

Datation Absolue

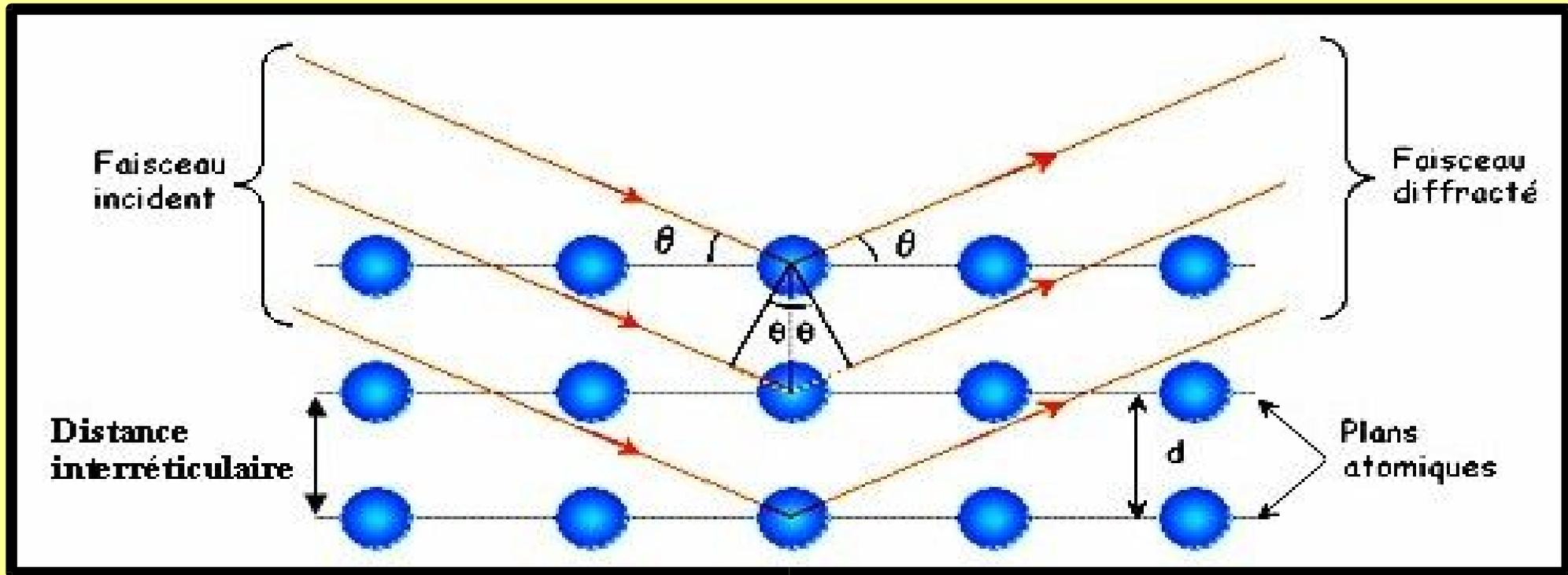
À l'aide d'isotopes radioactifs

AVG 85

le 19 /10/ 2013

par Pierre GIBAUD

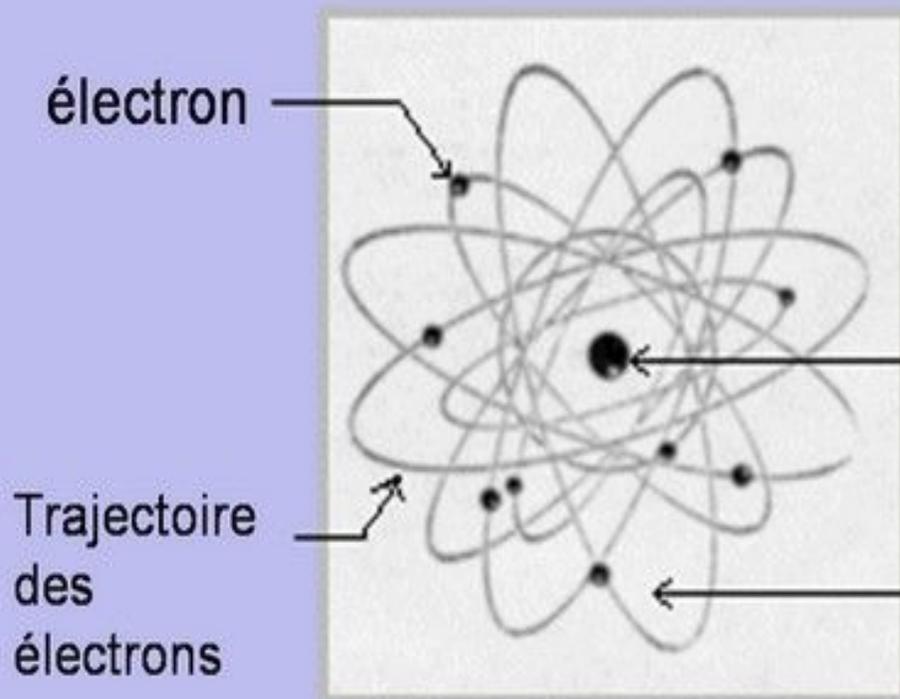
L'existence des atomes, pressentie depuis 1800, a été prouvée en 1906 par la diffraction des RX



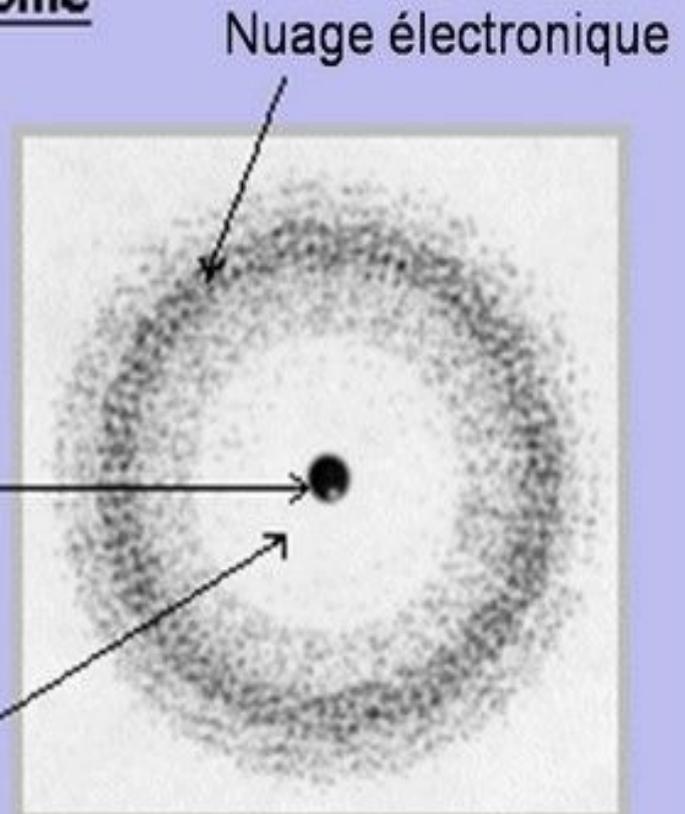
Connaissant la masse de l'échantillon, son volume et la distance d , on peut alors déterminer le nombre des atomes présents et finalement la masse de chaque atome.

Structure de l'atome

Modèles de l'Atome

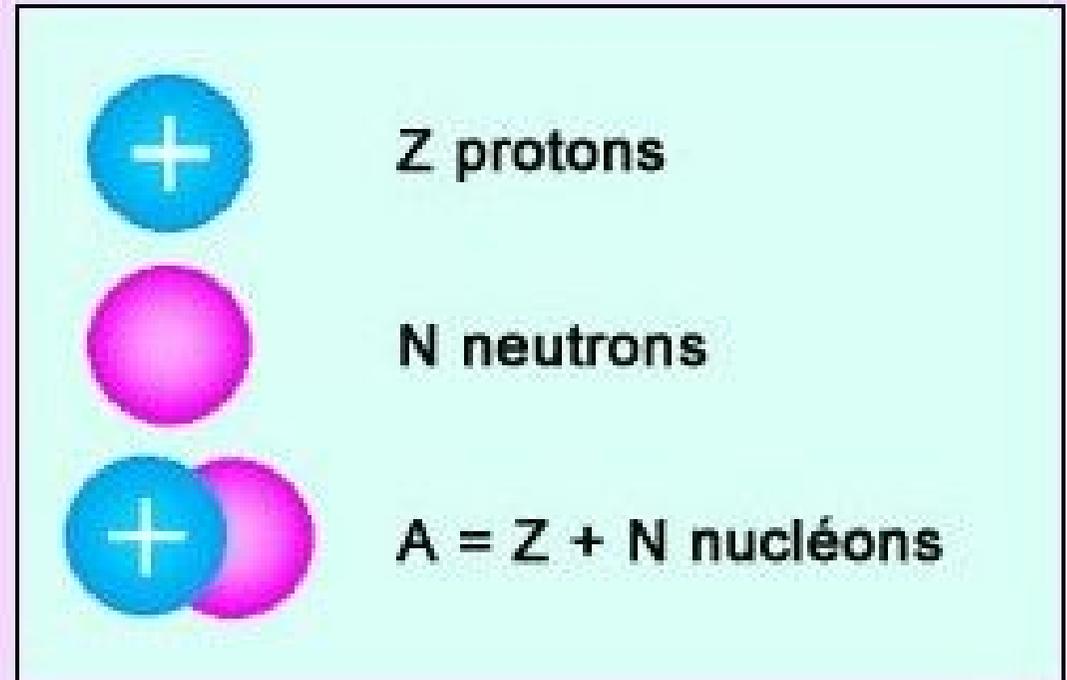
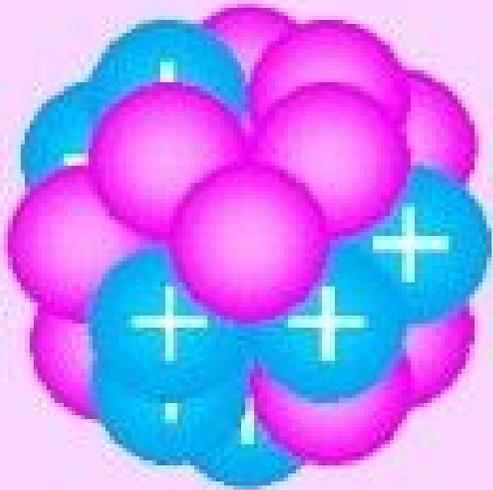


