

# *Production d'électricité en Belgique*

**Jean-Marie Streydio**

Prof. Emérite UCL et co-président de l'ex-commission AMPERE



## *Plan de l'exposé*

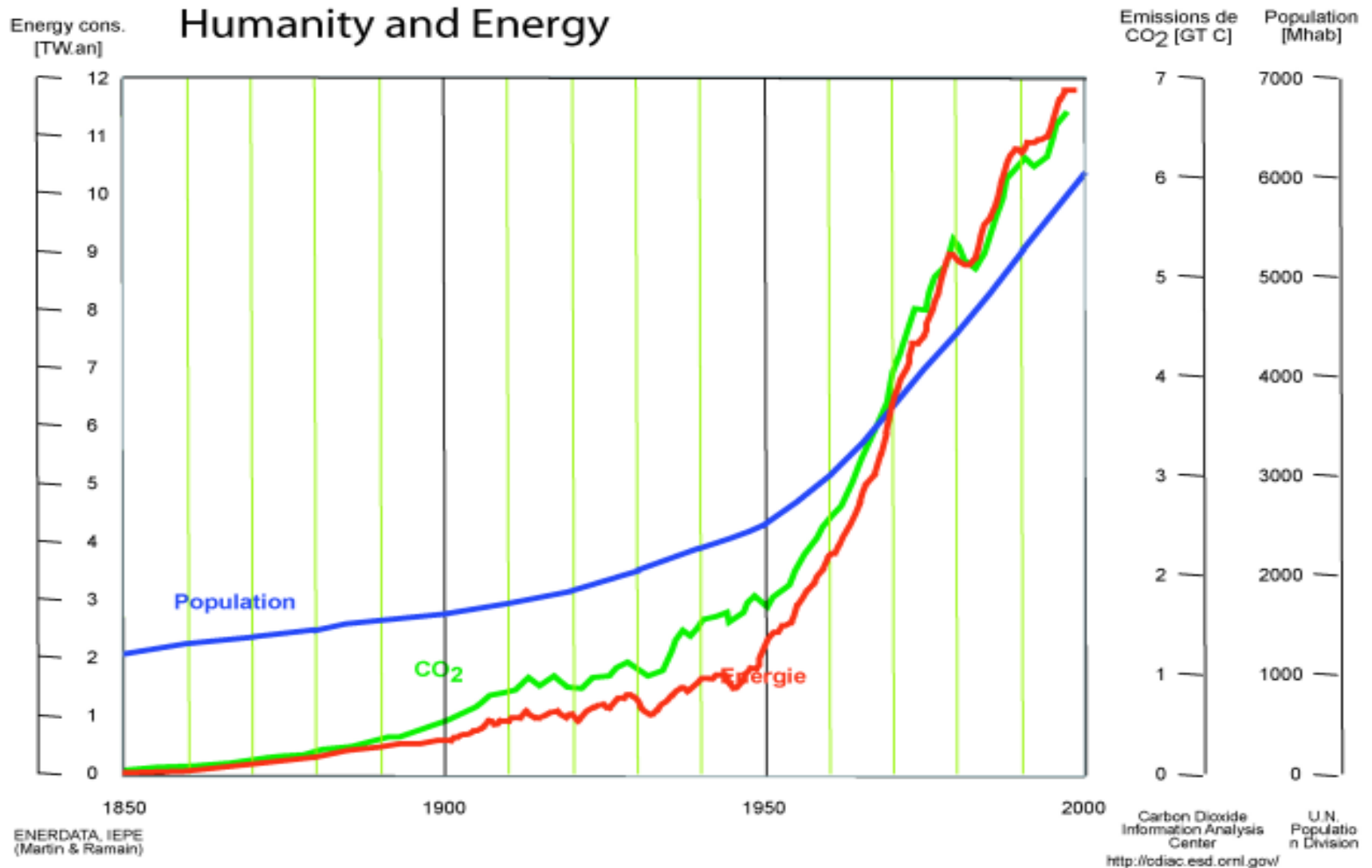
1. Données de base (population, consommation, ressources)
2. Production d'électricité en Belgique et conséquences
3. La diabolisation du nucléaire
4. Conséquences économiques
5. Où sont les vrais problèmes?
6. Conclusion

# ***1. Données de base***

***(population, consommation,  
ressources)***

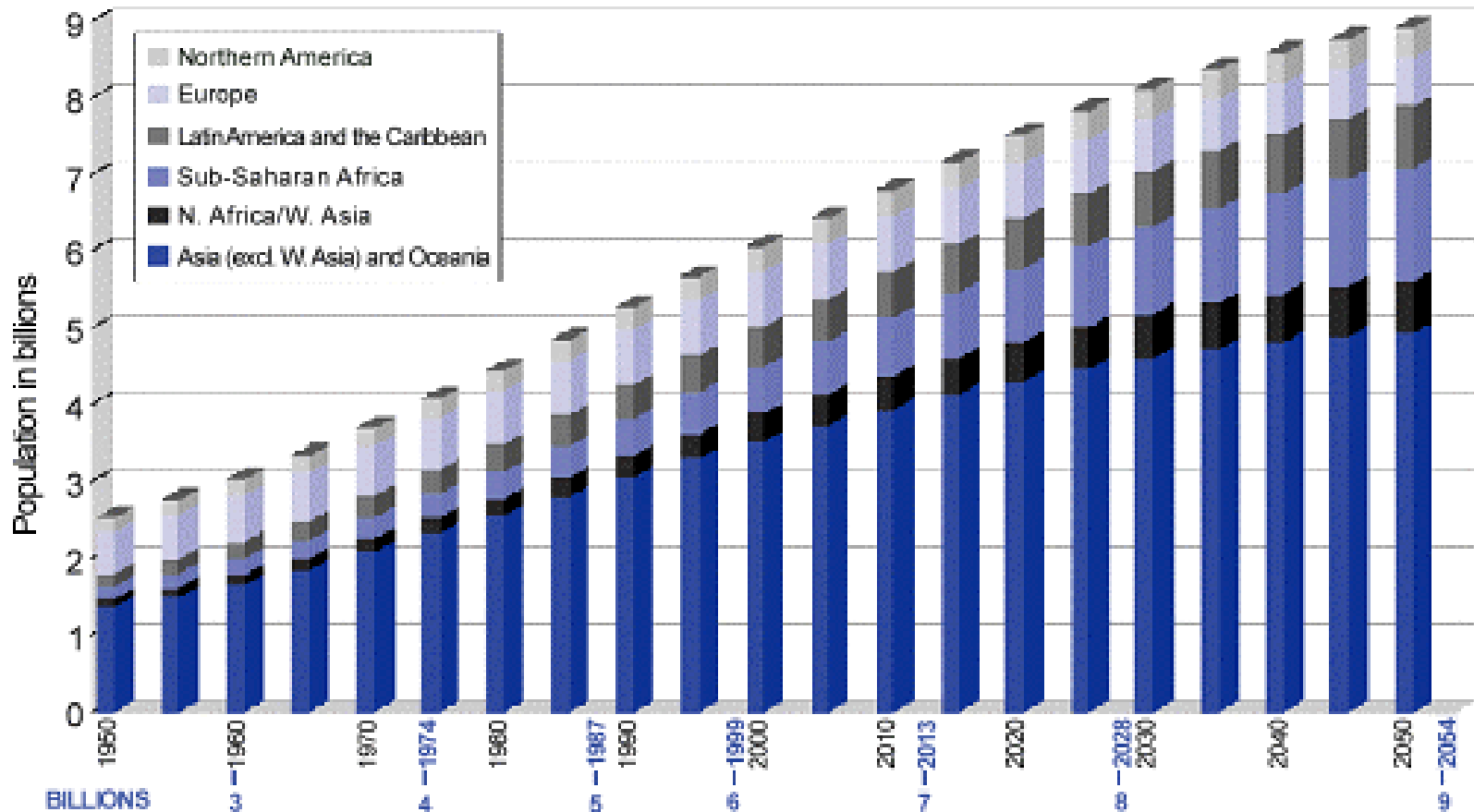
# Population mondiale et consommation d'énergie

(Maréchal, 2004)



# *Evolution de la population mondiale par régions*

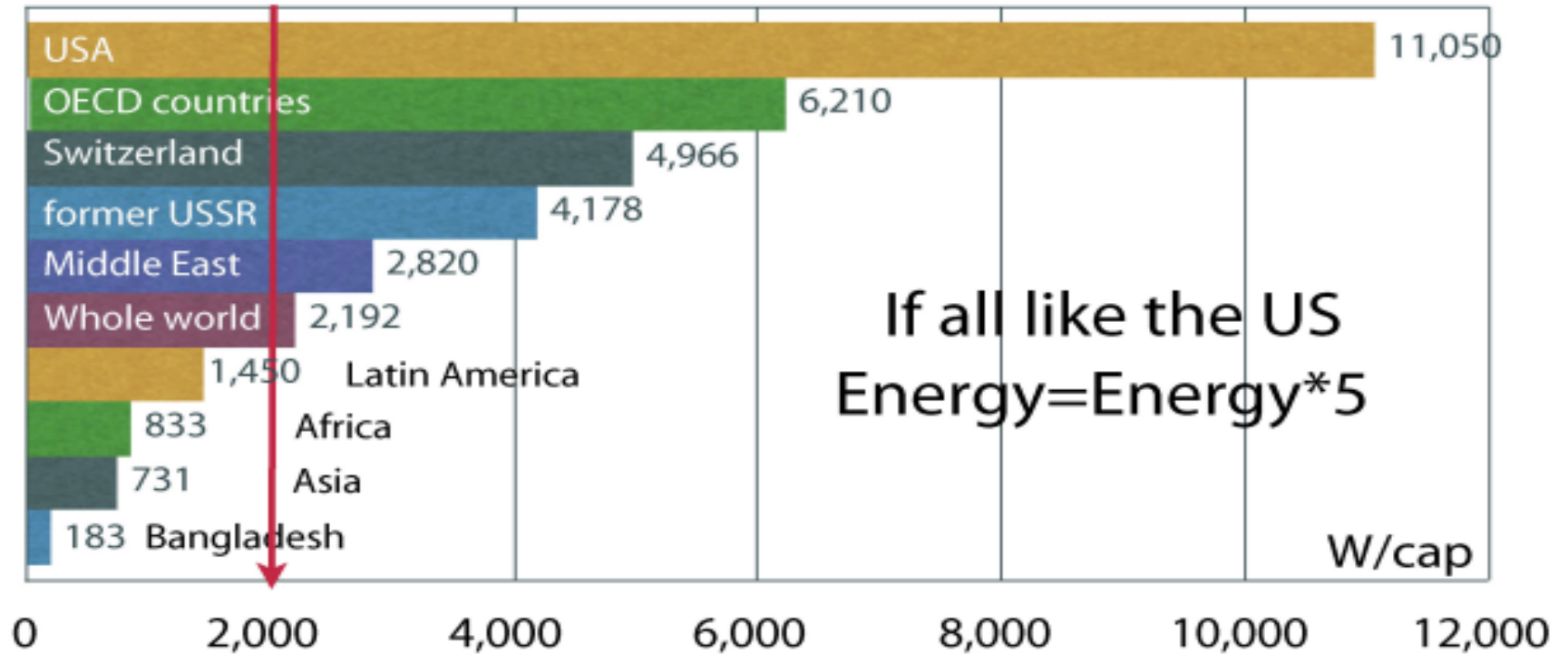
Figure 3  
Regional Distribution of Population 1950-2050



