

# La radioactivité naturelle

---

## chap. 4

*Jallu Laurent*

I.	La Radioactivité .....	2
	• Bref historique .....	2
	• Phénomène naturel .....	2
	Remarque .....	3
	Les radio-isotopes naturels .....	4
	Les radio-isotopes artificiels .....	5
	• Phénomène aléatoire .....	6
II.	Les Radioéléments .....	8
III.	Les rayonnements radioactifs .....	9
	• Les lois de Soddy .....	9
	Remarque . .....	9
	• Les rayonnements.....	9
	• Pénétration des rayonnements ionisants.....	10
	Annexe 1 : Découverte des nucléides.....	11
	Annexe 2 : Utilisation des éléments chimiques.....	12



## La Radioactivité naturelle



Henri Becquerel  
1852-1908



Wilhelm Roentgen  
1845-1923



Pierre et Marie Curie  
1859-1906 et 1867-1934

### I. La Radioactivité

- Bref historique

**L**a radioactivité n'a pas été inventée par l'homme. Elle a été découverte, il y a un peu plus d'un siècle, en 1896, par le physicien français Henri Becquerel. Ce dernier cherchait à savoir si les rayons qu'émettaient les sels fluorescents d'uranium étaient les mêmes que les rayons X découverts en 1895 par Wilhelm Roentgen, physicien allemand. Il pensait que les sels d'uranium, après avoir été excités par la lumière, émettaient ces rayons X. Quelle ne fut pas sa surprise lorsqu'à Paris, en mars 1896, il découvrit que le film photographique avait été impressionné sans avoir été exposé à la lumière du soleil ! Il en conclut que l'uranium émettait spontanément et sans s'épuiser des rayonnements invisibles, différents des rayons X. Le phénomène découvert est appelé radioactivité (du latin radius : rayon). À la suite des travaux d'Henri Becquerel, Pierre et Marie Curie isolèrent en 1898 le polonium et le radium, des éléments radioactifs inconnus présents dans le minerai d'uranium.

**La radioactivité** : Revue thématique du CEA janvier 2002

- Phénomène naturel

Dans la nature, la plupart des noyaux d'atomes sont stables.

Cependant, **certains atomes ont des noyaux instables**, ce qui est **dû à un excès soit de protons, soit de neutrons, ou encore à un excès des deux**. Ils **sont** dits **radioactifs** et sont appelés **radio-isotopes** ou **radionucléides**.

Les noyaux d'atomes radioactifs se transforment spontanément en d'autres noyaux d'atomes, radioactifs ou non. Cette transformation irréversible d'un atome radioactif en un autre atome est appelée **désintégration** et s'accompagne d'une **émission** de différents types de **rayonnements**.

Exemple : De noyau radioactif en noyau radioactif, l'uranium 238 tend à se transformer en une forme stable, le plomb 206.

L'isotope 12 du carbone «  $^{12}_6\text{C}$  » n'est pas radioactif, l'isotope 14, «  $^{14}_6\text{C}$  » l'est.

L'hydrogène possède 3 isotopes qui ont 0, 1 ou 2 neutrons.



