

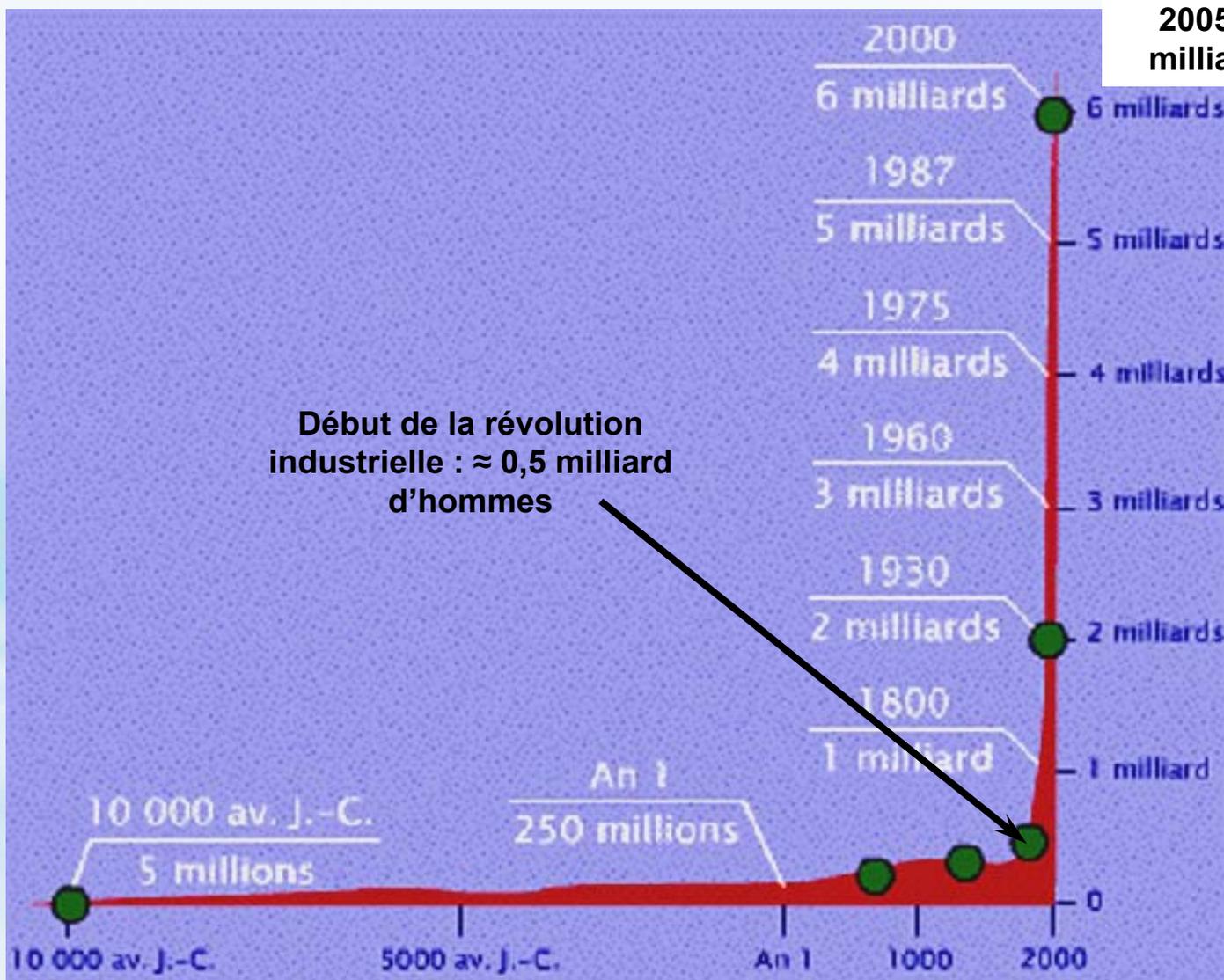
Energie, changement climatique et santé : une profonde interdépendance et une urgence de l'action



Jean-Marc Jancovici - ECO-HUG
30 novembre 2007

- -500.000 ans : domestication du feu
- L 'antiquité : toutes les renouvelables ont été utilisées ! Bois, vent, soleil, hydraulique, traction animale...
- Le pétrole est connu des Summériens (-3.000 av. JC environ), bien avant Drake et son premier forage (1859 à Tittusville)
- Le charbon est exploité dans la Chine antique 1000 ans avant notre ère
- Ce qui caractérise l'ère « moderne », ce n'est pas l'utilisation de sources « nouvelles » (sauf le nucléaire), mais le **changement d'ordre de grandeur** dans l'usage

Un premier changement d'ordre de grandeur : la population



2005 : 6,5 milliards...

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

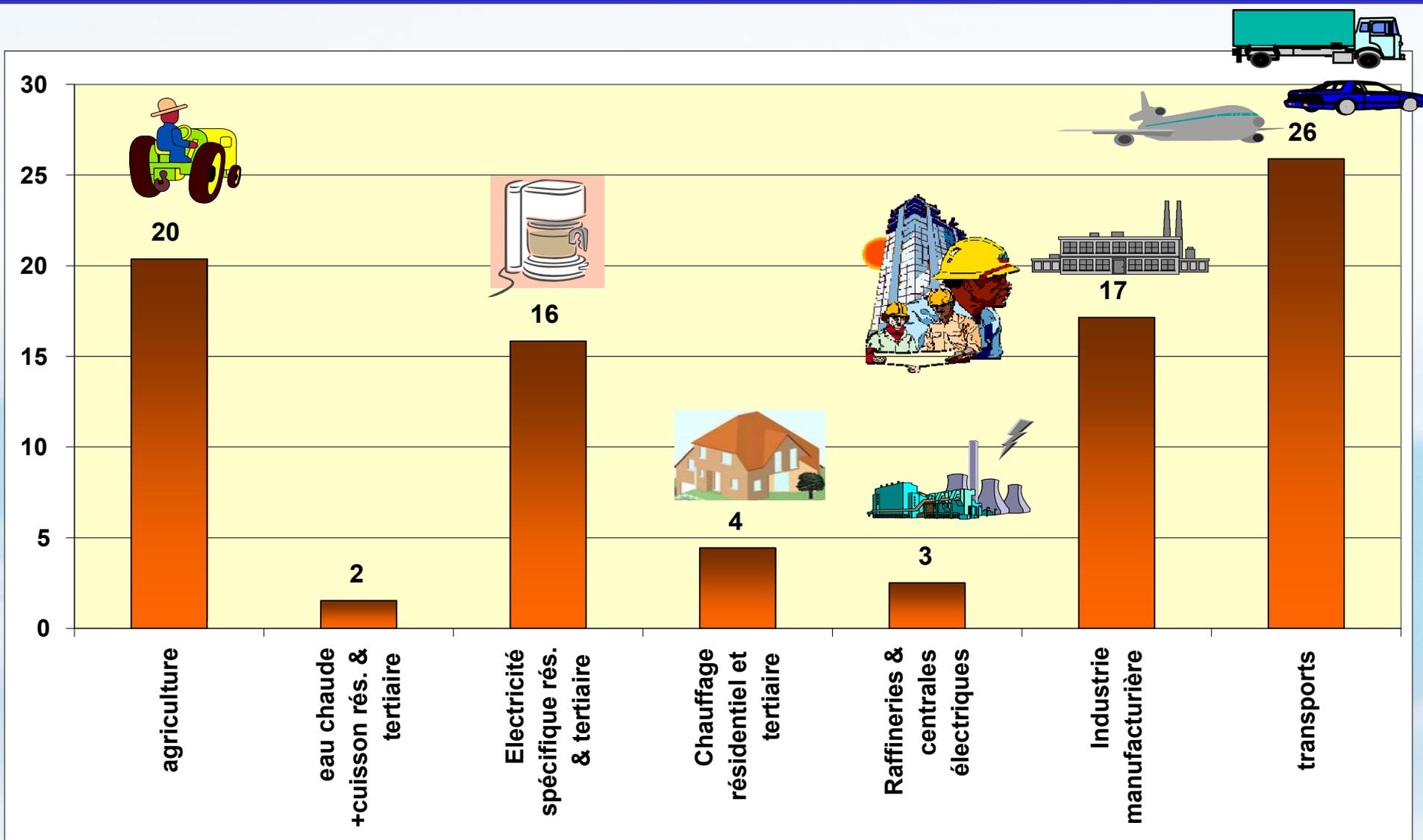
Un deuxième changement d'ordre de grandeur : énergie



Conso. d'énergie primaire hors biomasse en tep par habitant. Une tep ≈ 42 GJ ≈ 11.600 kWh.
L'énergie, en physique, c'est ce qui caractérise un changement d'état : **par définition, plus l'homme consomme d'énergie, plus il modifie l'environnement !**

Compilation de l'auteur (Sources diverses)

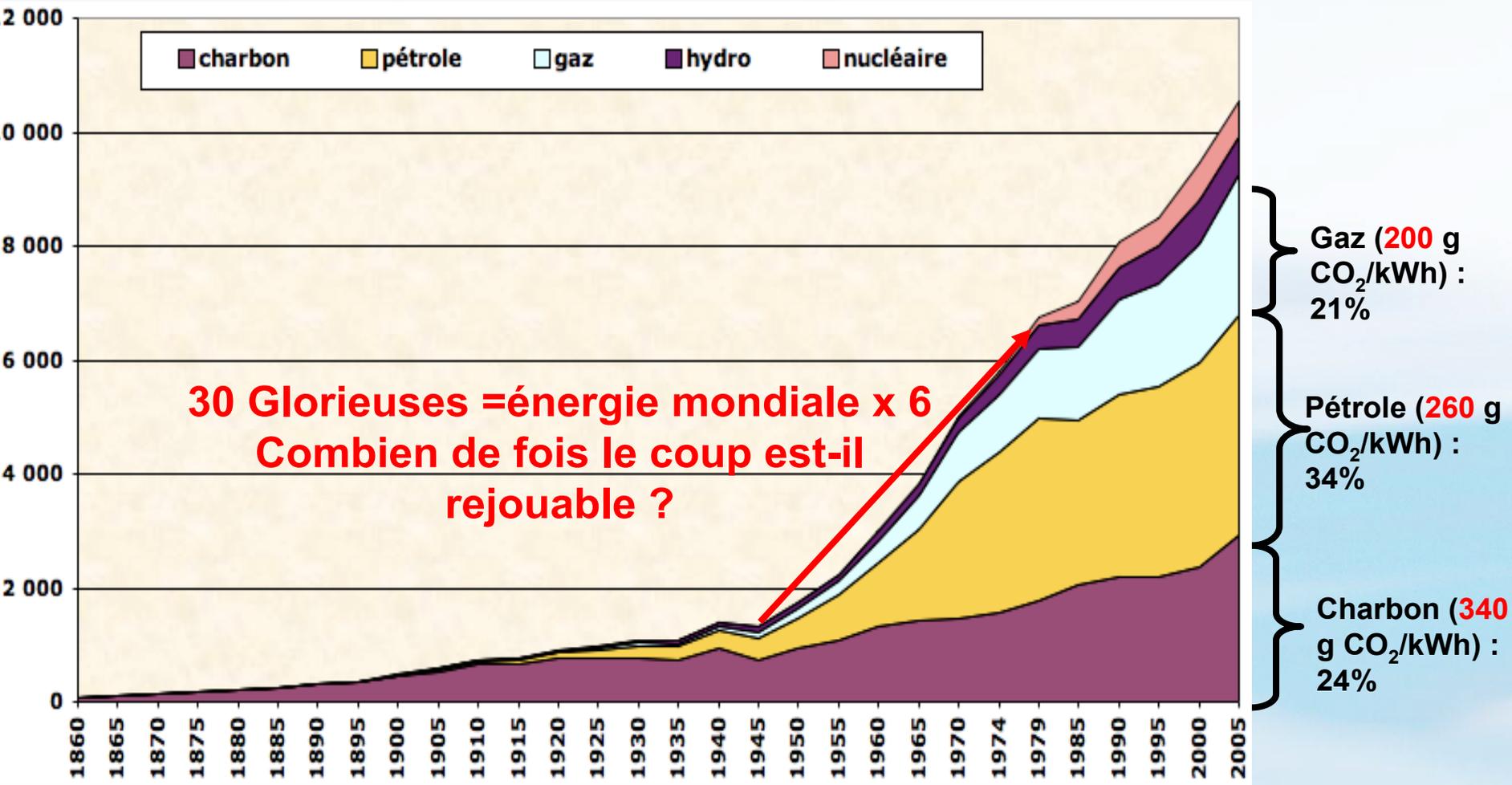
Nietzsche voulait des surhommes : nous voici...



« Equivalents domestiques » à la disposition de **chaque Français** de l'an 2005.

