

# Développement économique et énergie: le prochain demi-siècle

*– Université d'été de SLC 2011 –*

P. Criqui  
EDDEN (ex-LEPII)



# Développement économique et énergie

- ◆ Introduction
- ◆ Les « drivers » et l'équation de Kaya
- ◆ Contraintes: 2 problèmes de baignoire
- ◆ Politiques pour un Développement Energétique Durable

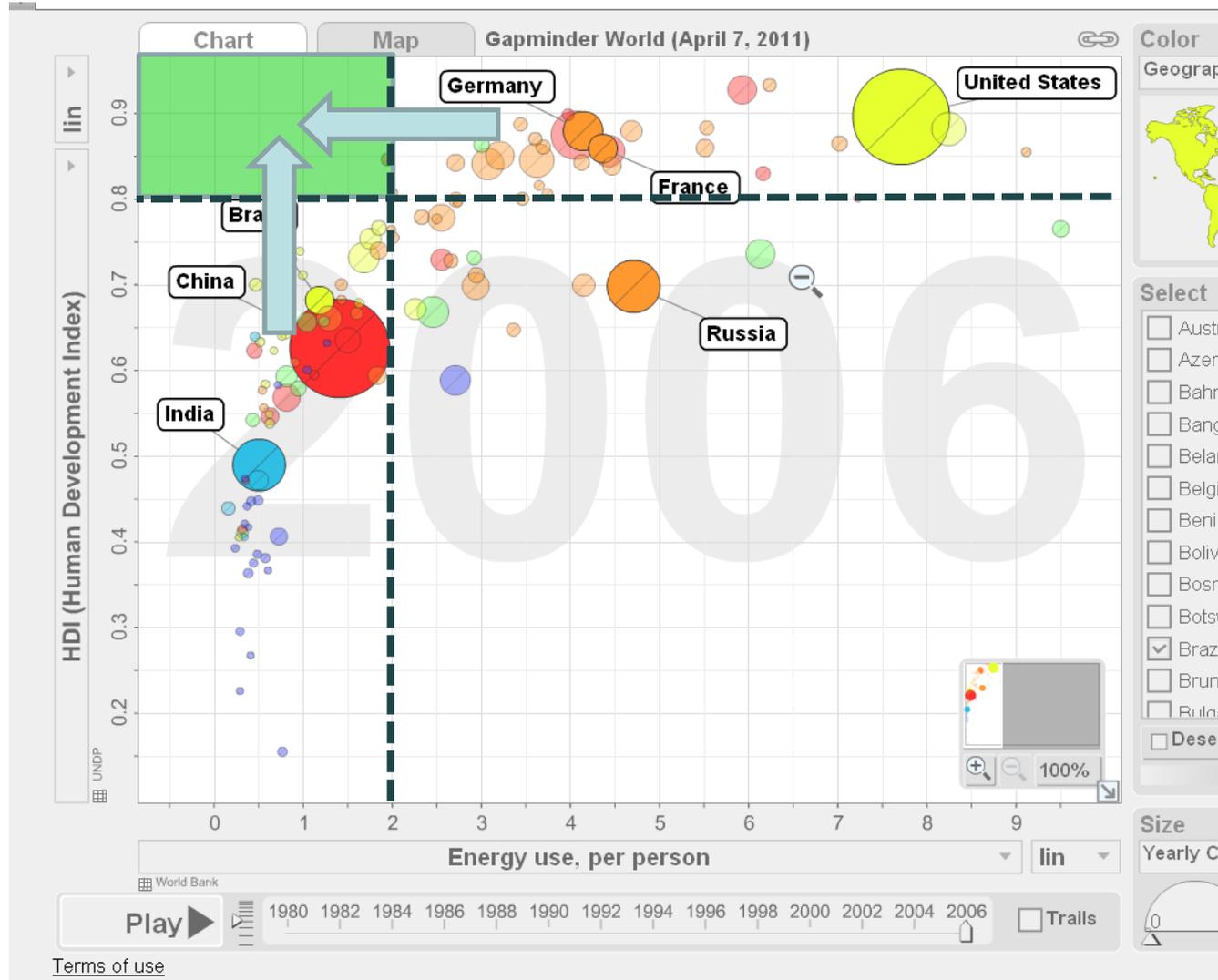


# Développement économique et énergie

- ◆ Introduction
- ◆ Les « drivers » et l'équation de Kaya
- ◆ Contraintes: 2 problèmes de baignoire
- ◆ Politiques pour un Développement Energétique Durable

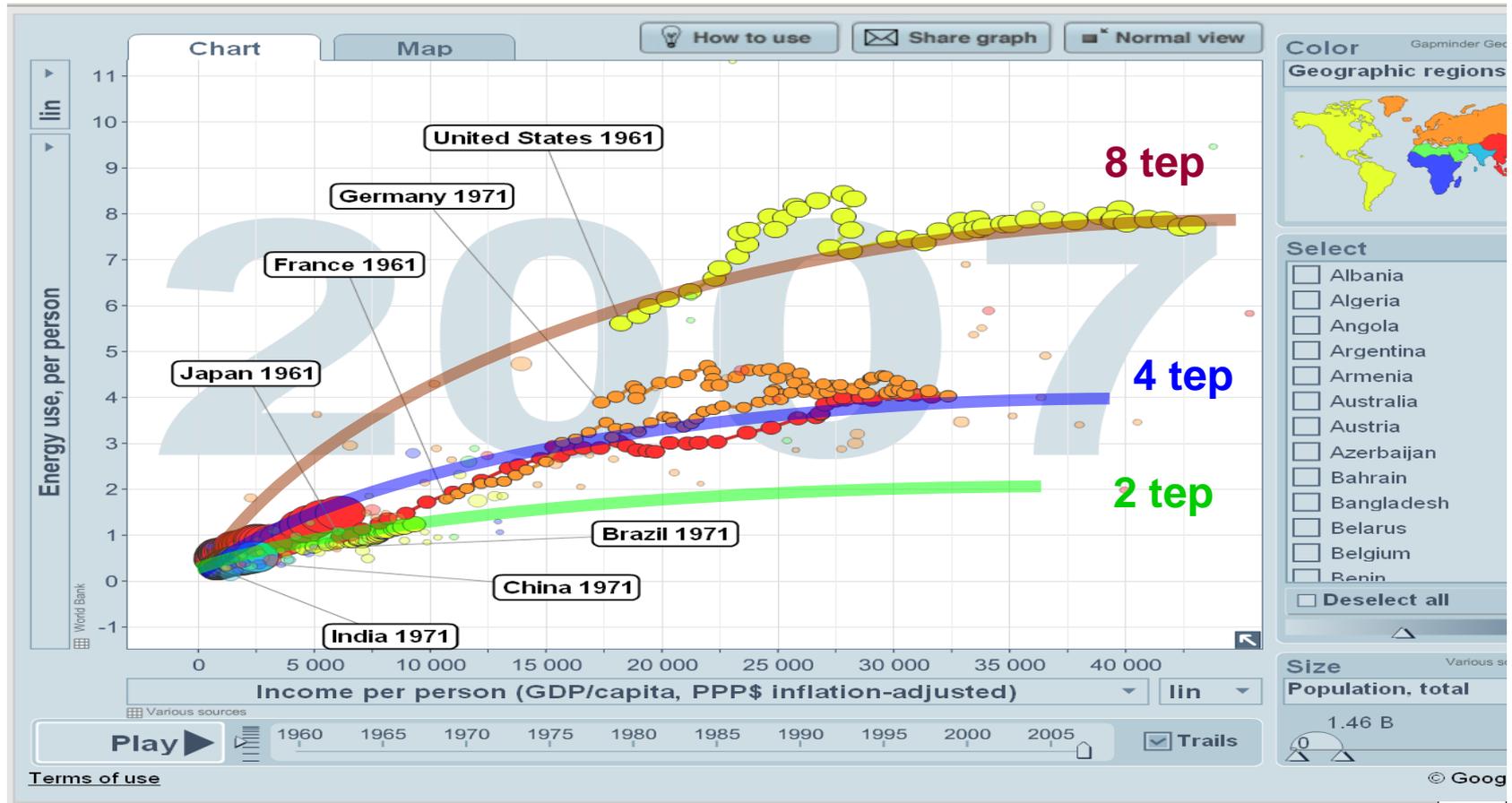


# L'espace inoccupé: $IDH > 0.8$ , $E/hab < 2\text{step}$

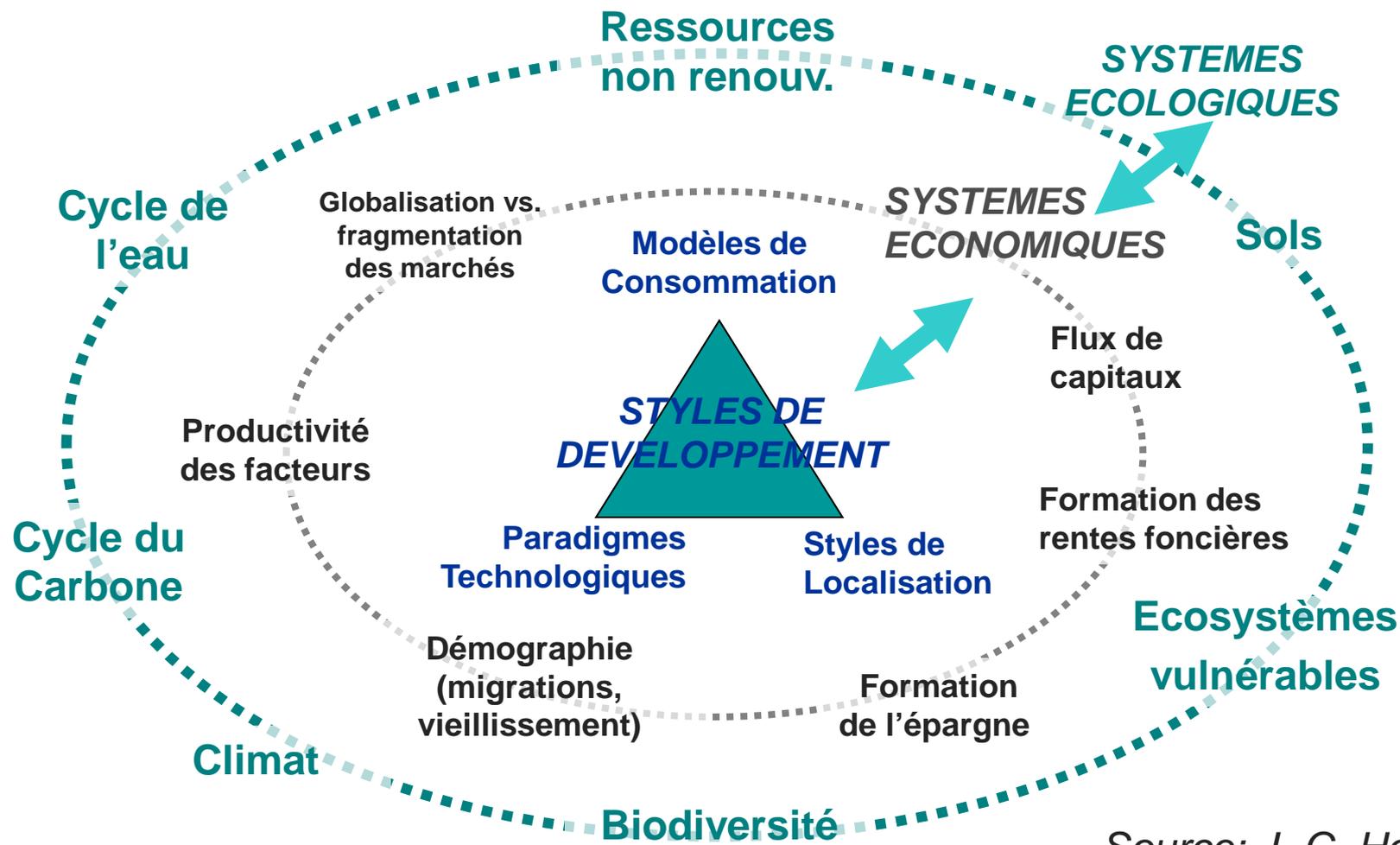


# Consommations par tête selon Gapminder

◆ [www.bit.ly/IHh6vl](http://www.bit.ly/IHh6vl)



# Prospective et scénarios: les champs de la complexité



Source: J.-C. Hourcade



# Développement économique et énergie

- ◆ Introduction
- ◆ Les « drivers » et l'équation de Kaya
- ◆ Contraintes: 2 problèmes de baignoire
- ◆ Politiques pour un Développement Energétique Durable



