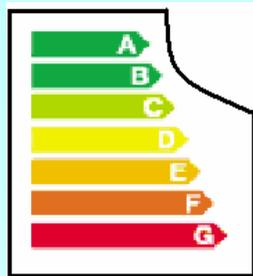
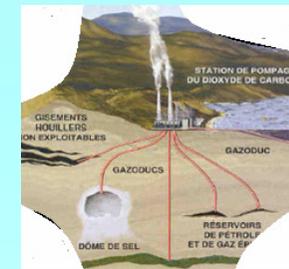


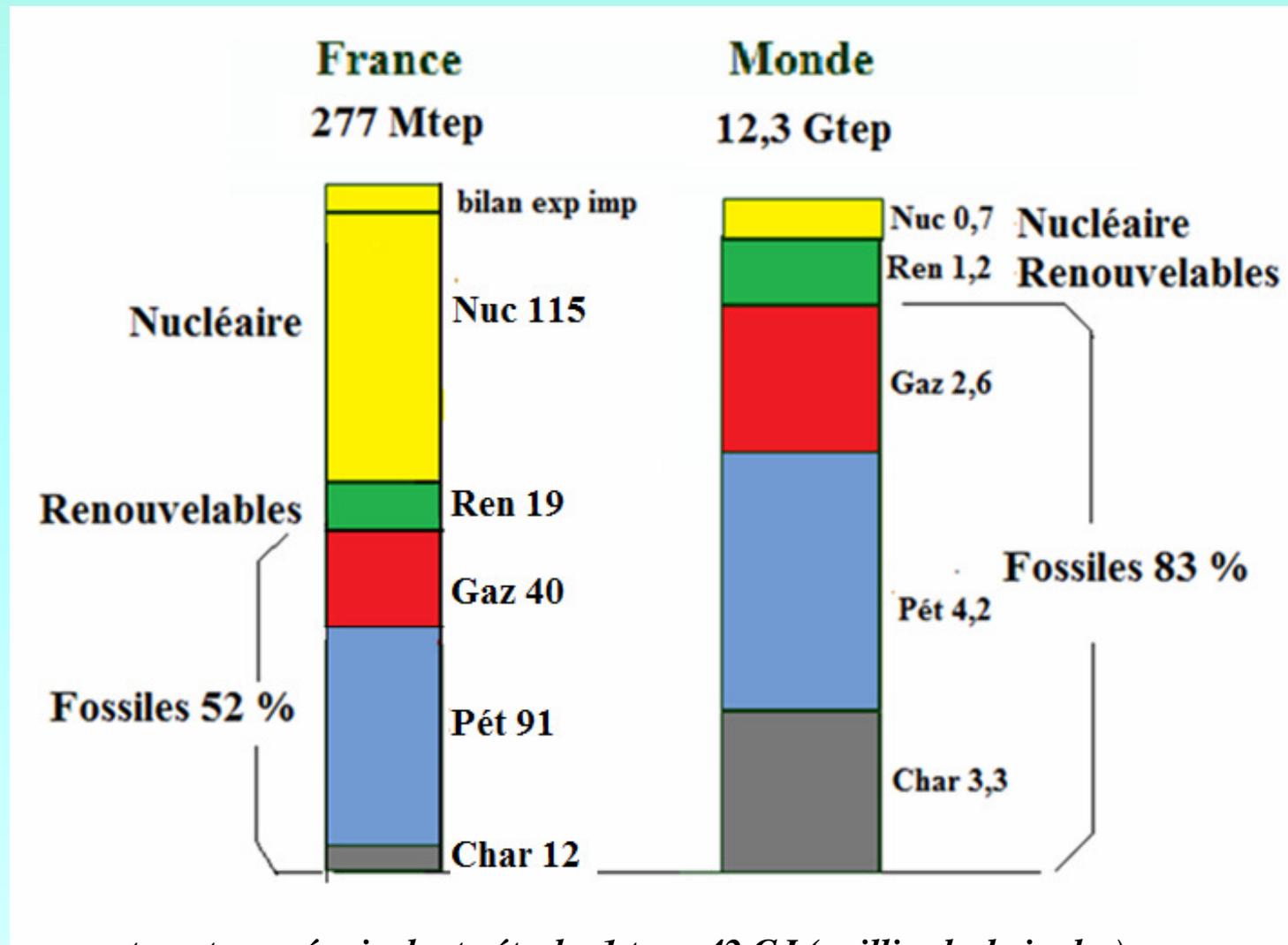
# Renouvelables et nucléaire pour une électricité décarbonée



Claude Acket

SFEN

# Sources d'énergie primaire 2008



*tep : tonne équivalent pétrole 1 tep = 42 GJ ( milliards de joules)*

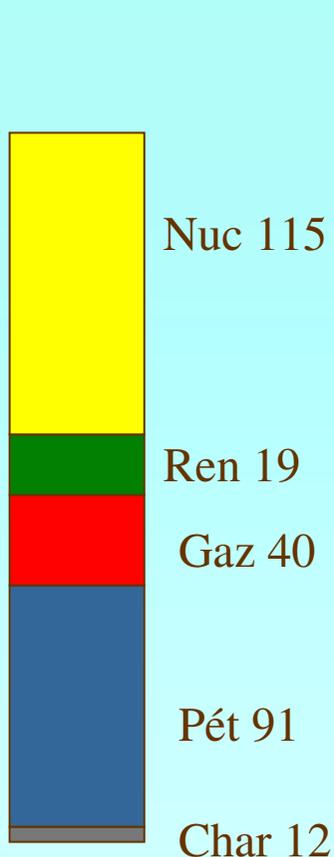
*1tep ~ 1,6 tonne de houille, 1 170 m<sup>3</sup> de gaz, 2,2 tonnes de bois. ...*

