

Thème : Transformation nucléaire  
Cours 24 : Stabilité et instabilité des noyaux – Radioactivité  
(version élève)

---

B.O. Stabilité et instabilité des noyaux : diagramme (N,Z), radioactivité  $\alpha$  et  $\beta$ , équation d'une réaction nucléaire, lois de conservation.

Radioactivité  $\gamma$

Évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs ; constante radioactive ; loi de décroissance radioactive ; temps de demi-vie ; activité.

Radioactivité naturelle ; applications à la datation. Applications dans le domaine médical ; protection contre les rayonnements ionisants.

## I. Stabilité et instabilité des noyaux : Diagramme (N, Z)

### 1. Composition d'un noyau atomique. (Rappels).

Représentation symbolique du noyau  ${}^A_ZX$

- le noyau d'hélium 4 a pour représentation symbolique  ${}^4_2\text{He}$ , il est composé de 2 protons et de 2 neutrons.
- le noyau de radium 222 a pour représentation symbolique  ${}^{222}_{88}\text{Ra}$ , il est composé de 88 protons et de 134 neutrons.

Question : En vous aidant d'une classification périodique, indiquer quelle est la représentation symbolique du noyau constitué de 92 protons et de 146 neutrons ?

### 2. Isotopie.

Des isotopes sont des noyaux qui ont le même nombre de charges Z, mais des nombres de nucléons différents. (C'est à dire un nombre de neutrons différents).

Autres exemples : les noyaux  ${}^{222}_{88}\text{Ra}$  et  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  sont des isotopes.

## II. Les différents types de radioactivité.

Selon leurs positions dans le diagramme (N, Z), les noyaux se désintègreront de manières différentes.

### 1. La radioactivité alpha $\alpha$ (émission d'un noyau d'hélium 4)

Les noyaux appartenant au domaine des noyaux instables ayant un **excès de masse**, subiront une désintégration de type  $\alpha$  (alpha) de symbole  ${}^4_2\text{He}$

Question : En utilisant la classification périodique des éléments et en indiquant les lois de conservation du nombre de nucléons et de la charge électrique, écrire l'équation de réaction nucléaire d'une désintégration alpha du radon  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$

Le rayonnement est peu pénétrant. Il est arrêté par une feuille de papier ou quelques centimètres d'épaisseur d'air. Ce sont les poussières radioactives inhalées qui sont dangereuses.

### 1. La radioactivité beta moins $\beta^-$ (émission d'un électron ${}^0_{-1}e$ )

Les noyaux appartenant au domaine des noyaux instables ayant un **excès de neutrons**, subiront une désintégration de type  $\beta^-$

Question : En utilisant la classification périodique des éléments et en indiquant les lois de conservation du nombre de nucléons et de la charge électrique, écrire l'équation de réaction nucléaire d'une désintégration alpha du cobalt  ${}^{60}_{27}\text{Co}$

Remarque : Lors de la désintégration  $\beta^-$ , un neutron subit la transformation suivante :  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e$

Le rayonnement  $\beta^-$  est assez pénétrant. Il est arrêté par une feuille métallique.

2. La radioactivité beta plus  $\beta^+$  (émission d'un positon  ${}^0_1e$ )

Le positon est l'antiparticule de l'électron son symbole est  ${}^0_1e$

Cette radioactivité bêta est moins fréquente que la radioactivité beta moins. Elle n'affecte que les noyaux artificiels.

Les noyaux appartenant au domaine des noyaux instables ayant un **excès de protons**, subiront une désintégration de type  $\beta^+$

Question : En utilisant la classification périodique des éléments et en indiquant les lois de conservation du nombre de nucléons et de la charge électrique, écrire l'équation de réaction nucléaire d'une désintégration alpha du phosphore  ${}^{30}_{15}P$

3. La radioactivité gamma  $\gamma$  (ou désexcitation  $\gamma$ )

La radioactivité  $\gamma$  ne s'accompagne pas d'émission de particule matérielles.  ${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX$

Si le noyau produit par l'une des trois désintégrations précédentes  $\alpha$ ,  $\beta^-$  et  $\beta^+$ , est dans un état excité (instable), il peut retrouver son état fondamental (stable) en émettant un rayonnement  $\gamma$ .

L'état excité d'un noyau se note avec une étoile \* :

Lors de la désintégration du Radium  ${}^{222}_{88}Ra$  par émission d'une particule  $\alpha$ , il produit un noyau dans un état excité.