# L'équation de Kaya:

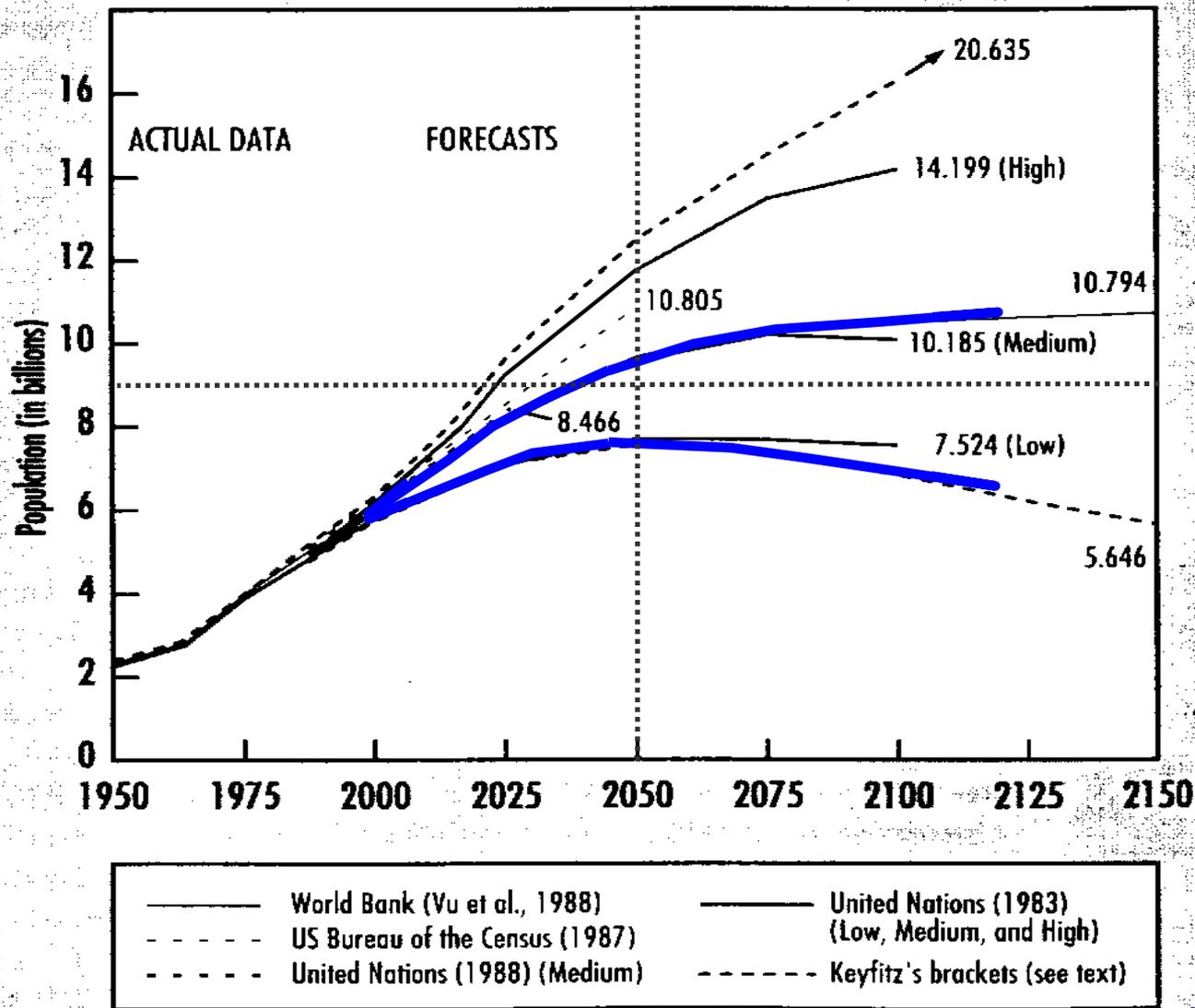
$$CO_2 = (CO_2/CEP) \times (CEP/PIB) \times (PIB/POP) \times POP$$

# La transition démographique:

$$\text{CO}_2 = (\text{CO}_2/\text{CEP}) \times (\text{CEP}/\text{PIB}) \times (\text{PIB}/\text{POP}) \times \text{POP}$$



# The expected stabilization in world population



(N. Keyfitz, 1990)

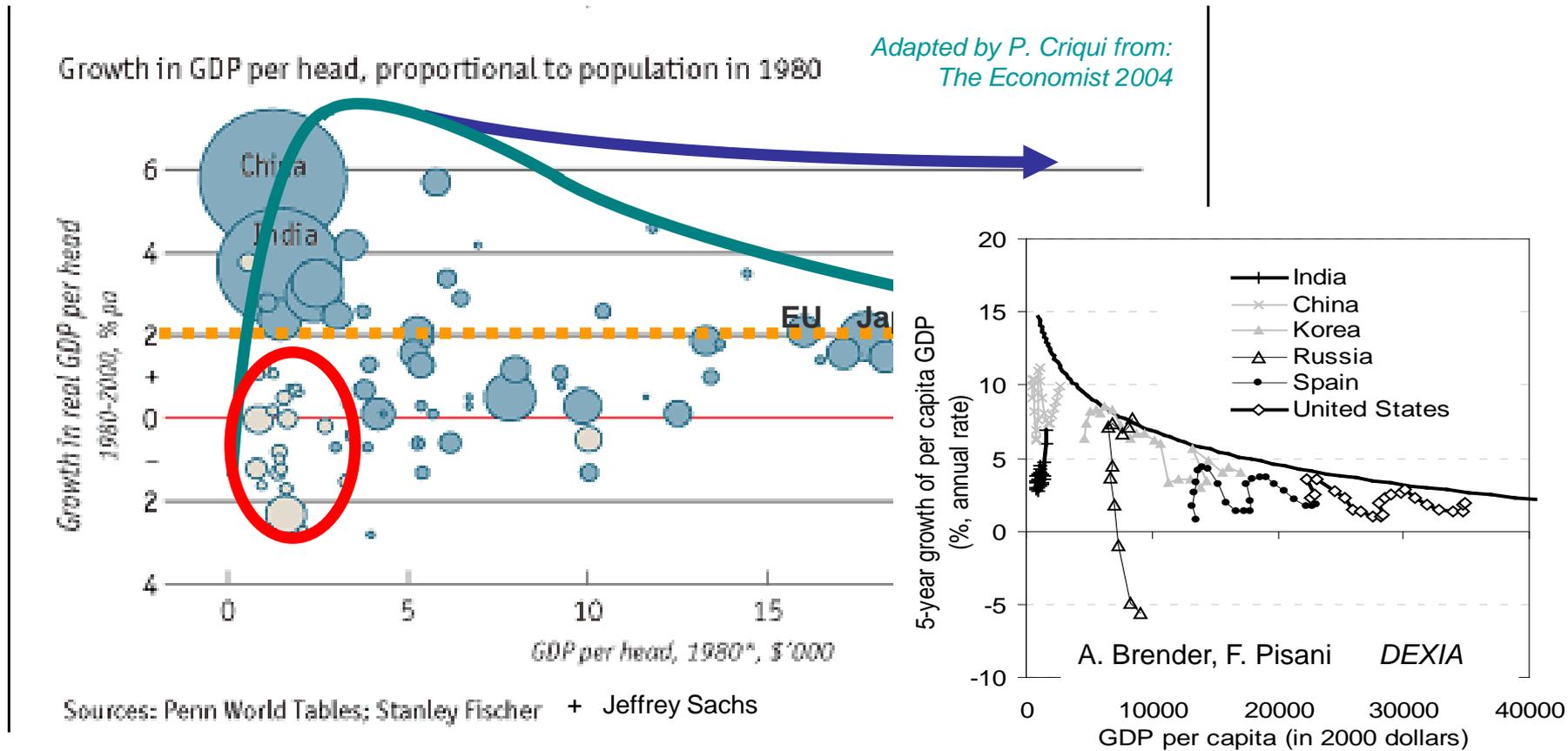


# Croissance et convergence:

$$CO_2 = (CO_2/CEP) \times (CEP/PIB) \times (PIB/POP) \times POP$$

# A view on economic growth & convergence

◆ Convergence in Total Factor Productivity:  
the basics of long term economic growth slowdown



# Projection économique Baseline 2050 du CEPII

- ◆ Un PIB mondial de 148 T\$ en 2050 contre 48 T\$ en 2010, mais la croissance mondiale passe en dessous de 2.5%pa

	Average GDP growth (constant 2005 USD)			
	2010-20	2020-30	2030-40	2040-50
United States	2.4	2.0	1.8	1.6
Japan	1.6	1.0	0.3	0.2
European Union (27)+	2.0	1.2	0.9	0.9
Oceania	2.5	1.9	1.8	1.6
Total OECD	2.3	1.6	1.3	1.2
<hr/>				
Brazil	3.4	3.0	2.4	1.9
Russia	3.3	2.4	1.8	1.0
India	7.0	6.7	6.0	4.9
China	8.9	7.0	5.0	3.3
Total BRIC	7.2	6.2	4.8	3.5
<hr/>				
Rest of Latin America	3.9	3.1	2.4	2.0
North Africa	5.1	5.1	4.5	3.5
Rest of Africa	5.1	5.6	6.3	6.7
<hr/>				
Total World	3.3	3.0	2.7	2.4

Source: Jean FOURE, Agnès BENASSY-QUERE & Lionel FONTAGNE (2010), The world economy in 2050: a tentative picture, CEPII Working paper 2010-27

Figure 25 – GDP per capita, 1980-2050 (2005 PPP USD, in % of USA level)

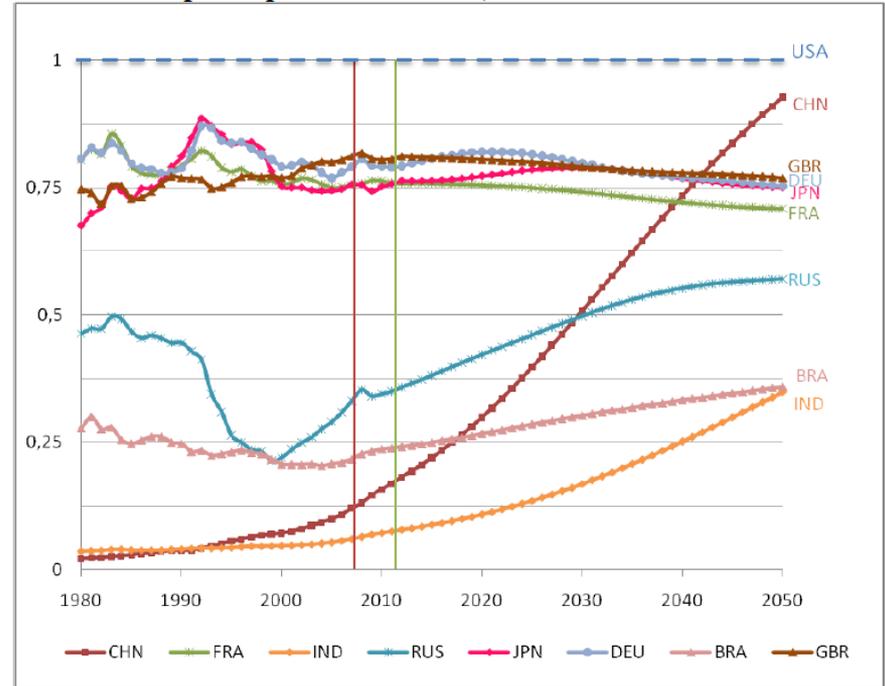
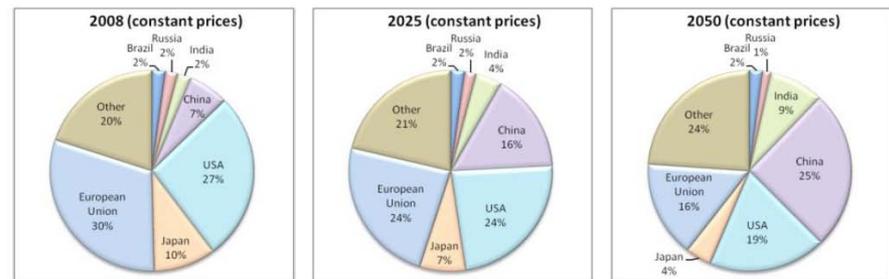


Figure 24 – Shares of the world economy, 2008, 2025 and 2050, (in % of world GDP)

