

Introduction : Lors de fouilles archéologiques, on peut remonter dans le temps en datant ces objets anciens et ce grâce à la loi de décroissance radioactive, quel en est le principe ?

I°) La radioactivité :

a°) Caractéristiques d'un noyau d'atome. :

La représentation symbolique du noyau d'un atome est



- X est le symbole de l'élément chimique de numéro atomique Z.
 - Z est le nombre de protons. Z est aussi appelé nombre de charge.
 - A est le nombre de nucléons. A est aussi appelé nombre de masse.
- N = A - Z est le nombre de neutrons présents dans le noyau



Isotopes : Des noyaux sont appelés isotopes si ils ont le même nombre de mais des nombres

de Par exemple: $\begin{matrix} 35 \\ 17 \end{matrix} \text{Cl}$ et $\begin{matrix} 37 \\ 17 \end{matrix} \text{Cl}$ sont des isotopes du chlore.

b°) Stabilité et instabilité des noyaux :

Sous l'action des différentes forces en présence (interactions nucléaires fortes qui ont tendance à assurer la cohésion du noyau) certains noyaux sont stables (ils ont une durée de vie considérée comme infinie à l'échelle géologique) et d'autres sont instables (ils se détruisent spontanément au bout d'une durée plus ou moins grande à la même échelle).

c°) Radioactivité : animation l <http://www.cea.fr/multimedia/Pages/animations/radioactivite/radioactivite.aspx>

Définition : Un noyau radioactif est un noyau instable dont la désintégration (destruction) est aléatoire et s'accompagne de:

- L'apparition d'un nouveau noyau,
- L'émission d'une particule notée α , β^- ou β^+ ,
- L'émission d'un rayonnement électromagnétique noté γ . Cette émission de rayonnement γ n'est pas systématique mais extrêmement fréquente.

La radioactivité est une réaction dite nucléaire car elle concerne le de l'atome par opposition aux réactions chimiques qui ne concernent que le sans modifier le noyau.

Propriétés de la désintégration : La désintégration radioactive est:

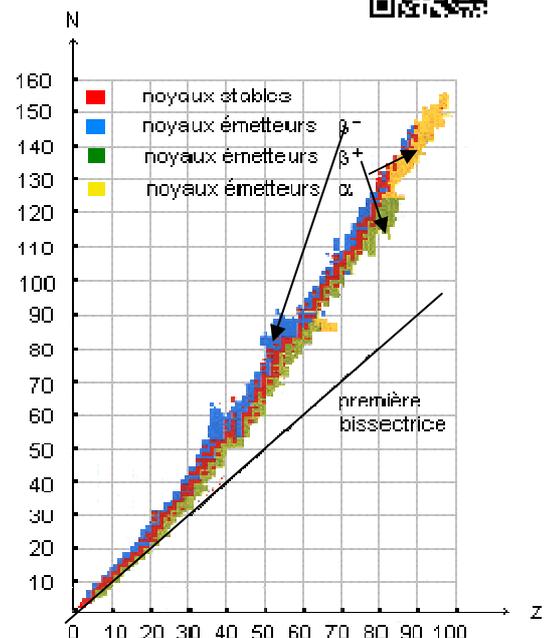
- Aléatoire: Il est impossible de prévoir l'instant où va se produire la désintégration d'un noyau radioactif,
- Spontanée: La désintégration se produit sans aucune intervention extérieure,
- Inéluctable: Un noyau radioactif se désintégrera tôt ou tard,
- Indépendante de la combinaison chimique dont le noyau radioactif fait partie,
- Indépendante des paramètres extérieurs tels que la pression ou la température.



d°) Vallée de stabilité des noyaux : <https://web-labosims.org/animation-diagramme-de-segre>

Lorsque l'on range tous les noyaux connus dans un repère tel que celui présenté ci-contre, il apparaît quatre zones:

- Une zone dans laquelle apparaissent les noyaux stables. Cette zone est appelée On remarquera que pour $Z \leq 30$ les noyaux stables sont situés sur la première bissectrice (ou dans son voisinage immédiat) ce sont donc des noyaux pour lesquels $N=Z$.
- Une zone dans laquelle se situent des noyaux donnant lieu à une radioactivité de type α . Ce sont des noyaux lourds (N et Z sont grands donc A est grand),
- Une zone dans laquelle se situent des noyaux donnant lieu à une radioactivité de type β^- . Ce sont des noyaux qui présentent un excès de neutrons par rapport aux noyaux stables de même nombre de masse A,
- Une zone dans laquelle se situent des noyaux donnant lieu à une radioactivité β^+ . Ce sont des noyaux qui présentent un excès de protons par rapport aux noyaux stables de même nombre de masse A.



