Quelles énergies en 2050 ?

La pénurie de pétrole et de gaz naturel, l'effet de serre, les sources d'énergie renouvelables…

On en parle beaucoup, et pas toujours en connaissance de cause. Et si on essayait d'y comprendre quelque chose ?

CYCLE DE CONFERENCES : QUELLES ÉNERGIES EN 2050 ?

18 septembre 2007 :

Population mondiale - Les besoins et les sources actuels d'énergie - L'exception française.

2 octobre 2007 :

La fin (annoncée) du pétrole - Le CO2 et l'effet de serre.

16 octobre 2007 :

Les énergies renouvelables (non fossiles) - Le vecteur hydrogène.

20 novembre 2007 :

Le nucléaire ancienne génération et nouvelle génération.

4 décembre 2007 :

Les économies d'énergie (nouveaux véhicules, matières premières, etc.).

1. Population mondiale et demande d'énergie.

...n'ayez pas peur !

[fsoso.free.fr/conferences]

Population mondiale

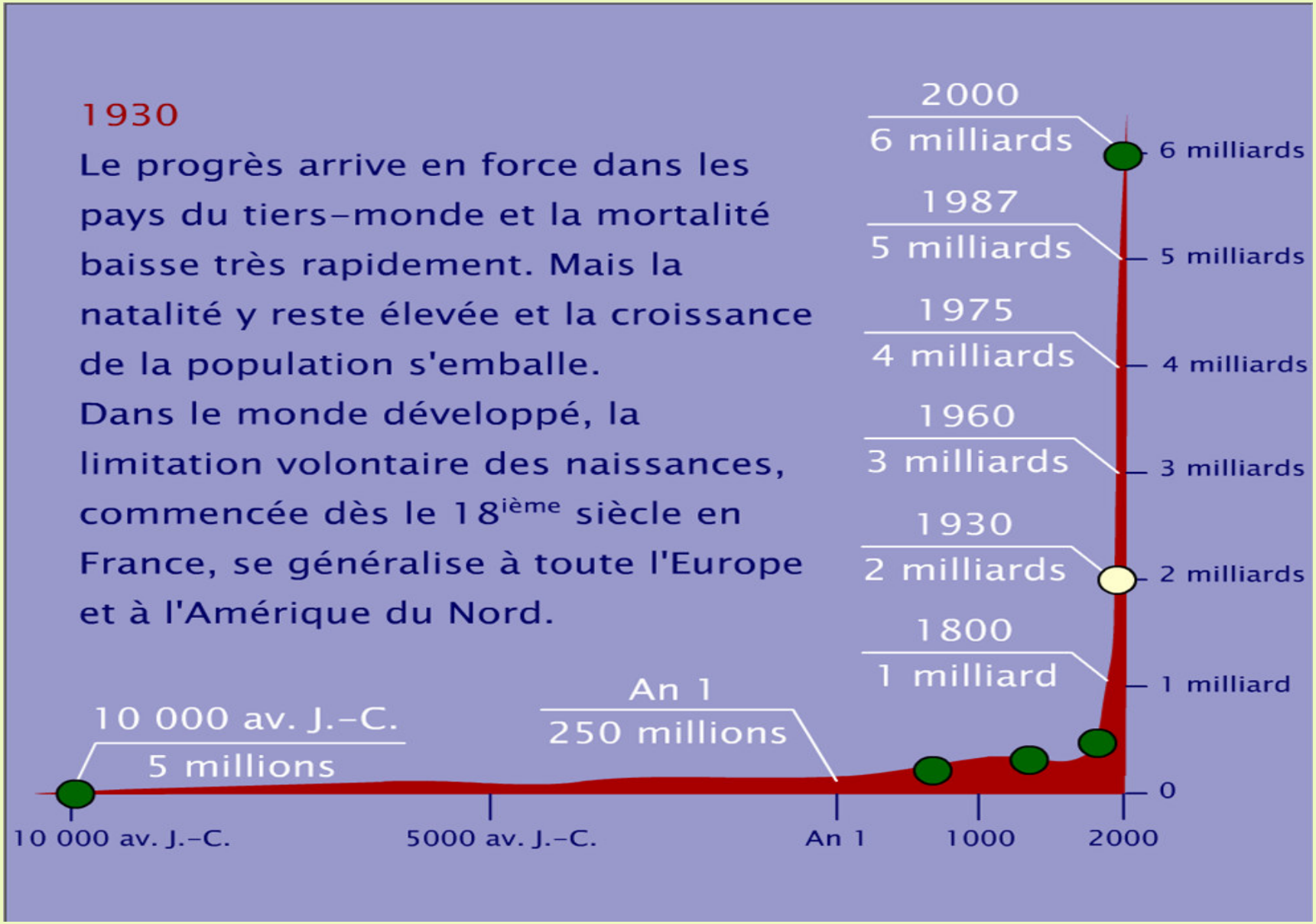
Vision tranquillisante : nous étions 6.5 milliards en 2005, en augmentation de 1.5 % par an.

En fait, il s'agit de + 260.000 personnes/jour.

La croissance est exponentielle :

1900	1.6 milliards	2025	(8 milliards)
1950	2.5 milliards	2050	(10 milliards)
1980	4.5 milliards	2100	(11.5 milliards)
2000	6 milliards		(estimation ONU)