Modèle de Rutherford



Modèle actuel de l'atome

Composition d'un noyau



Les nucléons sont fortement liés entre eux par l'énergie nucléaire

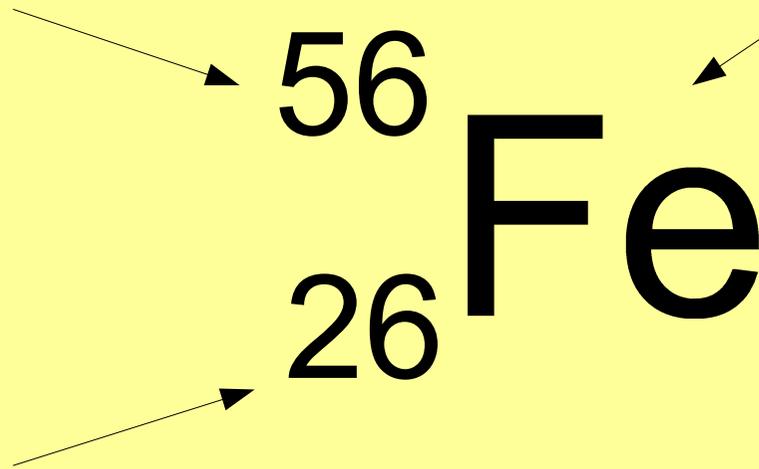
Dimensions du monde atomique

- L'atome 10^{-10}
le dix milliardième de mètre
- Le noyau 10^{-14}
- Nucléon 10^{-16}
électron

Notation des noyaux

Masse atomique
Protons + neutrons

Symbole chimique



Numéro atomique
Nombre de protons

Classification des éléments chimiques

Groupe

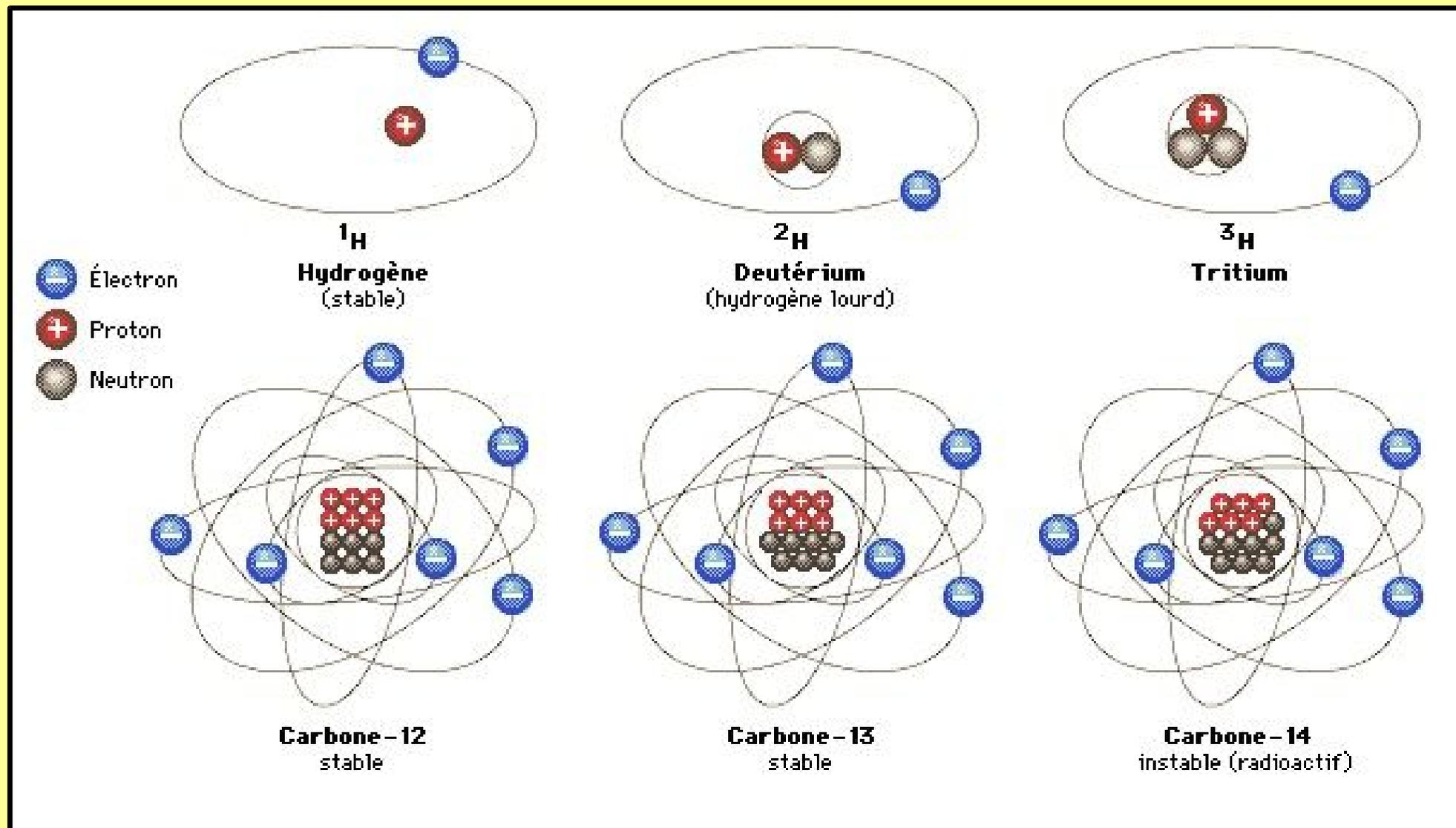
Légende

- Métaux alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Métaux de transition
- Autres métaux
- Autres éléments non métalliques
- Halogènes
- Gaz rares
- Lanthanides
- Actinides

Le symbole en blanc indique l'absence de nucléides stables

																		8A 18																													
																		2	He	4,00260	hélium																										
1A 1																	3A 13	4A 14	5A 15	6A 16	7A 17																										
1	1	H																	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																	
		1,00794																	10,811	12,0107	14,0067	15,9994	18,9984	20,1797																							
		hydrogène																	bore	carbone	azote	oxygène	fluor	néon																							
2A 2																																															
2	3	Li	4	Be																																											
		6,941		9,01218																																											
		lithium		béryllium																																											
3B 3	4B 4	5B 5	6B 6	7B 7	8B						1B 11	2B 12																																			
3	11	Na	12	Mg	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr											
		22,9898		24,305		44,9559		47,867		50,9415		51,9961		54,938		55,845		58,9332		58,6934		63,546		65,409		68,723		72,64		74,9216		78,96		79,904		83,798											
		sodium		magnésium		scandium		titane		vanadium		chrome		manganèse		fer		cobalt		nickel		cuivre		zinc		gallium		germanium		arsenic		sélénium		brome		krypton											
4	19	K	20	Ca	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe											
		39,0983		40,078		88,9059		91,224		92,9064		95,94		[98]		101,07		102,9055		106,42		107,8682		112,411		114,818		118,710		121,760		127,60		126,9045		131,293											
		potassium		calcium		yttrium		zirconium		niobium		molybdène		technétium		ruthénium		rhodium		palladium		argent		cadmium		indium		étain		antimoine		tellure		iode		xénon											
5	37	Rb	38	Sr	57-71	La-Lu						72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn						
		85,4678		87,62								178,49		180,9479		183,84		186,207		190,23		192,217		195,084		196,9666		200,59		204,383		207,2		208,9804		[209]		[210]		[222]							
		rubidium		strontium								hafnium		tantale		tungstène		rhénium		osmium		iridium		platine		or		mercure		thallium		plomb		bismuth		polonium		astate		radon							
6	55	Cs	56	Ba	89-103	Ac-Lr						104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Uub	113	Uut	114	Uuq	115	Uup												
		132,90545		137,327								[261]		[262]		[266]		[264]		[277]		[268]		[281]		[272]		[285]		[284]		[289]		[288]													
		césium		baryum								rutherfordium		dubnium		seaborgium		bohrium		hassium		meitnerium		darmstadtium		roentgenium		ununbium		ununthium		ununquadium		ununpentium													
7	87	Fr	88	Ra														108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Uub	113	Uut	114	Uuq	115	Uup														
		[223]		[226]															[261]		[262]		[266]		[264]		[277]		[268]		[281]		[272]		[285]		[284]		[289]		[288]						
		francium		radium															rutherfordium		dubnium		seaborgium		bohrium		hassium		meitnerium		darmstadtium		roentgenium		ununbium		ununthium		ununquadium		ununpentium						
																		* 57 La 58 Ce 59 Pr 60 Nd 61 Pm 62 Sm 63 Eu 64 Gd 65 Tb 66 Dy 67 Ho 68 Er 69 Tm 70 Yb 71 Lu																													
																		138,9055 lanthane 140,116 cérium 140,9077 praséodyme 144,24 néodyme [145] prométhium 150,36 samarium 151,964 europium 157,25 gadolinium 158,9254 terbium 162,50 dysprosium 164,9303 holmium 167,259 erbium 168,9342 thulium 173,04 ytterbium 174,967 lutétium																													
																		** 89 Ac 90 Th 91 Pa 92 U 93 Np 94 Pu 95 Am 96 Cm 97 Bk 98 Cf 99 Es 100 Fm 101 Md 102 No 103 Lr																													
																		[227] actinium 232,0381 thorium 231,0359 protactinium 238,0289 uranium [237] neptunium [244] plutonium [243] américium [247] curium [247] berkélium [251] californium [252] einsteinium [257] fermium [258] mendelevium [259] nobélium [262] lawrencium																													