Question : Ecrire l'équation de réaction nucléaire de la désintégration du noyau de radium.

Questions : Le noyau ainsi formé se désexcite spontanément en émettant un rayonnement gamma. Ecrire l'équation de réaction nucléaire de la désintégration du noyau. Quelle protection faut-il utiliser pour se protéger de ce type de rayonnement.

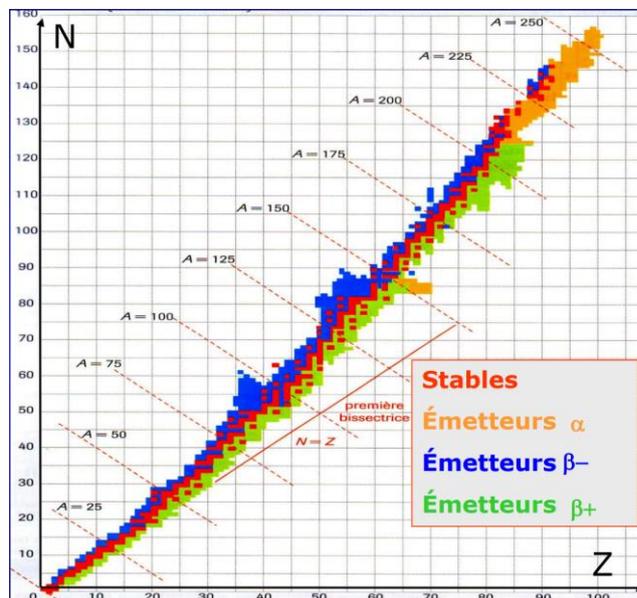
III. **Domaines de stabilité et d'instabilité des noyaux : Etude du diagramme (N, Z).**

3.1 Pourquoi certains noyaux sont-ils instables ?

La stabilité des noyaux résulte de la compétition entre deux interactions :

- L'interaction **forte** : Elle est attractive, intense à courte distance et active sur les noyaux tels que  $N = Z$
- L'interaction **coulombienne** (électrique) entre les protons : Elle est répulsive, agit à plus longue distance et est 10 fois moins active que l'interaction forte. Lorsque A augmente, l'interaction coulombienne (entre les protons), bien que moins intense finit par l'emporter sur l'interaction forte. Les forces répulsives sont ainsi plus intenses : il y a désintégration du noyau.

3.2. Etude du diagramme (N, Z).



On distingue 4 domaines différents :

- Le domaine en rouge représente les éléments chimiques stables (vallée de la stabilité)

On constate que pour des noyaux légers ( $A < 20$ ) les noyaux stables sont sur la bissectrice.

Au-delà ( $A > 20$ ), les noyaux stables s'écartent de cette bissectrice. Ils ont besoin de plus de neutrons que de protons pour rester stables.

Question : compléter les phrases suivantes.

- Le domaine en bleu représente les noyaux instables ayant un excès de .....
- Le domaine en vert représente les noyaux instables ayant un excès de .....
- Le domaine en orange représente les noyaux instables ayant un excès de.....

L'instabilité des noyaux entraînent une désintégration de ceux-ci.

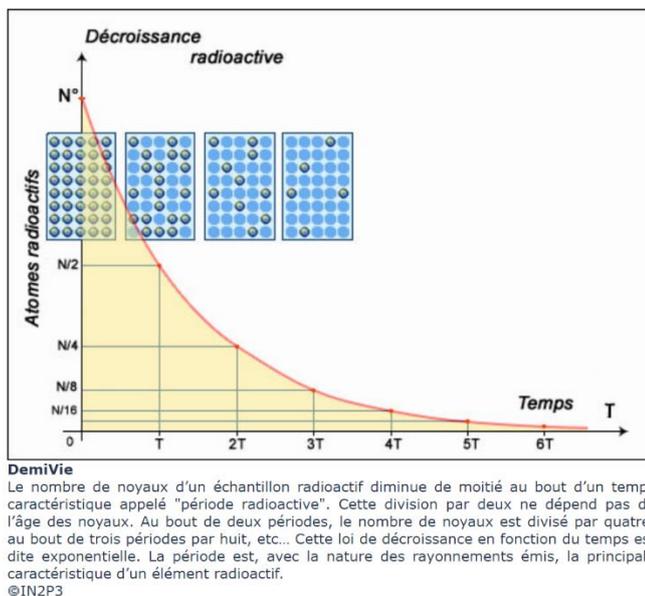
I. Évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs

1. Décroissance radioactive.

Document 1 :

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 !

