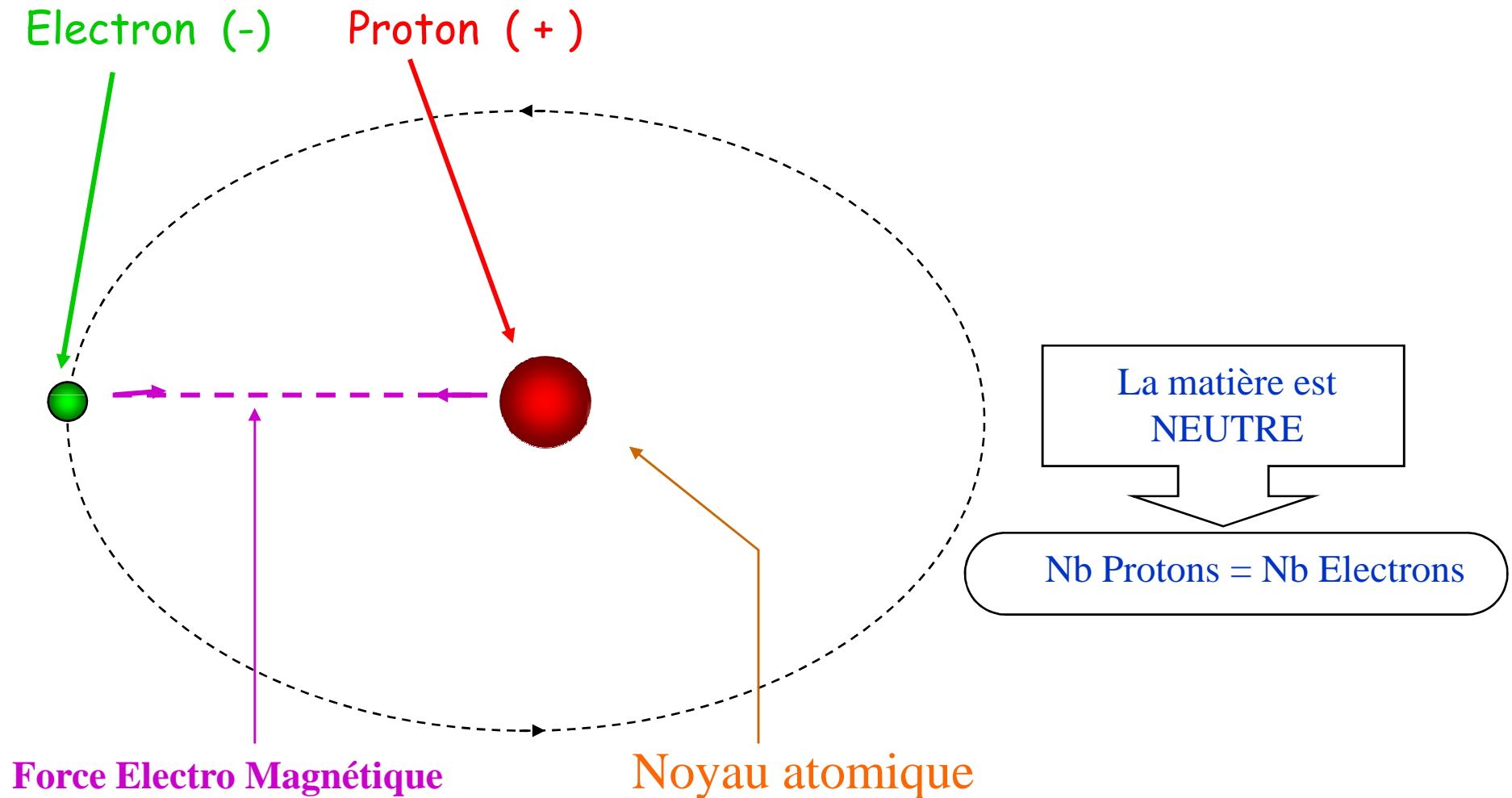


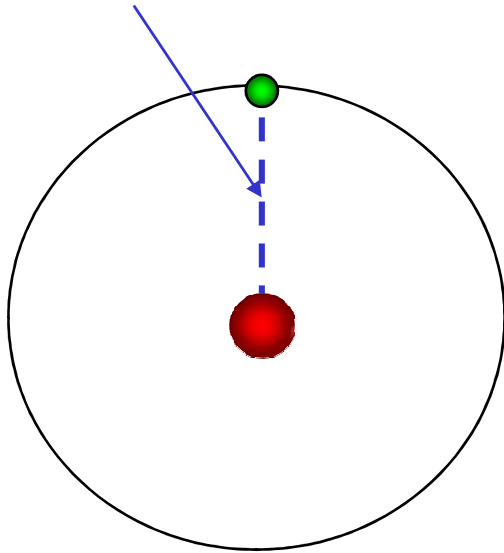
Quels traitements pour les déchets nucléaires ?

L'atome (Hydrogène)



Un élément : Hydrogène

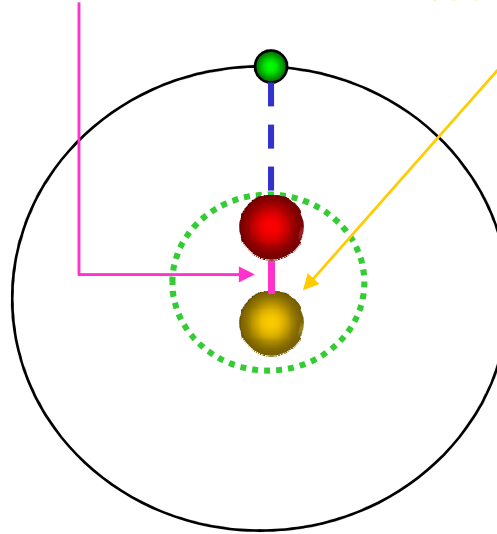
Force électromagnétique



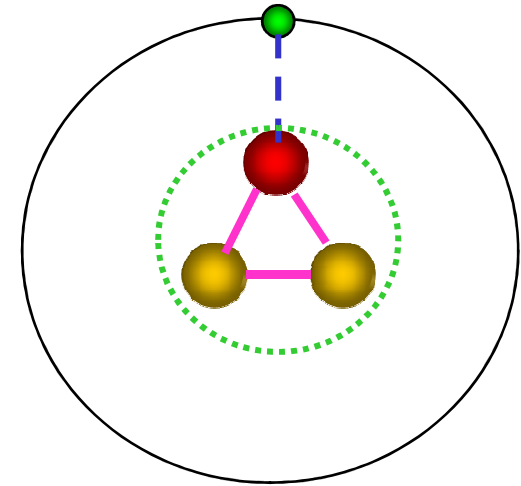
${}^1_1\text{H}$

Force nucléaire

Neutron (Q = 0)