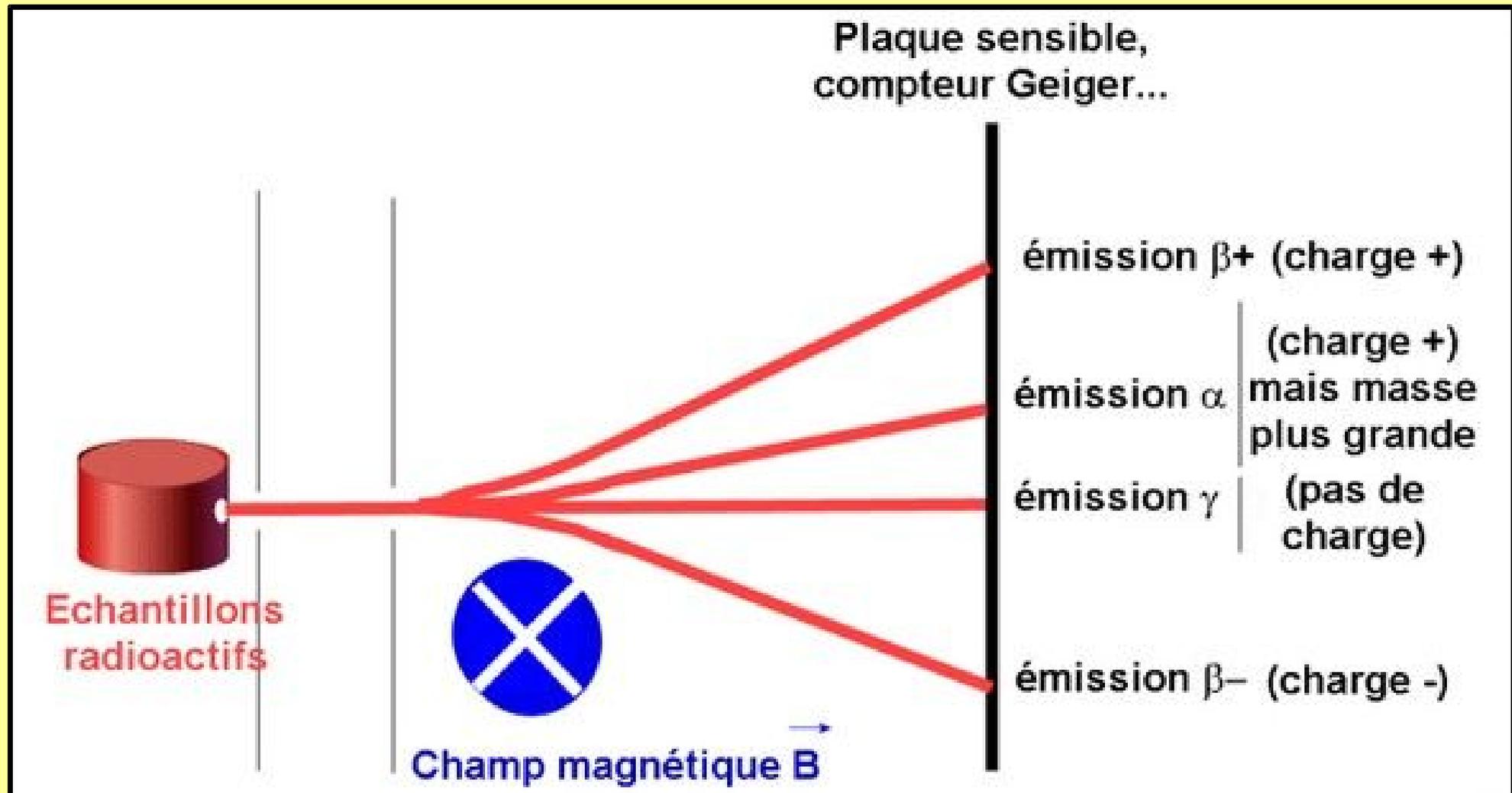
Isotopes = même place dans le tableau précédent



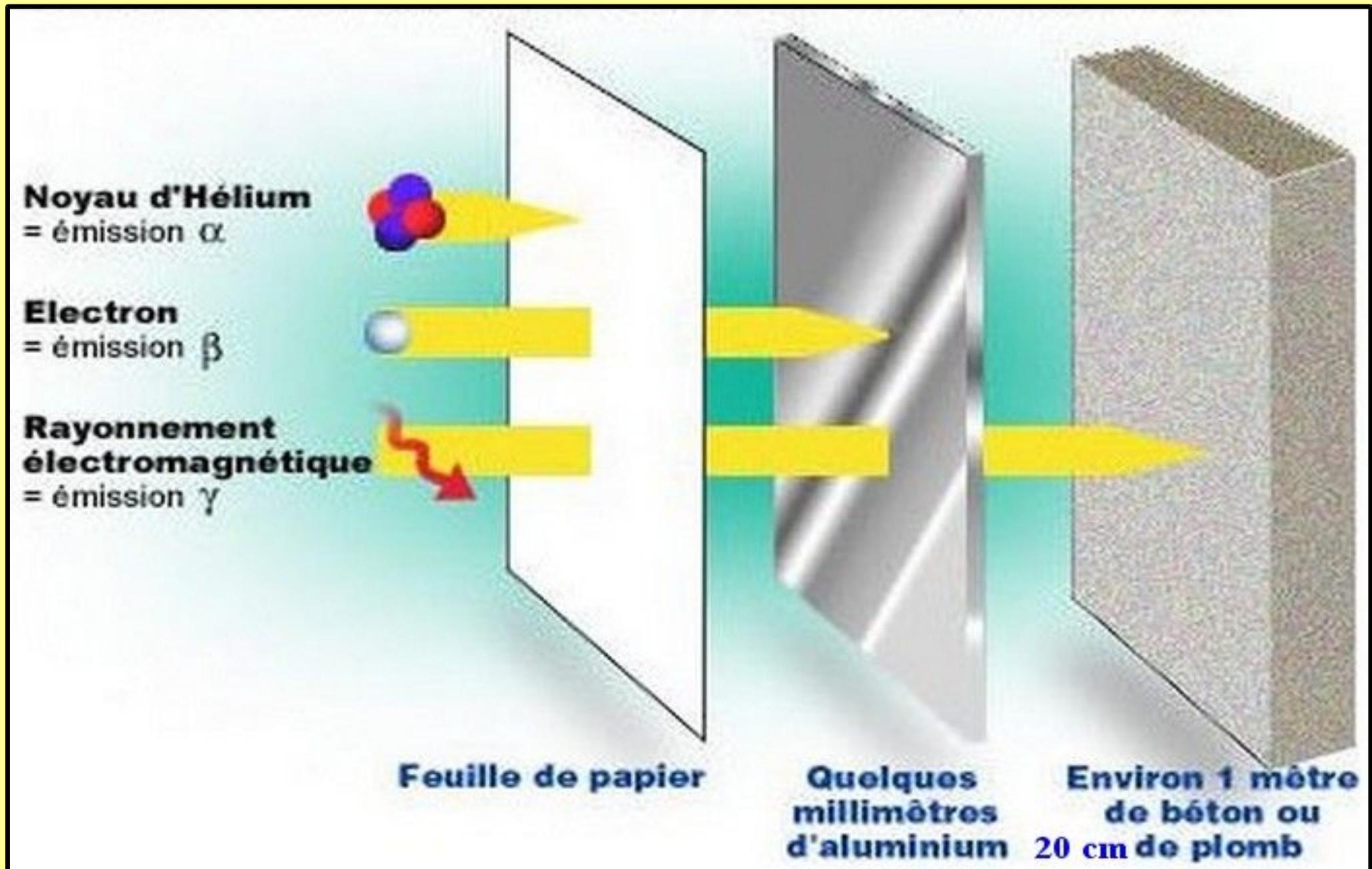
Deux noyaux isotopes ont le même nombre de protons mais des nombres de neutrons différents

La Radioactivité

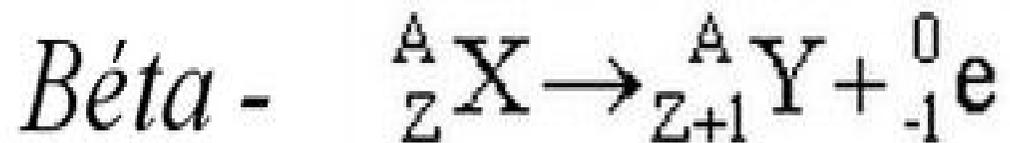
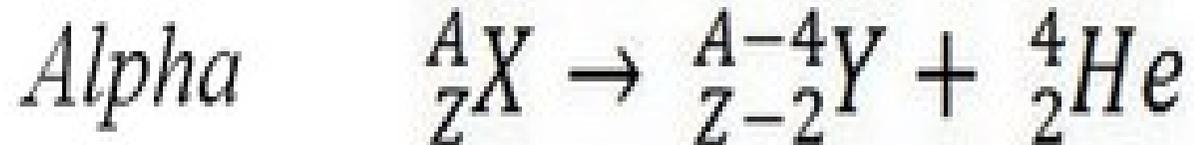
Henri Becquerel Pierre et Marie Curie, Irène Curie et Frédéric Joliot