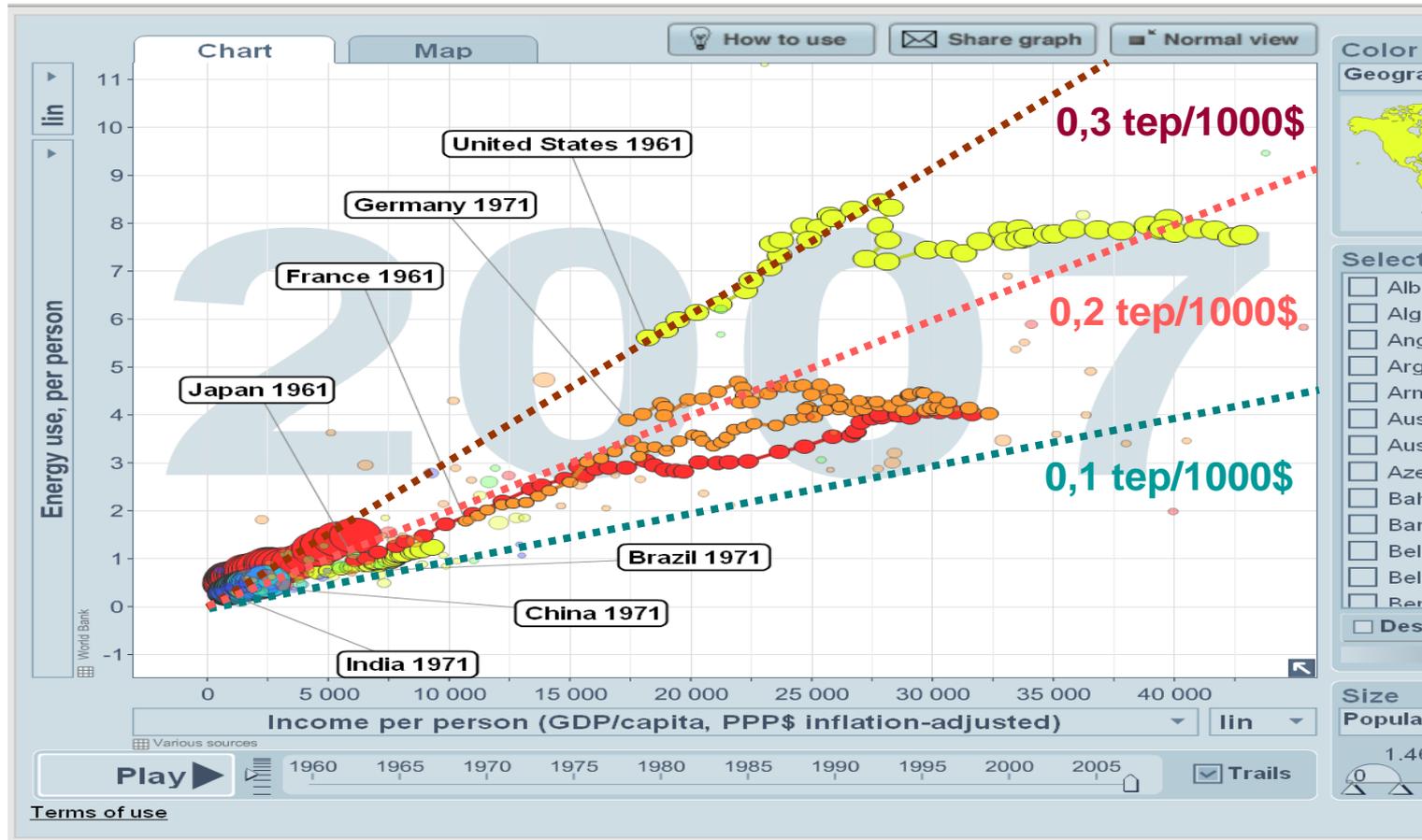


# L'intensité énergétique:

$$CO_2 = (CO_2/CEP) \times (CEP/PIB) \times (PIB/POP) \times POP$$

# Intensité énergétique du PIB selon Gapminder

◆ [www.bit.ly/IHh6vl](http://www.bit.ly/IHh6vl)



# Projection énergétique Baseline (EDDEN, projet FP7 *Secure*)

- 2050/2000: augmentation de 50% de la population, multiplication par 4 du PIB, multiplication par deux de l'énergie => de 10 à 21 Gtep

Baseline Results - World										
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	Annual % change		
								2000/20	20/30	30/50
<b>Key Indicators</b>										
Population (Millions)	5 246	6 118	6 872	7 585	8 175	8 693	9 246	1,2%	0,8%	0,6%
GDP (G\$95)	29 992	49 874	72 998	104 259	138 835	178 070	223 431	3,9%	2,9%	2,4%
Gross Inland Consumption (Mtoe)	5 717	9 955	12 222	14 535	16 732	18 819	20 779	2,1%	1,4%	1,1%
CO2 Emissions (MtCO2)	20 857	23 438	29 942	35 442	40 608	44 672	47 843	2,5%	1,4%	0,8%
Per capita GDP (\$95/cap)	5 717	8 152	10 623	13 745	16 982	20 485	24 166	2,7%	2,1%	1,8%
Gross Inland Cons/GDP (toe/M\$95)	291	200	167	139	121	106	93	-1,7%	-1,4%	-1,3%
Gross Inland Cons/capita (toe/cap)	1,7	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,2	0,9%	0,7%	0,5%
Electricity Cons/capita (kWh/cap)	1 830	2 053	2 538	2 960	3 551	4 215	4 860	2,1%	1,8%	1,6%
Transport fuels per capita (toe/cap)	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6%	0,2%	0,2%
CO2 emissions/capita (tCO2/cap)	4,0	3,8	4,4	4,7	5,0	5,1	5,2	1,3%	0,6%	0,2%
% of renewables in Gross Inland Cons	12,9	12,3	11,9	12,8	13,4	15,1	17,1	-0,3%	0,5%	1,2%
% of renewables in electricity	20,1	18,7	18,6	21,6	22,3	24,3	26,8	0,0%	0,3%	0,9%

Source: P. Criqui, Silvana Mima, modèle POLES, projet Secure FP7

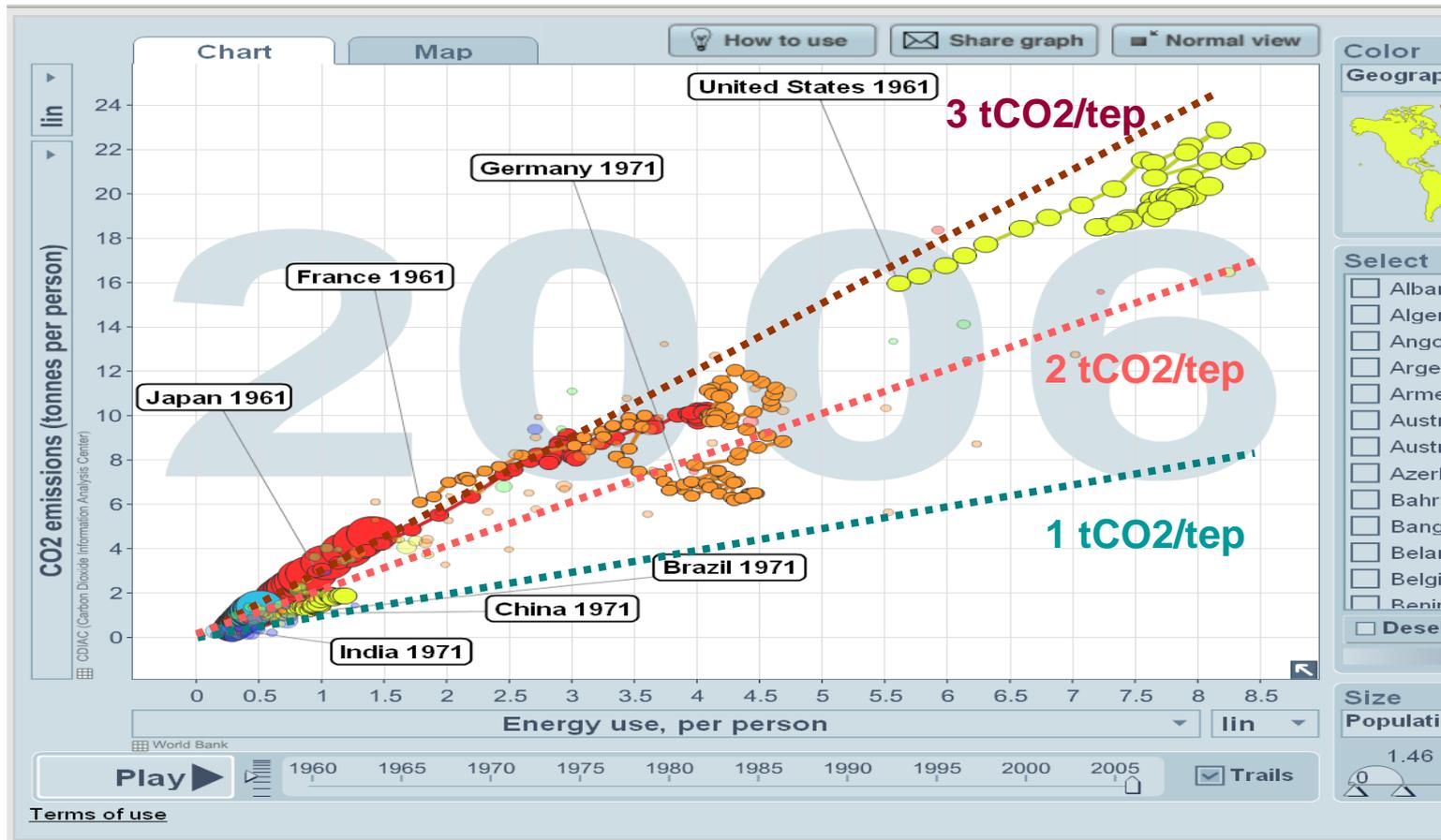


# L'intensité carbone de l'énergie:

$$CO_2 = (CO_2/CEP) \times (CEP/PIB) \times (PIB/POP) \times POP$$

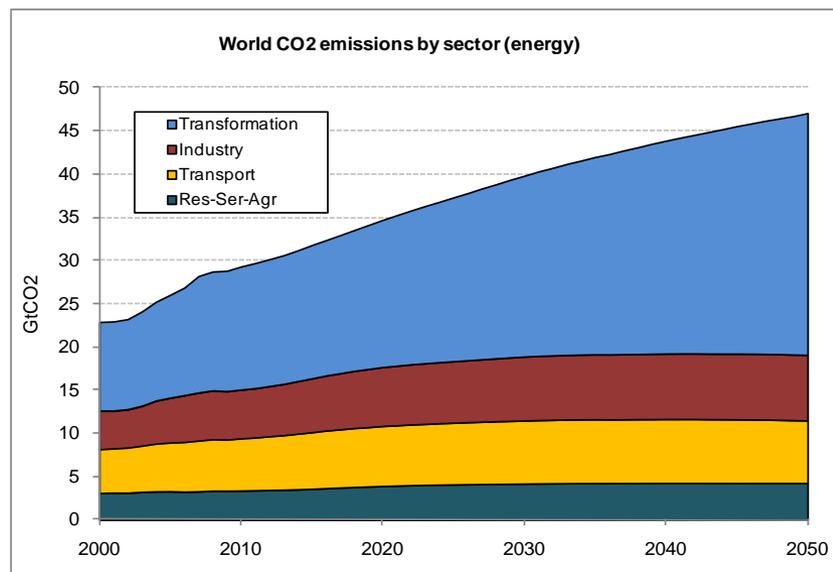
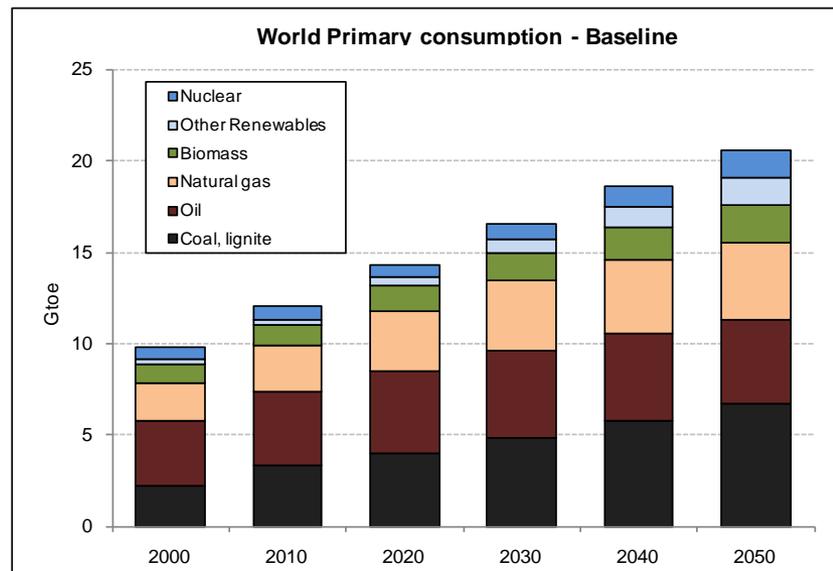
# Intensité carbone de l'énergie selon Gapminder

