



Assemblée du 4 avril 2003

Quelques éléments sur le climat du XXI^e siècle

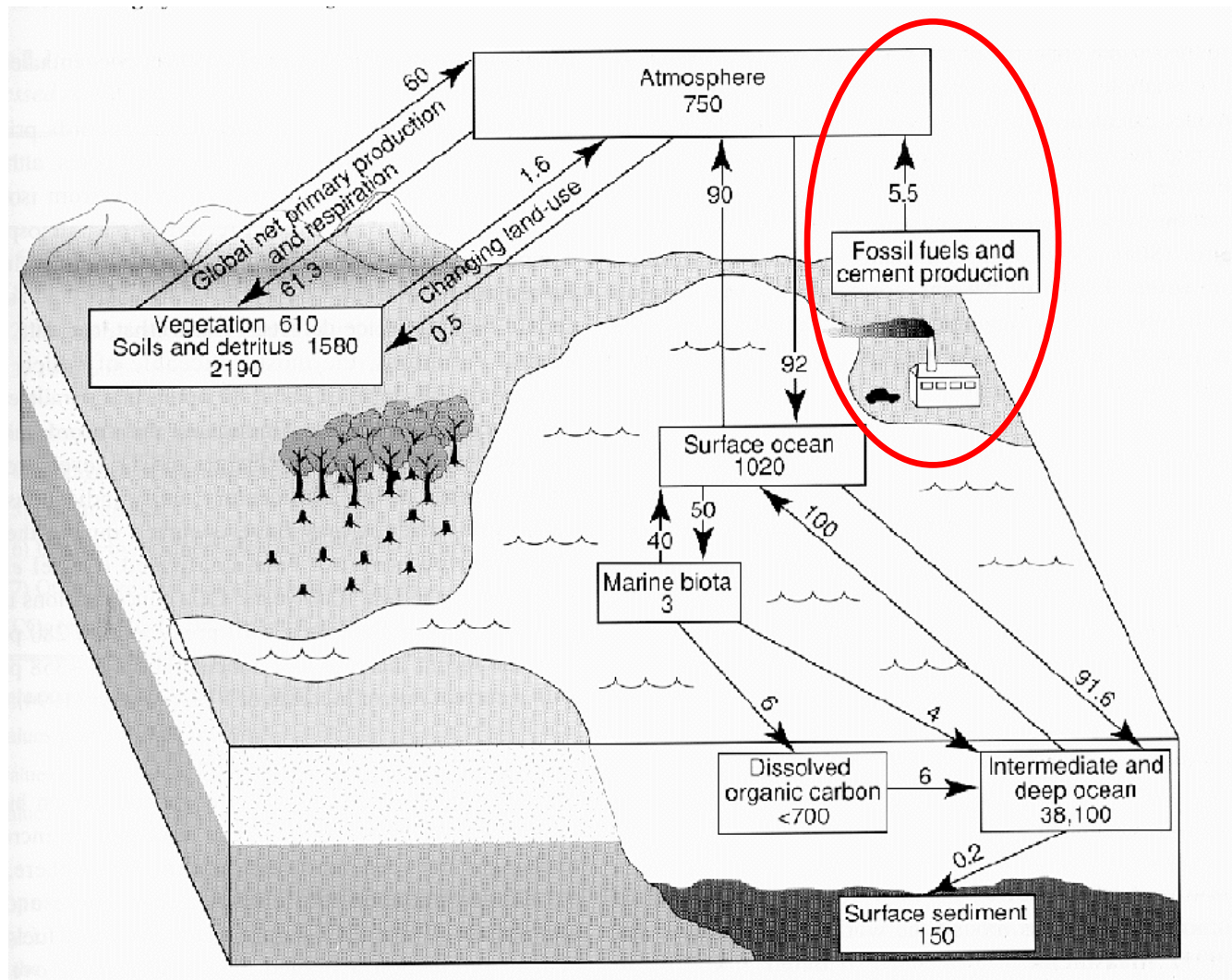
Jean-Marc Jancovici

www.manicore.com



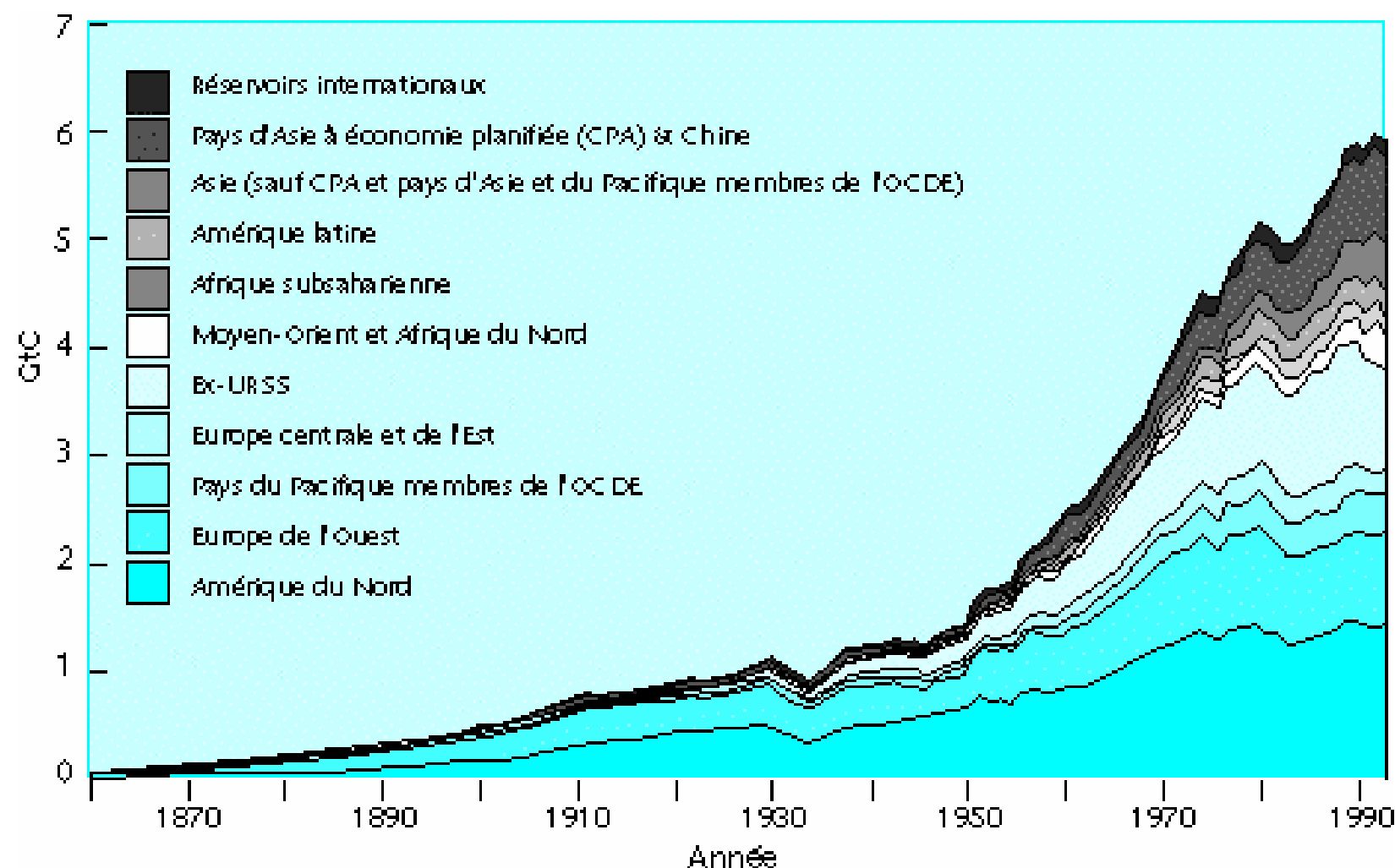
Les gaz naturels responsables de l'effet de serre

Les émissions de CO₂ perturbent des échanges naturels



L'émission liée aux activités humaines est faible comparé aux échanges naturels, mais importante comparée au solde de ces échanges naturels

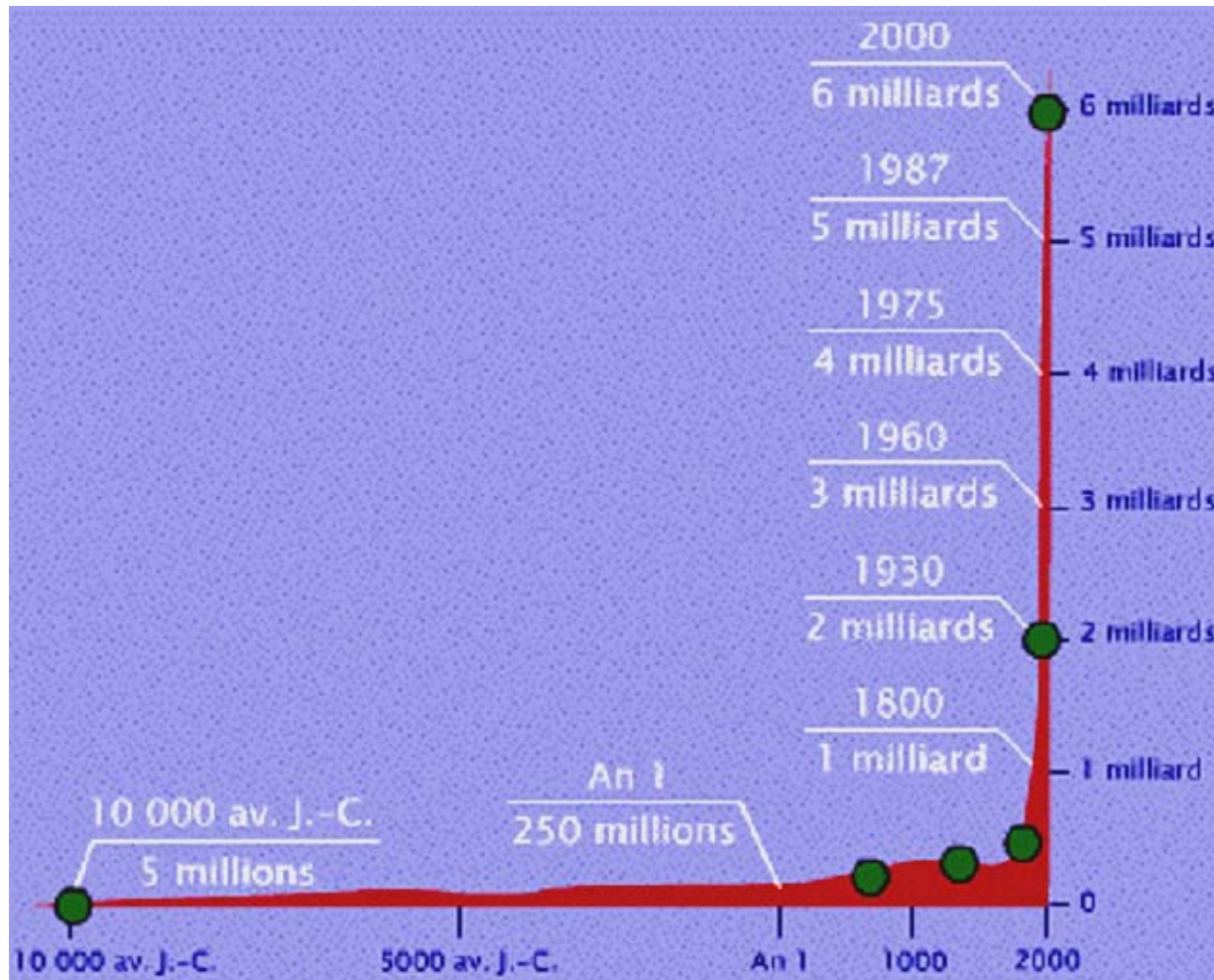
Emissions de CO₂ provenant de combustibles fossiles



Les émissions de CO₂ provenant de combustibles fossiles ont été multipliées par plus de 4 depuis 1950. Climate Change 1995, GIEC

Pourquoi émettons nous du CO₂ ?

Première cause : il y a de plus en plus d'émetteurs !



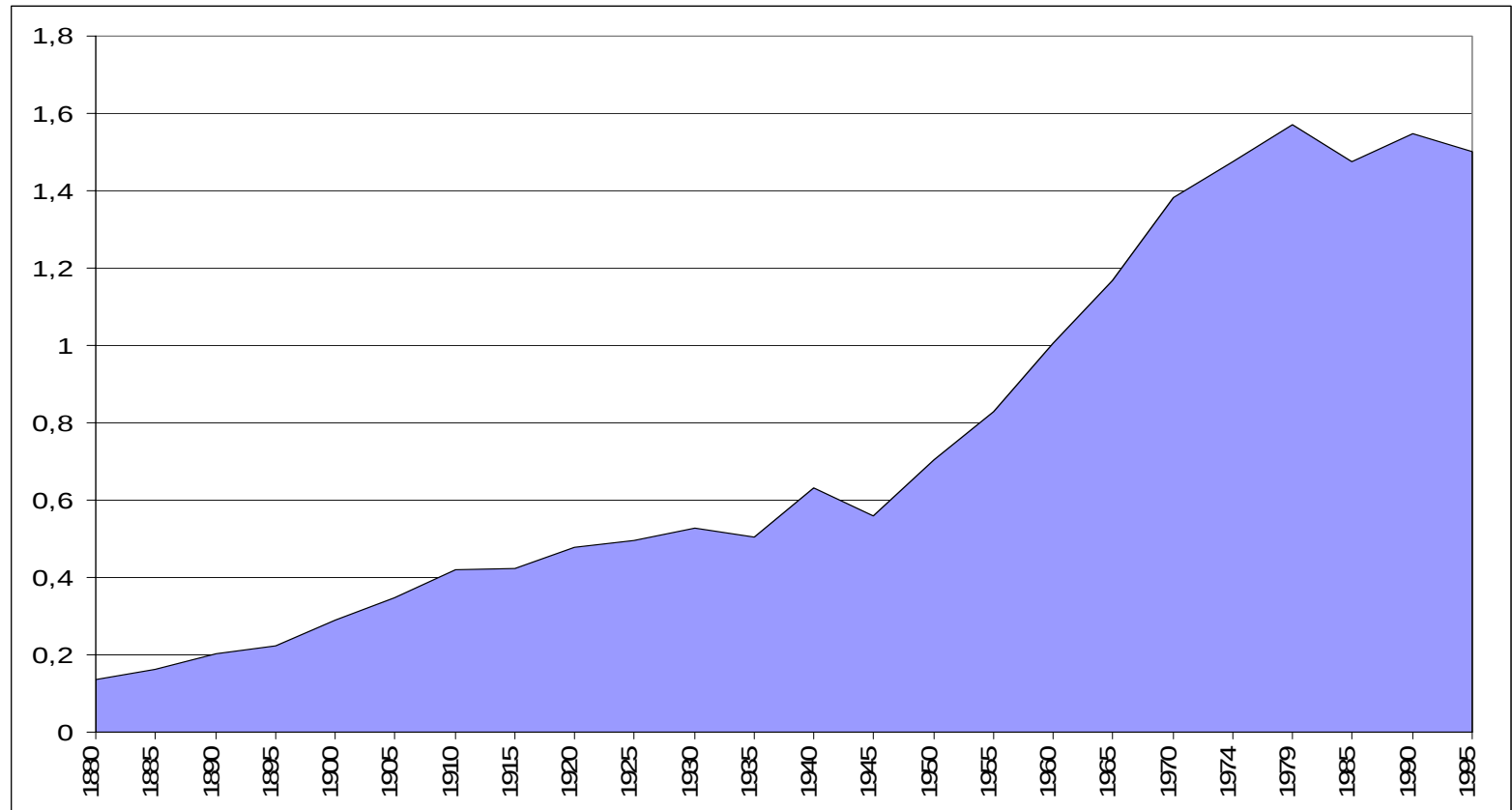
Évolution démographique depuis le néolithique (découverte de l'agriculture). Source : Musée de l'Homme

Pourquoi émettons nous du CO2 ?

