

Chapitre C4 - La radioactivité



Se positionner

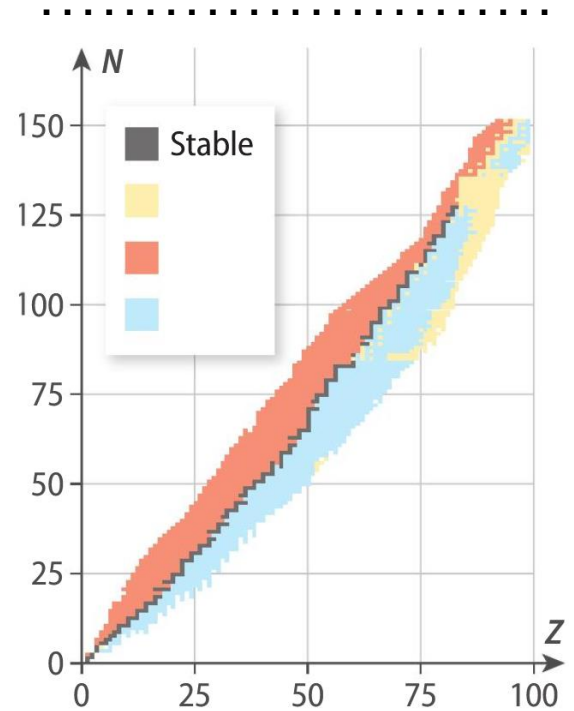
- Un noyau atomique est constitué :
 - de protons, de neutrons et d'électrons
 - de protons et de neutrons
 - de protons et d'électrons
- Le numéro atomique d'une entité, noté Z , indique :
 - le nombre de nucléons (protons + neutrons)
 - le nombre d'électrons
 - le nombre de protons
 - le nombre de neutrons
- Un élément chimique est défini par :
 - le numéro atomique noté Z
 - le nombre de masse noté A
 - une case du tableau périodique des éléments
 - un symbole
- Dans un noyau, les nucléons se répartissent approximativement à part égale entre protons et neutrons :
 - VRAI
 - FAUX
- Deux atomes sont isotopes si
 - ils ont le même nombre de protons mais pas le même nombre de neutrons
 - ils ont le même nombre de neutrons mais pas le même nombre de protons
 - ils appartiennent à deux cases voisines du tableau périodique
 - ils appartiennent à la même case du tableau périodique
- La désintégration radioactive est un phénomène :
 - aléatoire
 - naturel
 - qui peut être provoqué

Activité 1 - Des noyaux pas tous stables

Parmi la centaine d'éléments chimiques connus à ce jour, on a identifié plus de 3000 isotopes dont la plupart sont instables : ce sont les noyaux dits radioactifs. Environ 300 sont stables. Les noyaux instables le sont pour l'une des trois raisons suivantes :

- a. plus de neutrons que les isotopes stables de l'élément
- b. moins de neutrons que les isotopes stables de l'élément
- c. trop de protons et de neutrons (noyaux trop lourds)

Pour le classement de ces noyaux selon leur instabilité, on utilise une représentation des isotopes dans un diagramme dit (N,Z), dont un exemple est donné ci-contre.

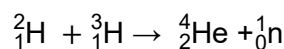


1. Indiquer la particularité que semblent présenter les noyaux stables de faible numéro atomique (Z<20).
2. Indiquer les 3 catégories ci-dessus sur ce diagramme (N,Z).

La désintégration d'un noyau se fait en respectant les règles suivantes :

- **conservation du nombre de charge** : la somme des nombres de charges des réactifs est égale à la somme des nombres de charge des produits
- **conservation du nombre de masse** : la somme des nombres de masse des réactifs est égale à la somme des nombres de masse des produits

Exemple : la réaction de fusion nucléaire qu'on cherche à contrôler dans le réacteur ITER est :



Le **neutron** est noté ${}^1_0\text{n}$ (c'est un nucléon sans charge).

Le **proton** est noté ${}^1_1\text{p}$ (c'est un nucléon avec une charge élémentaire positive).

L'**électron** est noté : ${}^0_{-1}\text{e}$ (ce n'est pas un nucléon et il possède une charge élémentaire négative).

