



Les défis mondiaux de l'énergie et du climat

Cédric Philibert

Division de l'efficacité énergétique et de
l'Environnement

CFS 2007 - CEA Le Ripault, 10 septembre 2007

© OECD/IEA, 2007

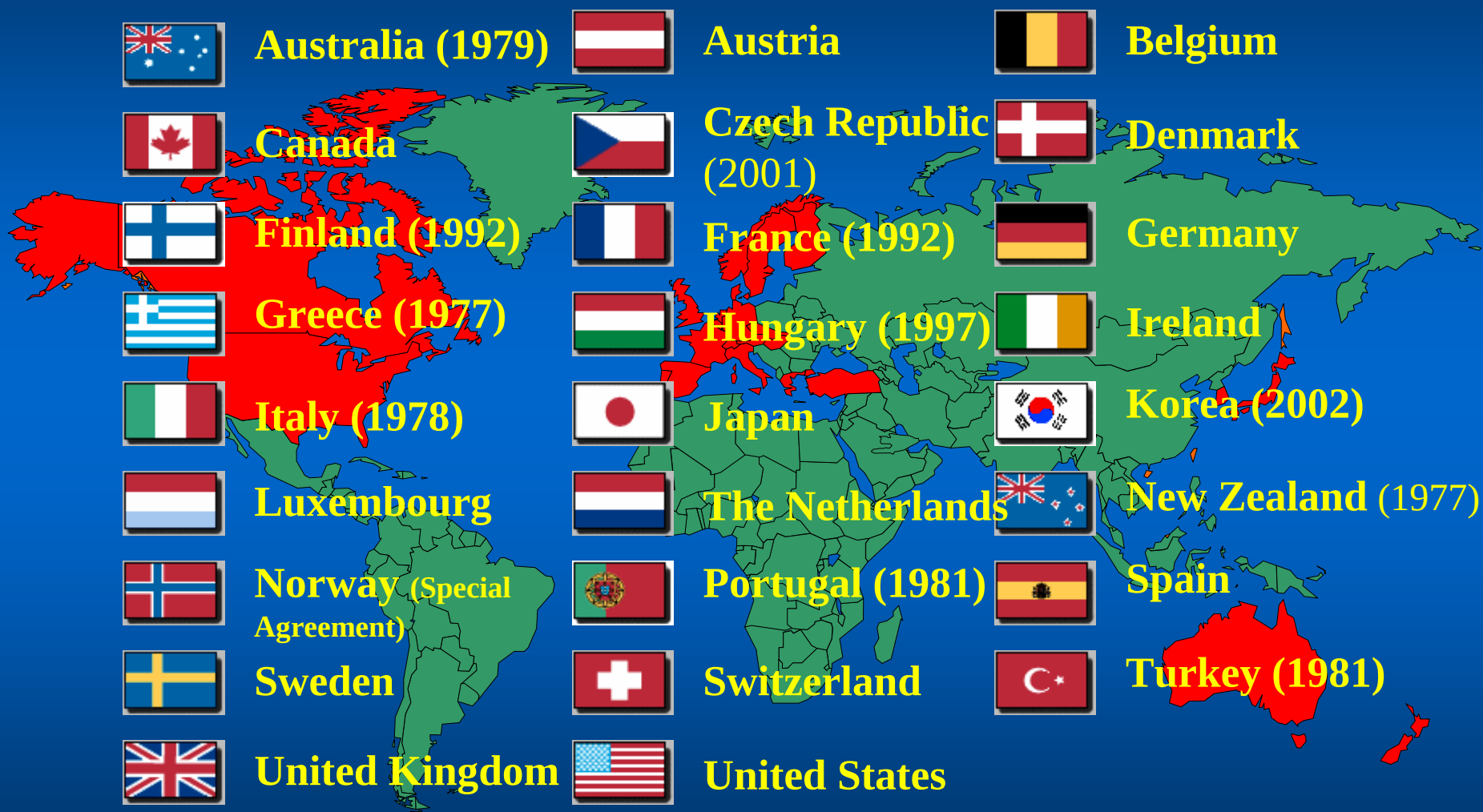
INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE

Les défis

- L'AIE
- Demande d'énergie
- Pauvreté énergétique
- La fin du pétrole?
- Sécurité énergétique
- Le changement climatique
- Transformer Kyoto

International Energy Agency

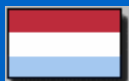


Additionally, Poland and the Slovak Republic are applying for membership



Goals:

- energy security
- environmental protection
- economic growth



Activities:

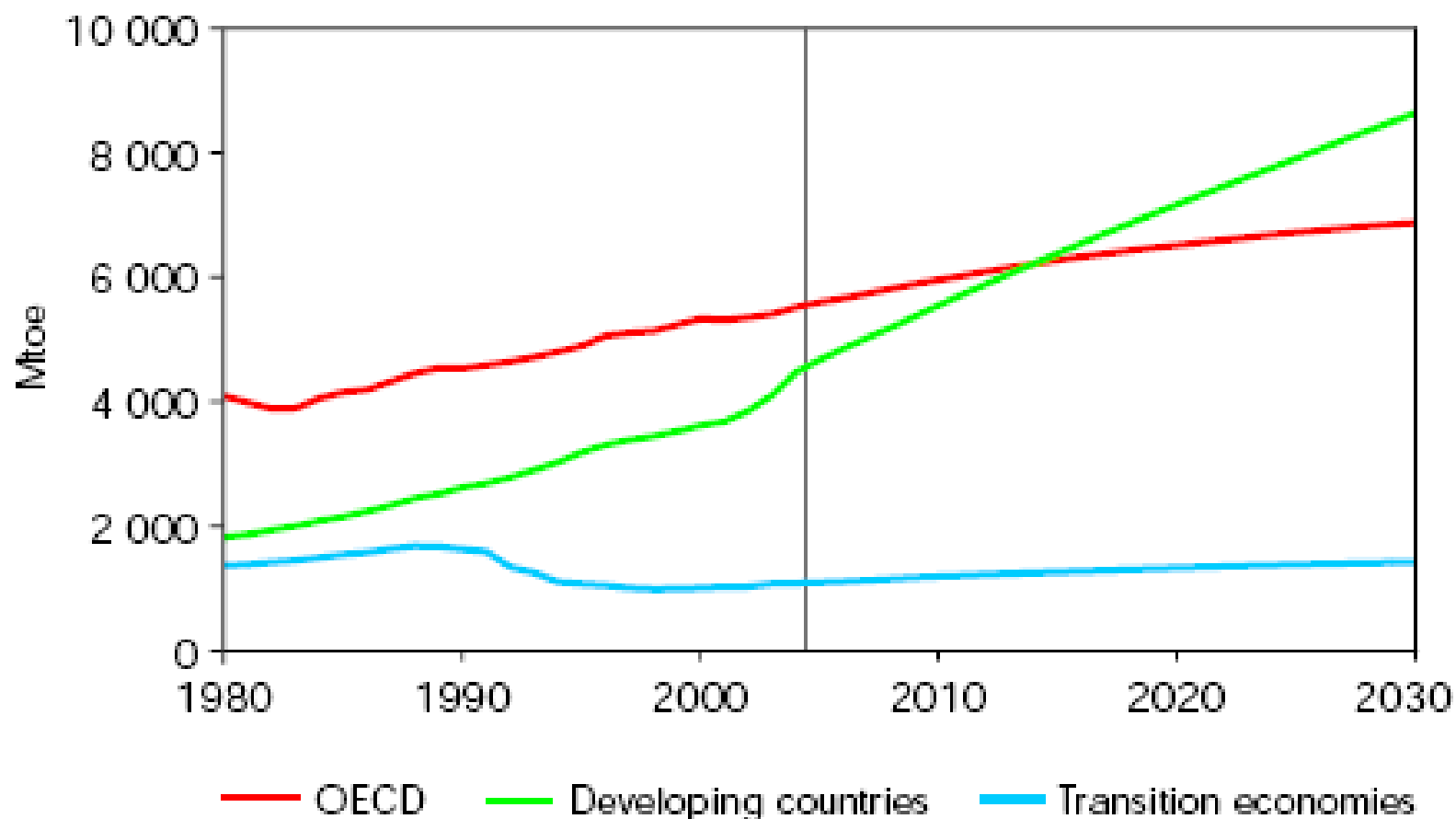
- co-ordinates efforts to ensure energy security
- conducts policy analysis
- compiles energy statistics
- reviews energy policies & programs
- convenes, mobilizes science & technology experts





Demande mondiale d'énergie

World
Energy
Outlook
2006

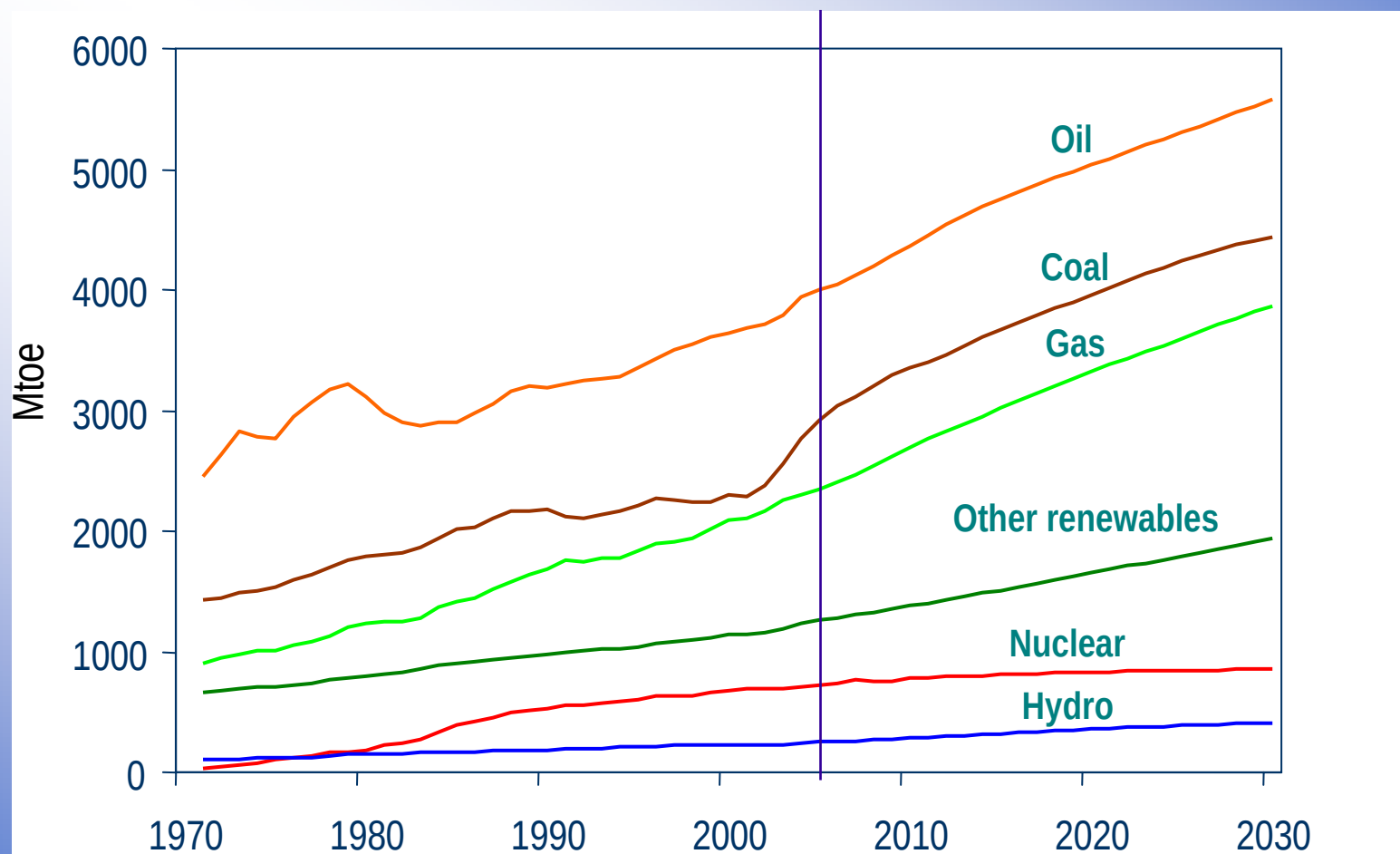


Scénario de Référence: la demande augmente de 50%...



Sources d'énergie

World
Energy
Outlook
2006

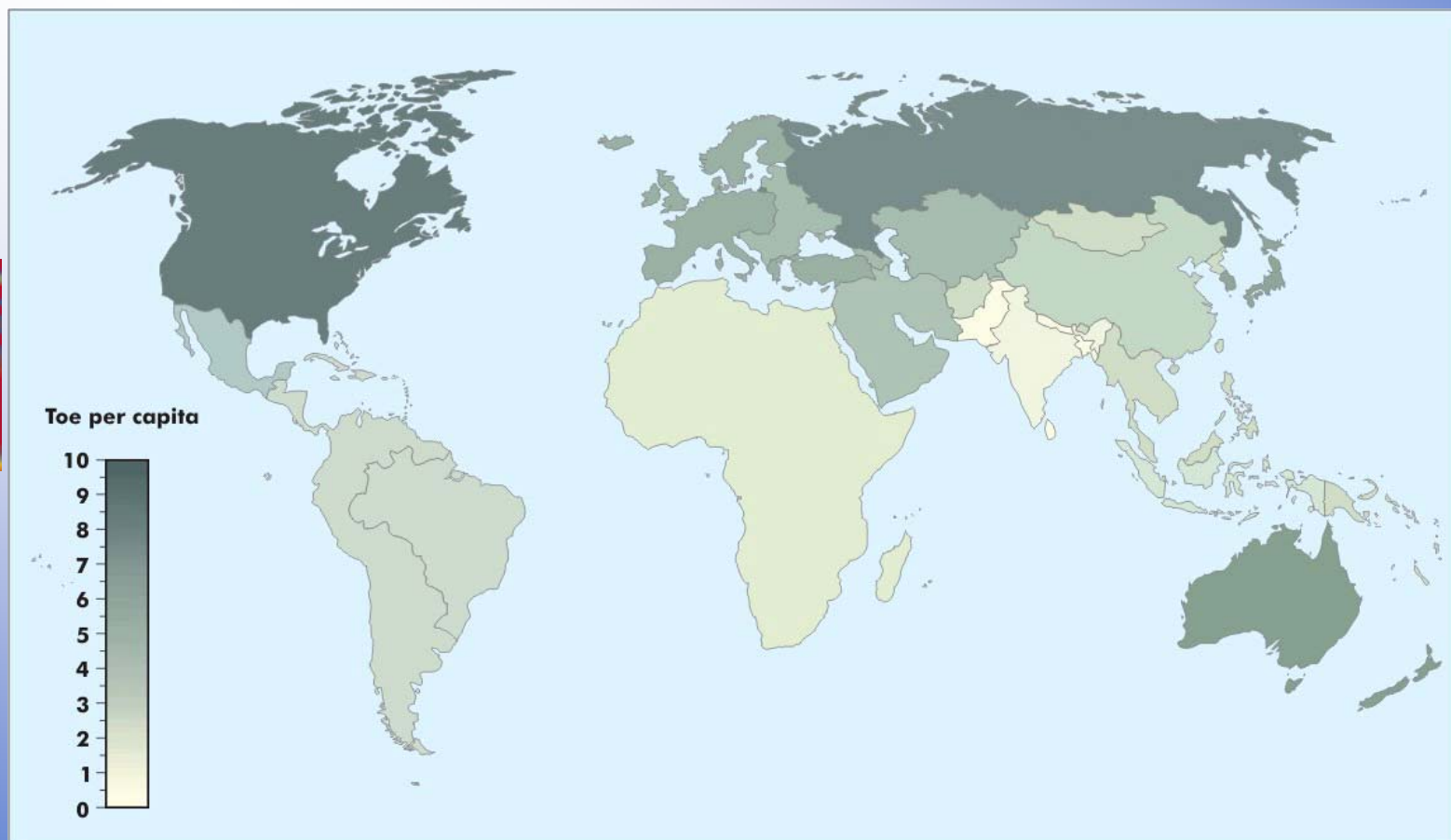


... et les fossiles fournissent 83% de la croissance

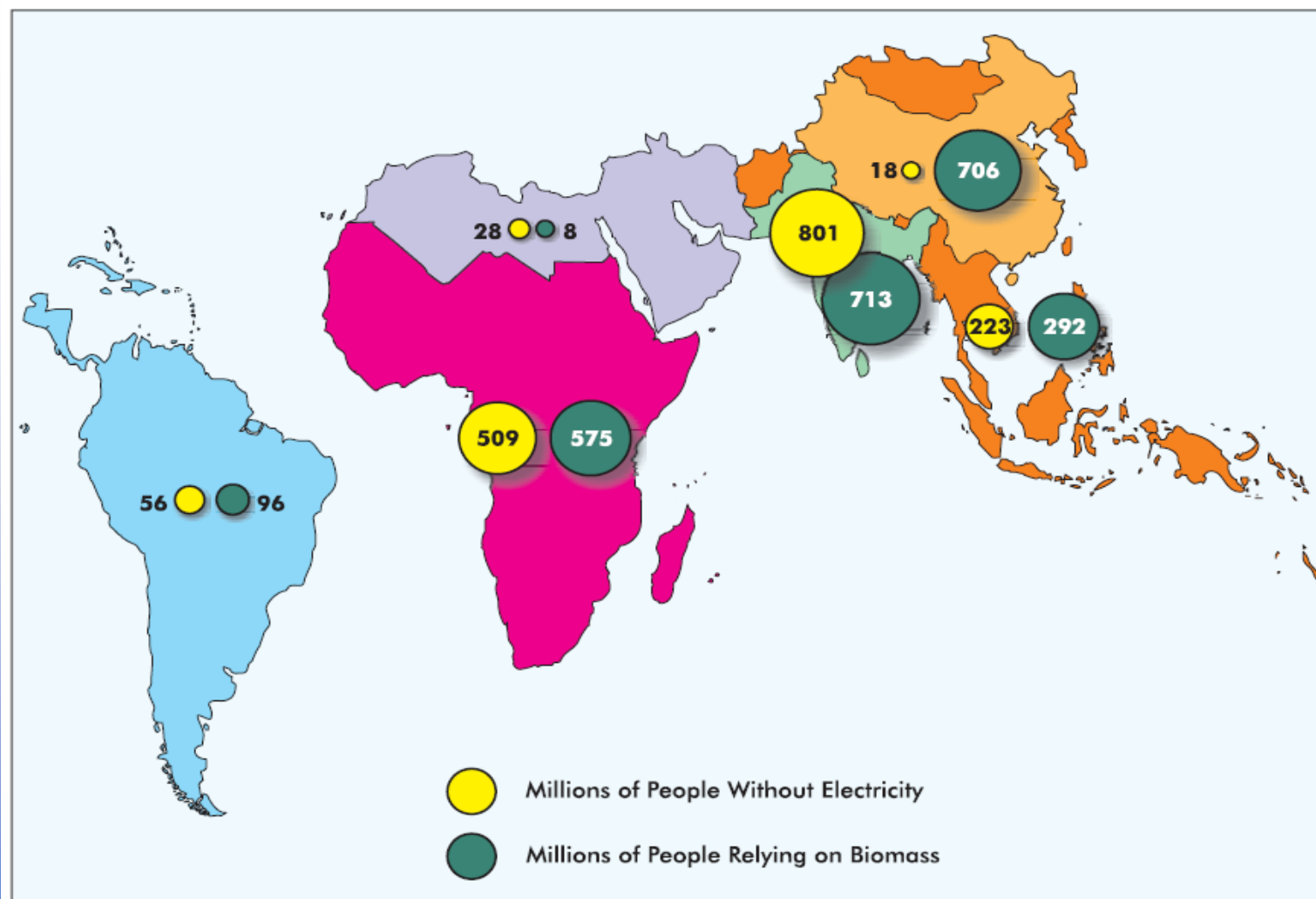


Utilisation d'énergie par tête en 2030

World
Energy
Outlook
2006

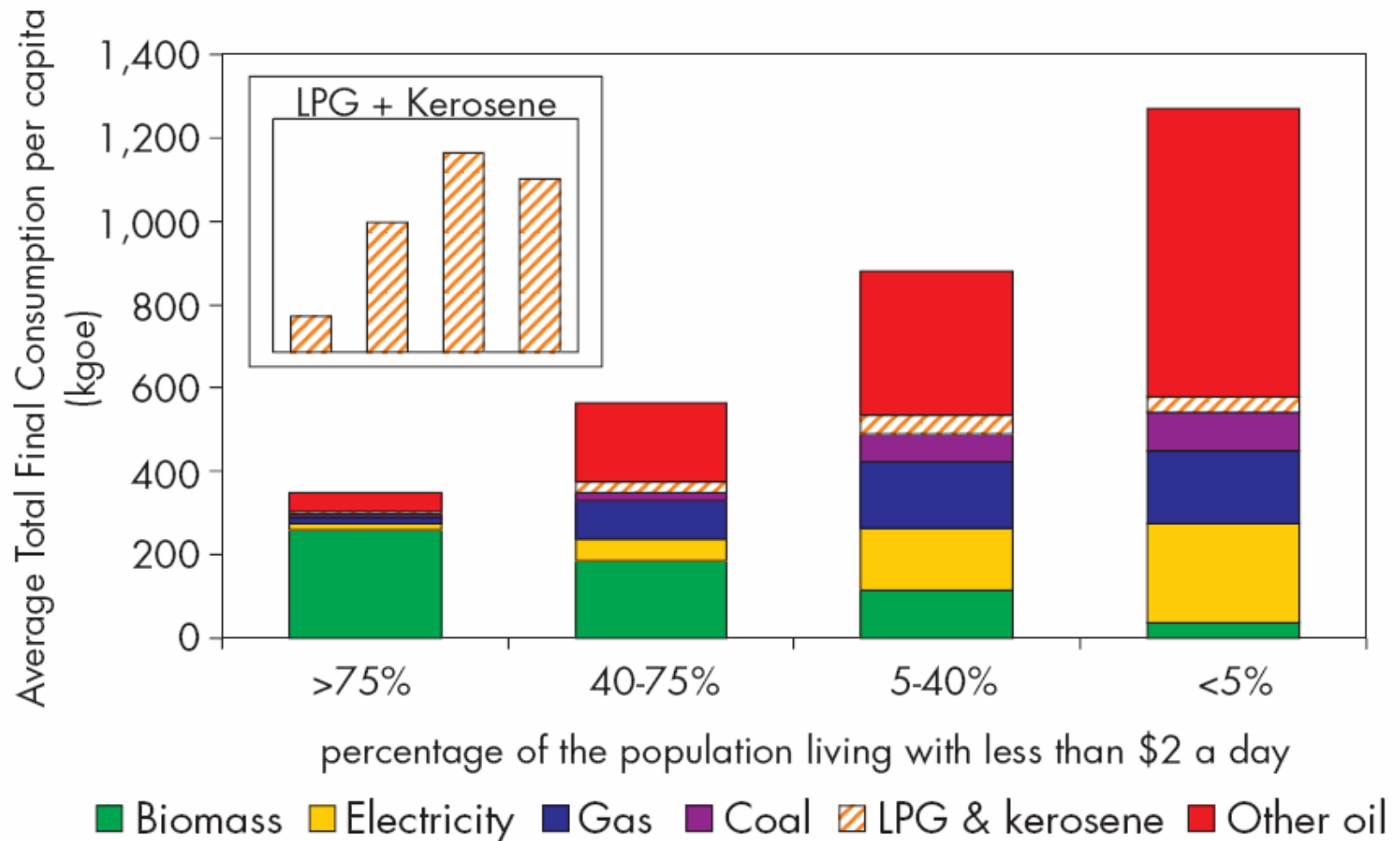
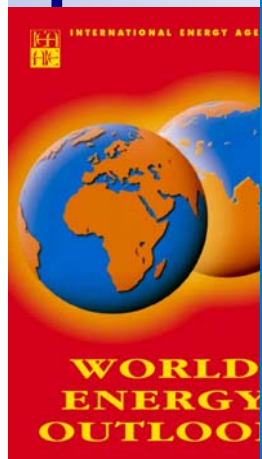


