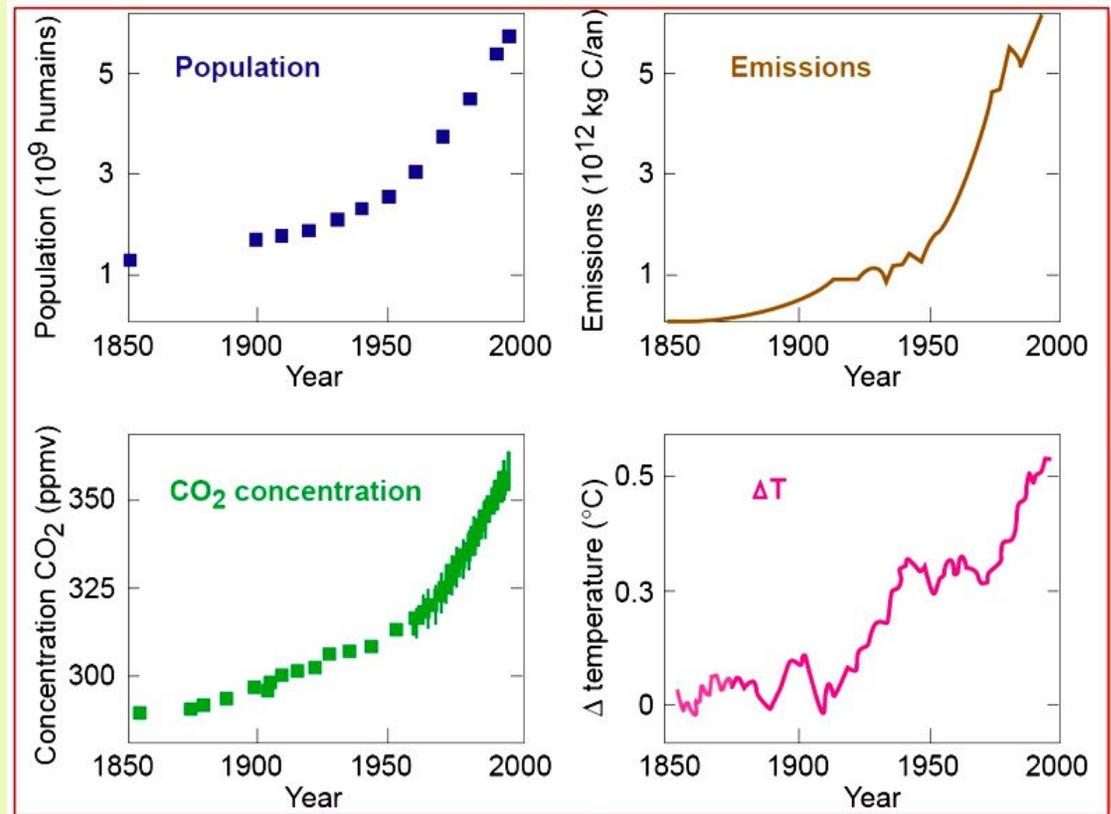


Le CO₂ et l'effet de serre

- Définition et agents
- Consommation => émissions
- Que peut-on faire ?
 - Économiser (facile et rapide)
 - Autres sources d'énergie
- Pourquoi les pays développés doivent réduire leurs émissions de 4 x
- Réduction du CO₂ par secteurs
- Un peu de réalisme*.

Tout augmente...

- La population mondiale
- La consommation d'énergie
- Les émissions et la concentration de CO_2 dans l'atmosphère
- La température moyenne à la surface terrestre



Le double ou le triple en 2050 ?

Tout augmente

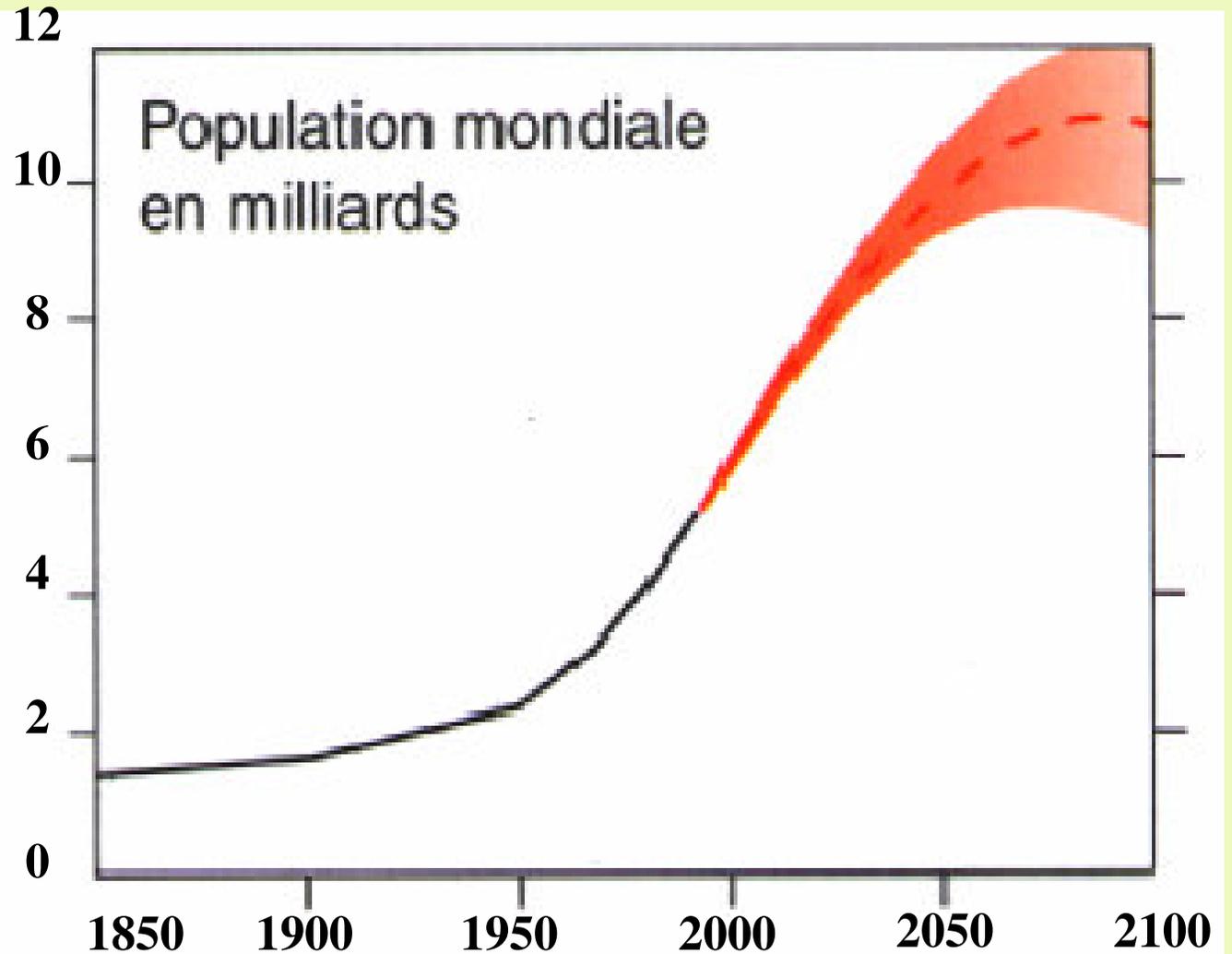
Année	2005	2050
Population mondiale	6.5 Ghab	10 Ghab
Demande d'énergie	10.5 Gtep	20 Gtep
Émissions de CO ₂	6 GteqC	double ?
Concentration de CO ₂ dans l'atmosphère (base 300)	365 ppmv	??
Température moyenne au sol (base 1990)	+ 0.6 °C	+ 2/+6 °C

Évolution

ONU :

