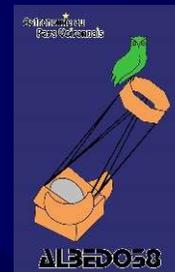


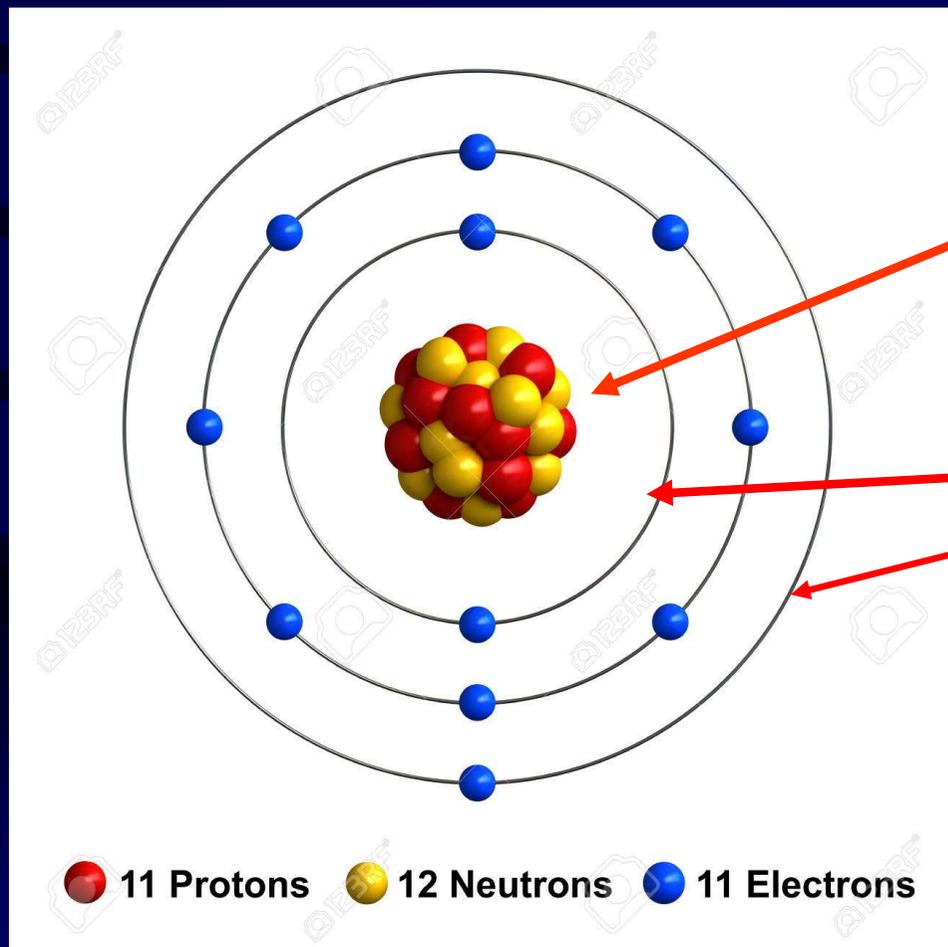
Introduction à la radioactivité



Christian Brisse
28 avril 2023

D'où vient la radioactivité ?

La radioactivité vient du noyau de certains atomes

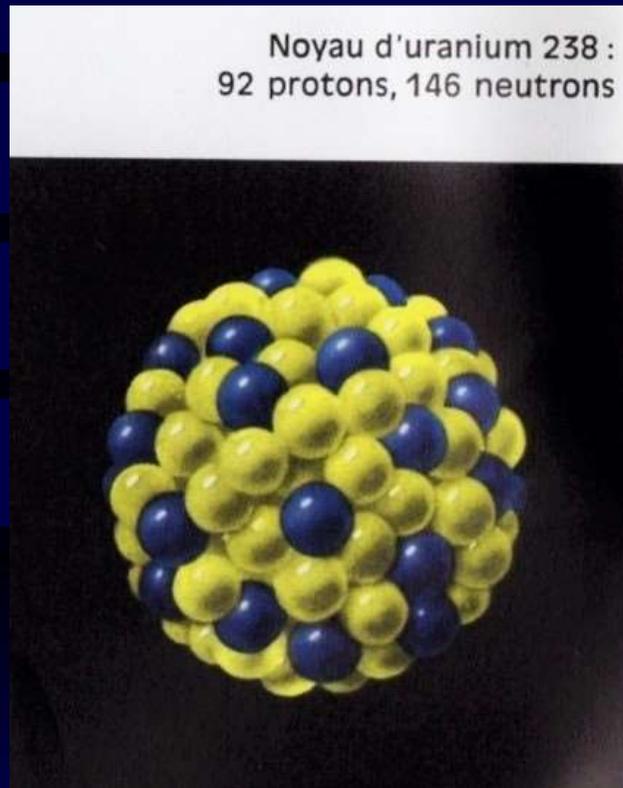


Noyau

Couches
électroniques

Ex atome de Na

Le Noyau de l'atome : protons et neutrons



- Chaque atome est ainsi caractérisé par son nombre de protons (numéro atomique Z) et son nombre de nucléons A (protons + neutrons)



Il existe 2 types de noyaux:

- Noyaux stables : exemple O_{16}
- Noyaux instables : exemple U_{238}

Le classement des éléments : le célèbre tableau périodique de Mendeleïev

Tableau périodique des éléments chimiques

← nom de l'élément (en français)
 ← numéro atomique
 ← symbole chimique
 ← masse atomique relative (ou celle de l'isotope le plus stable)
 (ICMANT "Atome" (2017) - 11e éd., 2019)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1,00784																	2 He 4,00260
3 Li 6,941	4 Be 9,01218											5 B 10,811	6 C 12,011	7 N 14,007	8 O 15,999	9 F 18,998	10 Ne 20,179
11 Na 22,990	12 Mg 24,305											13 Al 26,982	14 Si 28,086	15 P 30,974	16 S 32,065	17 Cl 35,453	18 Ar 39,948
19 K 39,098	20 Ca 40,078	21 Sc 44,956	22 Ti 47,883	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 65,38	31 Ga 69,723	32 Ge 72,630	33 As 74,922	34 Se 78,971	35 Br 79,904	36 Kr 83,798
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 102,905	46 Pd 106,42	47 Ag 107,868	48 Cd 112,411	49 In 114,818	50 Sn 118,710	51 Sb 121,757	52 Te 127,603	53 I 126,905	54 Xe 131,29
55 Cs 132,905	56 Ba 137,327	57-71 Lanthanoïdes	72 Hf 178,49	73 Ta 180,948	74 W 183,84	75 Re 186,207	76 Os 190,23	77 Ir 192,222	78 Pt 195,084	79 Au 196,967	80 Hg 200,592	81 Tl 204,384	82 Pb 207,2	83 Bi 208,980	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222
87 Fr 223	88 Ra 226	89-103 Actinoïdes	104 Rf 261	105 Db 262	106 Sg 263	107 Bh 264	108 Hs 265	109 Mt 266	110 Ds 267	111 Rg 268	112 Cn 269	113 Nh 270	114 Fl 271	115 Mc 272	116 Lv 273	117 Ts 274	118 Og 284
		57 La 138,905	58 Ce 140,12	59 Pr 140,908	60 Nd 144,242	61 Pm 145	62 Sm 150,36	63 Eu 151,964	64 Gd 157,254	65 Tb 158,925	66 Dy 162,503	67 Ho 164,930	68 Er 167,259	69 Tm 168,934	70 Yb 173,054	71 Lu 174,967	
		89 Ac 227	90 Th 232,038	91 Pa 231,036	92 U 238,029	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 260	

Métaux: Alcalins, Alcalino-terreux, Lanthanoïdes, Actinoïdes, Métaux de transition, Métaux post-transitionnels, Métaux lourds.
 Non-métaux: Halogènes, Gaz nobles.
 Non classés: Solides, Liquides, Gazeux, Plasma.

Les éléments sont classés par nombre de protons croissant ⁴

Définition de l'unité de masse atomique (u.m.a)

Dans le monde subatomique les masses sont exprimées en u.m.a

$$1 \text{ u.m.a} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Soit à peu près la masse du Proton ou du Neutron

$$\text{Masse du proton} = 1,0073 \text{ uma}$$

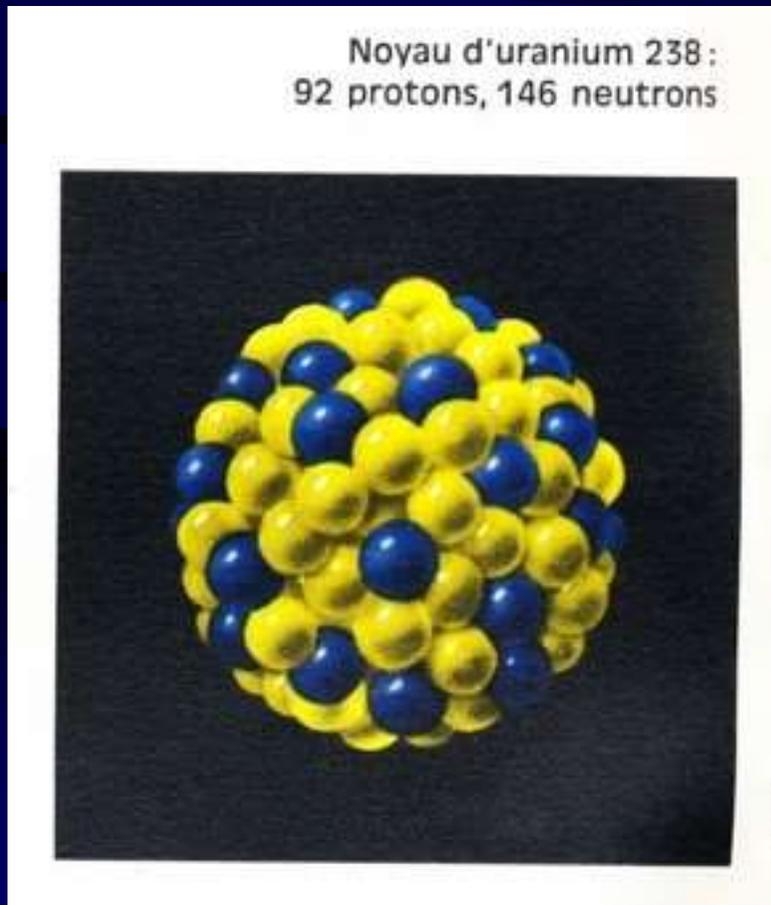
$$\text{Masse du Neutron} = 1,0087 \text{ uma}$$

et le 1/12 éme de la masse du noyau du carbone C12

Soit encore 931,5 Mev (en équivalent électron-volt
d'après la relation d'Einstein $E = mc^2$)

Cohésion du noyau

Elle est assurée par le défaut de masse : c'est-à-dire la différence entre la somme de chaque masse des protons et neutrons pris individuellement et la masse du noyau pris dans sa globalité



Exemple:

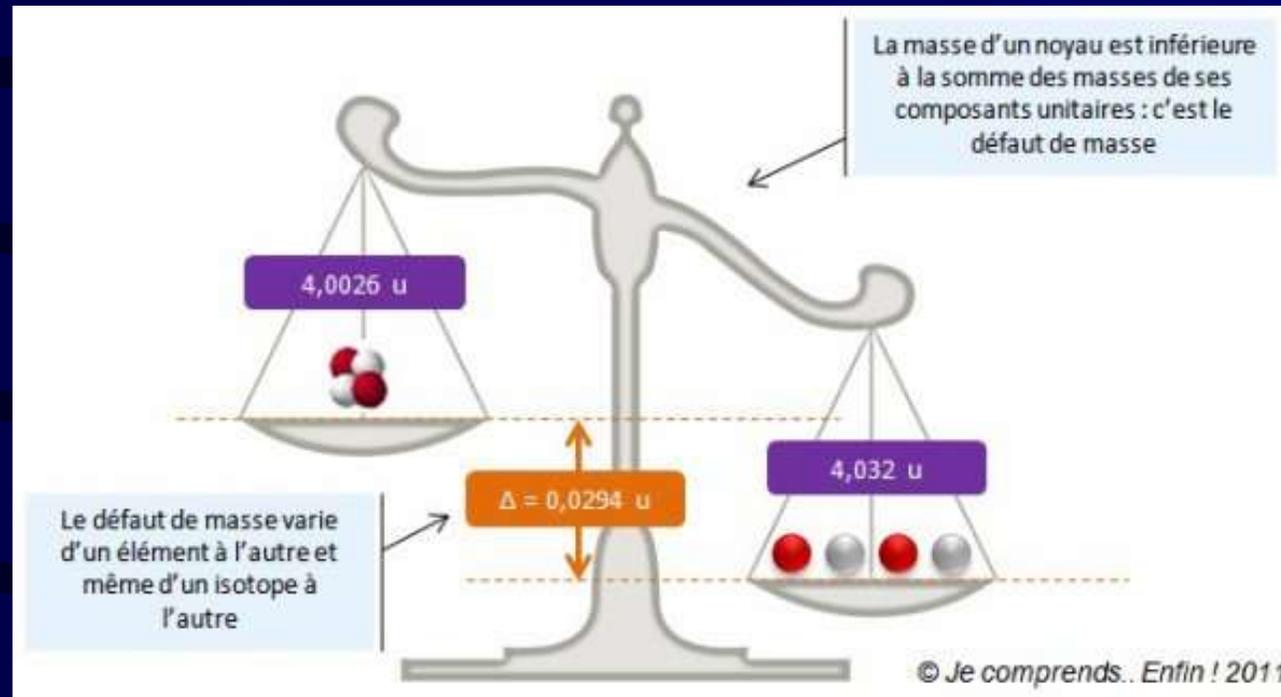
Masse de l'U238 = 238,05 uma

Masse des constituants
pris individuellement = 239,98 uma

D'où Différence = 1,93 uma
représentant 0,8 % par nucléon
Soit 7,6 Mev par nucléon

*C'est presque équivalent à une perte
de 2 nucléons sur 238.*

La cohésion du noyau est le résultat du défaut de masse



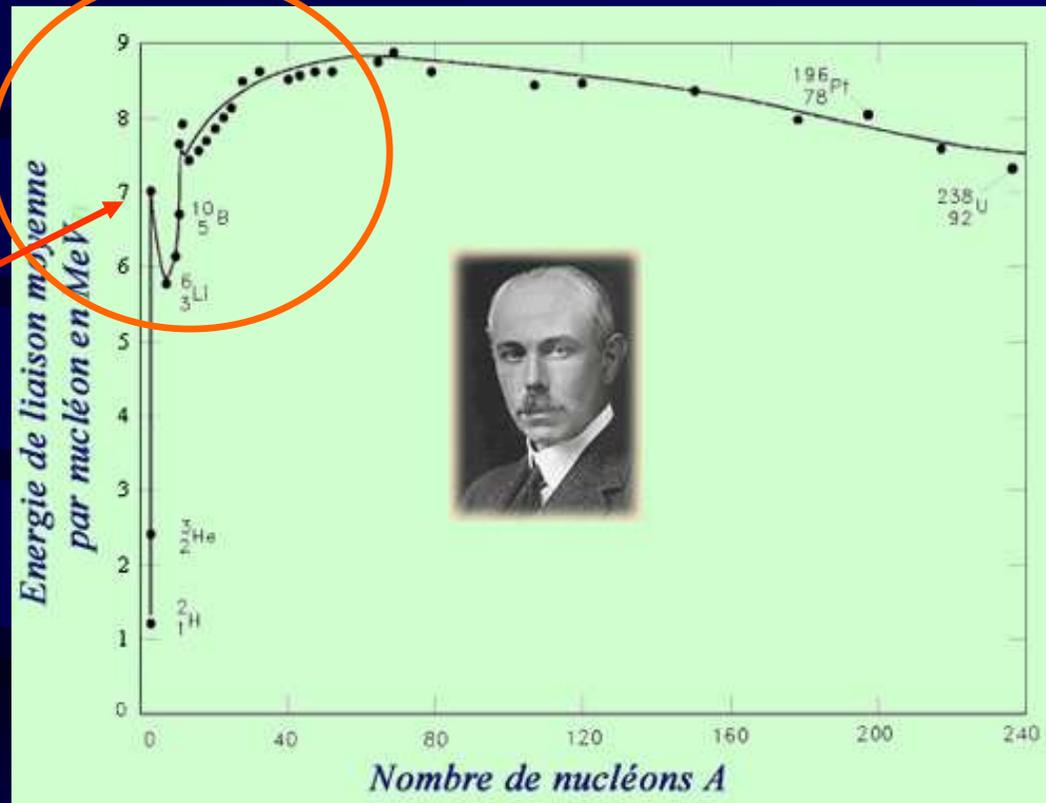
Exemple: Hélium 4

Pour l'Hélium 4 le défaut de masse dû à la liaison des nucléons est de l'ordre $0,0294/4 = 0,7 \%$

Pour chaque atome on peut donc définir un défaut de masse que l'on peut ramener au nucléon :
c'est l'énergie de liaison par nucléon

La courbe d'Aston

La courbe d'Aston donne pour chaque atome l'énergie de liaison par nucléon.

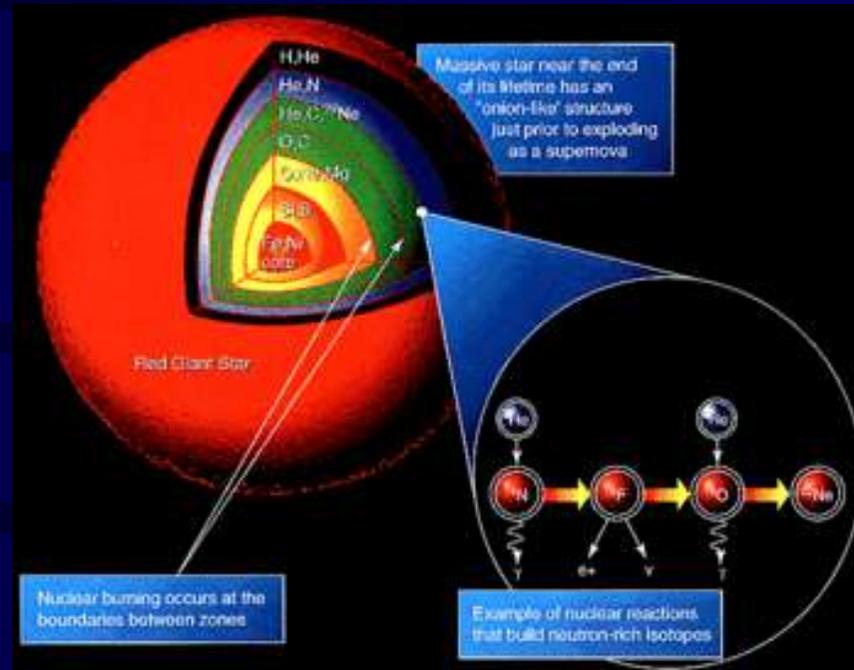


Hélium 4

==>Un atome sera d'autant plus stable que son énergie de liaison par nucléon sera élevée

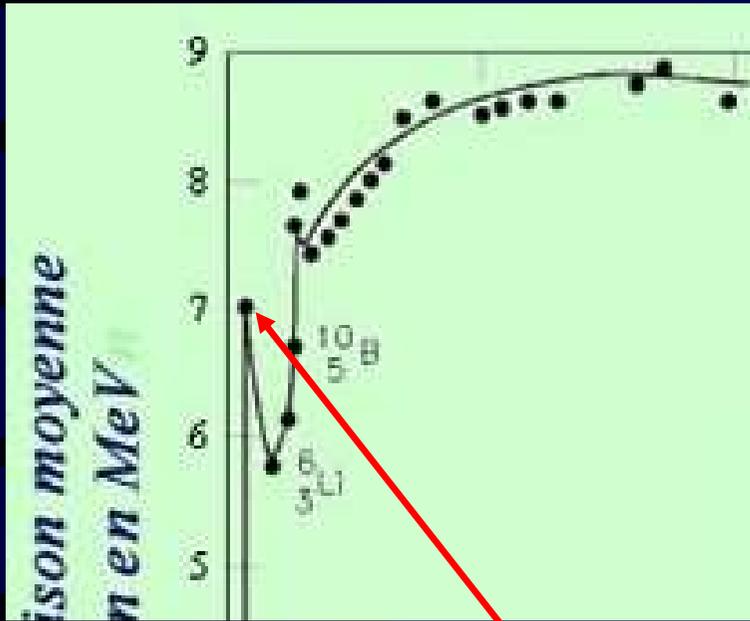
Les noyaux lourds ont une énergie de liaison plus faible==>instabilité

La Fusion et la vie des étoiles



==> Nucléosynthèse des éléments chimiques

Comment se traduit l'instabilité ?



L'instabilité va se traduire par une tendance à remonter la courbe et pour cela à expulser des nucléons.

L'assemblage le plus simple à expulser est le noyau d'hélium 4 qu'on appelle :
particule α

Hélium He 4 (2 protons+ 2 neutrons)= particule α

L'expulsion d'une particule α s'appelle désintégration α

Exemple: En expulsant une particule α le noyau d'Uranium 92 U 238 devient un noyau de Thorium 90Th 234



Rappel : il y a 4 forces fondamentales de la physique

1 - La Force Nucléaire Forte

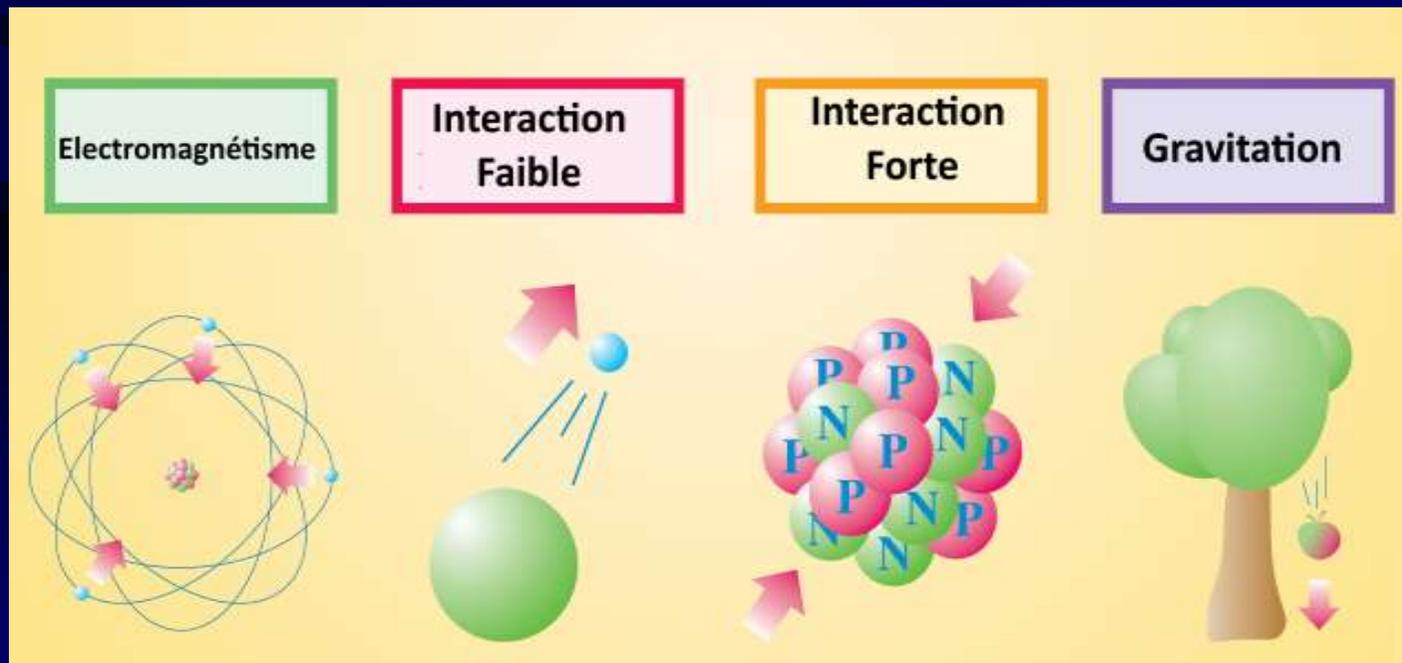
➔ 2 - La Force Nucléaire Faible

3 - La Force Electromagnétique

4 - La Force Gravitationnelle

Régit le monde de l'atome

Régit l'Univers

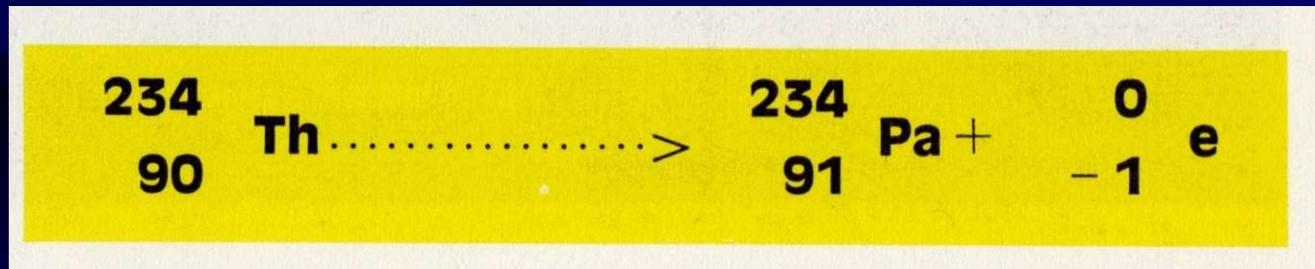


Que devient le thorium 234 ?