◆ [www.bit.ly/itB2s4](http://www.bit.ly/itB2s4)



# Baseline *Secure*

- ◆ Dans le Baseline, la réduction de l'intensité énergétique permet de contenir la croissance de la consommation (x 2)
- ◆ Mais pour l'intensité carbone, les progrès du charbon annulent ceux des renouvelables et du nucléaire => 2,25 tCO<sub>2</sub>/tep en 2000 et en 2050)



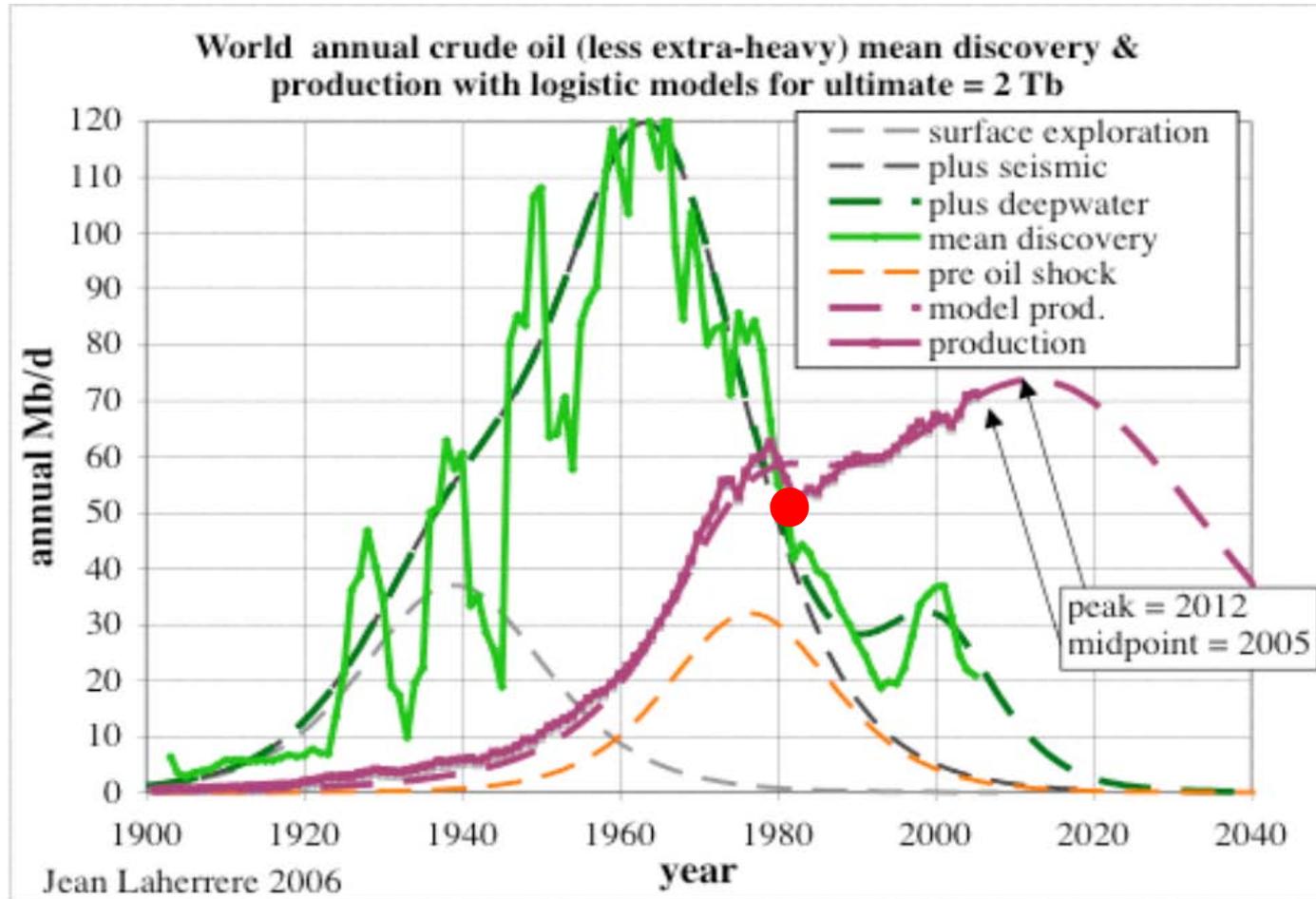
Source: P. Criqui, Silvana Mima, modèle POLES, projet Secure FP7

# Développement économique et énergie

- ◆ Introduction
- ◆ Les « drivers » et l'équation de Kaya
- ◆ Contraintes: 2 problèmes de baignoire
- ◆ Politiques pour un Développement Energétique Durable



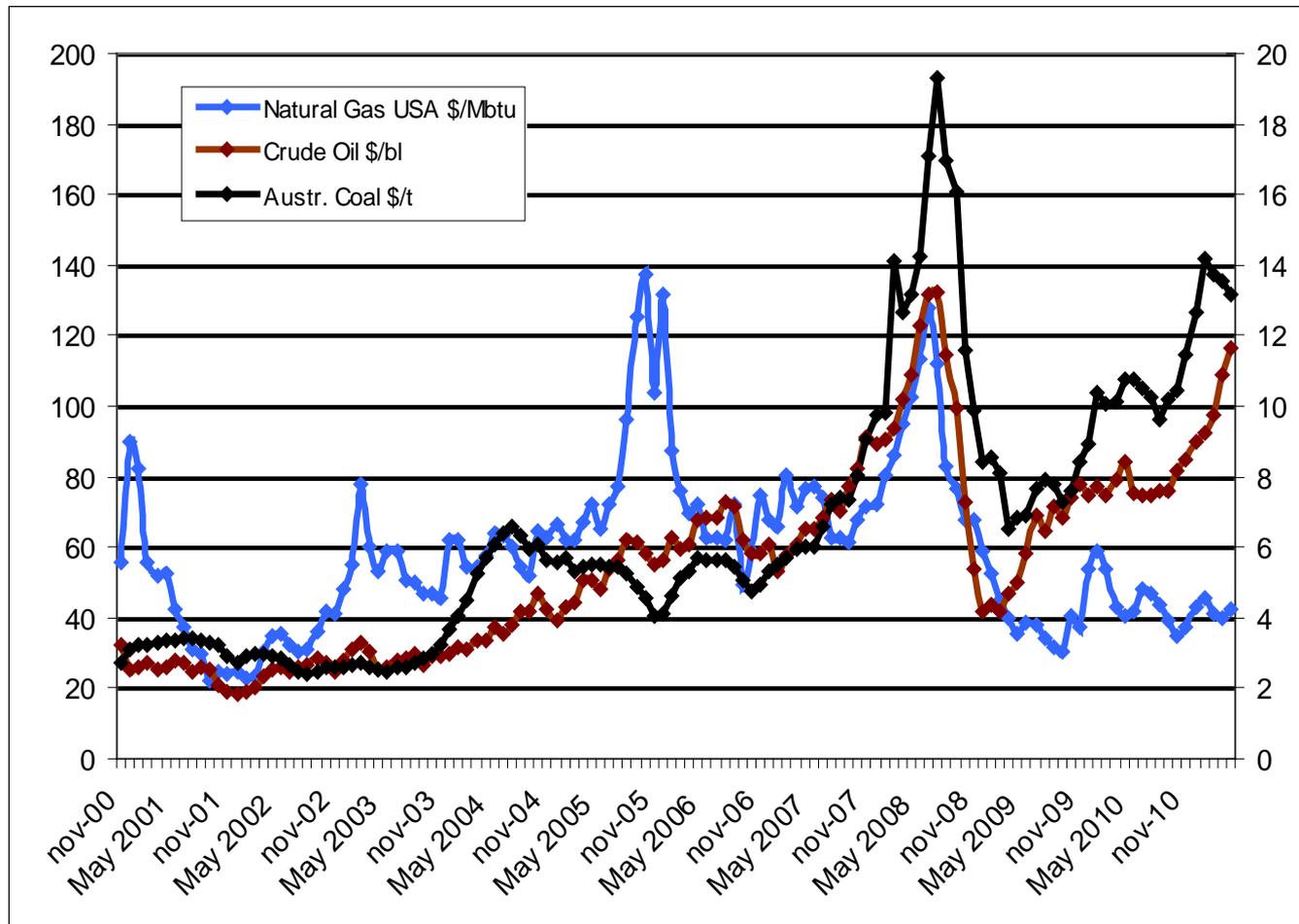
# Signal d'alarme: la production de pétrole conventionnel est supérieure aux découvertes