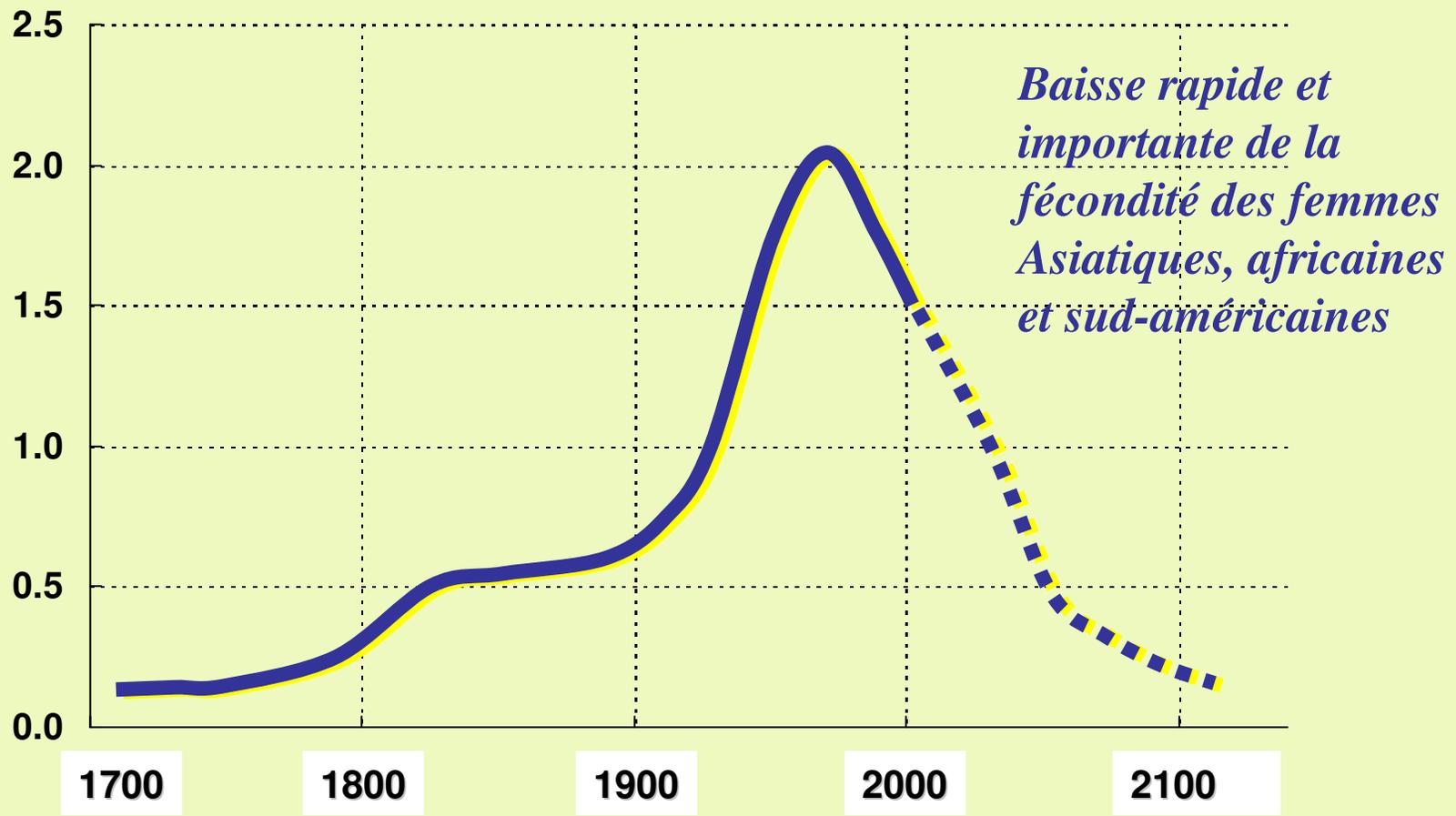
10 milliards en
2050

11.5 milliards en
2100

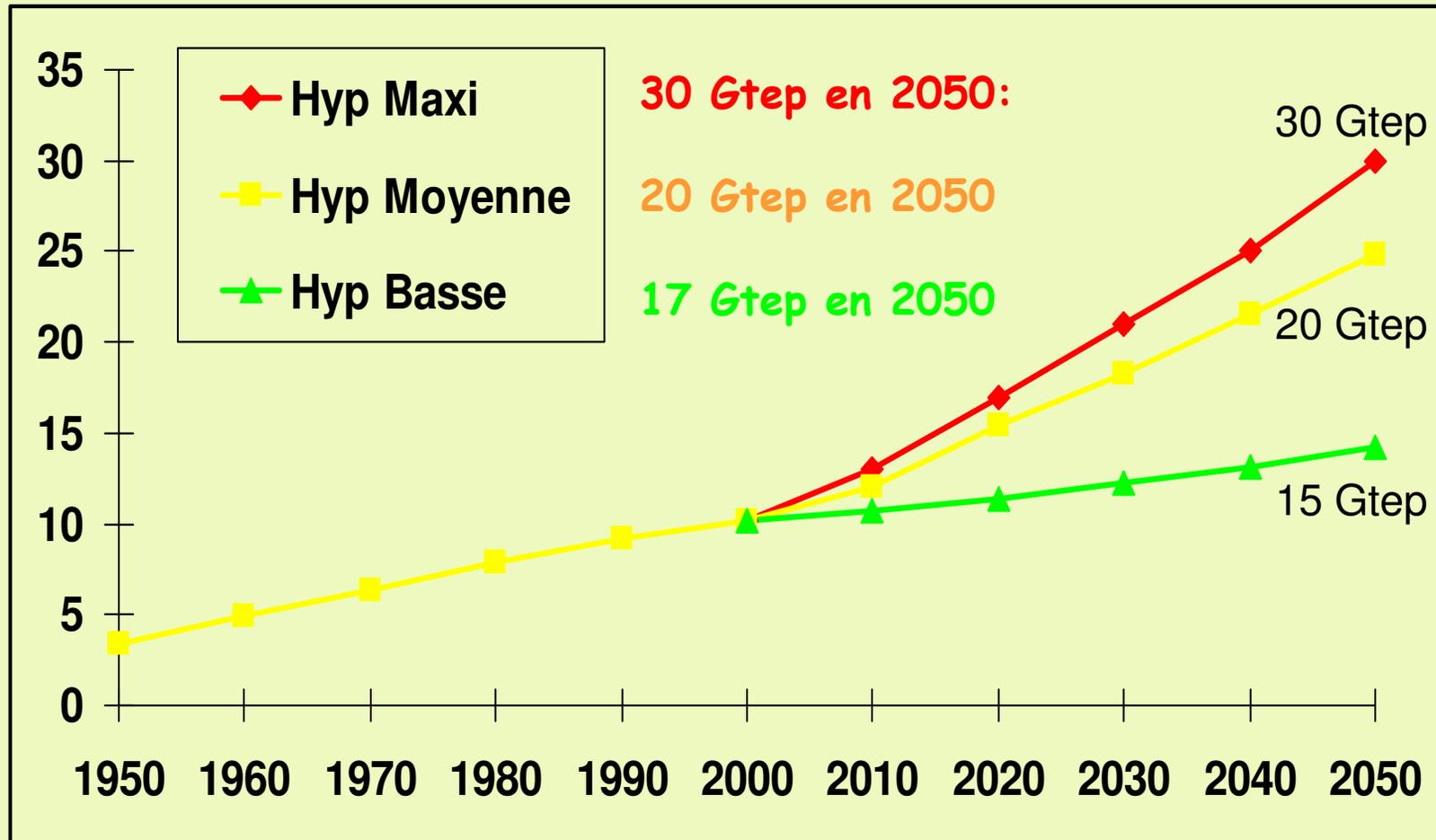


Taux de croissance de la population mondiale depuis 1700

Taux de croissance
%/ an

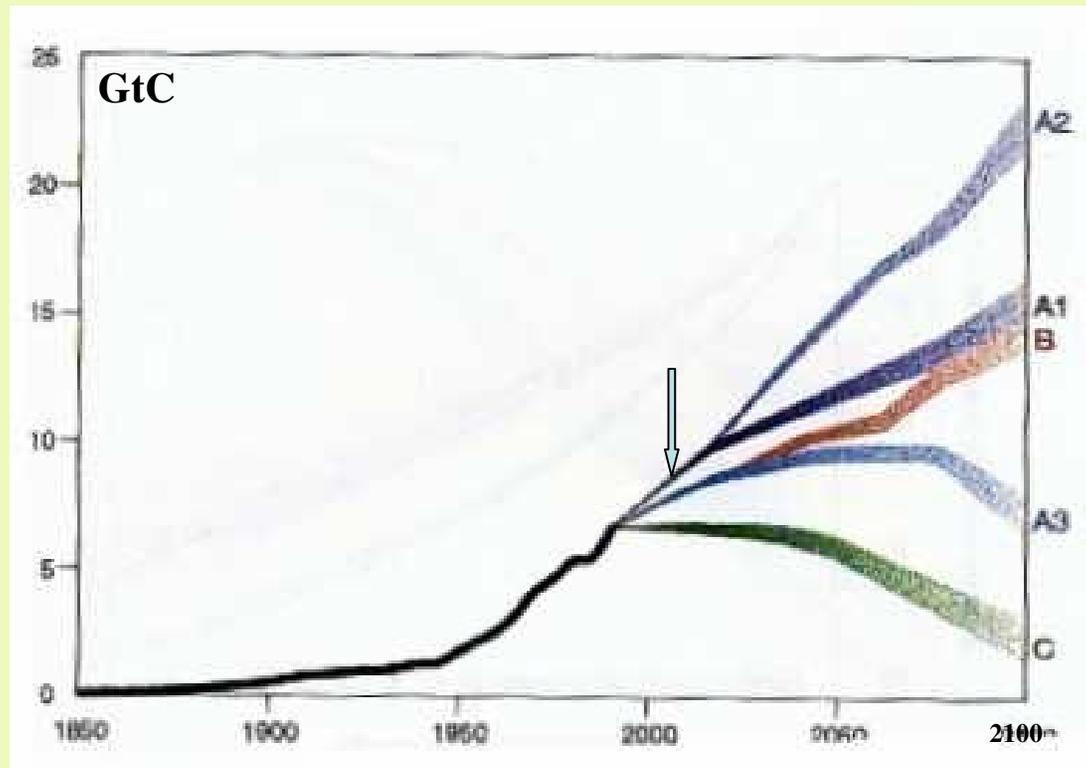


Futur de la consommation mondiale d'énergie (Gtep)



**2000: 20% de la population mondiale consomme 60% de l'énergie;
2 milliards d'hommes n'ont pas l'électricité**

Les rejets mondiaux de CO₂



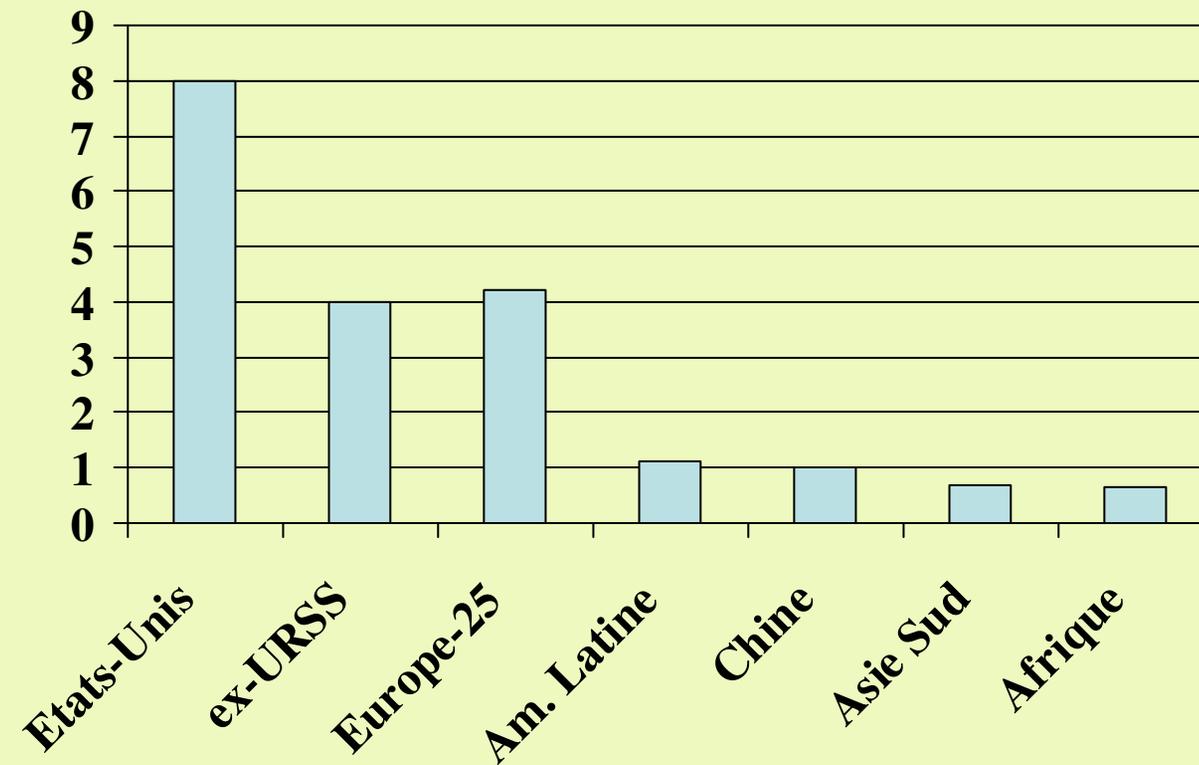
Pour limiter le réchauffement à 2 °C, il faut amener les rejets à 5 GtC d'ici 2050 et 3 ou 4 d'ici 2100



On est pas très doués pour les prévisions !

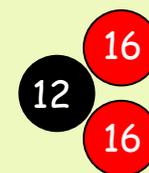
Accès à l'énergie par habitant (2002)

Tep/hab



Le CO₂ de combustion

Combustion des hydrocarbures:



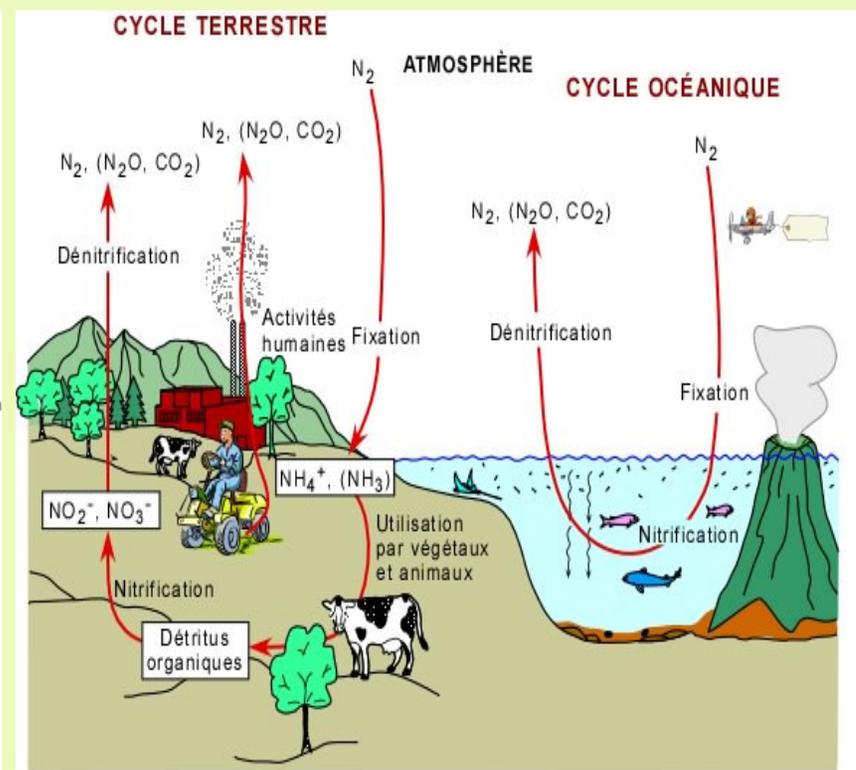
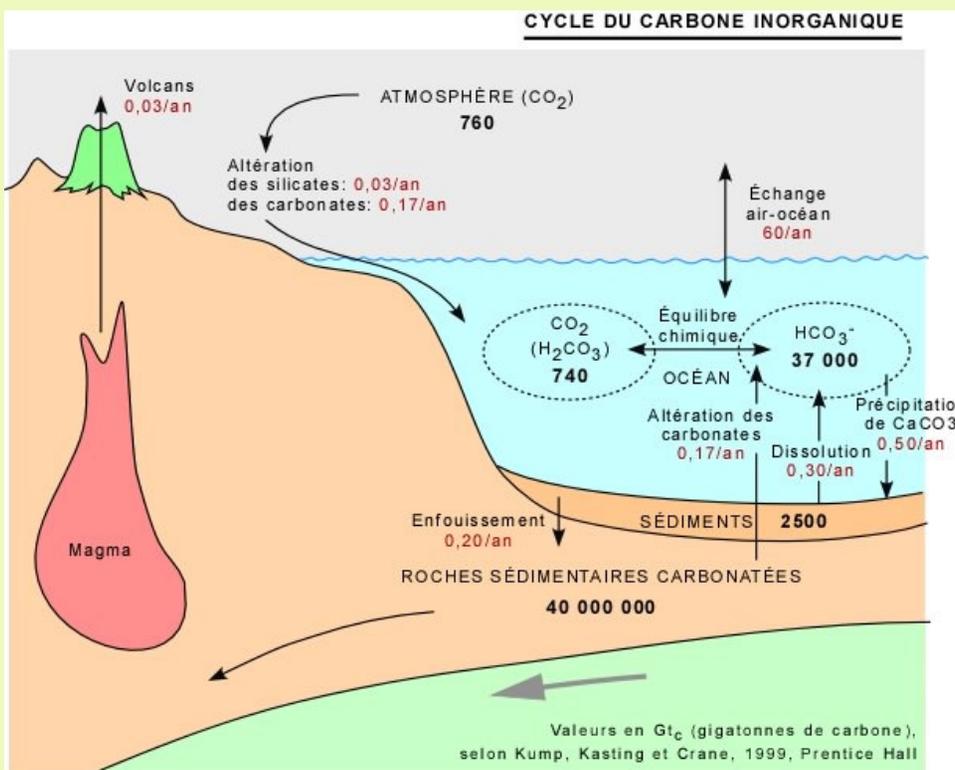
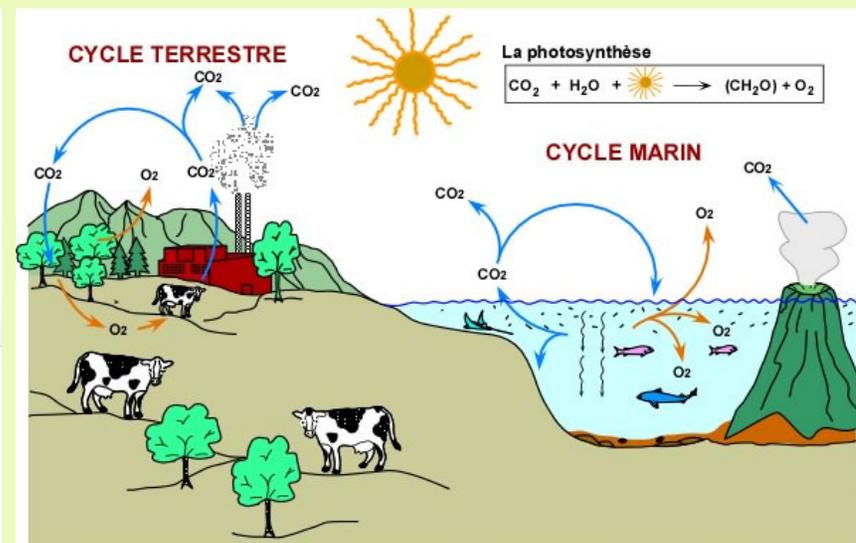
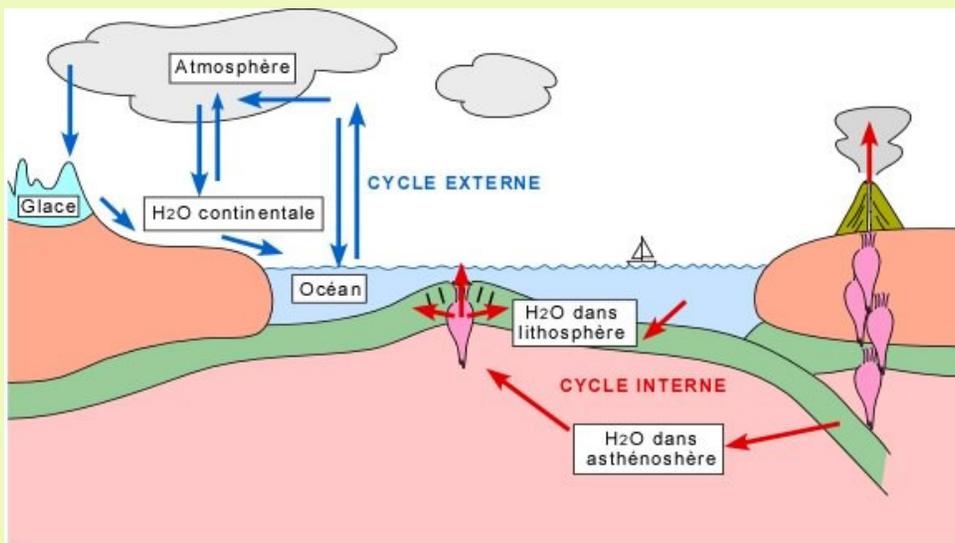
Émissions :

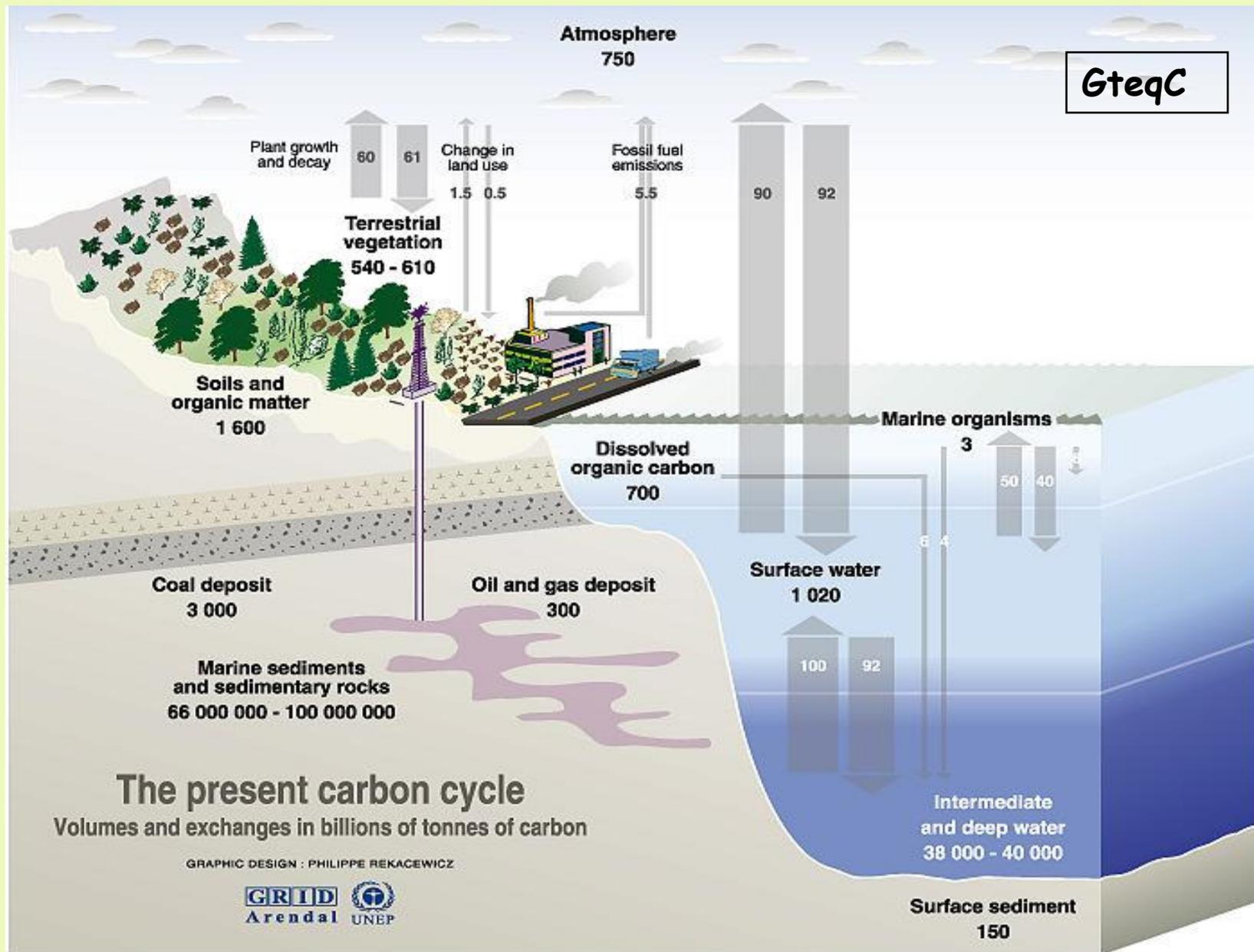
1 tonne de pétrole => 3 tonnes CO₂

1 tonne de charbon => 3.6 tonnes CO₂

1 tonne de gaz nat. => 2.3 tonnes CO₂

[Où va le CO₂ injecté dans l'atmosphère ?]





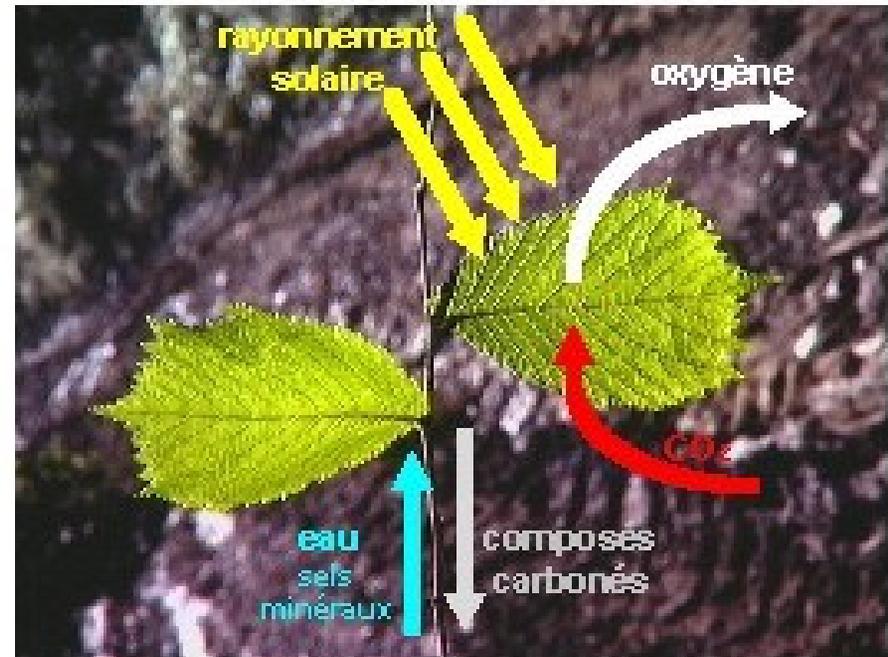
Sources: Center for climatic research, Institute for environmental studies, university of Wisconsin at Madison; Okanagan university college in Canada, Department of geography; World Watch, November-December 1998; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

