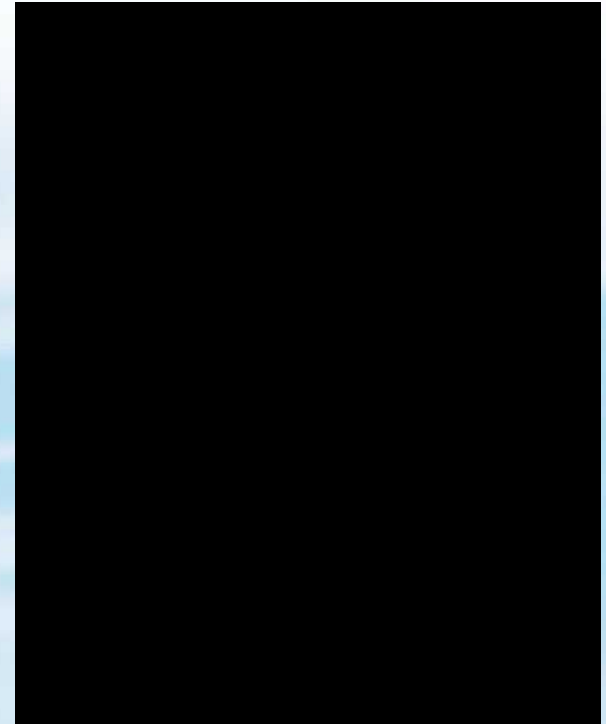


L'aménagement du territoire face au défi énergétique et climatique



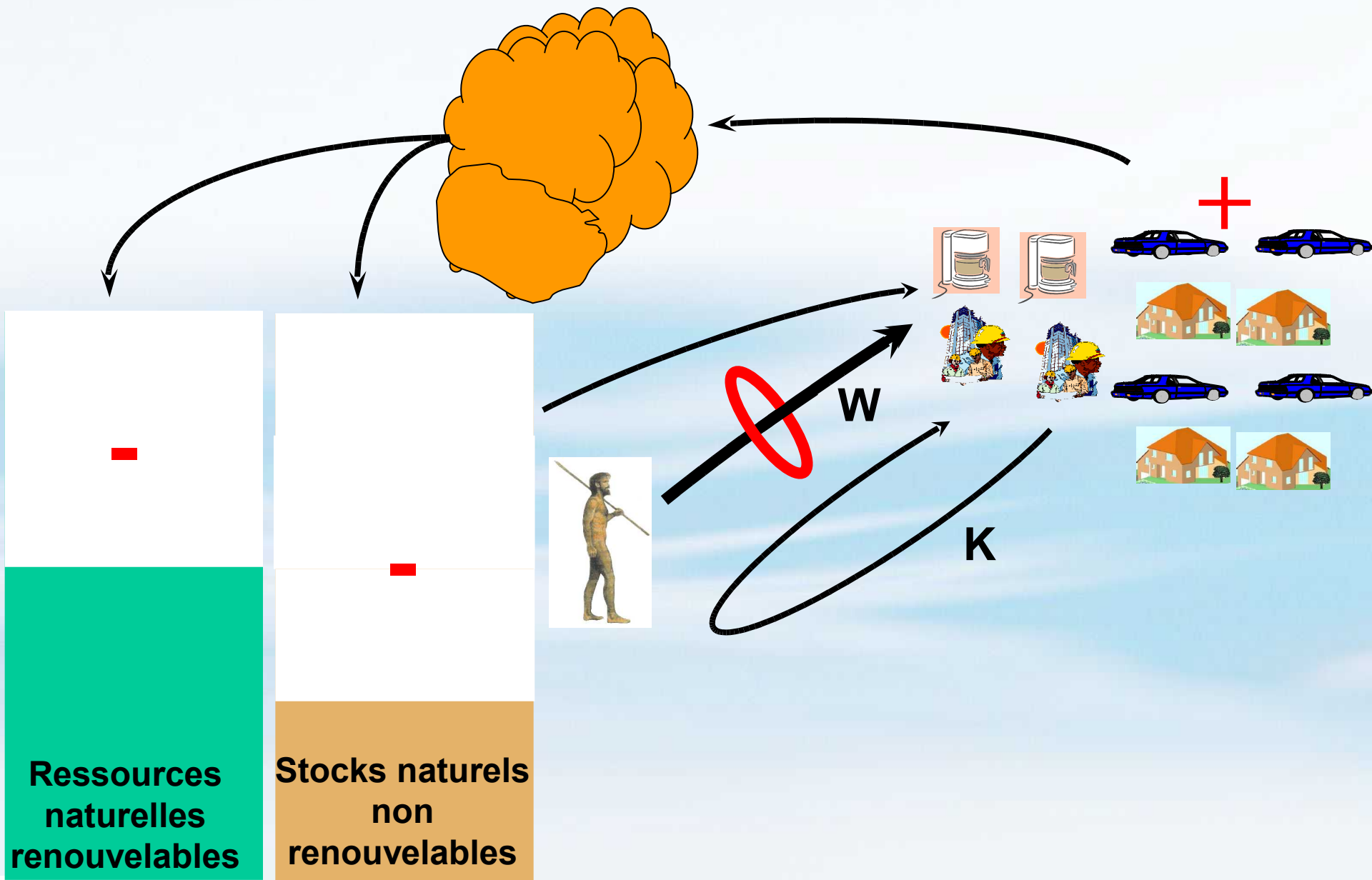
Jean-Marc Jancovici - Bourg en Bresse - 6 novembre 2008

Les malentendus iront se nicher dans tout ce que je n'aurai pas dit. Ne pas confondre « je ne veux pas parler de » avec « je n'ai matériellement pas le temps de parler de ».

Ce dont je veux bien parler quand j'ai le temps est disponible sur www.manicore.com

Mon but aujourd'hui est moins de vous convaincre (renverser en une heure des décennies - des siècles parfois ! - de raisonnement « normal » est difficile) que de vous faire douter.

Voici le péché originel : on compte de travers



Au commencement était l'énergie...

L'énergie est **la grandeur physique qui permet de caractériser un changement d'état** dans un système :

Modification de la température (énergie thermique)

Modification de la vitesse (énergie cinétique)

Modification de la forme

Modification de la composition chimique (énergie chimique, combustion)

Modification de la distance entre deux corps qui s'attirent ou se repoussent ; de la position d'un corps dans un champ (énergie potentielle)

Modification de la composition atomique (énergie nucléaire)

Apparition ou disparition d'un rayonnement...

Comme il s'agit de la grandeur qui caractérise le changement d'état, **consommer de l'énergie, c'est, par définition, modifier l'environnement** (et réciproquement)

Puisque toute manifestation de l'énergie modifie l'environnement, **il n'existe pas d'énergie propre ou sale dans l'absolu** : c'est toujours la dose qui fait le poison.

Dans un système clos, l'énergie se conserve ! **On ne peut donc pas « produire » de l'énergie, mais juste la transformer.**

L'énergie n'est ni une novation du 21^e siècle, ni de l'ère chrétienne

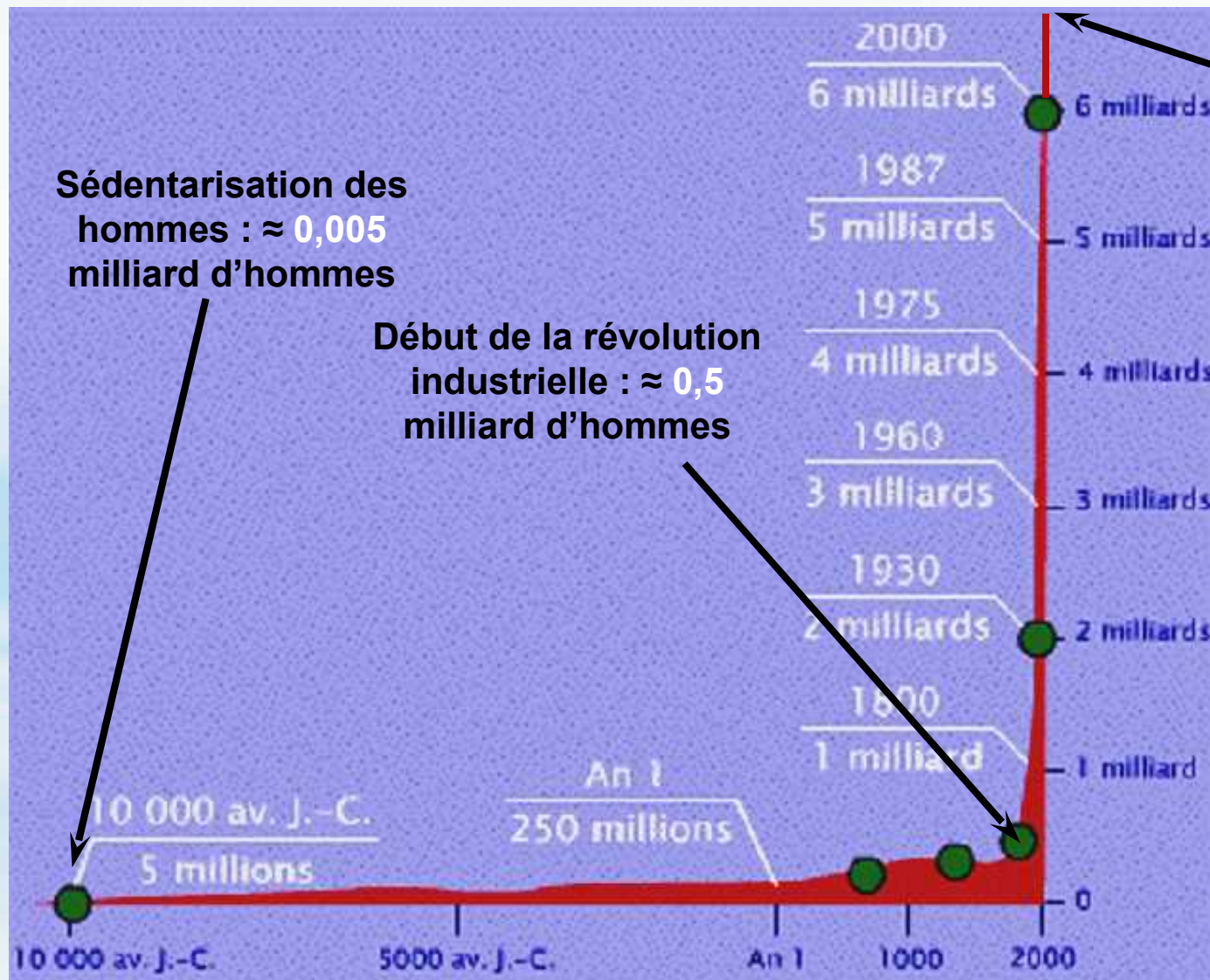
- Depuis l'origine des temps : énergie musculaire
- -500.000 ans : domestication du feu.
- L'antiquité : toutes les renouvelables ont été utilisées ! Bois, vent, soleil, hydraulique, traction animale...
- Le pétrole est connu des Summériens (-3.000 av. JC environ), bien avant Drake et son premier forage (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 et le photovoltaïque), mais le **changement d'ordre de grandeur** dans leur usage.

Plus d'énergie par personne, c'est indéniable



Consommation d'énergie primaire **hors biomasse** en tep par habitant. Rappel : une tep \approx 42 GJ \approx 11.600 kWh. Compilation de l'auteur (Sources diverses)

Plus de consommateurs, aussi...



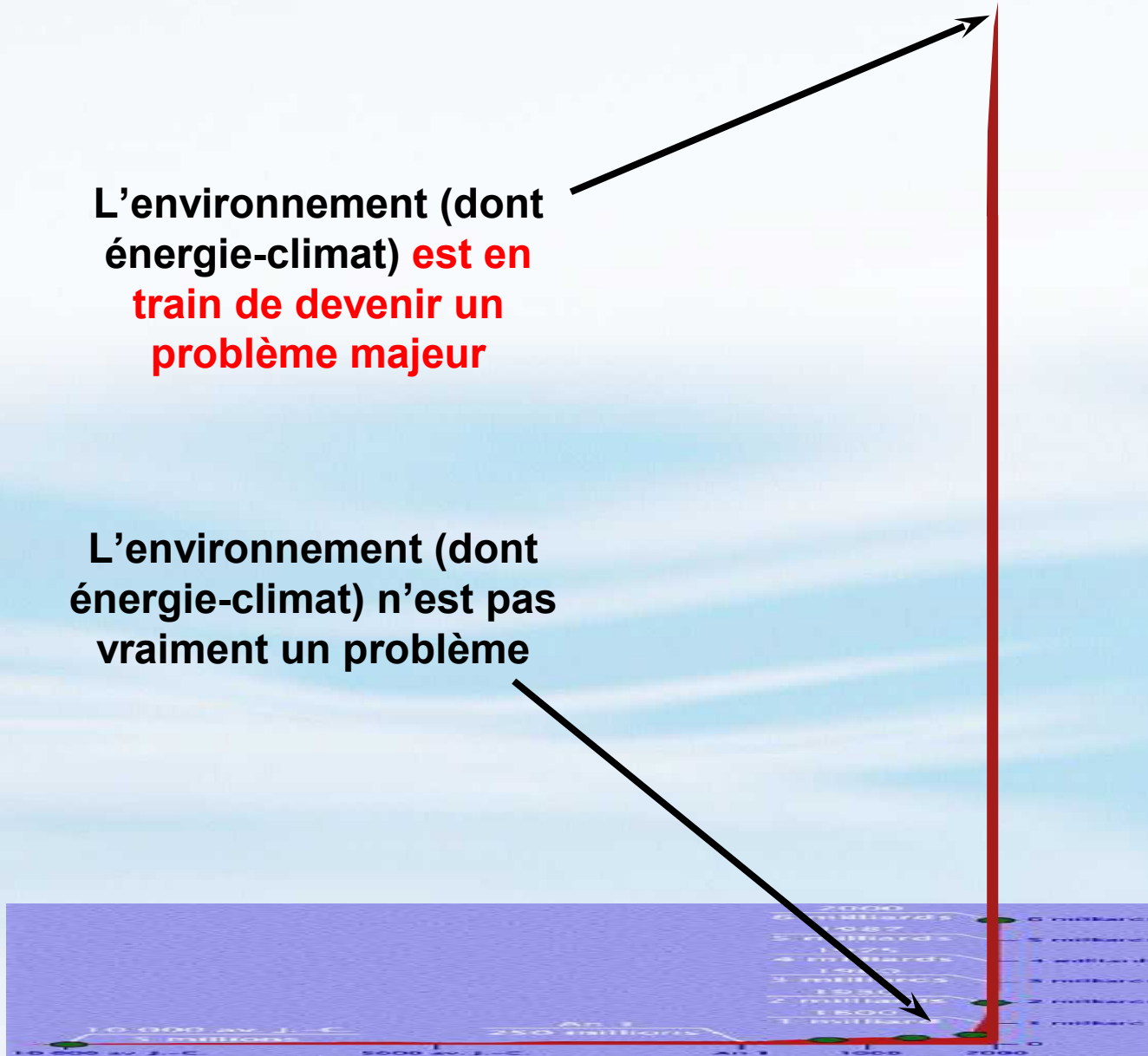
2008 : > 6,5 milliards d'hommes... and rising

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

Population x 1000 + énergie x 10, on change un poil l'ordre de grandeur

L'environnement (dont énergie-climat) **est en train de devenir un problème majeur**

L'environnement (dont énergie-climat) n'est pas vraiment un problème



Si l'énergie, c'est - par définition - la modification d'un système, voici l'évolution de notre marque sur l'environnement

Energie fournie par un organisme humain :

Métabolisme de base d'un individu au repos : 2,5 kWh par jour (correspond à 2000 Calories d'alimentation)

