

Energie Nucléaire

Adrien Bidaud¹

Avec de nombreux emprunts à A. Nuttin, O. Meplan, S. David

¹ Laboratoire de Physique Subatomique et Cosmologie
(CNRS/UJF/INPG)

bidaud@lpsc.in2p3.fr





Combien de nucléaire en France, Mr Sarkozy ?

Heum, heu... 50% de l'électricité Mme Royal

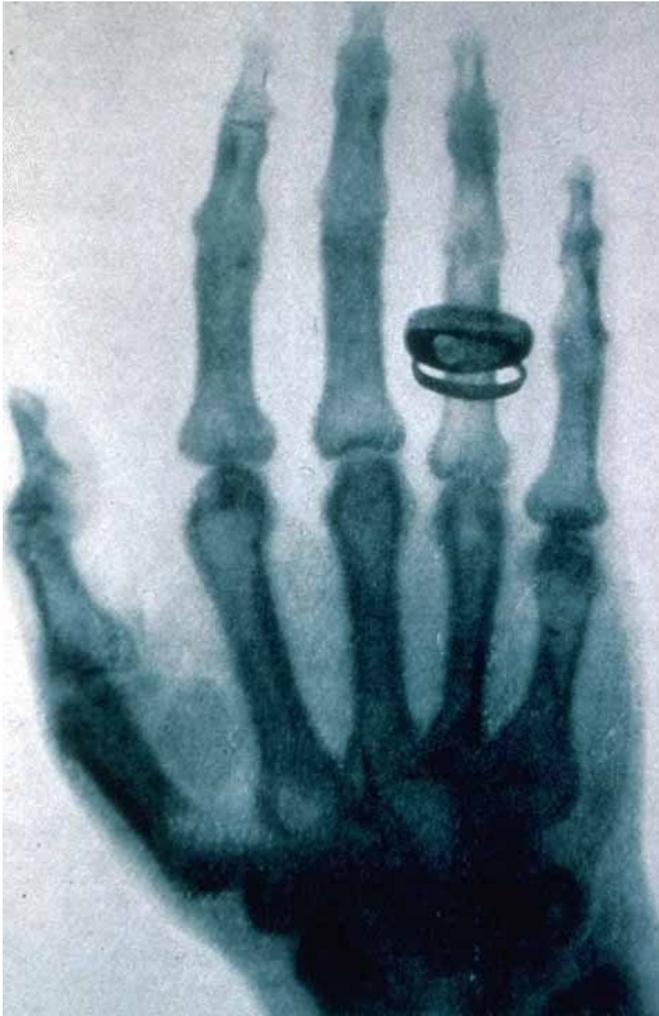
Non !! 17 % !!

Mais l'EPR c'est génération 3 !

Heu non pas 17%, mais en tout cas il faut lancer la génération 4, l'EPR !

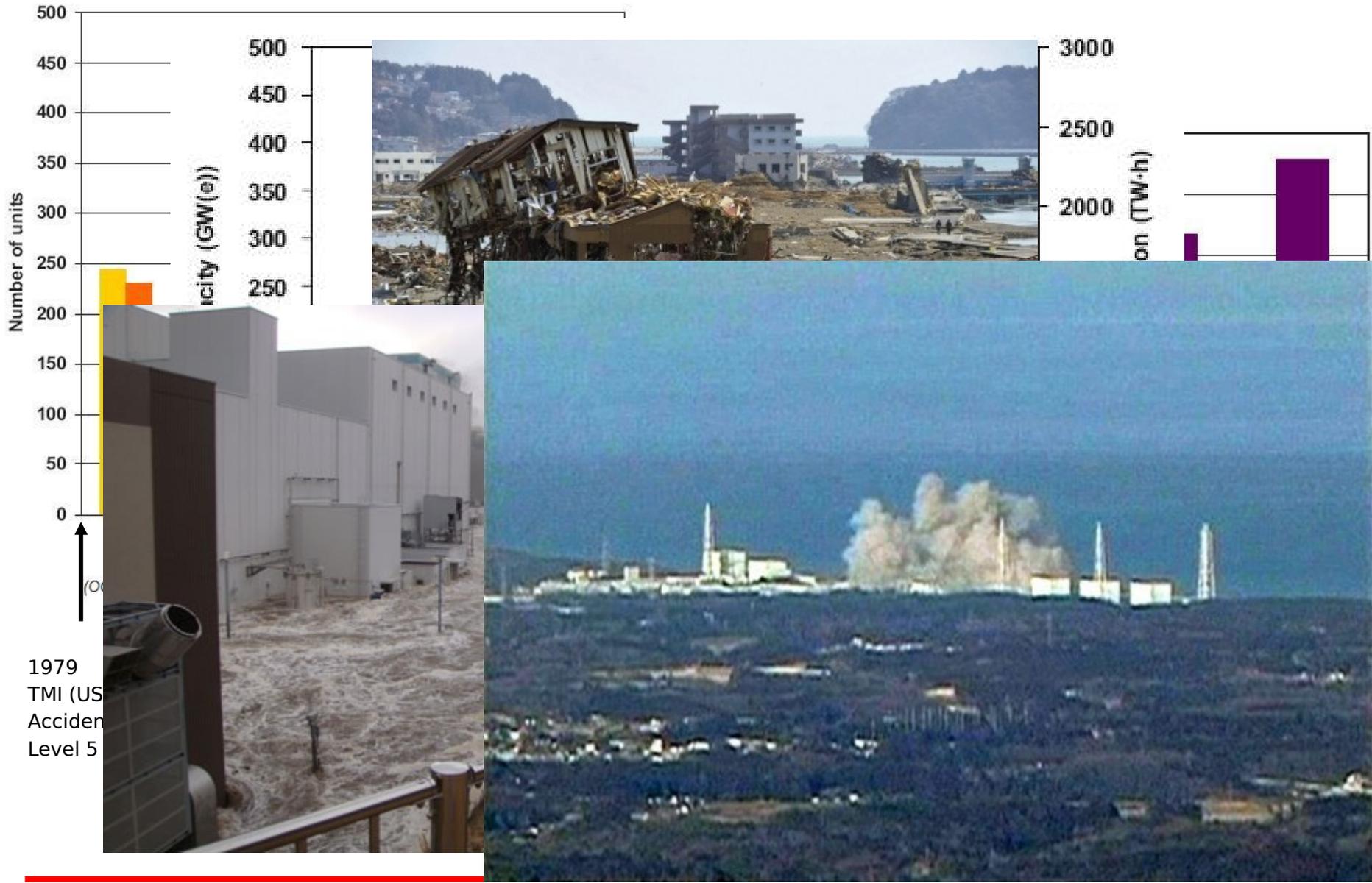
Mais il vaudrait mieux la 4ème génération, car le combustible, c'est les déchets d'aujourd'hui !!

Quelle est la 1ere application des rayonnements ?



- La médecine nucléaire !
- 1ere radio par Rontgen (Novembre 1895)
- Aujourd'hui CA médecine nucléaire > électricité nucléaire
- 200 000 traitements par irradiation / an dans les hôpitaux en France

Exiting a cold age ?