Pouvoir pénétrant et barrières d'arrêt des radiations

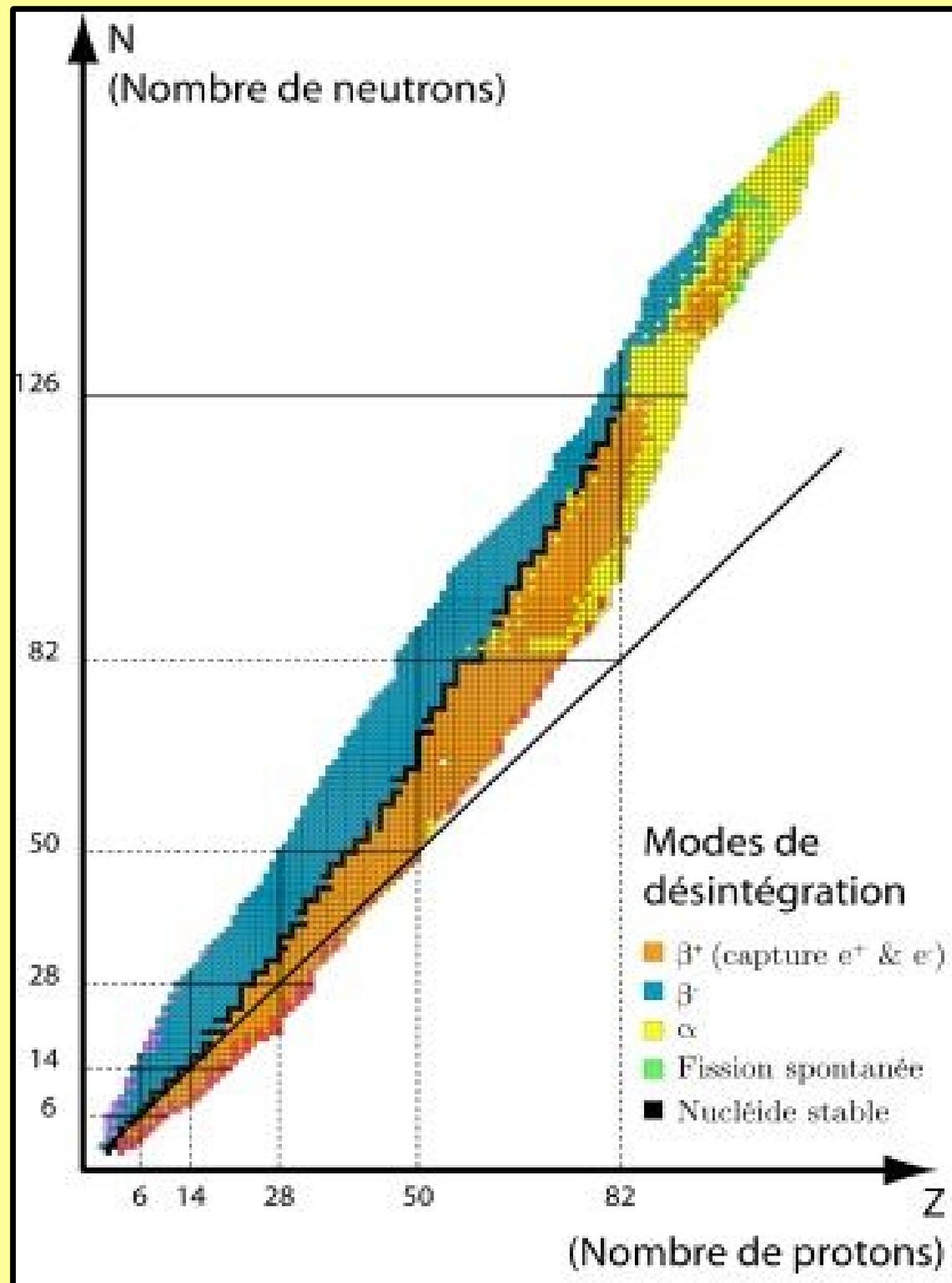


Réactions donnant ces divers rayonnements



Gamma = rayonnement voisin des Rayons X
Sans masse ni charge électrique

Répartition des trois radioactivités



la radioactivité est :

