

La radioactivité

Vidéo : [Accéder à la vidéo du cours](#)

Manuel : pages 115 à 118



Vidéo du cours

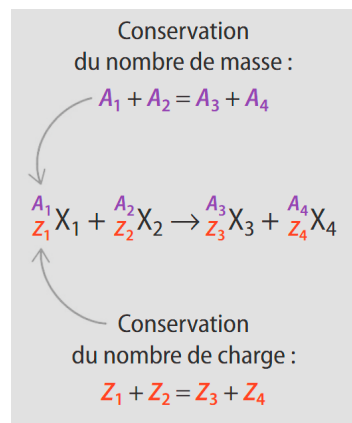
Un noyau radioactif a la capacité d'émettre une particule en changeant de composition. La désintégration radioactive d'un noyau donné est :

- **spontanée** : aucune intervention extérieure ne peut l'influencer ;
- **aléatoire** : il est impossible de prévoir à quel instant elle se produit ;
- **inéluçtable** : la désintégration se produit forcément tôt ou tard.

15.1 Les réactions de désintégration nucléaire

15.1.1 Loi de conservation

Lors d'une réaction nucléaire, le nombre de particules élémentaires au sein d'un noyau est modifié : il n'y a donc pas conservation des éléments chimiques comme lors d'une réaction chimique classique.



À retenir

Par contre, le **nombre de particules élémentaires** (neutrons et protons) **est conservé**. Il y a donc :

- conservation du numéro atomique Z (également appelé nombre de charge) ;
- conservation du nombre de masse A.

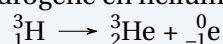
Un noyau radioactif (instable) va pouvoir se désintégrer selon plusieurs manières en un noyau stable, en fonction de la composition du noyau.

15.1.2 Les différents types de désintégrations

À retenir

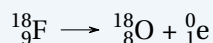
Désintégration β^-

Elle consiste en la désintégration d'un noyau instable en un noyau stable par l'émission d'un électron e^- . Exemple : la désintégration du tritium, isotope naturel de l'hydrogène en hélium :



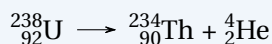
Désintégration β^+

Elle consiste en la désintégration d'un noyau instable en un noyau stable par l'émission d'un positron e^+ . Un positron est l'antiparticule associée à l'électron dans le modèle standard des particules.



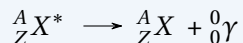
Désintégration α

Les **noyaux les plus lourds** peuvent émettre un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$, également appelé **particule α** :



Désexcitation γ

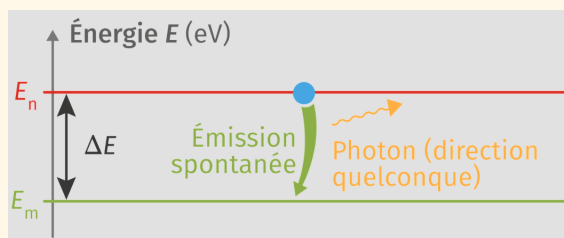
La plupart des noyaux issus d'une désintégration radioactive sont dans un état excité (souvent noté par une étoile). Le retour à leur état fondamental s'accompagne de l'émission d'un photon γ d'énergie $h\nu$:



La charge et la masse du photon sont nulles : A et Z sont inchangés.

Remarque

Vous avez déjà vu en 1^{re} ce phénomène lorsque vous avez parlé d'émission de photons lors de la désexcitation d'un atome (interaction lumière-matière) :



Émission : lorsqu'un électron au sein d'un atome passe d'un niveau d'énergie initial E_i à un état d'énergie final inférieur E_f , il émet un photon dont l'énergie est égale à la différence entre les niveaux d'énergie au sein d'un atome :

$$\Delta E = E_i - E_f = h\nu$$

Nous reviendrons sur ce sujet lors du chapitre sur l'effet photoélectrique.