Le **positron** (ou positon) est une particule qui n'est pas un nucléon mais a la charge opposée à celle de l'électron (donc la charge d'un proton) : on le note ${}^0_1\text{e}$.

3. Compléter les équations de réactions suivantes (sans s'occuper de la dernière colonne).

	Type de radioactivité
${}^{145}_{89}\text{Pr} \rightarrow \dots{}_{60}\text{Nd} + \dots{}^0_{-1}\text{e}$	
$\dots{}_{64}\text{Gd} \rightarrow \dots{}^{148}_{62}\text{Sm} + \dots{}^4_2\text{He}$	
${}^{15}_8\text{O} \rightarrow \dots{}^1_7\text{N} + \dots\text{e}$	
$\dots{}^6_6\text{C} \rightarrow \dots{}^{14}_7\text{N} + \dots\text{e}$	
$\dots{}_{84}\text{Po} \rightarrow \dots{}^{208}_{82}\text{Pb} + \dots\text{He}$	
${}^{201}_{86}\text{Rn} \rightarrow \dots\text{At} + \dots{}^1_1\text{e}$	
$\dots{}_{79}\text{Au} \rightarrow \dots{}^{168}_{77}\text{Ir} + \dots\text{...}$	
$\dots{}_{90}\text{Th} \rightarrow \dots{}^{228}_{88}\text{Ra} + \dots{}^4_2\text{He}$	
${}^{228}_{88}\text{Ra} \rightarrow \dots{}^{228}_{89}\text{Ac} + \dots\text{...}$	


Les noyaux instables donnent lieu à 3 types de radioactivité :

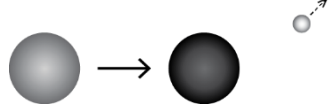
- La radioactivité α lorsqu'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ est produit (une particule α est un noyau d'hélium).
- La radioactivité β^- lorsqu'un électron est produit.
- La radioactivité β^+ lorsqu'un positron est produit.

4. Compléter la dernière colonne du tableau précédent.
5. Attribuer à chaque zone du diagramme (N,Z) un type de radioactivité.

Activité 2 – Première approche de la désintégration radioactive

La radioactivité a été découverte par hasard par Henri Becquerel en 1896, alors qu'il étudiait les propriétés fluorescentes des sels d'uranium. Marie Curie, rejointe par Pierre Curie, a mis en évidence la radioactivité de nombreux nucléides (celle du radium et du polonium notamment). Elle a largement contribué à la compréhension des émissions radioactives et a développé leurs premières applications médicales.

Cette activité utilise le simulateur  [simulRAD](#) et un [tableur partagé](#) accessibles sur www.prof-vince.fr. Il simule, selon des lois à découvrir, une désintégration radioactive : réaction nucléaire spontanée au cours de laquelle un noyau instable se transforme en un autre noyau stable et émet une particule :



1^{ère} partie - Comportement d'UN noyau unique

- ▶ Régler le nombre de noyaux à un seul noyau.
- ▶ Lancer l'animation en cliquant sur « ▶ » et noter la durée au bout de laquelle le noyau se désintègre.
- ▶ Recommencer 9 fois et noter les 10 durées obtenues dans le tableur partagé en respectant bien le numéro de votre groupe.

1. Indiquer la propriété de la désintégration radioactive (cf quiz) mise en évidence par ces simulations.
2. Noter la durée moyenne de désintégration obtenue avec toutes les simulations du groupe :
3. Si on considère qu'un noyau a 100 % de chance d'être désintégré au bout de cette moyenne, quelle probabilité a-t-il d'être désintégré au bout d'une seconde ? (la probabilité étant proportionnelle à la durée, on pourra utiliser un produit en croix).
4. Vérifier par un calcul que le résultat précédent est cohérent avec la proportion de désintégrations ayant eu lieu en moins de 1 s (valeur indiquée à la fin du tableur partagé).

La constante radioactive λ représente cette probabilité que le noyau se désintègre au bout d'une seconde (on a pris l'unité de temps par convention).

Vérifier que la valeur obtenue à la question 3 est en accord avec la valeur indiquée par le simulateur.

5. **Prévisions** (ne pas utiliser le simulateur pour traiter la question qui suit !)