*Consommation d'énergie selon les régions (Maréchal, 2004)*

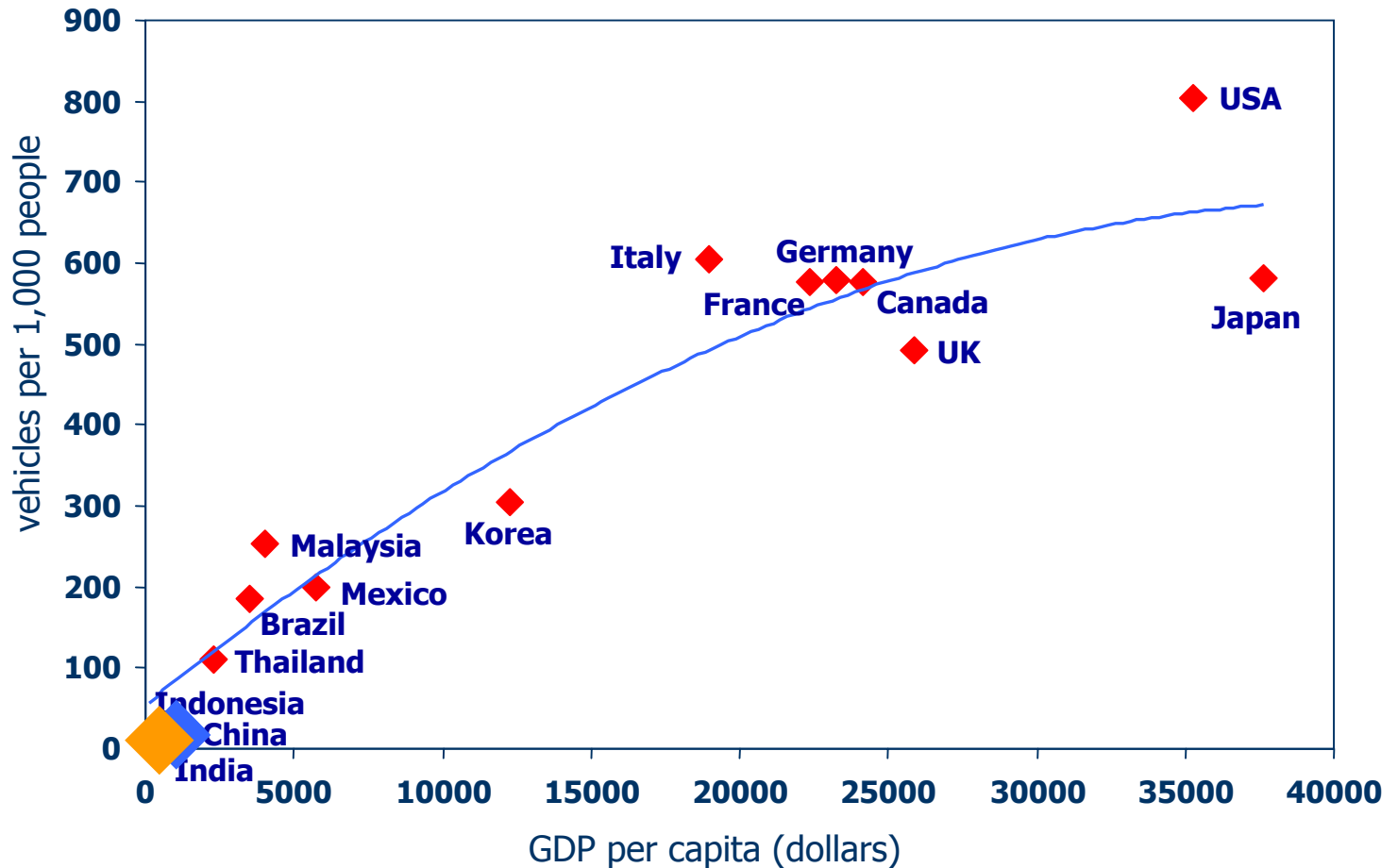
# Energy consumption

Primary Energy Consumption per capita in 2001



Source: Key World Energy Statistics, IEA, edition 2001

# Vehicle Ownership, 2004



***The potential for increased vehicle ownership in emerging markets, in particular China and India, is huge***

# Données de base sur les ressources énergétiques mondiales

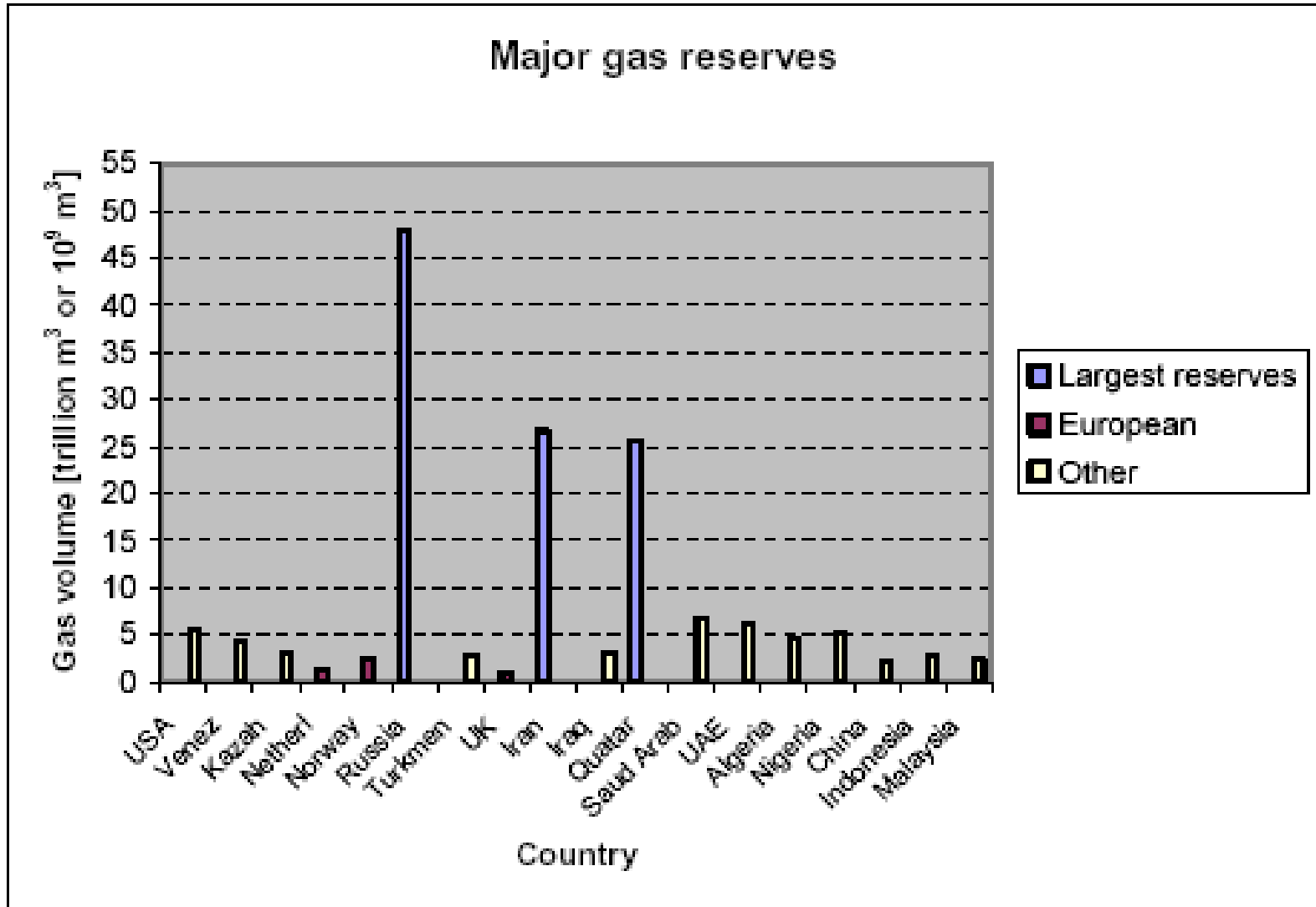
Ressource		Quantités de ressources en ZJ [ $10^{21}$ J]					
		Consommé en 1998	Réserves	Réserves en années <sup>(1)</sup>	Ressources	Total réserves + ressources	Autres possibilités
<b>Pétrole</b>	Conventionnel	4,85	6,00	<b>40,6</b>	6,07	12,08	
	Non conventionnel	0,29	5,11		15,24	20,35	45
	Total	5,14	11,11		21,31	32,42	45
<b>Gaz</b>	Conventionnel	2,35	5,45	<b>66</b>	11,11	16,57	
	Non conventionnel	0,03	9,42		23,81	33,24	930
	Total	2,38	14,88		34,93	49,81	930
<b>Charbon</b>		5,99	20,67	<b>156</b>	179,00	199,67	
Total ressources fossiles		13,51	46,66		235,24	281,89	975
<b>Uranium</b>	Cycle ouvert dans réacteurs thermiques		1,89	<b>60 à 260</b>	3,52	5,41	2000 <sup>(2)</sup>
	Cycle fermé avec réacteurs rapides		113	<b>3000</b>	211	325	120000 <sup>(2)</sup>

D'après ROGNER, 1997 et WEA, 2000

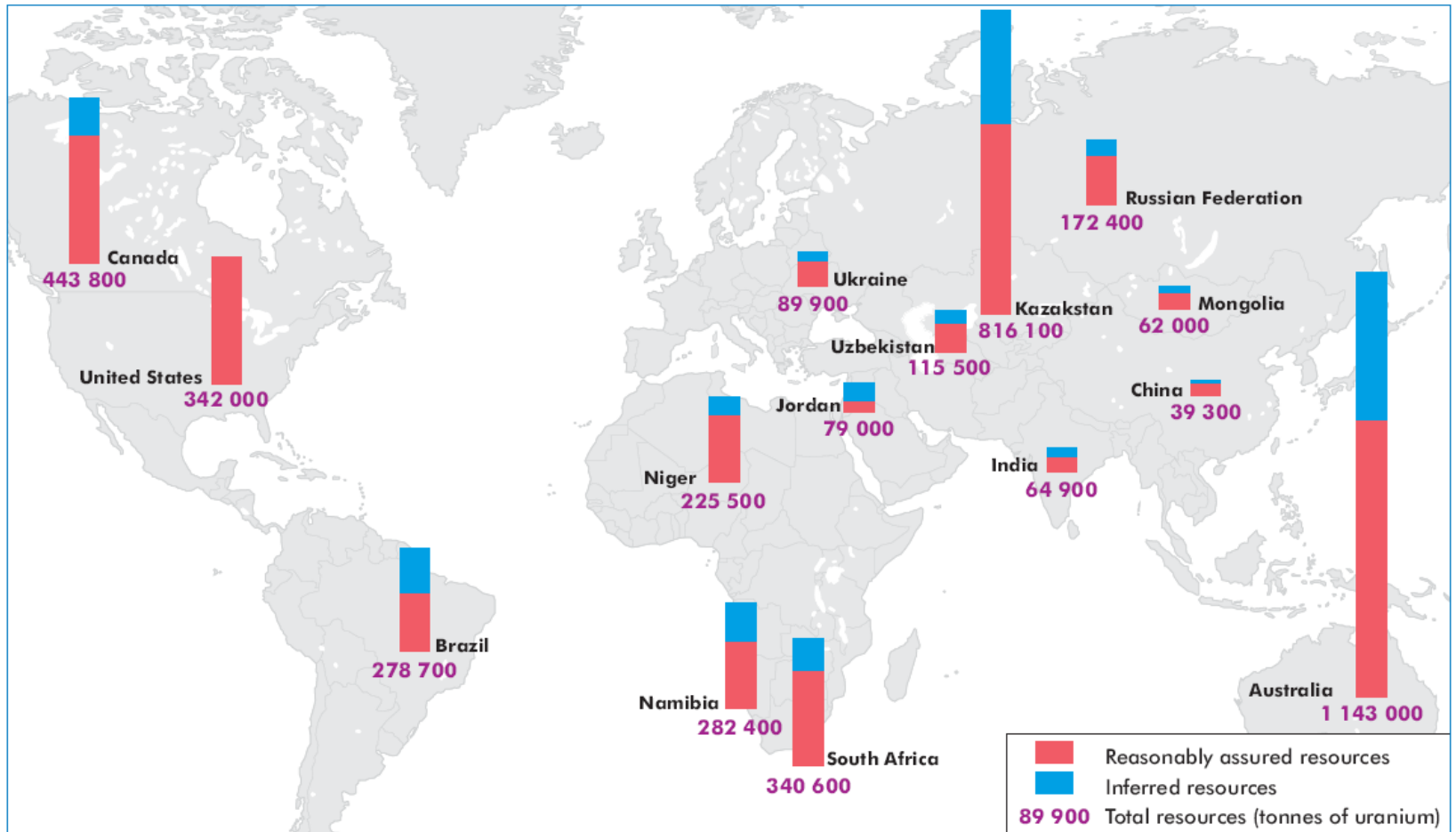
<sup>(1)</sup> Selon EC-Green Paper, Technical document, 2000