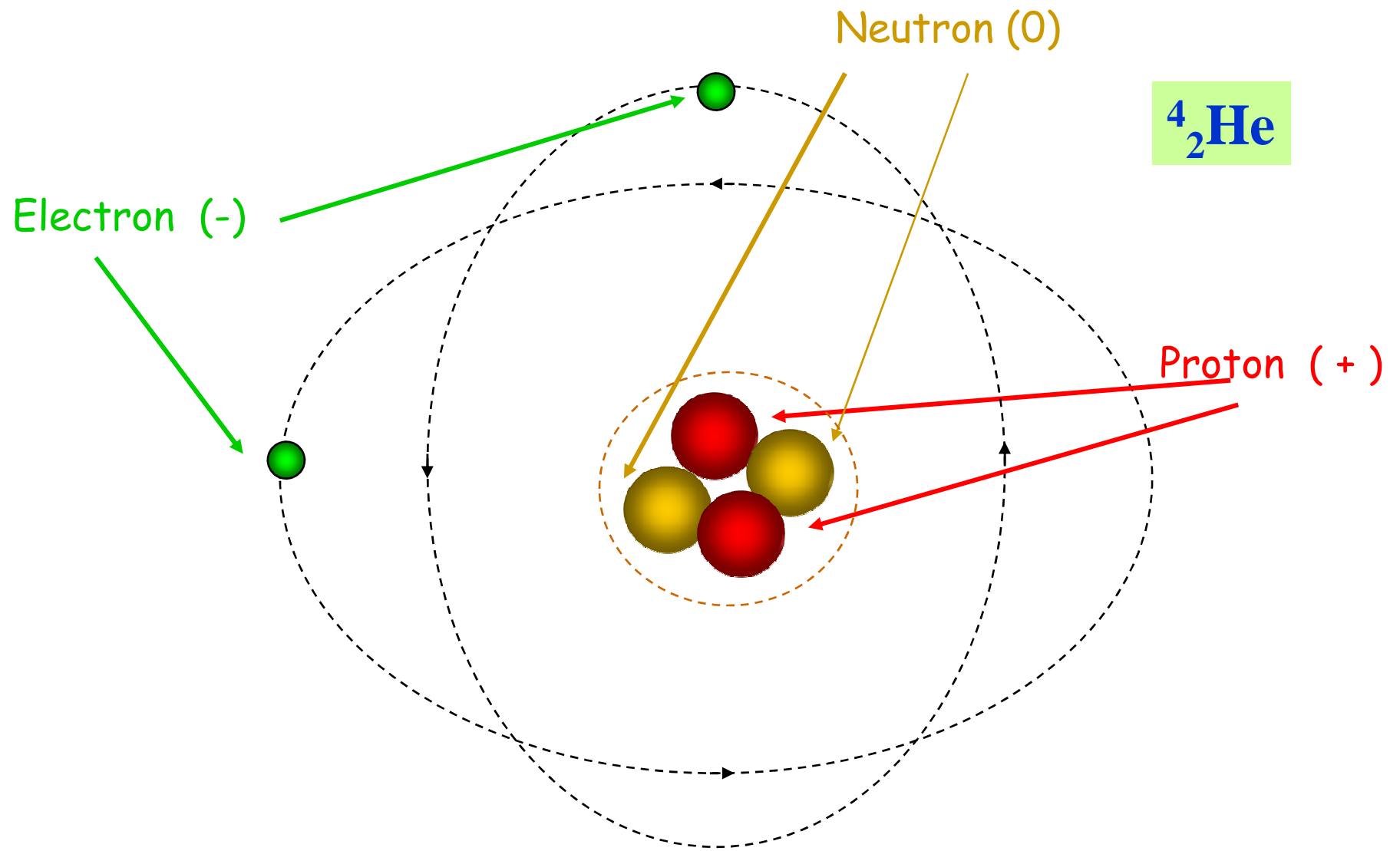
${}^2_1\text{H}$



${}^3_1\text{H}$

Trois isotopes

L'atome (Helium) → 2 protons



92 éléments chimiques « naturels »

1	1 H 1.0079	2											13	14	15	16	17	2 He 4.0026
2	3 Li 6.941	4 Be 9.0122											5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180
3	11 Na 22.990	12 Mg 24.305	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
4	19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80
5	37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
6	55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57-71 La-Lu	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 Ac-Lr	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (277)	109 Mt (268)	110 Uun (281)	111 Uuu (272)	112 Uub (285)	114 Uuq (289)					

Protons



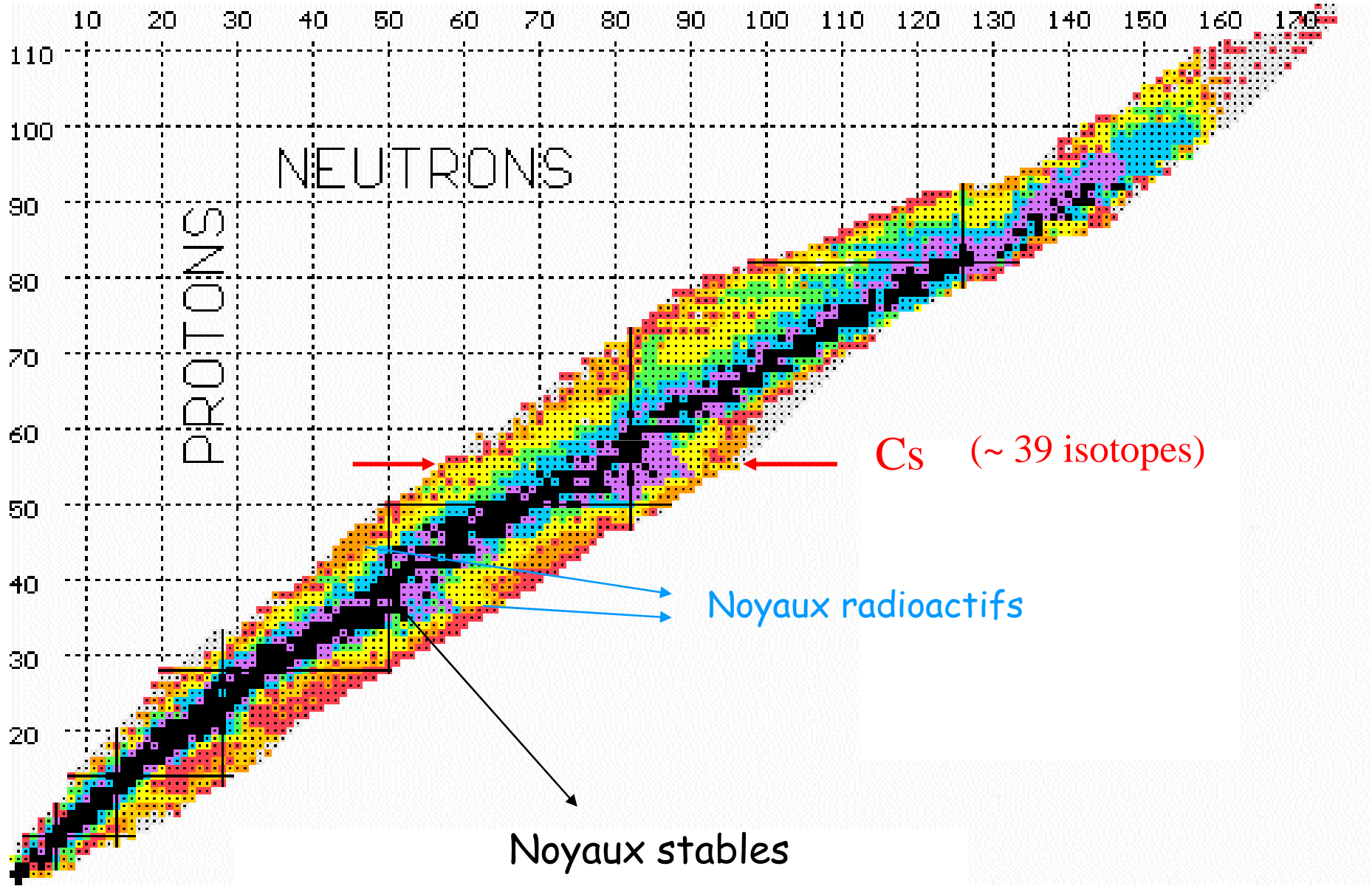
Lanthanides	57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
-------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Actinides	89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)
-----------	-------------------	--------------------	--------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Des milliers d'isotopes (~ 3500)

P	N		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	H	^1_1H	^2_1H	^3_1H									
2	He		^3_2He	^4_2He	^5_2He	^6_2He		^8_2He					
3	Li			^5_3Li	^6_3Li	^7_3Li	^8_3Li	^9_3Li		$^{11}_3\text{Li}$			
4	Be			^6_4Be	^7_4Be	^8_4Be	^9_4Be	$^{10}_4\text{Be}$	$^{11}_4\text{Be}$	$^{12}_4\text{Be}$		$^{14}_4\text{Be}$	
5	B				^8_5B	^9_5B	$^{10}_5\text{B}$	$^{11}_5\text{B}$	$^{12}_5\text{B}$	$^{13}_5\text{B}$	$^{14}_5\text{B}$	$^{15}_5\text{B}$	
6	C			^8_6C	^9_6C	$^{10}_6\text{C}$	$^{11}_6\text{C}$	$^{12}_6\text{C}$	$^{13}_6\text{C}$	$^{14}_6\text{C}$	$^{15}_6\text{C}$	$^{16}_6\text{C}$	$^{17}_6\text{C}$

et ainsi de suite ...