Population mondiale

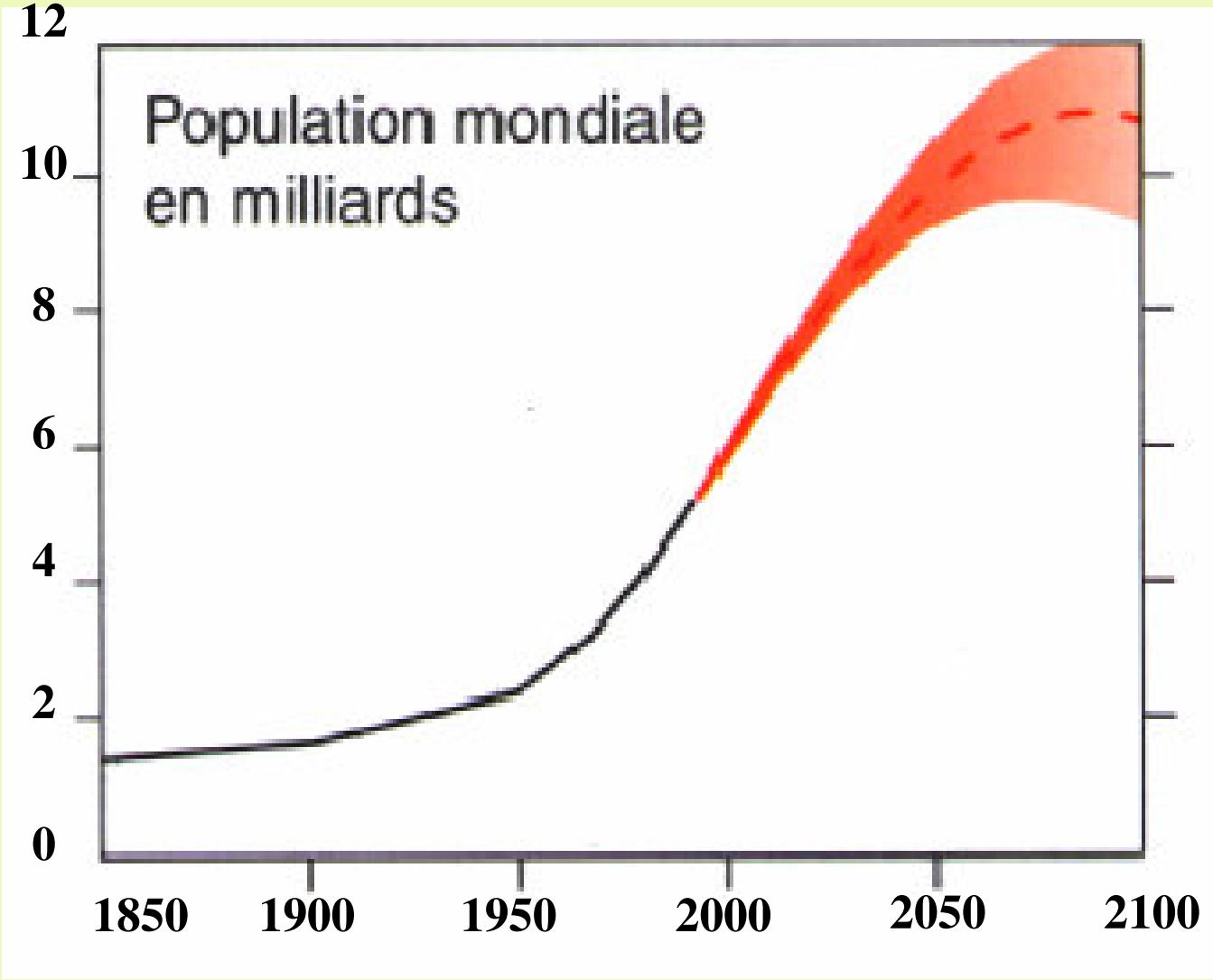


Évolution

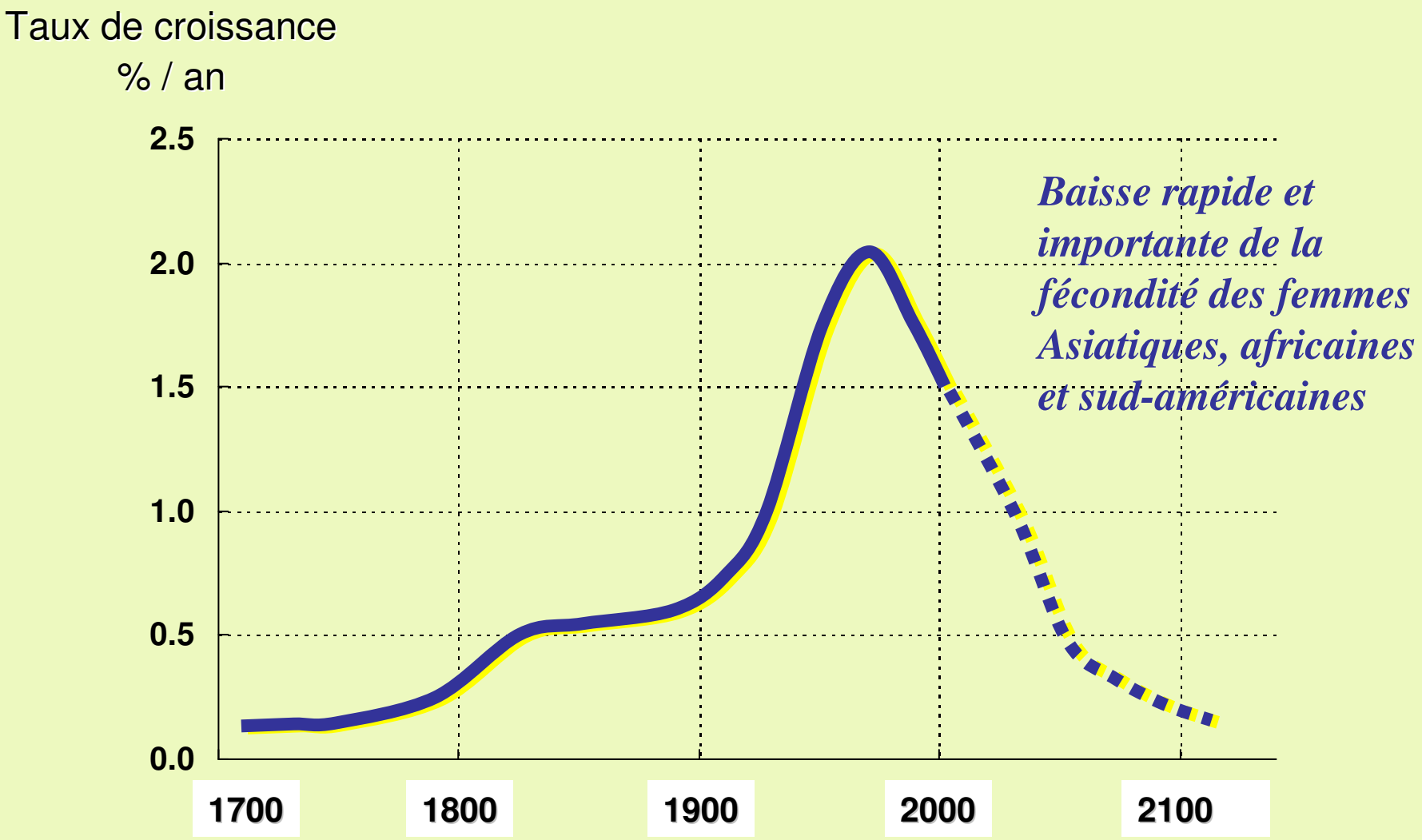
ONU :