<sup>(2)</sup> En incluant l'uranium de l'eau de mer et d'autres ressources (phosphates)

## *Distribution géographique des réserves de gaz [BP, 2006]*



# *Global Distribution of Uranium Resources: Top 20 Countries (at 1/1/2005)*



***Uranium resources are widely distributed around the world, with large known volumes in Australia, Canada & Kazakhstan***

## *Décomposition du prix de production du kWh, selon les types de centrales*

---

<b>Poste</b>	<b>Nucléaire</b>	<b>Gaz (TGV)</b>	<b>Charbon</b>
<b>Investissement (*)</b>	<b>50-60 %</b>	<b>15-20 %</b>	<b>40-50 %</b>
<b>Production et maintenance</b>	<b>20-35 %</b>	<b>5-10 %</b>	<b>15-25 %</b>
<b>Combustible(**)</b>	<b>15-20 %</b>	<b>70-80 %</b>	<b>35-40 %</b>

(\*) En ce compris les intérêts pendant la période de construction

(\*\*) Amont et aval, le prix du minerai lui-même n'intervient que pour  
2 à 3 %

Sources : AREVA (2006), Synatom (2006), Energie 2030 (2007)

## *Consommation d'énergie primaire (fin 2004)*

---

<b>Source (en %)</b>	<b>UE-25</b>	<b>Monde</b>
Nucléaire	<b>15</b>	6
Charbon	18	26
Gaz naturel	24	23
Pétrole	<b>37</b>	<b>36</b>
Hydraulique + autres renouvelables	4+2	6+3

*Source : Perspectives énergétiques mondiales,  
WEO 2004, OCDE-AIE, Paris*

## *Production d'électricité (fin 2004)*

---

Source (en %)	UE-25	Monde
Nucléaire	32	16
Charbon	21	40
Gaz naturel	20	15
Pétrole	15	10
Hydraulique + autres renouvelables	9+3	19

*Source : Perspectives énergétiques mondiales,  
WEO 2004, OCDE-AIE, Paris*

# Demande d'énergie primaire EU-25

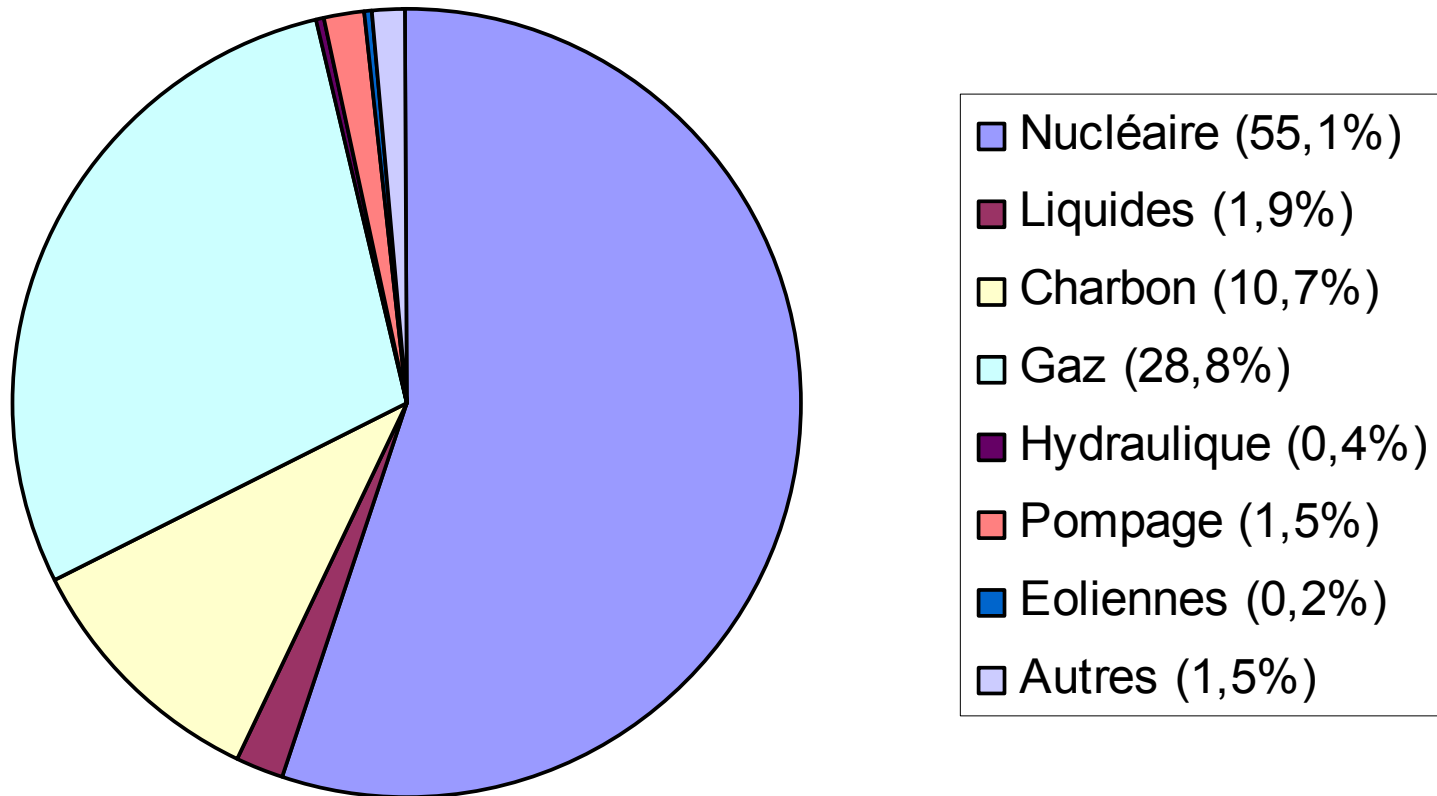
<i>Consommation d'énergie primaire (Mtoe)</i>						
	Solides	Fuel	Gaz	Nucléaire	Renouvelables	Total
2000	303	636	376	238	96	1649
2030	300	674	628	185	170	1957
<i>Croissance annuelle (%)</i>	- 0,04	0,20	1,73	- 0,83	1,91	0,57
<i>Importations</i>						
2000	91	520	186			
2030	197	651	511			
<b><i>Dépendance (%)</i></b>						
<b>2000</b>	<b>30,15</b>	<b>81,75</b>	<b>49,52</b>			
<b>2030</b>	<b>65,82</b>	<b>96,52</b>	<b>81,36</b>			

Source : DGTREN, 2005

## ***2. Production d'électricité en Belgique et conséquences***

## *Production d'électricité en Belgique en 2004 (FPE, 2005)*

---



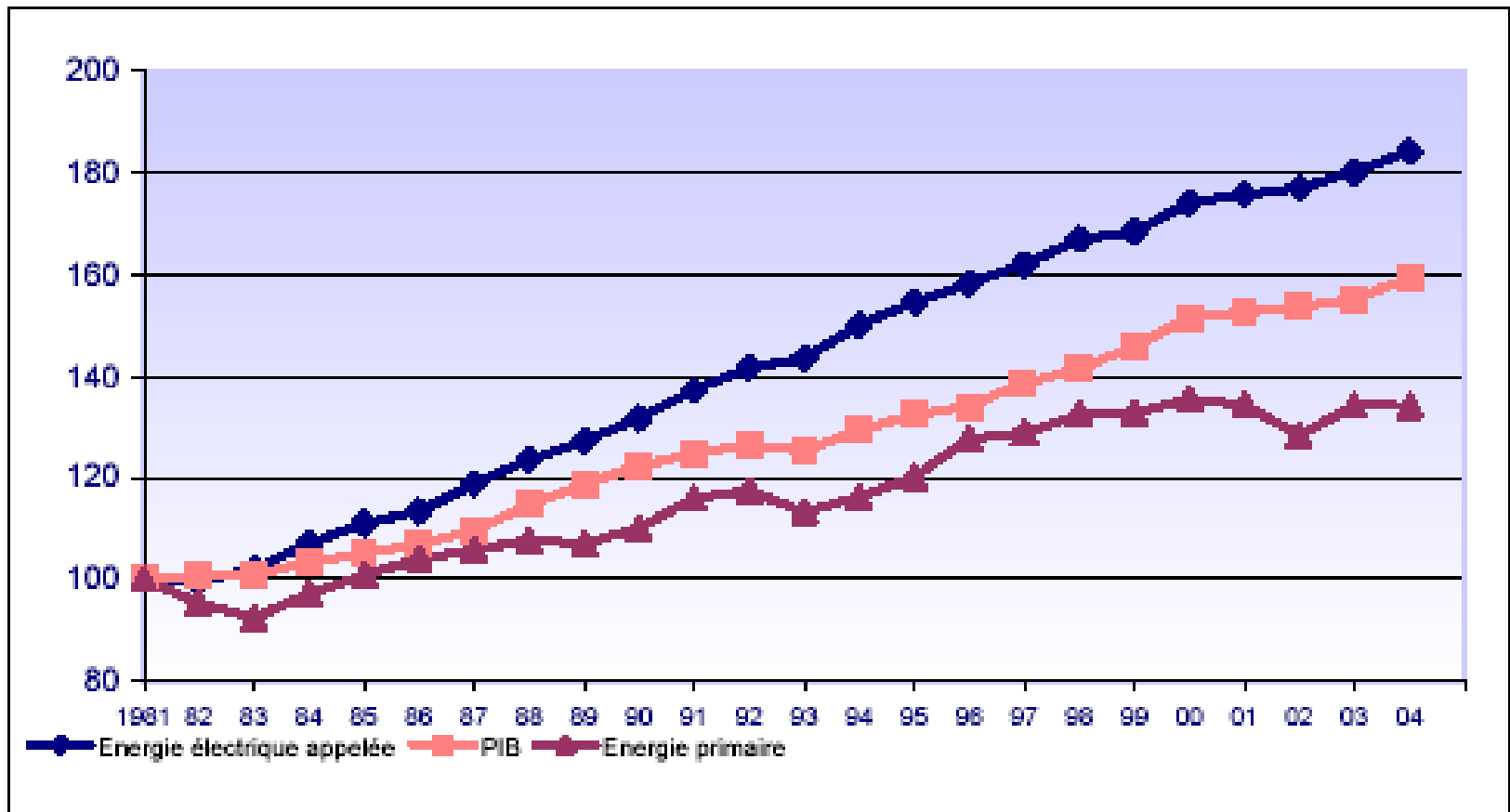
## *Emissions moyennes de CO<sub>2</sub> dans la production d'électricité*