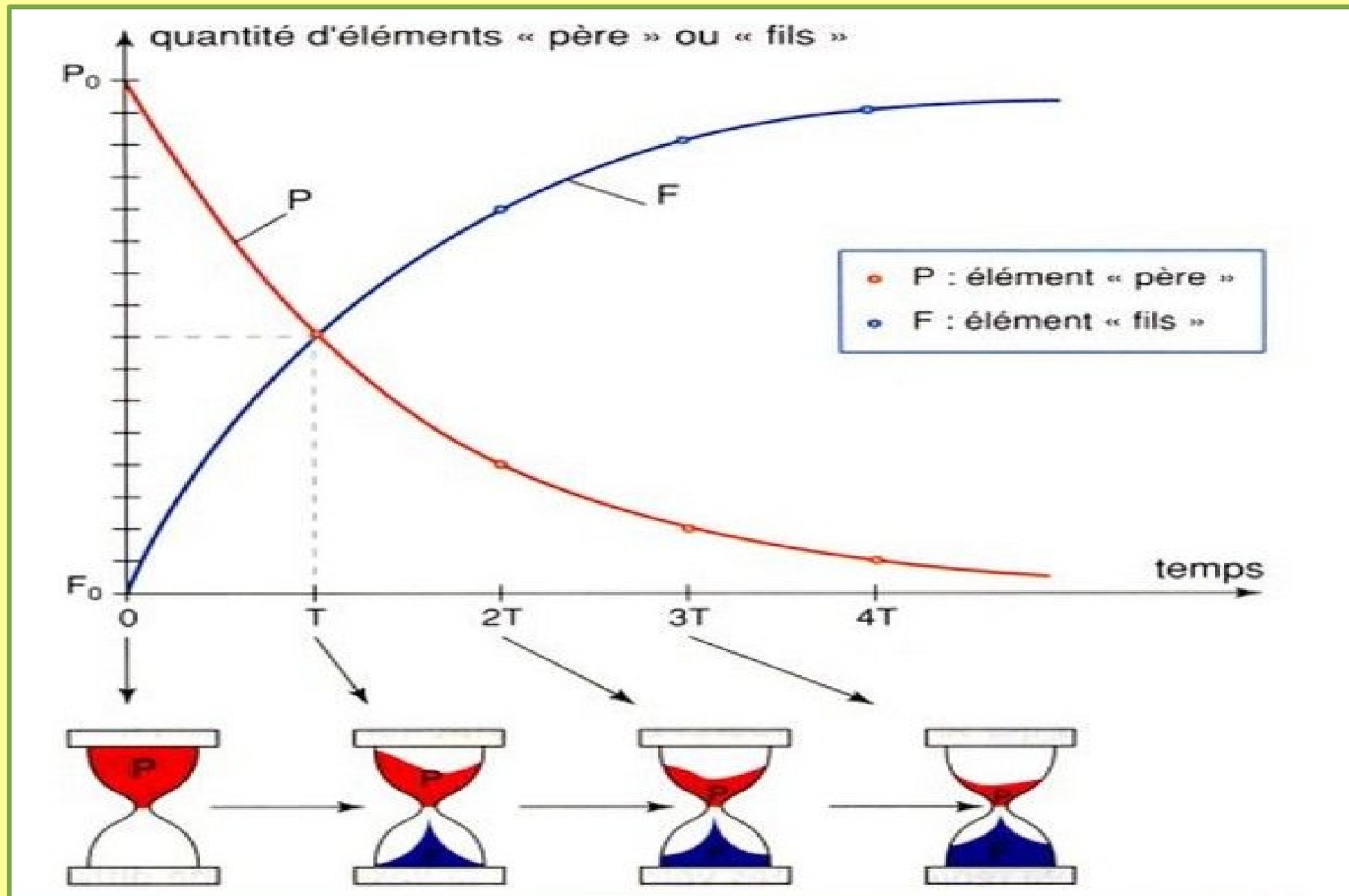
Aléatoire

Inéluctable

Spontanée

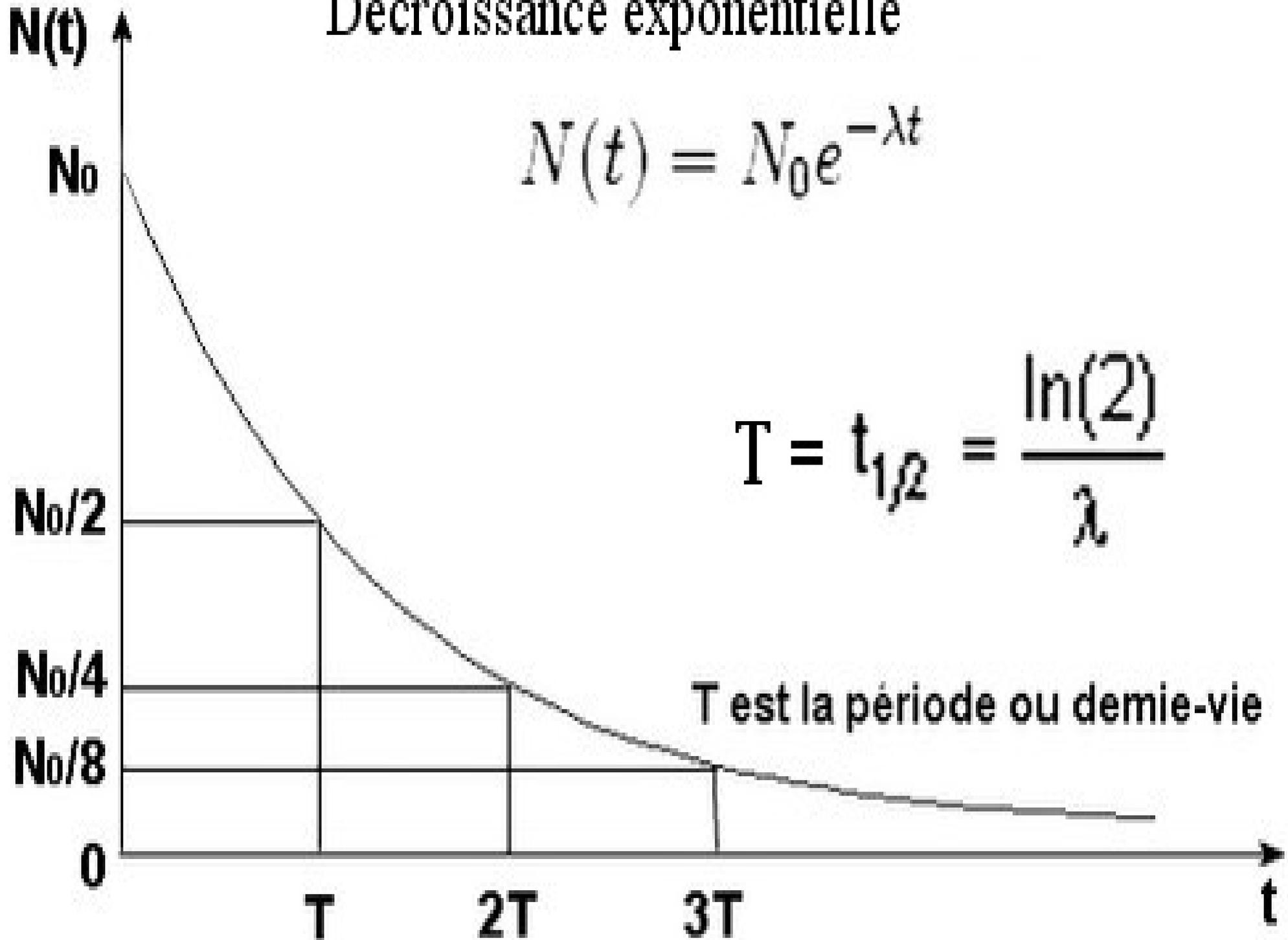
Exponentielle

Décroissance radioactive

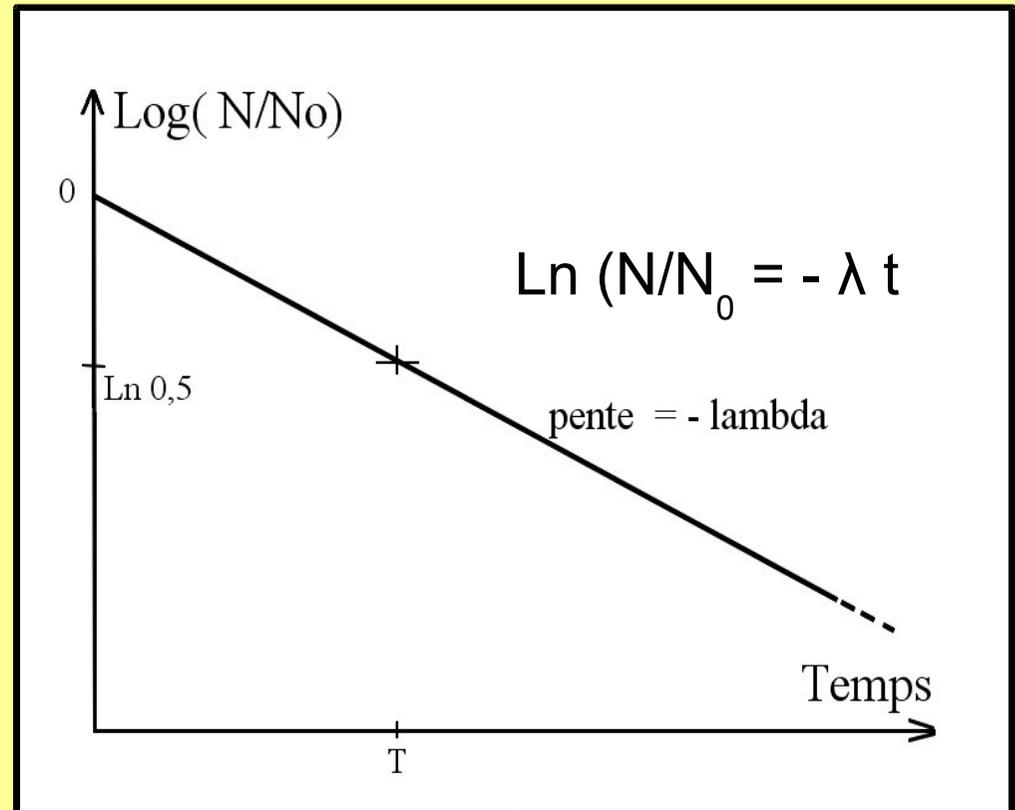
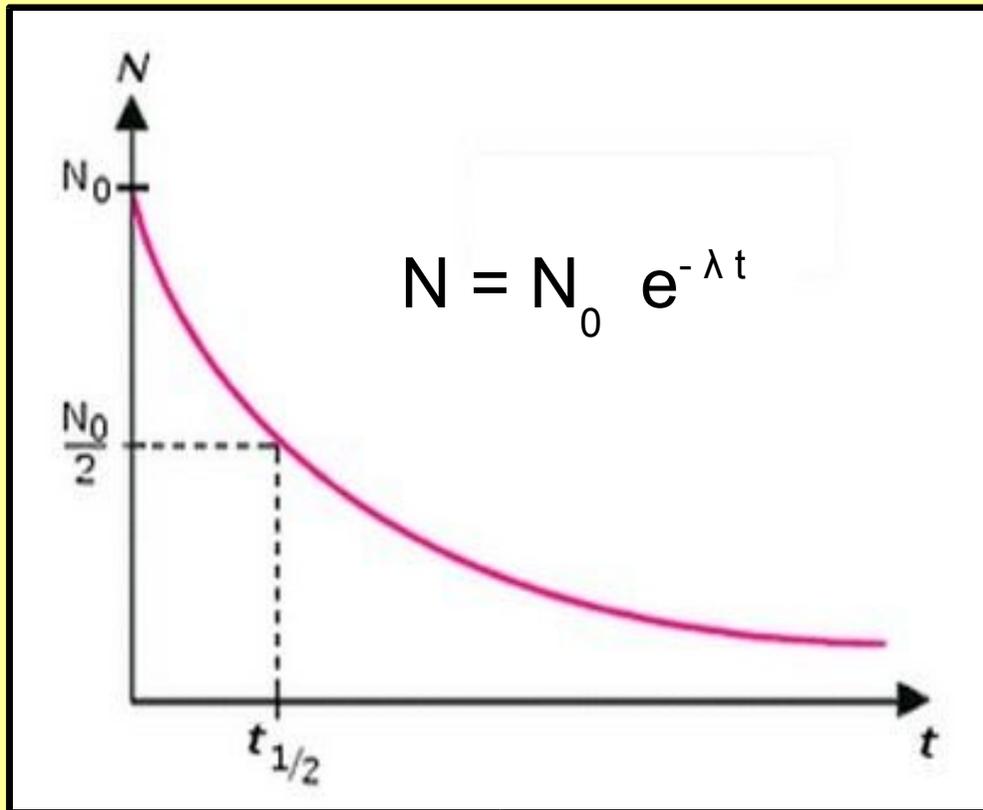


Décroissance exponentielle

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



La courbe exponentielle peut être transformée en droite par la fonction Logarithme (calculatrice)



La constante radioactive λ est propre à chaque isotope

L'activité radioactive, mesurée en Becquerels (Bq), dépend du nombre de noyaux (N) et de la constante λ

Méthode de datation avec des isotopes consommés ou produits par la radioactivité.

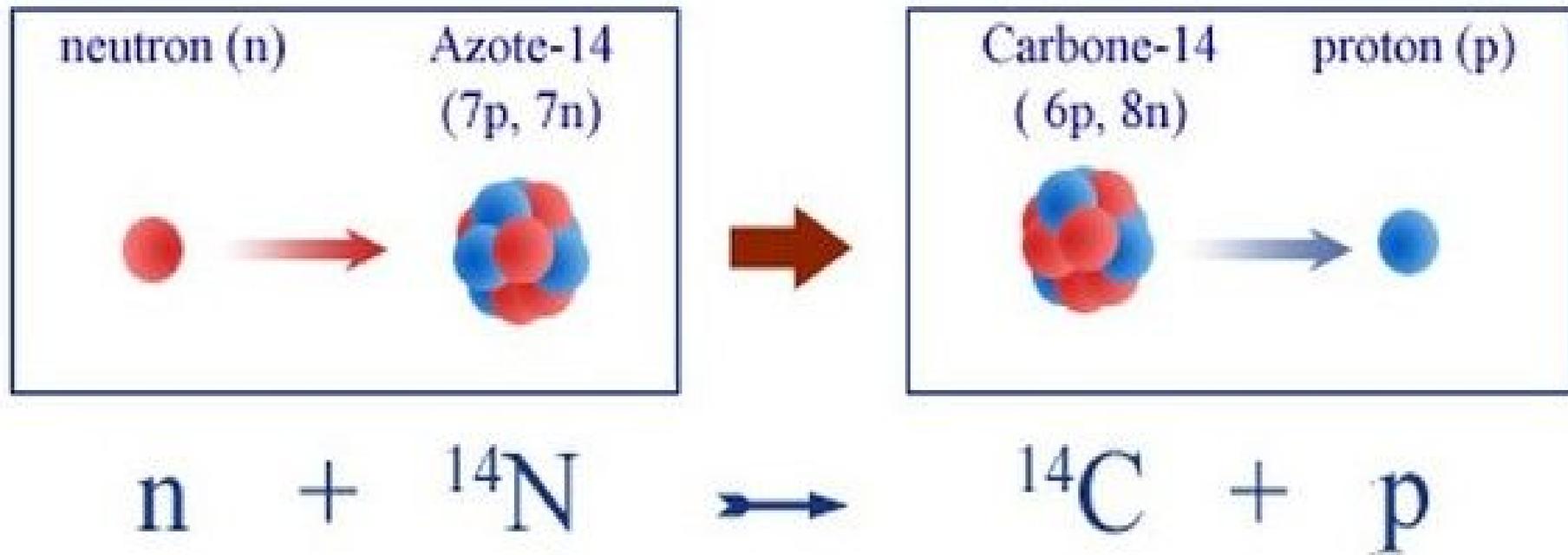
- 1° Choisir un isotope radioactif compatible (abondance et période)
- 2° S'assurer que le système est fermé (ni perte de matière, ni pollution)
- 3° Mesurer la quantité d'isotopes (par le rayonnement ou mesure de masse)
- 4° Déduire l'âge probable de l'échantillon à partir des lois de la radioactivité.

