 000 ans, période glaciaire. 3 km de glace sur Scandinavie et Canada, océan 120 m plus bas que aujourd'hui.

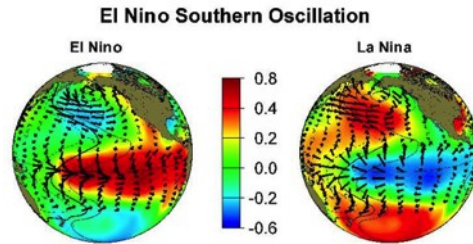
Température 5°C plus froide que aujourd'hui

Changement climatique attendu équivalent, mais en 100 ans (pas pour le niveau des mers)

Orbite de la Terre



Variabilité interne



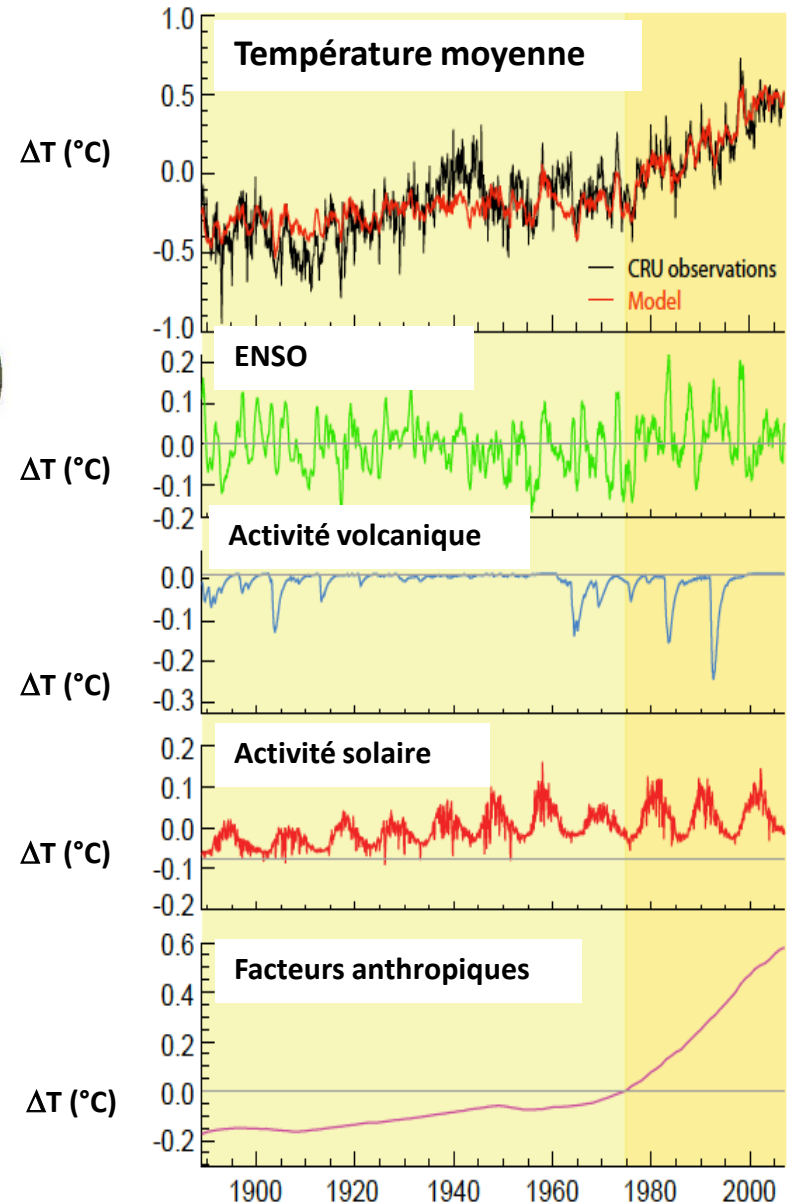
Activité volcanique

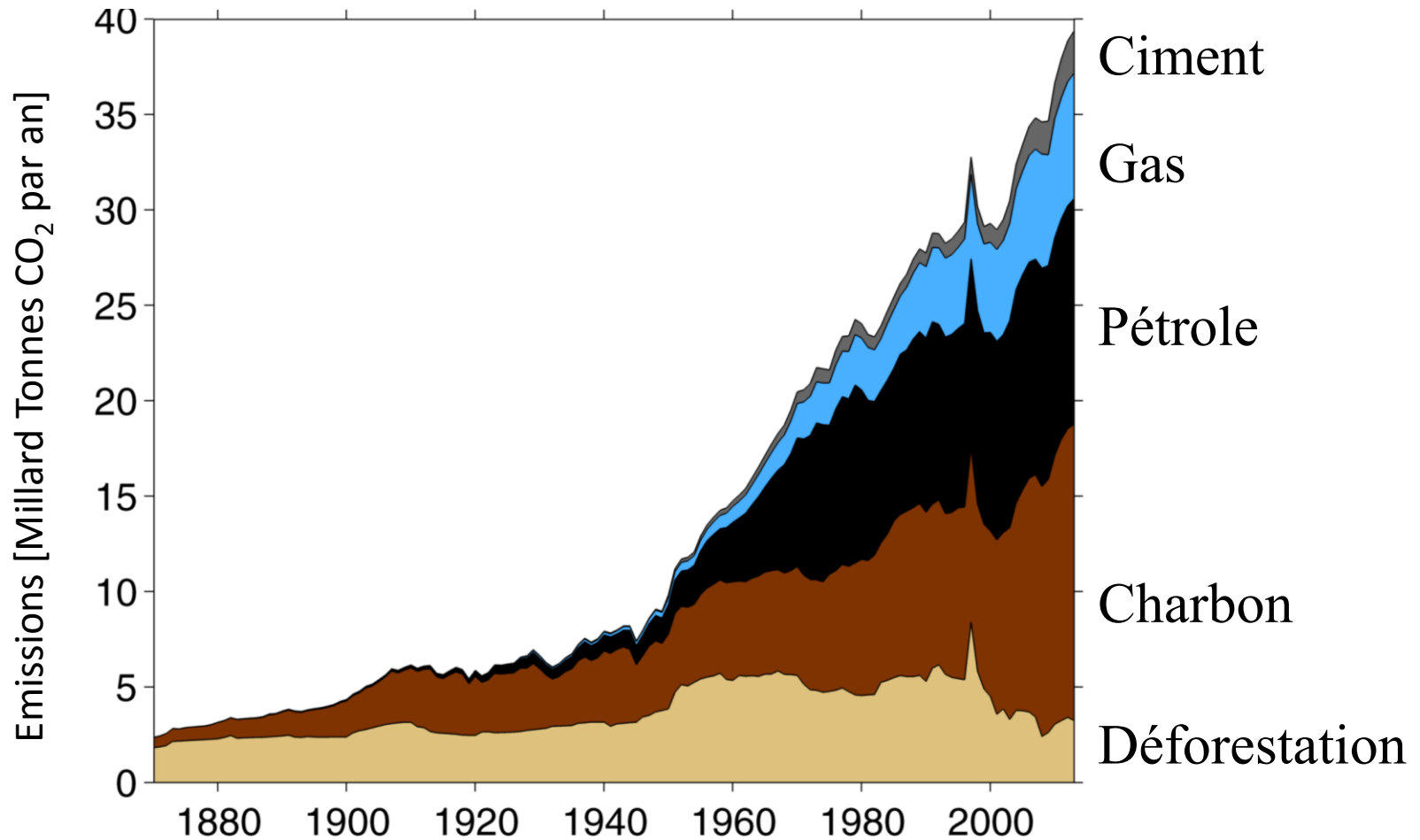


Activité solaire



Facteurs anthropiques





Les émissions de CO₂ par les activités humaines sont en augmentation rapide.
 Aujourd'hui ≈ 10 GtC/an ≈ 40 GtCO₂/an