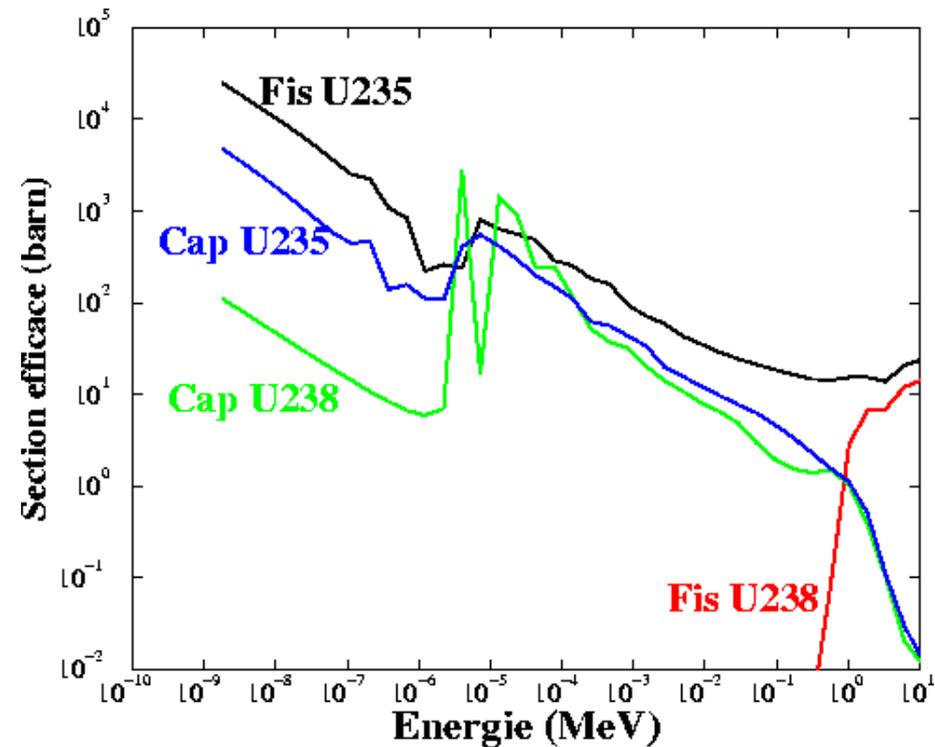
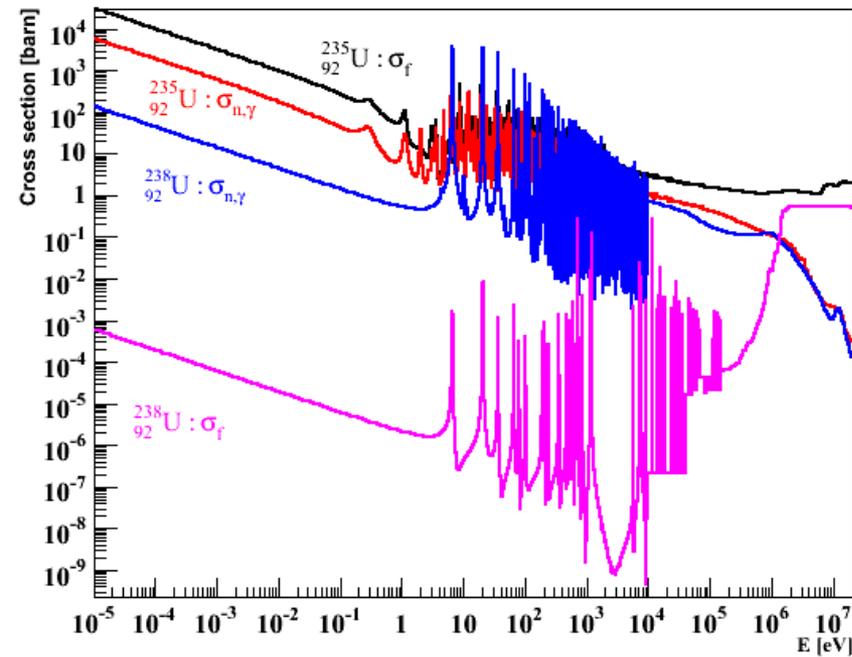
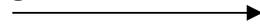


A. Bidaud :Maitriser l'énergie de l'atome

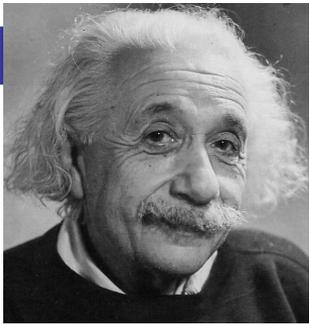
Sections efficaces

- de fission
- de capture (ex: $^{235}\text{U} + n \rightarrow ^{236}\text{U}$)
- de diffusion (ralentissement des neutrons)

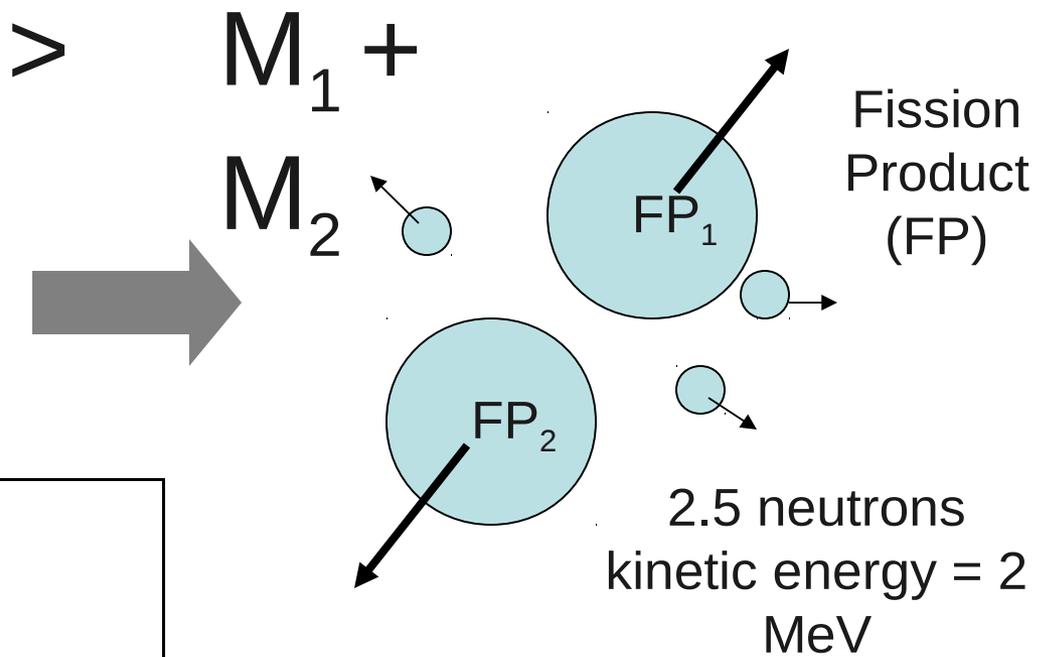
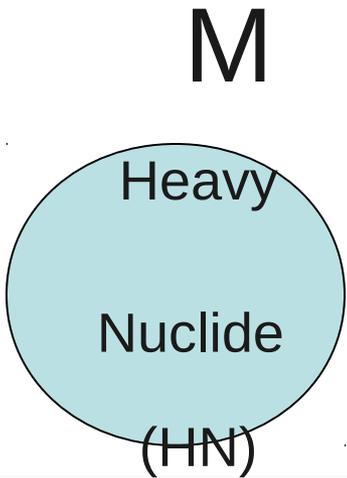
- Lissage des résonances