Les principaux isotopes utilisés

Isotope père	Rayonnement	Isotope fils	Période T (an)	λ (an ⁻¹)	Objets datés
$^{238}_{92}\text{U}$	$8\alpha\ 6\beta^- \rightarrow$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$4,53 \cdot 10^9$	$1,54 \cdot 10^{-10}$	↑ Minerais de U et Th Minéraux riches en U et Th : zircons ↓
$^{235}_{92}\text{U}$	$7\alpha\ 4\beta^- \rightarrow$	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$0,73 \cdot 10^9$	$9,72 \cdot 10^{-10}$	
$^{232}_{90}\text{Th}$	$6\alpha\ 4\beta^- \rightarrow$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$13,9 \cdot 10^9$	$4,99 \cdot 10^{-11}$	
$^{87}_{37}\text{Rb}$	$\beta^- \rightarrow$	$^{87}_{38}\text{Sr}$	$47 \cdot 10^9$ $49,9 \cdot 10^9$	$1,39 \cdot 10^{-11}$ $1,47 \cdot 10^{-11}$	↑ Biotite Muscovite Feldspath Amphibole Pyroxène Glauconite ↓
$^{40}_{19}\text{K}$	$+e^- + \gamma \rightarrow$ $\beta^- \rightarrow$	$^{40}_{18}\text{Ar}$ $^{40}_{20}\text{Ca}$	$1,27 \cdot 10^9$	$58 \cdot 10^{-10}$ $4,72 \cdot 10^{-10}$	
$^{14}_6\text{C}$	$\beta^- \rightarrow$	$^{14}_7\text{N}$	5 750	$1,2 \cdot 10^{-4}$	↑ Bois, os, coquilles... ↓