Deuxième cause : chaque individu consomme de plus en plus d'énergie

Consommation
d'énergie par
habitant en
TEP (tonnes
équivalent
pétrole) - hors
biomasse

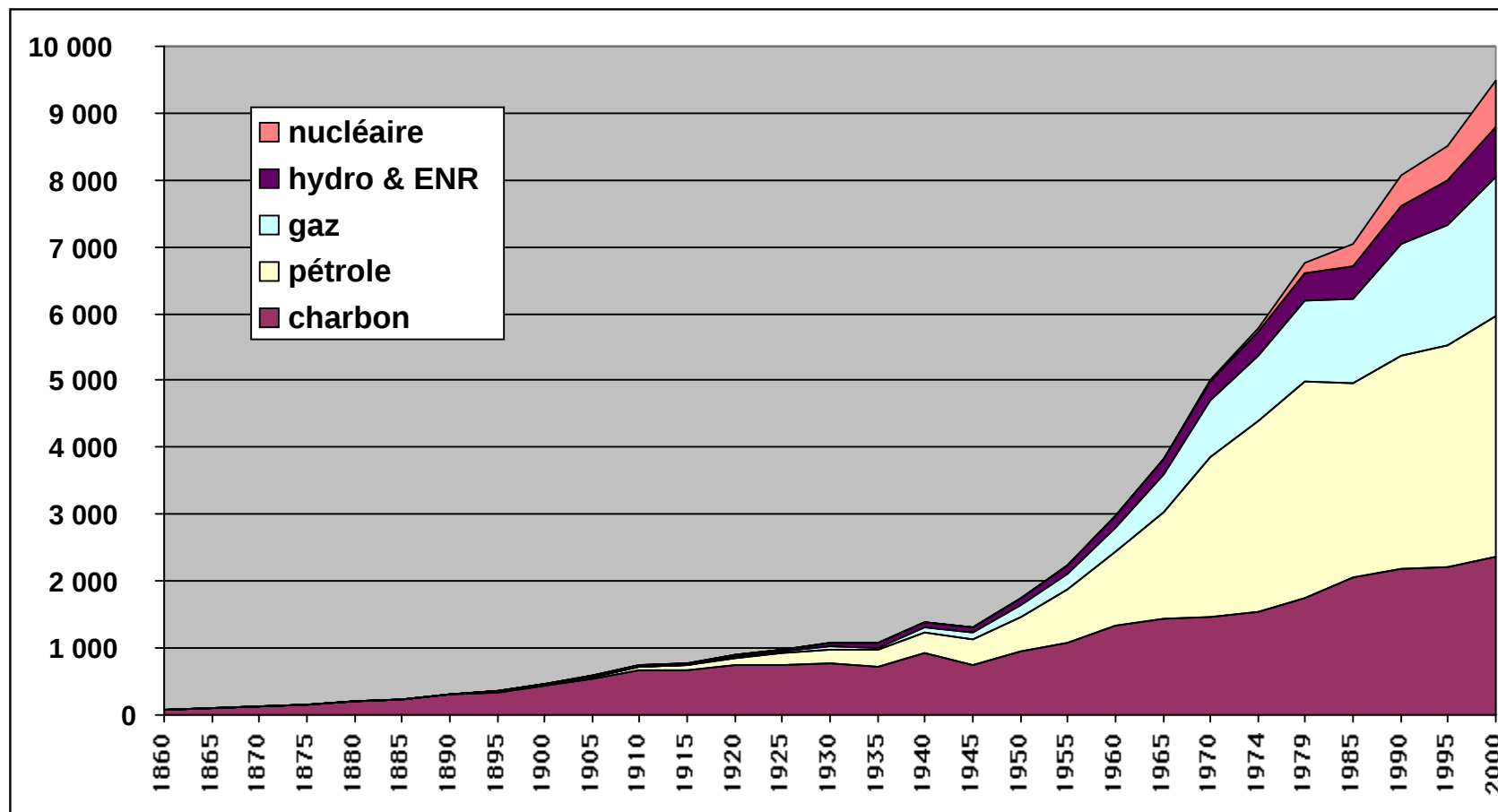
Sources
diverses



- **Multiplication** par **7** en **1** siècle de la consommation d'énergie / habitant
- Donc l'effet de serre anthropique n'est pas seulement dû à l'évolution démographique fulgurante que nous avons connue

Consommation totale d'énergie de l'humanité

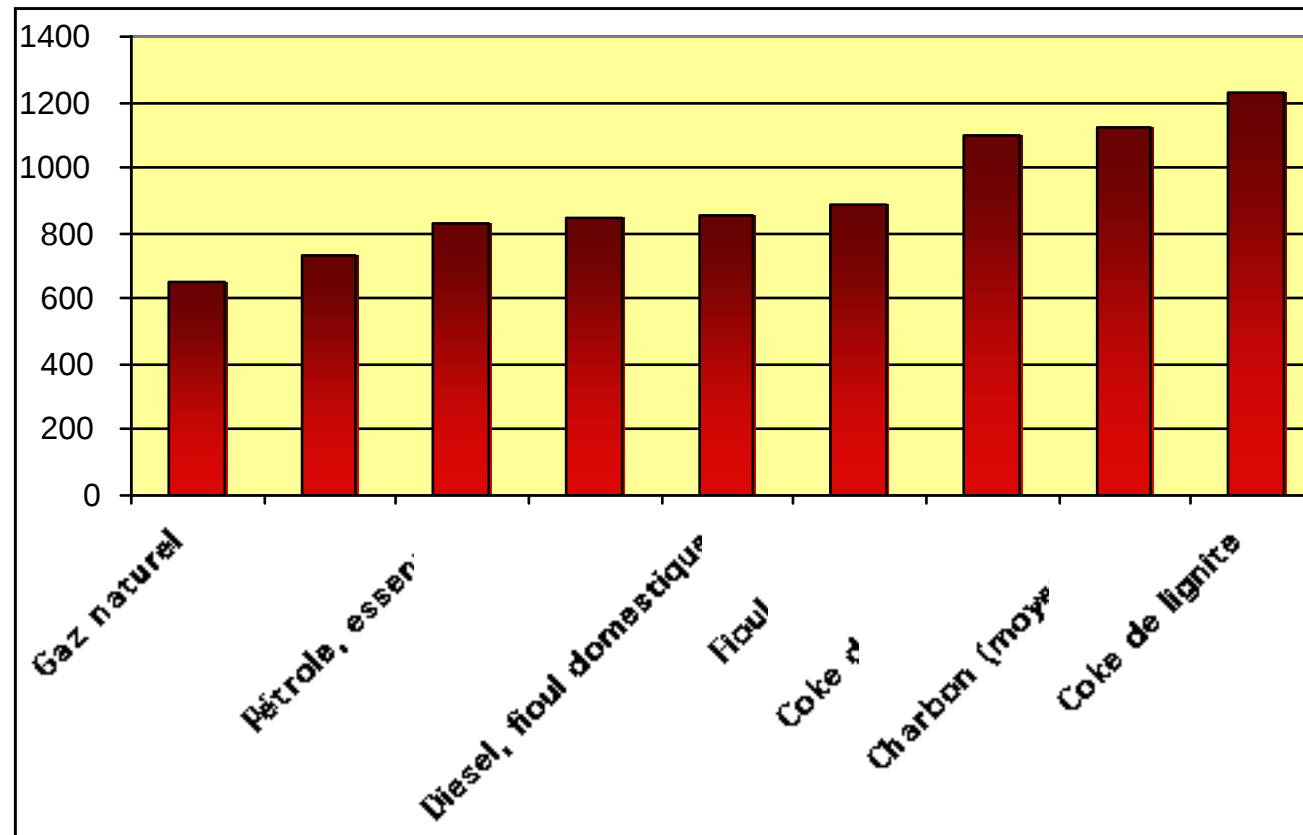
en Mtep (millions de tonnes équivalent pétrole). Source Schilling & al + Observatoire énergie



Depuis que l'homme a découvert les combustibles fossiles, la consommation de l'humanité n'a cessé d'augmenter. Chaque nouvelle source d'énergie est venue se surajouter aux autres et connaît sa propre évolution exponentielle : aucune substitution ne se constate au niveau mondial. Un Américain consomme 4 fois plus de charbon qu'un Chinois.

Toutes les énergies fossiles ne sont pas équivalentes...

Mais toutes émettent du CO₂

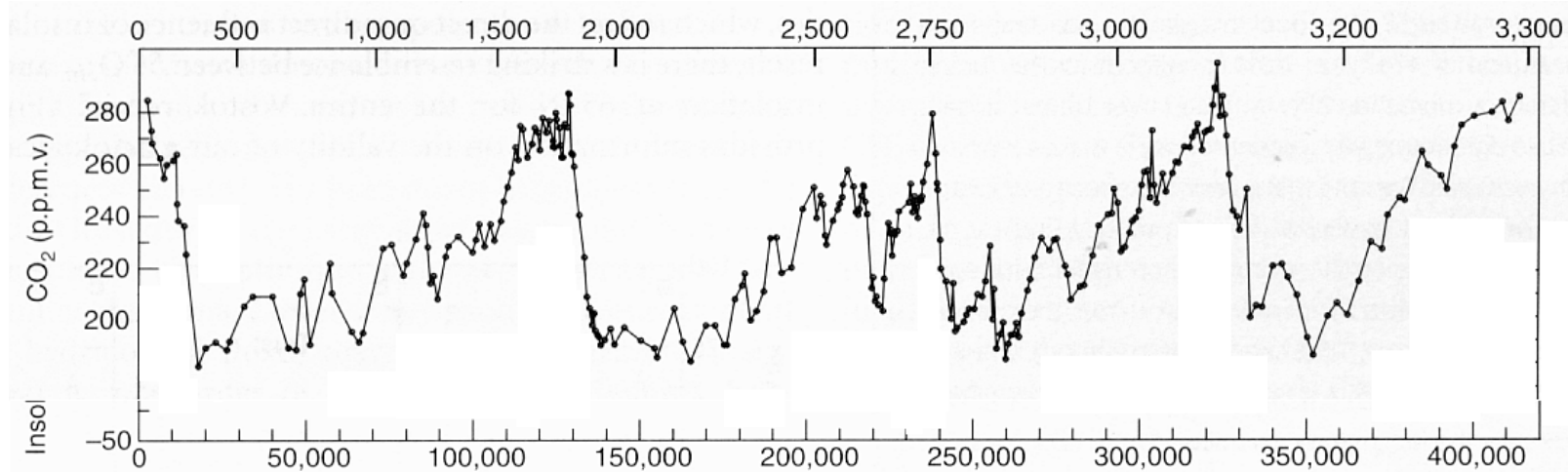
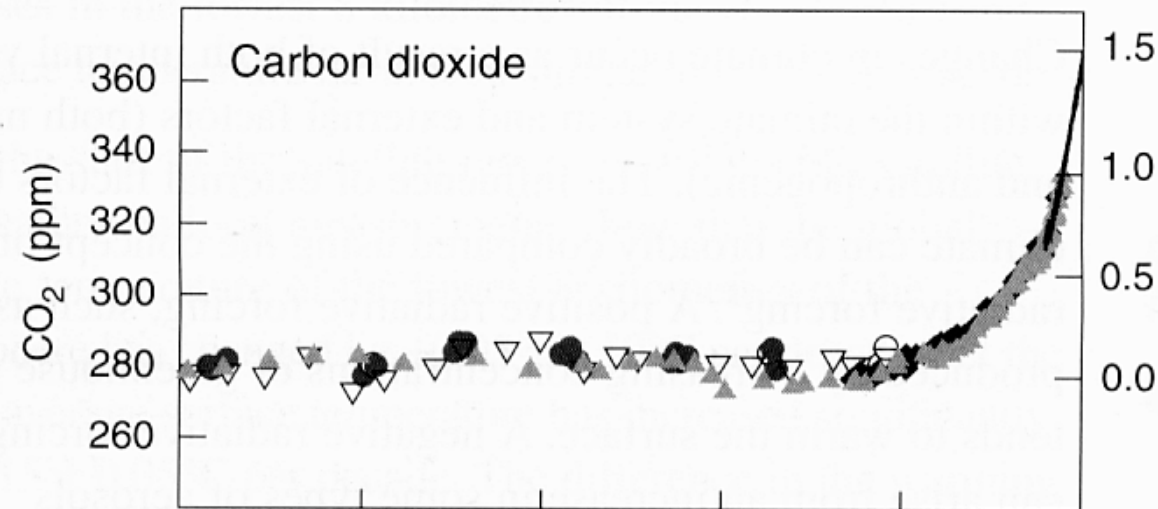


Contenu en carbone par tonne équivalent-pétrole, selon la nature du combustible. Source PNUE

Tout ce CO₂ se retrouve dans l'air, et.....une partie y reste

Concentration sur
les 1.000
dernières années.