---

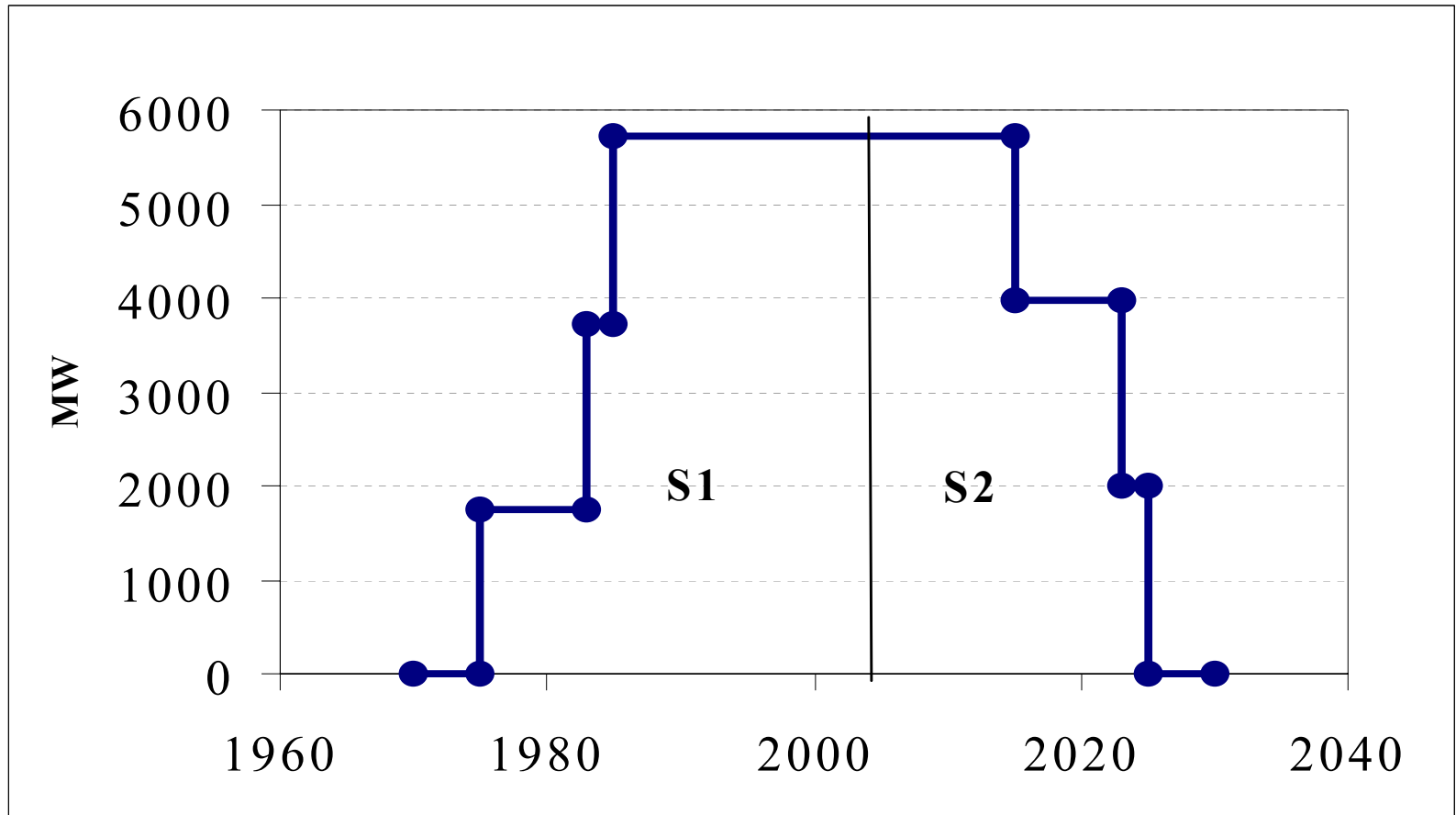
<b>Pays/Région</b>	<b>g<sub>CO2</sub>/kWh</b>	<b>% électronucléaire (1999)</b>
<b>Danemark</b>	<b>791</b>	
<b>Pays-Bas</b>	<b>603</b>	<b>4,0</b>
<b>Allemagne</b>	<b>588</b>	<b>31,2</b>
<b>Monde</b>	<b>544</b>	
<b>Grande-Bretagne</b>	<b>521</b>	<b>28,9</b>
<b>Italie</b>	<b>521</b>	
<b>Espagne</b>	<b>471</b>	<b>31,7</b>
<b>Communauté européenne</b>	<b>399</b>	
<b>Belgique</b>	<b>307</b>	<b>57,7</b>
<b>France</b>	<b>56</b>	<b>75</b>
<b>Suède</b>	<b>42</b>	<b>45,8</b>

# Evolution de la demande vs PIB

Evolution du PIB, de la demande d'énergie primaire et de la demande d'électricité



# *Puissance électronucléaire installée en Belgique (MW)*



*Evolution temporelle de la puissance nucléaire installée en Belgique dans l'hypothèse d'une durée de vie de 40 ans de chacune des centrales (à partir de données 1999)*

# Centrales au charbon

---

- A charbon pulvérisé (« les classiques »)
  - $\eta$  constant quelle que soit la charge : 38-45 %  $\rightarrow$  49 % en 2020
  - technologie coûteuse et risquée du point de vue fiabilité
- A gazéification (IGCC)
  - en plein développement,  $\eta = 46$  % (en 2005 ?)  $\rightarrow$  49 % en 2020
  - « mange tout »,  $\eta$  diminue à charge incomplète,
  - beaucoup de personnel nécessaire
- A lit fluidisé (FBC)
  - $\eta = 38$  %  $\rightarrow$  centrales sous pression :  $\eta = 49$  % en 2020
  - technologie mature mais DeNOx et DeSOx nécessaires ( $\eta \downarrow \downarrow$ )
  - peu flexible du point de vue combustibles

*Ici comme ailleurs, mais peut-être plus encore, il s'agit de concilier COUT, ECOLOGIE, MATURITE*

*NB : on peut p.ex. extraire jusqu'à 90 % du CO<sub>2</sub> des fumées, mais à quel coût (+ 30 à 120 %) et au détriment du rendement. Et puis, il s'agit encore de stocker ce CO<sub>2</sub> !!!*

## *Potentiel de la TGV*

---

TGV, turbine à gaz couplée à turbine à vapeur :

? = 55 % → ? = 63 à 65 % en 2020.

Emissions : 350 à 420 gCO<sub>2</sub>/kWh (au lieu de 800 à 1.000 pour le charbon).

Acceptent des variations de charge modérées (<20 %) car le rendement chute de 10 % à mi-charge; démarrage rapide de la turbine mais plus lent en cycle combiné.

Gros désavantage : **manque de flexibilité vis-à-vis du combustible**, car ne fonctionne qu'au gaz (gasoil ou kérosène possibles mais moyennant des adaptations coûteuses)

... **alors que le gaz intervient pour 70-80 % dans le prix du kWh.**

## *Potentiel des énergies renouvelables (horizon 2020)*

---

Type	Production potentielle [TWh/an]	Production actuelle [TWh/an]
Photovoltaïque	0,5	0,0003
Biomasse	3,5	0,65 - 0,70
Eolien	4,2 - 5,4	
Hydraulique	0,38	0,3
<b>Total</b>	<b>8,58 - 9,78</b>	
<b>% de la production 2020</b>	<b>7,9 - 9,0</b>	

# *Potentiel de l'énergie éolienne*

---

- La surface nécessaire à l'installation d'éoliennes équivaut à 15 MW/km<sup>2</sup> ou 1.000 MW sur 65 km<sup>2</sup> (1 à 4 km<sup>2</sup> pour 1000 MW nucléaire ou classique)!
- D'ici 2020 (2010 ?), possibilité d'installer :
  - Onshore, de 500 (à 1.000 MW) soit 1,2 (à 2,4) TWh/an
  - Offshore, 1.000 MW, soit 3,0 TWh/an

Cela **demande une grande volonté politique** (s'opposant aux restrictions du public)

- Règles d'urbanisme adaptées
  - Aménagement du territoire
  - Permis de bâtir et d'exploiter !
- 
- **Nécessité de primes diverses**
  - **Nécessité de back-up**

# Potentiel de la cogénération

- Ce doit être une manière « intelligente » de *produire de la chaleur*, en ne permettant plus à un combustible de valeur de se dégrader en chaleur à basse température
- Les installations de cogénération sont utilisées de manière *optimale* si elles délivrent de la *chaleur à haute température et de manière continue, à charge complète* : cela est le cas dans certains processus *industriels*.
- Si l'installation de cogénération n'est opérationnelle que pendant une partie limitée du temps, le *parc de production global sera moins efficient* que si on construisait une centrale TGV supplémentaire.
- Si l'usage en discontinu d'installations de cogénération provoque l'appel à des centrales au charbon, cela peut avoir des résultats catastrophiques en termes d'émissions de CO<sub>2</sub> .

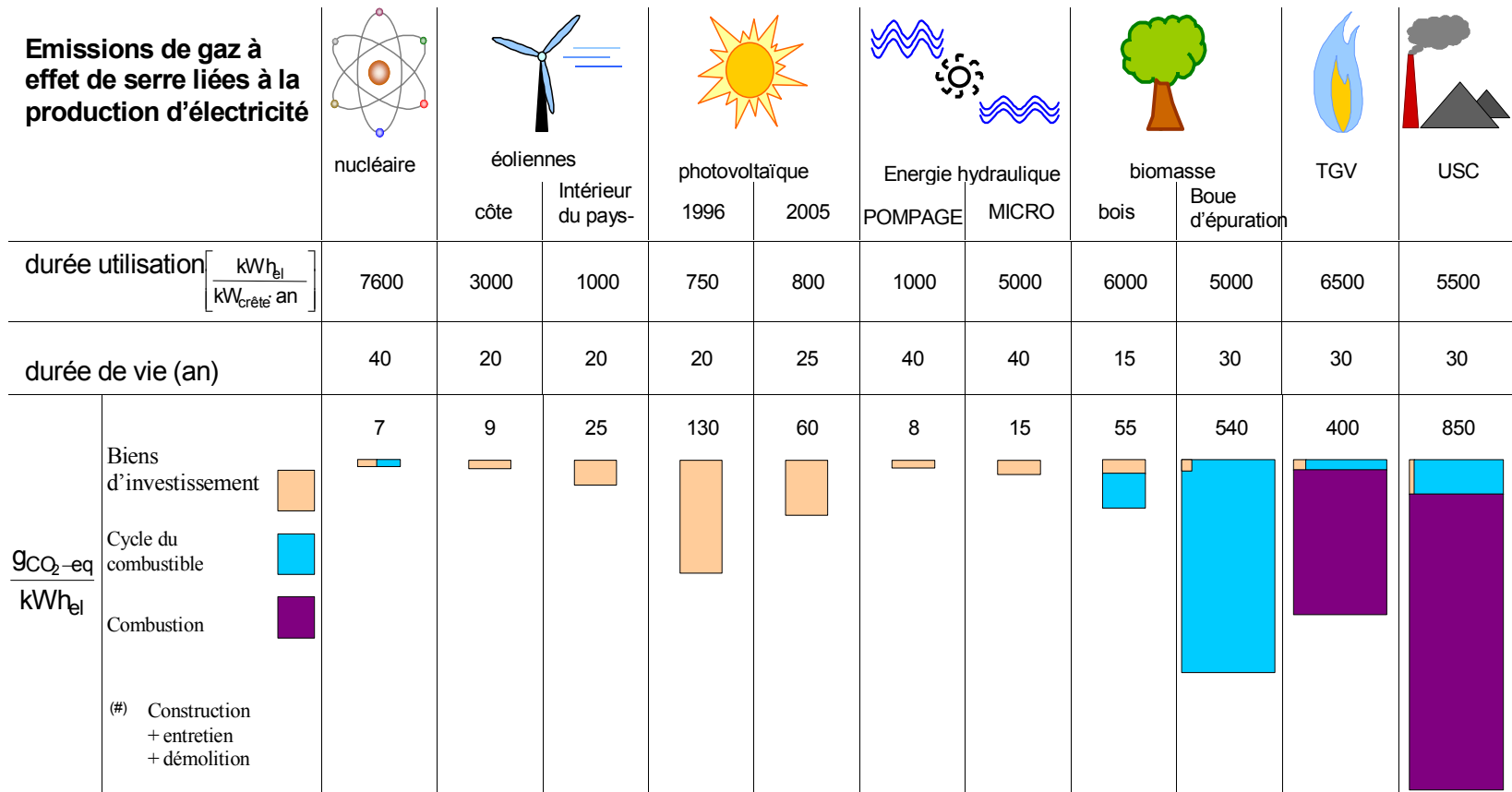
AMPERE conclut que le potentiel d'installations complémentaires de cogénération en Belgique est de l'ordre de 700 à 1.300 MWe (fin 2000, de l'ordre de 1000 MWe installés).