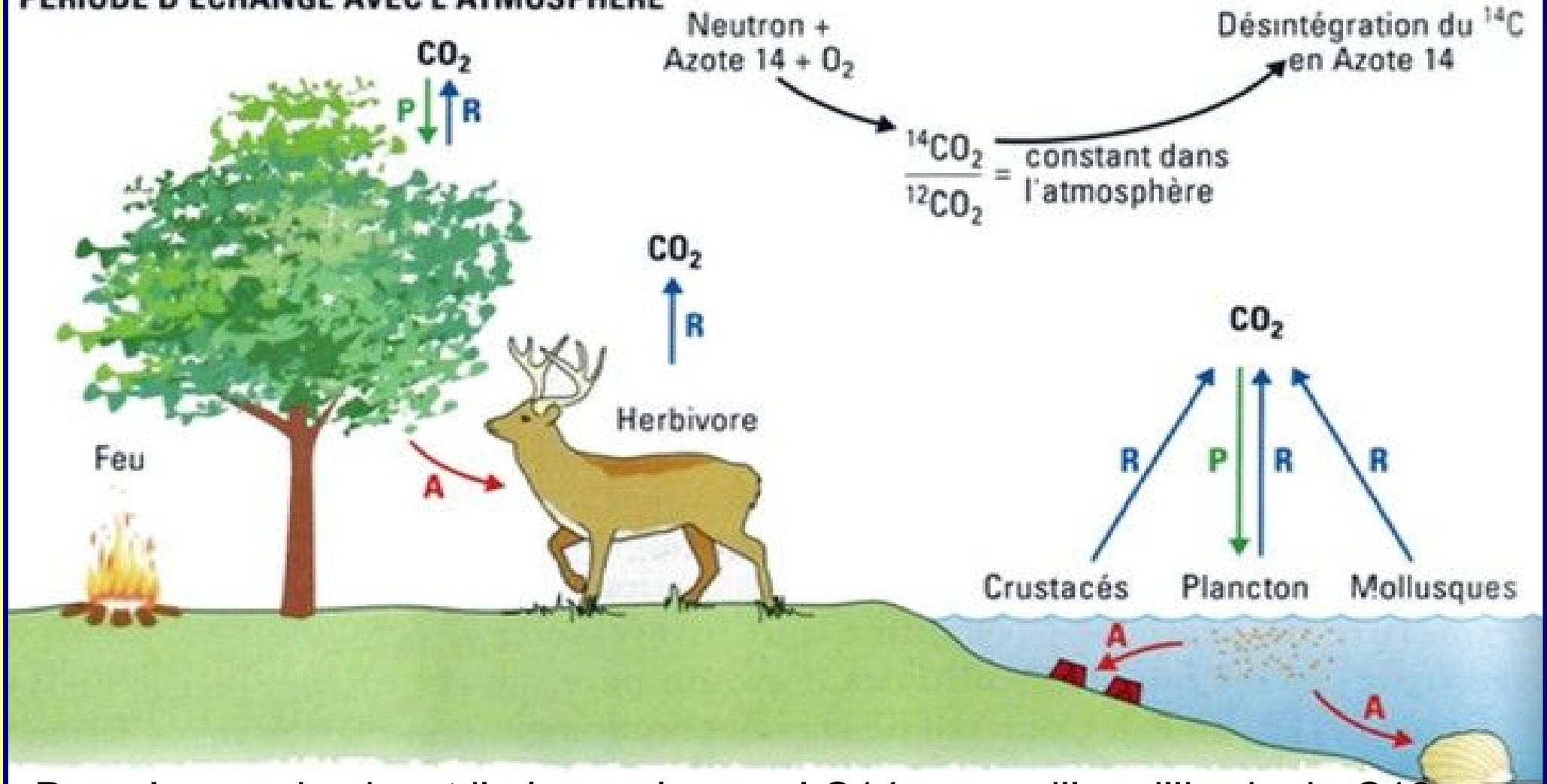
Datation par le Carbone 14

Production du C14 dans la haute atmosphère

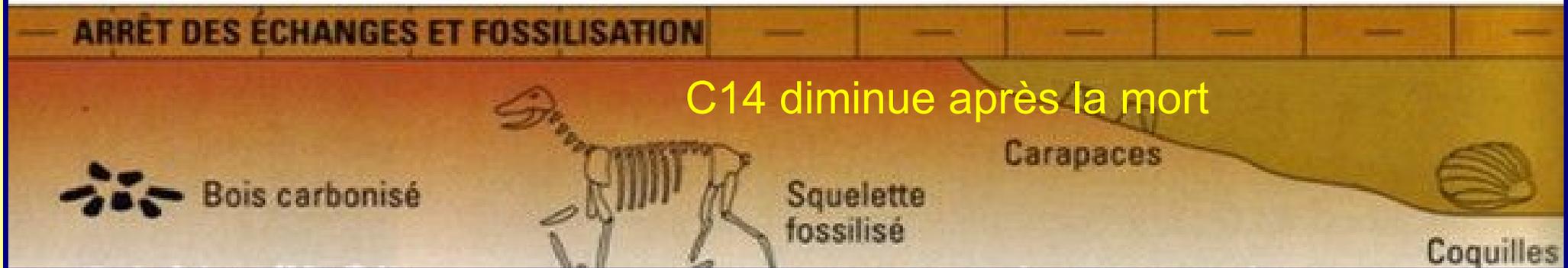


Dans le monde vivant il n'y a qu'un seul C14
pour mille milliards de C12

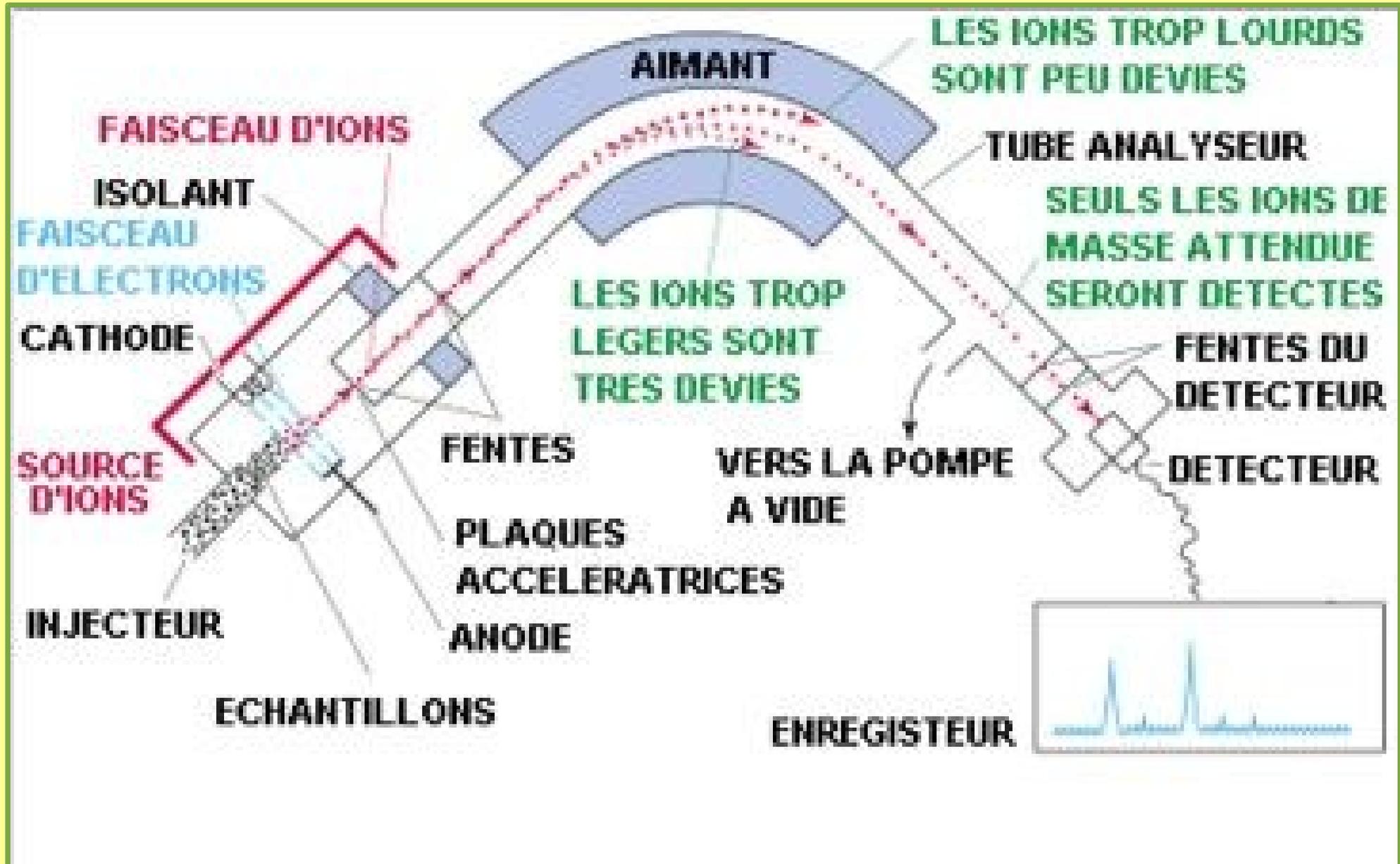
PÉRIODE D'ÉCHANGE AVEC L'ATMOSPHÈRE



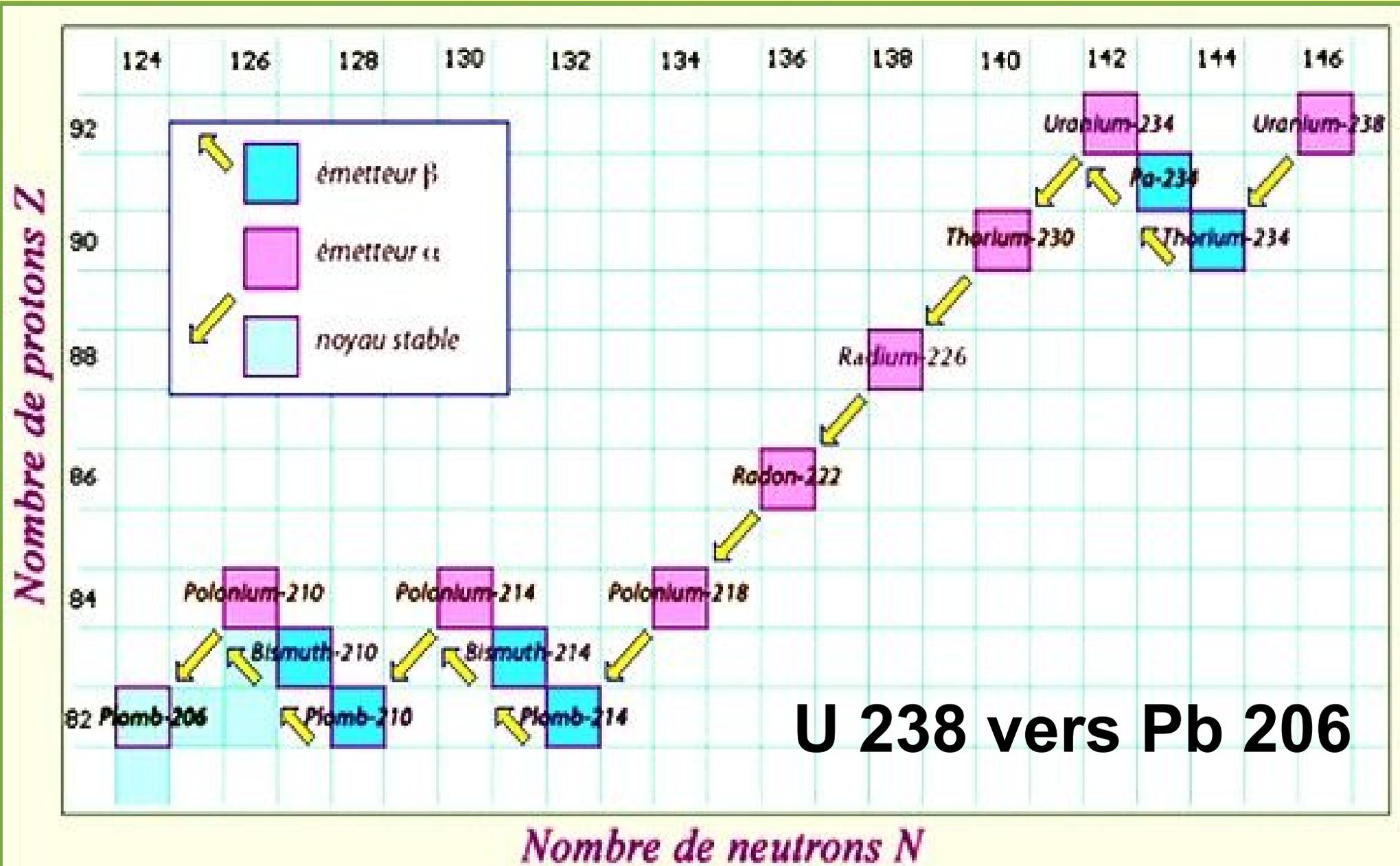
Dans le monde vivant il n'y a qu'un seul C14 pour mille milliards de C12



Spectrographe de masse

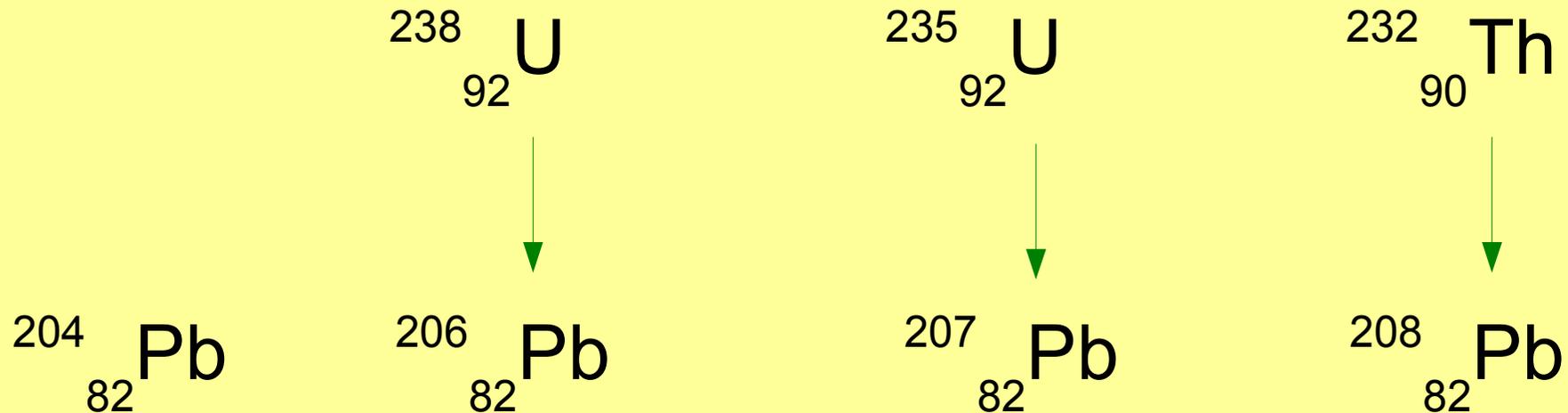


Datation par Uranium-Plomb



Les 4 isotopes stables du plomb ont des origines diverses.

Seul, le Pb 204 est indépendant des filières radioactives.



Autrefois on mesurait l'activité en Bq et il fallait faire des calculs complexes pour séparer les contributions des différents isotopes radioactifs. De plus la méthode manquait de précision.

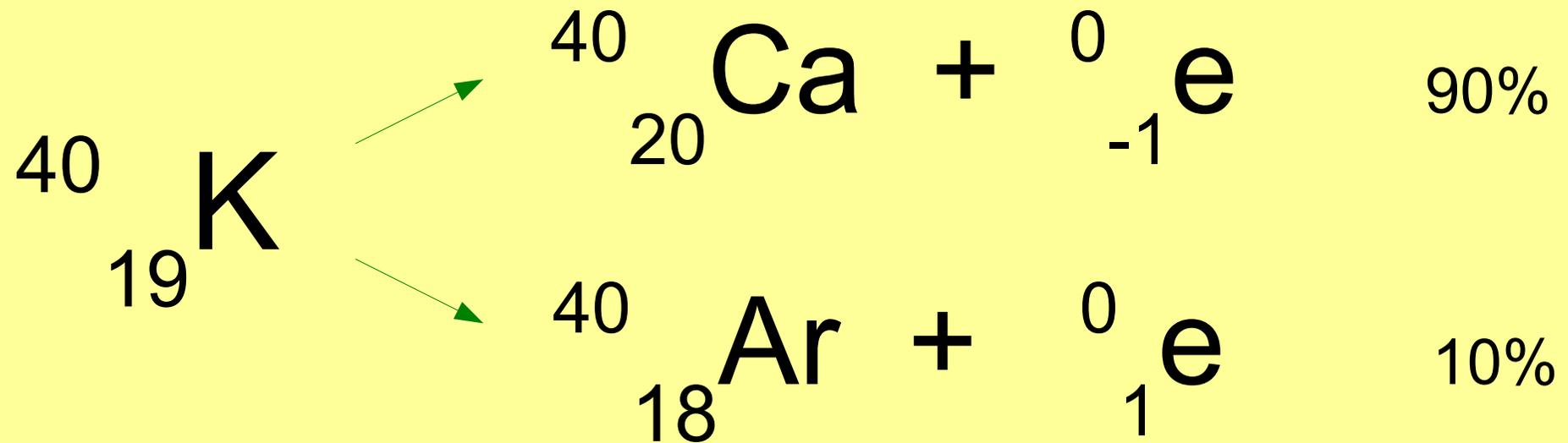
Depuis l'invention des spectrographes de masse performants, on mesure le nombre des différents isotopes du plomb.

Pour affiner la méthode on utilise les cristaux de zircon. Dans un cristal de zircon (Zr SiO_4), des atomes d'uranium peuvent prendre la place des atomes de zirconium.

Le dosage précis des isotopes du plomb permet de calculer l'âge de formation du cristal et donc celui de la roche qui le contient.

Ainsi, on a daté le granite de l'île d'Yeu à 530 ± 8 Ma.

Datation par Potassium-Argon



Toute la difficulté expérimentale réside dans la récupération sous vide de l'argon qui est un gaz, heureusement inerte.