Source Laherrère, 2006, ASPO

# Le prix du pétrole, prix directeur de l'énergie

**\$/bl**  
**\$/tC**

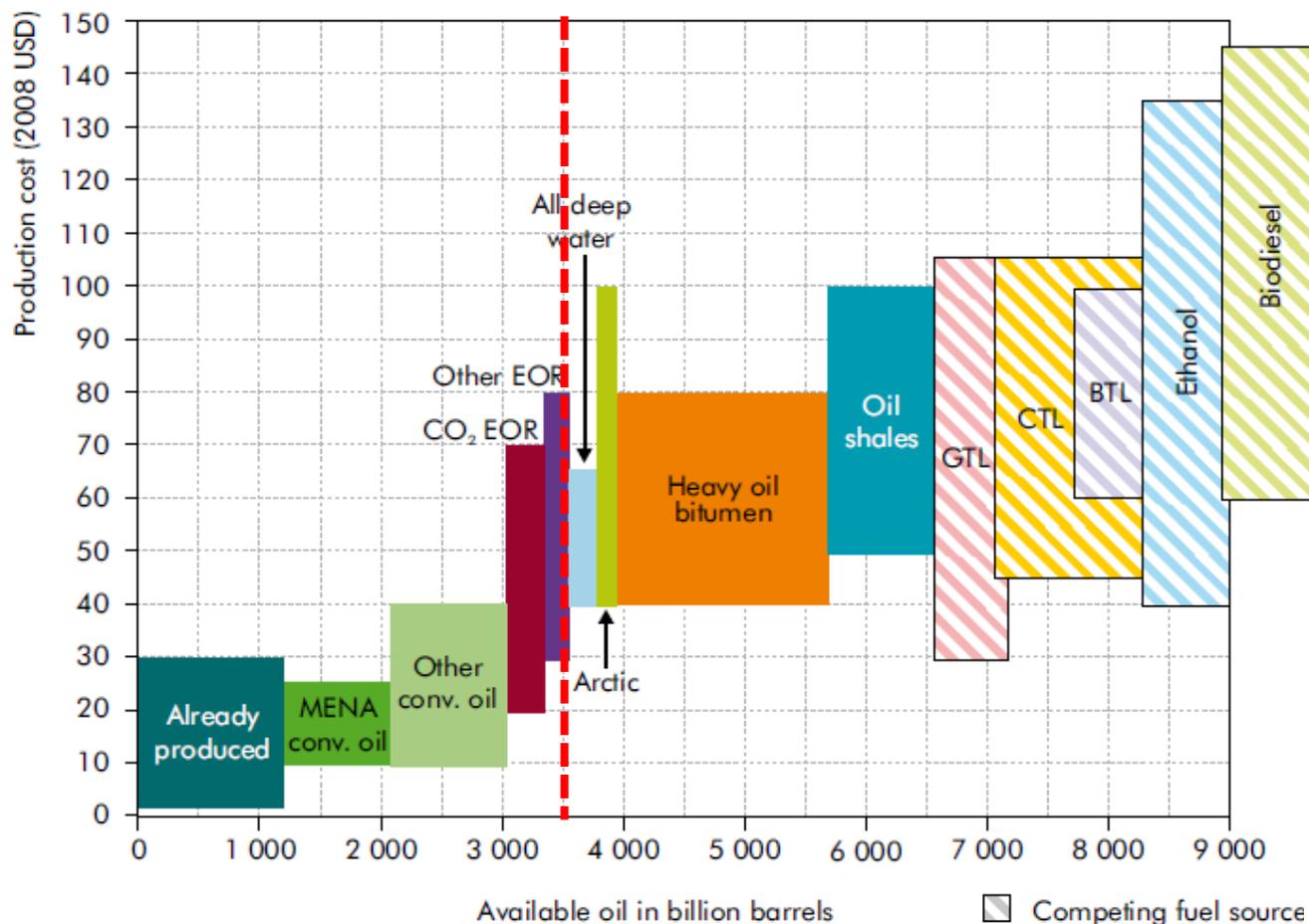


**\$/MBtu**



# Des liquides chers mais abondants ...

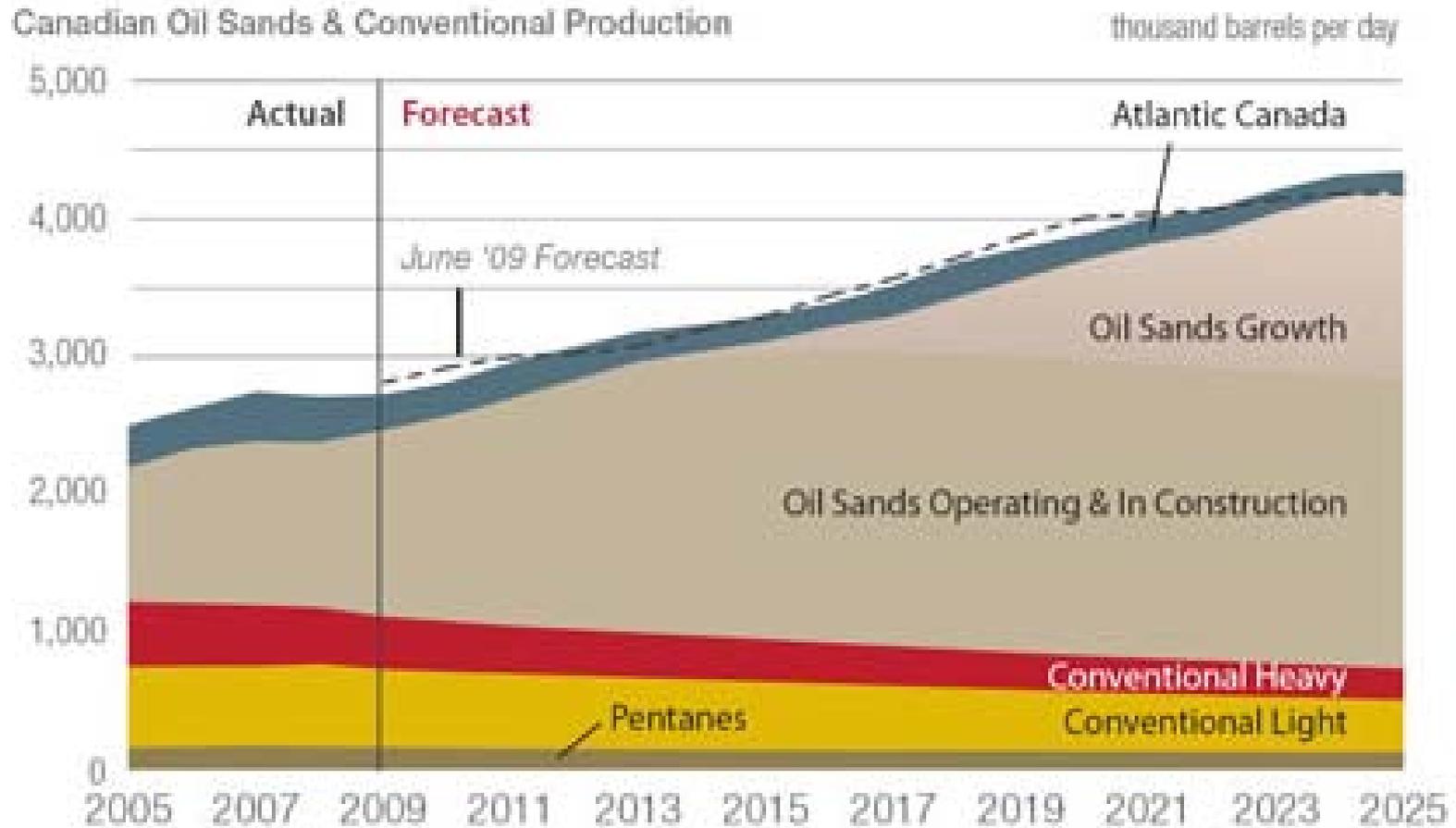
Production cost curve (not including carbon pricing)



Source: AIE

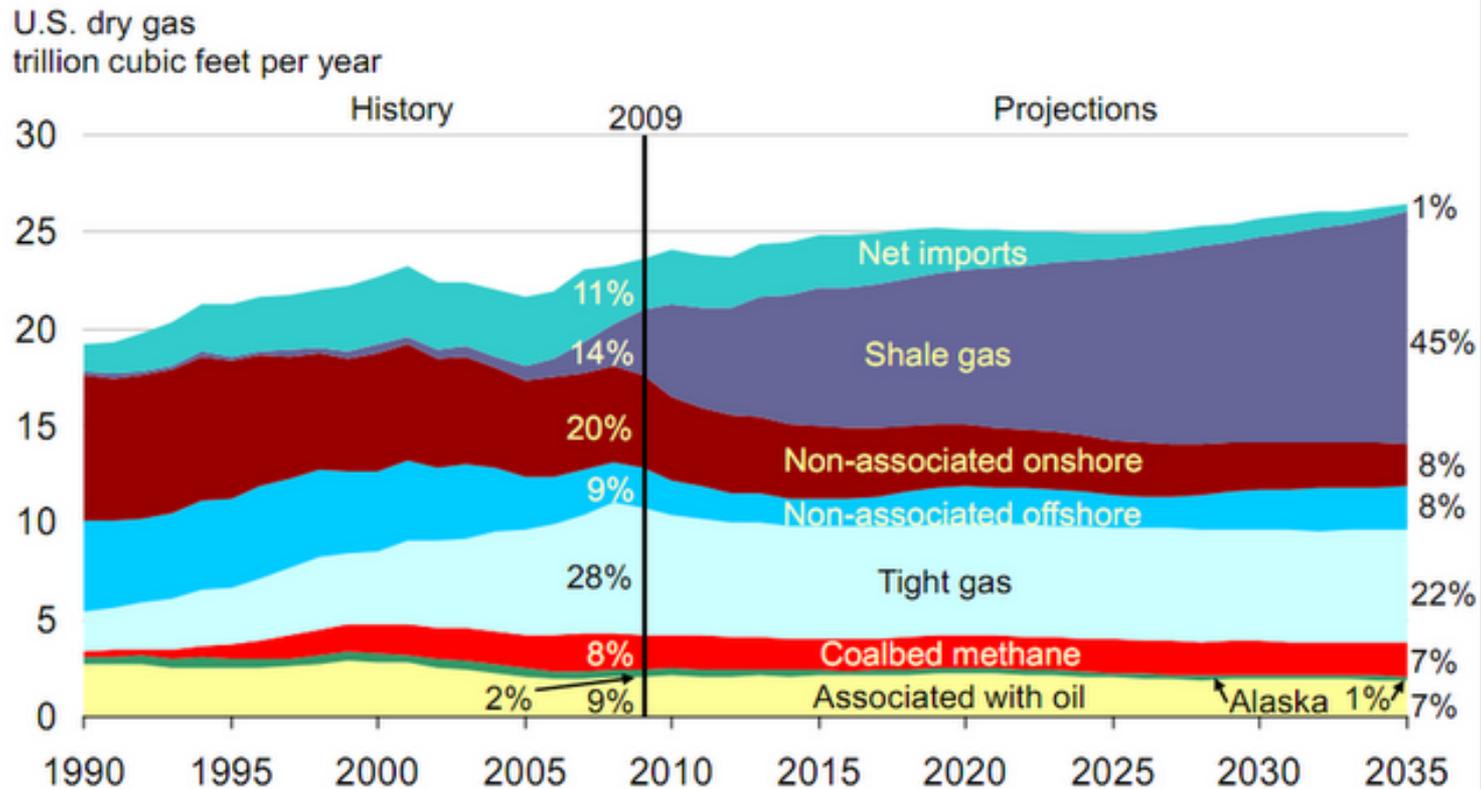


# Les sables asphaltiques au Canada



# Gaz de schiste: des ressources gazières multipliées par deux ?

Shale gas offsets declines in other U.S. supply to meet consumption growth and lower import needs