Source : <https://www.laradioactivite.com/site/pages/PeriodeActivite.htm>



Source : <https://www.laradioactivite.com/site/pages/PeriodeActivite.htm>

Question : Indiquer sur le schéma comment déterminer le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  (anciennement appelée période radioactive)

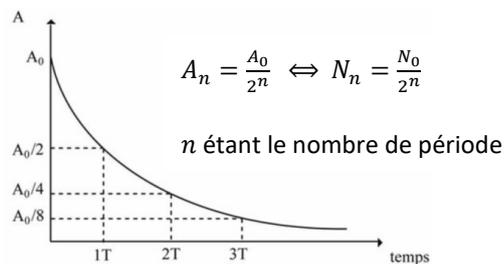
2. Activité.

Etude de la loi de décroissance radioactive peut s'effectuer à partir du nombre N de noyaux radioactifs restants ou bien à partir de l'activité A.

L'activité d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégration par seconde.

Elle s'exprime en Becquerel (Bq)  
1 Bq = 1 désintégration / seconde

On peut tracer le graphique  $A = f(t)$  équivalent au précédent  $N = f(t)$



Deux expressions de l'activité peuvent être données quand  $t$  tend vers 0 :

- L'activité  $A(t)$  traduit la variation du nombre de noyaux radioactifs au cours du temps :  $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$
- L'activité  $A(t)$  est proportionnelle au nombre de noyaux restants :  $A(t) = \lambda \cdot N(t)$

$\lambda$  la constante de désintégration radioactive. Elle est caractéristique du noyau radioactif. Elle s'exprime en  $s^{-1}$

Etablissons l'équation différentielle traduisant la loi de décroissance radioactive :

A partir des deux expressions de l'activité, on peut écrire que :

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N(t) \qquad \frac{dN(t)}{dt} : \text{dérivée de } N \text{ par rapport au temps}$$

Il s'agit d'une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants.

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

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

On peut également écrire pour des durées  $\Delta t$  plus longues que la variation (négative) du nombre de noyaux  $\Delta N = N(t) - N_0$  est proportionnelle à la durée  $\Delta t$ , aux nombres de noyaux restants  $N(t)$  et à la constante de désintégration radioactive  $\lambda$ .

On a alors  $\Delta N = -\lambda \cdot N(t) \cdot \Delta t$

$$\text{Soit } \frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = -\lambda \cdot N(t)$$

3. Résolution mathématique de l'équation différentielle traduisant la décroissance radioactive en fonction de  $N(t)$ .

Le problème à résoudre est donc le suivant : on cherche à déterminer l'expression du nombre de noyaux restants au cours du temps  $N(t)$  qui vérifie l'équation  $\frac{dN(t)}{N(t)} + \lambda \cdot dt = 0$

La résolution s'effectue en **une** étape (car il n'y a pas de solution particulière dans ce cas).

$$\text{Résolution de l'équation sans second membre, c'est-à-dire } \frac{dN(t)}{N(t)} + \lambda \cdot dt = 0$$

$$\text{En séparant les variables } N(t) \text{ et } t \qquad \Leftrightarrow \frac{dN(t)}{N(t)} = -\lambda \cdot dt$$

On peut écrire que la solution de l'équation différentielle a pour expression  $|N(t)| = A \cdot e^{[-\lambda \cdot t]} + B$

Question : Montrer que la solution de l'équation différentielle est :  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ .

Il s'agit de la loi de décroissance radioactive.

On note  $\tau$  la constante de temps.  $\tau = \frac{1}{\lambda}$  (unité : seconde)

La relation  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$  peut s'écrire  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

**Application à la désintégration de l'argent 108 (Bac Asie 2006)**

*On soumet à un flux de neutrons lents un échantillon d'argent ne contenant que des atomes d'argent 107.*

*Un noyau d'argent 107 capte un neutron et il se forme un noyau d'argent 108.*

*Le noyau d'argent 108 est radioactif. Il se désintègre suivant plusieurs processus compétitifs dont la radioactivité  $\beta^-$  et la radioactivité  $\beta^+$ .*

*Donnée: extrait de la classification périodique fournissant les symboles des éléments et leur numéro atomique*

Rh Z = 45	Pd Z = 46	Ag Z = 47	Cd Z = 48	In Z = 49
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