8.3 ± 0.4 PgC/yr 90%



+

1.0 ± 0.5 PgC/yr 10%



4.3 ± 0.1 PgC/yr 46%



2.6 ± 0.8 PgC/yr 28%

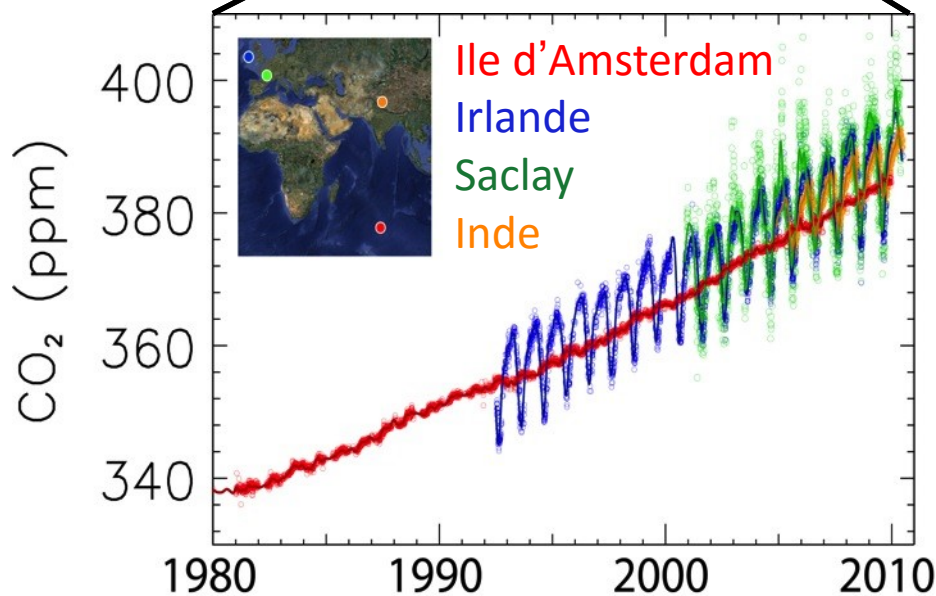
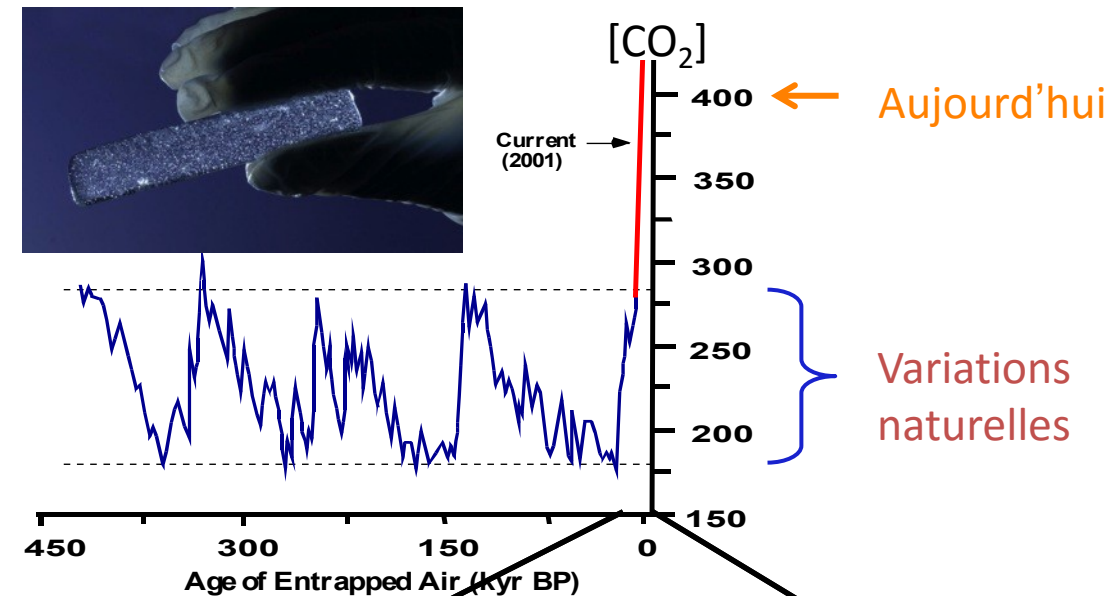


Calculé par différences des autres termes, du bilan

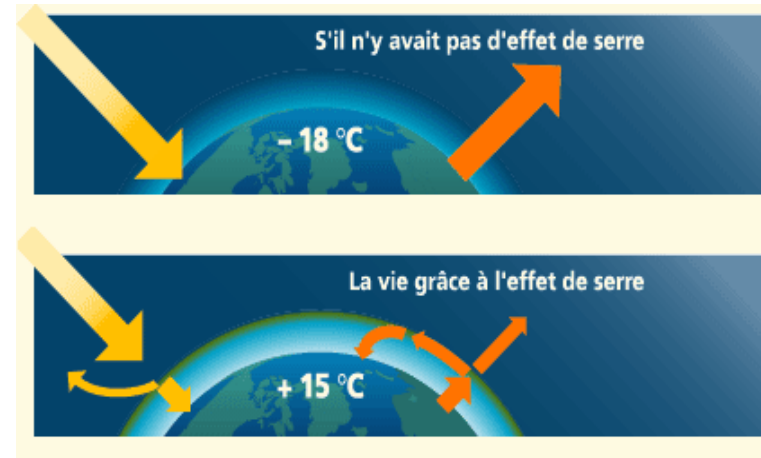
2.5 ± 0.5 PgC/yr 26%



Une petite moitié des émissions reste dans l'atmosphère. Le reste part dans les océans et la végétation. Forte variations inter-annuelles de ce puits



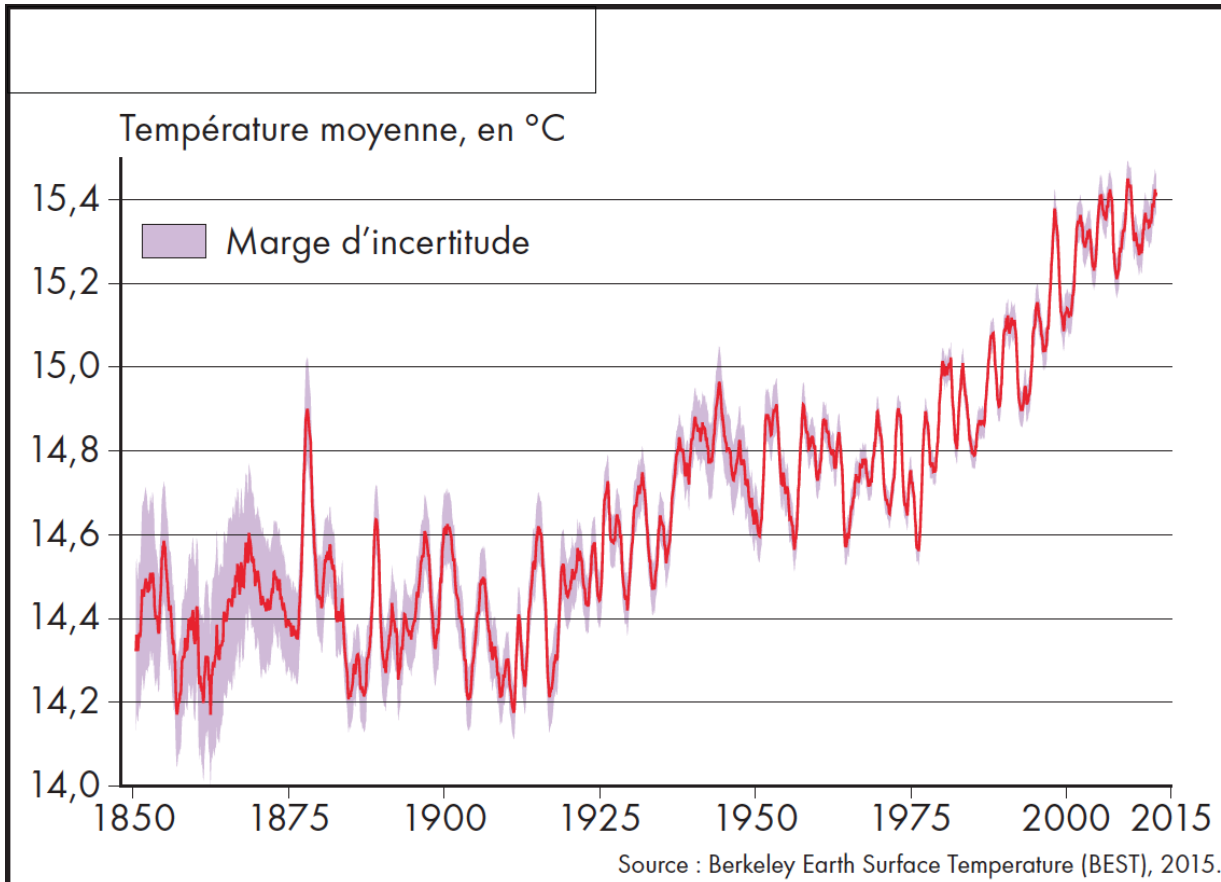
- On peut mesurer la composition atmosphérique sur le dernier million d'années à partir des bulles d'air piégées dans les carottes de glace.
- Des mesures directes dans l'atmosphère sont faites depuis 1956.
- Actuellement ≈ 100 stations dans le monde
- Ces mesures démontrent le caractère exceptionnel de l'évolution récente du CO₂ atmosphérique



L'effet de serre est provoqué par les gaz transparents au rayonnement solaire mais qui absorbent partiellement le rayonnement infrarouge par lequel la Terre se refroidit.