Photosynthèse



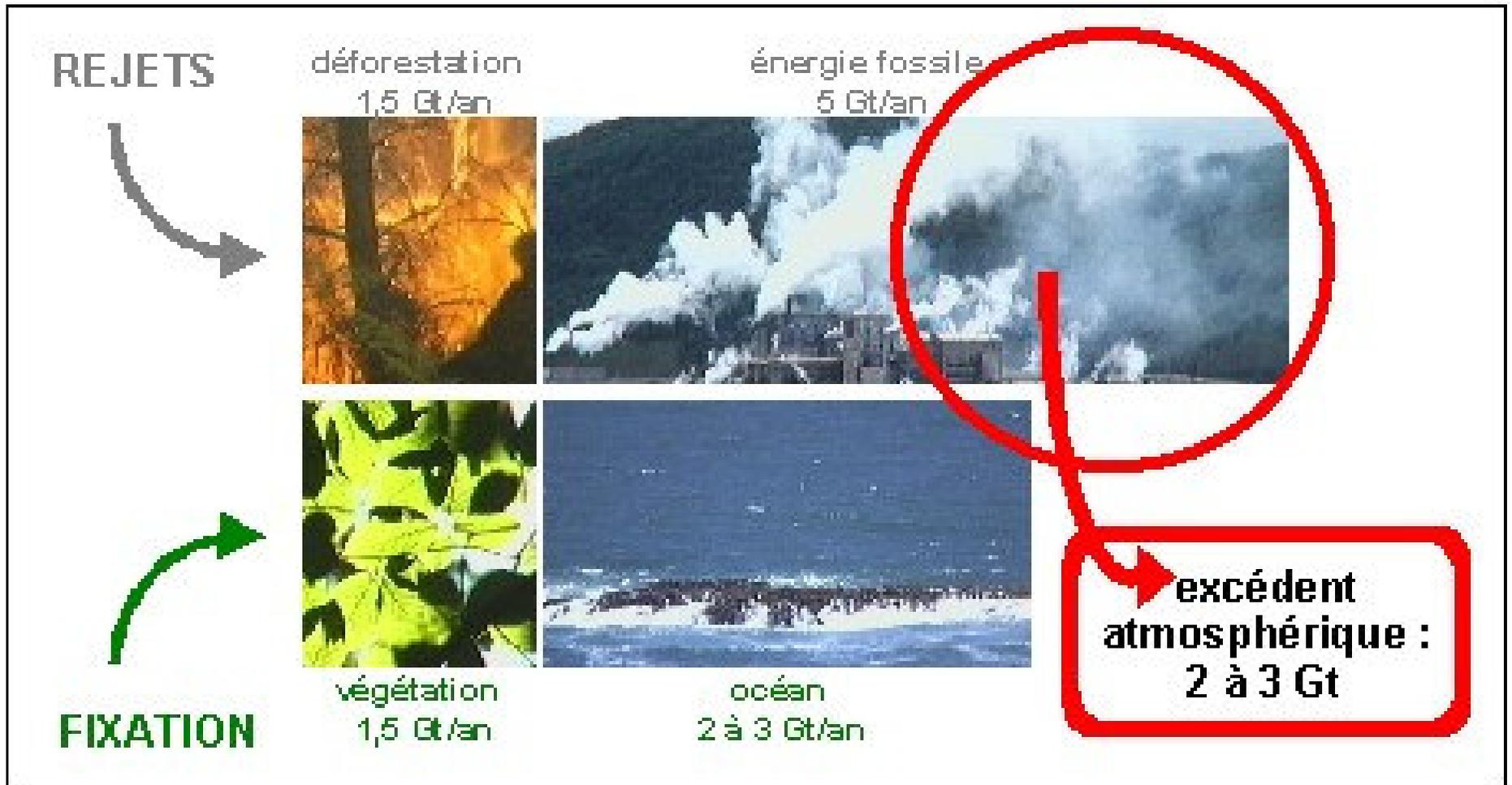
Le CO_2 est transformé en O_2 et matière organique.

Rendement énergétique 3-6%
(~ 200 tonnes / ha * 100 ans)



La concentration de CO_2 dans l'atmosphère est très très faible :
~ 300 ppmv (parts par million en volume)

ONF



L'effet de serre...

est un phénomène naturel, bénéfique, qui maintient la surface de la Terre à une température moyenne de

+ 15°C

au lieu de **-18°C**

soit un bonus de 33°C !

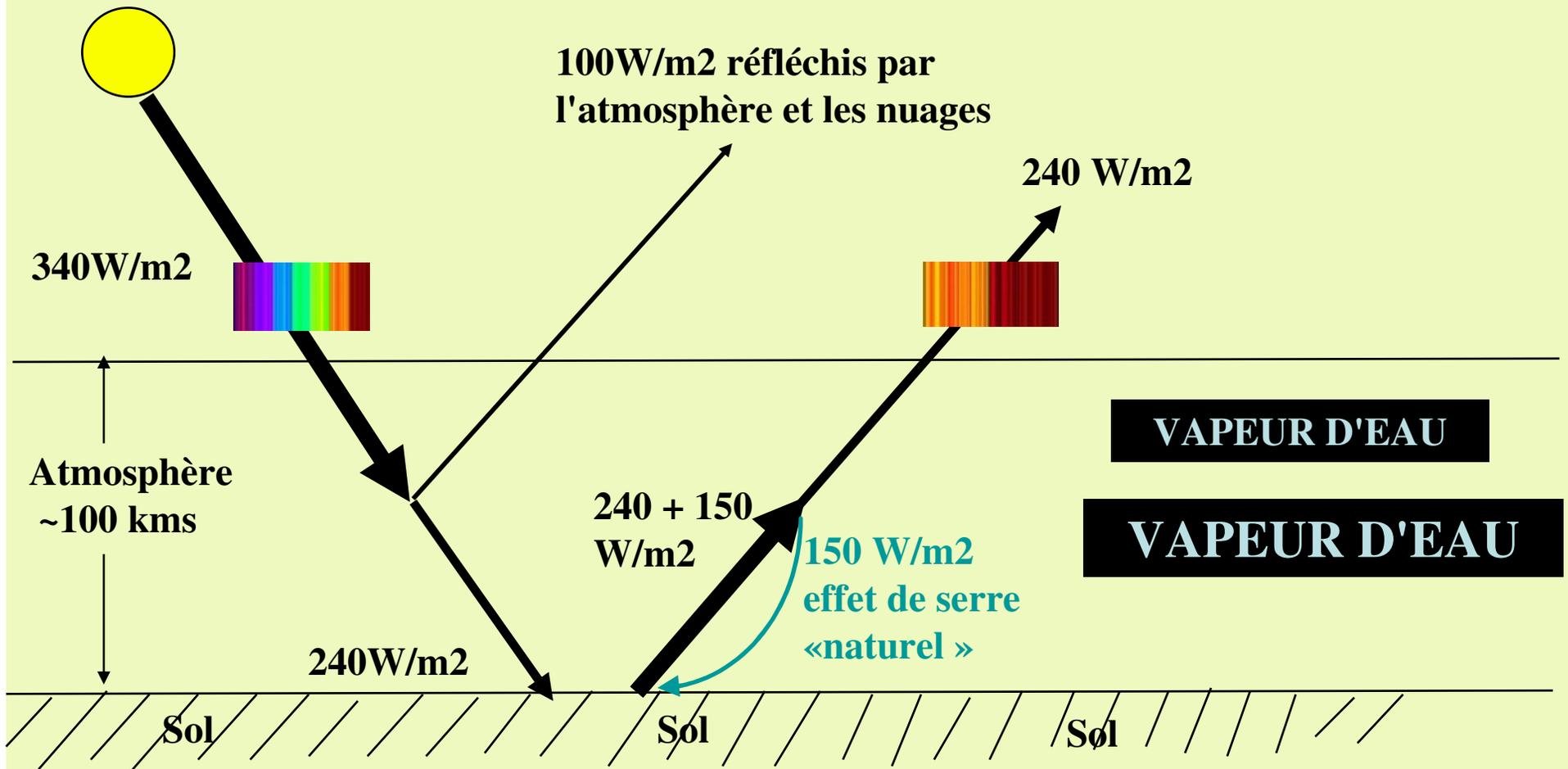


Phénomène dû principalement à la **vapeur d'eau**, et à quelques gaz à effet de serre (g.e.s) :

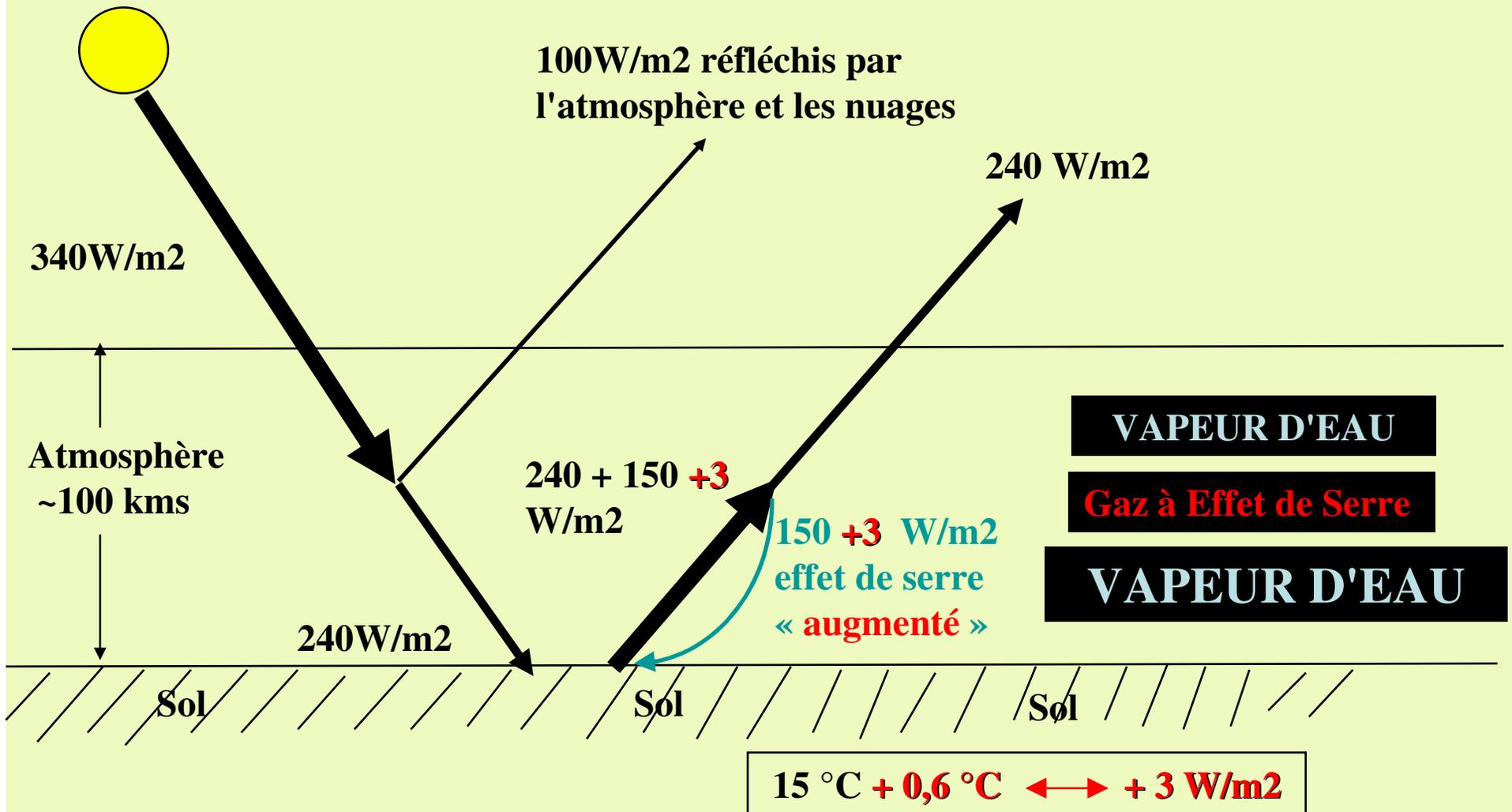
- Gaz carbonique **CO₂**
- Méthane **CH₄**

et autres, en petite concentration.

Bilan radiatif de la Terre Moyenne annuelle



Bilan radiatif de la Terre Moyenne annuelle



Les gaz à effet de serre g.e.s.

Gaz Carbonique	(CO ₂ , effet 100 x la cause)
Méthane	(CH ₄ , effet 20 x CO ₂)
Oxydes d'azote	(NOX, surtout protoxyde N ₂ O, effet 300 x CO ₂)
Halocarbures	(FxCy, HxFyCz... effet 8000 x)
Ozone	(O ₃)

Mémo: SO₂ n'est pas un g.e.s. (=>> pluies acides)

Le CO₂ dans l'atmosphère - résumé

La faible concentration (~ 0.3 ‰) de CO₂ dans l'atmosphère, résulte d'un équilibre dynamique et délicat des échanges entre air, eau, monde végétale, volcanisme, activité de l'homme...

