

Le nucléaire civil passé au crible

Etat des lieux du débat sur le nucléaire

Yves Marignac

Directeur de **WISE-Paris**

Nucléaire : du débat idéologique à l'analyse critique ?

*“Lorsqu’ une question soulève des opinions violemment contradictoires, on peut assurer qu’ elle appartient au domaine de la **croyance** et non à celui de la **connaissance**”*

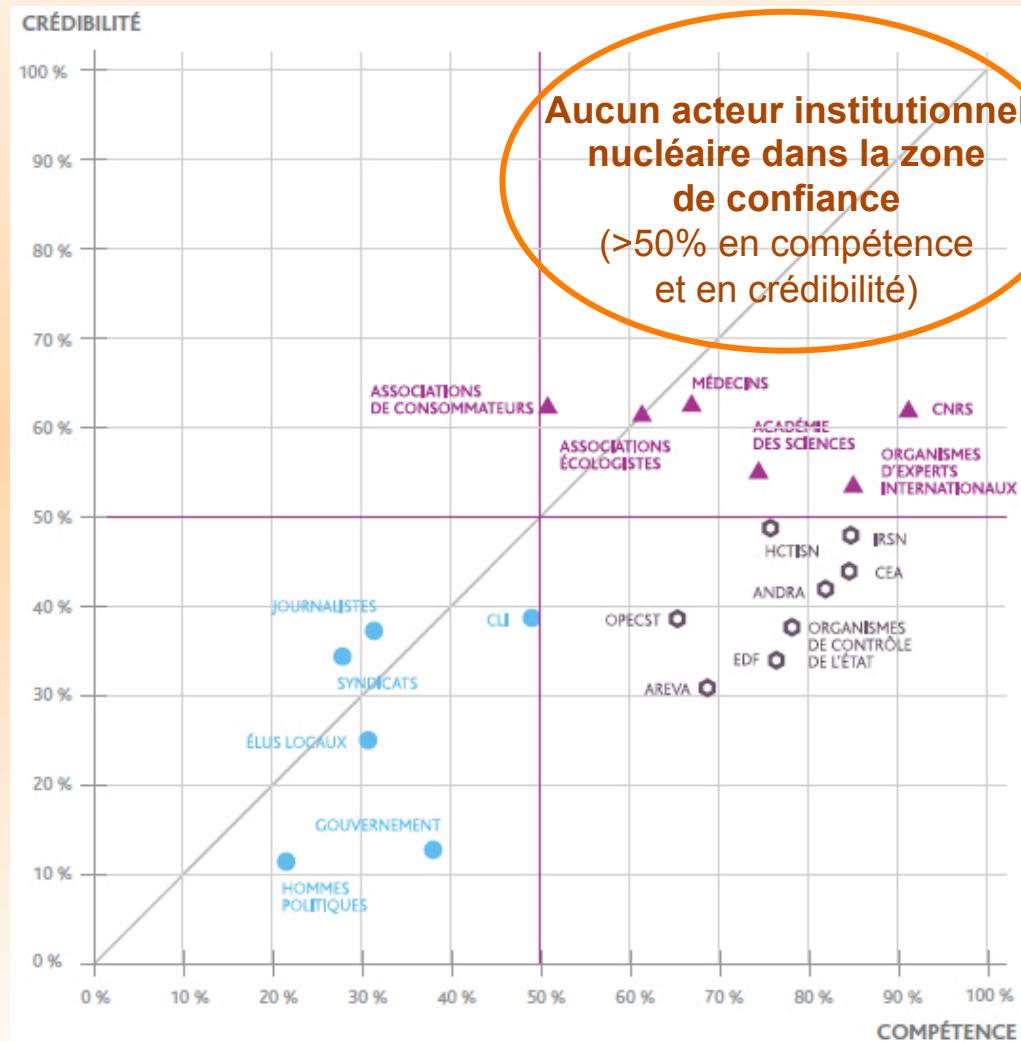
Voltaire.

Un débat largement **polarisé** et dominé par des **mythes** :
une situation caricaturale qui sert les deux camps ?

En France, un débat **biaisé** par la place prise par le nucléaire

Pédagogie de la **catastrophe**...
après Fukushima, un vrai espace de débat ?

Nucléaire et politique : débat confisqué et défiance



- Décisions confisquées au sein du Gouvernement et de l'industrie (Corps des mines)
- Faiblesse des processus d'évaluation et de “rendre compte” au public (*ex-ante* ou *ex-post*)
- Aucune confiance du public dans les discours officiels sur les risques nucléaires
- Pas de soutien marqué au programme

Source : Baromètre IRSN 2011

Nucléaire et politique : l'inculture énergétique

Election présidentielle 2007, campagne du 2^{ème} tour

Débat télévisé entre Mme Royal et M. Sarkozy, mai 2007

22H30: Altercation sur la question de l'énergie nucléaire.

Mme Royal demande à son adversaire quelle est la part du nucléaire dans la consommation d'électricité en France. "La moitié", répond-il. "Non, 17% seulement", insiste-t-elle.

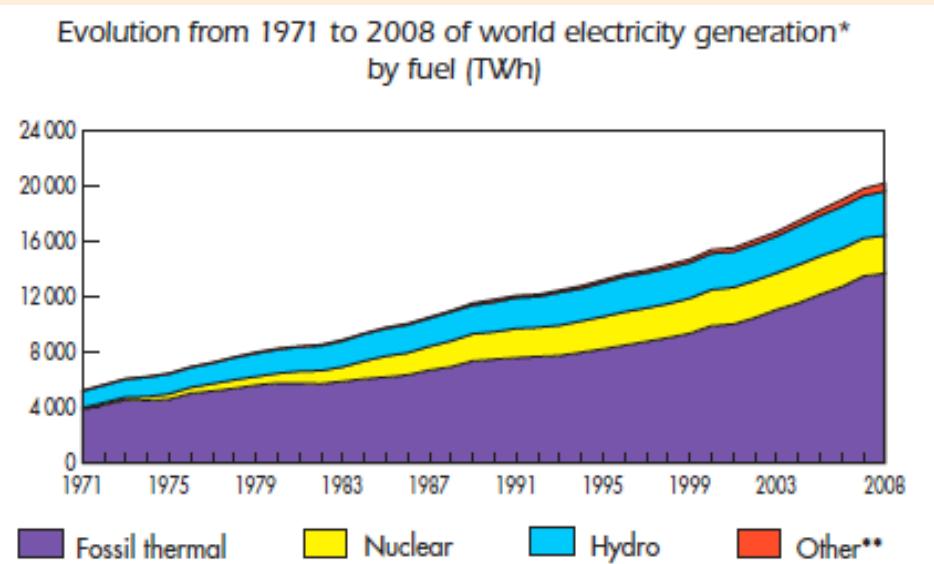
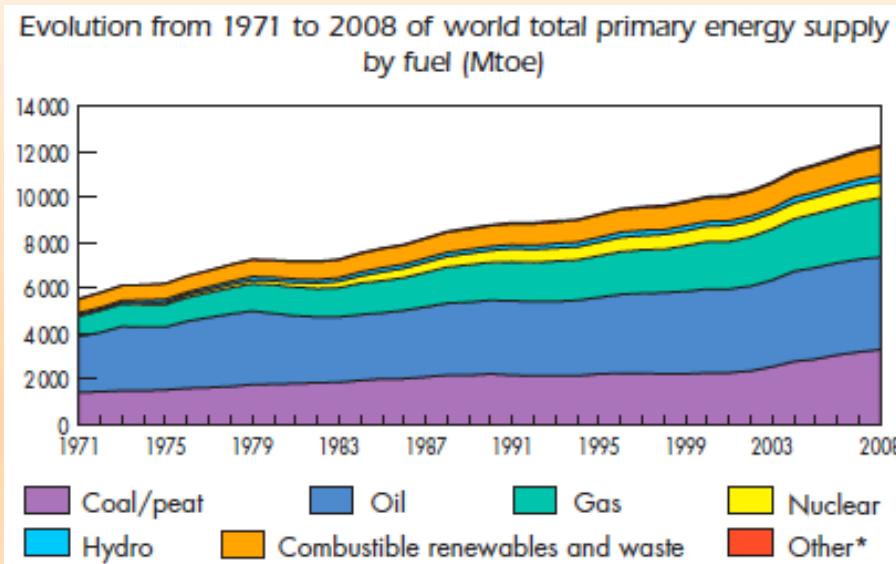
- Royal (sur le réacteur nucléaire EPR): "Vous venez de dire une série d'erreurs, ça peut arriver mais il faudra que vous révisiez un peu votre sujet."



Le nucléaire : trois débats en un

- L'industrie nucléaire fait aujourd'hui valoir deux atouts :
 - énergie disponible face à l'épuisement des ressources fossiles,
 - énergie abondante sans émissions de gaz à effet de serre
- Il y a en réalité trois niveaux de débat distincts à instruire :
 - les risques spécifiques au nucléaire : sont-ils ou non maîtrisables, cette "solution" est-elle ou non acceptable ?
 - les conditions de mises en œuvre, les bénéfices et les impacts socio-économiques : cette "solution" est-elle réaliste et efficace ?
 - l'articulation d'une stratégie énergétique globale : cette "solution" est-elle cohérente avec d'autres orientations ?

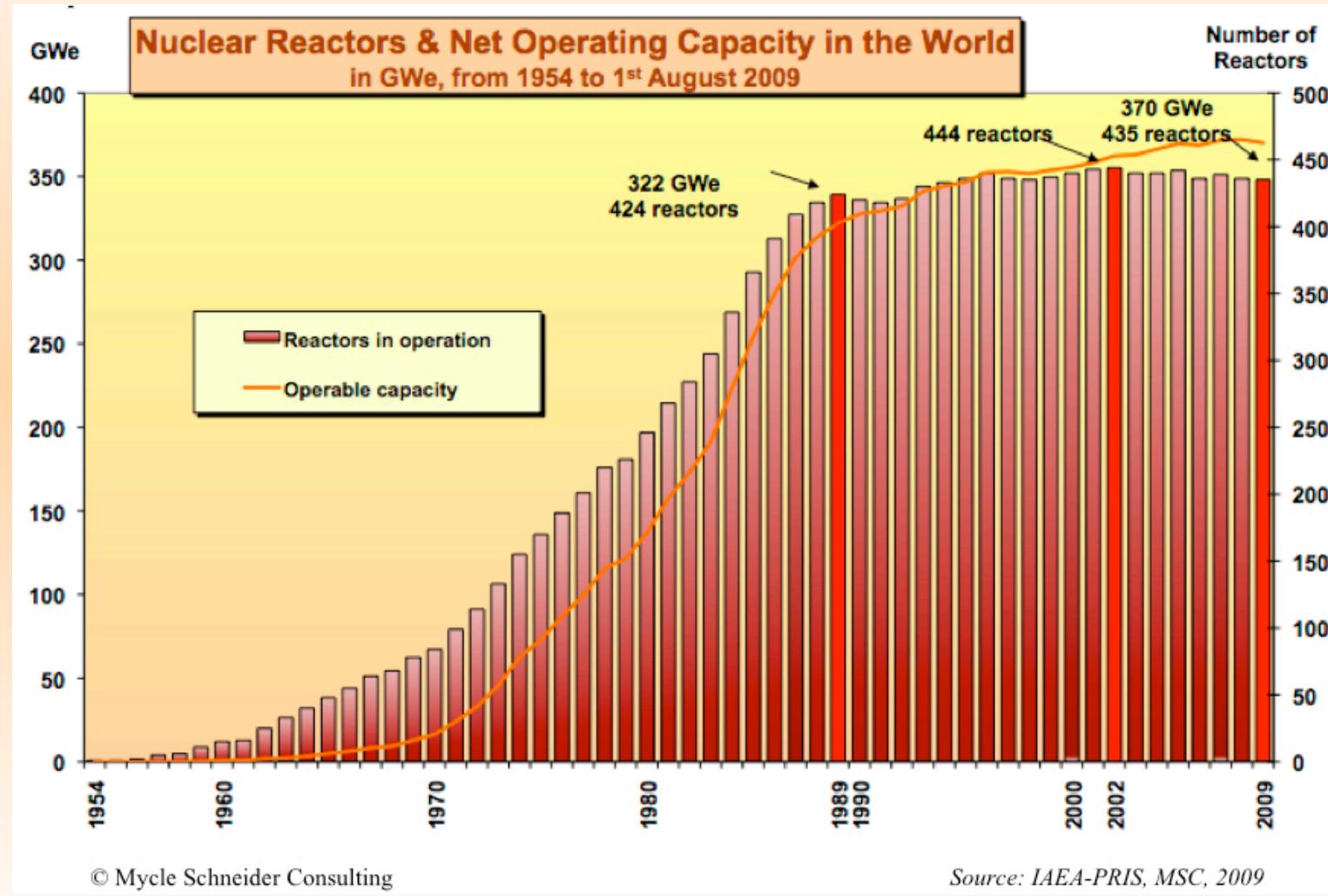
Nucléaire : part dans l'énergie mondiale