# Energie 2008, comparaison France - Allemagne

Total Energie en Mtep

France  
277

Allemagne  
340



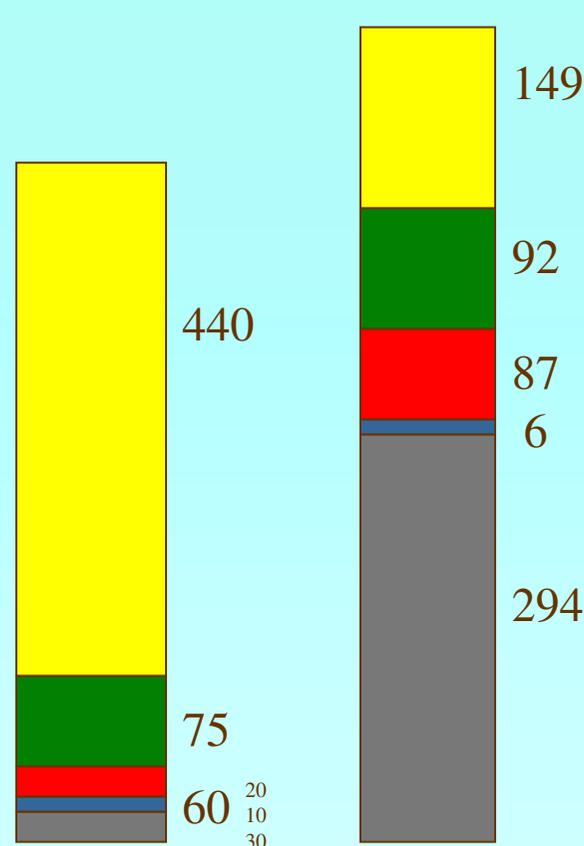
Rejets 407 Mt /an

CO<sup>2</sup> 6,1 t/hab/an

Total Electricité en TWh

France  
575

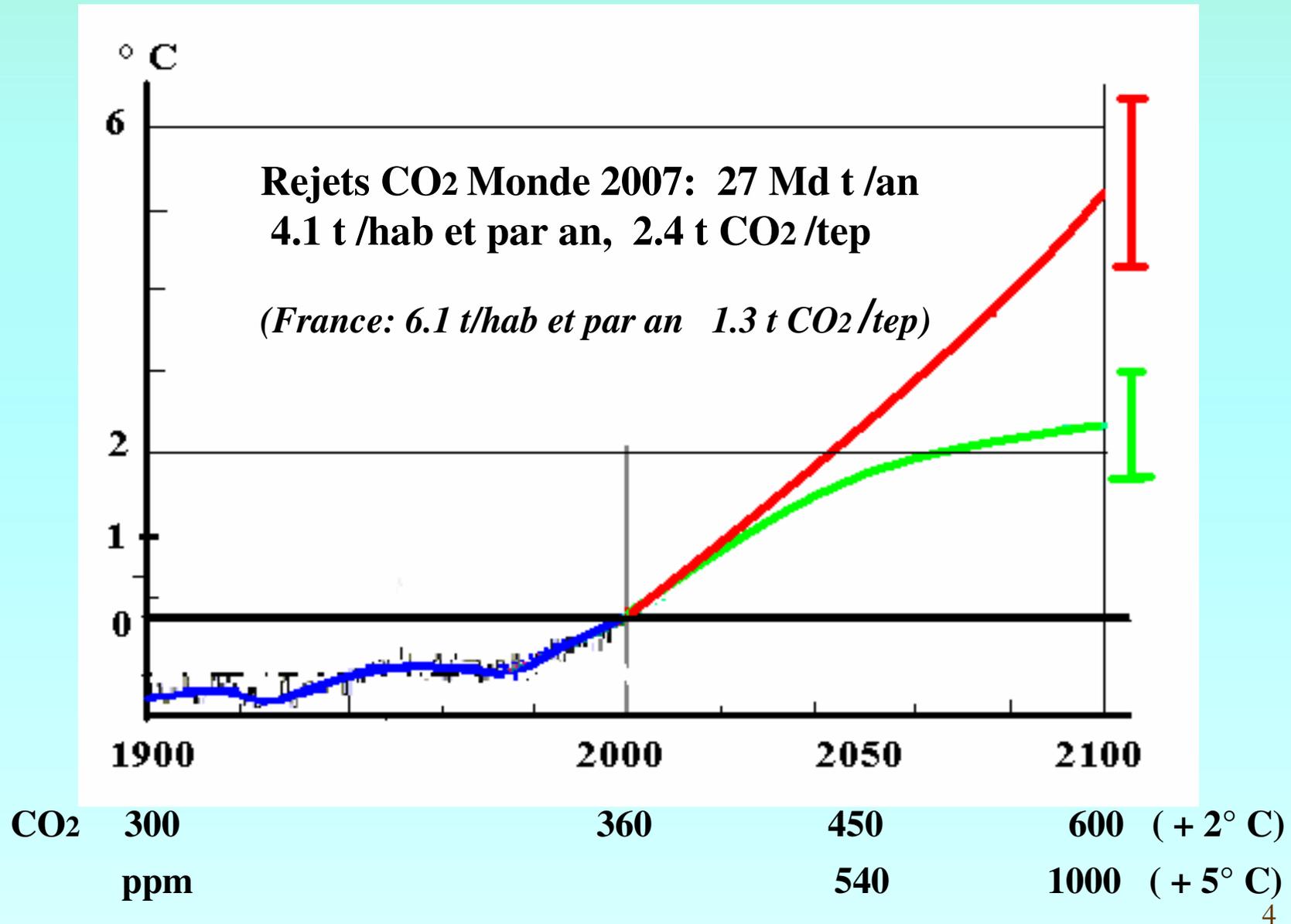
Allemagne  
628



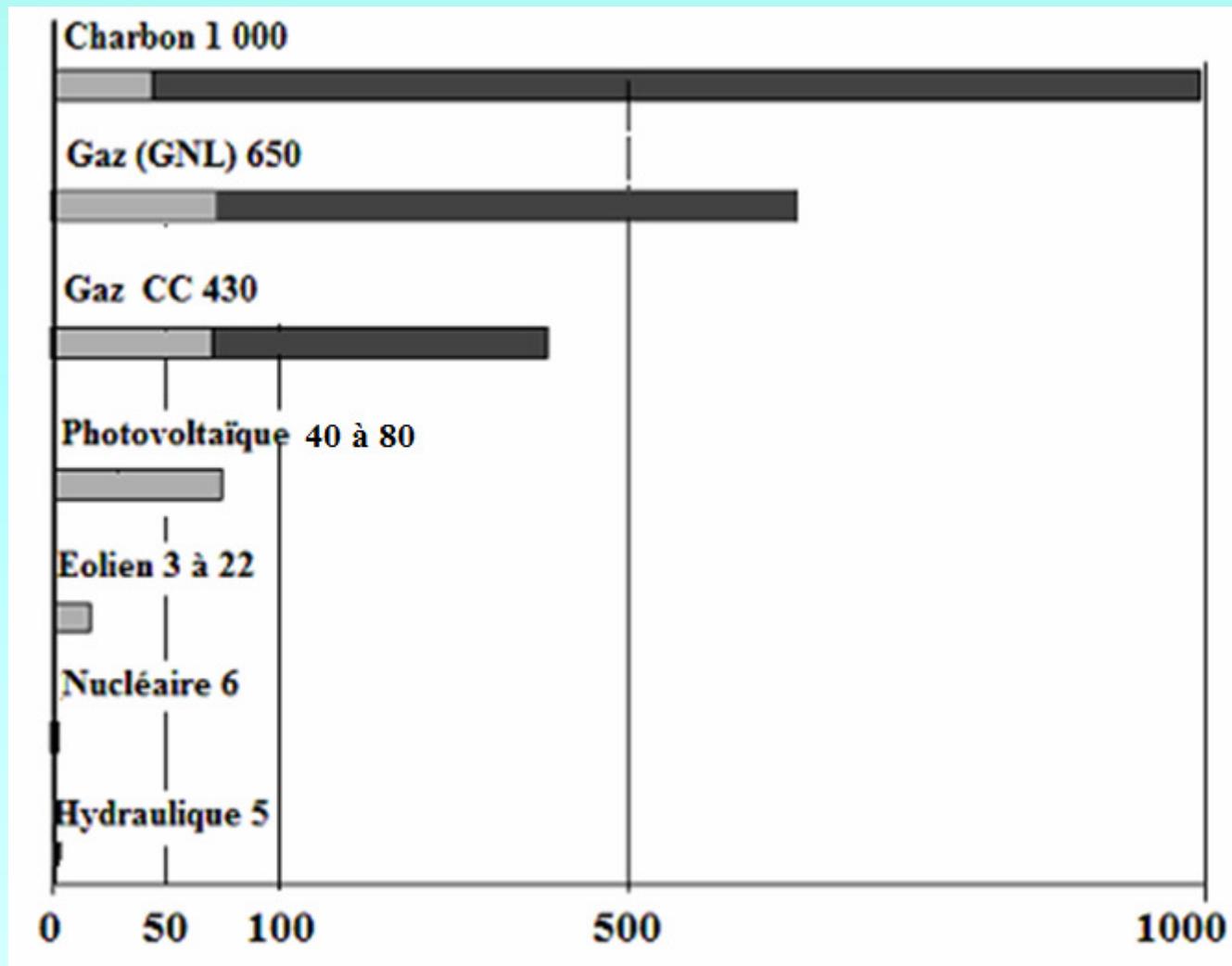
44 Mt/an

310 Mt/an

# Augmentation effet de serre

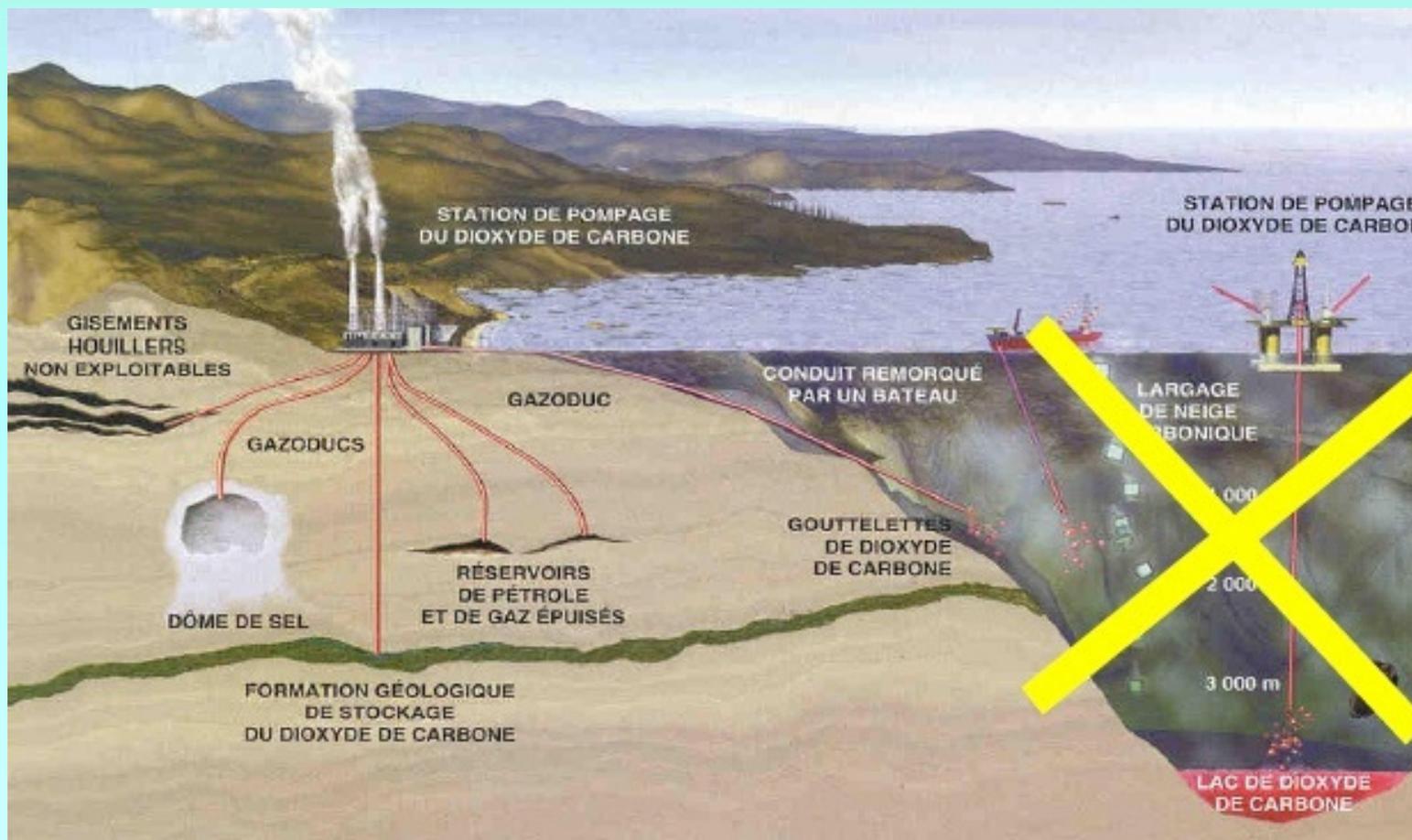


# Electricité et rejets de CO<sub>2</sub> en kg/MWh (construction et exploitation)



# Séquestration du gaz carbonique?

CSC Le remettre dans le trou