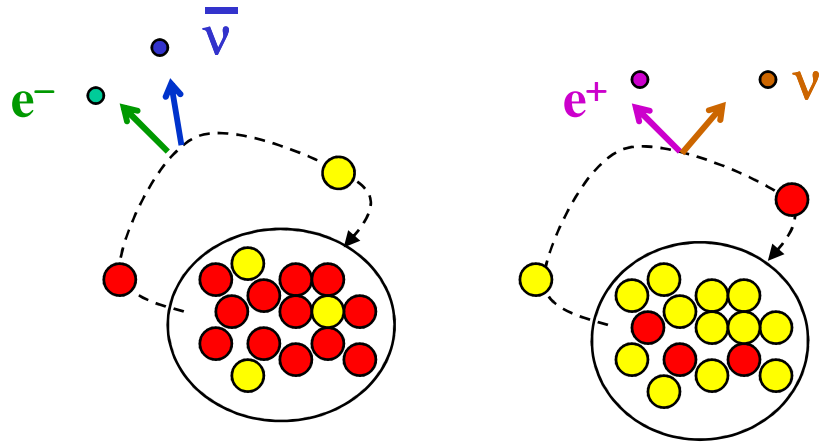


Instabilité de la matière

Trop ou trop peu de neutrons



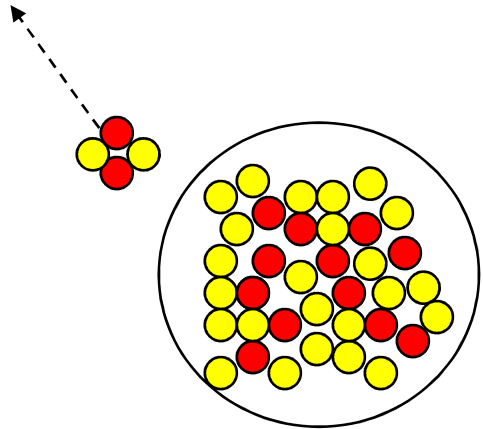
Décroissance radioactive



Noyau léger

Décroissance Bêta

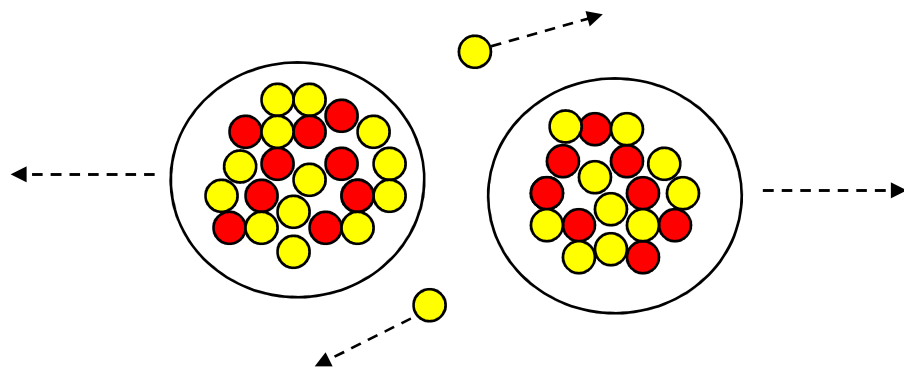
Ex: ^3H , ^{10}Be , ^{14}C



Noyau lourd

Décroissance Alpha

Ex: ^{210}Po , ^{222}Ra , ^{226}Ra ,



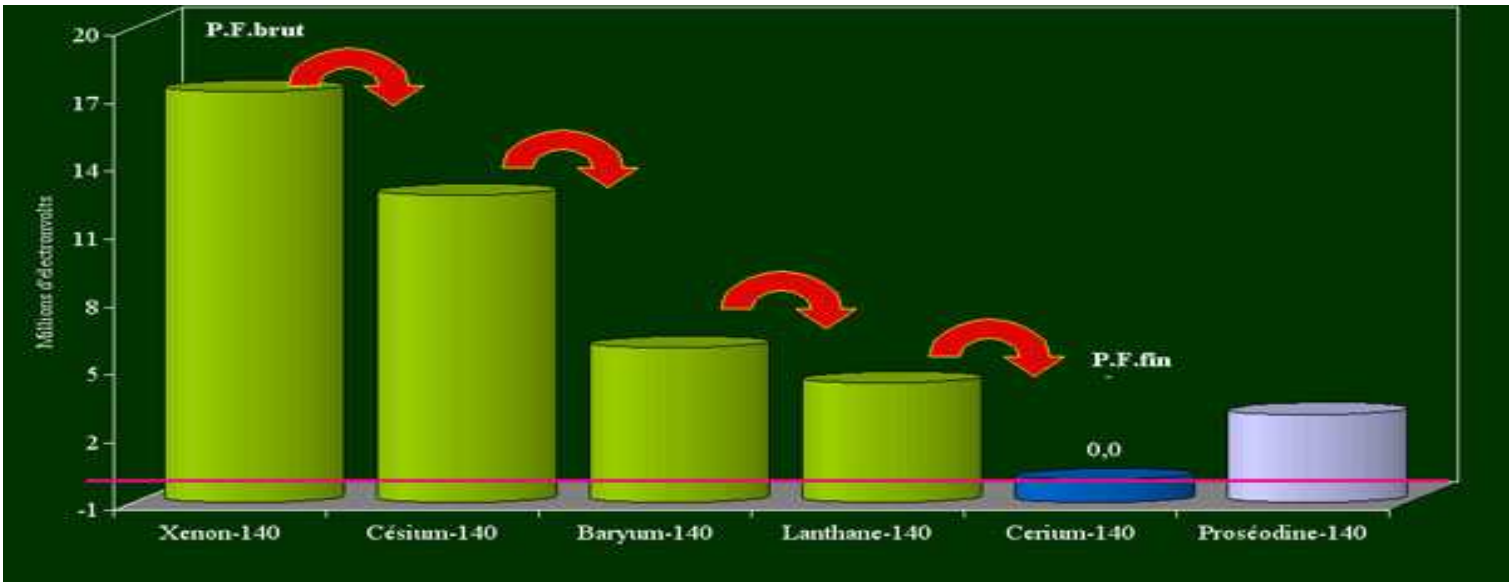
Noyau très lourd

Fission

Produits de fission

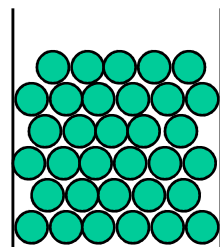


Chaîne radioactive



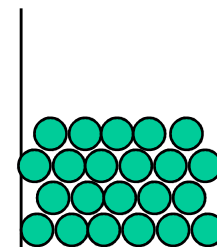
Mesure de la radioactivité

Période :