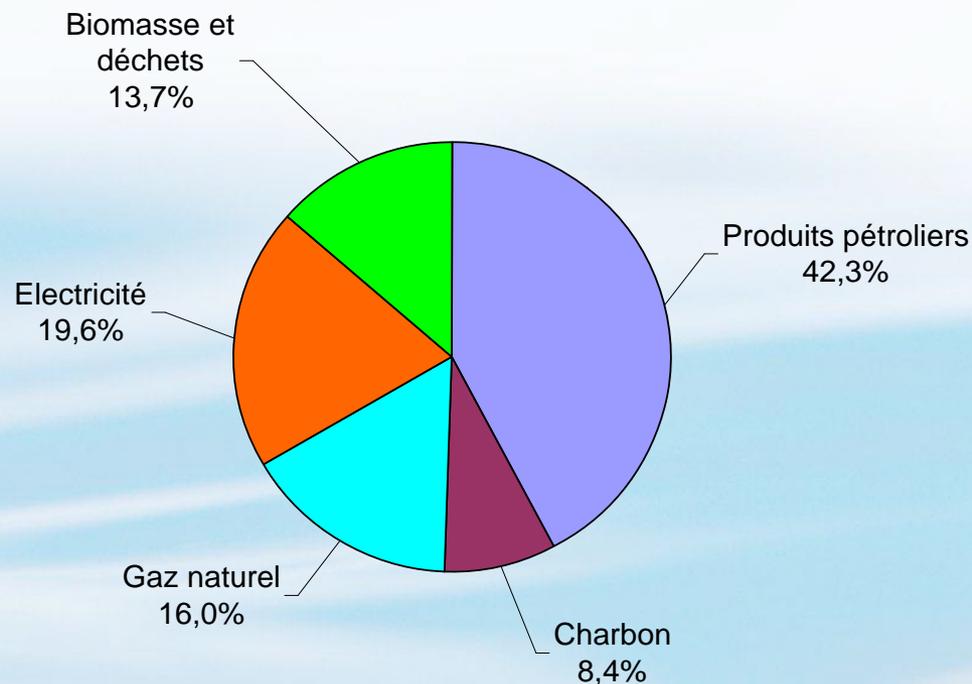
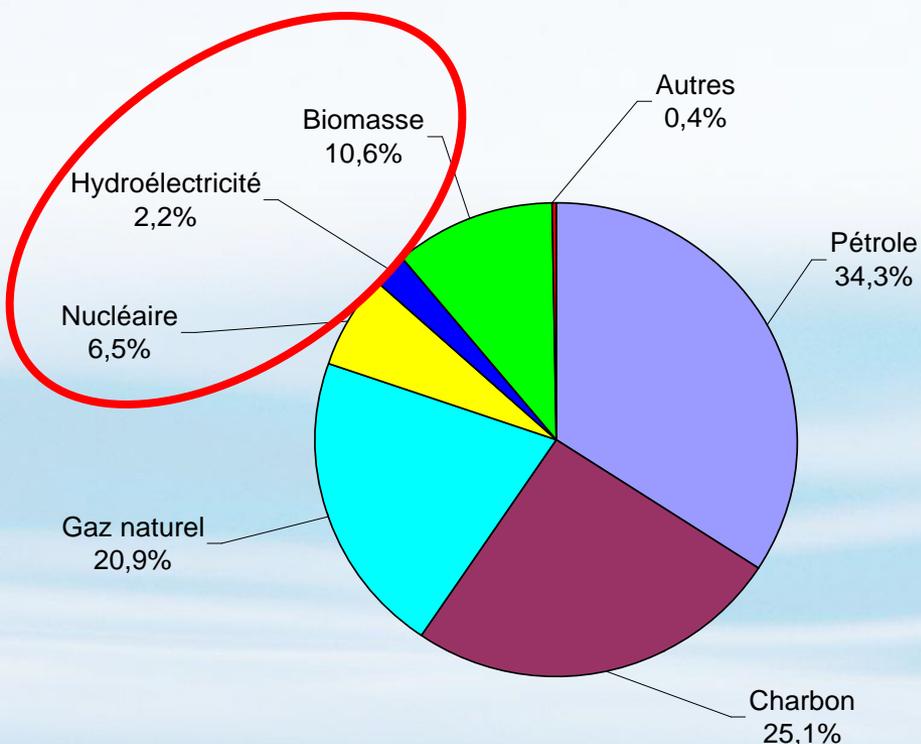
Qui est modeste ?!? - Calcul de l'auteur, 2005

Energie x 10 en 60 ans, mais 85% issue de stocks non renouvelables



Consommation mondiale en Mtep (millions de tonnes équivalent pétrole) depuis 1860. Données Schilling & al ; Observatoire énergie ; AIE ; BP stat, compilation de l'auteur

Energie = carbone, ce n'est pas parfaitement exact, mais presque



11,1 Gtep_{primaire} → 7,6 Gtep_{final}

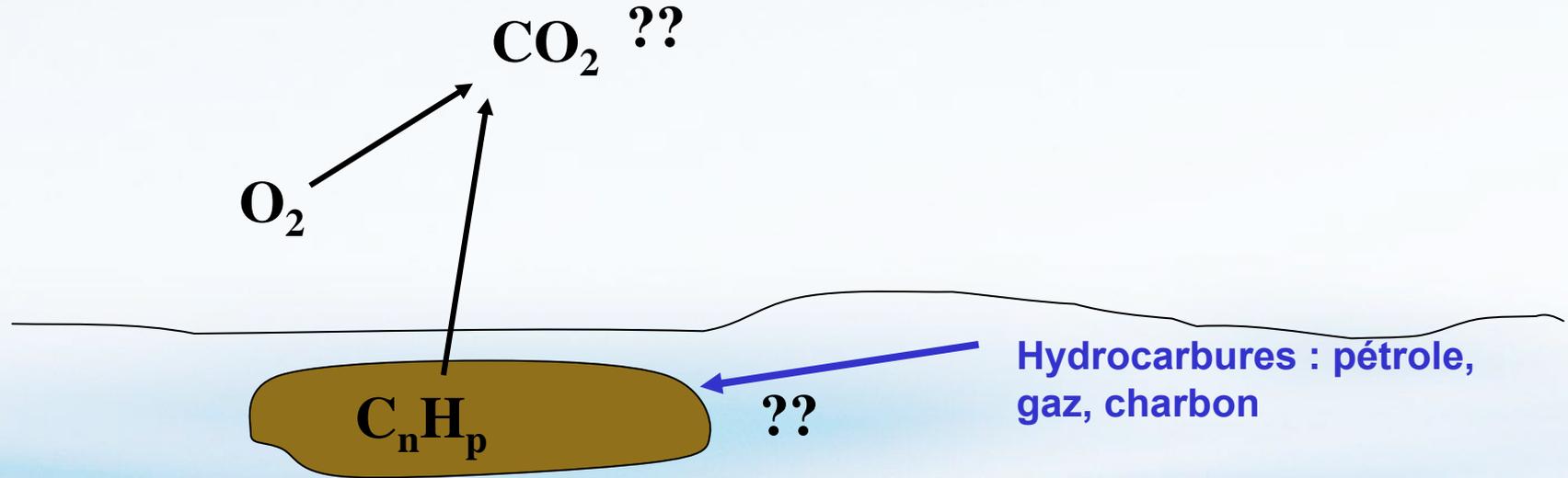
Bilan énergétique mondial en 2004 - Source : AIE 2006

Population x 1000 + énergie x 10 = un sacré changement !



Pression de l'homme sur son environnement depuis le néolithique, figurée avec des surfaces

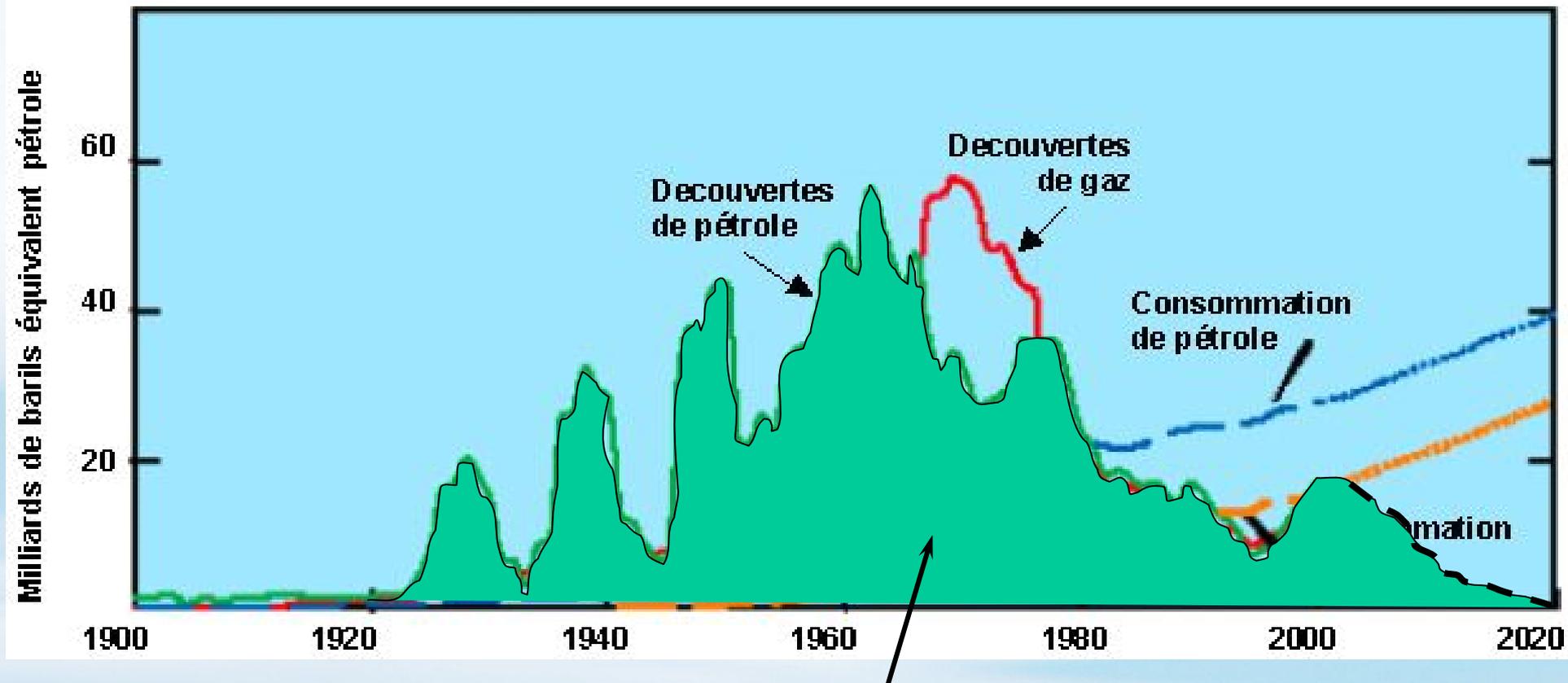
La civilisation industrielle, c'est presque aussi simple que cela...



Combien de temps pouvons nous jouer à « j'extrais de plus en plus de carbone du sous-sol ? » -> débat sur les **ressources**

Combien de temps pouvons nous jouer à « je mets de plus en plus de carbone dans l'atmosphère ? » -> débat sur le **changement climatique**

Avant d'extraire du pétrole, il est bon de pouvoir le découvrir

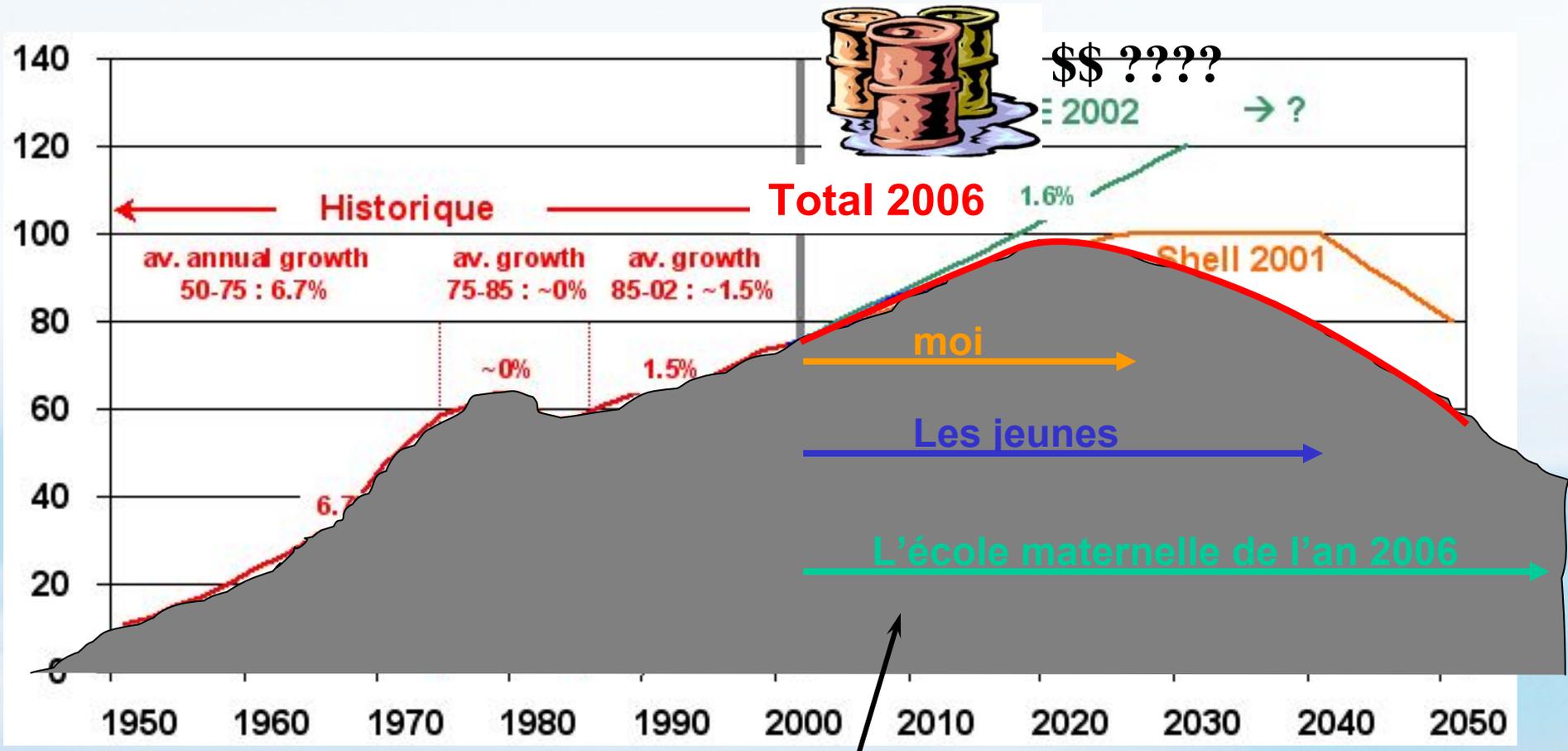


Découvertes cumulées de pétrole récupérable = réserves **ultimes** = max de la production cumulée possible de $-\infty$ à $+\infty$!