II°) Les divers types de radioactivités :

https://www.pcel.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/premiere_1S/radioactivite_desintegration_alpha_beta_gamma_1e_s.htm

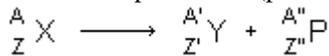
1°) Lois de conservation :

Les réactions de désintégration nucléaires obéissent à un certain nombre de lois dites lois de **Soddy**.

Lors d'une désintégration radioactive α ou β il y a conservation du nombre de et du nombre de



Considérons la désintégration d'un noyau X (appelé noyau père). Cette désintégration conduit à un noyau Y (appelé noyau fils) et à l'expulsion d'une particule P (particule α ou β). L'équation de la désintégration s'écrit:



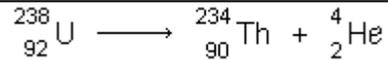
Les lois de conservation de **Soddy** imposent alors:

- Loi de conservation du nombre de nucléons A: $A = \dots\dots\dots$
- Loi de conservation du nombre de charges Z: $Z = \dots\dots\dots$

2°) **Radioactivité α** : <http://www.cea.fr/multimedia/Pages/animations/radioactivite/les-rayonnements.aspx>

Définition :

Des noyaux sont dits radioactifs α s'ils expulsent des noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$



L'uranium 238 est un radionucléide α . Son équation de désintégration s'écrit:

Caractéristiques de la particule α : Ces particules sont expulsées avec des vitesses relativement modestes et sont arrêtées par quelques centimètres d'air ou par une feuille de papier, mais elles sont très ionisantes et donc dangereuses.

3°) **Radioactivité β^-** : <http://www.cea.fr/multimedia/Pages/animations/radioactivite/les-rayonnements.aspx>

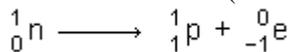
Des noyaux sont dits radioactifs β^- s'ils émettent des électrons notés ${}^0_{-1}e$



Définition :

Le cobalt 60 est un radionucléide β^- . Son équation de désintégration s'écrit: ${}^{60}_{27}\text{Co} \longrightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^0_{-1}e$

Les radionucléides β^- sont des radionucléides qui possèdent trop de $\dots\dots\dots$ par rapport aux nucléides stables de même nombre de masse A (voir vallée de stabilité) : la transformation de ce neutron excédentaire produit un électron suivant le bilan:

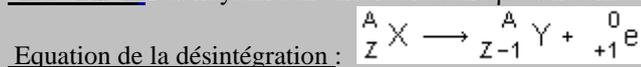


Caractéristiques de la particule β^- : Les particules β^- sont assez peu pénétrantes. Elles sont arrêtées par quelques millimètres d'aluminium.

4°) **Radioactivité β^+** : <http://www.cea.fr/multimedia/Pages/animations/radioactivite/les-rayonnements.aspx>

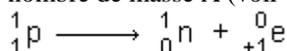
Cette radioactivité ne concerne que des noyaux artificiels, c'est-à-dire des noyaux engendrés par des réactions nucléaires réalisées par l'homme.

Définition : Des noyaux sont dits radioactifs β^+ s'ils émettent des positons ${}^0_{+1}e$. Ce sont des particules portant une charge +e.



Le phosphore 30 est un radio émetteur β^+ . Son équation de désintégration est: ${}^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}e$

Les radionucléides β^+ sont des radionucléides qui possèdent trop de $\dots\dots\dots$ par rapport aux nucléides stables de même nombre de masse A (voir vallée de stabilité) : La transformation de ce proton excédentaire produit un positon suivant le bilan:



Caractéristique de la particule β^+ : Ces particules ont une durée de vie très courte, elles sont assez peu pénétrantes et arrêtées par quelques millimètres d'aluminium.

5°) **Désexcitation γ** : <http://www.cea.fr/multimedia/Pages/animations/radioactivite/les-rayonnements.aspx>

Le noyau fils est en général obtenu dans un état excité (niveau d'énergie élevé). Ce noyau dans cet état excité est en général noté Y^* . Le noyau fils ne reste pas dans cet état instable. Il évacue cette énergie excédentaire en émettant un rayonnement électromagnétique γ . On dit qu'il se désexcite.

