

## Cours N°2:

# La radioactivité

# Définition de la radioactivité

- **La radioactivité** est définie comme étant la propriété qu'ont certains noyaux d'atomes de se désintégrer de manière naturelle et d'émettre spontanément des particules (alpha, bêta, neutrons), ou des rayonnements électromagnétiques (gamma) ou les deux à la fois en raison de leur structure interne.

# Types de la radioactivité

- La radioactivité peut être **naturelle** ou **artificielle**.
- **La radioactivité naturelle :**
- Est la propriété de certains éléments de se désintégrer spontanément en émettant diverses radiations.
- La radioactivité naturelle résulte de l'instabilité du noyau, la désintégration de ce noyau s'accompagne de :
- L'apparition d'un nouveau noyau, stable ou instable.
- L'émission d'une particule notée :  $\alpha$ ,  $\beta^+$  ou  $\beta^-$ .
- L'émission d'un rayonnement électromagnétique gamma noté ( $\gamma$ ).

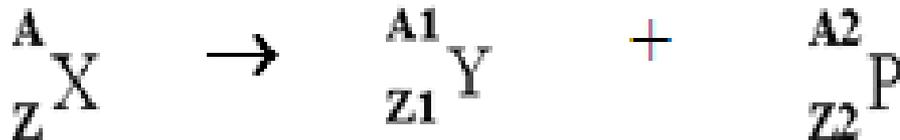
# La radioactivité artificielle

- La radioactivité **artificielle** est **induite** par irradiation ou bombardement des noyaux des atomes instables.

# Lois de conservation (Lois de Soddy) :

- **Lois de Soddy :**

- Lors d'une désintégration nucléaire, il y a conservation du:
- **1. nombre de charge Z** et
- 2. du nombre de **nucléons A**
- La désintégration d'un noyau X (appelé noyau père) conduit à un noyau Y (appelé noyau fils) et à l'expulsion d'une particule P (particule  $\alpha$  ou  $\beta$ ).
- L'équation de la désintégration s'écrit :



- Les lois de conservation de **Soddy** s'écrivent:
- Loi de conservation du nombre de nucléons A :  $A = A_1 + A_2$
- Loi de conservation du nombre de charges Z :  $Z = Z_1 + Z_2$

# TYPES DE RAYONNEMENTS

- **1- Rayonnement  $\alpha$  (émission  $\alpha$ ):**

Cette forme de radioactivité concerne essentiellement les éléments "lourds" de numéro atomique  $Z > 83$ , ils se désintègrent en noyaux plus légers.

- Cette désintégration s'accompagne par l'émission de particules  $\alpha$  qui sont des noyaux d'hélium.



- Par exemple, l'uranium 238 est un radionucléide.
- Son équation de désintégration s'écrit :



# Caractéristiques de rayonnement $\alpha$

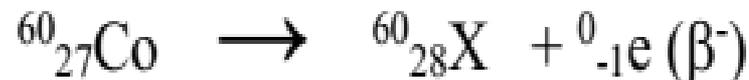
- **Les particules ( $\alpha$ ):**
  - sont arrêtées par quelques centimètres d'air ou par une feuille de papier, mais
  - elles sont très ionisantes et donc dangereuses.
- Le noyau de l'atome d'hélium porte deux charges positives ( ${}_2^4\text{He}^{2+}$ ).
- On ne les représente pas ( ${}_2^4\text{He}$ ).

# Rayonnement $\beta^-$ (électrons)

- **Rayons  $\beta^-$**  constitués d'électrons ( ${}_{-1}^0\text{e}$ ) qui sont formés lors de la transformation d'un neutron en proton (A ne change pas mais Z varie).

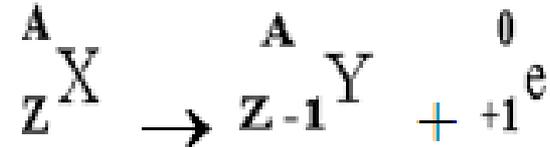


- L'équation générale est la suivante:  ${}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^A_{Z+1}\text{X} + {}^0_{-1}\text{e} (\beta^-)$
- **Z augmente d'une unité et N diminue d'une unité, A reste constant.**
- **Caractéristique des rayons  $\beta^-$  :**
  - Le rayonnement est **moins ionisant** que celui de  $\alpha$  mais **très pénétrant**,
  - Elles sont arrêtées par quelques millimètres d'aluminium.
- **Exemple:**
  - le Cobalt 60 est un radionucléide  $\beta^-$ .
  - Son équation de désintégration s'écrit :