Richard Newell, December 16, 2010

Source: EIA, Annual Energy Outlook 2011 24

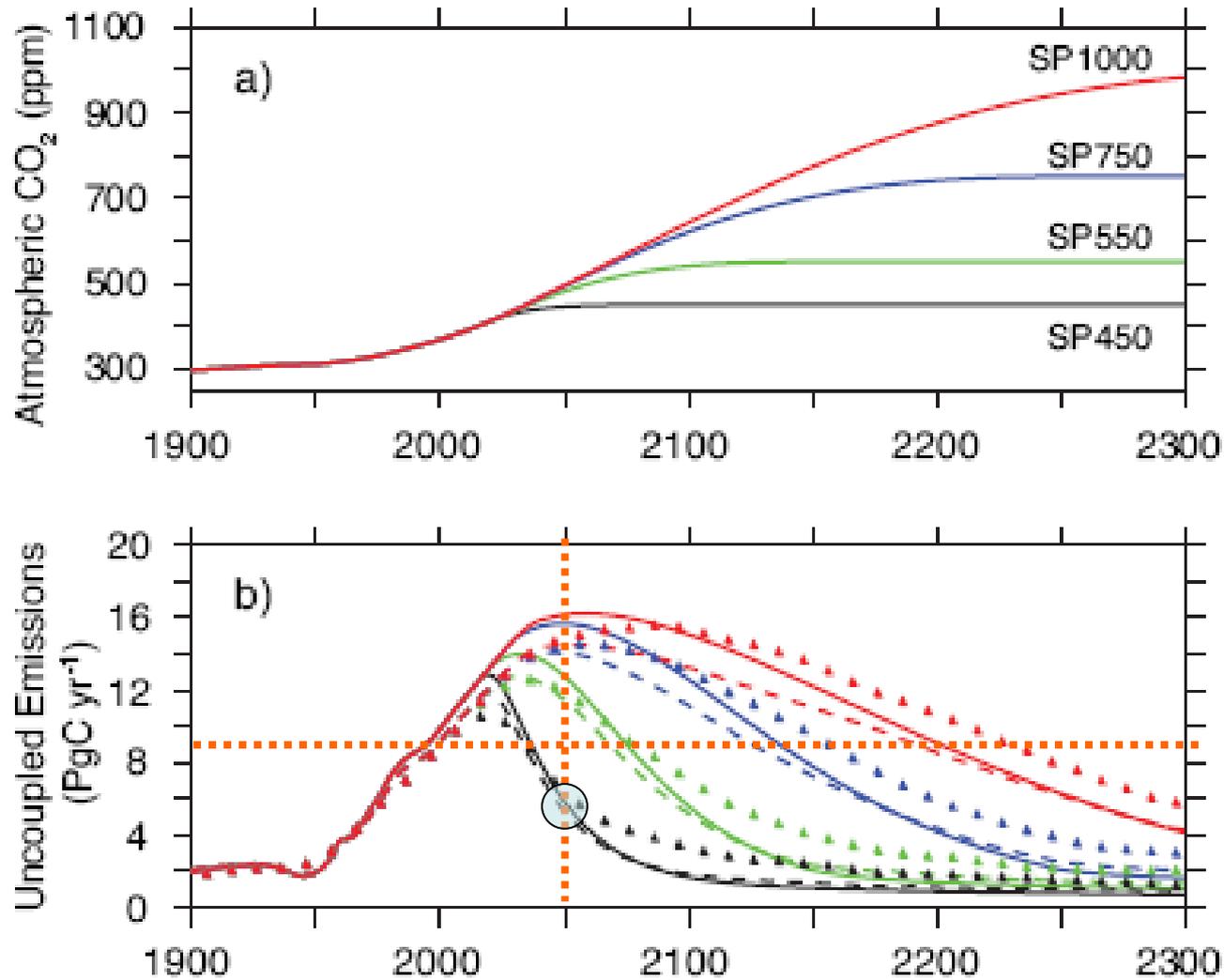


# Des ressources abondantes, mais chères... et sales!



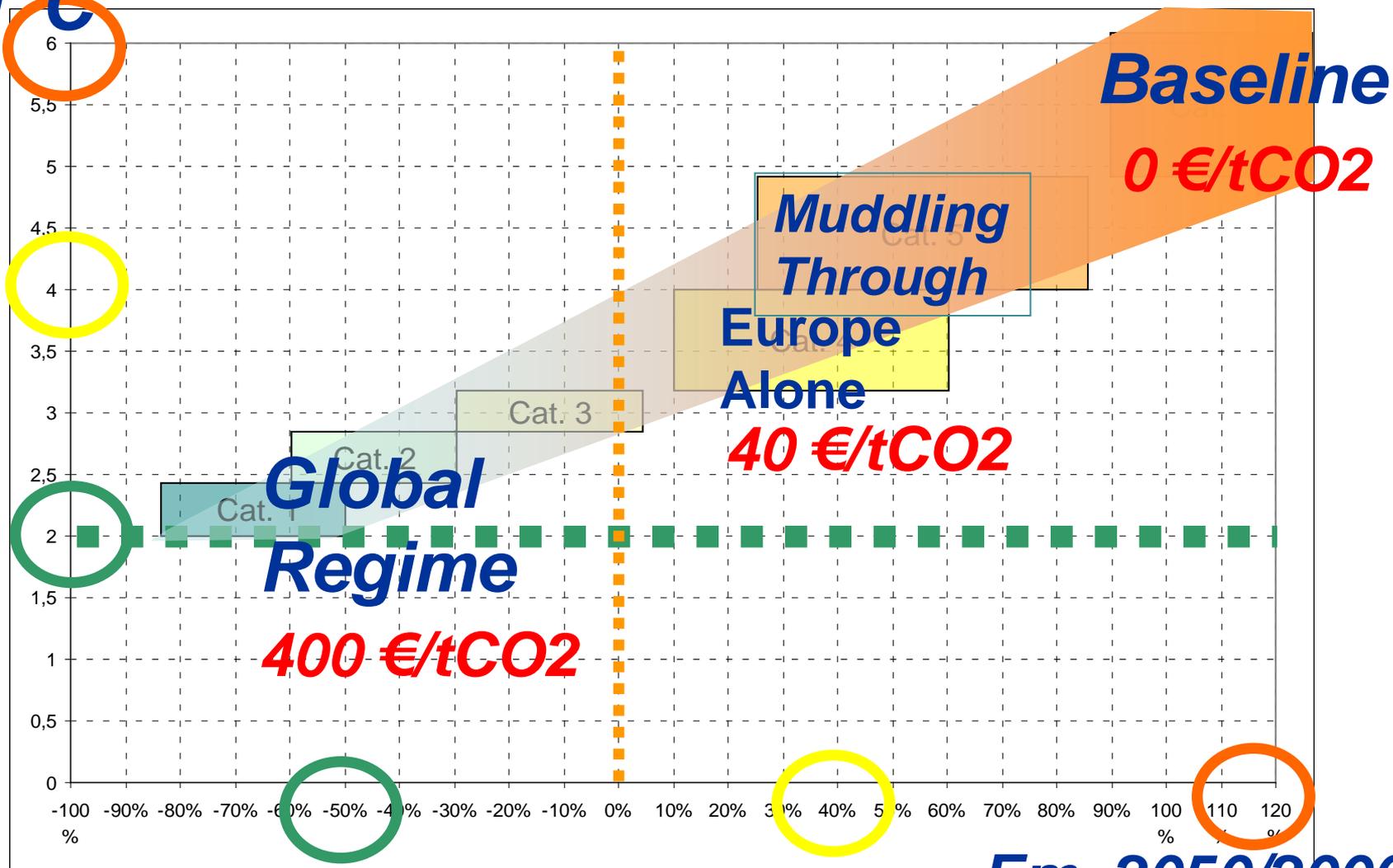
# Une science incertaine mais fiable... (Cl. Henry)

(GIEC 4° Rapp - 2007)



# Scénarios du projet Secure / SPM T5 du AR4 GIEC

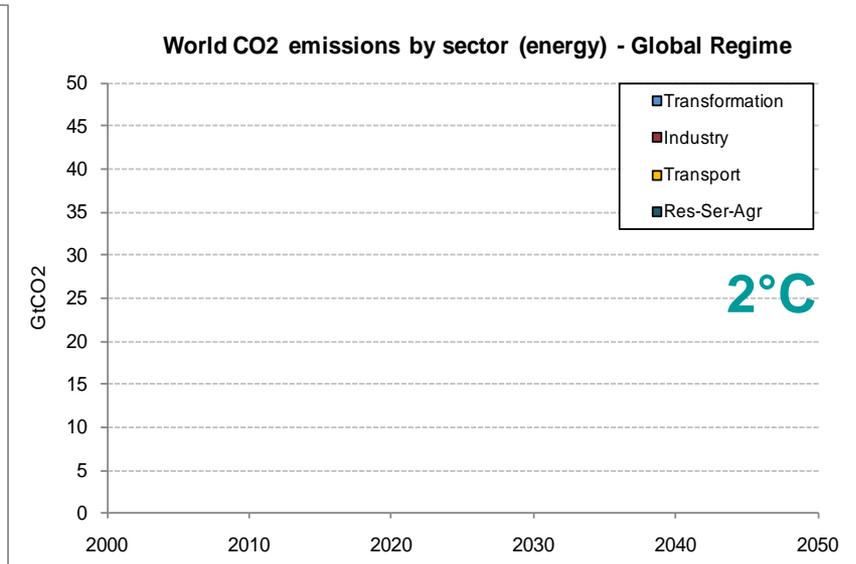
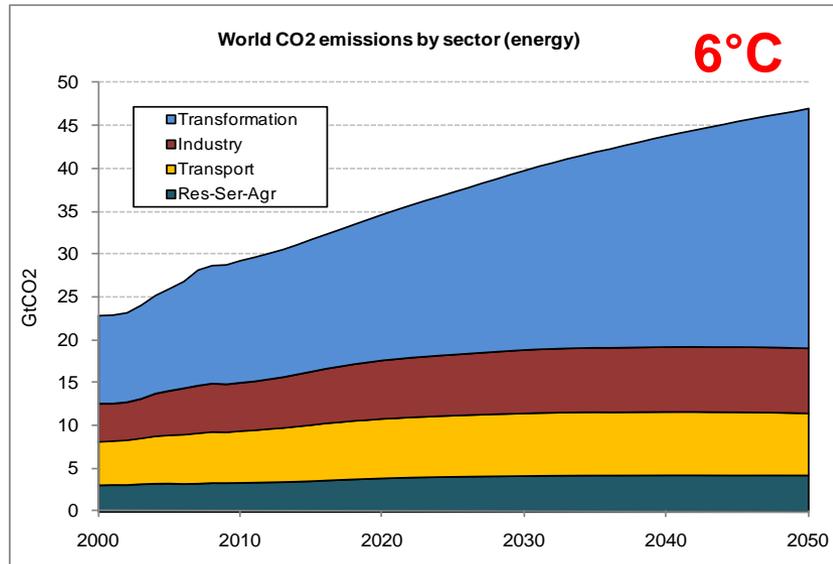
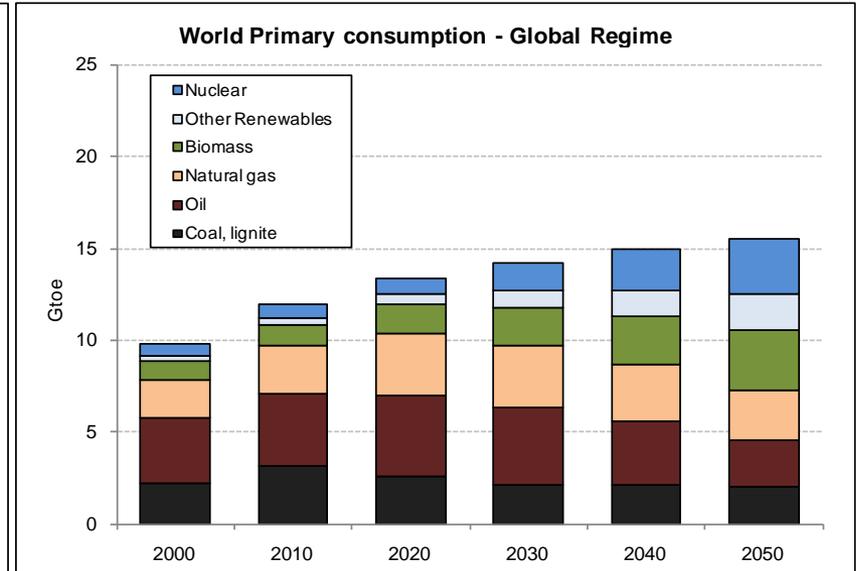
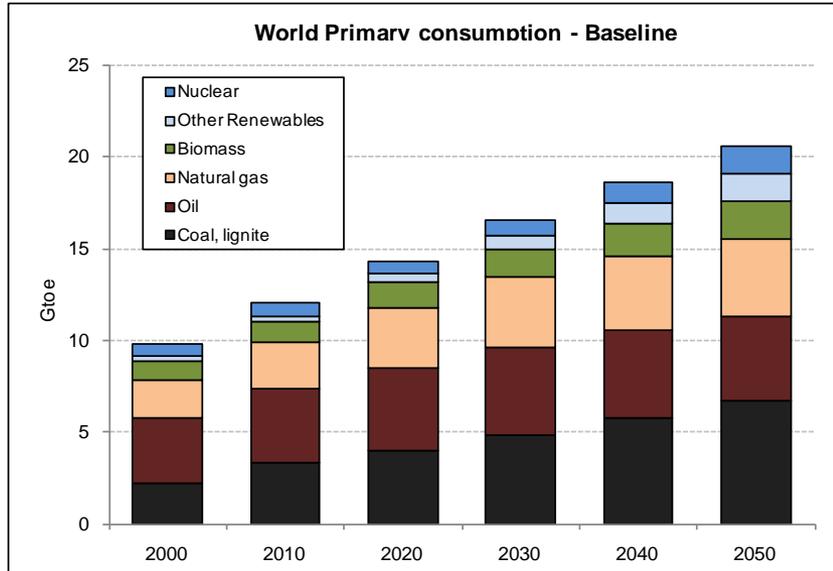
$\Delta T$  °C



**Em. 2050/2000**



# 2 paradigmes extrêmes pour le prochain 1/2 siècle



# Développement économique et énergie

- ◆ Introduction
- ◆ Les « drivers » et l'équation de Kaya
- ◆ Contraintes: 2 problèmes de baignoire
- ◆ Politiques pour un Développement Energétique Durable