Principaux gaz: Vapeur d'eau (H_2O), Dioxyde de Carbone (CO_2), Méthane (CH_4), protoxyde d'Azote (N_2O). 99% de l'atmosphère (O_2 , N_2) n'y participe pas.

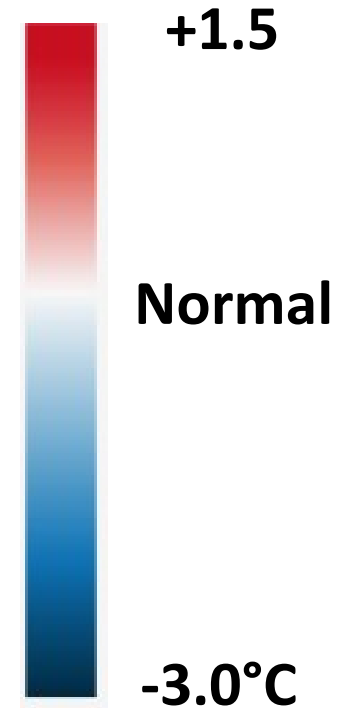
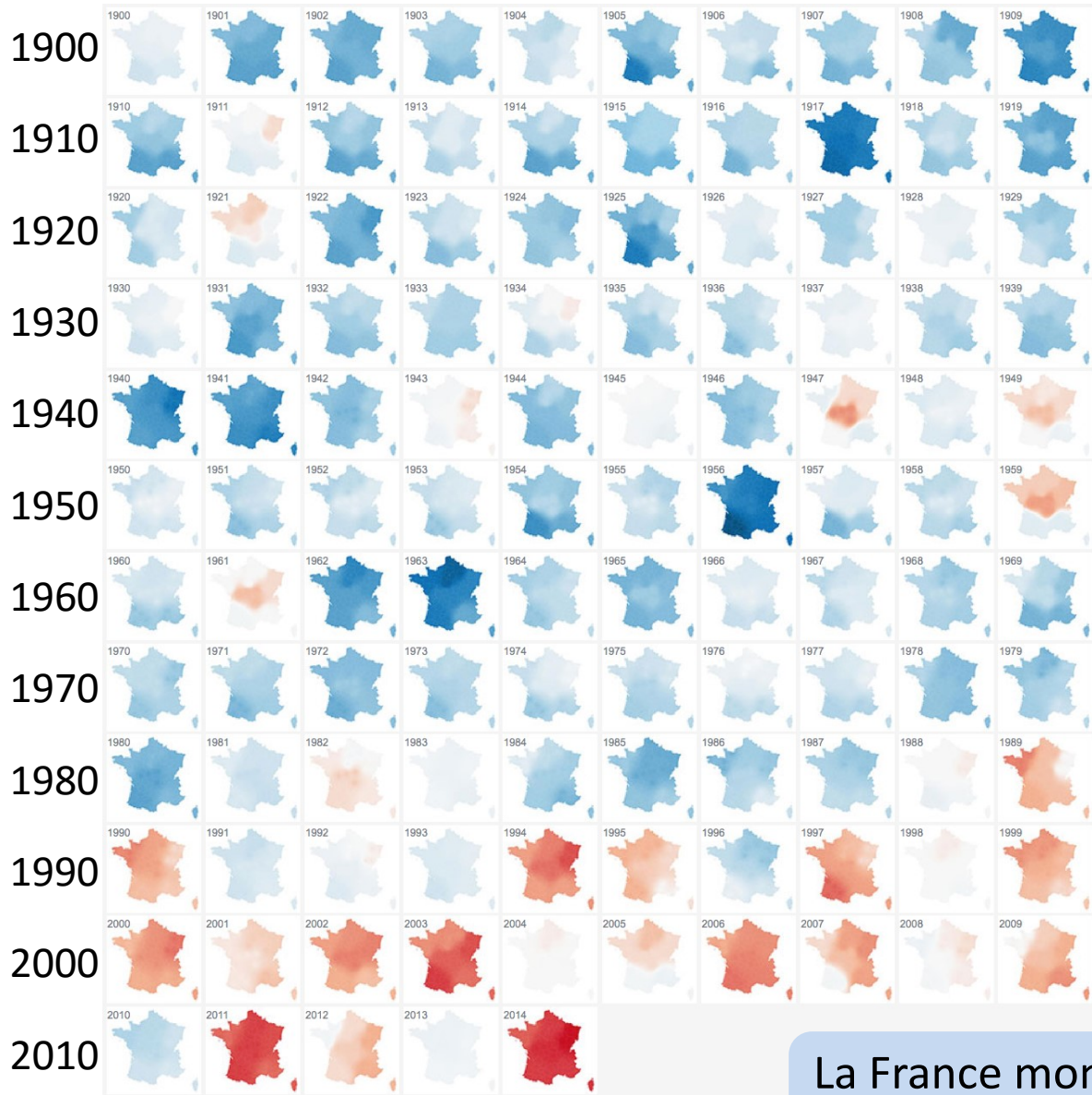
C'est un effet naturel, sans lequel la vie ne serait pas possible sur Terre
 Mécanisme parfaitement compris depuis >200 ans



