

## Chapitre 2

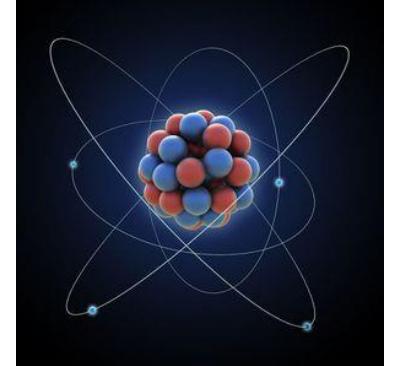
# **Bases biophysiques de l'utilisation des rayonnements ionisants dans les professions de santé: la radioactivité (1/3)**

Dr. Jean-François ADAM

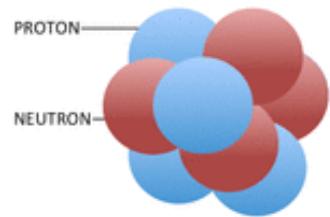
# Objectifs pédagogiques du cours

- Connaître la notion d'isotopes
- Savoir définir la radioactivité
- Connaître les différents modes de désintégrations radioactives
  - Les désintégrations alpha
  - Les désintégrations bêta
  - La fission nucléaire

# Rappels sur la radioactivité



- Structure du noyau



Nombre de  
masse  
(nb de nucléons)

Numéro atomique  
(nb de protons)



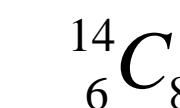
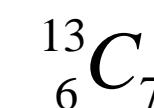
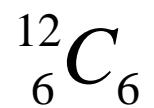
Symbol chimique  
(élément)

Nombre de neutrons  
(souvent ignoré dans  
la nomenclature)

- Le nombre d'électrons est toujours égal au nombre de protons
- $A=Z+N$

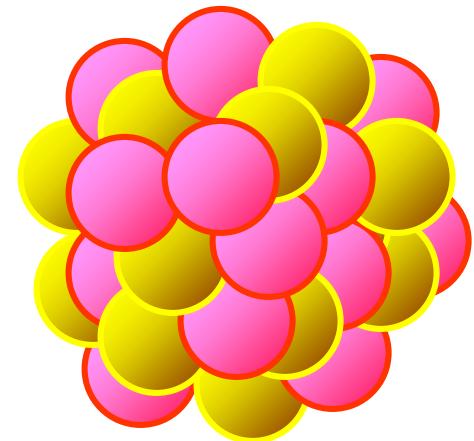
# Rappels sur la radioactivité: notion d'isotopes

- Le nombre de neutrons peut varier pour un même élément/noyau. On parle alors d'isotopes.
- $A=Z+N$ . On nomme l'isotope avec son nombre de masse.
- Exemple: les 3 isotopes naturels du Carbone.



Radioactivité	$\beta+$	Stable (98,99%)	Stable (1,11%)	$\beta-$ ( $10^{-10}$ %)
période	20 min			5730 ans

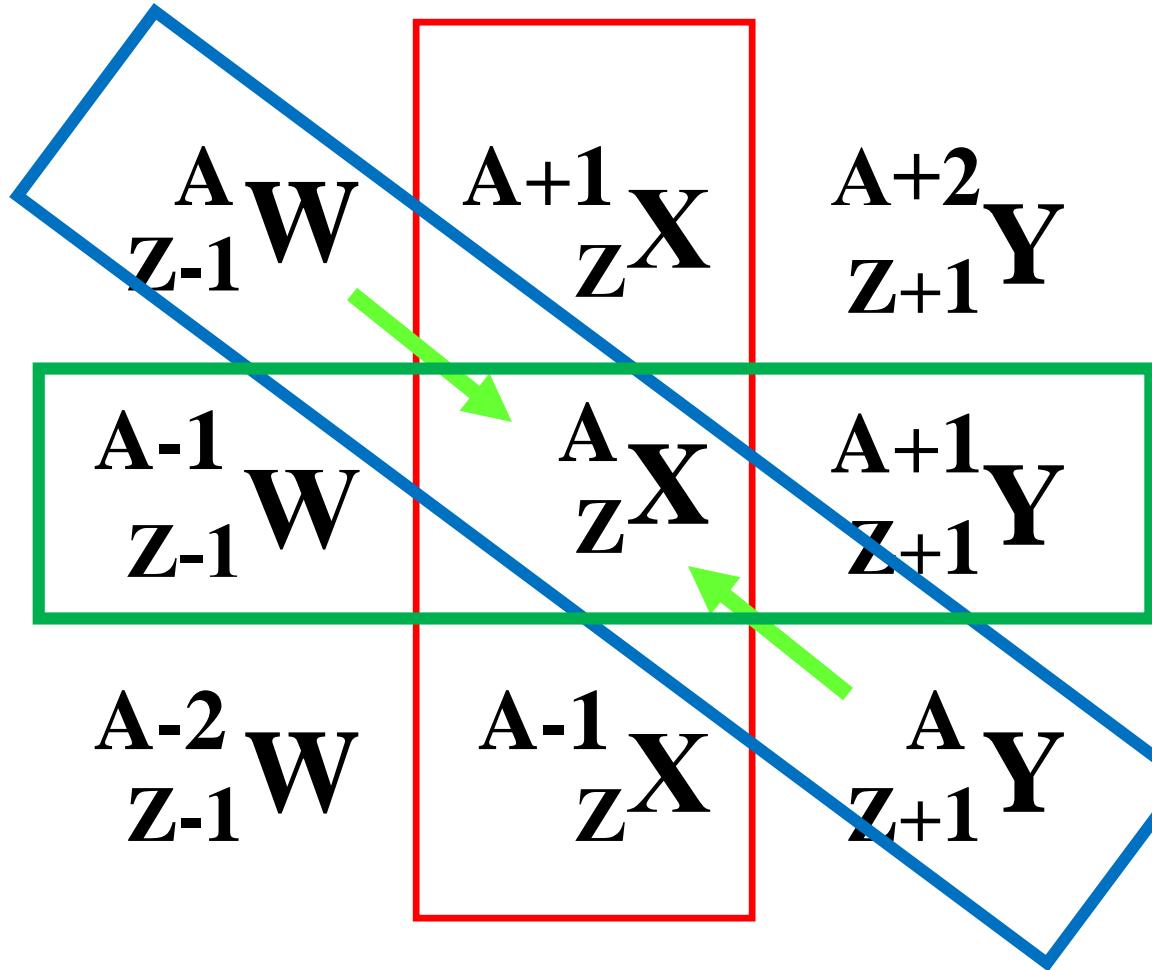
# Isotopes, Isobares, Isotones, Isomères



