

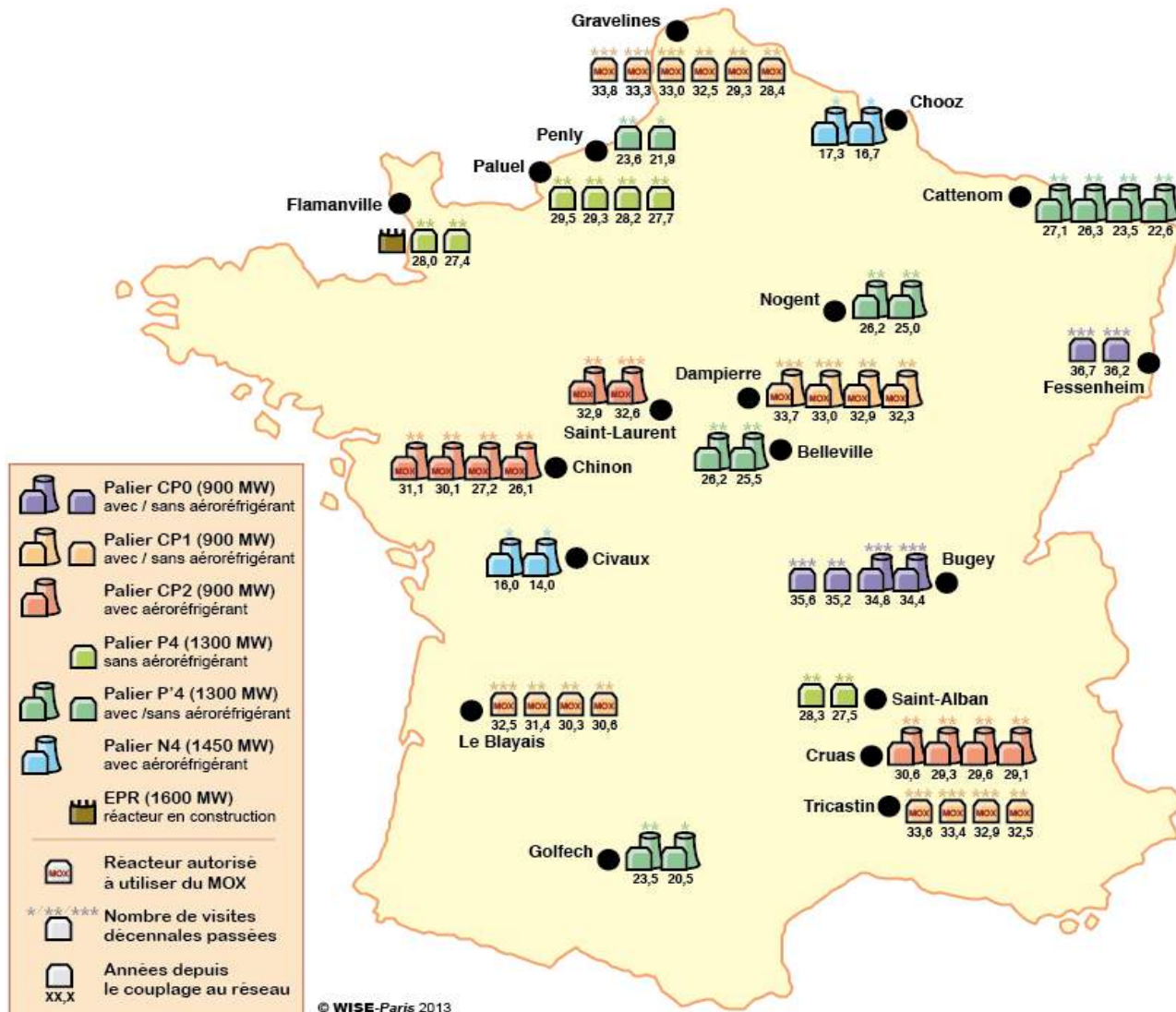
**L'impasse nucléaire :  
accidents, déchets, coûts  
situation internationale**