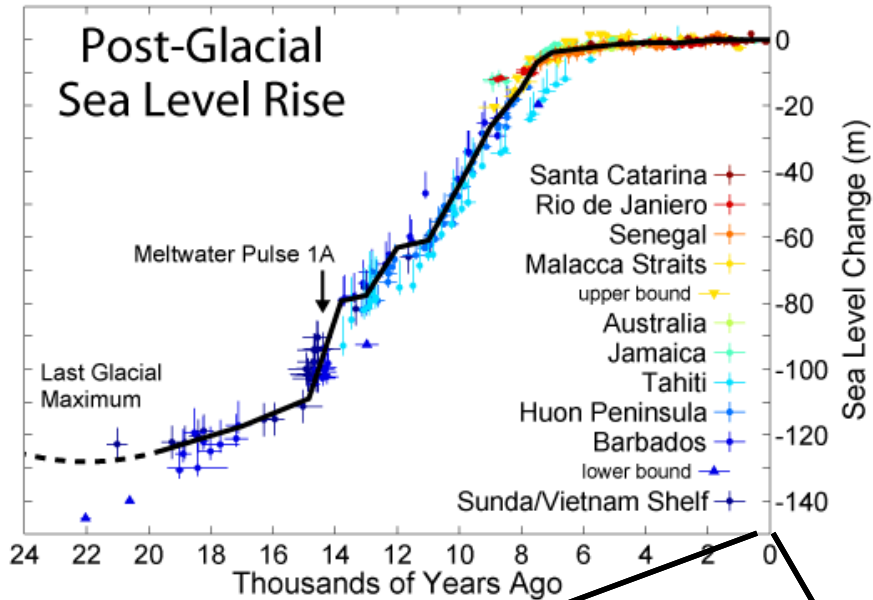
Tendance 1880-2012 : +0.85°C

*Dernière décennie –
(1850-1900) : + 0.78°C*

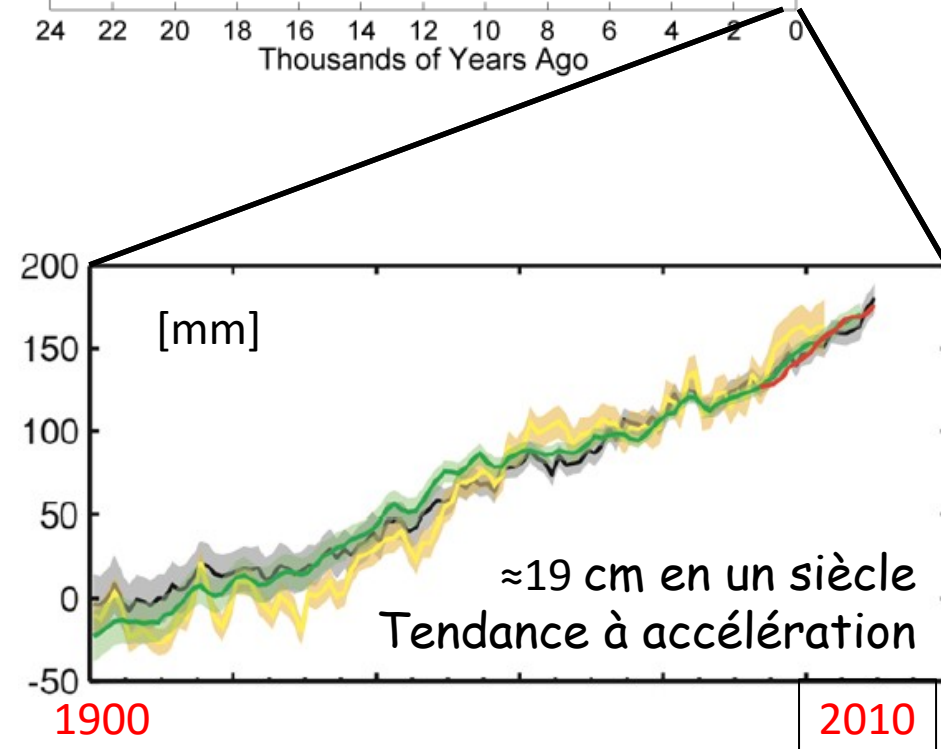
Chacune des trois dernières décennies a été successivement plus chaude à la surface de la Terre que toutes les décennies précédentes depuis 1850.



La France montre une très nette tendance au réchauffement, dans toutes les régions



Il y a $\approx 10\,000$ ans, le niveau des mers s'est élevé de ≈ 120 m en 10 000 ans. Relative stabilité sur les derniers 6 000 ans

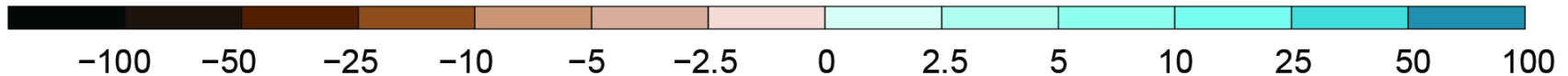
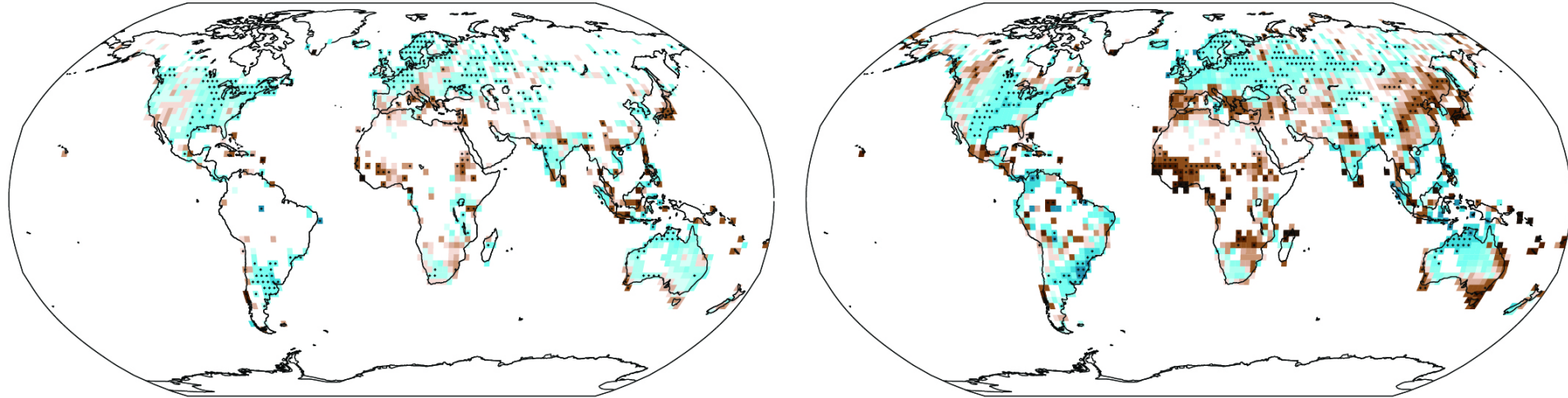


Depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, le taux d'élévation du niveau moyen des mers est supérieur au taux moyen des deux derniers millénaires (*degré de confiance élevé*). Le niveau moyen des mers s'est élevé de 0,19 [0,17 à 0,21] m au cours de la période 1901–2010.

Observed change in annual precipitation over land

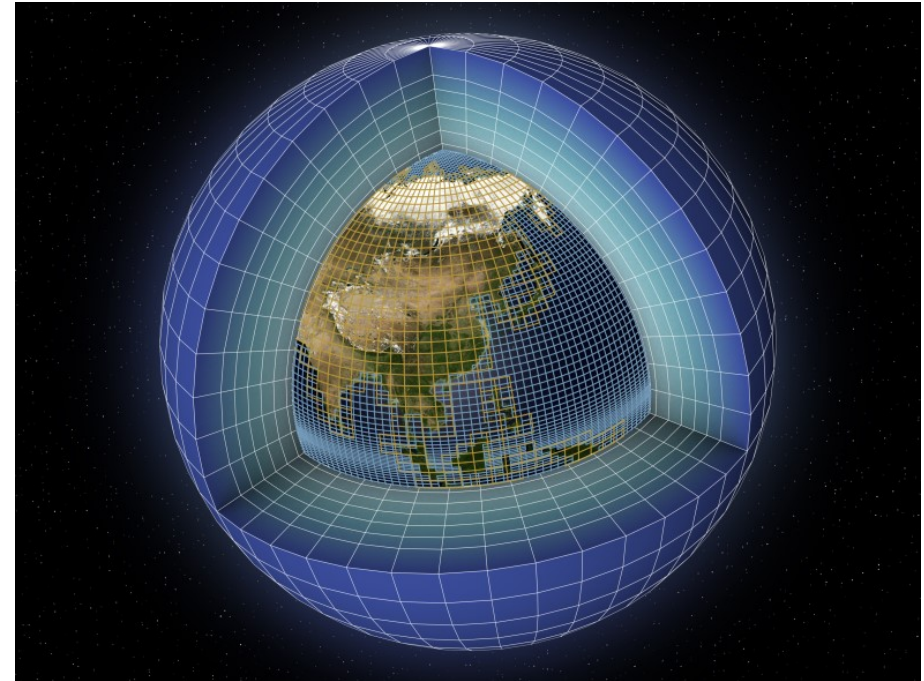
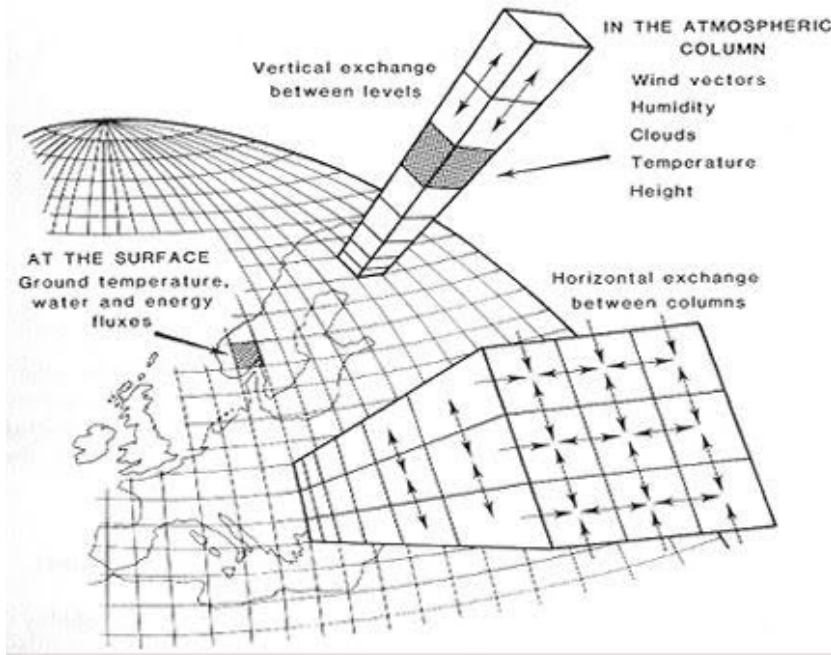
1901–2010