Au niveau de l'équilibre nucléaire du noyau, ce noyau est excédentaire en neutrons : un neutron va se transformer en proton sous l'action de la force faible.



Ce qui donne:



C'est la radioactivité β^{-}

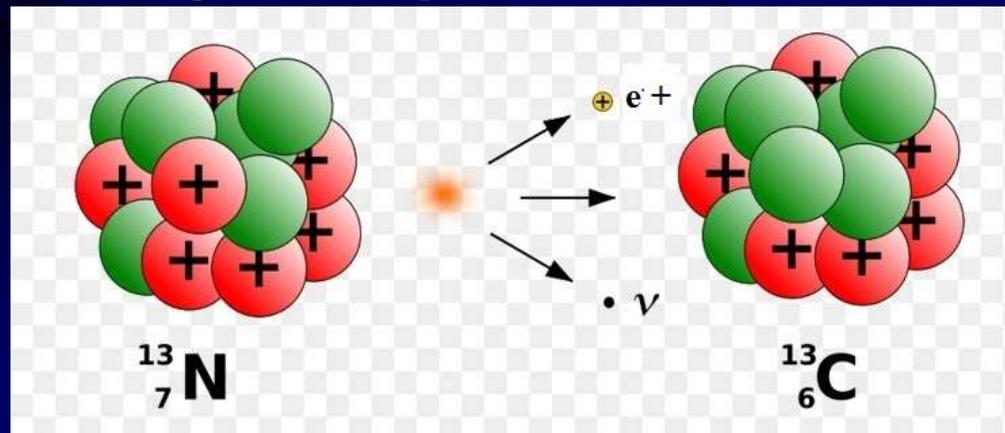
Radioactivité β^+

Si au niveau de l'équilibre nucléaire du noyau, le noyau est excédentaire en protons, un proton va se transformer sous l'action de la force faible en neutron avec émission d'un électron positif qu'on appelle Positron



C'est la radioactivité β^+

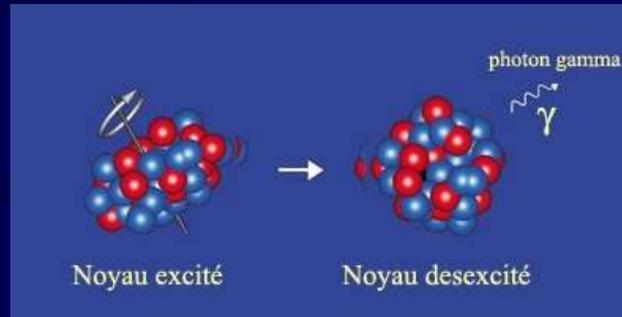
Exemple : la désintégration β^+ de l'Azote en Carbone



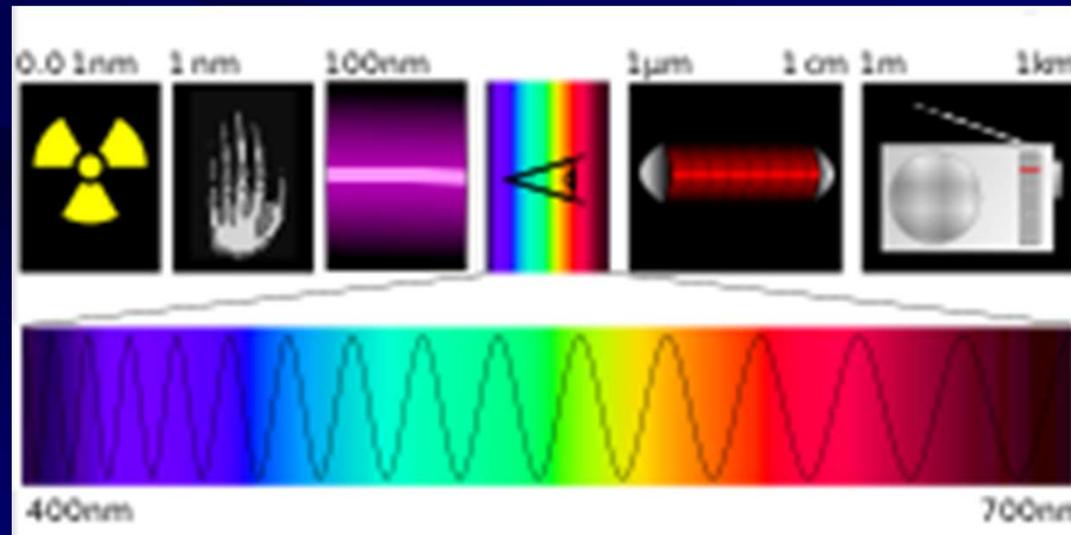
Radioactivité gamma (γ)

Les nouveaux noyaux résultant des désintégrations α et β sont créés généralement dans un état excité (niveau d'énergie élevé).

L'émission de photons Gamma permet leur retour à un niveau d'énergie normale

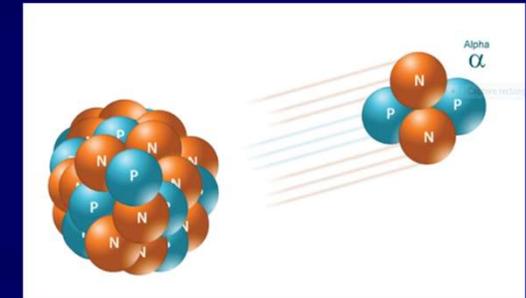


Le photon Gamma est une onde électromagnétique de très courte longueur d'onde

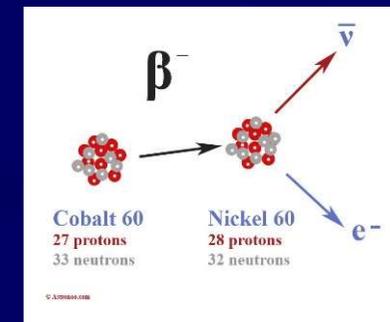


Il y a donc 3 types de radioactivité issus de l'instabilité nucléaire :

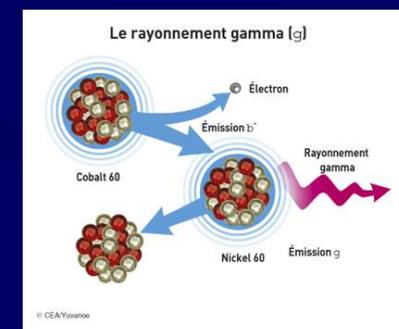
- radioactivité α
(noyau d'hélium 4)

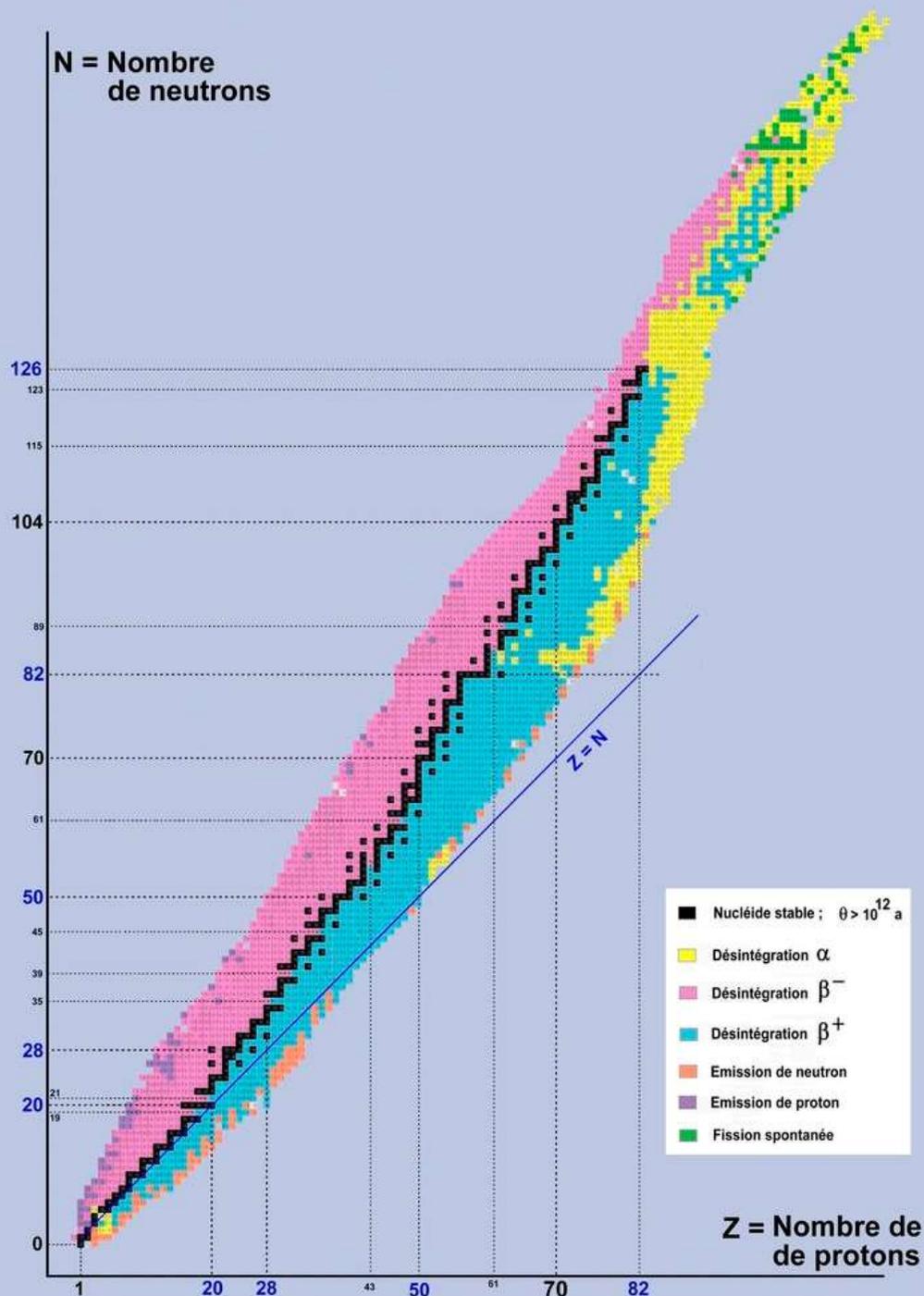


- radioactivité β
(électron ou positron)



- radioactivité γ
(rayonnement électromagnétique)





Chaque élément chimique du tableau de Mendeleïev possède un certain nombre d'isotopes. Certains sont stables, d'autres radioactifs

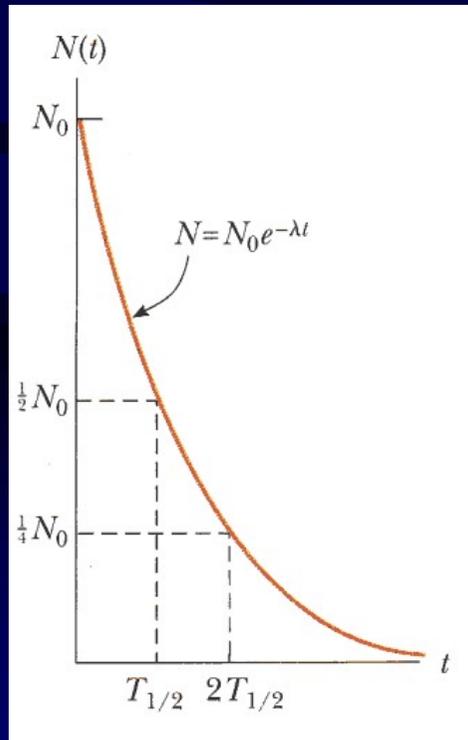
La courbe de stabilité permet de définir le type de radioactivité

Courbe de désintégration d'un élément radioactif

La désintégration est un processus aléatoire:

on ne sait jamais quel noyau de l'ensemble va se désintégrer mais on en connaît le nombre à chaque instant.