Are Nuclear Power Plants powered by

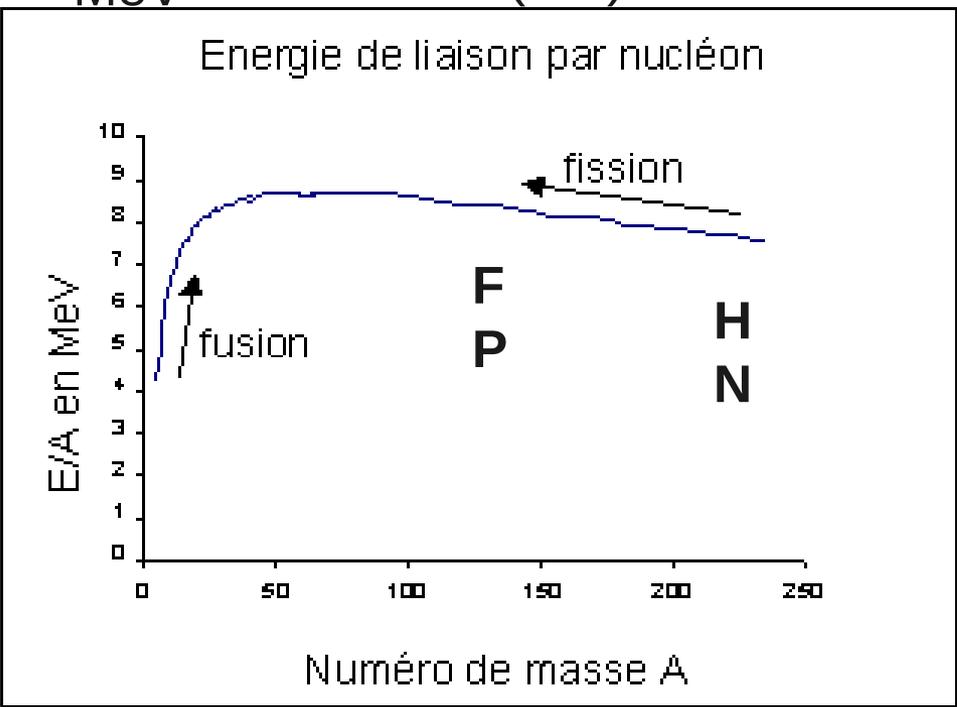


neutron
meV-
MeV



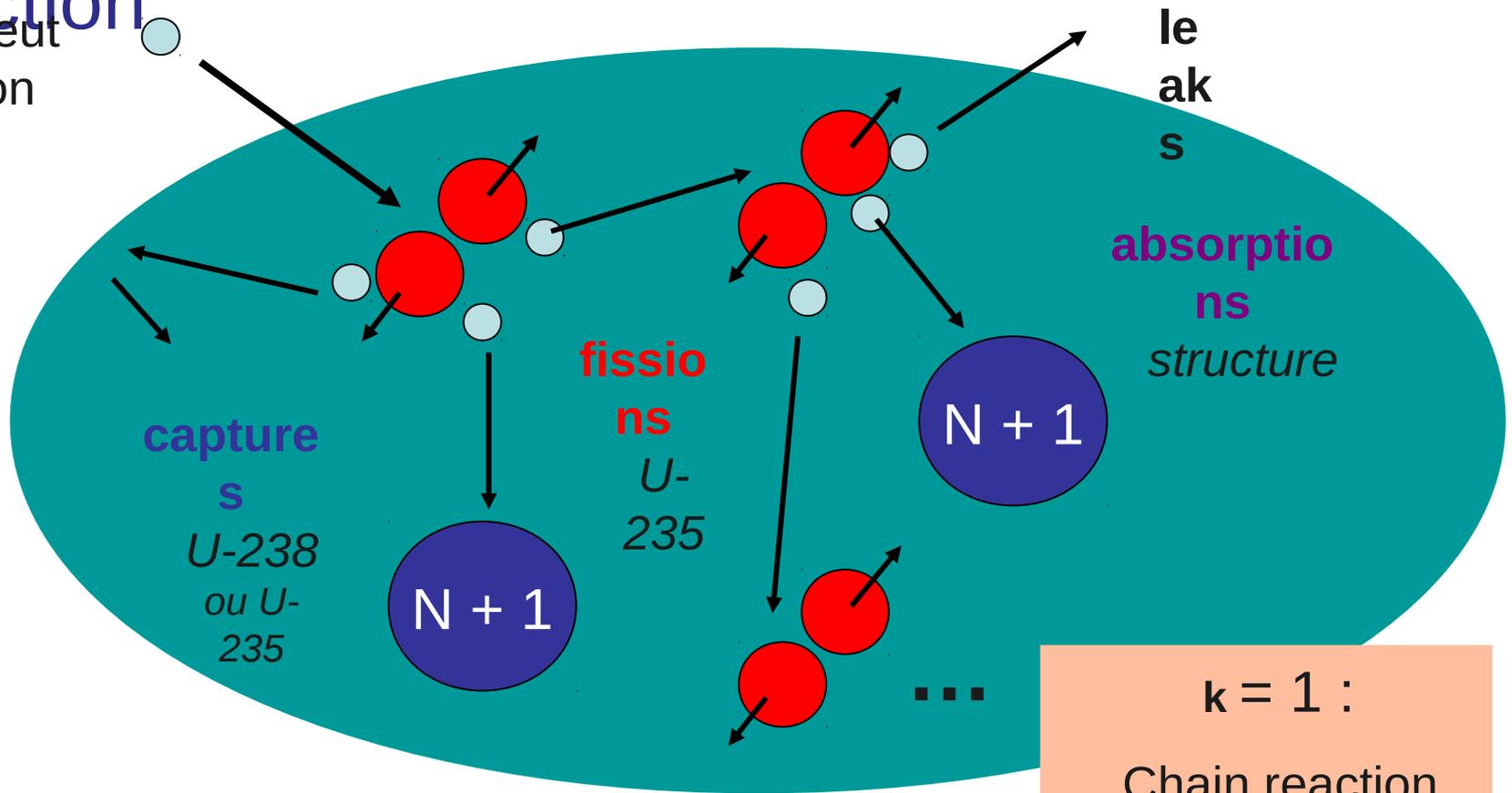
$\Delta M = 200 \text{ MeV}/c^2$

Nuclear energy is extraordinary dense
>10 000 times the binding energy of the electrons with the atoms
But 1/1000 of mass energy ($E=Mc^2$)
Only part of the **binding energy** is used