L'hydrogène  $^1_1\text{H}$

Le tritium « T »  $^3_1\text{H}$

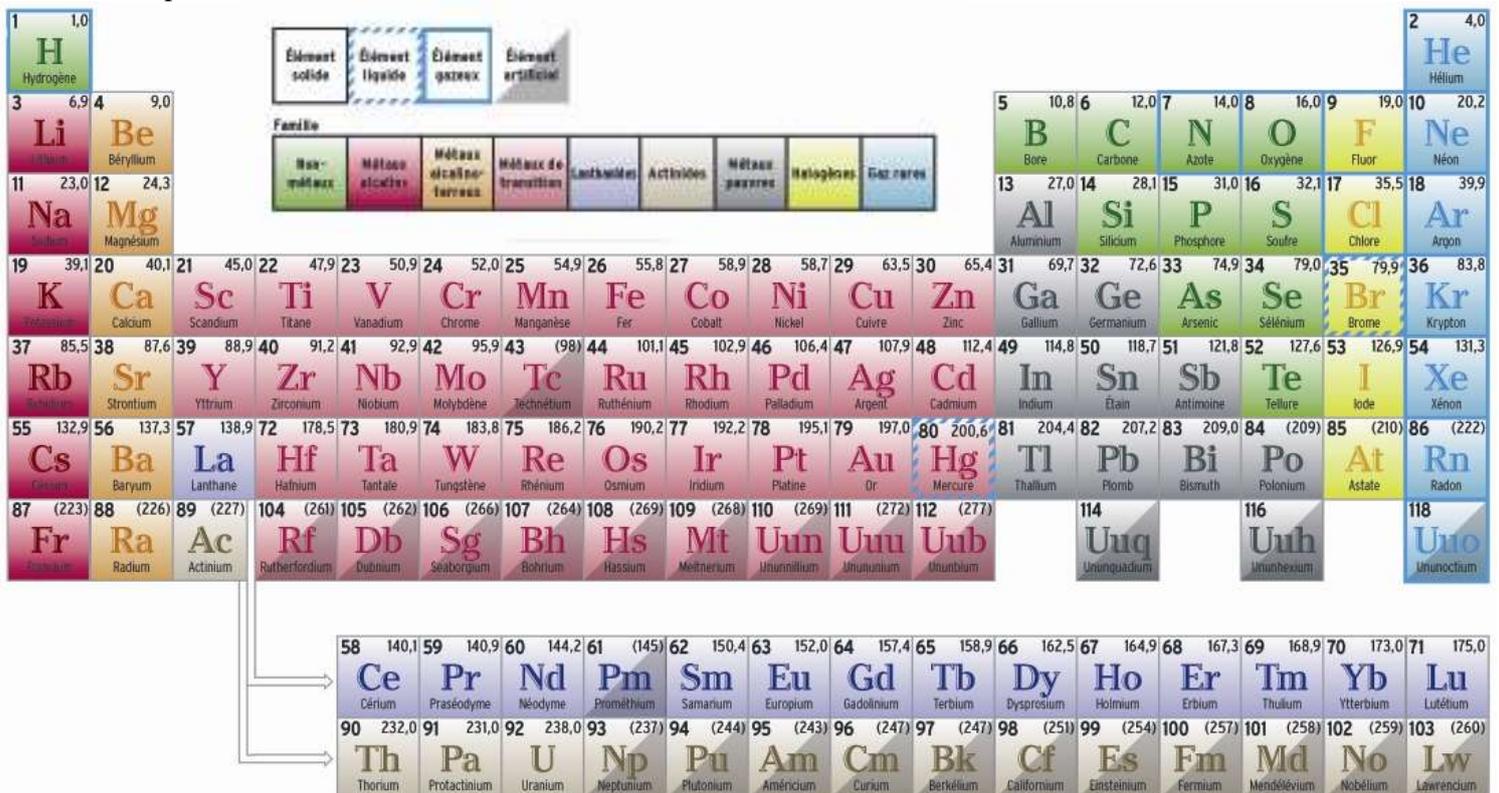
Un élément chimique peut

avoir à la fois des isotopes radioactifs et des isotopes non radioactifs.

**Définition :** Sont « isotopes » des atomes ayant le même nombre de protons et un nombre différent de neutrons. Ils appartiennent au même élément chimique.

**Exemple :** Le carbone 12 «  $^{12}_6\text{C}$  » (six neutrons) et le carbone 14 «  $^{14}_6\text{C}$  » (huit neutrons) sont deux isotopes du carbone.

La table périodique des éléments de Mendeleïev permet de classer et de nommer les différents éléments chimiques découverts à ce jour par nombre de protons dans le noyau, allant de 1 pour l'hydrogène à 92 pour l'uranium, et même plus pour des noyaux n'existant pas à l'état naturel et fabriqués en laboratoire. Elle spécifie les propriétés chimiques des éléments qui dépendent du nombre d'électrons de l'atome.