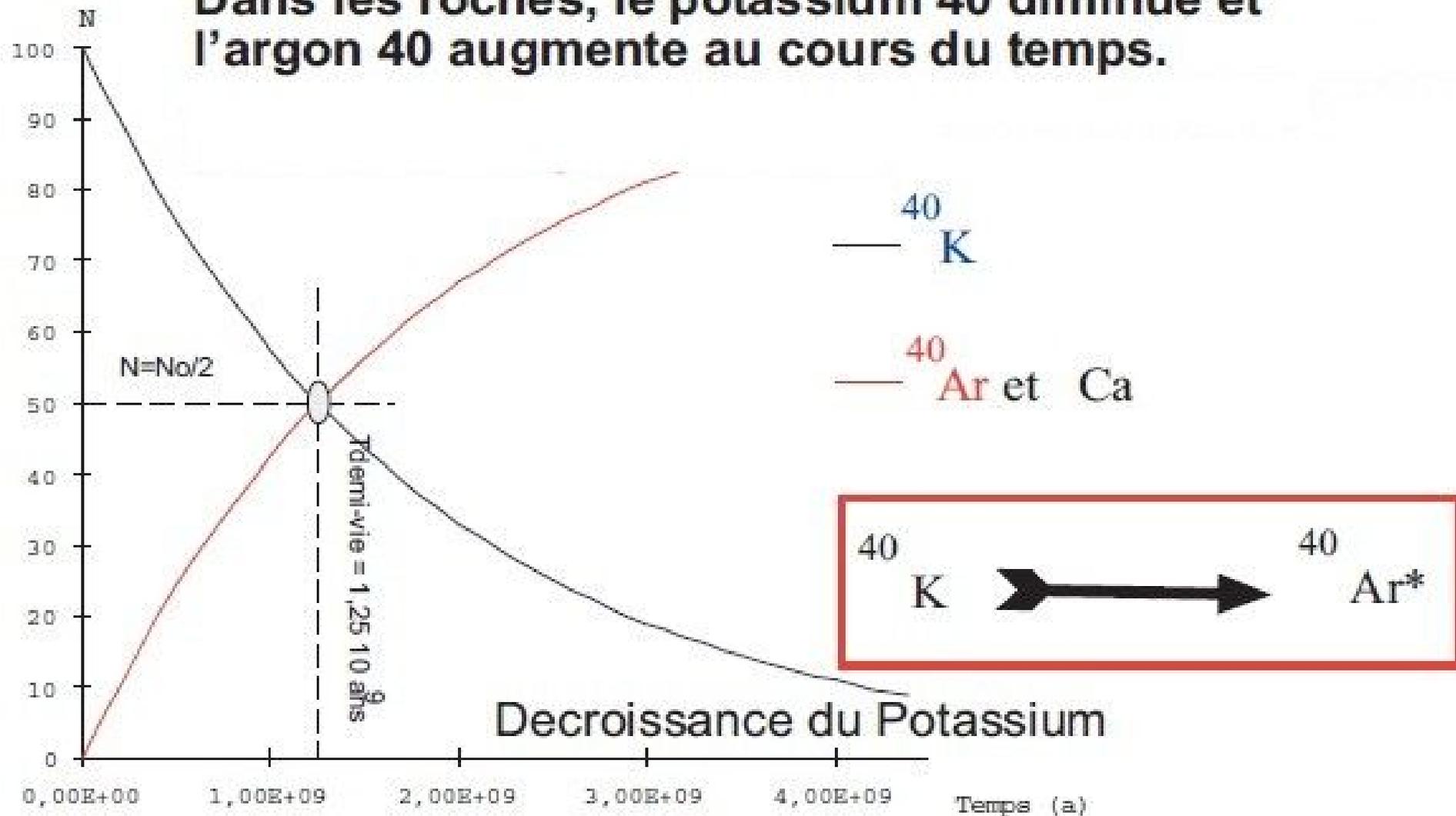
En outre, le potassium est soluble dans l'eau !

Cette méthode doit donc utiliser les cristaux sans défaut qui ont piégé l'argon dans le réseau cristallin.

On utilise des cristaux de biotite, muscovite ou de feldspath.



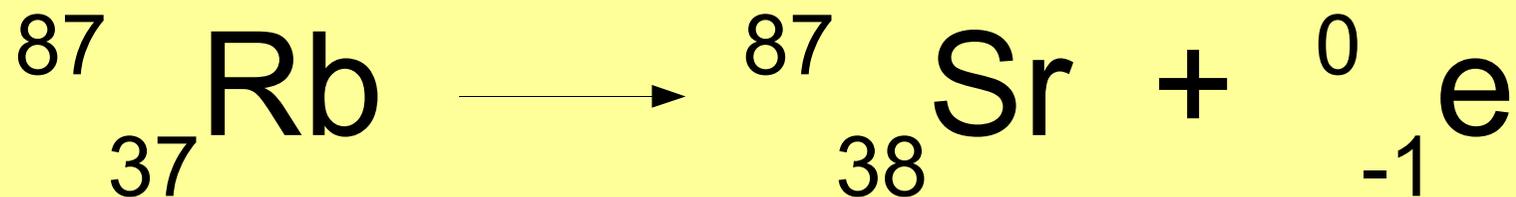
Dans les roches, le potassium 40 diminue et l'argon 40 augmente au cours du temps.



$$t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln\left(1 + \frac{\lambda}{\lambda_{\epsilon}} \cdot \frac{{}^{40}\text{Ar}_t}{{}^{40}\text{K}_t}\right) \text{ avec } \lambda = \lambda_{\epsilon} + \lambda_{\beta}$$

Datation par Rubidium-Strontium

Le rubidium possède un isotope stable $^{85}_{37}\text{Rb}$
et un isotope radioactif $^{87}_{37}\text{Rb}$ (28%)
dont la demi-vie est de 50 mda.
Il en reste encore 9/10 !



Les noyaux père et fils ayant la même masse,
un spectrographe de masse est inopérant.

On a donc recours à une séparation chimique délicate, suivie d'une chromatographie.

Pour que la méthode soit valable, les échantillons doivent contenir les deux isotopes : Sr86 naturel et Sr87 produit.

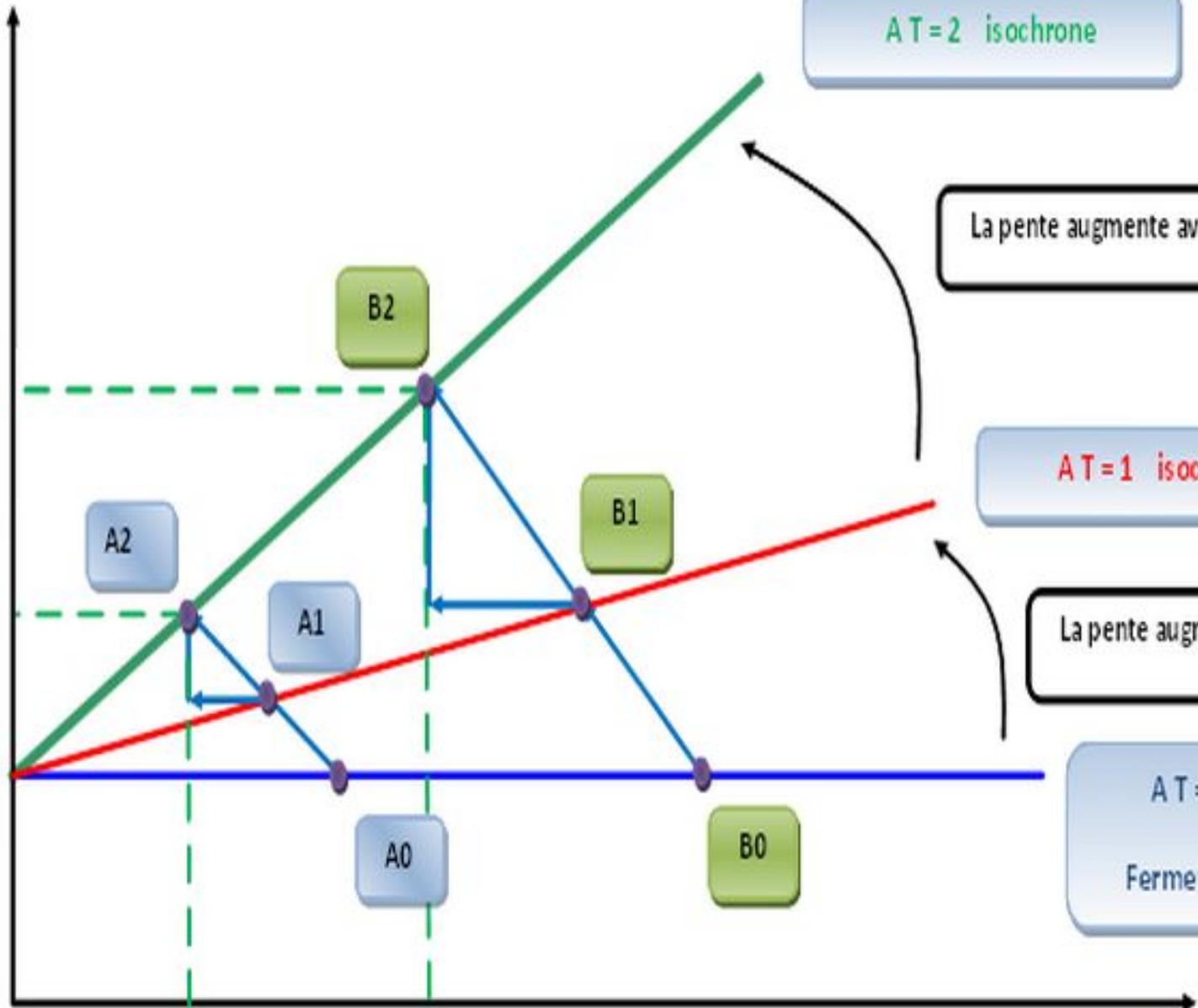
On établit deux rapports : $X = {}^{87}\text{Rb} / {}^{86}\text{Sr}$
Et $Y = {}^{87}\text{Sr} / {}^{86}\text{Sr}$

Dans un magma liquide le brassage assure Y constant.

Dès la cristallisation, la décomposition du rubidium produit du ${}^{87}\text{Sr}$ et donc Y augmente avec le temps.

On trace donc les points (X, Y) des valeurs trouvées dans les différents minéraux (mica, feldspath...) présents dans l'échantillon. La droite qui passe au mieux parmi ces points est appelée droite isochrone.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$



AT=2 isochrone

La pente augmente avec le temps

AT=1 isochrone

La pente augmente avec le temps

AT=0 isochrone

Fermeture du système

Minéral A

Minéral B

$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$

L'équation de la droite isochrone
est de type $Y = a X + b$

sa pente est $a = e^{\lambda t} - 1$

d'où $\lambda t = \text{Ln}(a + 1)$.

a est lu sur le graphique,

et $\lambda = 1,42 \cdot 10^{-11}/\text{an}$

on en déduit l'âge de la roche $t =$

Il reste à vérifier cela avec radiochrone, logiciel de simulation.