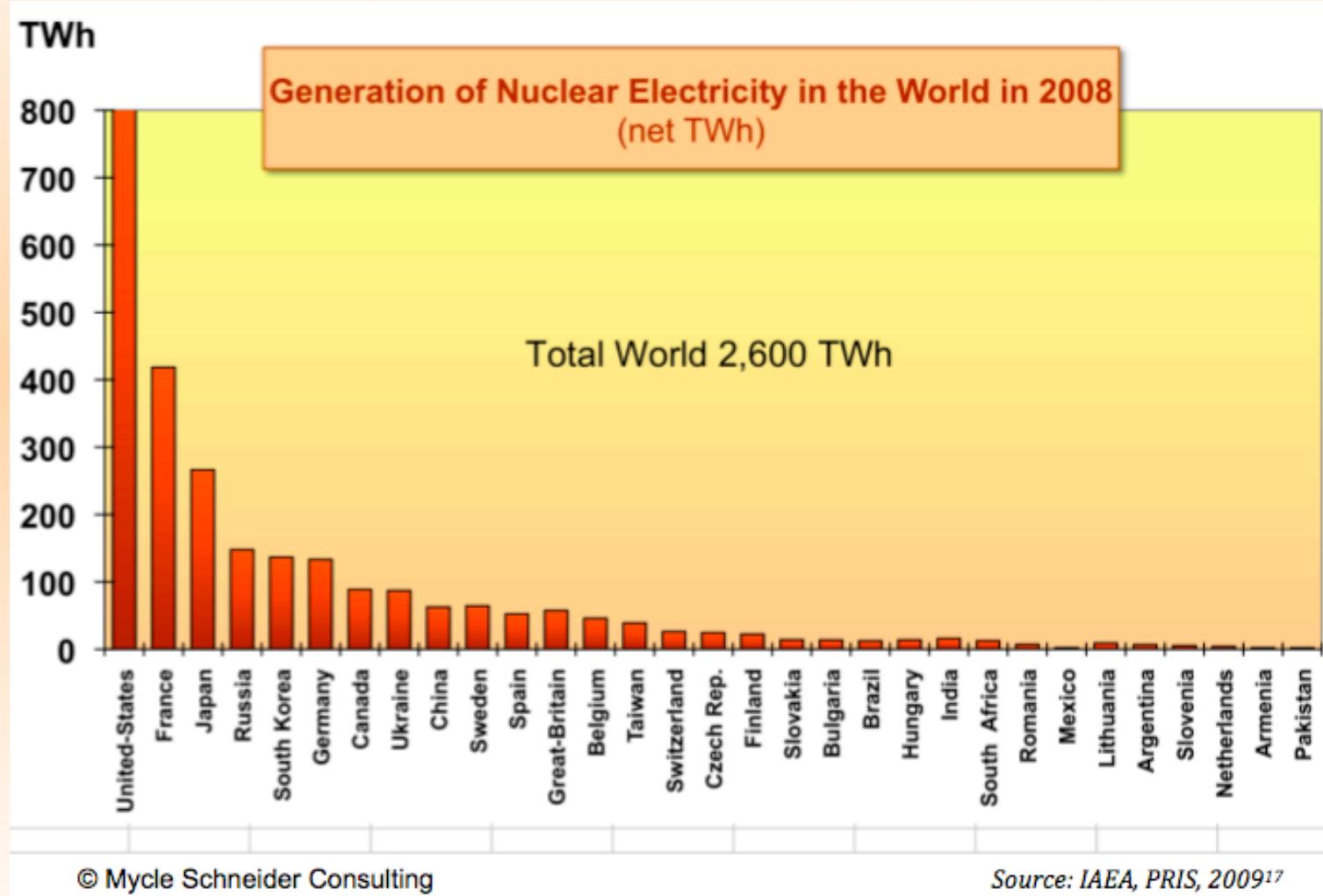
Energie primaire	1973	2008
Fossiles	86,6 %	81,3 %
Nucléaire	0,9 %	5,8 %
Renouvelables	12,5 %	12,9 %
Total (Mtep)	6 115	12 267

Electricité	1973	2008
Fossiles	75,1 %	67,8 %
Nucléaire	3,3 %	13,5 %
Renouvelables	21,6 %	18,7 %
Total (TWh)	6 116	20 181

Parc nucléaire mondial : historique



Nucléaire : électricité par pays



**Contribution
du nucléaire
en énergie
finale :**

USA 4 %

France 16-17 %

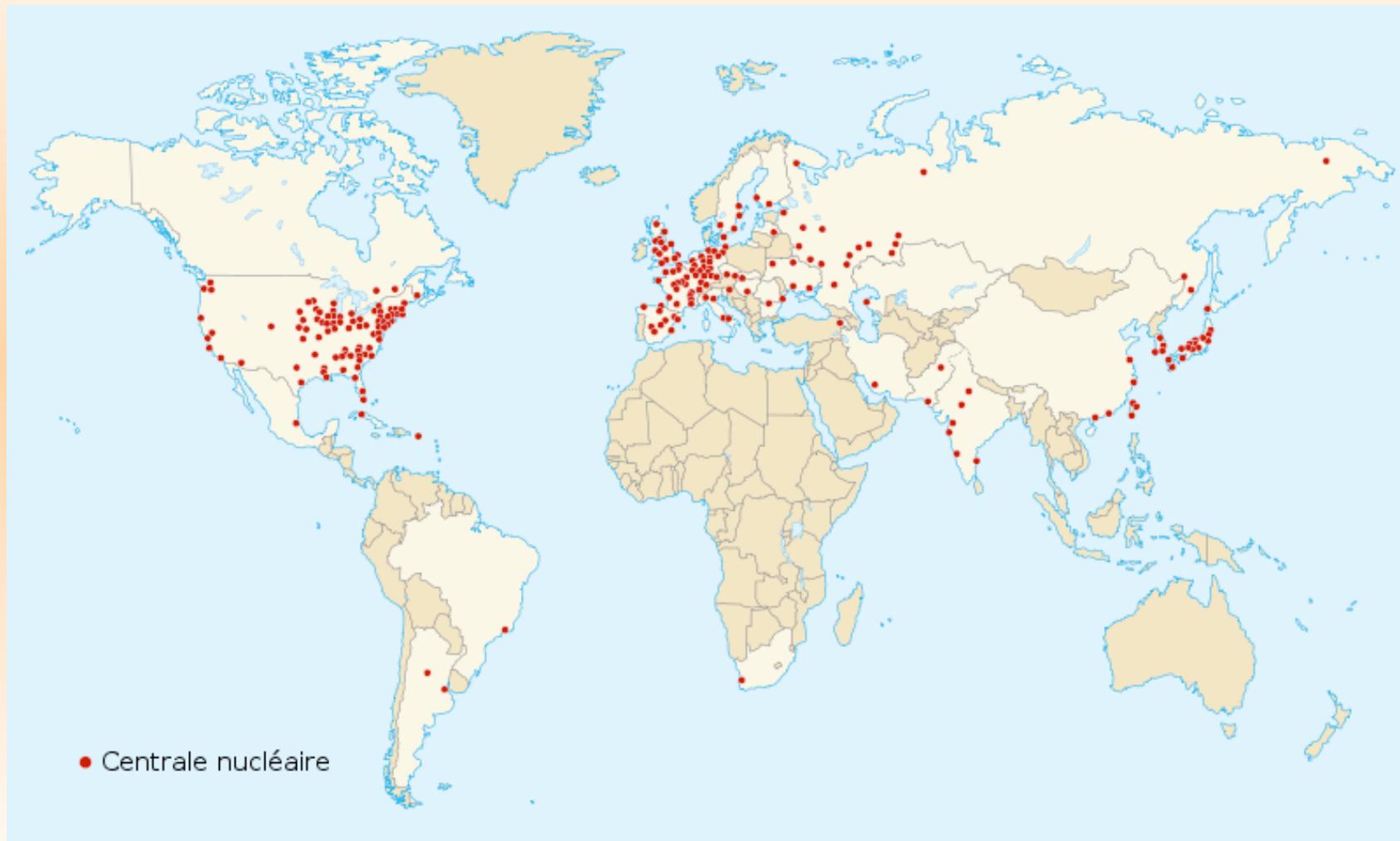
Japon 6-7 %

Russie 3 %

Corée S. 6-7 %

Allemagne 6-7 %

Nucléaire : implantation des centrales



France : le nucléaire poussé à son comble



Un parc très développé :

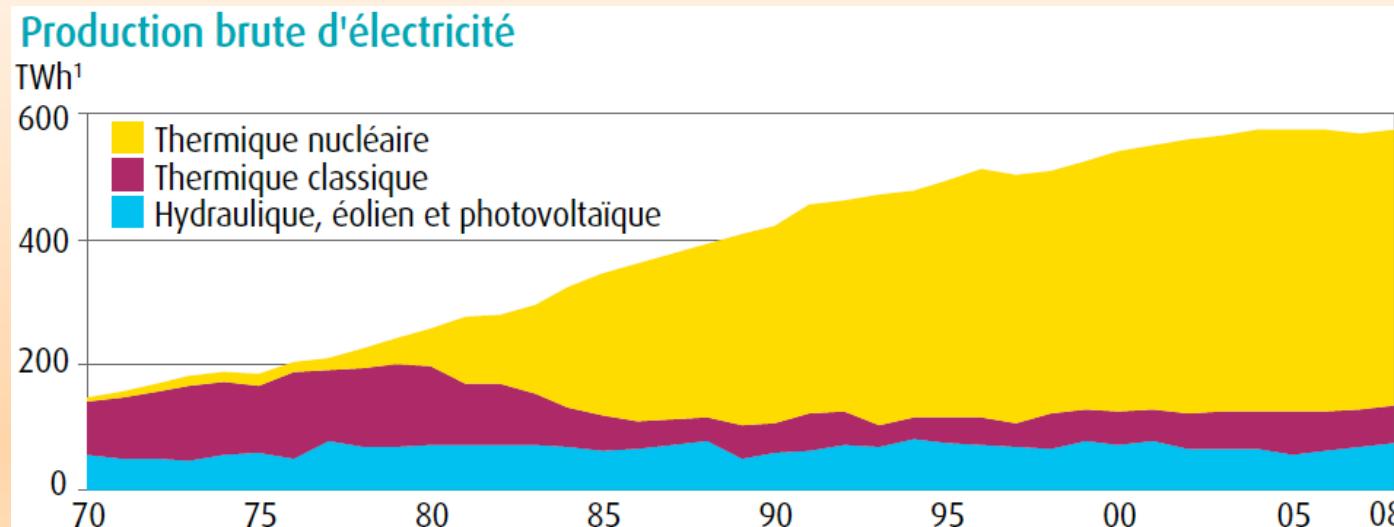
- 58 réacteurs (63,2 GWe) dans 19 centrales
- Un “cycle” combustible intégré
 - conversion
 - enrichissement
 - fabrication combustible
 - retraitement
 - entreposage / stockage déchets
- Des centres de recherche nucléaire (CEA)

EDF et Areva : leaders mondiaux

EDF	Parc EDF	Nb réacteurs	Puissance (MWe)	Part EDF (%-MWe)
France	58	63 130	97,8 % - 61 730	
Royaume-Uni	8	8 733	80 % - 6 986	
Allemagne (cédé 2010)	4	4 846	45 % - 2 181	
Belgique	1	962	50 % - 481	
Etats-Unis	5	4 044	47,8 % - 1 934	
Total	76	81 715	89,7 % - 73 312	