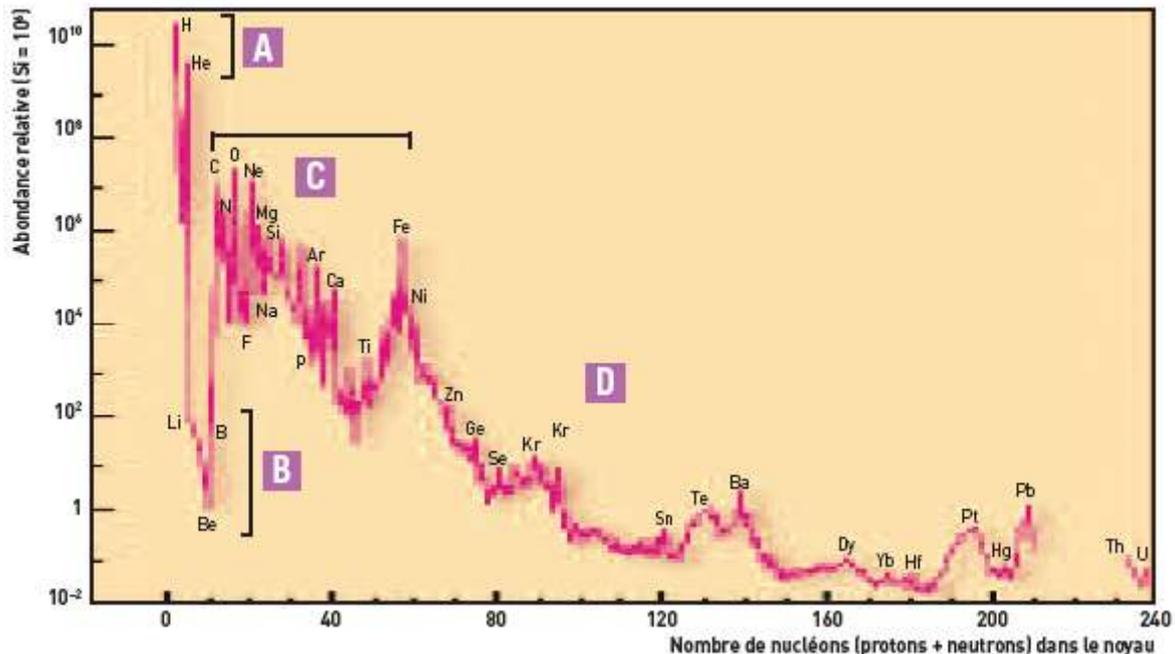
**Remarque :** La radioactivité ne concernant que le noyau et non les électrons, les propriétés chimiques des isotopes radioactifs sont les mêmes que celles des isotopes stables.

La table des abondances des éléments dans le système solaire indique pour chaque élément de la table périodique, la quantité trouvée de cet élément dans le système solaire. Ces abondances ont comme base de référence l'abondance d'un élément, le silicium. Son abondance est arbitrairement donnée à  $10^6$ . Les abondances des autres éléments sont données relativement à l'abondance du silicium en puissance de dix :  $10^{-2}$  = un centième, 1,  $10^2$  = 100,  $10^4$  = 10 000,  $10^6$  = 1 000 000 (un million),  $10^8$  = cent millions,  $10^{10}$  = dix milliards. Elle est élaborée à partir de mesures et d'observations et est très précieuse pour les astrophysiciens. On y constate que :

- **A**, les éléments les plus abondants sont l'hydrogène H et l'hélium He (un gramme de matière en contient 98%). On trouve cette situation dans tout l'Univers observable ;

- **B**, une carence importante apparaît entre l'hélium He et le carbone C liée à la fragilité nucléaire des noyaux de lithium Li, de béryllium Be et de bore B ;
- **C**, les noyaux les plus abondants sont ensuite, le carbone C (avec 12 neutrons et protons), l'oxygène O (16), le néon Ne (20), le magnésium Mg (24), le silicium Si (26), le fer Fe (56). Ce sont aussi les noyaux les plus stables de l'Univers ;
- **D**, les noyaux plus lourds que le fer (Fe) sont beaucoup plus rares. Le fer est le noyau le plus stable de l'Univers.

Table d'abondance des éléments



Exemples :  ${}_{92}^{235}\text{U}$  : 0,700 % et  ${}_{92}^{238}\text{U}$  : 99,3 % Soit  $M_{\text{U}} = 0,007 \times 235 + 0,993 \times 238 = 238,0 \text{ u}$   
 ${}_{1}^1\text{H}$  : 99,985 %,  ${}_{1}^2\text{H}$  : 0,015 % et  ${}_{1}^3\text{H}$  : « traces ».

**Définition** : La « demi-vie ou période radioactive » est la durée nécessaire pour que la moitié des atomes radioactifs d'un échantillon soit désintégrée (voir tableau page suivante).

#### ☑ LES RADIO-ISOTOPES NATURELS

Lors de la formation de la Terre, il y a environ 5 milliards d'années, la matière comprenait des atomes stables et instables. Mais depuis, la majorité des atomes instables se sont désintégrés par radioactivité et la plupart d'entre eux ont fini par atteindre la stabilité. Cependant, il existe toujours quelques atomes radioactifs naturels comme :



- Le granite : 1000 becquerels par kg.
- Le corps humain: un individu de 70 kg a une activité de l'ordre de 8000 becquerels dont environ 5000 becquerels dus au potassium 40 (dans les os).
- Le lait : 80 becquerels par litre.
- L'eau de mer: 10 becquerels par litre.



