



## Leçon 18 (TCE) 14(TD) : REACTIONS NUCLEAIRES SPONTANÉES

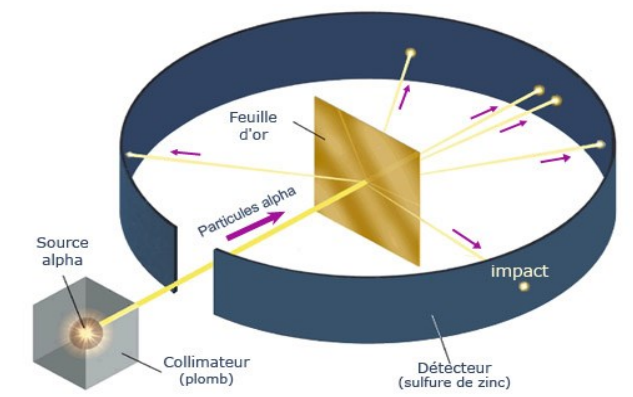
### Situation d'apprentissage

Au cours des SVT, les élèves de la Terminale D du Lycée Moderne de Dabou ont appris que les archéologues peuvent déterminer l'âge des vestiges qu'ils récupèrent. Pour ce faire, ils utilisent des connaissances en radioactivité. Émerveillés par cette information, les élèves décident, au cours de Physique-Chimie, sous la conduite de leur Professeur de définir l'activité d'un échantillon, de connaître la loi de décroissance radioactive, de déterminer la constante radioactive, la période, l'activité et l'âge d'un échantillon radioactif.

### Contenu de la leçon

#### 1 La structure de la matière

##### 1-1 Expérience de Rutherford



En bombardant une feuille mince d'or par des particules  $\alpha$  en 1909, Rutherford constate que :

- la grande majorité des particules  $\alpha$  traverse la feuille d'or sans déviation ;
- quelques unes sont déviées par une charge positive contenue dans l'atome.

Il conclut alors que :

- un atome est principalement vide : on dit qu'il a une structure lacunaire ;
- un atome est formé d'un noyau positif autour duquel gravitent très loin des électrons.

## **1-2 Constitution du noyau d'un atome**

Le noyau d'un atome est formé de particules appelées nucléons : les **protons** et les **neutrons**.

Caractéristiques des nucléons :

| Nucléon      | proton            | neutron           |
|--------------|-------------------|-------------------|
| Charge ( C ) | $1,602.10^{-19}$  | 0                 |
| Masse ( kg)  | $1,6726.10^{-27}$ | $1,6749.10^{-27}$ |

Le nombre de protons dans le noyau est son **numéro atomique** (ou nombre de charge) **Z**. Le nombre total de nucléons dans le noyau est son **nombre de masse A**. Son **nombre de neutron N** est donné par la relation :  **$N = A - Z$**

## **2- L'élément chimique**

C'est l'ensemble des espèces chimiques ayant le même numéro atomique Z.

## **3- Le nucléide**

Un nucléide est un type de noyaux caractérisés par son nombre de masse A et son numéro atomique Z. on le note  ${}^A_ZX$

## **4- Les isotopes**

Les isotopes sont des nucléides qui ont le même numéro atomique mais des nombres de masses différents

Exemples :  ${}^{12}_6C$ ,  ${}^{13}_6C$  et  ${}^{14}_6C$  sont isotopes.

## **5- Unité de masse atomique u.**

En physique nucléaire, les masses s'expriment en unité de masse atomique **u**. L'unité de masse atomique **u** représente le douzième ( $\frac{1}{12}$ ) de la masse de l'isotope du carbone 12.

**$1u = 1,66.10^{-27} \text{ kg}$  ;  $1u = 931 \text{ MeV}/c^2$ .**

Ainsi la masse du proton  **$m_p = 1,007276 \text{ u}$**  et la masse du neutron  **$m_n = 1,008665 \text{ u}$**

## **6- Emissions radioactives**

### **6-1 Définition**

La radioactivité ou désintégration radioactive est la décomposition spontanée de certains noyaux instables naturels ou artificiels. Cette désintégration s'accompagne de l'émission de particules et d'un rayonnement électromagnétiques  $\gamma$ . Le noyau qui subit la désintégration est appelé « noyau père » et donne naissance à un nouveau noyau « le noyau fils ».