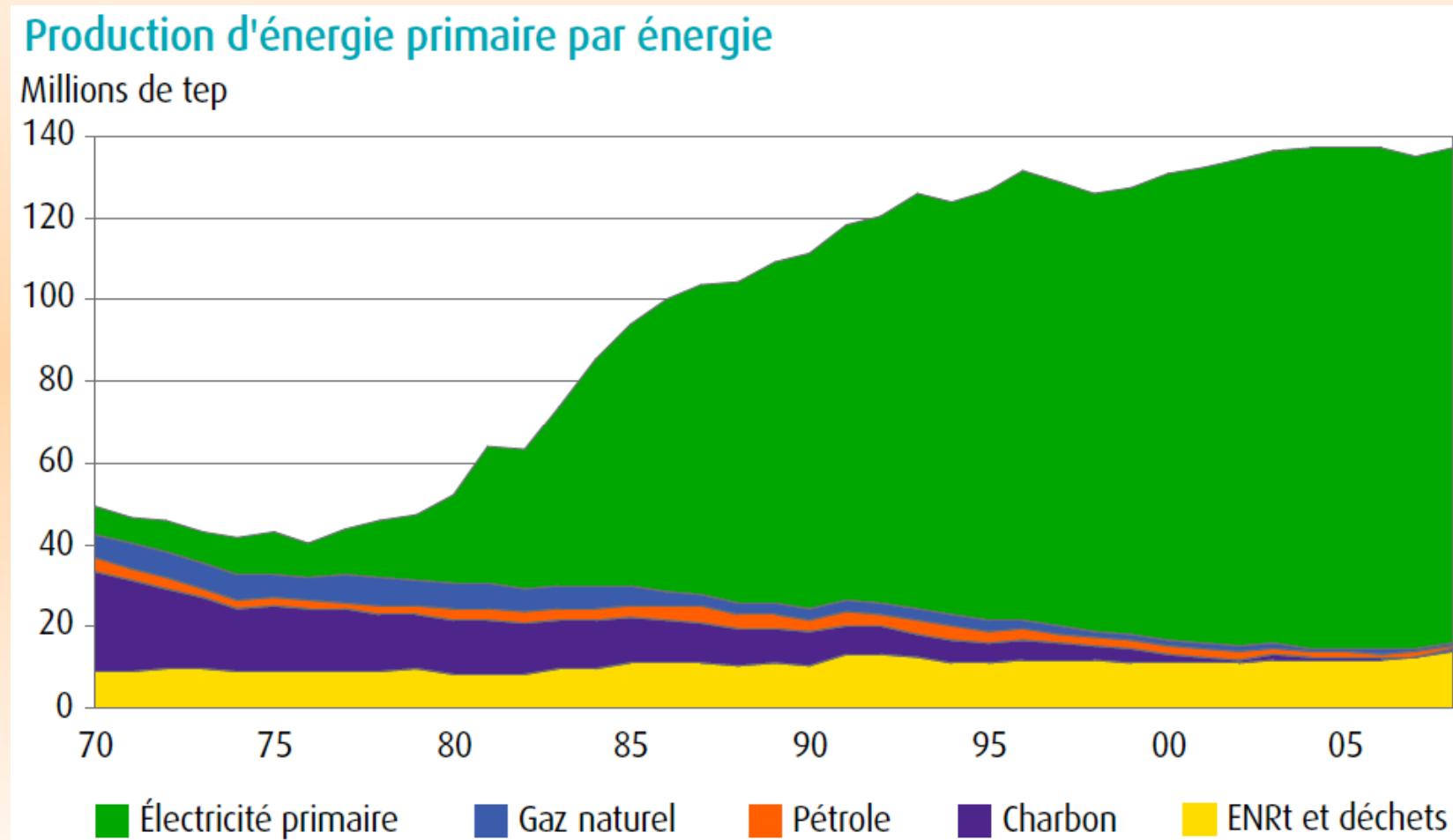
Areva	Activités nucléaires	Part du marché mondial
Services "amont"	<i>Mines d'uranium</i>	20-25 %
	<i>Conversion de l'uranium</i>	25-30 %
	<i>Enrichissement</i>	20-25 %
	<i>Fabrication de combustible uranium</i>	30-35 %
Construction et services aux réacteurs		20-25 %
Services "aval"	<i>Retraitement du combustible</i>	70-75 %
	<i>Fabrication de combustible</i>	65-70 %

Nucléaire : part dans l'électricité

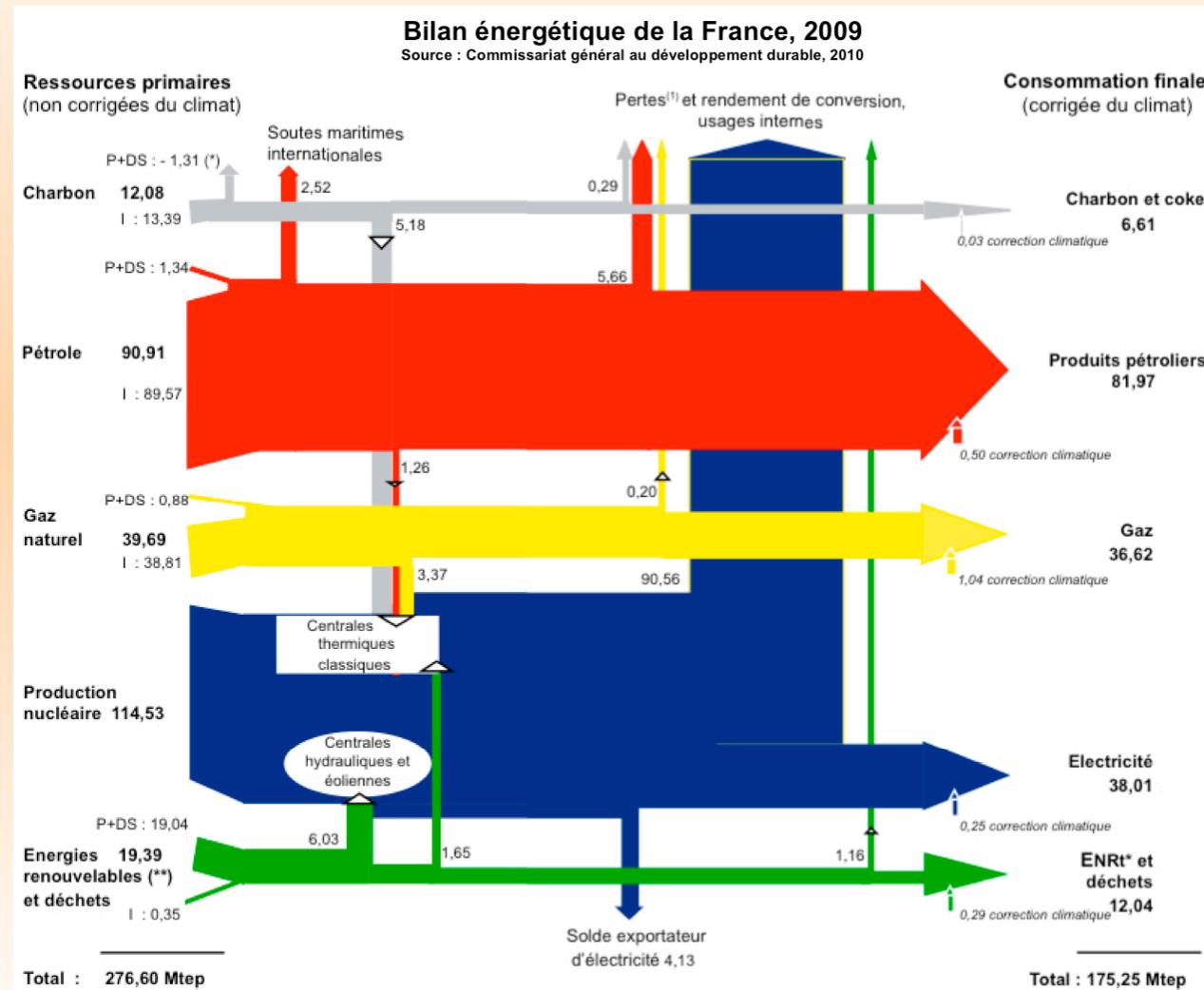


Electricité (TWh)	1973	1990	2000	2008
Thermique nucléaire	15	314	415	439
Thermique classique (fossile)	119	48	53	60
Hydraulique, éolien, PV...	48	58	72	75
Total production brute	182	420	540	575
Pompages et auto-consommation	8	25	31	31
Solde exportateur	3	46	69	48
Total consommation intérieure nette	171	350	441	495

Nucléaire : part dans l'énergie primaire

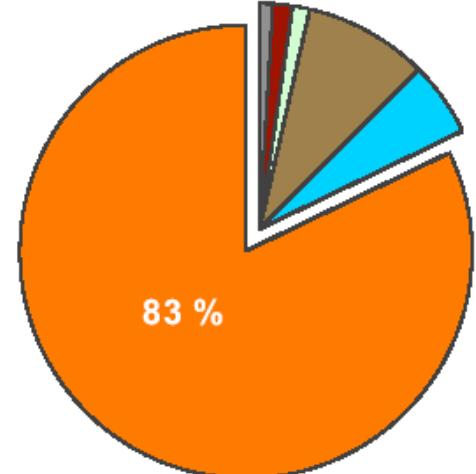


Nucléaire : bilan énergétique

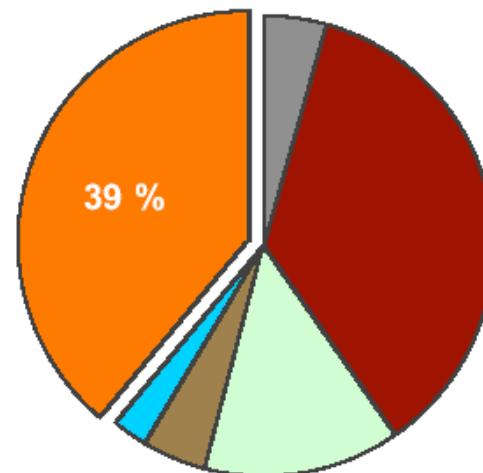


Nucléaire : part dans l'énergie(s)

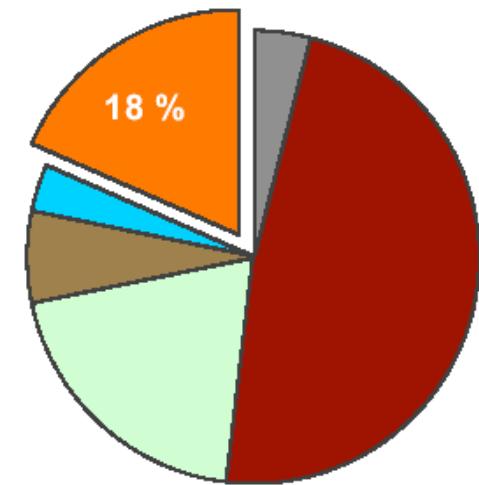
Production française d'énergie primaire en 2001



Consommation française d'énergie primaire en 2001 (corrigée du climat)



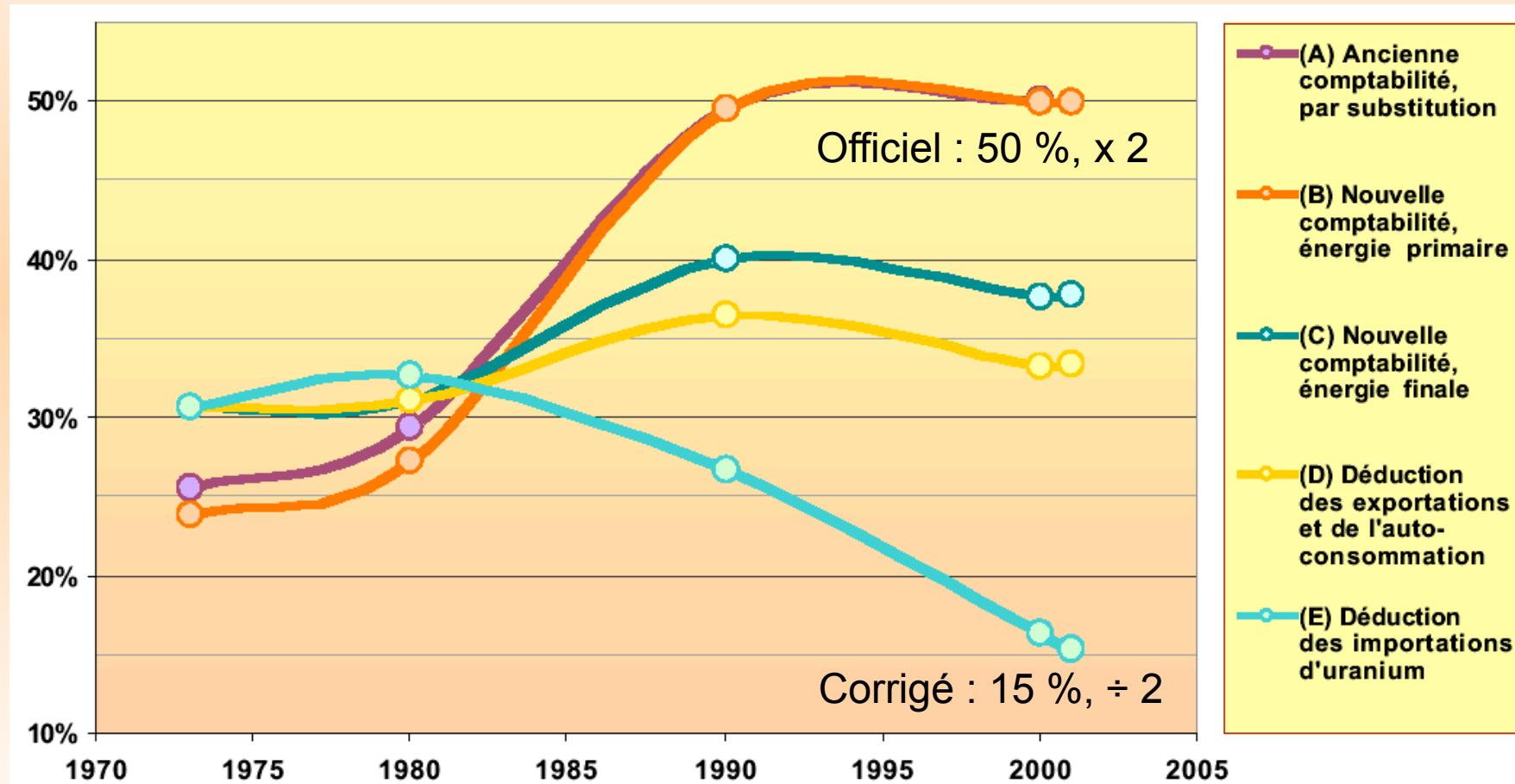
Consommation française d'énergie finale en 2001 (usages énergétiques)