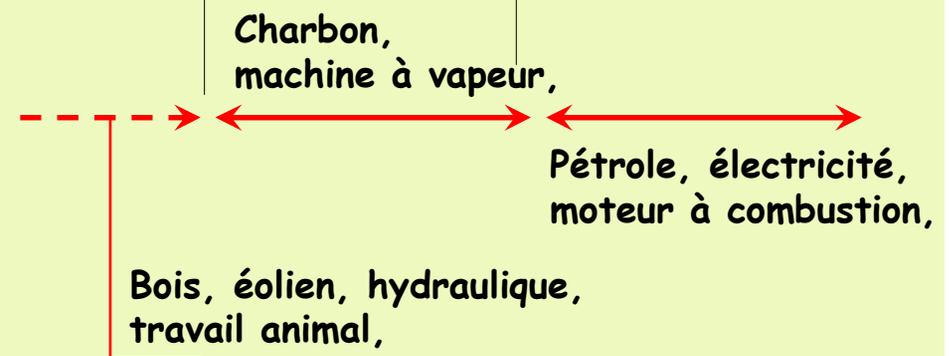
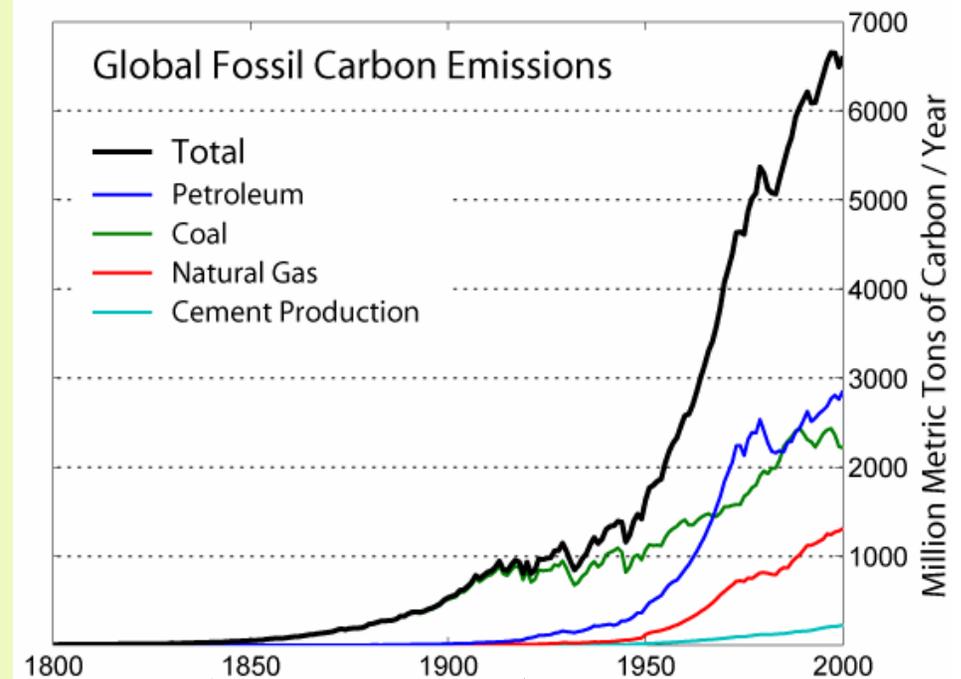
Le temps de recyclage du CO₂ est de ~ 100 ans.

Il en est de même des autres substance vitales : eau, azote, oxygène...

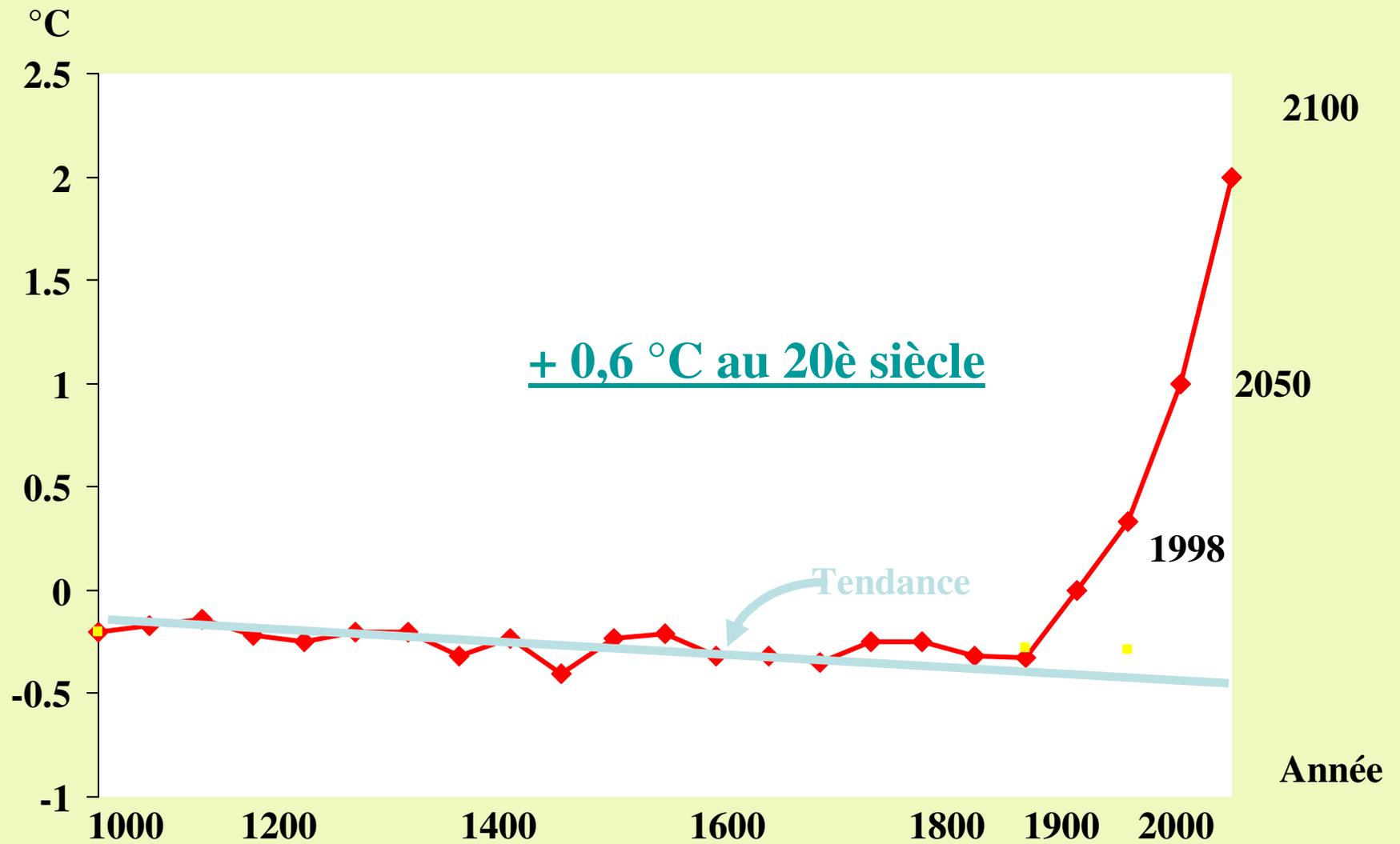
Par carottage des glaces polaires, l'étude des sédiments rocheux, etc. on peut évaluer la concentration atmosphérique de ces substances dans le passé (voir Appendice).

Les certitudes

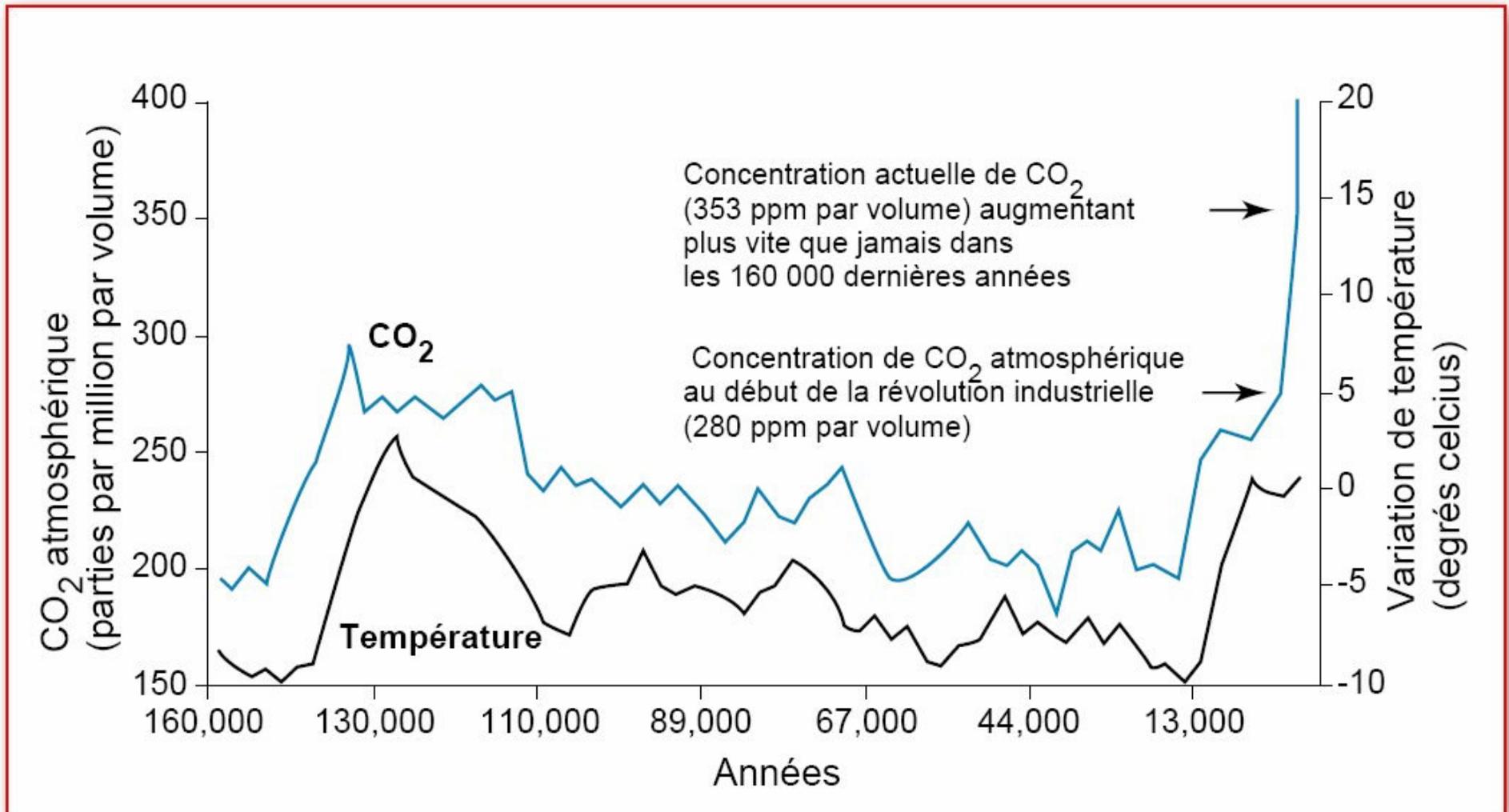
- Le CO₂ dans l'atmosphère augmente régulièrement depuis 150 ans (effet cumulatif)
- plus il y a de g.e.s. plus il fait chaud
- tendance : doublement des émissions mondiales entre 2000 et 2050.
- réchauffement (surtout la nuit et aux pôles).



Anomalie des températures



CO₂ et température vont de pair...



Les incertitudes

On sait certes retracer l'histoire de la concentration de CO_2 ou CH_4 dans l'atmosphère...

Mais personne ne peut prédire avec certitude l'effet d'une augmentation importante et rapide (non naturelle) de ces concentrations.

Les changements de :

niveau de la mer, étendu des océans et des calottes polaires, température de l'air et de l'eau, fonctionnement des courants océaniques, nous sont inconnus ...

...et potentiellement dangereux.

Que faire ? Principe de précaution

N'entreprendre ou ne poursuivre aucune action dont on ne sait pas jauger le danger ou l'irréversibilité.

C'est aux pays développés qu'il revient d'agir, parce que :

- Avec 20 % de la population ils consomment 50 % de l'énergie annuelle.
- Eux seuls ont la technologie pour le faire.
- On ne peut pas demander aux pays qui essaient de sortir de la pauvreté de réduire "leur" consommation.
- Les plus riches souffriront le plus d'une pénurie d'énergie.