La pauvreté énergétique



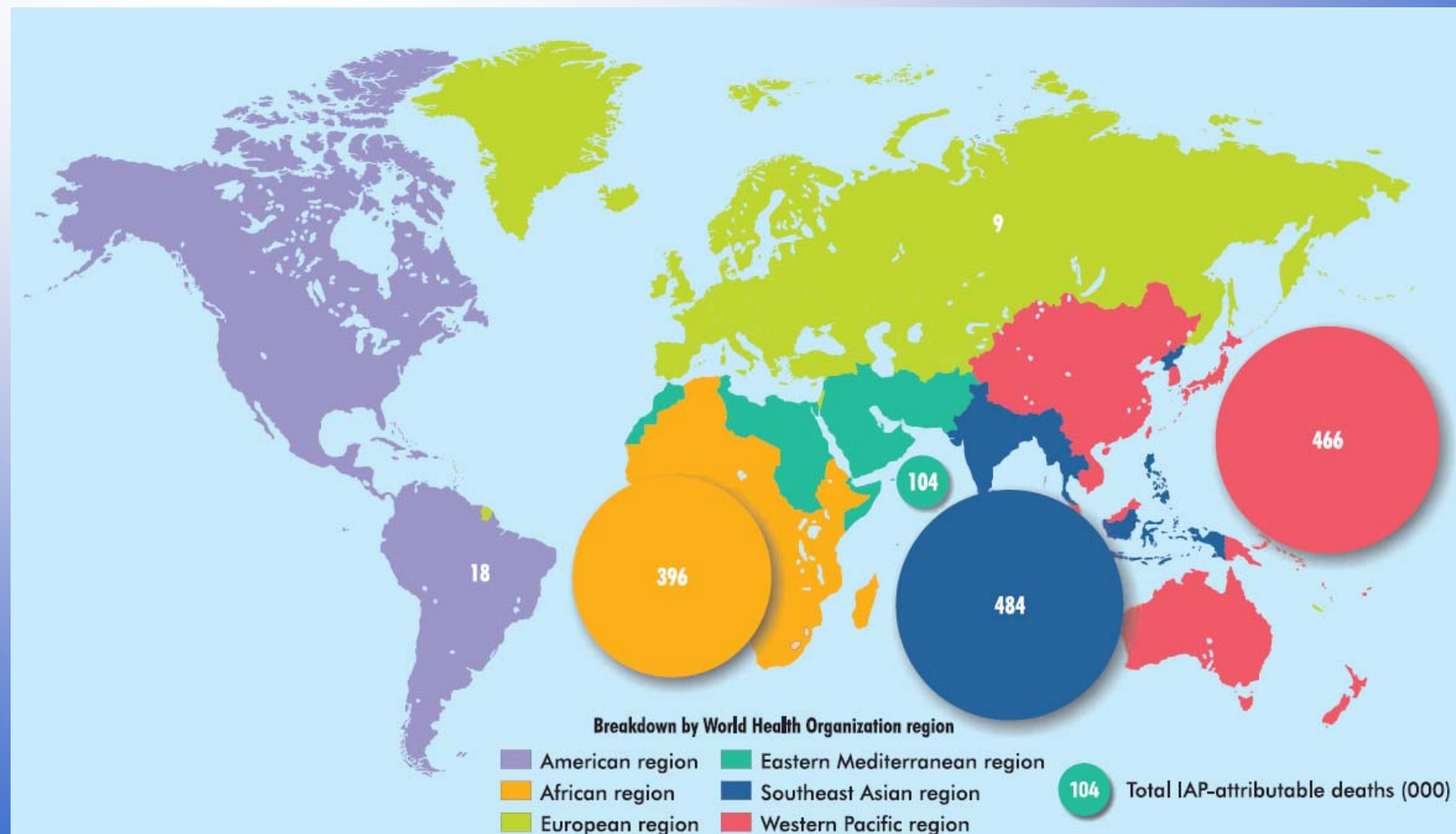


Revenu et sources d'énergie



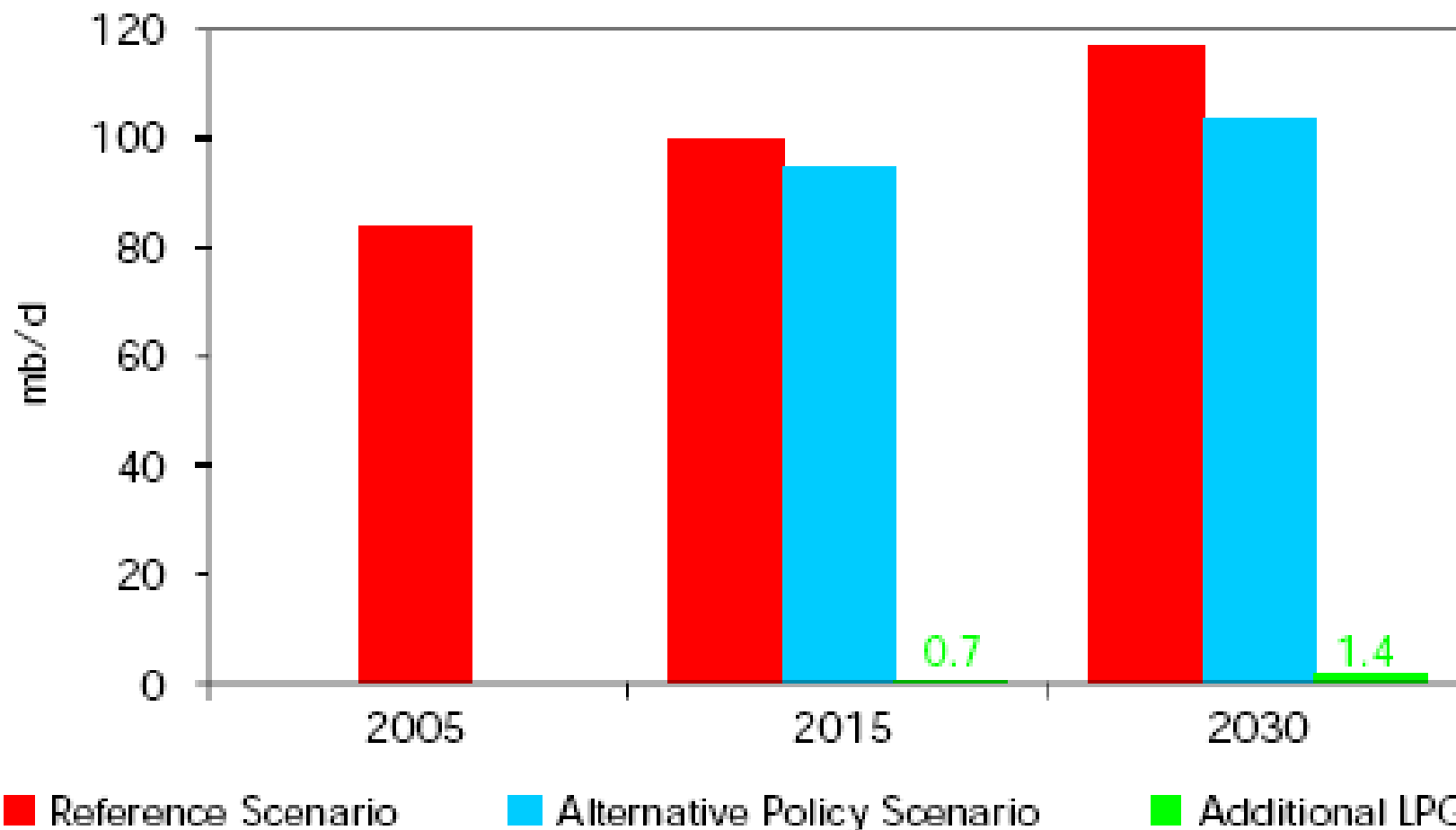


Décès dûs à la pollution intérieure





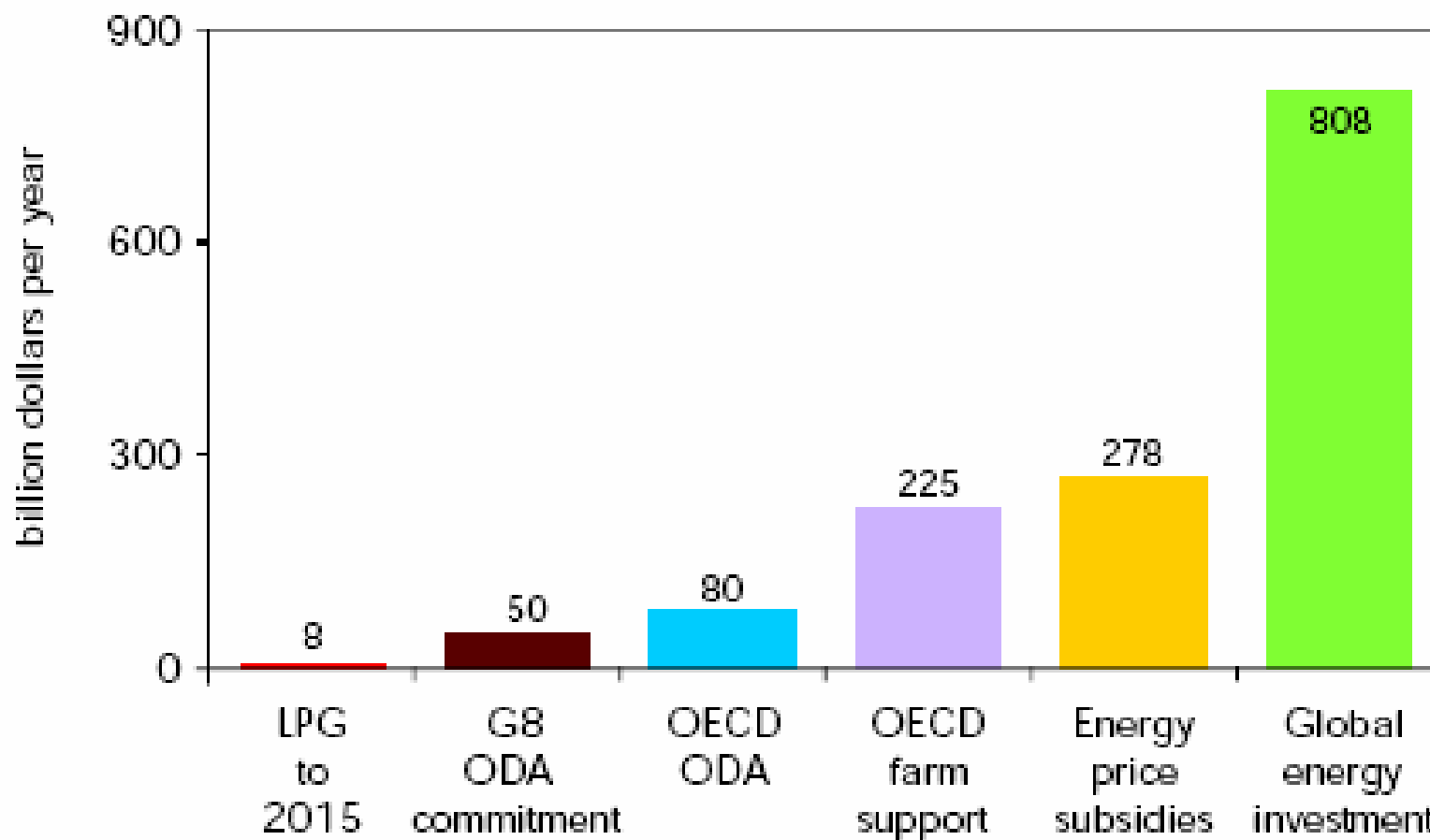
Remplacer la biomasse par du GPL....



Augmenterait la demande mondiale de pétrole de 1,4% in 2030



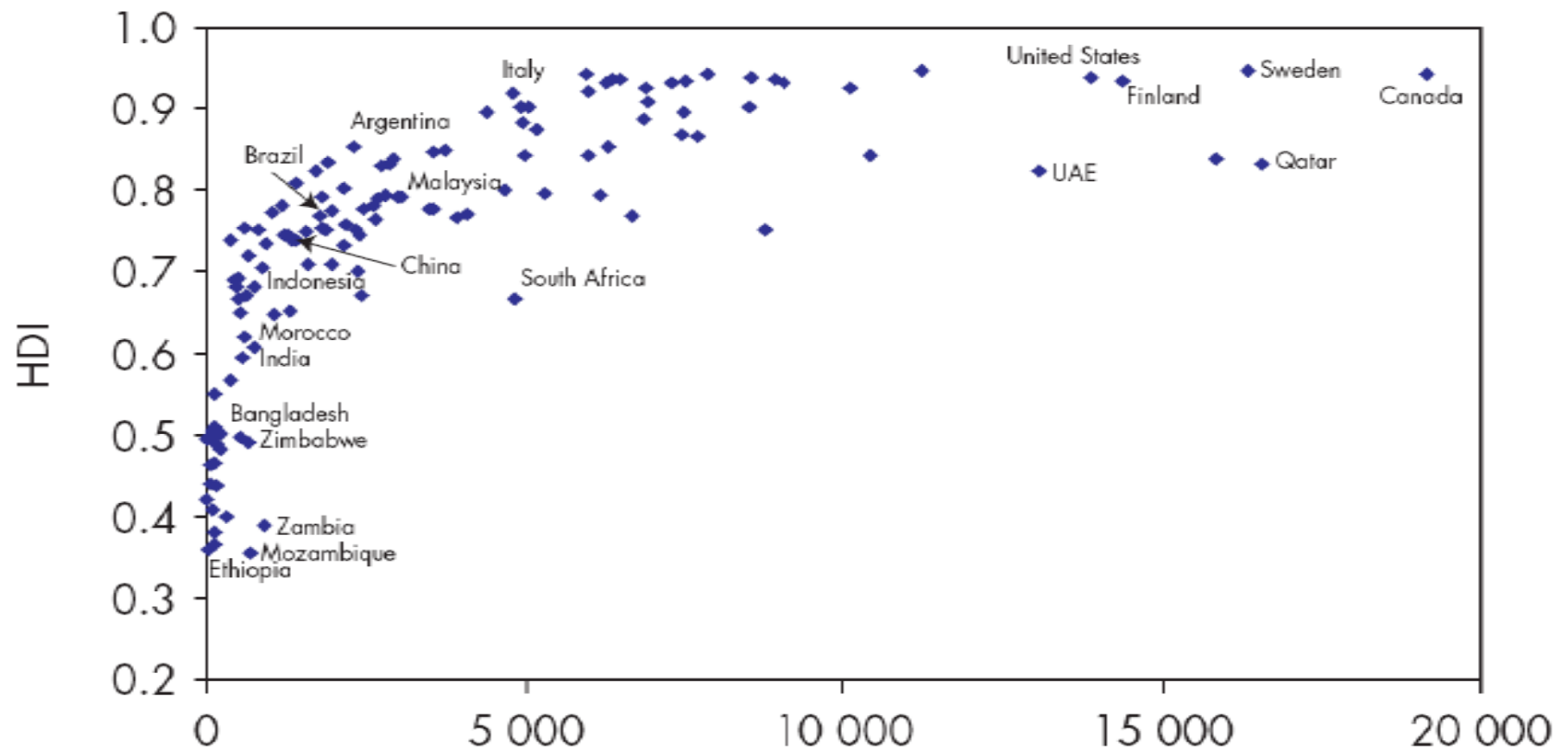
Coût du GPL requis...



Le coût total de la conversion des ménages au GPL serait de 8 milliards de dollars par an jusqu'en 2015



Electricité et développement humain



Au-delà de 5 000 kWh par an, l'indice ne s'améliore plus

kWh/an/tête



Les dimensions de la sécurité énergétique

- A court terme:

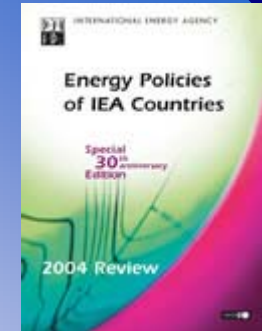
- ◆ Réserves stratégiques (e.g. pétrole, gaz...)
- ◆ Gérer les pénuries accidentelles ou liées à des événements climatiques extrêmes
- ◆ Equilibrer offre et demande d'électricité

- A long terme:

- ◆ Assurer les investissements, la R&D, l'efficacité énergétique
- ◆ Obtenir un prix 'fair' et limiter la volatilité
- ◆ Diversifier les combustibles et les fournisseurs



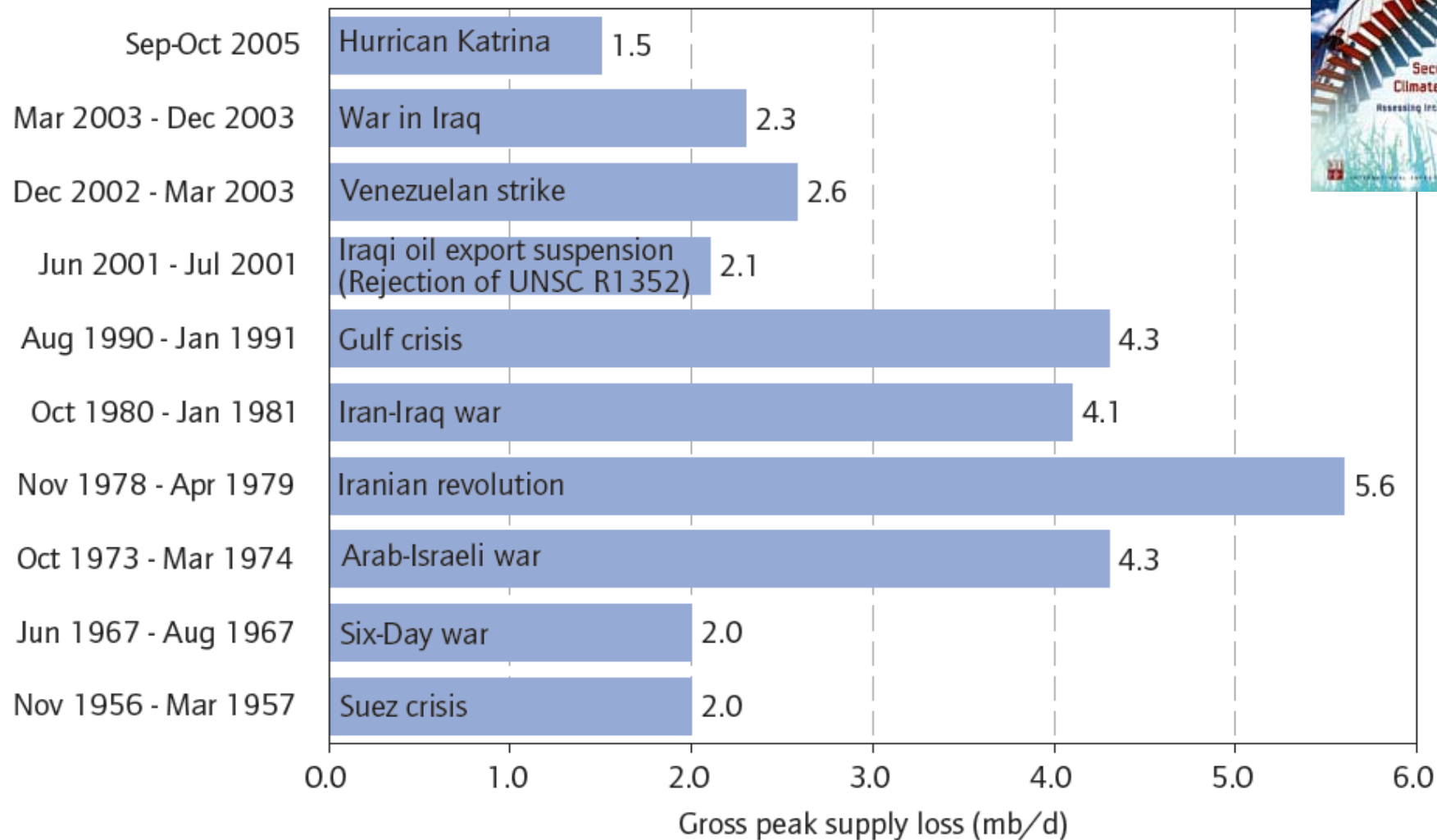
Sécurité énergétique



- L'AIE assure le respect des obligations (stocks de 3 mois d'importations) du Programme Energétique International
- Accroître l'exploration des ressources domestiques de pétrole et gaz par des mesures fiscales et réglementaires
- Accroître la diversité des sources de pétrole et gaz
- Définir clairement objectifs et responsabilités des différents acteurs pour la sécurité d'approvisionnement en gaz et électricité.
- Soutenir l'investissement par un environnement réglementaire stable, des prix reflétant les coûts, l'évaluation des investissements nécessaires, l'envoi des signaux appropriés aux investisseurs, et faciliter les autorisations des infrastructures énergétiques.



World oil supply disruptions



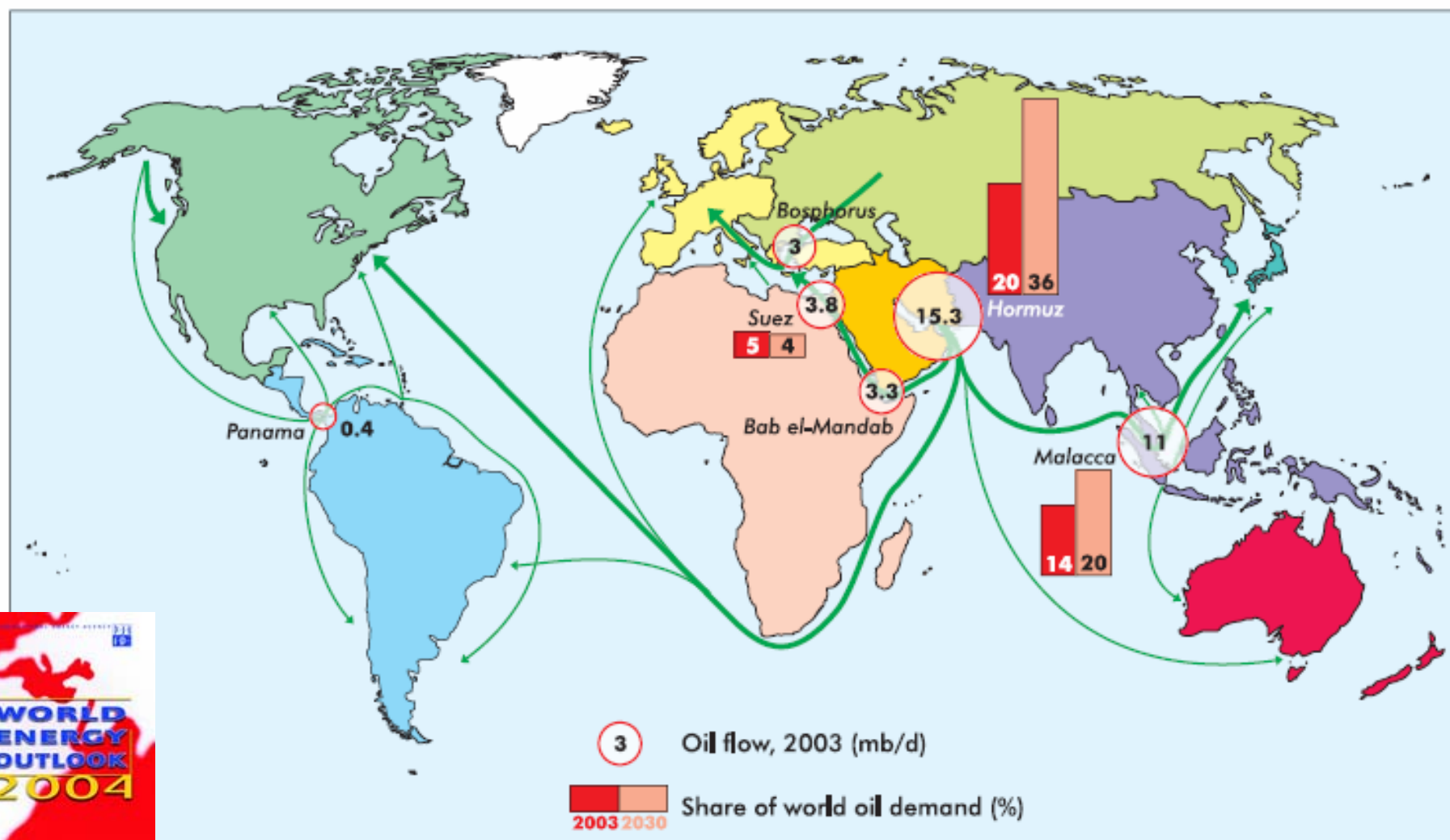
Source: US Department of Energy and the IEA Secretariat.

Note: Initial production loss only.