A et Z identiques :  
isomères

A identique : isobares

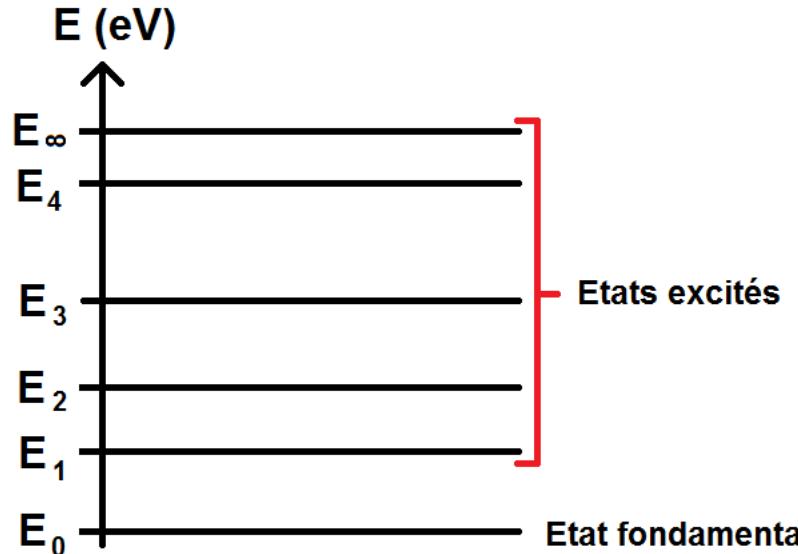
Z identique : isotopes



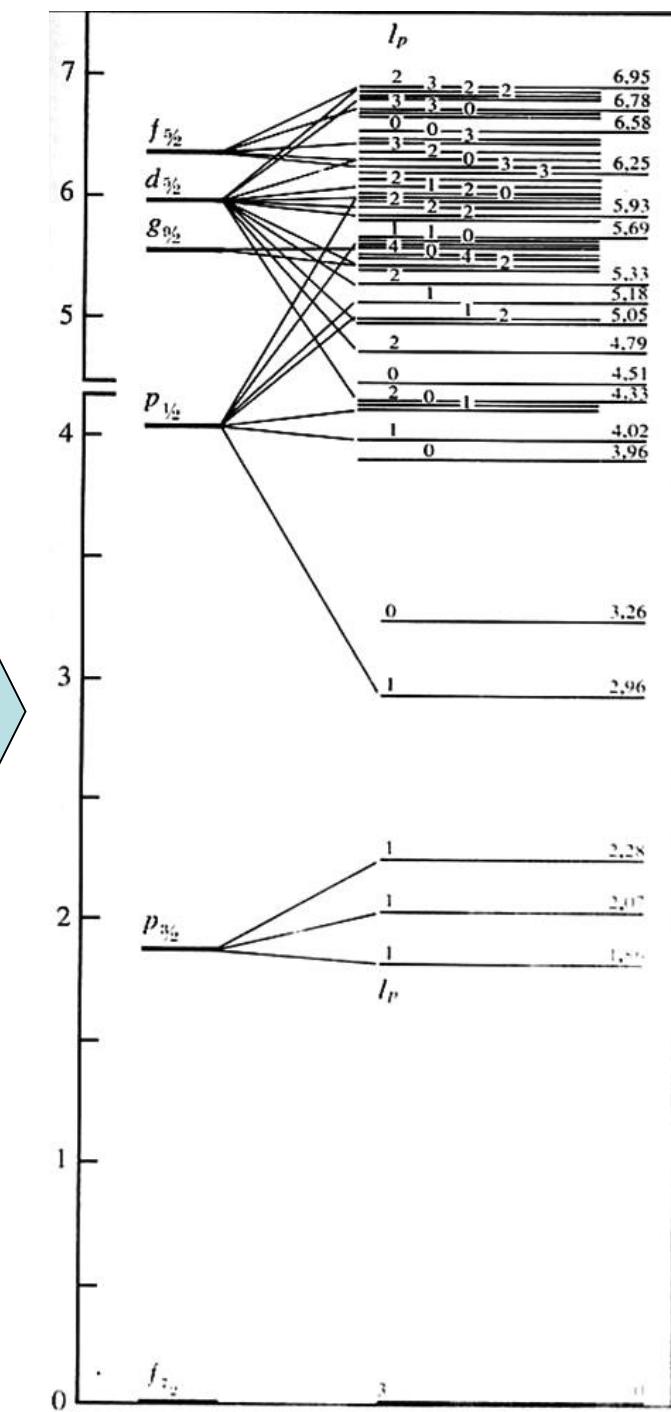
N = A-Z identique :  
isotones

# Isomères nucléaires

Un noyau peut-être dans plusieurs états énergétiques



Niveaux d'énergie du noyau du  $^{41}\text{Sc}$  (en Mev)



# Définition de la radioactivité

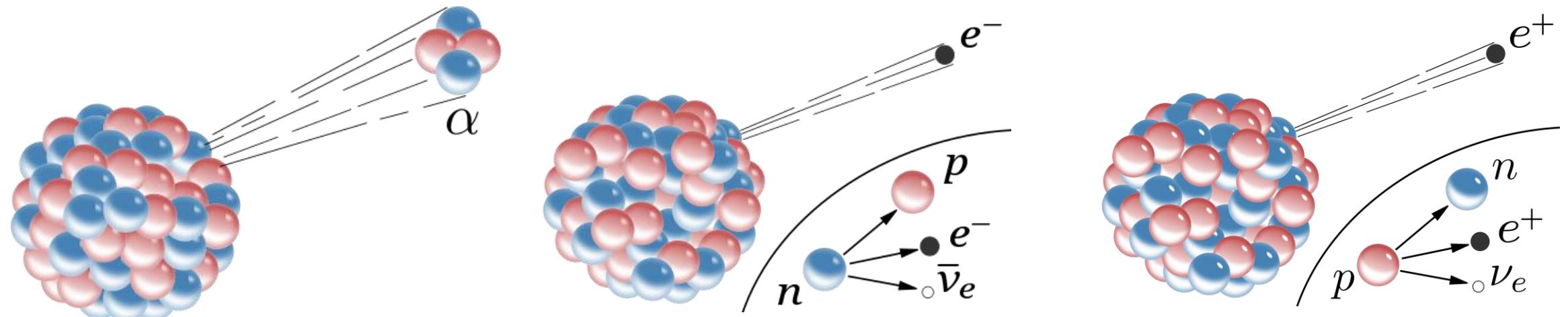
## Définition :

« **La radioactivité est la transformation d'un noyau accompagnée d'une émission de rayonnements** »