1951–2010

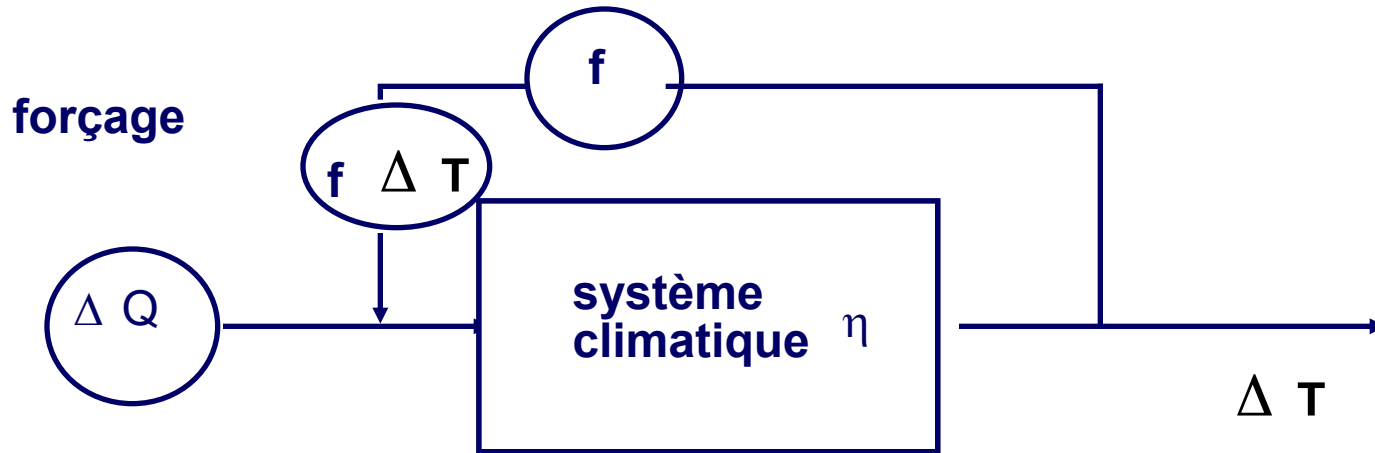


(mm yr⁻¹ per decade)

Des relevés incomplets montrent des tendances variables et non-significatives des précipitations globales. Les précipitations ont augmenté sur les terres des moyennes latitudes de l'hémisphère Nord depuis 1901 (*faible fiabilité* avant 1950, *fiabilité moyenne* après).



Les modèles offrent une représentation 3D de l'atmosphère, de l'océan, des glaces de mer et surfaces continentales (couplages de différents modèles) et des couplages entre le climat et le cycle du carbone, les aérosols et l'usage des terres. Ils permettent de reproduire les conditions climatiques et les tendances de température observées à l'échelle des continents sur plusieurs décennies



$$\Delta T = \eta(\Delta Q + f\Delta T)$$



$$\Delta T = \frac{\eta \Delta Q}{1 - \eta f}$$

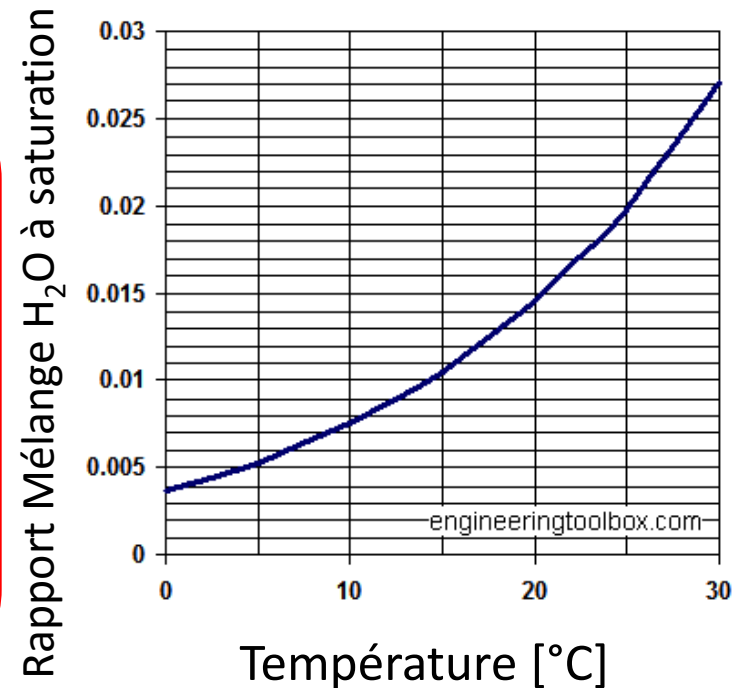
La réaction initiale à un forçage (effet de serre, soleil) est relativement facile à estimer. **MAIS**, le système va varier (nuages, neige...) et donner lieu à des rétroactions, positives ou négatives. L'incertitude est là.

Lorsque la température augmente, la pression de vapeur saturante augmente très rapidement

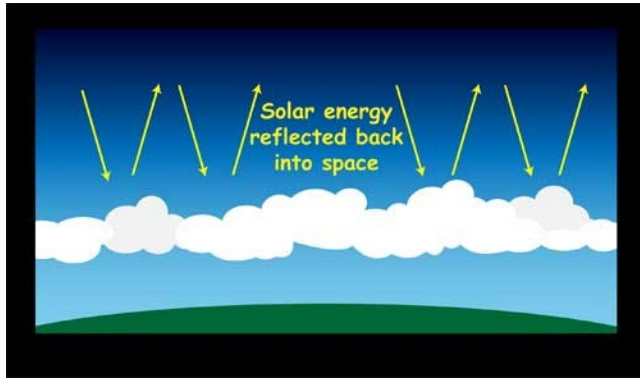
A taux d'humidité constante, le contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère va donc augmenter

Puisque H_2O est un puissant gaz à effet de serre, c'est une rétroaction positive très forte

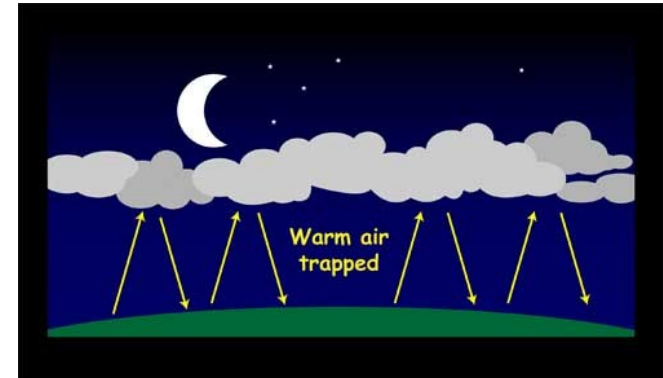
Les émissions humaines d'eau (irrigation, centrales thermiques...) retombent sous forme de pluie. Les activités humaines n'ont pas d'impact direct sur la concentration atmosphérique en vapeur d'eau. C'est pourquoi la vapeur d'eau n'est pas traitée comme un "forçage" mais comme une "rétroaction".



Rétroaction des nuages



Augmentation de l'albédo



Augmentation de l'effet de serre

Les nuages ont le pouvoir de moduler fortement Albédo et Effet de Serre

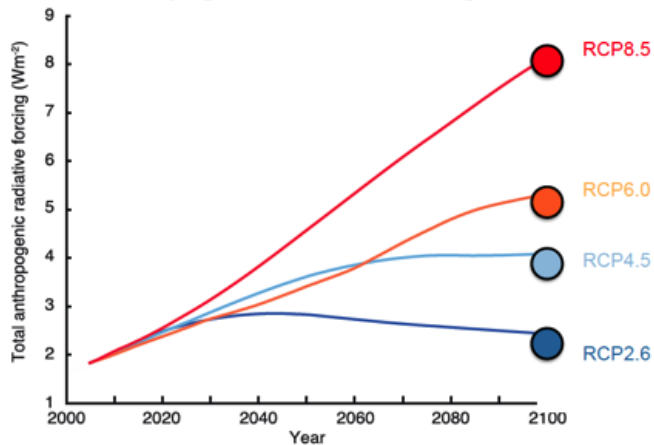
Le signe de la rétroaction des nuages est matière à débat.