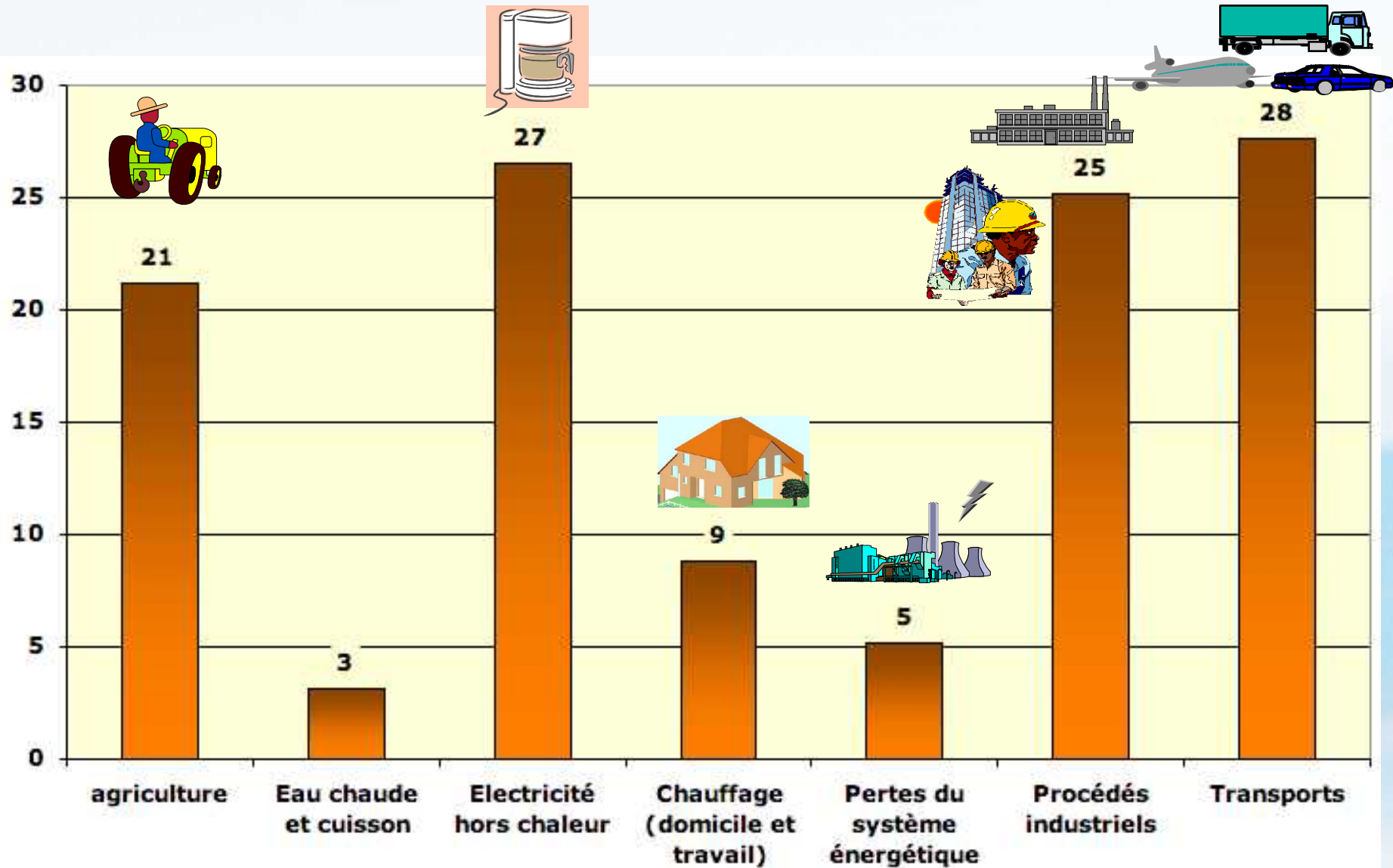
3.000 mètres de dénivelée pour une personne de 65 kg (facile !) : 0,5 kWh d'énergie mécanique (rappel pour les sceptiques : $E = mgh$; ici $E = 65 \times 9,81 \times 3000 \approx 1,9 \text{ MJ} \approx 0,5 \text{ kWh}$)

1 grand trou pour les géraniums, soit 18 tonnes de terre remontée de 1 mètre : 0,05 kWh d'énergie mécanique (pour les même sceptiques : E vaut toujours mgh ; ici $E = 18000 \times 9,81 \times 1 \approx 0,18 \text{ MJ} = 0,05 \text{ kWh}$)

1 litre d'essence, c'est (roulement de tambour)... 10 kWh ; après passage dans un moteur 2 à 4 kWh d'énergie mécanique

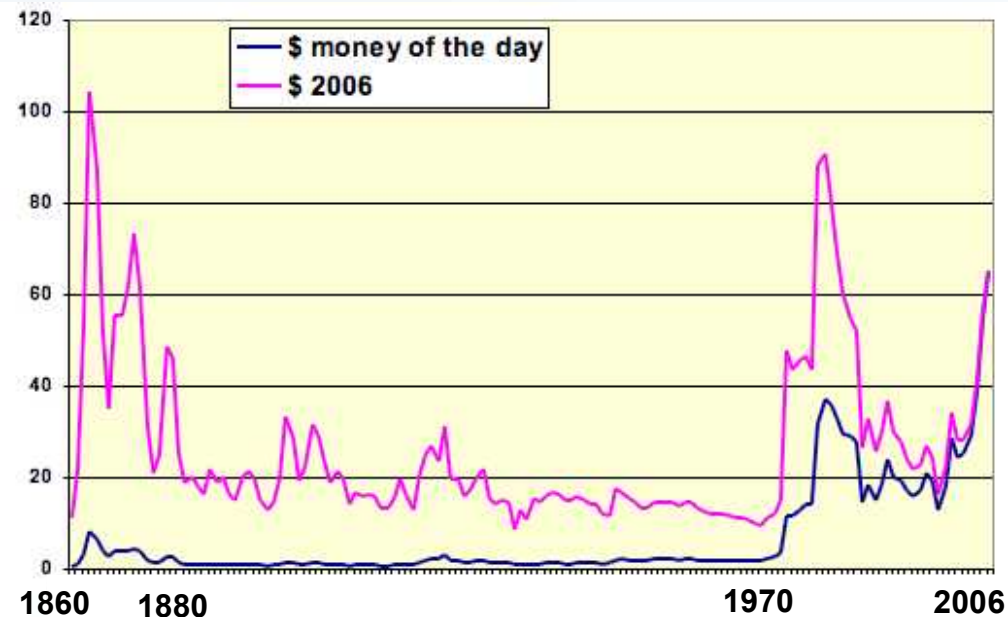
Il y a autant d'énergie mécanique dans un 1 litre d'essence que dans 10 paires de jambes ou 100 paires de bras sur une journée !

Voici la vérité qui dérange vraiment : tout smicard est un nabab

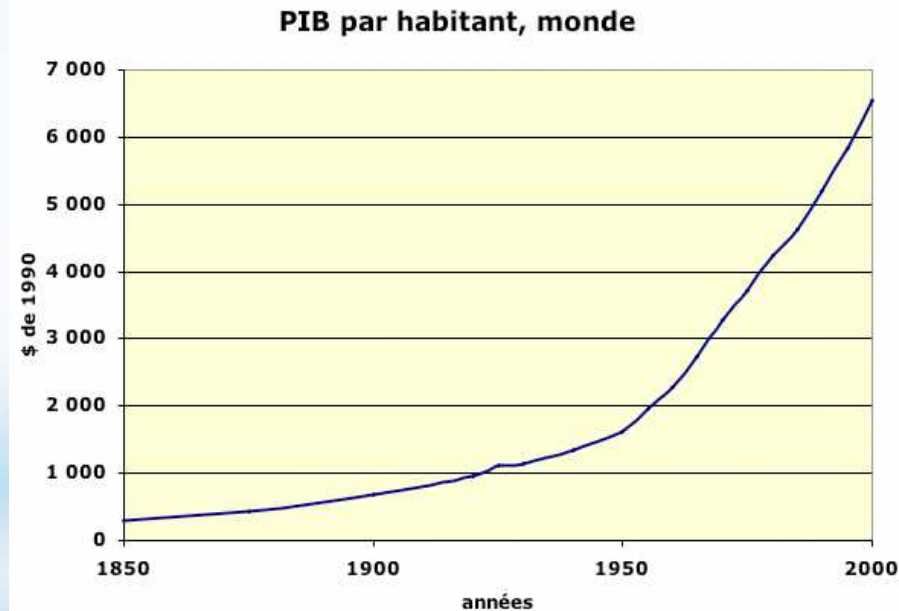


« Equivalent esclave » à la disposition de chaque Français de l'an 2000. Qui est modeste ??
Calcul de l'auteur, 2008

Plus chère, l'énergie ? La bonne blague !



Prix du baril depuis 1861 en \$ courants et en \$ de 2006. Source BP Statistical Review, 2007

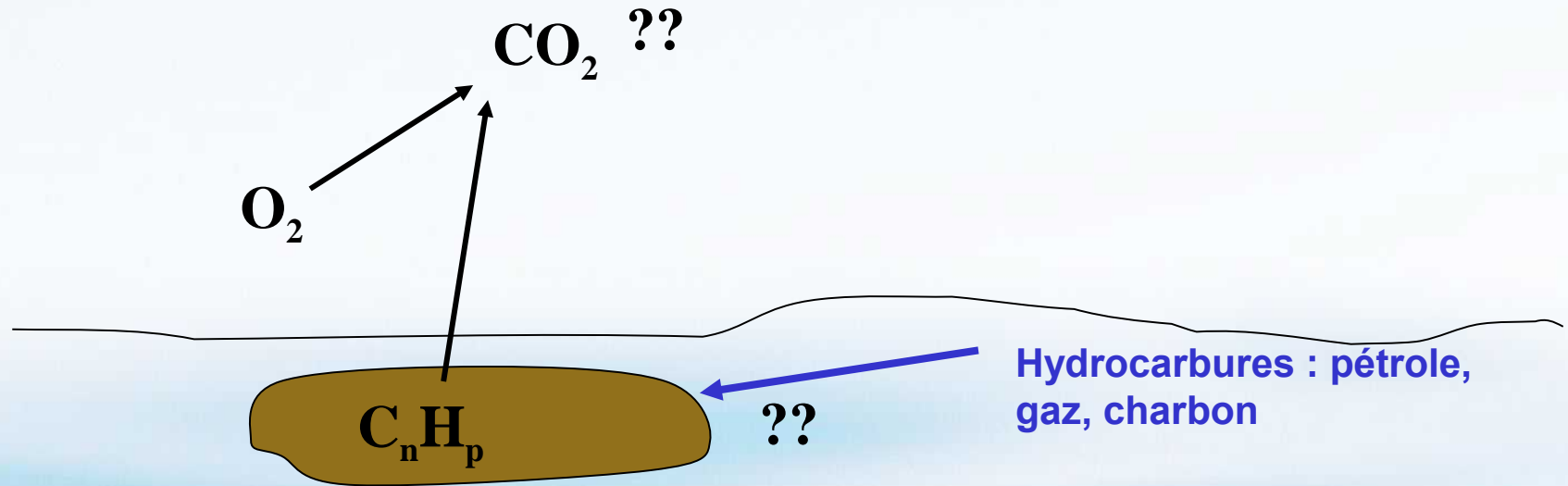


Reconstruction du PIB par habitant depuis 1850 (le PIB est une notion qui date de la fin de la Seconde Guerre Mondiale)

Source : J. Bradford DeLong, 2005

En 100 ans, le prix relatif de l'énergie - donc du carbone - a été divisé par 10 environ en Occident, et le prix d'un service énergétique par 30 -> l'énergie vaut de moins en moins cher (pour l'instant)

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**

Du passé vers quel futur ?

**Consommation
en énergies
fossiles**



**Période
sans énergies fossiles**

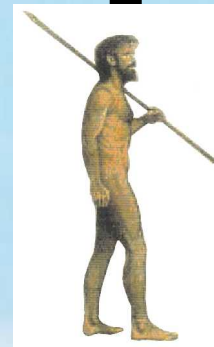
**100 esclaves / habitant
(J.M Jancovici 2005)**



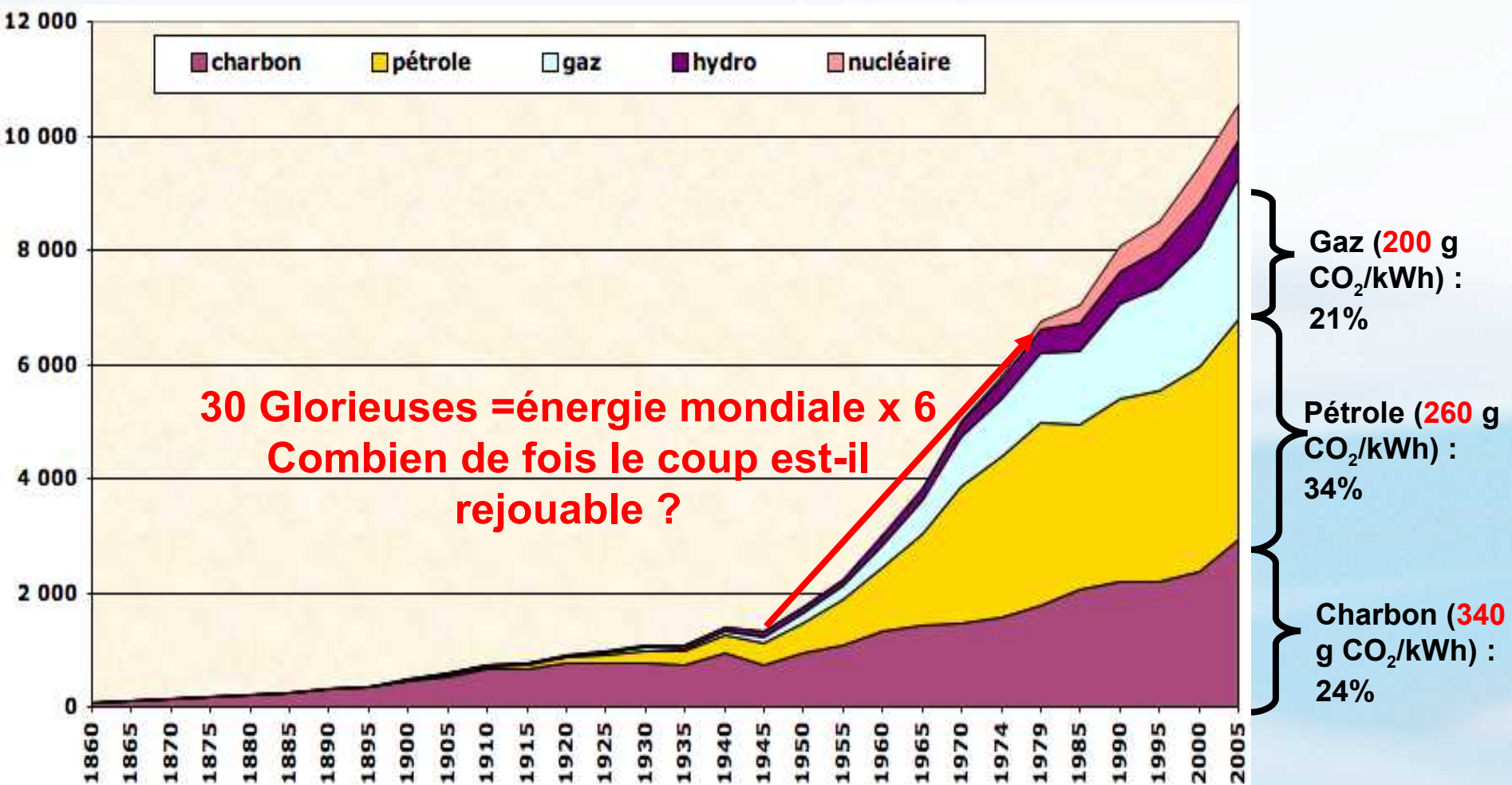
**1850–2150
Période
avec énergies
fossiles**

© Yves Mathieu (IFP)