Découvertes mondiales de pétrole récupérable depuis 1900, en moyenne mobile sur 5 ans, en milliards de tonnes équivalent pétrole (1 tonne = 7,3 barils).

Source : Exxon Mobil, 2002

De plus en plus de pétrole, pour combien de temps ?

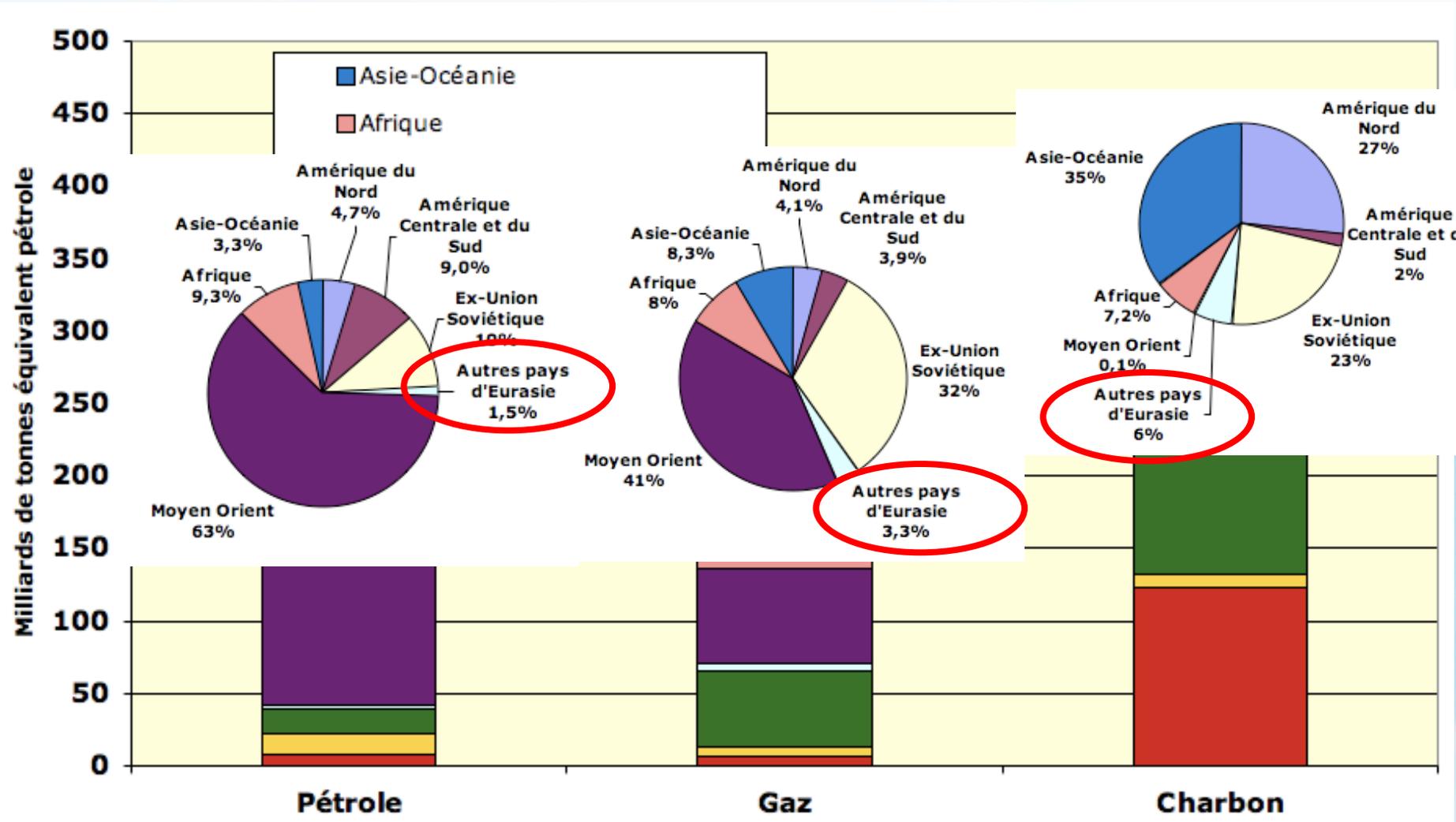


Production cumulée < découvertes cumulées de pétrole récupérable = réserves ultimes

Prédiction du maximum de la production pétrolière mondiale selon les sources. La prolongation tendancielle de la croissance finira par s'arrêter : c'est une simple question de mathématiques !

Source : Total, 2004

Le problème se complique beaucoup : le rab est ailleurs

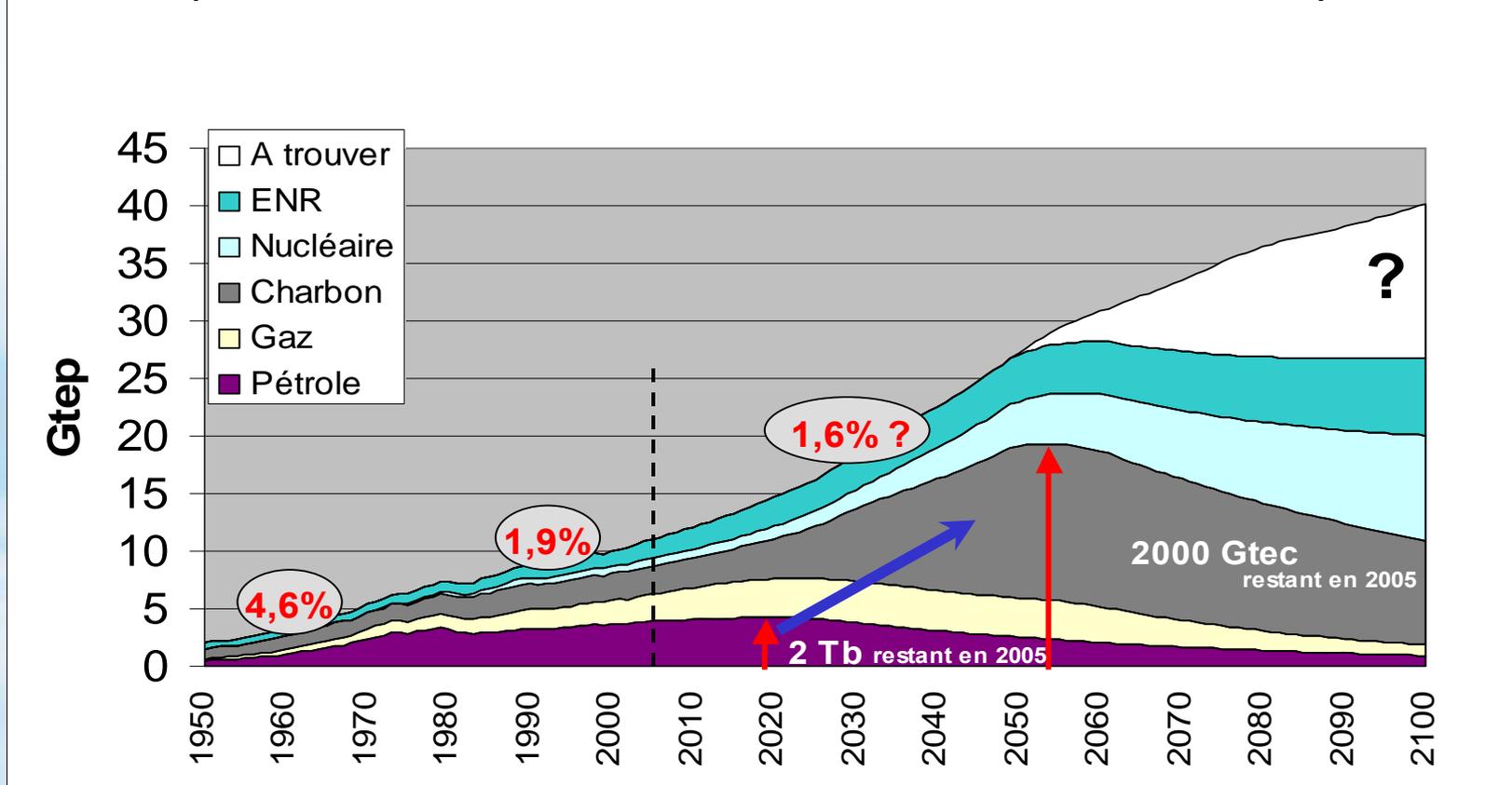


Réserves de combustible fossile par nature (Source : BP Statistical Review, juin 2007).

Avec ou sans climat, l'Europe devrait sérieusement se gratter la tête...

Se reporter de pétrole sur charbon : 30 à 40 ans de rab, mais guère plus...

Evolution des consommations énergétiques mondiales (scénario demande soutenue, et réserves de charbon hautes)



1000 raffineries aujourd'hui (2 à 3 G\$ pièce) - **2** unités CTL
Vitesse de transition pour construire 4.000 unités CTL ?

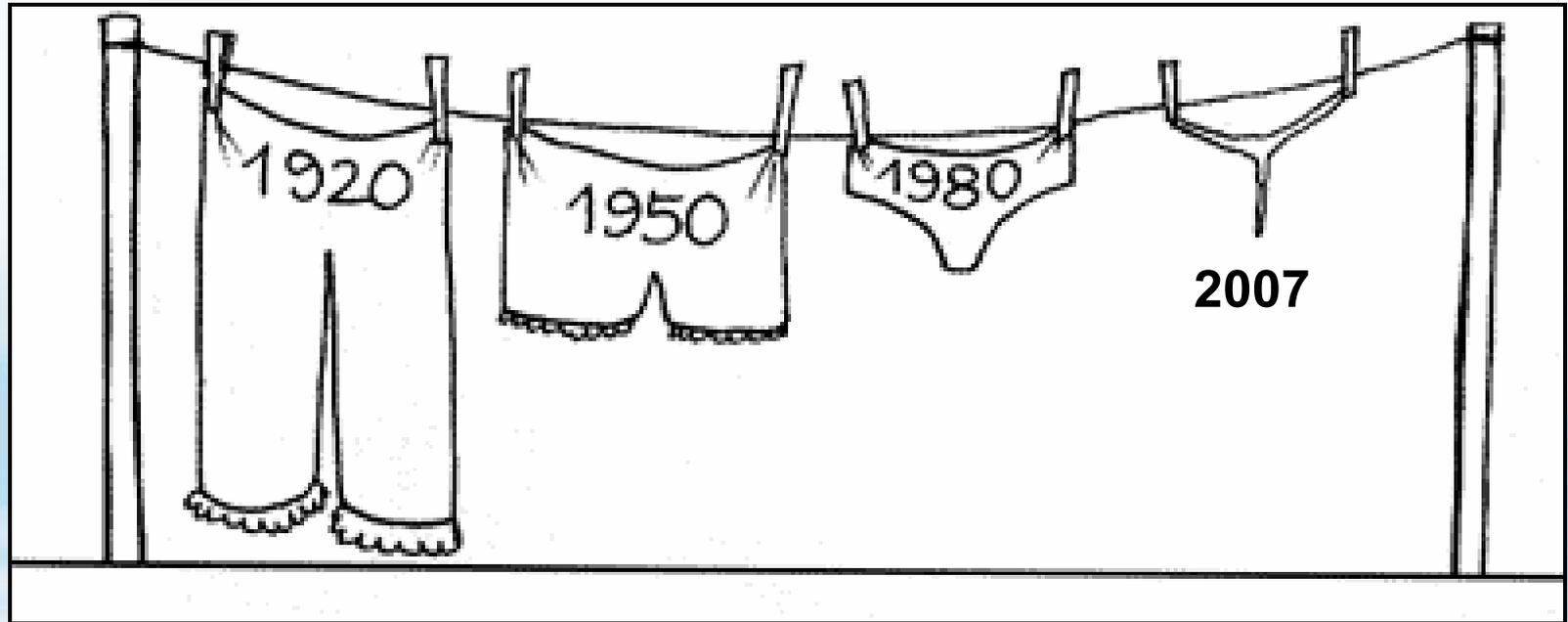
Source du graphique : EDF R&D, Revue de l'énergie, avril 2007

Se reporter de pétrole sur charbon : à ne pas faire !