Source : Climate
Change 2001, the
scientific Basis,
GIEC



Concentration atmosphérique de CO₂ sur les 400.000 dernières années. Source : Petit & al, Nature, 1999

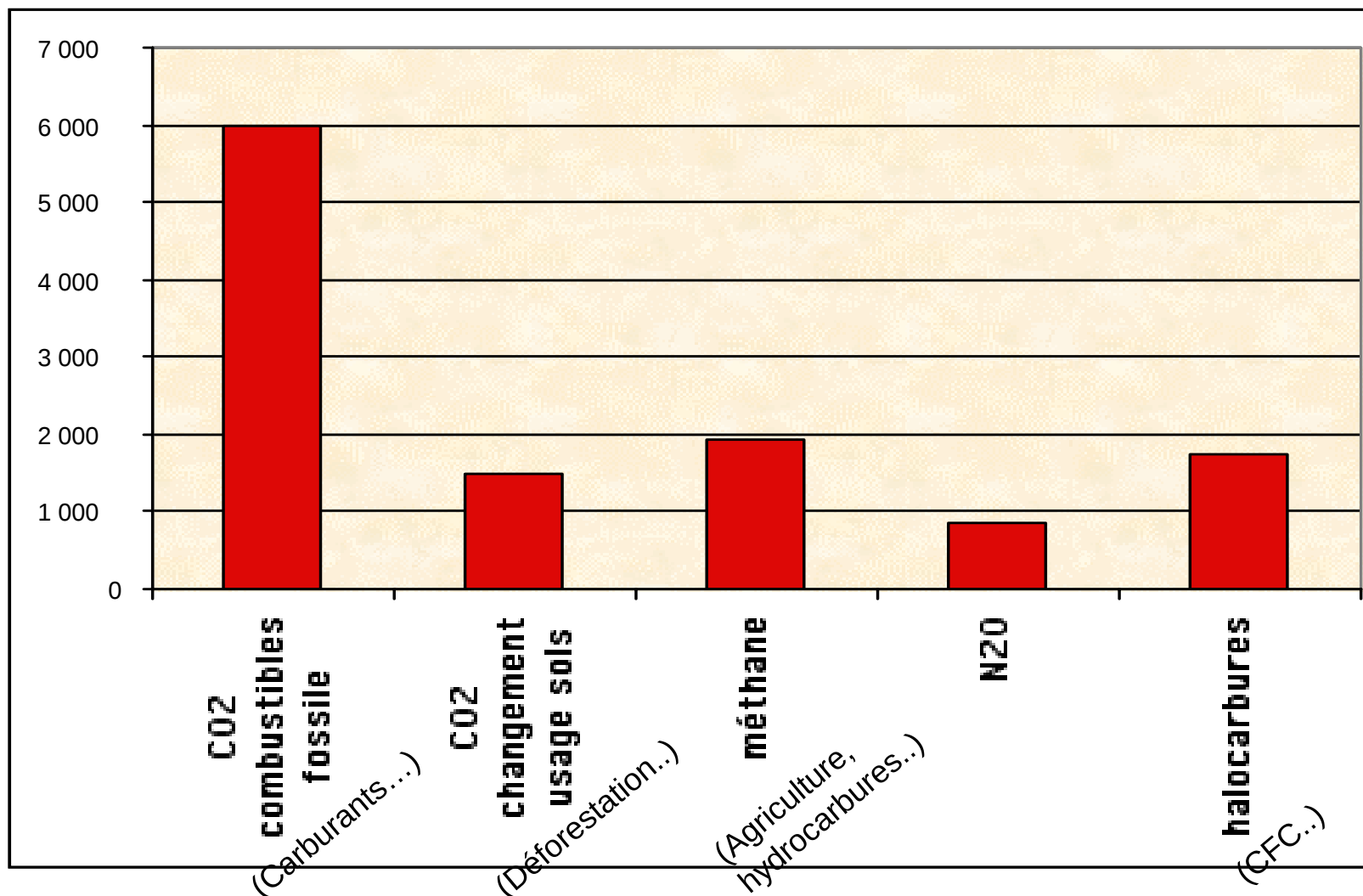
Les carottages glaciaires, source d'avancées majeures



A gauche, un carottier, à droite, un des morceaux de la carotte extraite à Vostok. Images aimablement communiquées par Jean-Robert Petit , Laboratoire de Glaciologie de Grenoble

Il n'y a pas que le CO₂ qui perturbe le climat

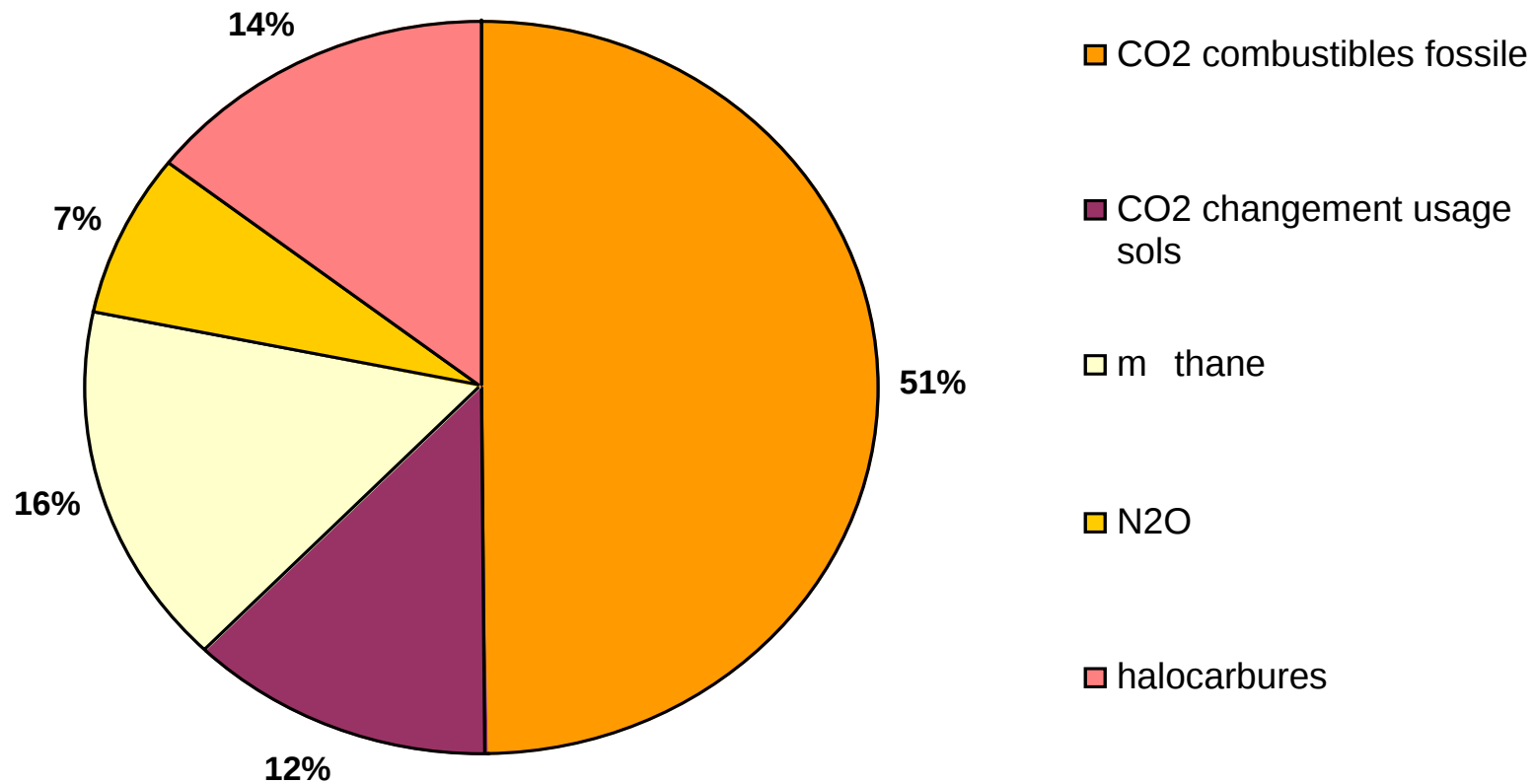
En Gtec/an (Milliards de tonnes équivalent carbone par an)



50 % des gaz à effet de serre sont issus de la combustion des hydrocarbures
(la part de la déforestation est appréciée à ± 50%)

Émissions anthropiques principales de gaz à effet de serre

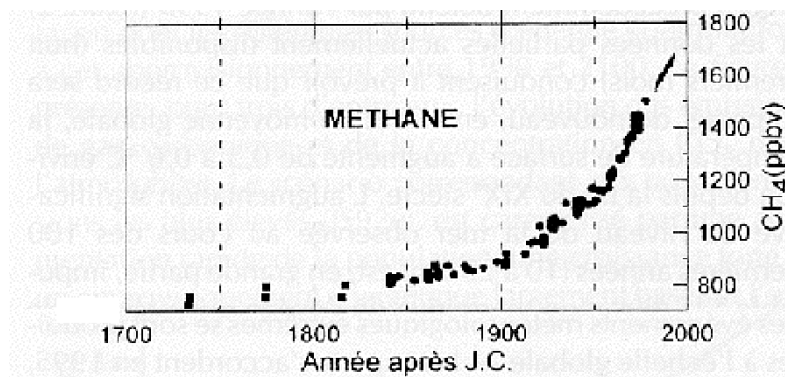
En pourcentage



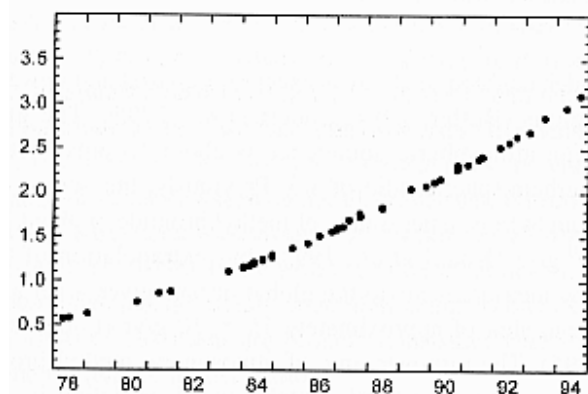
50 % des gaz à effet de serre sont issus de la combustion des hydrocarbures

Les autres gaz s'accumulent aussi pour partie dans l'atmosphère

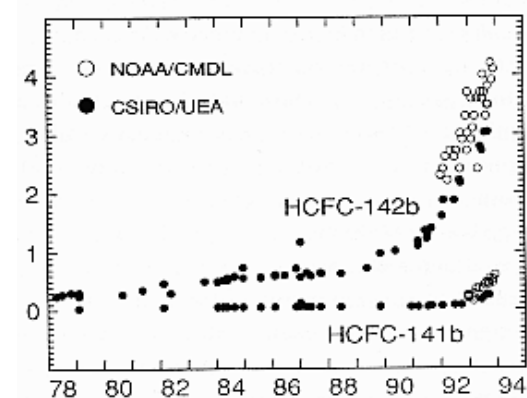
Concentrations dans l'air de divers gaz à effet de serre.
Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC



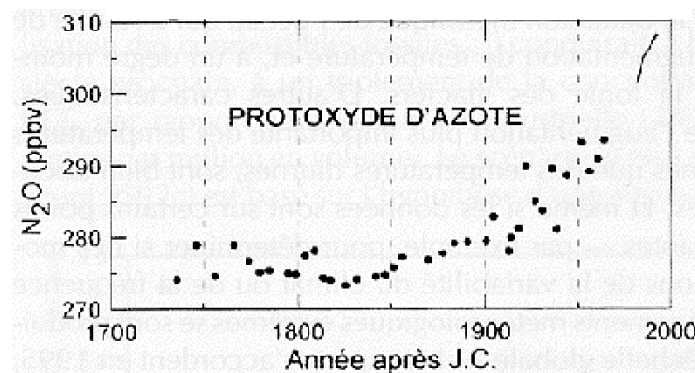
Méthane (CH₄)



Hexafluorure de soufre (SF₆)



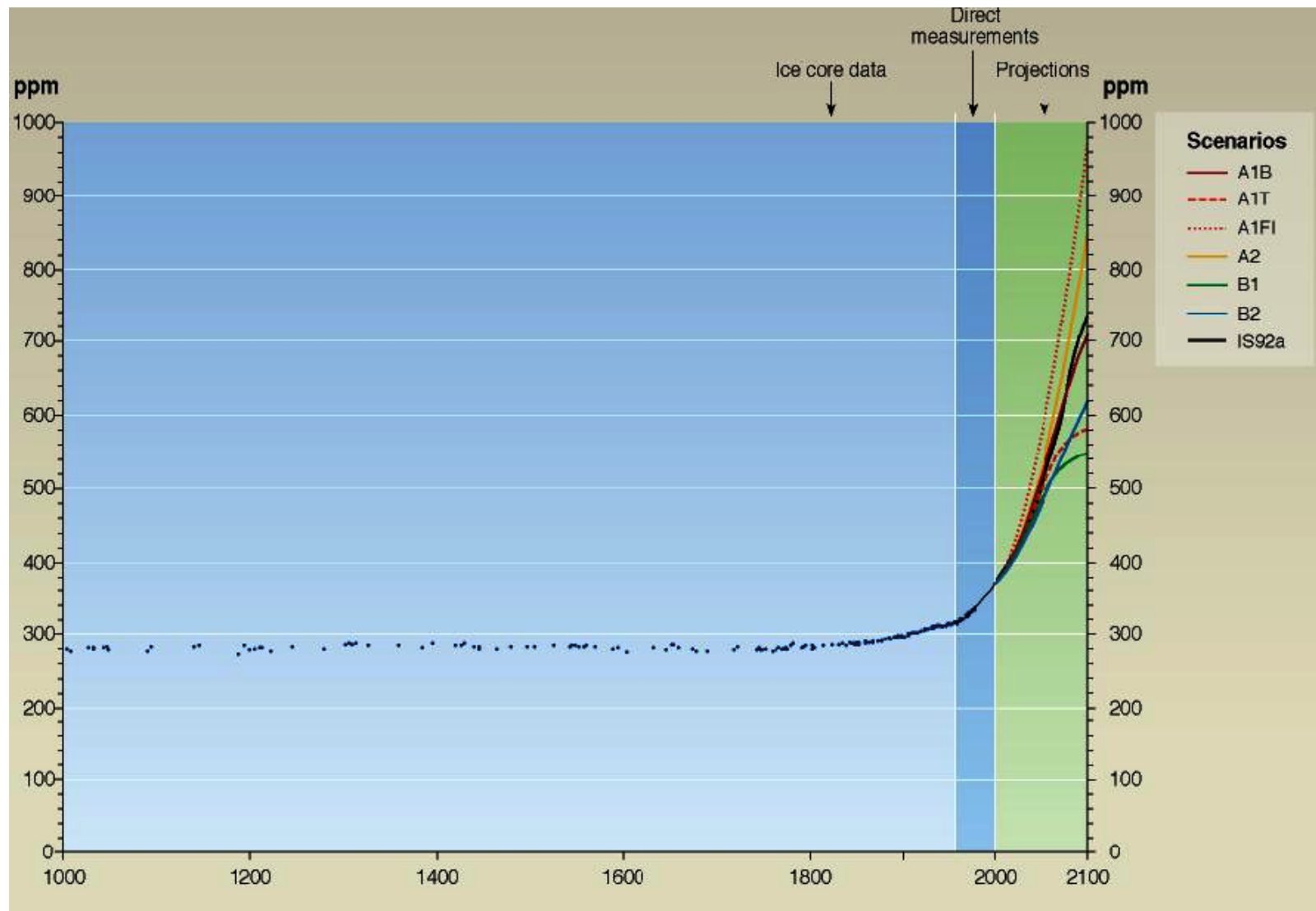
Deux exemples d'HFC
(substituts des CFC)