**Période
sans énergies fossiles**

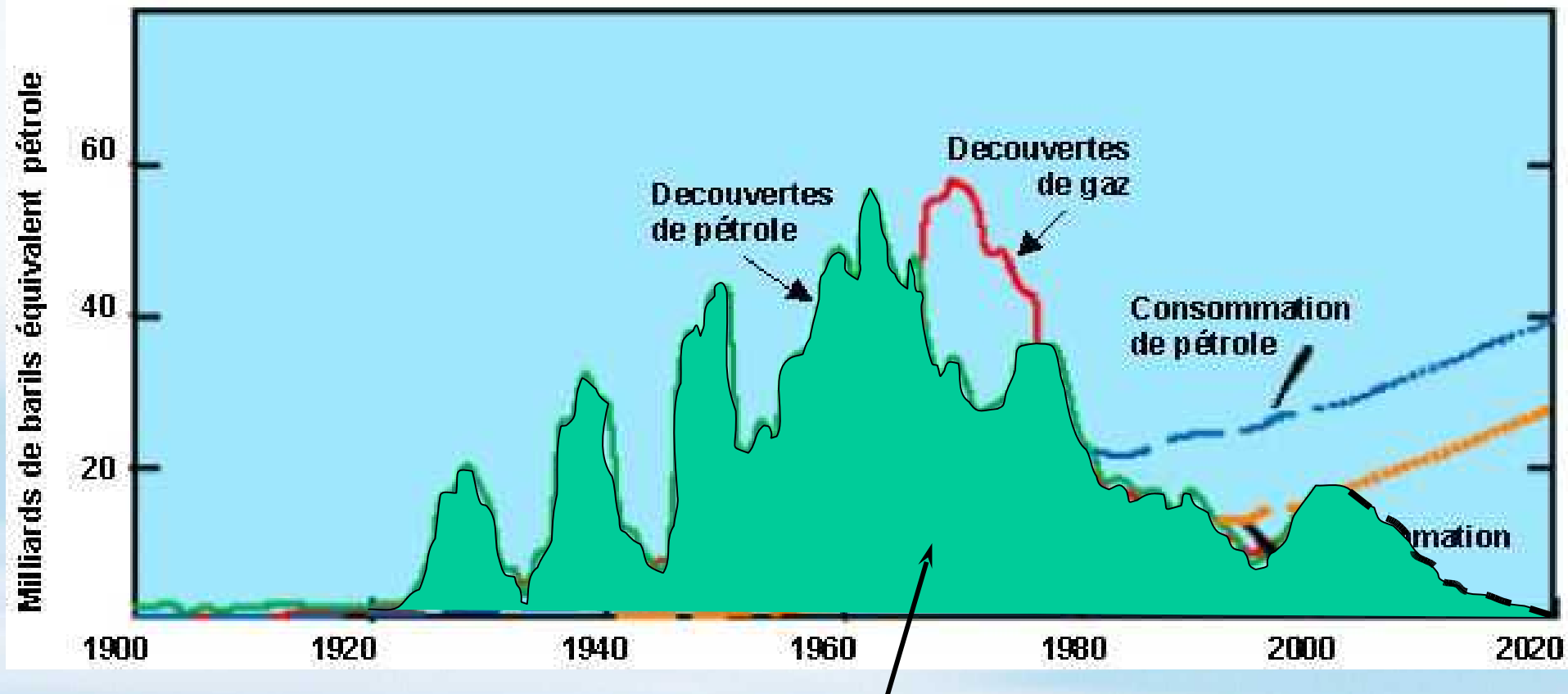


Energie x 10 en 60 ans, mais 85% issue de stocks non renouvelables



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

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

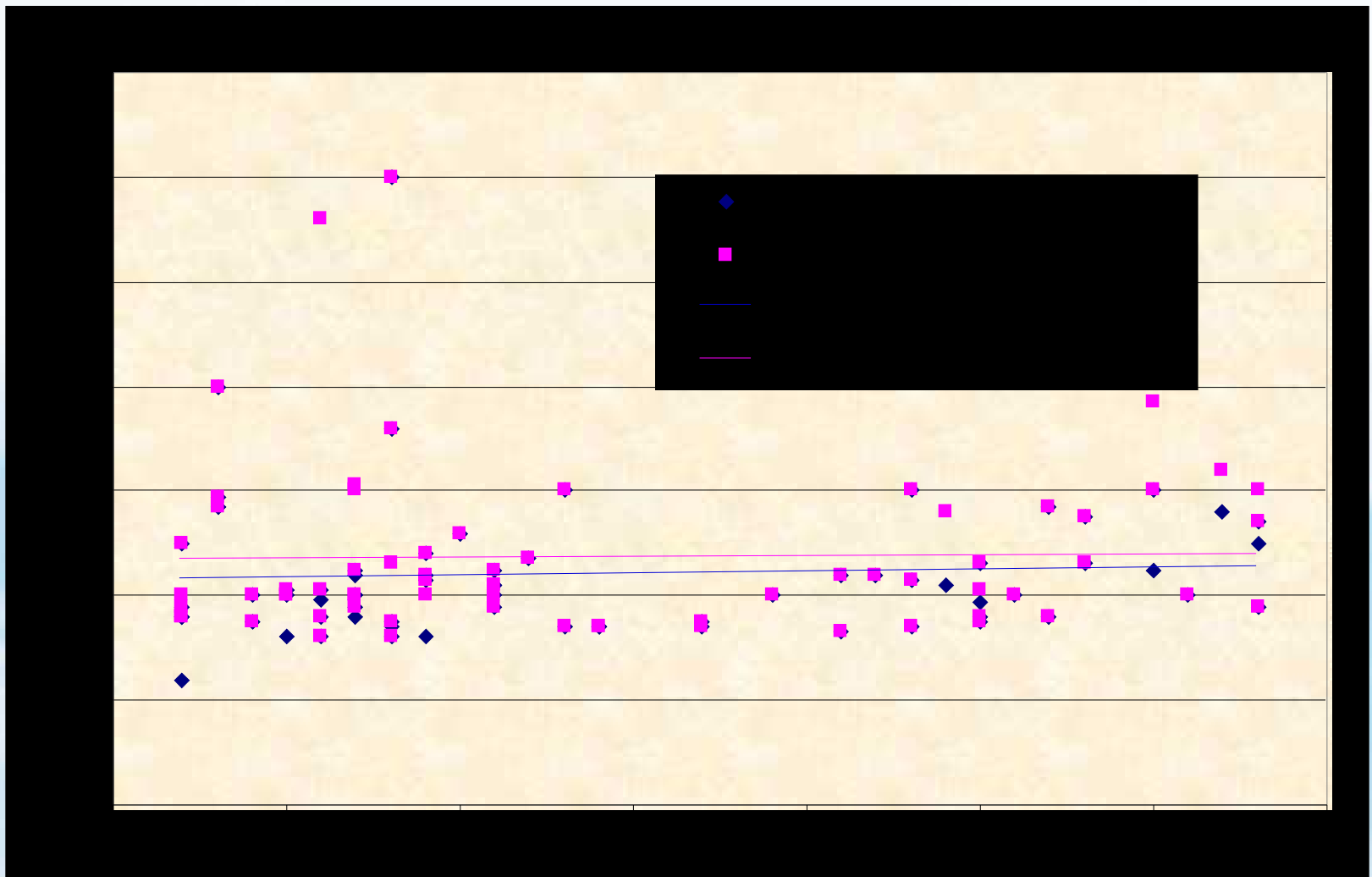


Découvertes cumulées de pétrole récupérable = réserves **ultimes** = max de la production cumulée possible de $-\infty$ à $+\infty$!

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

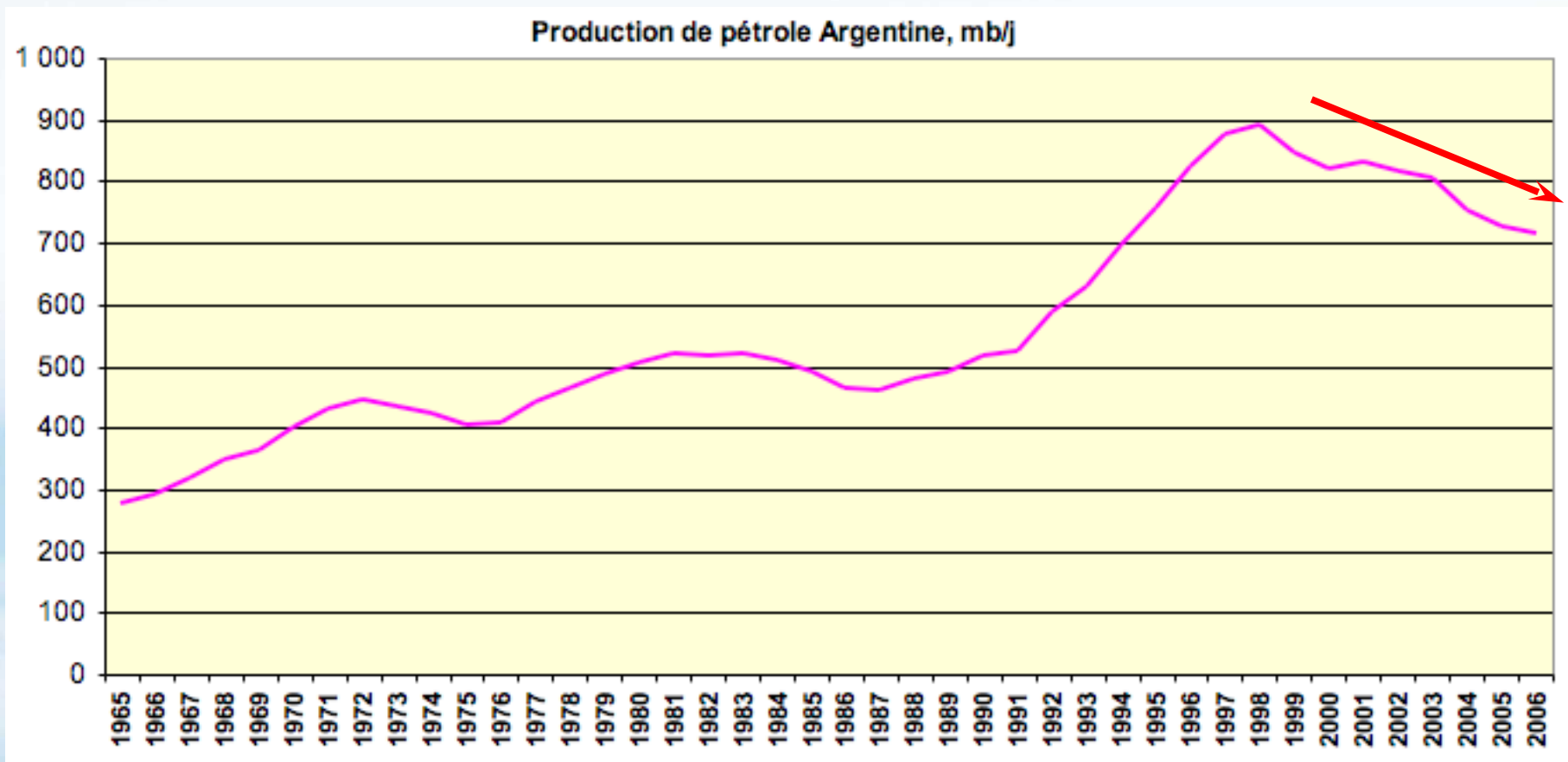
Source : Exxon Mobil, 2002

Les Cassandre de 1970 voyaient la fin du pétrole en 2000 ?



La médiane des estimations sur la totalité du pétrole extractible (y compris ce que nous avons déjà consommé et ce qui sera découvert « plus tard ») est peu près stable depuis 30 ans. Compilation de l'auteur sur sources diverses.

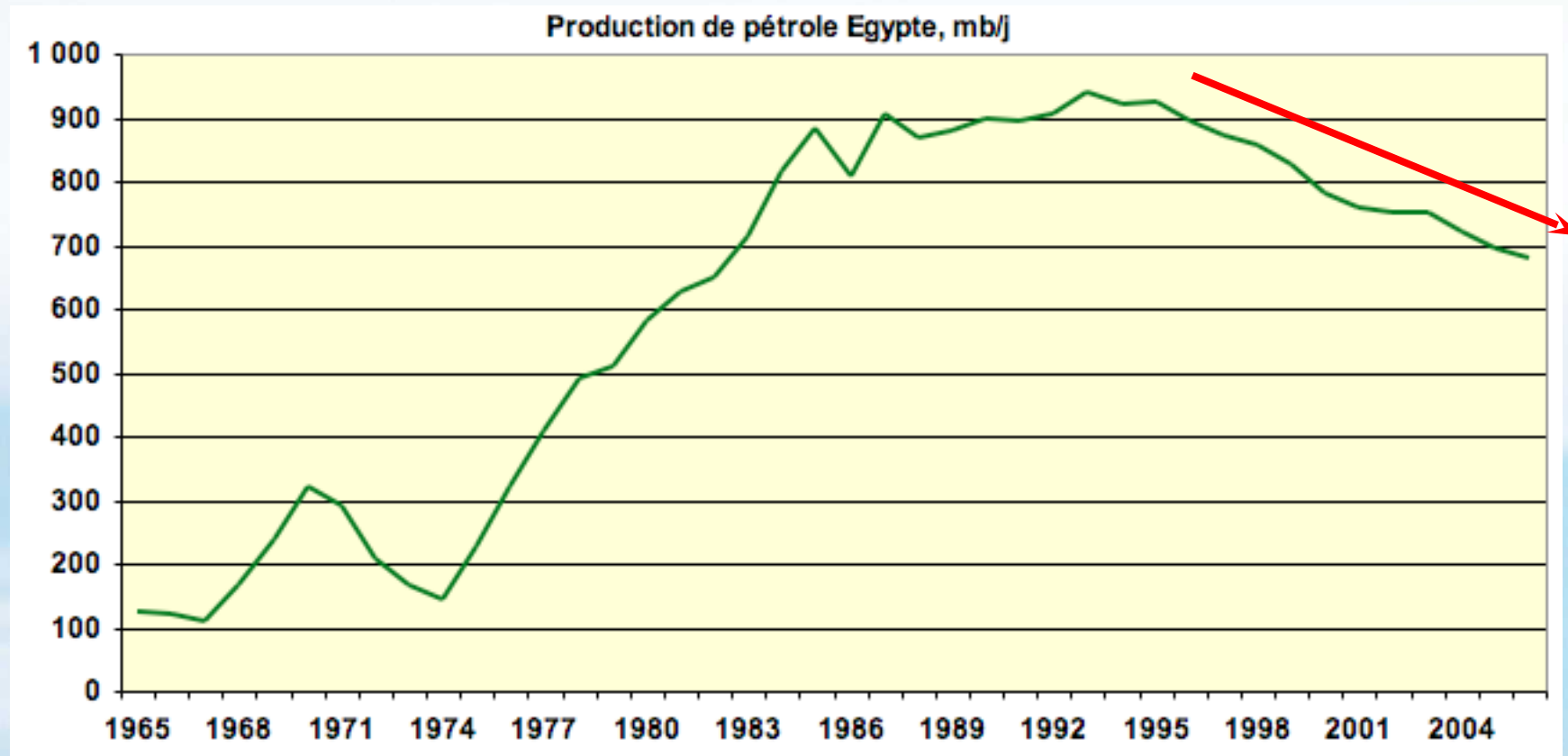
Stock donné = ça monte puis ça descend, une réalité répandue !



Production de pétrole en Argentine (< 1% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Pic en 1998.

Source BP Statistical Review, 2006

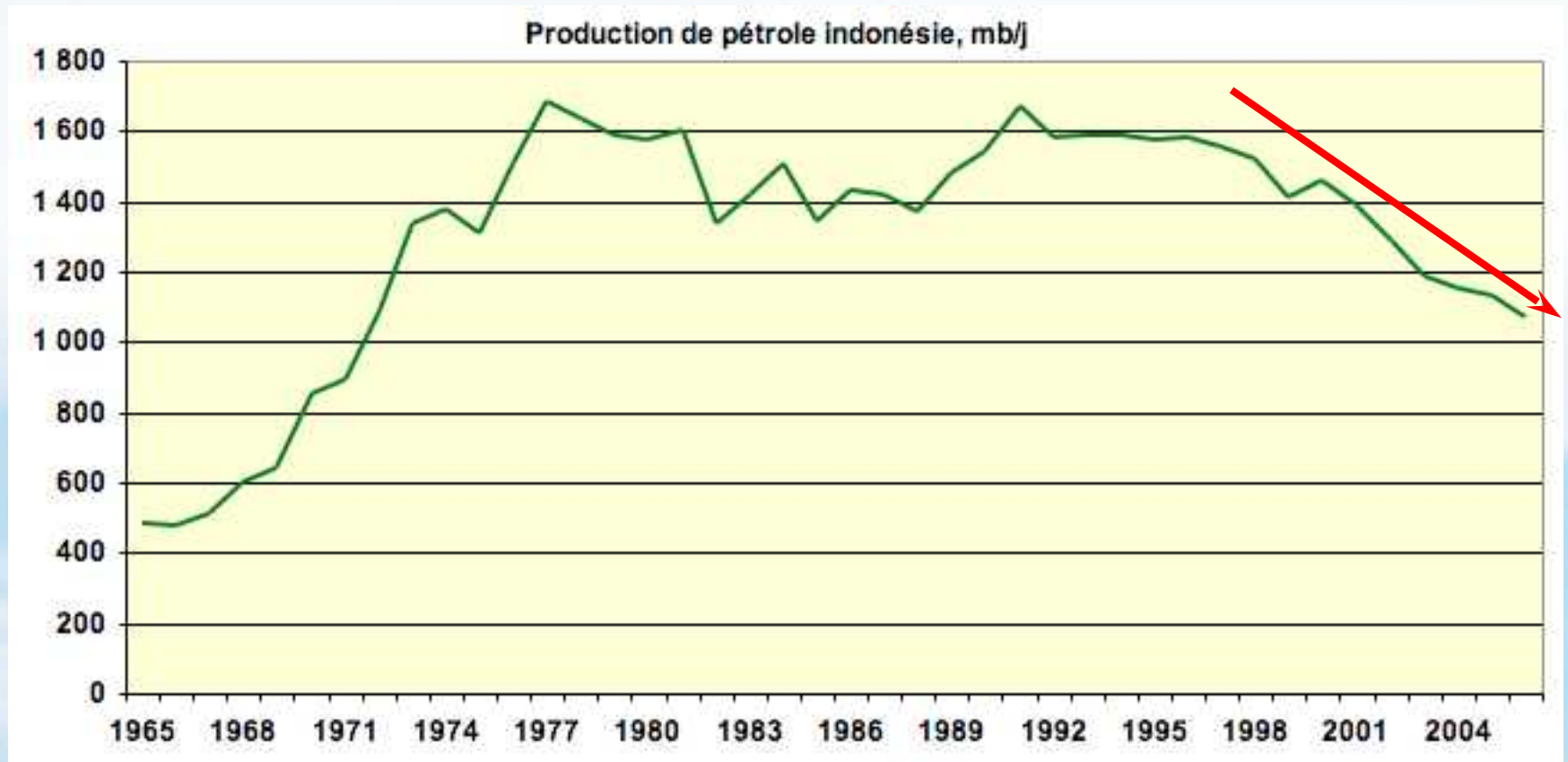
Le pic, une réalité déjà fréquente - 2



Production de pétrole en Egypte (< 1% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Pic en 1993.