Pétrole: détroits vulnérables

Figure 3.25: Oil Flows and Major Chokepoints, 2003



Sécurité du gas naturel

- **Reserves globales :**
 - ◆ Proche-orient 41%
 - ◆ Russie 32%
 - ◆ OCDE 9%
- **Dépendance aux importations (2010)**
 - ◆ < 10% en N. Amérique
 - ◆ 48% en Europe
 - ◆ 63% pour l'Asie-Pacifique
- **Mais la dépendance est réciproque...**

Figure 1 OECD countries' import dependence grows

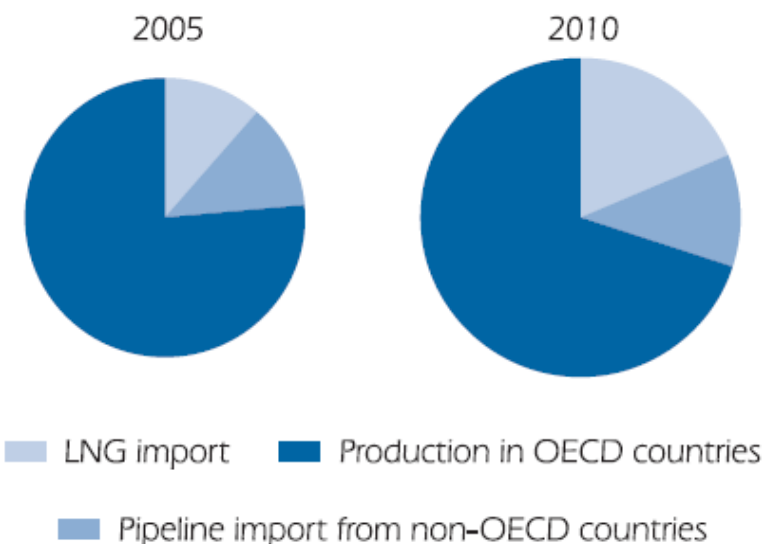
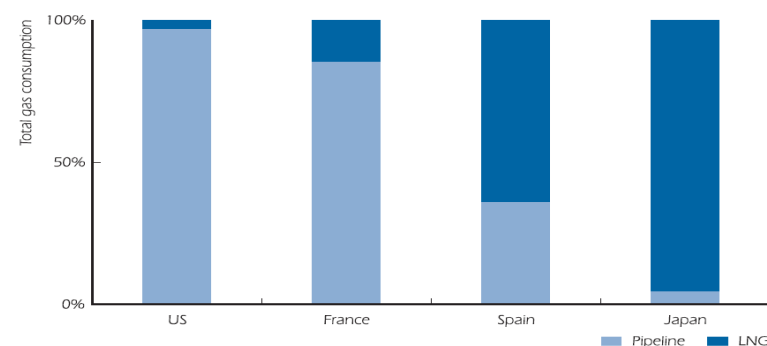
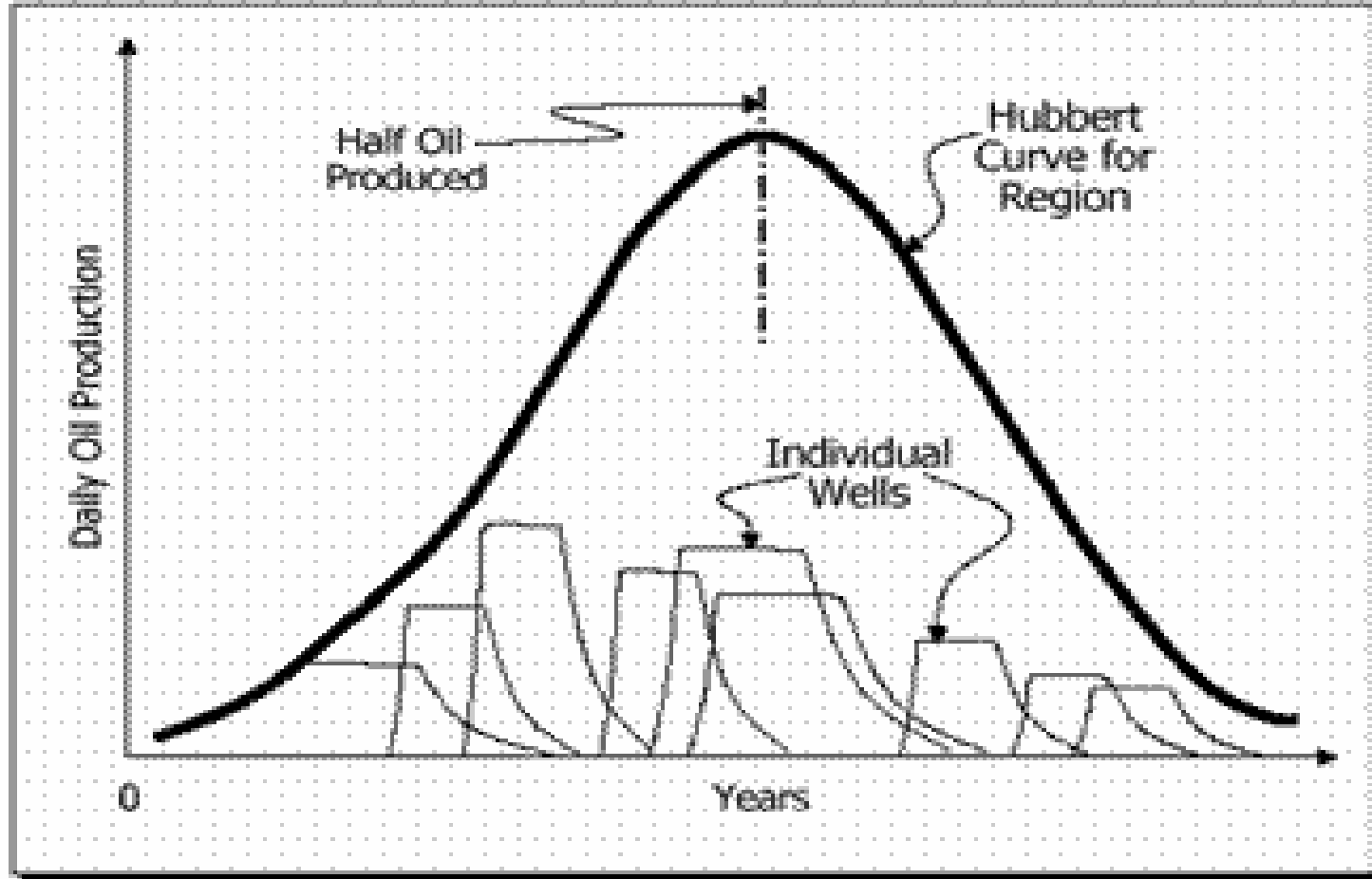


Figure 15 Dependence on LNG varies heavily among OECD countries, 2005



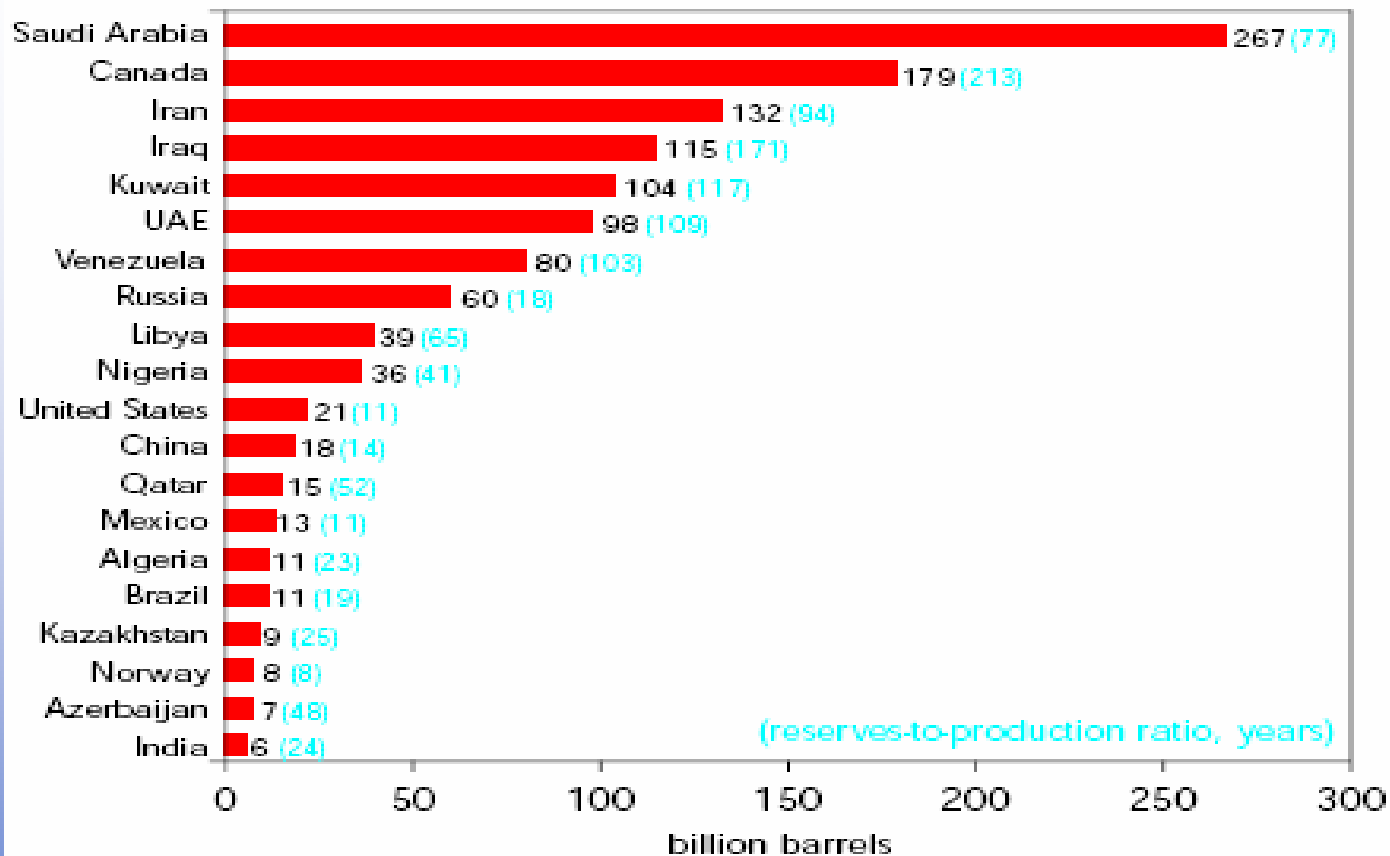
Vers la fin du pétrole?



- Hubbert prédit en 1956 que la production pétrolière américaine (48 lower states) déclinerait dès 1965/70

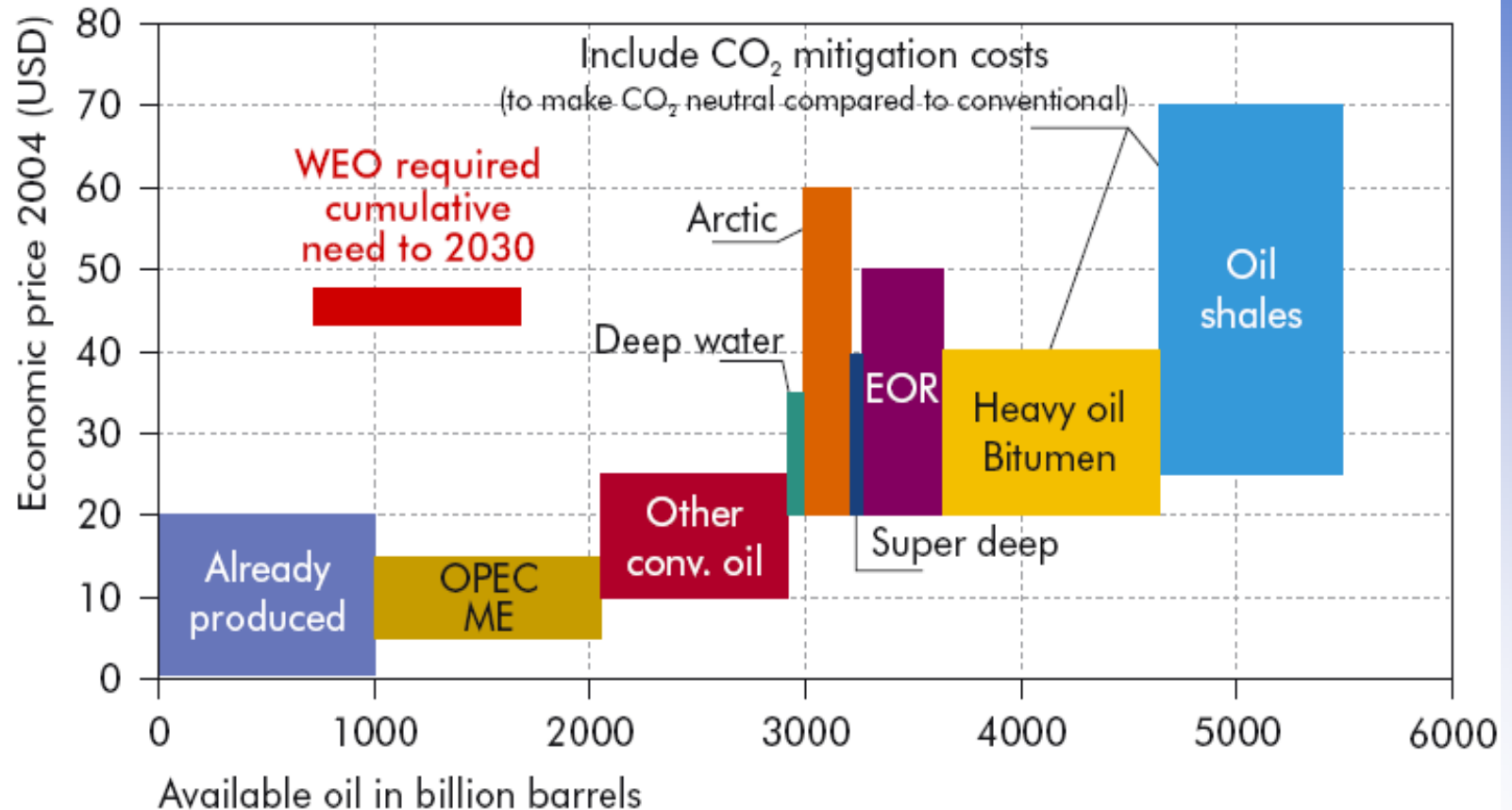


Réserves/consommation: 40 ans



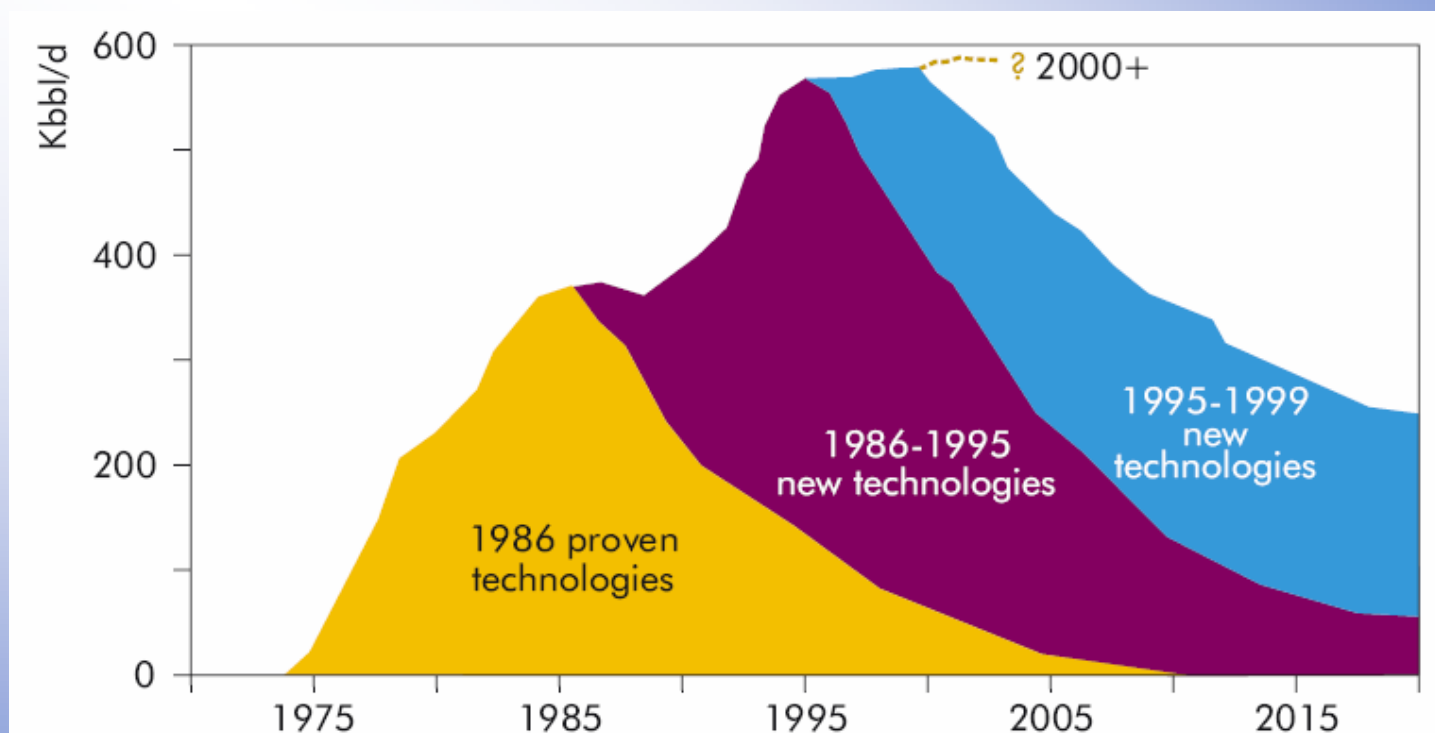
Réserves prouvées à fin 2005; Canada deuxième

