

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## 1 . Introduction

## 2 . Différents modes de radioactivité (**désintégration**)

## 3 . Lois de la radioactivité

## 4 . Réactions nucléaires

## 5 . Applications de la radioactivité

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## 1 . Introduction:

Propriété naturelle de certains noyaux atomiques à émettre de façon spontanée un rayonnement  $\approx$  recherche spontanée de stabilité nucléaire.

La désintégration radioactive transforme le noyau de l'élément "père" (X) en noyau fils (Y).

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

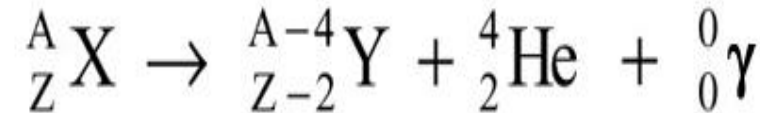
## 2 . Les différents modes de radioactivité (**désintégration**)

En fonction de la nature du rayonnement émis, on peut distinguer :

- le rayonnement alpha ( $\alpha$ )
- le rayonnement bêta - ( $\beta -$ )
- le rayonnement bêta + ( $\beta +$ )
- le rayonnement gamma ( $\gamma$ )
- la capture électronique (CE)
- le rayonnement cosmique

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## Le rayonnement alpha :



### Émission:

- . un noyau d'hélium ( 2 neutrons, 2 protons)

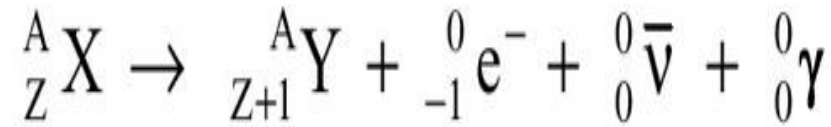
- . un photon  $\gamma$

**Ex: . Radium 226**

**. Uranium 238**

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## Le rayonnement bêta moins:



Noyaux instables présentant un excès de neutrons

Émission:

- . un électron  $e^-$  (ou négatron)
- . un antineutrino
- . un photon  $\gamma$

**Ex: Potassium 40**

**(type assez fréquent)**

Un neutron se transforme en proton. Néanmoins, le noyau garde le même nombre de nucléons et donc la masse atomique ne change pas

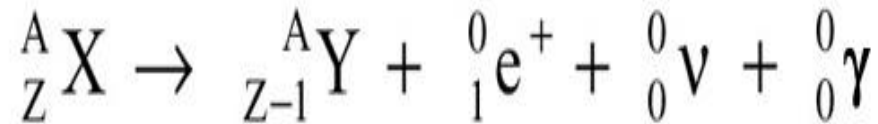
# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

Désintégration Beta- du Carbone 14  
en Azote 14

**Transformation isobarique  
( le nombre de masse A est inchangé)**

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## Le rayonnement bêta plus :



Noyaux instables présentant un excès de protons

Émission:

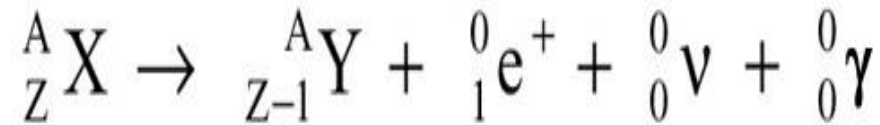
- . un positon  $e^+$  (positon bêta ou anti-électron)
- . un neutrino
- . un photon  $\gamma$

**Ex: Iode 122**

Un proton se transforme en neutron. Néanmoins, le noyau garde le même nombre de nucléons et donc la masse atomique ne change pas.

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## Le rayonnement bêta plus :



Noyaux instables présentant un excès de protons

Émission:

- . un positon  $e^+$  (positon bêta ou anti-électron)

- . un neutrino

- . un photon  $\gamma$

**Ex: Iode 122**

Un proton se transforme en neutron. Néanmoins, le noyau garde le même nombre de nucléons et donc la masse atomique ne change pas.



# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## Le rayonnement gamma :

Capture d'un neutron par un noyau  
Pas de changement ni du nombre de masse  $A$ , ni du numéro atomique  $Z$ .

**Ex:** Désexcitation Gamma du  
Dysprosium 152  
(émission de photon gamma)

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## Le rayonnement gamma :

Capture d'un neutron par un noyau  
Pas de changement ni du nombre de masse  $A$ , ni du numéro atomique  $Z$ .