Capture, séparation CO<sub>2</sub> sortie centrale, compression / transport / injection  
ex mines de charbon , puits pétrole, gaz , aquifères salins *Coût: 40 à 60 €/t de CO<sub>2</sub> évité*

Monde: objectif 10 Milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> par an

France, si retour au charbon CSC de + de 400 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an

# FAVORISER LES RENOUVELABLES

## Quelques incitations actuelles

- **Rachats obligatoires électricité.**

éolien terre 82 €/MWh, mer 132

photovoltaïque 303 €/MWh (460 si intégré )

petite hydraulique 61 €/MWh

*Pour base 45 €/MWh, mais combustible non consommé:*

*27 €/MWh charbon et 6 €/MWh nucléaire*

- **Aides investissement ( 25 à 50 %)**

- **Biocarburants: pas de TIPP ( 0.5 à 0.7 €/litre)**

## Avenir ? Coûts externes: taxe carbone , marché du CO<sub>2</sub>

17 à 100 €/tonne de CO<sub>2</sub> rejetée

(ex électricité gaz + 9 à + 65 €/MWh)

(ex chauffage gaz + 4 à + 23 €/MWh) *base 60 €/MWh*

# RENOUVELABLES ELECTRICITE FRANCE



*(2008: 74 TWh 12% de 575 TWh)*

<b>Objectif</b>	<b>x</b>	<b>1.5</b>	<b>106 TWh</b>	<b>(18 % / 2008)</b>
<b>ou ?</b>	<b>x</b>	<b>2.2</b>	<b>155 TWh</b>	<b>( 27 % / 2008)</b>