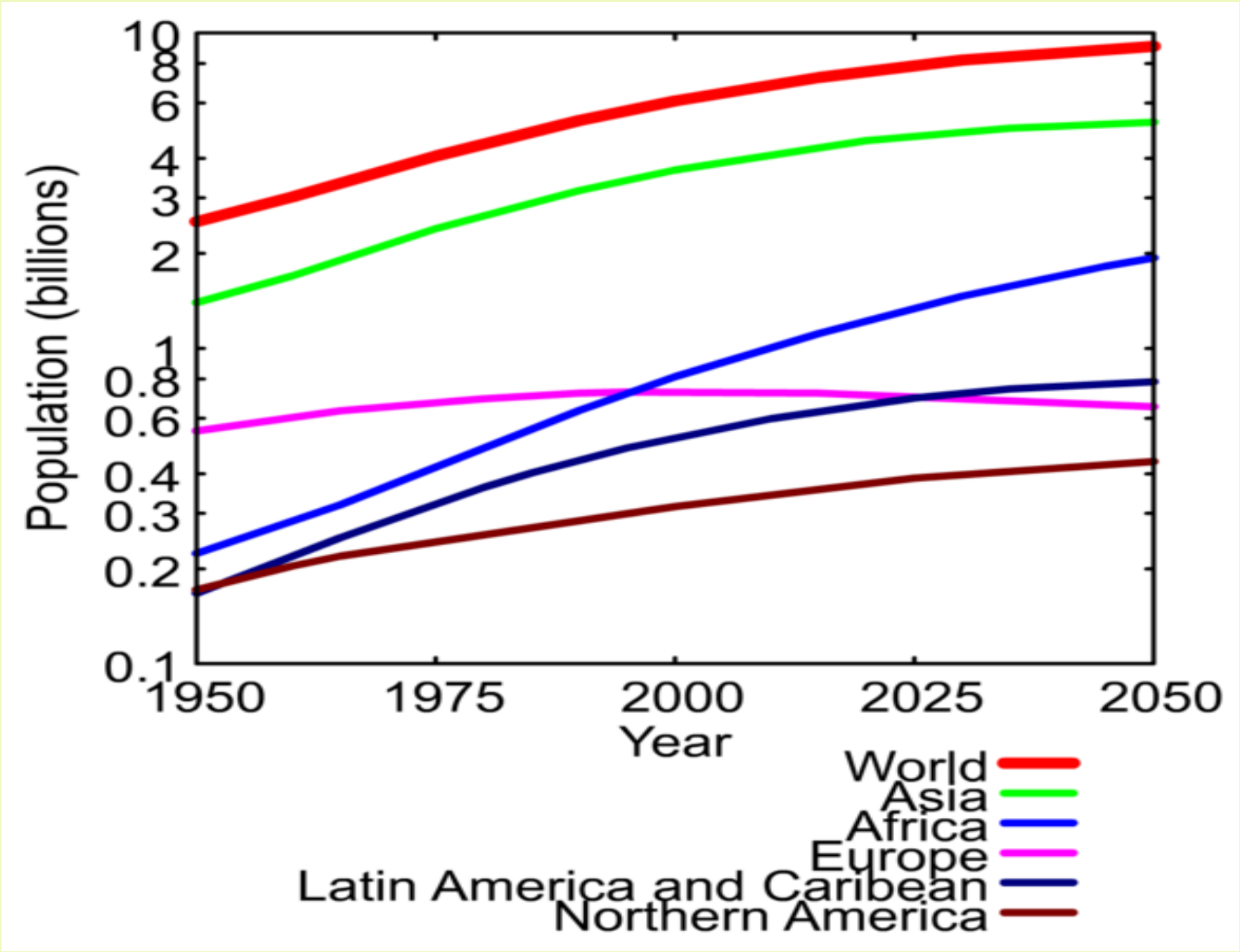
10 milliards en 2050

11.5 milliards en 2100

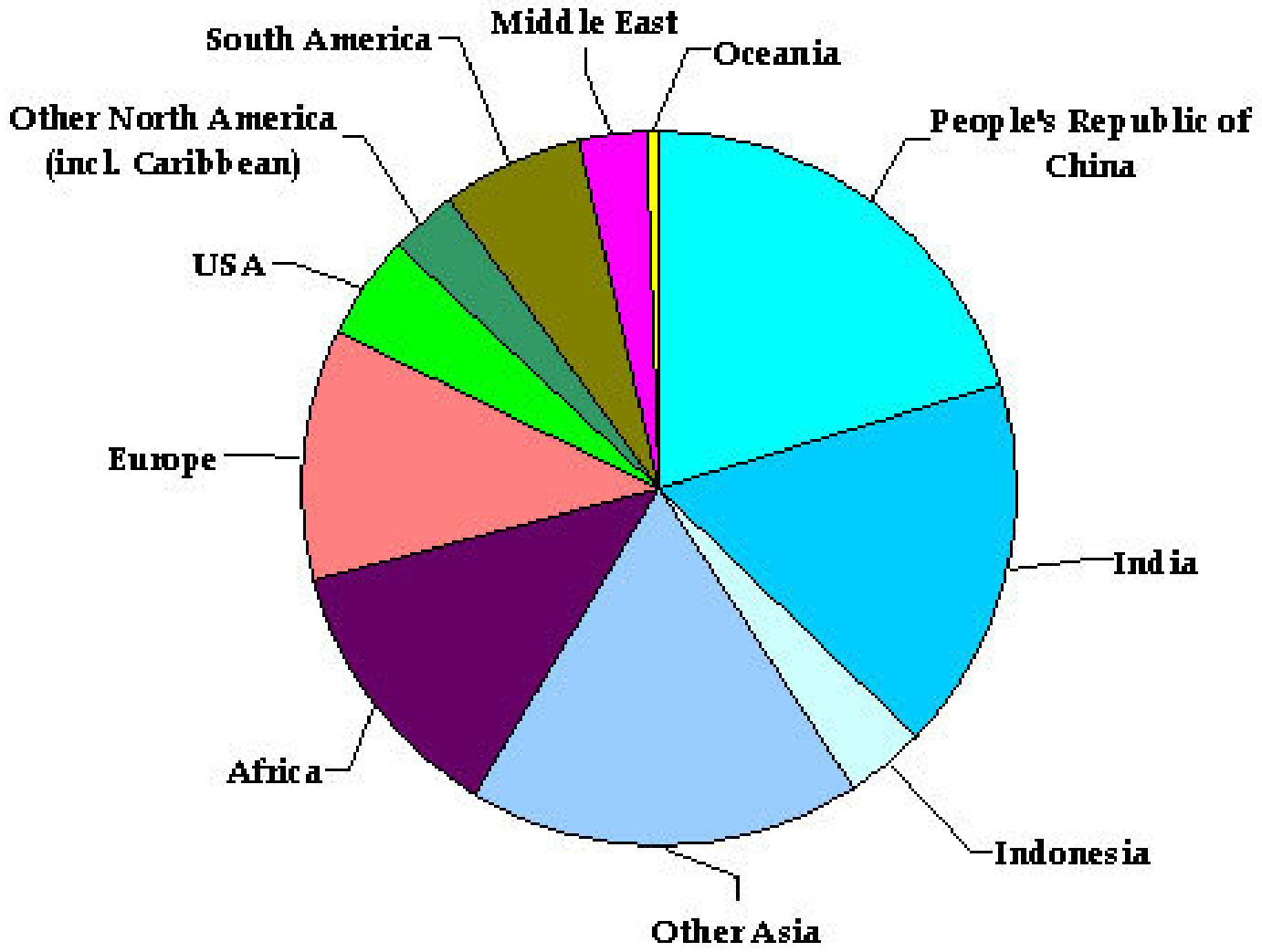


Taux de croissance de la population mondiale depuis 1700




Population (billions)
10
8
6
4
3
2
1
0.8
0.6
0.4
0.3
0.2
0.1
1950
1975
2000
2025
2050
Year
World
Asia
Africa
Europe
Latin America and Caribean
Northern America

Distribution of World Population in 2005



Population mondiale (~ 6.5 milliards en 2005)

Le pays industrialisés (EU, Russie, Japon, Am. Du Nord, Australie), avec ~20 % de la population, consomment ~ 50 % de l'énergie mondiale.

Le taux de natalité est de + 0.5 à 1% dans le pays développés, de 2 à 2.8 % dans les autres.

Pays industrialisés	~ 1 milliard pers.
Pays En voie de Développement	~ 2-3 milliard
Pays sous-développés	les autres

(2 milliards de personnes n'ont pas accès à l'électricité)

Énergie

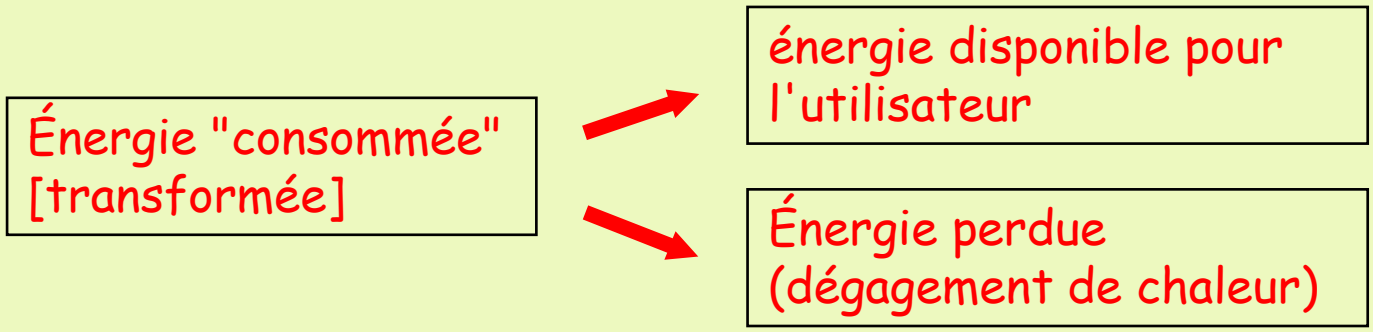
Conçue comme quantité physique, *l'énergie* ne peut être ni créée ni perdue.

Elle se transforme simplement d'une forme à une autre, tout en se "*détériorant*" (augmentation d'entropie).

On mesure l'énergie en *Joule, Calories, kilowattheure*, etc. selon le contexte.

Rendement énergétique

Le *rendement* est le pourcentage de l'énergie initiale utilisable pour ses fins.



Le rendement est de :

35% pour une centrale électrique thermique (à gaz ou à charbon)

20% pour un moteur de voiture

10% pour une centrale électrique géothermique

etc.

Autre forme de rendement :
le temps de fonctionnement effectif

P_{max} = 2 MW

$P_{moyenne}$ ~ 200 kW

Puissance

L'énergie pour gravir une pente donnée est toujours la même, en revanche la puissance à fournir augmente avec la vitesse (plus on monte vite, plus on développe une grande puissance).

Unité courante : le Watt (1 joule/sec) et ses multiples :

- le kilowatt (kW) 1000 W
- le Mégawatt (MW) un million de Watt
- le Gigawatt (GW) un milliard de Watt

très rarement, le Terawatt (TW) mille milliards de Watt.

Sources d'énergie

Dans le langage courant, on appelle *sources d'énergie* les ressources naturelles susceptibles de satisfaire nos besoins.

On parle alors de :

Énergies fossiles
- -pétrole
- -gaz naturel
- - charbon

(résidus de transformations de déchets organiques, enfuis depuis des millions d'années)

Énergie hydraulique (hydroélectrique)
Énergie nucléaire
Énergie solaire
Énergie géothermique etc.

Le problème des sources d'énergie

- La population mondiale et la demande en énergie augmentent de plus en plus vite.
- Les ressources d'énergies non renouvelables ne sont pas illimitées, et l'on entrevoit leur pénurie.
- Les émissions de CO2, produites par la combustion de pétrole, gaz, charbon, atteignent le seuil du danger climatique.
- La taille des problèmes, et les temps de mise en oeuvre de solutions, dépassent la capacité de décision "normale" des gouvernements, sans parler de la compréhension du grand public (...).

Plus l'homme fait des prévisions, plus il accumule les erreurs.

Grandes quantités d'énergie

En macroéconomie on doit mesurer l'énergie par des unités a) bien plus grandes, b) aptes à comparer des processus disparates.

Nous utiliserons donc le

tep = tonne équivalent pétrole

mais aussi le kW, MW etc. dans le sens où une puissance fournie en continu équivaut à la fin de l'année à une quantité d'énergie bien précise (par exemple : 1 tep = 1.4 kW*an).

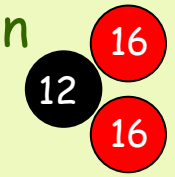
Une grande confusion d'unités...