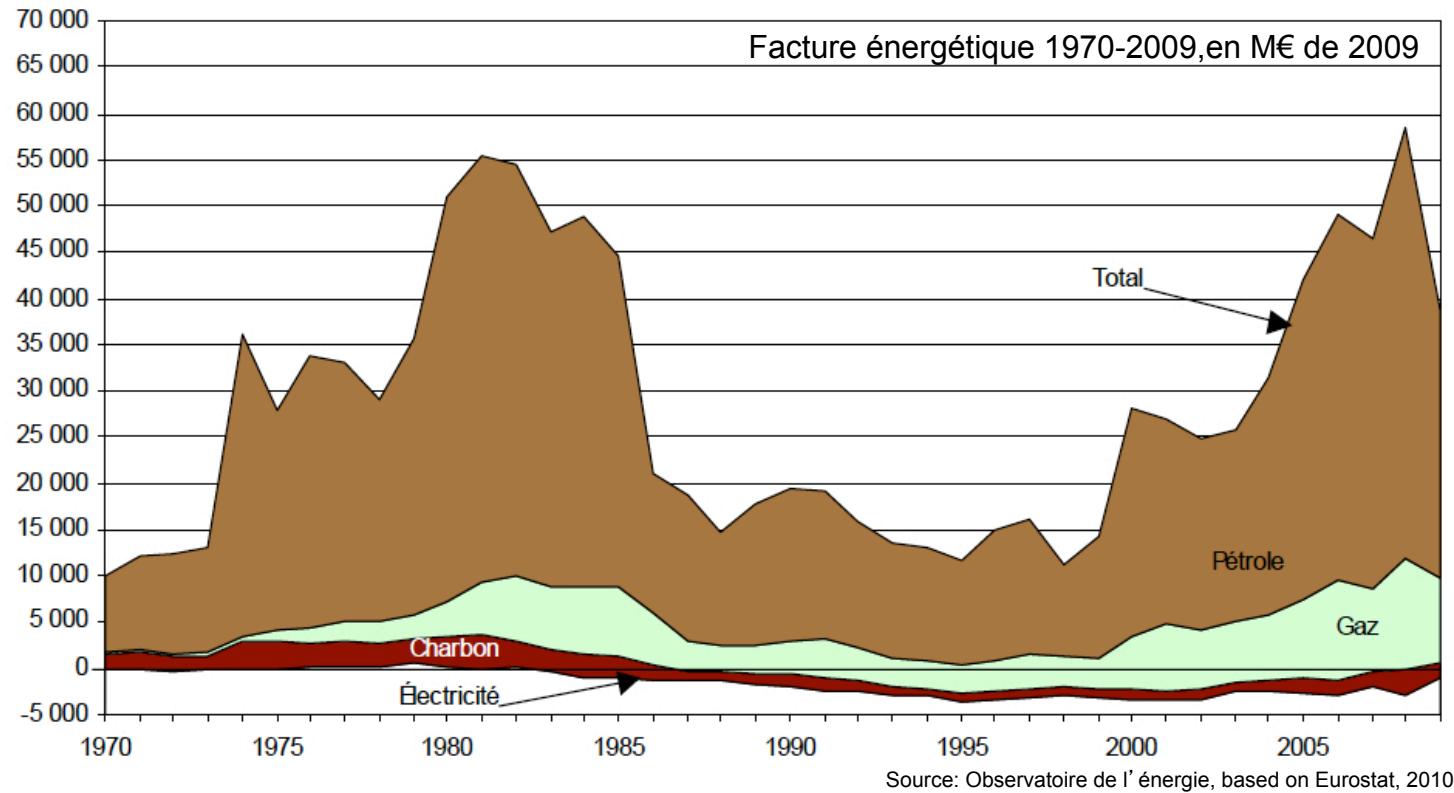
■ Charbon ■ Pétrole ■ Gaz ■ Renouvelables thermiques ■ Hydro* ■ Nucléaire

Indépendance énergétique : conventions

France : évolution de l' indépendance énergétique selon diverses conventions



Appports du nucléaire : facture énergétique



Facture énergétique de la France

Retour aux niveaux records des chocs pétroliers...

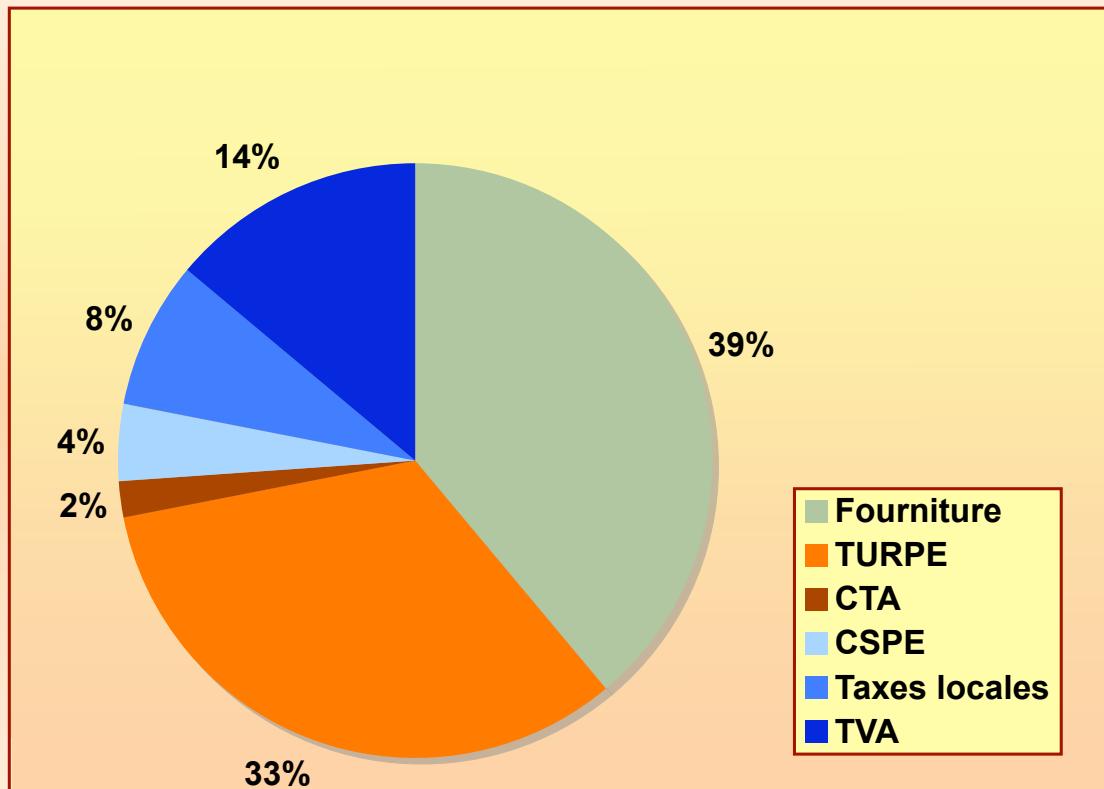
Exportations d'électricité : quelques milliards d'euros / an

Dépenses d'importation gaz + pétrole proches de 50 milliards d'euros / an

Nucléaire : promesses et déboires économiques

- Années 50-60, USA : « too cheap to meter »...
- Pas de nucléaire sans **financements publics**
(R&D, subventions, assurance, crédits à l'exportation, etc.)
- Aucun projet nucléaire dans un **marché libéralisé**
(temps de retour sur investissement et incertitudes trop grands)
- Problème récurrent de **transparence** sur les coûts
Pas de baisse démontrée des prix dans les pays nucléaires
- **Charge laissée en héritage** aux générations futures
Incertitude sur les coûts finaux de la gestion
des déchets à vie longue et du démantèlement

Prix / coût : coût de production et tarif régulé



Le coût de production entre dans le coût de fourniture.

Le tarif intègre également :

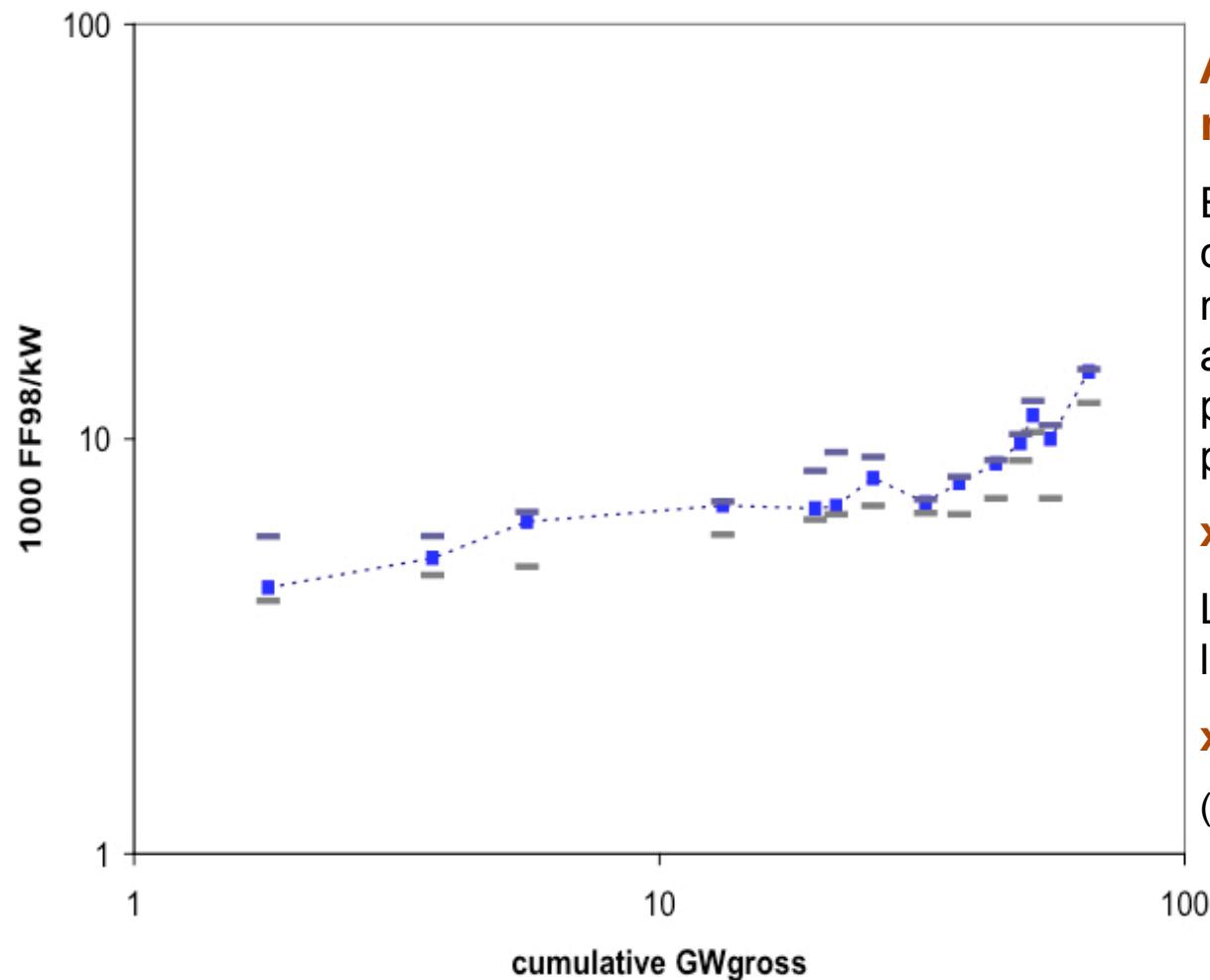
- le coût du réseau (TURPE, CTA)
- les taxes locales, de service public (CSPE), et la TVA.