### **6-2 Les émissions radioactives.**

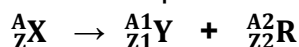
Selon le type de radionucléide, on obtient des particules  $\alpha$ ,  $\beta^+$  ou  $\beta^-$ . Ainsi le nom de la radioactivité est lié à la nature des particules émises.

| Particule                 | Symbole           | Charge | Masse (u)     |
|---------------------------|-------------------|--------|---------------|
| $\alpha$ : noyau d'hélium | ${}^4_2\text{He}$ | + 2e   | 4             |
| $\beta^+$ : positon       | ${}^0_1e$         | + e    | $5,5.10^{-4}$ |
| $\beta^-$ : électron      | ${}^0_{-1}e$      | - e    | $5,5.10^{-4}$ |

Le rayonnement électromagnétique  $\gamma$  transporte de l'énergie et est caractérisé par une fréquence très élevée de l'ordre de  $10^{21}$  Hz. Il est de la même nature que la lumière ou les ondes radio.

### 6-3 Lois de conservation

La désintégration radioactive peut être représentée par l'équation-bilan suivante :



Elle vérifie les lois de conservation suivantes :

- conservation du nombre de charge  $Z_1 + Z_2 = Z$
- conservation du nombre de nucléons.  $A_1 + A_2 = A$ .

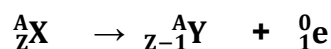
### 6-4 Radioactivité $\alpha$ .

C'est la désintégration d'un noyau  ${}^A_Z\text{X}$  en un noyau  ${}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$  avec émission d'une particule  $\alpha$ . Elle s'observe pour les noyaux lourds instables ( $A > 200$  et  $Z > 82$ ). L'application des lois de conservation conduit à l'écriture de l'équation-bilan de la réaction :  ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$

Exemple :  ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$

### 6- 5 Radioactivité $\beta^+$

C'est la désintégration d'un noyau  ${}^A_Z\text{X}$  en un noyau  ${}^A_{Z-1}\text{Y}$  avec émission d'une particule  $\beta^+$ . Elle concerne les noyaux trop riches en protons par rapport à leur isotope stable. L'application des lois de conservation conduit à l'écriture de l'équation-bilan de la réaction entre :



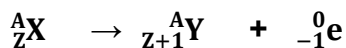
Exemple :  ${}^{13}_7\text{N} \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + {}^0_1\text{e}$

Remarque : le positron et le neutrino qui n'existe pas dans le noyau proviennent de la désintégration d'un des protons du noyau.

soit  ${}^1_1\text{p} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_1\text{e}$

### 6-6- Radioactivité $\beta^-$

C'est la désintégration d'un noyau  ${}^A_Z\text{X}$  en un noyau  ${}^A_{Z+1}\text{Y}$  avec émission d'une particule  $\beta^-$ . Elle concerne les noyaux trop riches en neutrons par rapport à leur isotope stable. L'application des lois de conservation conduit à l'écriture de l'équation-bilan de la réaction :



Exemple :  ${}^{32}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + {}^0_{-1}\text{e}$

Remarque : l'électron et l'antineutrino qui n'existent pas dans le noyau proviennent de la désintégration d'un neutron du noyau.

Soit  ${}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}^0_{-1}\text{e}$

### Remarque :

La plupart des noyaux sont créés dans un état excité  $Y^*$ , à partir des radioactivités  $\alpha$ ,  $\beta^+$ ,  $\beta^-$ . Mais cet état instable est de courte durée. La désexcitation s'accompagne de l'émission d'un rayonnement électromagnétique  $\gamma$  suivant l'équation :  ${}_Z^AY^* \rightarrow {}_Z^AY + {}_0^0\gamma$

### Activité d'application

Complète les équations suivantes

- ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow \dots\dots\dots\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$
- ${}^{12}_7\text{N} \rightarrow \dots\dots\dots\text{C} + {}^0_1\text{e}$
- ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow \dots\dots\dots\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$

## **7 La décroissance radioactive**

### **7-1 Loi de décroissance radioactive**

La désintégration d'un noyau radioactif est un phénomène aléatoire. A l'instant  $t$ , un échantillon de substance radioactive contient  $N_0$  noyaux. A l'instant  $t + dt$ , elle en contiendra  $N$  inférieur à  $N_0$ .

La variation de noyaux entre  $t$  et  $t+dt$  est proportionnelle à la durée de désintégration et au nombre de noyaux  $N$  présents dans l'échantillon à la date  $t$  :  **$dN = -\lambda N dt$** .