Source BP Statistical Review, 2006

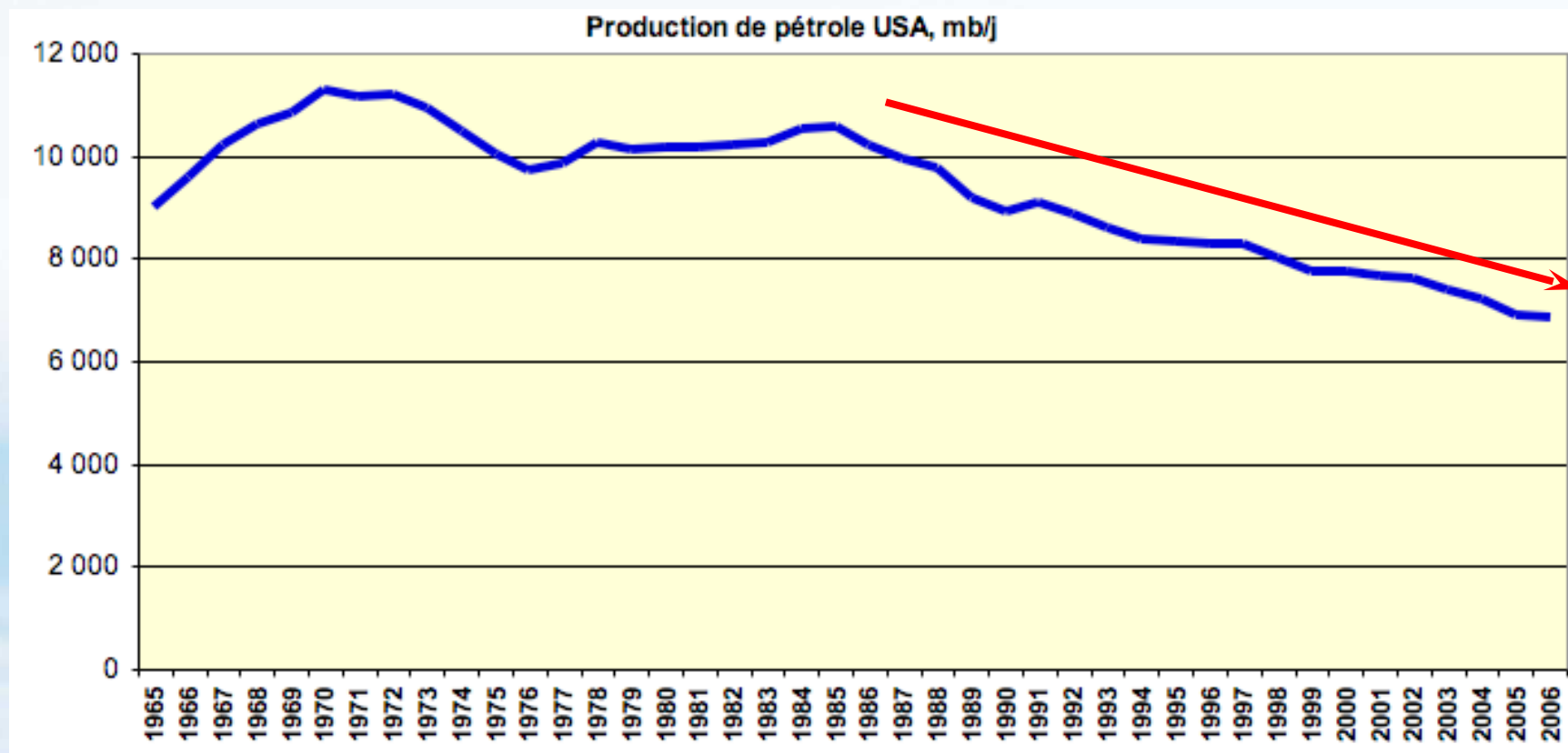
Le pic, une réalité déjà fréquente -3



Production de pétrole en Indonésie (< 2% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Pic en 1998.

Source BP Statistical Review, 2006

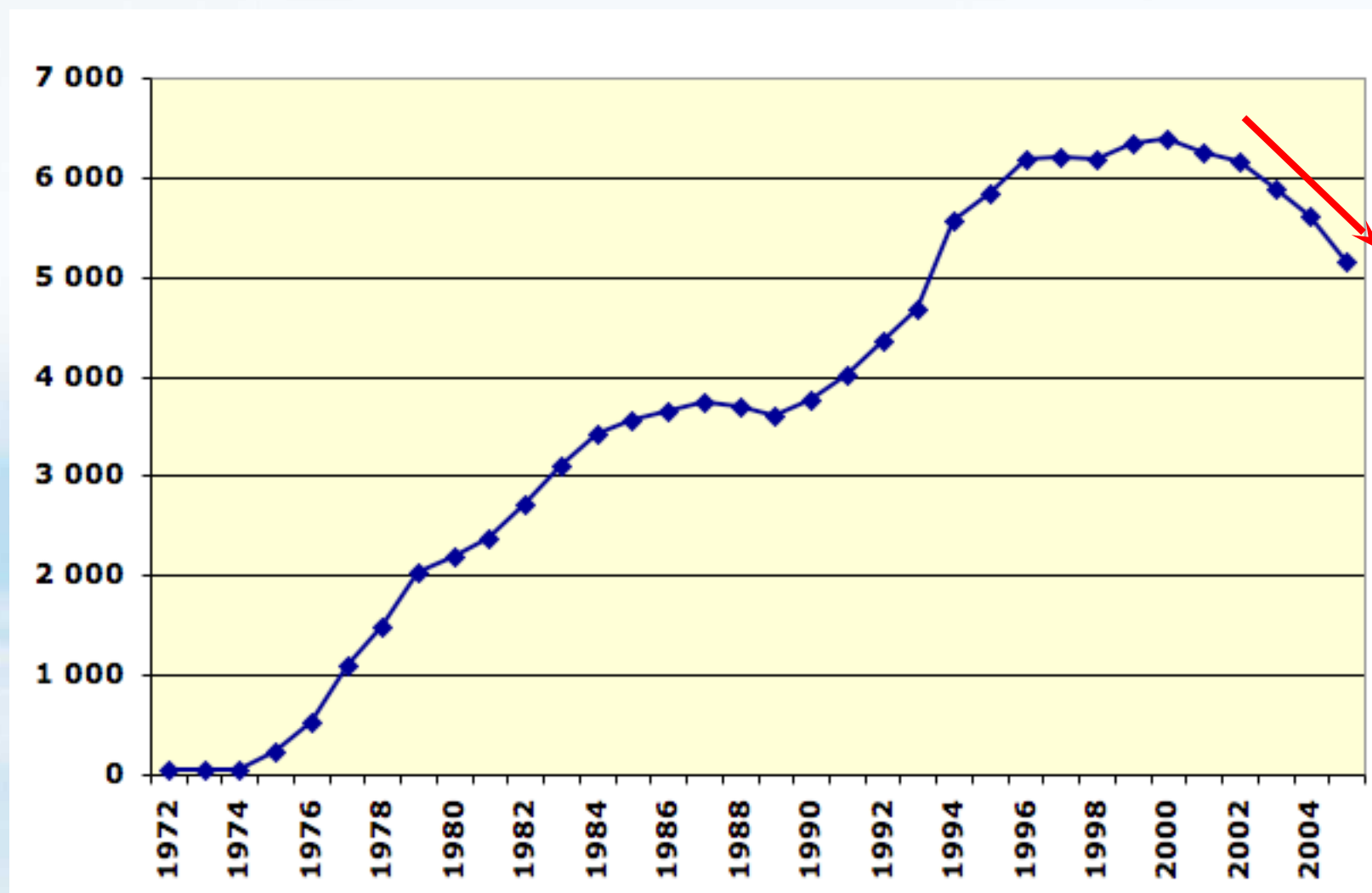
Le pic, une réalité déjà fréquente - 4



Production de pétrole aux USA ($\approx 8\%$ de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Pic en 1970.

Source BP Statistical Review, 2006

Le pic, une réalité déjà fréquente - 6



Production de pétrole en Mer du Nord ($\approx 6\%$ de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Pic en 2000.

Source BP Statistical Review, 2006

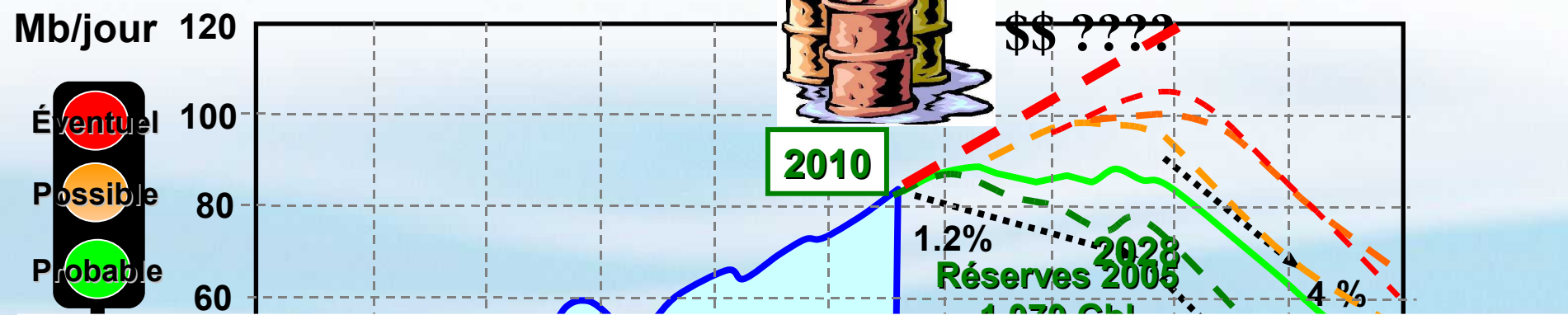
A quand le début de moins de pétrole pour le monde ?

IFP, Yves Mathieu, Division Géologie-Géochimie-Géophysique, Colorado Springs, AAPG Hedberg conference November 2006

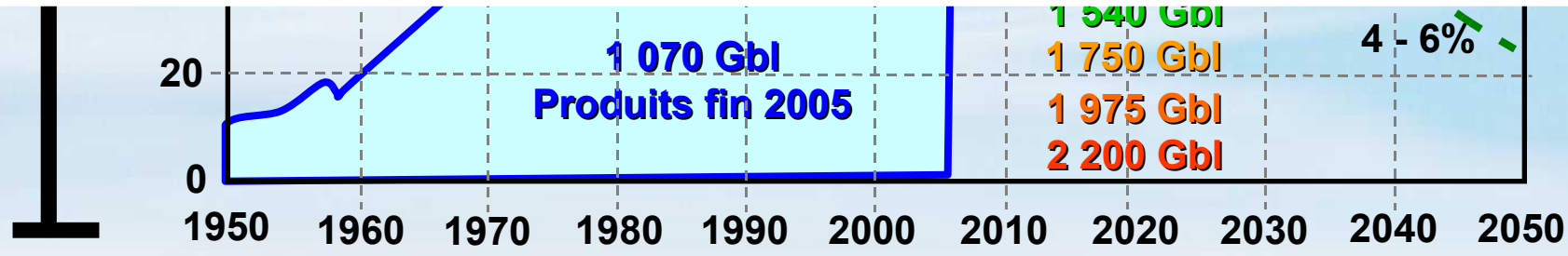
Probable: stabilisation de la production autour de 90 millions barils jours de 2010 à 2028

Possible: stabilisation de la production autour de 100 millions de barils de 2020 à 2030

Éventuel: pic de production autour de 105 millions barils jour en 2030 environ



AIE 2006 : 120 millions barils/jour en 2030 ??



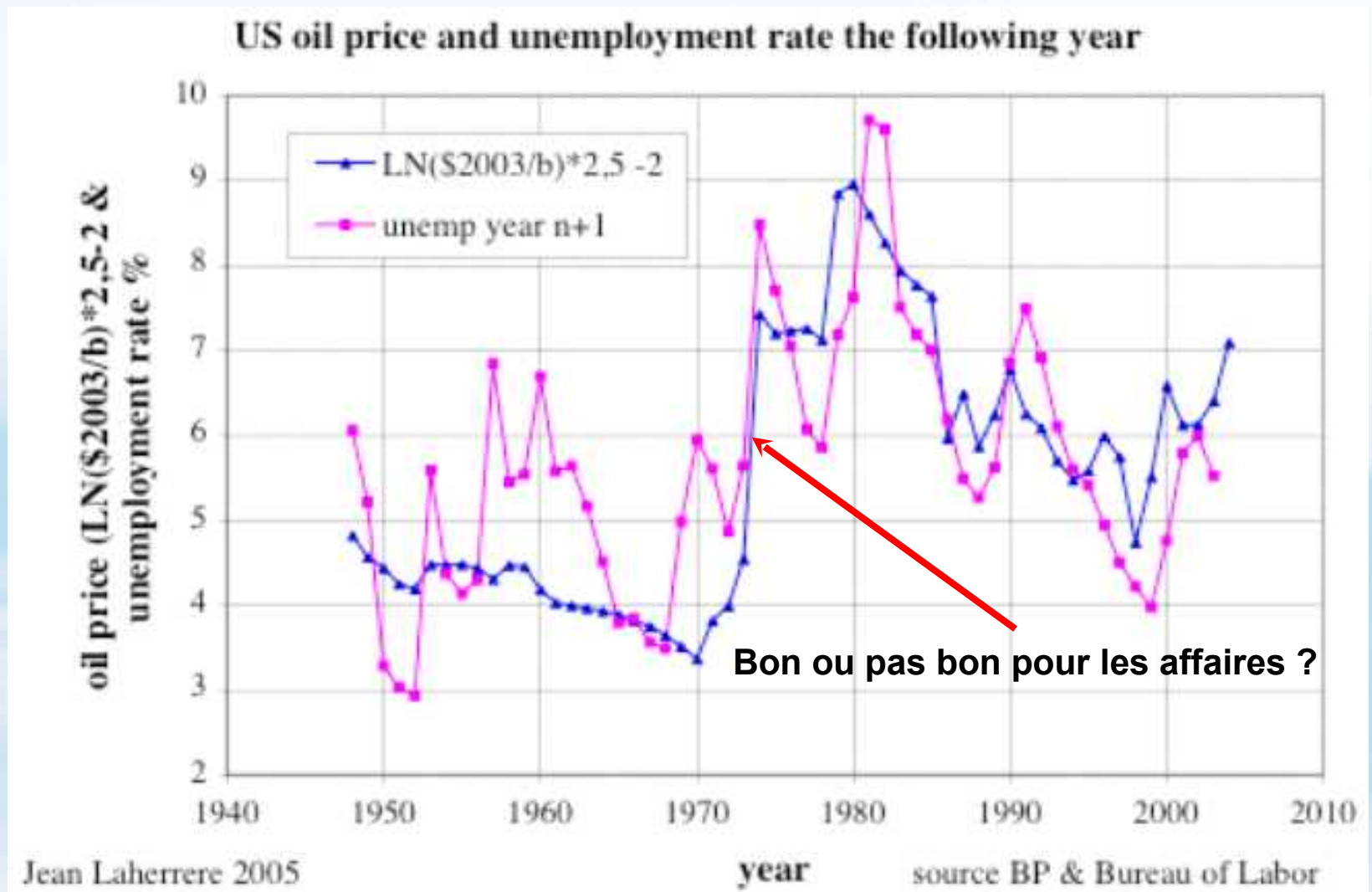
NB : 1070 Gbarils ≈ 140 Gt

Alors, pétrole ou pas pétrole ?

Claude Mandil, ex-directeur de l'Agence Internationale de l'Energie,
Rapport au premier ministre, Avril 2008

La sécurité à long terme de l'approvisionnement mondial en pétrole n'est pas assurée. (...). il est de plus en plus communément admis que la production mondiale aura du mal à dépasser les 100 millions de barils par jour (contre 87 aujourd'hui) alors que la prolongation des besoins tendanciels conduit à une demande d'environ 120 mb/j en 2030 (AIE, World Energy Outlook). Le risque existe donc que le monde connaisse une crise pétrolière très sérieuse au cours de la prochaine décennie, avec des prix extrêmement élevés.

La pénurie, c'est grave docteur ?