Le coût de production ~ 30 % du tarif régulé

soit moins de 40 €/MWh sur 130 €/MWh

Un problème pour l'avenir : dans le tarif régulé, le coût de production ne reflète ni l'investissement passé (largement amorti) ni l'investissement futur

Coûts de construction : courbe d'apprentissage



Apprentissage négatif

En France, chaque nouveau kW nucléaire installé a coûté en moyenne plus cher que le précédent :

x 2,6 de 1977 à 1998

L'EPR poursuit la tendance :

x 1,7 de N4 à EPR

(en FF 1998)

Source : A. Grubler, IIASA, 2009

Coût "complet" : exemple de l'EPR

Dérive du coût de l'EPR

Dérive du coût de l'EPR	Coût de construction (€/kW)	Coût complet prod. (€/MWh)
DGEMP 2003	1 043	28,4
EDF 2005		43
EDF 2006	2 060	46
EDF 2008	2 500	54
EDF 2008 -2 nd EPR		60



Base de la décision politique

Avant retard supplémentaire
(pas d'effet "tête de série" ?)

Ce coût reste sous-estimé :

- ne reflète pas suffisamment le soutien sur budget public (R&D...), l'accident, les incertitudes sur les véritables coûts à long terme...
- **s'appuie sur des performances non démontrées (en termes de sûreté) :**
 - durée de vie augmentée à 60 ans,
 - facteur de charge augmenté à 90 %,
 - performance du combustible accrue de 30 %

Secteur nucléaire : atout industriel

- “*Nucléaire = fleuron de l'industrie française*”
- Exportations avant EPR : **11 réacteurs** (4 % du marché hors France)
Exportations de l'EPR : **3 ventes** (sur 45 réacteurs en construction)
- Marché des renouvelables >> marché du nucléaire



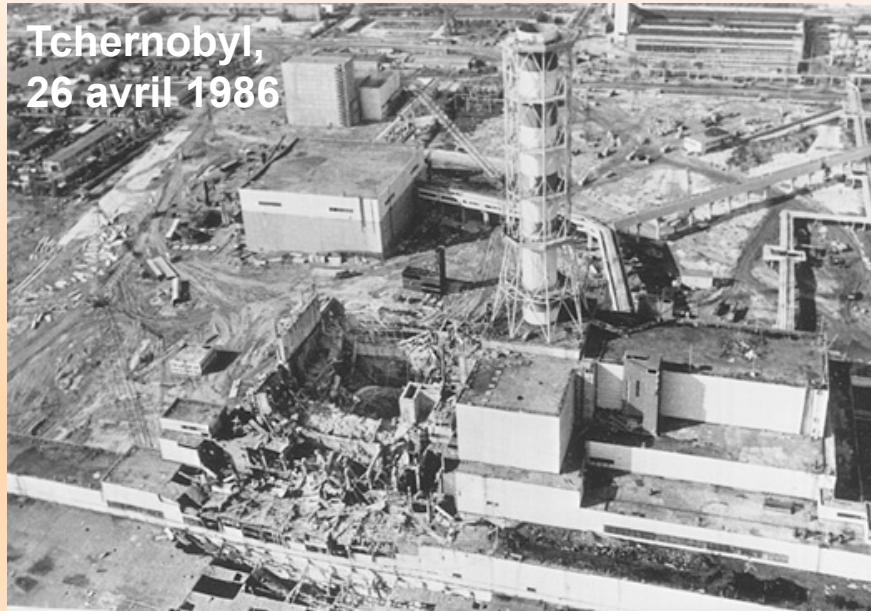
**Chantier de l'EPR
en Finlande**

Plus de 3 ans de retard

**Pertes directes
> 2,7 milliards d'euros**

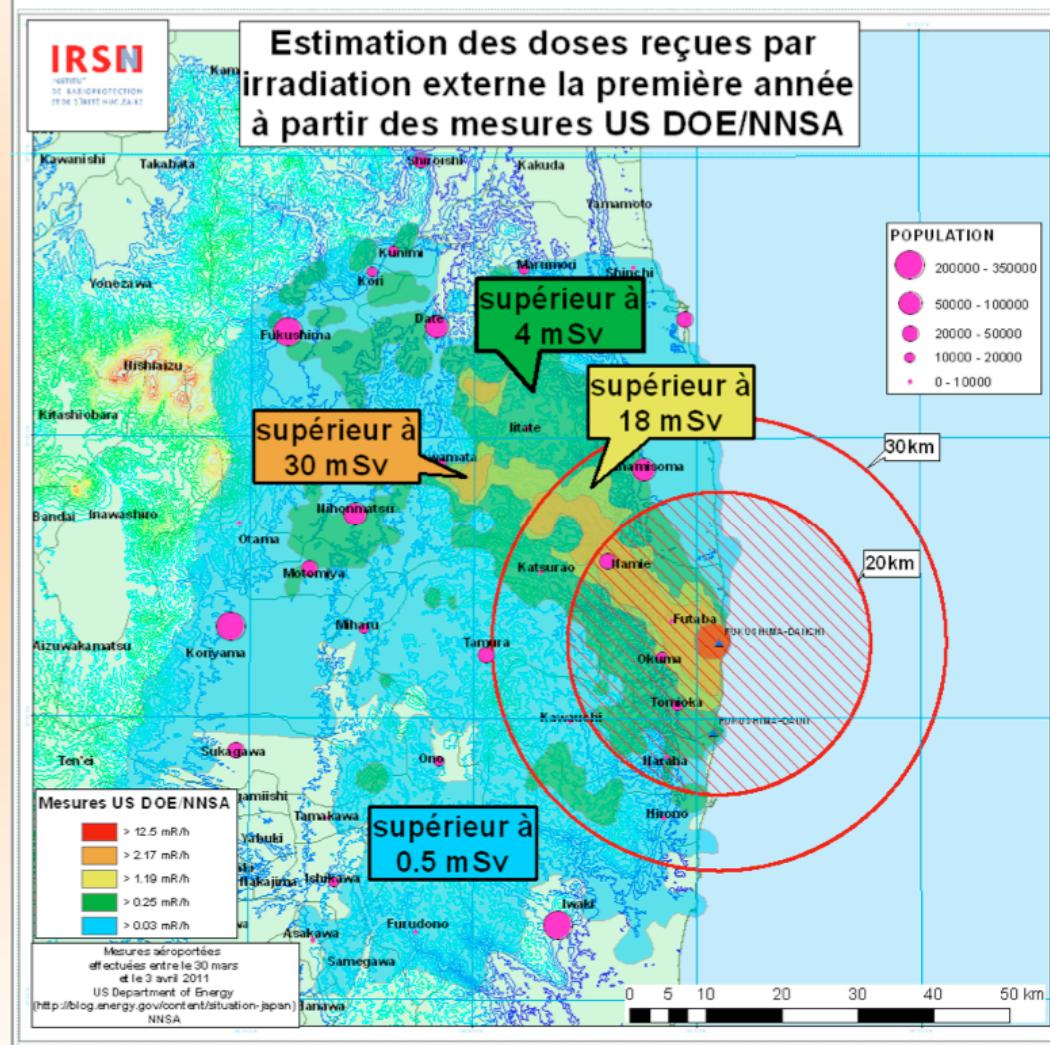
**Pénalités encourues
> 2 milliards d'euros**

Risques du nucléaire : sûreté et sécurité



- L' accident majeur n'est plus “improbable” mais réel
- Les fondamentaux de la “maîtrise du risque” sont remis en question (approche probabiliste, défense en profondeur...)
- Potentiel de danger, agressions naturelles et malveillance

Catastrophe de Fukushima : première cartographie



Parc nucléaire actuel : pas préparé à l'accident

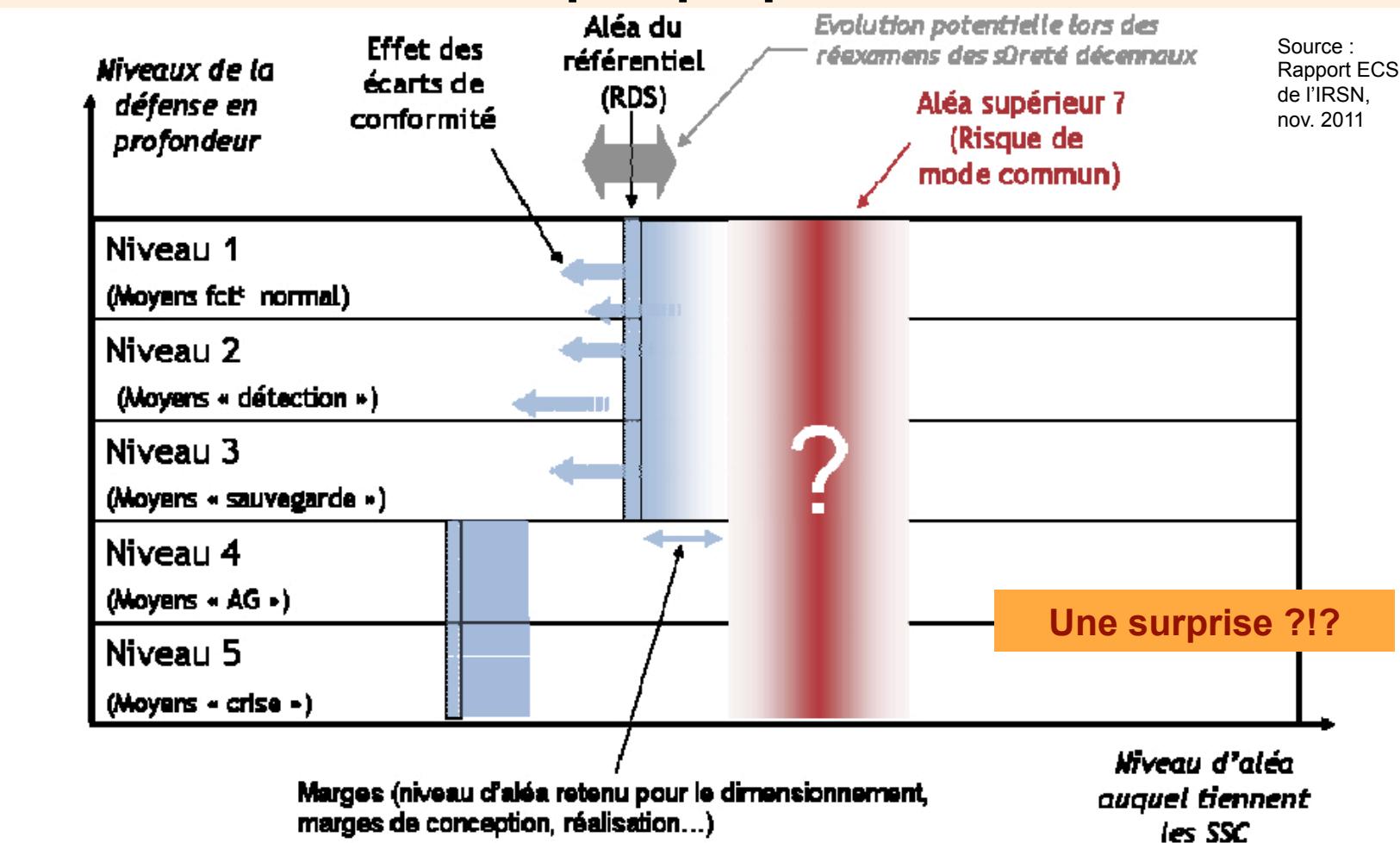
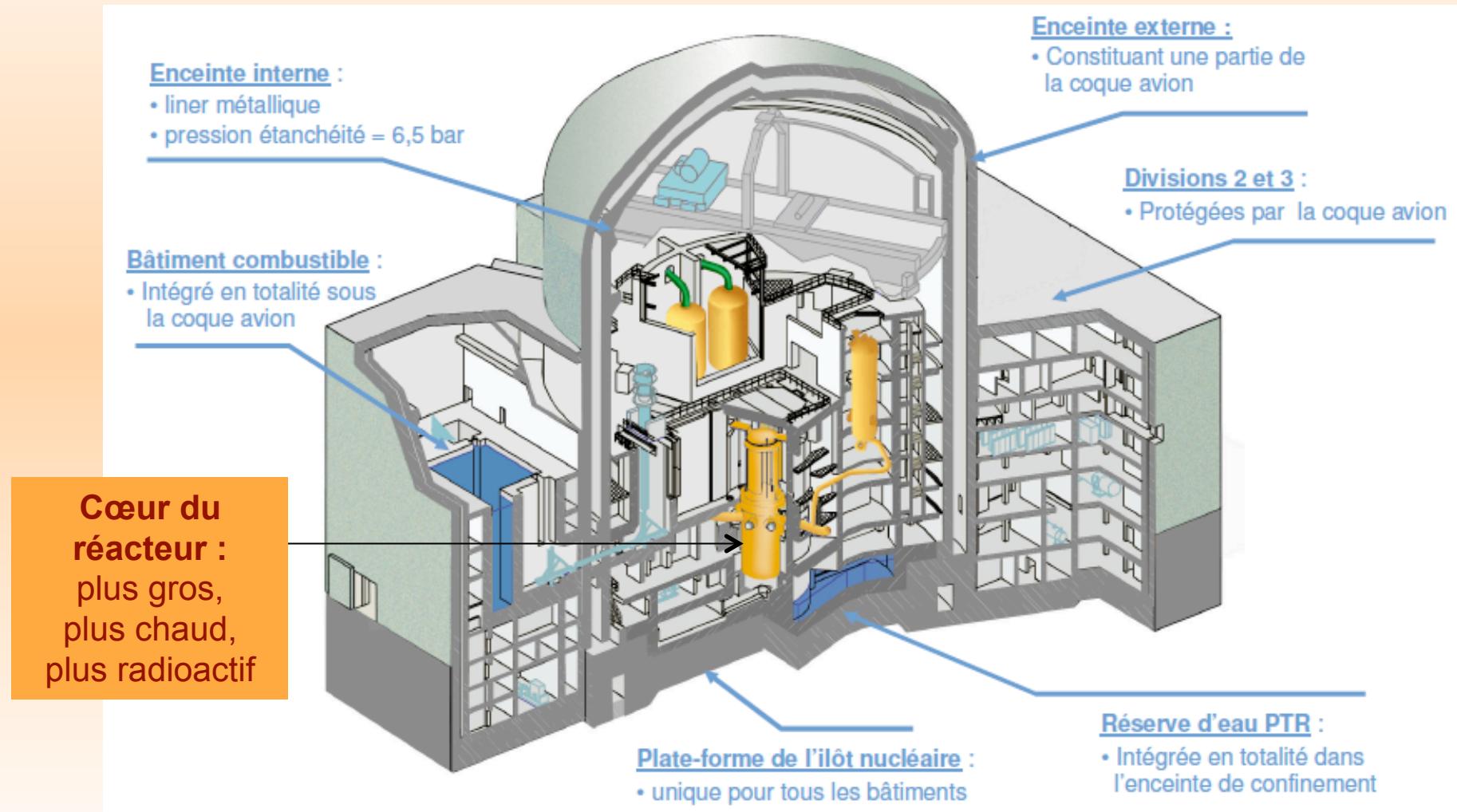


