

4

TRANSFORMATIONS NUCLEAIRES SPONTANÉES - DECROISSANCE RADIOACTIVE

I - Structure du noyau atomique:

- Un noyau atomique est formé de particules appelées nucléons: les protons et les neutrons.

Le nombre de nucléons est $A = Z + N$.

Z: nombre de protons, il est appelé le numéro atomique de l'atome.

N: nombre de neutrons.

- Un noyau atomique est représenté par le symbole ${}^A_Z X$.

Exemple:

${}^7_3 \text{Li}$ désigne un noyau de lithium contenant $A = 7$ nucléons dont $Z = 3$ protons, et $7 - 3 = 4$ neutrons.

- Un nucléide (nuclide) est toute espèce nucléaire caractérisée par un nombre Z de protons et par un nombre N de neutrons.

Dans les 111 éléments chimiques on connaît actuellement 1500 nucléides.

- Les isotopes sont des nucléides d'un même élément chimique n'ayant pas le même nombre de neutrons.

Exemple:

Le carbone naturel a trois isotopes: ${}^{12}_6 \text{C}$, ${}^{13}_6 \text{C}$ et ${}^{14}_6 \text{C}$.

II - Stabilité et instabilité des noyaux:

1 Les noyaux stables:

Les plus légers ($Z < 20$) sont caractérisés par $Z = N$.

Pour les autres noyaux stables ($N > Z$)

- Le diagramme de Segré donnent la vallée de stabilité.

2 Les noyaux instables:

La stabilité d'un noyau dépend de sa composition en nucléons. Certains noyaux se désintègrent spontanément en donnant un noyau différent et en émettant des particules.

appelées α , β^- et β^+ : Ces noyaux sont dits radioactifs.

Les noyaux instables radioactifs s'écartent légèrement de la zone de stabilité. Ils se situent :

- De part et d'autre de cette zone, ces nucléides possèdent soit un excès de protons (radioactifs β^+) soit un excès de neutrons (radioactifs β^-).

- au-delà du dernier nucléide ($Z = 82$), ces nucléides possèdent un excès de nucléons.

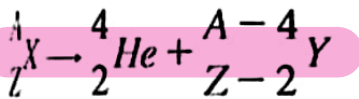
Ce sont les noyaux lourds instables; ils se désintègrent par la radioactivité (α).

III. Equations des désintégration :

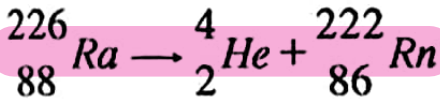
Une désintégration est représentée par une équation qui obéit à deux lois (lois de Soddy): conservation du nombre de nucléons et conservation de la charge électrique.

1 La radioactivité α :

La radioactivité α est l'émission de noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$ par certains noyaux. Les noyaux d'hélium sont aussi appelés particules ou rayons α .

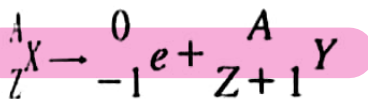


Exemple :

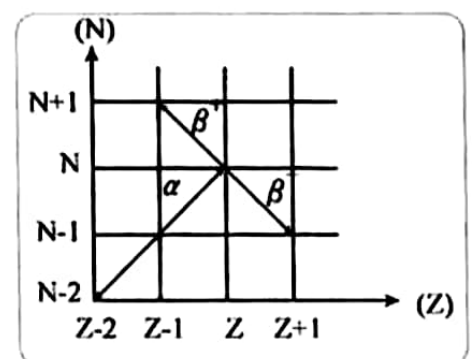
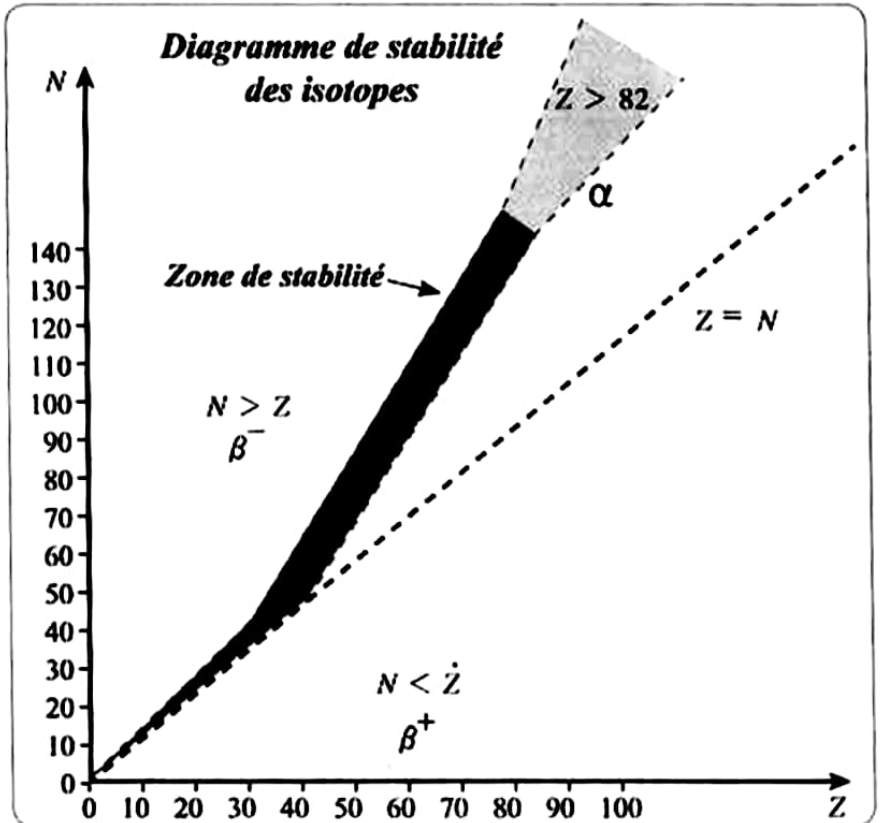
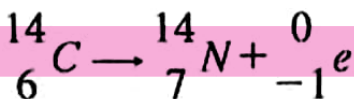