# Radioactivité $\beta^+$ (positons)

- Cette radioactivité ne concerne que **des noyaux artificiels**, c'est-à-dire des noyaux engendrés par des réactions nucléaires réalisées par l'homme. Des noyaux sont dits radioactifs  $\beta^+$  s'ils émettent des positons ( ${}^0_1e$ ).
- Ce sont des particules  $\beta^+$  portant une charge **+e**.
- L'équation de la réaction de désintégration d'après les lois de conservation de **Soddy** s'écrit :



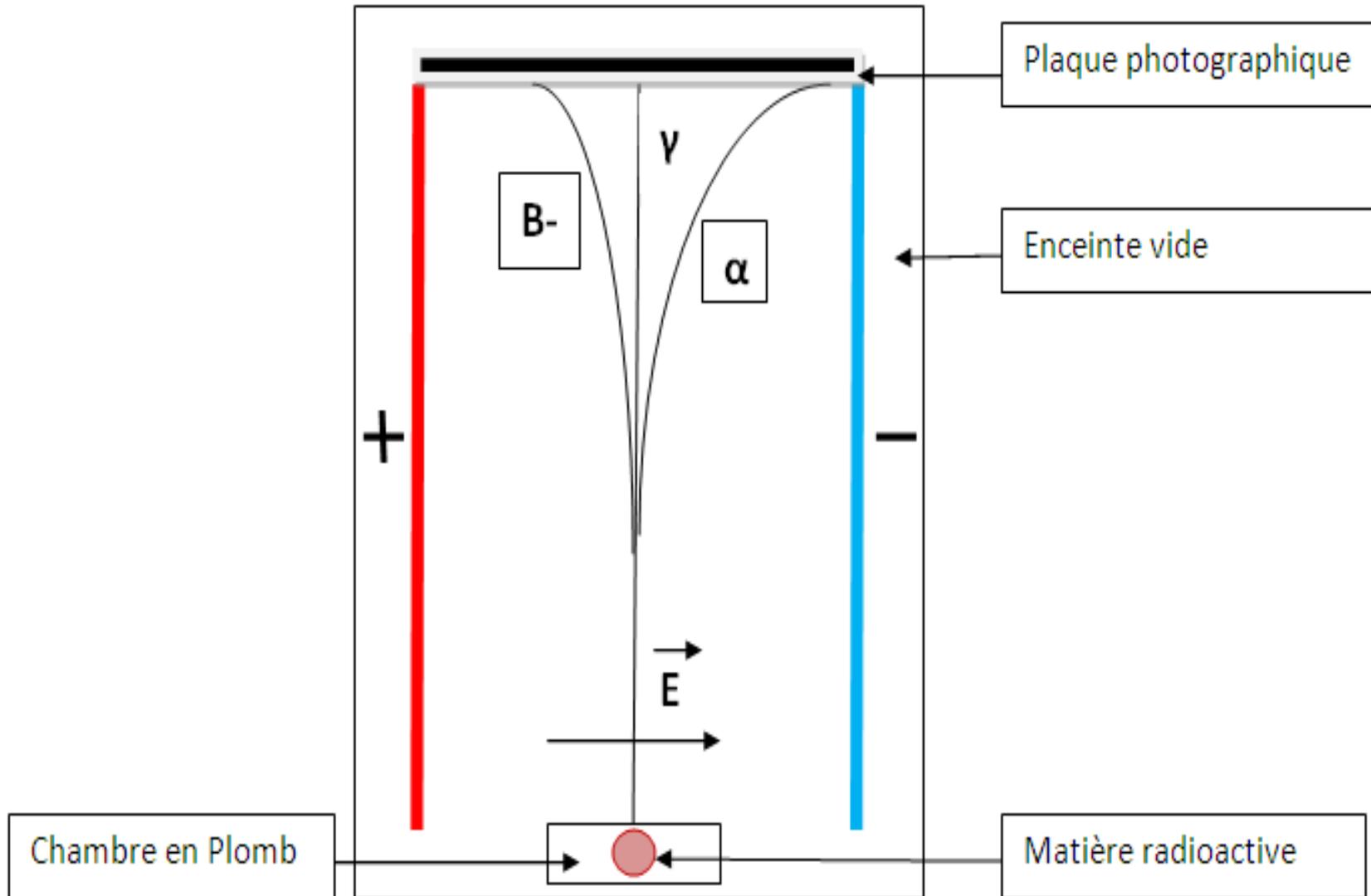
- **N augmente d'une unité et Z diminue d'une unité, A reste constant.**
- **Exemple:**
- le phosphore 30 est un radio-émetteur  $\beta^+$ .
- Son équation de désintégration est :