Protoxyde d'azote (N₂O)

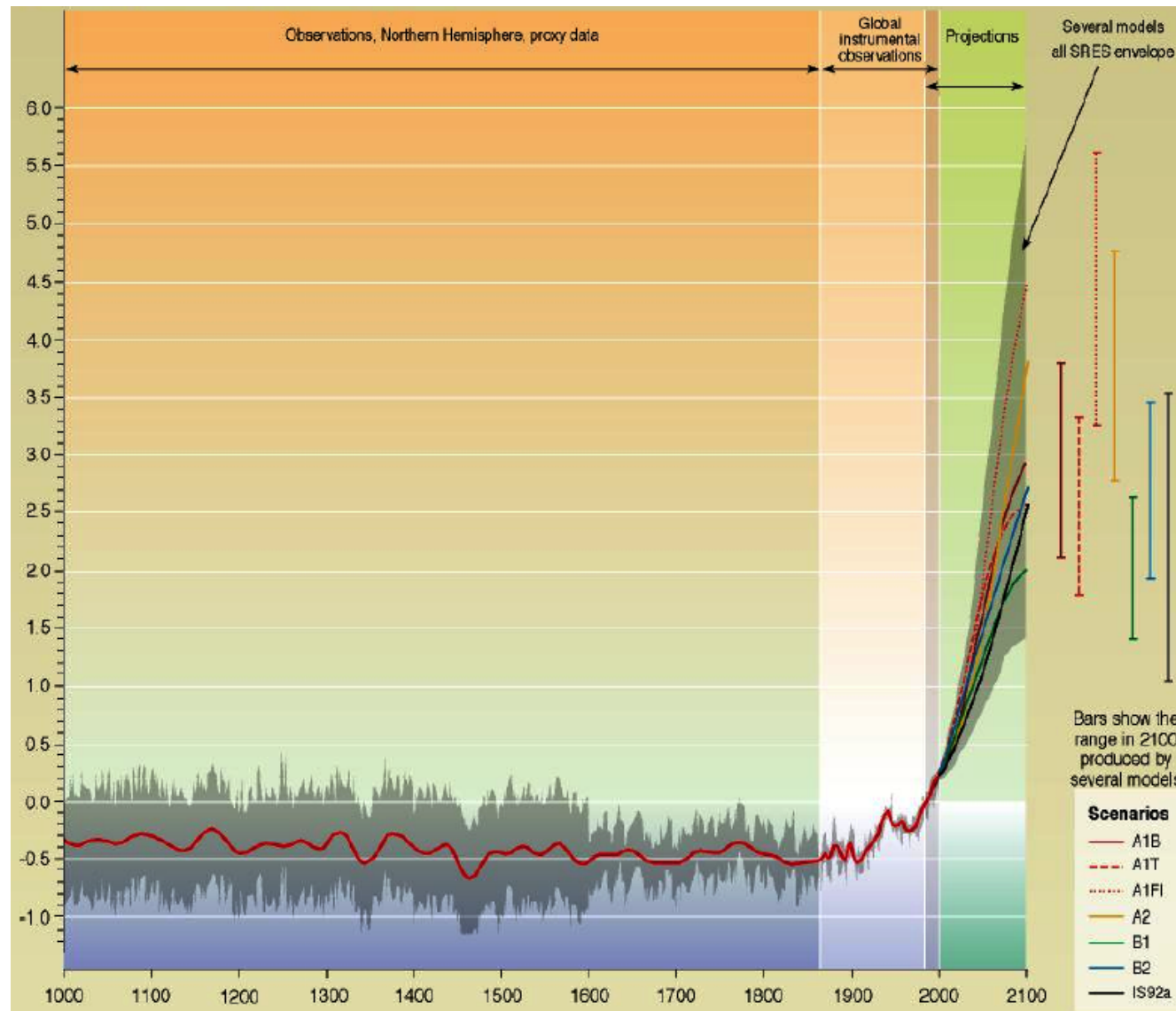
Évolution de la concentration en CO₂ pour ces divers scénarios

Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC, 2001



Tous les scénarios envisagés conduisent à une augmentation brutale de la concentration atmosphérique en CO₂, plus ou moins vite selon nos comportements à venir

Je mets mes scénarios d'émission dans les modèles : quel résultat ?

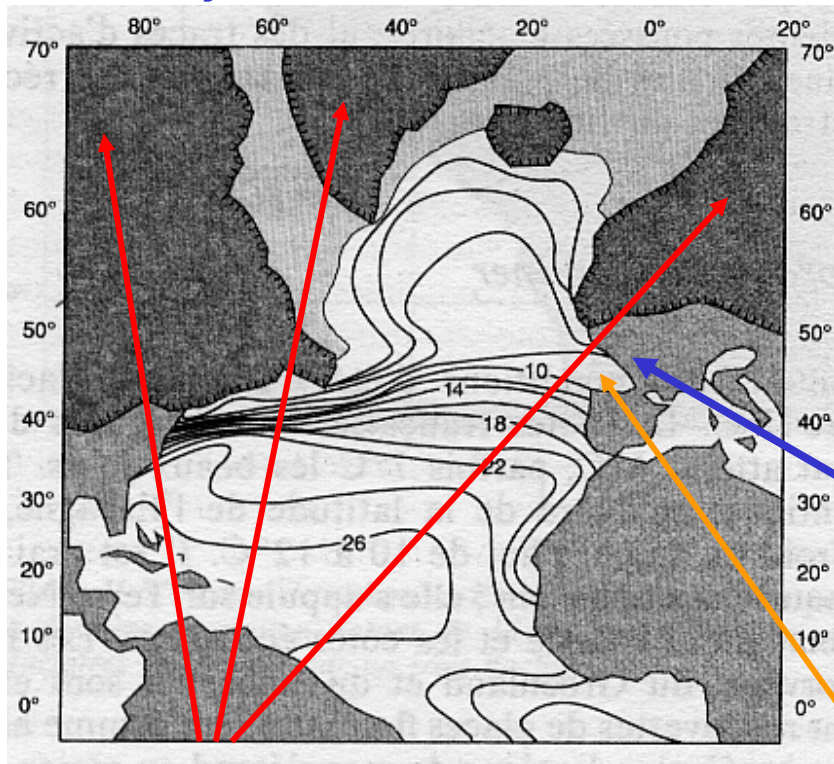


Évolution de la température moyenne de l'air au niveau du sol, selon les scénarii, et mise en perspective avec le passé. Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC

Quelques degrés en plus, ce n 'est pas une peccadille

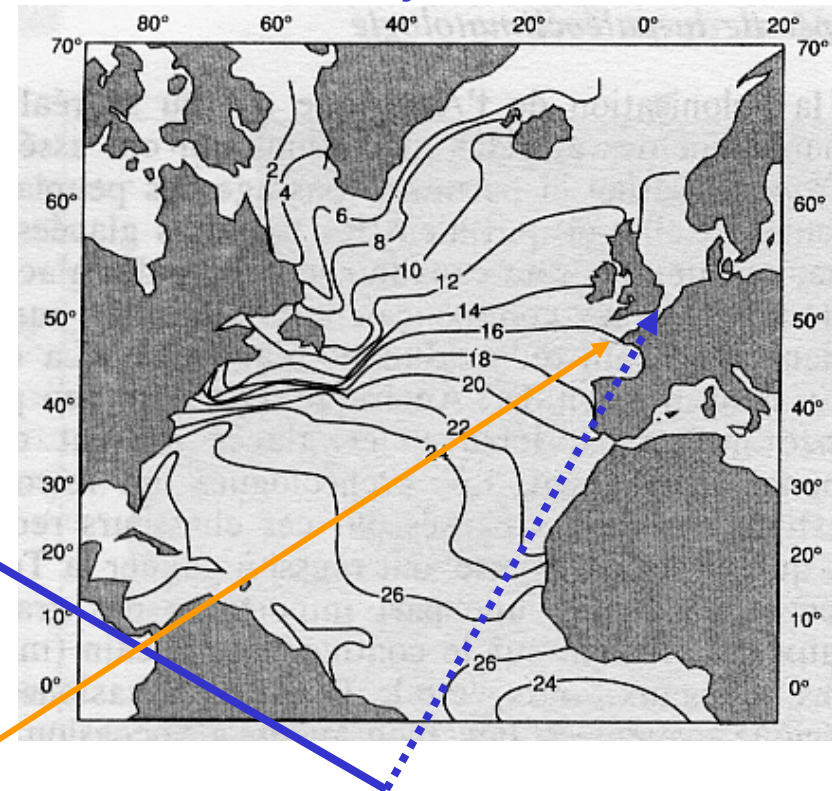
Entre une période glaciaire et la période actuelle **il n 'y a «que» 5°C d'écart de la moyenne planétaire**. Carte communiquée par JC Duplessy, d 'après programme CLIMAP

Il y a 20.000 ans



Période glaciaire : d 'immenses calottes épaisses de plusieurs km recouvrent l'Amérique et l'Europe du nord. La France est couverte d'une maigre steppe, bien incapable de nourrir des millions d'hommes

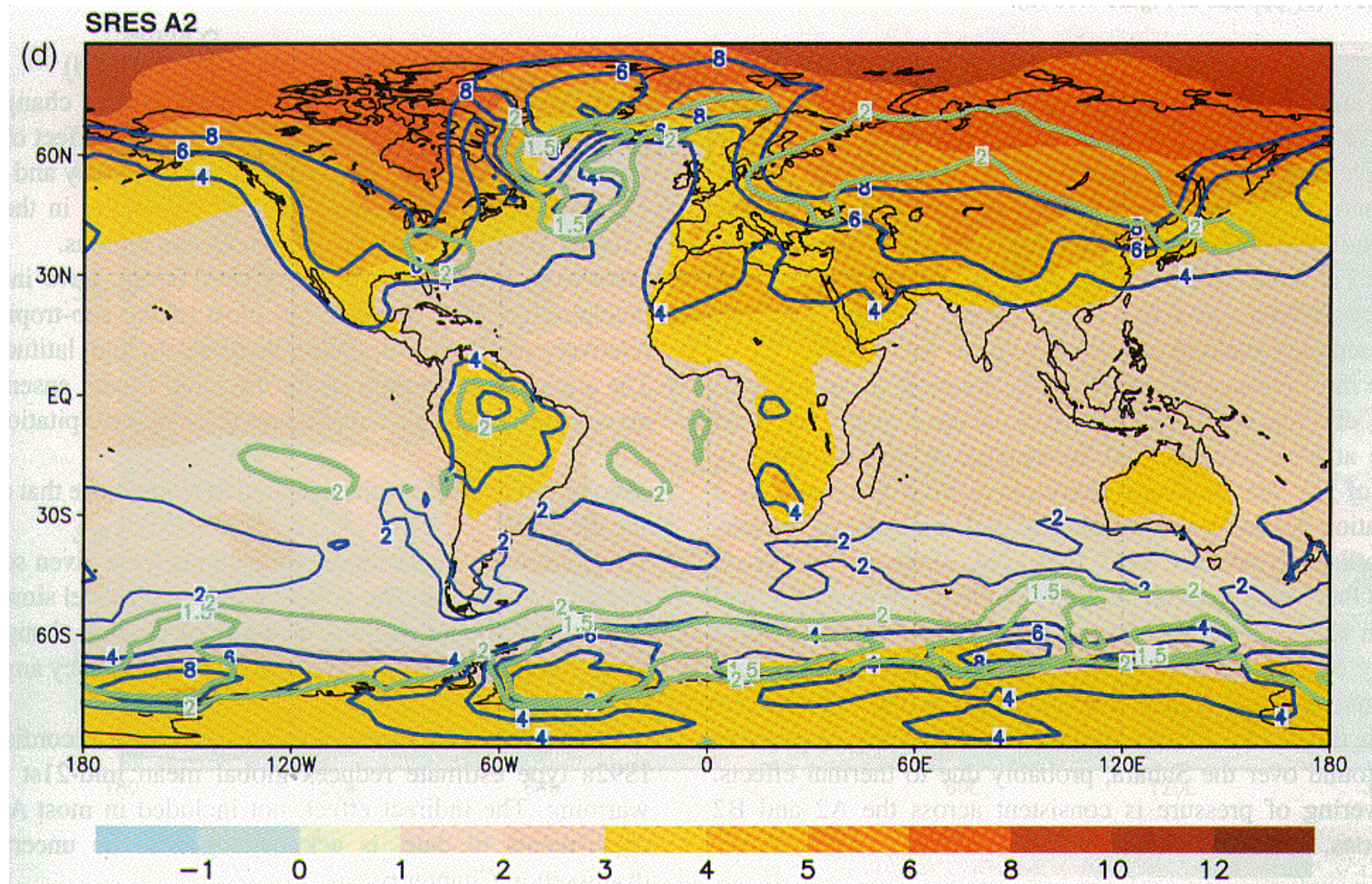
Aujourd'hui



Période glaciaire : la température de l'Europe est plus basse de 8 à 10 °C mais celle des tropiques a peu varié

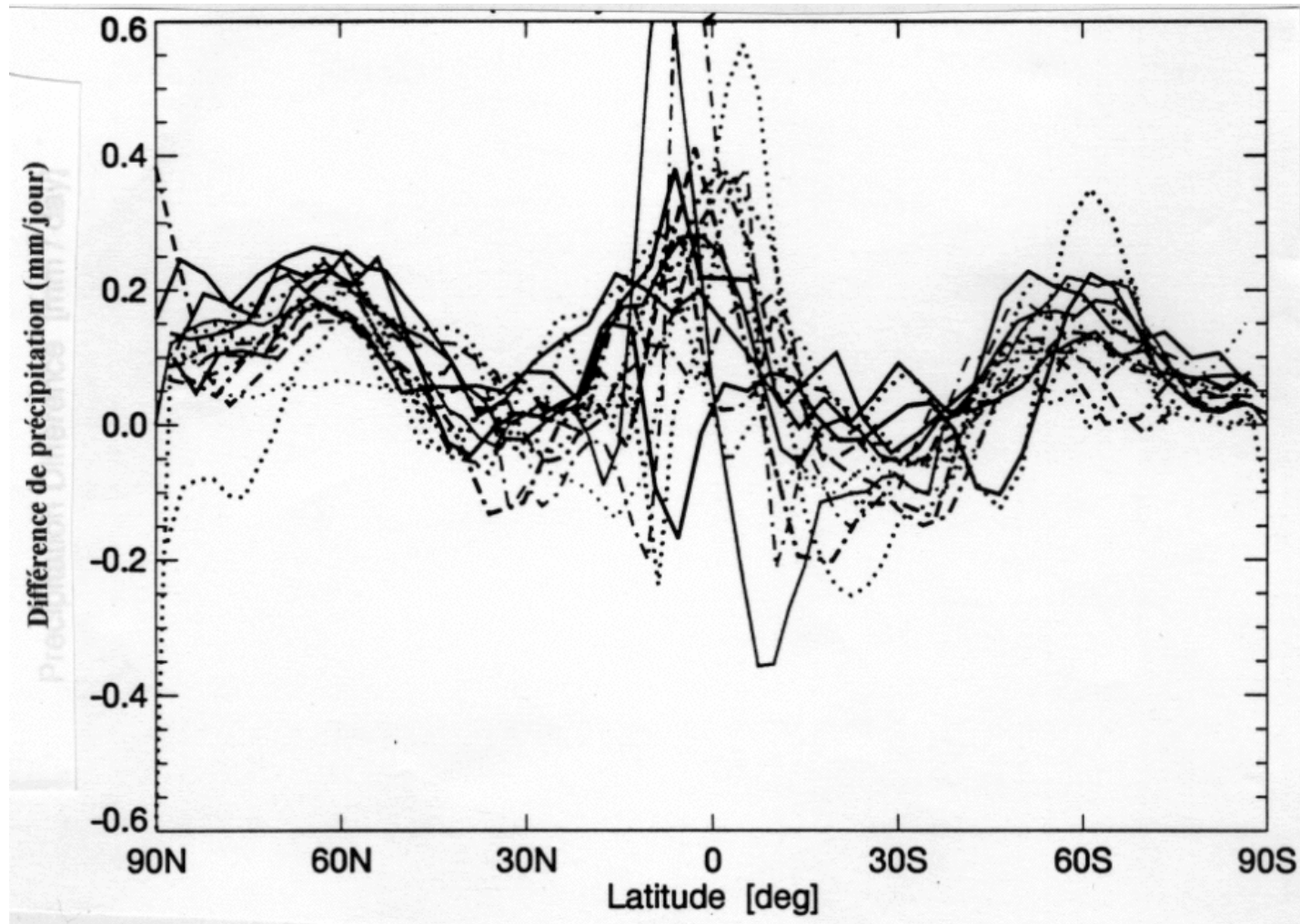
Période glaciaire : on passe à pied sec de France en Angleterre : la mer a baissé de 120 mètres !