15.1.3 Diagramme (N,Z)

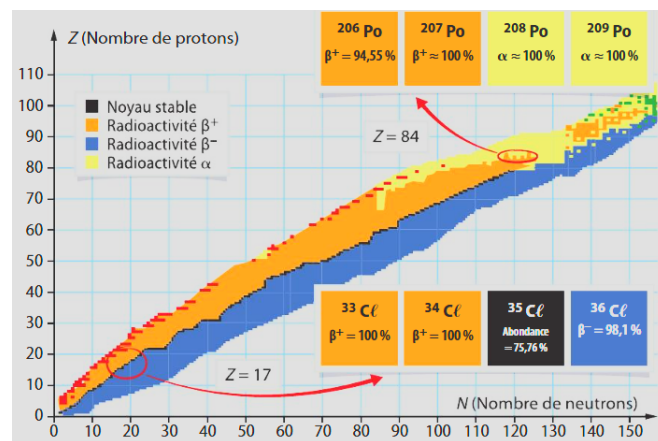
À retenir

Rappel : Deux noyaux sont appelés **isotopes** s'ils possèdent le même numéro atomique mais un nombre de masse différent. Exemples :

- L'uranium 235 : ${}^{235}_{92}\text{U}$ et l'uranium 238 : ${}^{238}_{92}\text{U}$
- Le carbone 12 : ${}^{12}_6\text{C}$ (stable) et le carbone 14 : ${}^{14}_6\text{C}$ (radioactif)

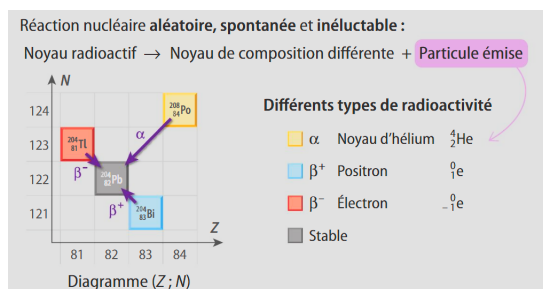
Les noyaux non radioactifs sont qualifiés de **stables**. Il existe un peu moins de 300 noyaux non radioactifs; tous les autres (plusieurs milliers) sont radioactifs et sont nommés **radio-isotopes**.

Au-delà du plomb ($Z = 82$), les éléments n'ont aucun isotope naturel stable. Au-delà de l'uranium ($Z = 92$), les éléments présents sur Terre sont **essentiellement produits par les activités humaines** (on ne les trouve qu'à l'état de traces pour certains d'entre eux).



À retenir

Un **diagramme (N,Z)** regroupe tous les noyaux existants selon le nombre de protons Z du noyau en ordonnée et le nombre de neutrons $N = A - Z$ en abscisse. Sur une même ligne sont présents l'ensemble des isotopes d'un élément chimique.



À retenir

- Noyau père qui possède un excès de protons : radioactivité β^+ (« perte d'un proton »).
- Noyau père qui possède un excès de neutrons : radioactivité β^- (« gain d'un proton »).
- Noyaux lourds : radioactivité α .

15.2 La décroissance radioactive

15.2.1 Établir l'équation différentielle

À retenir

Par définition, l'activité d'un échantillon de noyaux radioactifs correspond à l'évolution du nombre de noyaux entre une date t et une date $t + \Delta t$ par unité de temps. On a donc :

$$A = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{\Delta t} = - \frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t}$$

L'activité A s'exprime en becquerel (Bq). 1 Bq = 1 désintégration par seconde.

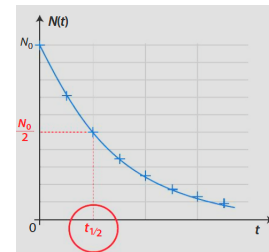
Si l'on fait tendre Δt vers 0, il vient que :

$$A = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(- \frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t} \right) = - \frac{dN(t)}{dt}$$

L'activité d'un échantillon de noyaux radioactifs dépend du nombre de noyaux dans l'échantillon : il y a une relation de proportionnalité entre l'activité et le nombre de noyaux. On a donc :

$$A(t) = \lambda N(t)$$

avec λ la constante de proportionnalité appelée **constante radioactive du noyau**. λ est différente pour chaque noyau d'éléments chimiques.



On peut donc établir l'équation différentielle :

$$\lambda N(t) = - \frac{dN(t)}{dt}$$

d'où

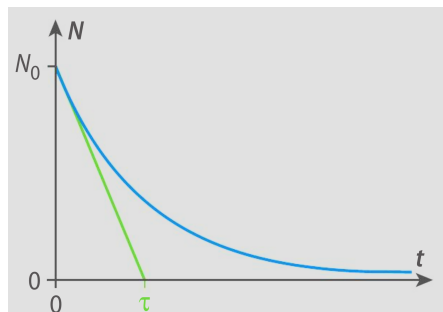
$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda N(t) = 0$$

15.2.2 Solutions de l'équation différentielle

La solution de cette équation est de la forme $N(t) = K e^{-\lambda t}$. En utilisant les conditions initiales ($t = 0$), on trouve que

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

avec N_0 le nombre de noyaux initialement présent dans l'échantillon. On reconnaît ici une exponentielle décroissante avec une asymptote en 0.