Ressources mondiales





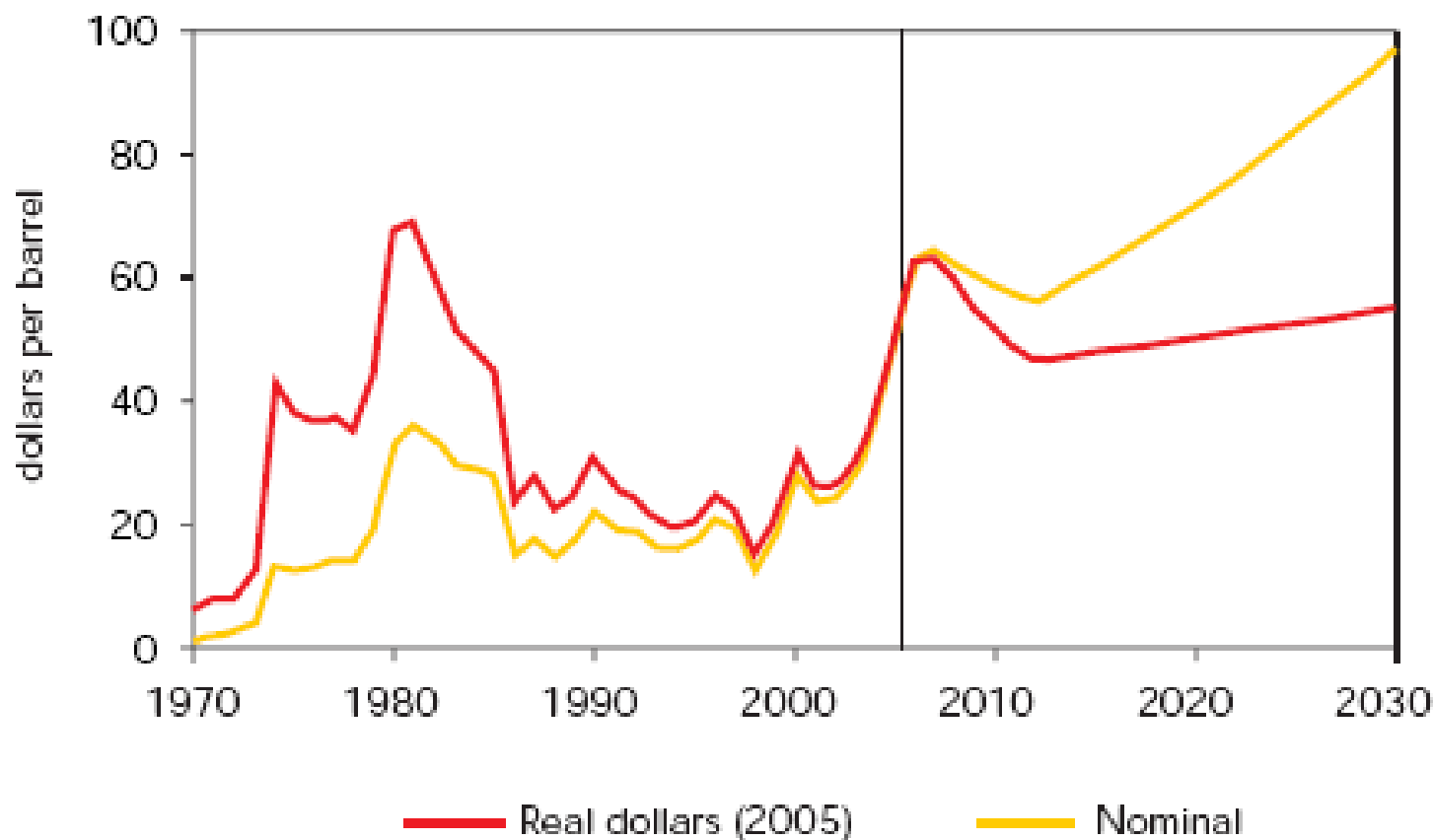
Le rôle de la technologie



L'exemple de la Mer du Nord

Prix moyens du pétrole

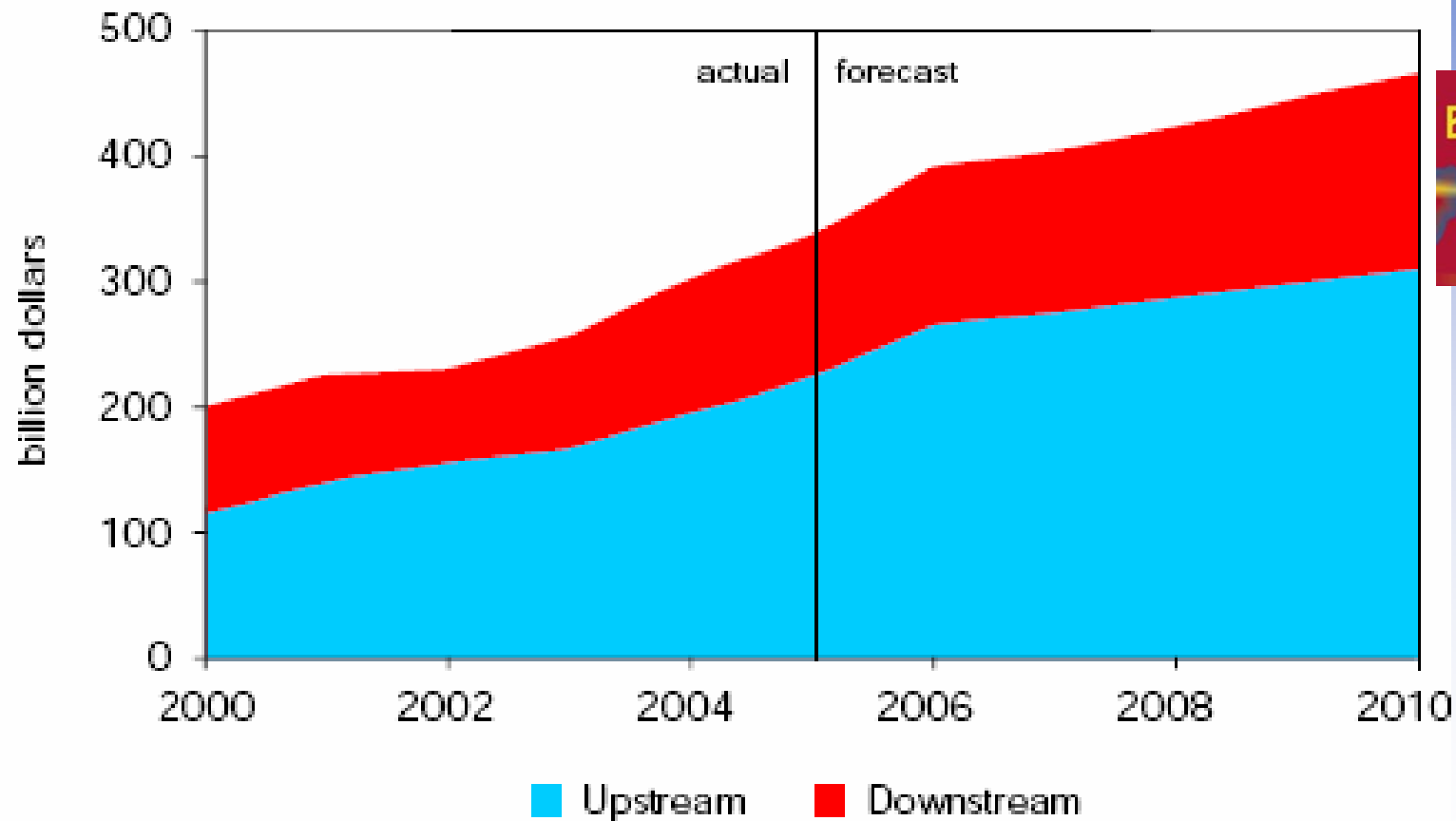
World
Energy
Outlook
2006



Scénario de Référence, investissements sécurisés



Investir pour retrouver des marges



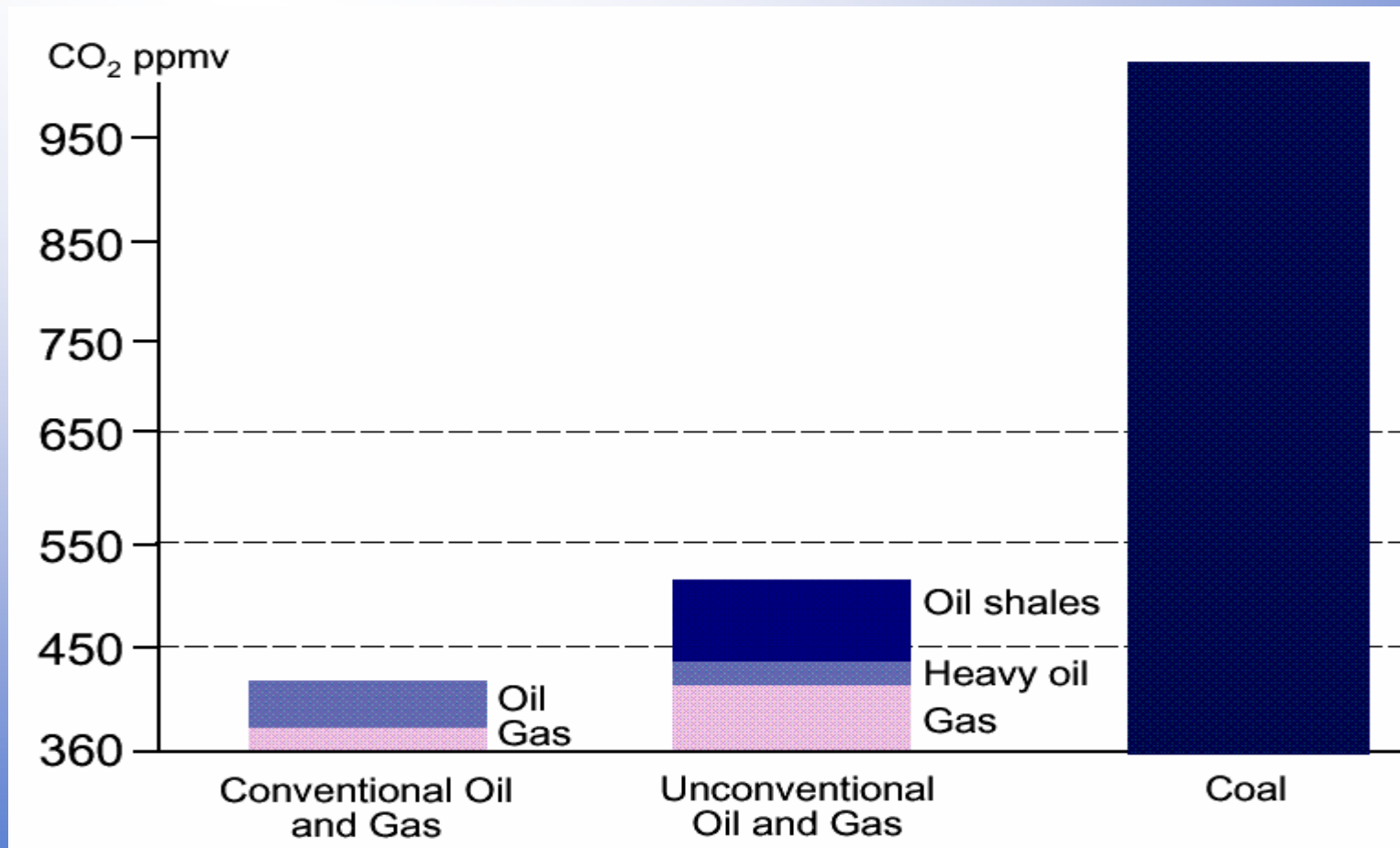
Investissements pétroliers et gaziers



La fin du pétrole?

- Tôt ou tard... mais tôt, ou tard?
- Ressources encore importantes
 - ◆ Conventionnelles et non-conventionnelles
 - ◆ Taux d'exploitation déclinant vs. progrès technique
- La sécurité énergétique se dégrade
 - ◆ Dépendance croissante de l'Ocde (de 56% à 66% - 2030)
 - ◆ Marges de production et de raffinages faibles
 - ◆ Importants investissements nécessaires mais incertains
- La « fin du pétrole » ne résout pas la question climatique
 - ◆ Améliore la compétitivité des économies d'énergie, du nucléaire et des renouvelables, et celle du charbon, y compris pour la production de carburants liquides

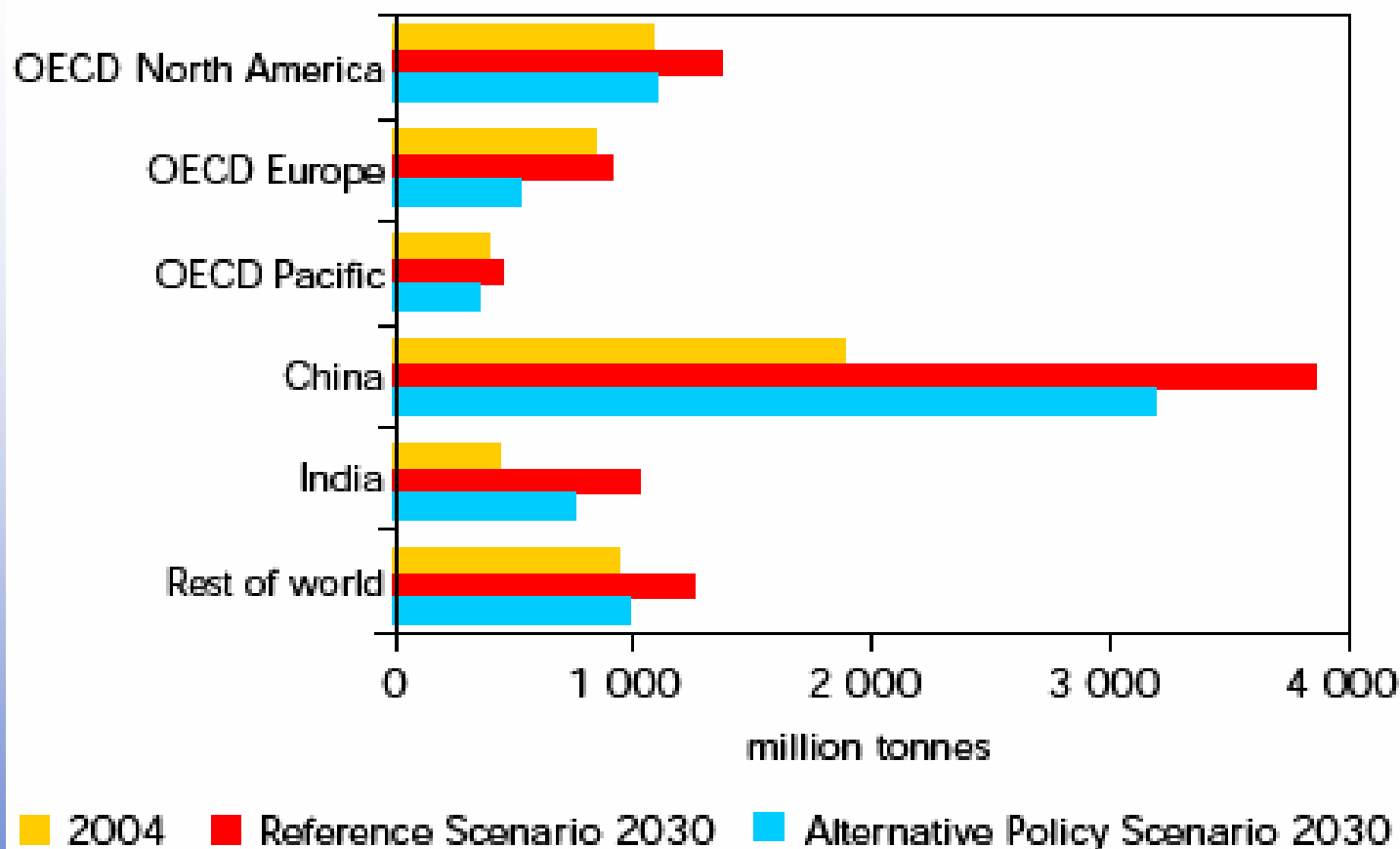
Abondance du charbon



Source: Shell Global scenarios 1998-2020



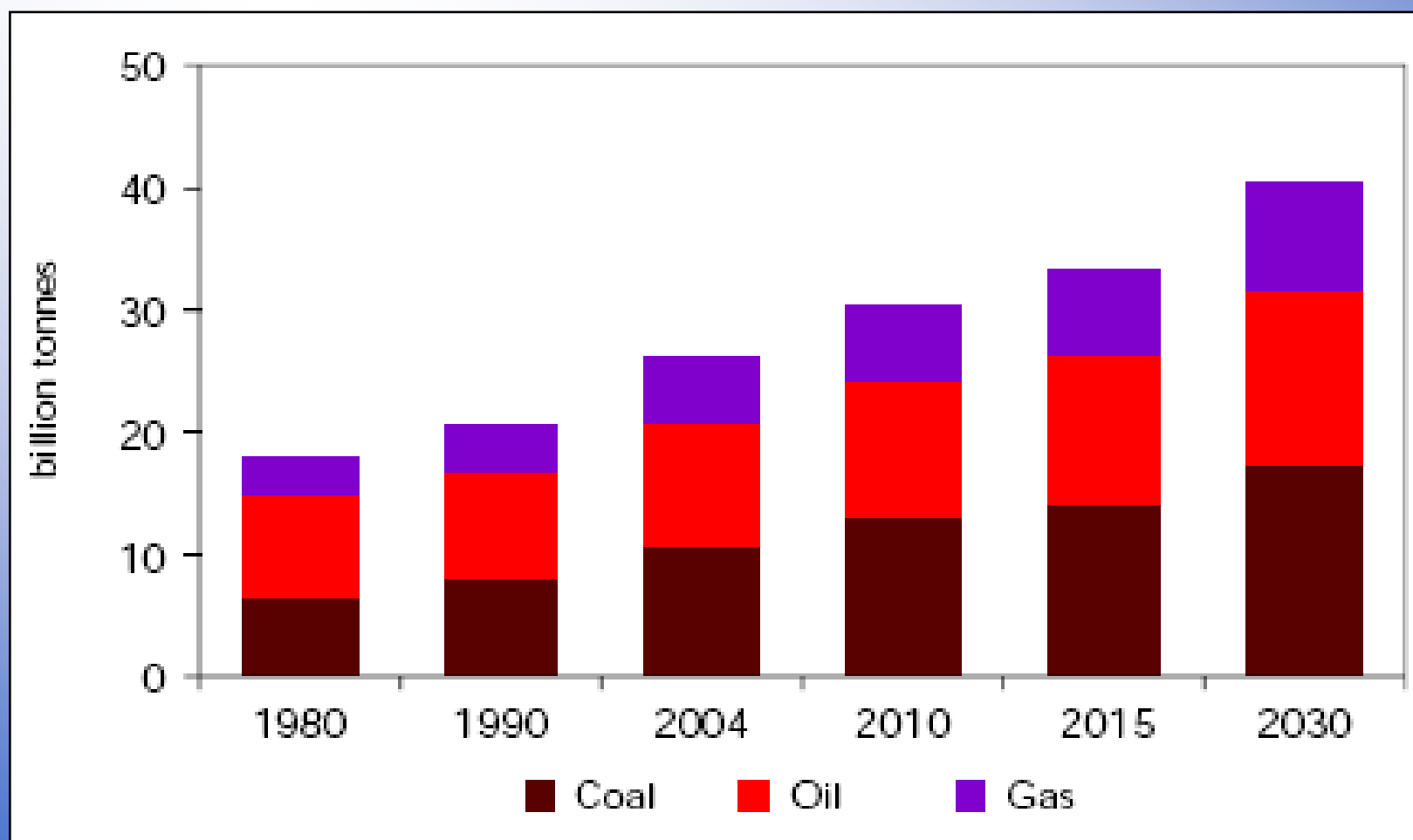
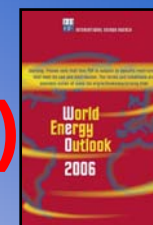
Usage croissant du charbon



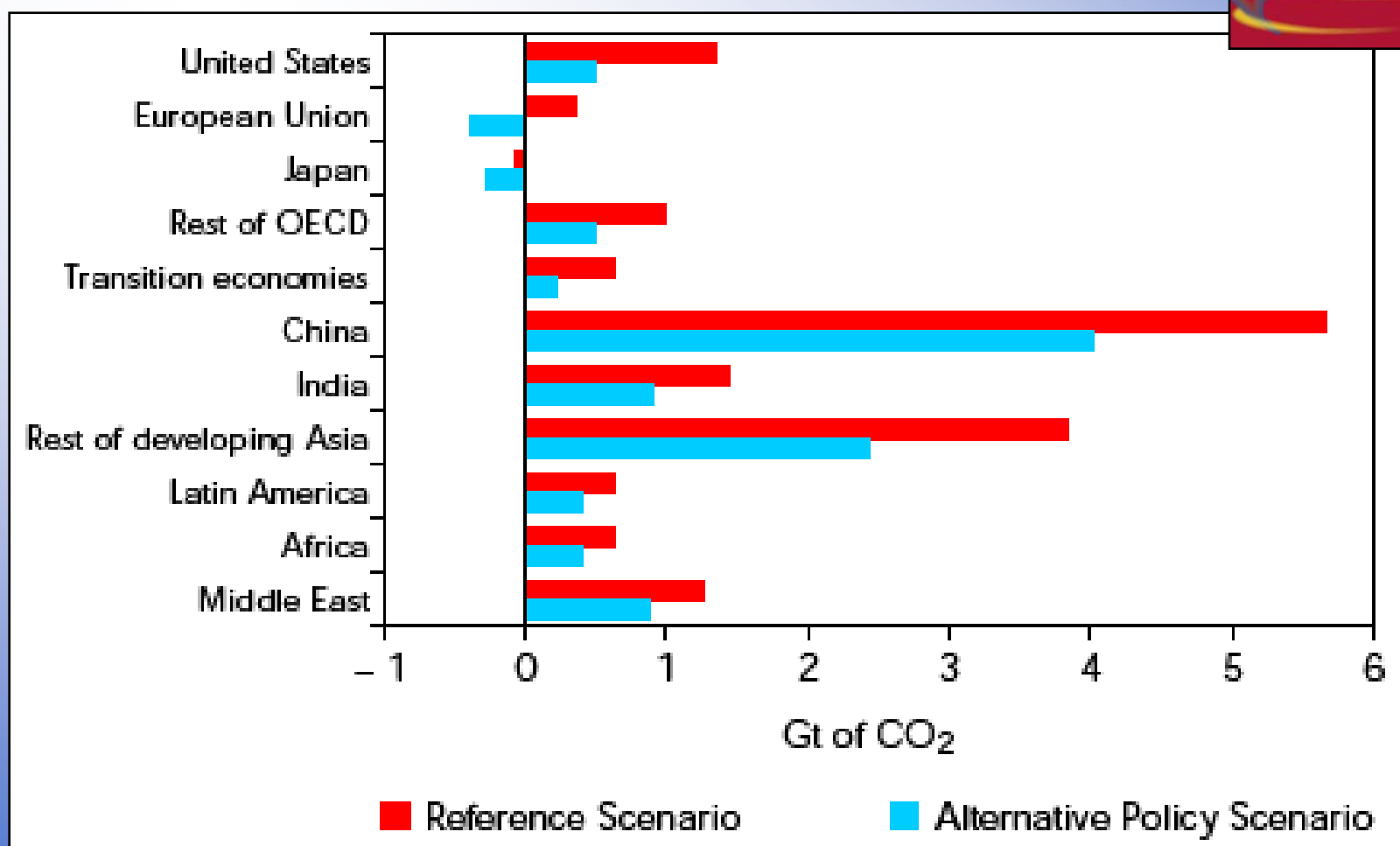
World
Energy
Outlook
2006



Emissions de CO₂ liées à l'énergie par combustible (scénario de référence)



Croissance des émissions (2030)

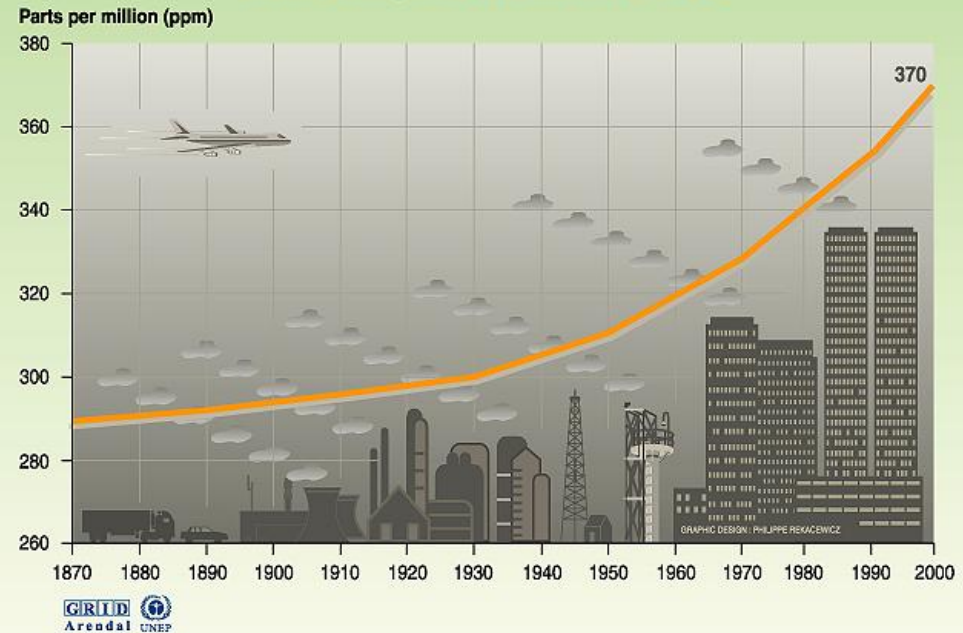




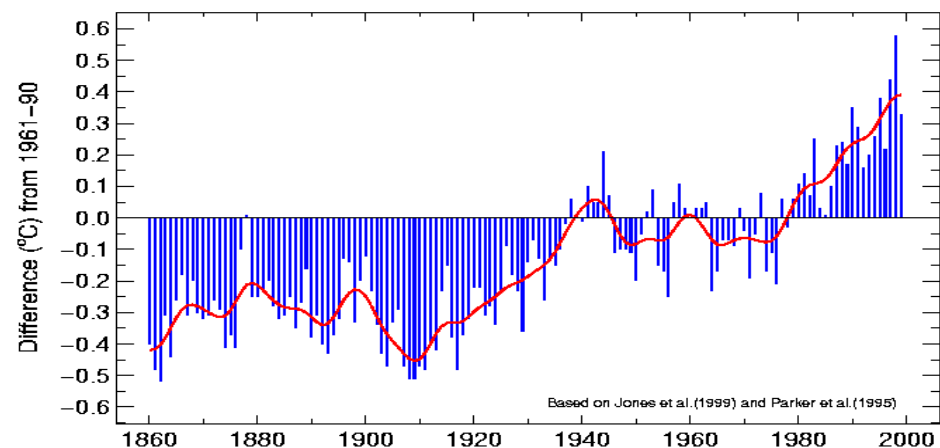
**C'est le
climat le
plus
sérieux
problème!**

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

Global atmospheric concentration of CO₂



Global Average Near-Surface Temperatures
Annual anomalies, 1860 – 1999



The Met. Office

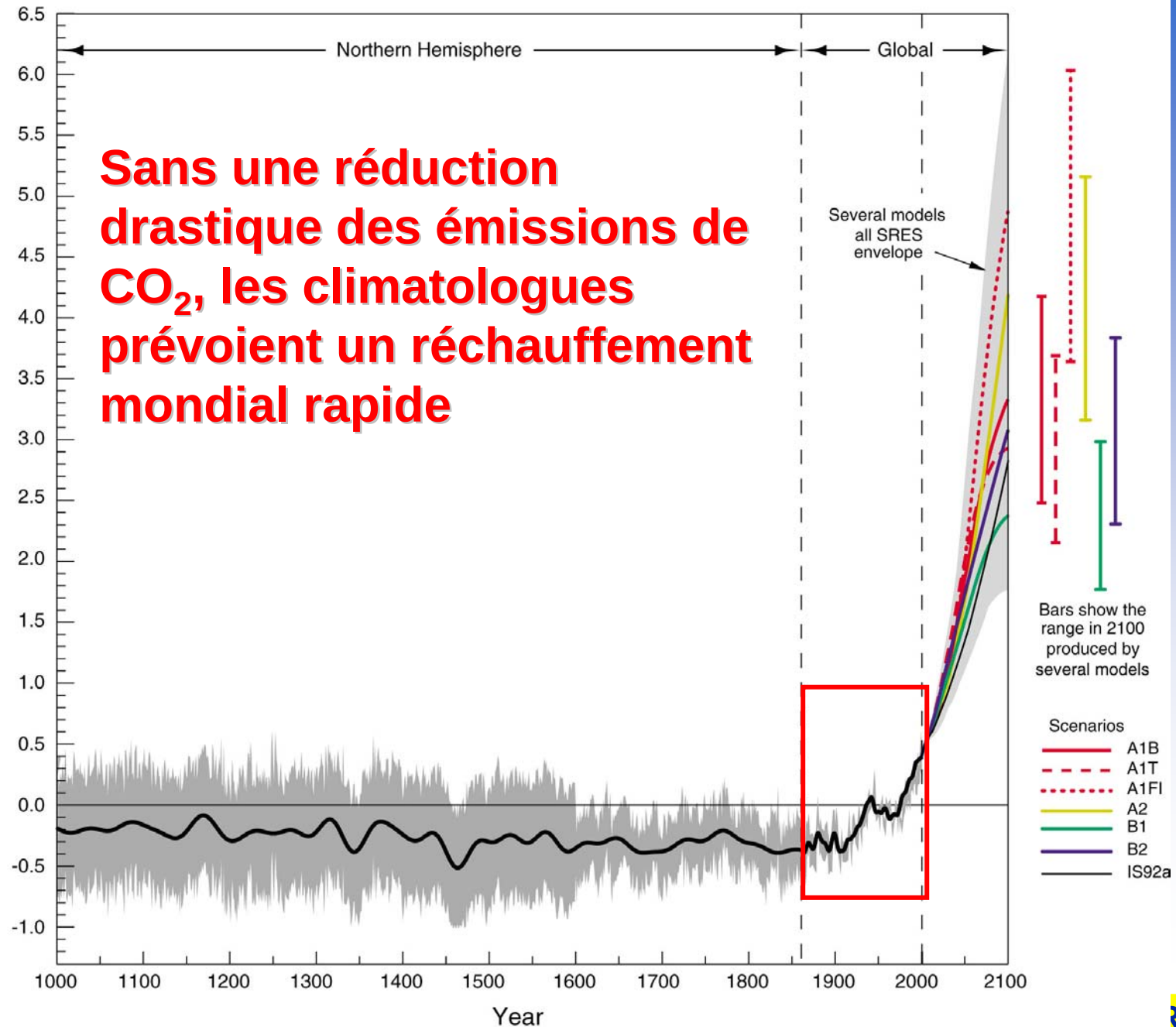
Hadley Centre for Climate Prediction and Research

hadhth 02/03/2000 1555



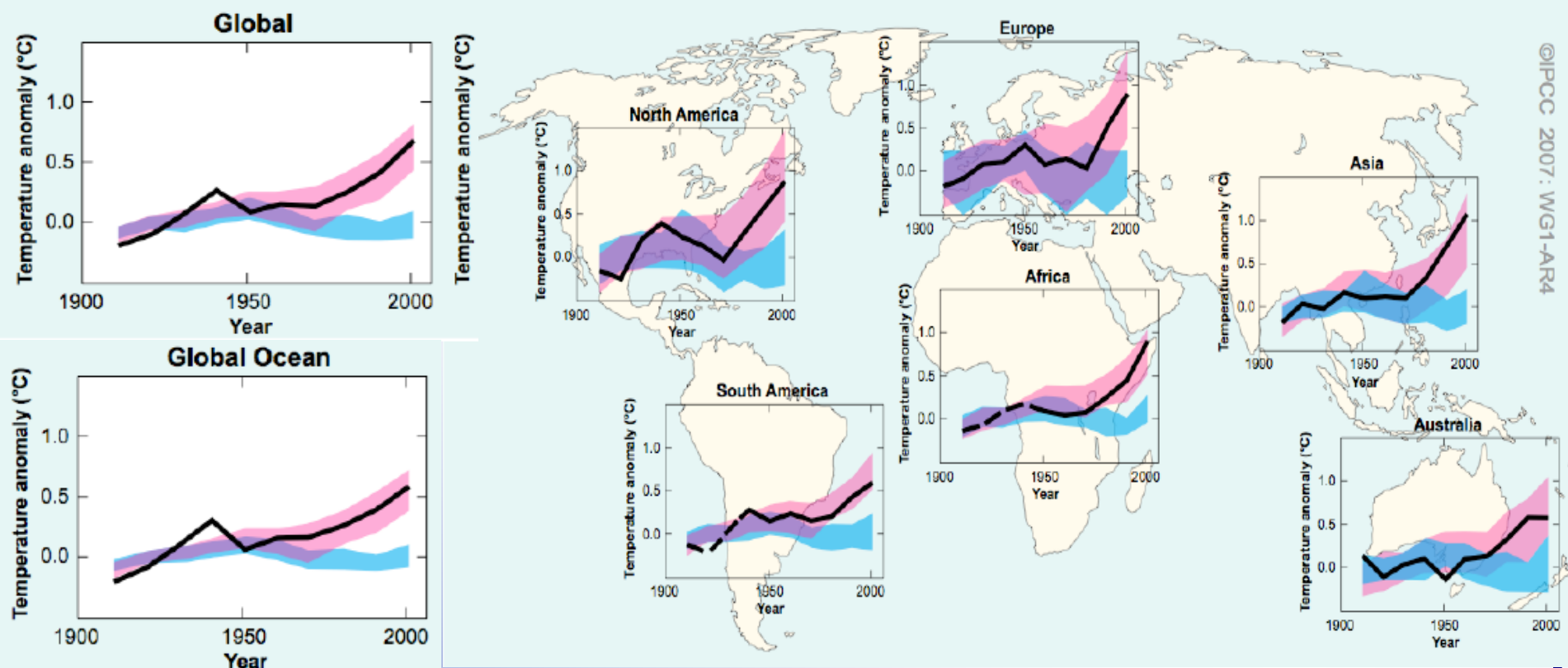
Departures in temperatures (°C) from the 1961–1990 average