Prévoir ce qu'on va observer :

- si on règle $\lambda = 0$?
- si on augmente λ ?
- si on règle $\lambda = 1$?

6. **Vérifications** : utiliser le simulateur pour vérifier la première prévision ($\lambda = 0$).

2^{ème} partie - Comportement d'une population de noyaux

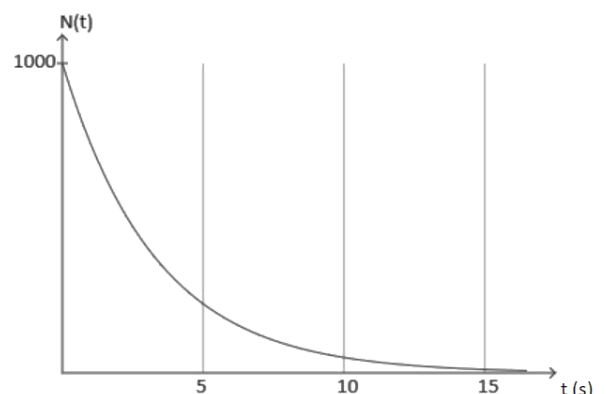
- ▶ Régler le nombre de noyaux à une dizaine environ et la constante radioactive à $\lambda = 0,3 \text{ s}^{-1}$ environ.
 - ▶ Cliquer sur « voir le graphique » et lancer l'animation.
 - ▶ Recommencer deux ou trois fois sans effacer les graphiques successifs.
7. Une évolution temporelle suit une loi si elle est reproductible, c'est-à-dire si, dans des conditions données, elle est toujours la même. Peut-on dire que l'évolution temporelle d'une population de 10 noyaux suit une loi ?
 - ▶ Effacer les graphiques.
 - ▶ Toujours avec $\lambda = 0,3 \text{ s}^{-1}$, réaliser de nouvelles simulations avec 100, 200 (jusqu'à 1000) noyaux, en augmentant de 100 en 100. On effacera les graphiques après chaque augmentation du nombre de noyaux.

Vérifier que lorsque le nombre de noyau devient très grand, l'évolution est très proche d'une loi exponentielle

8. En raisonnant uniquement à l'aide de la signification de la constante radioactive, indiquer ci-contre la courbe qu'on va obtenir **si λ augmente**.

- ▶ Utiliser le simulateur pour vérifier la prévision précédente.

9. Cocher l'option Afficher la courbe d'équation $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, puis l'option Mettre en évidence τ et $t_{1/2}$. Faire afficher les valeurs de τ et $t_{1/2}$, puis en utilisant le simulateur en déduire un lien entre la grandeur notée τ et λ .



Activité 3 - Une population qui suit une décroissance exponentielle

Évolution d'un noyau

La désintégration d'un noyau radioactif est un phénomène **aléatoire**. La probabilité qu'il se soit désintégré au bout d'une durée Δt est proportionnelle à cette durée, ce qui se traduit par la relation suivante :

$$p = \lambda \Delta t$$

- p : probabilité de la désintégration ; Δt : durée en seconde ;
- λ : **constante radioactive** en s^{-1} : c'est une propriété du noyau.

Évolution d'une population de noyaux

On considère un échantillon radioactif contenant, à la date $t = 0$, N_0 noyaux non désintégrés.

$N(t)$ désigne le nombre de noyaux non désintégrés à une date t .

Pendant une durée Δt , chaque noyau a une probabilité p de se désintégrer, le nombre de désintégrations est donc égal, en moyenne, au produit du nombre de noyaux présents et de cette probabilité, soit :

$$\text{nombre de désintégrations} = pN(t) = \lambda \times \Delta t \times N(t)$$

1. Le nombre de noyaux restants à la date $t + \Delta t$ vaut donc $N(t + \Delta t) \approx$
2. La variation du nombre de noyaux non désintégrés vaut donc : $N(t + \Delta t) - N(t) \approx$
3. Et donc $\frac{N(t+\Delta t)-N(t)}{\Delta t} \approx$

Cette relation est approximative car :

- le phénomène est aléatoire et ne devient prévisible *en moyenne* que si le nombre de noyaux est suffisamment élevé ;
- $N(t)$ diminue continûment avec le temps donc le produit $p \times N(t)$ n'est pas constant pendant la durée Δt .
- 4. Pour une grande population de noyaux, cette relation ne devient rigoureuse que pour une durée infiniment petite, durant laquelle la variation de $N(t)$ est infinitésimale, on a donc :

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

C'est l'équation différentielle satisfaite par le nombre de noyaux non désintégrés dans l'échantillon.