# Rayonnement gamma ( $\gamma$ )

- Les rayons ( $\gamma$ ) sont formés des radiations électromagnétiques de même nature que la lumière.
- Le photon ( $\gamma$ ) n'a ni charge, ni masse ,
- L'émission ( $\gamma$ ) ne modifie ni le numéro atomique (Z) ni le nombre de masse (A).
- **Réaction:** 
$${}^A_ZX^* \longrightarrow {}^A_ZX + \gamma$$
- **Caractéristiques des rayons ( $\gamma$ ):**
- Le rayonnement ( $\gamma$ ) est beaucoup **moins ionisant** que celui de  $\alpha$  et  $\beta^-$ ,
- Ce rayonnement est **très pénétrant**; il peut traverser une épaisse plaque de plomb (100mm).

# Pouvoir ionisant des radiations ( $\alpha$ , $\beta^-$ , $\gamma$ ) : ( $\alpha > \beta^- > \gamma$ )



# Pouvoir pénétrant des radiations

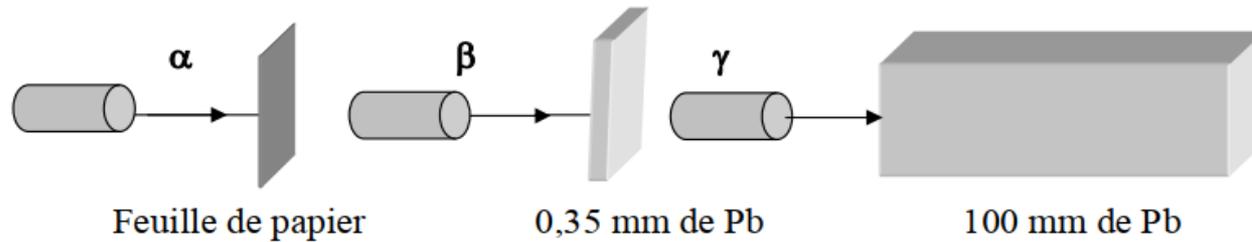
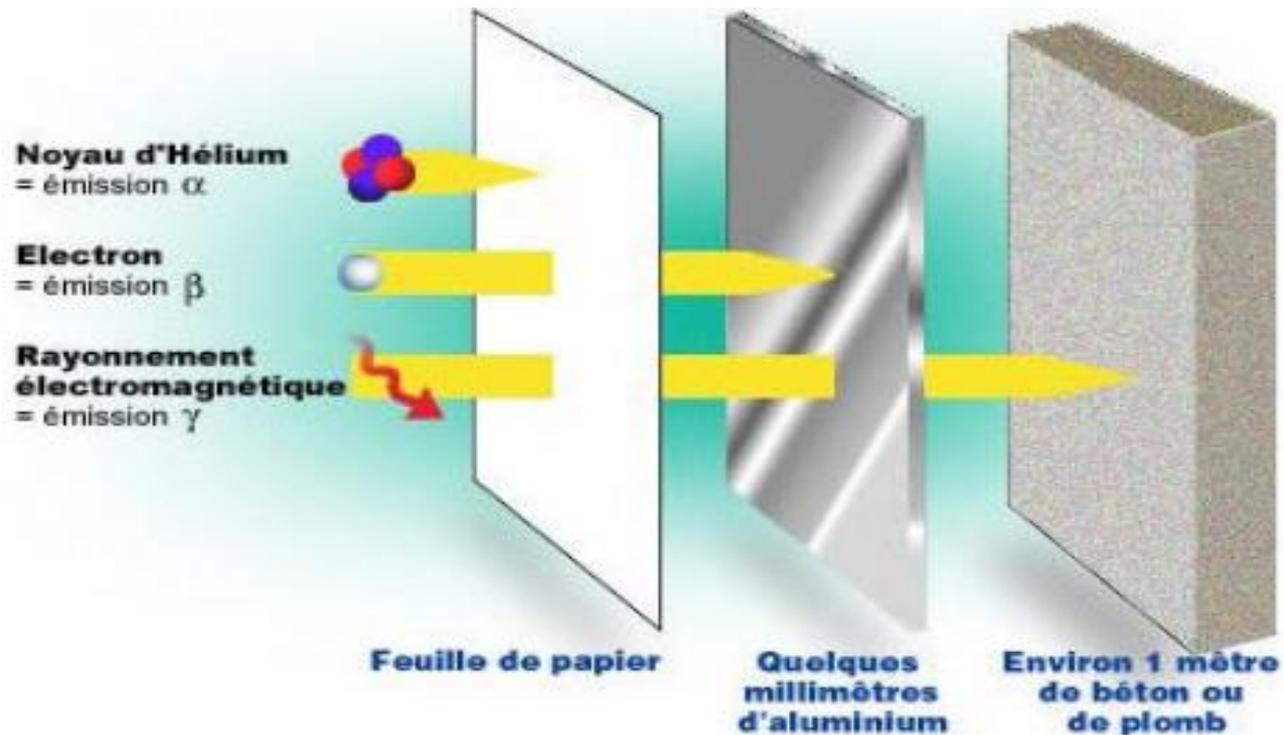