Chain reaction

neutron



capture
s

U-238
ou U-
235

N + 1

fissions
ns

U-
235

N + 1

absorptions
structure

leaks

$k = 1 :$

Chain reaction
is self-sustained

The reactor is
critical

Multiplication factor **k**

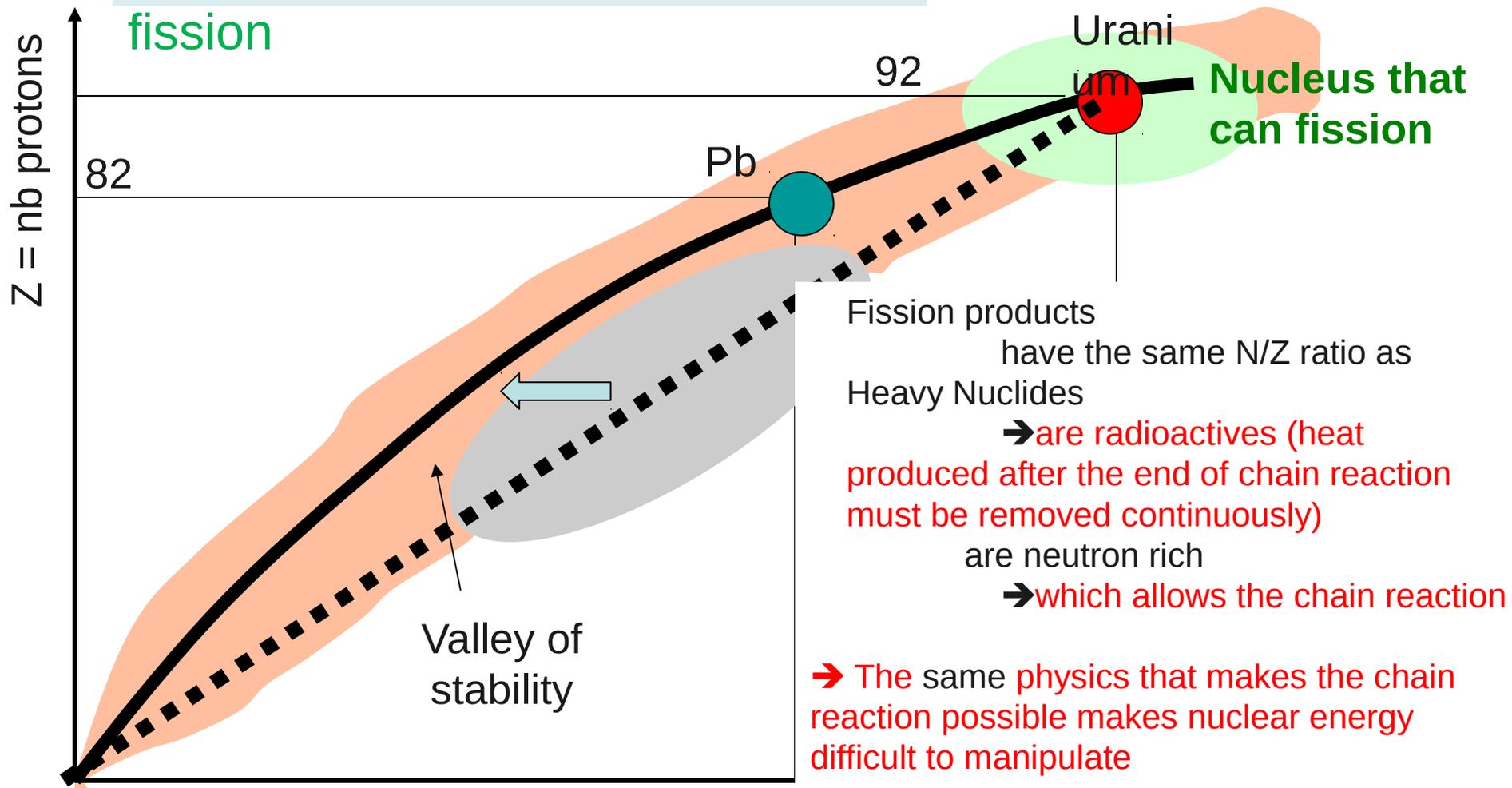
= New fissions induced by each

fission

Nuclear reactors are a smart assembly of coolant and fuel with a perfect balance of neutron absorbant materials and fissile materials (= a good « enrichment »)

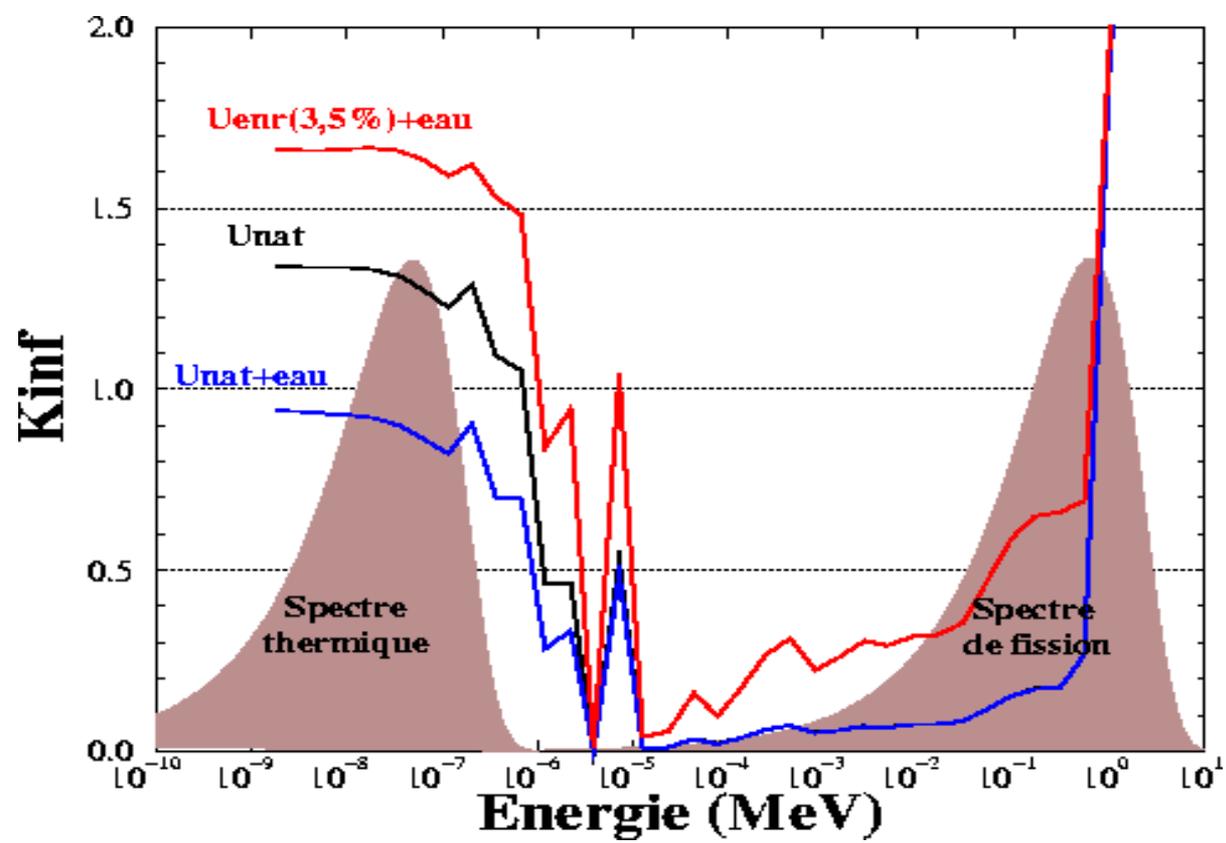
Some consequences of nuclear physics

Mass number is conserved in fission



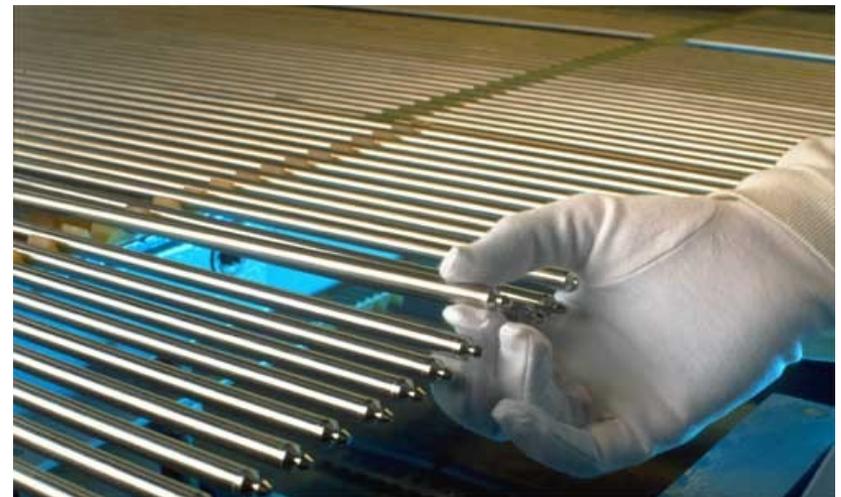
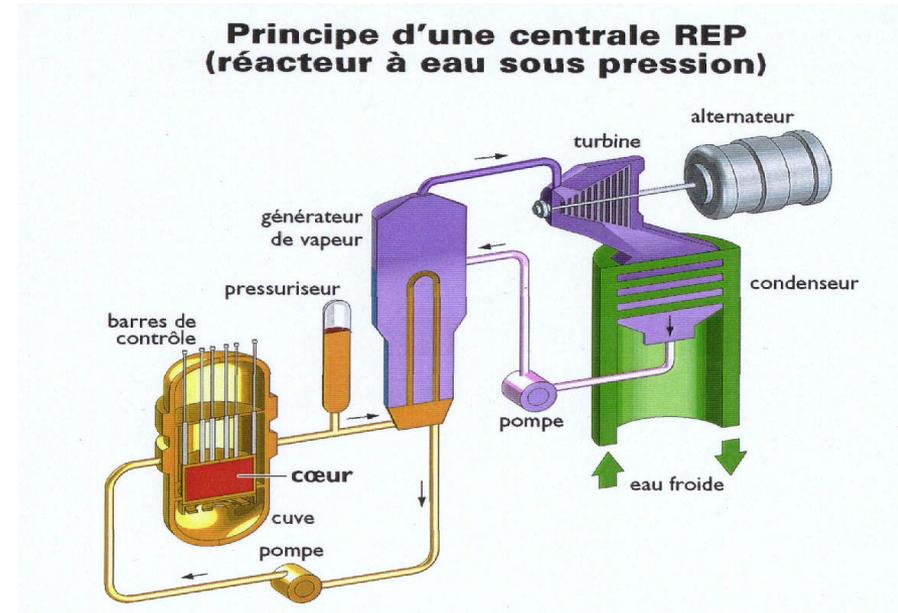
Le facteur de multiplication