Ce nombre dépend de la constante radioactive λ propre à chaque noyau radioactif



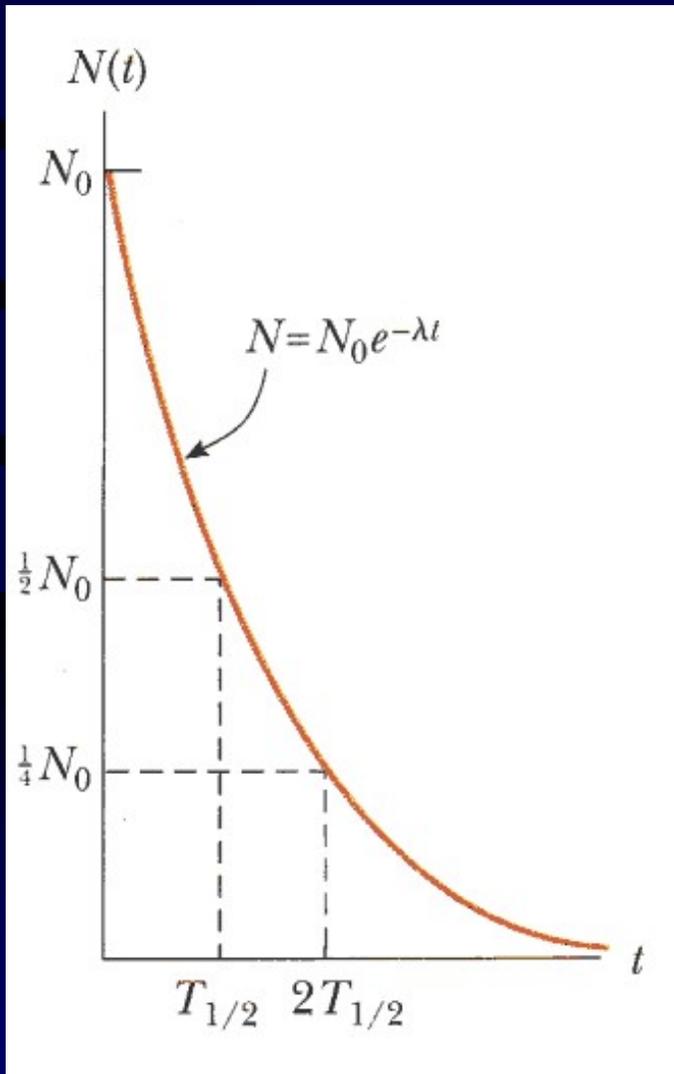
On définit l'activité A de l'élément comme étant le nombre de désintégrations par seconde

$$A = \lambda N$$

On peut tracer la courbe de désintégration :

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Définition de la période radioactive ou demi-vie: $T_{1/2}$



La période $T_{1/2}$ est le temps au bout duquel la moitié des noyaux se sont désintégrés

Exemples de périodes :

U238 = 4,5 milliards d'années

Thorium 232 = 14 milliards d'années

Carbone 14 = 5730 ans

Potassium 40 = 1,2 milliards d'années

Césium 137 = 30,15 ans

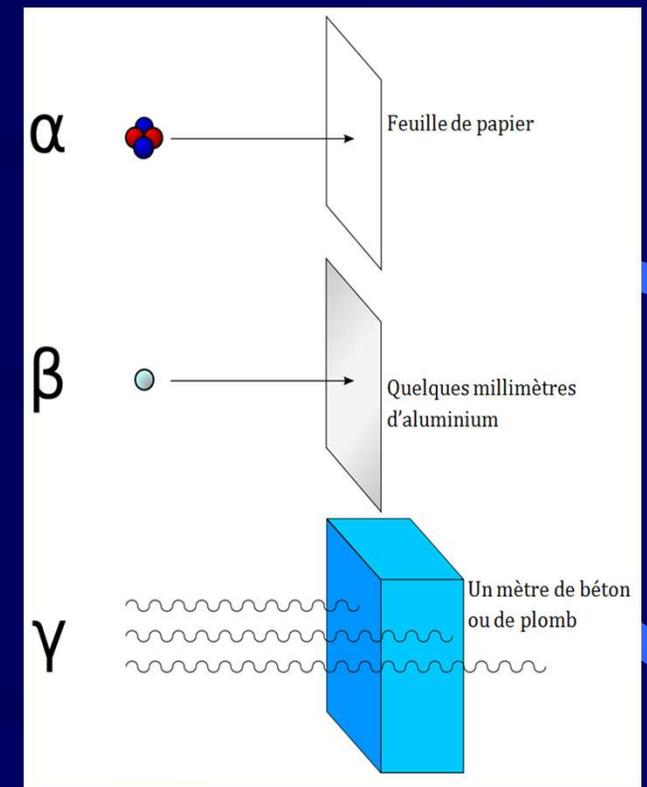
Iode 131 = 8 jours

Les périodes sont très variables de la μ s à plusieurs milliards d'années !

Parcours des différents rayonnements dans la matière

- **Rayonnement α :**
arrêté par une feuille de papier
- **Rayonnement β :**
arrêté par quelques cm de plastique
- **Rayonnement γ :**

**==>atténuation exponentielle à travers un écran
(notion d'épaisseur moitié ou dixième)**



Les rayonnements radioactifs sont des rayonnements ionisants

- Un rayonnement radioactif qui traverse la matière va l'ioniser c'est-à-dire créer des ions
- Les rayonnements α et β^+ par attraction des électrons, le rayonnement β^- par répulsion ce qui entraîne l'éjection de l'électron de son orbite
- C'est par ce processus que le rayonnement se freine et disparaît
- Le rayonnement γ sous forme de photon ionise également la matière par 3 processus (effet photo électrique-effet Compton –création de paires électron-positron)
==> d'où la législation pour les travaux sous rayonnements ionisants

Les risques associés aux rayonnements ionisants

Il y a deux catégories de risques :

- Irradiation :

==> pas de contact physique entre la source radioactive et le sujet

- Contamination externe et/ou interne :

==> Il existe un contact physique dans les deux cas :

interne = par les voies d'entrée respiratoire digestive et parfois par la peau

externe = dépôts sur la peau

Protection contre les rayonnements

- **Contre l'irradiation :**

Durée d'exposition-Eloignement-Ecrans

- **Contre la contamination :**

Zonage et interdiction d'entrée

Protection vestimentaire et respiratoire

Zones de dépression consécutives

(boite à gants>local> bâtiment)

Récupération et contrôle d'effluents

Contrôle des opérateurs en sortie de zones

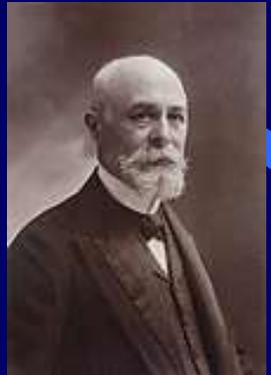
...

Les Unités de la radioactivité

Ancienne unité : Le Curie (Ci) et ses sous-multiples
1 g de Radium = $3,7 \cdot 10^{10}$ dps



Nouvelle unité : Le Becquerel (Bq) et ses multiples
= 1 désintégration par seconde
(normalisation internationale)



Les Unités de la Radioprotection

Anciennes unités

Dose = Roentgen \implies $2,58 \cdot 10^{-4}$ Cb/kg (obsolète)

**Dose = Rad \implies 10^{-2} J/kg = énergie déposée par
le rayonnement dans la matière**

Equivalent de dose = Le Rem (Rad équivalent for men)

**Tient compte du facteur de qualité (organe et
rayonnement)**

Exemple : Pour les Gamma = 1 Rad = 1 Rem

Pour les Alpha = 1 Rad = 10 Rem

Débit de dose : Rad/heure

Débit équivalent de dose : Rem/ heure

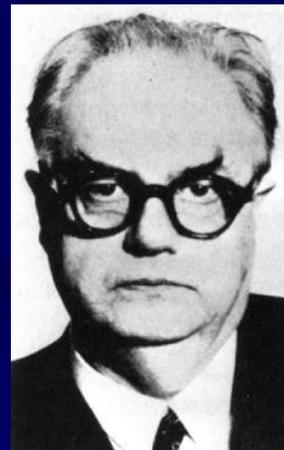
- Nouvelles Unités

Dose : Le Gray (Gy) = 1J/kg ==> 1 gray = 100 Rad

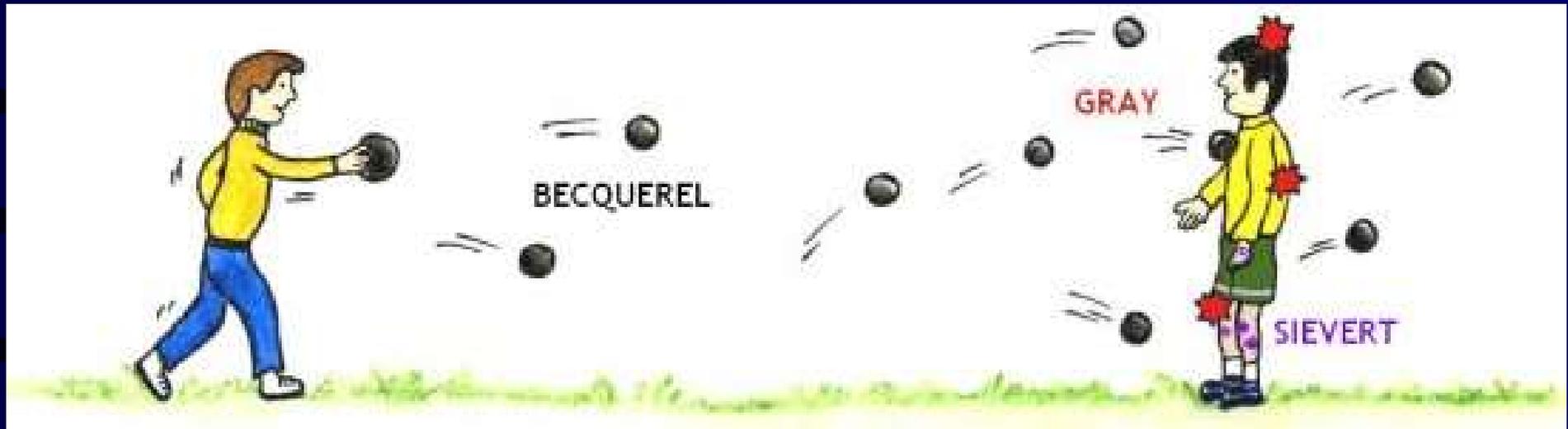
Equivalent de dose = Le Sievert (Sv) ==> 1 Sv = 100 Rem



Louis Gray



**Rolf Maxilien
Sievert**



L'Exposition à une source radioactive en Becquerel se traduit dans le corps par un dose en Gray et donc un équivalent de dose en Sievert qui prend en compte la nature du rayonnement et son énergie (à énergie cédée égale tous les rayonnements ne produisent pas les mêmes dégâts =différence entre le Gray et le Sievert)

Comment passer des Becquerels aux Sieverts

Sous l'égide de l'Onu un tableau de correspondance a été établi ,pour chaque radioélément, pour passer des Becquerels aux Sieverts

Ex: Césium 137

$1,4 \cdot 10^{-8}$ Sievert par Becquerel

Ex :Iode 131 :

$1 \cdot 10^{-8}$ Sievert par Becquerel

Exemple prtatique:

**On achète des salades à un maraicher de Saint Egreve le 1^{er} Mai 1986
quand le panache de Tchernobyl est passé et qu'il a plu.**

**La pluie a lessivé le panache et le polluant radioactif Césium 137 se trouve
réparti dans les premiers centimètres du sol à raison de 13 000 becquerels/m²
(chiffre que l'on trouve sur le net).**

**La salade pousse et elle assimile dans ses feuilles une partie de la radioactivité
du sol soit 10 % pour fixer les idées.**

**Pour pousser une salade a besoin de # 50 cm x 50 cm soit 0,25 m²-
Le plant de salade va donc assimiler, on le suppose, 10% des becquerels
contenus dans les 0,25m² soit une quantité de becquerels de Césium égale à :
 $10\% \times 0,25 \text{ m}^2 \times 13000 \text{ Bq/m}^2 = 325 \text{ becquerels}$**

**Supposons qu'on mange la salade en une fois et tout seul sans
partager on va donc ingérer les 325 becquerels, ce qui va nous conduire à
ingérer une dose équivalente, compte tenu du facteur de dose de Césium
égale à : $(325 / 1000) \cdot (0,014) \# 0,005 \text{ milli-sievert}$**

Soit 1 millième de la dose annuelle à laquelle on est assujetti !