\*

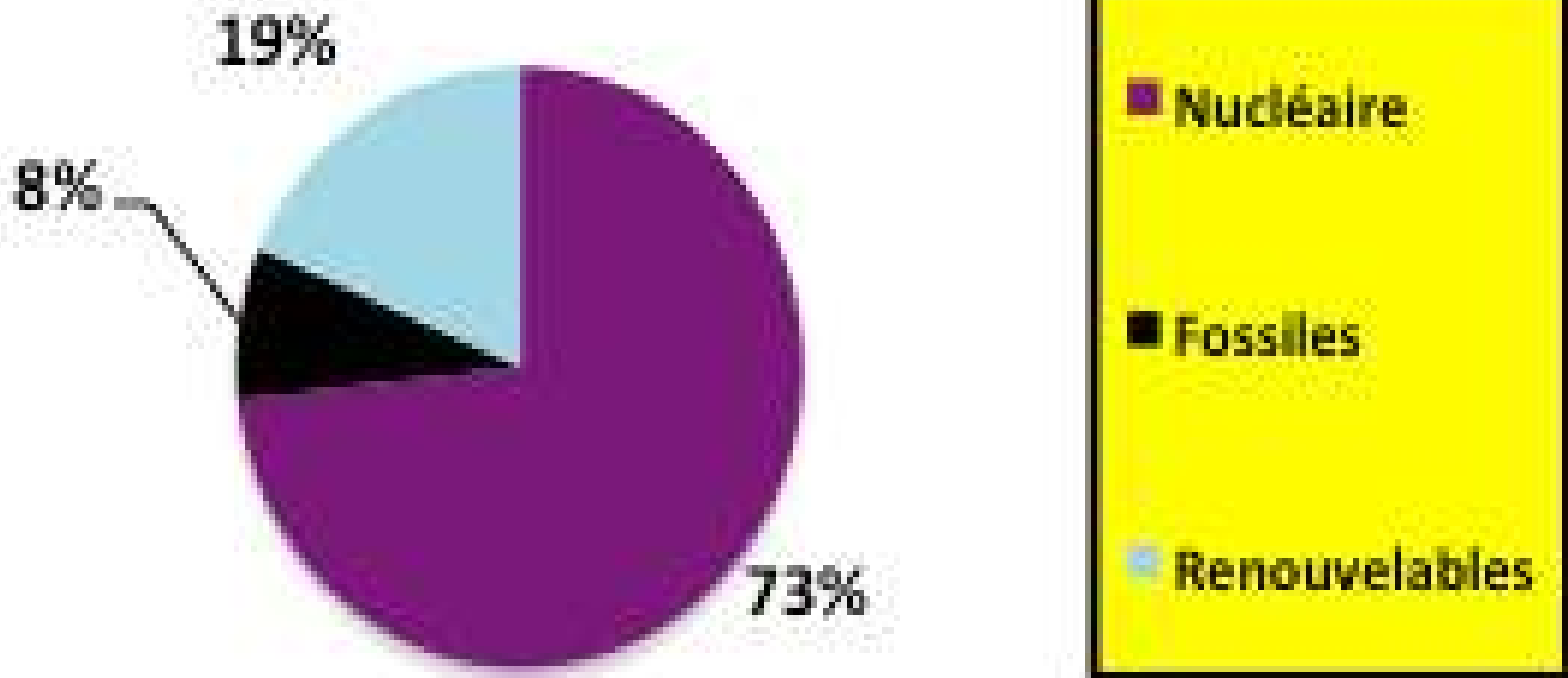
**Bernard Laponche**

**Association Global Chance**  
([www.global-chance.org](http://www.global-chance.org))

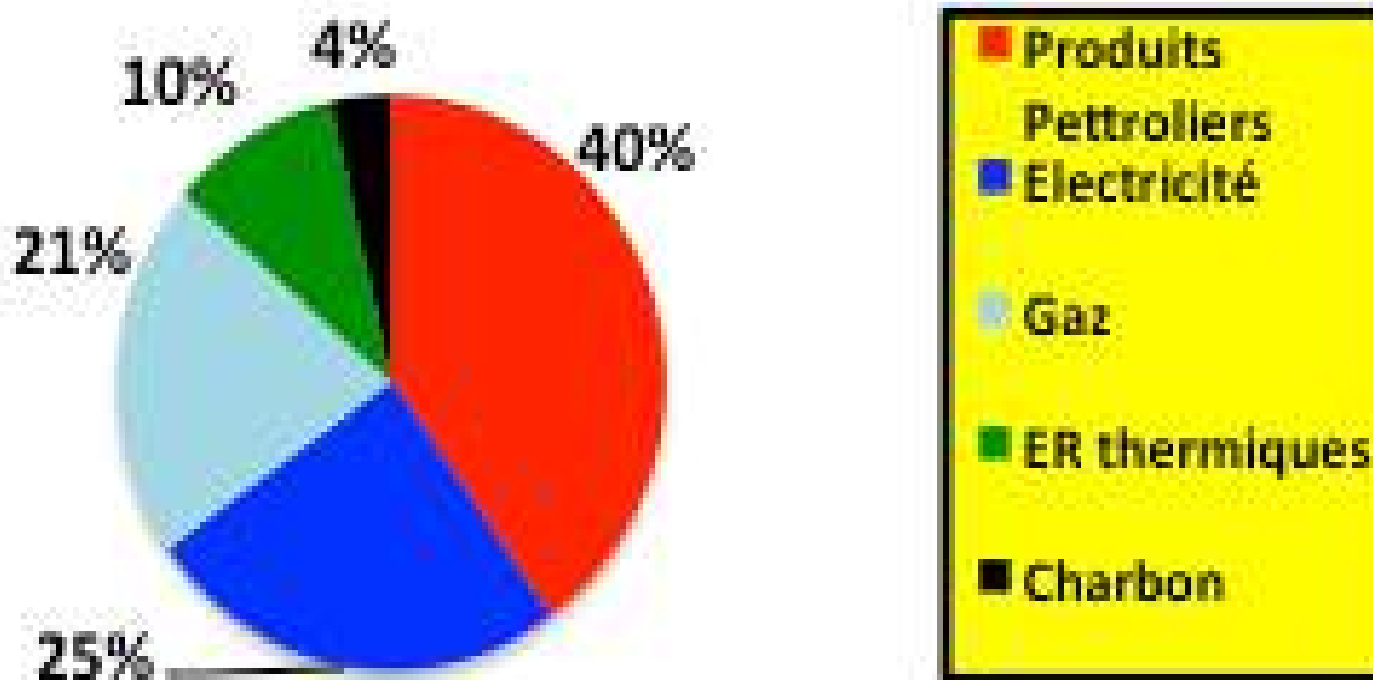
# Centrales nucléaires en France



## Production d'électricité par source (total 2013 : 551 TWh)

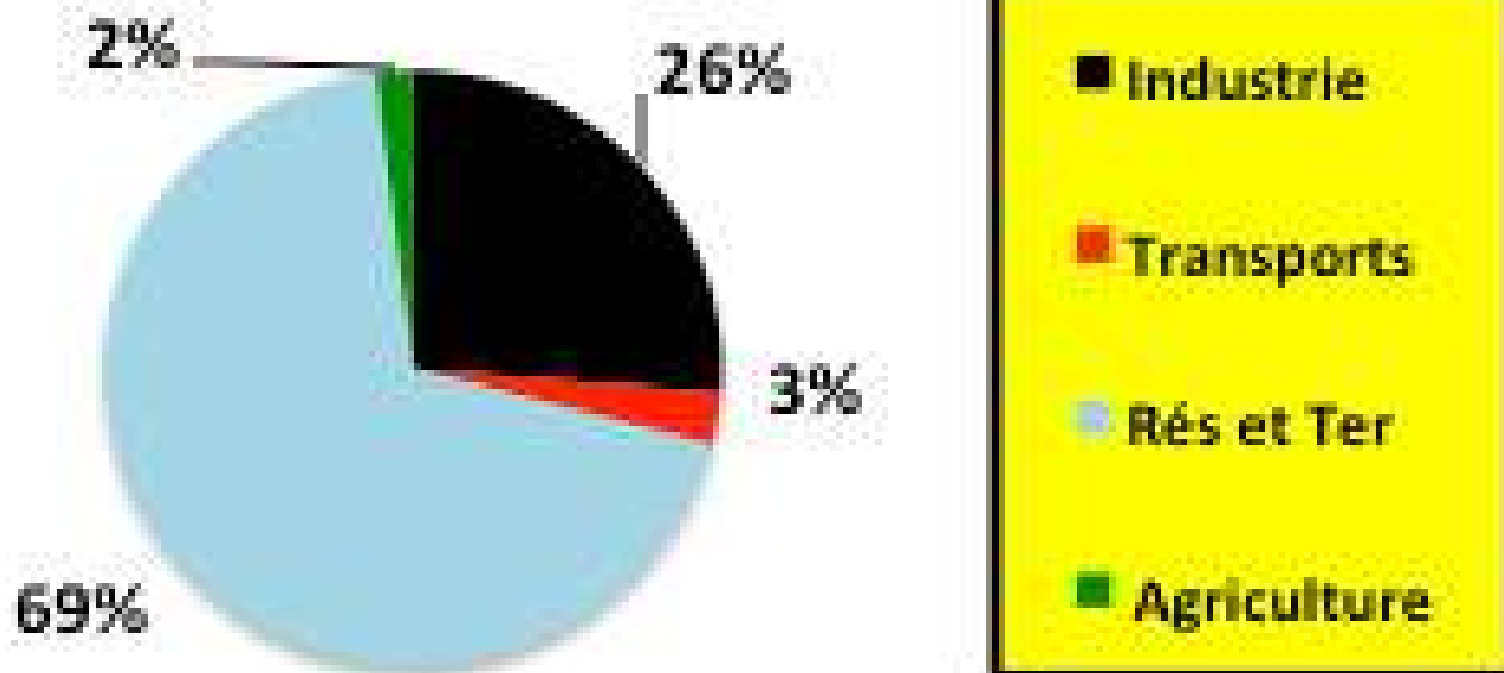


## Consommation finale énergétique par produit (total 2013 : 153 Mtep)

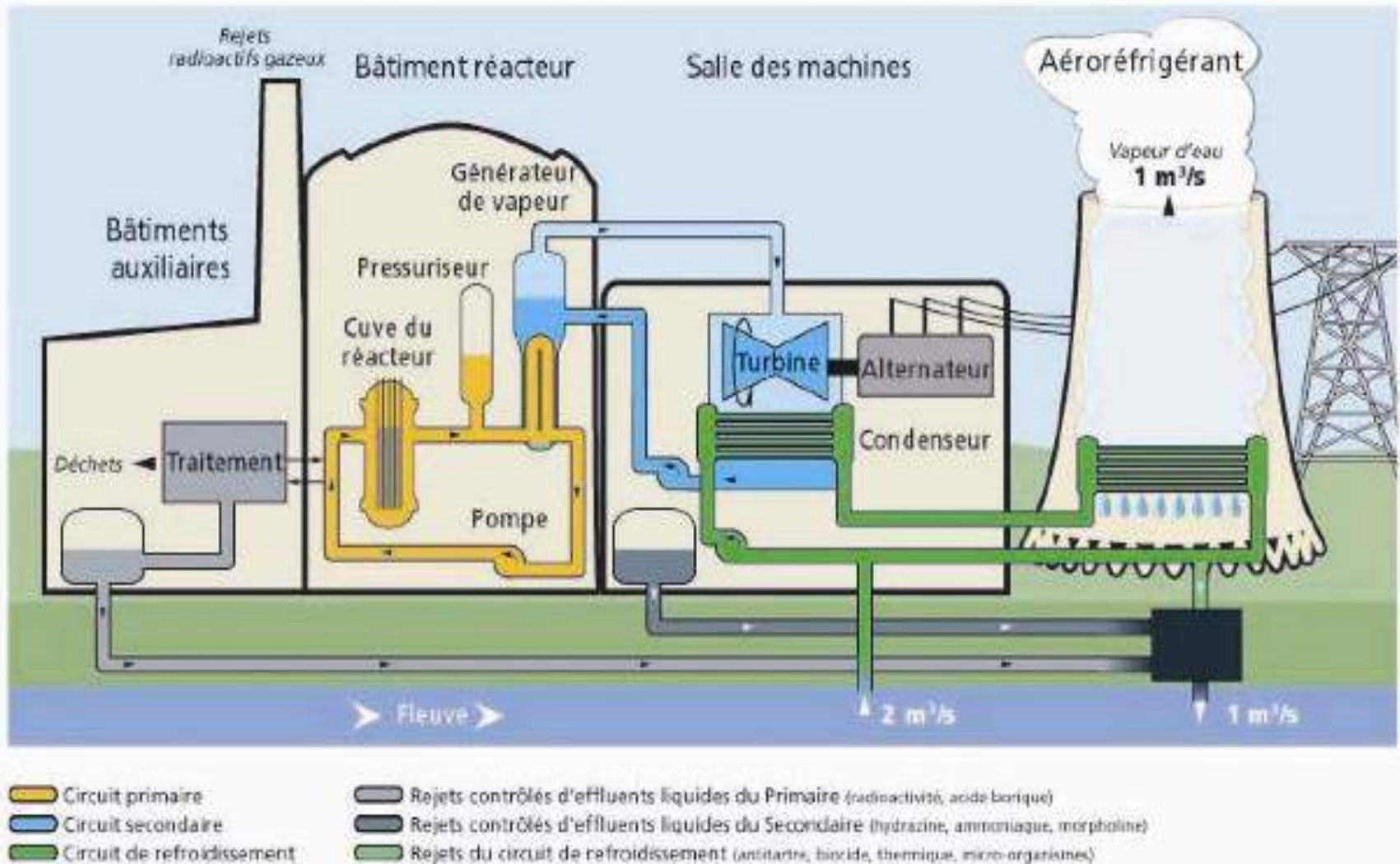


Nucléaire : 16% de la consommation énergétique finale

## Consommation finale d'électricité par secteur (total 2013 : 446 TWh)



# Centrale à réacteur REP



# Accident grave et accident majeur

**.Cause majeure (REP) : perte du refroidissement**

– En marche : ruptures

–En marche ou à l'arrêt : perte totale d'électricité et, ou d'eau de refroidissement

**.Accident grave : Combustible nucléaire dégradé et fusion du cœur**

**.Accident majeur : accident grave avec forts déagements de produits radioactifs dans l'environnement (air, eau) : irradiation et**

# **Accidents graves et