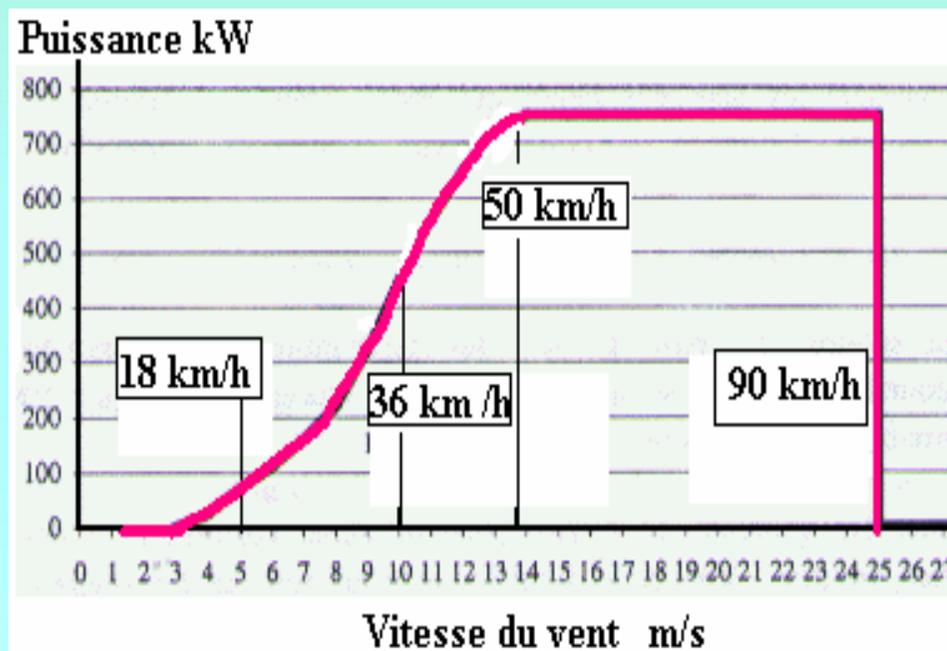
**Hydraulique:** 70 TWh *(64 en 2008)*

**Éolien:** 20 à 60 TWh (intermittence, surcoût 4 Md€/an) *(6 en 2008)*

**Solaire:** 5 à 10 TWh (intermittence, surcoût 3 Md€/an)

**Bio et déchets:** 15 TWh *(4 en 2008)*

# EOLIEN



## France

**5 GW début 2010**

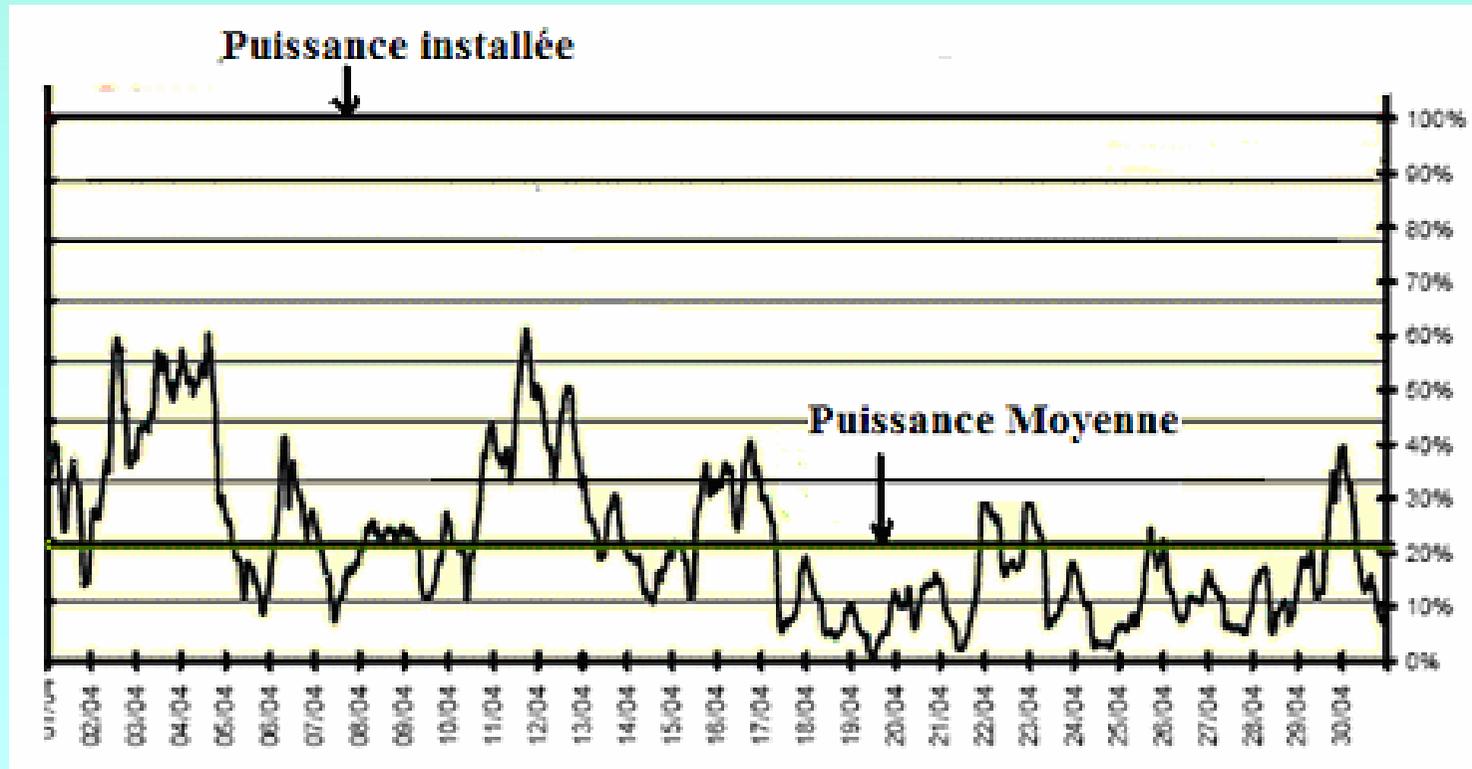
**(+ 1 GW en 1 an)**

**Objectif 25 GW en 2020 (dont 6 000 en mer)**

**Surcoût : 4,5 Md €/an pour 10 % production**

**Total engagement 83 Md €**

# EOLIEN CARACTERE VARIABLE



**Variation de puissance éolienne France mai 2010**

**Le fameux « régime français des trois vents (N, W, et S) qui s'équilibrent » n'a aucune réalité → d'autres sources modulables doivent intervenir**

**$P_u$  à installer = 0.9  $P_u$  Éolien pour 77 % temps**

**Limitation éolien France 60 TWh ?**

# SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE PV L' ETAT

**Lumière (*photons*)**    **Semi conducteurs**    **Électrons**  
( *Silicium + dopé Phosphore et Bore*)

**Soleil**    Europe 1 000 kWh /m<sup>2</sup>/an    Sahara 1 800

**La cellule**    ex 10 x 10 cm    rendement    ex 13 %

**Le module** 0.4 m<sup>2</sup> ( 1 x 0.4 )    12 Volts,    40 Watt crête

**en France** 10 m<sup>2</sup> : 1kWc    1 000 à 1 500 kWh /an

*Ex: Amareleja (Portugal) 46 MWc, 93 GWh /an    240 M€ (5 200 €/kWc)*

**Puissance installée Monde** 3 500 MWc

**n°1 Japon , Allemagne 410 MWc...    France 27 MWc**

# PHOTOVOLTAIQUE

# PERSPECTIVES

## - Pays en développement

2.5 Md d'hab. à ce jour sans électricité, proximité réseau ?

*ex: par foyer 4 m<sup>2</sup> de panneaux 400 Wc + batteries*

## - Nos pays sites isolés ( hors réseau)

*à ce jour 800 à 1 500 €/ MWh*

## - Nos pays en connexion réseau

le toit standard + chaleur « Plan face Sud »

*ex: 1 toiture 20 m<sup>2</sup> 2 kWc 2 400 kWh/an*

France objectif 2020 : 5 GWc (6 TWh)