Category	CO ₂ concentration at stabilization (2005 = 379 ppm) ^(b)	CO ₂ -equivalent Concentration at stabilization including GHGs and aerosols (2005 = 375 ppm) ^(b)	Peaking year for CO ₂ emissions ^(a, c)	Change in global CO ₂ emissions in 2050 (% of 2000 emissions) ^(a, c)	Global average temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using "best estimate" climate sensitivity ^(d, e)	Global average sea level rise above pre-industrial at equilibrium from thermal expansion only ^(f)	Number of assessed scenarios
	ppm	ppm	Year	Percent	°C	metres	
I	350 – 400	445 – 490	2000 – 2015	-85 to -50	2.0 – 2.4	0.4 – 1.4	6
II	400 – 440	490 – 535	2000 – 2020	-60 to -30	2.4 – 2.8	0.5 – 1.7	18
III	440 – 485	535 – 590	2010 – 2030	-30 to +5	2.8 – 3.2	0.6 – 1.9	21
IV	485 – 570	590 – 710	2020 ↓ 2060	+10 to +60	3.2 ↓ 4.0	0.6 – 2.4	118
V	570 – 660	710 – 855	2050 – 2080	+25 to +85	4.0 – 4.9	0.8 – 2.9	9
VI	660 – 790	855 – 1130	2060 – 2090	+90 to +140	4.9 – 6.1	1.0 – 3.7	5

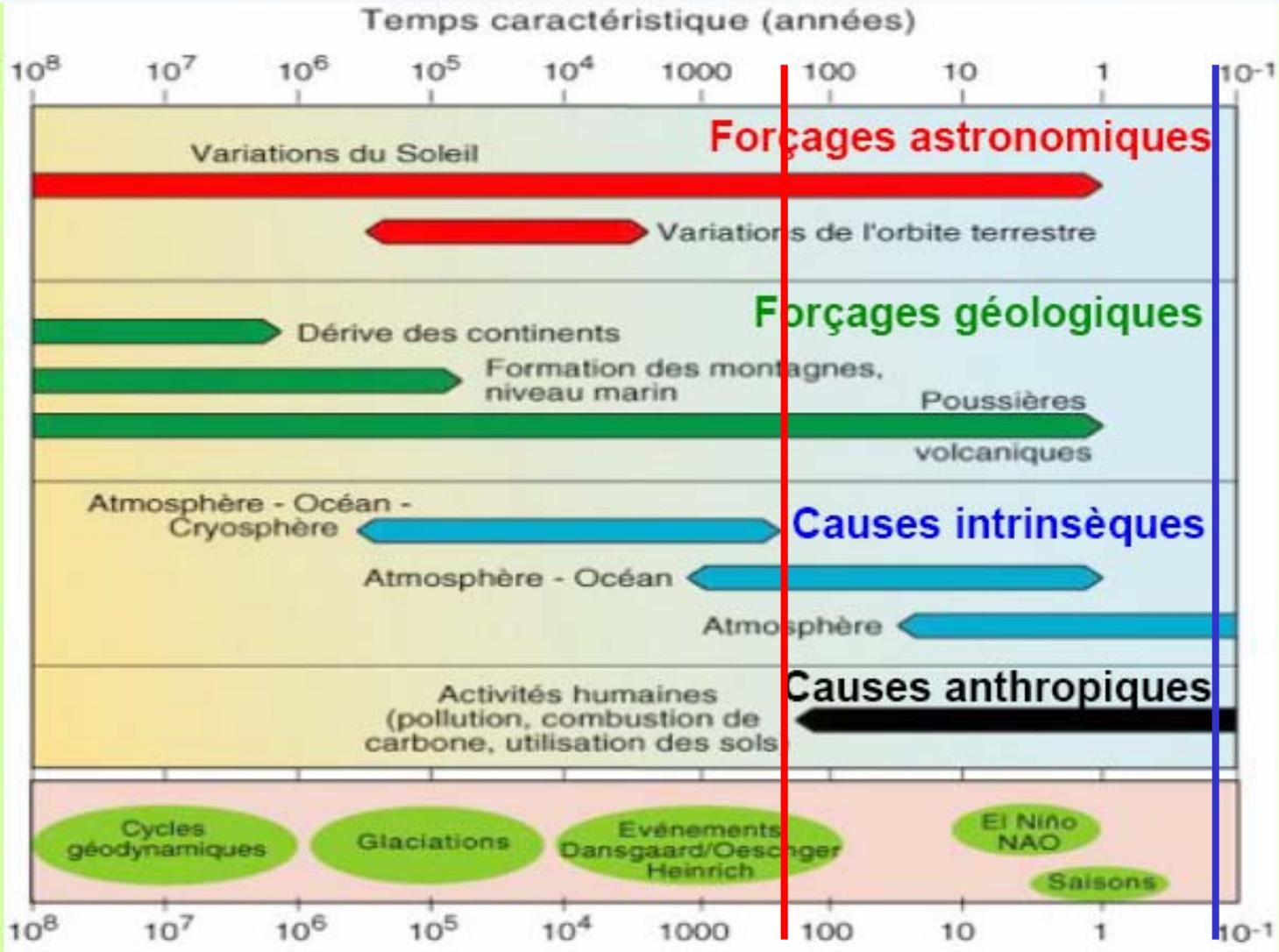
Source IPCC, novembre 2007

Encore des doutes sur la réalité du changement climatique ?



Il est évident qu'Allègre néglige des données d'observation irréfutables

Le climat, ce n'est pas juste des hommes... ni juste l'atmosphère

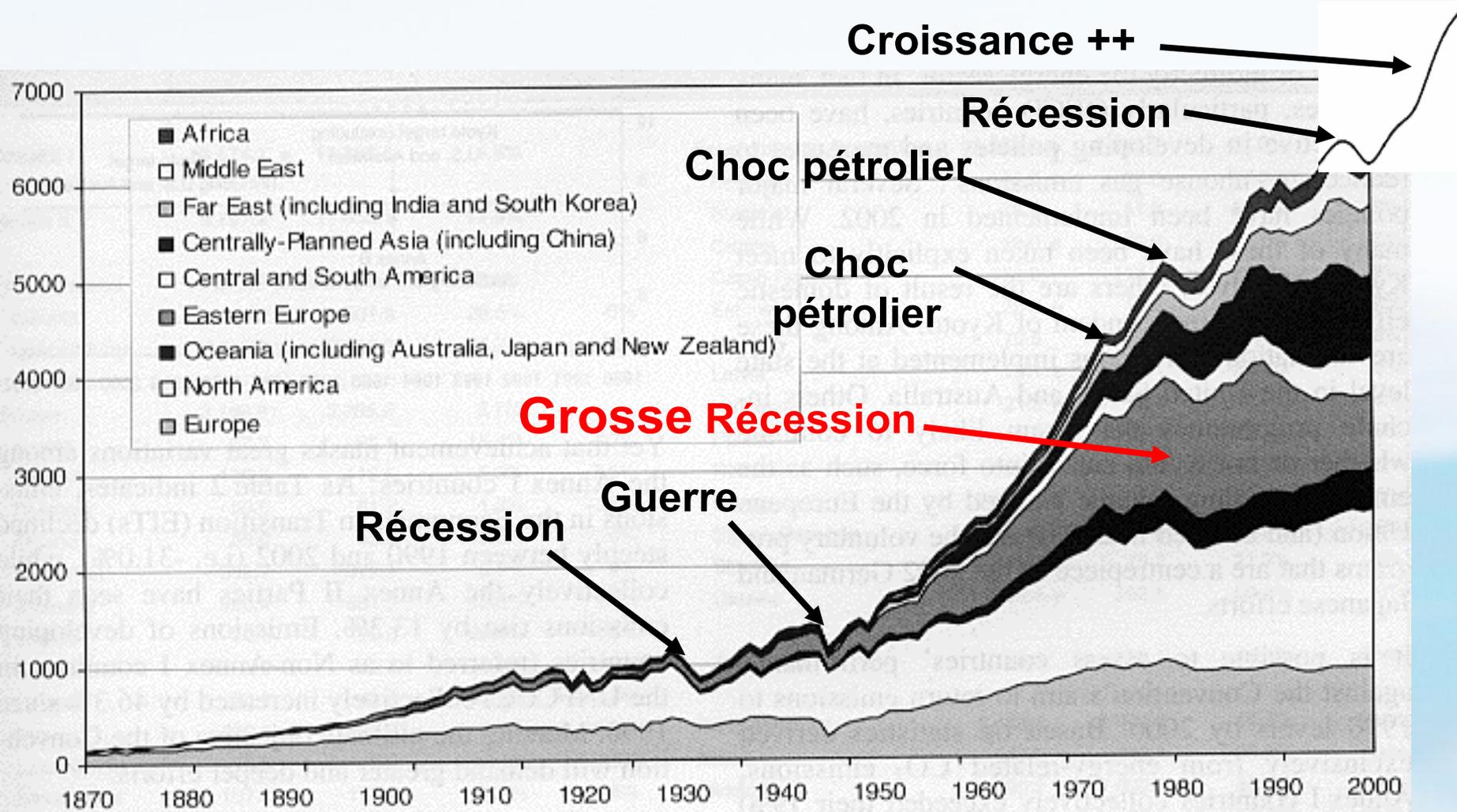


A l'échelle de la semaine : l'atmosphère domine

A l'échelle du siècle au millénaire : l'océan domine

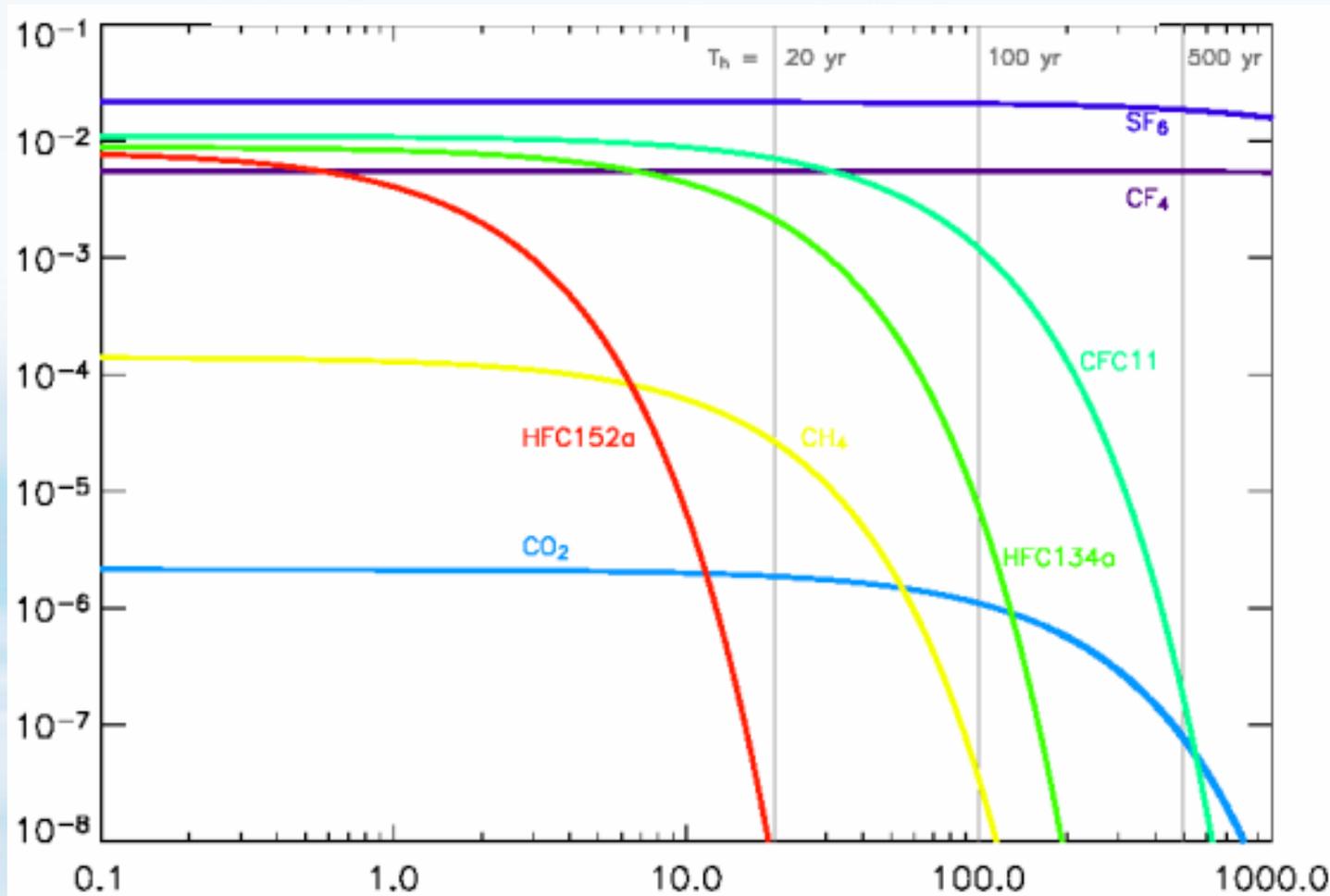
Causes diverses d'influence sur le climat et échelles de temps caractéristiques.
Edouard Bard, exposé au Collège de France.

Plus de PIB, c'est plus de CO₂... et inversement



Les émissions de CO₂ provenant de combustibles fossiles ont été multipliées par plus de 4 depuis 1950, et surtout **il est impossible de « faire » de la croissance économique sans augmenter ces émissions**. AIE, 2004 + IPCC, 2007

Les gaz à effet de serre : une pollution globale et irréversible

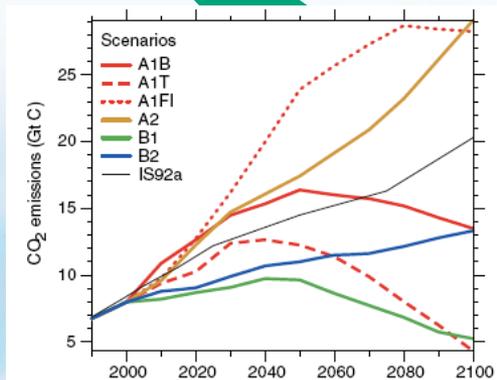
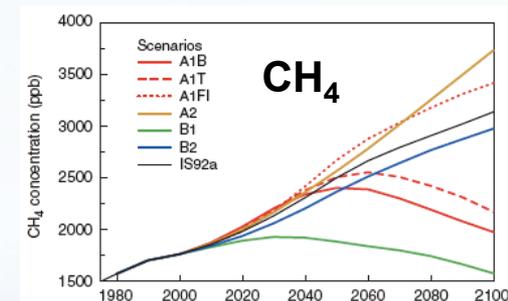
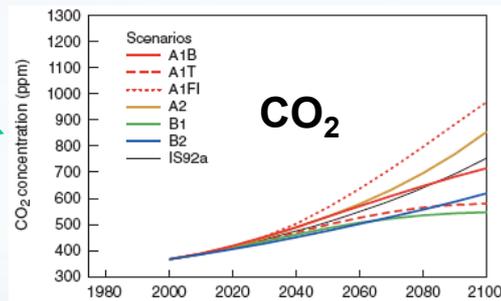
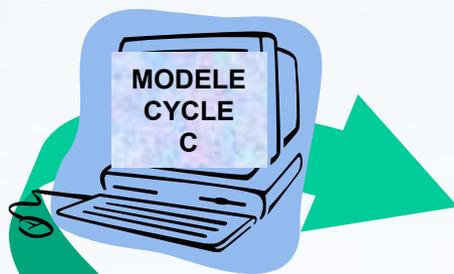


Effet résiduel (axe vertical, en watts/m^2) au cours du temps (axe horizontal, en années) d'une tonne de gaz émise à l'instant 0 (attention ! échelles logarithmiques). Ces courbes reflètent la quantité résiduelle de gaz dans l'atmosphère après émission.