N noyaux

$t = 0$



N/2 noyaux

$t = T_{1/2}$

temps

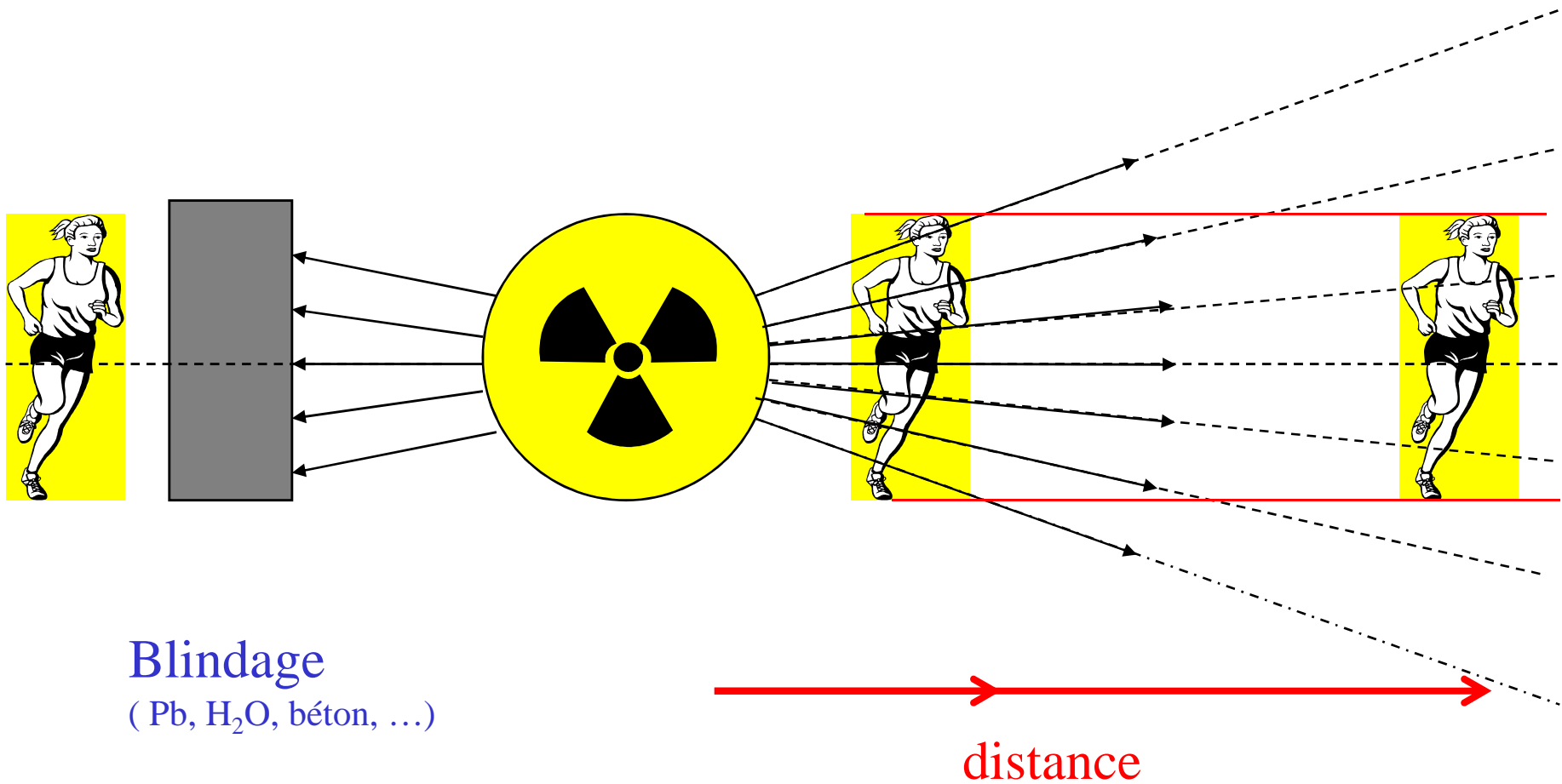
Exemples : ^{238}U : $T_{1/2} = 4.5$ Milliard d'années

^{134}Cs : $T_{1/2} = 31$ secondes

Activité : nombre de désintégrations par seconde

1 Becquerel = 1 désintégration / seconde

Comment se protéger ?



D'où viennent les déchets ?

« Toute matière contenant des radionucléides en concentration supérieure aux valeurs que les autorités compétentes considèrent comme admissibles dans les matériaux propres à une utilisation sans contrôle et pour laquelle aucun usage n'est prévu ».