- **Les radio-isotopes** caractérisés par une **très longue demi-vie** comme l'uranium 238 (4,5 milliards d'années) et le potassium 40 (1,3 milliard d'années). Ils n'ont pas encore eu le temps de tous se désintégrer depuis qu'ils ont été créés ;
- **Les descendants radioactifs** des précédents comme le radium 226 qui est en permanence régénéré après désintégration de l'uranium 238. Le radium 226 se transforme lentement en un gaz lui-même radioactif, le radon 222 ;
- **Les radio-isotopes créés par l'action des rayonnements** sur certains noyaux d'atomes. C'est le cas, par exemple, du carbone 14 qui se forme en permanence dans l'atmosphère.

Ces radio-isotopes naturels sont présents sur toute la planète, dans l'atmosphère (carbone 14, radon 222), dans la croûte terrestre (uranium 238 et uranium 235, radium 226 ...) et dans notre alimentation (potassium 40).

### PÉRIODES DE QUELQUES CORPS RADIOACTIFS

ÉLÉMENTS CHIMIQUES	PÉRIODE RADIOACTIVE	ORIGINE	PRÉSENCE	EXEMPLES D'UTILISATION
Tritium	12,3 ans	Artificielle	–	Fusion thermonucléaire Marquage biologique
Carbone 11	20,4 minutes	Artificielle	–	Imagerie médicale
Carbone 14	5 730 ans	Naturelle	Atmosphère Composés carbonés	Datation
Oxygène 15	2,02 minutes	Artificielle	–	Imagerie médicale
Phosphore 32	14,3 jours	Artificielle	–	Recherche en biologie
Soufre 35	87,4 jours	Artificielle	–	Recherche en biologie
Potassium 40	1,3 milliard d'années	Naturelle	Roches riches en potassium, squelette	–
Cobalt 60	5,27 ans	Artificielle	–	Radiothérapie Irradiation industrielle Gammagraphie
Strontium 90	28,8 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Jauges d'épaisseur
Iode 123	13,2 heures	Artificielle	–	Médecine nucléaire
Iode 131	8,05 jours	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	–
Césium 137	30,2 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Curiethérapie
Thallium 201	3,04 jours	Artificielle	–	Médecine nucléaire
Radon 222	3,82 jours	Naturelle	Gaz s'échappant des roches granitiques	–
Radium 226	1 600 ans	Naturelle	Roches terrestres contenant de l'uranium	–
Thorium 232	14 milliards d'années	Naturelle	–	Datation des minéraux Combustible potentiel
Uranium 235	704 millions d'années	Naturelle	Certaines roches terrestres Roches granitiques	Dissuasion nucléaire Combustible
Uranium 238	4,47 milliards d'années	Naturelle	Certaines roches terrestres Roches granitiques	Combustible dans les réacteurs à neutrons rapides
Plutonium 239	24 100 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Dissuasion nucléaire Combustible

### LES RADIO-ISOTOPES ARTIFICIELS

La **production de radio-isotopes artificiels** se fait au moyen d'un cyclotron ou d'un réacteur nucléaire et permet de nombreuses applications. Certains radio-isotopes (cobalt 60, iridium 192 ...) peuvent être utilisés comme source de rayonnements pour des radiographies gamma (ou gammagraphies) ou comme source d'irradiation pour la radiothérapie ou pour des

applications industrielles. De telles sources sont couramment utilisées en médecine et dans l'industrie. D'autres radio-isotopes artificiels sont créés dans les réacteurs nucléaires (strontium 90, césium 137...).

Certains ne sont pas utilisés par l'homme. Ils constituent ce que l'on appelle **les déchets nucléaires**. Fortement radioactifs, ils doivent être stockés sous haute surveillance et isolés de l'homme.



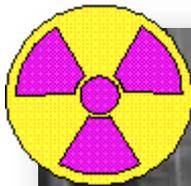
*Aphrodite accroupie, exposée au département des antiquités grecques, étrusques et romaines du musée du Louvre. La gammagraphie a permis de mettre en évidence les consolidations antérieures de cette statue de marbre et de situer avec précision inserts métalliques et cavités.*

≈ 350 nucléides naturels (~ 60 instables), ≈ 1500 nucléides artificiels (tous instables) pour seulement près de 110 éléments chimiques.

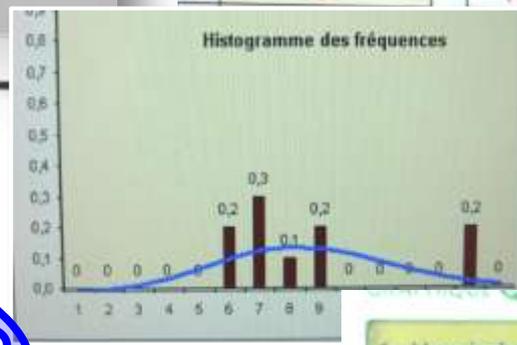
**Définition :** La « Radioactivité naturelle » est la désintégration spontanée, aléatoire et inéluctable, de certains noyaux appelés des « radio-éléments ».