$\lambda$  est la constante radioactive. Elle caractérise le nucléide et s'exprime en  **$s^{-1}$** .

$$\int \frac{dN}{N} = - \int \lambda dt \rightarrow \ln N = -\lambda t \text{ d'où le résultat : } N = N_0 e^{-\lambda t}$$

### **7- 2 Période ou demi-vie d'un nucléide.**

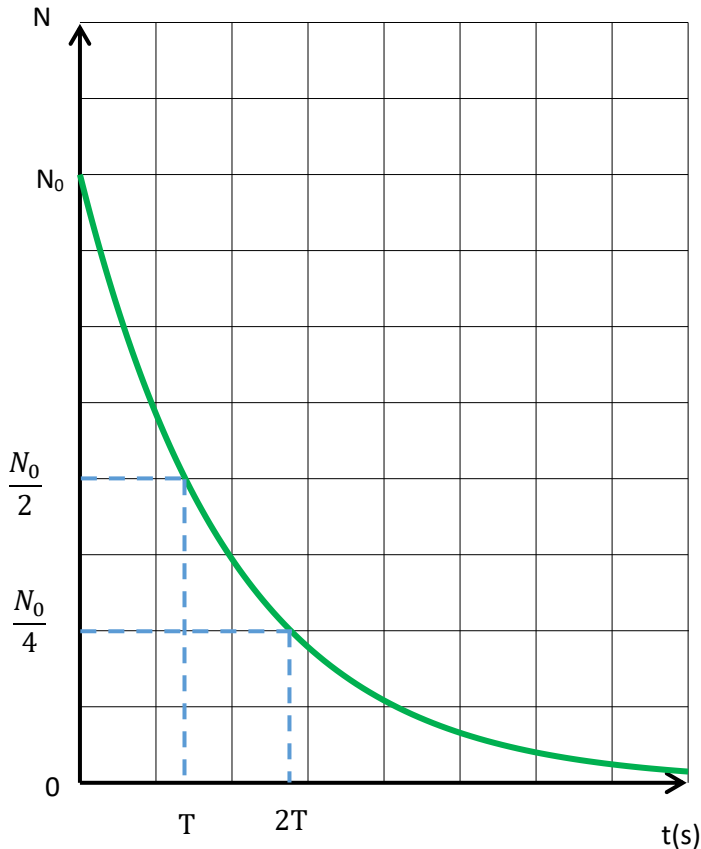
On appelle demi-vie  **$T$**  d'un nucléide le temps au bout duquel la moitié des noyaux radioactifs initialement présents a été désintégrée. C'est une caractéristique du nucléide. Elle ne dépend pas du nombre de noyaux que contient l'échantillon et vaut :

$$\text{En une période } T : N = \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda T} \rightarrow -\ln 2 = -\lambda T \rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda} \leftrightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

Exemple :

| Noyaux | ${}^{235}_{92}\text{U}$ | ${}^{14}_6\text{C}$  | ${}^{30}_{16}\text{S}$ |
|--------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| T      | $4,5 \cdot 10^9$ ans    | $5,7 \cdot 10^3$ ans | 3 min                  |

### 7-3 Courbe de décroissance radioactive



### 7- 4. Activité d'une substance radioactive

L'activité d'une substance radioactive est le nombre de désintégrations par unité de temps. Elle s'exprime en **becquerel (Bq)** et se note **A** telle que :  $A = \lambda N \implies A = A_0 e^{-\lambda t}$

#### Situation d'évaluation

Dans une revue de physique nucléaire et atomique, Doué découvre l'extrait de tableau ci-dessous donnant l'évolution dans le temps du nombre de noyaux dans un échantillon de polonium 210 contenant à  $t = 0$  s,  $N$  noyaux

| T(jours) | 0 | 40   | 80   | 100  | 120  | 150  |
|----------|---|------|------|------|------|------|
| $N/N_0$  | 1 | 0,82 | 0,67 | 0,61 | 0,55 | 0,47 |

Par ailleurs il a lu que le nucléide  $^{107}_{84}\text{Po}$  est radioactif ; il est un émetteur  $\alpha$ .

À partir des informations découvertes par Doué, tu es sollicité pour déterminer certaines caractéristiques du radionucléide  $^{107}_{84}\text{Po}$ . On donne l'extrait de la classification :

|                  |                        |                        |                  |                  |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------|------------------|
| $_{82}\text{Pb}$ | $^{107}_{83}\text{Bi}$ | $^{107}_{84}\text{Po}$ | $_{85}\text{At}$ | $_{86}\text{Rn}$ |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------|------------------|

1. Écris l'équation de la désintégration d'un noyau de polonium 210.
2. Calcule en eV l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau de polonium.  
On donne  $m(\alpha) = 4,00150 \text{ u}$  ;  $m({}_{84}^{210}\text{Po}) = 209,9368 \text{ u}$  ;  $m(\text{noyau fils}) = 205,9295 \text{ u}$ .
3. Définis la période radioactive  $T$  d'un radionucléide.
4. Donne à partir du premier tableau un encadrement de la période du polonium 210.
5. Trace la courbe  $-\ln(N/N_0) = f(t)$  avec  $t$  en jours.
6. Dédus la valeur de la période  $T$  du polonium.
7. Établis l'expression de la constante radioactive  $\lambda$  puis calcule sa valeur.