Figure 21 : Pouvoir pénétrant des particules  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ( $E_c=1\text{MeV}$ )



# Réactions nucléaires artificielles

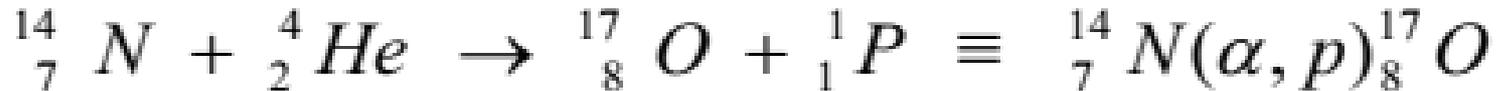
- Les réactions nucléaires sont obtenues en bombardant les noyaux de certains atomes à l'aide de particules convenables tel que :
- les protons, les neutrons, les hélions, les électrons, ...etc.  
L'ensemble de ces réactions nucléaires dites artificielles peuvent être divisées en trois groupes :
  - **Les transmutations,**
  - **les réactions de fission et**
  - **les réactions de fusion.**

# Les transmutations nucléaires :

- Ces réactions produisent des nucléides de nombre de masse égal ou très voisin de celui du nucléide qui a servi de cible.
- Les nucléides formés sont stables ou radioactifs.

- **Exemples:**

*Notation abrégée*



# La fission nucléaire

- Le nombre de masse des **noyaux cibles** est supérieur à 200.
- Le numéro atomique Z des **noyaux formés** est compris entre 35 et 60, en revanche le nombre de masse A est compris entre 72 et 162.
- **Exemple de réactions de fission :**



- Les neutrons libérés provoquent la fission d'autres noyaux d'Uranium.

# La fusion nucléaire :

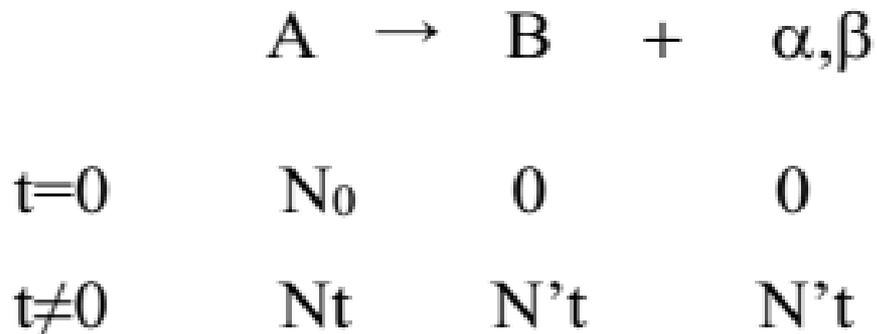
- Au cours de ce type de réactions, deux ou plusieurs noyaux légers vont **fusionner** pour donner un atome plus lourd et diverses particules.
- **Exemple de réactions de fusion :**
- ${}^2_1\text{H}$ : Noyau de deutérium ;  ${}^3_1\text{H}$ : Noyau de Tritium.



- Les réactions de fusions libèrent des quantités d'énergie 3 à 4 fois plus grandes que l'énergie fournie par les réactions de fission.