- Phénomène aléatoire

Seule l'observation d'un échantillon renfermant un très grand nombre de noyaux radioactifs, permet une description statistique du comportement des noyaux (Voir TP).



Comptages	Clas	efec	fréq
1	7	0	0
2	6	0	0
3	14	0	0
4	6	0	0
5	7	0	0
6	9	2	0,2
7	7	3	0,3
8	14	1	0,1
9	8	2	0,2
10	9	0	0



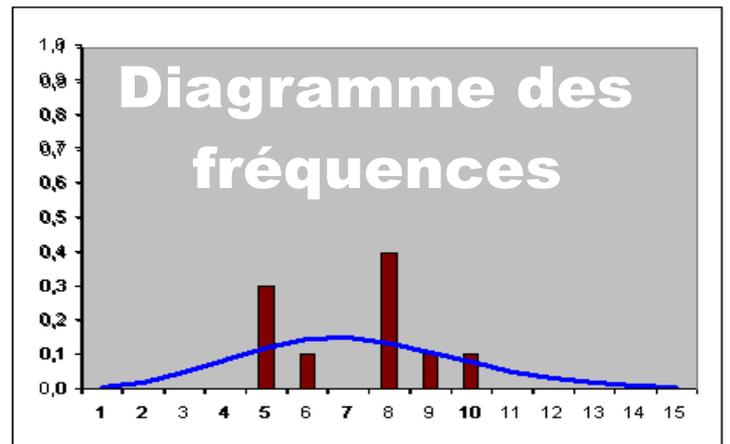
☞ Désintégration du Radon 222



**TP**



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
		<b>Comptages</b>		<i>Classes</i>	<i>effectifs</i>	<i>fréquence</i>	<i>probabilité théorique</i>		<i>Nombre de comptages</i>	<b>10</b>		
2									<i>Moyenne des comptages</i>	<b>7,200</b>		
3	<b>1</b>	<b>8</b>		<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0054</b>		<i>Écart type</i>	<b>1,7205</b>		
4	<b>2</b>	<b>10</b>		<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0194</b>					
5	<b>3</b>	<b>5</b>		<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0464</b>					
6	<b>4</b>	<b>8</b>		<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0836</b>					
7	<b>5</b>	<b>6</b>		<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1204</b>					
8	<b>6</b>	<b>9</b>		<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1445</b>					
9	<b>7</b>	<b>5</b>		<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,1486</b>					
10	<b>8</b>	<b>8</b>		<b>8</b>	<b>4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1337</b>					
11	<b>9</b>	<b>8</b>		<b>9</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1070</b>					
12	<b>10</b>	<b>5</b>		<b>10</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0770</b>					
13	<b>11</b>			<b>11</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0504</b>					
14	<b>12</b>			<b>12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0303</b>					
15	<b>13</b>			<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0168</b>					
16	<b>14</b>			<b>14</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0086</b>					
17	<b>15</b>			<b>15</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0041</b>					
18	<b>16</b>											
19	<b>17</b>											
20	<b>18</b>											
21	<b>19</b>											
22	<b>20</b>											
23	<b>21</b>											
24	<b>22</b>											



<i>Nombre de comptages</i>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>750</b>	<b>1000</b>
<i>Moyenne des comptages</i>	<b>7,200</b>	<b>7,040</b>	<b>7,050</b>	<b>7,020</b>	<b>7,224</b>	<b>7,303</b>	<b>7,367</b>
<i>Écart type</i>	<b>1,7205</b>	<b>2,2446</b>	<b>2,2951</b>	<b>2,4388</b>	<b>2,6799</b>	<b>2,6108</b>	<b>2,6097</b>

Valeur moyenne des comptages (sur 10 comptages) :

$$\bar{x} = \frac{\sum f_i \cdot x_i}{\sum f_i} = \frac{(0,3 \times 5) + (0,1 \times 6) + (0,4 \times 8) + (0,1 \times 9) + (0,1 \times 10)}{1} = 7,2$$

L'écart type renseigne sur la distribution des valeurs par rapport à la moyenne (sur 10 comptages) :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i (x_i - \bar{x})^2}{\sum f_i}} = \sqrt{\frac{0,3 \times (5-7,2)^2 + 0,1 \times (6-7,2)^2 + 0,4 \times (8-7,2)^2 + 0,1 \times (9-7,2)^2 + 0,1 \times (10-7,2)^2}{1}} = 1,7205$$