La température n'évoluera pas partout de la même manière (bis)



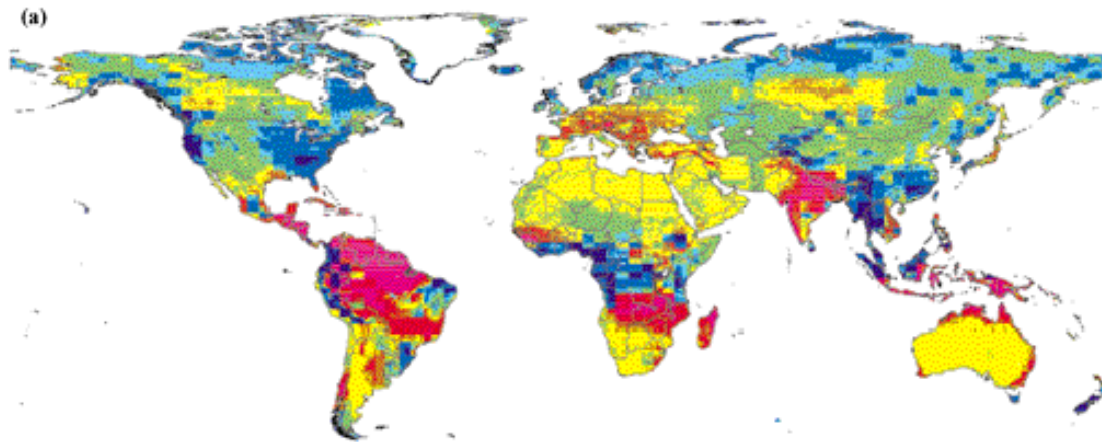
Évolution régionale de la température (°C) en 2100 pour le scénario A2 (800 ppmv de CO₂ en 2100 ; 3,8 °C d'élévation moyenne). Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC

Après la température, la pluie

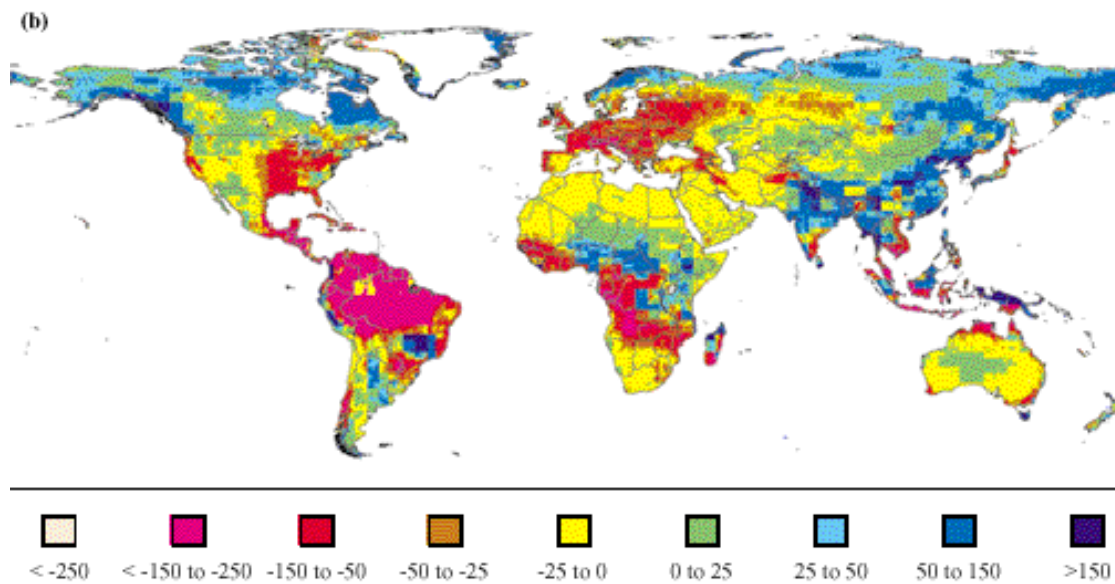


Évolution de la Pluviométrie en fonction de la latitude à x2 CO₂. Source : IPSL/PCMDI

Après la température, la pluie (2)



Évolutions régionales de la Pluviométrie en 2050 par rapport à 1960-1990 avec les modèles HadCM2 (ci-dessus) et HadCM3 (ci-dessous) avec le CO₂ augmentant de 1% par an. Source : GIEC, 2001



Quels seront les impacts du changement climatique ?

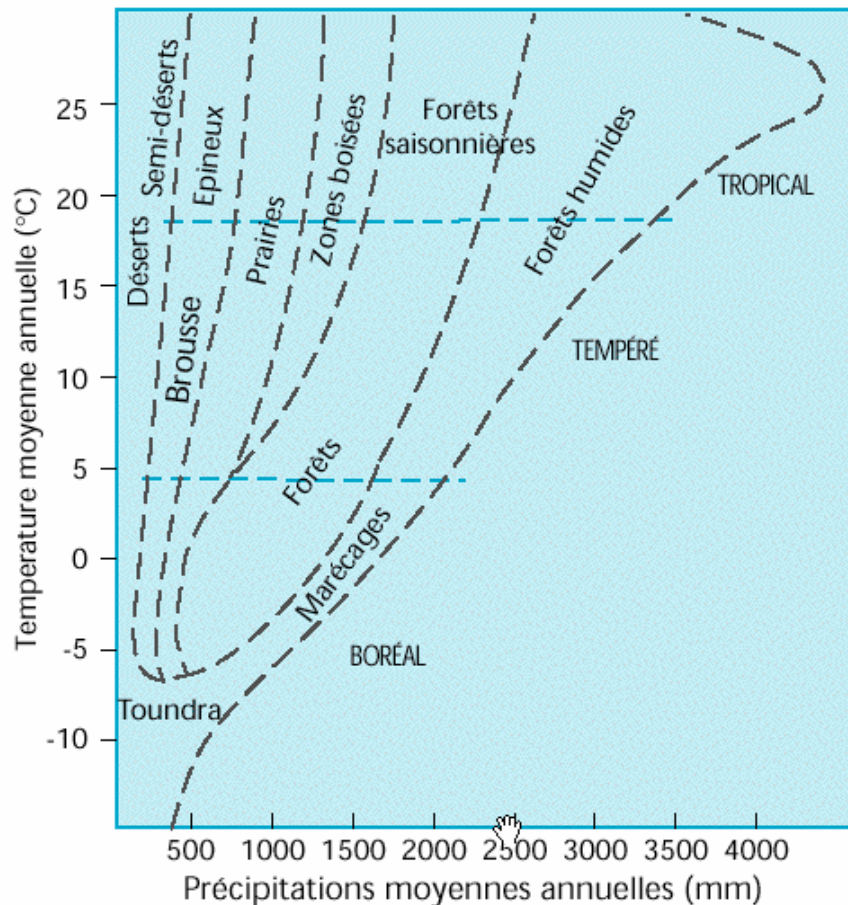
On parle de **risques** du changement climatique.

Il s'agit d'une approche **probabiliste** (en opposition à une approche déterministe), car **aucune modification ne peut être prévue de manière précise, ni dans le temps ni dans l'espace** : seuls des risques peuvent éventuellement être caractérisés, c'est à dire une augmentation de la probabilité que survienne un événement donné.

Bien évidemment, les risques ne sont pas identiques selon l'évolution future, globale et locale, et selon le degré de résistance et d'adaptation des populations qui devront y faire face.

Atteintes des écosystèmes continentaux et de l'agriculture

la pluviométrie prime sur la température, l'effet du vent n'est pas évalué



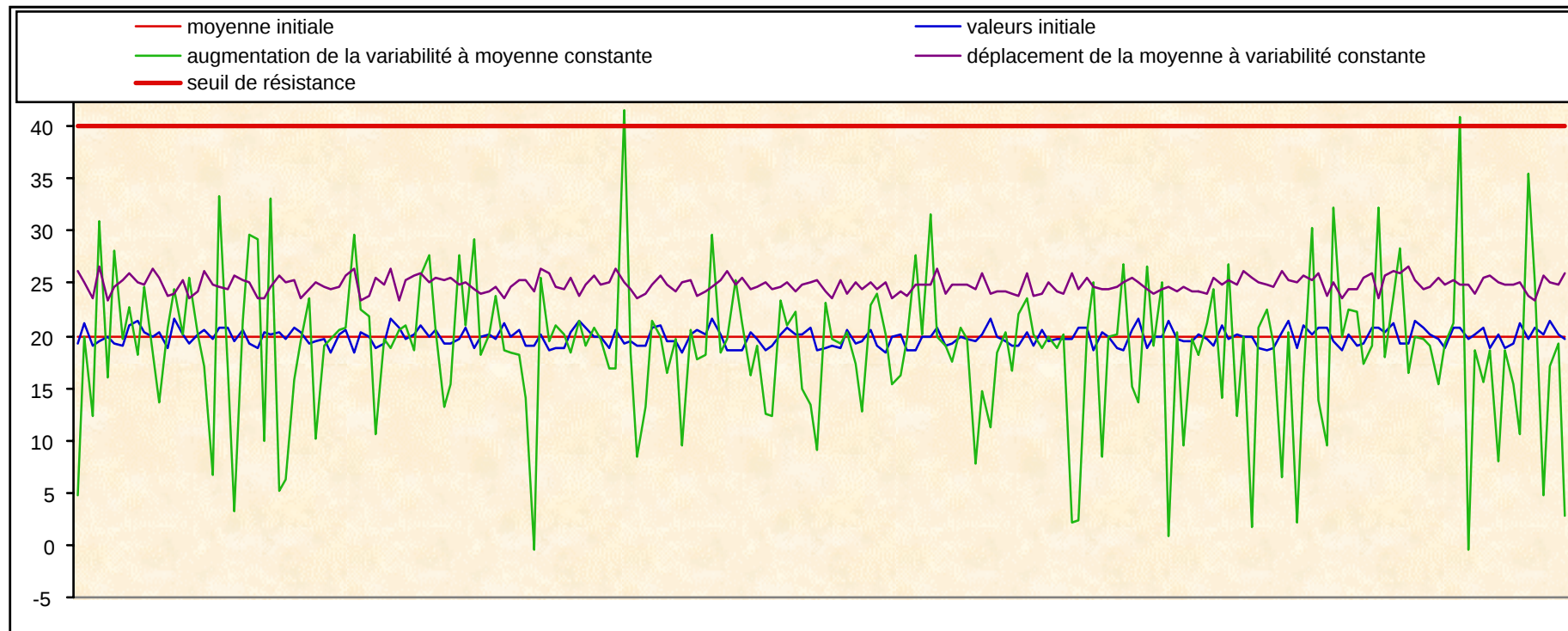
GIEC, 1998

Quelques exemples :

- **Sécheresse**
⇒ stress hydrique, incendies
- **Excès d'humidité et de douceur**
⇒ prolifération de ravageurs (ie. bactéries, champignons,..)
- **Absence d'hiver**
⇒ pas de vernalisation (ie. pas de floraison)

- **Diminution** des récoltes agricoles et forestières ?
- **Diminution** du nombre d'écosystèmes (désertification par endroits ?)
- **Appauvrissement** des écosystèmes survivants ?
- Invasions d'espèces exotiques ?

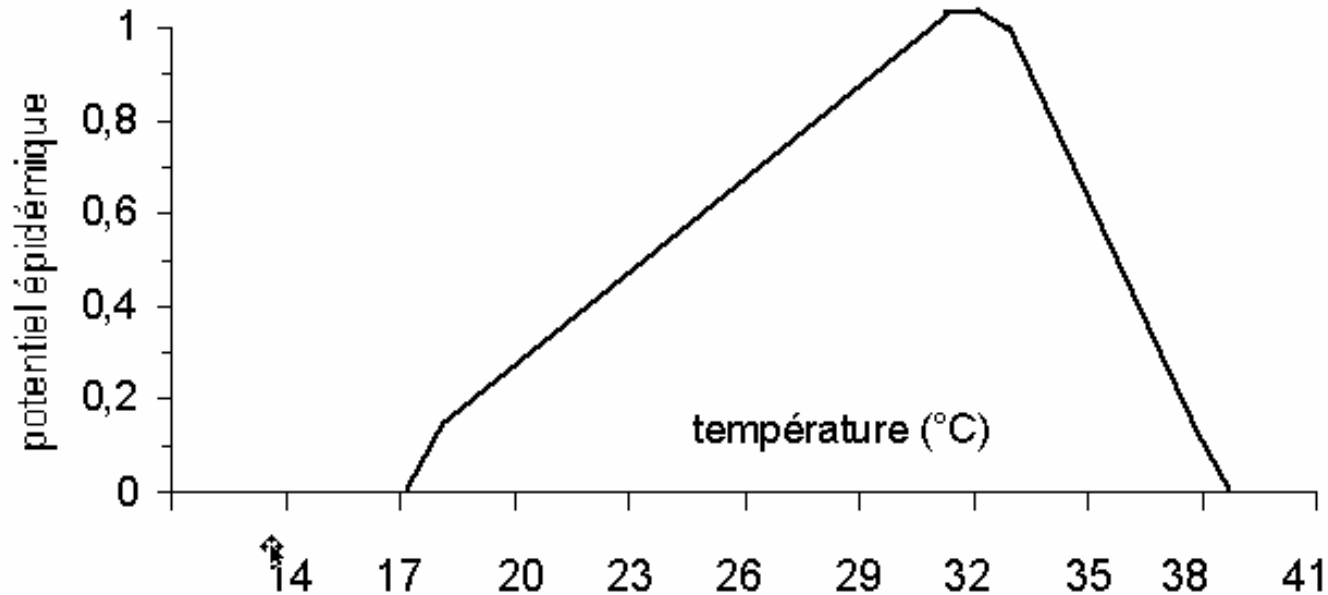
L'inconnue de la variabilité



La variabilité est la fréquence et l'importance avec laquelle une valeur s'écarte de la moyenne. Plus le climat est variable (en vert ci-dessus), et plus les valeurs instantanées s'écartent souvent et/ou de manière importante de la valeur moyenne.