**Sans une réduction
drastique des émissions de
CO₂, les climatologues
prévoient un réchauffement
mondial rapide**





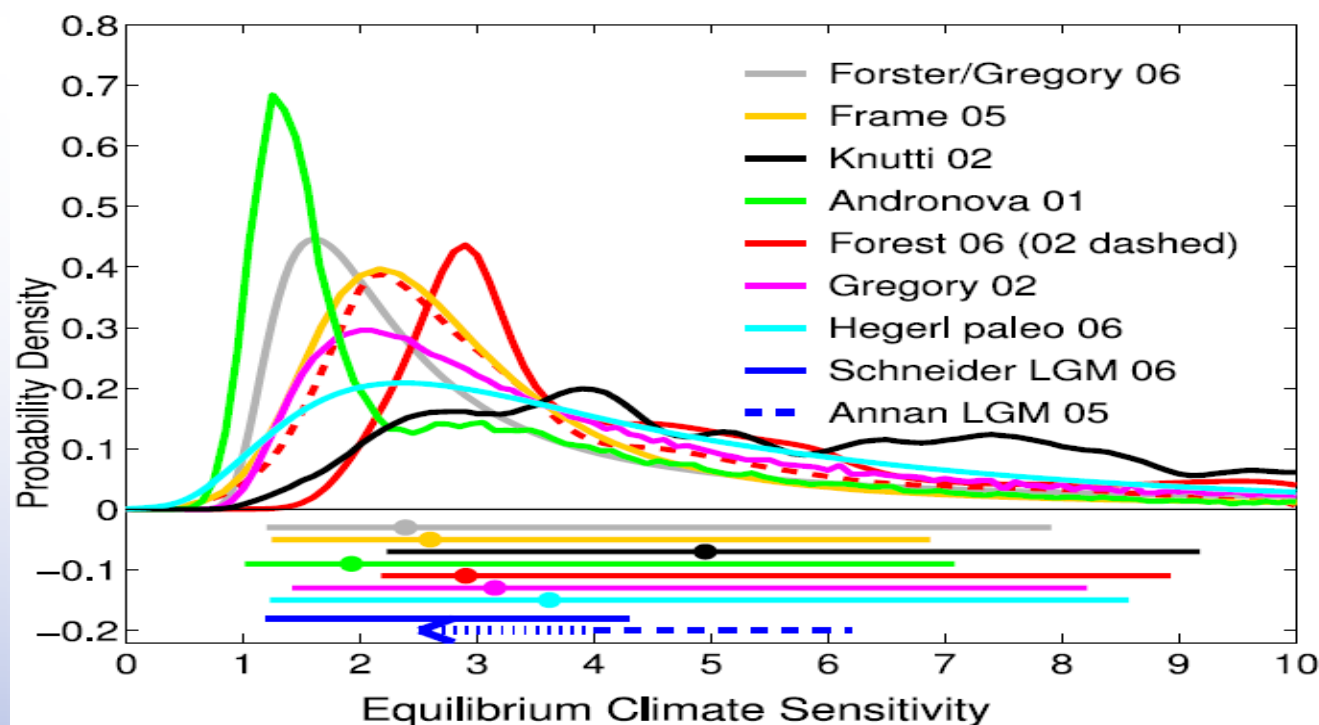
Le 4ème rapport du GIEC (2007): une confiance accrue dans les modèles...



Lignes noires: observations; bandes bleues: forçages naturels; bandes rouges: forçages naturels et anthropiques

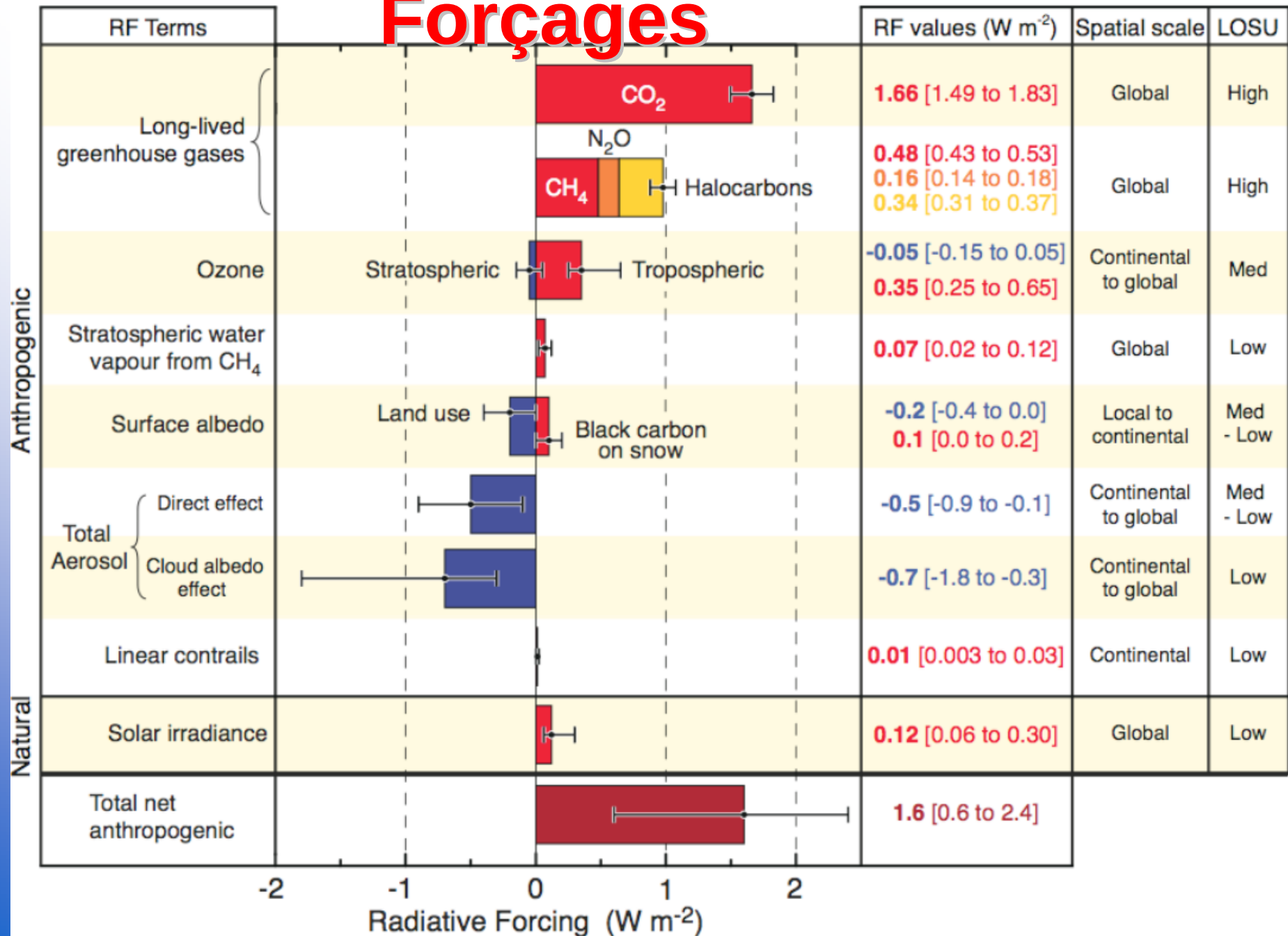


... mais la sensibilité climatique de la Terre reste incertaine



The equilibrium climate sensitivity is a measure of the climate system response to sustained radiative forcing. It is not a projection but is defined as the global average surface warming following a doubling of carbon dioxide concentrations. It is *likely* to be in the range 2 to 4.5°C with a best estimate of about 3°C, and is *very unlikely* to be less than 1.5°C. Values substantially higher than 4.5°C cannot be excluded, but agreement of models with observations is not as good for those values. Water vapour changes represent the largest feedback affecting climate sensitivity and are now better understood than in the TAR. Cloud feedbacks remain the largest source of uncertainty. {8.6, 9.6, Box 10.2}

Forçages



Les conséquences...

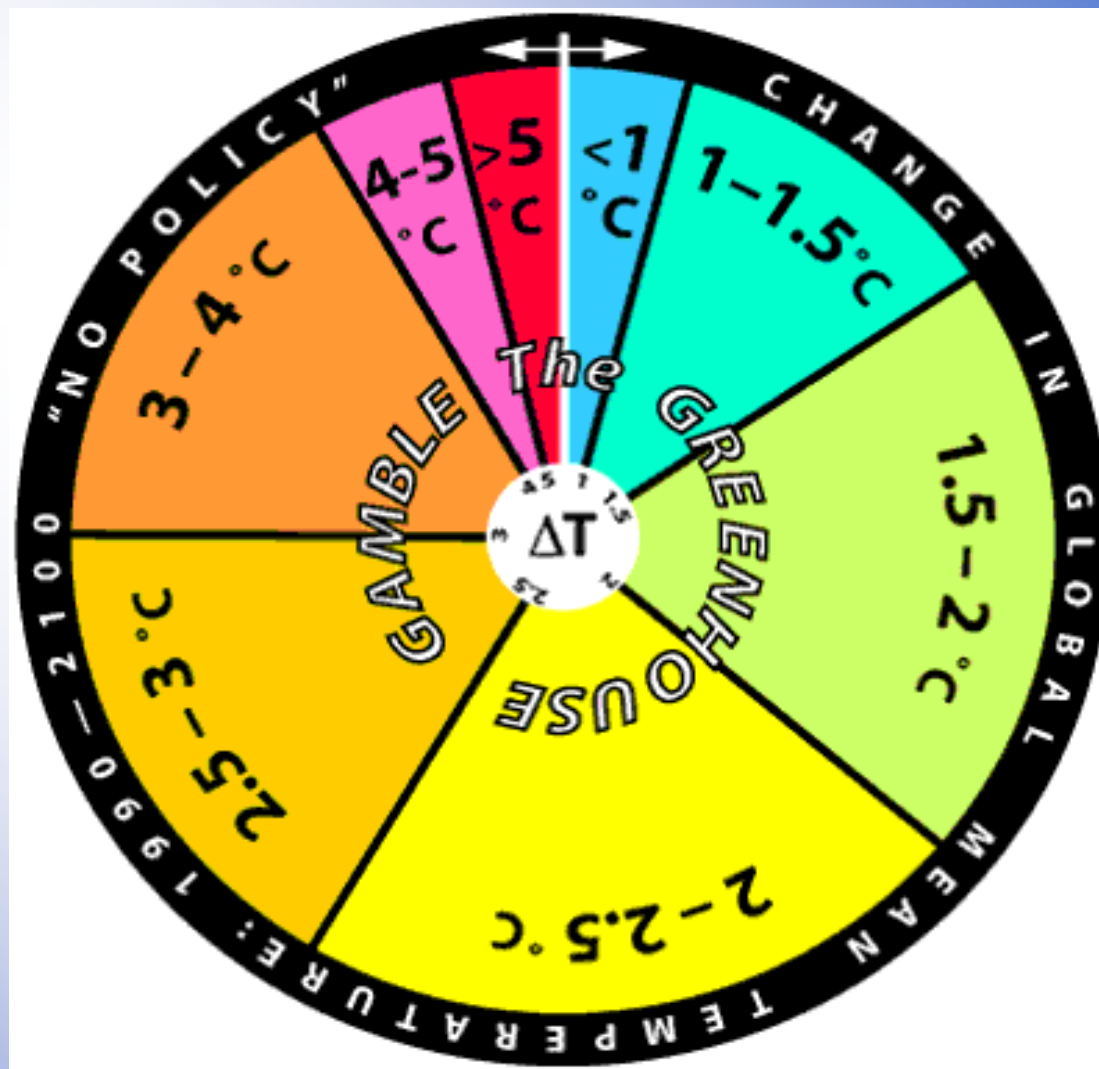
- L'érosion de la biodiversité
- Les réfugiés de l'environnement