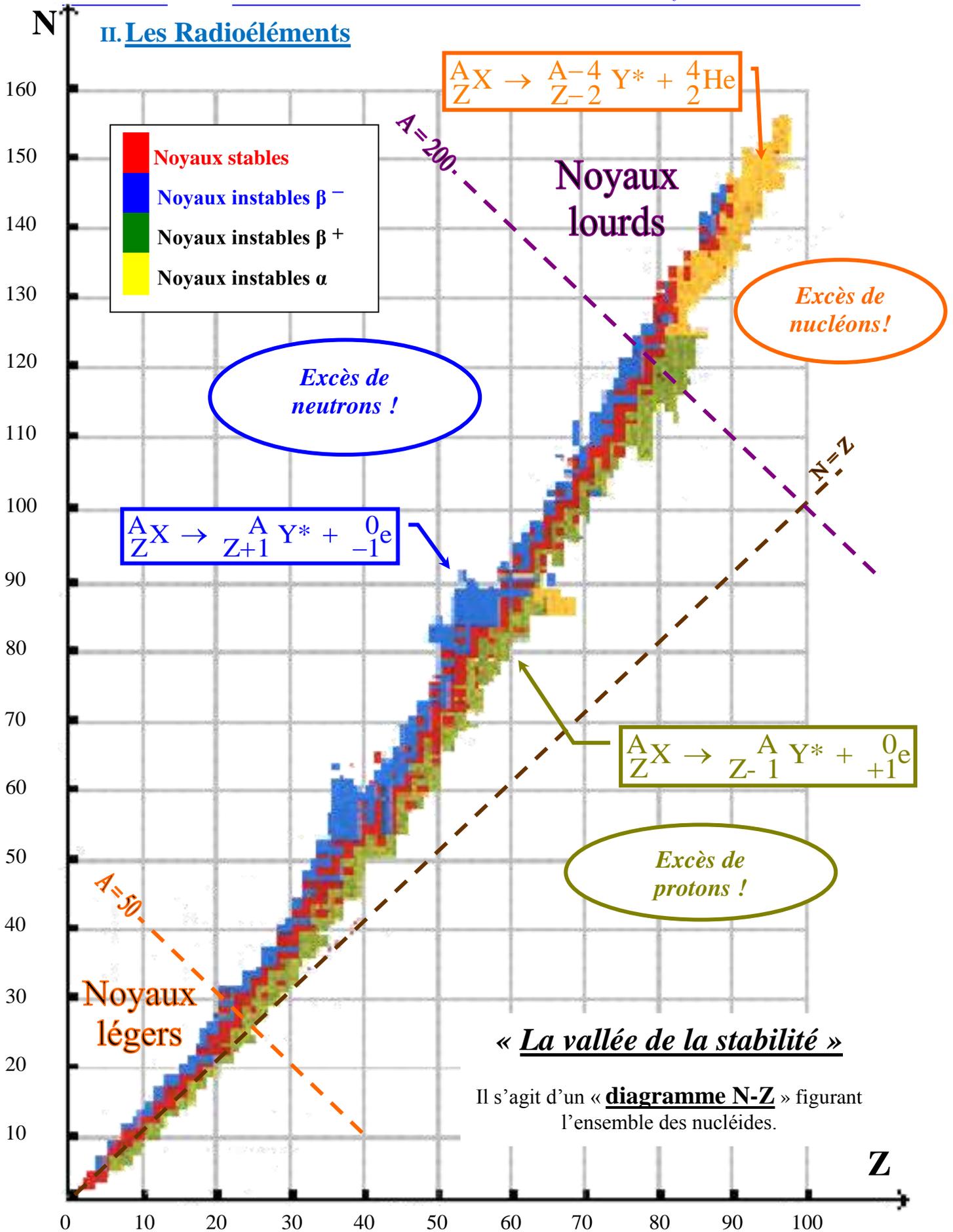
L'intervalle de confiance possède un niveau de confiance de 95 % (sur 1000 comptages) :