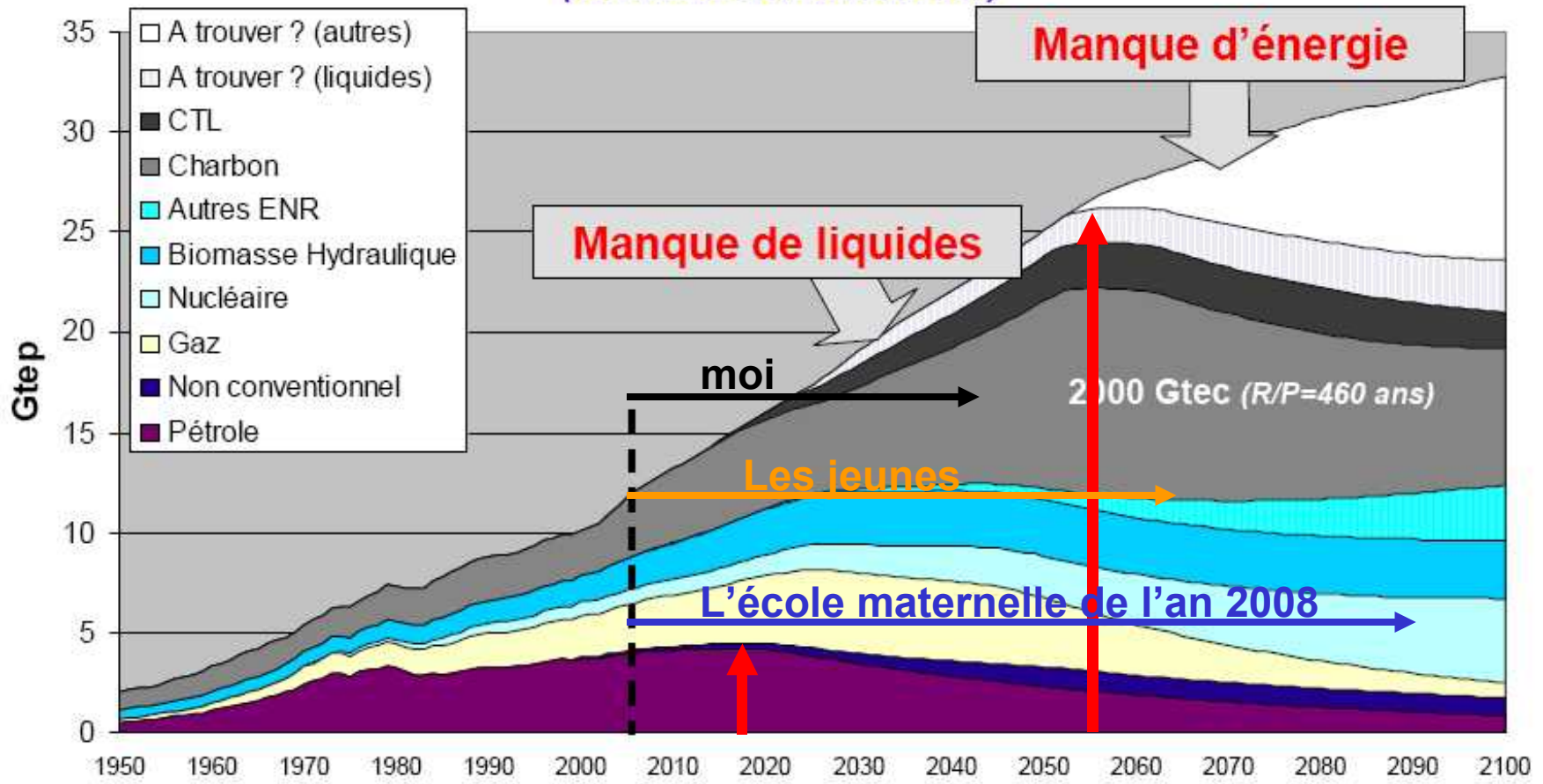


Corrélation aux US entre prix du pétrole année N, et chômage année N+1

Pétrole -> charbon : 30 à 40 ans de rab, mais pas plus

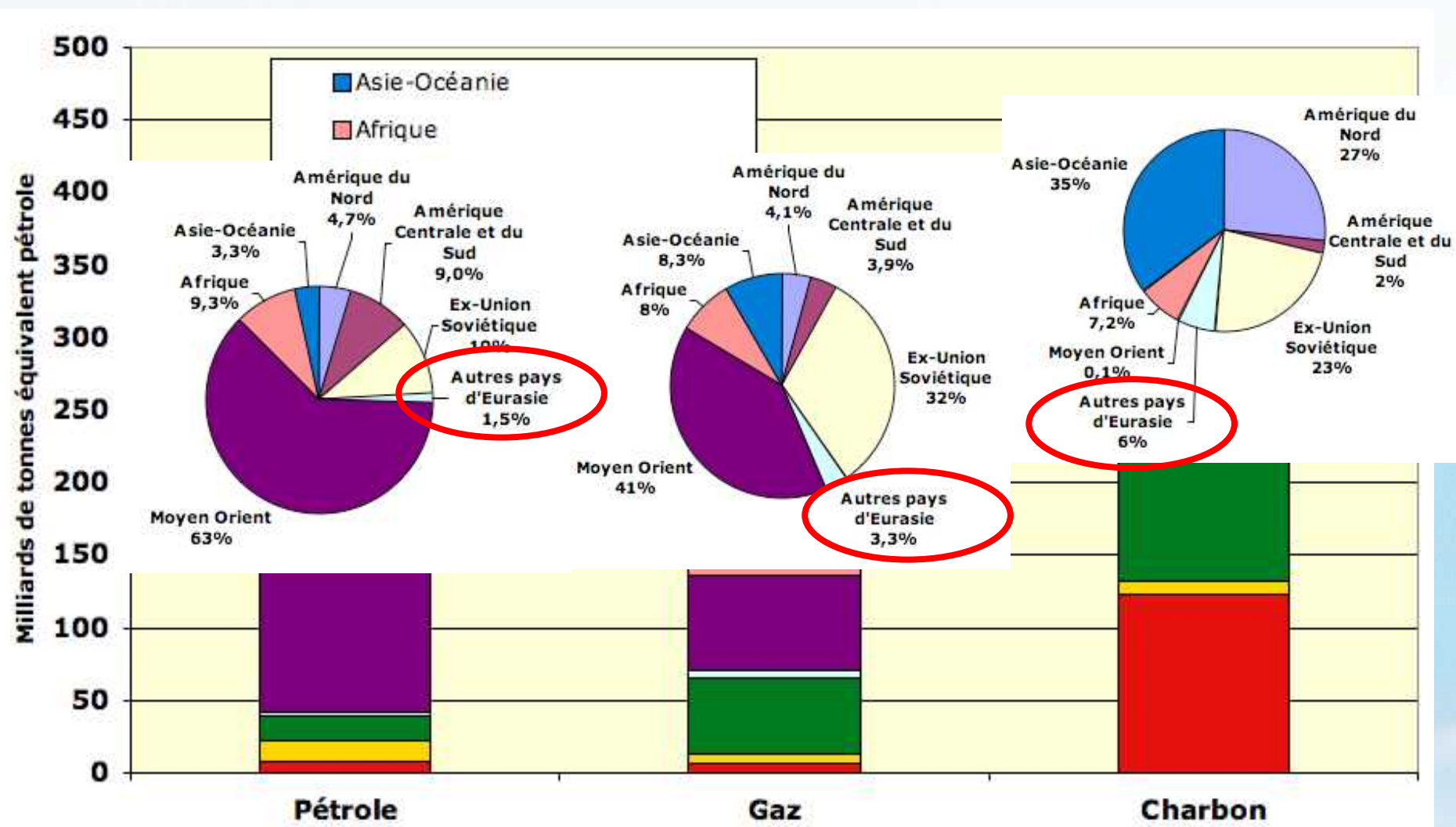
Quelles énergies pour demain ?

(demande tendancielle)



Source du graphique : Bernard Rogeaux, EDF, décembre 2007

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...

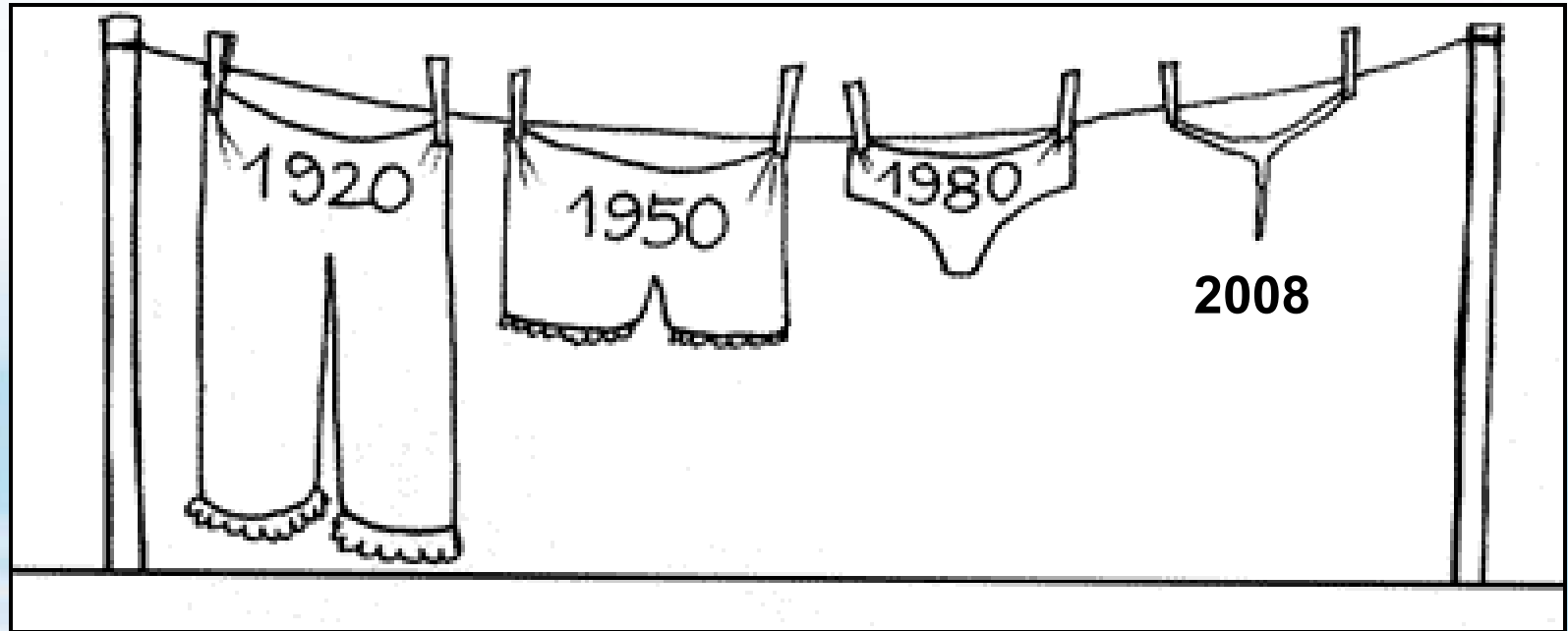
En fait, se reporter de pétrole sur charbon est à ne pas faire !

Concentration atmosphérique en CO ₂ au moment de la stabilisation	Concentration atmosphérique tous gaz à effet de serre au moment de la stabilisation en CO ₂ -équivalent	Période de survenance du maximum des émissions de CO ₂	Augmentation de température globale à l'équilibre, par rapport à la température de 1850
350 ^ 400 ppm	445 ^ 490 ppm	2000 ^ 2015	2,0 ^ 2,4 iC
400 ^ 440 ppm	490 ^ 535 ppm	2000 ^ 2020	2,4 ^ 2,8 iC
440 ^ 485 ppm	535 ^ 590 ppm	2010 ^ 2030	2,8 ^ 3,2 iC
485 ^ 570 ppm	590 ^ 710 ppm	2020 ^ 2060	3,2 ^ 4,0 iC
570 ^ 660 ppm	710 ^ 855 ppm	2050 ^ 2080	4,0 ^ 4,9 iC
660 ^ 790 ppm	855 ^ 1130 ppm	2060 ^ 2090	4,9 ^ 6,1 iC

450 ppm de CO₂ à stabilisation : nous avons « encore droit » à 250 Gt de carbone, soit les réserves pétrolières et gazières et RIEN DE PLUS