C'est l'incertitude principale pour l'estimation du changement climatique

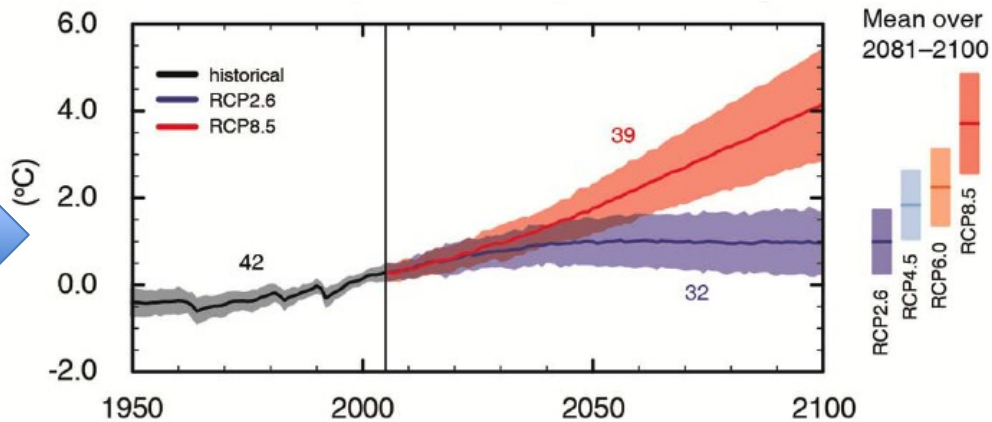
Pas de signe clair d'une modification globale de la couverture de nuageuse



Indicative anthropogenic radiative forcing for the RCPs



4 scénarii de trajectoire...



...permettent d'anticiper les températures

Les RCP (Representative Concentration Pathways) donnent des scénarios de ce que pourraient être les concentrations au XXI^{ème} siècle, en fonction des choix de développement économique. Utilisés pour simuler le climat

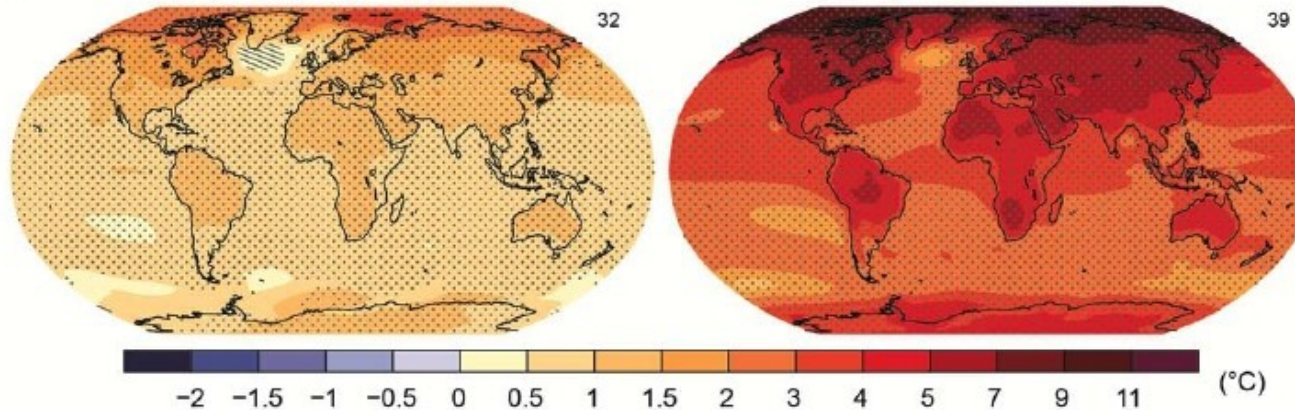
Pour la fin du XXI^{ème} siècle, les incertitudes sont liées à notre compréhension du climat (variations inter-modèles) mais surtout aux trajectoires de concentration. La plupart des scénarios indiquent une hausse des températures $>2^{\circ}\text{C}$

RCP 2.6

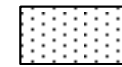
RCP 8.5

(a)

Change in average surface temperature (1986–2005 to 2081–2100)



Température



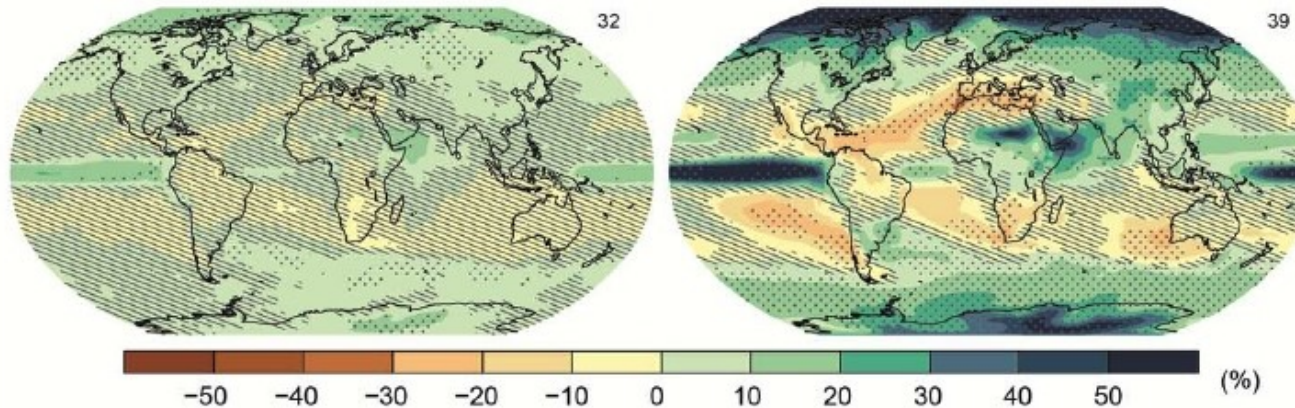
Signal/bruit élevé



Signal/bruit faible

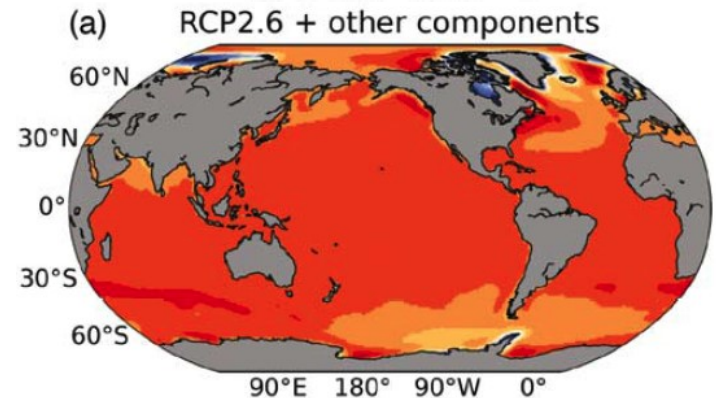
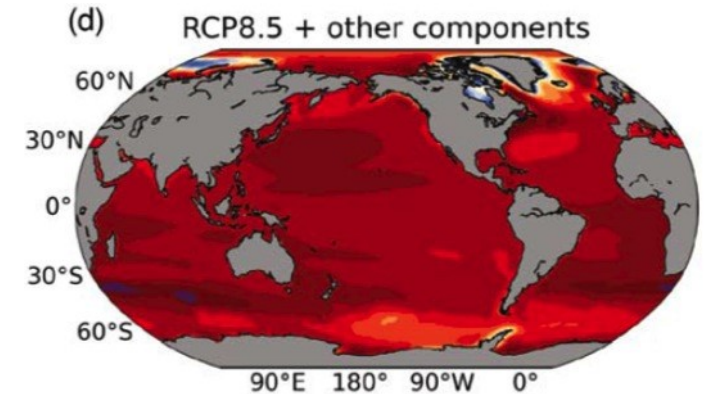
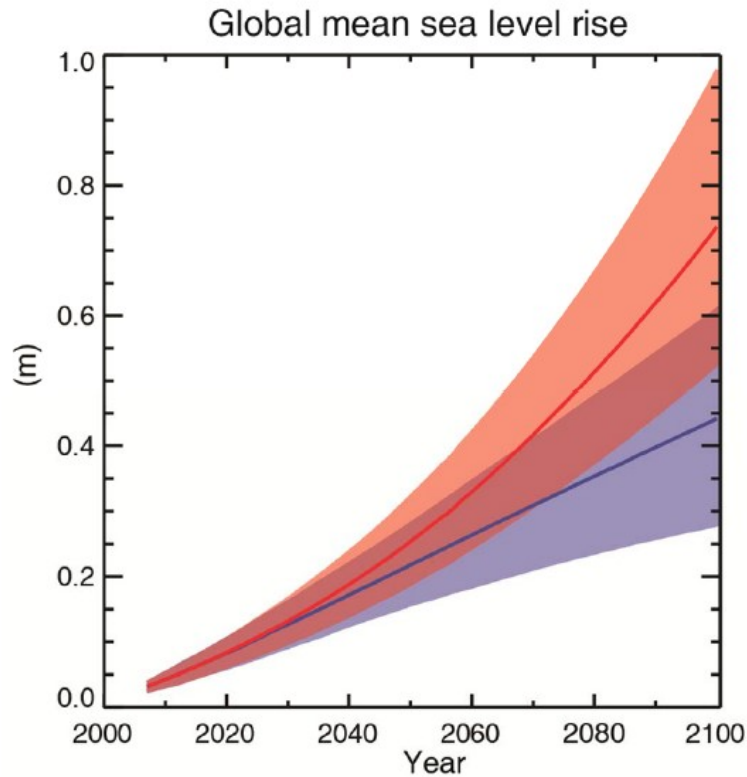
(b)