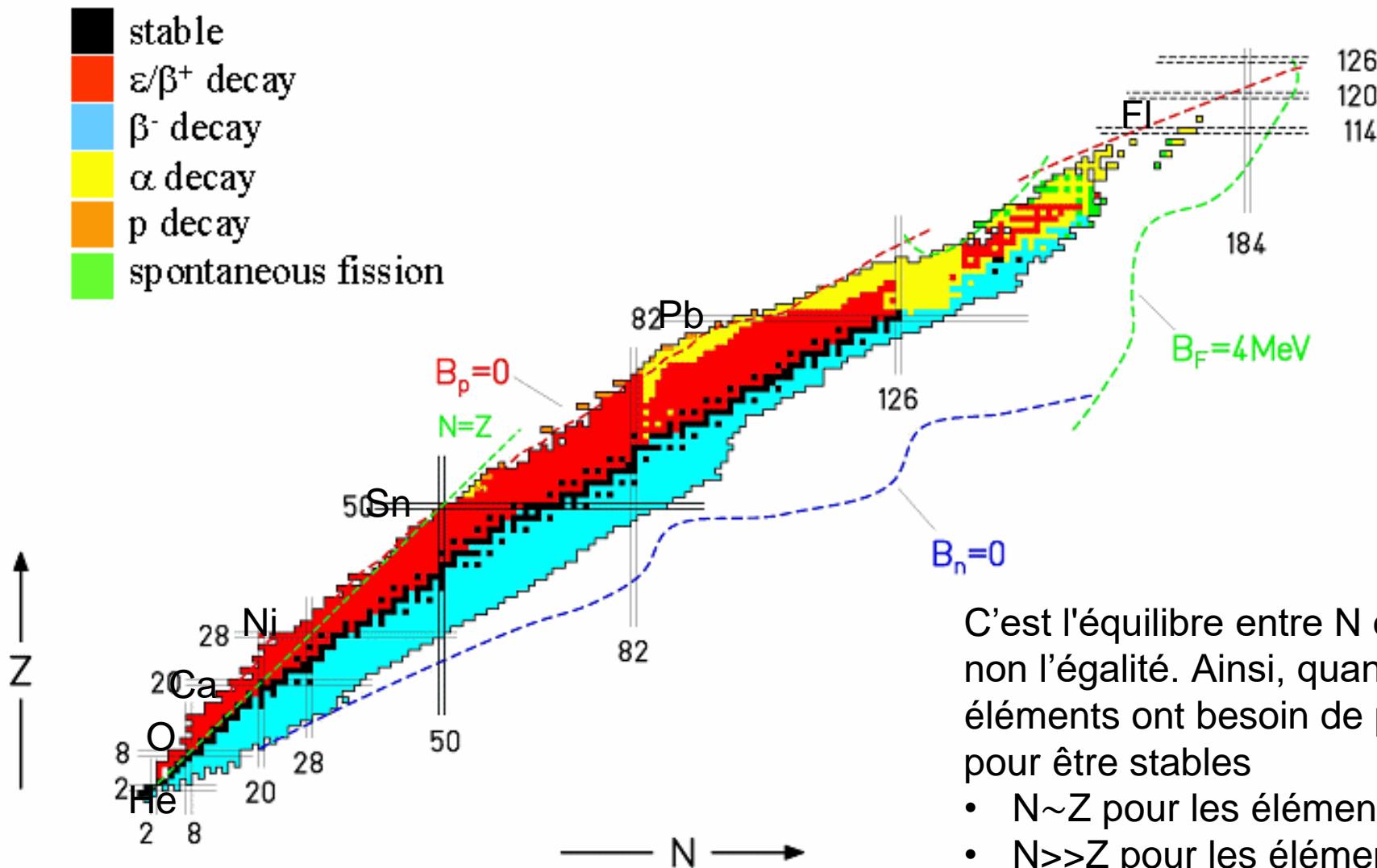
- La radioactivité : résulte de *l'instabilité du noyau* de certains atomes : trop de neutrons, trop de protons, trop de nucléons ou alors état excité.
- La stabilité nucléaire : équilibre (et non pas égalité) entre nombre de protons et nombre de neutrons

# Conséquences de la radioactivité

Les noyaux instables se transforment en émettant du rayonnement sous forme de particules : électrons, positons, neutrinos, photons, particules alpha



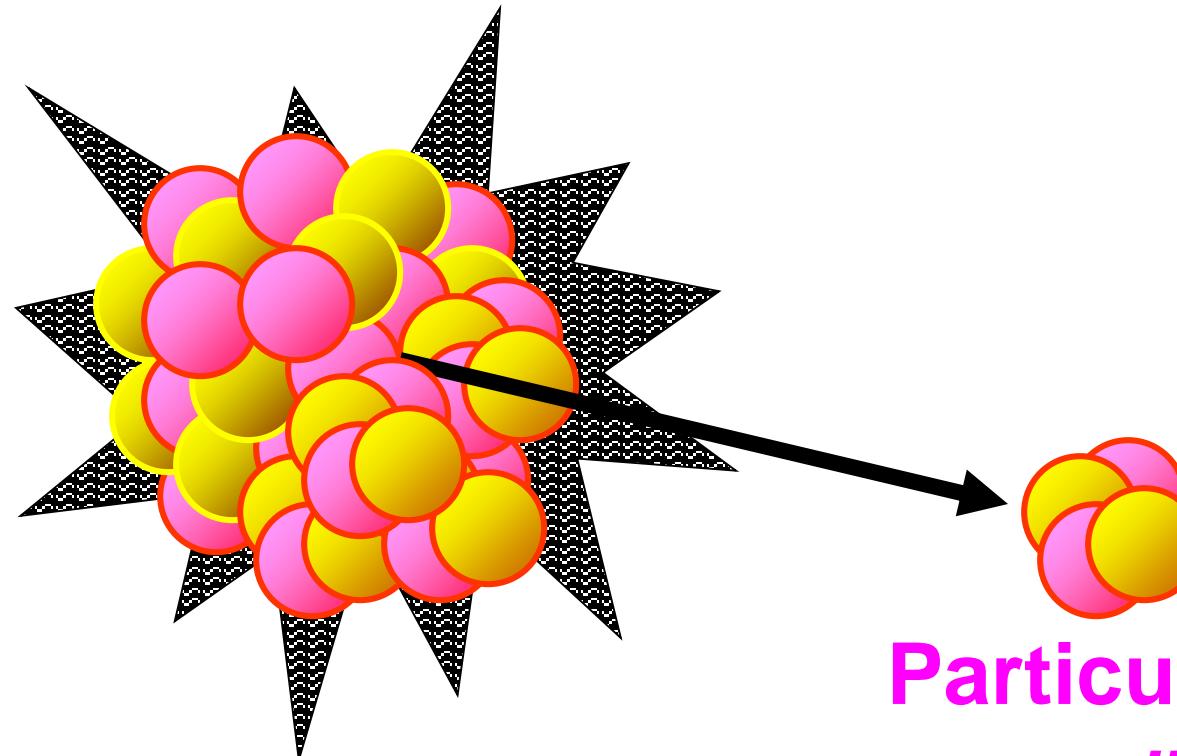
# La stabilité nucléaire



C'est l'équilibre entre  $N$  et  $Z$  qui définit l'égalité et non l'égalité. Ainsi, quand  $Z$  augmente les éléments ont besoin de plus en plus de neutrons pour être stables