$$k = \frac{\text{neutrons produits}}{\text{neutrons absorbés}} = \frac{\nu \text{ NU-235 } \sigma_{\text{fission}} \phi}{\text{NU-238 } \sigma_{\text{capture}} \phi + \text{NU-235 } (\sigma_{\text{fission}} + \sigma_{\text{capture}}) \phi}$$



Comment ça marche ??

- Réacteur pas cher ==
Réacteur compact ==
petite cocotte minute
+ inventaire de
matière nucléaire
faible
- ⇒ Densité de puissance
élevée
- ⇒ Extraction de chaleur
d'un gros massif
d'uranium ???
- ⇒ Petits « crayons »
entourés d'un
caloporteur efficace



Nuclear Reactor Safety : « in-depth defense »

To protect the **environnement** from radioactivity dangers you need to:

put barriers (at least 3) between radioactivity and the environnement (ex : fuel cladding, primary circuit, reactor building)

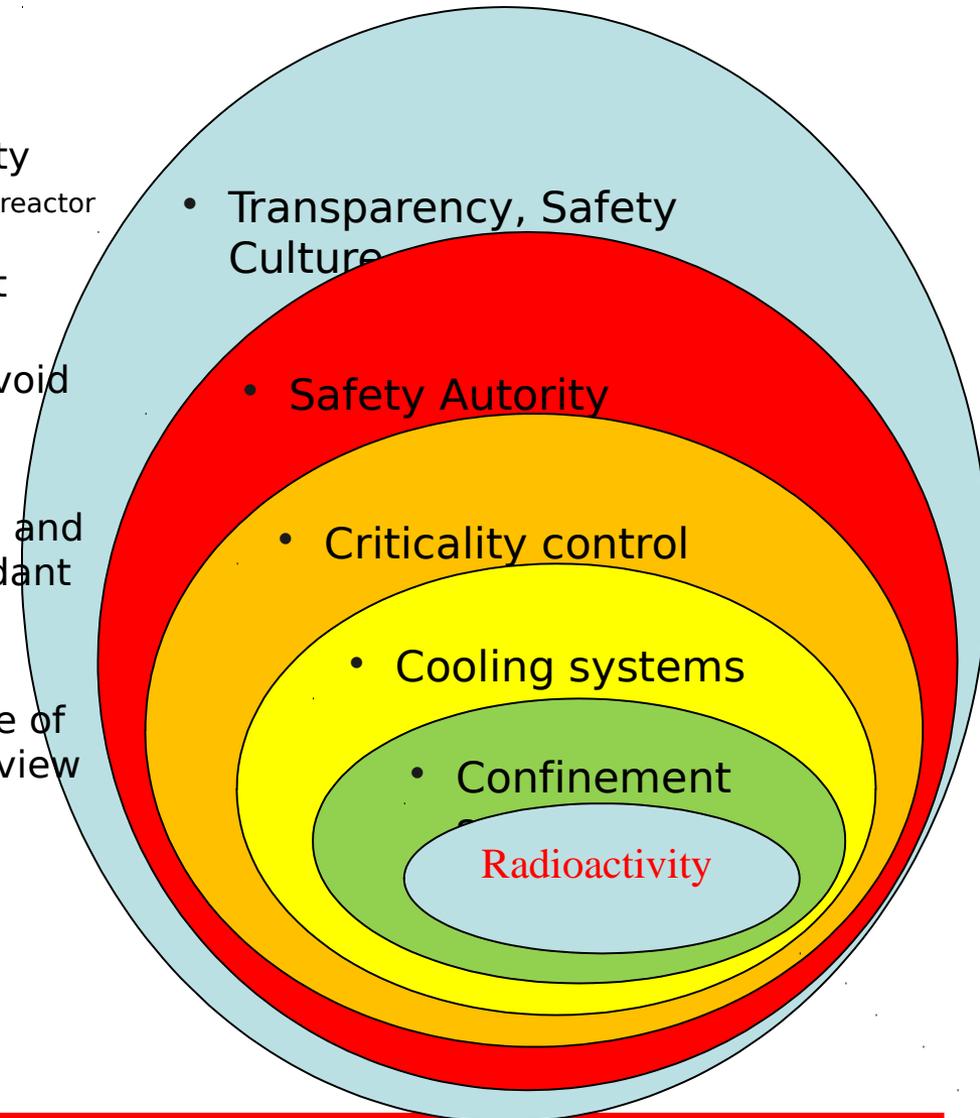
extract decay heat at all time (with different systems)

control reactivity to forbid chain reaction (avoid unstable reactor design, control rods, boron...)

You need to **control the operators** with strict laws and have them applied by a **safety authority**, independant from the industry interests if possible

You can improve the safety and social acceptance of nuclear energy by authorising local citizens to review the safety reviews : **transparence**.

Globally, you have to encourage the sharing of a « **safety culture** »