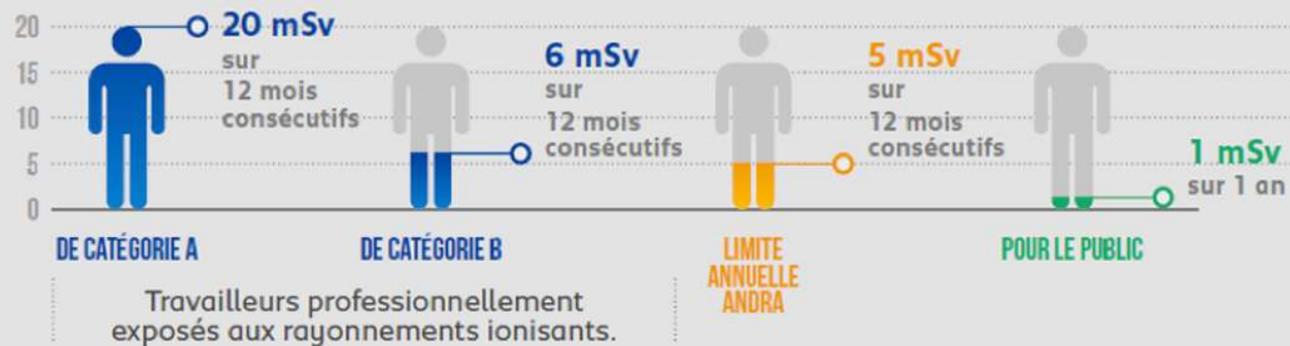
Normes d'exposition

Limites annuelles d'exposition

Tissu ou organes exposés	Travailleurs exposés		Autres personnels ni A ni B susceptibles d'être exposés
	Catégorie A	Catégorie B	
Organisme entier	20 mSv	6 mSv	1 mSv
Mains Avant bras Pieds Chevilles	500 mSv	150 mSv	-
Peau (1 cm ²)	500 mSv	150 mSv	50 mSv
Cristallin	150 mSv	50 mSv	15 mSv

➔ Limites de doses réglementaires par catégorie de travailleurs*

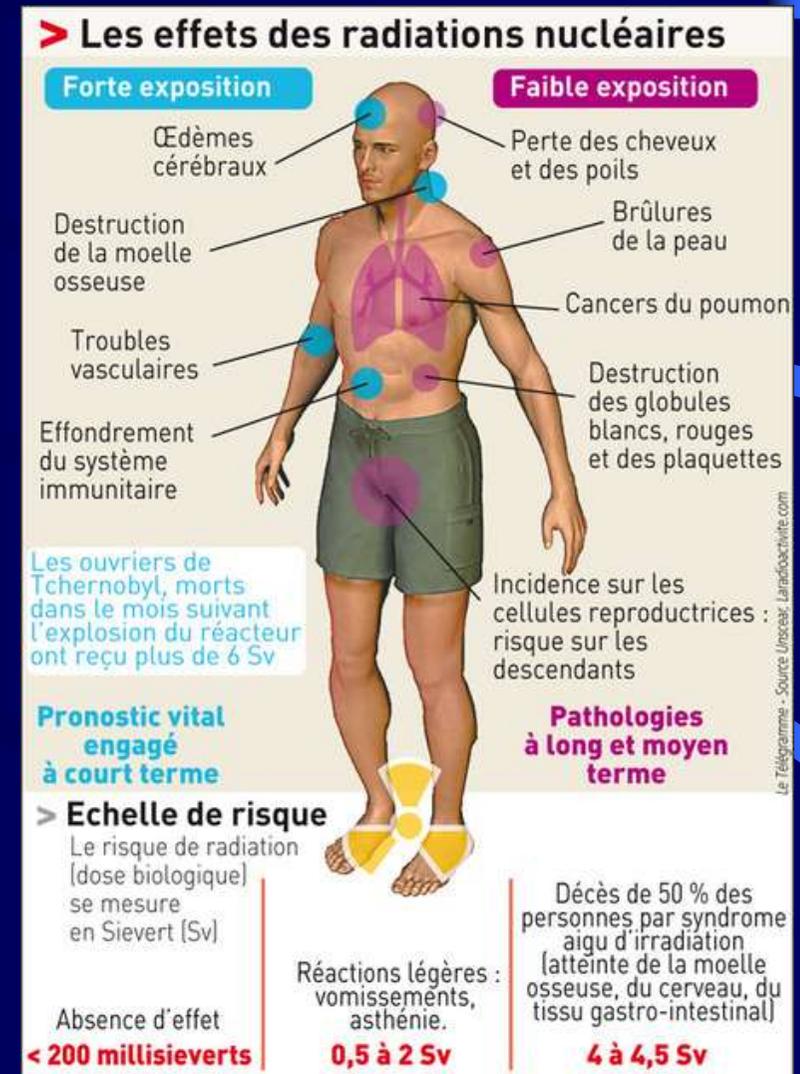
(hors radioactivité naturelle et médecine)



*Limites des doses annuelles d'exposition hors radioactivité naturelle et médecine.

Les effets des rayonnements

- ==> 2 catégories d'effets:
 - Effets déterministes :
 - impact sanitaire certains au delà d'un certain niveau
 - Effets aléatoires :
 - probabilité d'apparition
 - d'un effet (cas des faibles doses)



Les familles radioactives naturelles

Une famille radioactive se caractérise par une chaîne de désintégration.

Dans celle-ci on passe d'un éléments à l'autre par radioactivité Alpha ou Beta.

L'élément initial a forcément une période de l'ordre de grandeur de l'âge de la Terre.

La quantité de chaque élément de la chaîne va automatiquement s'ajuster pour que l'activité soit la même à chaque désintégration et égale à celle du père (analogie hydraulique)

Les familles radioactives naturelles (suite)

Chaîne $4n + 0$:

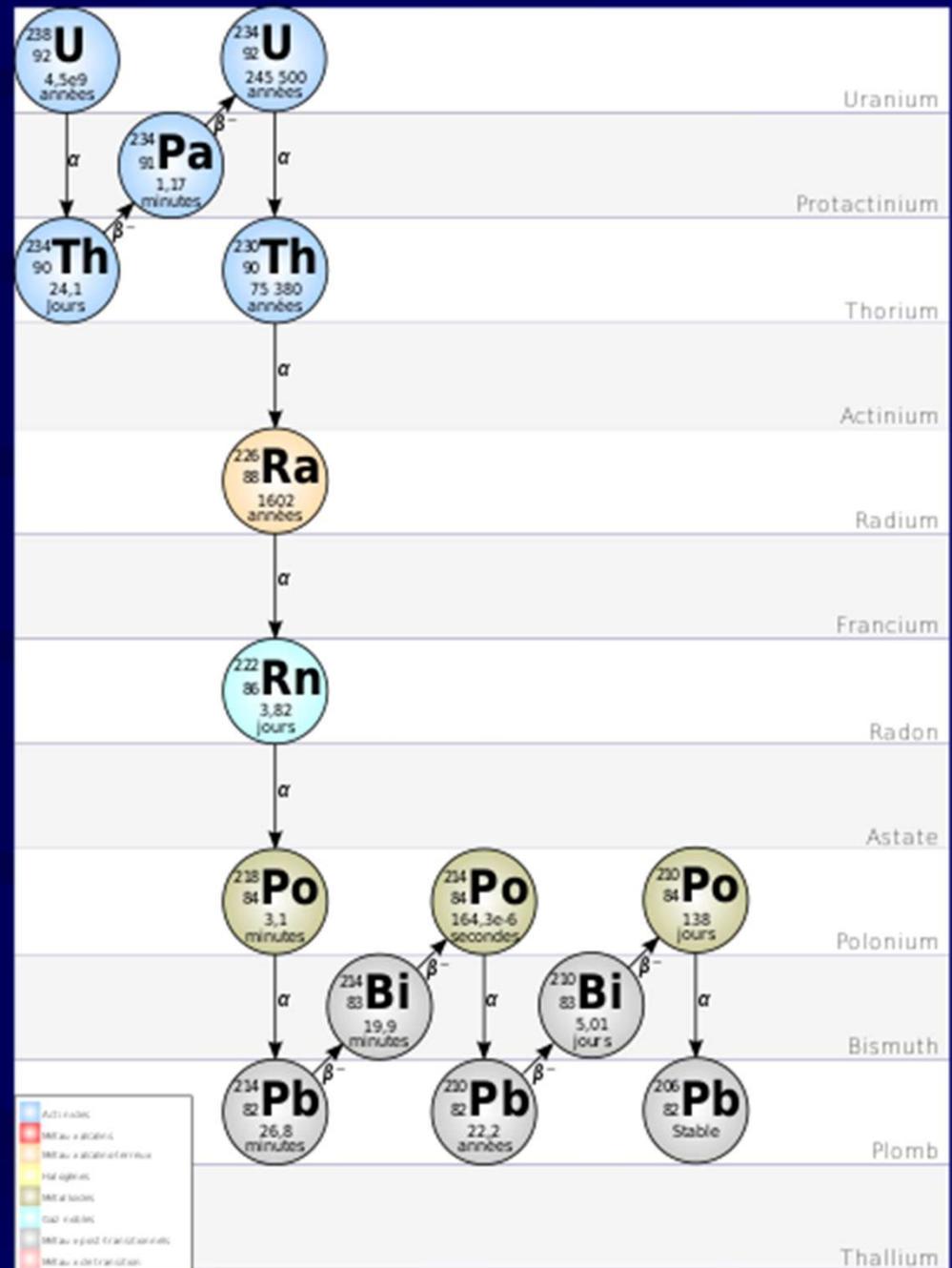
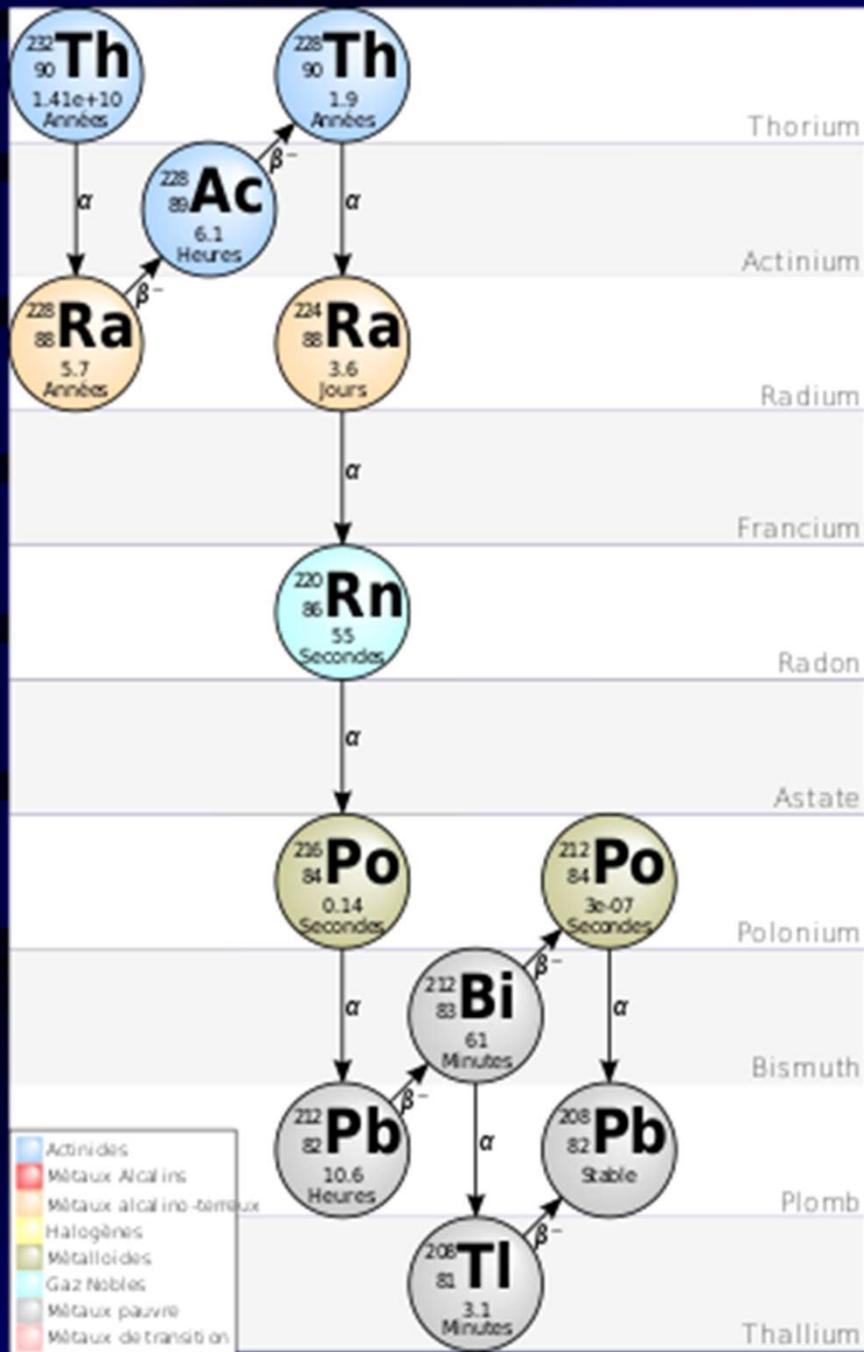
$90\text{Th } 232$ (14 milliards d'années) \implies $82\text{Pb } 208$