Une future norme sur l'isolation des immeubles et habitations ("Minergie") propose de diviser par 2 ou 3 la consommation en énergie de chauffage, actuellement exprimée comme :

- 12 litres de fioul/m2*an ou
- 20 Watt/m2*an ou
- 180 kWh/m2*an ou
- 600 MJoule/m2*an

Équivalences en énergie

- 1 tep = 7.3 barils de 159 litres
- **1 tep = 1.4 kW** électrique pendant 1 an
- 1 tep = 1070 m3 de gaz naturel (méthane)
- 1 tep = 1.4 tonne de charbon
- 1 tep = 1.66 tonne de bois sec
- 1 tep = 1 gr de U-235 (réacteurs nucléaires)
- 1 tep ➔ 3-4 tonnes de CO2 après combustion



En pratique

La consommation mondiale d' énergie en 2005 est de

10.5 Gtep / an

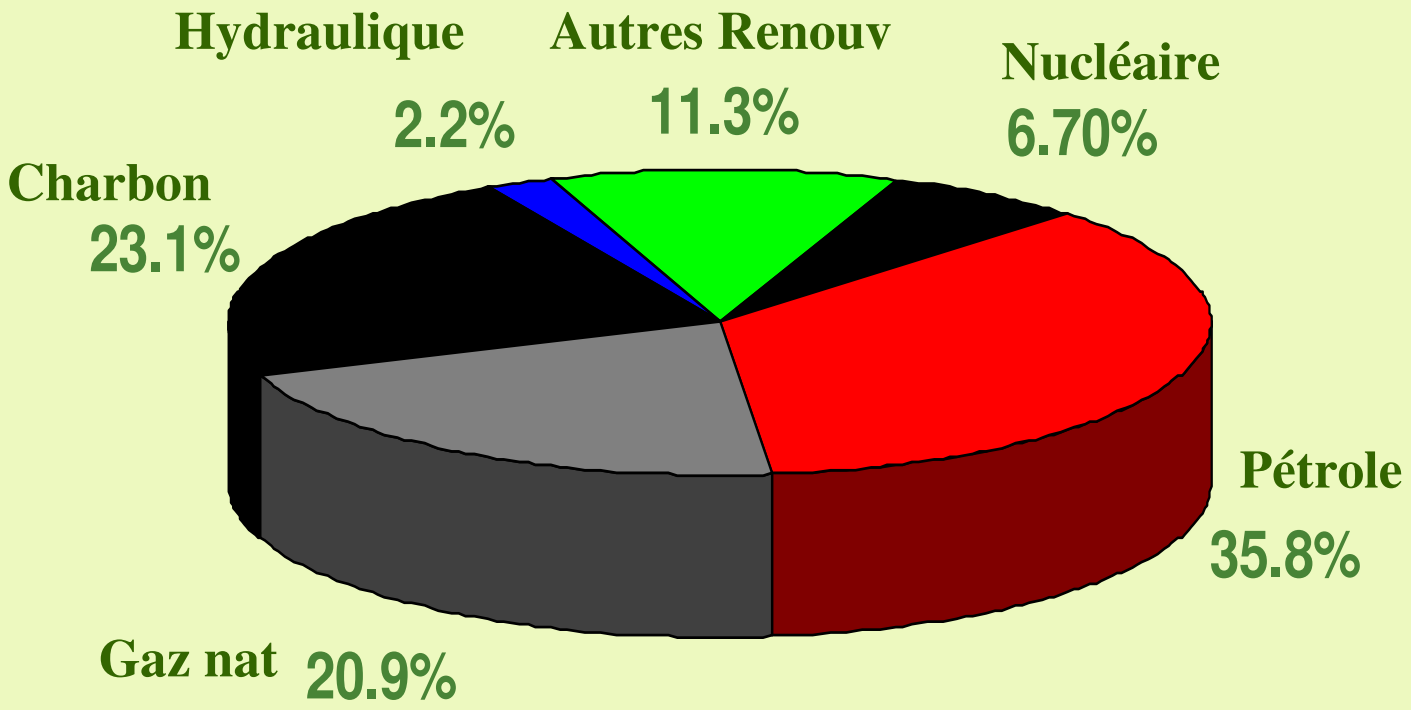
(10.5 milliards de tonnes-équivalent-pétrole)

La moyenne de consommation par an et par personne (6.5 milliards d'habitants) est de

1.6 tep (dont électricité 150 W)

CONSOMMATION D'ÉNERGIE (MONDE 2005)

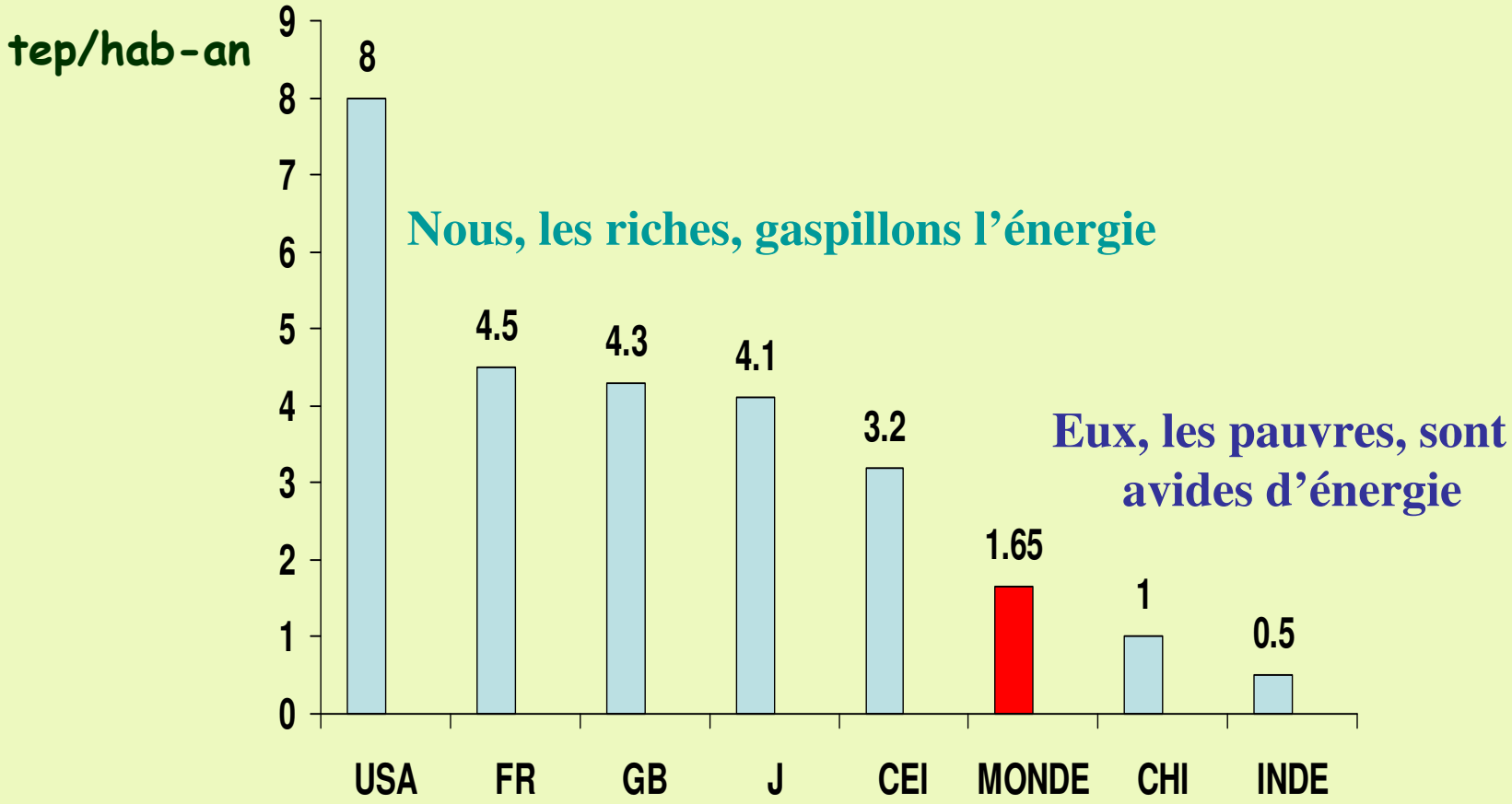
~ 10.5 Gtep/an dont ~80% d'énergies fossiles carbonées