International Nuclear Event Scale

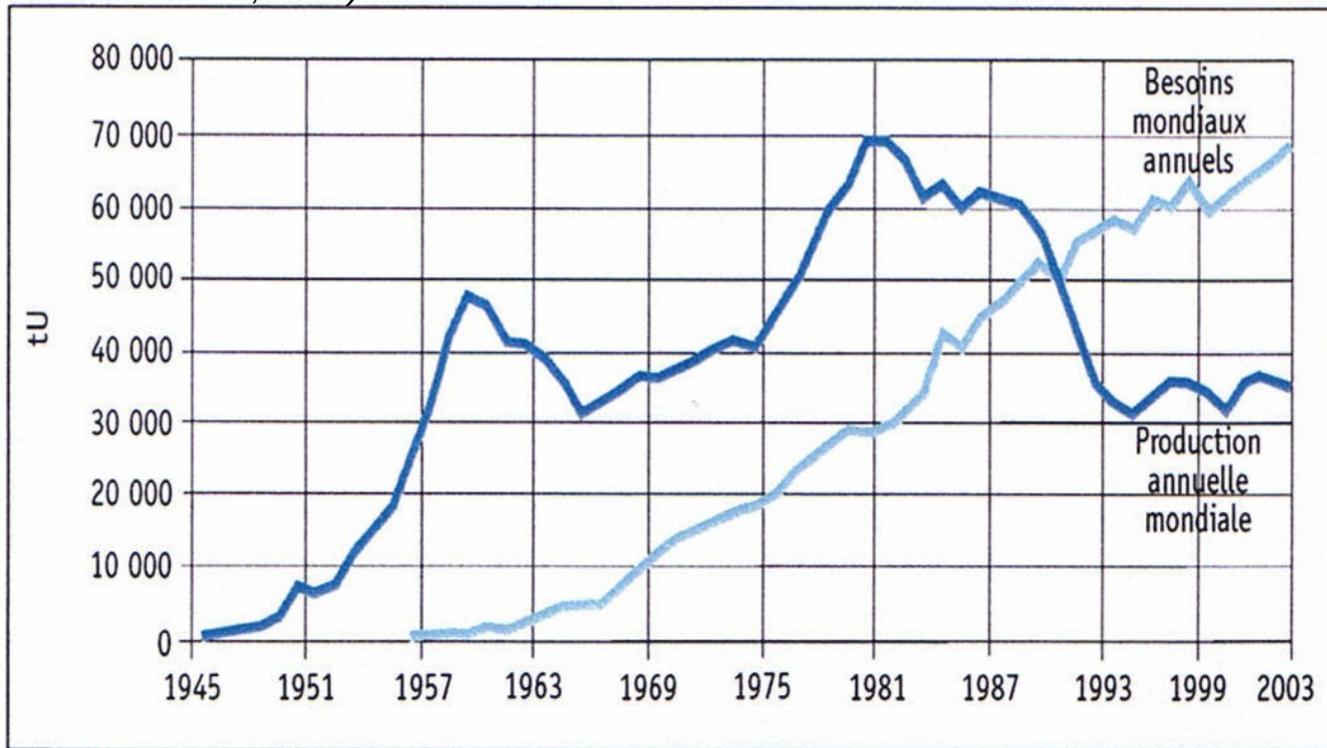
	Conséquences à l'extérieur du site	Conséquences à l'intérieur du site	Dégradation de la défense en profondeur
7 Accident majeur	Rejet majeur : effets étendus sur la santé et l'environnement		
6 Accident grave	Rejet important susceptible d'exiger l'application intégrale des contre-mesures prévues		
5 Accident	Rejet limité susceptible d'exiger l'application partielle des contre-mesures prévues	Endommagement grave du cœur du réacteur / des barrières radiologiques	
4 Accident	Rejet mineur : exposition du public de l'ordre des limites prescrites	Endommagement important du cœur du réacteur / des barrières radiologiques / exposition mortelle d'un travailleur	
3 Incident grave	Très faible rejet : exposition du public représentant une fraction des limites prescrites	Contamination grave/effets aigus sur la santé d'un travailleur	Accident évité de peu/perte des barrières
2 Incident		Contamination importante / surexposition d'un travailleur	Incidents assortis de défaillances importantes des dispositions de sécurité
1 Anomalie			Anomalie sortant du régime de fonctionnement autorisé
0 Ecart		Aucune importance du point de vue de la sûreté	
Événements hors échelle		Aucune pertinence du point de vue de la sûreté	

Ressources et marché de l'Uranium

La demande est supérieure à la production des mines :

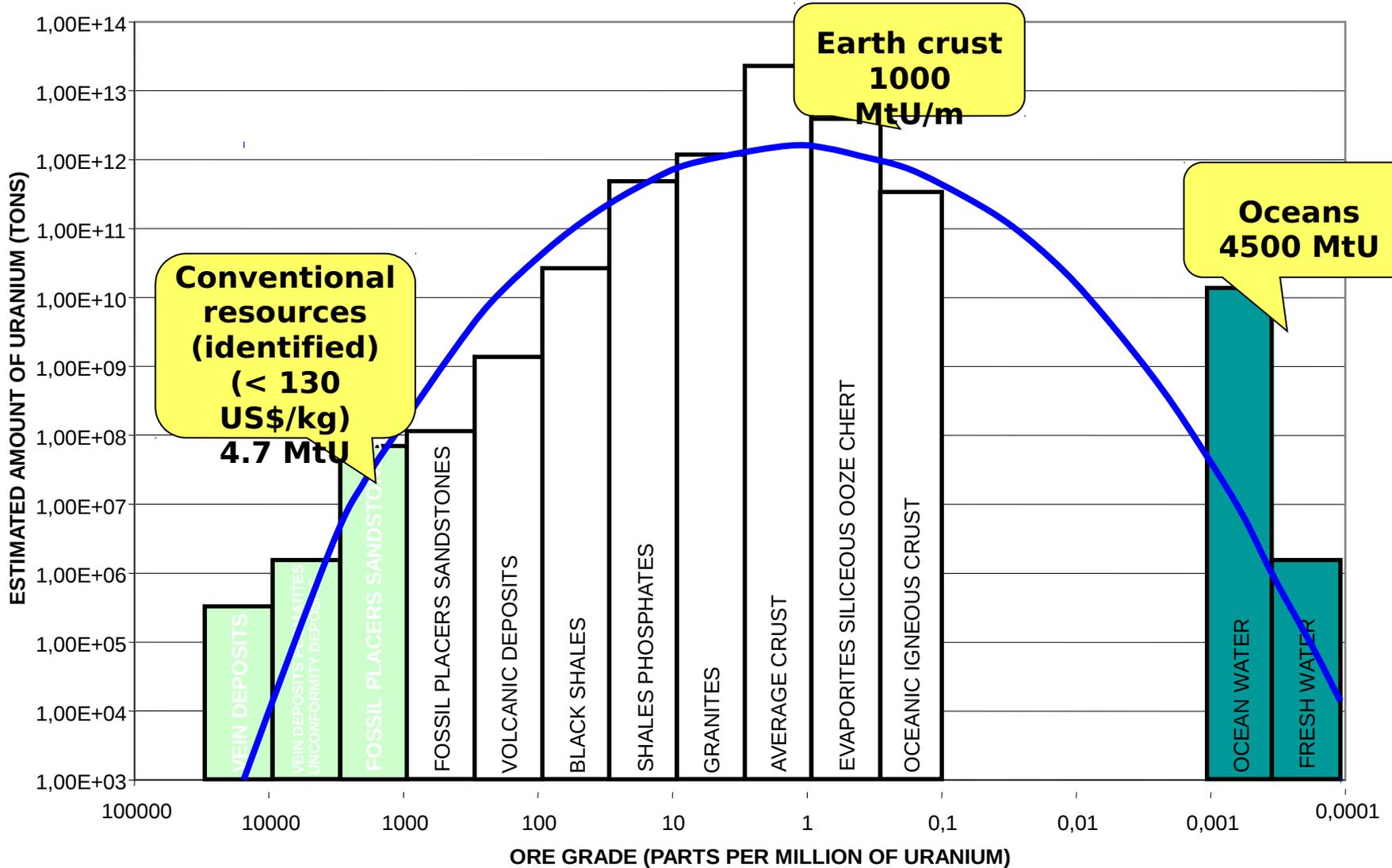
→ *Le complément vient de ressources secondaires : déstockages militaires, recyclage du plutonium et de l'uranium*

(source OCDE/AEN, 2006)



Au rythme actuel de croissance de la consommation, les réserves actuelles seraient engagées dès 2050