Figure 2 : Tenue aux aléas des SSC participant à la sûreté des REP (référentiels en vigueur)

EPR : le réacteur le moins risqué / le plus dangereux ?

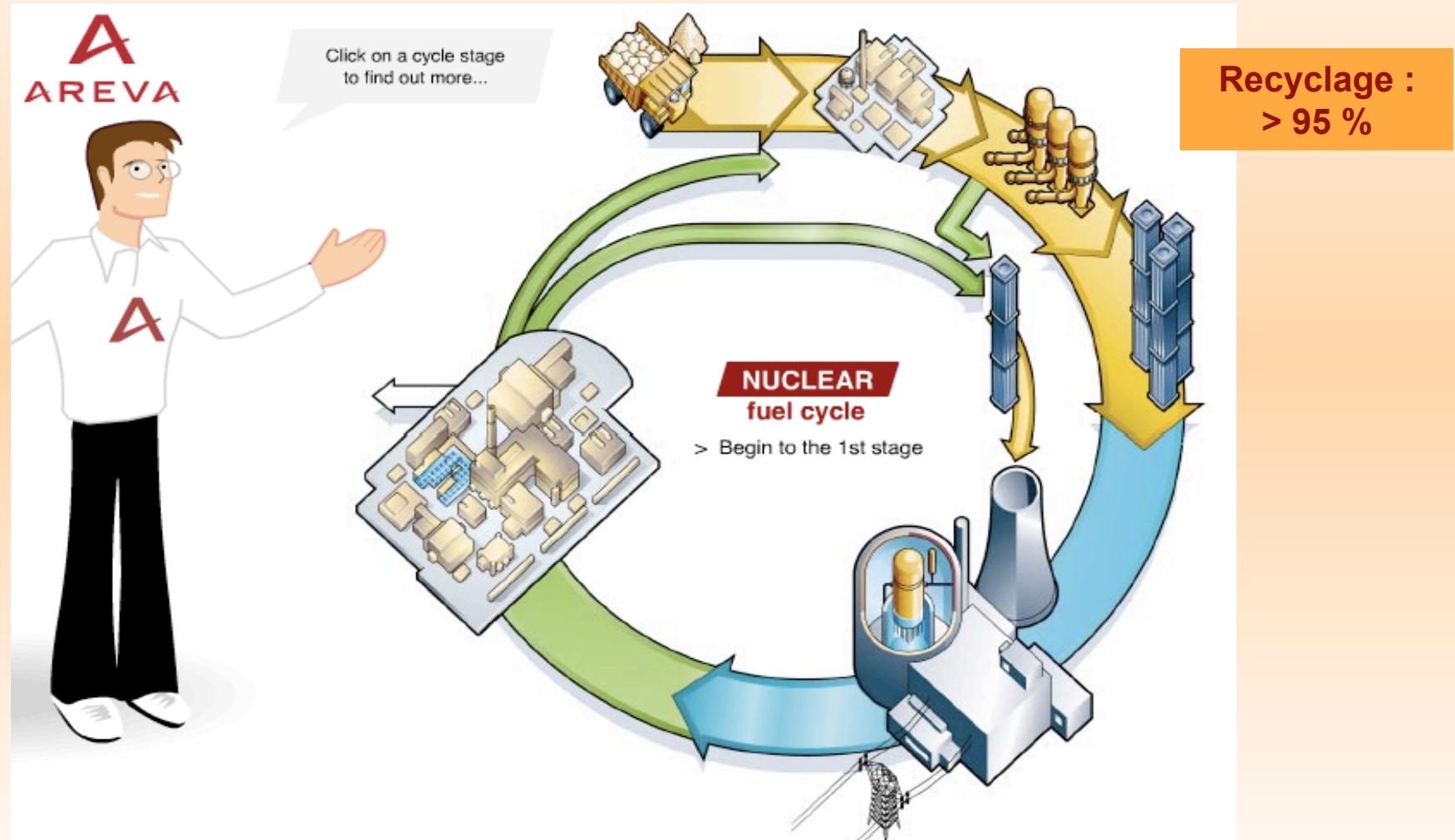


Risques du nucléaire : déchets et matières

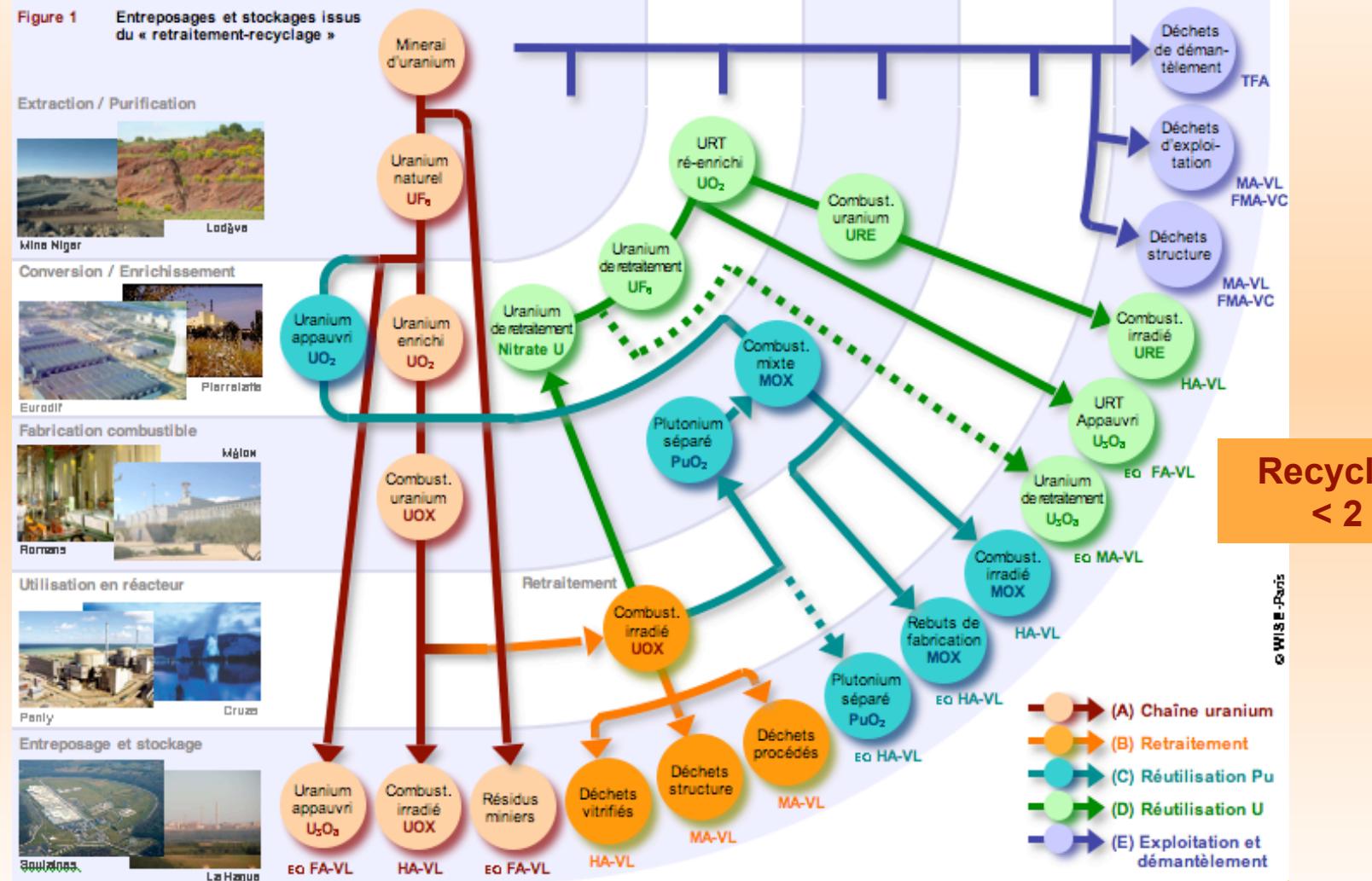


- **Accumulation dans le monde > 250.000 tonnes de combustible usé**
- **Pas de solution en place pour les déchets à vie longue (> 100.000 ans)**
Impasse du “retraitement-recyclage” développé en France
- **Entreposage “en attente” des matières les plus dangereuses**

Matières et déchets : “cycle” du combustible



Matières et déchets : chaîne du combustible



France : absence de solution à long terme

- Problèmes sur les stockages existants (fuite au CSM)
- Solutions en attente pour les catégories les plus importantes
 - 100 % des HA-VL
 - 100 % des MA-VL
 - 100 % des FA-VL
 - 20 % des FMA-VC
- Une loi en 2006, aux échéances fictives (stockage FA-VL fixé à 2013, repoussé à 2019)
- Hors champ, les déchets des mines d'uranium
 - 51 Mt résidus dans 17 sites de stockage
 - 166 Mt stériles miniers

		VL Longue durée de vie	VC Courte durée de vie	VTC Très courte durée de vie
	Période Activité	> 31 ans	≤ 31 ans ≥ 100 jours	< 100 jours
HA Haute activité	> 10^8 Bq/g	Filières à l'étude ^a dans le cadre de l'art. 3 de la loi de programme du 28 juin 2006		
MA Moyenne activité	≤ 10^8 Bq/g > 10^5 Bq/g	Filières à l'étude dans le cadre de l'art. 3 de la loi du 28 juin 2006	Stockage de surface ^b sauf certains déchets tritiés et certaines sources scellées	Gestion par décroissance radioactive
FA Faible activité	≤ 10^5 Bq/g > 10^2 Bq/g	Stockage dédié en subsurface à l'étude		
TFA Très faible activité	≤ 10^2 Bq/g	Stockage dédié en surface ^c Filières de recyclage		

a. Notamment dans le cadre des recherches menées dans le laboratoire sur le stockage géologique de Bure.