## *Problèmes de réseau*

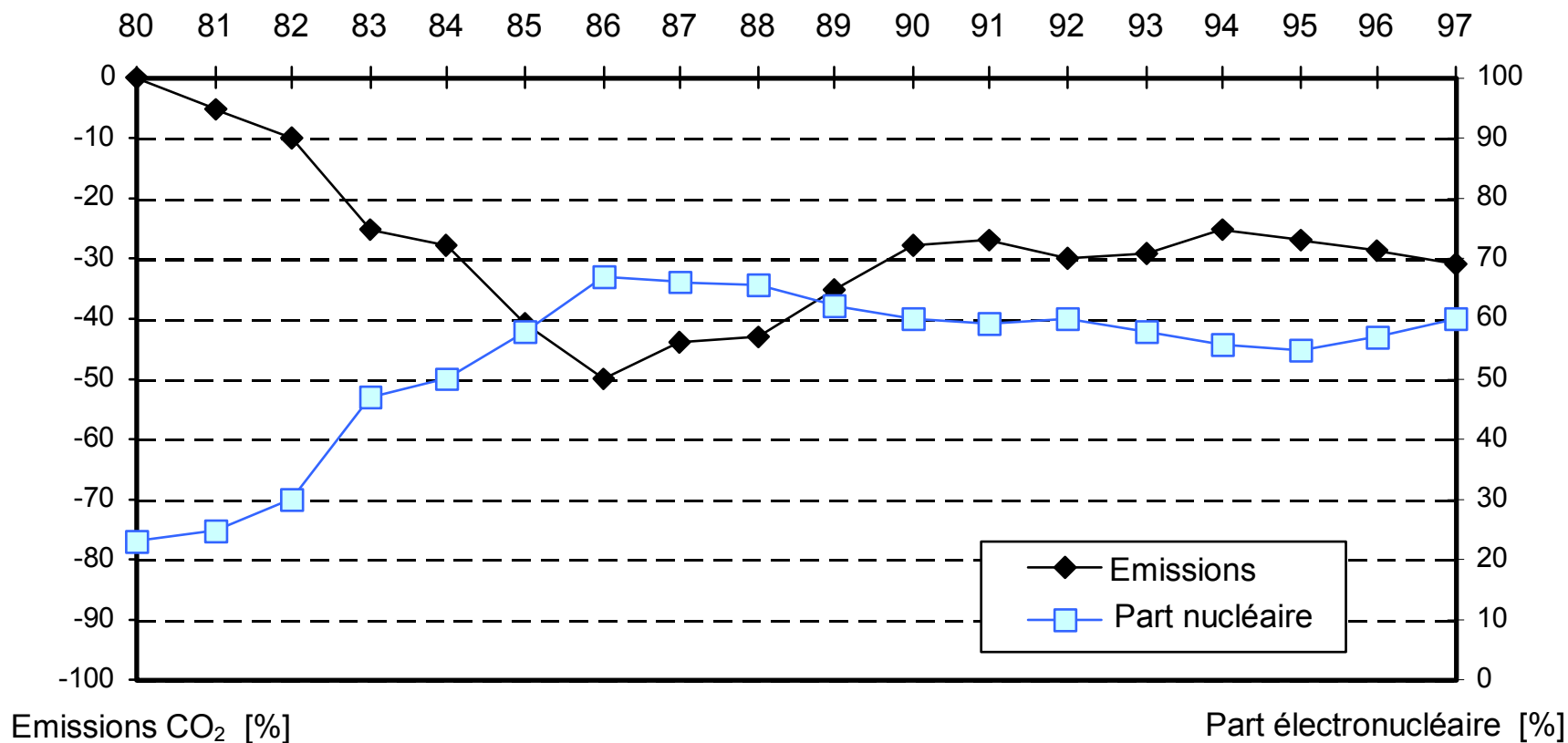
---

- Noter qu'il n'est pas possible de stocker de l'énergie électrique en alternatif.
- L'arrivée de sources intermittentes demande en tous cas plus de puissance réglante.
- L'ouverture du marché permet le choix d'un chemin contractuel qui est différent du chemin physique réellement emprunté, ce qui cause des flux non identifiés.
- Les contrats ne portent que sur la puissance active et il faut donc soutenir le réseau par un plan de tension et une gestion de la puissance réactive.
- La production décentralisée actuelle peut être estimée à environ 1300 MW, soit de l'ordre de 9% de la puissance installée  
.... elle pourrait passer à de l'ordre de 25% en 2020!
- Les réseaux de distribution n'ont pas été conçus pour accueillir la production décentralisée et dispersée (cogénération et renouvelables, ...)

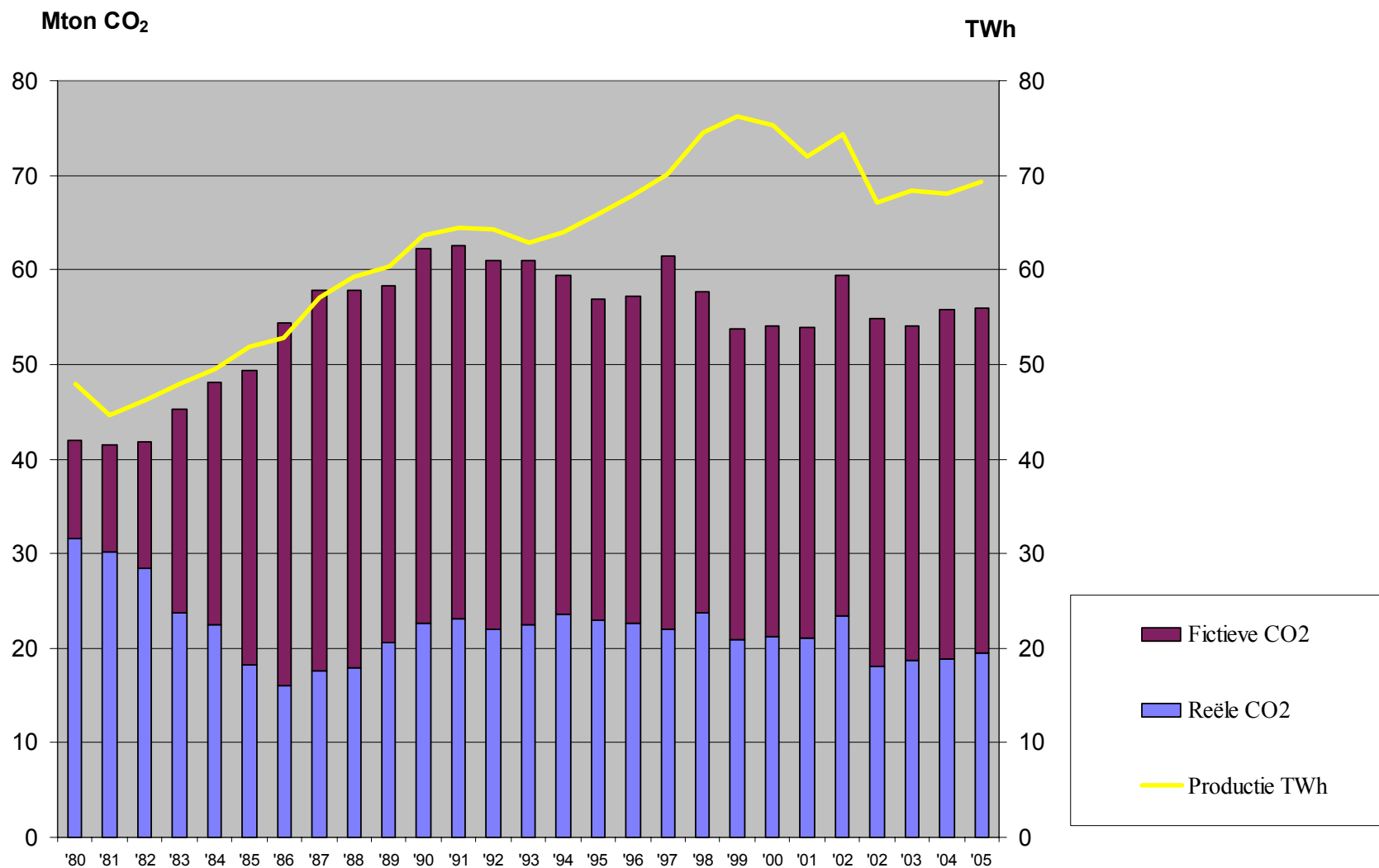
# Cycle de vie et émissions de gaz à effet de serre