D. Hauglustaine, LSCE.

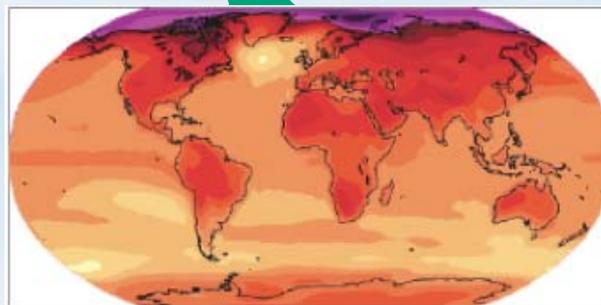
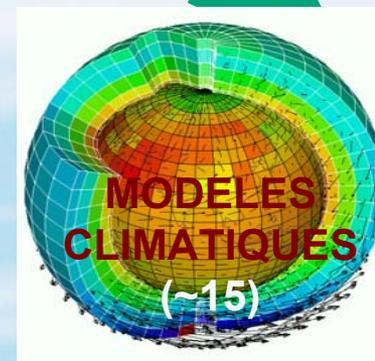
La simulation climatique, aussi fiable qu'un pronostic boursier ?

**HYPOTHESES
ECONOMIQUES ET
DEMOGRAPHIQUES**

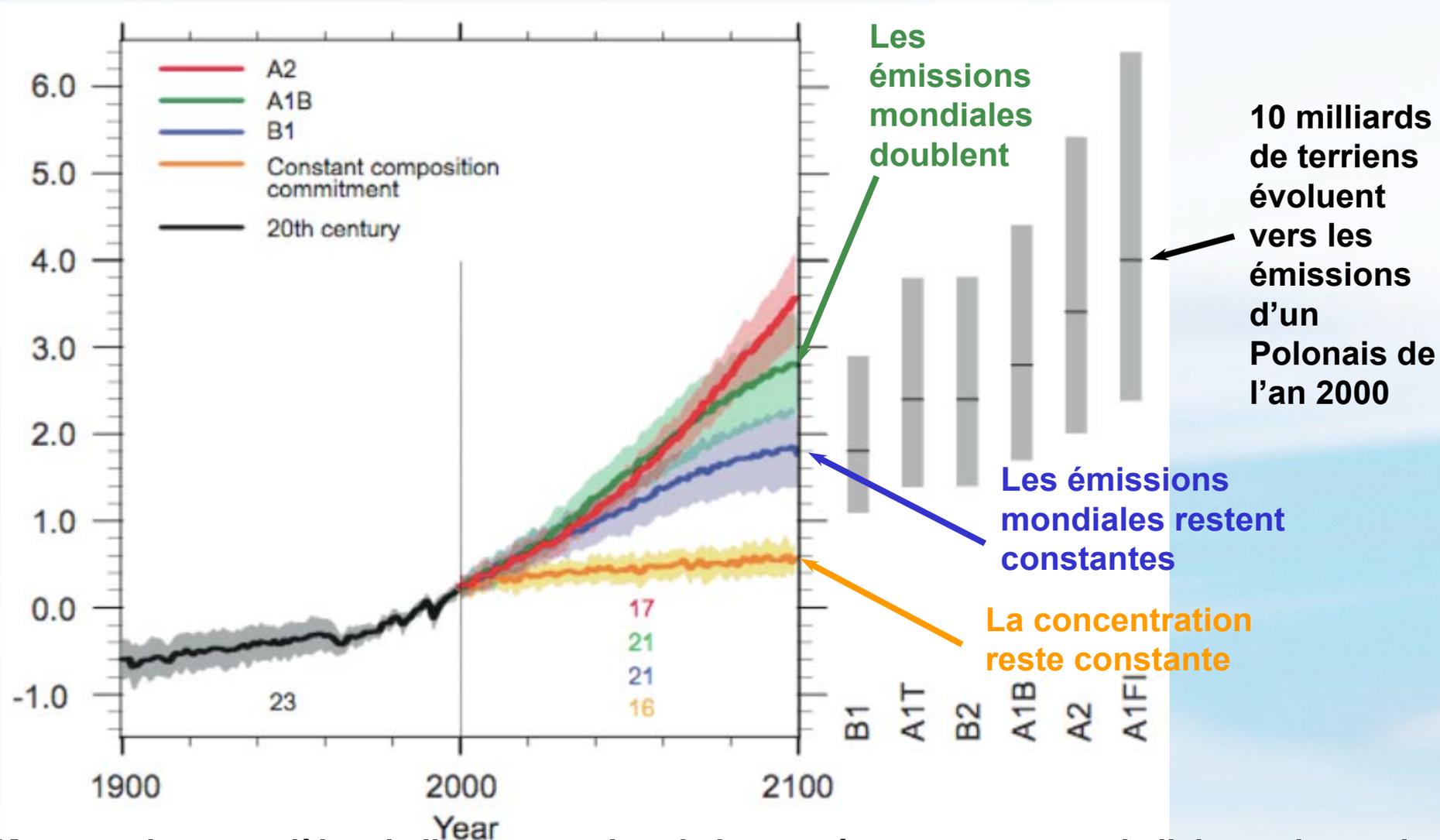


Emissions de GES

Concentration en GES



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

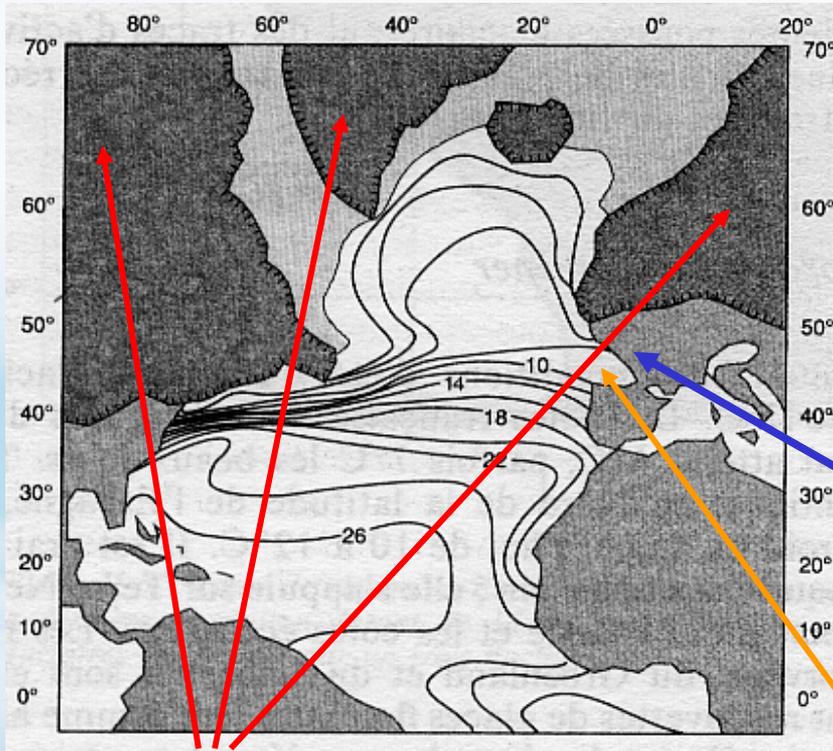


Moyenne inter-modèles de l'augmentation de la température moyenne de l'air au niveau du sol en 2100 par rapport à la moyenne 1980-1999, selon les scénarii (pas de couplage avec le cycle du carbone). Source : GIEC, 4^e rapport d'évaluation, 2007

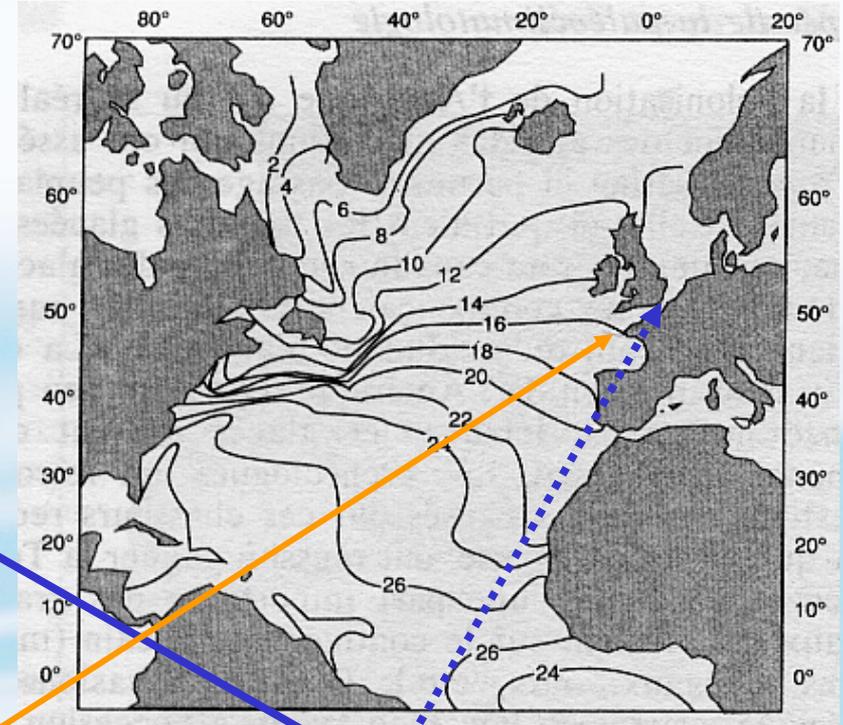
5 degrés en plus, c'est un **changement d'ère climatique**

+5°C

Il y a 20.000 ans (maximum glaciaire)



Aujourd'hui



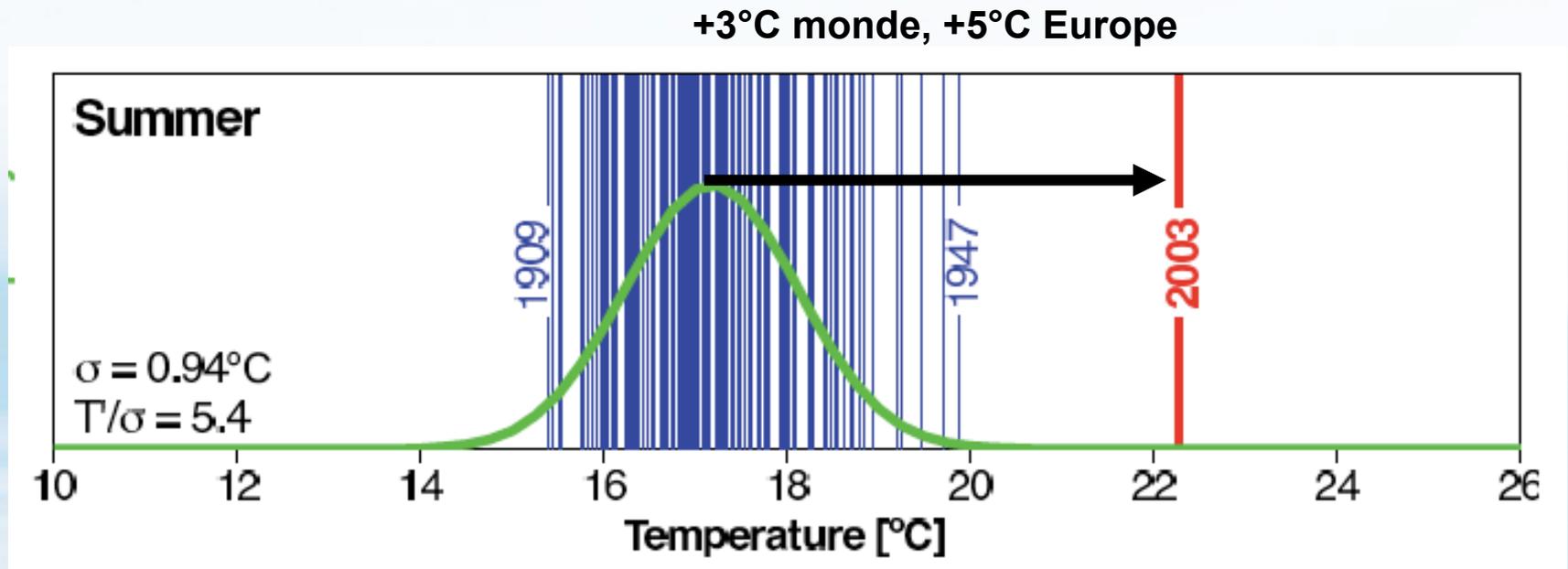
Période glaciaire : d'immenses glaciers, épais de plusieurs km, recouvrent l'Amérique et l'Europe du nord. Le sol de la France est gelé en permanence, et inapte aux cultures

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 est plus basse de 120 mètres !