Or beaucoup d'êtres vivants ont des seuils de résistance (à la température, au vent, à l'humidité ou au contraire au déficit hydrique, etc). Il suffit de le franchir une fois de temps en temps pour rendre les conditions inhospitalières. Or les modèles sont peu diserts sur cet aspect de l'évolution du climat.

Impacts sur la santé



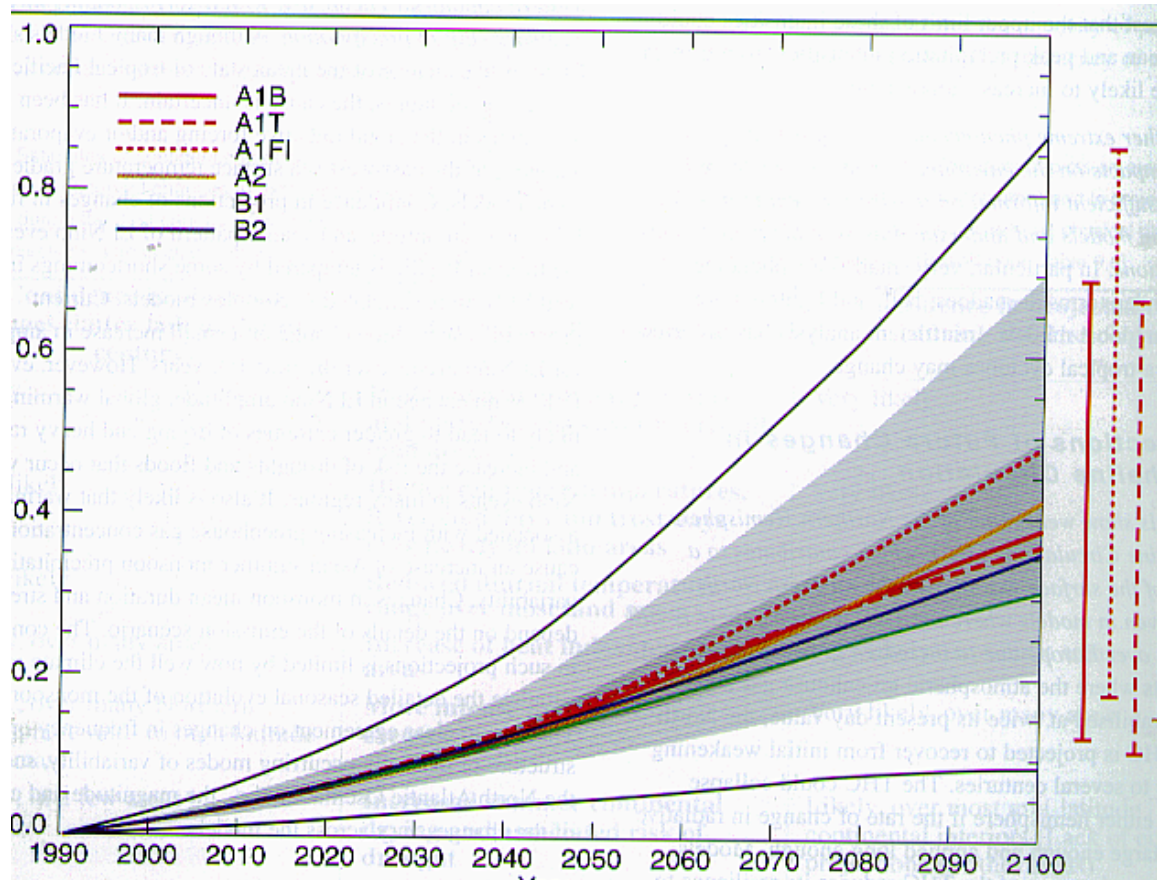
Potentiel épidémique du paludisme en fonction de la température. J.-P. Besançon, La jaune et La Rouge, 2000

La chaleur est généralement favorable aux micro-organismes, ce qui s'applique aussi à ceux qui sont pathogènes. Les risques évoqués concernent :

- L'augmentation des zones concernées par les maladies à vecteurs (paludisme, fièvre jaune, dengue, fièvre de la vallée du Rift...) aussi bien dans la population que pour les animaux sauvages ou domestiques (Lucilie bouchère, maladie de la langue bleue, etc),
- la remontée vers le Nord de pathologies des plantes
- Augmentation de la virulence des micro-organismes pathogènes en général ?

Élévation du niveau des océans

**Climate
Change 2001,
the scientific
Basis, GIEC**

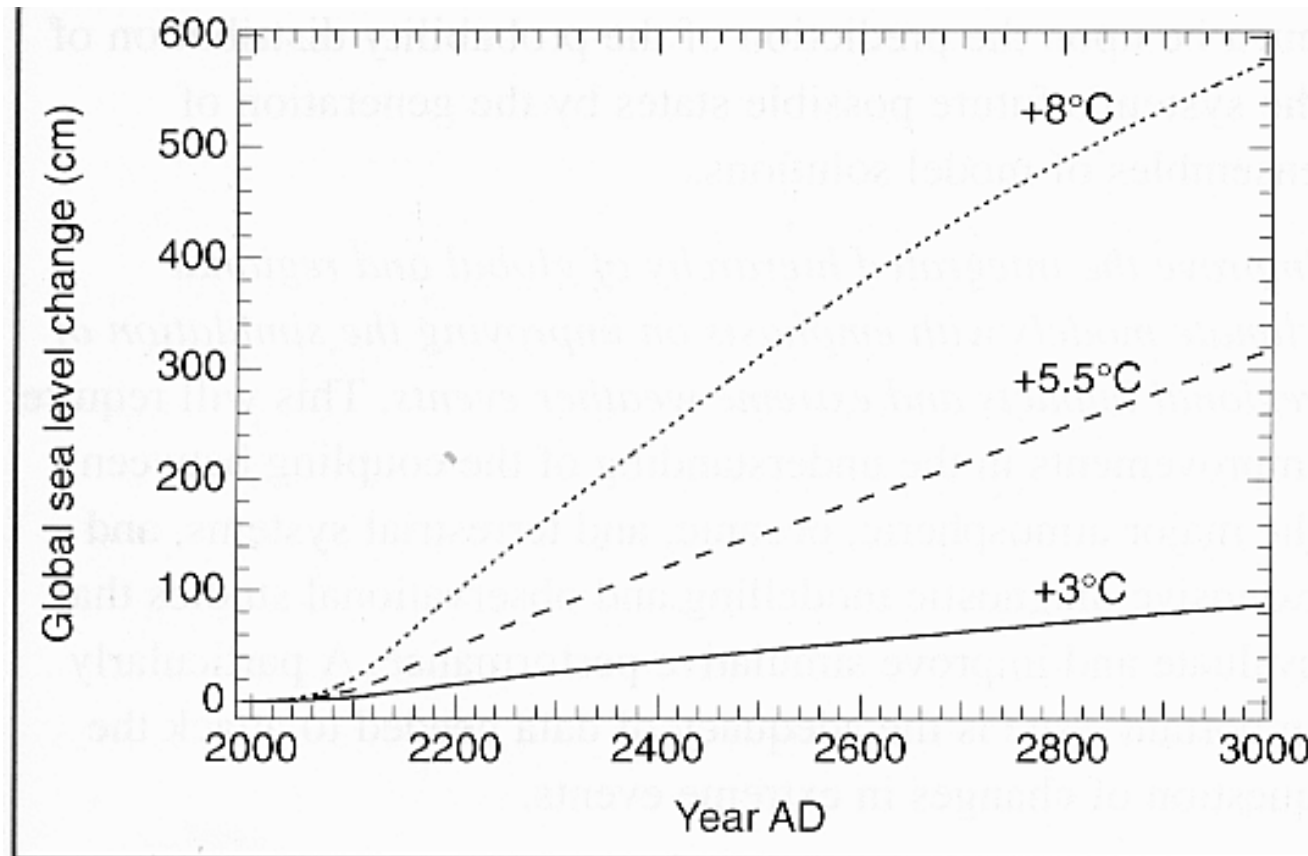


L'eau montera sous l'influence de la dilatation des océans et de la fonte des glaces :

- Inondations de surfaces terrestres peu élevées (deltas, ..)
- Salinisation possible des nappes phréatiques proches des côtes,
- Dégâts plus en profondeur lors de tempêtes

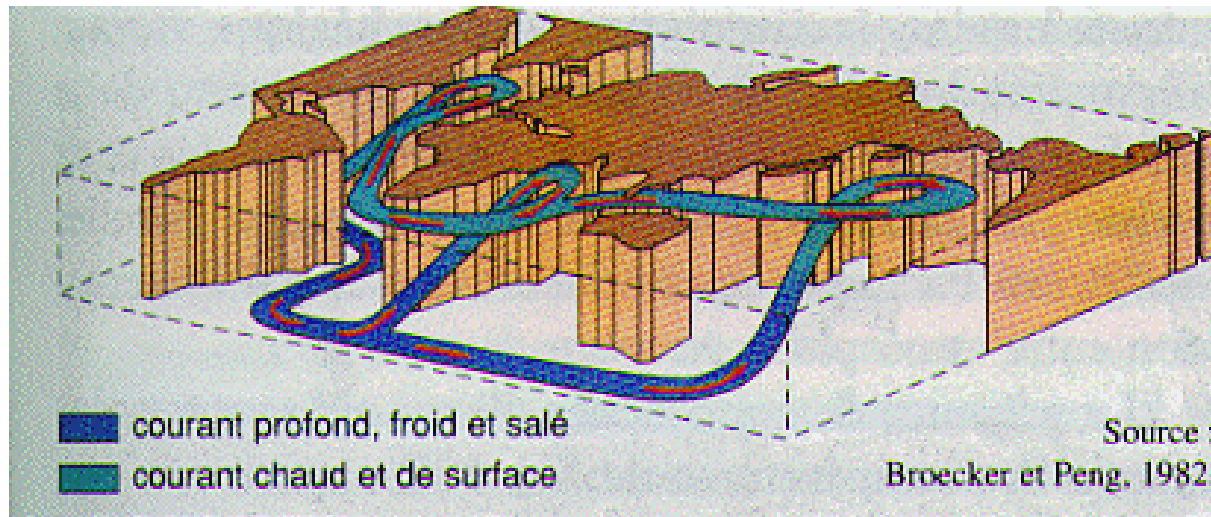
Mais surtout, le phénomène possède une inertie considérable

**Climate
Change 2001,
the scientific
Basis, GIEC**



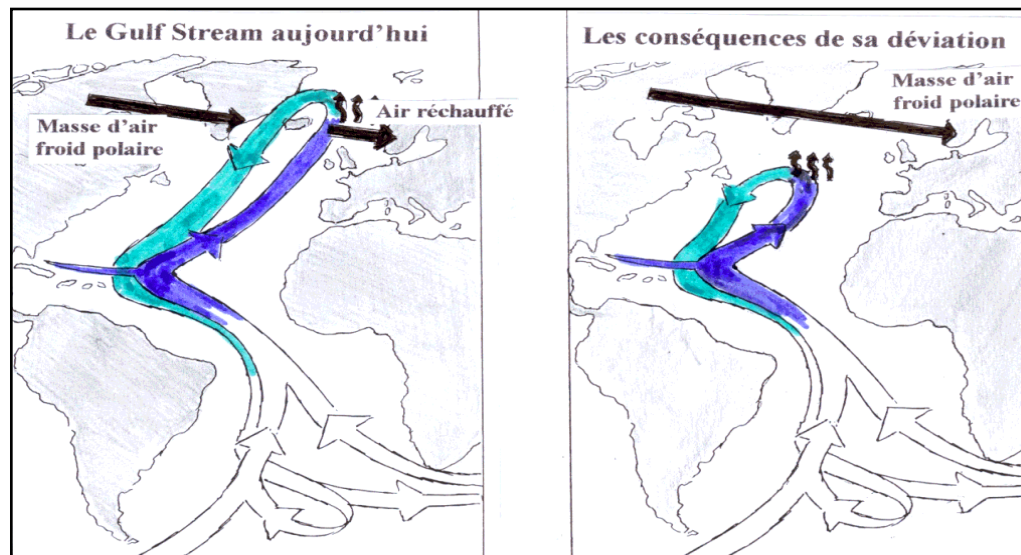
Élévation du niveau des océans à plus long terme, suite à la fonte partielle ou totale du Groenland. Les températures mentionnées sont les **élevations au-dessus du Groenland** atteintes en 3000 (nécessairement très supérieures aux élévations planétaires en 2100). Un problème analogue se pose pour la calotte «occidentale» de l'Antarctique.

Modification des courants marins



Des échanges entre eaux de surface et eaux profondes ont lieu en permanence.