accidents majeurs**

**.Windscale (UNGG, Royaume-Uni, 1957)**

**.Three Mile Island (PWR, Etats-Unis, 1979)**

**.Tchernobyl (RBMK, URSS-Ukraine, 1986)**

**.Fukushima (BWR, Japon, 2011)**

**.Forsmark (BWR, Suède, 2006)**

**Le Blayais (PWR, France, 1999-2000)**



# La production des déchets nucléaires

## .Production d'uranium

| <b>Pays</b> | <b>Kazak<br/>h<br/>stan</b> | <b>Canad<br/>a</b> | <b>Australi<br/>e</b> | <b>Niger</b> | <b>Namibi<br/>e</b> | <b>Russie</b> | <b>Ouzbé<br/>kistan*</b> | <b>Etats-<br/>Unis</b> | <b>Chine*</b> |
|-------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|--------------|---------------------|---------------|--------------------------|------------------------|---------------|
| <b>%</b>    | <b>41,1</b>                 | <b>16,2</b>        | <b>8,9</b>            | <b>7,2</b>   | <b>5,8</b>          | <b>5,3</b>    | <b>4,3</b>               | <b>3,4</b>             | <b>2,7</b>    |

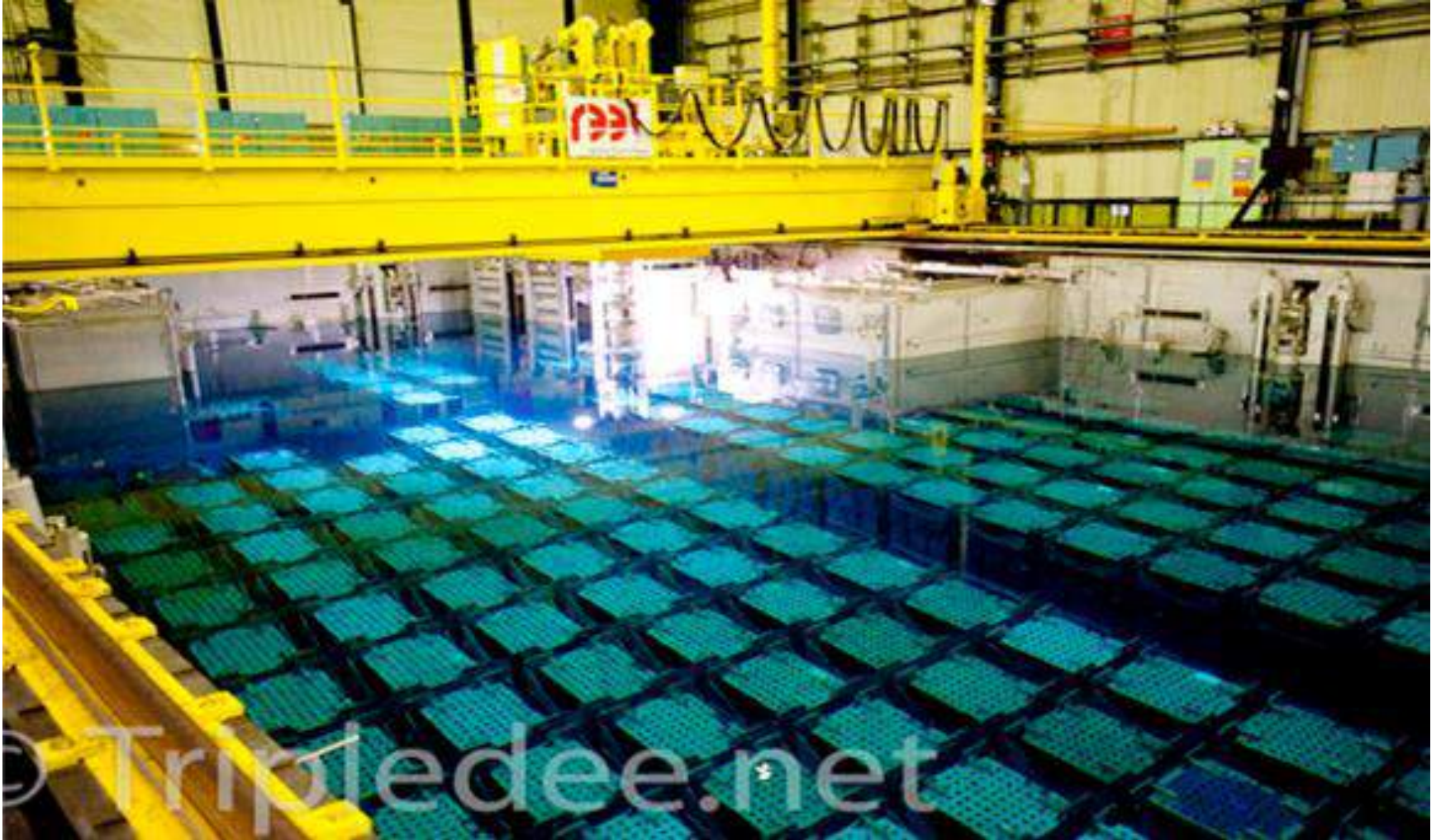
**Combustibles irradiés : en piscines près du réacteur**