Production d'électricité



Agro-alimentaire

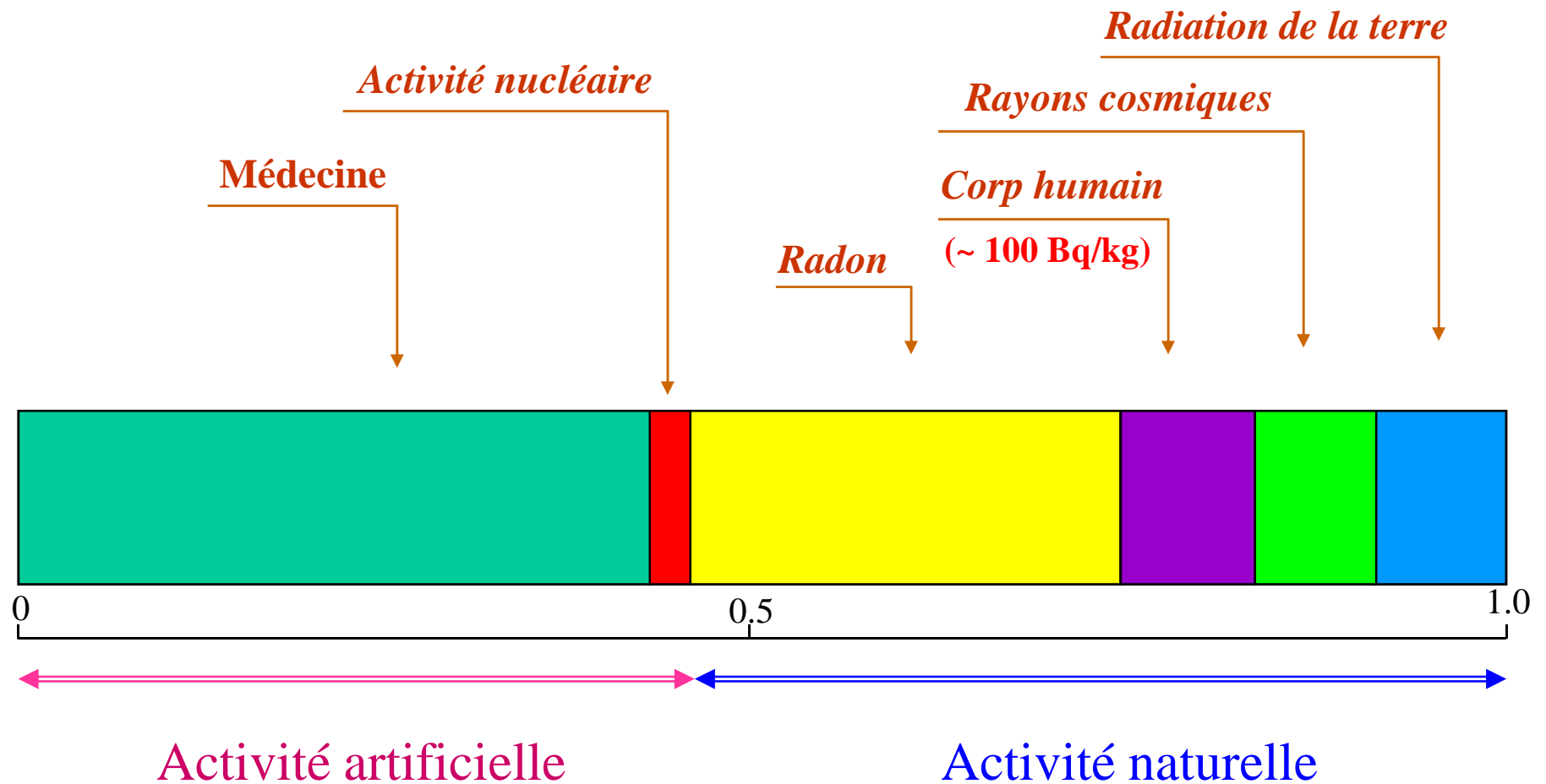


Médecine Nucléaire



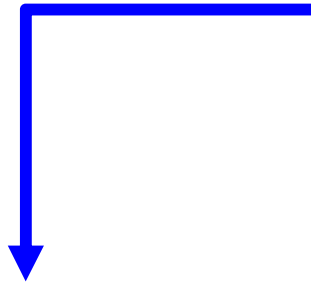
Industrie

Distribution de la radioactivité au quotidien

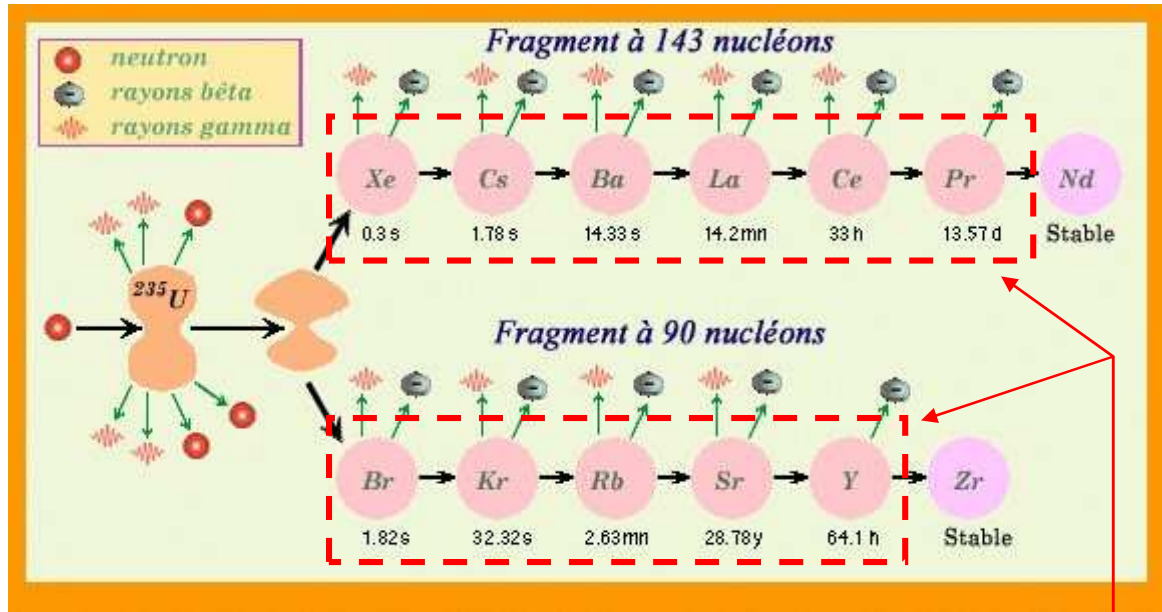


Production d'énergie

Fission



Réaction en chaîne



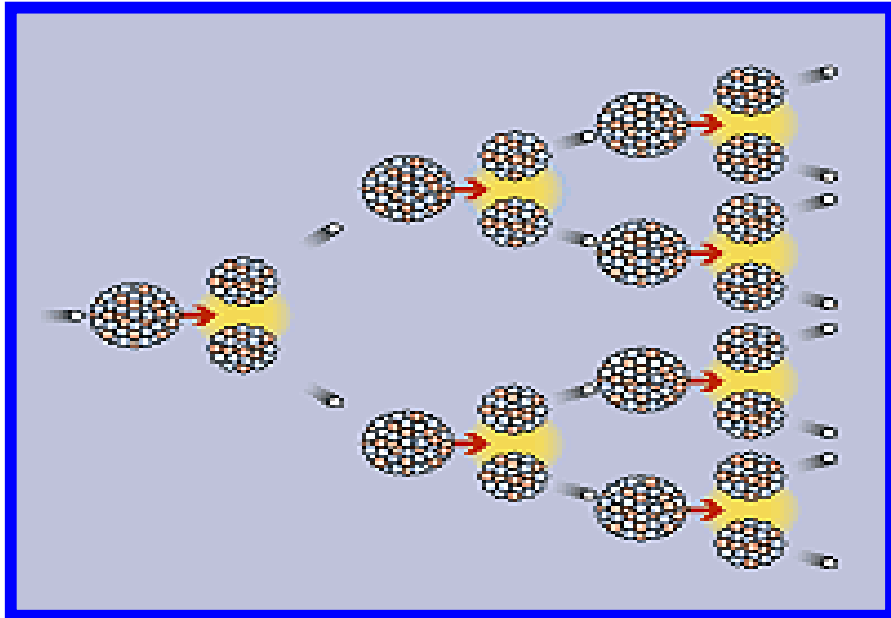
Produits de fission : déchets

Energie

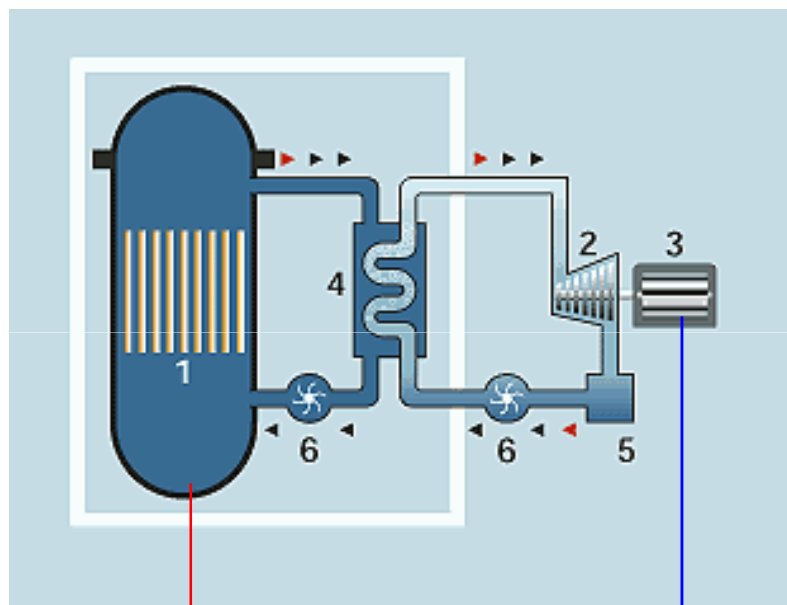
Fission 1 atome d'Uranium

=

Combustion 33 millions atomes de C



Le réacteur nucléaire



1000 Mwe

Crayon de combustible

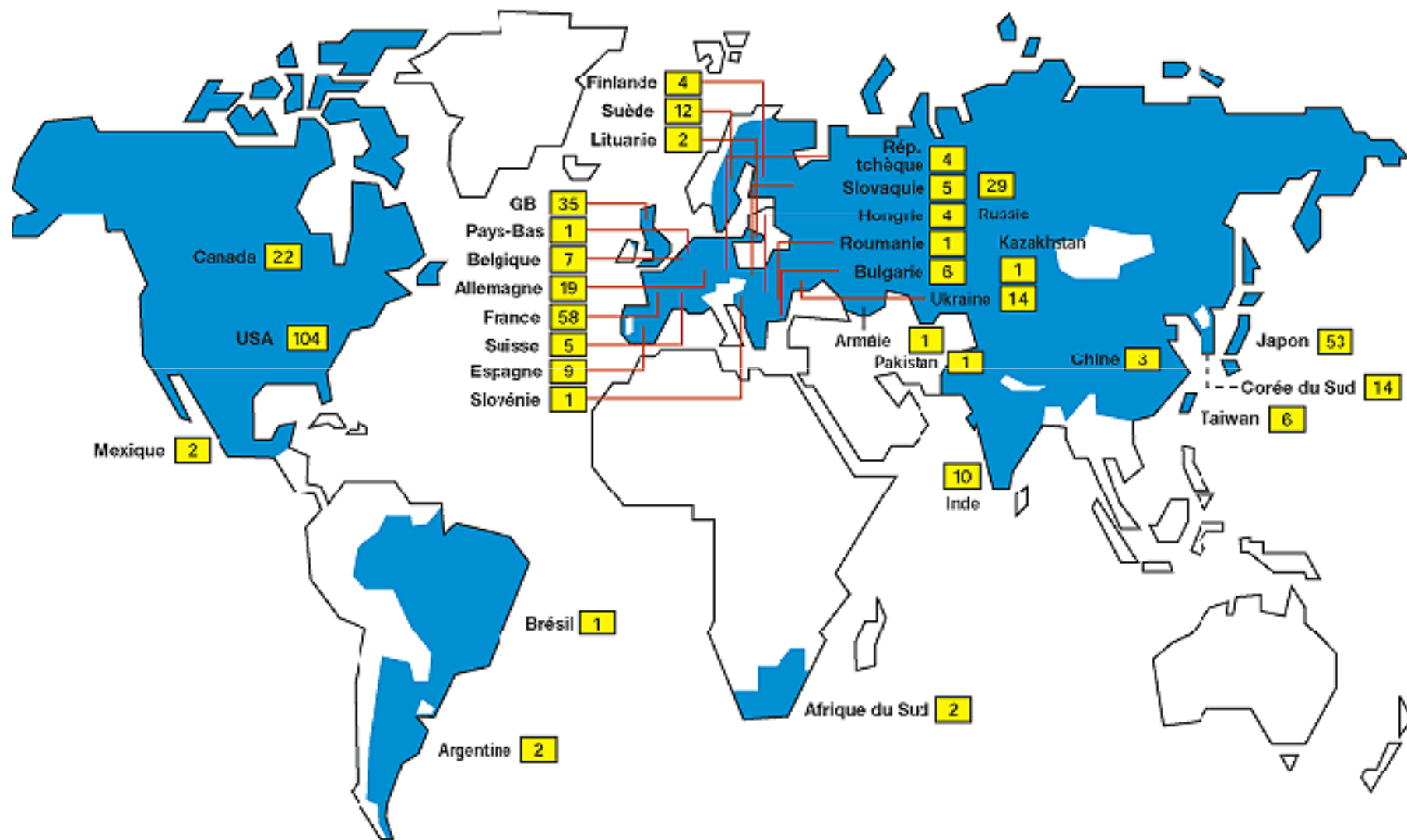
Pastilles de UO_2



Renouvellement du combustible
d'un réacteur nucléaire



Distribution des centrales nucléaires dans le monde



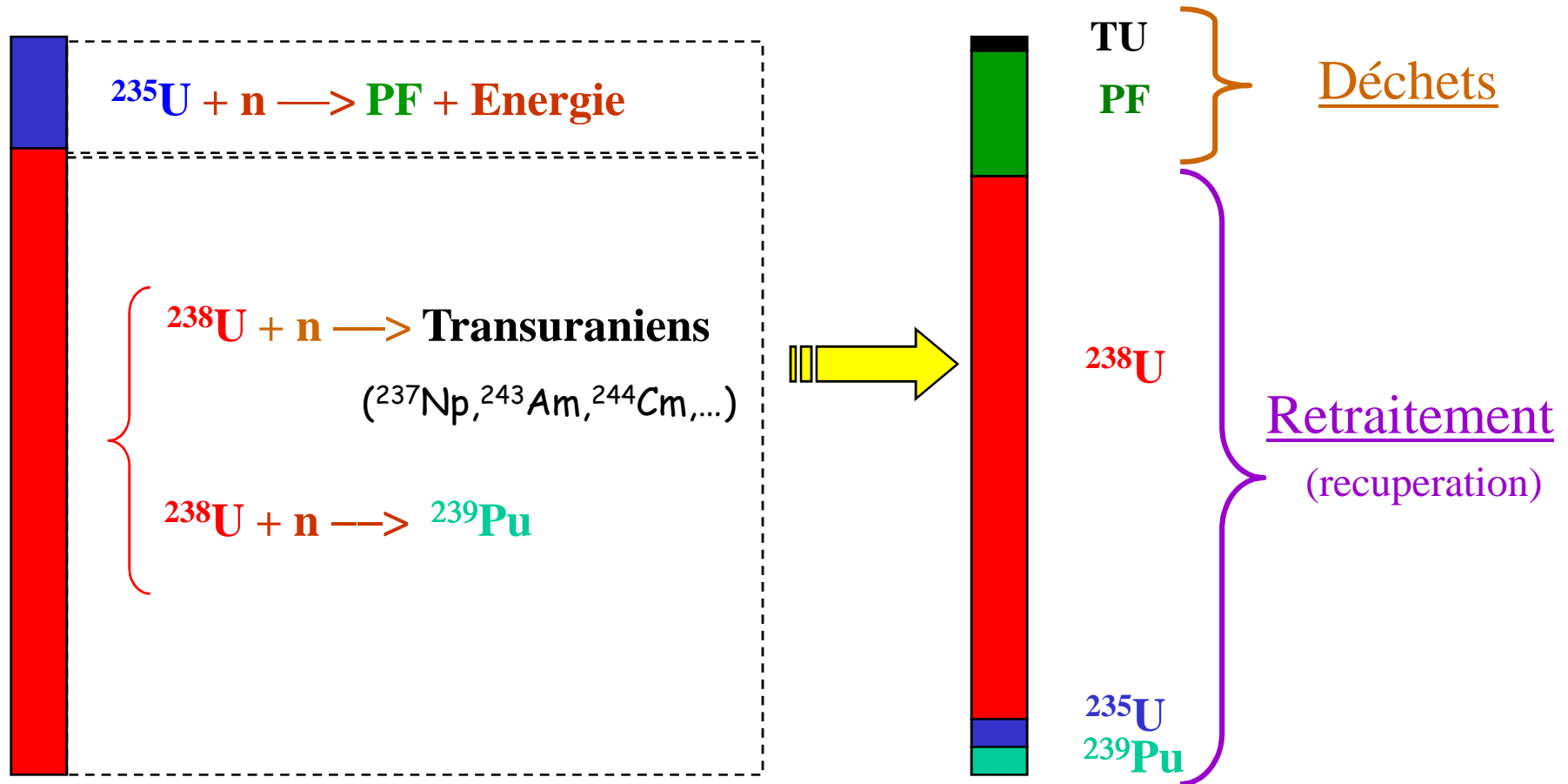
Production de déchets en centrale

Debut

^{235}U : 33 kg
 ^{238}U : 967 kg

après 3 ans

^{235}U : 8 kg
 ^{238}U : 943 kg
 ^{239}Pu : 9 kg
 Prod. Fission.: 35 kg
 Trans. U : 5 kg



Désactivation



Stockage pendant 3 ans sur site

Transport d'assemblages combustibles usés



Deux possibilités à l'heure actuelle

- Stockage direct du combustible utilisé
- Retraitement du combustible utilisé en vue du recyclage de U et de certains isotopes du Pu (La Hague)

Retraitement



La Hague





Les assemblages de combustible usé en provenance des réacteurs français sont entreposés durant 3 à 5 ans dans des grandes piscines à l'usine de la Hague, en attendant d'être retraités.

Types de déchets

TFA : Très Faible Activité (1 à 100 Bq par gramme)

ex : gravats, bétons, ferrailles, résidus chimiques...

Classe A : faible activité (quelques dizaines de milliers de Bq par cm³) et période inférieure à 30 ans

ex : blouses, gants, seringues, flacons contaminés...