**Surcoût : 2,8 Md €/an pour 1 % production**

# Heliothermodynamique



**PS 10 (11 MW) 3 200 €/kW  
et PS 20**



**Andasol 50 MW (x 2 + 1)  
5 200 €/kW, charge 3 600 h/an**

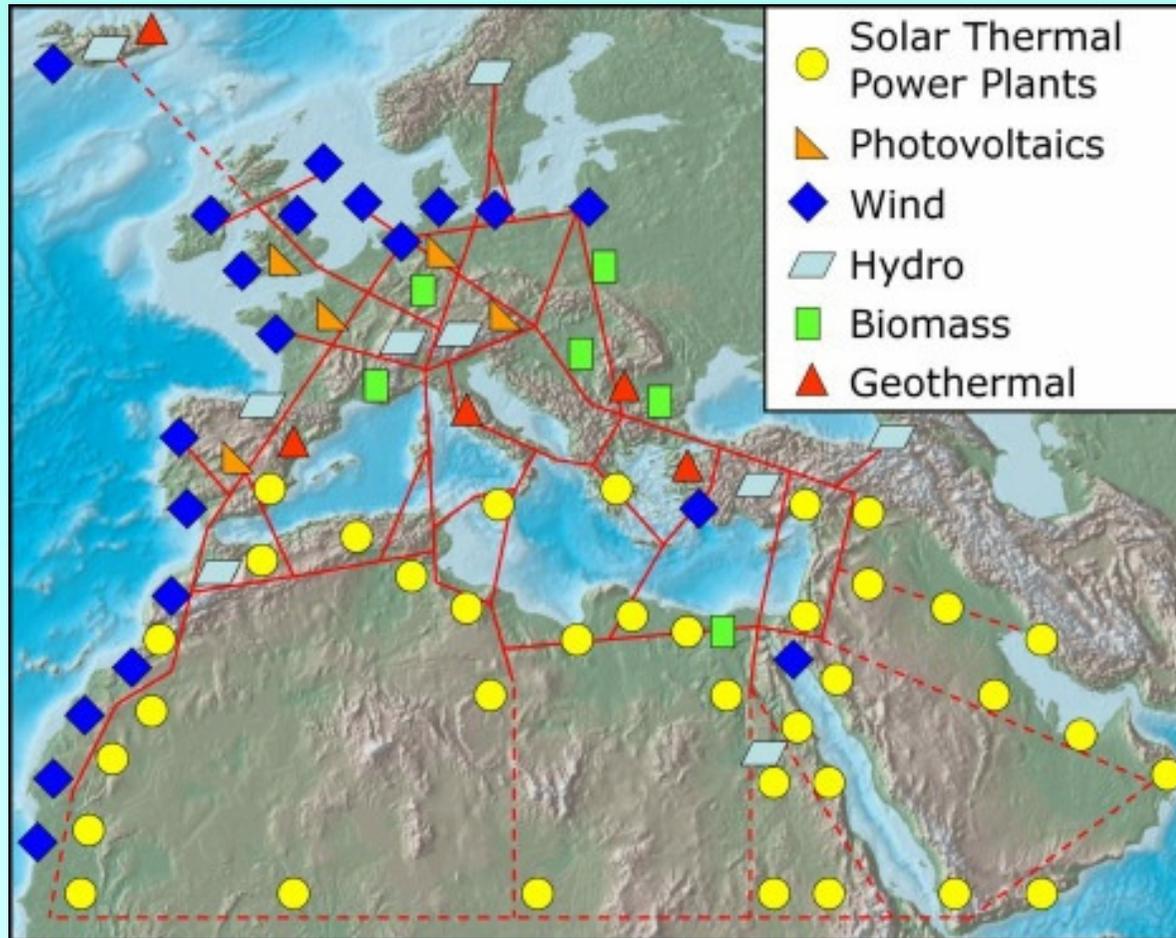
*Espagne 1 900 MW en construction*

**Californie 354 MW en 9 unités**

*France Projet Alba Nova  
(Corse) 12 MW*

**Pour les fortes puissances l'héliothermodynamiques peut supplanter le photovoltaïque**

# Projet Enertec



**Pour 2050**

**100 GW 700 TWh/an**  
(EU 27: 2 800 TWh)

**350 Md € de CSP**

**50 Md € de CCHT**  
(20 lignes de 5 GW)

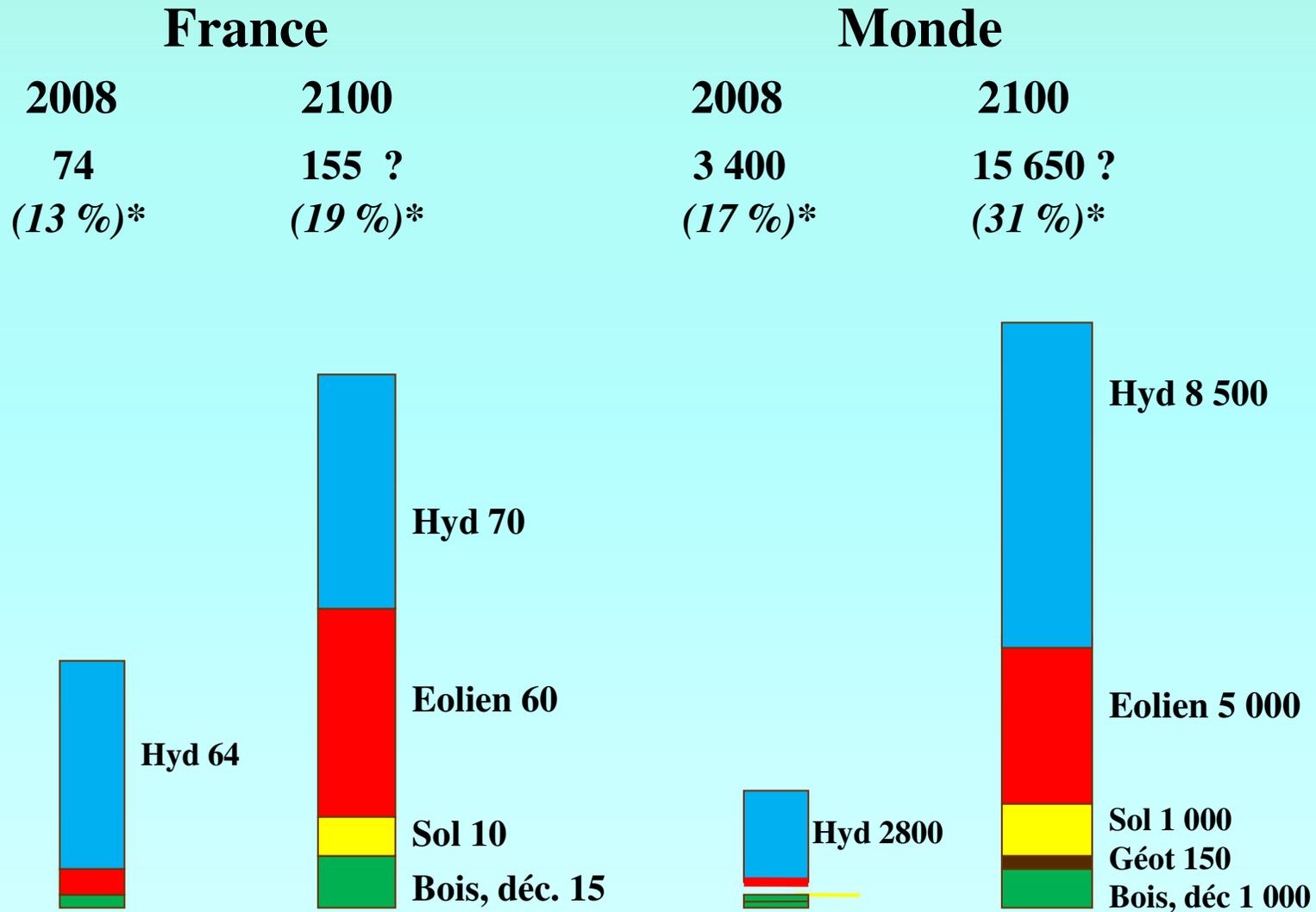
*Projet spécifique PV*

*Algérie Allemagne*

*6 000 MWc, 18 Md €*

*+ 2 Md € pour 3 000 km de câbles*

# Evolution des renouvelables « électricité » en TWh



\* Par relative des renouvelables sur totalité des besoins

# NUCLEAIRE



- 58 tranches mises en service de 1977 à 1999 78 % électricité
- Durée de vie initiale 30 ans (40 - 50 - 60 ans? )
- 3<sup>o</sup> génération EPR (60 ans)
- La suite surgénérateur