Lien entre la constante radioactive et la constante de temps

On remarque dans l'équation différentielle que λ a la dimension de l'inverse d'un temps :

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda N(t) = 0 \quad \text{et} \quad \frac{dN(t)}{dt} + \frac{N(t)}{\tau} = 0$$

Par définition : $\lambda = \frac{1}{\tau}$. Il est possible de déterminer la constante de temps τ graphiquement en traçant une tangente à l'origine qui coupe l'axe des abscisses.

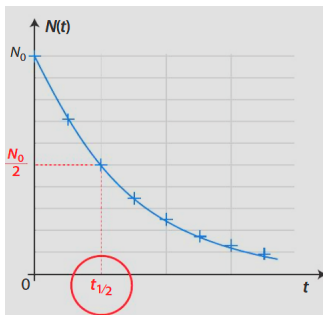
15.2.3 Temps de demi-vie ou période radioactive

À retenir

La **période radioactive** d'un échantillon de noyaux radioactifs (appelée également **temps de demi-vie**) correspond à la durée nécessaire à la désintégration naturelle de la moitié des noyaux présents dans un échantillon. Elle se note $t_{1/2}$.

On a donc pour $t = t_{1/2}$, $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$.

La période radioactive d'un élément chimique se détermine généralement graphiquement (voir courbe ci-dessous).



Il existe cependant un lien entre la constante radioactive λ et la période radioactive $t_{1/2}$, en effet pour $t = t_{1/2}$, on a :

$$\begin{aligned} N(t_{1/2}) &= N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \\ \Leftrightarrow \frac{N_0}{2} &= N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \\ \Leftrightarrow \frac{1}{2} &= e^{-\lambda t_{1/2}} \\ \Leftrightarrow \ln\left(\frac{1}{2}\right) &= -\lambda t_{1/2} \\ \Leftrightarrow -\ln 2 &= -\lambda t_{1/2} \\ \Leftrightarrow t_{1/2} &= \frac{\ln 2}{\lambda} \end{aligned}$$

15.3 Analogie avec la cinétique chimique

Il est possible de réaliser une analogie (comparaison) entre la loi de décroissance radioactive et une loi d'ordre 1 en cinétique :

Activité : évolution du nombre de noyaux par unité de temps

$$A = - \frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t}$$

Passage à la limite quand $\Delta t \rightarrow 0$:

$$A = - \frac{dN(t)}{dt}$$

L'activité est proportionnelle au nombre de noyaux restants :

$$A = \lambda N$$

Équation différentielle du premier ordre à coefficient constant sans second membre :

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda N(t) = 0$$

Solution de l'équation différentielle :

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

Lien entre temps de demi-vie et constante de désintégration λ :

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Vitesse : évolution de la concentration du réactif par unité de temps

$$v = - \frac{[R](t + \Delta t) - [R](t)}{\Delta t}$$

Passage à la limite quand $\Delta t \rightarrow 0$:

$$v = - \frac{d[R](t)}{dt}$$

La vitesse est proportionnelle à la concentration du réactif restant en solution :

$$v = k [R]$$

Équation différentielle du premier ordre à coefficient constant sans second membre :

$$\frac{d[R](t)}{dt} + k [R](t) = 0$$

Solution de l'équation différentielle :

$$[R](t) = [R]_0 e^{-kt}$$

Lien entre temps de demi-réaction et constante de vitesse k :

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

Maîtrise			
Compétence			
Identifier les différentes réactions nucléaires possibles à partir du diagramme (N,Z).			
Écrire l'équation d'une réaction nucléaire en appliquant les lois de conservation.			
Définir l'activité d'un échantillon radioactif et la relier au nombre de noyaux présents.			
<i>Compétence expérimentale : Mettre en œuvre un protocole pour suivre l'évolution temporelle d'un échantillon radioactif.</i>			
Déterminer la constante radioactive et le temps de demi-vie à partir de données expérimentales.			