Classe B : moyenne activité (quelques dizaines de milliers de Bq par cm³), longue période

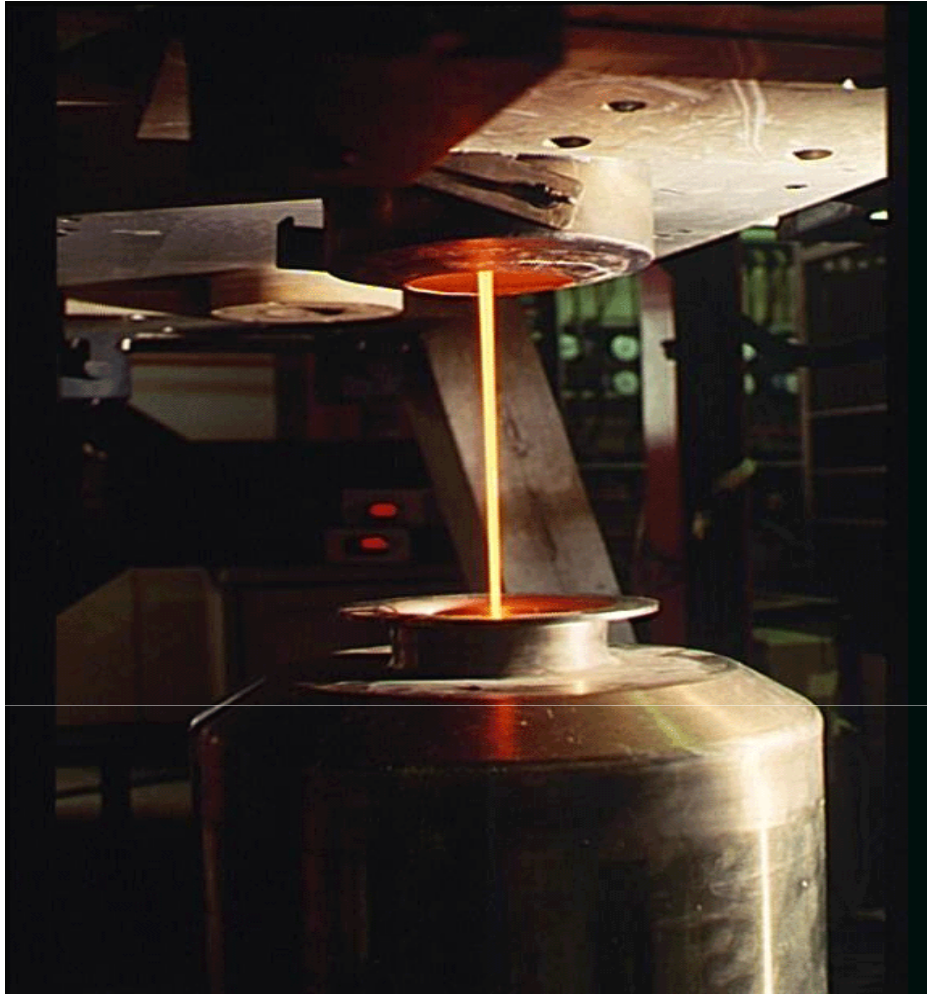
ex : résines, liquides de retraitement

Classe C : haute activité (des milliards de Bq par cm³)

ex : cendres du combustible, liquides de retraitement



Les matériaux de **structure et de gainage** sont des déchets de **moyenne activité**. Ils sont **comprimés sous haute pression** (compactés) pour leur stockage définitif.



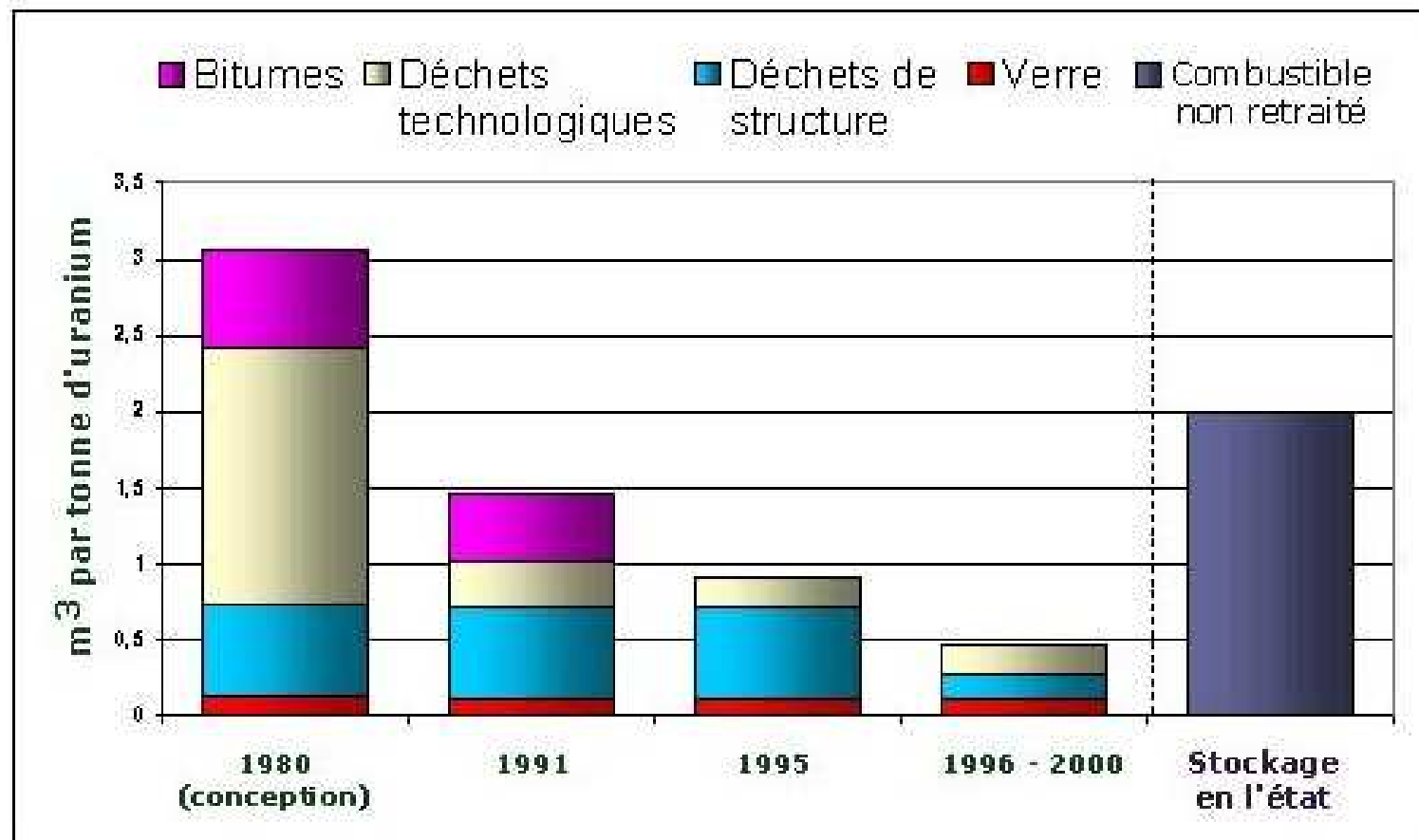
“refroidissement”



Les déchets de haute activité dissous dans l'acide nitrique sont concentrés et entreposés dans l'usine pour la poursuite de la décroissance de la radioactivité. Ils **sont ensuite asséchés, fondus à plus de 1000°C** dans un four et **incorporés dans du verre borosilicaté**. Le mélange est **coulé à l'état encore liquide dans des fûts** (coquilles) en acier inoxydable où il se fige en un bloc de verre stable.