- $N \sim Z$  pour les éléments stables légers ( $Z < 20$ )
- $N \gg Z$  pour les éléments stables lourds ( $Z > 20$ )

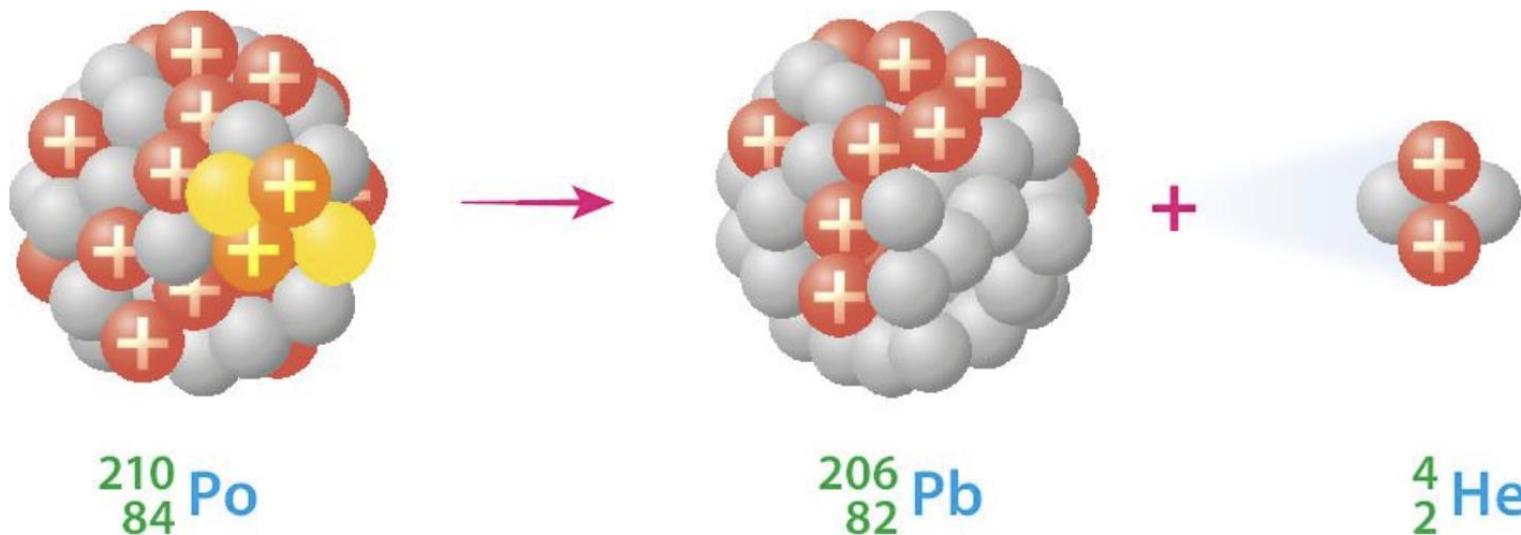
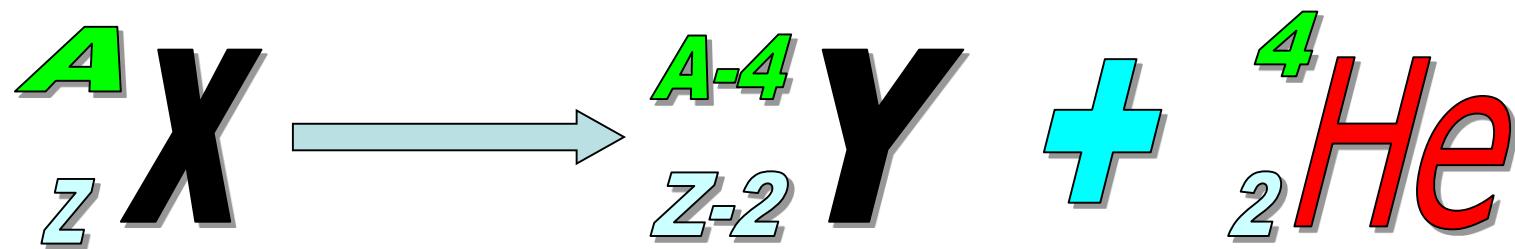
# Excès de nucléons: radioactivité alpha ( $\alpha$ )



Particule  $\alpha$   
*= noyau d'hélium*

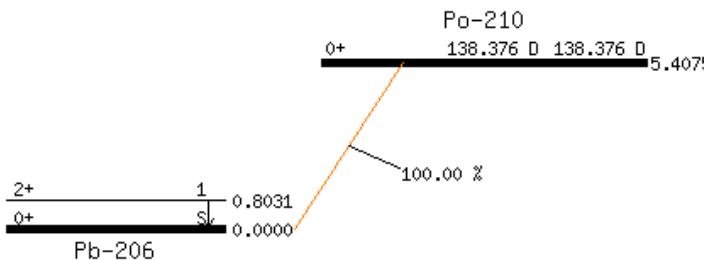
( $E \simeq 4 \text{ à } 8 \text{ MeV}$ )