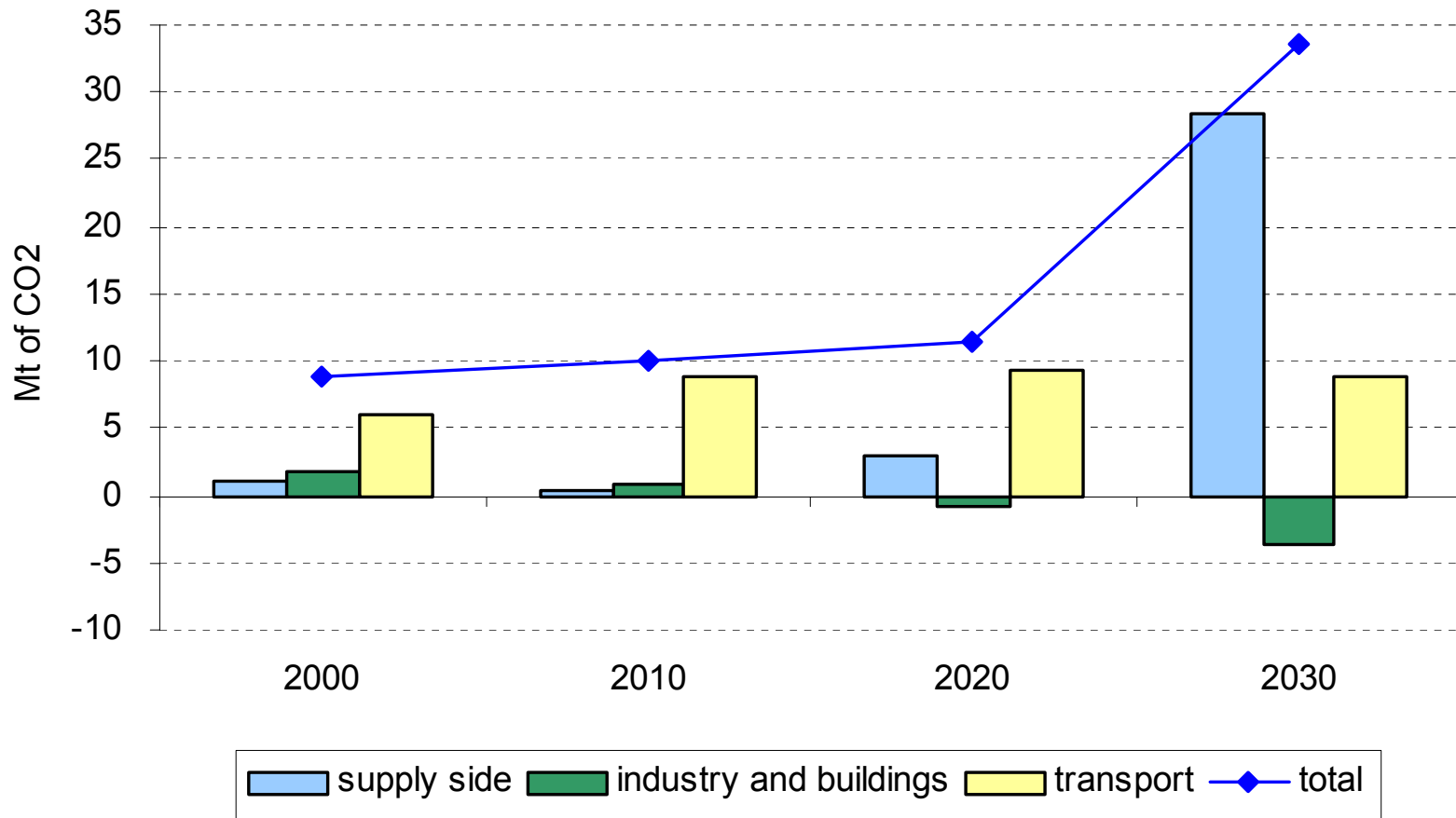
# *Emissions de CO<sub>2</sub> vs part du nucléaire dans la production d'électricité en Belgique*



# *Emissions de CO<sub>2</sub> du secteur électrique et ce qu'elles auraient été sans le nucléaire mais avec le mix gaz/charbon du moment (VITO 2006)*



# *Emissions de CO<sub>2</sub> par rapport à 1990, lois actuelles*



*Source : Primes, CE 2030, BFP*

# ***3. La diabolisation du nucléaire ... « un refus de lecture »***

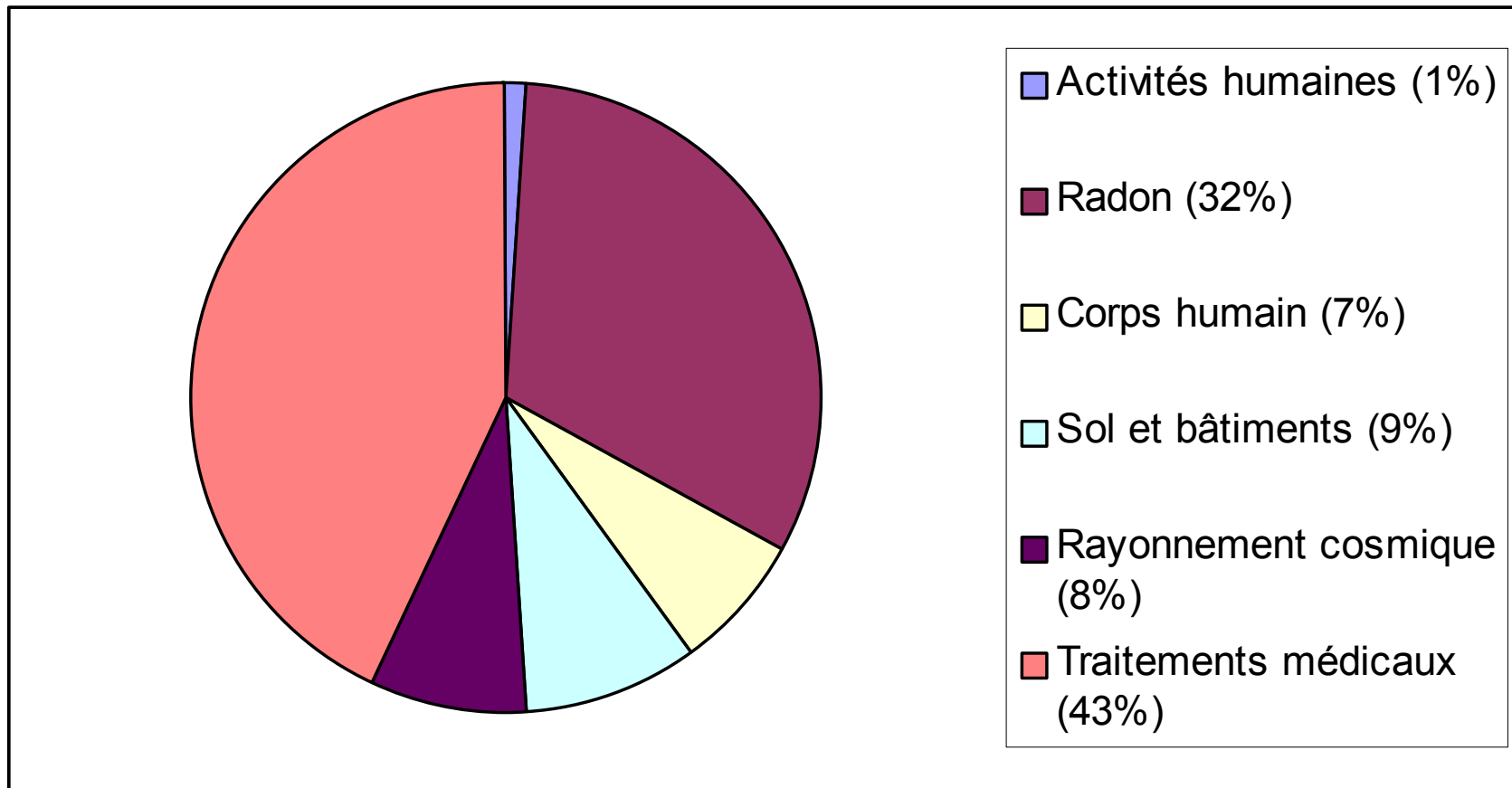
## *La diabolisation du nucléaire*

**« Diaboliser, c'est plus simple :  
cela évite de devoir comprendre »**

Ph. TENNESON,  
Groupe Herstal, 21-01-2004

## Sources des rayonnements ionisants en Belgique

---



Source : CEN•SCK Information CD 2006

## *Exagération du risque de prolifération du plutonium*

Concentration du Pu en  $^{240}\text{Pu}$  ("poison"):

- Super-grade: < 3 % The very best
- Weapon-grade: 3-7 % Standard
- Fuel-grade 7-18 % Practically usable
- Reactor-grade 18-30 % Theoretically usable
- MOX-grade >30% Practically unusable

Bruno Pellaud (ex vice DG IAEA):

*« More than 2000 nuclear tests carried out worldwide; none is known to have used reactor-grade plutonium (>18% Pu-240) »*

## *Le stockage des déchets, selon Kroll*



# *Production annuelle de déchets en Belgique*

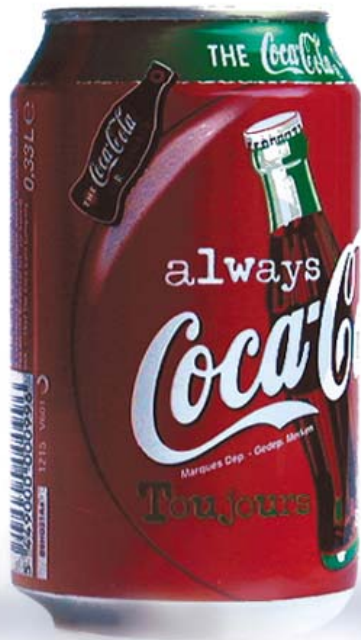
---

*(estimation, par personne et par an)*

<b>Tous déchets d'origine humaine :</b>	<b>2900 kg</b>
• <i>dont</i> <b>déchets ménagers</b>	<b>300 kg</b>
• <i>dont</i> <b>déchets industriels :</b>	<b>2600 kg</b>
○ <i>dont</i> <b>déchets industriels toxiques :</b>	<b>25 à 100 kg</b>
○ <i>dont</i> <b>déchets radioactifs :</b>	<b>1 kg</b>
▪ <i>dont</i> <b>déchets de haute activité</b>	<b>0,05 à 0,1 kg</b>