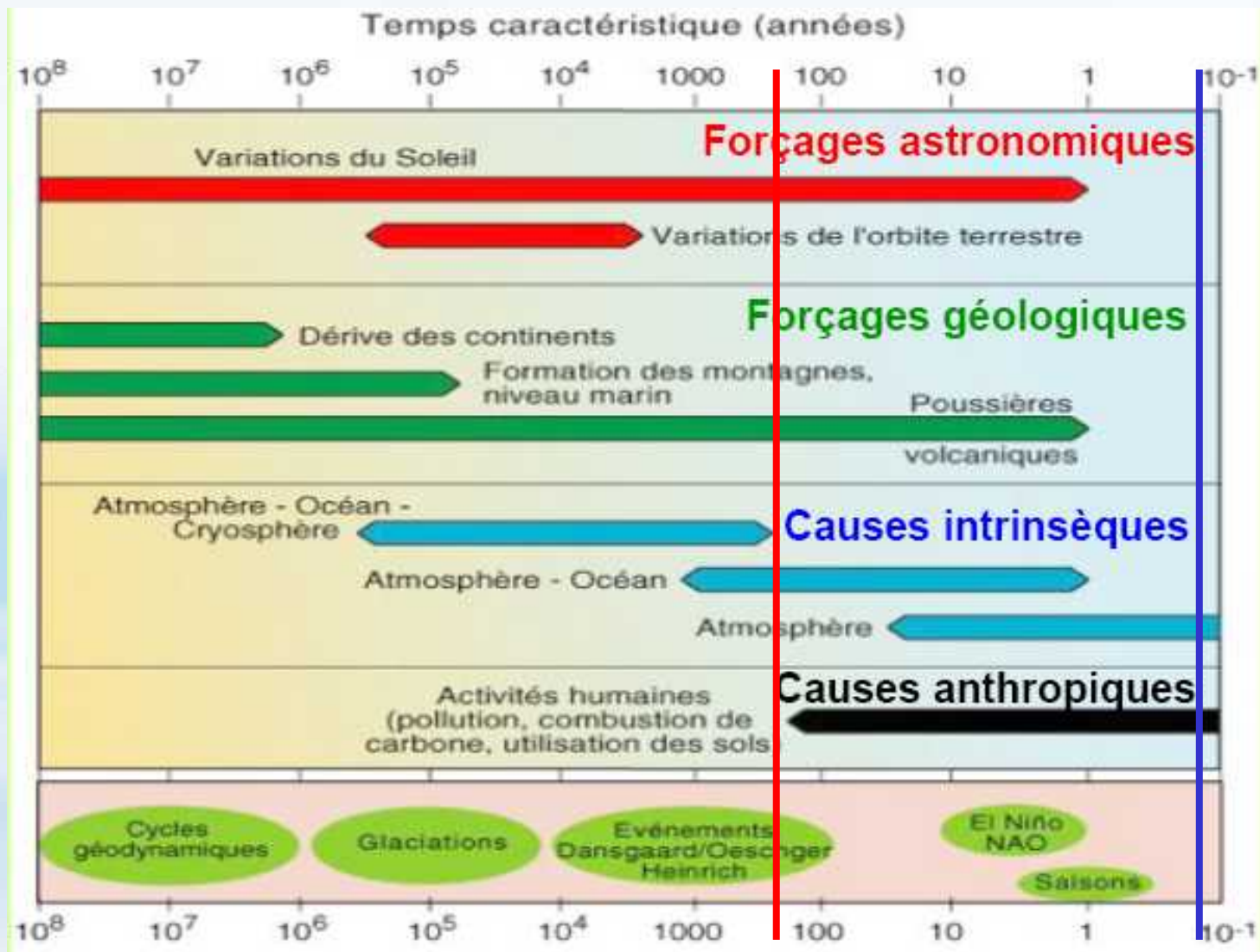
Source IPCC, novembre 2007

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

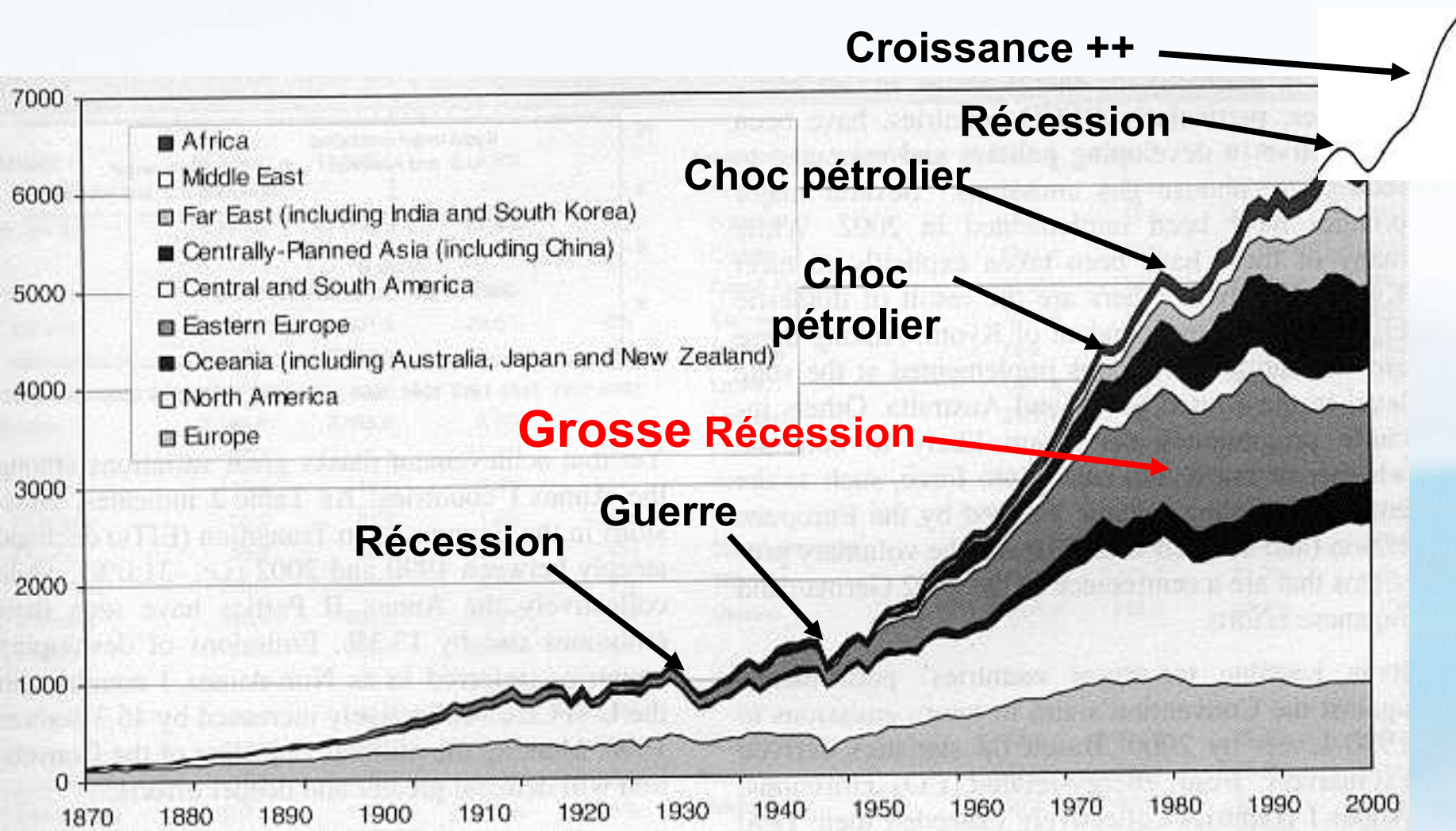


A l'échelle de la semaine : l'atmosphère domine

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

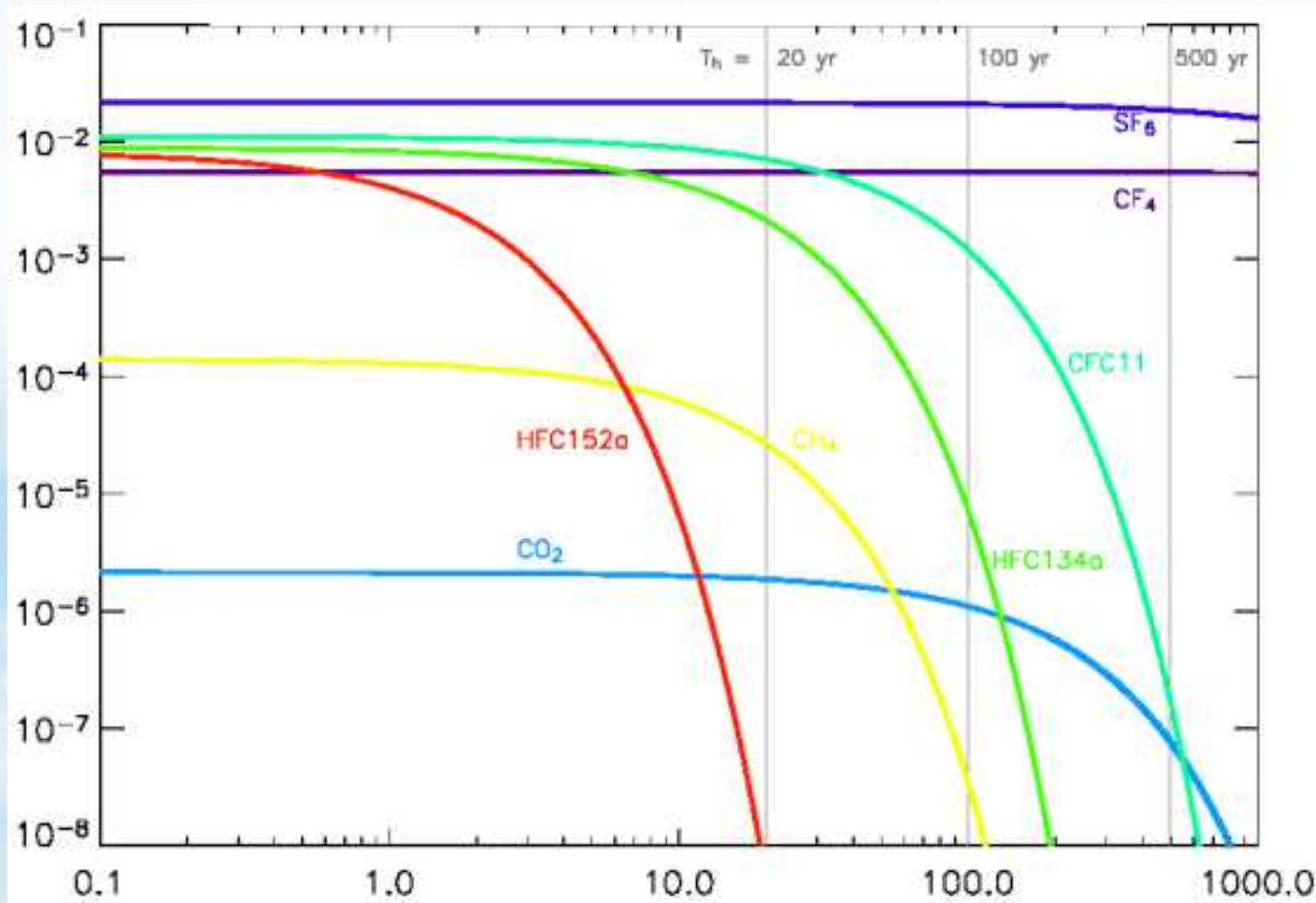
Causes diverses d'influence sur le climat et échelles de temps caractéristiques.
Edouard Bard, exposé au Collège de France.

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

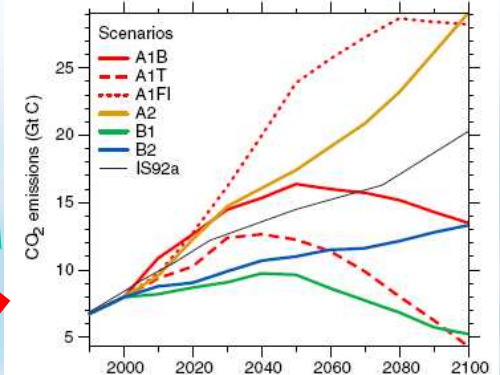
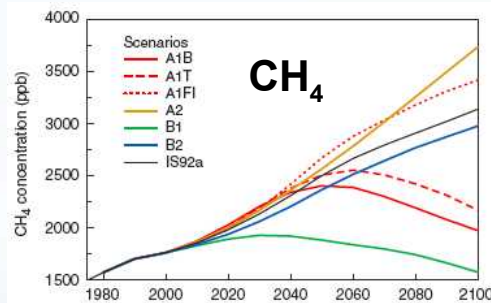
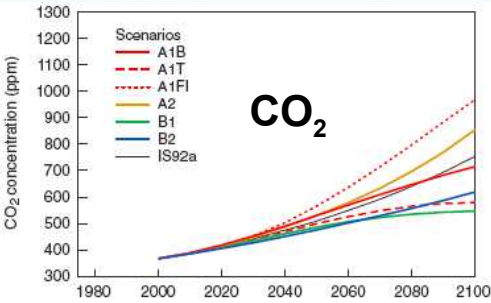
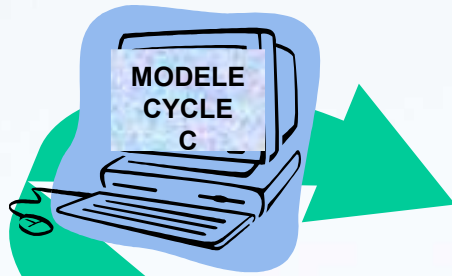


Effet résiduel (axe vertical, en watts/m^2) au cours du temps (axe horizontal, en années) d'une tonne de gaz émise à l'instant 0 (attention ! échelles logarithmiques). Ces courbes reflètent la quantité résiduelle de gaz dans l'atmosphère après émission.

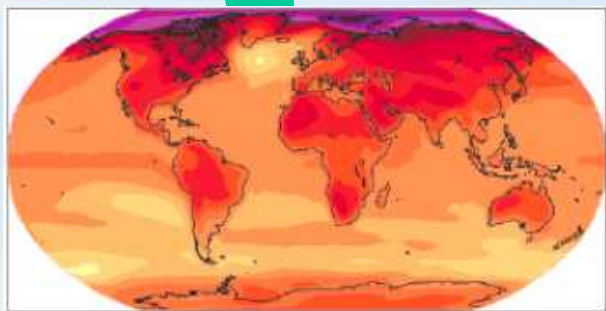
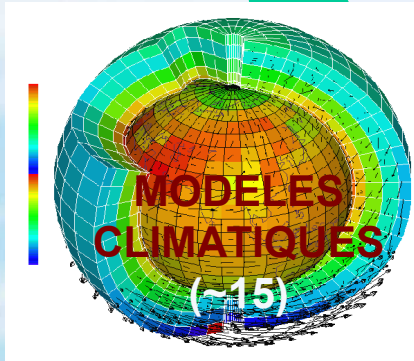
D. Hauglustaine, LSCE.

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

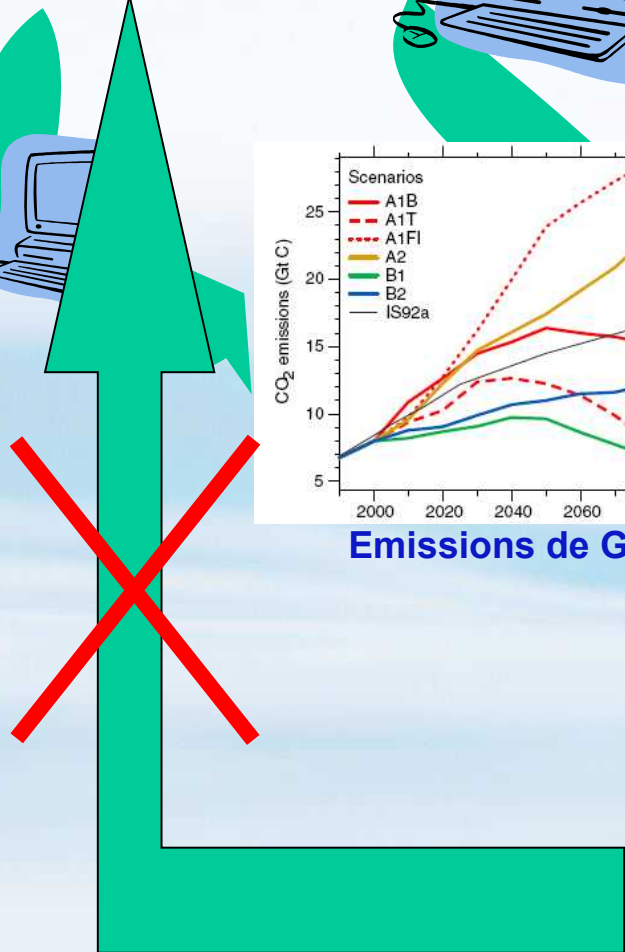
**HYPOTHESES
ECONOMIQUES ET
DEMOGRAPHIQUES**



Concentration en GES

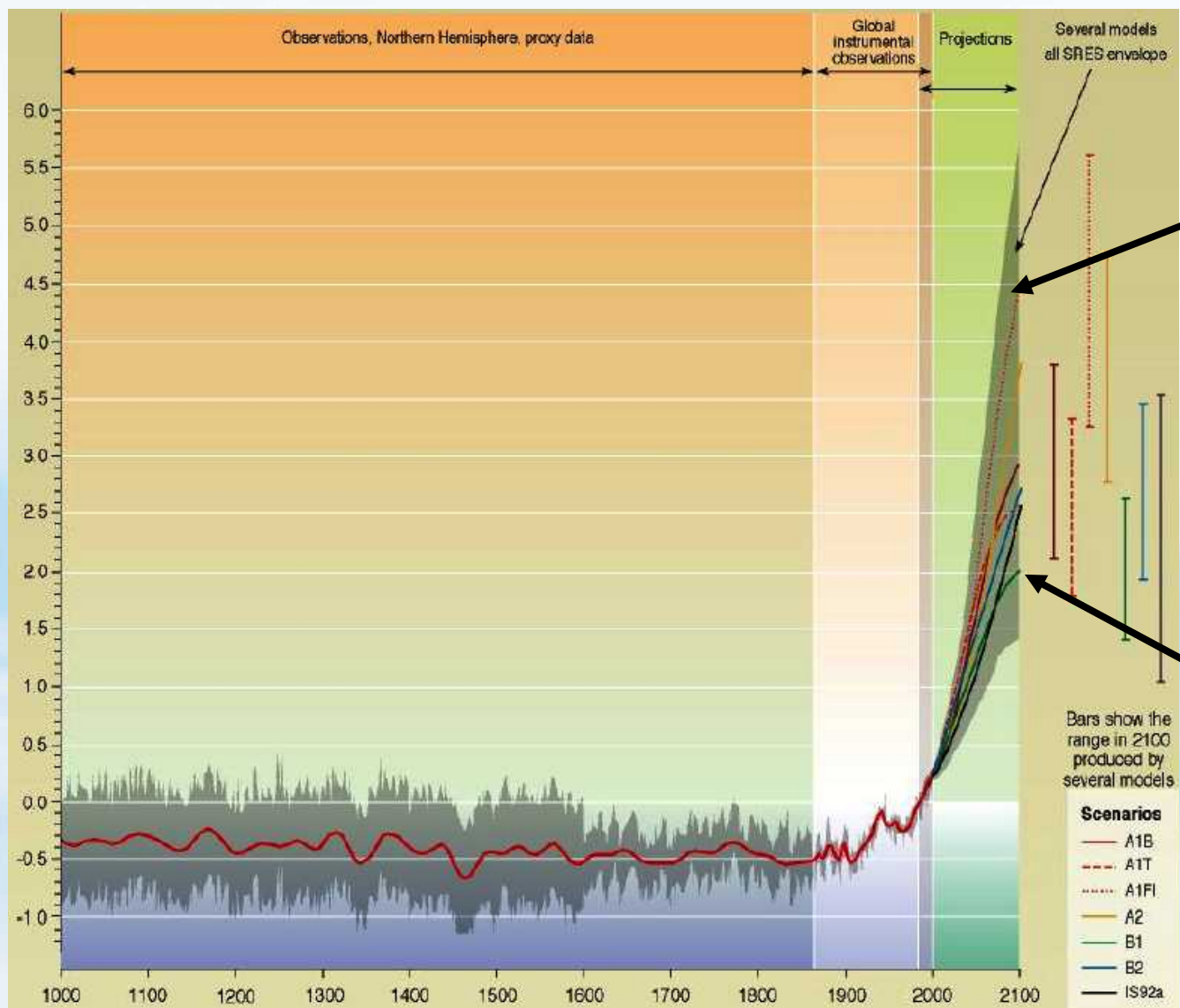


Climat Futur



Emissions de GES

Quelques degrés en plus, ça n'est pas très courant par ici...

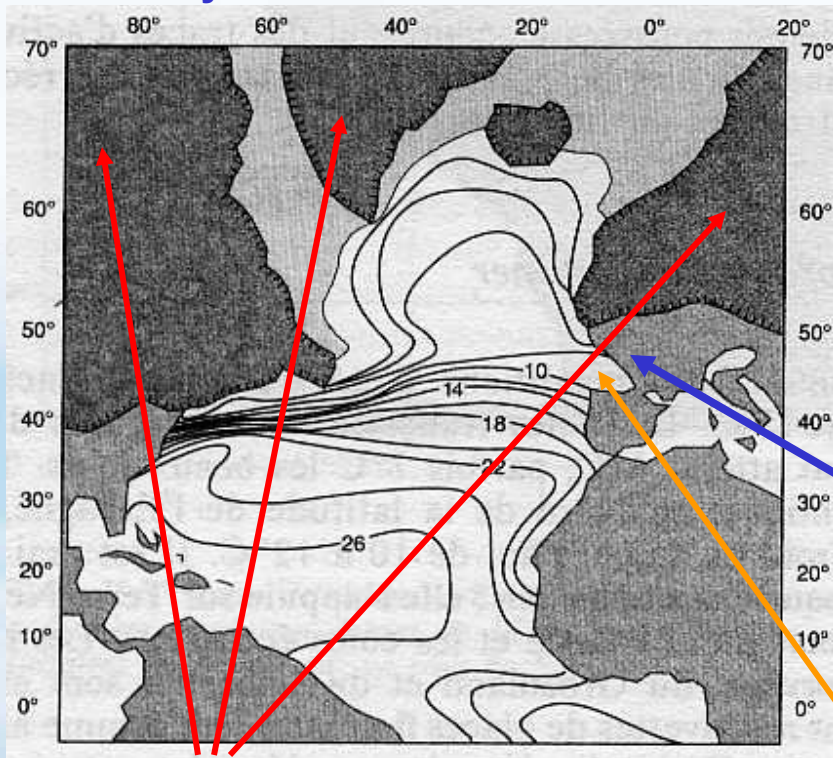


Évolution de la température moyenne de l'air au niveau du sol, selon les scénarii, et mise en perspective avec le passé. Climate Change 2001, the scientific Basis, GIEC

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

Depuis le dernier maximum glaciaire, **la moyenne planétaire n'a augmenté «que» de 5°C**, mais notre planète a considérablement changé.