5. Vérifier que l'expression donnée par le simulateur $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ est solution de cette équation différentielle précédente (pour ceci, on aura besoin de dériver la fonction).

Pour aller plus loin : résoudre l'équation différentielle à l'aide de vos connaissances mathématiques. Parmi l'infinité de fonctions vérifiant cette équation différentielle, déterminer la seule qui valide la condition initiale : $N(0) = N_0$.

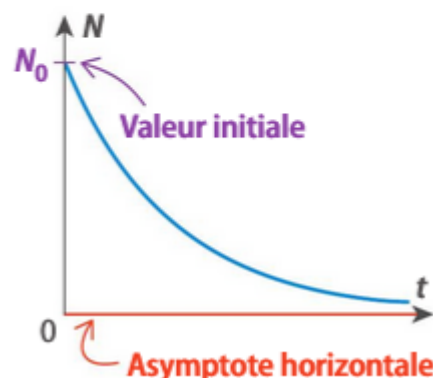
Compléments mathématiques

Notation générale	Notation ici
Équation différentielle	
$y' = ay$	$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$
Fonction inconnue	
y	N
Variable	
x	t
Paramètre	
a	$-\lambda$
Solution générale	
$y(x) = Ke^{ax}$	$N(t) = Ke^{-\lambda t}$

Points remarquables de la fonction

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

- valeur N_0 en $t = 0$ s ;
- tend vers zéro quand t tend vers l'infini : $\lim_{t \rightarrow +\infty} N_0 e^{-\lambda t} = 0$.



Activité 4 - Datation - Homo luzonensis

Depuis 2007, des archéologues ont trouvé 13 ossements (dents, phalanges, fémurs) dans la grotte de Callao sur l'île de Luçon aux Philippines. Ces ossements présentent à la fois des caractères primitifs proches de l'Australopithecus et d'autres, plus récents, proches d'Homo sapiens. S'agirait-il d'une nouvelle espèce... ? Une nouvelle espèce du genre Homo... ? On cherche ici à dater les ossements d'une nouvelle espèce afin de déterminer si elle est du type Homo proche d'Homo sapiens.

Chronologie des principaux hominés

Chronologie simplifiée des principaux hominés. *Homo sapiens* reste le seul du genre *Homo*.

Principe de la datation

La datation d'un isotope radioactif se fait grâce au rapport du nombre de noyaux initiaux N_0 par rapport à celui d'un instant t , noté $N(t)$.

Chaque isotope radioactif présente un temps de demi-vie $t_{1/2}$. Au bout d'un temps égal à $5 \times t_{1/2}$, 97% des noyaux présents initialement sont désintégrés. À ce moment-là, la datation n'est plus fiable.

Caractéristiques de quelques isotopes radioactifs

Isotope	Type de radioactivité	Temps de demi-vie	Quantité initiale estimée dans les ossements retrouvés
Uranium $^{238}_{92}U$	α	$4,47 \times 10^9$ années	120 μ g
Carbone $^{14}_6C$	β^-	5734 années	14 ng
Césium $^{137}_{55}Cs$	β^-	30,1 années	non-prévisible
Potassium $^{40}_{19}K$	β^-	$1,25 \times 10^9$ années	3,5 mol

- À l'aide des documents, citer les deux isotopes radioactifs qui ne permettent pas de dater les ossements trouvés.
- Compléter les équations de désintégration des deux isotopes les plus adaptés à la datation des ossements :

..... \rightarrow Th +..... et \rightarrow Ca +.....
- Les analyses des ossements montrent qu'ils contiennent $3,03527 \times 10^{17}$ noyaux d'uranium encore présents. Ces ossements appartiennent-ils au genre *Homo* ? (Masse molaire de l'Uranium : $M = 238,0 \text{ g.mol}^{-1}$).