Chaîne $4n+2$:

$92\text{U}238$ (4,5 milliards d'années) \implies $82\text{Pb } 206$

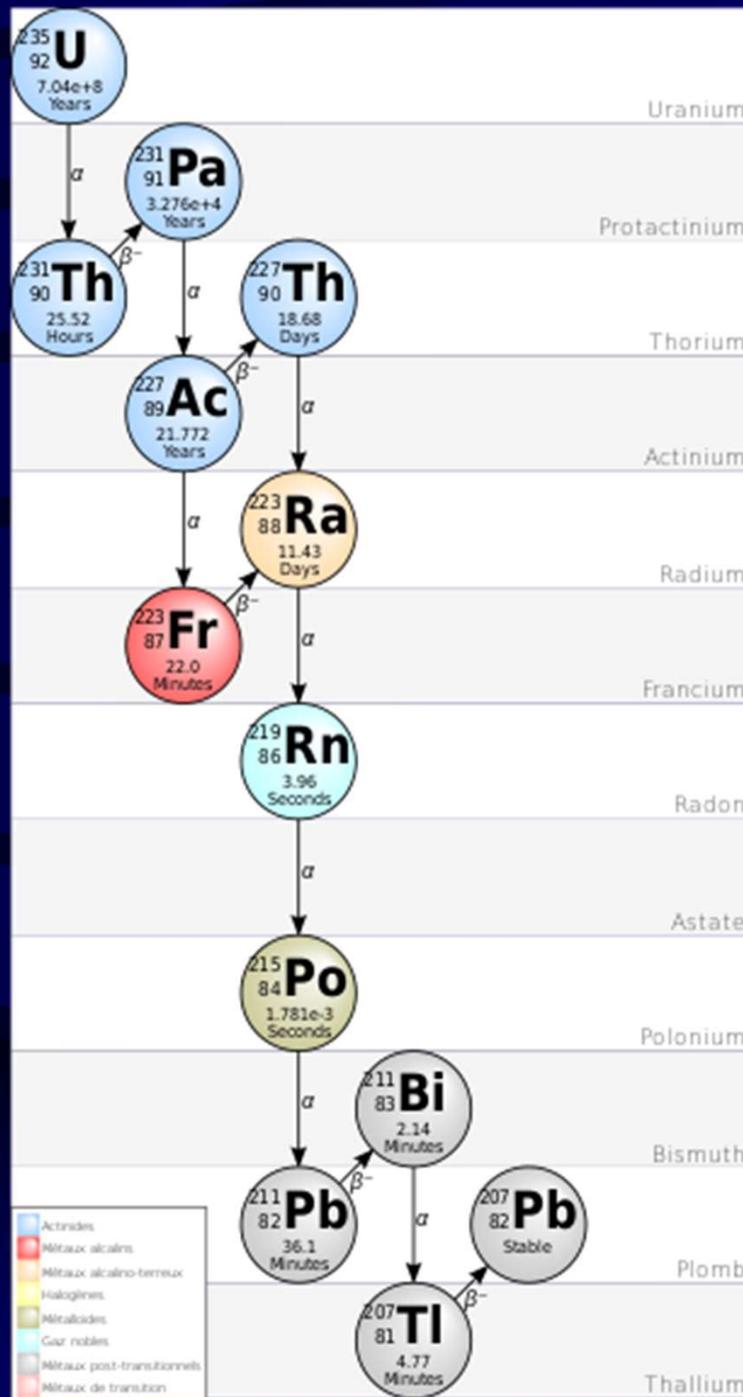
Chaîne $4n+3$:

$92\text{U}235$ (700 millions d'années) \implies $82\text{Pb } 207$



Thorium 232 – chaîne $4n+0$

Uranium 238-chaîne $4n+2$ ³⁴

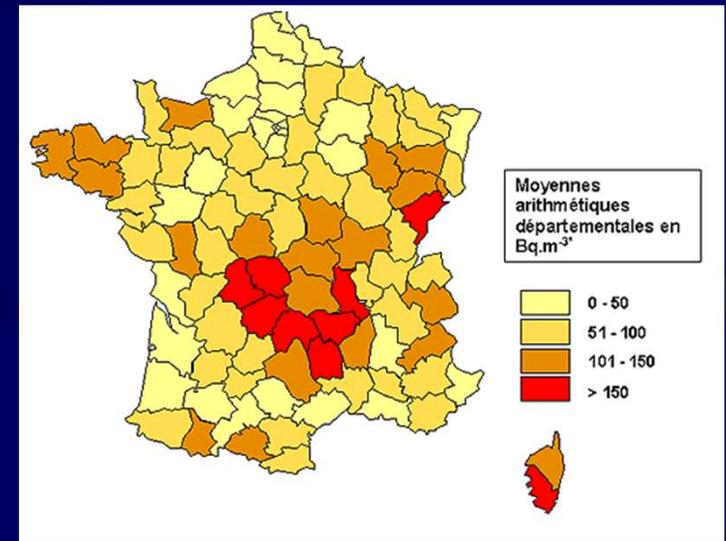


On retrouve facilement le nombre de désintégrations Alpha et Beta à partir des noyaux de départ et d'arrivée

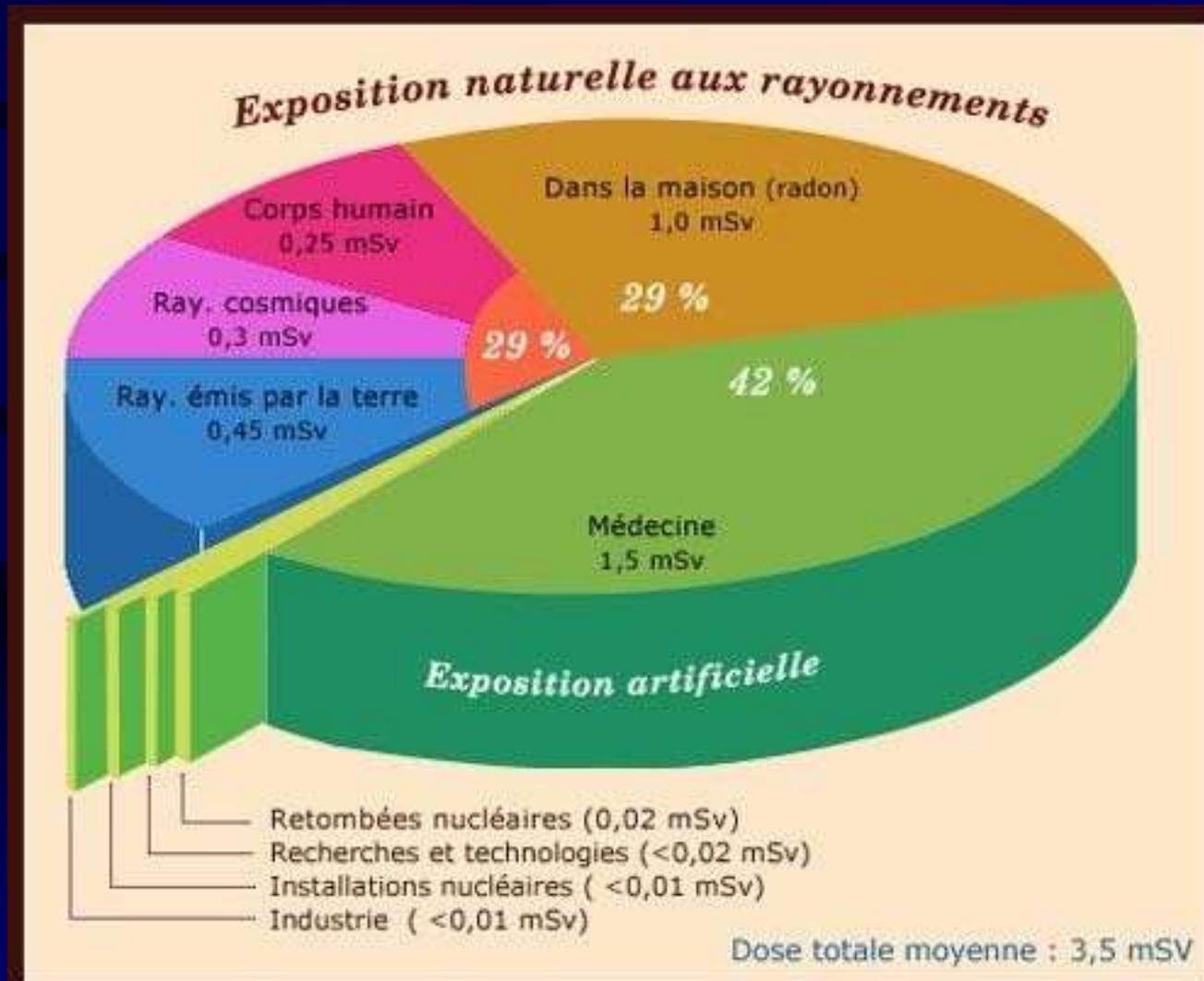
Uranium 235 – 4n+3

Le Radon

- Dans chaque chaîne de désintégration apparaît le Radium (Ra) qui donne naissance par désintégration Alpha au gaz Radon (Rn)
- Le Radon qui est un gaz quitte le solide d'où sa présence plus importante dans les massifs anciens granitiques (Bretagne-Vosges-Massif Central-Corse)
- Législation sur les ventes immobilières