# Le « triangle de base » de l'économie de l'environnement

Pigou (1920)  
Sol: taxes / puiss. publ.  
Pb: évaluation des coûts

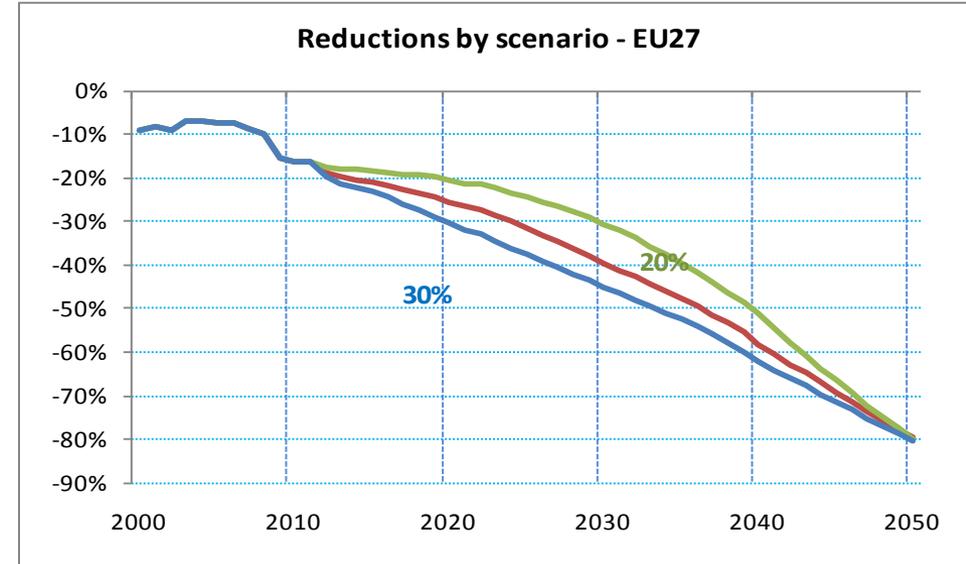
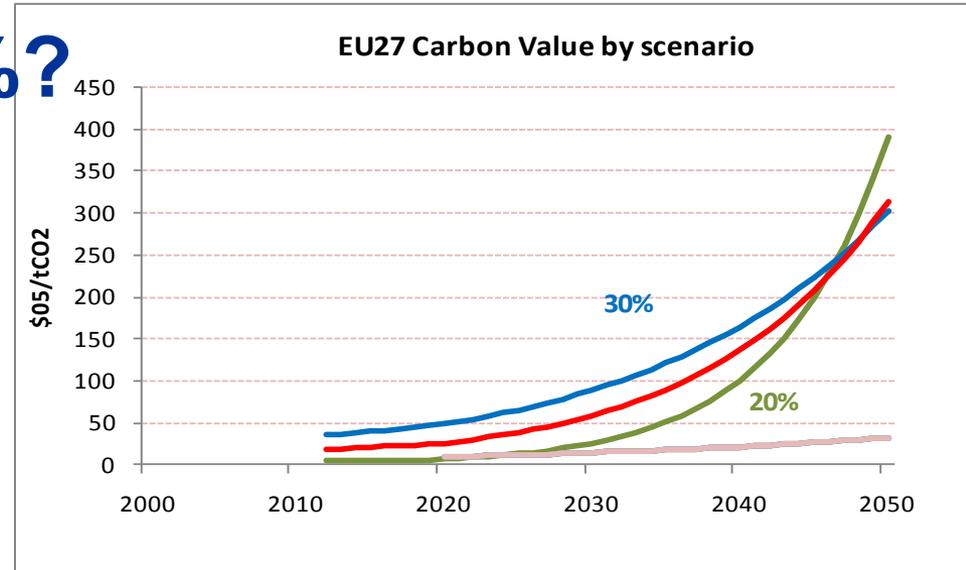
Commande & Contrôle  
(Clean Air Act 1963)  
Sol: normes et stdds.  
Pb: efficacité éco.

Coase (1960)  
Sol: droits de propr. + négoc.  
Pb: coûts de transaction



# VC et trajectoires d'émission, 20 ou 30%?

- ◆ A partir d'émissions 2010 de 16% inférieures à celles de 90, le caractère « delayed action » de T20 se traduit par un net ralentissement des réduction jusqu'en 2025, date à laquelle le rythme doit au contraire s'accélérer
- ◆ Inversement le scénario T30, avec son niveau initial élevé mais une augmentation modérée (4% puis 6%/ an) conduit à une trajectoire d'émissions de type linéaire

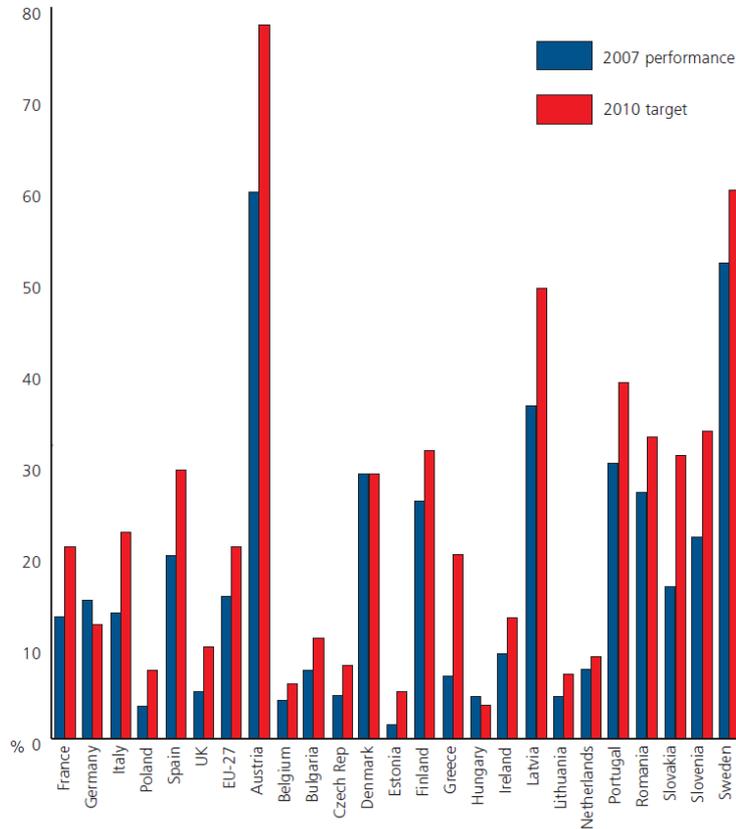


# How to meet the EU's 2020 renewables target

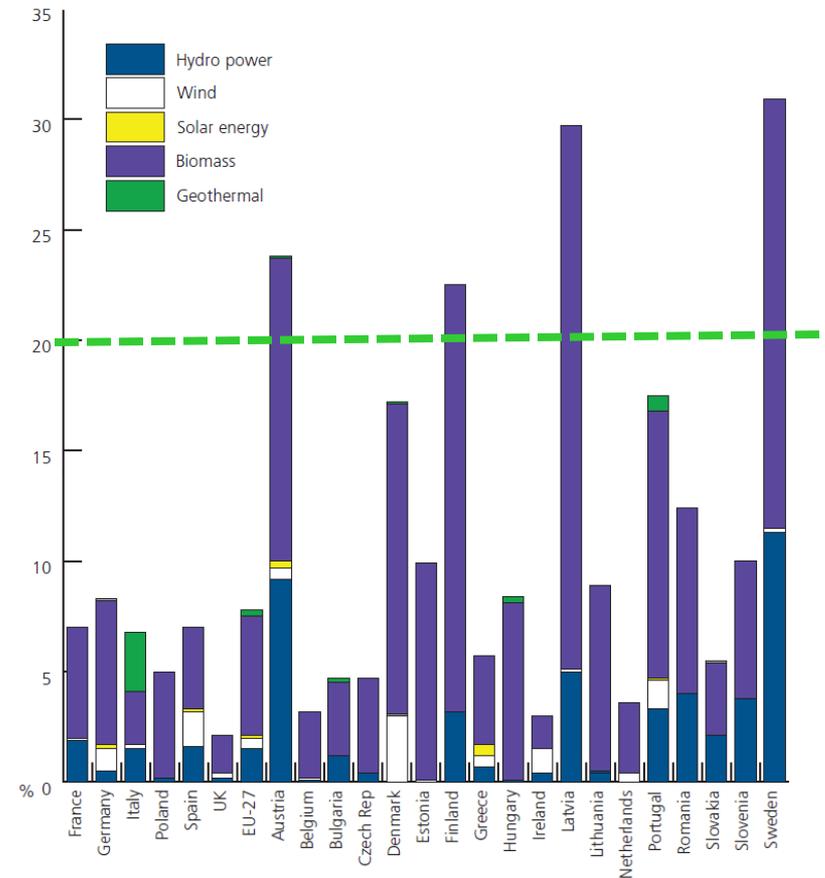
By Stephen Tindale

Center for European Reform

Share of electricity generated renewably  
(as a percentage of total electricity)



Share of renewables in total domestic energy consumption, 2007



Sources: Eurostat, European Commission.

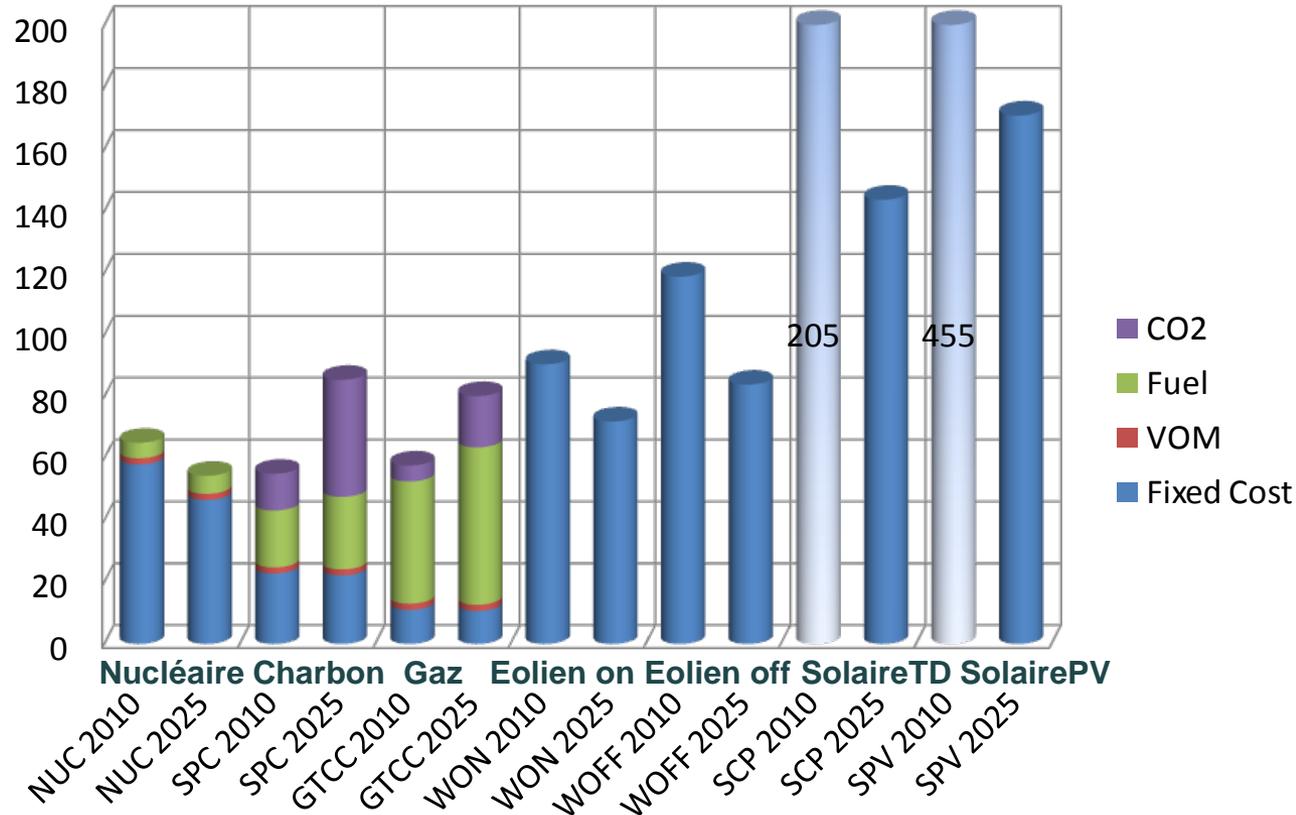


# Investissement, combustible, carbone: trois dimensions des coûts de production (Source TECHPOL, laboratoire EDDEN)

	2010	2025	2010	2025	2010	2025
	Uranium \$/MWh		Charbon \$/t		Gaz \$/Mbtu	
Fuel price	7,0	8,0	90	120	9	12
Carbon price €/tCO2			15	50	15	50

TECHPOL db Power Technologies		Nuclear GEN-3 1600 MWe		Super Pulveriz 900 M
Euros 2010		2010	2025	2010
Overn. Inv. Cost	€/kW	3000	2500	1500
Technical lifetime	Years	40	40	40
Construction time	Years	8	6	3
Interest rate	%	5%	5%	5%
Decommission share	%	75%	75%	10%
Discount rate (%)	%	8%	8%	8%
<b>Total investment Cost</b>	<b>€/kW</b>	<b>3827</b>	<b>3046</b>	<b>1659</b>
Fixed cost	€/kW	321	255	139
FOM cost	€/kW	60	50	30
Load. Factor	%	75%	75%	85%
Fixed cost	€/MWh	58	46	23
Fuel price	€/toe	19,2	22,3	92
Carbon content	tCO2/toe			4,0
Carbon price	€/tCO2			15
Electrical efficiency	%	33%	33%	43%
CO <sup>2</sup> emissions	tCO2/MWh			0,79
Fuel cost incl. Carbon	€/MWh	5,0	5,8	30
VOM cost	€/MWh	2,0	2,0	2,0
Variable cost	€/MWh	7,0	7,8	32
Production cost	€/MWh	65	54	55