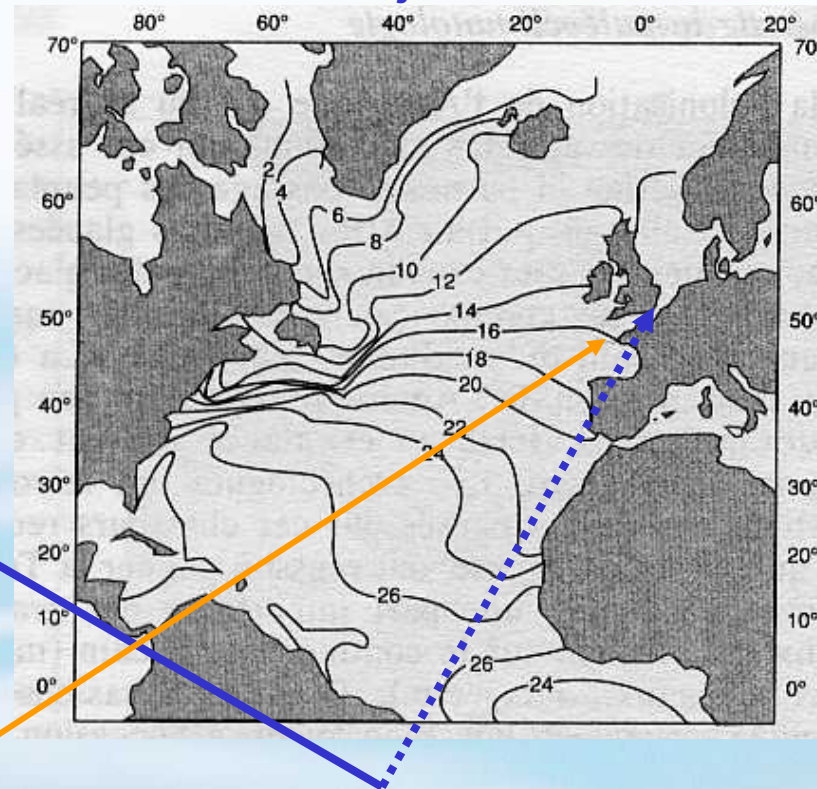
Il y a 20.000 ans



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

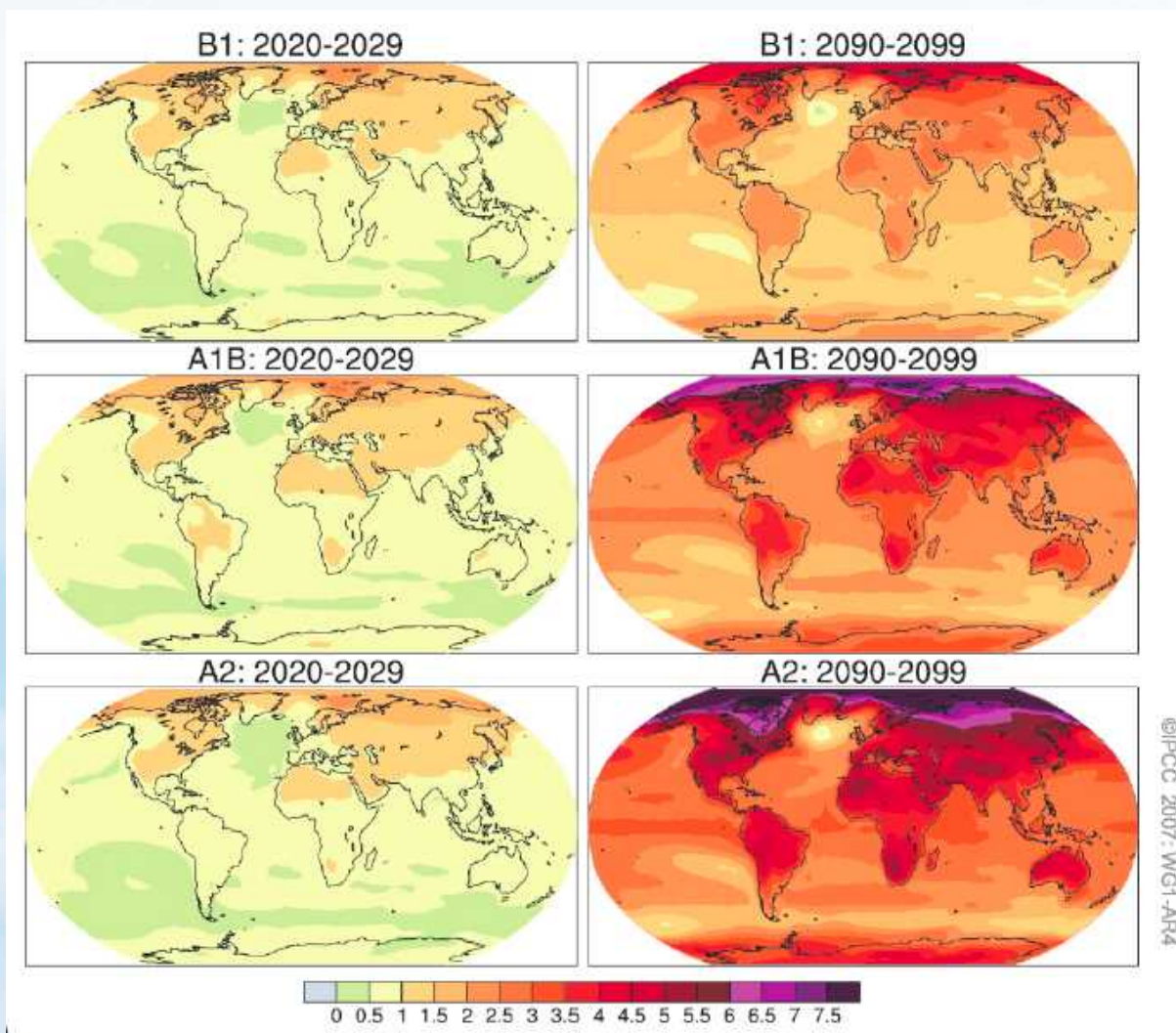
Aujourd'hui



Période glaciaire : on passe à pied sec de France en Angleterre : la mer est plus basse de 120 mètres !

-> Quelques degrés de plus en 100 ans, ce sera(it) un chaos mortifère

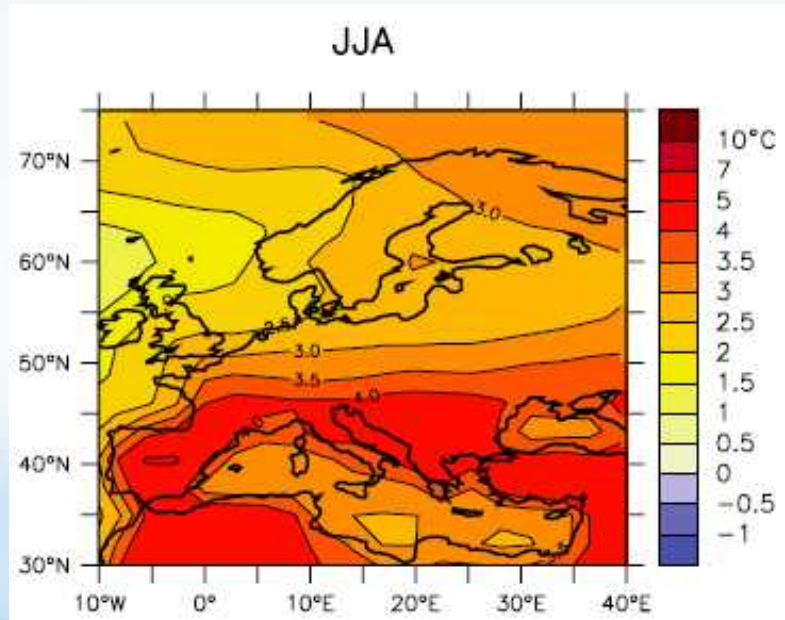
La température n'évoluera pas partout de la même manière



Évolution régionale de la température (°C) en 2100 par rapport à la moyenne 1980-1999 pour 3 scénarii (B1 = émissions constantes ; A1B = émissions qui doublent, A2 = émissions qui quadruplent). Notez que 2020 est indépendant du scénario.

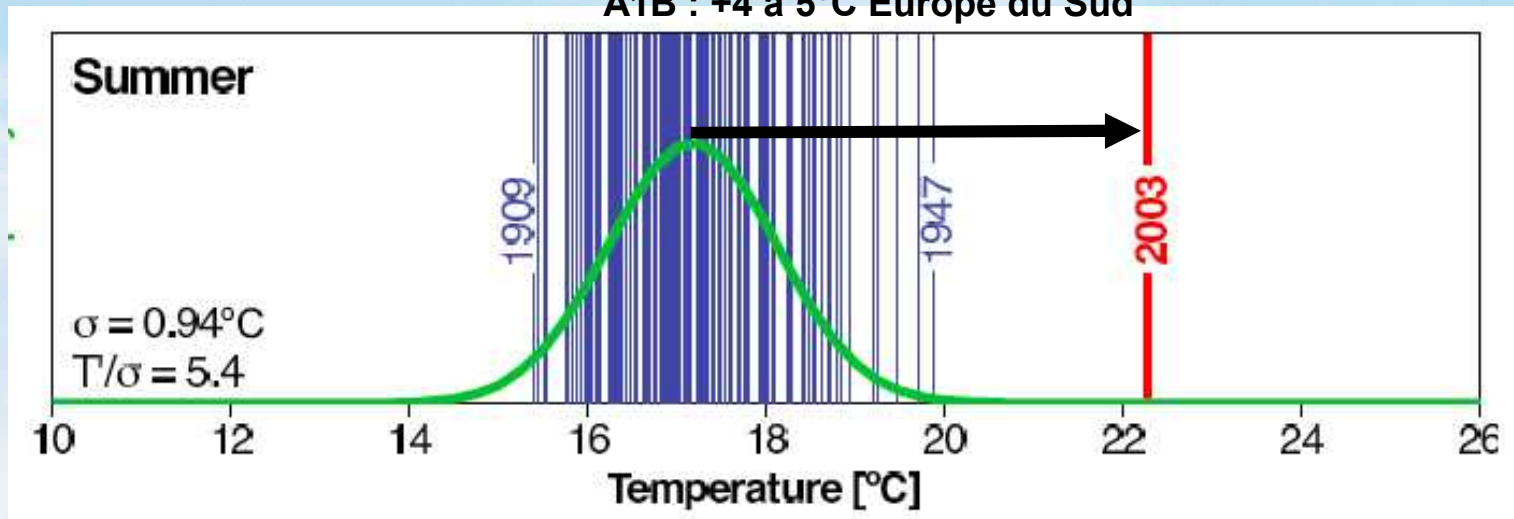
Summary for Policymakers, 4th Assessment Report, IPCC, 2007

L'été 2003, été « normal » ?



<- A1B (émissions x2 d'ici 2050 puis déclin) : +3°C monde

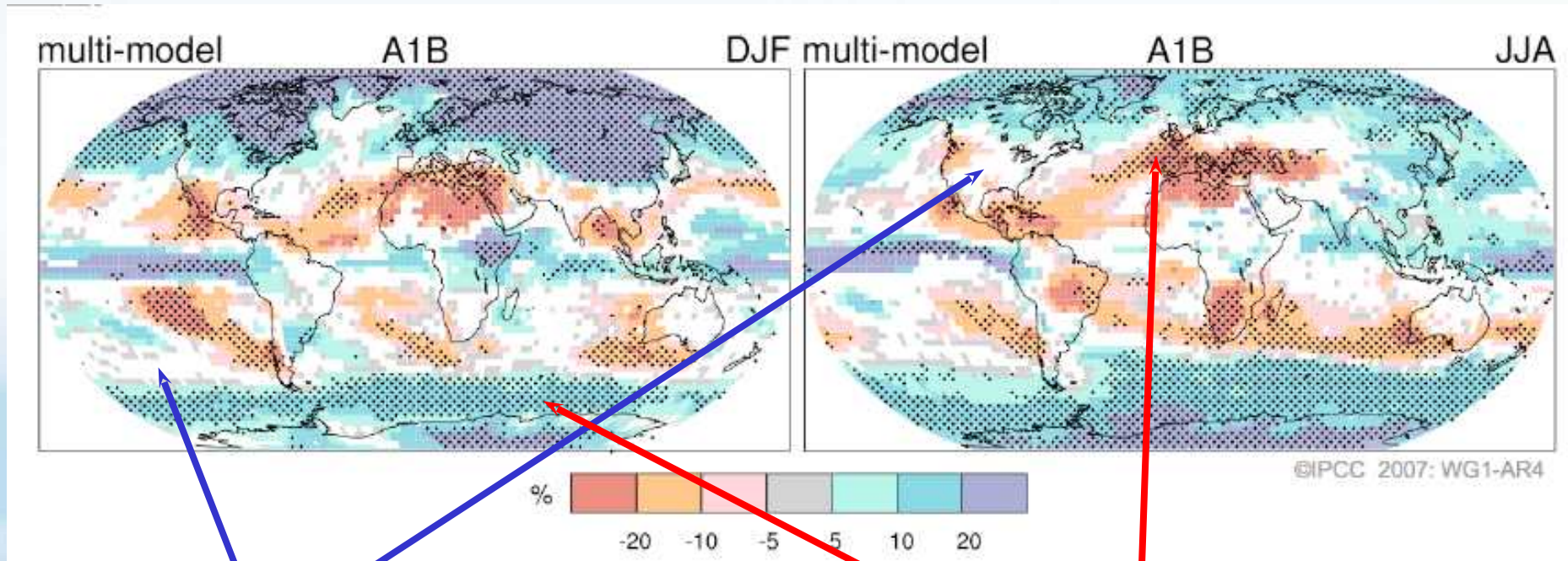
A1B : +4 à 5°C Europe du Sud



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

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

Un climat, ce n'est pas seulement une température moyenne

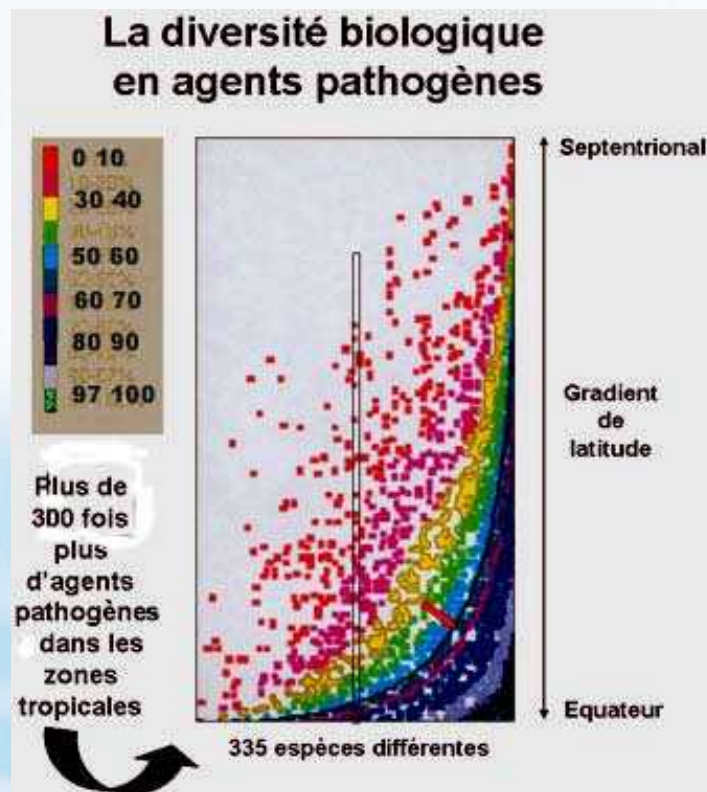


Zone blanche = pas de consensus entre modèles

Pointillés = plus de 90% des modèles d'accord sur le sens de l'évolution

Moyenne inter-modèles de l'évolution des précipitations en 2090-2099 par rapport à la moyenne 1980-1999, pour deux saisons et un scénario « charbon haut » (pas de couplage avec le cycle du carbone). Source : GIEC, 4^e rapport d'évaluation, 2007

Impacts sur la santé : fichue biodiversité !

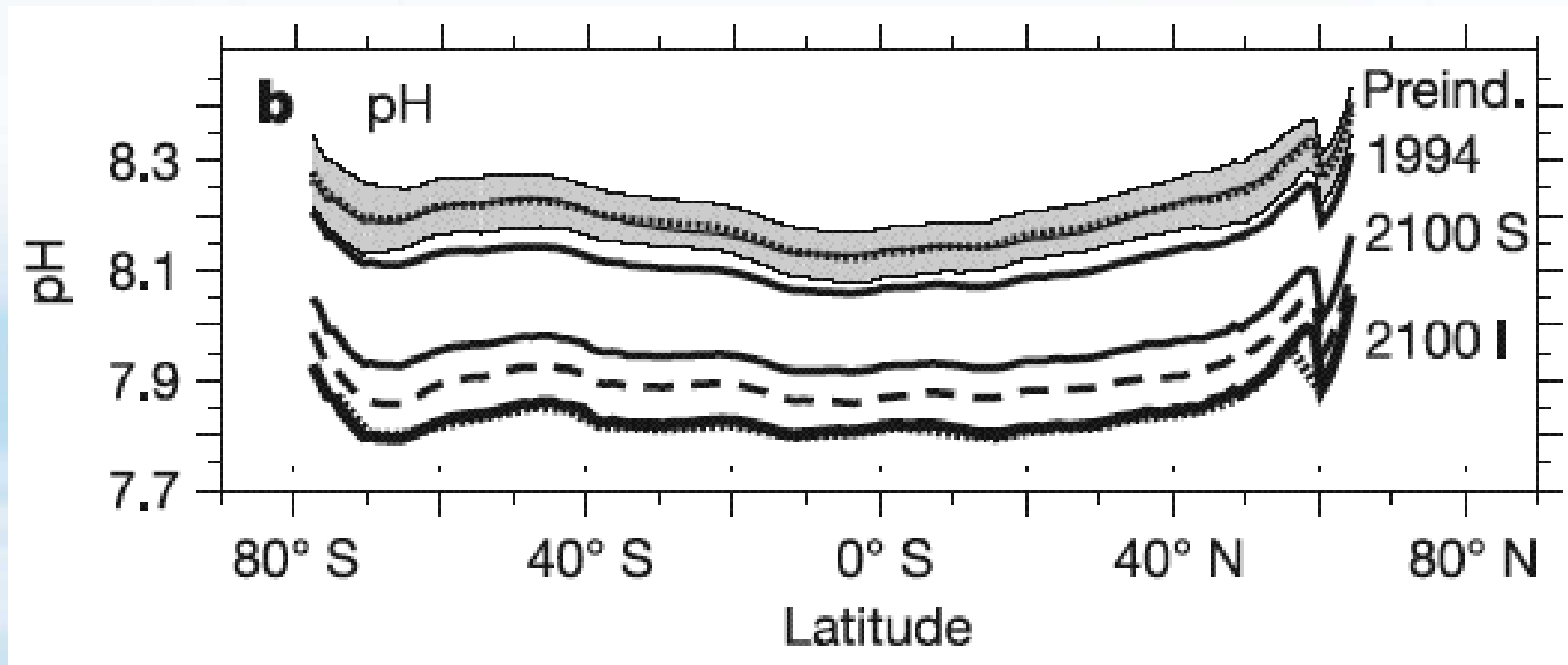


Source Weber, 2006

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 ?