La loterie climatique

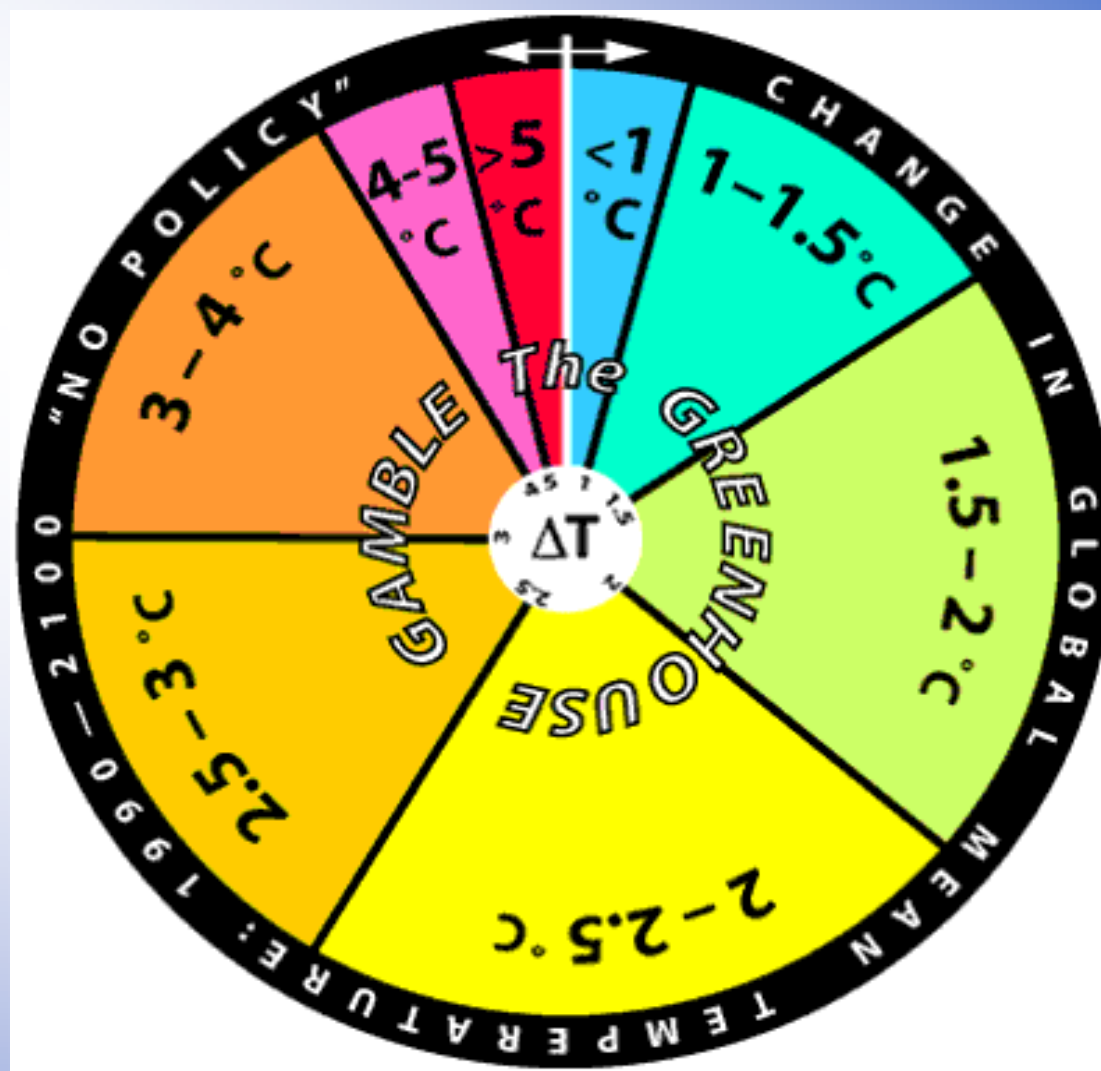
ΔT en 2100
si nous ne
faisons rien





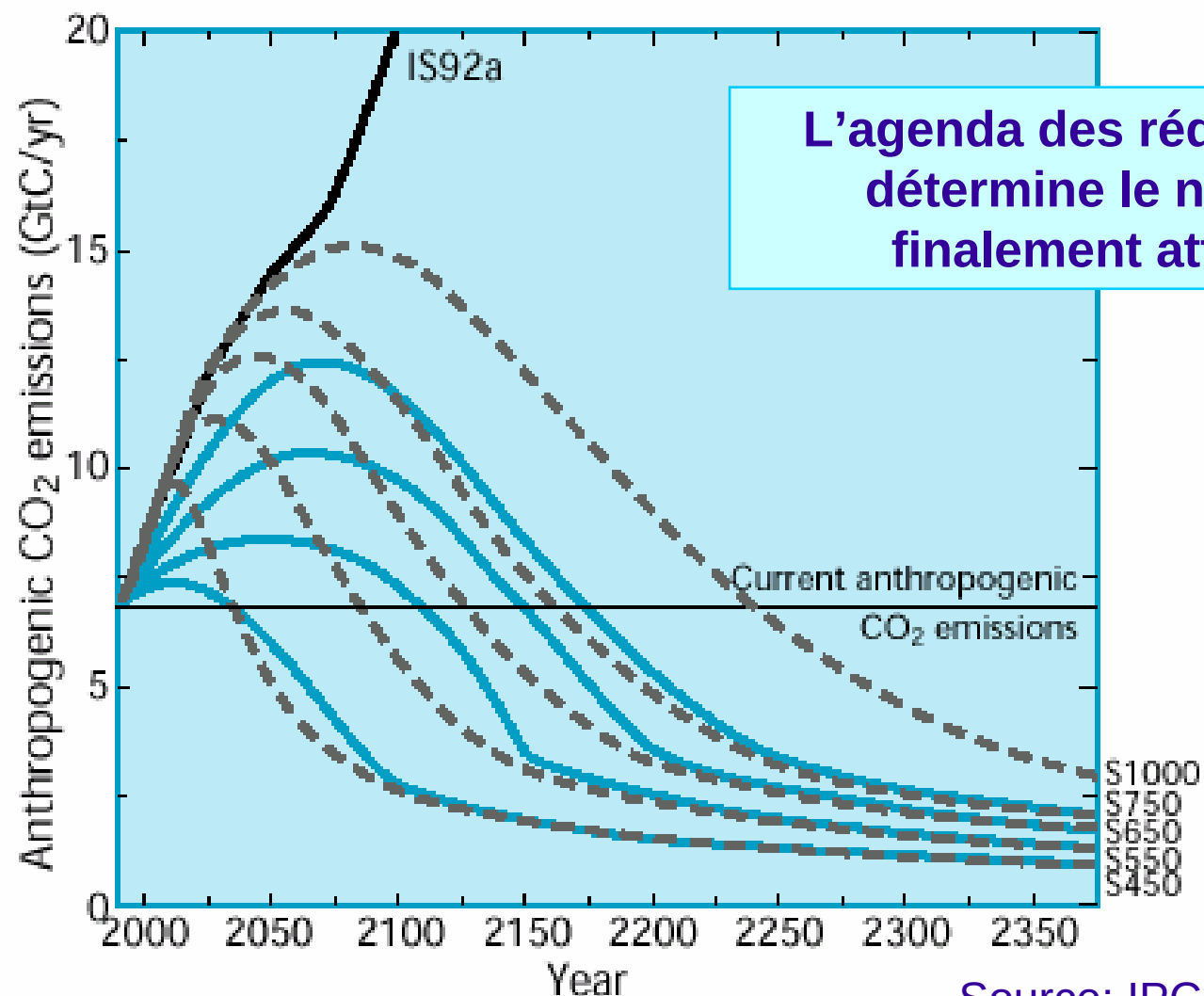
La loterie climatique

ΔT en 2100
si nous ne
faisons rien





Stabiliser la concentration de CO₂

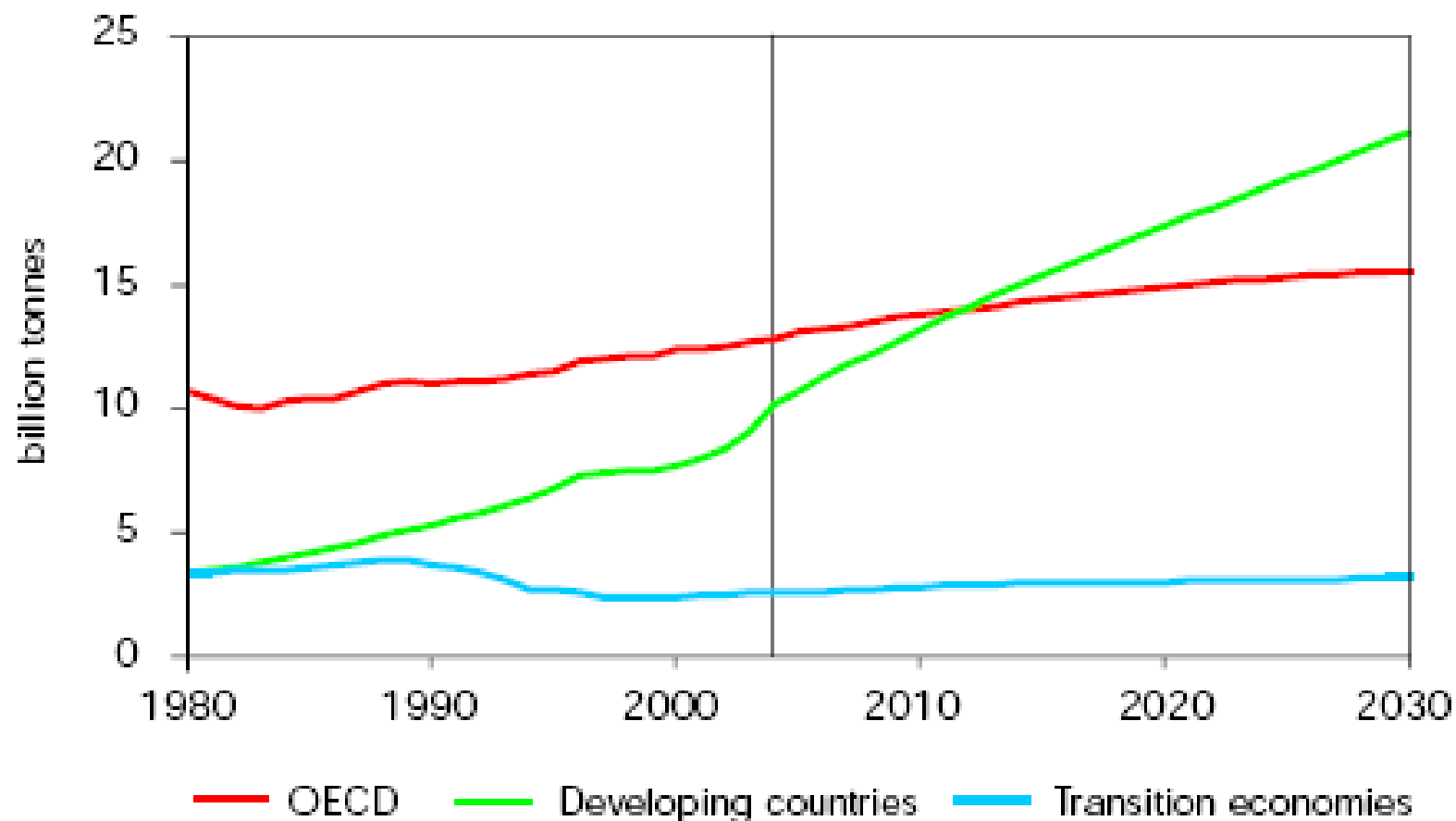


Source: IPCC 1995, 2001



Emissions mondiales de CO₂

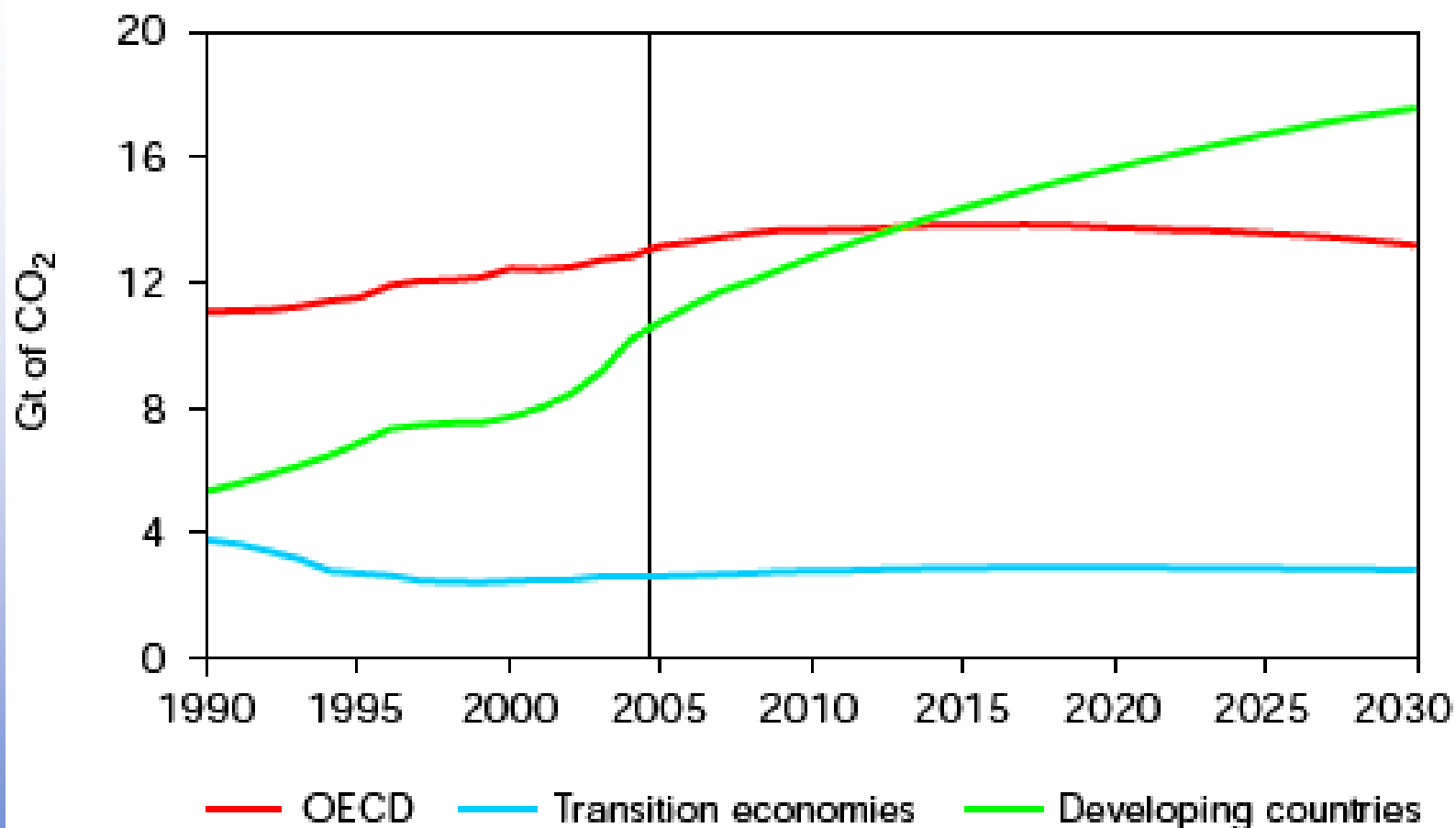
World
Energy
Outlook
2006



Référence: +55%; PED 75%, Chine 39% de la croissance

Scénario alternatif

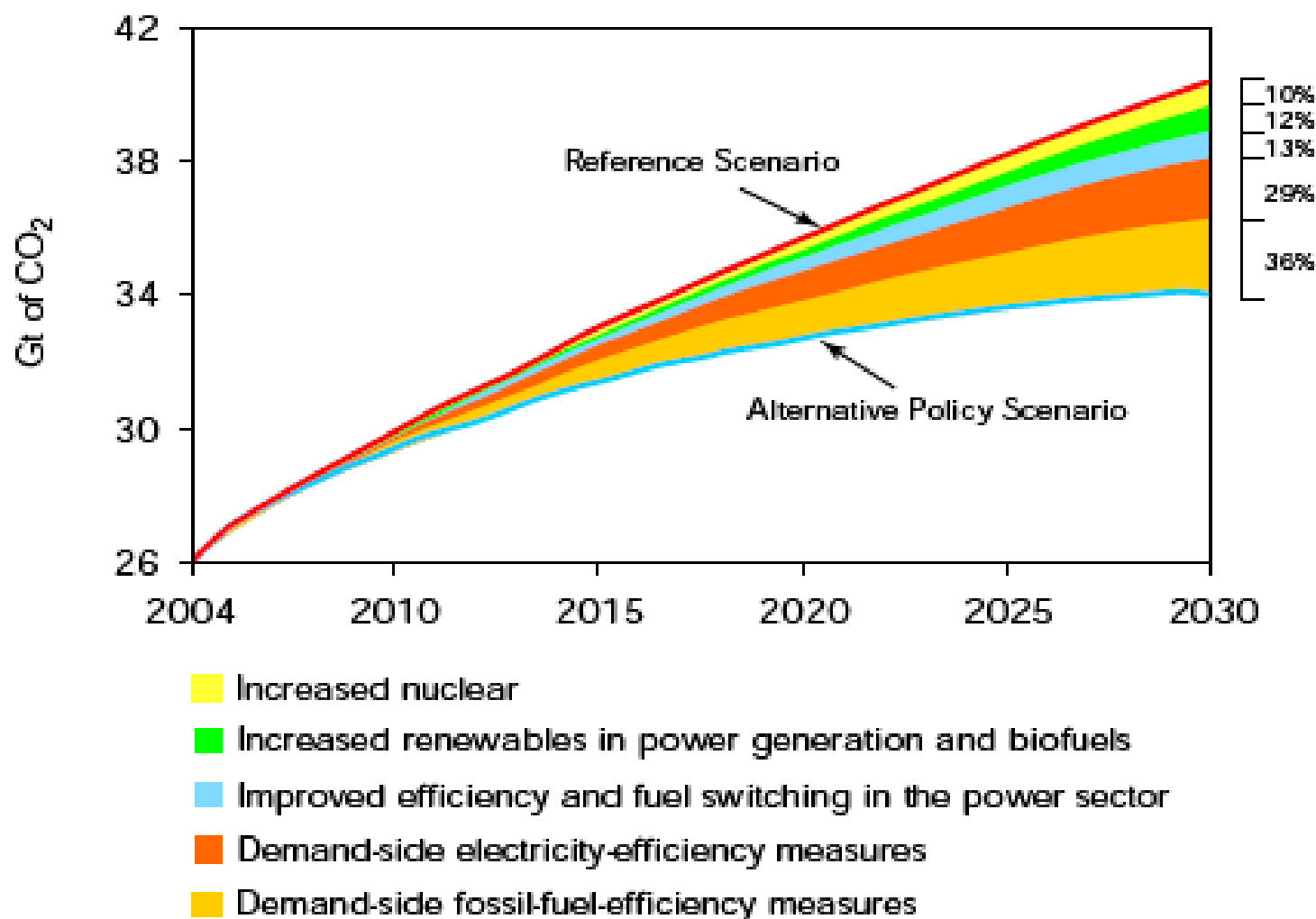
World
Energy
Outlook
2006

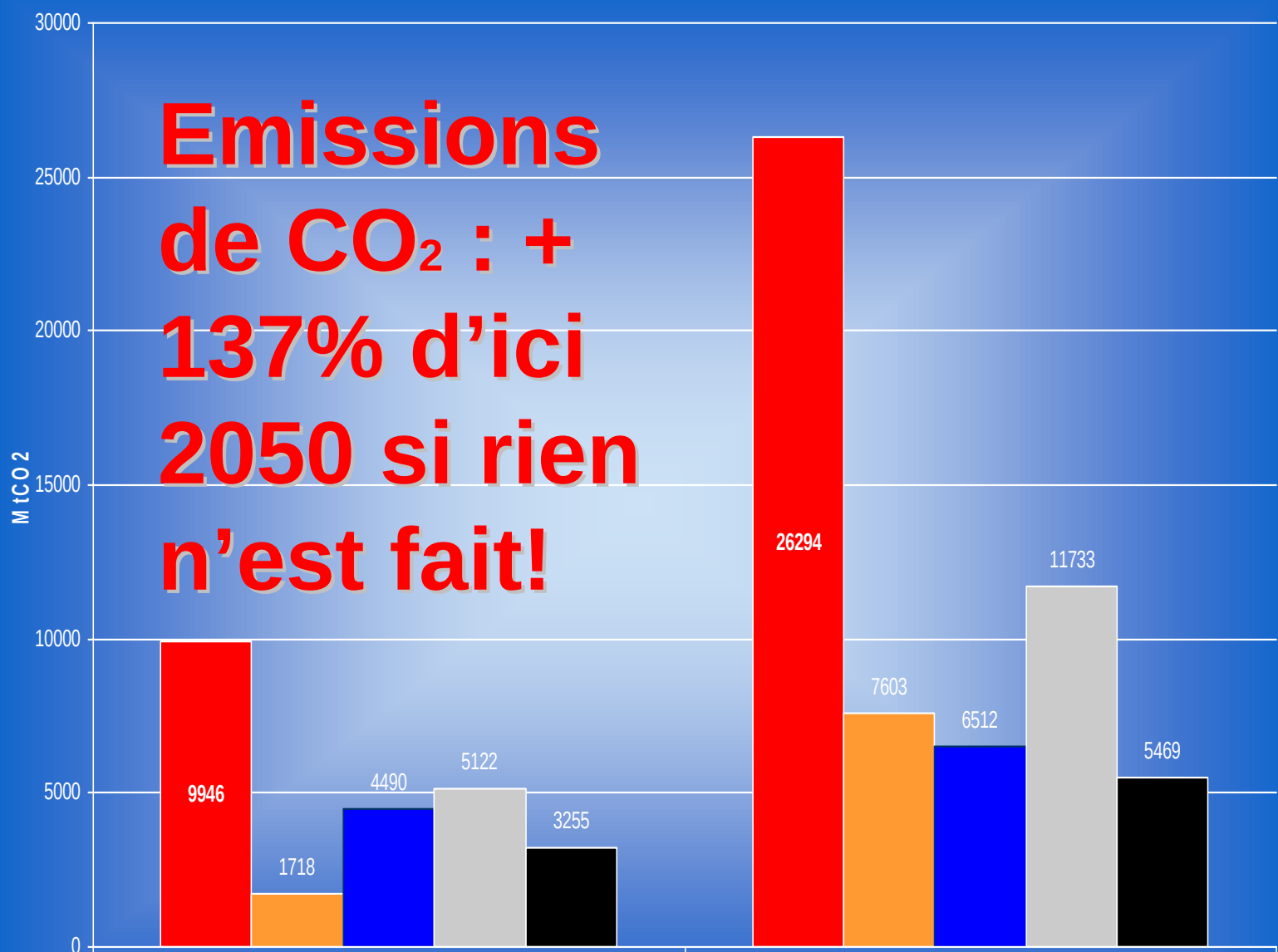


Emissions mondiales de CO₂

Différences entre scénarios

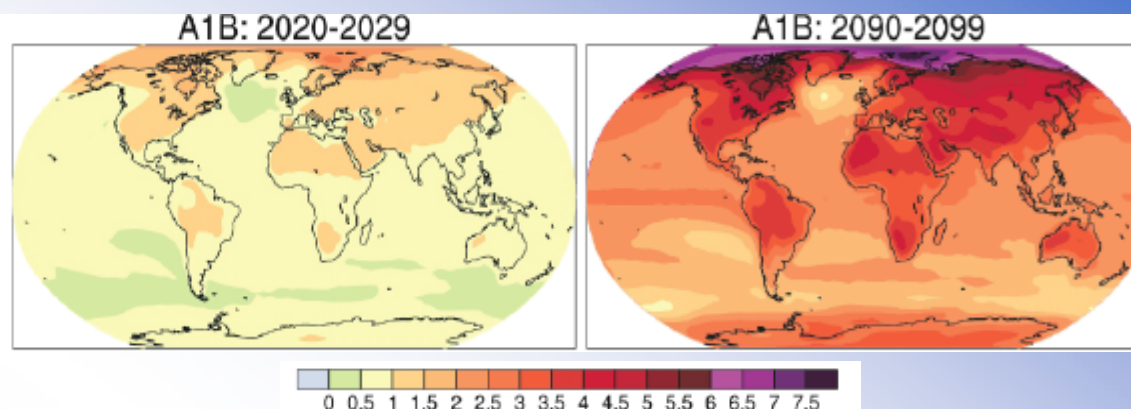
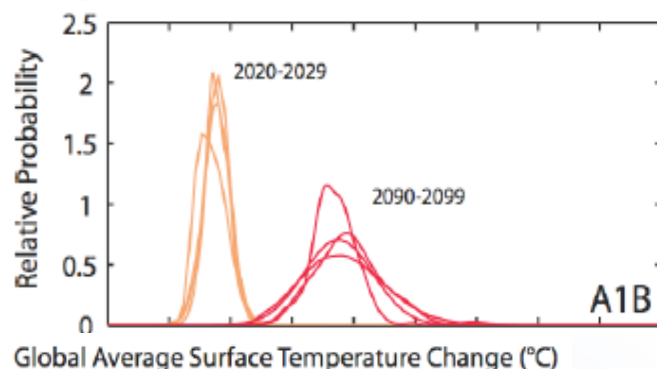
World
Energy
Outlook
2006







Référence proche d'IPCC A1B

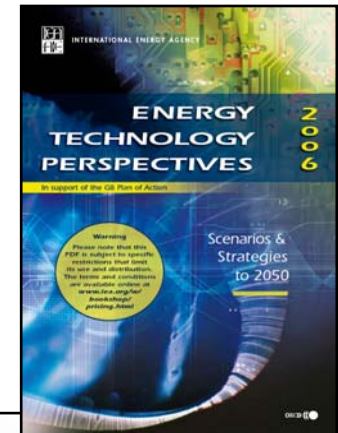
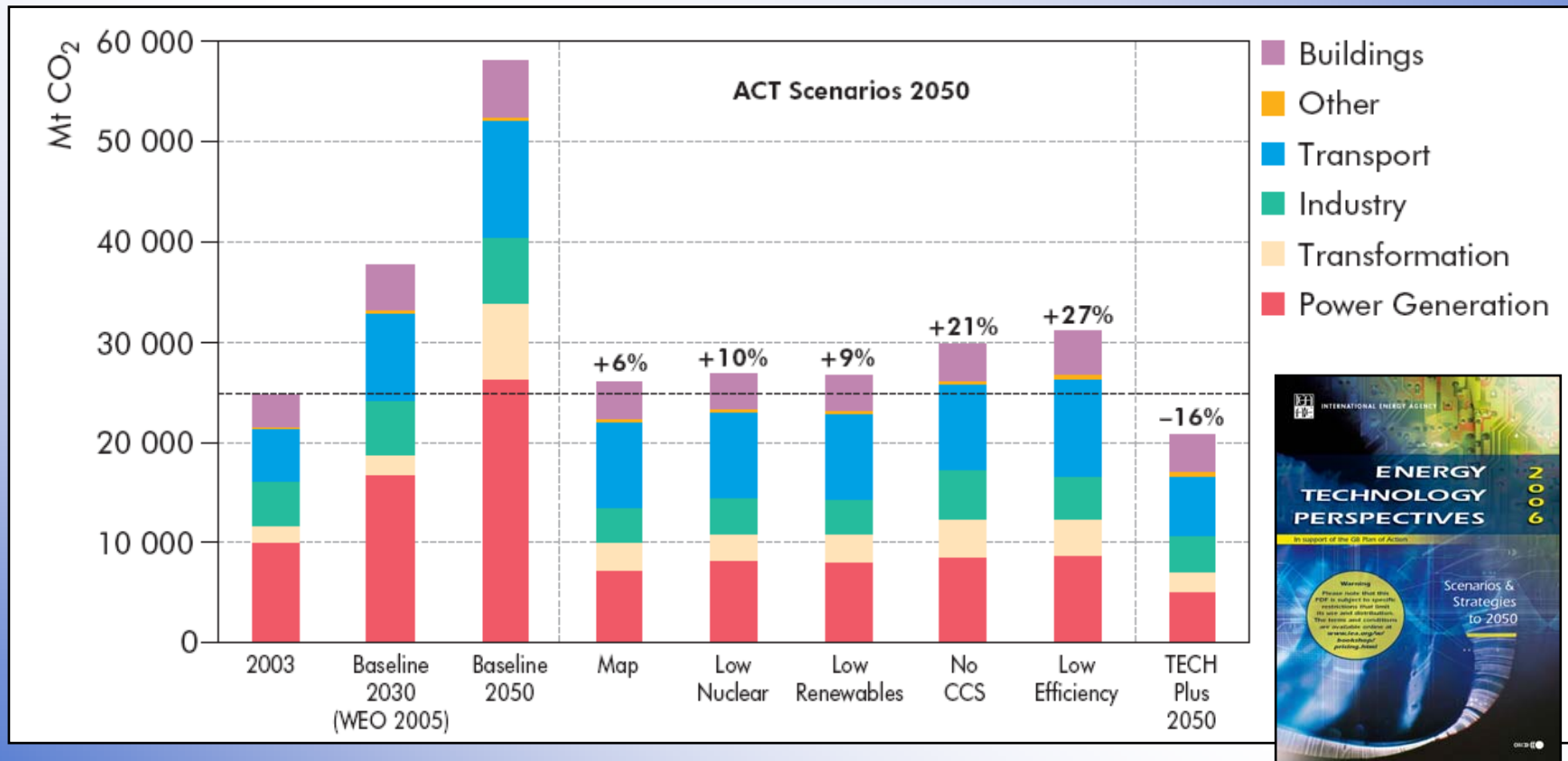


Case	Temperature Change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999) ^a		Sea Level Rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999)
	Best estimate	Likely range	Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow
Constant Year 2000 concentrations ^c	0.6	0.3 – 0.9	NA
B1 scenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B scenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 scenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI scenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59



Ce que peut la technologie

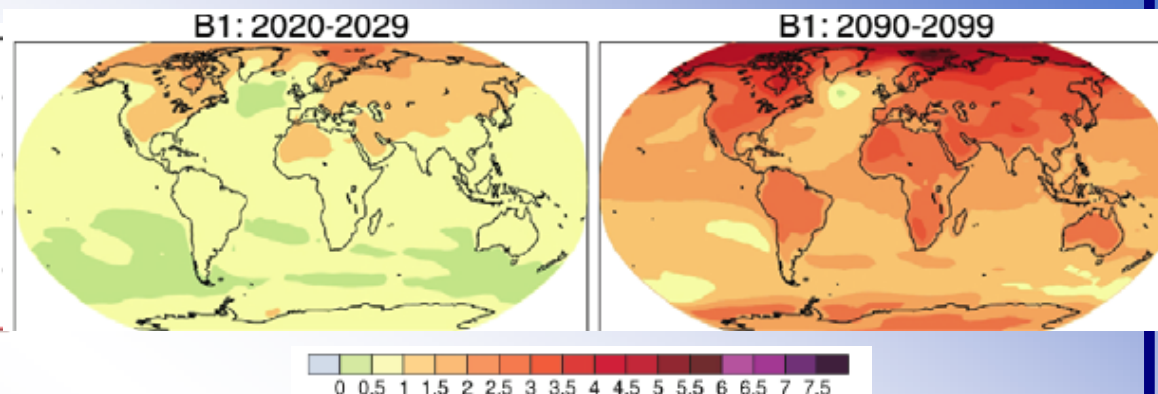
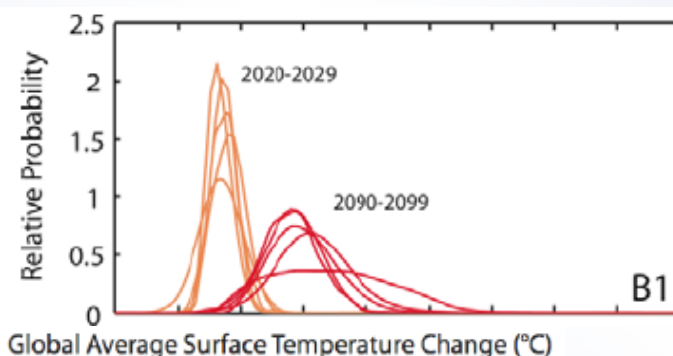
Emissions mondiales de CO₂ (énergie) en 2050 dans les scénarios ETP...