Cette émission γ apparaît donc comme un phénomène secondaire de la radioactivité. On écrira: $Y^* \longrightarrow Y + \gamma$

Caractéristique du rayonnement γ : celui-ci est de très courte longueur d'onde et il est très pénétrant donc dangereux, il est stoppé avec des plaques de plomb.

III°) Loi de décroissance radioactive :

<https://www.edumedia-sciences.com/fr/media/527-decroissance-radioactive>



1°) Décroissance exponentielle du nombre de noyaux radioactifs :

Démonstration :

Soit un échantillon contenant N_0 noyaux radioactifs à la date $t_0 = 0$ choisie comme date initiale.

Soit N le nombre de noyaux radioactifs (non désintégrés) encore présents dans l'échantillon à la date t .

Pendant l'intervalle de temps dt très bref, un certain nombre de noyaux radioactifs se sont désintégrés. Soit alors $N+dN$ ($dN < 0$) le nombre de noyaux radioactifs (non désintégrés) encore présents dans l'échantillon à la date $t+dt$.

Compte tenu de ces notations, le nombre moyen (le phénomène est aléatoire) de noyaux qui se désintègrent pendant la durée dt est: $N_t - N_{t+dt} = \dots\dots\dots$

Ce nombre moyen de désintégrations qui ont lieu pendant la durée dt est proportionnel:

- Au nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à la date t . Ce qui signifie que si ce nombre $N(t)$ double, le nombre de désintégrations qui vont se produire dans l'intervalle de temps dt suivant double aussi.
- A la durée dt . Si dt est petit par rapport à t et si dt double alors le nombre de désintégrations qui se produiront doublera aussi.
- De la nature du noyau considéré, qui est caractérisé par une constante radioactive (ou de désintégration) notée λ :

Pour traduire ces propriétés on écrira: $-dN(t) = \lambda \times N(t) \times dt$. D'après ce qui précède:

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

le signe $-$ signifie que le nombre de noyaux radioactifs diminuent au cours du temps. λ ait la dimension de l'inverse d'une durée [λ]=[T]⁻¹ (λ s'exprime en s⁻¹), elle est la constante radioactive propre au noyau radioactif considéré (radionucléide)

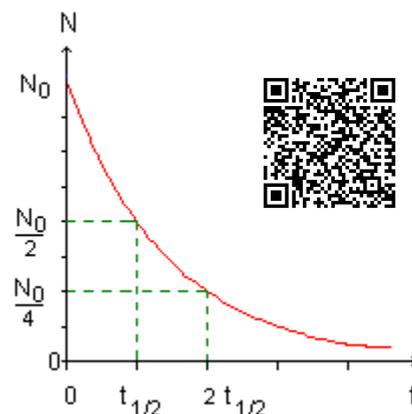
2°) Résolution de l'équation différentielle :

Les solutions d'une équation différentielle de la forme : $y'(x) - ay(x) = 0$ en math avec $a \neq 0$) sont de la forme $y(x) = K \times e^{ax}$, ici dans le cas de la décroissance radioactive on a $N'(t) + \lambda \times N(t) = 0$, y est le nombre de noyaux radioactifs à la date t , x est le , la constante = $-\lambda$ donc $N(t) = K \times e^{-\lambda \times t}$, K dépend des conditions initiales à $t=0$ s $N(t=0 \text{ s}) = N_0 = K \times e^{-\lambda \times 0} = K$

L'évolution au cours du temps du nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs d'un échantillon peut être modélisée par la loi de décroissance radioactive :

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

- $N(t)$ représente le nombre de noyaux radioactifs encore présents (non désintégrés) à l'instant t dans l'échantillon.
- N_0 représente le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à l'instant initial $t=0$ s.
- λ est la constante radioactive du radioélément considéré en s⁻¹
- t est le temps écoulé en seconde depuis l'instant initial.



Remarques : N est une fonction décroissante du temps (il reste de moins en moins de noyaux radioactifs dans l'échantillon). Mais les propriétés de la fonction exponentielle font que N tend vers 0 lorsque t tend vers l'infini. En principe il reste dans l'échantillon. Plus la constante radioactive λ est grande, plus la décroissance est

3°) Demi-vie radioactive : https://www.vacak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=jadro_rozpad&l=fr

Définition :

La demi-vie radioactive, notée $t_{1/2}$, d'un échantillon de noyaux radioactifs est égale à la durée nécessaire pour que, statistiquement, la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se désintègrent (voir la courbe de décroissance plus haut).