**- Désintégration des  
produits de fission  
et des actinides :  
chaleur et  
radioactivité**

# **Le retraitement des combustibles irradiés**

- .Transport des combustibles irradiés à l'usine de retraitement.**
- .Entreposage en piscine**
- .Séparation chimique de l'uranium, du plutonium, des produits de fission et actinides mineurs.**
- .Rejets (dans air et eau)**

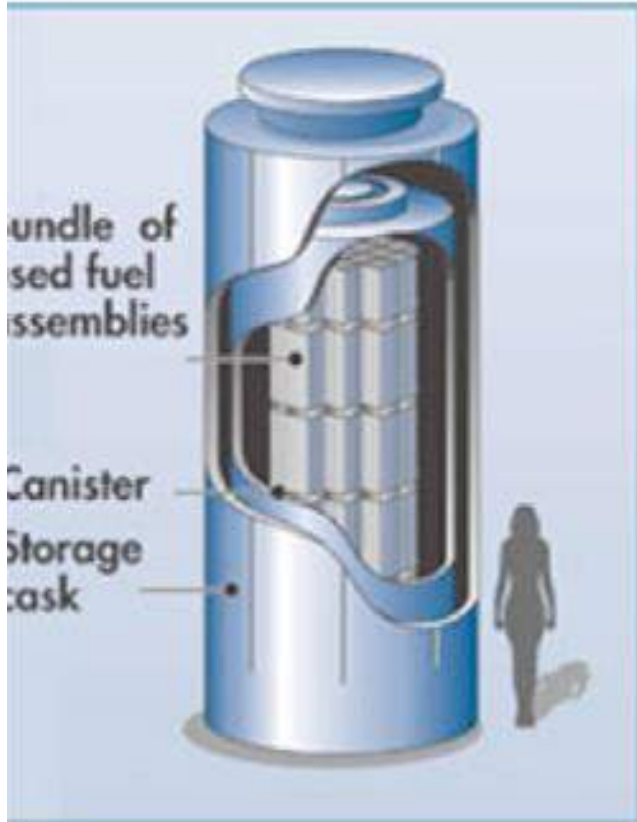
# Les piscines de La Hague



# Les stocks de plutonium « réacteur » dans le monde

| <b>Pays</b>        | <b>Fin 2011 : Pu civil en excès des armes</b>      | <b>Stratégie de gestion</b>        |
|--------------------|--|------------------------------------|
| <b>France</b>      | <b>80 tonnes</b><br>(dont 23 étrangères)           | MOX, opérationnelle                |
| <b>Japon</b>       | <b>9 tonnes</b><br>(+ 35 en France et Royaume-Uni) | MOX au point mort                  |
| <b>Russie</b>      | <b>82 tonnes</b>                                   | Recyclage dans réacteurs*          |
| <b>Royaume-Uni</b> | <b>118 tonnes</b><br>(dont 28 étrangères)          | Usine MOX abandonnée               |
| <b>Etats-Unis</b>  | <b>40 tonnes</b>                                   | Projet Usine MOX en voie d'abandon |
| <b>Total</b>       | <b>340 tonnes</b>                                  |                                    |

# Stockage à sec sur site



Dry Storage of Spent Fuel

# **Stockage en couche géologique profonde?**

**.Etats-Unis : WHIPP, Yucca Mountain**

**.Allemagne : Asse**

**.Finlande et Suède**

**.France (projet Cigeo)**

# Cigeo : les engagements de l'ANDRA



Garantir la sûreté de Cigéo en exploitation puis pendant un million d'années

- ◆ Une installation nucléaire en surface et en profondeur : les métiers du nucléaire et des travaux souterrains doivent cohabiter
- ◆ Une exploitation qui va s'étendre sur plus d'un siècle pendant laquelle il faut limiter les risques :
  - Identifier les risques (incendie, manutention...),
  - Prévoir les dispositions pour supprimer les risques ou réduire leur probabilité,
  - Détecter tout dysfonctionnement,
  - Envisager que des accidents puissent tout de même se produire
- ◆ Sur le plus long terme, il faut prendre en compte les aléas humains et climatiques et apporter la démonstration de la sûreté du stockage sur une période d'un million d'années



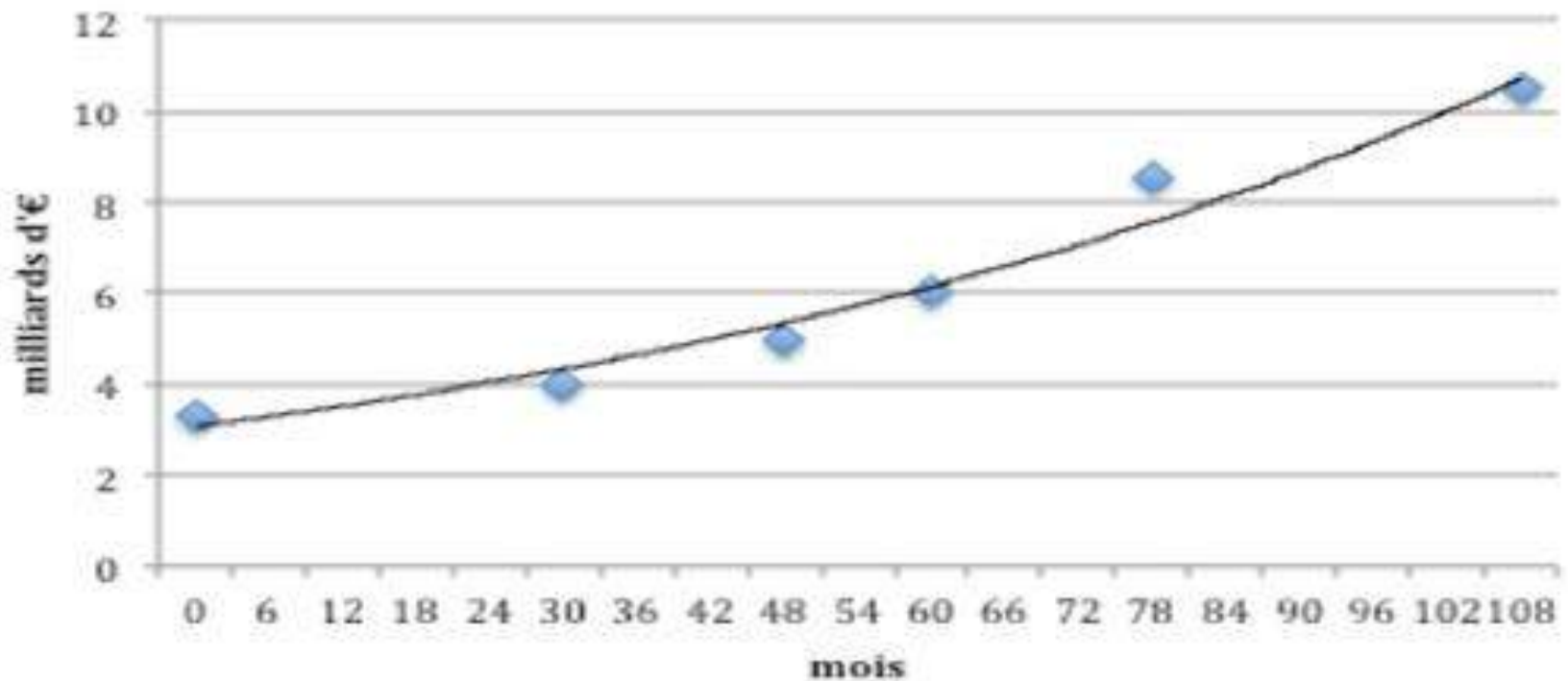
# Stockage à sec en sub-surface

# **Les coûts de l'électricité nucléaire en France**

**Evolution du coût d'investissement des réacteurs nucléaires en France en Euros par kW**

# Le coût d'investissement de l'EPR en France

Evolution des prévisions du coût d'investissement de l'EPR de Flamanville en fonction du temps à partir de juillet 2006