-> Quelques °C en un siècle, ce sera(it) un choc massif et ingérable

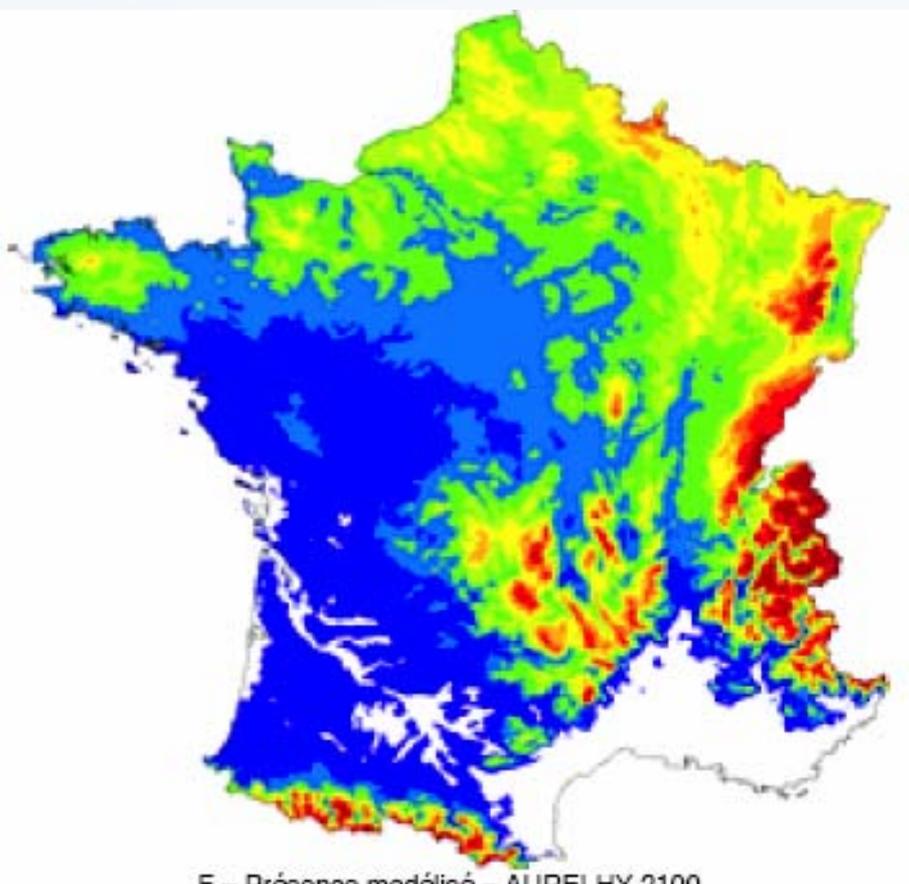
L'été 2003 deviendra-t-il la norme ?



Distribution des températures moyennes des étés en Suisse entre 1864 et 2003.

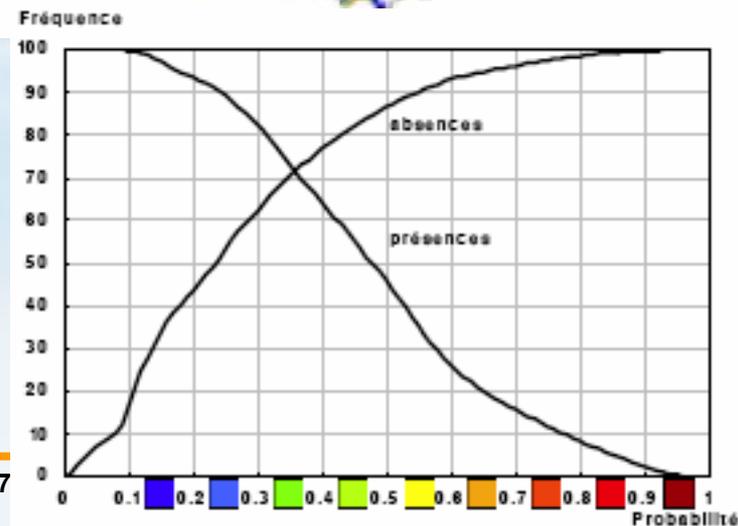
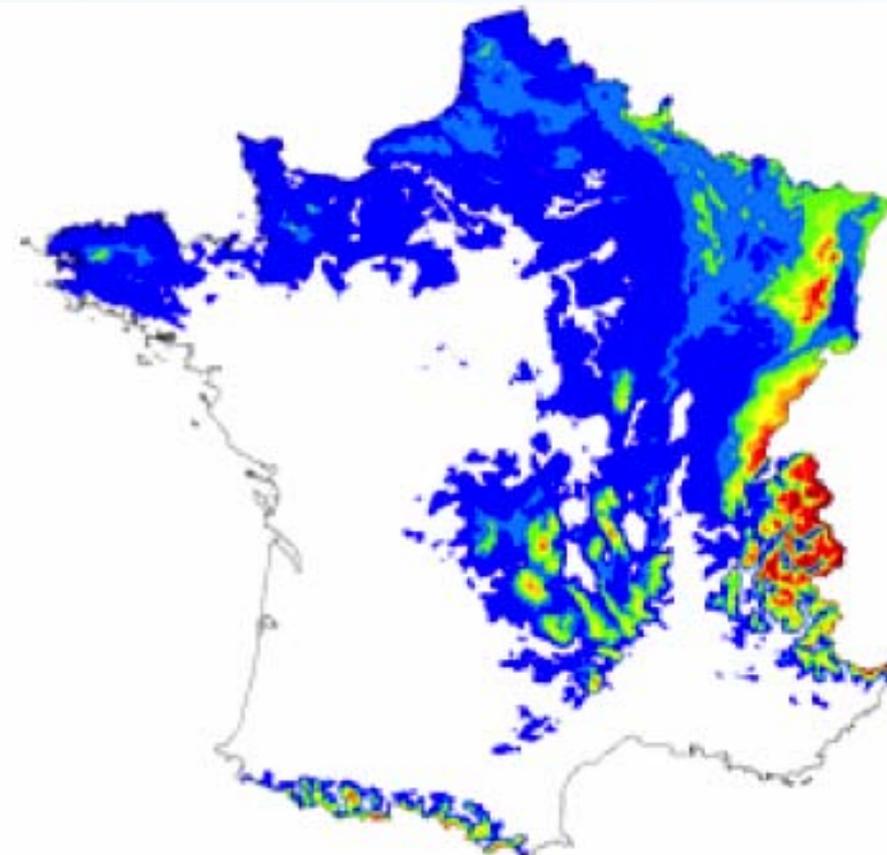
Source GIEC, 4^e rapport d'évaluation, 2007

La végétation aime ou pas...

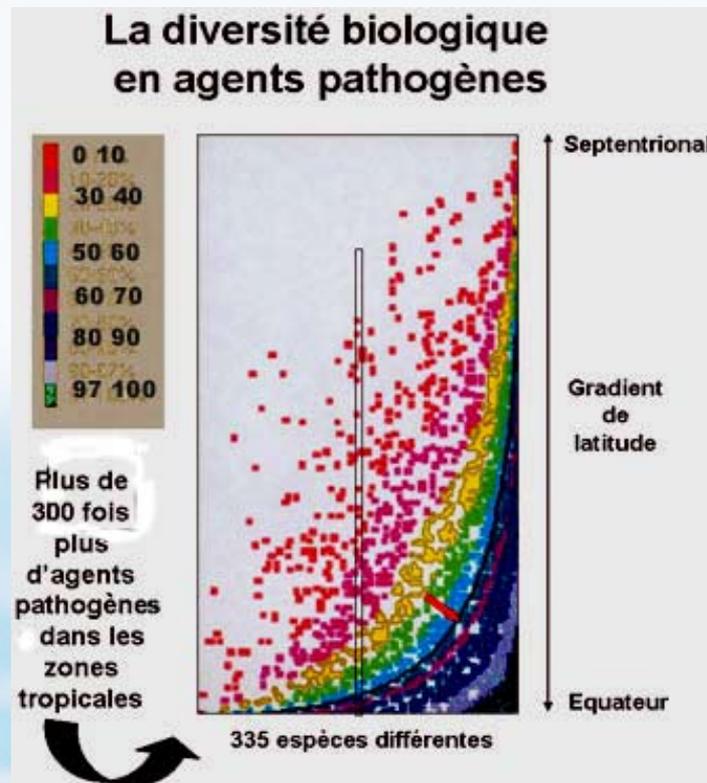


Aire de répartition du hêtre aujourd'hui (à gauche) et potentiel en 2100 (à droite) avec un scénario « peu émissif » (B2).

Source : Badeau et al., CARBOFOR, INRA
Nancy, 2004



Impacts sur la santé : fiche biodiversité !

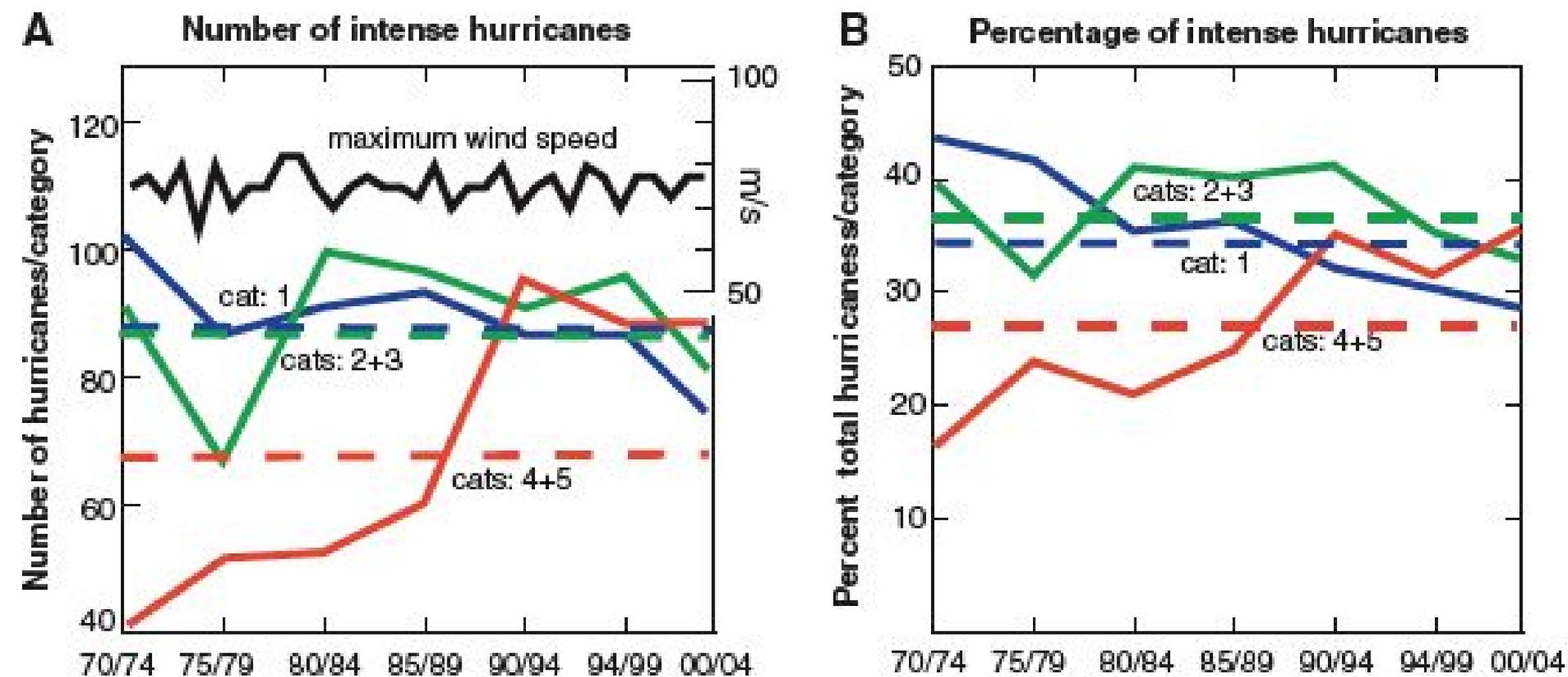


Source Weber, 2006

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

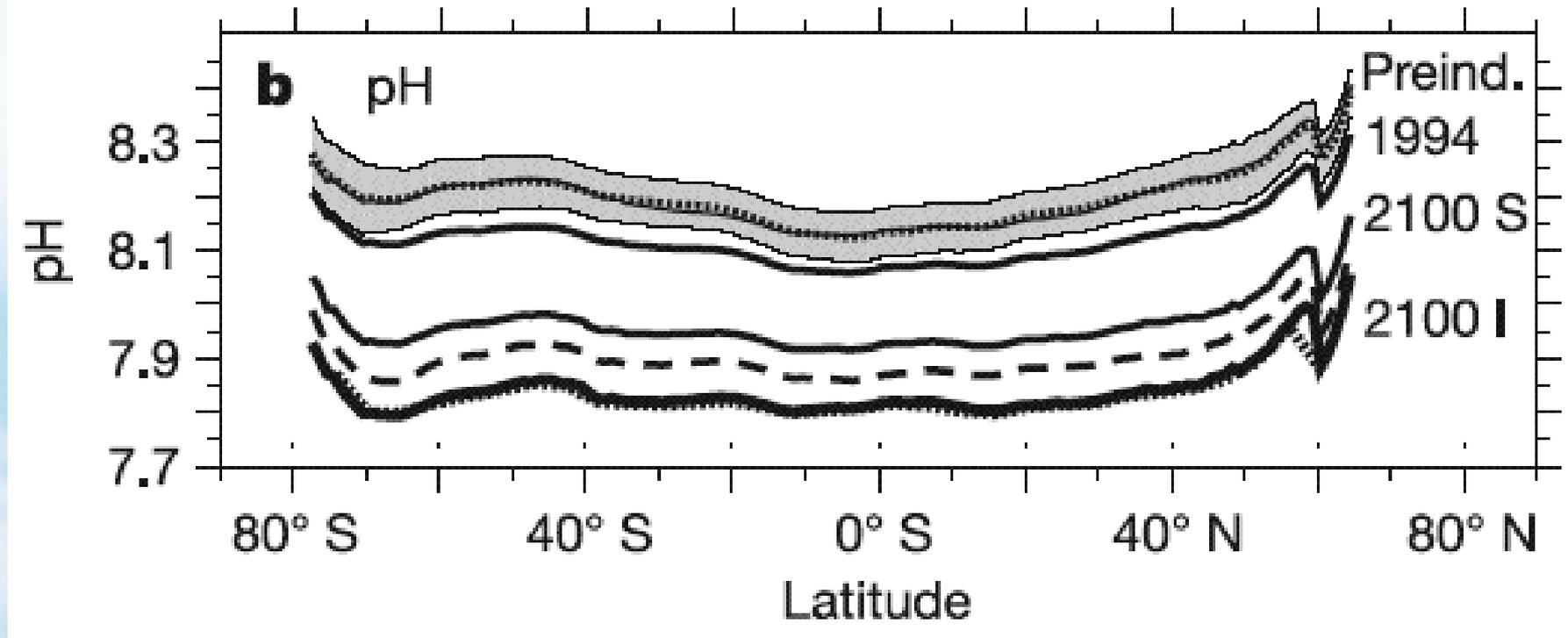
- L'augmentation des zones concernées par les maladies à vecteurs (paludisme, fièvre jaune, dengue, fièvre de la vallée du Rift...) aussi bien dans la population que pour les animaux sauvages ou domestiques (Lucilie bouchère, maladie de la langue bleue, etc),
- la remontée vers le Nord de pathologies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

Une puissance cyclonique accrue ? P'têt ben qu'oui....