2 La radioactivité β^- :

La radioactivité β^- , encore appelée rayonnement β^- , est l'émission d'électron par certains noyaux.

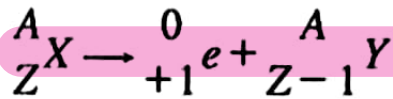


Exemple :

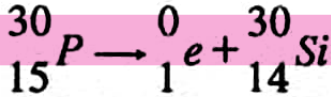


3 La radioactivité β^+ :

La radioactivité β^+ , encore appelée rayonnement β^+ , est l'émission de positron par certains noyaux.



Exemple:



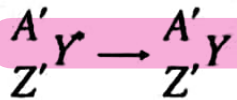
4 L'émission γ :

L'émission γ n'est pas une émission de particules matérielles.

Dans chaque désintégration α, β^- ou β^+ si le noyau-fils est émis dans un état excité, il retrouve son état fondamental stable en émettant un ou plusieurs rayonnements électromagnétiques très énergétiques appelés rayonnements γ .

La «particule» γ émise, nommée photon, n'a ni charge ni masse. Elle est caractérisée par $Z = 0$ et $A = 0$.

Au cours de l'émission γ , le nucléide se conserve:



Le rayonnement γ est très pénétrant. Il peut traverser plusieurs dizaines de centimètres de plomb, ou plusieurs mètres de béton.

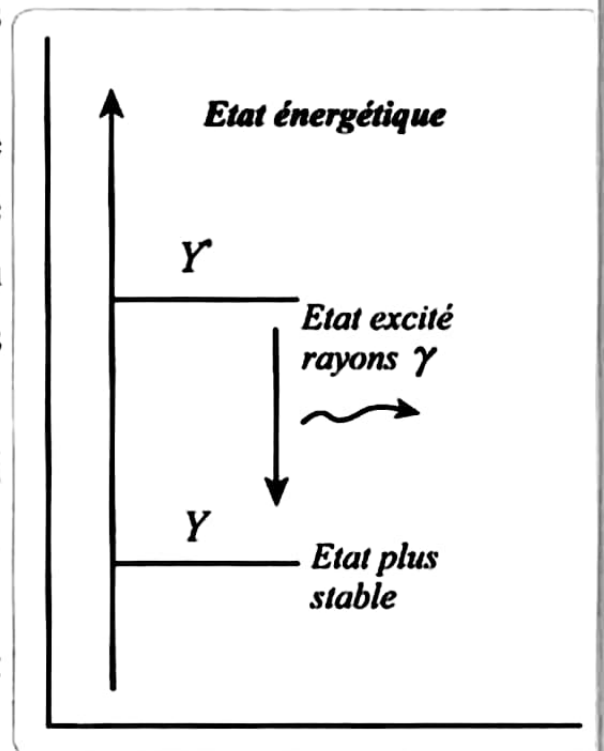
IV- Famille radioactive:

C'est l'ensemble de noyaux - fils obtenus par désintégrations ou cascade à partir d'un noyau radioactif portant le nom de la famille.

Exemple:

La famille de l'uraminium ${}^{238}_{92} U$.

Cette famille s'arrête au noyau ${}^{206}_{82} Pb$ le plus stable après, 10 désintégrations α et 6 désintégrations β^- .



V- Décroissance radioactive d'une population:

1 Caractères du phénomène:

- Le phénomène de désintégration est imprévisible: pour un noyau instable donné, on ne peut prévoir la date de sa désintégration.
- Le phénomène de désintégration est aléatoire: pour un ensemble de noyaux instables identiques, on ne peut prévoir lesquels seront transformés à une date donnée.

2 Probabilité de désintégration:

- La loi de décroissance radioactive s'applique à une population de noyaux identiques subissant la même transformation.

Si on a N noyaux à une date t , le nombre de ces noyaux à $t + \Delta t$ est $N + \Delta N$, le nombre de noyaux disparus est $|\Delta N|$ dont la valeur dépend de trois paramètres: la durée Δt , le nombre N et la réaction étudiée. On exprime ceci par:

$$\Delta N = -\lambda.N.\Delta t$$

λ : coefficient de désintégration ; s'exprime en (temps)⁻¹.