**1. Capture d'un neutron.**

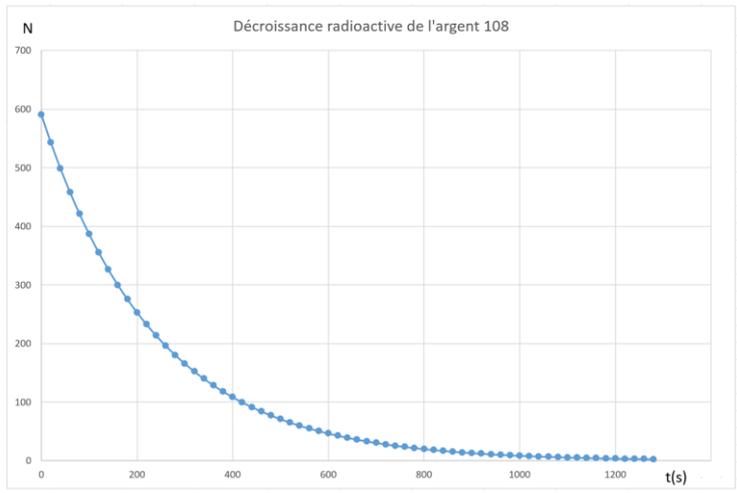
1.1. Rappeler les deux lois de conservation qui permettent d'écrire l'équation d'une réaction nucléaire.

1.2. Écrire l'équation de la réaction de capture d'un neutron par un noyau d'argent 107.

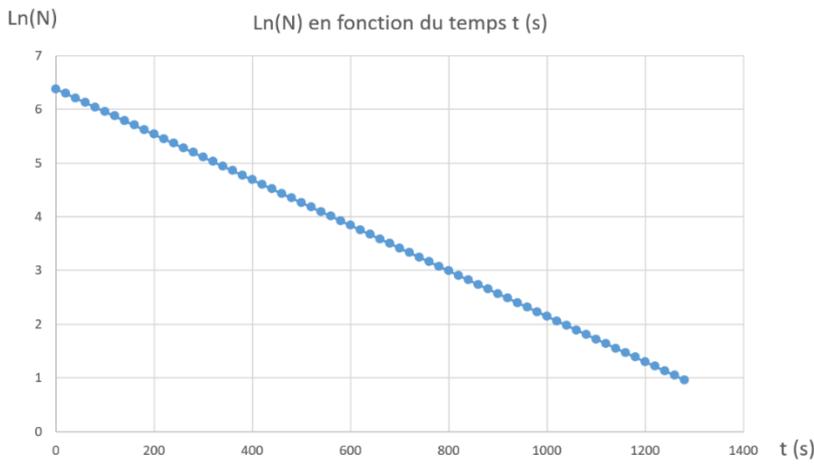
**2. Désintégration du noyau d'argent 108.**

2.1. Rappeler la nature des particules émises au cours des radioactivités  $\beta^-$  et  $\beta^+$ . Écrire leur symbole.

2.2. Écrire les équations correspondant à chacune des transformations radioactives pour l'argent 108.



Question : Déterminer graphiquement la valeur de la demi-vie radioactive de l'argent 108 et de la constante de temps  $\tau$   
 En déduire la valeur de  $\lambda$  dans le cas de la désintégration de l'argent 108



Question : déterminer la valeur de la constante radioactive  $\lambda$  à partir du graphique suivant, correspond à l'équation :  
 $LnN(t) = -\lambda \cdot t + LnN_0$

4. Relation entre temps de demi-vie  $t_{1/2}$  et constante radioactive  $\lambda$ .

Rappel : Le temps de demi-vie est la durée correspondant à la désintégration de la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon.

Question : Montrer que  $t_{1/2} = \frac{Ln2}{\lambda}$

5. Relation entre la constante de temps  $\tau$  et la demi-vie  $t_{1/2}$

On a  $\tau = \frac{1}{\lambda} \iff t_{1/2} = Ln2 \cdot \tau$

6. Activité.

Etude de la loi de décroissance radioactive peut s'effectuer à partir du nombre N de noyaux radioactifs restants ou bien à partir de l'activité A.

L'activité d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégration par seconde.

Elle s'exprime en Becquerel (Bq)  
 1 Bq = 1 désintégration / seconde

La relation entre l'activité  $A(t)$  le nombre de noyaux restants  $N(t)$  est :  
 $A(t) = \lambda \cdot N(t)$

$\lambda$  est la constante de désintégration radioactive.

