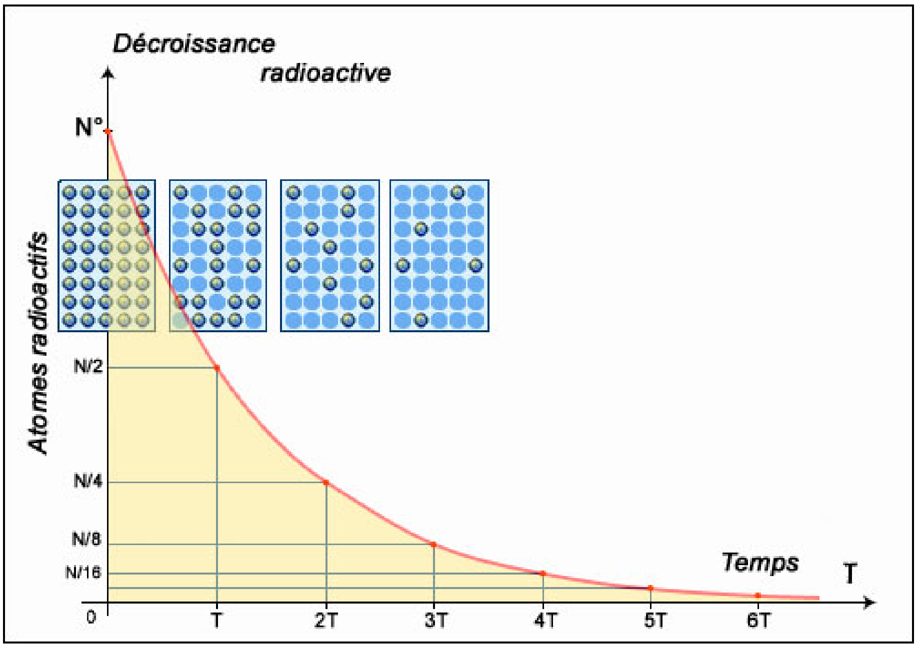
Loi de décroissance radioactive-Période radioactive-Activité

1. Loi de décroissance radioactive

La loi de décroissance radioactive est une loi fondamentale de la radioactivité. Quand un noyau émet une particule alpha ou un électron bêta, il se transforme : c'est ainsi que du radium devient du radon, du tritium de l'hélium ! De ce fait, le nombre d'atomes de l'espèce radioactive diminue inexorablement. Il en va de même du nombre de désintégrations par seconde, que l'on appelle **activité** de la source radioactive, et du nombre de rayonnements émis. Nombre d'atomes radioactifs, nombre de désintégrations, nombre de rayonnements émis marchent de concert. Ils décroissent de la même façon !



La **décroissance radioactive** est la réduction du nombre de noyaux radioactifs (instables) dans un échantillon. La décroissance radioactive se produit jusqu'à ce que tous les noyaux de l'échantillon soient stables.

Un radionucléide quelconque a autant de chances de se désintégrer à un moment donné qu'un autre radionucléide de la même espèce, et la désintégration ne dépend pas des conditions physico-chimiques dans lesquelles le nucléide se trouve.

En d'autres termes, la désintégration est régie par le hasard, et la loi de désintégration radioactive est une **loi statistique.**

Voir : le fichier PDF: « caractère aléatoire de la radioactivité » dans la partie activités

1.1 Loi de désintégration radioactive

Soit N(t) le nombre de radionucléides d'un élément chimique donné présents dans un échantillon à un instant t quelconque. Comme la probabilité de désintégration d'un de ces radionucléides ne dépend ni de la présence d'autres radionucléides ni du milieu environnant, le nombre total de désintégrations dN pendant un petit intervalle de temps dt à l'instant t est proportionnel au nombre de radionucléides N présents et à la durée dt de cet intervalle : c'est une loi de décroissance exponentielle. Mathématiquement, cette loi s'écrit sous la forme :

$$dN = -\lambda N dt$$

où la constante de proportionnalité λ, appelée constante radioactive du radionucléide considéré, possède la dimension de l'inverse d'un temps. On met le signe moins (–) parce que N diminue au cours du temps, de sorte que la constante λ est positive.
En intégrant l'équation différentielle précédente, on trouve le nombre N(t) de radionucléides présents dans le corps à un instant t quelconque, sachant qu'à un instant donné t = 0 il y en avait N_0 :

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

Où:

- N_0 est le nombre initial de noyaux non-désintégrés ;
- λ est la constante radioactive de l'élément.

2. Période radioactive

On appelle « période radioactive » (ou demi-vie) $T_{1/2}$ la durée au bout de laquelle le nombre de radionucléides présents dans l'échantillon est réduit de moitié.