Le camembert des sources de radioactivité



Fin de l'exposé

Je vous remercie pour votre attention

Fusion versus Fission

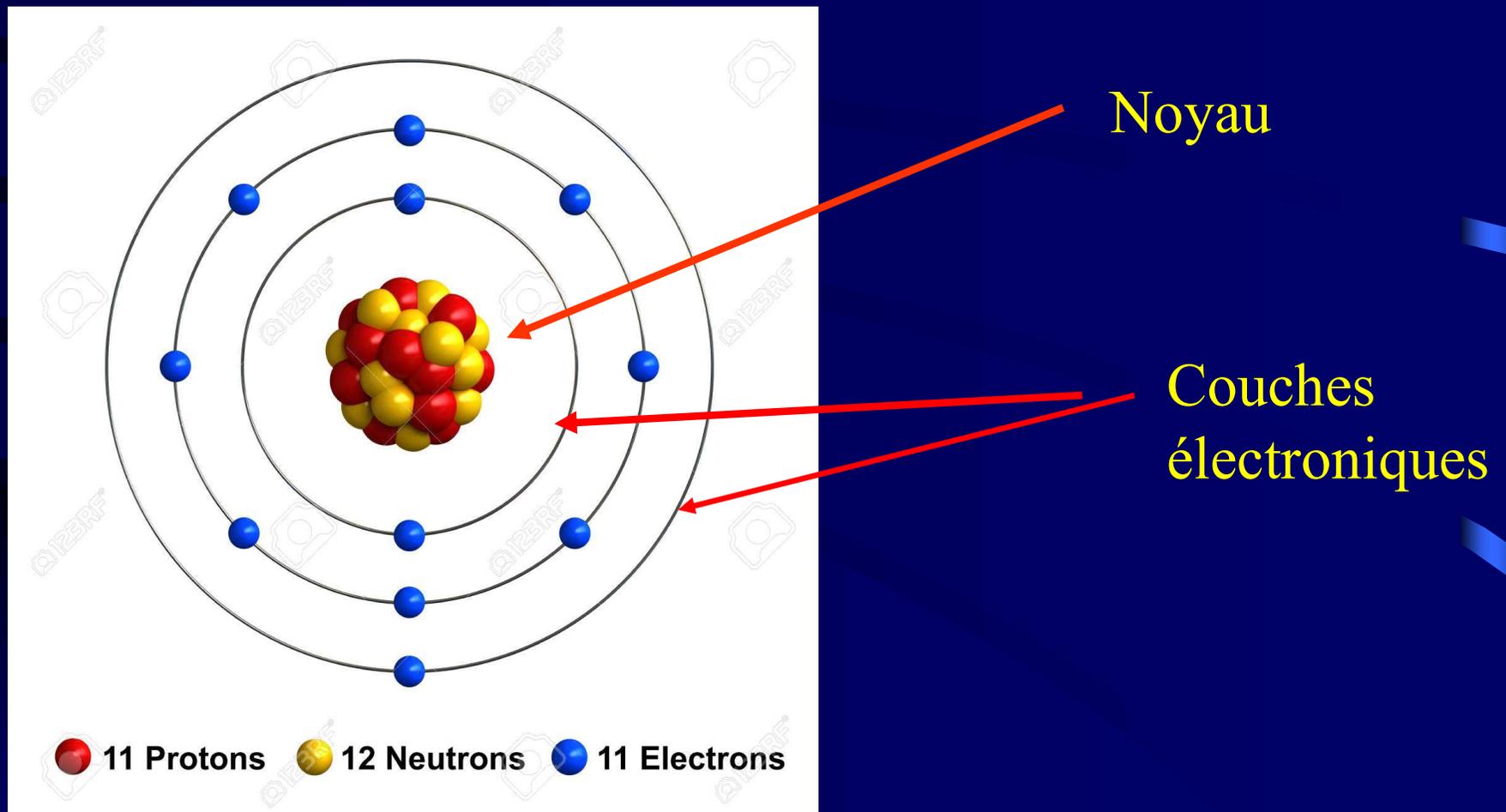
Christian Brisse

Alabbedo 38

Nov 2022

Rappel de la constitution de l'atome

exemple : l'atome de sodium Na

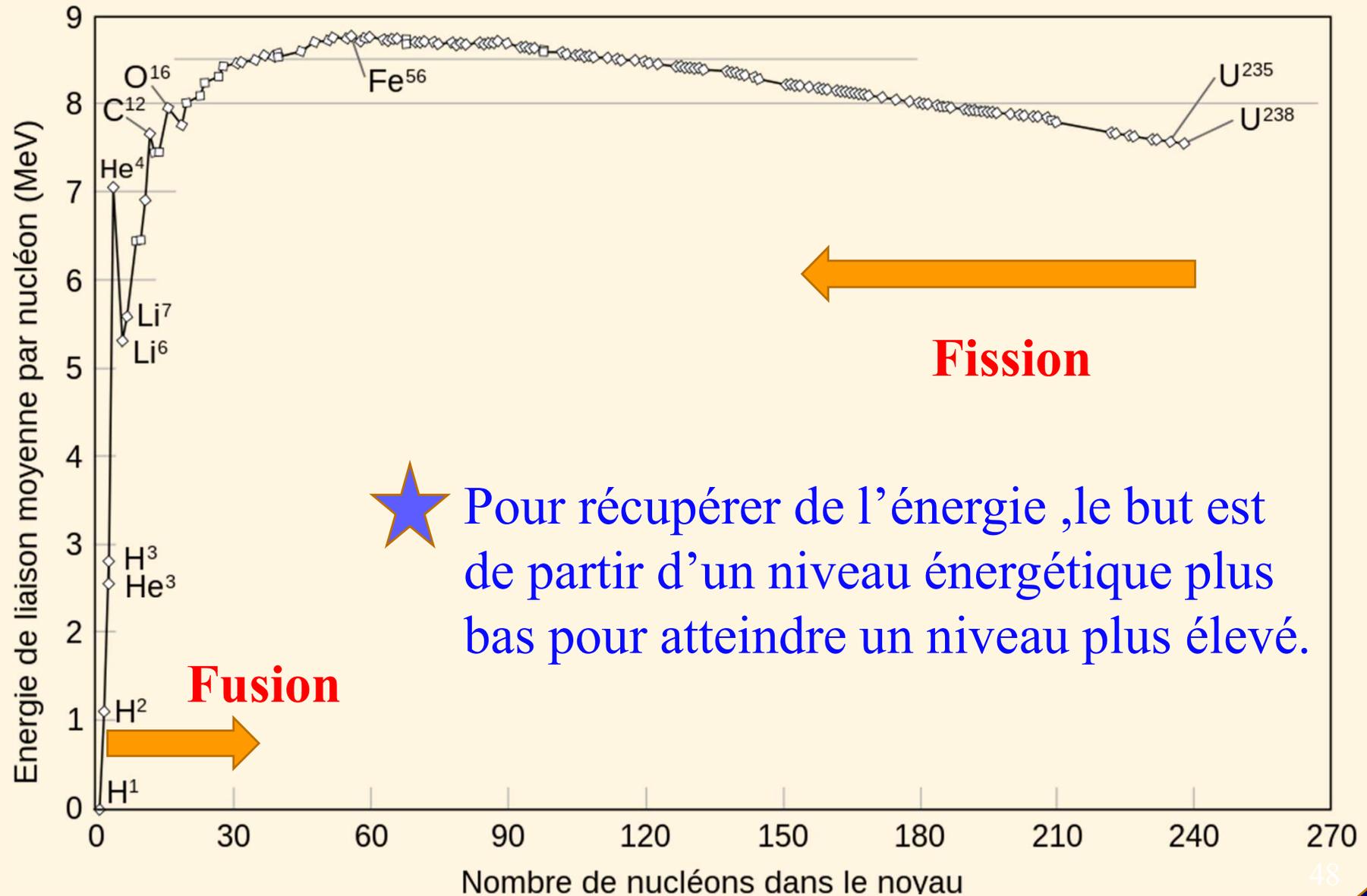








La courbe d'Aston



La position particulière du Fer sur la courbe d'Aston

Au vu de la courbe d'Aston:

- **On pourrait théoriquement fusionner jusqu'au Fer (éléments plus légers que le Fer): cas des étoiles**
- **On pourrait théoriquement (mais pas pratiquement) fissionner jusqu'au Fer**

Dans les deux cas le Fer est l'étape ultime de la stabilité nucléaire. Toute réaction à partir du Fer ne peut que consommer de l'énergie et non pas en produire.

D'où son importance dans l'évolution des étoiles et dans la constitution du noyau terrestre

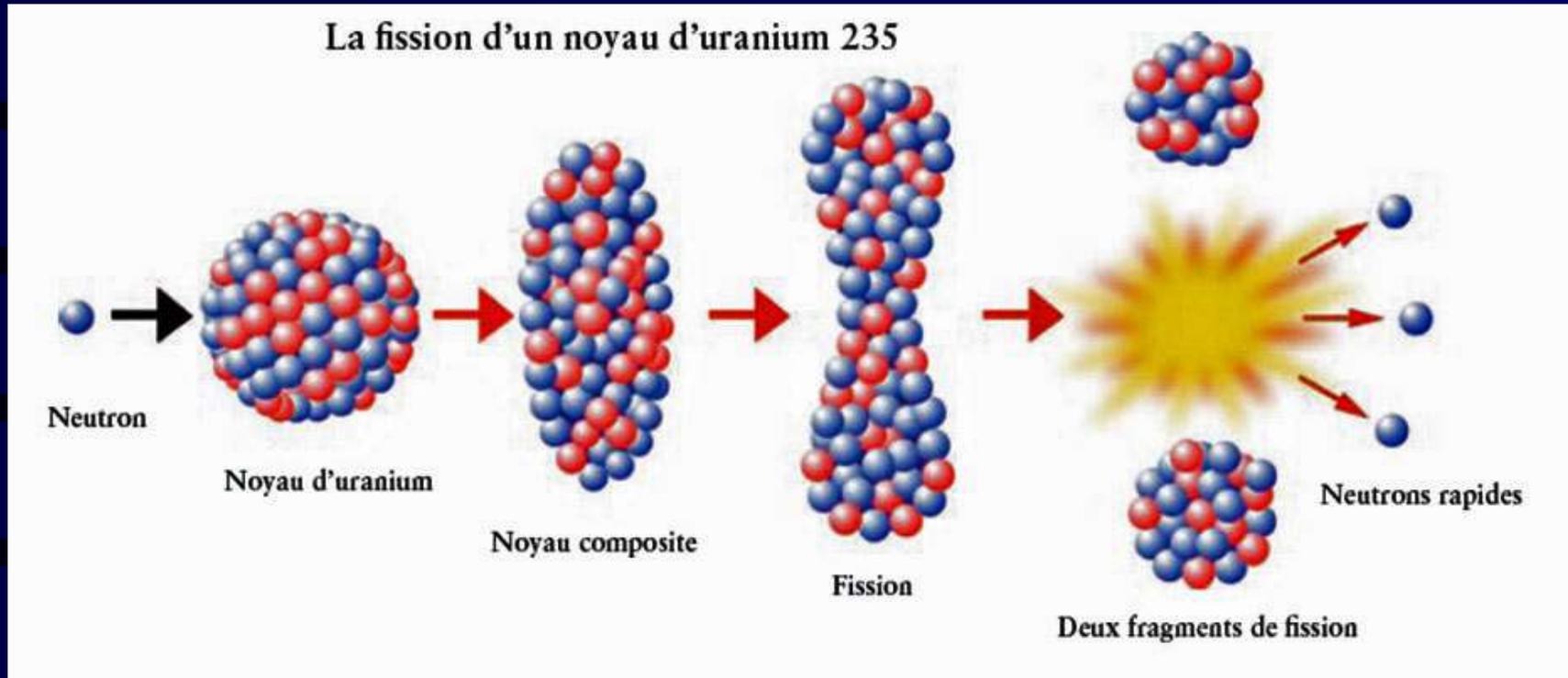
Composition chimique de l'Univers

Nombre atomique	Élément	Fraction de masse en pourcentage	Fraction de masse en partie par million	
1	Hydrogène	73,9 %	739000	
2	Hélium	24 %	240000	
8	Oxygène	1 %	10400	
6	Carbone	0,5 %	4600	
10	Néon	0,1 %	1340	
26	Fer	0,1 %	1090	
7	Azote	0,1 %	960	
14	Silicium	0,07 %	650	
12	Magnésium	0,06 %	580	
16	Soufre	0,04 %	440	

D'où l'importance du Fer que l'on retrouve dans le noyau terrestre :

Champ Magnétique

La Fission



Trois noyaux fissibles :