QUE FAIRE?

Pour l'instant, on discute beeaaucoup !

ONU + OMM, 1988

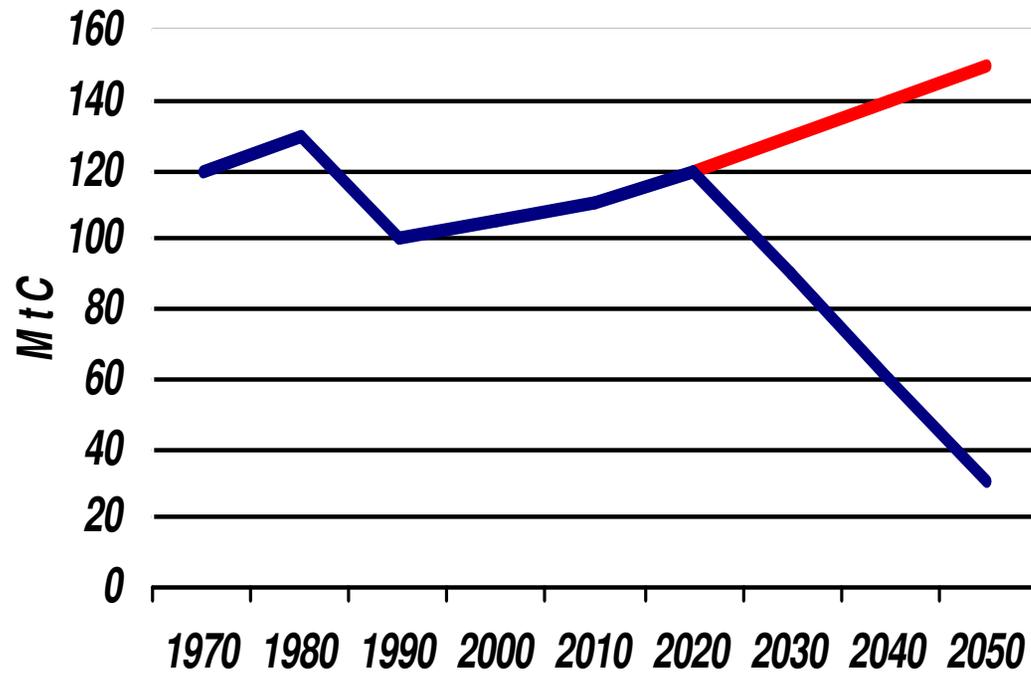
Sommet de Rio, 1992 (175 états + CEE)

Protocole* de Kyoto, 1997

Congres - Berlin 1995, Genève 1996, Buenos Aires 1998,
Bonn 1999, La Haye 2000, etc.

- * Réduire entre 2008 et 2012 les émissions de CO₂ au niveau de 1990 moins 5% (Europe : moins 8%).
Concerne les pays développés et non le pays en voie de développement.
- * Pays développés : réduire d'un facteur 4 les émissions de CO₂ d'ici 2050.

Rejets de CO2 en France

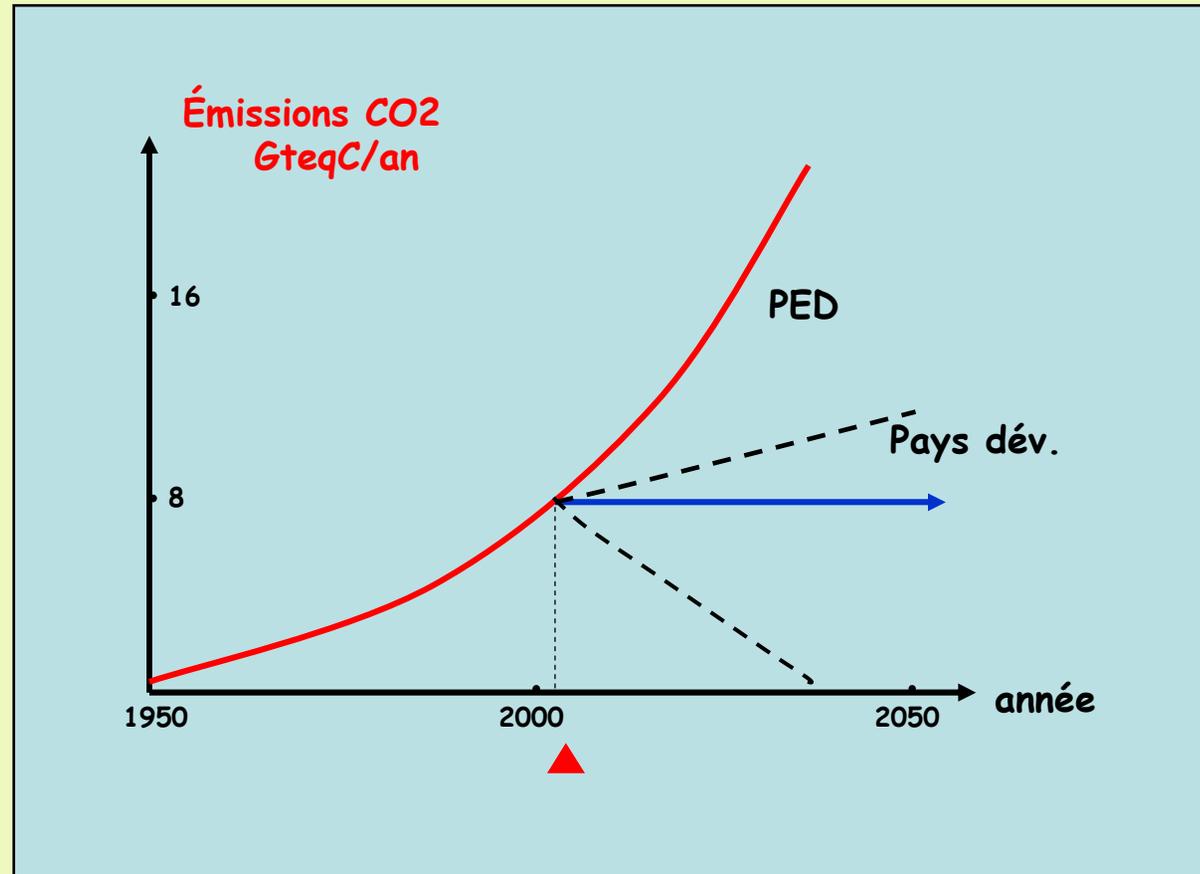


Rejets actuels (MtC):

➤ <i>Production d'électricité</i>	<i>10</i>
➤ <i>Usages thermiques fixes</i>	<i>55</i>
➤ <i>Transports</i>	<i>50</i>

— tendance actuelle — facteur 4 en 2050

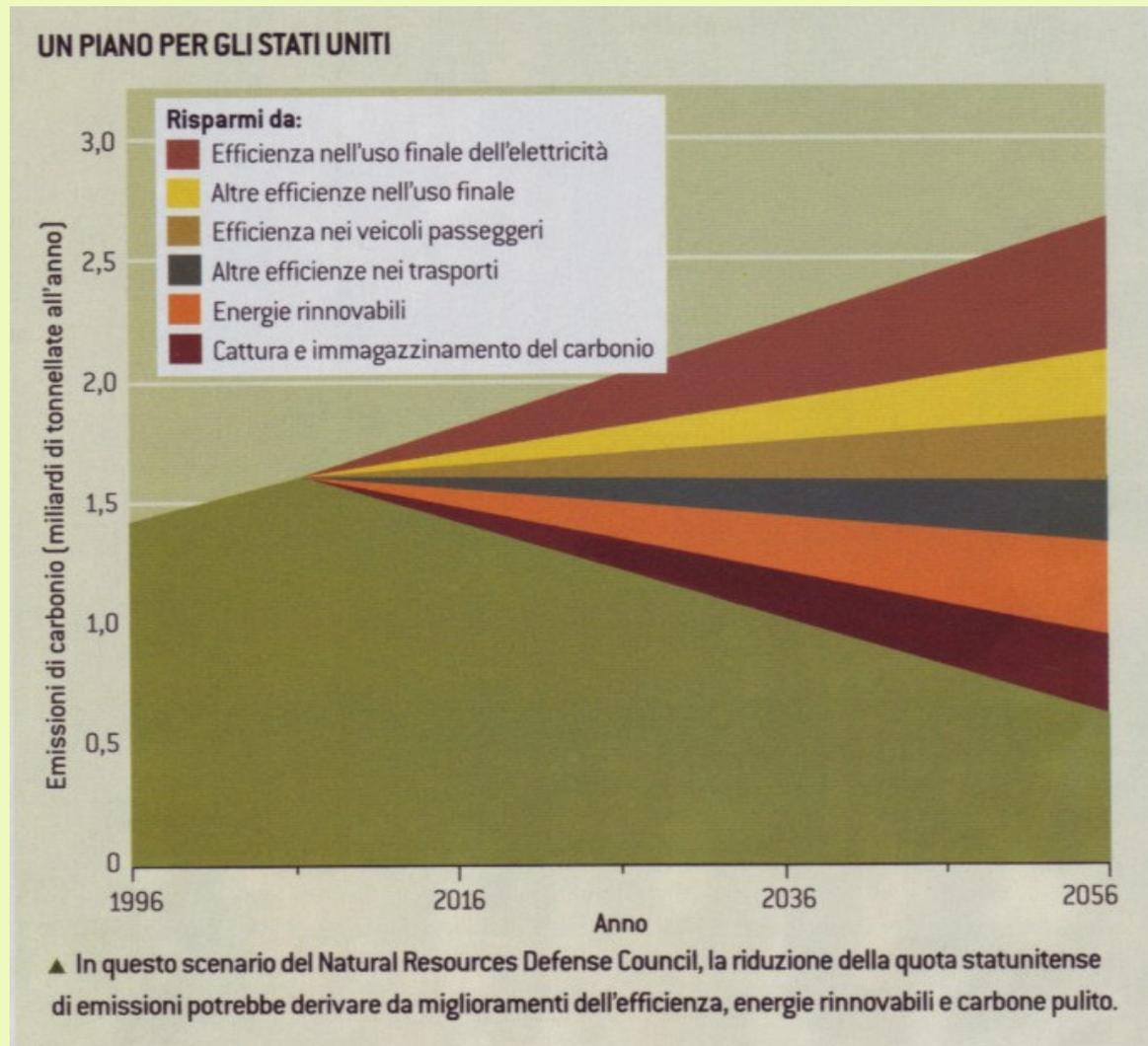
Figure utilitaire



Warum ?

Quelqu'un a eu l'idée de subdiviser la tâche (réduction des émissions de CO₂ de 4x) en 6 secteurs, dits 'cônes' de réduction du CO₂.

C'est artificiel, mais utile pour apprécier la difficulté du problème.



15 façons de réduire les émissions de CO2 d'un "cône"

Économiser

- Réduire de 25 % la consommation d'électricité dans les habitations et bureaux
- Réduire les déplacements de 2 milliards de voitures de 16.000 km en moyenne à 8.000 km.
- Diminuer la consommation des voitures de 12.5 km/litre d'essence à 25 km/ litre.

Production d'énergie électrique

- Augmenter le rendement de 1600 grandes centrales à charbon de 40% à 60%.
- Remplacer 1400 grandes centrales à charbon avec des centrales à gaz.