Evolution sur 30 ans du nombre de cyclone dans le monde par catégorie (gauche), et proportion de chaque catégorie dans le total (droite). Source Science, 2005

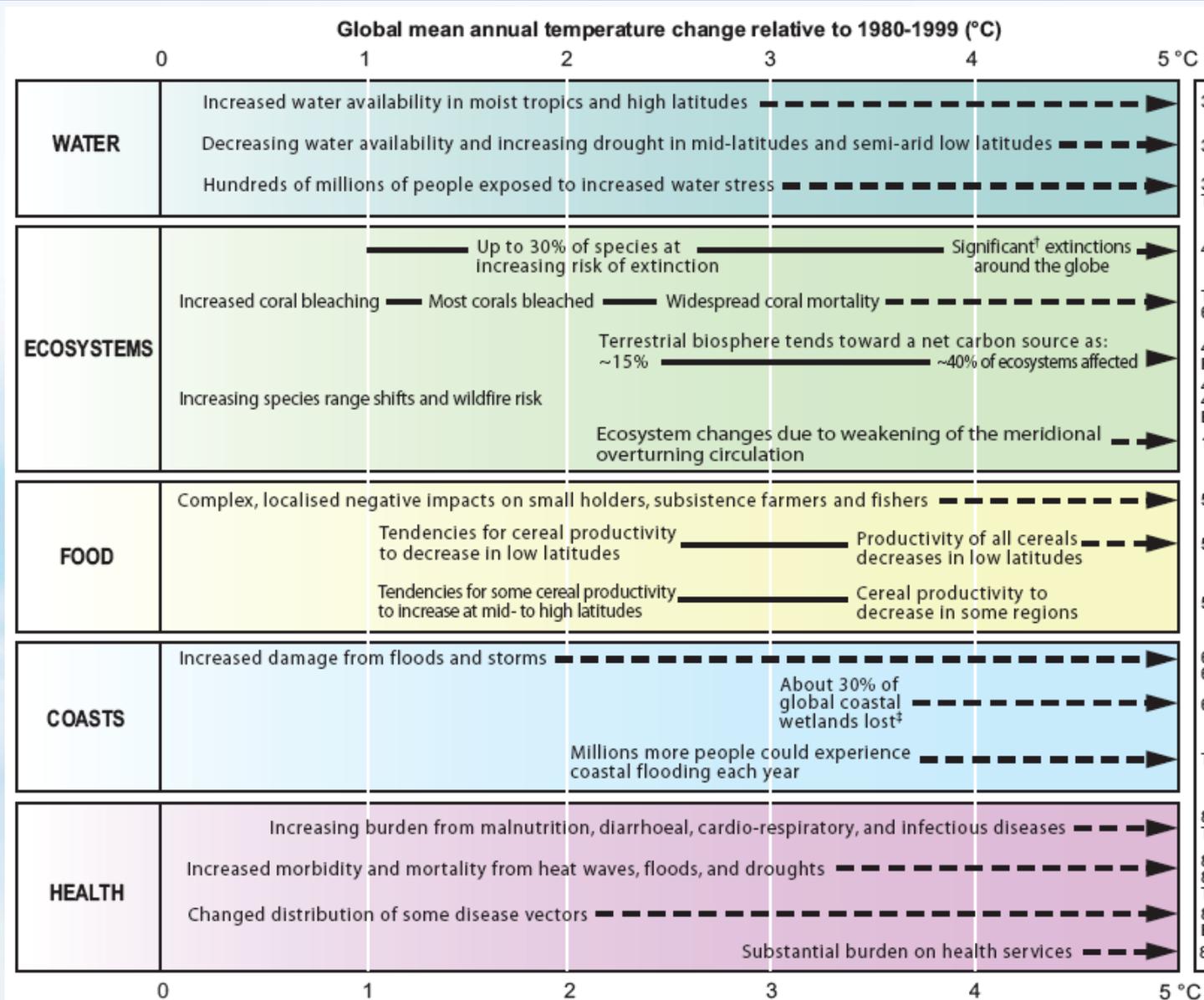
Plus de CO₂ dans l'air n'a pas que des effets climatiques...



Simulation de variation du pH de l'océan d'ici 2100 en fonction de la latitude et du scénario d'émission (S = 550 ppm de CO₂ en 2100, I = 800 ppm de CO₂ en 2100).

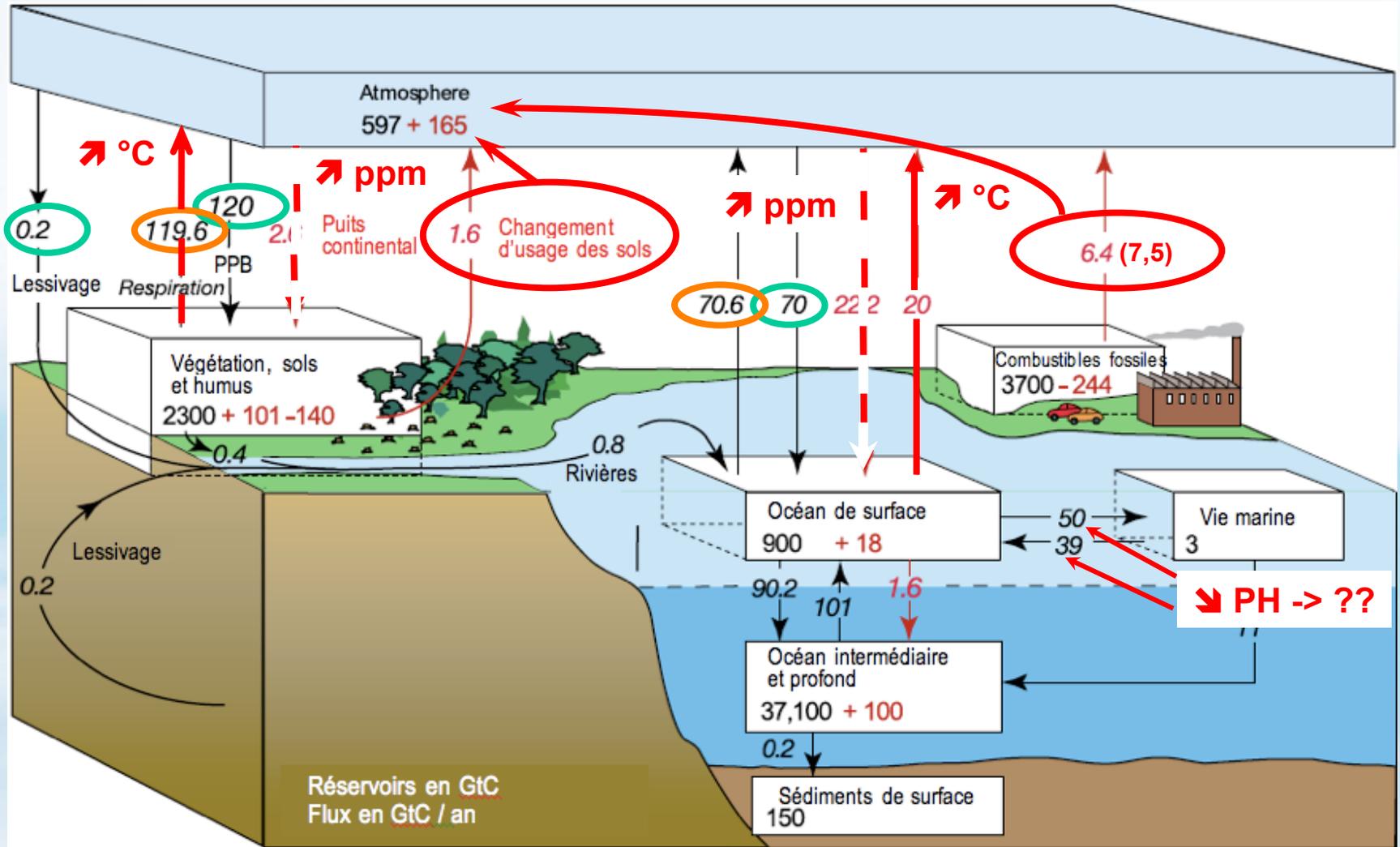
Source Orr et al., Nature, 2005

Plus de CO₂ dans l'air n'a pas que des effets climatiques...



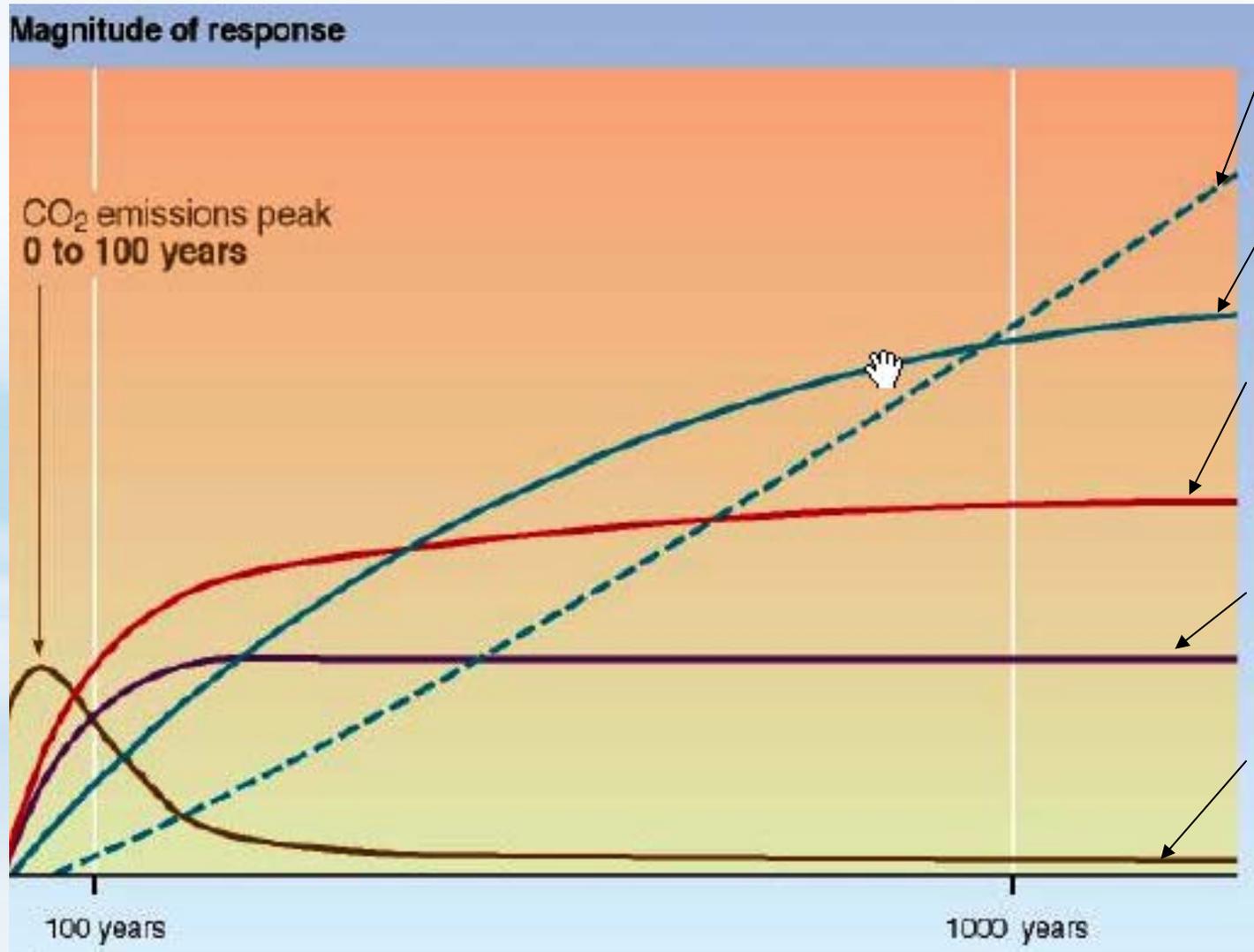
Source IPCC, 2007

Plus de CO₂ = plus chaud, mais plus chaud = parfois plus de CO₂



L'émission liée aux activités humaines est faible comparé aux échanges naturels, mais importante comparée au solde de ces échanges naturels. Chiffres en noir : stocks et flux préindustriels. Chiffres en rouge : modifications d'origine anthropique (flux pour la moyenne de la décennie 1990 ; modifications des stocks sur la période 1750-1994). Source GIEC, 4^e rapport d'évaluation, 2007

Pas question de revenir en arrière à bref délai : bel héritage...