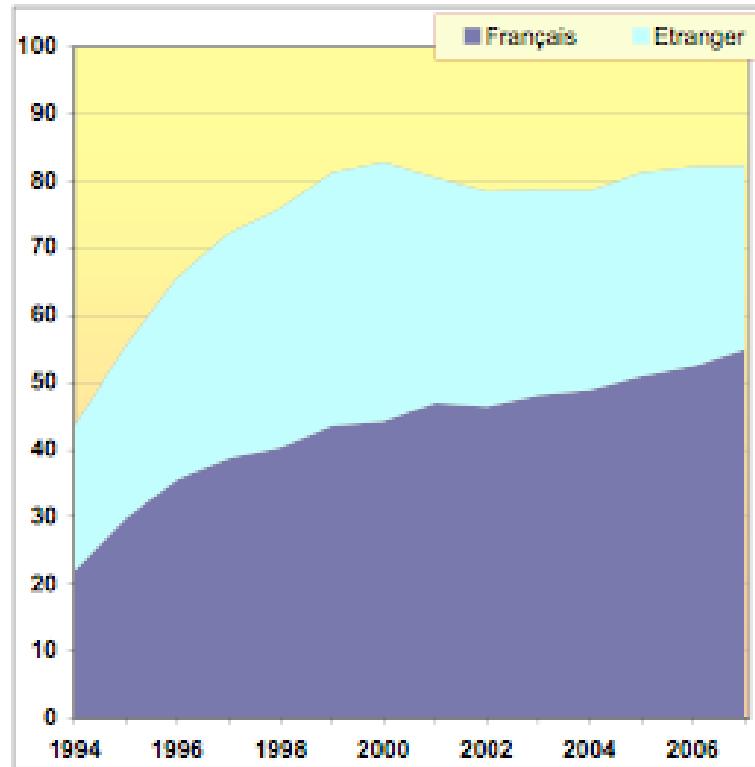
b. Le site en exploitation pour ces déchets est le Centre de stockage de l'Aube (CSA).

c. Le site en exploitation pour ces déchets est le Centre de Morvilliers.

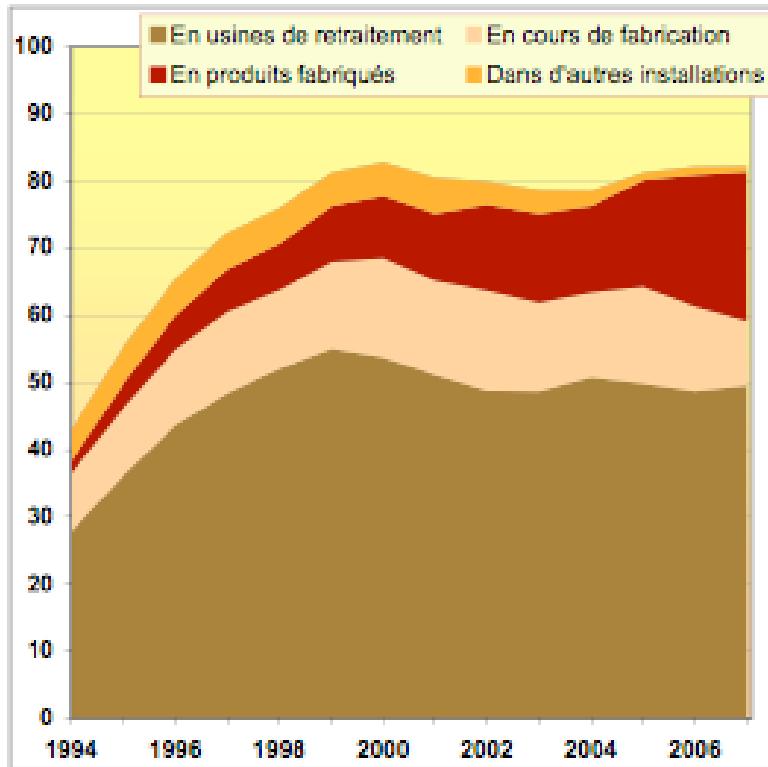
Source : d'après *Journal Officiel*, avril 2008

Prolifération : stock de plutonium français

Plutonium séparé : répartition par origine



Plutonium séparé : répartition par sites



Théorie : "équilibre des flux" (pas d'augmentation du stock séparé)

Réalité : depuis le début du "recyclage" en 1984, stock passé de 0 à plus de 50 tonnes

Risques du nucléaire : prolifération



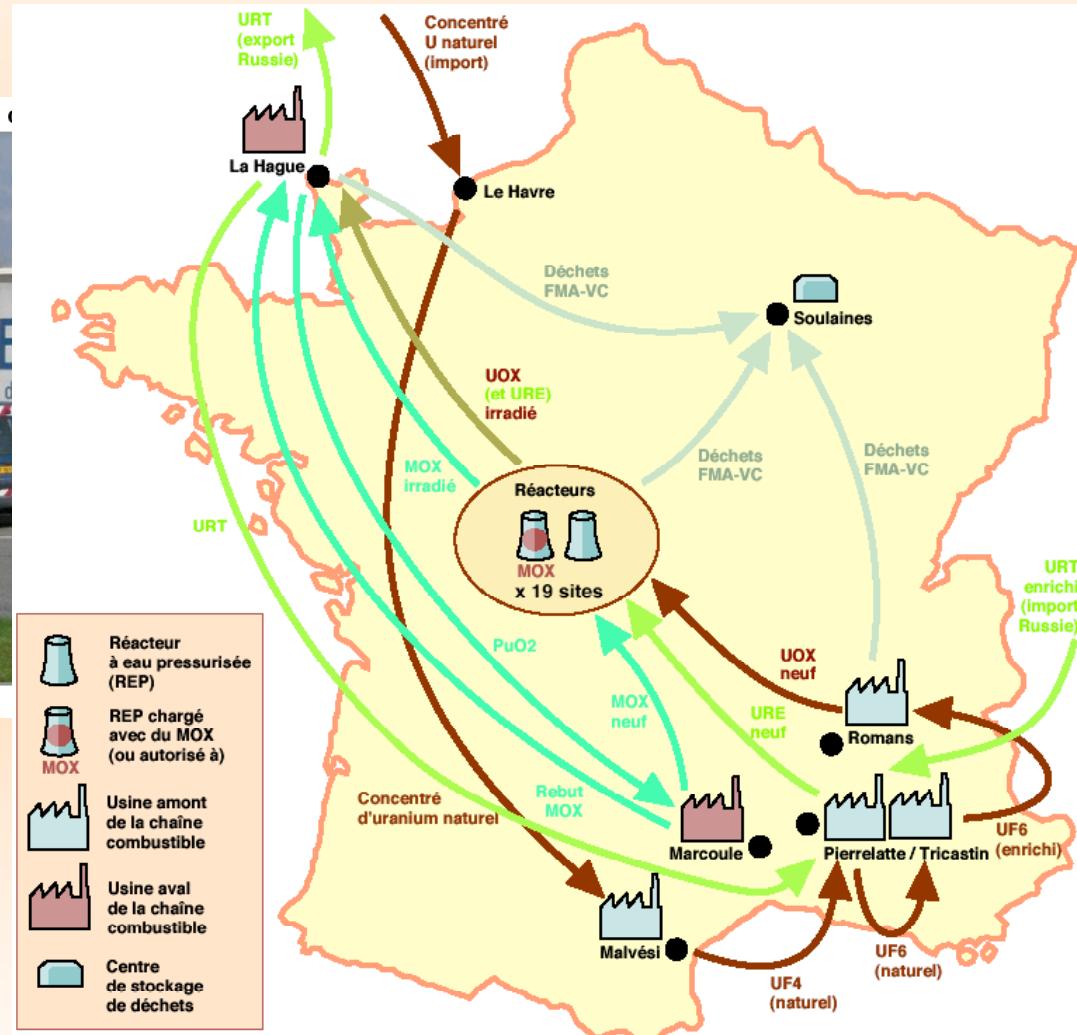
**Hiroshima,
6 août 1945**



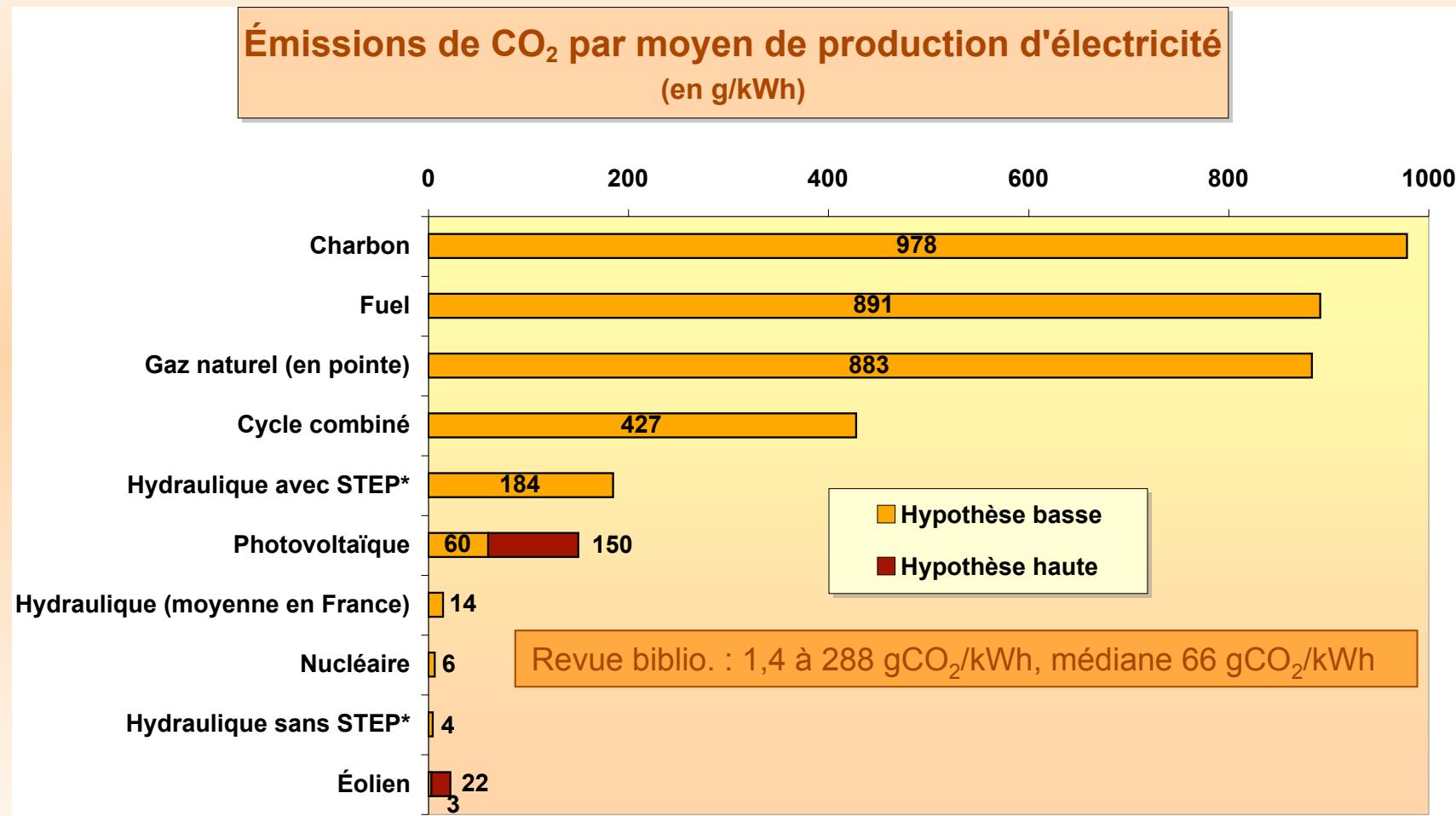
**Usine d'U enrichi,
Natanz, Iran**

- Mêmes matières (**uranium** ou **plutonium**) et mêmes technologies dans les usages civils et militaires
- Porosité entre programmes civils et militaires
- Malgré le TNP (1968) et les contrôles, échec à empêcher la prolifération (Hier : Inde, Pakistan, Afrique du Sud, Israël... Aujourd'hui : Iran, Corée du Nord...)