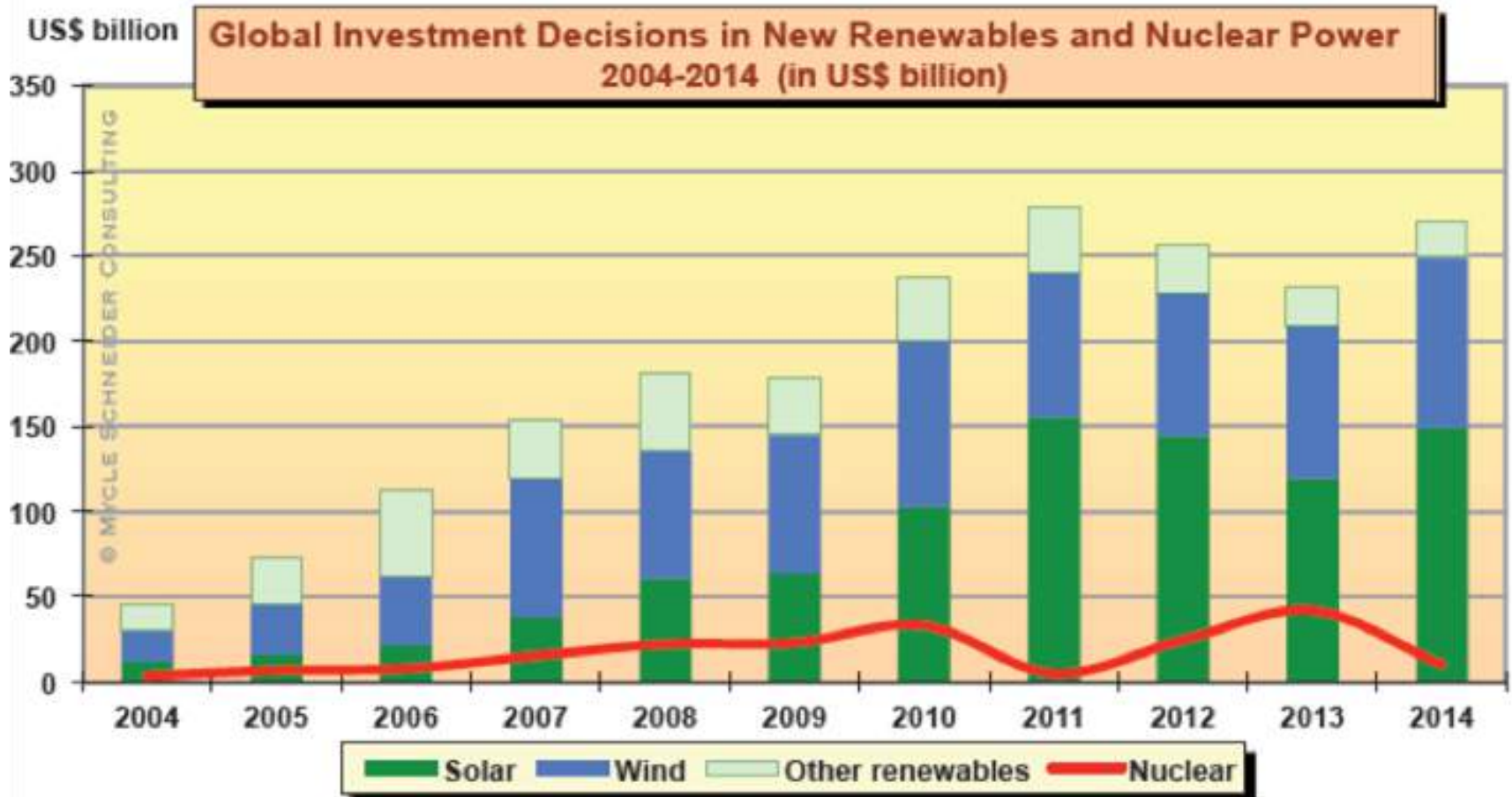
# Coûts du nucléaire en France : les incertitudes

- .Coût du nucléaire actuel : 60 Euros le MWh
- .Coût de l'allongement de la durée de fonctionnement  
100 milliards €
- .Coût du « nucléaire futur », l'exemple du marché  
Hinkley Point (115-120 euros par MWh)
- .Coût du démantèlement
- .Coût de la gestion des déchets
- .Difficultés AREVA (mines) et EDF : EPR France,

## Coût de production des solutions alternatives aux Etats-Unis – Nouvelles installations

|                               | US\$ par MWh | US\$ par MWh | € par MWh  | €€ par MWh  |
|-------------------------------|--------------|--------------|------------|-------------|
| <b>Type de centrale</b>       | <b>Bas</b>   | <b>Haut</b>  | <b>Bas</b> | <b>Haut</b> |
| <b>Solaire PV Cristallin</b>  | <b>72</b>    | <b>86</b>    | <b>64</b>  | <b>76</b>   |
| <b>Solaire PV amorphe</b>     | <b>72</b>    | <b>86</b>    | <b>64</b>  | <b>76</b>   |
| <b>Eolien terrestre</b>       | <b>37</b>    | <b>81</b>    |            |             |
| <b>Efficacité énergétique</b> | <b>0</b>     | <b>50</b>    | <b>0</b>   | <b>44</b>   |
| <b>Nucléaire</b>              | <b>92</b>    | <b>132</b>   | <b>81</b>  | <b>117</b>  |
| <b>Charbon</b>                | <b>66</b>    | <b>151</b>   |            |             |
| <b>Gaz à cycle combiné</b>    | <b>61</b>    | <b>87</b>    | <b>54</b>  | <b>77</b>   |