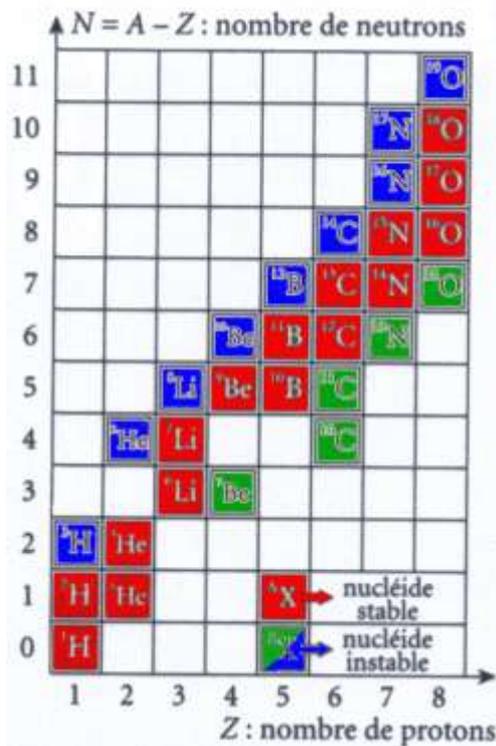
$$I(95\%) = [\bar{x} - 2\sigma ; \bar{x} + 2\sigma] = 7,367 - 2 \times 2,6097 ; 7,367 + 2 \times 2,6097 = 2 ; 13$$

La variance  
 $V(x) = \sigma^2$  caractérise  
la dispersion.



## II. Les Radioéléments





**Zoom sur Les quelques premiers nucléides**

Exemple : Numéro atomique  $Z = 6$ , le Carbone avec ses 6 protons « p+ ».

- ${}^1_6\text{C}$  et  ${}^{13}_6\text{C}$  sont stables avec respectivement 6 et 7 neutrons « n ».
- ${}^{10}_6\text{C}$  et  ${}^{11}_6\text{C}$  sont émetteurs  $\beta^+$  avec respectivement 4 et 5 neutrons « n ».
- ${}^{14}_6\text{C}$  est émetteur  $\beta^-$  avec 8 neutrons « n ».

**III. Les rayonnements radioactifs**

- Les lois de Soddy

Lors d'une désintégration radioactive, il y a conservation des nombres de masse A et charge Z de sorte que :

$${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}\text{Y}_1 + {}^{A_2}_{Z_2}\text{Y}_2 \quad \text{avec} \quad \begin{cases} A = A_1 + A_2 \\ Z = Z_1 + Z_2 \end{cases}$$

Remarque : X est le noyau père,  $Y_1$  et  $Y_2$  sont les noyaux fils voire plus simplement des particules élémentaires. Les noyaux fils sont créés dans un état excité d'énergie. On le note  $Y^*$ .

- Les rayonnements

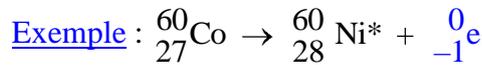
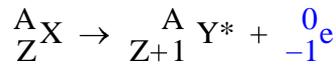
⇒ **de type  $\alpha$**  : (  $\alpha$  est un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$  )

$${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}^* + {}^4_2\text{He}$$

Exemple :  ${}^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^{218}_{84}\text{Po}^* + {}^4_2\text{He}$

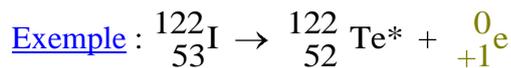
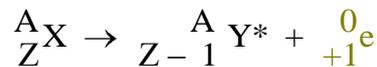


⇒ de type  $\beta^-$  : ( $\beta^-$  est un électron  ${}_{-1}^0e$ )



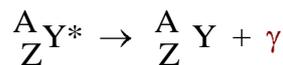
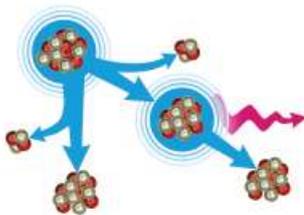
Interprétation :  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e$

⇒ de type  $\beta^+$  : ( $\beta^+$  est un positon  ${}_{+1}^0e$ )

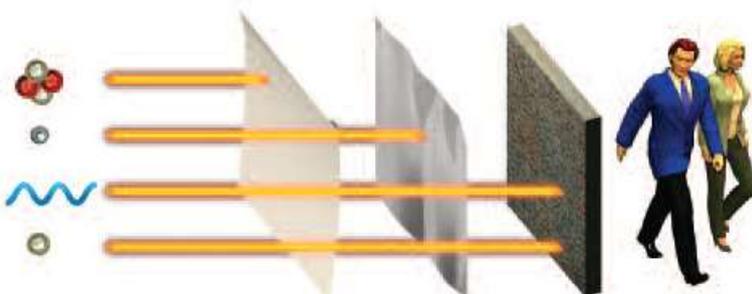


Interprétation :  ${}^1_{+1}p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_{+1}e$

⇒ de type  $\gamma$  : ( $\gamma$  est un rayonnement électromagnétique, rayonnement lumineux de très haute énergie)