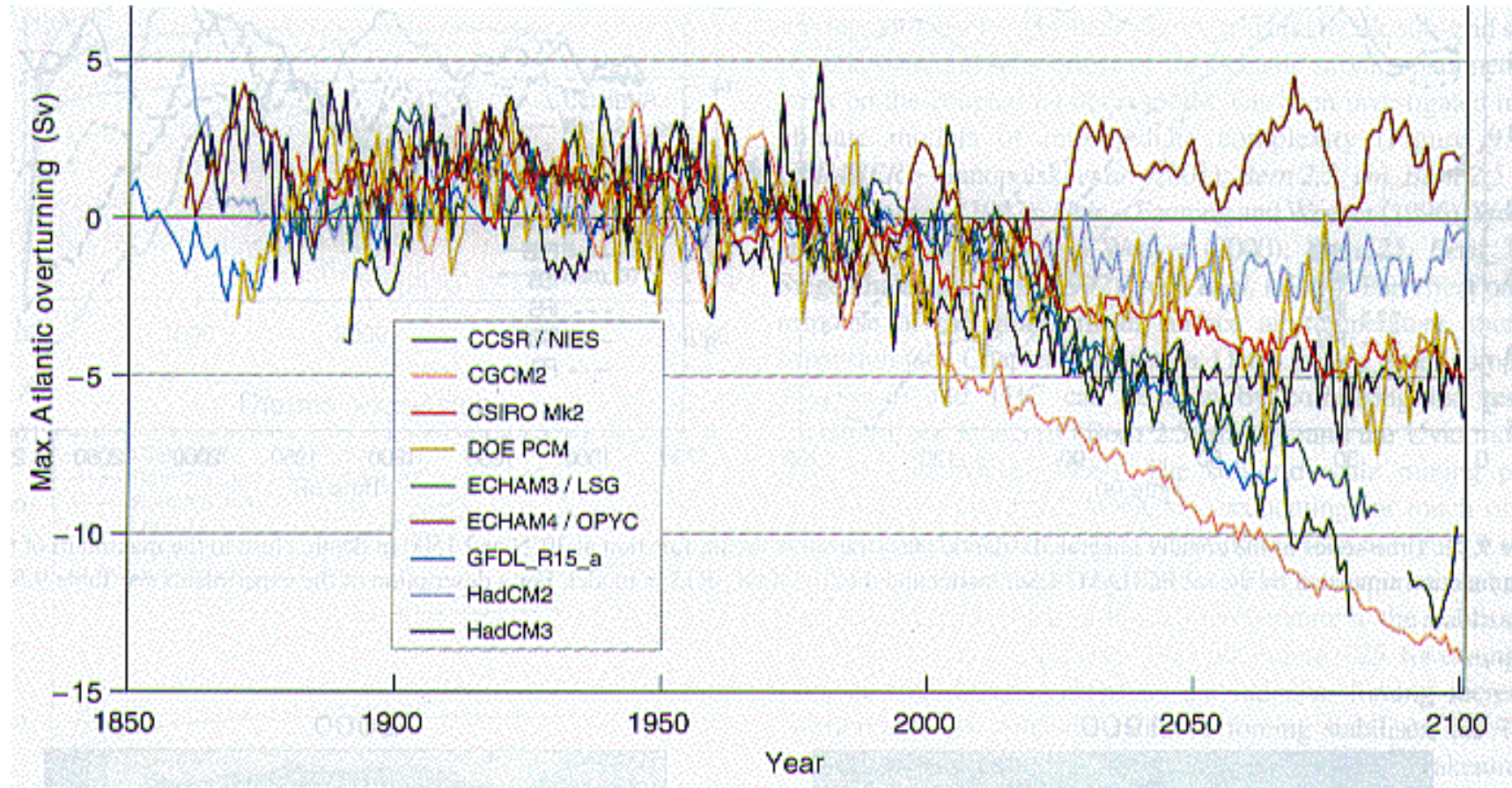
Les eaux profondes remontent les éléments nutritifs (sels minéraux) indispensables à la faune marine de surface.



Un ralentissement de cette circulation profonde :

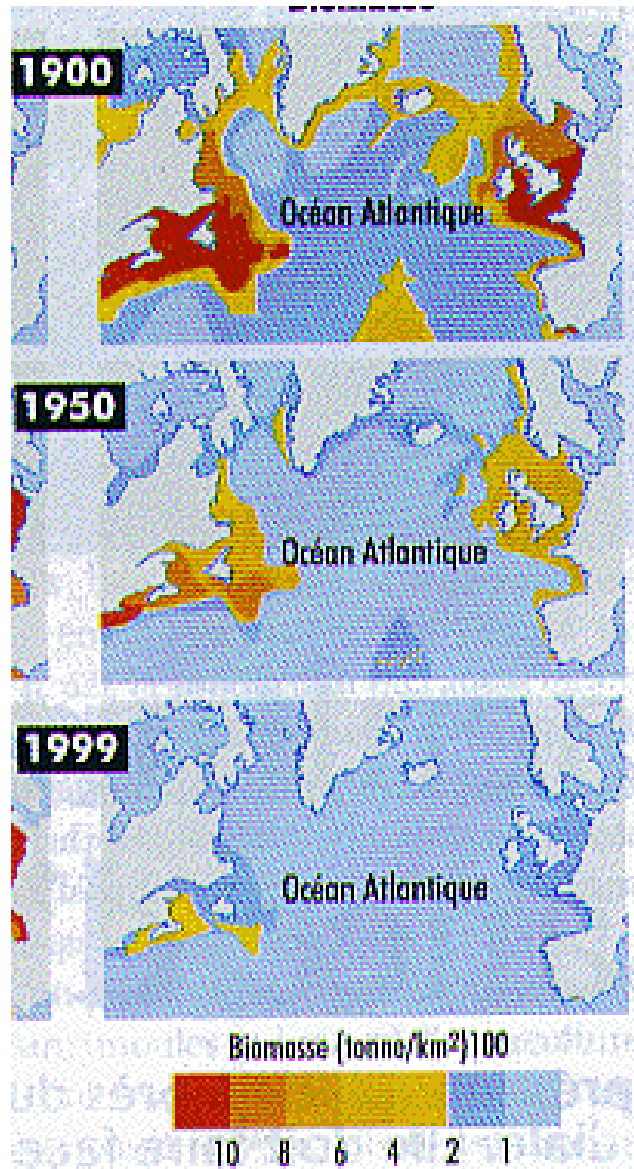
- Modifie la répartition de la chaleur à la surface du globe avec un impact local ou régional qui peut être massif (l'Europe en période glaciaire ?),
- diminue les apports minéraux en surface et l'oxygénation des fonds : pression sur la vie halieutique

La ralentissement de la circulation océanique profonde : chimère ?



Évolution du flux nord atlantique ($1\text{Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$) pour le scénario IS 92a (720 ppmv de CO_2 en 2100 ; élévation de température moyenne de $2,5^\circ\text{C}$ en 2100). Le niveau actuel est de 25 Sv. Source : Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC

Et les ressources halieutiques n'ont pas besoin de cela !

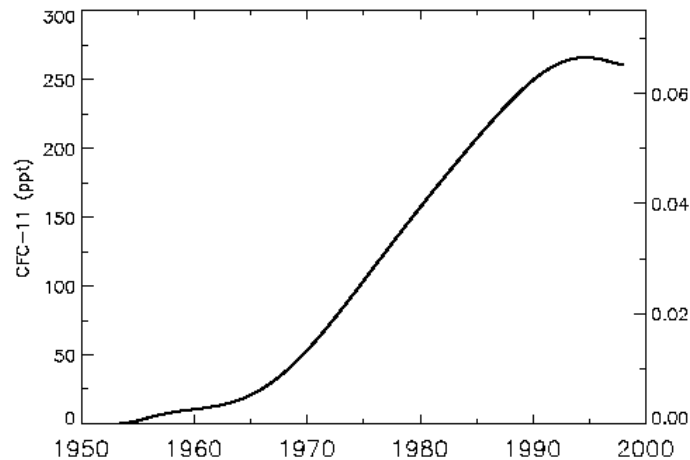


Biomasse dans l'Atlantique Nord de 1900 à 2000, pour les poissons de niveau trophique > 3,5

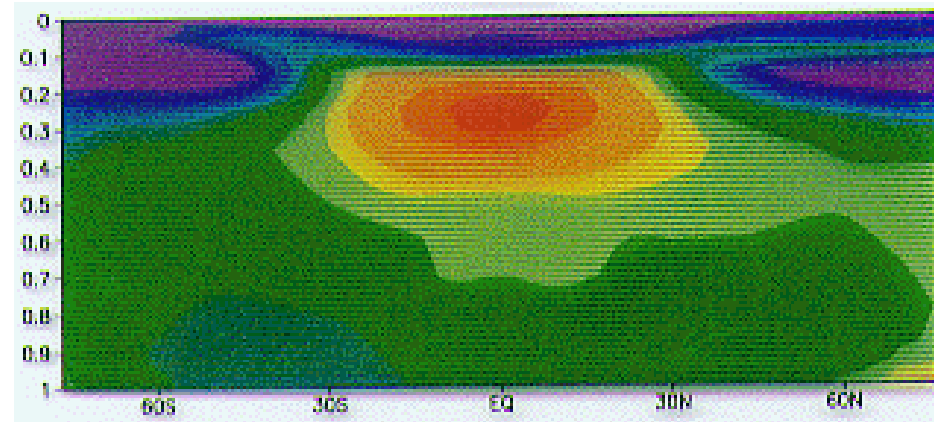
Reconstruction à partir de 23 modèles de réseaux trophiques

La Recherche, juillet 2002

Diminution supplémentaire de la couche d'ozone



*Évolution de la concentration
atmosphérique de CFC (GIEC, 2001)*



*Répartition altitude/latitude de l'évolution
des températures (IPSL)*

Le « trou d'ozone » nécessite de basses températures dans la stratosphère en hiver, or le changement climatique refroidira la stratosphère en même temps qu'il réchauffera l'air au niveau du sol. La diminution supplémentaire de la couche d'ozone augmente le rayonnement UV atteignant la Terre :

- Diminution des récoltes agricoles
- Augmentation des cancers de la peau et des cécités

Et les tempêtes ?

Evolution climatique concernée	Probabilité pour le climat simulé du XXI ^e siècle, pour les scénarios d'émission utilisés	Cette évolution s'est-elle déjà manifestée durant la deuxième moitié du XX ^e siècle ?
Augmentation des épisodes pluvieux intenses	Très probable pour de nombreuses zones	Probablement, au-dessus de nombreuses zones des moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère Nord
Augmentation des sécheresses estivales au-dessus des continents	Probable, pour la majorité de l'intérieur des continents des moyennes latitudes (pas de convergence des simulations dans les autres cas).	Probablement pour quelques régions
Augmentation de la force maximale du vent des ouragans tropicaux	Probable pour certaines zones	N'a pas été constaté dans les quelques analyses disponibles
Augmentation des précipitations lors des ouragans tropicaux	Probable pour certaines zones	Pas assez de données disponibles pour une évaluation
Augmentation du nombre d'ouragans ou de leur zone de survenance	Incertain	Incertain

Synthèse des études de variabilité publiée dans le rapport Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC

Le phénomène peut «s'emballer» : les puits deviennent des sources

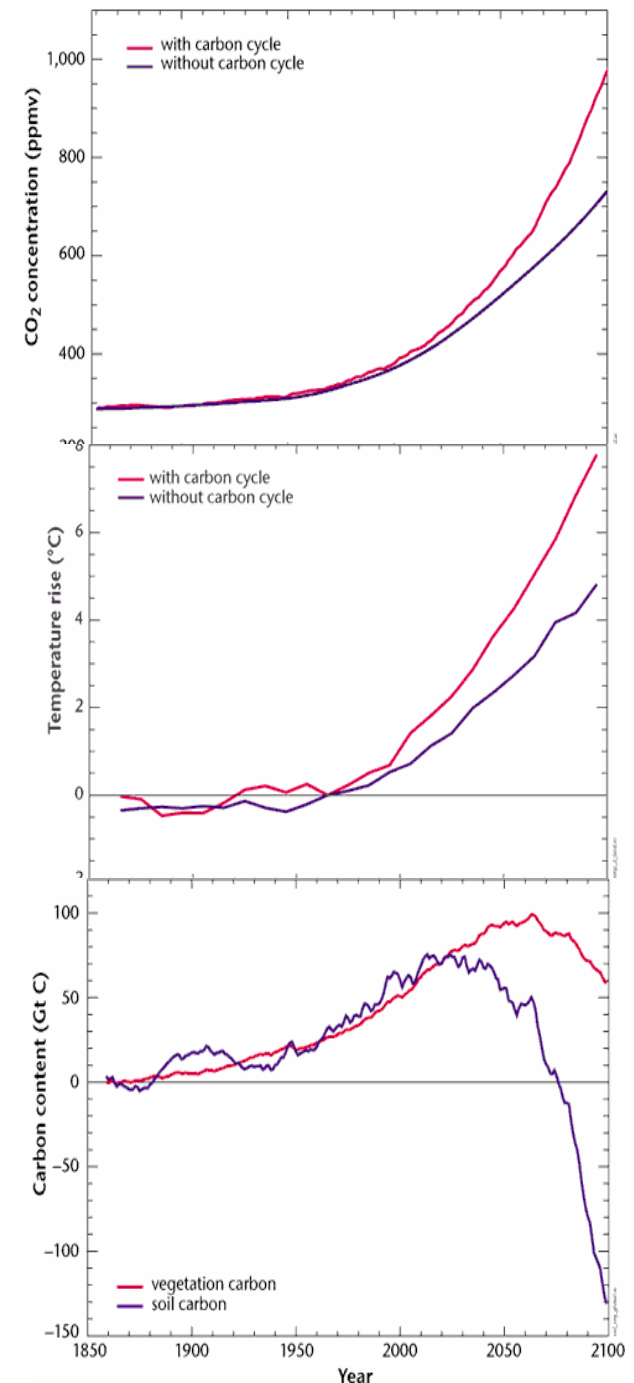
Sous l'effet d'un début de changement climatique, les écosystèmes continentaux (actuellement des puits) pourraient se transformer en source :

- les sols de forêts (par une augmentation de l'activité microbienne) ; végétation (par le stress hydrique)
- les pergélisols (partie du sol situé sous la surface qui ne dégèle pas pendant au moins 2 années consécutives, 25% des terres émergées) contiennent du méthane stocké sous forme d'hydrates solide qu'un début de réchauffement pourrait émettre de manière massive dans l'atmosphère