**Ex: Désexcitation Gamma du  
Dysprosium 152**

(émission de photon gamma)

## Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

### La capture électronique :

Réaction nucléaire qui entre en compétition avec la radioactivité beta +

Curium 239 en Americium 239

Émission:

- . un neutrino (pas de positon)
- . rayons X

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## 3 . Les lois de la radioactivité

La décroissance radioactive :

$$dN = - \lambda . N . dt \quad (1)$$

$$dN / dt = - \lambda . N \quad (2)$$

$dN$  = nombre de désintégrations nucléaires spontanées qui se produisent dans une quantité donnée de matière

$dt$  = temps infiniment petit proportionnel à  $dN$

$N$  = nombre d'atomes radioactifs présents

$\lambda$  = constante radioactive (  $s^{-1}$  )

## Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

Par intégration, on détermine le nombre d'éléments radioactifs restant à un instant  $t$ , par rapport au nombre initial est donné :

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

**$N_0$**  : nombre d'atomes radioactifs présents initialement.

**$N_t$  (ou  $N$ )** : nombre d'atomes radioactifs présents

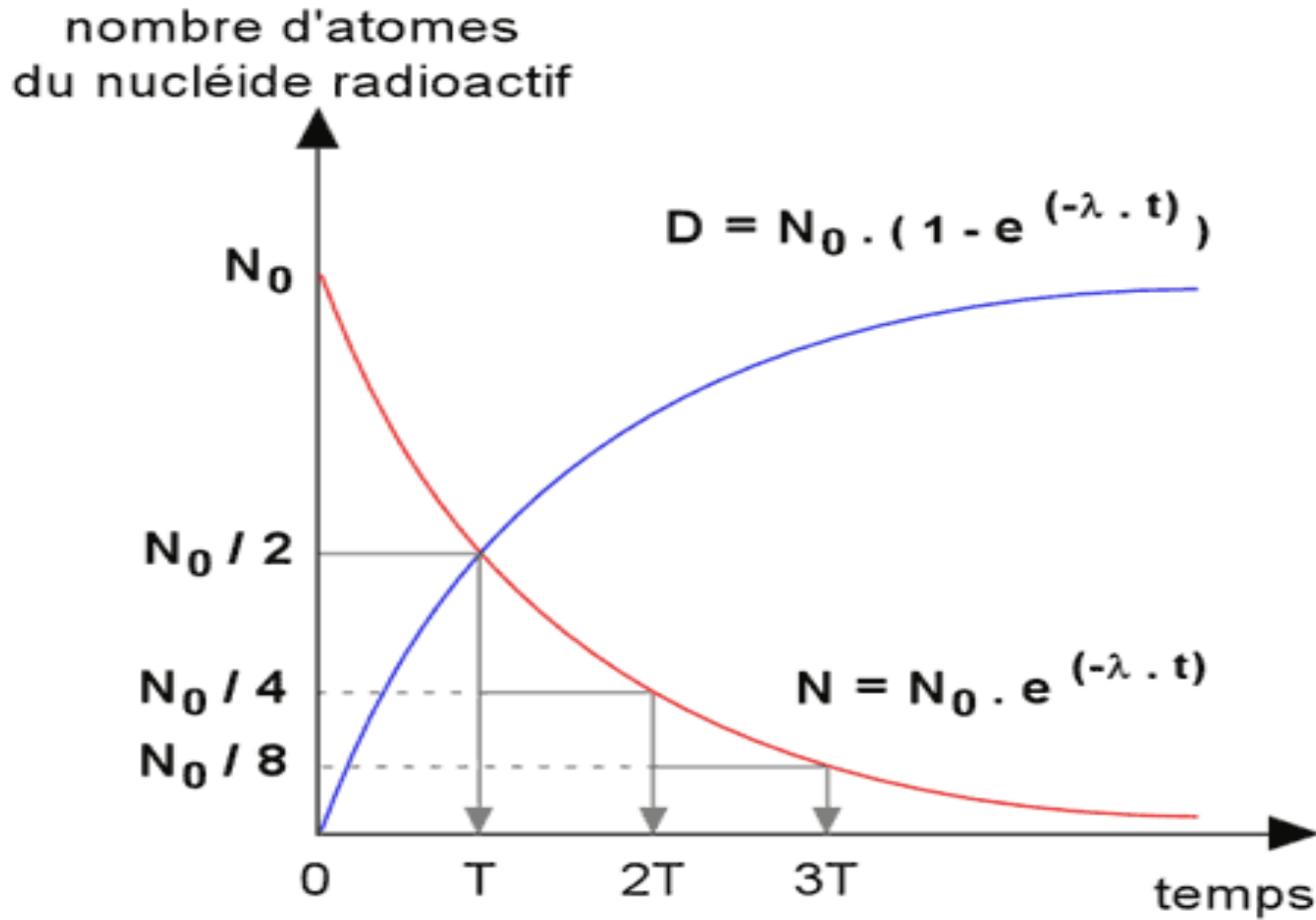
à un instant  $t$ .

## Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

Le radio-élément (ou radio-nucléide) N est donc transformé en radio-nucléide "fils" (D) selon l'équation :  $N = N_0 \cdot e^{(-\lambda \cdot t)}$ .

Le radio-nucléide fils D apparaît conjointement à la dégradation radioactive du radio-nucléide N selon l'équation :  $D = N_0 \cdot (1 - e^{(-\lambda \cdot t)})$

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires



## La décroissance radioactive

## Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

### La période radioactive :

La période radioactive (T), encore appelée demi-vie ( $t_{1/2}$ ) d'un radio-élément donné est le temps pour lequel la moitié des atomes initiaux disparaît.

$$N_T = N_0 / 2 = N_0 \cdot e^{(-\lambda \cdot T)}$$

$$e^{(-\lambda \cdot T)} = 1/2$$

*temps nécessaire pour que la moitié des atomes radioactifs présents initialement ait subi une désintégration*

$$(\lambda \cdot T) = \ln 2$$

$$T = 0,693 / \lambda$$

$$\lambda = 0,693 / T$$



## Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

### L'activité d'un radio-élément :

Nombre de désintégrations se produisant par unité de temps (généralement la seconde).

Conditionne la vitesse de désintégration

$$A = dN / dt$$

L'unité est le Becquerel (Bq) dans le Système International

**1 Bq = 1 désintégration par seconde .**

Autre unité, le Curie (Ci) : 1 Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq (activité de 1 g de radium).

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## La relation masse - activité:

La masse molaire  $M$  d'un radionucléide est la masse de  $N_A$  ( $6,02 \cdot 10^{23}$ ) atomes.

La masse  $m$  de  $N$  atomes correspondant à une activité  $A$ , est :

$$m = \frac{M \cdot N}{T} = 0,24 \cdot 10^{-23} \cdot M \cdot A \cdot T$$

- $m$  et  $M$  en gramme
- $A$  en Bq
- $T$  en seconde

$$\text{Rappel: } A = \lambda \cdot N = (0,693 / T) \cdot N$$

## Période biologique et période effective:

Un radionucléide ayant pénétré dans l'organisme peut soit :

- Se répartir de façon homogène dans tout l'organisme ( $^3\text{H}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ )

- Se concentrer dans un ou plusieurs organes cibles  
( $^{131}\text{I}$  dans la thyroïde)

L'élimination biologique obéit à une loi exponentielle de période biologique  $T_b$

**Activité = f(décroissance radio, élimination biologique)**

## Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

$$A = A_0 \cdot \exp \left( - \left( \frac{\ln 2}{T} + \frac{\ln 2}{T_b} \right) \cdot t \right)$$

La période effective,  $T_e$  se définit selon la relation:

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T} + \frac{1}{T_b}$$

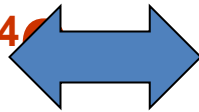
# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

La méthode de datation au carbone 14 :

Le carbone a 3 principaux isotopes

Isotope :	$^{12}_6\text{C}$ stable	$^{13}_6\text{C}$ stable	$^{14}_6\text{C}$ radioactif
Abondance	98,89 %	1,11 %	$10^{-10}$ %
Période	Dans les organismes vivants:		5730 ans

1 atome de  $^{14}\text{C}$   
de  $^{12}\text{C}$



$10^{12}$  atomes

## Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

Formation du  $^{14}\text{C}$  dans la haute atmosphère:



-  $^{14}\text{C}$  est oxydé en  $^{14}_6\text{CO}_2$  et intègre le cycle cellulaire via la photosynthèse (plantes) et l'alimentation (animaux)

- les organismes vivants échangent  $^{12}\text{C}$  contre  $^{14}\text{C}$  tout au long de leur existence

- Quand les organismes meurent, l'échange est arrêté et le stock de  $^{14}\text{C}$  commence à décroître selon la période de cet isotope