U235 : élément naturel (0,7% dans la nature)

Pu 239 : élément artificiel obtenu à partir de l'U238 (fertile)

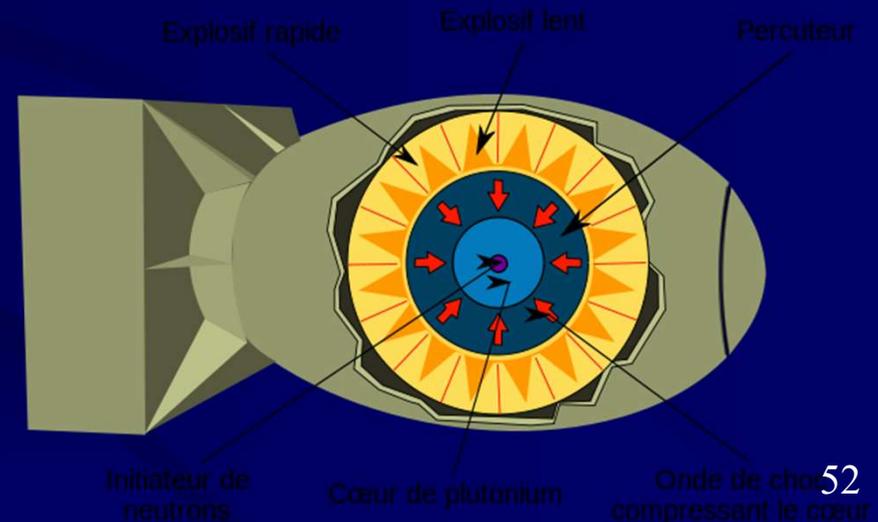
U233 : obtenu à partir du Thorium (fertile) (filère non-exploitée)

Mise en œuvre de la Fission

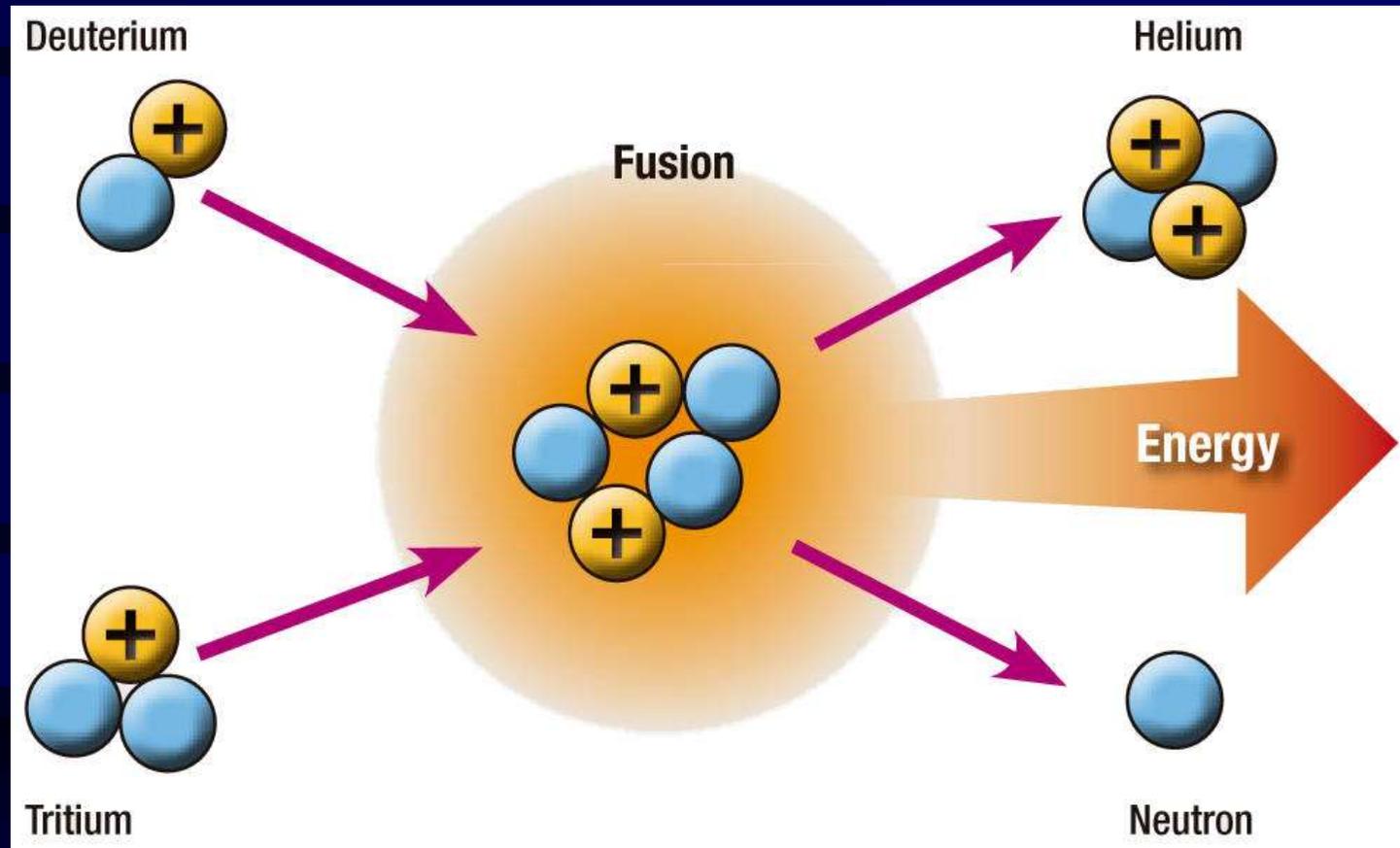
- De façon naturelle : Oklo au Gabon (2 milliards d'années)



- De façon artificielle par l'homme : réacteurs nucléaires et bombes



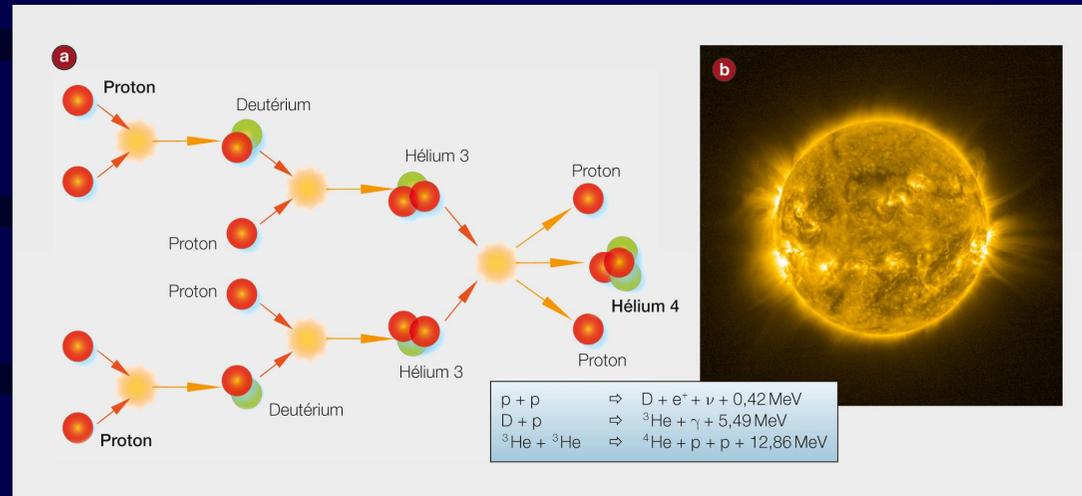
La Fusion



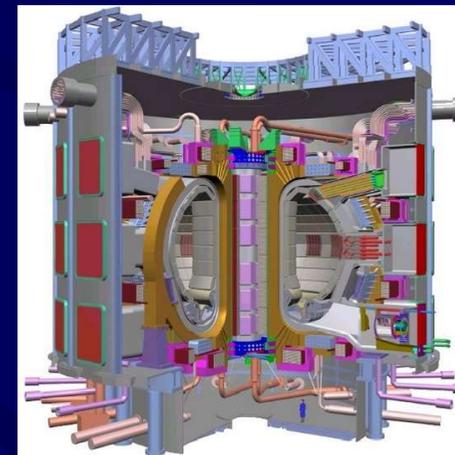
Exemple d'une réaction de fusion

Mise en œuvre de la Fusion

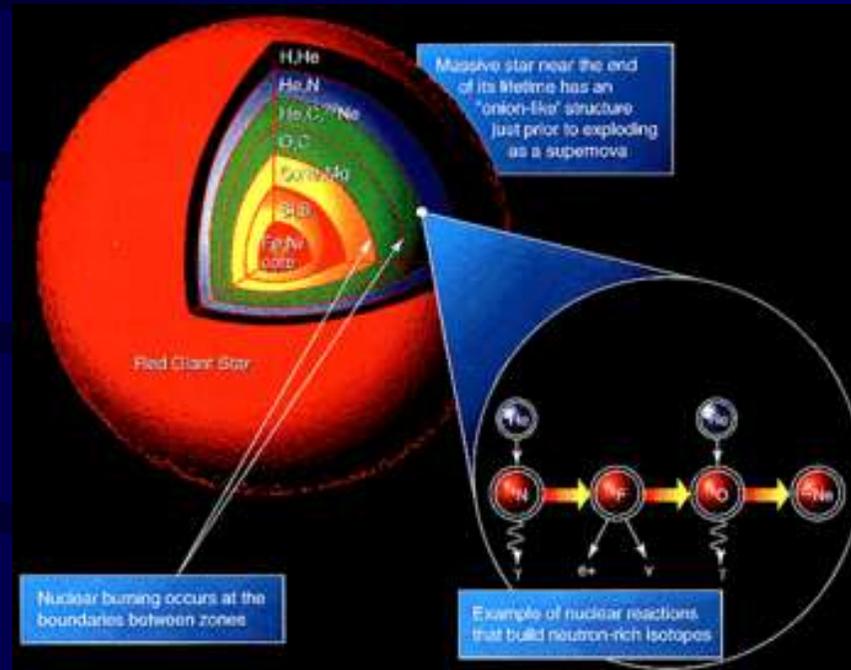
- De façon naturelle: les étoiles en générale dont le Soleil



- -De façon artificielle par l'homme : projet ITER (Cadarache)



La Fusion et la vie des étoiles



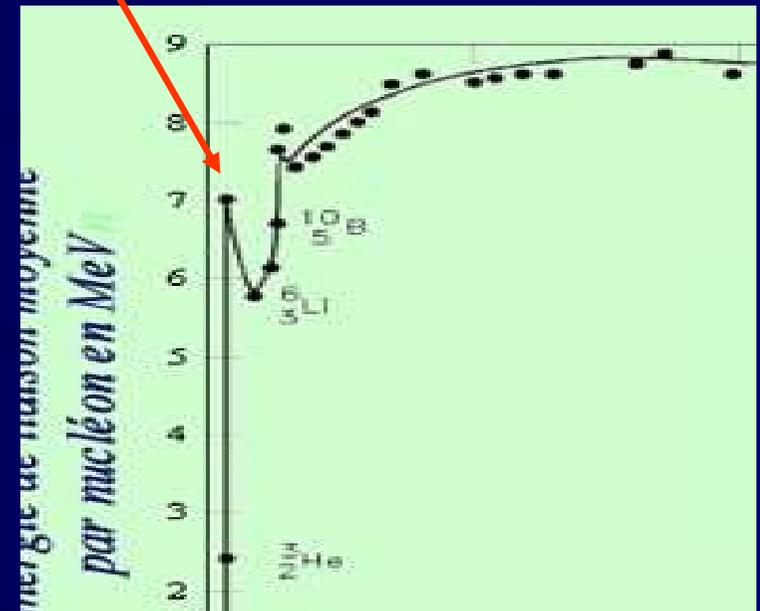
==> Nucléosynthèse des éléments chimiques

Le cas particulier de l'Hélium 4

L'évolution a failli s'arrêter !

- grande stabilité du Noyau
- la fusion par rapprochement de 2 noyaux d'Hélium ne peut pas se faire
- Mais *'miraculeusement'* un niveau excité du C12 correspond exactement à l'arrivée d'un troisième Hélium qui rend possible la fusion en C12 donc potentiellement de la vie

Position Hélium 4



**Je vous remercie
pour votre attention**