Change in average precipitation (1986–2005 to 2081–2100)

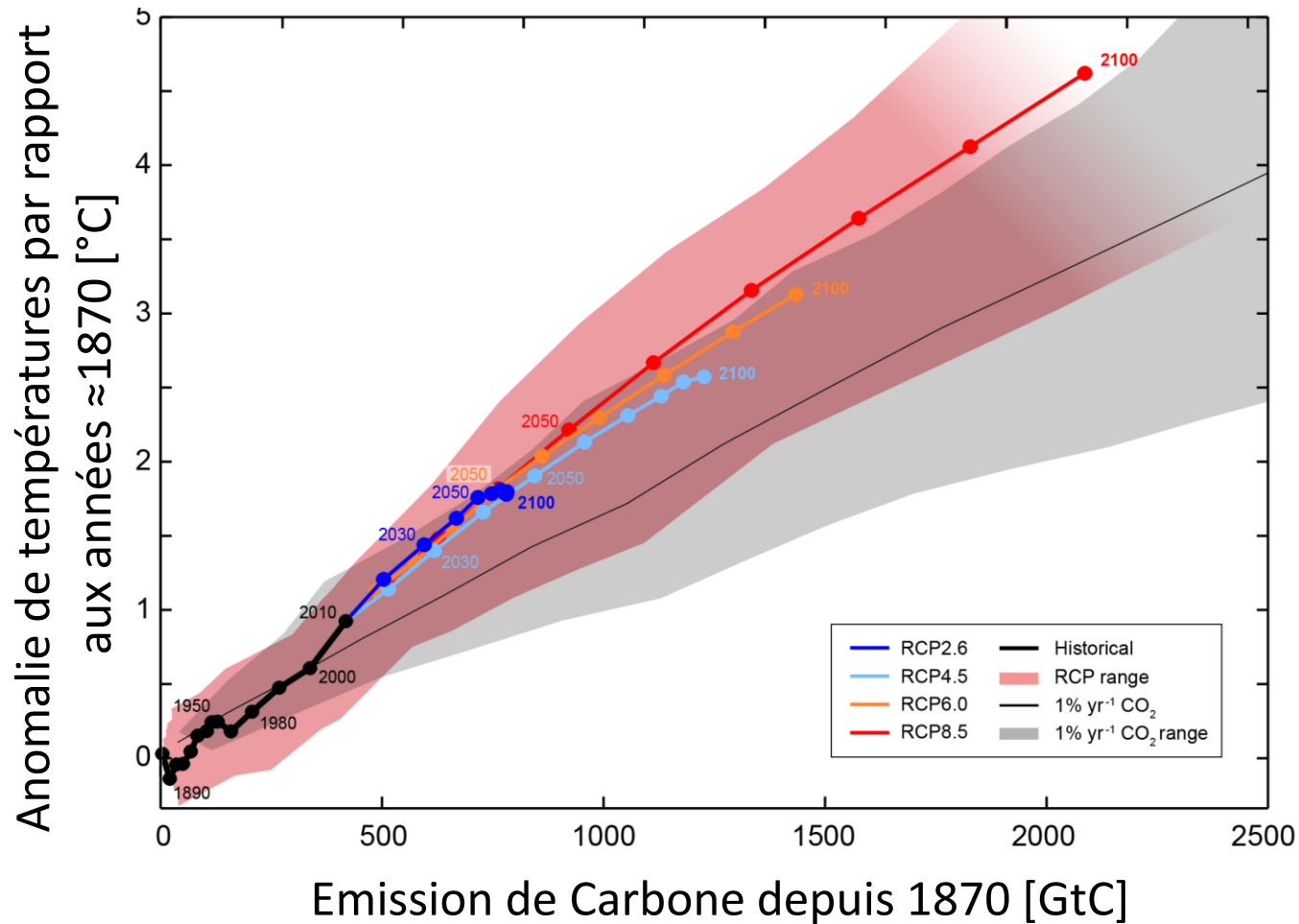


Précipitation

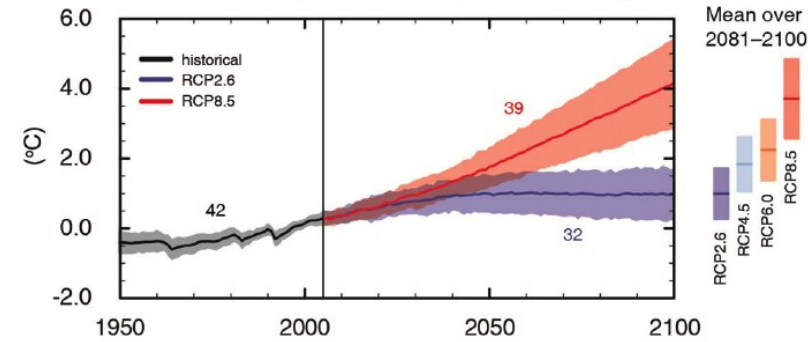
Le contraste de précipitation entre régions humides et régions sèches, et entre saisons humides et saisons sèches augmentera, bien qu'il puisse exister des exceptions régionales (*degré de confiance élevé*).



Le niveau moyen des mers continuera à s'élever au cours du XXI^e siècle. La vitesse d'élévation du niveau des mers dépassera *très probablement* la vitesse observée sur la période 1971–2010 pour tous les scénarios RCP, en raison du réchauffement accru des océans et de l'augmentation de la perte de masse des glaciers et des calottes glaciaires.



Au premier ordre, il y a un lien direct entre les émissions cumulées de CO₂ et l'augmentation de température