# Les décisions d'investissement dans le monde

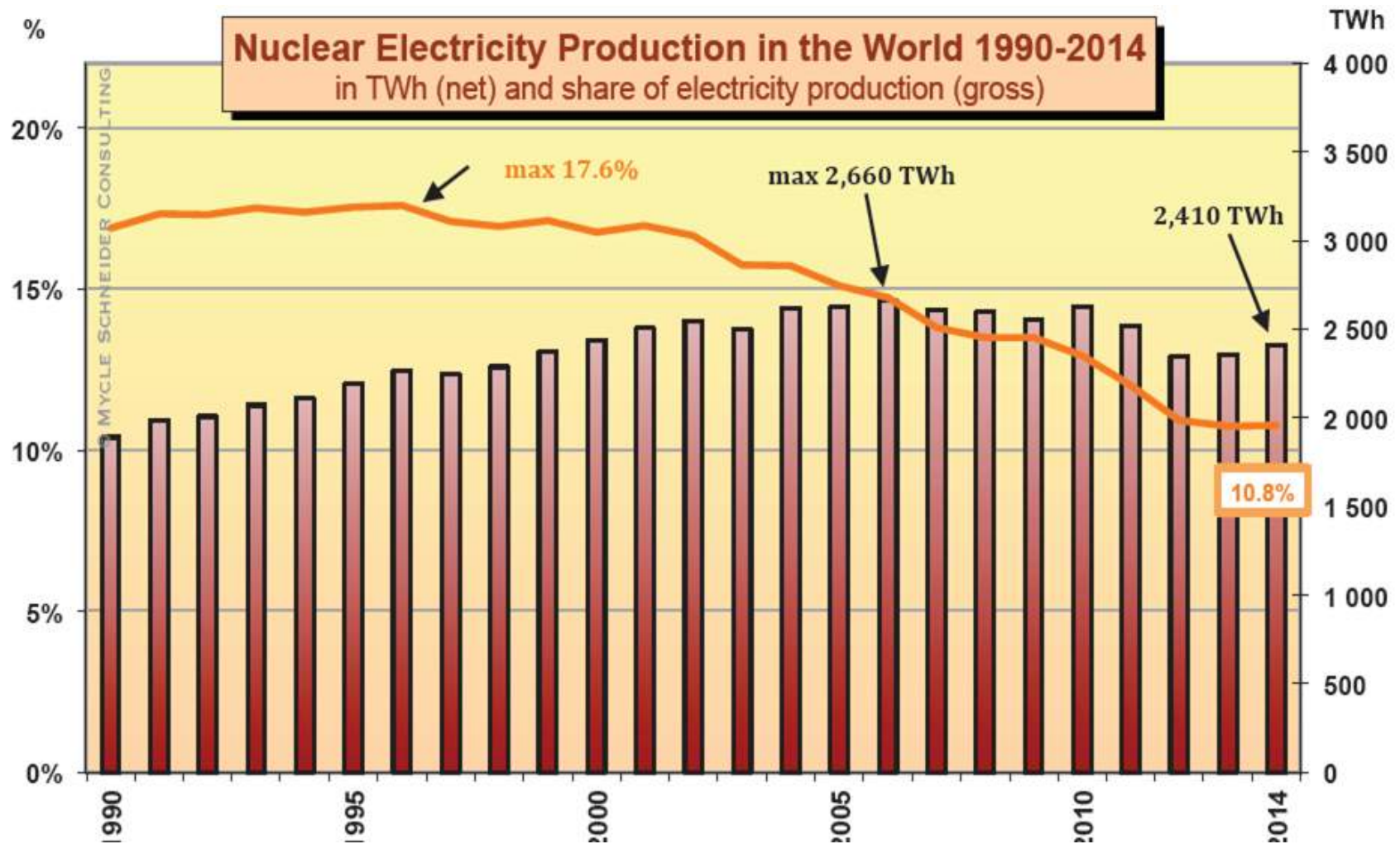


Sources: FS-UNEP 2015 and WNISR original research

# Exemples de coûts éolien et PV dans le monde

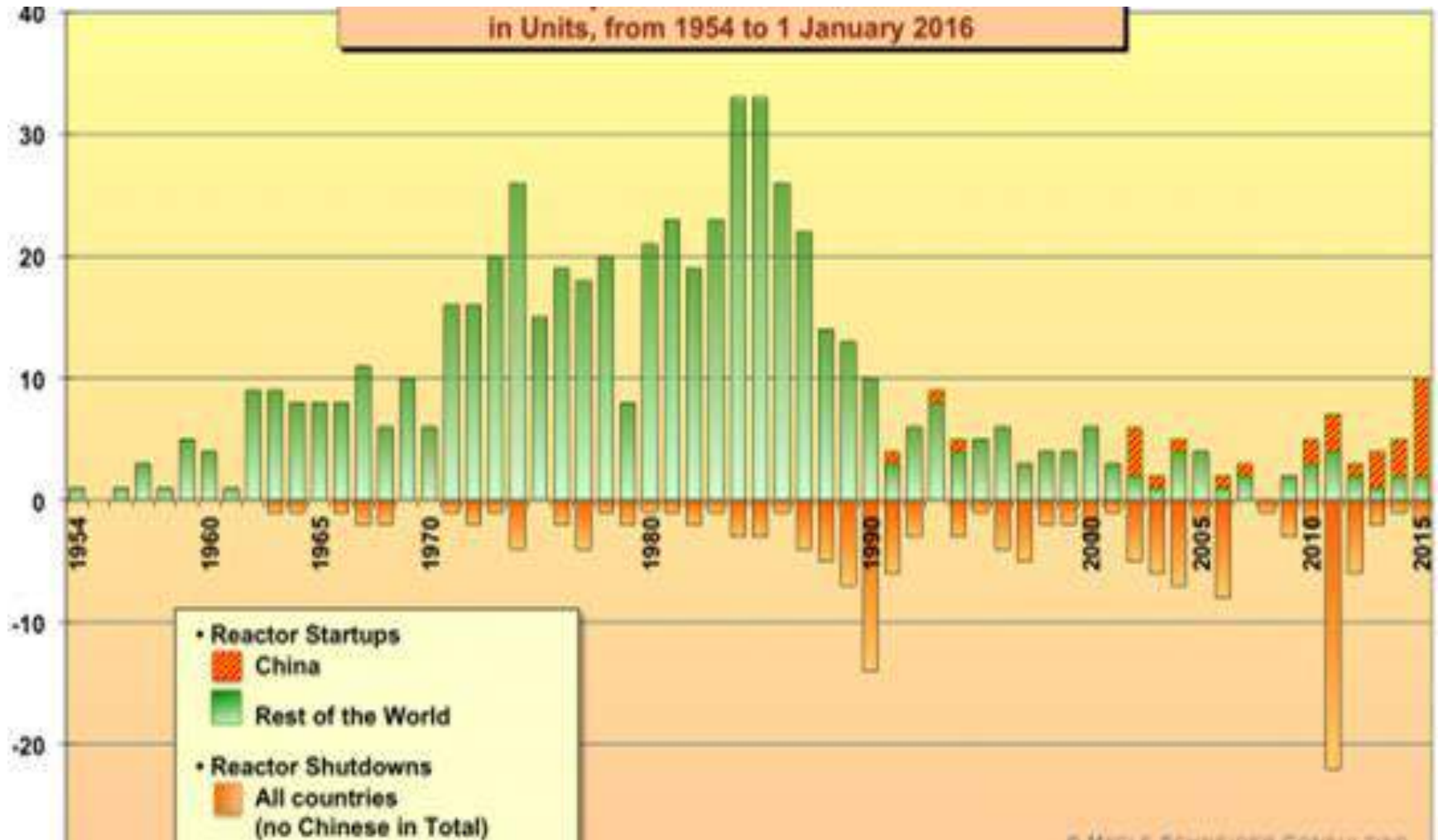
- .Eolien Portugal : 75 € par MWh
- .Eolien Afrique du Sud : 55 € par MWh
- .Photovoltaïque Portugal : 75-80 € par MWh
- .Photovoltaïque Brésil : 75 € par MWh
  
- .France, centrale de CESTAS : 300 MWc (25 « petites centrales » de 12 MWc : 360 M€, achat EDF à 105 € le MWh pendant 20 ans.