Émissions : 8 GteqC => 30 Gt CO_2 /an

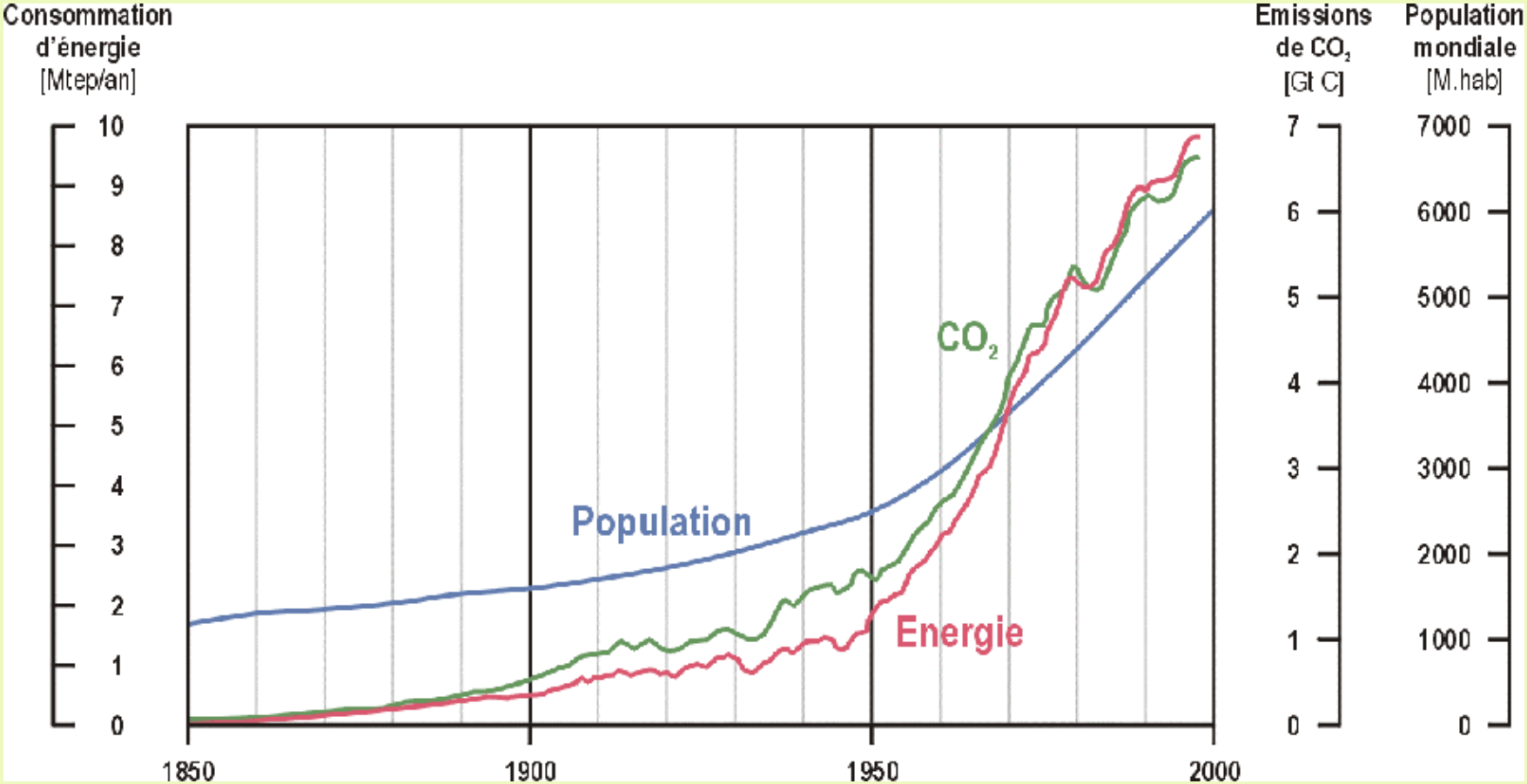
CONSOMMATION MONDIALE D'ÉNERGIE

Monde :~10.5 Gtep / an



Source: AIE 2004

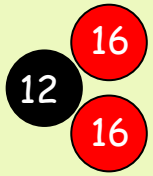
La population augmente de 1.5 % / an.
La demande en énergie augmente de 2.2 % / an
(donc plus vite).



Le CO2 et l'effet de serre

Combustion des hydrocarbures:

$$CH_{2n} + O_2 \rightarrow \mathbf{CO_2} + nH_2O$$



$$[C\text{-}12] + 2\,[O\text{-}16] \rightarrow [CO_2\text{-}44]$$

$$1\ GteqC \rightarrow 3.6\ GtCO_2$$

La production de CO2 due à l'utilisation de combustibles fossiles altère les apports naturels de CO2 dans l'atmosphère.

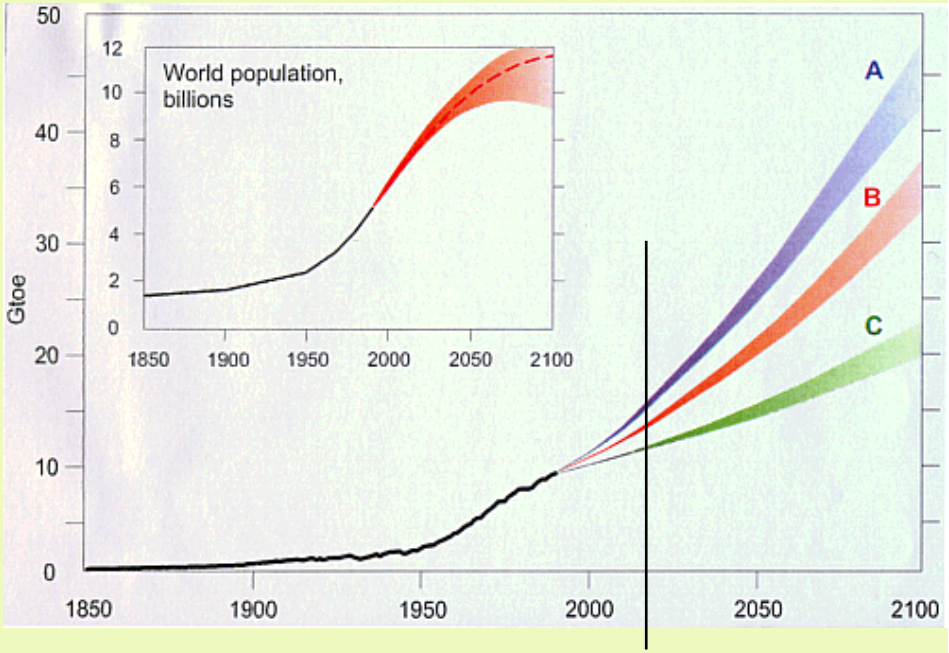
à venir

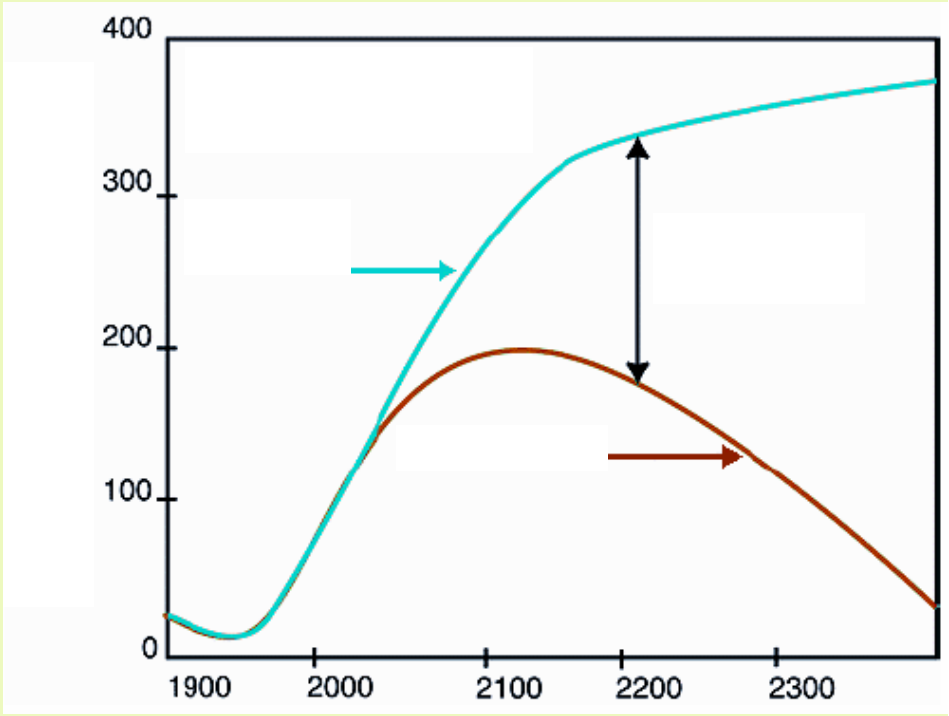
La demande en énergie augmente de 2.2 % par an

De 10.5 Gtep on passera en 2050 à :