Si N(t) représente le nombre de radionucléide à un instant t, alors :

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} = N_0 e^{\ln(1/2)}$$

On en déduit immédiatement :

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

ou encore:

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

Où N_0 est le nombre de noyaux initiaux, et λ est la constante radioactive correspondant au type de noyaux

<u>Remarque</u> :
Il ne faut pas confondre **la demi-vie** avec la **vie moyenne t**. Celle-ci s'obtient par le raisonnement suivant : La quantité de noyaux qui se désintègrent à l'instant t a « vécu » pendant cette durée t ou, plus exactement, à l'instant t il reste N_0 exp(–λ t) noyaux présents. De ceux-ci, pendant une durée dt, il s'en détruit :

$$dN = \lambda N_0 \exp(-\lambda t) dt$$

Ces dN ont donc une durée de vie comprise entre t et t + dt. On peut donc définir la durée moyenne de vie pour l'ensemble des radionucléides de l'échantillon (ou simplement *vie moyenne*) par

$$\bar{t} = \int_{N_0}^{0} t \frac{dN}{N_0}$$

.En tenant compte de l'expression de dN donnée ci-dessus, on obtient donc[1]:

$$\bar{t} = \lambda \int_0^{+\infty} t \exp(-\lambda t) dt = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln(2)} \approx 1,44 T_{1/2}$$

Dans la littérature scientifique, on désigne généralement la durée de vie radioactive moyenne par la lettre grecque τ, donc

$$\tau = \bar{t} = \frac{1}{\lambda}$$

Cette durée de vie ne dépend pas de la taille de l'échantillon N_0 ; c'est un temps caractéristique du radionucléide considéré, tout comme sa période $T_{1/2}$. Au bout de ce temps caractéristique τ, l'activité est réduite à la fraction 1/e de sa valeur initiale :

$$N(\tau) = N_0 \exp(-\lambda/\lambda) = \frac{N_0}{e}$$

Voici quelques exemples de demi-vie de certains radionucléides :

Élément chimique		Rayonnement	Demi-vie
Uranium 238	238U	Radioactivité α	env. 4,5 milliards d'années
Thorium 234	234Th	Radioactivité β	24 j
Protactinium 234	234Pa	Radioactivité β	1,2 min
Uranium 234	234U	Radioactivité α	250 000 ans
Thorium 230	230Th	Radioactivité α	75 000 ans
Radium 226	226Ra	Radioactivité α	1 600 ans
Radon 222	222Rn	Radioactivité α	3,8 j
Polonium 218	218Po	Radioactivité α	3 min
Plomb 214	214Pb	Radioactivité β	27 min
Bismuth 214	214Bi	Radioactivité β	20 min
Polonium 214	214Po	Radioactivité α	160 µs
Plomb 210	210Pb	Radioactivité β	22,3 ans
Bismuth 210	210Bi	Radioactivité β	5 j
Polonium 210	210Po	Radioactivité α	138 j
Plomb 206	206Pb	stable	

3. Activité moyenne d'un élément

On appelle « **activité** » le nombre de désintégrations par seconde d'un échantillon composé de N noyaux radioactifs. L'activité moyenne, notée A est exprimée en becquerel (Bq), qui représente le taux de désintégration des noyaux (nombre de désintégrations par secondes). On note :

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

où :

- n est le nombre de noyaux qui se sont désintégrés durant une période Δt

- ΔN la variation du nombre de noyaux non désintégrés, qui sera négative pour une durée positive (car les noyaux se désintègrent et donc leur nombre diminue

D'après l'analogie entre les caractères aléatoires de la radioactivité et le lancer de dés à jouer, il existe toujours un nombre λ qui est la probabilité pour un noyau de se désintégrer.
Pour N noyaux dans un échantillon (N étant très grand), on peut donc prévoir que l'on enregistrera en moyenne $\lambda \times N$ désintégrations. On retrouve ainsi la définition de l'activité moyenne.

On peut donc écrire : **$A(t) = \lambda N(t)$**

Cette relation est vraie quel que soit le temps *t* considéré.
Ainsi, l'activité est une grandeur proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs dans l'échantillon (puisque λ et une constante ne dépendant que de la nature du radionucléide considéré). Ceci paraît tout à fait logique : imaginons que l'on ait un échantillon deux fois plus gros, alors son activité sera également deux fois plus grande.
Autre expression de la radioactivité ; $N = N_0 e^{-\lambda t}$ d'où **$A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0\ e^{-\lambda t}$**
avec $A_0 = \lambda N_0$ activité initiale

4. Datation d'un échantillon donné

Connaissant le temps de demi-vie de l'élément considéré et l'activité initiale, il est facile de trouver l'âge de l'échantillon en mesurant son activité à l'instant présent.

Bien entendu, connaître l'activité initiale n'est pas facile. Il faut faire des raisonnements très rusé pour y arriver. Cependant, dans tous les sujets de bac traitant de datation on vous guide tout au long du raisonnement qui permet de déterminer l'activité initiale.

Un exemple classique de datation : la datation au carbone 14. Elle est basée sur le fait que le carbone 14 (isotope radioactif du carbone) est continuement régénéré dans la haute atmosphère. Ainsi le taux carbone 14 sur carbone 12 (C14/C12) est constant dans l'atmosphère, de l'ordre de 10^{-12}. Comme les plantes « respirent » le carbone de l'air (par le dioxyde de carbone), le taux C14/C12 des plantes est le même que celui de l'atmosphère. A partir du moment où l'organisme vivant meurt, les échanges cessent et la quantité de Carbone 14 décroit de manière exponentielle. Ainsi, une mesure de l'activité radioactive due au carbone 14 permet de savoir depuis combien de temps l'organisme est mort. Le temps de demi-vie du carbone 14 étant de 5730 ans, on peut pas remonter plus loin que 50 000 ans. Au-delà de cette durée, il n'y a plus assez de Carbone 14 pour mesurer l'activité radioactive.