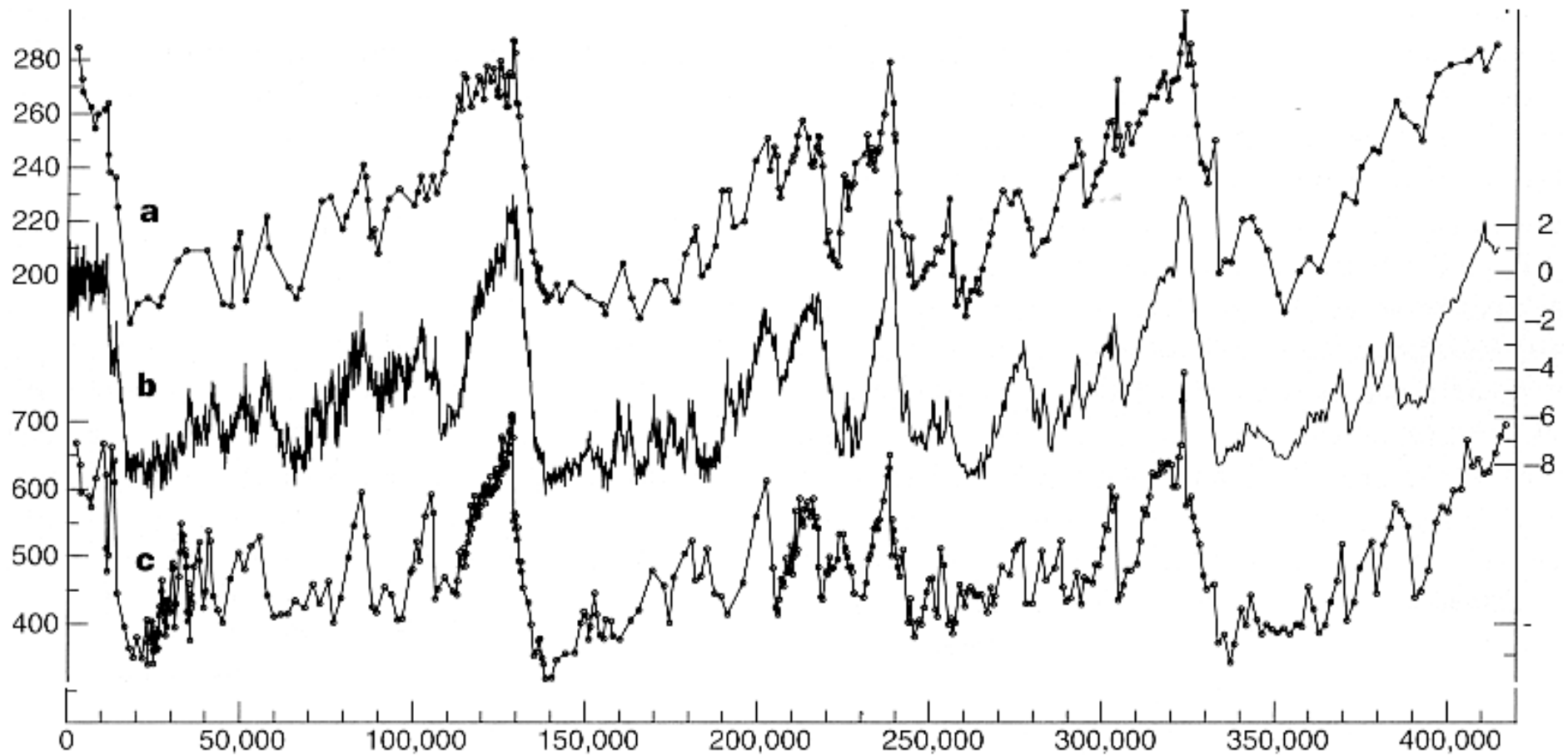
Les océans se transformeraient en source :

- les océans se stratifieraient, du fait de la fin des courants convectifs, ce qui mettra fin au renouvellement des eaux de surface, dans lesquelles se dissout le CO₂

Évolutions comparées sans et avec prise en compte du cycle du carbone. Le scénario de référence conduit à 720 ppmv de CO₂ en 2100 sous l'effet anthropique seul. (Hadley Centre, 2001)

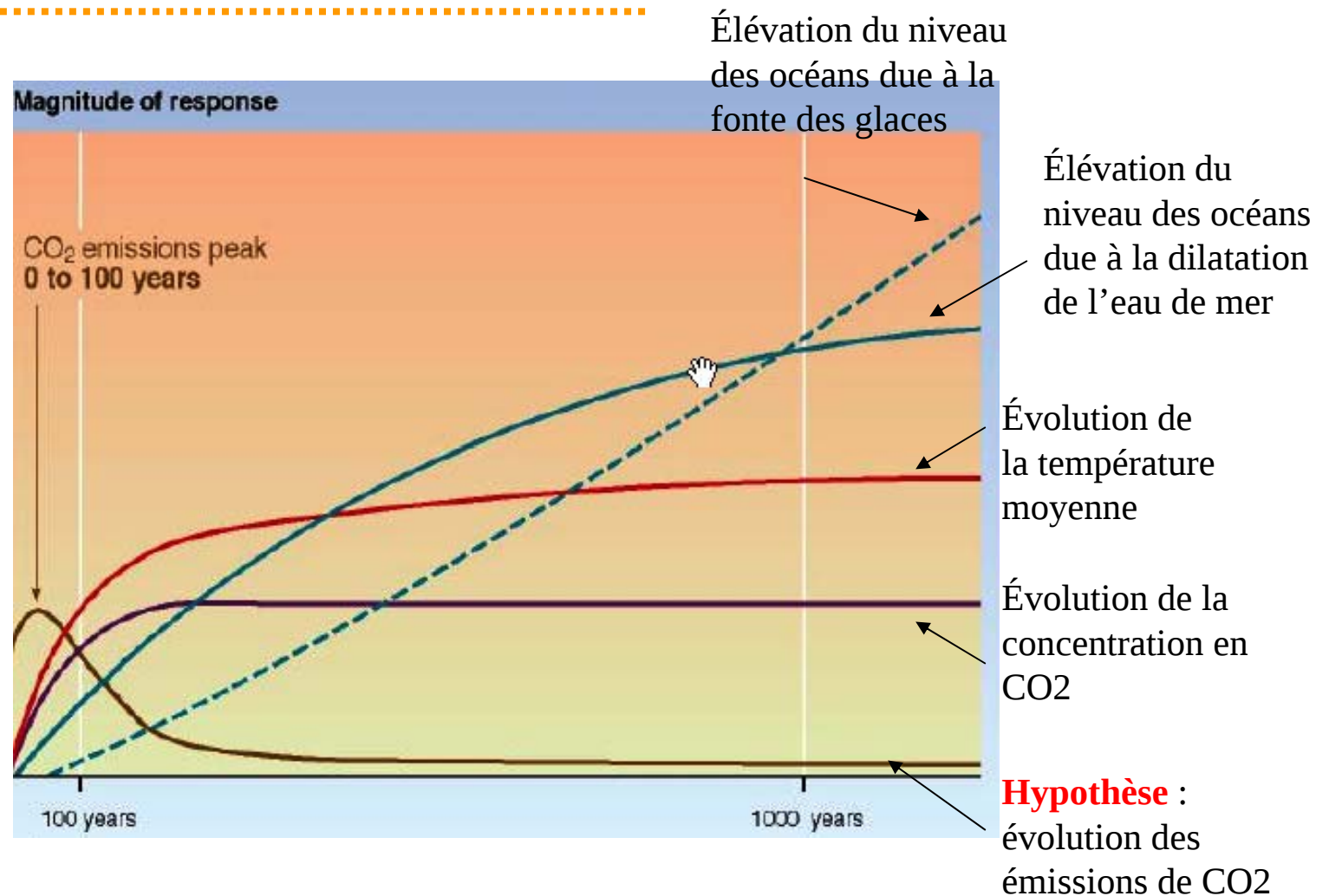


Et... la « bonne surprise » est peu probable



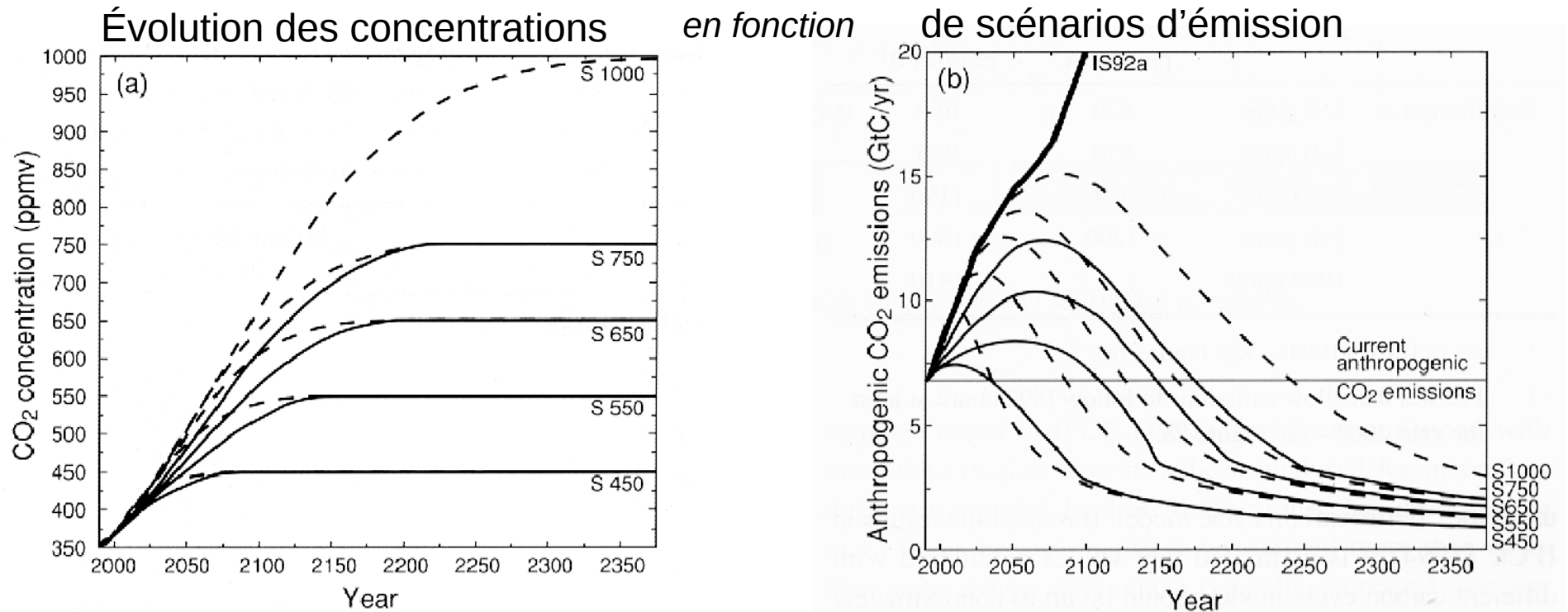
**Sur 400.000 ans, température et CO₂ sont toujours corrélés.
Source Petit & al., Nature, 1999**

Stabilisation climatique : échelles de temps



L'arrêt des perturbations n'est pas immédiat après la stabilisation de la concentration en CO₂, notamment à cause de la « durée de vie » de ce dernier dans l'atmosphère. Source : Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC

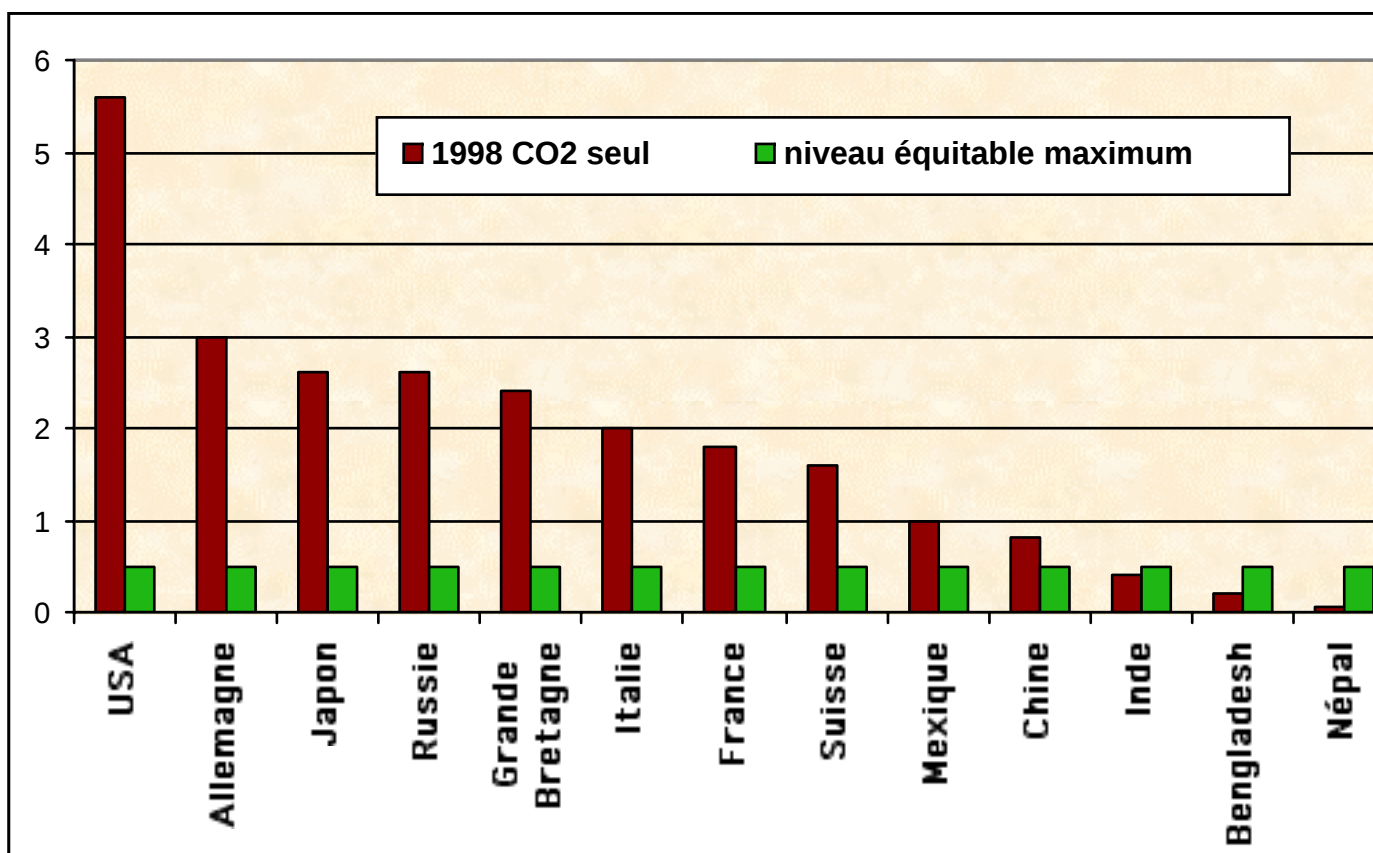
Émissions de CO₂ : stabilisation des concentrations



The science of climate change, 1996, GIEC

Quel que soit le scénario, stabiliser les concentrations signifie réduire les émissions de CO₂ de plus de 50% de leur niveau de 1990

Qu 'émettre au plus si nous voulons arrêter d 'enrichir l'atmosphère en CO₂ ?



Émissions de CO2 par habitant en 1998 et « droit maximal à émettre sans perturber le climat ».
Source UNFCCC pour les émissions par habitant.

Que fait-on avec ce « droit maximal » ?

En l'état actuel des technologies, pour émettre ce «droit» il suffit de faire **l'une des choses suivantes** :

- faire un AR Paris-NY en avion,
- **ou** consommer 2.500 kWh d'électricité en Grande Bretagne, mais 22.000 kWh en France (consommation moyenne par Français : environ 7500 kWh),
- **ou** acheter 50 à 500 kg de produits manufacturés,
- **ou** produire 2 tonnes de béton (une maison moderne de 100 m² en nécessite 17),
- **ou** parcourir 5.000 km en Twingo en zone urbaine, ou 1.500 km en 4x4 ou Mercedes en zone urbaine,
- **ou** brûler 1.000 m³ de gaz naturel (quelques mois de chauffage d'une maison).

Source : Jancovici, 2001