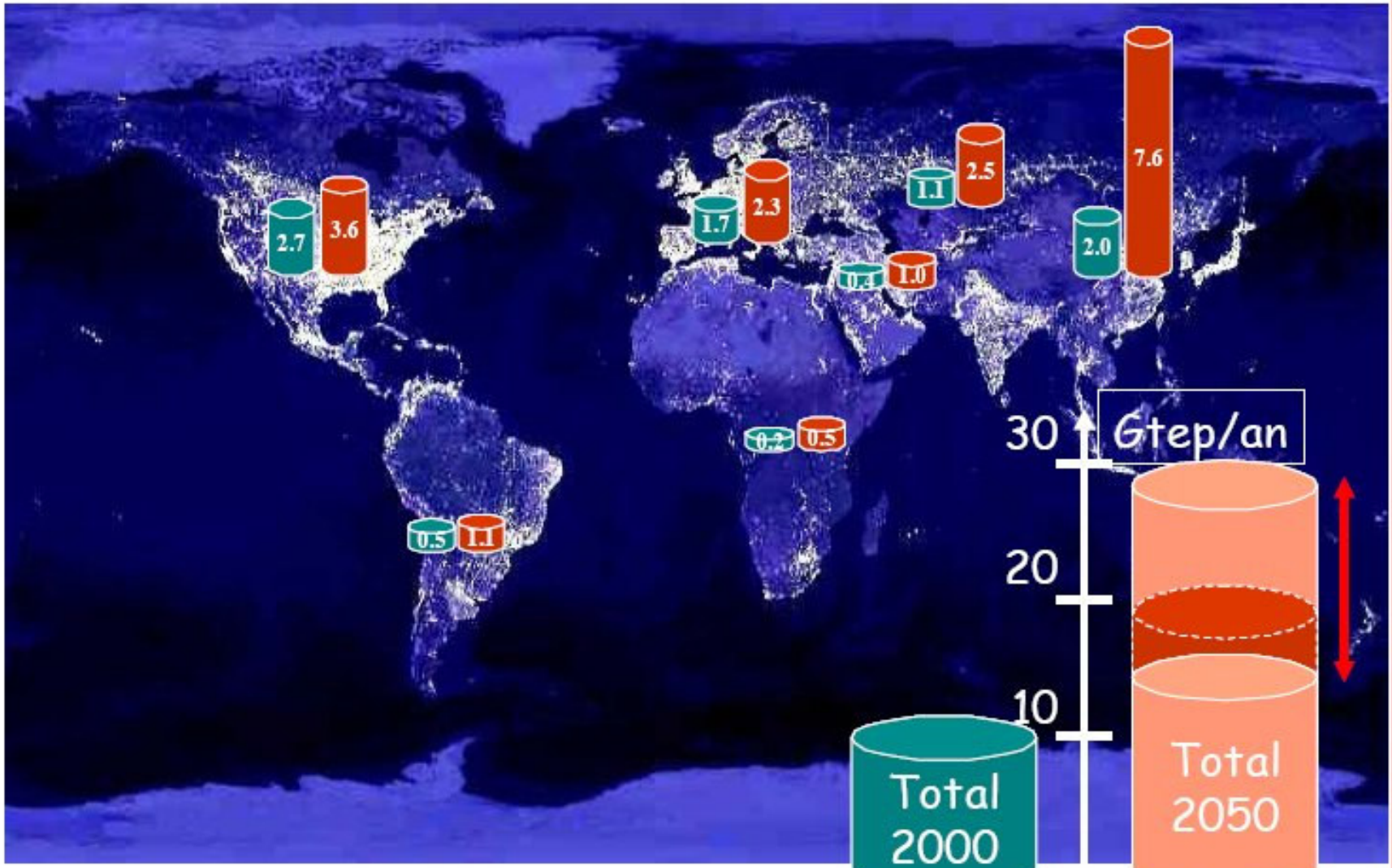
15 Gtep / an
20 Gtep / an
30 Gtep / an

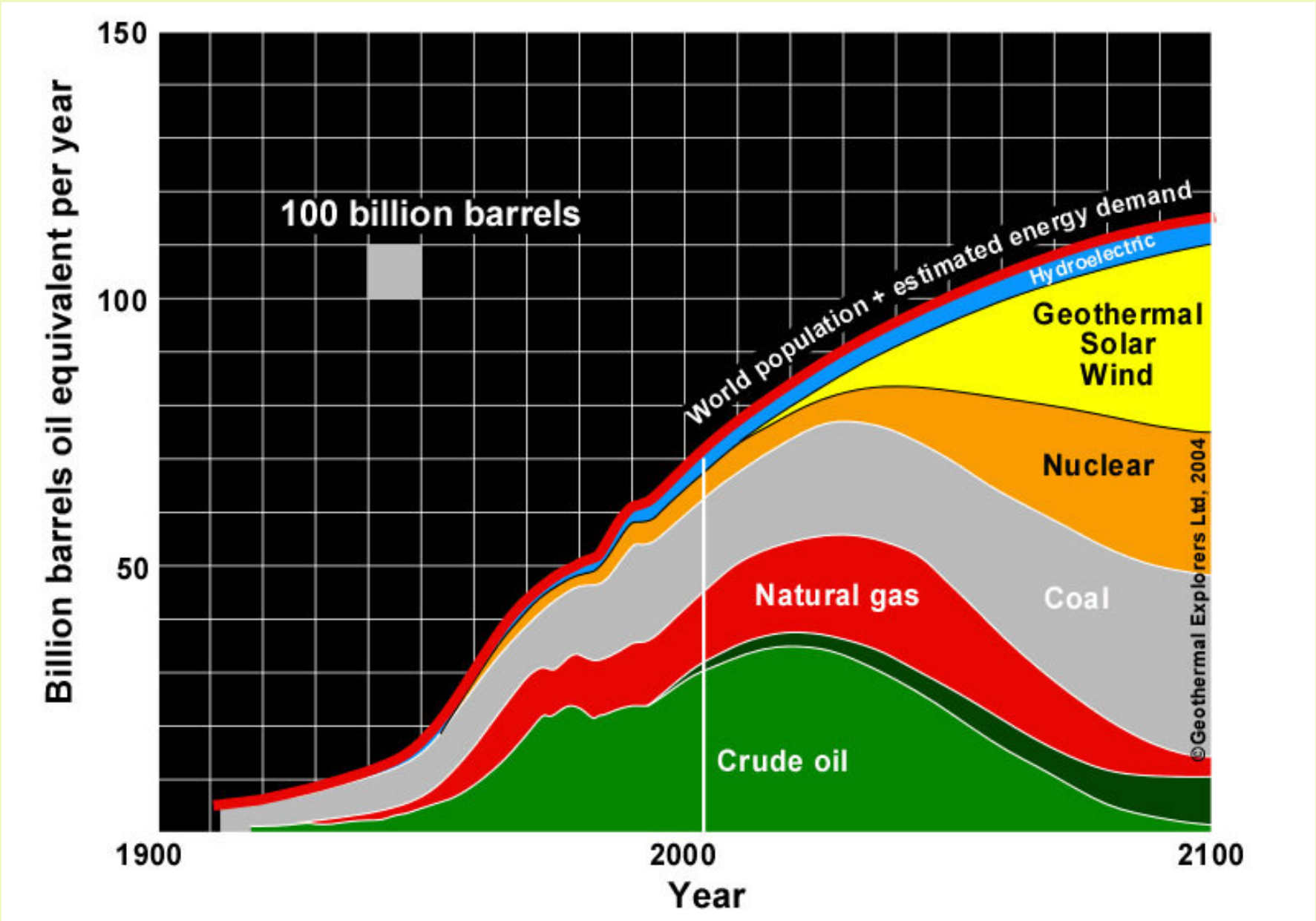
La demande en énergie dépassera l'énergie disponible dès 2030.





Contexte énergétique mondial





32 [1 baril = 159 litres ; 1 billion = 1 milliard]

F. Soso 2007

Les défis...

Il est impératif de réduire la consommation d'énergie, afin de :

Prolonger la vie des réserves énergétiques, le temps de mettre en place des solutions de rechange – il en va aussi de la paix dans le monde.

Ne pas augmenter outre mesure les émissions de CO_2 – il en va de la stabilité du climat terrestre.

2) C'est au pays développés qu'il revient de réduire leur consommation, parce que :

Avec 20 % de la population ils consomment 50 % de l'énergie annuelle.

Eux seuls ont la technologie pour le faire.

On ne peut pas demander aux pays qui essayent de sortir de la pauvreté de réduire "leur" consommation.

Les plus riches seront les premiers à souffrir d'une pénurie d'énergie.