# Loi de désintégration (décroissance) radioactive (Aspect cinétique)

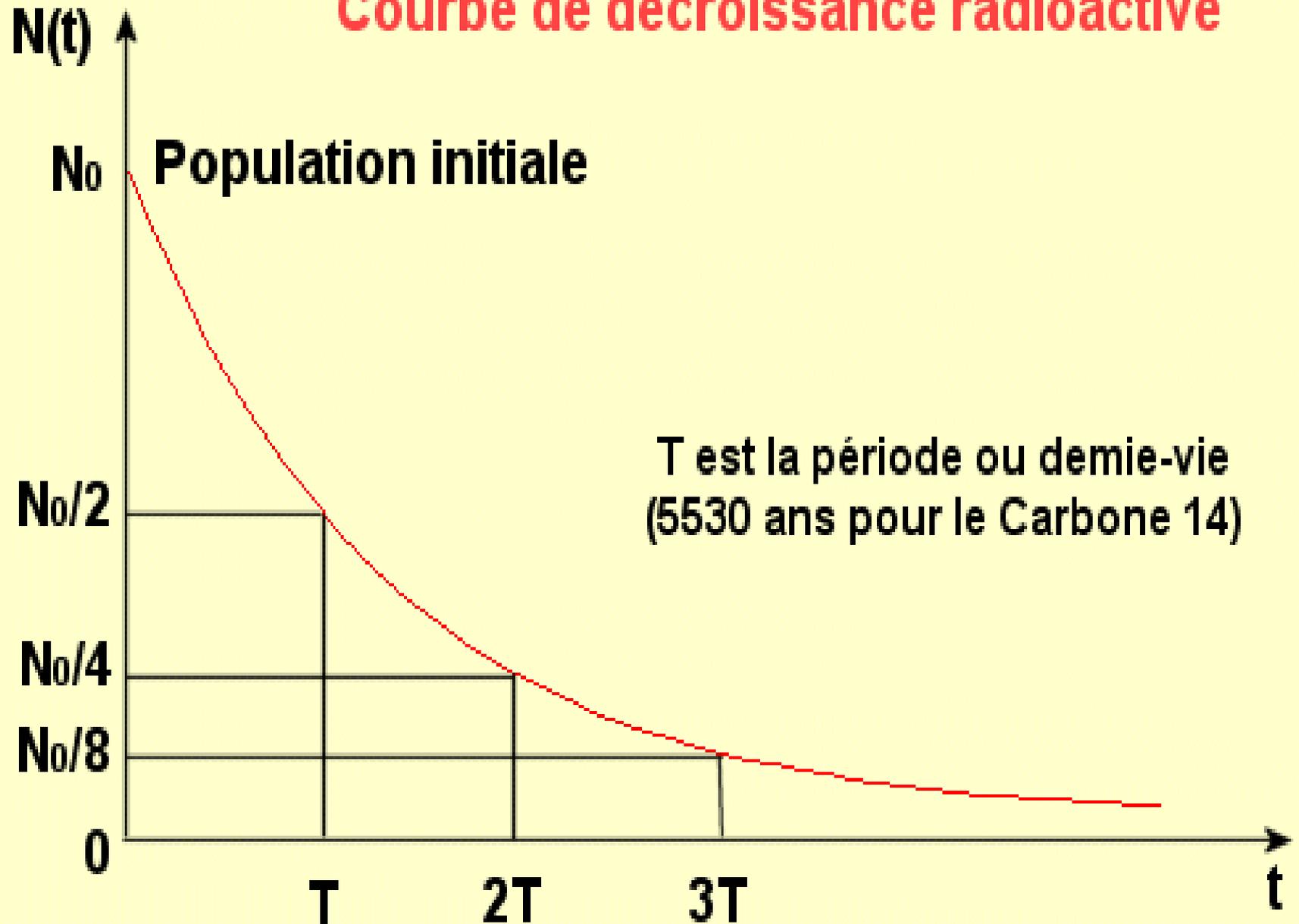
- Dans un échantillon donné, le nombre d'atomes radioactifs varie avec le temps.  
Soit la désintégration suivante :  $A \rightarrow B + \alpha$  ou  $\beta$
- Où: A: radioactif et B: n'est pas radioactif.



- $N_0$ : le nombre de noyaux initial en A, à l'instant t=0.  
 $N_t$ : le nombre de noyaux A restants, non désintégrés à l'instant t.  
 $N'_0$ : le nombre de noyaux transformés (désintégrés) à l'instant t ;  $N'_t = N_0 - N_t$
- t : temps de désintégration.