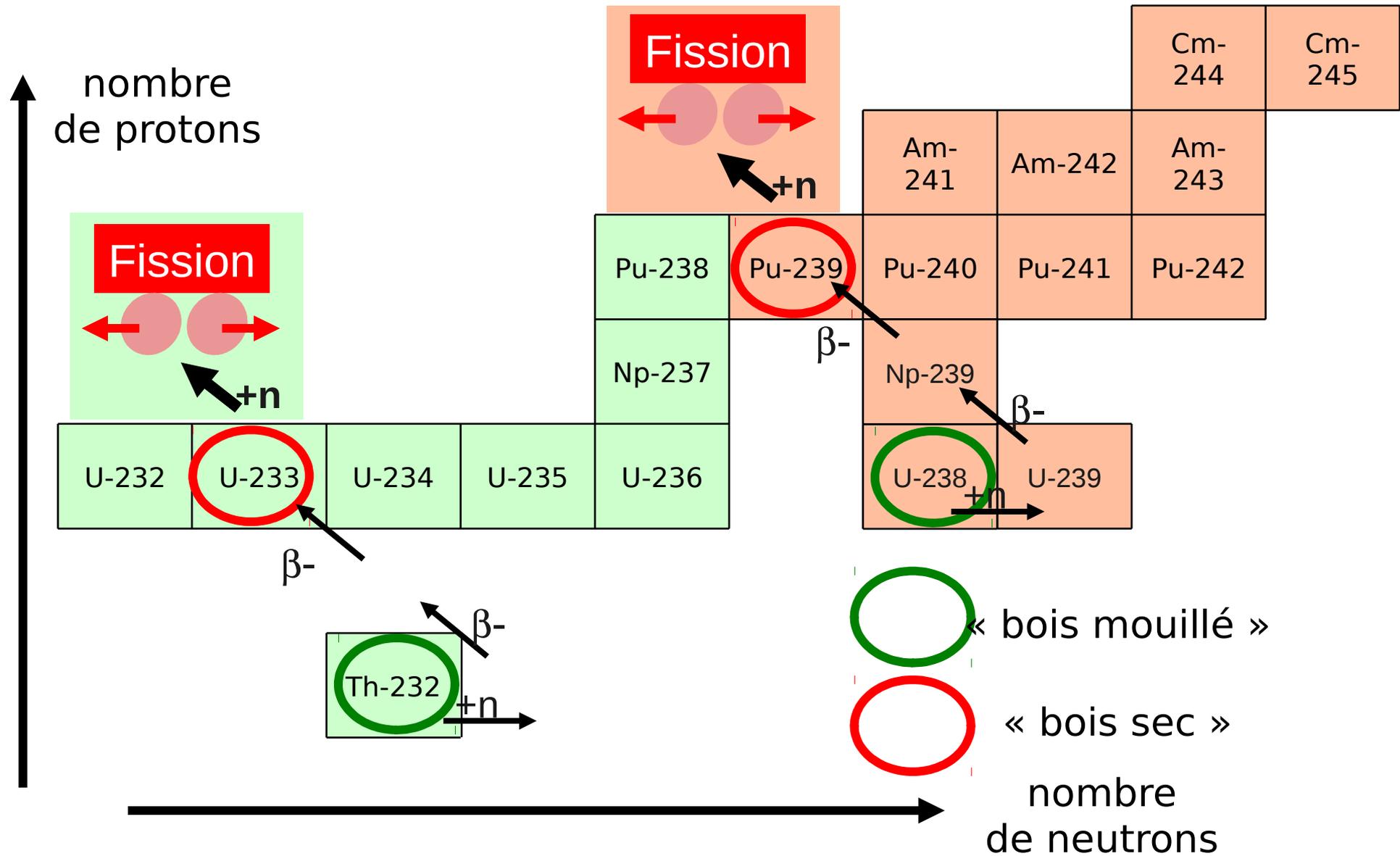
URANIUM RESSOURCES



Il y aura toujours de l'uranium. A quel

prix ?

Comparaison des cycles uranium et thorium : formation des déchets



La régénération

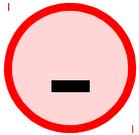
La régénération a besoin de neutrons

Pour une fission



ν neutrons sont produits

1 neutron induit la fission



α neutrons capturés = $\sigma_{\text{cap}} / \sigma_{\text{fis}}$ du noyau fissile

$1 + \alpha$ neutrons capturés sur le fertile pour régénérer le fissile

$$\begin{aligned} \nu - 2(1 + \alpha) > 0 &\Rightarrow \text{régénération possible} \\ < 0 &\Rightarrow \text{régénération impossible} \end{aligned}$$

$$\nu \text{ et } \alpha = \frac{\sigma_{\text{capture fissile}}}{\sigma_{\text{fission fissile}}}$$

□ Caractéristiques du noyau fissile uniquement

La régénération

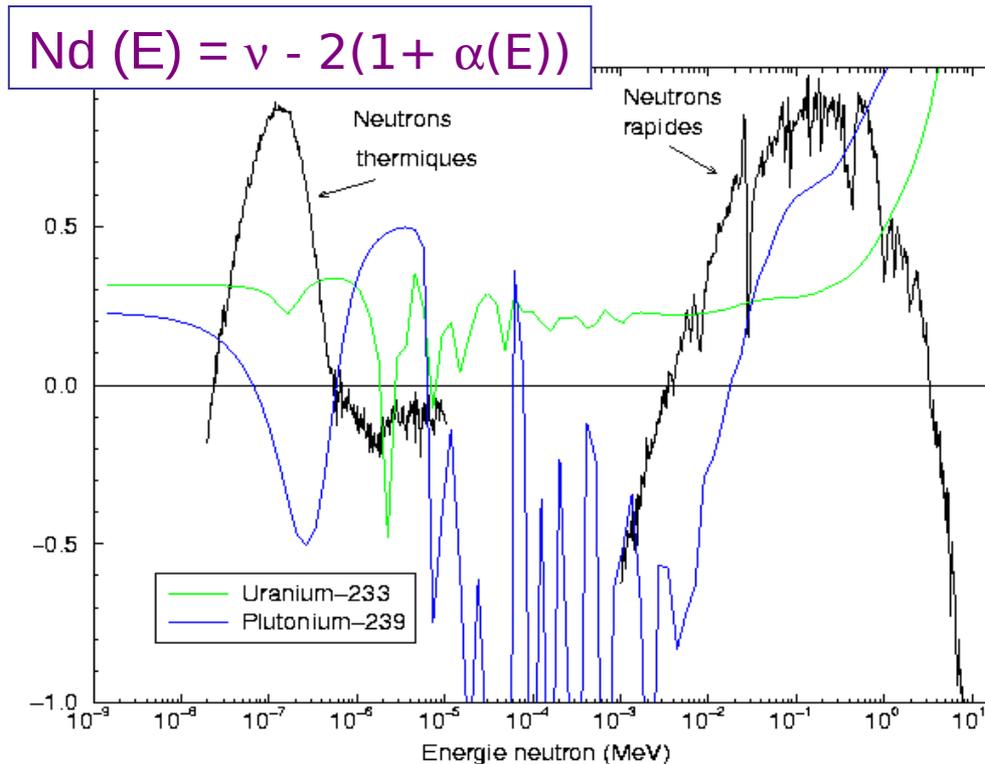
Cycle Uranium $^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} (2j) \rightarrow ^{239}\text{Pu}$

Cycle Thorium $^{232}\text{Th} + n \rightarrow ^{233}\text{Th} \rightarrow ^{233}\text{Pa} (27j) \rightarrow ^{233}\text{U}$