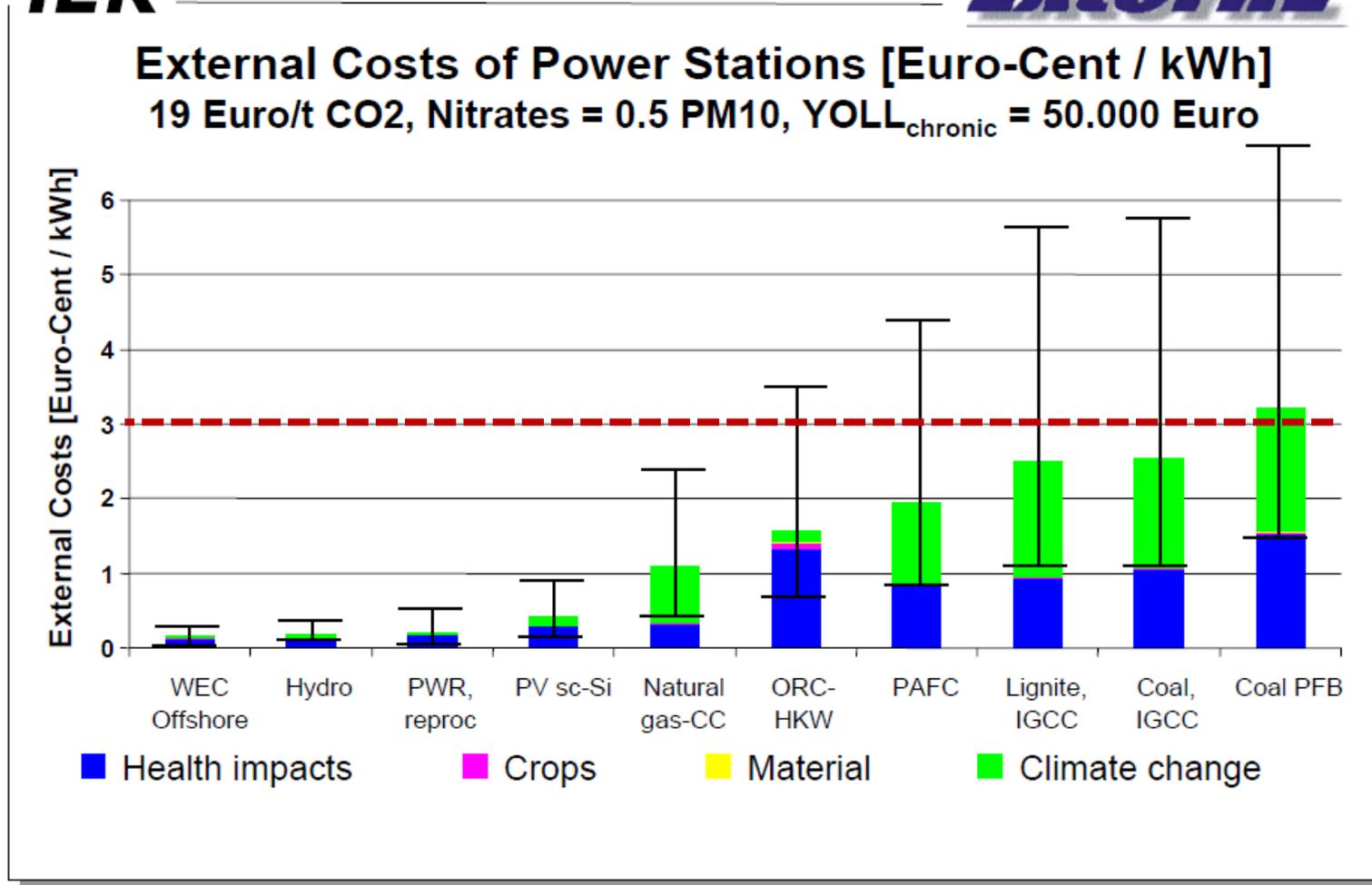
Production Costs from TECHPOL-db (€/MWh, 2010-2025)



# L'approche ExternE (R. Friedrich, IER, 2005)

**IER**

**Externe**

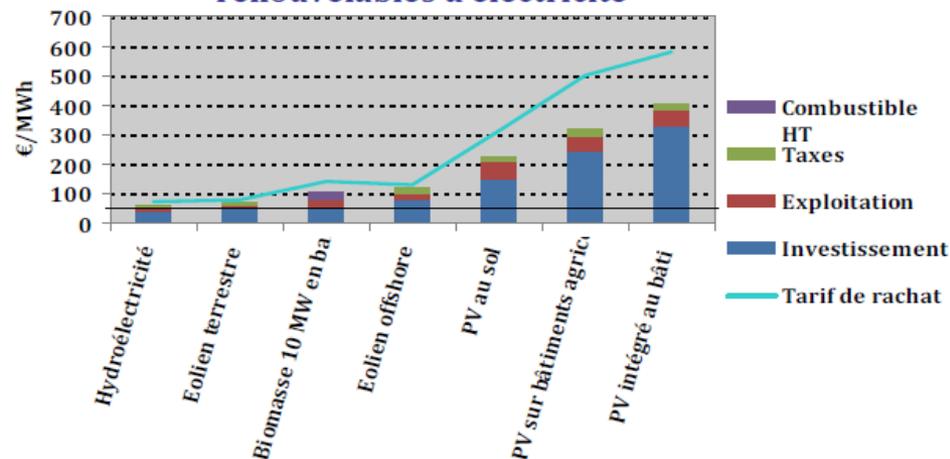


# Le débat sur les tarifs de rachat en France

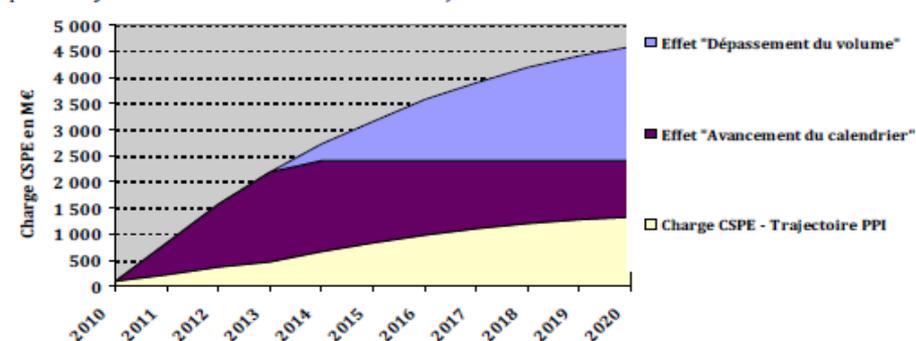
Le rapport Charpin pointe les difficultés soulevées par:

1. L'écart entre les tarifs et les couts
2. Les montants financiers impliqués par une diffusion accélérée
3. Les conséquences potentielles pour les ménages via la CSPE
4. L'impact négatif des importations de panneaux sur le commerce extérieur

Écart entre le tarif de rachat et le coût de production pour différentes sources renouvelables d'électricité



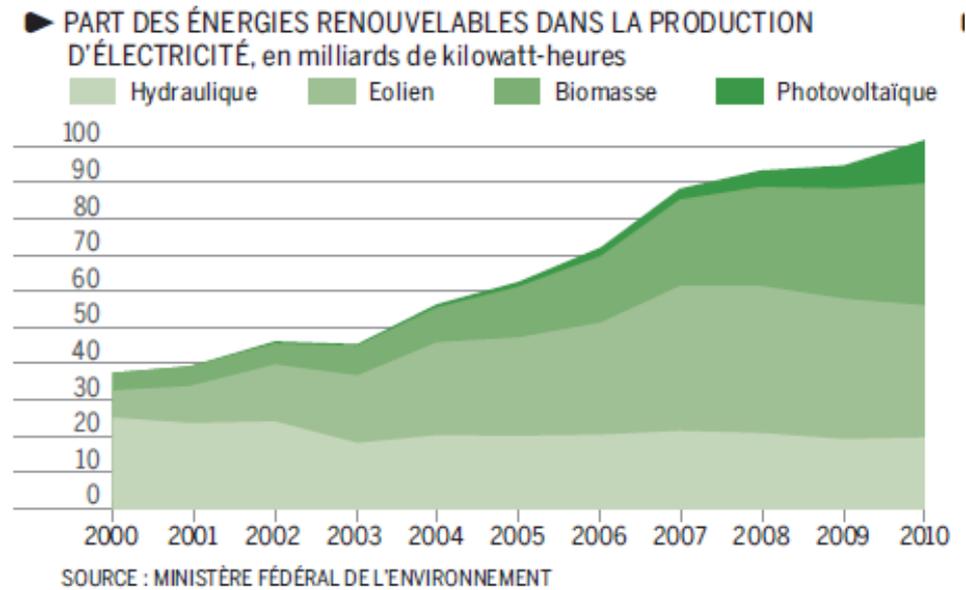
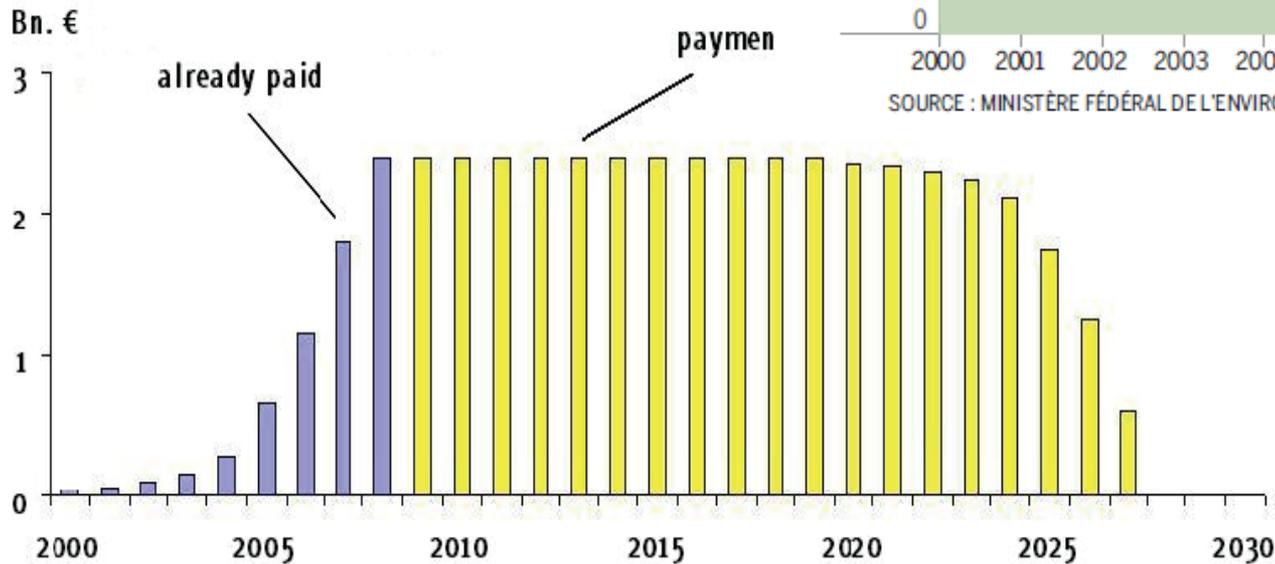
Évolution des charges pour la CSPE entre 2010 et 2020 pour la trajectoire « 17GW en 2020 »



- Des conséquences sur la facture des consommateurs d'électricité : pour fixer des ordres de grandeur, une charge de 5Md€ par an pour la CSPE à horizon 2020 correspond à un coût de :
  - +200€ par an pour un ménage se chauffant à l'électricité (facture annuelle de 1900€ en 2009 pour une consommation de 17MWh) ;
  - +50€ par an pour un ménage moyen (facture annuelle de 500€ en 2009 pour une consommation de 4,5MWh).
- Le tarif de rachat de l'électricité photovoltaïque n'est pas le seul facteur d'augmentation de la CSPE (éolien, biomasse...). Des effets globalement anti-redistributifs (investisseurs/consommateurs)

# Le débat sur les tarifs de rachat en Allemagne... (RIW)

Figure 4: Annual Amount of Feed-in Tariffs for 2008



# Propos d'étape

- ◆ L'avenir le plus souhaitable, +2°C, n'est pas le plus probable, +4°C, mais « *l'art du politique est de rendre possible ce qui est souhaitable* » (M. Rocard)
- ◆ La prise en compte des coûts externes des énergies – et en particulier de la valeur du carbone – est une condition nécessaire mais non suffisante pour un Développement Energétique Durable
- ◆ Les politiques du DED doivent aussi gérer:
  - les risques et les incertitudes scientifiques
  - les politiques d'innovation et leur dimension industrielle
  - l'acceptabilité sociale et les changements de comportement