# *Volumes de déchets du nucléaire (par personne.an)*

---



Low-level  
short-lived waste



Medium & high-level  
long-lived waste



Very high-level  
long-lived waste

## *Estimation de la production de déchets nucléaires par type et par secteur (ONDRAF, mai 2005 – révision SAFIR 2)*

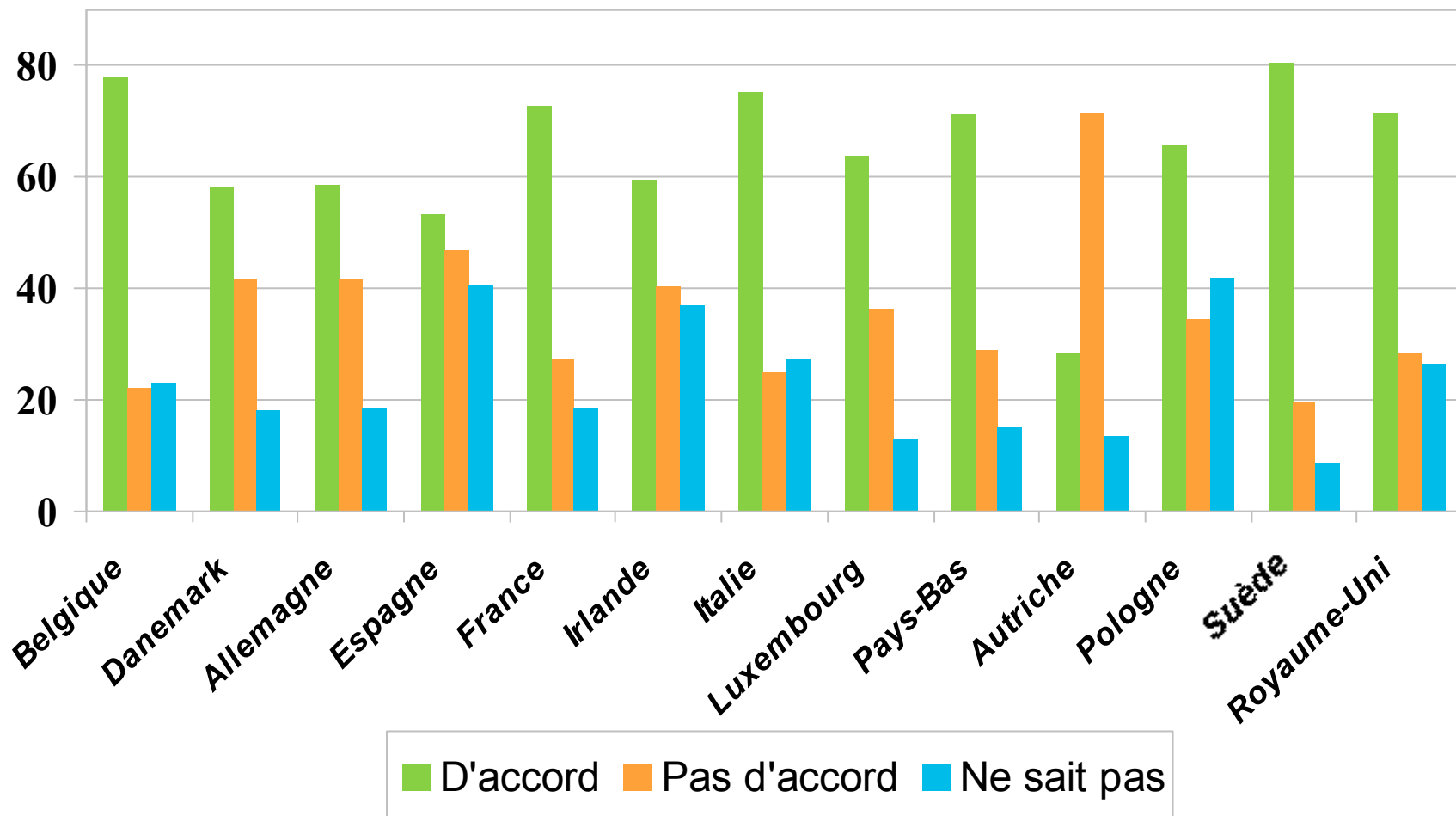
---

Catégorie	Secteur	Production courante		Démantèlement		TOTAL	
		m <sup>3</sup>		m <sup>3</sup>		m <sup>3</sup>	
		RI	FR	RI	FR	RI	FR
<b>A</b>	Electronucléaire	14199	14199	35780	35780	49979	49979
	Recherche et médecine	1835	1835	2213	2213	4048	4048
	Passifs	2637	2637	13032	13032	15669	15669
	Gestion NIRAS-ONDRAF	0	0	732	732	732	732
<b>TOTAL A</b>		<b>18671</b>	<b>18671</b>	<b>51757</b>	<b>51757</b>	<b>70428</b>	<b>70428</b>
<b>B</b>	<b>Tous</b>	<b>6216</b>	<b>6216</b>	<b>2419</b>	<b>2419</b>	<b>8635</b>	<b>8635</b>
<b>C</b>	<b>Tous</b>	<b>2100</b>	<b>4670</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2100</b>	<b>4670</b>
<b>TOTAL</b>		<b>26987</b>	<b>29557</b>	<b>54176</b>	<b>54176</b>	<b>81163</b>	<b>83733</b>

RI : retraitement intégral

FR : fin du retraitement

# *Si tous les déchets peuvent être gérés de manière sûre, l'énergie nucléaire restera une option en Europe*



Source : Eurobaromètre – Communauté Économique Européenne - Oct-Nov. 2001

# *Caractéristiques de la gestion des déchets*

---

Contrairement aux autres types de déchets,  
les **déchets nucléaires** sont:

- identifiés
- concentrés,
- stabilisés

et donc non dispersables

et les **provisions** nécessaires à l'aval du cycle et au démantèlement des centrales sont constituées sous le contrôle de l'Etat : **elles seront suffisantes** (EUR 990.135.000 pour démanteler les centrales nucléaires et EUR 2.606.000.000 pour la gestion des matières fissiles irradiées, selon le Ministre Verwilghen, comm. Economie de la chambre, 2005)

Les solutions techniques pour leur stockage existent et elles incluent l'option réversibilité !

# CEN-SCK et ONDRAF-NIRAS



Solvay, 28-03-2007

# *Conséquences radiologiques de l'accident de Tchernobyl (1)*

*le 25 avril 1986*

---

- **Conséquences directes :**
  - **3** morts par **traumatisme** + interventions en urgence → **l'irradiation** d'environ 600 personnes, 134 ont présenté un syndrome d'irradiation aiguë (jusqu'à 6 Sv, « mal des rayons ») ; **28** morts dus à cette irradiation + **11** (infarctus, cirrhose, tuberculose, ...).
- Près de 4.000 **cancers de la thyroïde** (surtout chez les enfants et adolescents à l'époque), **9** décès enregistrés.
- **Sur les plus de 200.000 travailleurs du site ou des équipes d'intervention, 2.200 pourraient décéder du fait de leur forte radio-exposition (approche statistique)**

## *Conséquences radiologiques de l'accident de Tchernobyl (2)*

---

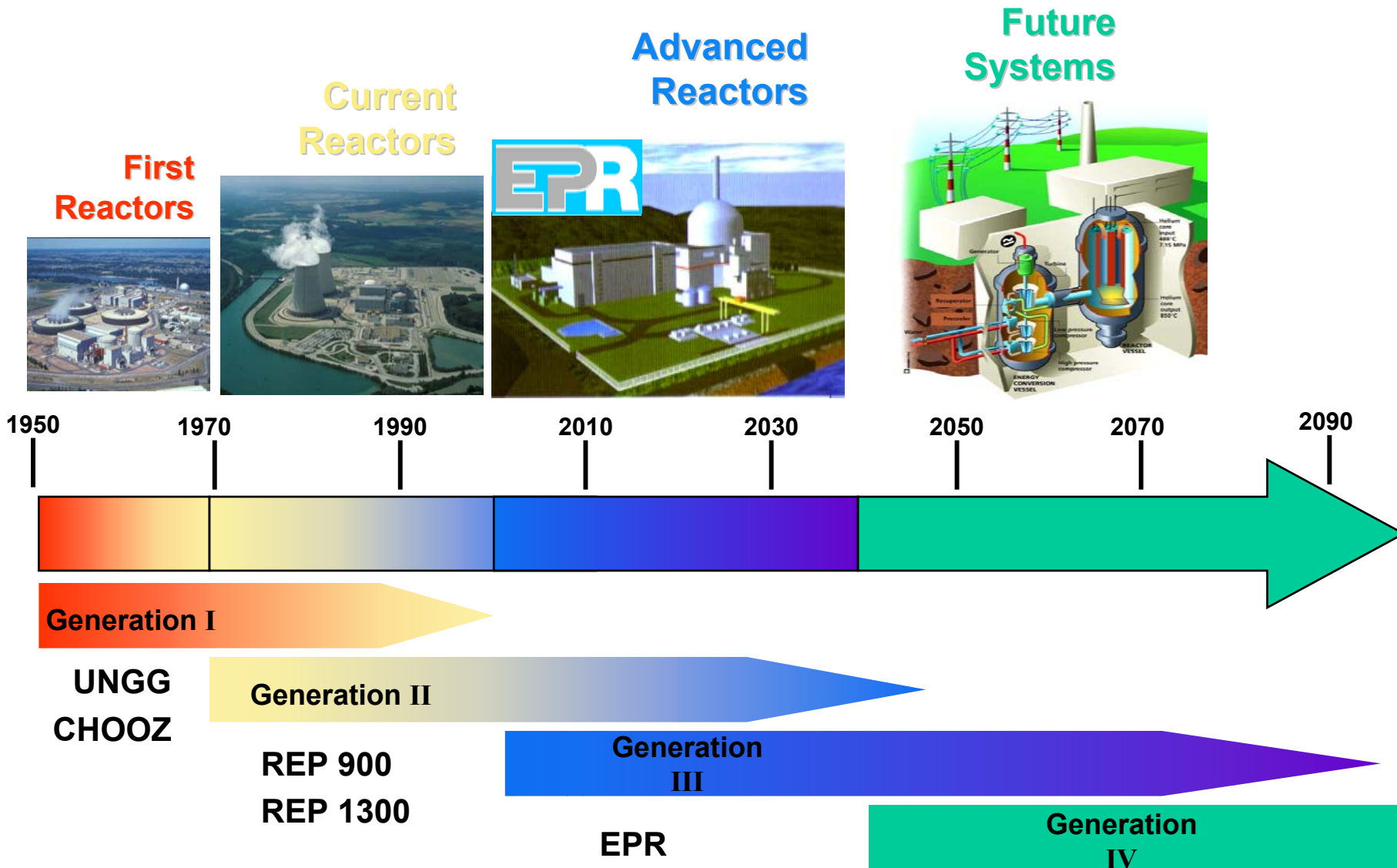
- Aucune observation de l'augmentation de l'incidence de la leucémie et de cancers chez les autres habitants affectés !

*There is no scientific proof of an increase in other non-malignant disorders (diminution de la fertilité ou malformations congénitales) related to ionizing radiation".*

- 90% des cancers de la thyroïde auraient été évités si on n'avait pas consommé le lait produit sur place !

- Rapport UNSCEAR : Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2002 et 2004  
[UNSCEAR a été créé par l'AG des Nations unies en 1955, Résolution 913 (X)]
- André AURENGO : "Tchernobyl : quelles conséquences sanitaires ?" in Le Jaune et la Rouge, 569, novembre 2001.
- "Chernobyl's Legacy : Health, Environment and Socio-Economic impacts", Forum Chernobyl AIEA, OMS, PNUD, FAO, PNUE, OCHA, UNSCEAR, Banque Mondiale, Gouvernements du Bélarus, de la Russie et de l'Ukraine), 2005

# Nuclear Generations Timetables



# Significant prospects for nuclear energy in the world

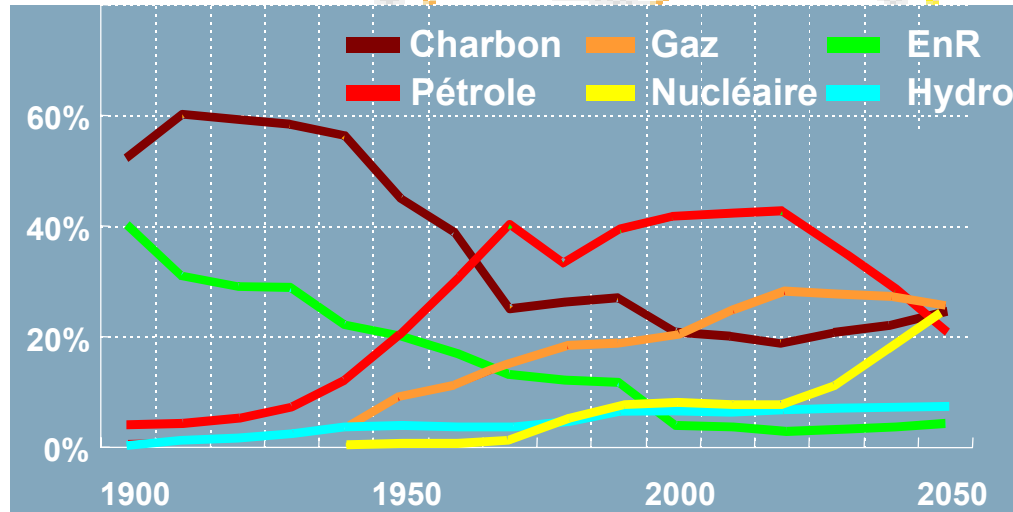
**USA**  
+ 400 GW<sub>e</sub> by 2020 partially with nuclear (+ 25 reactors?)

**FINLAND** : a 5th (a 6th?) reactor,  
**FRANCE** : +1 (2?),  
**Russia** (30?), **UK**,  
**CH**, **NI**, **Poland**,  
**Baltic states**,  
**Bulgaria**, ...