On a donc: $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$

Expression de la demi-vie $t_{1/2}$ en fonction de λ : On a: $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$ et $N(t_{1/2}) = N_0 \times e^{-\lambda \times t_{1/2}} = \frac{N_0}{2}$ donc $e^{-\lambda \times t_{1/2}} = \frac{1}{2}$ d'où

$\ln(e^{-\lambda \times t_{1/2}}) = \ln(1/2)$ ce qui implique $-\lambda \times t_{1/2} = -\ln 2$:

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

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est lié à la constante radioactive par la relation : Avec $t_{1/2}$ en seconde et λ constante radioactive en s⁻¹

IV) Activité d'une source radioactive et radioprotection :

1°) Définition : animation le Becquerel : <http://www.cea.fr/multimedia/Pages/animations/radioactivite/becquerel.aspx>

L'activité A d'une source radioactive est égale au nombre moyen de désintégrations par seconde dans l'échantillon. Elle s'exprime en becquerels dont le symbole est Bq (1Bq=1 désintégration par seconde).

2°) Expression de l'activité :

$$A \text{ pourra être notée: } A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \text{ on a donc: } A(t) = -\frac{d(N_0 \times e^{-\lambda t})}{dt} = -\lambda \times N_0 \times e^{-\lambda t}$$

En posant $A_0 = \lambda \times N_0$:



L'évolution au cours du temps de l'activité A(t) en Bq peut être modélisée par la Loi de décroissance radioactive :

$$A(t) = A_0 \times e^{-\lambda t}$$

avec $A_0 = \lambda \times N_0$ (A_0 activité en Bq à l'instant initial, λ constante radioactive du radioélément

en s^{-1} , N_0 : nombre de noyaux radioactifs à l'instant initial) , t en s .

Remarque : l'activité suit la même loi de décroissance exponentielle que N (t) . <https://www.edumedia-sciences.com/fr/media/527-decroissance-radioactive>

3°) Principe de la datation d'un objet très ancien à l'aide d'un radioélément : vidéo datation carbone 14 https://www.youtube.com/watch?v=mLJ6SV_CcRI



D'après ce qui précède: $A(t) = A_0 \times e^{-\lambda t}$ donc $\frac{A(t)}{A_0} = e^{-\lambda t}$ après passage à la fonction réciproque (ln) :

$$\ln \frac{A(t)}{A_0} = \ln e^{-\lambda t} = -\lambda \times t \text{ d'où } t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln \frac{A(t)}{A_0} \text{ où encore avec l'expression de la demi-vie}$$

$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln \frac{A(t)}{A_0}$$

Si l'on connaît le radioélément contenu dans l'objet (on connaît alors λ), si l'on connaît l'activité A_0 de l'échantillon (objet ou matériau similaire n'ayant pas vieilli) et si l'on sait mesurer l'activité A (t) de l'échantillon très ancien, alors il est possible de connaître la date d'origine t de l'objet

4°) Médecine et Radioprotection : vidéo radioprotection et ASN <https://www.asn.fr/ASN-TV/Radioprotection-et-sante-publique/Parlons-surete-nucleaire-et-radioprotection-la-radioprotection-des-patients>

On admettra que plus l'activité d'une source est grande, plus elle est dangereuse. Or d'après ce qui précède: il apparaît donc qu'une source radioactive est d'autant plus active, donc dangereuse, qu'elle comporte

Des noyaux radioactifs de **courte durée sont utilisé en médecine pour l'investigation ou le traitement, par exemple l'iode 131 est utilisé pour réaliser des images de la thyroïde .**

Les particules α , β et le rayonnement γ sont capables de provoquer des réactions chimiques et des modifications dans la structure des molécules constituant la matière vivante. En particulier, ils peuvent induire des mutations génétiques lorsque l'ADN se trouve modifié.

L'action sur les tissus vivants dépend de plusieurs paramètres:

- Du nombre de particules reçues par seconde. Ce nombre dépend de l'activité de la source et de son éloignement.
- De l'énergie et de la nature des particules émises et donc reçues.
- Du fractionnement de la dose reçue.
- De la nature des tissus touchés.

Particule α	Pénétration faible $<10 \mu m$	Aucun danger
Particule β	Peu pénétrante	Lésions cutanées
Rayonnement γ	Très pénétrante	Tissus ou organes atteints

Les personnes susceptibles d'être exposées aux radiations ci-dessus appelés **rayonnement ionisant** , portent des tenues adaptées au risque encouru : gants, sur chaussures, masque, tablier plombé .