# Production d'électricité nucléaire dans le monde





# Démarrages et fermetures définitives



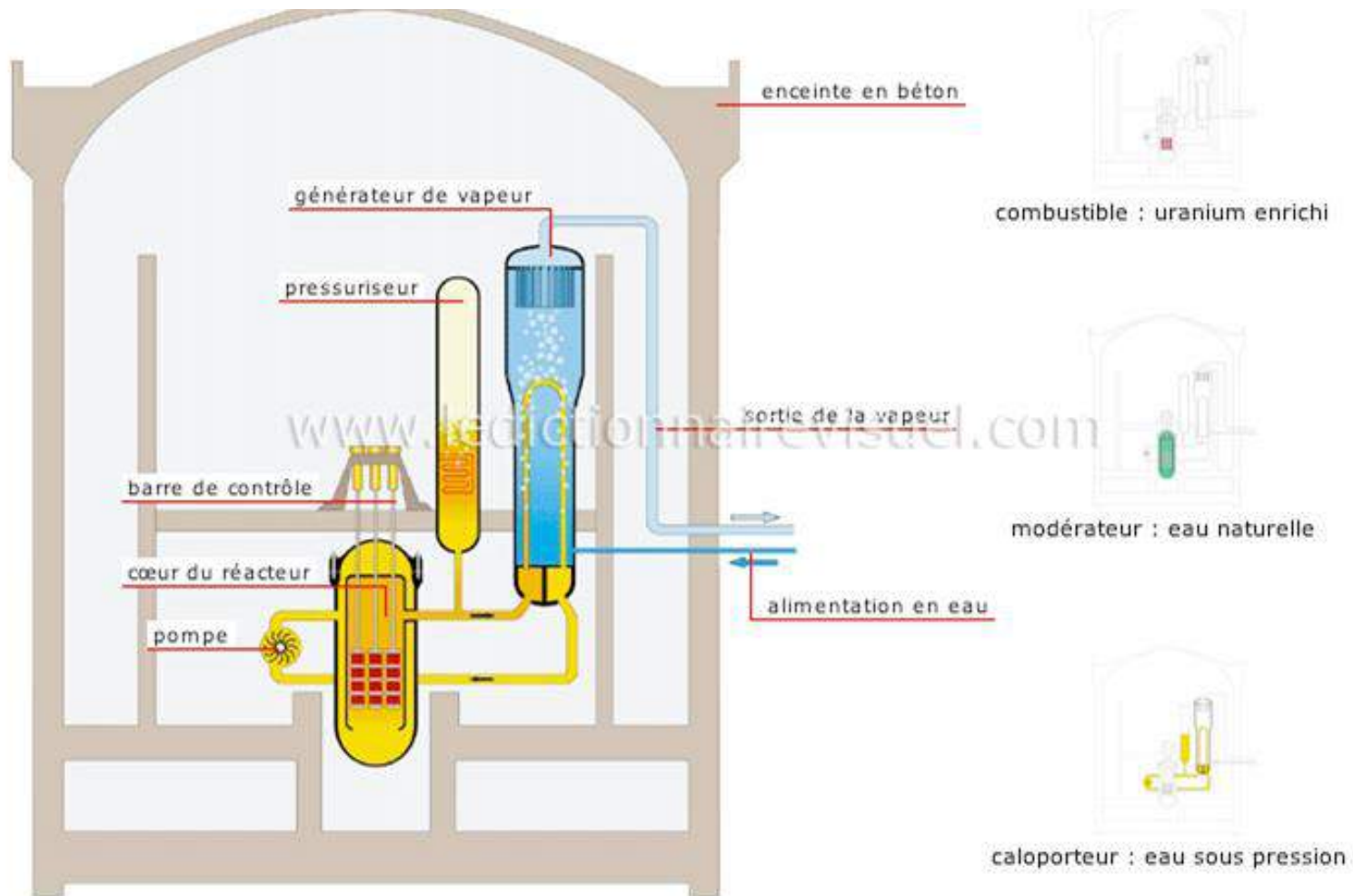
# Age des réacteurs et nouvelles constructions

| <b>Age du parc nucléaire mondial en années ( 391 au 1/7/2015)</b>         |                |                |                   |                     |                  |
|---|----------------|----------------|-------------------|---------------------|------------------|
| <b>Plus de 40</b>   | <b>31 – 40</b> | <b>21 – 30</b> | <b>11 – 20</b>    | <b>0 – 10</b>       | <b>Age moyen</b> |
| <b>54</b>   | <b>145</b>     | <b>117</b>     | <b>38</b>         | <b>37</b>           | <b>29</b>        |
| <b>Réacteurs en construction (62 dont 47 en retard) – Principaux pays</b> |                |                |                   |                     |                  |
| <b>Chine</b>  | <b>Russie</b>  | <b>Inde</b>    | <b>Etats-Unis</b> | <b>Corée du Sud</b> | <b>EAU</b>       |
| <b>24 (15)</b>  | <b>8 (8)</b>   | <b>6 (6)</b>   | <b>5 (5)</b>      | <b>4 (4)</b>        | <b>3 (?)</b>     |

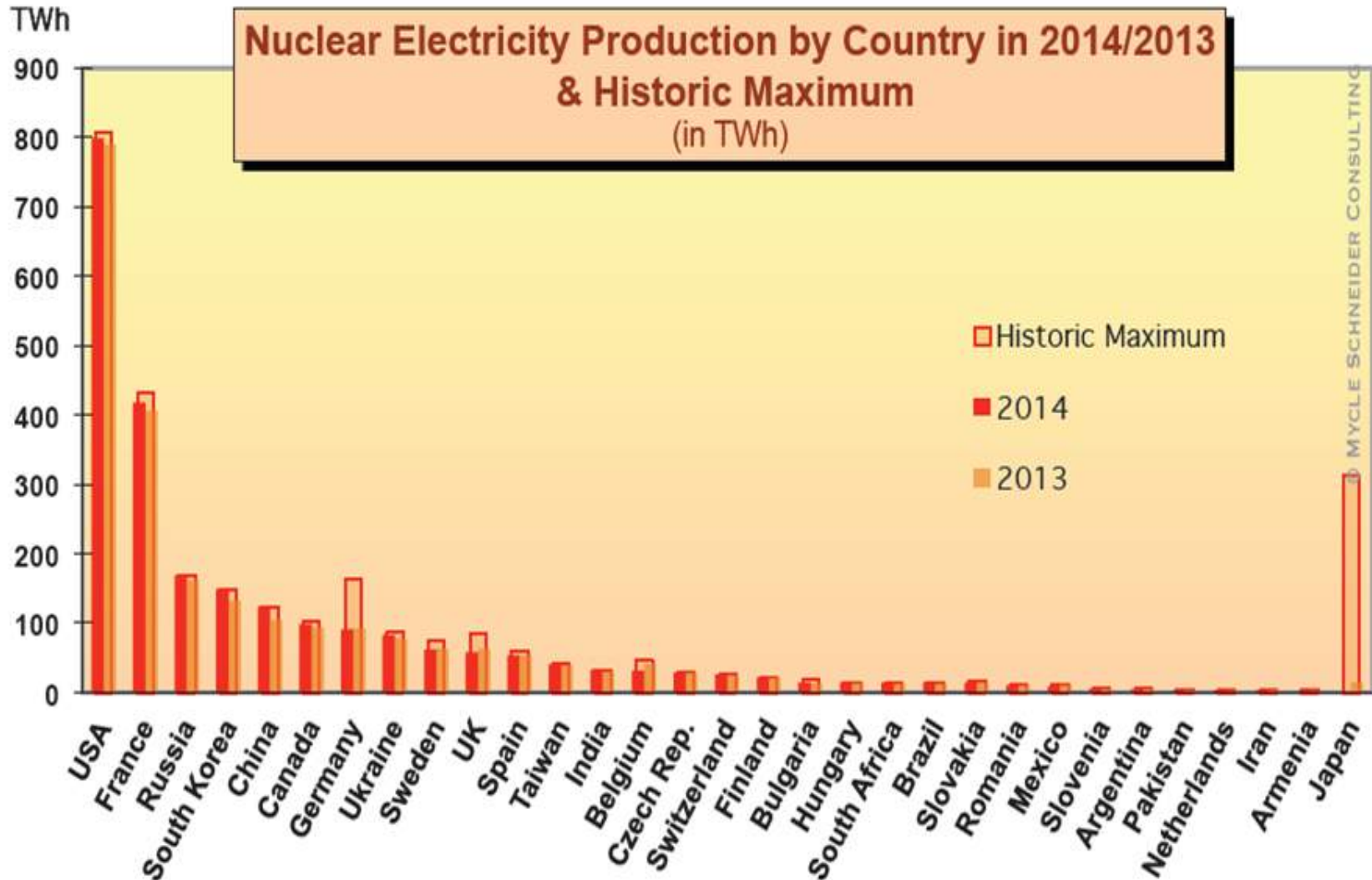
**Je vous remercie**

[www.global-chance.org](http://www.global-chance.org)