## Acceptation ?

**Indépendance énergétique, sécurité d'approvisionnement**

**Coût électricité + bas, maîtrise et stabilité**

**Pas de rejet CO<sub>2</sub>, arme contre réchauffement climatique**

**Répondre aux inquiétudes**

**Rayonnements**

**Accidents**

**Déchets**

# NUCLEAIRE ACCEPTATION SOCIALE

## - RAYONNEMENTS FAIBLES DOSES

+ 0.1 % du Rayonnement naturel, Innocuité des faibles doses

## - DECHETS

Volumes réduits: par Français 1 kg/an, dont 10 g vie longue et très radioactifs vitrifiés (à côté de 4.000 kg de déchets dont 100 kg dangereux)

*Loi juin 2006 « gestion des déchets nucléaires à vie longue ».*

*Solution de base avenir : le stockage profond opérationnel en 2025*

## - ACCIDENTS

Source d'énergie la moins meurtrière *réf :OMS*

La référence PWR: Three Mile Island

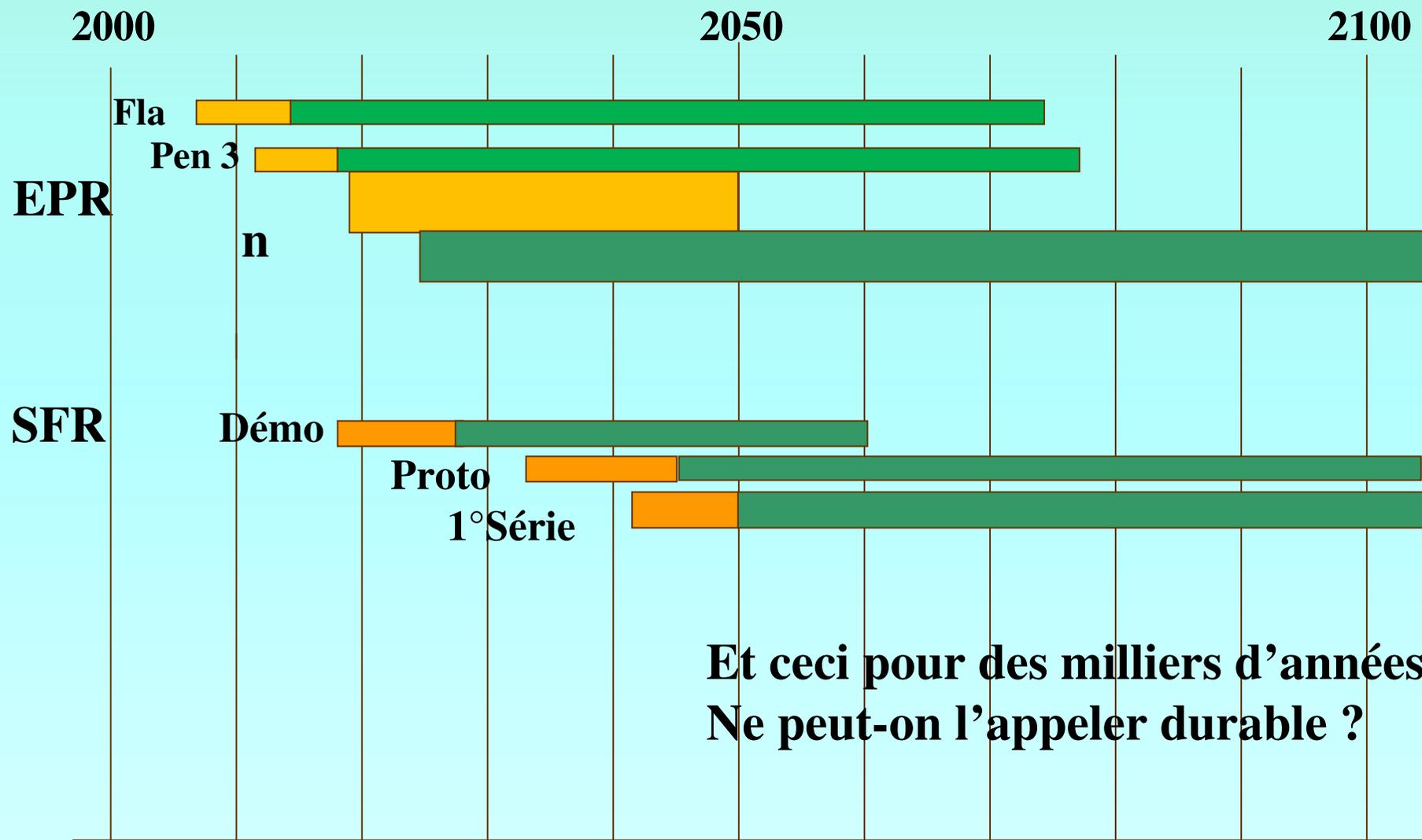
Indépendance des Autorités de Sureté

Force Exploitant EDF et Constructeur Areva,  
continuité, retour expérience

**CHOIX ENERGETIQUE ET SANTE: Académie de Médecine 25 juin 2003**

*Maintenir la filière nucléaire dans la mesure où elle s'avère avoir le plus faible impact sur la santé par kWh produit*