**JAPAN**  
nuclear capacity increase from 46 to 100 GW<sub>e</sub> by 2030

**CHINA**  
+ 20 à 30 reactors by 2020,  
and **INDIA** +19

**KOREA**  
double the nuclear capacity



Source : TotalFinaElf

## *Les différentes générations de réacteurs nucléaires (2)*

---

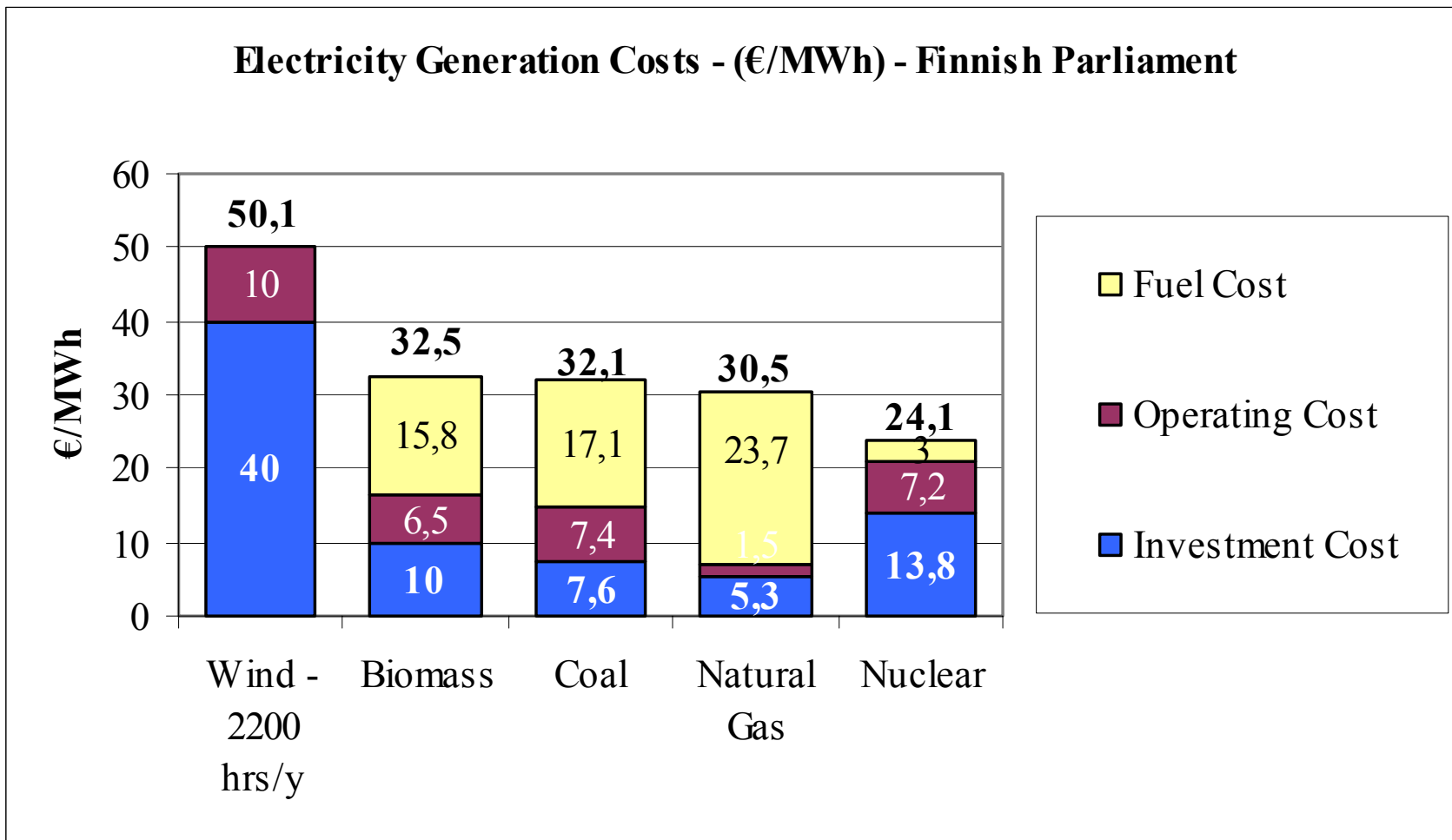
- **Génération III (actuellement)**
  - + de sécurité, + de rendement, + économiques
  - "Evolutionnaires" (développement de la génération II) :  
ABWR (existants), EPR (en construction), AP1000 (certification), ...
- **Génération IV (à partir de 2030)**
  - Sécurité passive, résistance à la prolifération, plus hauts rendements
  - **Production d'électricité + chaleur HT (cogénération) + dessalement + production d'hydrogène**
  - **Recyclage intégral du combustible**

*Source : G. Van Goethem : "Fission nucléaire, aujourd'hui et demain : de la "renaissance au "saut technologique" - CE, DG Recherche, 2006*

# *4. Conséquences économiques*

# Coût de production du kWh électrique, cas Finlande

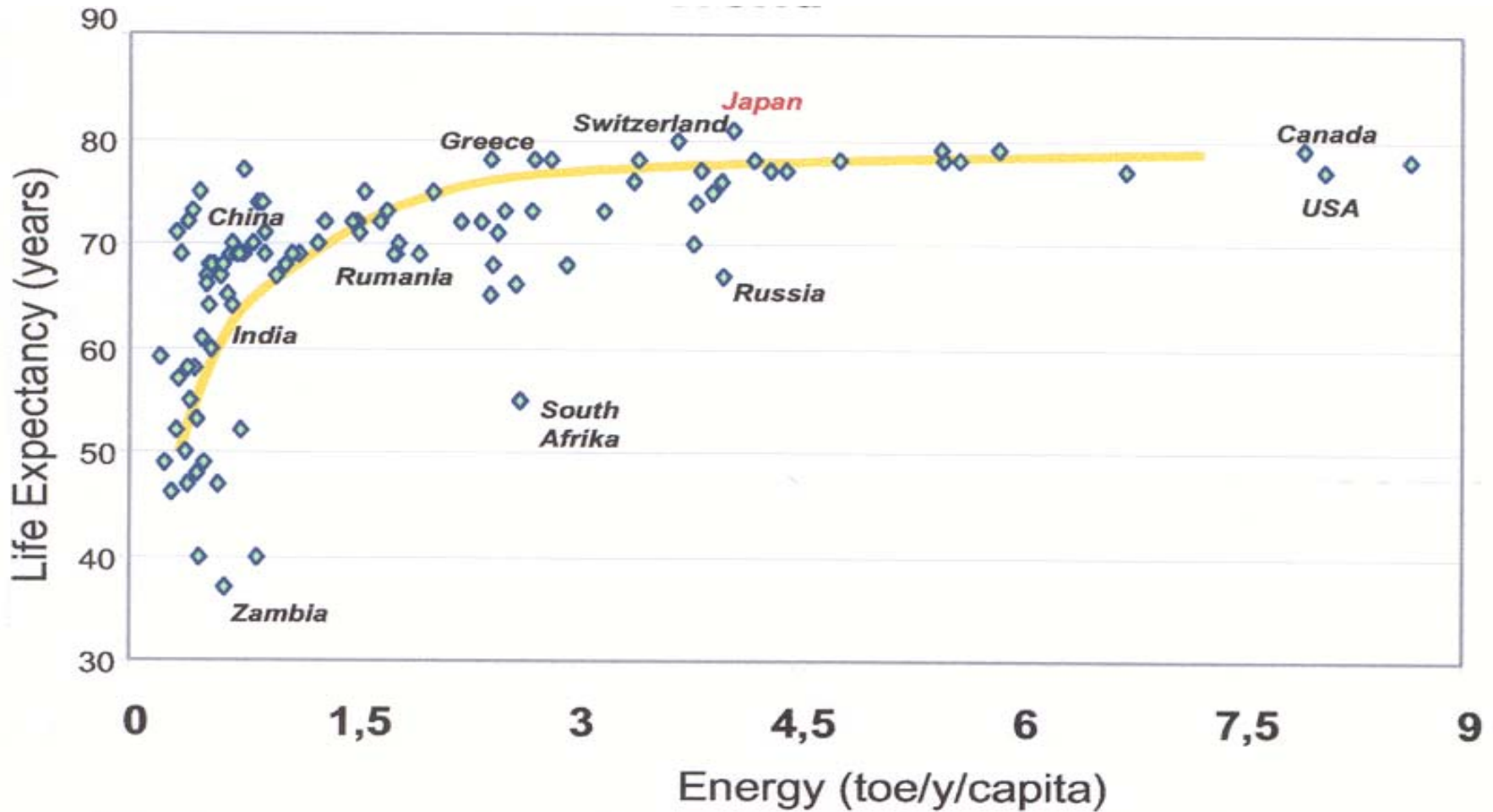
(OPCST, rapport à l'Assemblée et au Sénat Français, 2005)



## *5. Où sont les vrais problèmes ?*

# *Espérance de vie vs énergie disponible*

*(d'après OMS, AIE, ...)*



## *L'opinion de Chateaubriand sur tout cela !*

---

" Un état politique où des individus ont des millions de revenus, tandis que d'autres individus meurent de faim, peut-il subsister quand la religion n'est plus là avec ses espérances hors de ce monde pour expliquer le sacrifice ?

A mesure que l'instruction descend dans ces classes inférieures, celles-ci découvrent la plaie secrète qui ronge l'ordre social irrégulier. La trop grande disproportion des conditions et des fortunes a pu se supporter tant qu'elle a été cachée ; mais aussitôt que cette disproportion a été généralement aperçue, le coup mortel a été porté. Recomposez si vous le pouvez, les fictions aristocratiques ; **essayez de persuader au pauvre, lorsqu'il saura bien lire et ne croira plus, lorsqu'il possèdera la même instruction que vous, essayez de lui persuader qu'il doit se soumettre à toutes les privations tandis que son voisin possède mille fois le superflu : pour la dernière ressource, il vous faudra le tuer.**

CHATEAUBRIAND,  
cité par Jean d'Ormesson, *Et toi mon cœur pourquoi bats-tu ?*

## *6. Conclusion :*

## *Le message d'AMPERE (1)*

---

- il faut tout mettre en oeuvre pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire la consommation d'énergie
- aucune source d'énergie ne peut à elle seule satisfaire la demande ... et son évolution, il faut donc ...

## ***Références et sites web 1***

**Conseil mondial de l'Énergie : *l'énergie pour le monde de demain, le temps de l'action*,**

**Editions Technip, Paris 2000, cf. site [www.conseil-français-energie.org](http://www.conseil-français-energie.org)**

**Conseil mondial de l'Énergie : *une seule planète pour tous***

**(traduction française de « *Living in One World* »),**

**CME, Paris, avril 2003.**

**Version originale en anglais disponible sur le site [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)**

**Gérard LAMBERT : *une radioactivité de tous les diables*,**

**Bulles de sciences, EDP, Paris 2004**

**Bertrand BARRE : *Tout sur l'énergie nucléaire*,**

**Areva, Paris 2003**

**ONDRAF : *Vingt ans de gestion responsable des déchets radioactifs en Belgique*,**

**Ondraf-Niras, Bruxelles 2002, cf. site [www.nirond.be](http://www.nirond.be)**

## *Références et sites web 2*

Agence européenne de l'environnement : <http://www.eea.eu.int/>

Agence internationale de l'énergie (IEA) : <http://www.iea.org/>

Agence internationale de l'énergie atomique (IAEA) : <http://www.iaea.org/>

AMPERE : <http://mineco.fgov.be/ampere.htm>

CE – Energie : [http://europa.eu.int/pol/ener/index\\_fr.htm](http://europa.eu.int/pol/ener/index_fr.htm)

Conseil Mondial de l'Energie (WEC) <http://www.worldenergy.org/wec-geis/>

Ecolos pour le nucléaire : <http://www.ecolo.org/>

Organisation mondiale de la santé (OMS) : <http://www.who.int/en/>

Statistiques Mondiales sur l'énergie (site BP) :

<http://www.bp.com/centres/energy/downloads/index.asp>