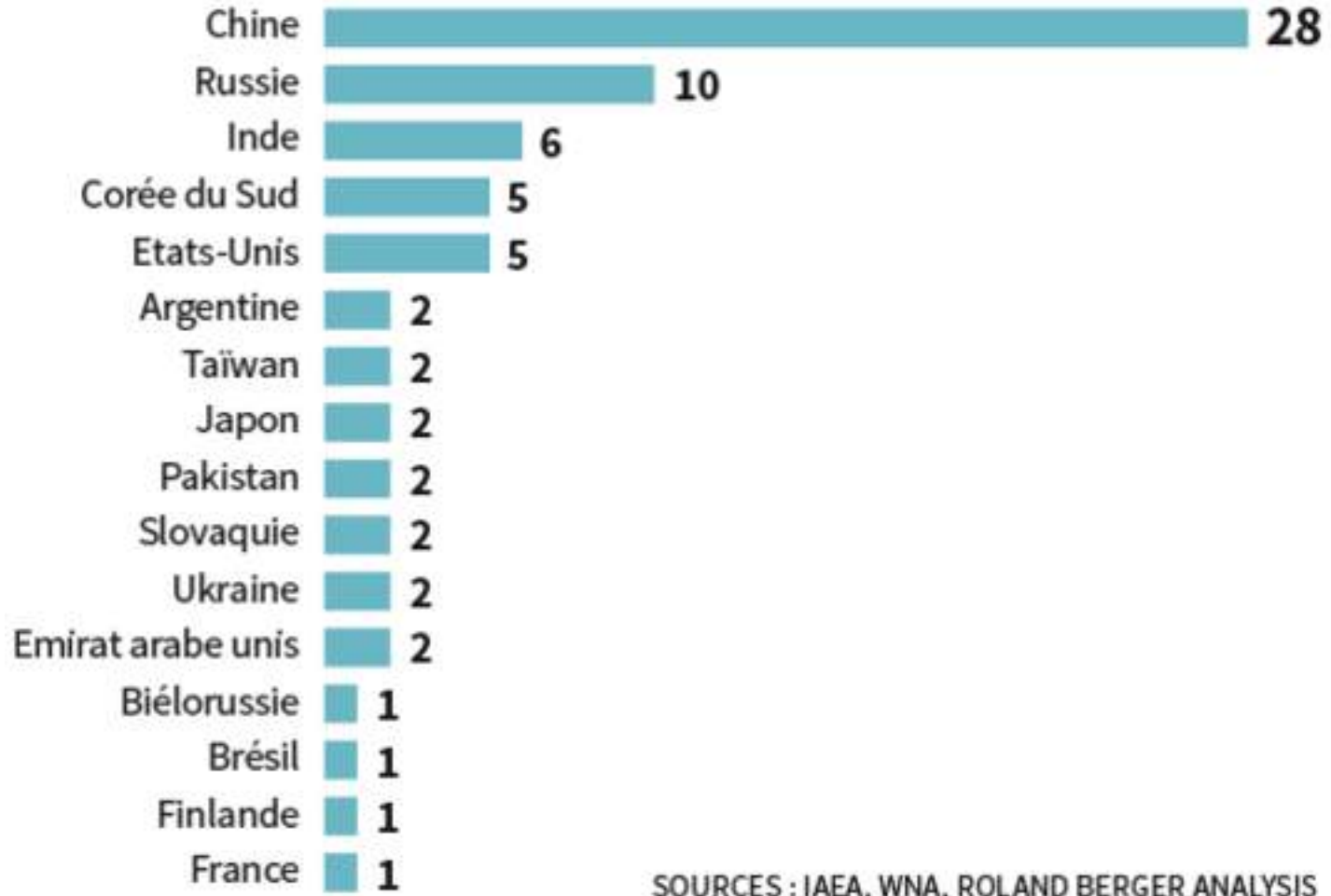
# Réacteur à eau sous pression



# Production d'électricité nucléaire par pays



NOMBRE DE RÉACTEURS NUCLÉAIRES EN CONSTRUCTION  
DANS LE MONDE EN 2014



SOURCES : IAEA, WNA, ROLAND BERGER ANALYSIS

# Les déchets radioactifs en France

| Volume à fin 2013                                       |              |                  |            |                  |
|---|--------------|------------------|------------|------------------|
|   | Tous déchets |                  | Déchets HA |                  |
|   | Total        | Electronucléaire | Total      | Electronucléaire |
| 1000 m <sup>3</sup>                                     | 1458         | 880              | 3,12       | 2,70             |
| Activité fin 2013                                       |              |                  |            |                  |
|   | Tous déchets |                  | Déchets HA |                  |
| Million de TBq  | 225,5        |                  | 220        |                  |
| Déchets HA: 0,2% du volume et 98 % de l'activité totale |              |                  |            |                  |

## Demi-vie de quelques isotopes dans les combustibles irradiés

| <b>Elément</b> | <b>Isotope</b> | <b>Demi-vie</b>        |
|----------------|----------------|------------------------|
|                | 131I           | 8,0 jours              |
|                | 134Cs          | 2,1 ans                |
|                | 85Kr           | 10,8 ans               |
|                | 3H             | 12,3 ans               |
|                | 90Sr           | 28,8 ans               |
|                | 137Cs          | 30,2 ans               |
|                | 14C            | 5 730 ans              |
|                | 239Pu          | 24 110 ans             |
|                | 129I           | 16 millions d'années   |
|                | 244Pu          | 81 millions d'années   |
|                | 235U           | 704 millions d'années  |
|                | 238U           | 4,5 milliards d'années |



# A Fukushima, après le tsunami



# Coût du démantèlement

| Méthodes utilisées par          | ED F | Suède | Belgique | Japon | Etats-Unis trois méthodes | Grande-Bretagne | Allemagne quatre méthodes |
|---------------------------------|------|-------|----------|-------|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| Extrapolation pour 58 réacteurs | 18,1 | 20    | 24,4     | 38,9  | 27,3<br>33,4<br>34,2      | 46              | 25,8<br>34,6<br>44<br>62  |

# Age des réacteurs et nouvelles constructions

| <b>Age du parc nucléaire mondial en années ( 391 au 1/7/2015)</b>         |                |                |                   |                     |                  |
|---|----------------|----------------|-------------------|---------------------|------------------|
| <b>Plus de 40</b>   | <b>31 – 40</b> | <b>21 – 30</b> | <b>11 – 20</b>    | <b>0 – 10</b>       | <b>Age moyen</b> |
| <b>54</b>   | <b>145</b>     | <b>117</b>     | <b>38</b>         | <b>37</b>           | <b>29</b>        |
| <b>Réacteurs en construction (62 dont 47 en retard) – Principaux pays</b> |                |                |                   |                     |                  |
| <b>Chine</b>  | <b>Russie</b>  | <b>Inde</b>    | <b>Etats-Unis</b> | <b>Corée du Sud</b> | <b>EAU</b>       |
| <b>24 (15)</b>  | <b>8 (8)</b>   | <b>6 (6)</b>   | <b>5 (5)</b>      | <b>4 (4)</b>        | <b>3 (?)</b>     |

# La réduction des émissions de gaz à effet de serre

**Figure 3.2** ▶ Global energy-related GHG emissions reduction by policy measure in the Bridge Scenario relative to the INDC Scenario