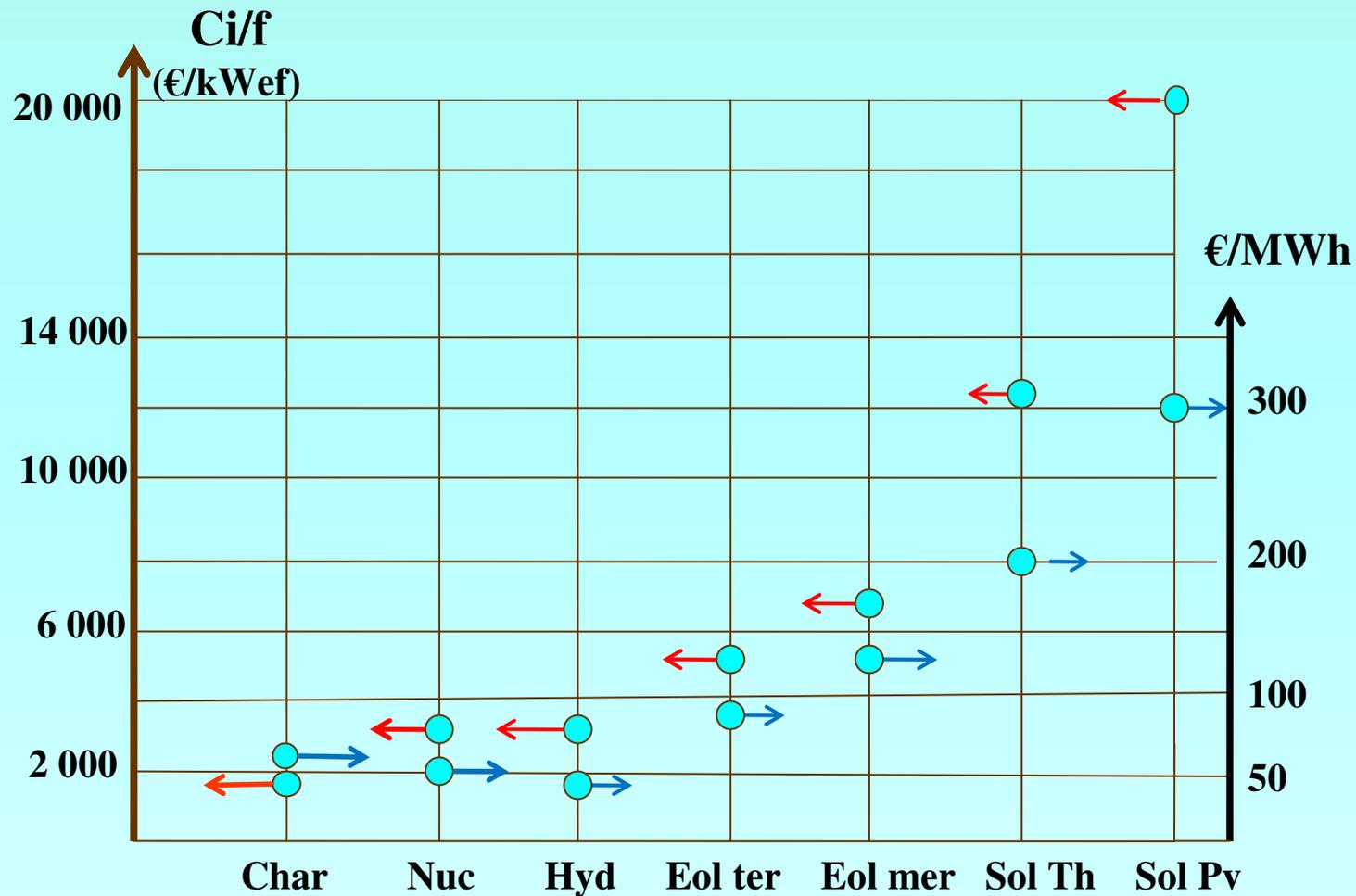
# NUCLEAIRE L'Avenir France ?



**Et ceci pour des milliers d'années.  
Ne peut-on l'appeler durable ?**

# Coûts électricité

Installation  $C_i$  / facteur de charge, MWh produit



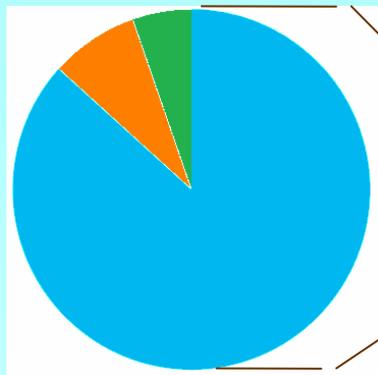
## Références Charbon

$C_i = 1\,700$  €/kW<sub>i</sub>,  $f = 0.85$ ,  $C_i/f = 2\,000$ , Coût de production : 50 €/MWh

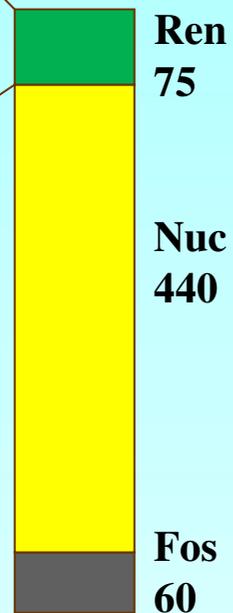
# France, plus d'électricité décarbonnée

2008  
575 TWh

2050 (Negatep)  
970 TWh



Hyd 65  
Eolien 6  
Bois déc 4



Hydr. 70  
Eolien 60  
Photo V. 10  
Bois déchets 15



**Merci pour votre attention**

**Vos questions**