Pour une durée dt , on écrit, $dN = -\lambda.N.dt$;

$$\text{ou bien } \frac{dN}{dt} + \lambda N = 0$$

Cette dernière expression est l'équation différentielle vérifiée par N .

La solution de cette équation différentielle s'écrit:

$$N = N_0.e^{-\lambda t} \quad \text{voir figure (1).}$$

VI- Constante de temps et demi-vie:

1 Constante de temps τ :

La tangente à la courbe à l'instant initial rencontre l'axe des abscisses à la date $t = \tau$

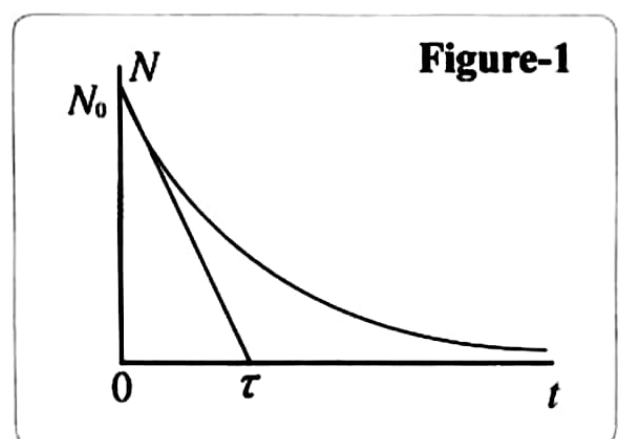
La dérivée de la fonction $N(t)$ est:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0.e^{-\lambda t} ; \text{ à la date } t = 0,$$

$$\text{On a: } \left(\frac{dN}{dt}\right)_0 = -\lambda N_0. \quad (1)$$

Cette dérivée est égale à la pente de la tangente de la courbe à $t = 0$

$$K = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{0 - N_0}{\tau - 0} = -\frac{N_0}{\tau} \quad (2)$$



$$f(x) = ae^{-bx}$$

$$f'(x) = -abe^{-bx}$$

En comparant (1) avec (2) on tire: $\tau = \frac{1}{\lambda}$

2 Demi-vie $t_{1/2}$ d'un élément radioactif:

La demi-vie est l'intervalle de temps au bout duquel la moitié des noyaux initialement présents ont subi une désintégration.

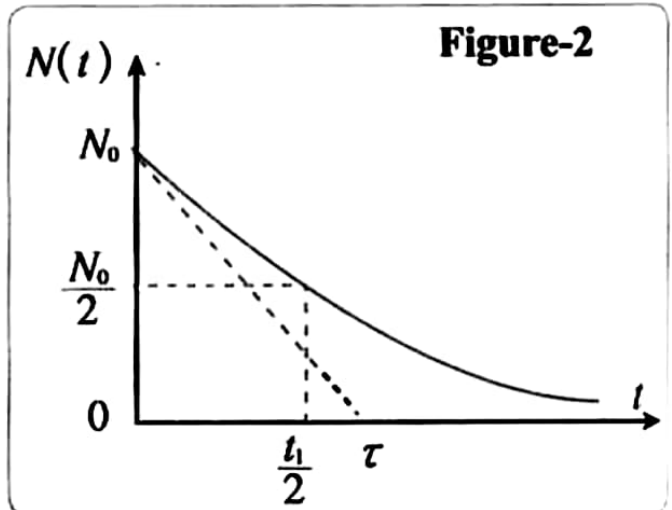
Elle varie selon les éléments considérés.

Pour trouver la relation entre la demi-vie $t_{1/2}$ et la constante τ , on écrit, pour $t_{1/2}$:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda \cdot \frac{t_1}{2}} \text{ et, en passant au logarithme;}$$

$$\text{Ln} \frac{1}{2} = -\lambda \cdot \frac{t_1}{2}$$

$$t_{1/2} = \frac{\text{Ln} 2}{\lambda} = \tau \cdot \text{Ln} 2$$



$$Y = e^x \Rightarrow X = \ln Y$$

$$e^0 = 1 \quad e^0 \simeq 2.71 \quad \ln e = 1$$

$$\ln(ab) = \ln a + \ln b$$

$$\ln \frac{1}{0} = -\ln$$

VII - Activité d'un échantillon radioactif:

1 Définitions:

- L'activité d'un échantillon est le nombre de désintégrations par seconde:

Elle est définie par $a = -\frac{dN}{dt}$.

L'activité s'exprime en Becquerel (Bq).

1 Becquerel représente 1 désintégration par seconde.

2 Expressions de l'activité:

$$a = -\frac{dN}{dt} = -\frac{d}{dt}(N_0 \cdot e^{-\lambda t}) = + N_0 \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t}$$

à $t = 0$, $a_0 = N_0 \lambda$, d'où $a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda t}$

L'activité d'un échantillon à une date t est liée au nombre de noyaux $N(t)$: par

$$\text{Bq} \nearrow a(t) = \underset{\uparrow (s^{-1})}{\lambda \cdot N(t)} = \underset{(s)}{\nearrow \frac{\text{Ln} 2}{t_{1/2}}} \cdot N(t)$$