# Radioactivité $\alpha$

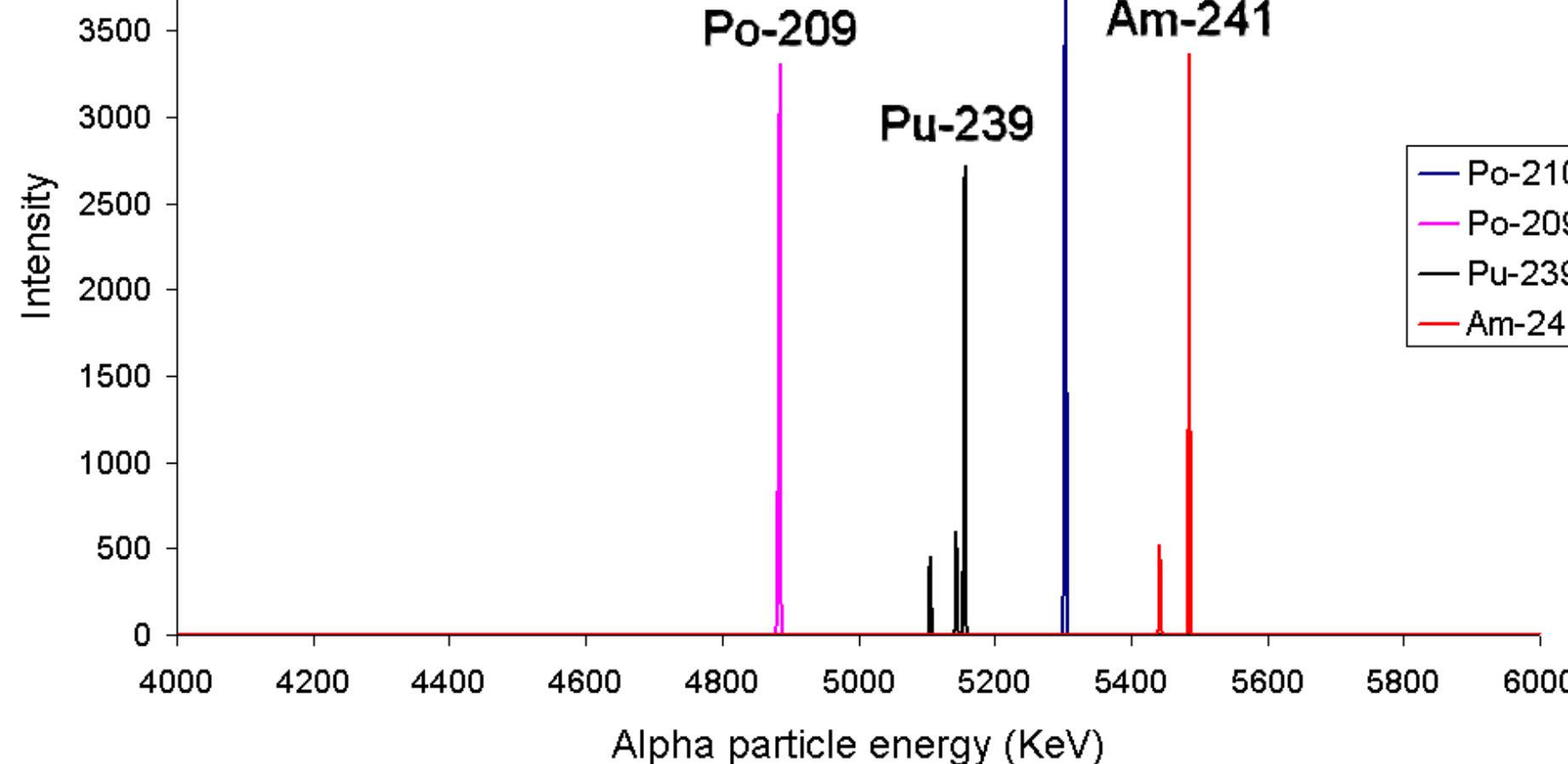


## 210PO A DECAY

Parent state: G.S.  
 Half life: 138.376 D(2)  
 Q(gs): 5407.45(7) keV  
 Branch ratio: 1.0



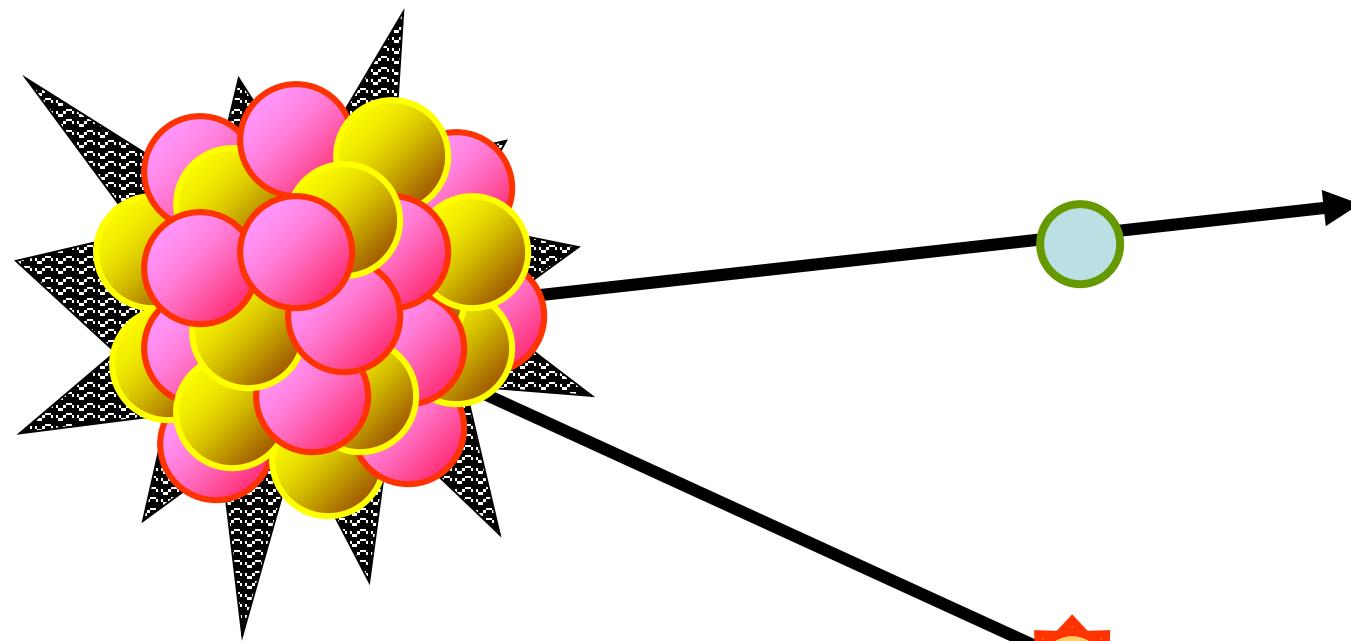
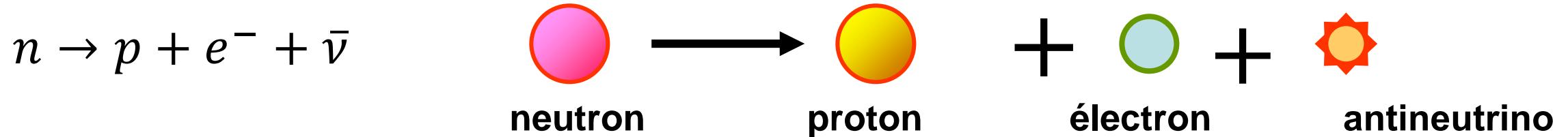
Alpha ray:  
 Energy(keV) 5304.33( 7) Intensity(rel) Hindrance 100 1.000