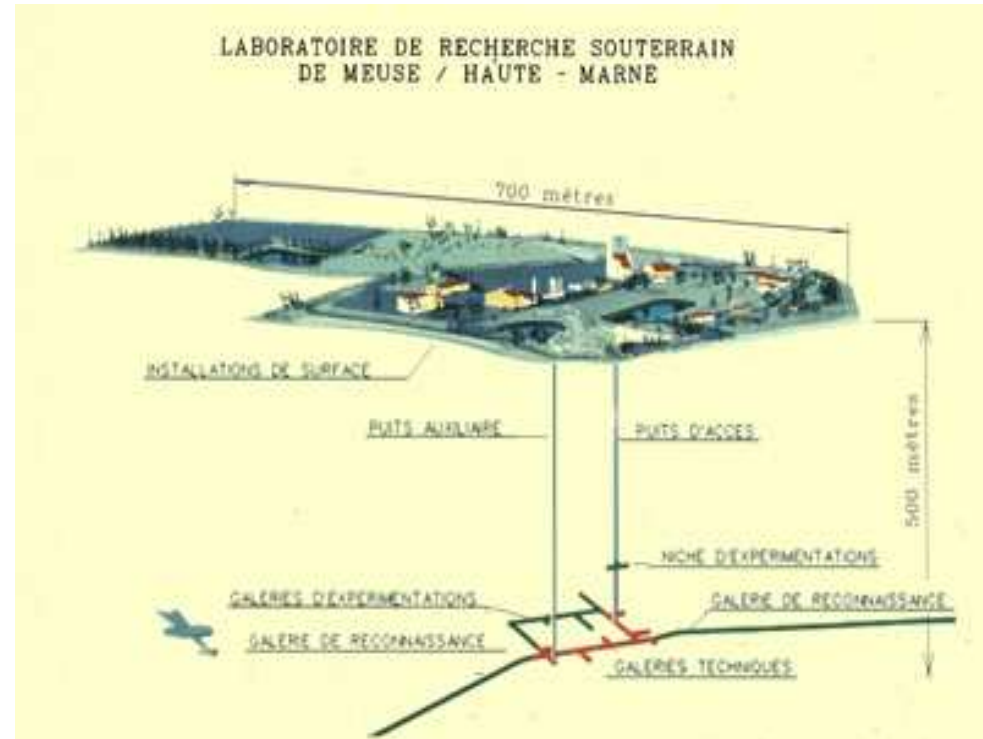
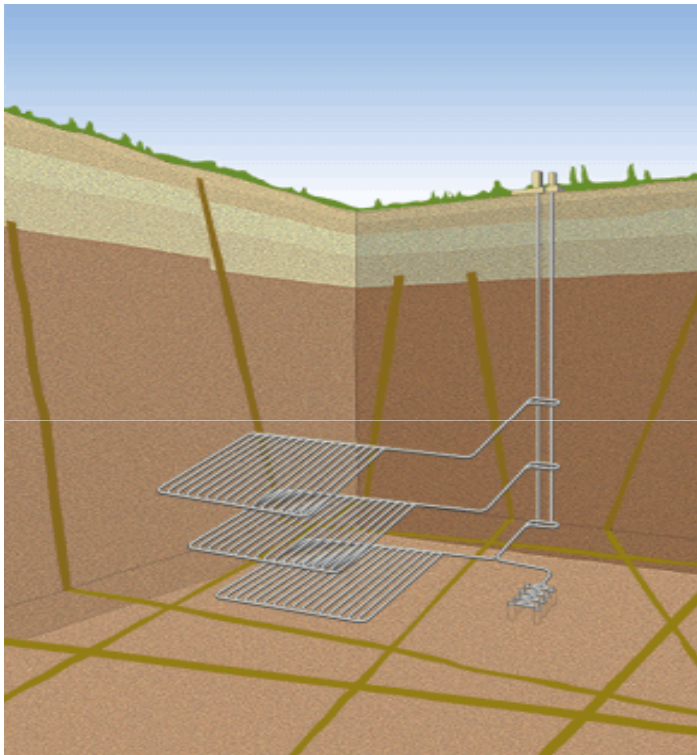
Entreposage des déchets vitrifiés





Une centrale de 100MWe produit 4 m³ de déchets vitrifiés

Entreposage définitif



Les sites envisagés pour un stockage profond et définitif sont des mines de sel, des couches argileuses, ou des zones granitiques

Pas de site de stockage définitif aujourd'hui en France

Politique Américaine ==> pas de retraitement



Entrée du tunnel de Yucca Mountain (USA) dans le Nevada. Ce site pourrait être le premier à stocker les déchets civils et militaires non retraités, quand les piscines d'entreposage des centrales américaines commenceront à être pleines vers 2010.

D'autres solutions

Réacteurs hybrides

- *combustion du ^{232}Th*



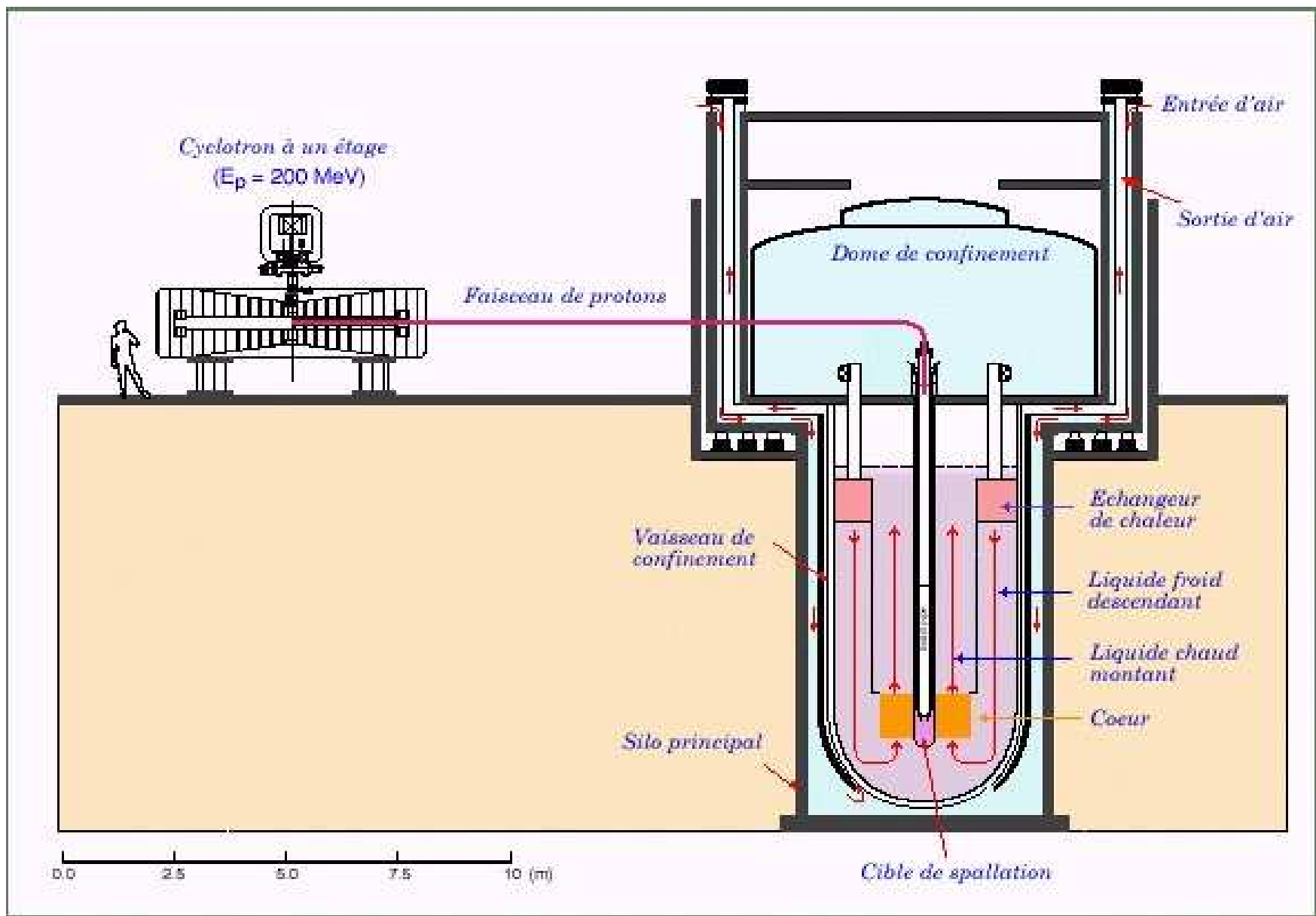
- *incinération des déchets des réacteurs traditionnels*

Déchet + n \rightarrow isotope courte période

Ex:



Les neutrons sont produits par spallation du Pb par des protons



Conclusion

- Quelle que soit l'option retenue (retraitement ou non), on n'échappe pas à la présence de déchets et donc à la nécessité de leur stockage.
- La nature et les quantités de déchets générés dépendent de l'option choisie (stockage direct, retraitement, transmutation...).
- La loi de 1991 impose aux organismes de recherche des études dans ce domaine : le Parlement examinera les résultats de ces travaux en 2006.