• Pénétration des rayonnements ionisants

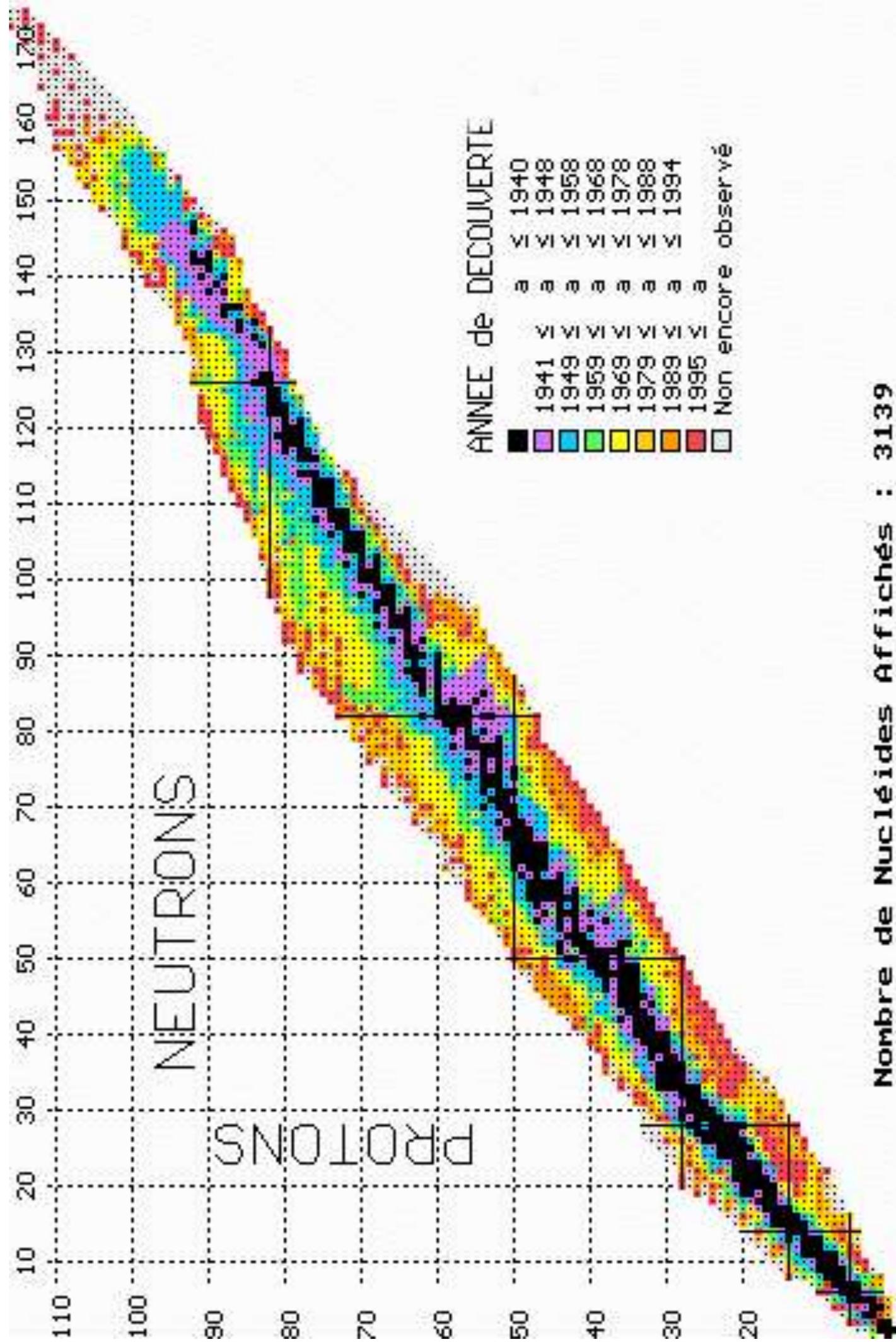


• **Particules bêta plus : positon.** Très brefs puisqu'au contact de la matière,  ${}^0_{+1}e + {}^0_{-1}e \rightarrow \gamma$ .

• **Particules alpha.** Pénétration très faible dans l'air. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter les noyaux d'hélium qui constituent les particules alpha.

• **Particules bêta moins : électrons.** Pénétration faible. Parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut arrêter les électrons.

• **Rayonnements gamma.** Pénétration très grande, fonction de l'énergie du rayonnement : plusieurs centaines de mètres dans l'air. Une forte épaisseur de béton ou de plomb permet de s'en protéger.



Nombre de Nucléides Affichés : 3139