# Spectre énergétique des particules $\alpha$

# Excès de neutron(s)

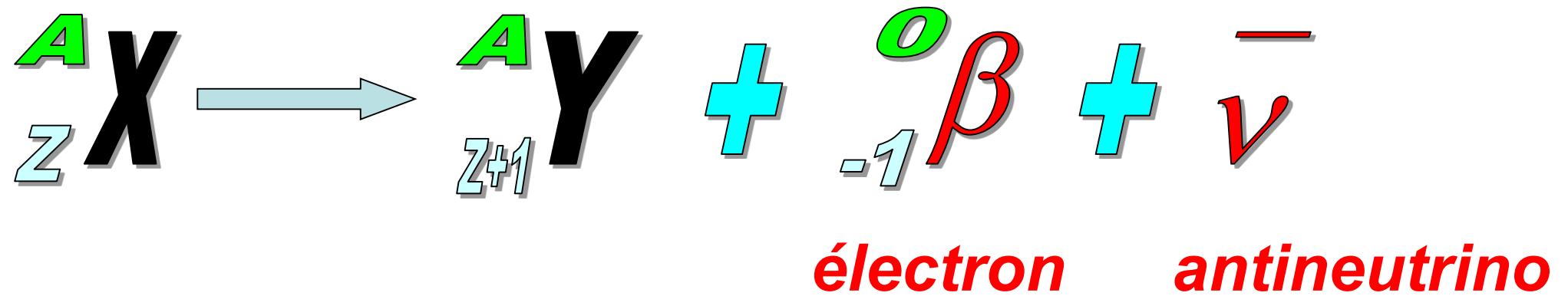
- Un neutron se « transforme » en proton
$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$
- Il y a émission d'un **électron** et d'une autre particule appelée **antineutrino**
- **Désintégration  $\beta^-$**



# Excès de neutron

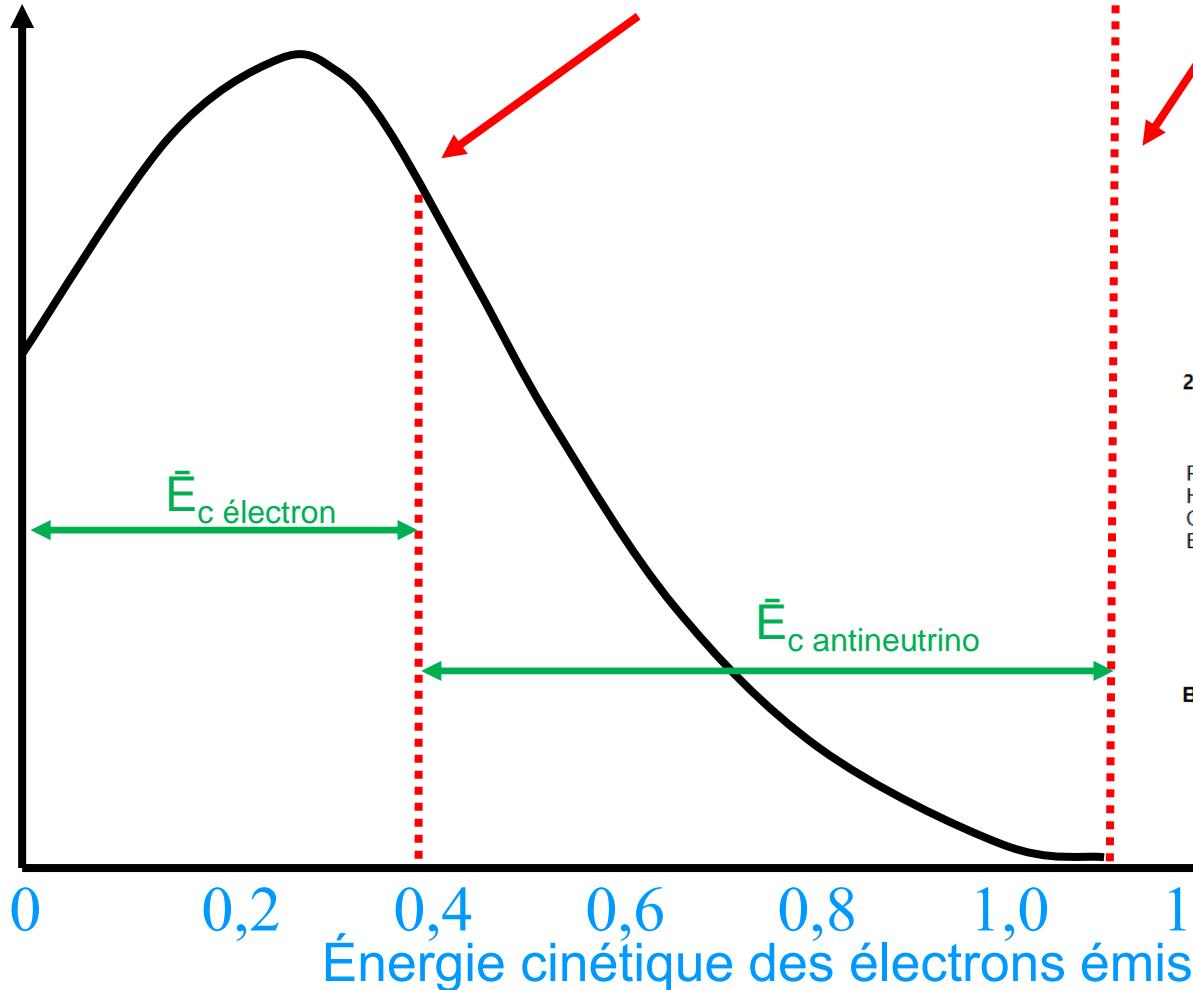
# → Désintégration $\beta^-$

## Radioactivité $\beta^-$



# Hypothèse de l'antineutrino ( $\bar{\nu}$ ): Wolfgang Pauli

Nb d'électrons émis par  
intervalle d'énergie



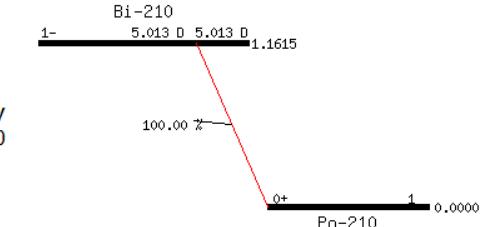
$$E_{\beta\text{moy}} \approx E_{\beta\text{max}}/3$$

$$E_{\beta\text{max}} = 1,13 \text{ MeV}$$

Bismuth-210

210Bi B- DECAY (5.012 D)