**Le rapport  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  détermine la vitesse de décroissance**

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## 4 . Les réactions nucléaires :

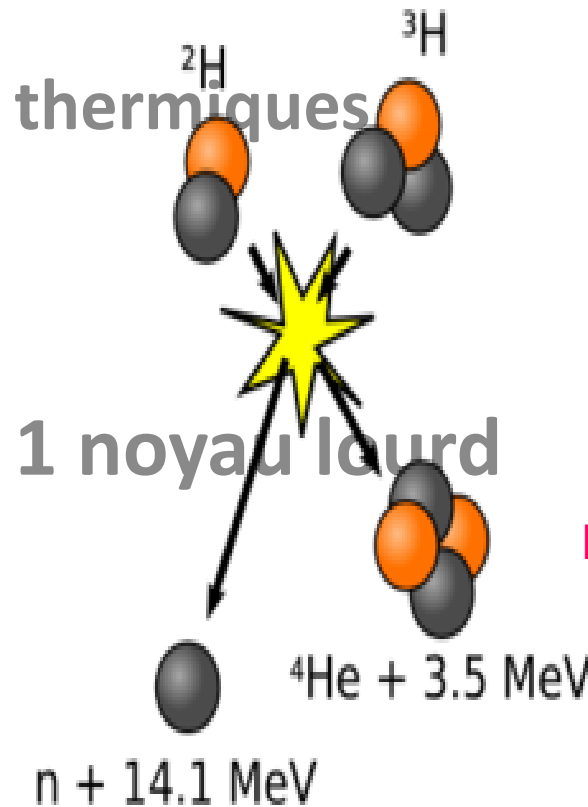
Noyaux assez proches  $\xrightarrow{\text{Force nucléaire}}$  Réactions

exo/endo

### 1 - La fusion



2 noyaux légers



EX: Réactions de fusion contrôlée en laboratoire

Deutérium + Deutérium  $\rightarrow$  Hélium

3 + neutron

Deutérium + Deutérium  $\rightarrow$  Tritium  
+ proton

Deutérium + Tritium  $\rightarrow$  Hélium

4 + neutron

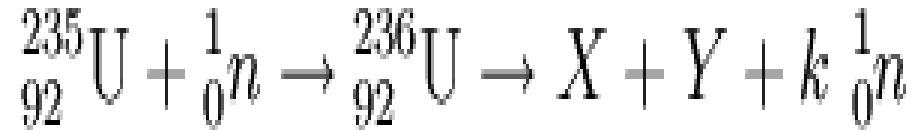
Deutérium + Hélium 3  $\rightarrow$  Hélium

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## 2 - La fission

**Induite**

- 1 noyau lourd capture 1 autre particule ( [neutron](#) )
- Le noyau composé se désintègre en fragments



Uranium en Krypton et Baryum



**Spontanée**

- Désintégration en fragments
- Pas d'absorption préalable de [corpuscule](#) ([particule](#)).

**Ex: - [uranium](#) 235**  
**(<sup>235</sup>U)**

**- [californium](#) 252**  
**(<sup>252</sup>Cf)**



# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## 5 . Les applications:

### Médecine et Pharmacie:

#### Investigation clinique :

- Exploration fonctionnelle (rayons Bêta +)
- La radiographie (squelette par rayons X)
- La radio-immunologie ( dosages d'hormones, de médicaments...)

#### Thérapie :

- La radiothérapie ( rayons ionisants:  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{131}\text{I}$ )

#### Autres :

- Stérilisation Gamma
- Stimulateurs cardiaques :(piles au plutonium).

## **Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires**

### **Agriculture et alimentation :**

- **Création de nouvelles races végétales (mutation par radiations)**
- **Extermination des insectes (stérilisation des mâles)**
- **Accélération de la production naturelle des végétaux.**
- **Irradiation**
- **Radiovaccins**
- **Recherche (suivi de la photosynthèse ou assimilation d'engrais par traceurs).**

# Chap.4. Radioactivité, Radiation et Réactions nucléaires

## Industrie :

- Les jauges radiométriques et gammagraphie  
(détection des défauts de pièces mécaniques)
- Les traceurs radioactifs (mesure de l'usure des pièces en mouvement d'un moteur)
- La datation du carbone 14
- La conservation des oeuvres d'arts :
- Les détecteurs d'incendies
- Les batteries nucléaires