... à demande de services énergétiques inchangée

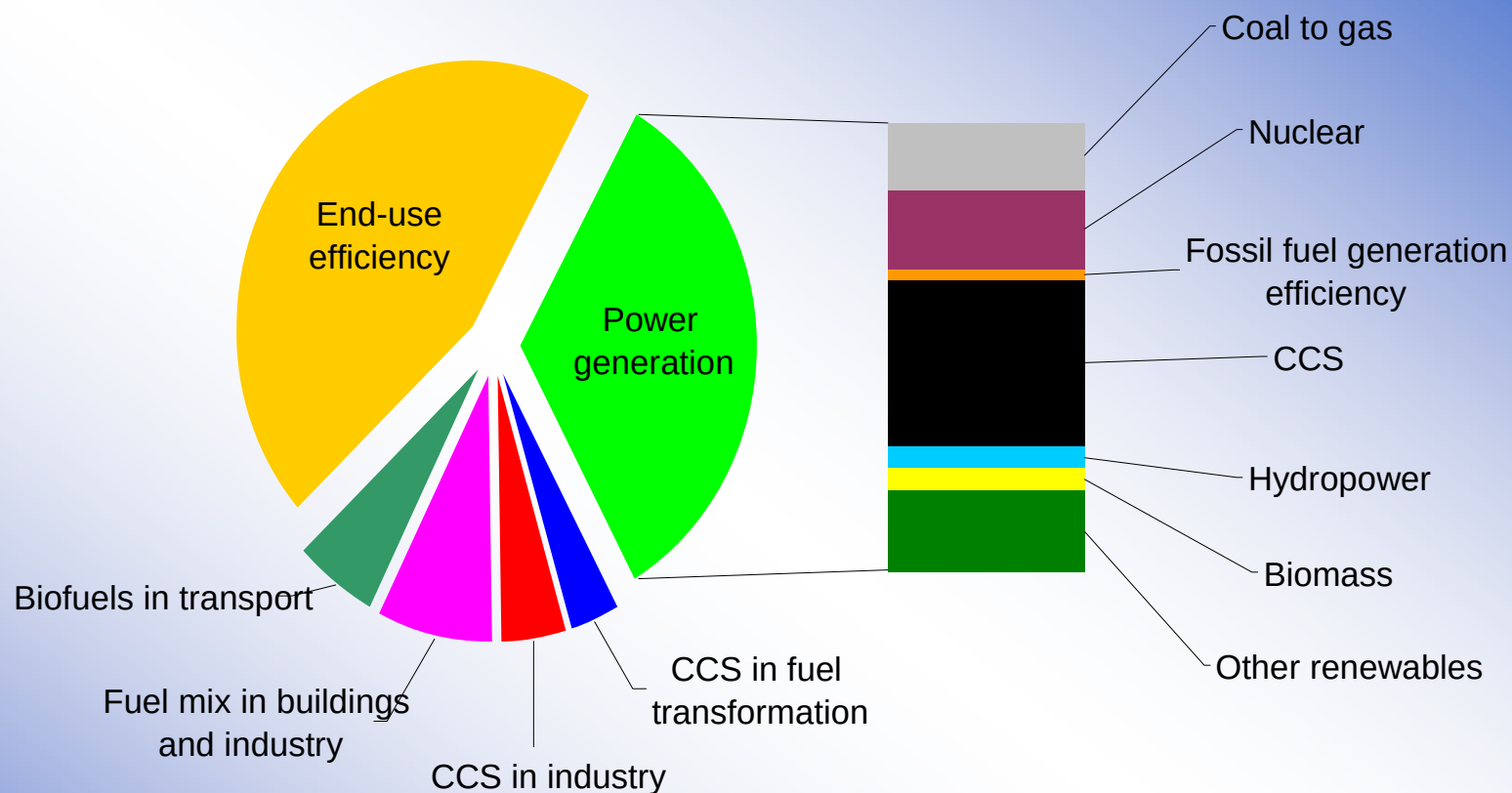


ACT Map proche de B1



Case	Temperature Change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999) ^a		Sea Level Rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999)
	Best estimate	Likely range	Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow
Constant Year 2000 concentrations ^c	0.6	0.3 – 0.9	NA
B1 scenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B scenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 scenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI scenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

Emission Reduction by Technology ACT Map Scenario



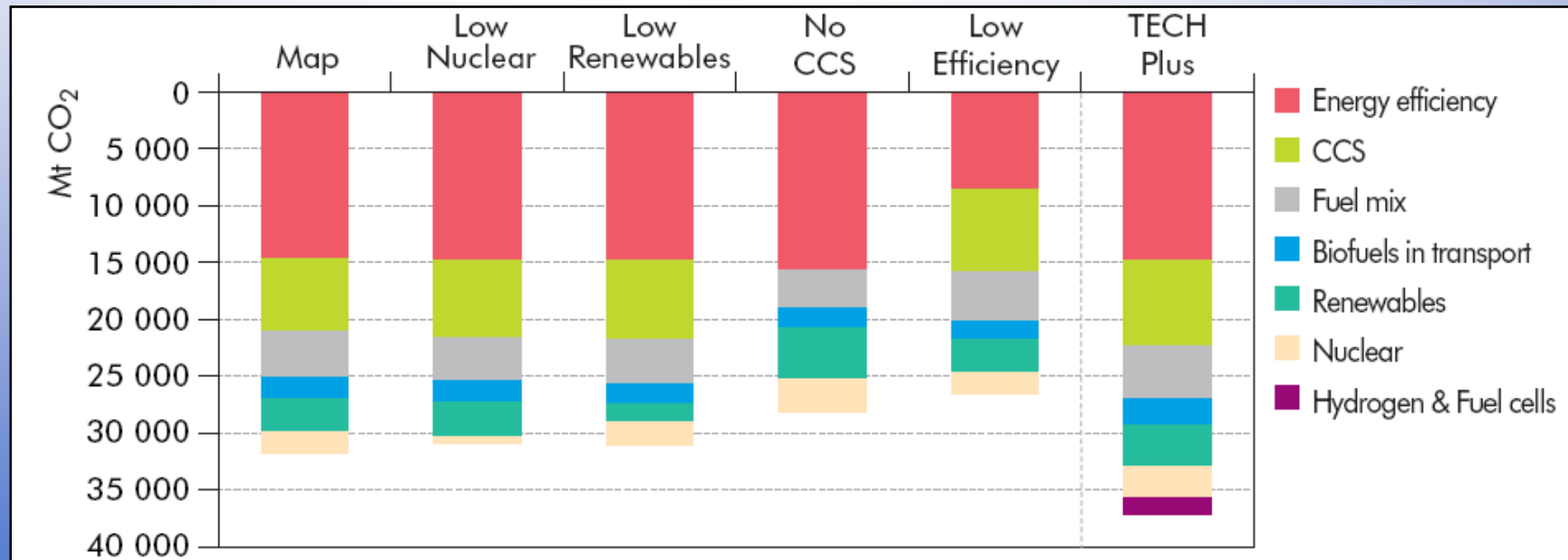
***Le plus important: améliorer l'efficacité
énergétique!***



INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE

Réduction des émissions de CO₂ par domaine technologique





Des solutions existent

- Améliorer l'efficacité énergétique
- Opter pour des énergies moins carbonées
 - ◆ Mais le charbon, le combustible le plus abondant et le mieux réparti, est le plus carboné!
- Opter pour les énergies sans carbone
 - ◆ Le nucléaire, mal aimé...
 - ◆ Les renouvelables: un potentiel important, des problèmes de coûts et d'intermittence
- Capturer et stocker le CO₂
- Augmenter les puits/Réduire les autres GES
- Rejeter certaines options a un coût...



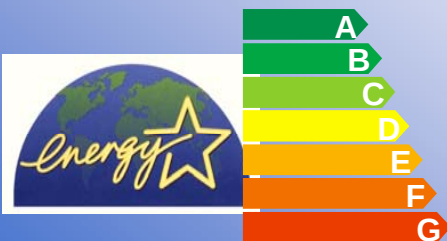
Le défi de l'efficacité



Bâtiments à haute performance



Electroménager blanc



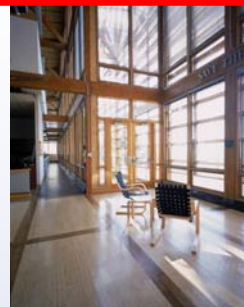
Labels et certification

- Des réductions substantielles d'énergie et d'émissions à des coûts négatifs ou nuls
- Une amélioration de la sécurité énergétique
- Une amélioration de la compétitivité et du bien-être social
- "Des centaines de technologies" (GIEC)

"Le moyen le moins cher, le plus propre et le plus sûr d'atteindre tous nos objectifs est d'utiliser moins d'énergie" – UK White Paper



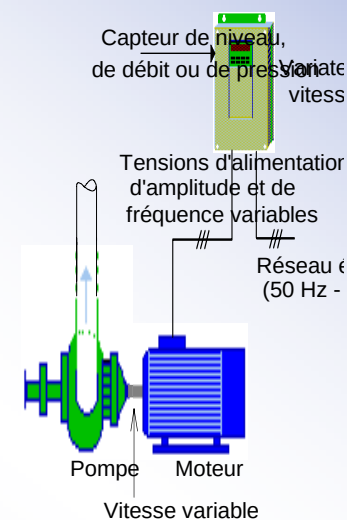
Electroménager brun



Eclairage naturel



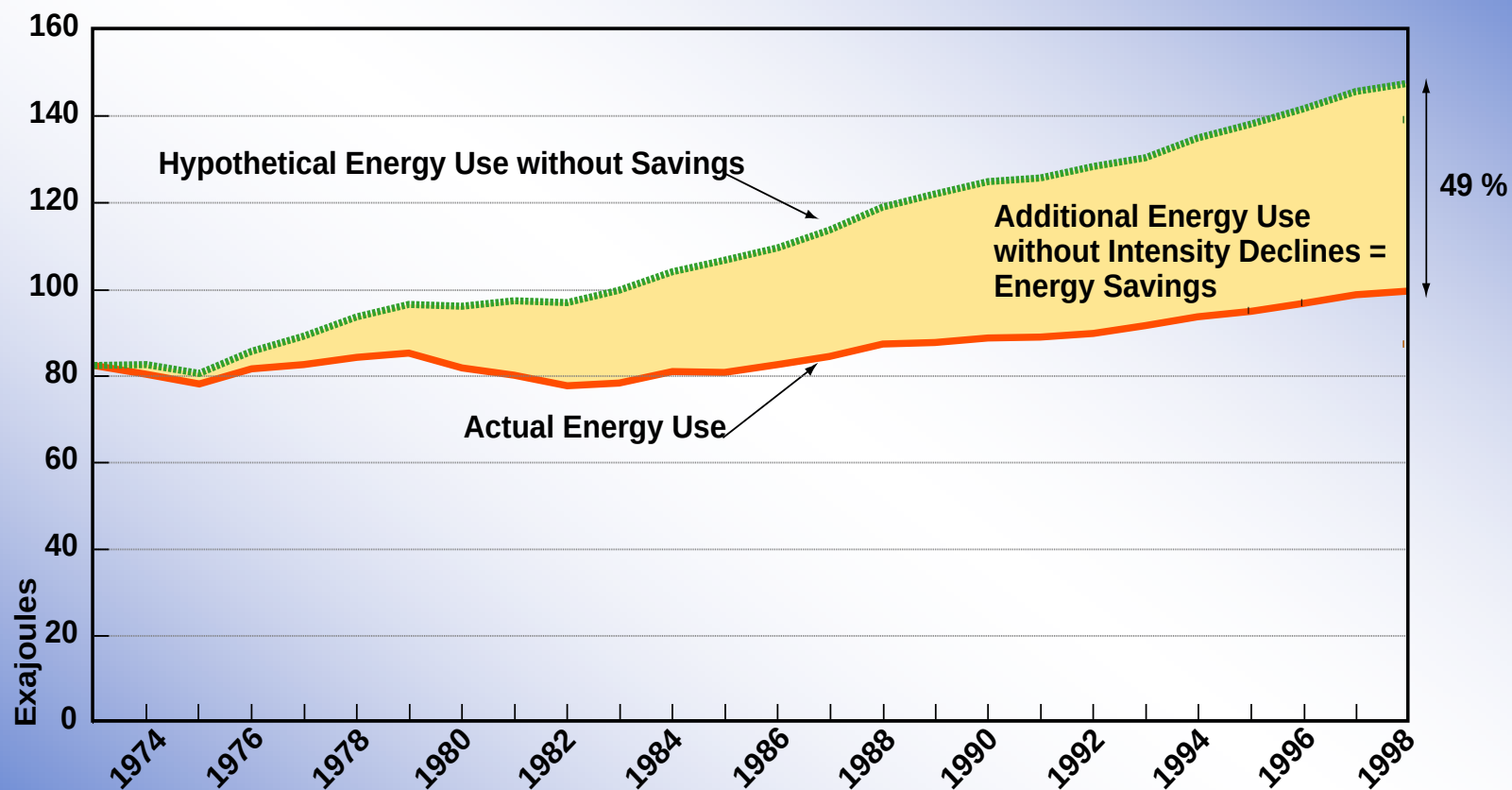
Hybrides et hybrides "branchés"



Moteurs vitesse variable



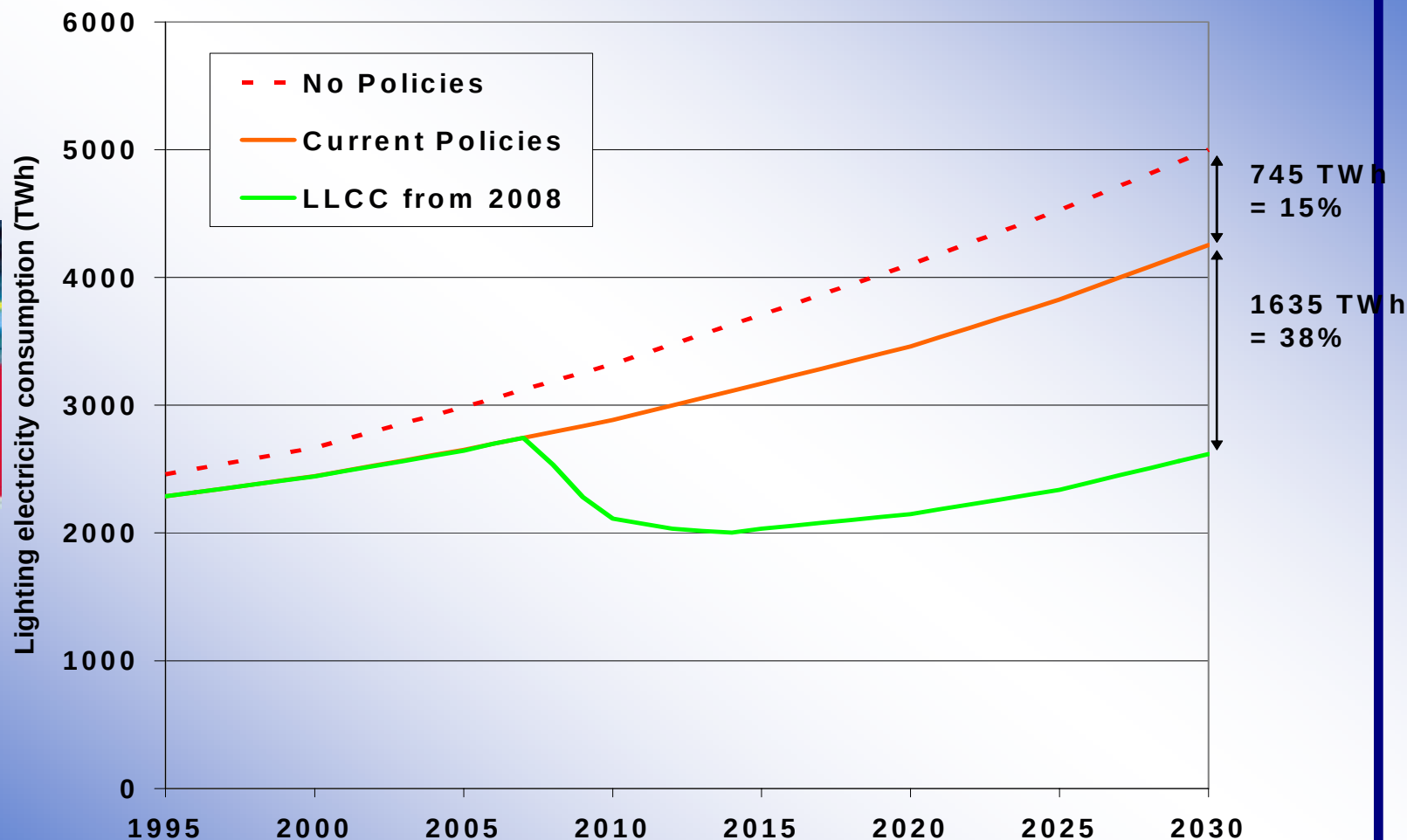
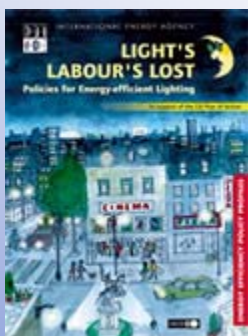
Consommation réelle et hypothétique sans réduction de l'intensité - IEA-11



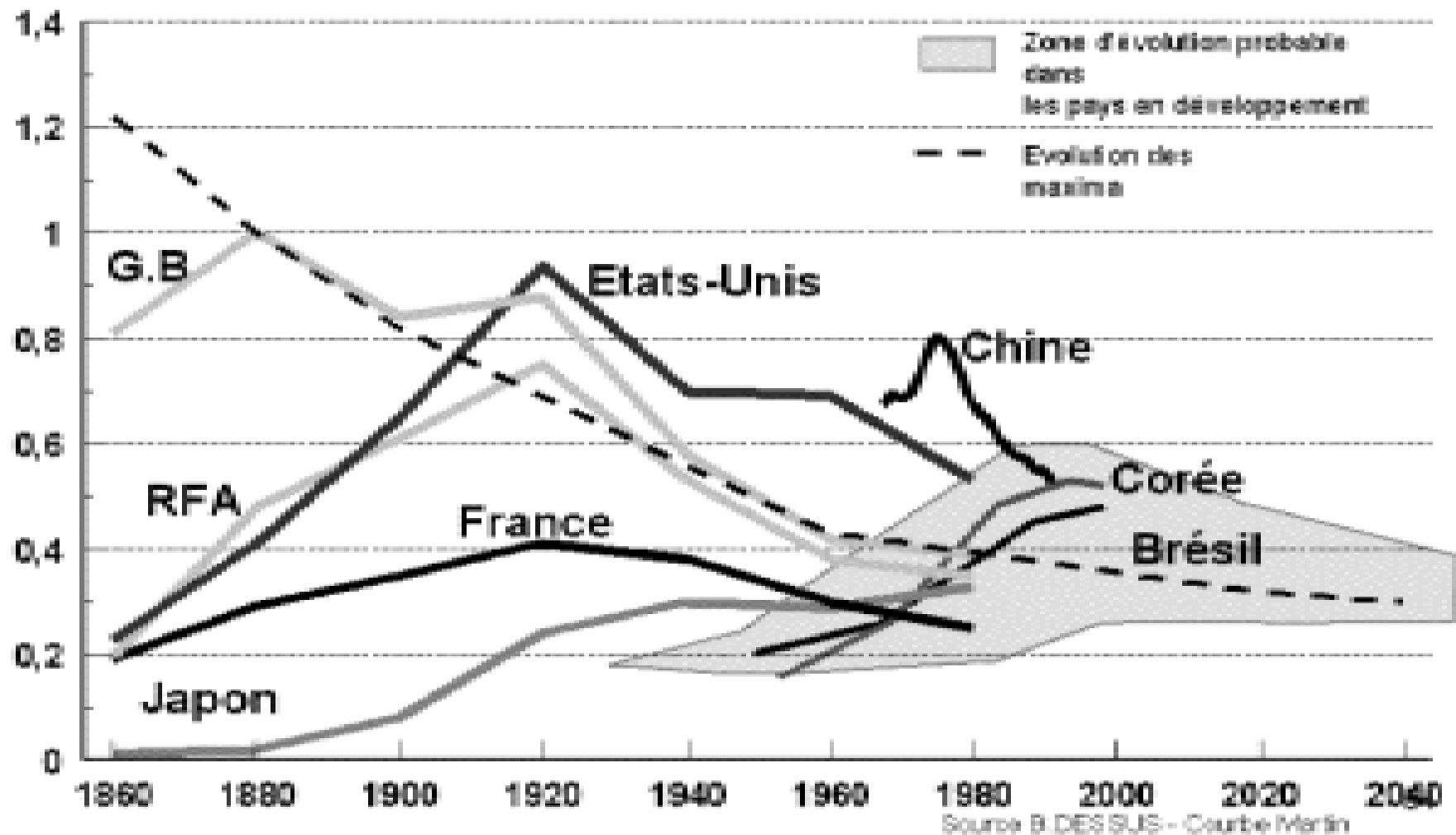
Sans économies d'énergie depuis 25 ans, la consommation d'énergie serait presque 50% plus grande



Des économies rentables



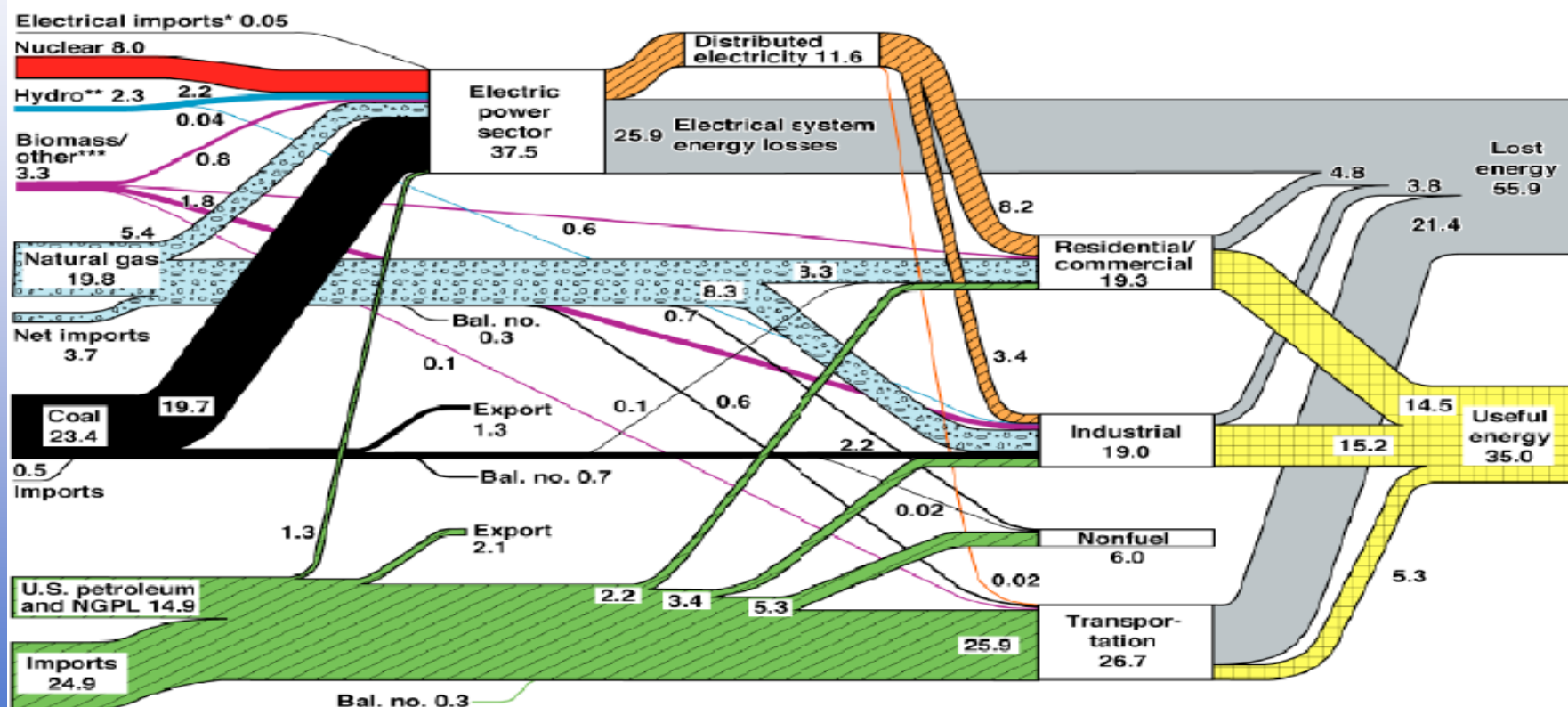
Intensité énergétiques





Diminuer les pertes...