Parent state: G.S.  
Half life: 5.012 D(5)  
Q(gs): 1162.2(8) keV  
Branch ratio: 1.0

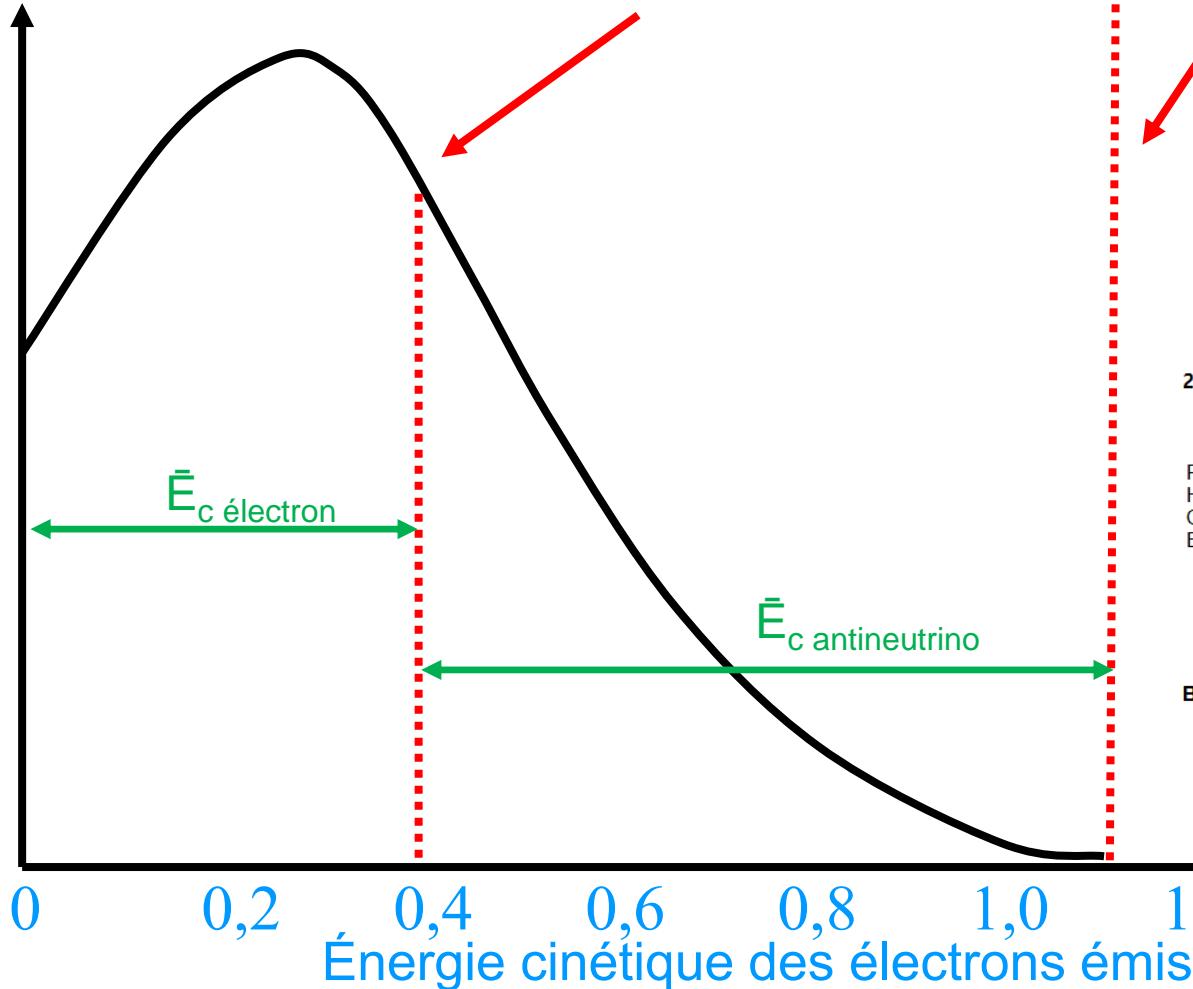


Beta ray:

Max.E(keV)	Avg.E(keV)	Intensity(rel)	Spin
1161.5(15)	389.0(4)	100	0+

# Hypothèse de l'antineutrino ( $\bar{\nu}$ ): Wolfgang Pauli

Nb d'électrons émis par  
intervalle d'énergie



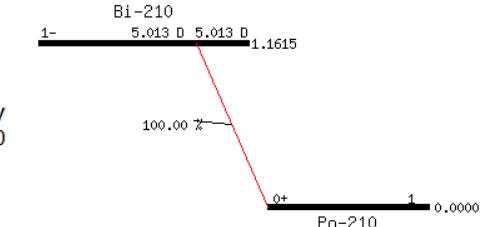
$$E_{\beta\text{moy}} \approx E_{\beta\text{max}}/3$$

$$E_{\beta\text{max}} = 1,13 \text{ MeV}$$

Bismuth-210

210Bi B- DECAY (5.012 D)

Parent state: G.S.  
Half life: 5.012 D(5)  
Q(gs): 1162.2(8) keV  
Branch ratio: 1.0