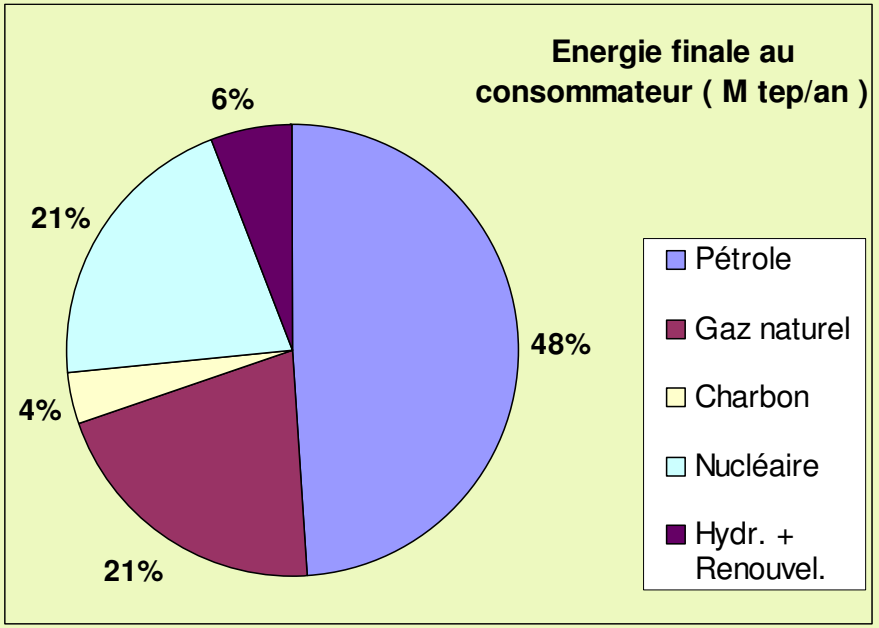
Demande d'énergie en France, 2005

La consommation en énergies primaires (importations), est de

4.5 tep / habitant-an*

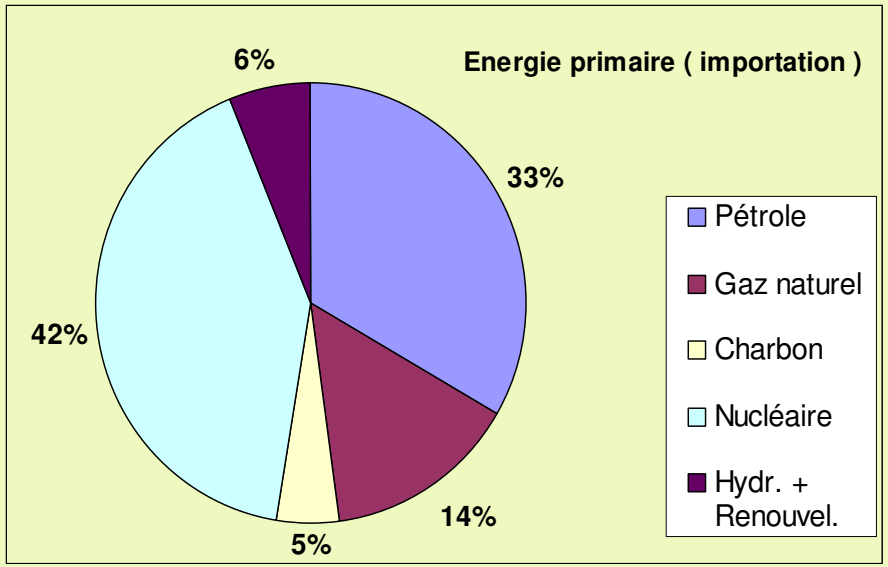
dont électricité

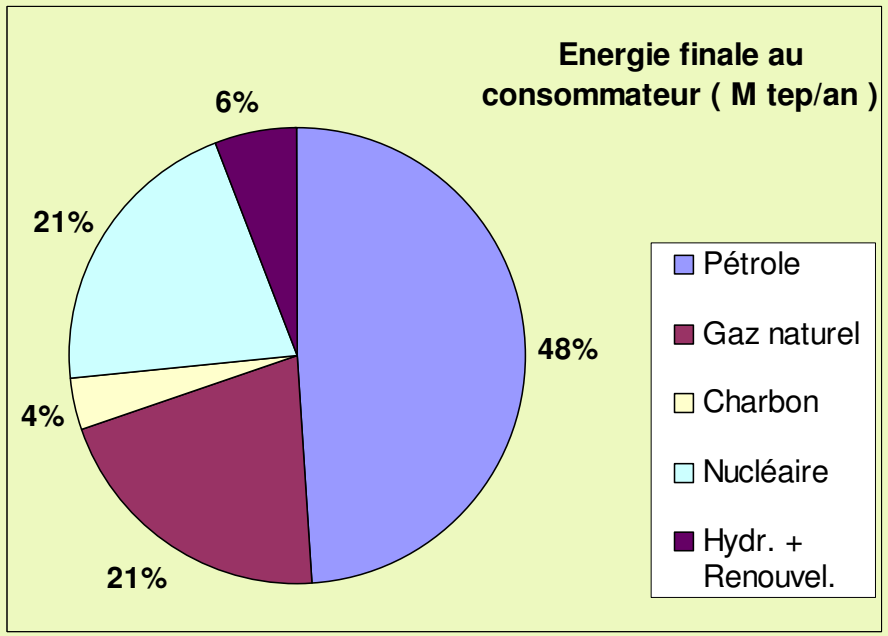
~ 1200 W (~ 18 %)



* 4.5 tep == 6.3 kW / habitant-an

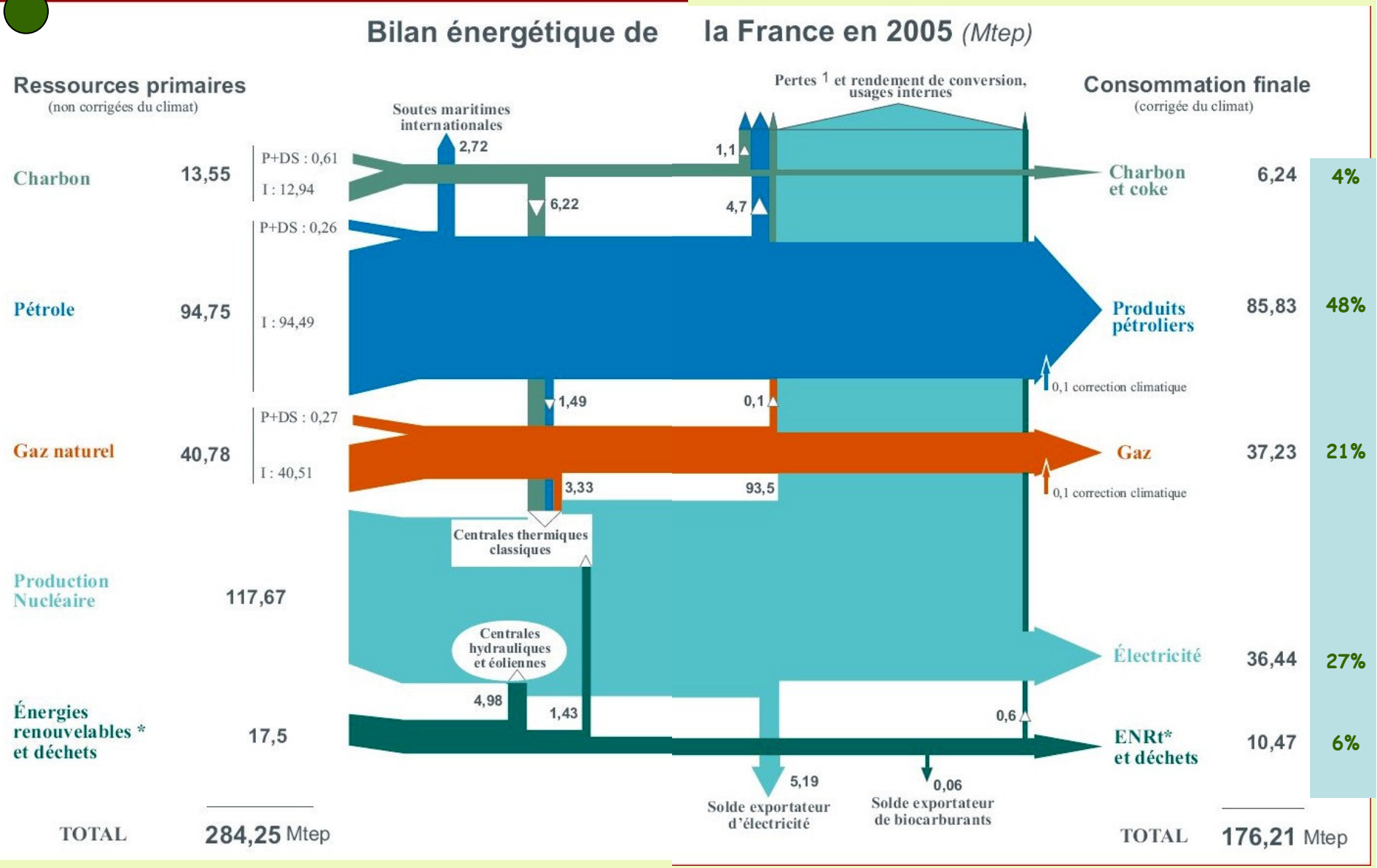
France, demande d'énergie, en Mtep/an (2005)





Energie primaire en France (Mtep / an)		
Pétrole	95	Mtep
Gaz naturel	41	Mtep
Charbon	13.5	Mtep
Nucléaire	117	Mtep
Renouvelables	17.5	Mtep
Total	284	Mtep

Energie à l'utilisation	
	Mtep
Pétrole	86
Gaz naturel	37
Charbon	6.2
Nucléaire	36.5
Hydr. + Renouvel.	10.5
Total	176


Bilan énergétique de la France en 2005 (Mtep)
Ressources primaires
(non corrigées du climat)
Pertes 1 et rendement de conversion, usages internes
Consommation finale
(corrigée du climat)
Soutes maritimes internationales
2,72
Charbon
13,55
P+DS : 0,61
I : 12,94
Pétrole
94,75
P+DS : 0,26
I : 94,49
Gaz naturel
40,78
P+DS : 0,27
I : 40,51
Production Nucléaire
117,67
Énergies renouvelables * et déchets
17,5
TOTAL
284,25 Mtep
6,22
1,1
4,7
1,49
0,1
3,33
93,5
Centrales thermiques classiques
Centrales hydrauliques et éoliennes
4,98
1,43
0,6
5,19
Solde exportateur d'électricité
0,06
Solde exportateur de biocarburants
Charbon et coke
6,24
4%
Produits pétroliers
85,83
48%
0,1 correction climatique
Gaz
37,23
21%
0,1 correction climatique
Électricité
36,44
27%
ENRt* et déchets
10,47
6%
TOTAL
176,21 Mtep

Centrale nucléaire de 1 GWe (~1 million d'usagers)

Pour nous faire la main en matière de production et consommation énergétique, considérons une centrale électrique « type ».