Fonte des glaces (y compris calottes)

Dilatation de l'eau de surface des océans

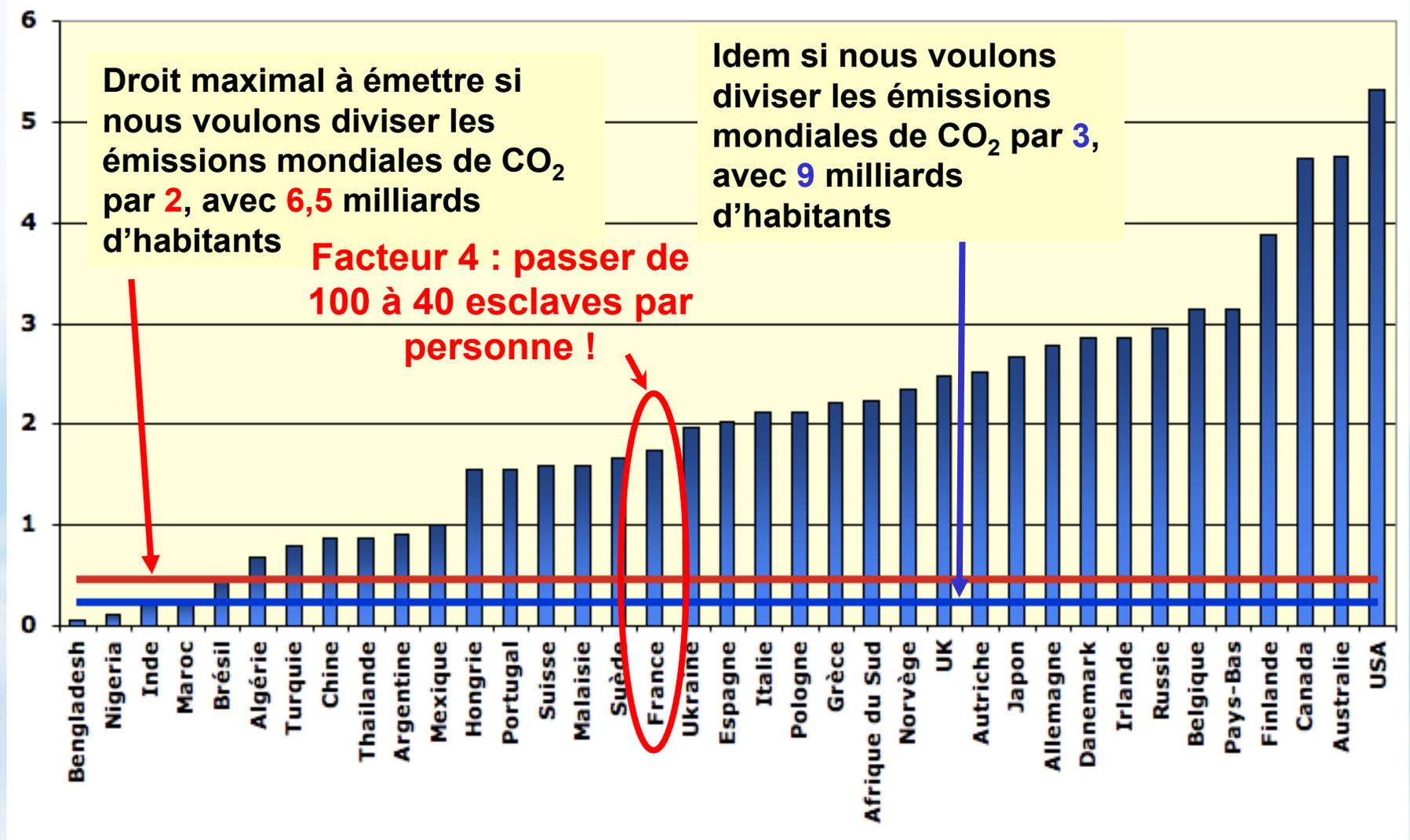
Évolution de la température moyenne

Évolution de la concentration en CO₂

Hypothèse : évolution des émissions de CO₂

Source : Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC

Où est le développement durable ?



Émissions de CO₂ par habitant en 2003 et « droits maximaux à émettre sans perturber le climat ». Source UNFCCC pour les émissions par habitant.

Au restaurant « le bon développement durable », plat unique !

En l'état actuel des technologies, **l'une des choses suivantes** suffit à atteindre le « droit maximal à émettre sur une année » :

faire un AR Paris-NY en avion,

ou consommer 3.700 kWh d'électricité en Grande Bretagne ou 3.200 kWh en Allemagne, mais 24.000 kWh en France (consommation annuelle moyenne par Français : environ 8000 kWh),

ou acheter 50 à 500 kg de produits manufacturés,

ou produire 2 tonnes de ciment (une maison moderne de 100 m² en nécessite environ 10),

ou brûler 7.200 kWh de gaz naturel, en tenant compte des émissions amont (quelques mois de chauffage d'un logement).

ou parcourir 5.000 à 6.000 km en 6CV en zone urbaine (2 fois moins en 4x4)

Source : Jancovici, 2007

Aurons nous Attali et Borloo dans un même bateau ?

L'équation de Kaya

$$GES = \frac{GES}{TEP} * \frac{TEP}{PIB} * \frac{PIB}{POP} * POP$$

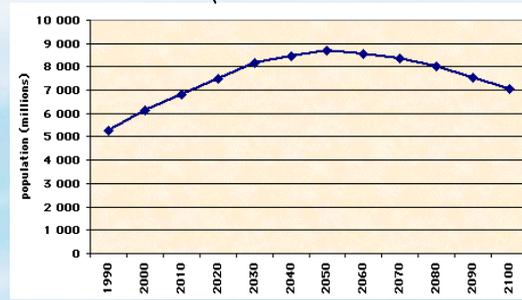
Emissions de gaz carbonique = Contenu en gaz carbonique de l'énergie * Intensité énergétique de l'économie * Production par personne * Population

A diviser par 2

-30% en 35 ans dans le monde, -50% en 50 ans ?

A 2% de croissance par an, multiplication par 2,7 en 50 ans - à 4% par an, c'est x 7 en 50 ans !!!

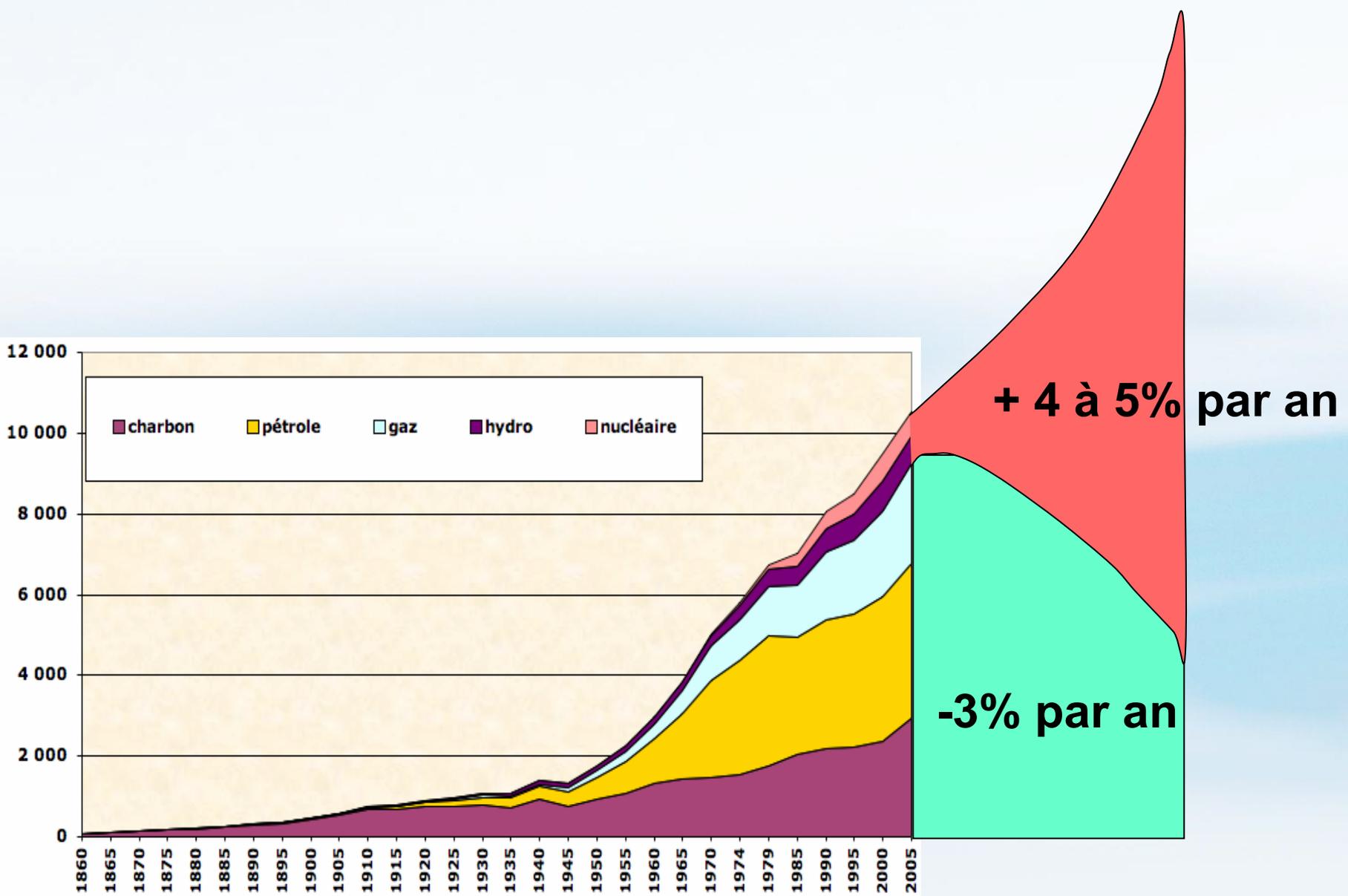
A perdu 10% en 35 ans... et devrait être **divisé par 4** en 50 ans tout en multipliant la production d'énergie par 2 !!!



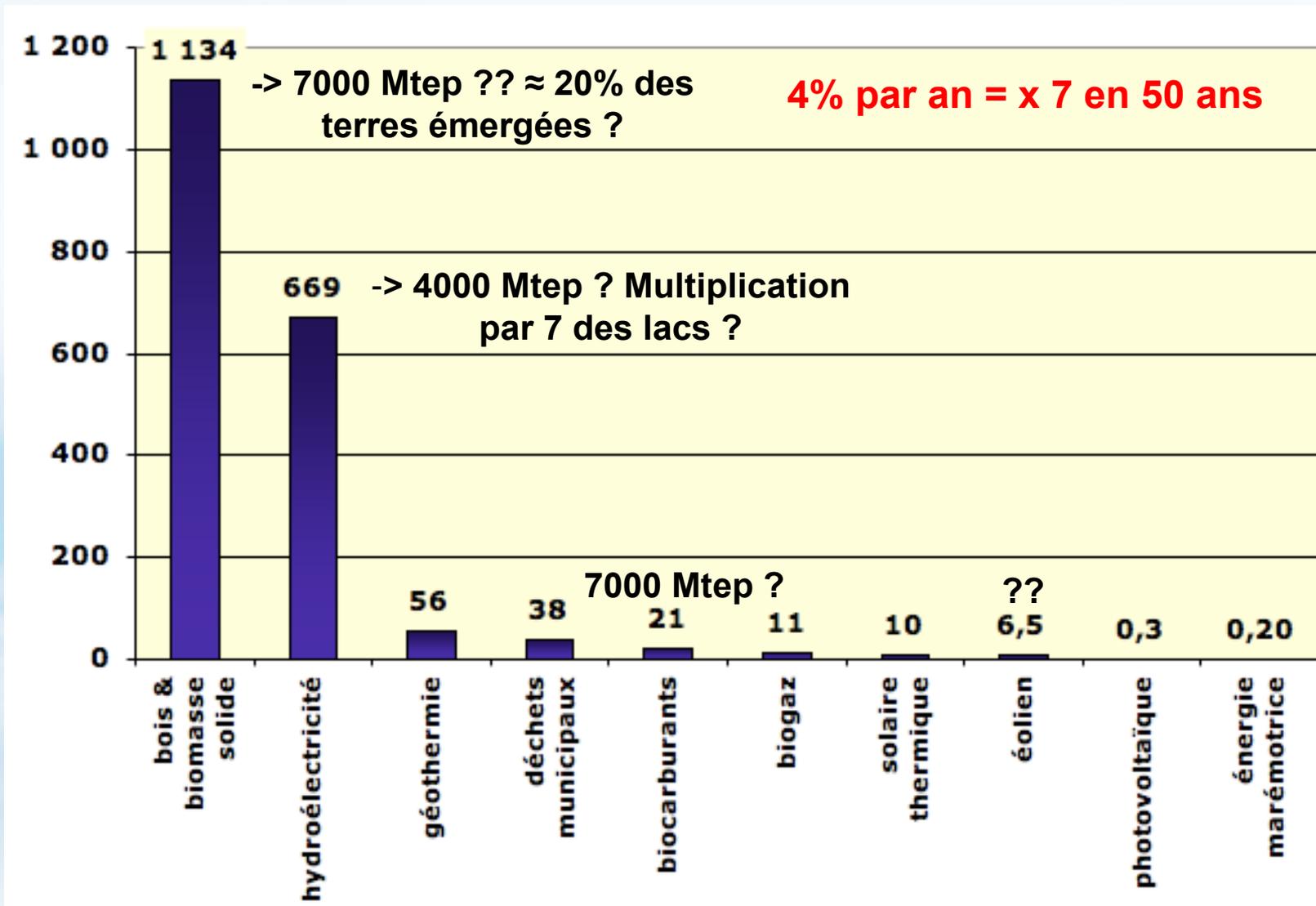
Augmentée de 50% d'ici 2050 ?

Le problème est donc d'une simplicité biblique...

Une croissance « libérée » sans CO₂, cela devrait donner ceci



Peut-on utiliser des énergies renouvelables ?



Contribution des énergies renouvelables au bilan énergétique mondial en 2005 (qui vaut 11.000 avec cette unité). Sources diverses.

Du passé vers quel avenir ?

**Consommation
en énergies
fossiles**

**100 esclaves / habitant
(J.M Jancovici 2005)**



**Période
sans énergies fossiles**



**1850–2150
Période
avec énergies
fossiles**

Merci à Yves Mathieu ! (IFP)

**Période
sans énergies fossiles**