- L'expérience montre que le nombre de particules du noyau radioactif  $A$  désintégrés par unité de temps ( $-dN/dt$ ) est proportionnel au nombre d'atomes  $N$  présent à l'instant ( $t$ ).
- La représentation:  $-dN/dt = f(N)$  est une droite linéaire ;
- d'où:
- **$A = -dN/dt = \lambda N$**
- Le signe moins (-) signifie une diminution du nombre de noyaux ( $A$ ) au cours du temps.
- On définit **l'activité ( $A$ )** par la vitesse de désintégration : le nombre de particules désintégrés par unité de temps.

## Courbe de décroissance radioactive



# Unités de l'Activité (A) :

- L'Activité (A) s'exprime :
- en **Becquerels** (Bq) avec  $1\text{Bq} = 1$  désintégration par seconde (d.p.s),
- en **d.p.m** (désintégration par minutes) et
- en **curie** (Ci) avec :  $1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Bq} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{d.p.s.}$
- $\lambda$ : est la **constante radioactive** ou **constante de désintégration**, elle varie avec la nature de l'atome radioactif et son unité c'est: **temps<sup>-1</sup>** ( $\text{s}^{-1}$ ,  $\text{min}^{-1}$ ,  $\text{h}^{-1}$ , ...etc).

- Par intégration de:  **$A = -dN/dt = \lambda n$** .

- En considérant :

à  $t=0$  on a  $N = N_0$  et à  $t \neq 0$  on a  $N = N_t \Rightarrow$ , on obtient :

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \Rightarrow [\ln(N)]_{N_0}^N = -\lambda [t]_0^t$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t$$

$$\Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

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

$$\longrightarrow N_t = N_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(1)$$

- **Relation de l'activité en fonction du temps :**

En multipliant la relation (1):  $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$  par  $\lambda$ ,

- on obtient :

$$\lambda N_t = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

**Avec:**  $A_0 = \lambda N_0$

- **Relation de la masse en fonction du temps :**

- $n = m/M$  ;

- $1 \text{ mol} \rightarrow N_a$  (atomes ou noyaux)

- $n \rightarrow N$  (nombre de noyaux)

- $N = n \cdot N_a = (m/M) \cdot N_a \dots \dots (2)$

- On remplace (2) dans (1) on trouve :

- $(m_t/M) \cdot N_a = (m_0/M) \cdot N_a \cdot e^{-\lambda t}$

- $m_t = m_0 \cdot e^{-\lambda t}$

# Période radioactive $T$ (ou temps de demi-vie radioactive $t_{1/2}$ )

- **La période (ou temps de demi-vie  $t_{1/2}$ ):**
- C'est le temps  $T$  nécessaires pour que ce nombre de noyaux ( $N_0$ )diminue de moitié ( $N_0/2$ ).
- Soit ( $T$ ) le temps nécessaire pour que  $N_0/2$  soit désintégrés.

$$Nt = N_0 e^{-\lambda t} \dots\dots(1)$$

A  $t = T$  ou  $t_{1/2}$ , on a que  $N(t_{1/2}) = N_0/2$

alors en remplaçant dans la relation (1), on obtient :

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

$$\text{On trouve } T = t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

La demi-vie radioactive est une caractéristique de chaque type de noyau radioactif, elle ne dépend que de la constante radioactive  $\lambda$ .

# Travail personnel

- **Exercice 01 :**
- Compléter les réactions nucléaires suivantes, nommer l'élément manqué et déterminer le type de chaque réaction :



## Exercice 02 :

Le bombardement neutronique de l'Uranium  $^{235}_{92}\text{U}$  permet de produire de l'Yttrium  $^{95}_{39}\text{Y}$  et de l'Iode  $^{139}_{53}\text{I}$ .

- Quel est le type de cette réaction ?
- Ecrire la réaction en la complétant, et commenter.
- Calculer l'énergie libérée par la fission d'un atome d'Uranium 235 en (MeV), puis l'énergie dégagée par 1 gramme de  $^{235}_{92}\text{U}$  fragmenté en (J).

**Données :**  $m(^{235}_{92}\text{U})=235,044$  u.m.a ;  $m(^{95}_{39}\text{Y}) = 94,915$  u.m.a ;  $m(^{139}_{53}\text{I}) = 138,910$  u.m.a ;

$C=3.10^8$  m.s<sup>-1</sup>