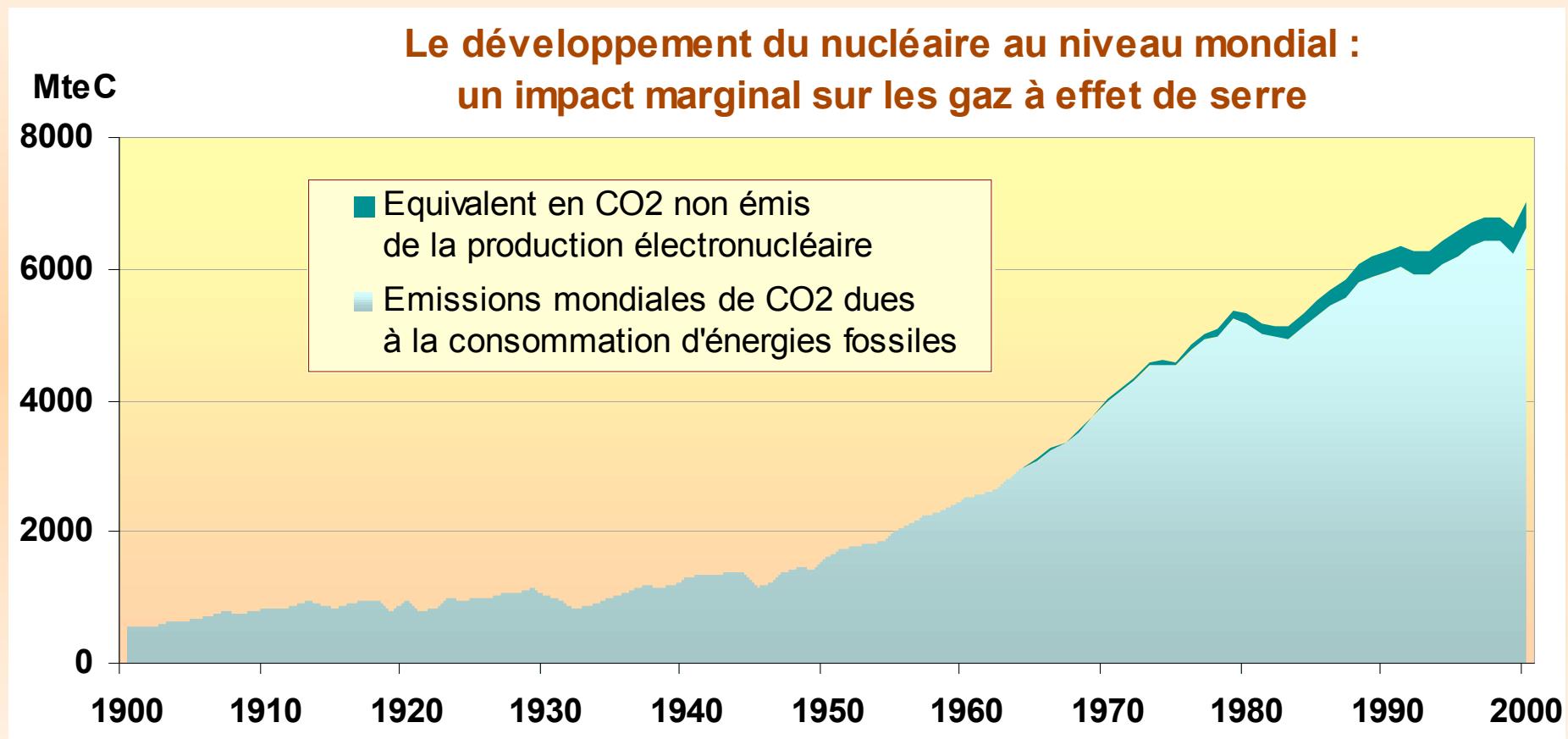
Sécurité : transports de matières



Nucléaire : émissions unitaires de CO₂



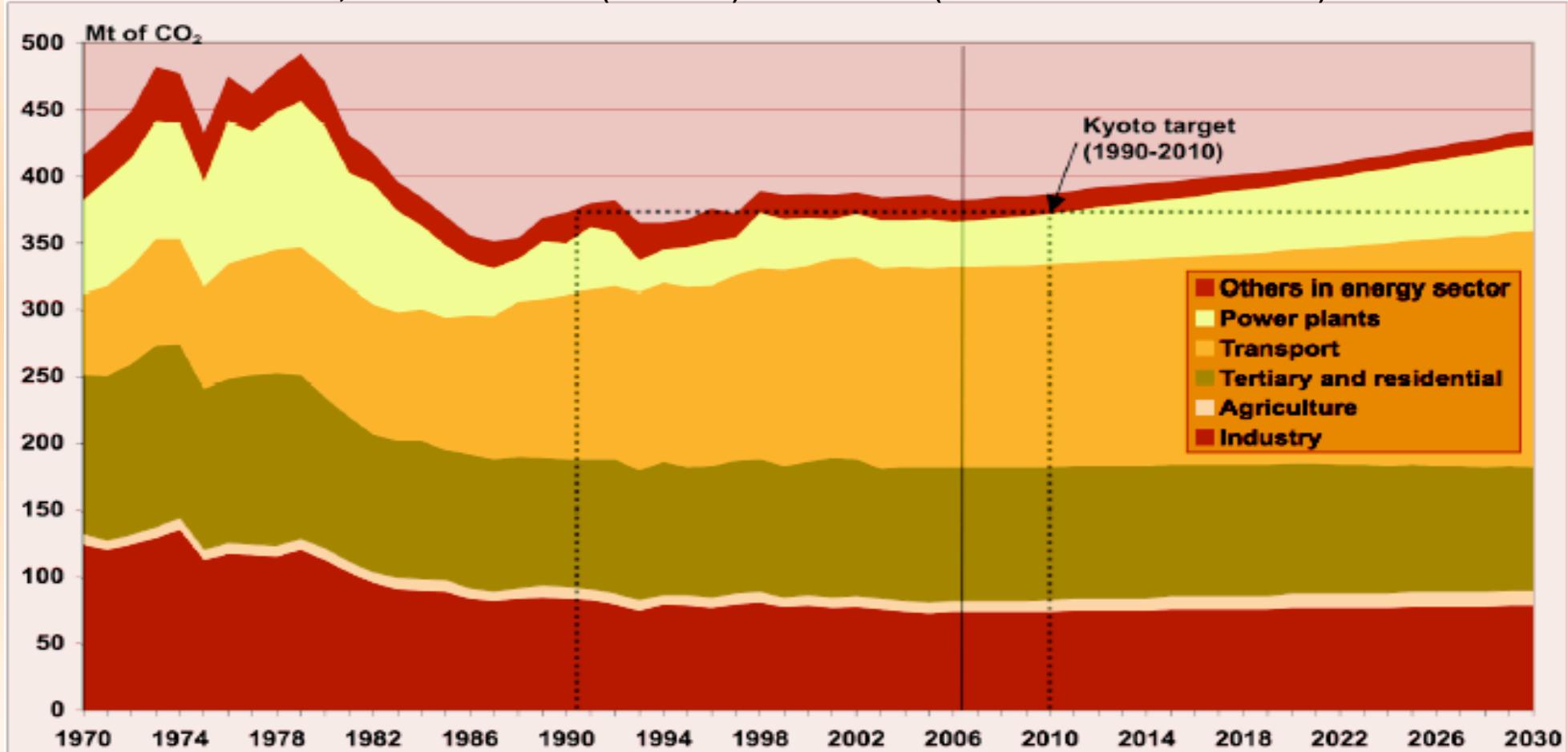
Parc nucléaire : poids sur les émissions de GES



À noter : le gain par substitution diminue à mesure que le mix hors nucléaire se décarbone

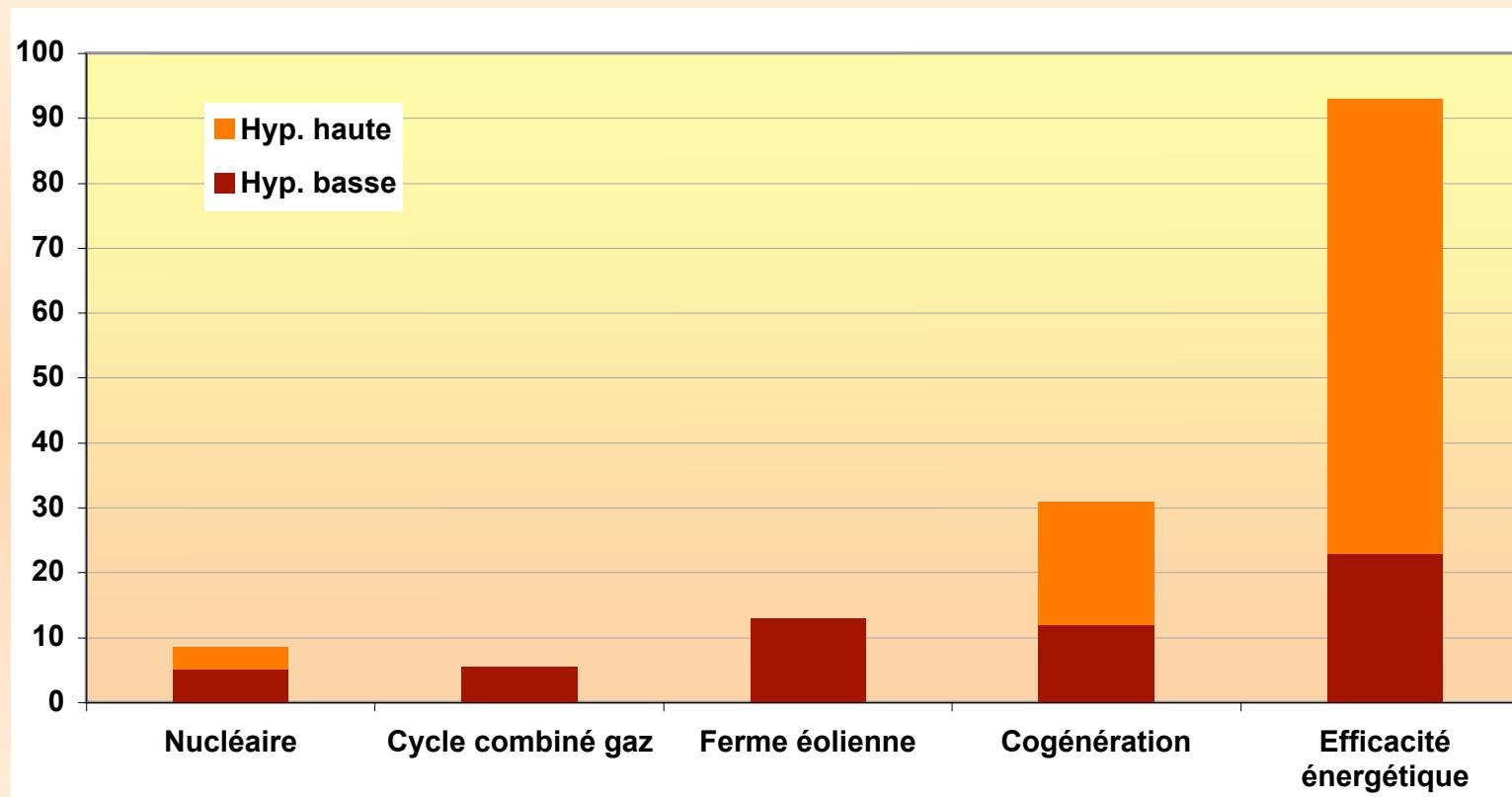
France : l'impasse de la logique de substitution

France : émissions de CO₂, évolution constatée (1970-2007) et tendancielle (“business as usual” 2008-2030)



Source: Observatoire de l'énergie, DGEMP, 2008

Emissions évitées : le nucléaire face à ses concurrents



Étude US : les réductions d'émissions de CO₂ par la construction de réacteurs nucléaires sont 2-20 fois plus faibles et jusque 40 fois plus lentes par dollar investi que les alternatives