Spectre
thermique

Th/U Nd > 0

U/Pu Nd < 0



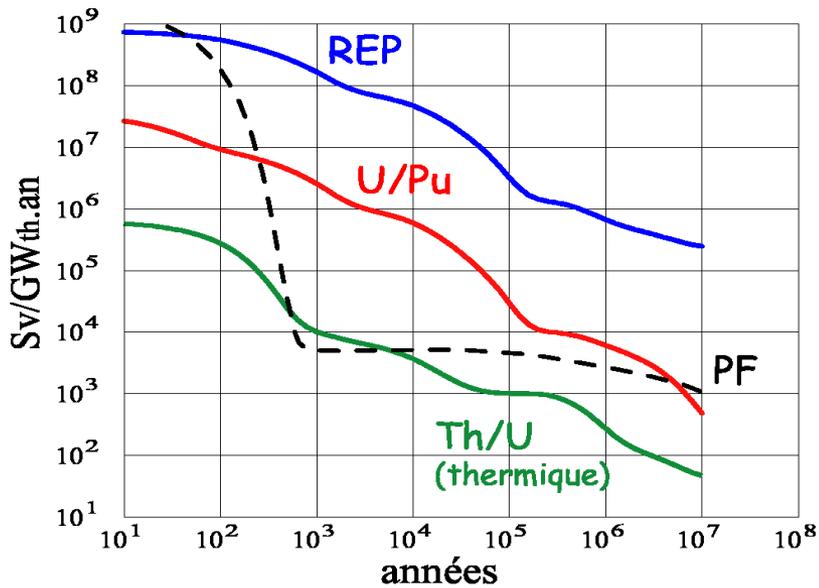
Spectre
rapide

Th/U Nd > 0

U/Pu Nd > 0

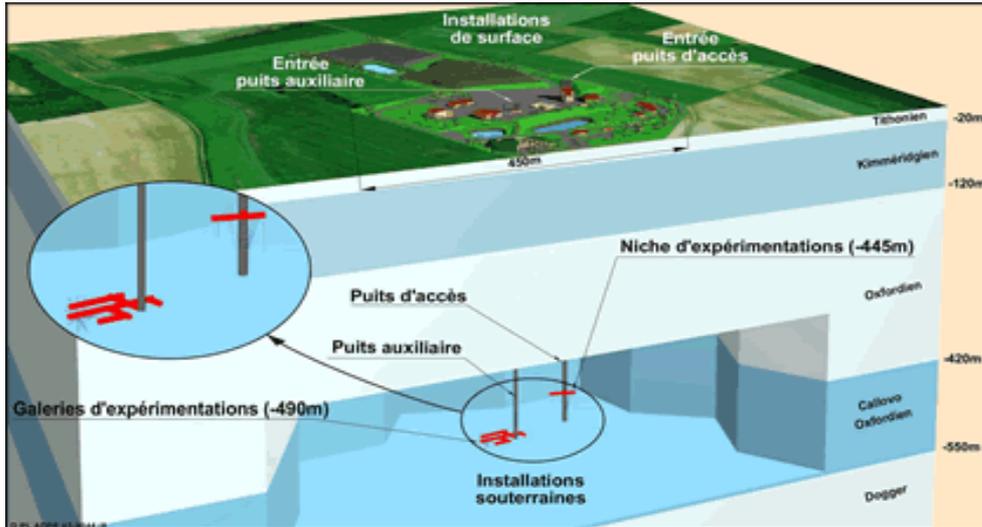
Devenir des déchets (France : 250m³/an)

radiotoxicité $R(t)$ des rejets d'actinides à l'équilibre



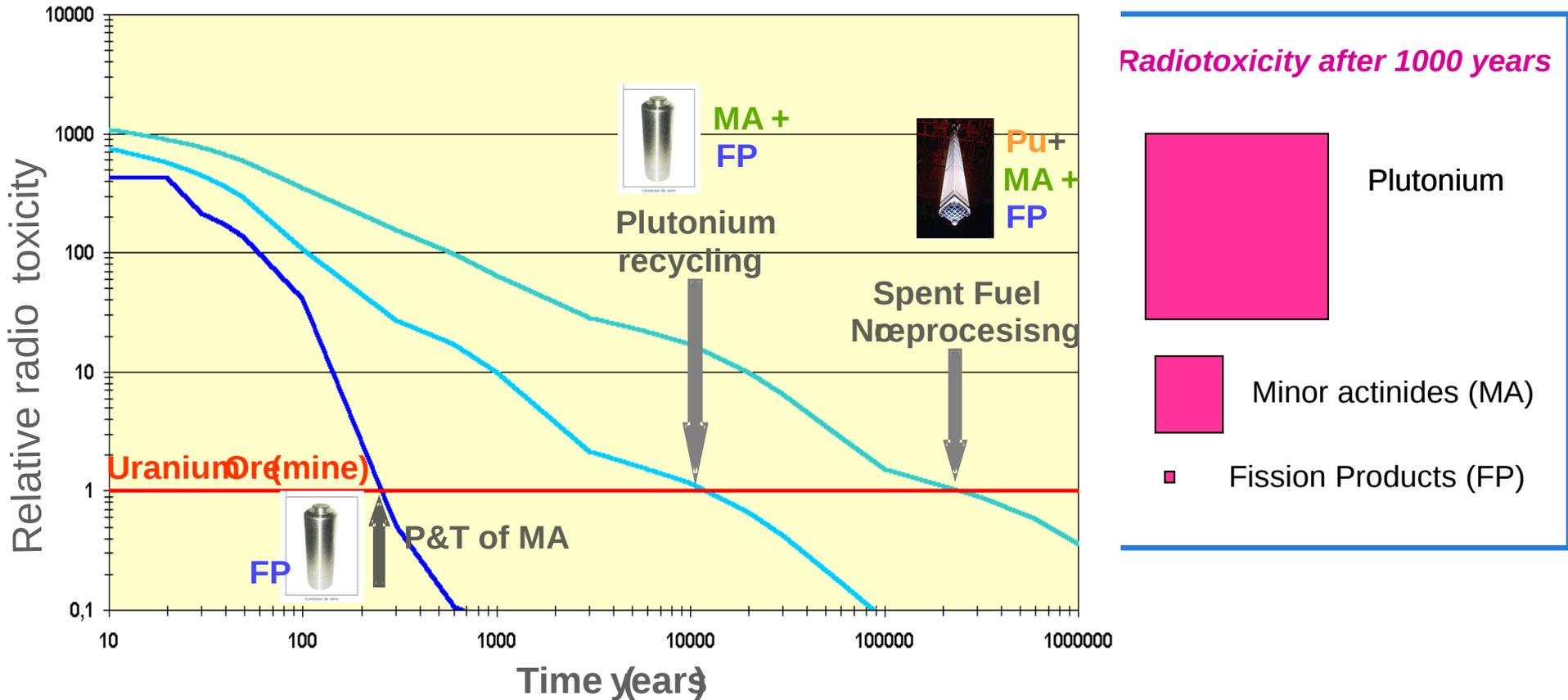
• La Loi Bataille (30/12/1991) définissait 3 axes de recherches pour 15 ans :

- Axe 1 : « Séparation/Transmutation »
- Axe 2 : « Stockage géologique profond »
- Axe 3: « Entreposage longue durée de surface »



Réduction des déchets par recyclage des actinides

- La radiotoxicité à long terme est dominée par le Plutonium
- Ce plutonium est majoritairement FISSILE et donc « facilement » réutilisable



Cadre réglementaire

- **LOI no 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire**
 - **Création de l'ASN**
 - **Création des Commissions Locales d'Information**
- **Loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs**
 - **3 axes de recherche « complémentaires »**
 - **ANDRA (dont financement=taxe)**
 - **Financement du démantèlement**

Loi Transparence et Sureté Nucléaire (TSN)

Article 2.II

En application du principe de participation et du principe pollueur-payeur, les personnes exerçant des activités nucléaires doivent en particulier respecter les règles suivantes :

1 Toute personne a le droit, dans les conditions définies par la présente loi et les décrets pris pour son application, d'être informée sur les risques liés aux activités nucléaires et leur impact sur la santé et la sécurité des personnes ainsi que sur l'environnement, et sur les rejets d'effluents des installations ;

2 Les responsables de ces activités supportent le coût des mesures de prévention, et notamment d'analyses, ainsi que des mesures de réduction des risques et des rejets d'effluents que prescrit l'autorité administrative en application de la présente loi.

Article 22. II

II. - **La commission locale d'information comprend** des représentants des conseils généraux, des conseils municipaux ou des assemblées délibérantes des groupements de communes et des conseils régionaux intéressés, des membres du Parlement élus dans le département, **des représentants d'associations de protection de l'environnement**, des intérêts économiques et d'organisations syndicales de salariés représentatives et des professions médicales, ainsi que des personnalités qualifiées.