U.S. Energy Flow Trends – 2001 Net Primary Resource Consumption ~97 Quads



Source: Production and end-use data from Energy Information Administration, *Annual Energy Review 2001*

*Net fossil-fuel electrical imports

**Includes 0.2 quads of imported hydro

***Biomass/other includes wood, waste, alcohol, geothermal, solar, and wind.

August 2003
Lawrence Livermore
National Laboratory
<http://eed.llnl.gov/flow>



Les renouvelables

- La biomasse et les déchets 11% énergie primaire
 - ◆ Pas toujours renouvelable, parfois très polluant
 - ◆ L'occupation du territoire peut limiter la biomasse
- Hydraulique 16% électricité (2.3% énergie primaire)
 - ◆ Mais les nouveaux projets rencontrent souvent des oppositions écologiques et sociales
- Autres: moins de 1% de l'énergie primaire
 - ◆ Croissance rapide de l'énergie éolienne
 - ◆ Problèmes de coûts et (surtout) d'intermittence
- Potentiel considérable
 - ◆ Le soleil envoie chaque heure l'énergie que nous consommons en un an
 - ◆ Solaire thermique (habitat, industrie, électricité): potentiel plus important que le PV

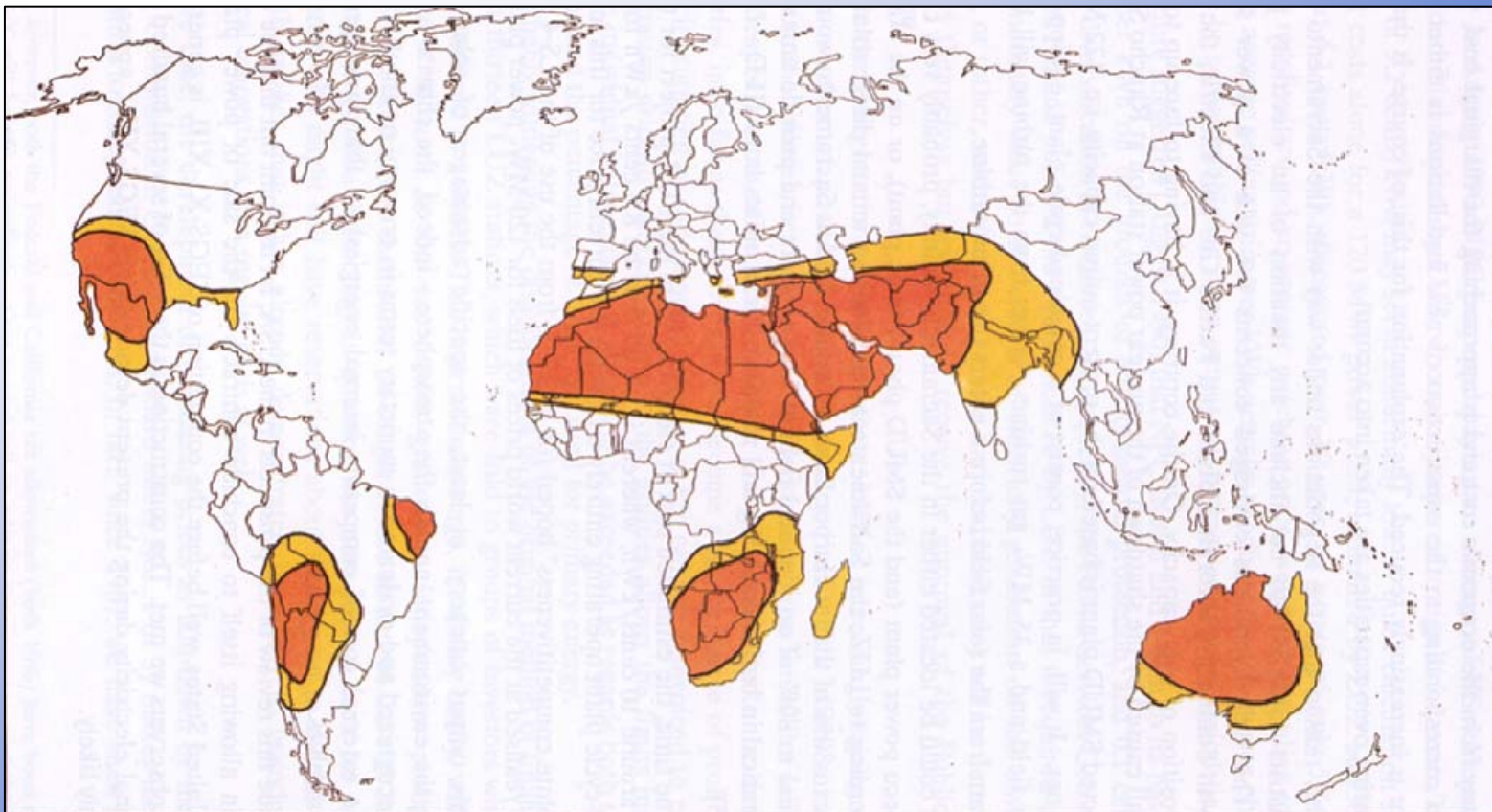


Les centrales solaires existent!

- 354 MWe depuis 84-89 sur le réseau de Los Angeles
- Electricité solaire à concentration moins chère que PV
- Energie garantie par stockage de chaleur ou appoint fossile
- Nouvelles centrales en Espagne et aux USA, projets en Algérie, Egypte, Israel, etc...



Importance de la ressource



Source: Pharabod & Pinn

- 80 cités (multi-)millionnaires en habitants
- Concentrée dans les pays sans objectifs Kyoto!



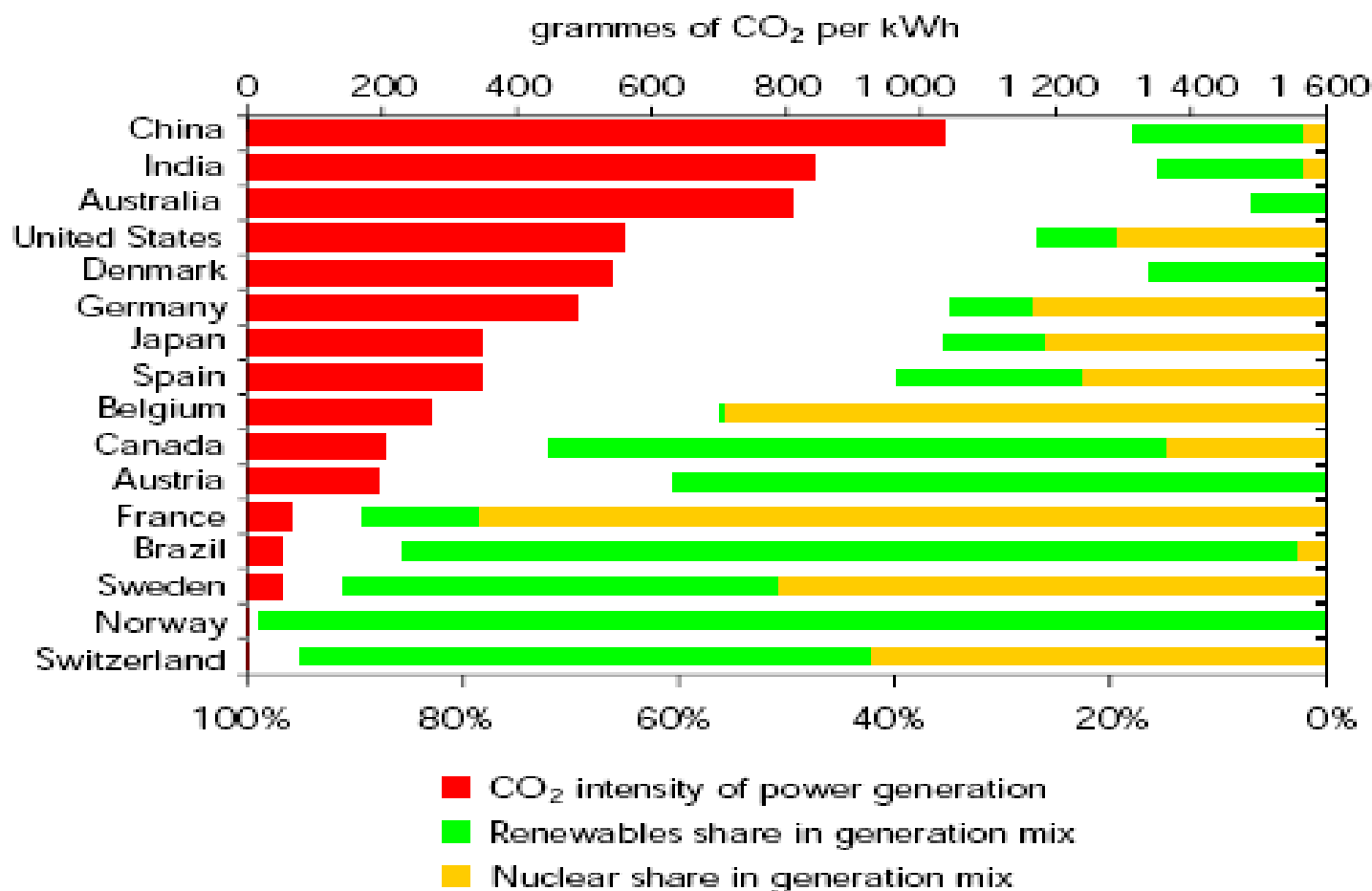
Energie nucléaire

- 16% de l'électricité mondiale (7,3% de l'énergie primaire)
- Préoccupations: risques, déchets, prolifération
- Pays membres ont des politiques contrastées
- Coûts: pas forcément un problème, notamment si le carbone à un prix
- Divers nouveaux concepts pourraient:
 - ◆ Réduire les coûts
 - ◆ Réduire les quantités de déchets et augmenter les ressources
 - ◆ Diminuer les préoccupations de prolifération



Nucléaire, renouvelables et intensité CO₂ de l'électricité

World
Energy
Outlook
2006





Capture and Stockage du CO₂

- **Technologies existent**

- ◆ pré- et post-combustion; oxyfuel;
- ◆ Coûts encore trop élevés, sauf dans la récupération assistée du pétrole
- ◆ Coût énergétique
- ◆ Pour les grandes installations fixes!

- **Capacités géologiques**

- ◆ Puits abandonnés, aquifères salins
- ◆ Quelques expériences



La Convention sur les Changements climatiques

- Signée à Rio (Sommet de la Terre) en 1992
- Objectif ultime: stabiliser les concentrations de GES - niveau et date non précisés
- Responsabilités communes mais différenciées:
 - ◆ obligations pour tous: inventaires, mesures...
 - ◆ pays industriels: objectif de stabilisation GES 1990-2000 (globalement atteint, mais...)
- Mécanisme financier, transfert technologies

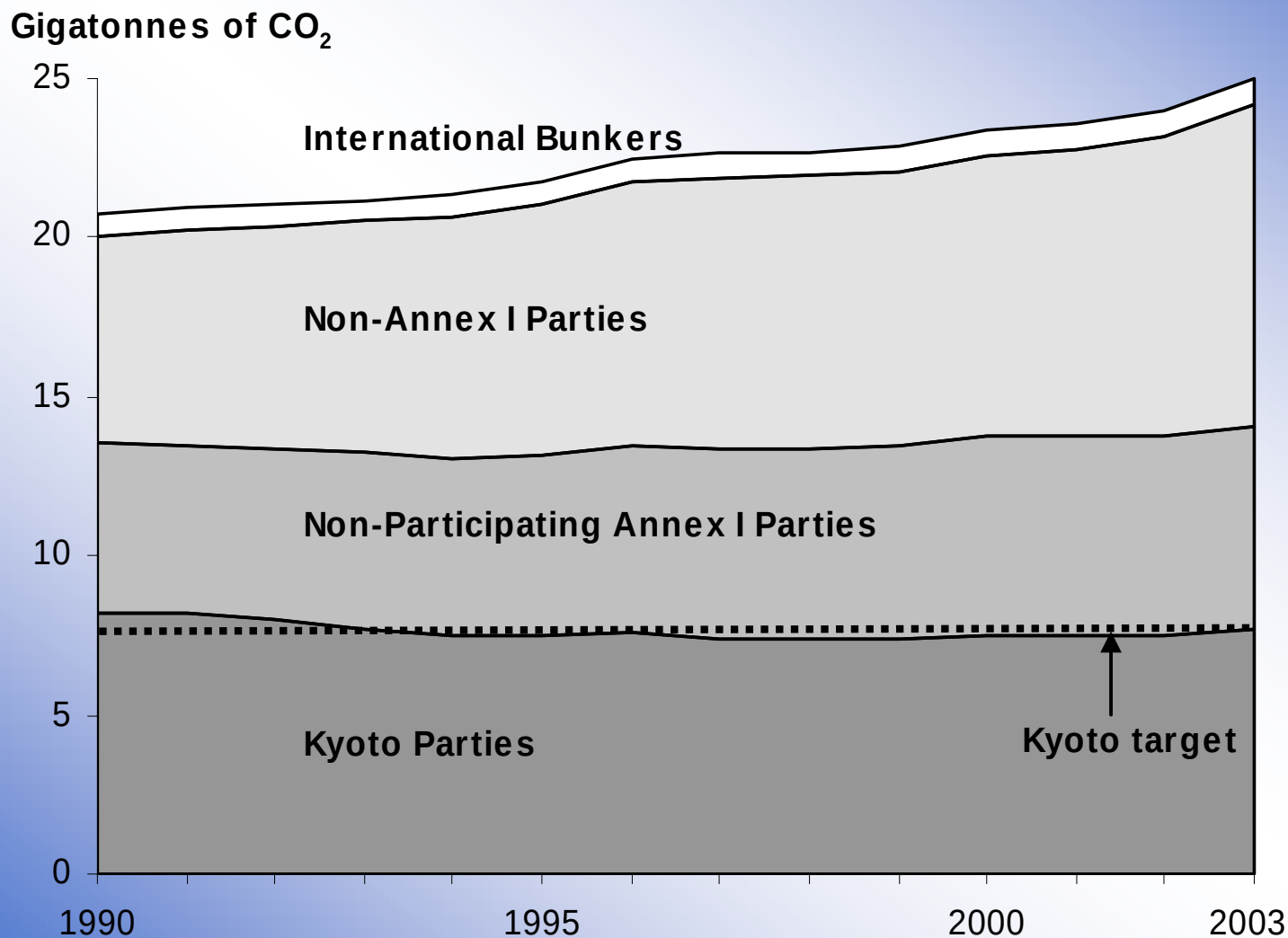


Le Protocole de Kyoto

- Adopté à Kyoto le 11 décembre 1997
- Des politiques et mesures indicatives
- Quotas pour les seuls pays industriels
 - ◆ Pour 2008-2012, panier de six GES:
 - ◆ CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆
 - ◆ Prise en compte des puits (précisée en 2001)
- Une différenciation par pays – 5,2% en moyenne
- Mécanismes de flexibilité

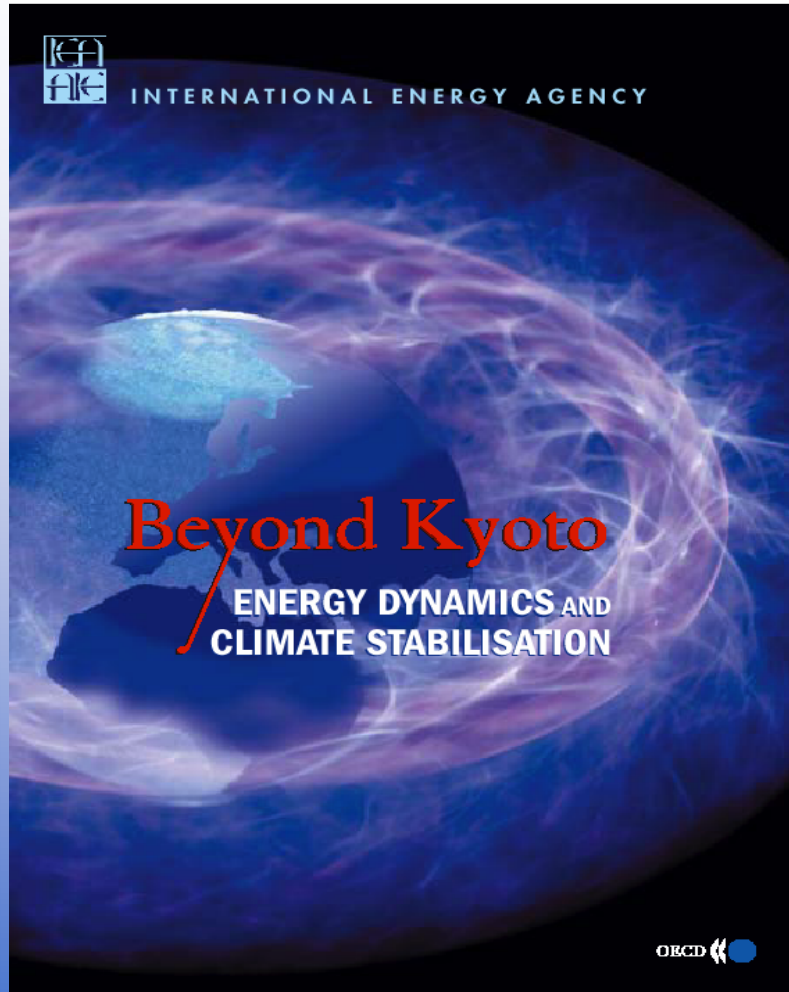


Kyoto ne suffira pas





Transformer Kyoto!

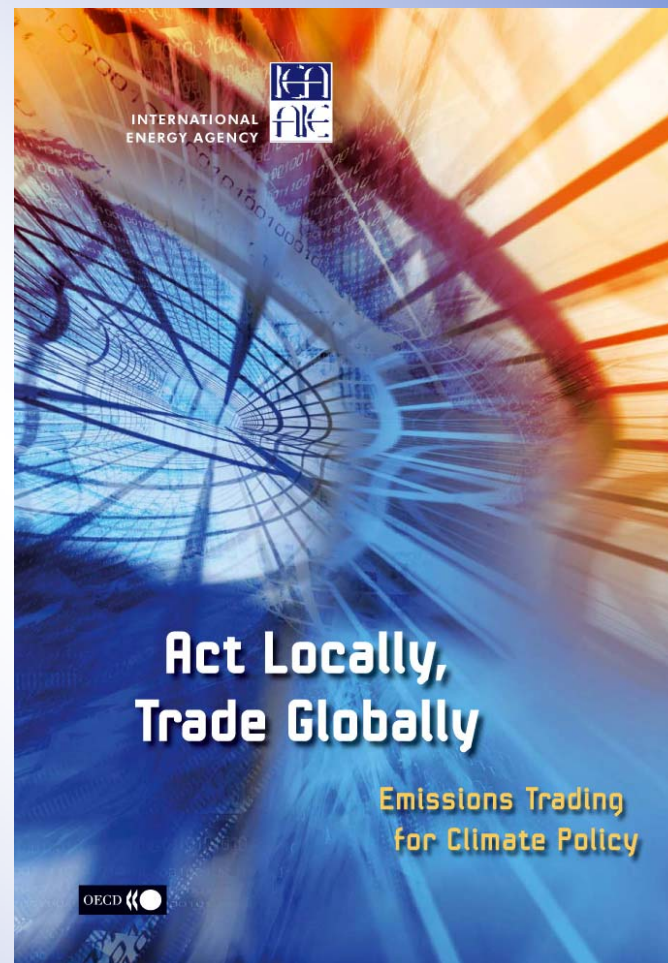


- Garder les échanges de permis:
 - ◆ Économiques, donc efficaces pour l'environnement
 - ◆ Facilitent la préservation des intérêts acquis
 - ◆ Permettent aux riches de payer pour les autres
- Gérer l'incertitude sur les coûts
 - ◆ Qui créent incertitudes et controverses
 - ◆ Et rendent les objectifs fixes inutilement risqués



Transformer Kyoto (2)

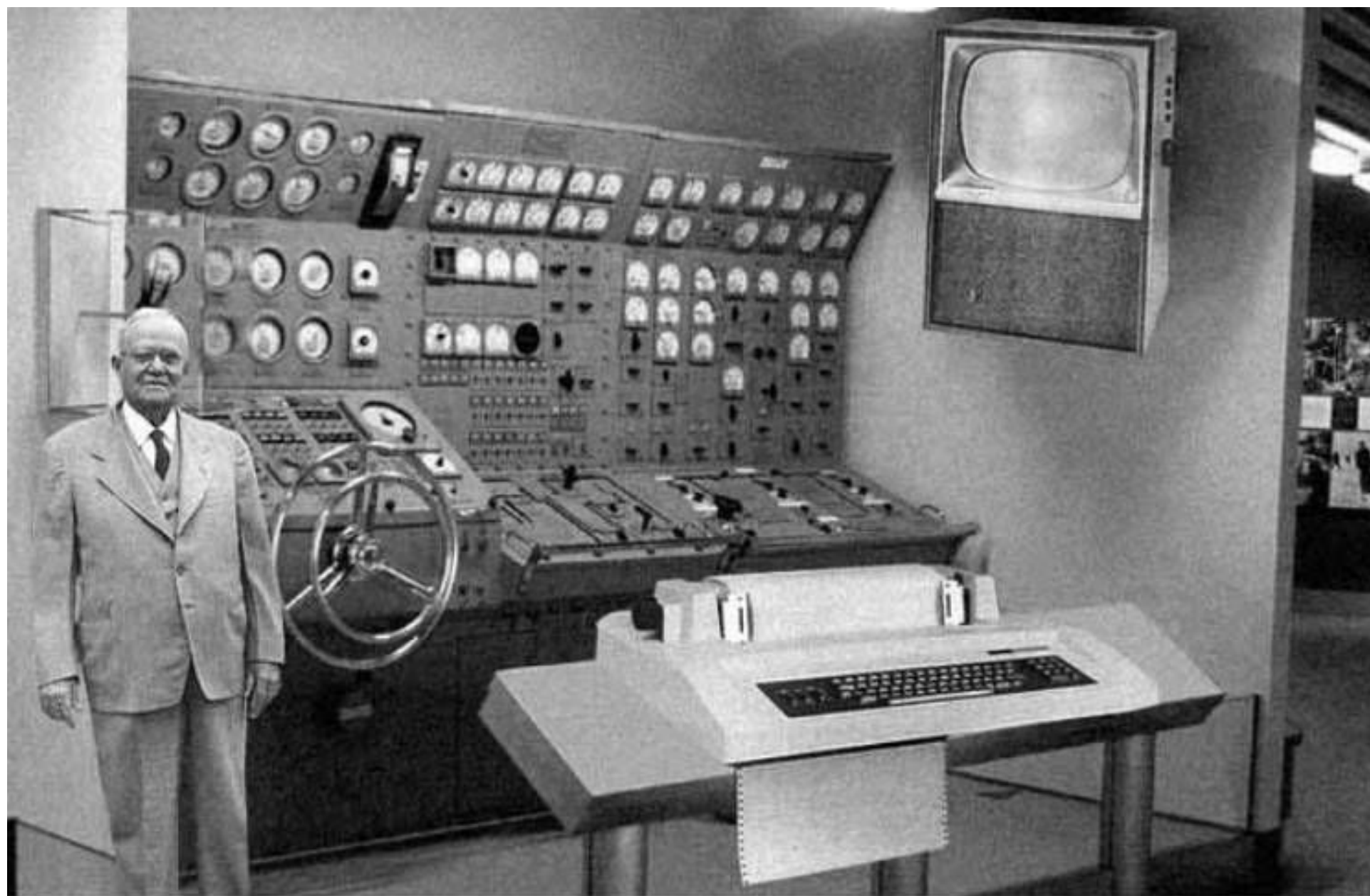
- Options pour pays en développement
 - ◆ Objectifs indexés
 - ◆ Objectifs non contraignants
 - ◆ Objectifs ou mécanismes sectoriels
- Options pour pays industriels
 - ◆ Objectifs indexés
 - ◆ Prix plafond





Le futur reste ouvert

- Marges de manœuvre faibles pour 2030, mais fortes pour 2050, si l'on agit sans délai
- Qui prévoyait en 1940 que l'énergie nucléaire fournirait 16% des besoins électriques en 1990?
- Voici comment les chercheurs de la Rand imaginaient en 1954 les ordinateurs domestiques de 2004...



Scientists from the RAND Corporation have created this model to illustrate how a "home computer" could look like in the year 2004. However the needed technology will not be economically feasible for the average home. Also the scientists readily admit that the computer will require not yet invented technology to actually work, but 50 years from now scientific progress is expected to solve these problems. With teletype interface and the Fortran language, the computer will be easy to use.



Gérer les incertitudes

- La certitude sur les niveaux d'émissions à court terme peut être coûteuse mais a une valeur faible
 - ◆ Parce que le changement climatique est un problème de stock
- Les prix plafond réduisent les coûts espérés
 - ◆ Aidant à entraîner plus de pays dans l'action
 - ◆ Permettant des politiques plus ambitieuses
- Avec les prix plafonds des objectifs plus ambitieux peuvent être choisis qui ont des coûts espérés plus faibles et des bénéfices espérés plus importants
 - ◆ Utile si les bénéfices sont profondément incertains



Gérer les incertitudes

● Et en cas de catastrophes climatiques?

- ◆ Si un seuil de concentration de GES est connu et proche:
 - Il faut choisir des objectifs fixes pour arrêter les émissions
- ◆ Si une catastrophe est possible mais le seuil inconnu:
 - Il faut favoriser la politique la plus ambitieuse

● Comment aller vers la stabilisation?

- ◆ Le niveau et le calendrier n'ont pas été arrêtés
 - Il faut s'assurer du niveau d'action, pas de son résultat exact
 - Il faut favoriser la politique la plus ambitieuse
 - Avec le temps, on peut ajuster le niveau des objectifs et des prix plafonds



Le dilemme de l'objectif ultime

- La Convention vise la stabilisation des gaz à effet de serre, mais ne précise pas le niveau ni le calendrier
- Les coûts et bénéfices sont incertains, mais comptent!
- Les inerties contraignent – et appellent – une action précoce
- Solution possible: Viser des concentrations faibles sous condition de coûts (prix plafond)