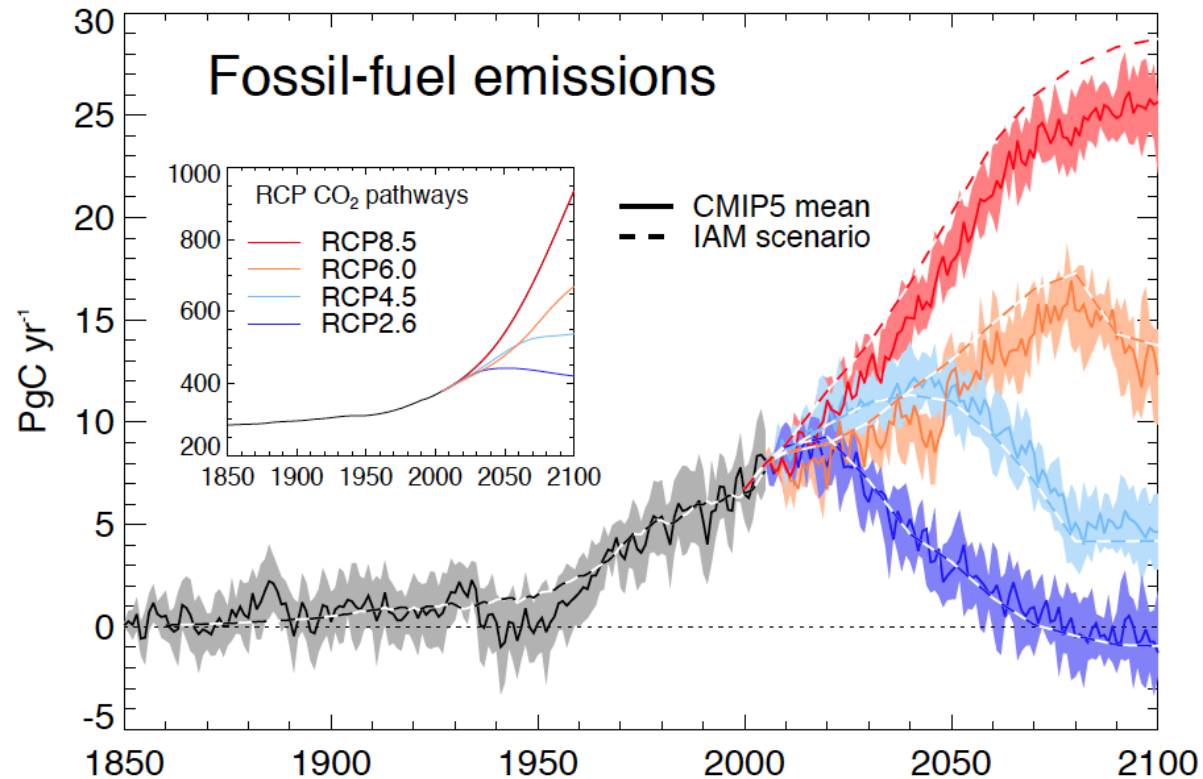


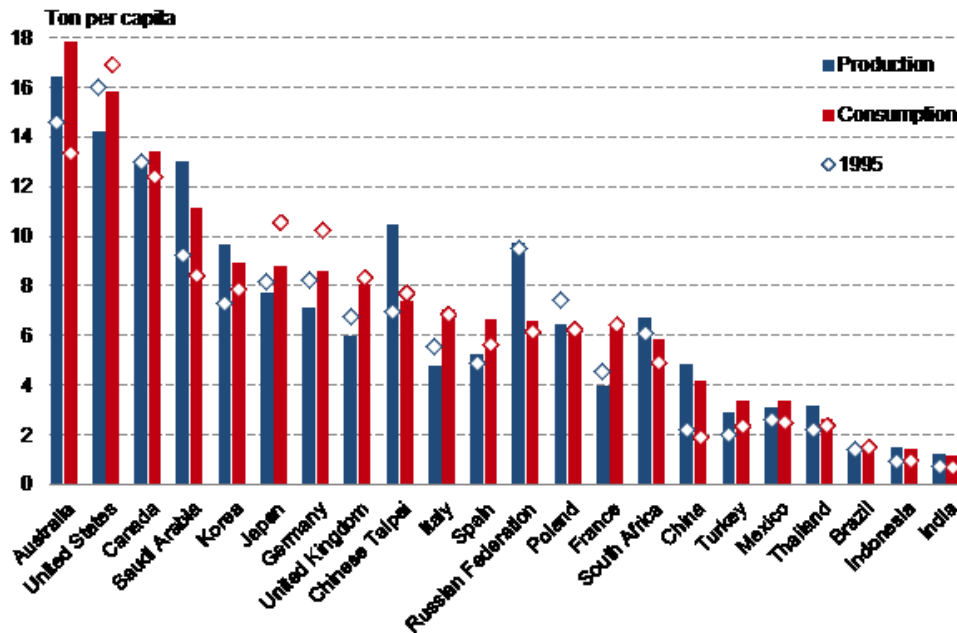
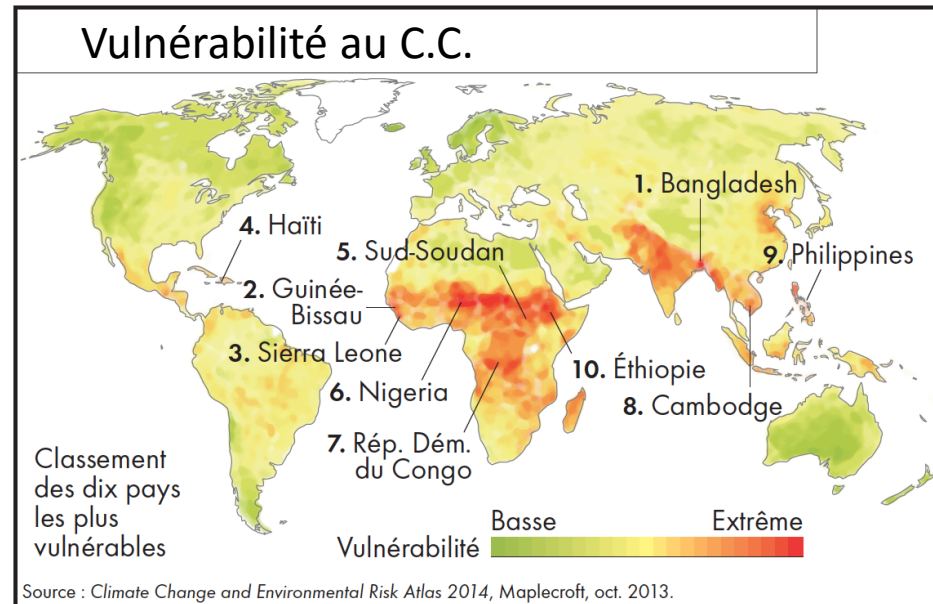
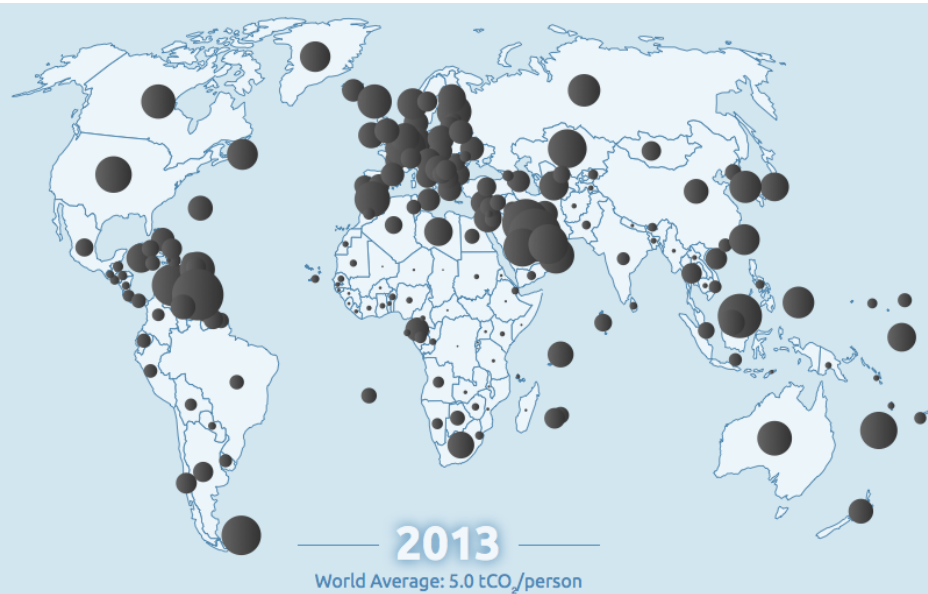
Estimation à partir des simulations incluant un couplage entre le climat et le cycle du carbone

Les émissions compatibles pour 2013-2100 sont estimées à

- 270** PgC pour RCP2.6,
- 780** PgC pour RCP4.5,
- 1060** PgC pour RCP6.0,
- 1685** PgC pour RCP8.5.

365 PgC déjà émis...
Aujourd'hui \approx **10** par an





Il y a une anti-corrélation très nette entre émission de CO₂ et vulnérabilité au changement climatique. Les "pollueurs" ne sont pas les "payeurs".

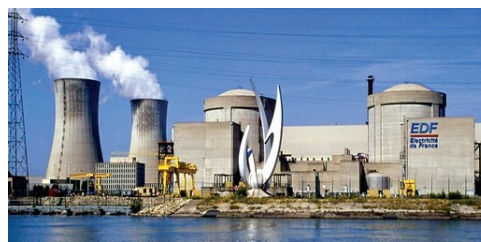
On marche sur la tête...

La lutte contre le changement climatique est utilisée pour favoriser l'installation de PV+éolien et limiter la puissance nucléaire... ou montrer l'Allemagne en exemple à suivre

Il serait nettement préférable d'investir les mêmes sommes dans l'isolation des bâtiments

Un développement du nucléaire est une composante essentielle à une transition énergétique compatible avec les objectifs climatiques (+isolation + transports électriques)

Très difficile de faire passer cette idée dans le public (*fossile = fissile*)



- Le CO_2 est le principal moteur du changement climatique mais d'autres contributions non négligeables
- Le moteur du changement climatique (augmentation de l'effet de serre) est parfaitement compris et quantifié.
- La rétroaction due aux nuages est la principale source d'incertitude pour quantifier l'ampleur du changement climatique annoncé
- Les changements climatiques annoncés sont considérables et surtout très rapides, au regard des variations « naturelles »
- Les dommages ne sont pas sur les lieux de l'émission. Il y a donc une composante éthique à la diminution des émissions
- Limiter le changement climatique à $2^\circ C$ nécessite une diminution considérable et rapide des émissions de CO_2 .