Capture et stockage du CO2

- Installer le CCS en 800 grandes centrales à charbon

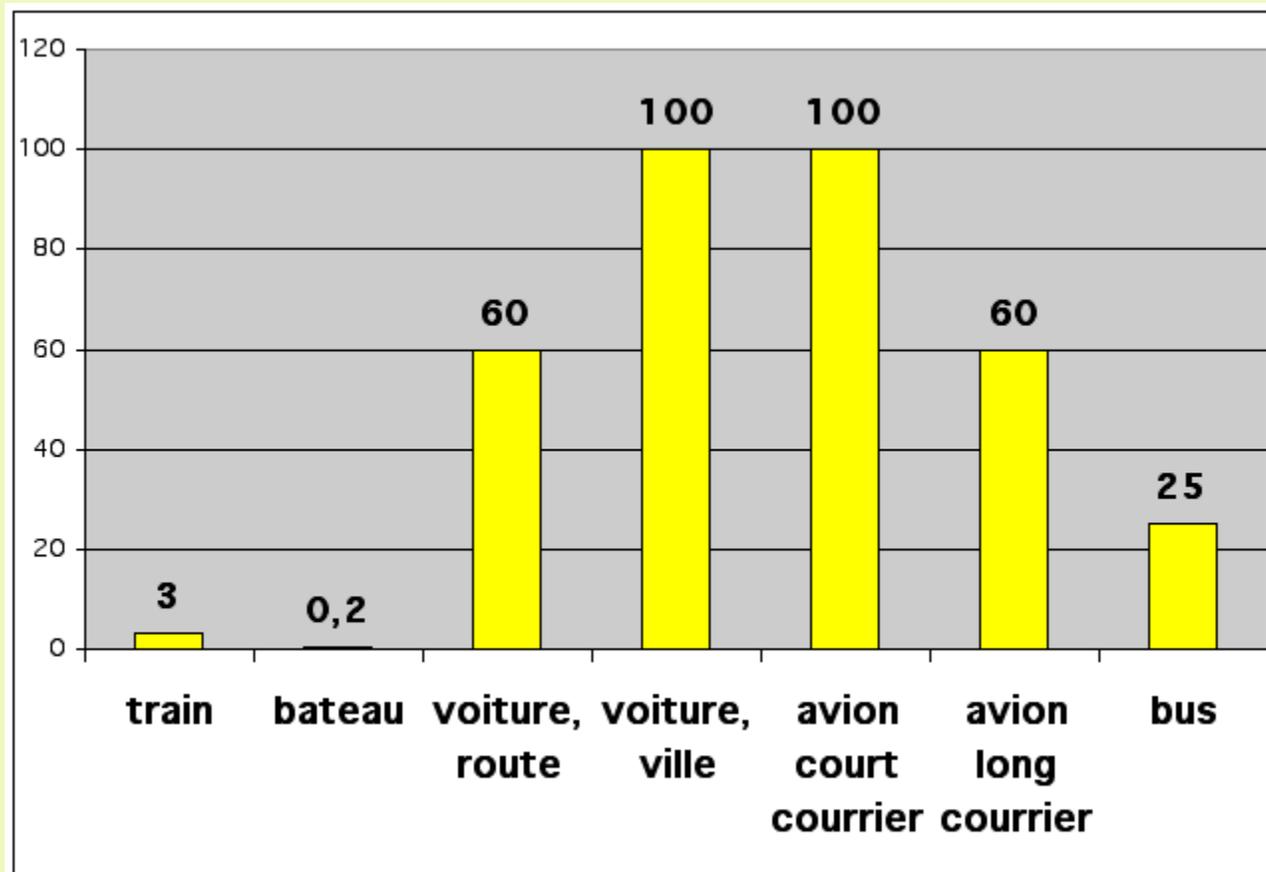
Agriculture et forêts

- Étendre l'arature conservatoire au 100% des terrains cultivables
- Arrêter complètement la déforestation.

Autres sources d'énergie

- Alimenter 2 milliards de voitures à l'éthanol (1/6 des terrains cultivables du monde)
- Augmenter de 80 x l'énergie éolienne afin de produire de l'hydrogène.
- Augmenter de 700 x l'énergie solaire pour remplacer le charbon.
- Augmenter de 40 x l'énergie éolienne pour remplacer du charbon.
- Augmenter de 2 x la production d'électricité par le nucléaire.

Émissions de gaz à effet pour divers moyens de transport (en kg équivalent carbone par 1000.passager.km)



Séquestration du CO_2 (CCS)

Pièges à c...arbone

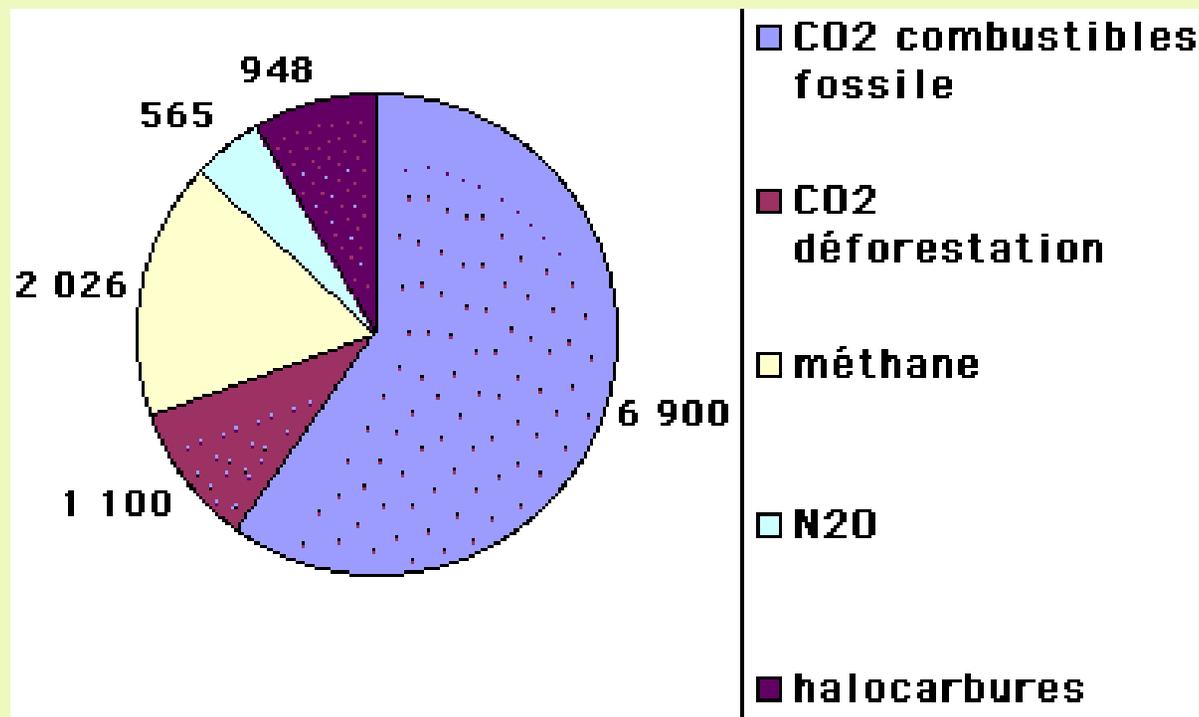
- Nappes salines aquifères
- Profondeurs océaniques
- Injection en champ pétrolier
- Injection en mines de charbon pour récupérer du méthane
- Coûts 'acceptables' $\ll 100$ €/t de C

Mais

On ne pourrait guère séquestrer que $\sim 15\%$ des G.E.S

Moitié de 50% = 25 %

Enfin une dernière limitation est que le CO_2 provenant de l'énergie fossile ne représente lui-même qu'un gros 50% du problème.



Taxe sur le CO2

La séquestration du CO2 coûte cher (50-100 \$/teqC), et ne se fera pas tant que les émissions de CO2 ne seront pas taxées.

Mais il paraît improbable que les grands consommateurs de charbon [USA, et pays en cours d'industrialisation] acceptent de s'équiper à grands frais.

Les gaz à effet de serre - résumé

S'il n'y avait pas d'effet de serre la température moyenne de la terre serait à **-18°C** alors qu'elle de **+15°C**.

Depuis le début de l'ère pré-industrielle l'effet de serre a augmenté de **2,45 W/m²**, soit 1%. C'est peu, mais c'est probablement la cause de 0,6 °C de hausse des températures.

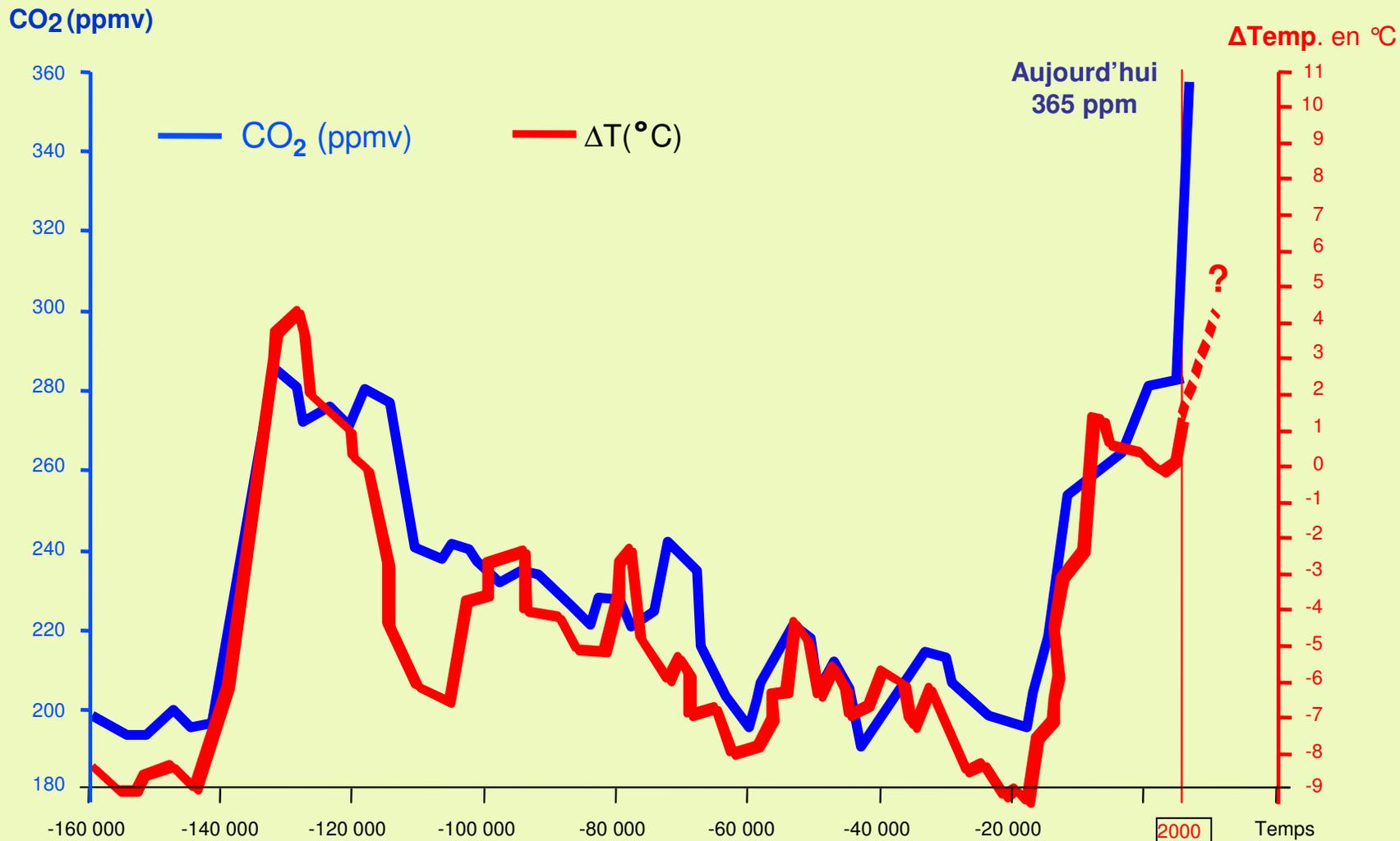
Selon les scénarios de consommations d'énergie et les modèles de prévision, la hausse des températures pourrait atteindre 2 à 6 °C d'ici la fin du siècle.

Les "experts" ont fixé assez arbitrairement le seuil de dangerosité du CO₂ dans l'atmosphère à 450 ppm. Et au delà ?

Aller à la 2ème partie...