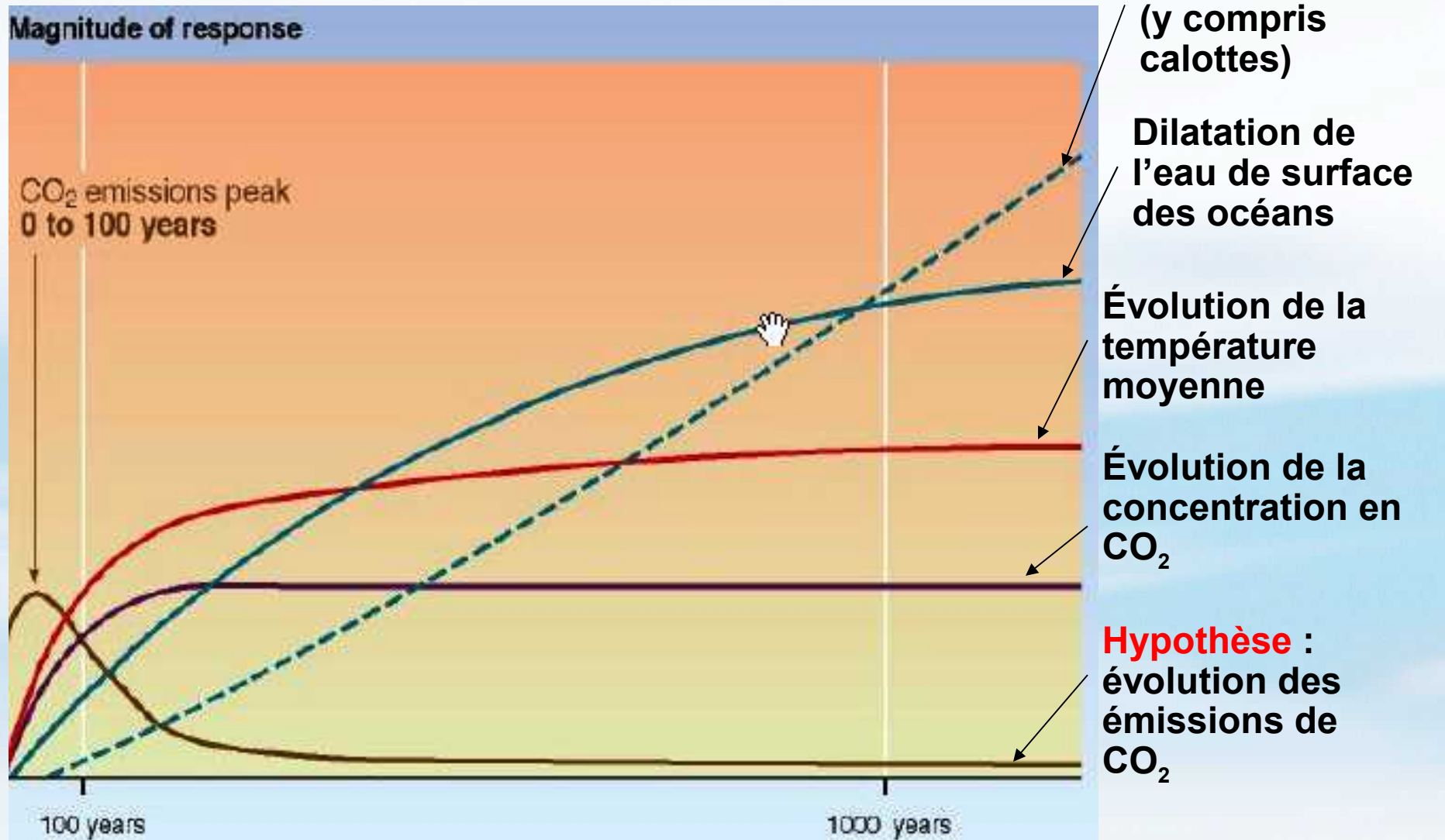
Plus de CO₂ dans l'air n'a pas que des effets climatiques...



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).

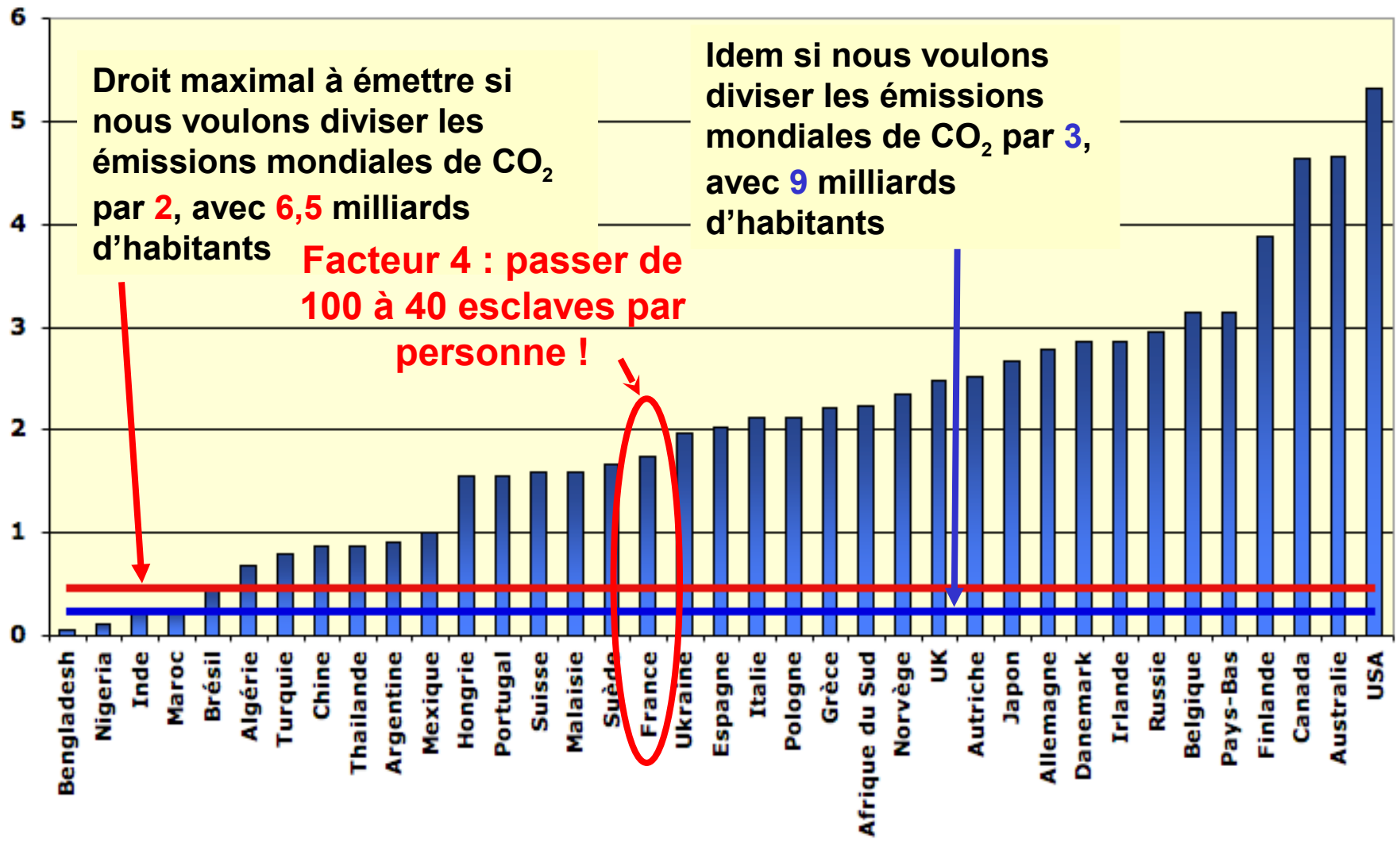
Source Orr et al., Nature, 2005

Au secours : il n'y a pas de bouton « remise à zéro »...



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.

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 construire 4 m² de logement ou de bureau,

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

Attali et Borloo dans le même bateau, fastoche ?

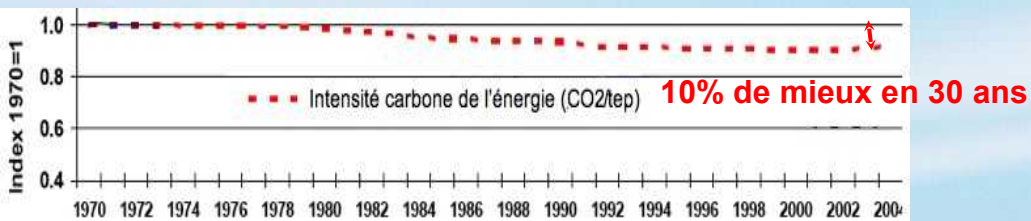
L'équation de Kaya :

$$CO_2 = \frac{CO_2}{TEP} * \frac{TEP}{PIB} * \frac{PIB}{POP} * POP$$

A diviser par 2... et le sera !

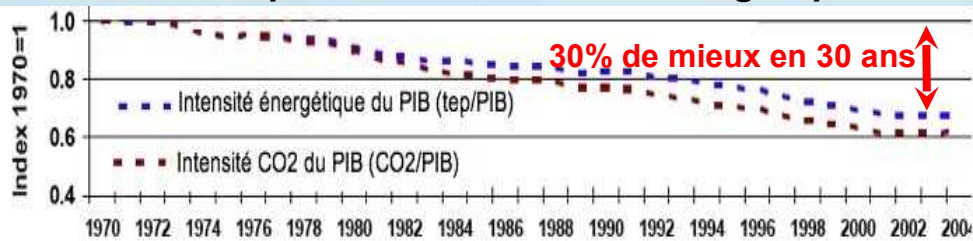
Emissions de gaz carbonique = Contenu en gaz carbonique de l'énergie * Intensité énergétique de l'économie * Production par personne * Population

« La technique » N°2 : l'efficacité carbone de l'énergie



Il faut gagner 75% en 45 ans, en doublant l'approvisionnement énergétique !

« La technique » N°1 : l'efficacité énergétique



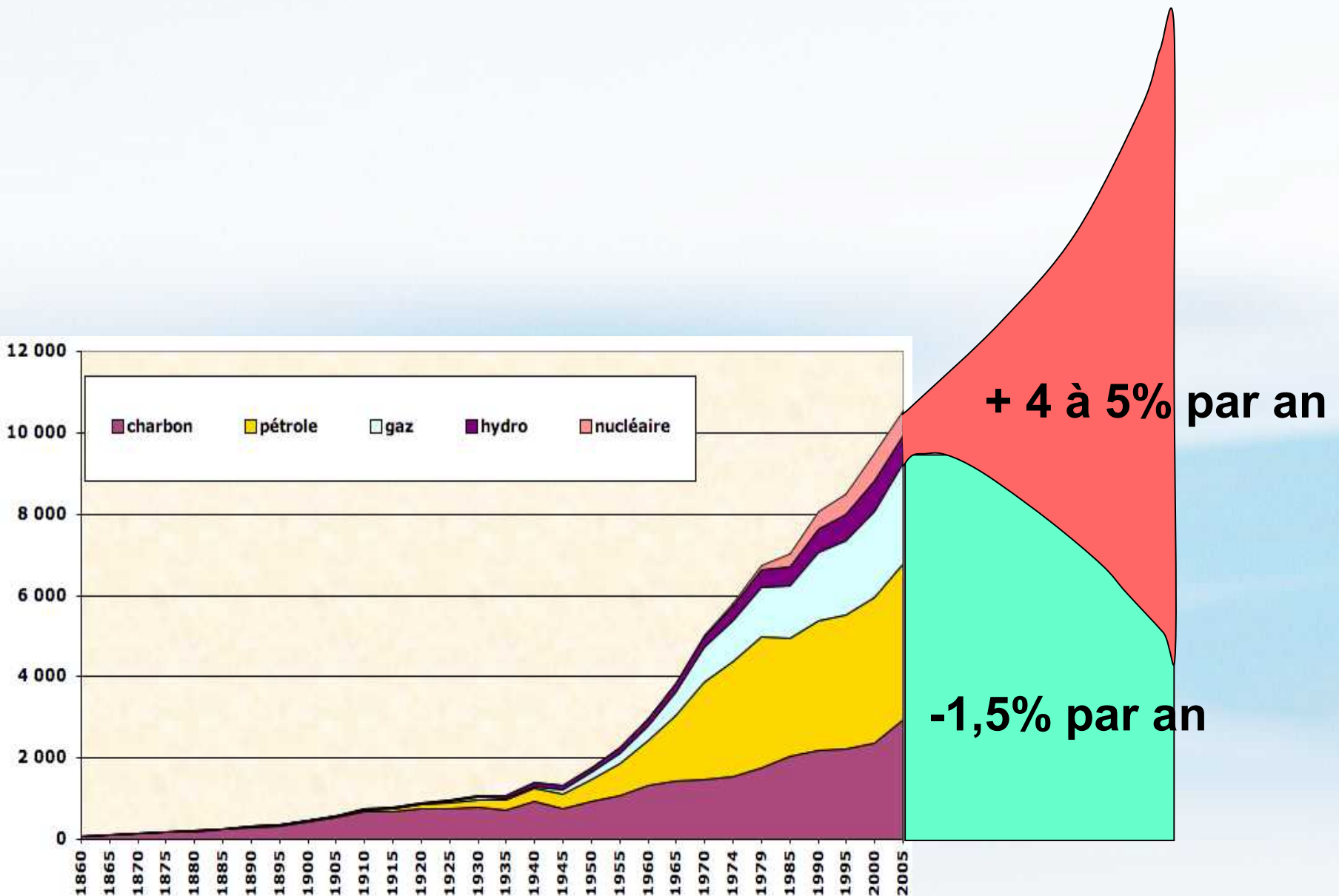
Gain de 50% en 50 ans ?



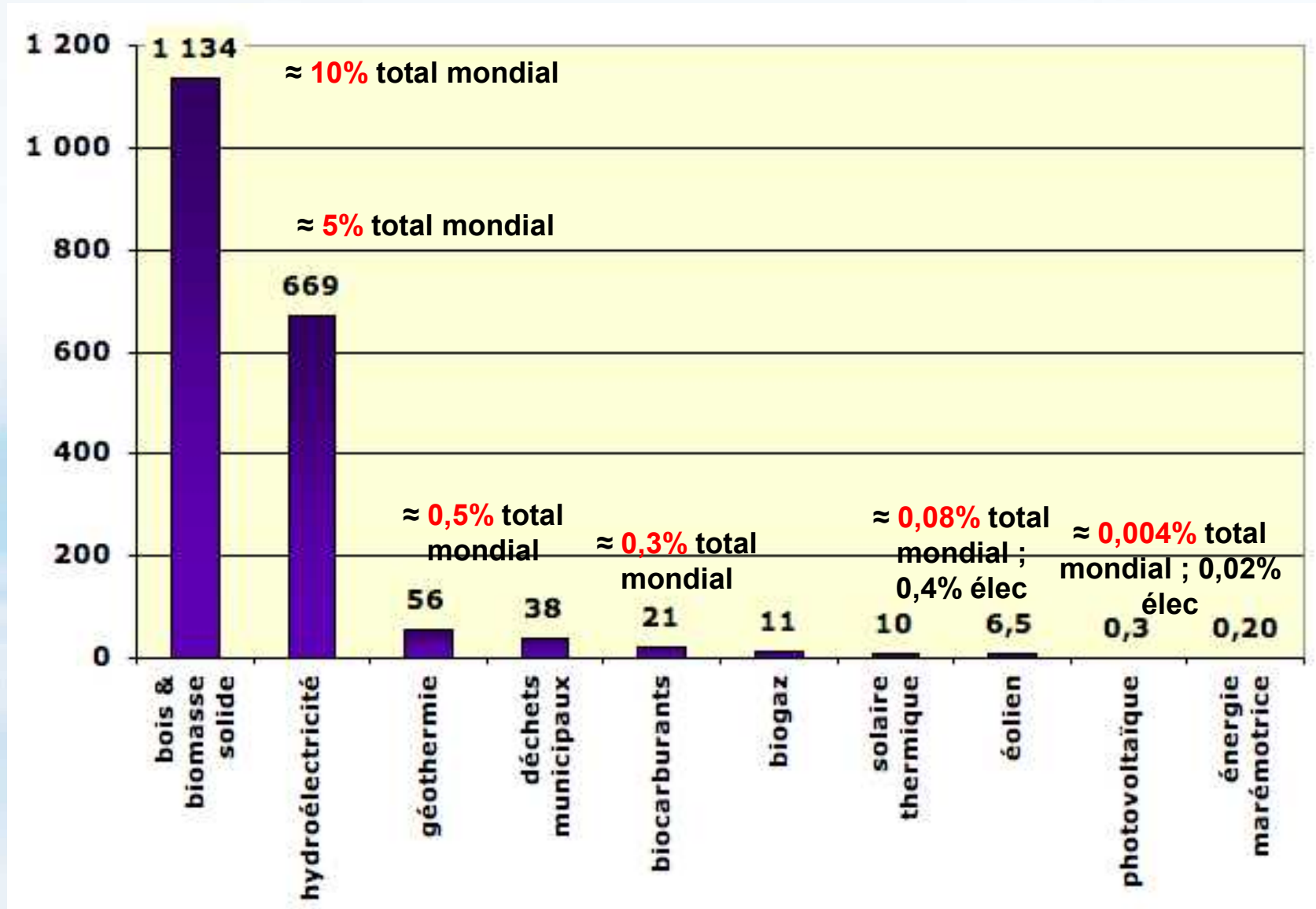
+ 50% d'ici 2050 ?

2% de croissance par an = x 2,7 en 50 ans ; 4% par an c'est x 7 en 50 ans !!!

Attali et Borloo dans le même bateau, cela devrait donner ceci



Quid des énergies renouvelables ?



Contribution des énergies renouvelables au bilan énergétique mondial en 2005.
L'hydroélectricité est en équivalent primaire

Nous avons tous appris ~~$P = F(K, W)$~~ . Les ressources naturelles ne sont pas dans la formation des prix : seuls y figurent le coût du travail humain, et le consentement - humain - à se défaire de sa propriété

En fait $P = F(K, W, R)$. Il faut « corriger » les prix de :

- la « dotation aux amortissements » pour diminution des stocks de toute sorte, et notamment d'hydrocarbures
- la « provision pour risques » pour changement climatique futur

Puisque le carbone n'est pas dans la formation des prix, l'économie ne permet pas de voir venir « toute seule » les risques présentés plus haut -> il faut **repartir de la physique** (c'est l'esprit du Bilan Carbone)

Et rappelez vous...

Les malentendus iront se nicher dans tout ce que je n'ai pas dit (car je peux encore tenir 15 heures sur le sujet !)

**Documentation écrite, cours en ligne, bibliographie :
www.manicore.com**

**Allez vérifier tout ce que je vous ai dit, et le reste...
mais pas dans le journal, hélas !**