En France :

59 centrales de 0.9 à 1.6 GW,

reparties en 19 sites, produisent :

60 GWe par an

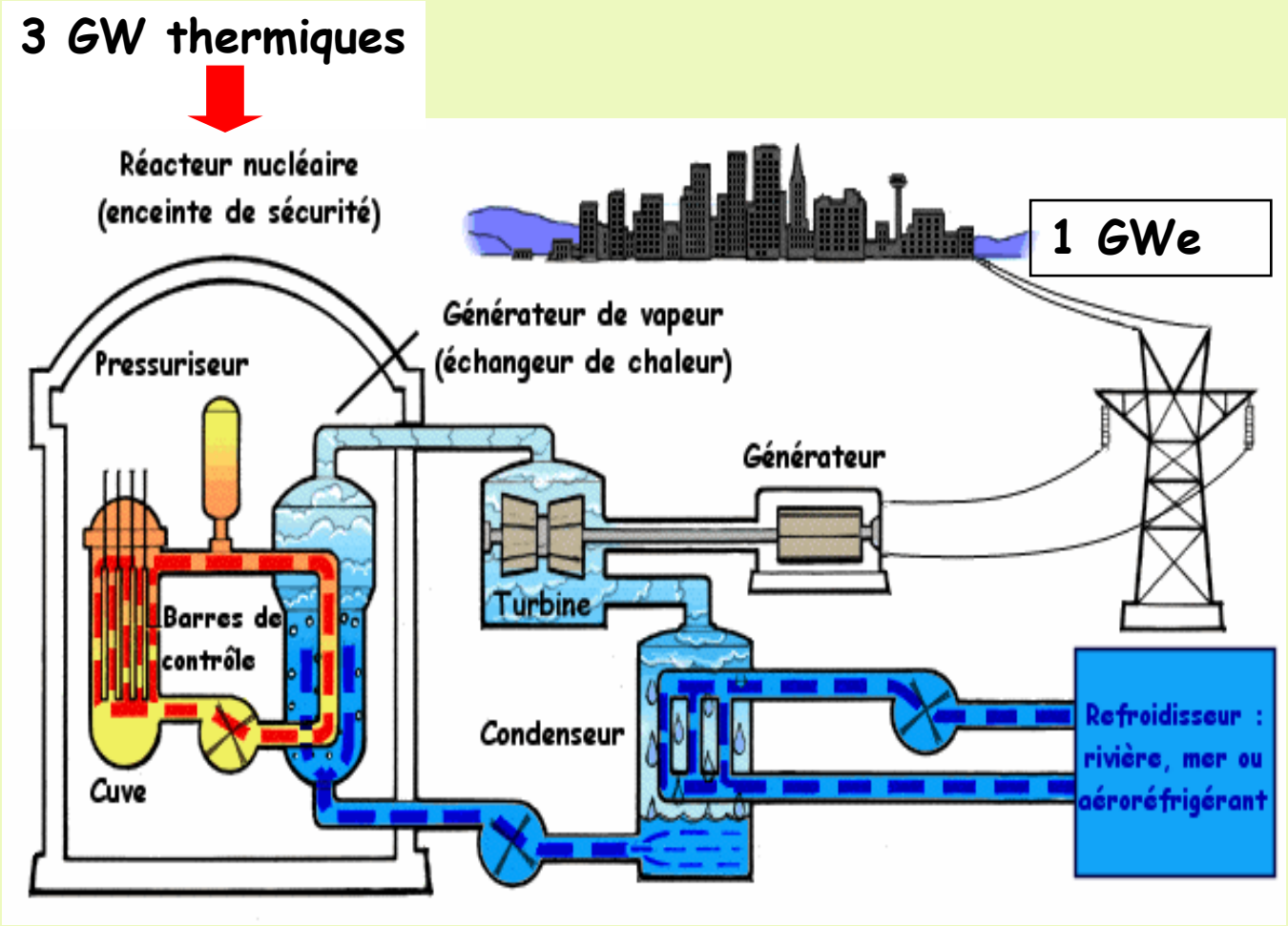
(soit 78% de l'électricité).

Centrale de 1 GWe

Rappel :

En France :
59 centrales de 0.9 à 1.6 GW,
reparties en 19 sites.

Production :
60 GWe /an



Que faut-il pour produire 1 GWe ?

Avec la technologie d'aujourd'hui :

120 tonnes d'uranium naturel (U-238 avec 0.7 % de U-235)

ou

2.700.000 tonnes de charbon

ou

2.000.000 de tonnes de pétrole (50.000 camions de 40 T)

ou

2.4 Gm^3 de gaz naturel

ou

5000 éoliennes de 200 kW (côtes de la mer du Nord)

ou

100 km^2 de panneaux photovoltaïques (rendement 10%)

120 tonnes d'Uranium naturel (97.3% de U-238) ➔ 22 tonnes d'Uranium enrichi (3.5% de U-235) ➔ 1 tonne de U-235 brûlé en 20 mois.

Coût de l'Électricité

Coût du kilowattheure: Si l'on tient compte de tous les coûts induits par la production d'électricité, comme la construction et la maintenance des installations, le combustible et le recyclage des déchets :

Hydro-électricité	Nucléaire	Gaz naturel	Eolien	Solaire
4-11.2 cts €	4.3-7.3 cts €	5.5-11 cts €	20-51 cts €	70-101 cts €

FIN

Suivent des dias de données...

Coût du kilowattheure par type de centrale

Tous les coûts sont en M€ / an sauf autre indication.

	Puissance installée (MW)	Heures / an à pleine puissance	Production (TWh / an)	Investisse-ment	Cout du combustible	Cout d'exercice annuel	Cout du kWh (cts €)
Centrale nucléaire	**1200**	**7000**	**8.4**	**2500**	**80**	**580**	**6.9**
Turbine à Gaz	**600**	**7000**	**4.2**	**320**	**90**	**154**	**3.7**
Centrale à charbon	**600**	**7000**	**4.2**	**630**	**35**	**161**	**3.8**
Ferme éolienne (300 éoliennes)	**600**	**1760**	**1.1**	**900**	**0**	**180**	**17.0**
Ferme photovoltaïque 100km2	**1000**	**7000**	**7**	**10000**	**0**	**2000**	**28.6**

Coût d'exercice annuel = 15 % du coût d'investissement + coût d'entretien (5% par an) + coût du combustible.

Coût du kWh = Coût d'exercice annuel / kWh par an.

Éoliennes offshore de 2 MW, d=80m, 20 % temps à pleine puissance; le coût est de 3 M€ par unité.

REACTEURS DANS LE MONDE

Données cumulées relatives aux combustibles usés dans les réacteurs nucléaires			
	Puissance installée	Pourcentage d'électricité	
Pays	GW électriques	d'origine nucléaire	Tonnages usées
France	58.5	76.4	11 770
Belgique	5.5	55.8	1 400
Suède	10	51.1	3 240
Suisse	3	36.8	1 300
Espagne	7.1	35	1 775
Finlande	2.3	29.5	975
Allemagne	22.7	29.3	6 315
Japon	38.9	27.2	8 600
Grande Bretagne	11.7	25.8	7 000*
U.S.A.	98.8	22	28 600
Canada	15.8	19.1	20 000**
Pays-Bas	0.5	4.9	150
Total	274.8		91 125

Thermodynamique

Équivalence travail-chaleur (S. Carnot, J. Joule)

1 kcal ou Cal : réchauffe de 1°C 1 kg d'eau

1 Cal ➔ 4186 joule

1 kg pétrole ➔ 10.000 Cal
1 kWh ➔ ...
1 kg charbon ➔ ...
1 m3 de gaz naturel ➔ ...