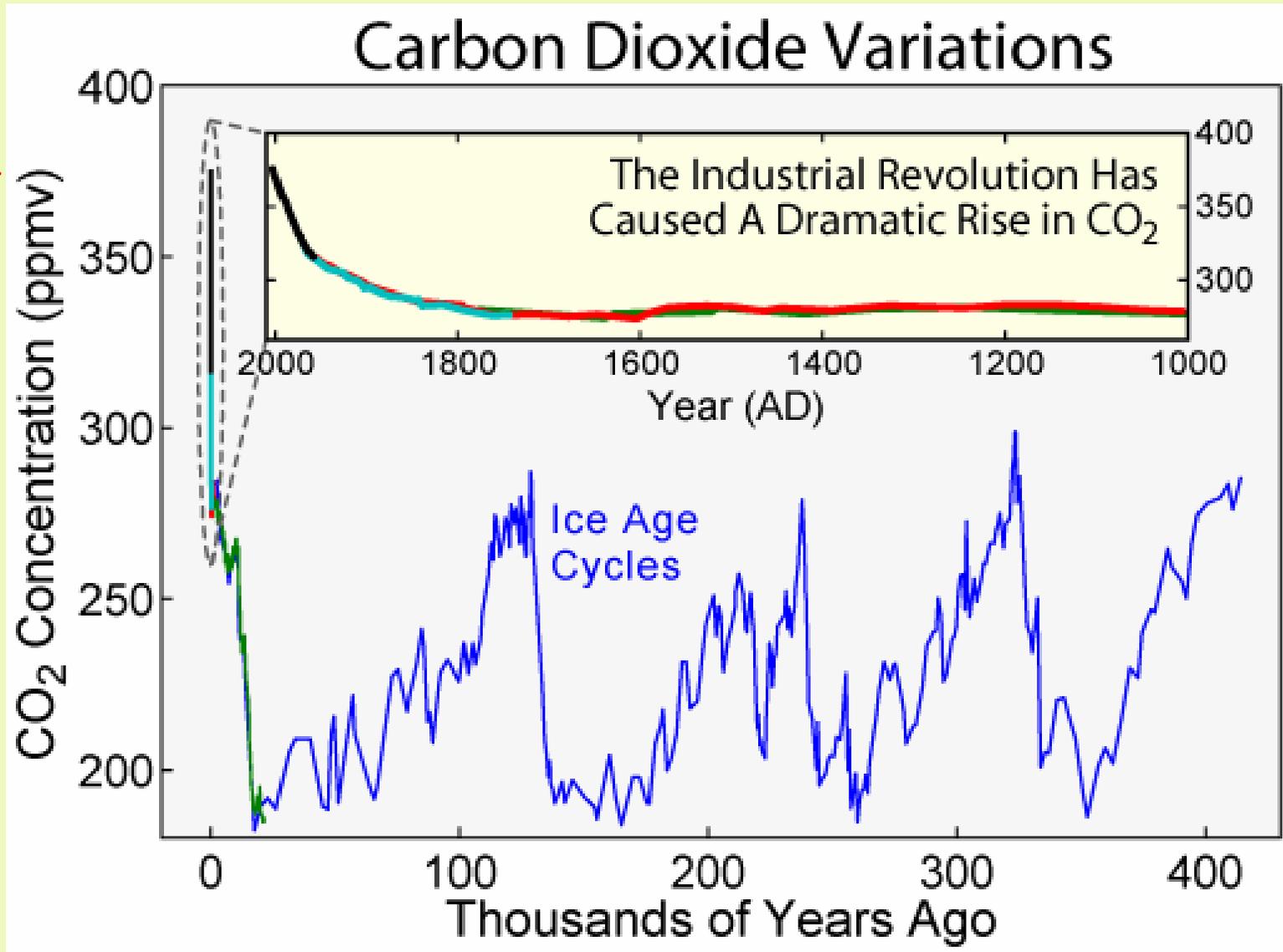
Appendice I - Concentration préhistoriques de
CO₂ et autres documents

Évolution de la concentration en CO_2 dans l'atmosphère, et de la température à la surface de la Terre sur 160.000 ans



Depuis 400.000 ans (et même depuis 20 millions d'années), la concentration de CO_2 dans l'atmosphère est comprise entre 180 ppmv et 300 ppmv

365 →

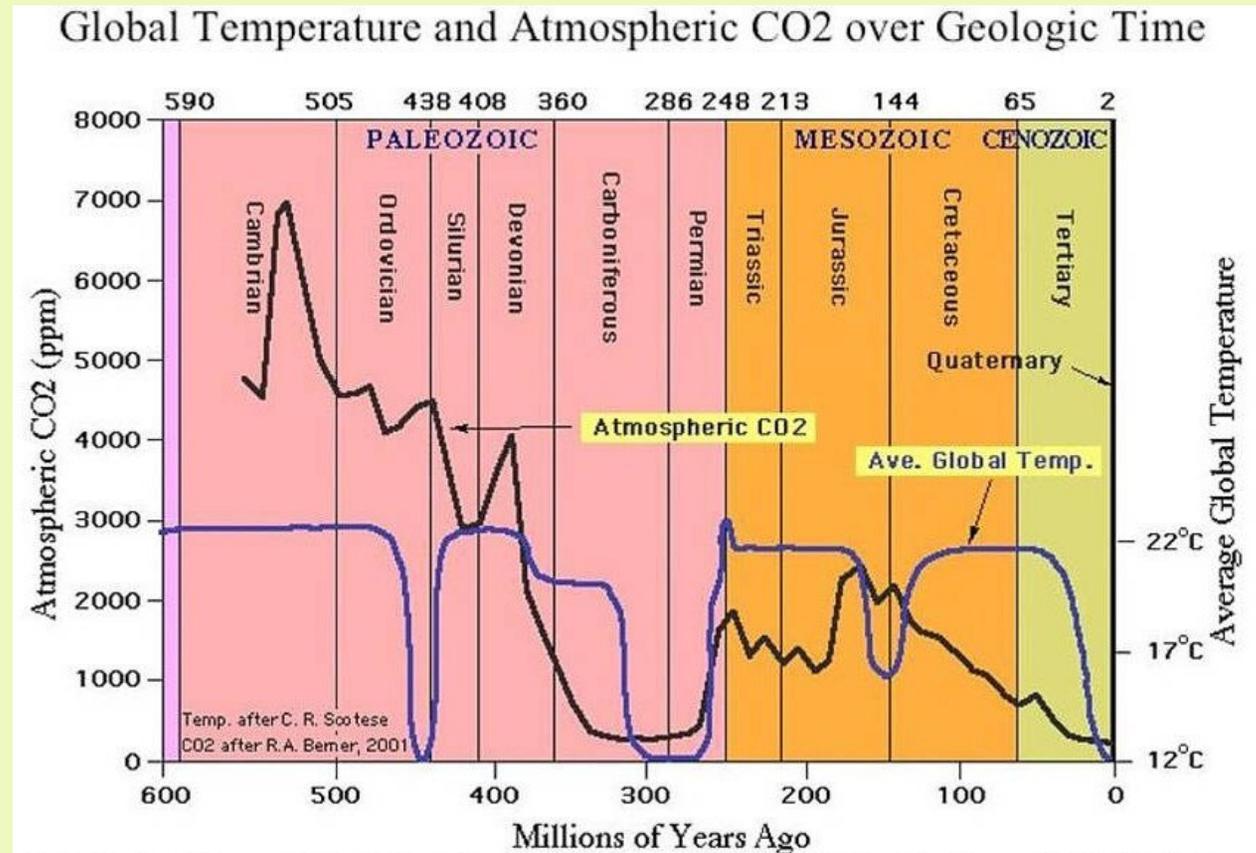


Concentration de CO₂ et température de l'air sur 600 millions d'années

Plus loin dans le temps, concentration de CO₂ et température montrent plus de variations,

...

mais les conditions sur Terre (faune, flore) étaient bien différentes !



Albédo

Albédo est le nom que l'on utilise pour la mesure du **pouvoir réfléchissant** d'une surface : un miroir parfait a un albédo = 1 (il réfléchit 100% de la lumière qu'il reçoit), une surface parfaitement noire a un albédo nul (elle ne réfléchit rien).

L'albédo moyen de la Terre est l'un des déterminants pour la température qu'il fait, car plus l'albedo moyen est fort, et plus l'énergie solaire est directement réfléchiée vers l'espace, sans avoir eu le temps de chauffer le sol : 1% d'albédo en plus sur la moyenne terrestre, cela engendre une baisse de la température moyenne de l'air au niveau du sol de 0,75 °C environ, et réciproquement : **1% d'albédo en moins** et la température moyenne monte d'environ 0,75 °C.

Une forêt a un albédo de 5 à 15% (c'est à dire qu'une forêt réfléchit 5 à 15% seulement de la lumière qu'elle reçoit), et une terre agricole de 25%. En plantant des arbres là où il n'y en avait pas, on diminue donc la réflexion de la surface de la Terre, qui absorbe donc plus d'énergie qu'avant.

Reforestation ?

ONF Le bilan annuel d'une forêt mature en terme d'absorption de CO₂ est très faible car la fixation de CO₂ par photosynthèse est compensée par les rejets de CO₂ dus aux processus de décomposition de la matière organique (micro-organismes, champignons, insectes...). C'est pendant la phase de croissance qu'une forêt reconstitue son stock de biomasse. Grâce à la photosynthèse, elle fonctionne alors comme une véritable "pompe à CO₂" qui stocke dans le bois et les sols le CO₂ atmosphérique. (~ 200t / ha s'il n'y avait rien avant, mais en... 100 ans !).

Quand le bois est ainsi exploité, son utilisation, soit comme matériau, soit comme source d'énergie, permet respectivement, soit de stocker à long terme le CO₂, soit d'éviter l'utilisation d'énergie fossile.

La reforestation permet d'installer de nouvelles forêts qui vont activement fixer du CO₂ pendant leur croissance.

Jankovici

Tout d'abord il faut savoir qu'une forêt n'est un puits de carbone que quand elle est jeune : une forêt à maturité (cas des forêts qui ont dépassé le siècle, en gros), comportant des arbres qui meurent et des arbres qui poussent, émet à peu près autant de CO₂ qu'elle n'en absorbe : certes des arbres poussent, mais la décomposition de ceux qui sont morts conduit à des émissions de CO₂ à peu près équivalentes à ce qui est absorbé par la croissance des arbres vivants.

En particulier, il y a des tas de bonnes raisons de conserver l'Amazonie dans le meilleur état possible, mais pas parce qu'elle est le poumon de la planète : en bilan net, elle ne produit pas le moindre litre d'oxygène pour nous !

Avant d'aller plus loin, une première conclusion est donc que planter des forêts n'engendre un gain que dans le cas où ces forêts remplacent des terres agricoles. En cas de remplacement de prairies, le bilan est nul à défavorable en ce qui concerne l'évolution du stock de carbone à l'hectare, puisque le contenu en carbone d'une prairie (sol et végétation, l'essentiel du stock étant contenu dans le sol, est le même que celui d'une forêt tempérée, en ordre de grandeur.

Actuellement, les émissions humaines de carbone (sous forme de gaz carbonique) que la biosphère ne recycle pas naturellement sont de l'ordre de 3 milliards de tonnes de carbone par an.

En supposant qu'un hectare de forêt nouvellement plantée séquestre 2 tonne de carbone par an, donc, il faudrait donc planter 1.500.000.000 hectares de forêts en ordre de grandeur, en remplacement de terres agricoles.

Pour fixer les idées, cela représente la plantation d'un huitième des terres émergées, ou encore environ 2 fois le Sahara, ou encore 30 fois la superficie de la France.

Séquestration du CO₂

En pratique, cette "séquestration" recouvre les opérations suivantes :

- lorsque l'on brûle un combustible fossile, on fait passer les gaz issu de leur combustion dans un dispositif qui "capture" le CO₂ (en général les gaz d'échappement sont injectés dans un liquide où le CO₂ va se dissoudre, puis le liquide avec le CO₂ dissous est transporté dans un appareil où le CO₂ est récupéré),
- ce CO₂ est alors compressé, puis injecté - éventuellement après avoir été transporté par une espèce de gazoduc - dans le sous-sol. Les réceptacles possibles doivent avoir la propriété de ne pas laisser le CO₂ repartir vers l'atmosphère ensuite.

Il peut s'agir :

- d'anciennes mines de sel hermétiquement closes,
- de nappes aquifères salines profondes (il s'agit donc de nappes phratiques d'un genre particulier, où l'eau est salée), où le CO₂ est dissous dans l'eau,
- d'anciens réservoirs de pétrole ou de gaz naturel (dans ce cas le CO₂ peut même servir à expulser le pétrole restant),
- dans des mines de charbon dont la mise en production n'est pas envisagée (où il s'adsorberait à la place du méthane),
- et plus généralement de n'importe quel réservoir géologique étanche, car le but du jeu est bien évidemment que ce CO₂ ne ressorte plus ensuite !