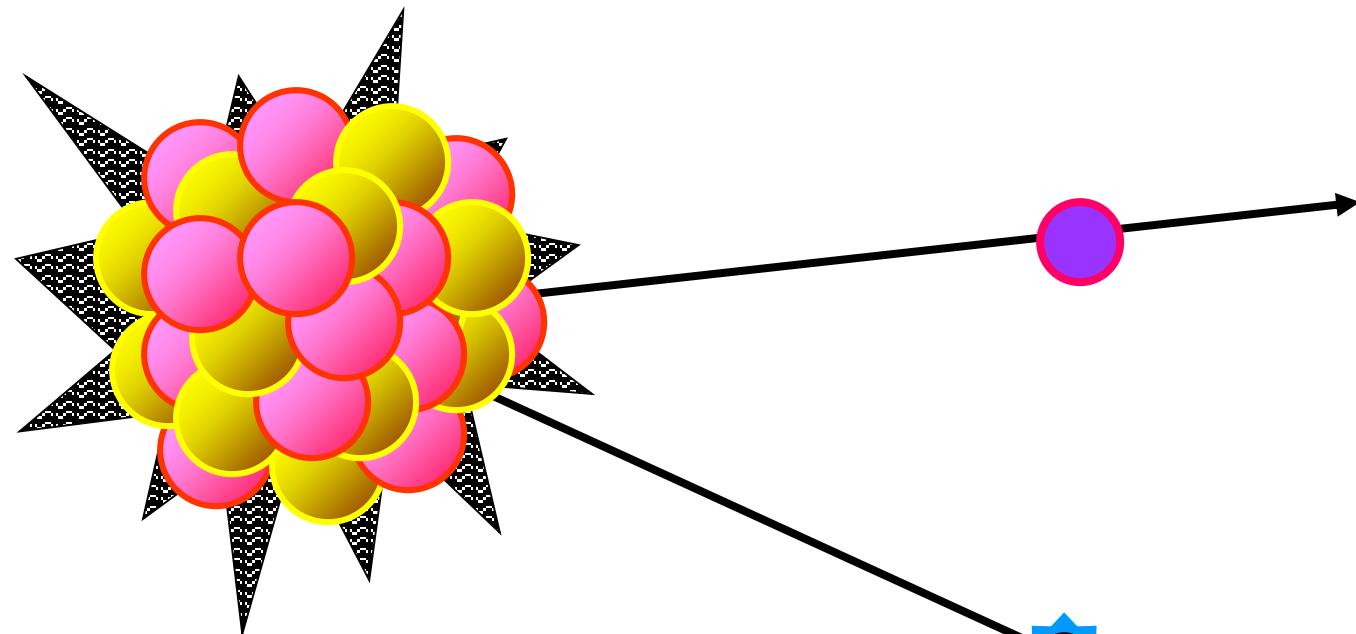
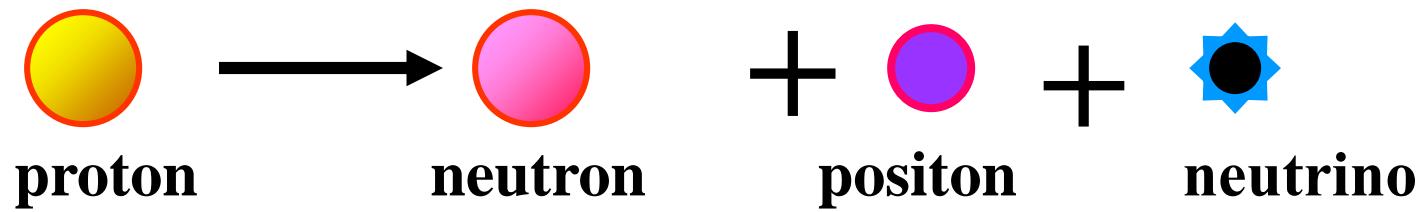


Beta ray:

Max.E(keV)	Avg.E(keV)	Intensity(rel)	Spin
1161.5(15)	389.0(4)	100	0+

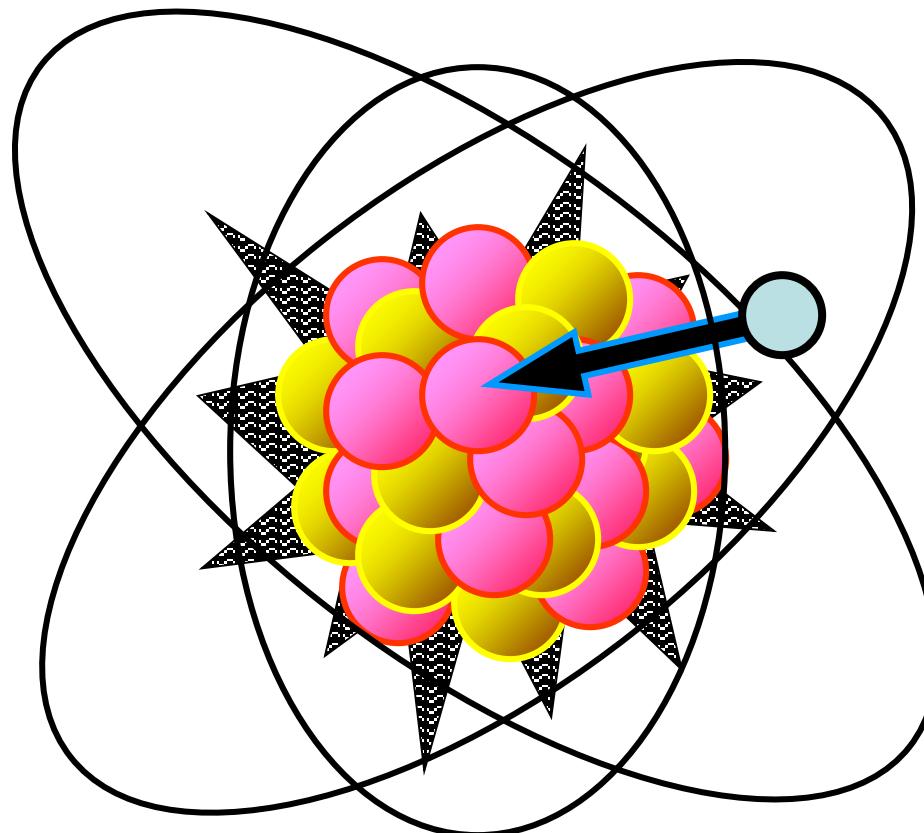
# Excès de proton(s) : 2 possibilités

- Un proton se « transforme » en neutron
  - Il y a émission d'un **positon** (*et d'un neutrino*)
  - Désintégration  $\beta^+$   $p \rightarrow n + e^+ + \nu$
- Un proton se combine avec un électron pour donner un neutron
  - Pas de particule chargée émise (*mais émission d'un neutrino*)
  - **Capture électronique**  $p + e^- \rightarrow n + \nu$



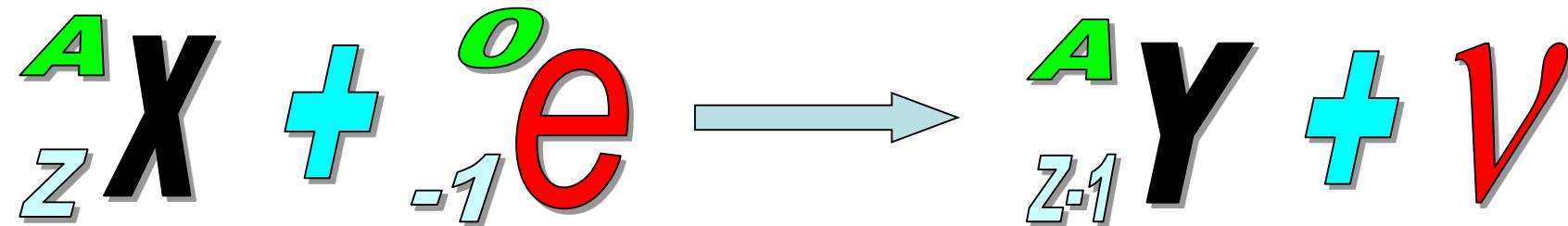
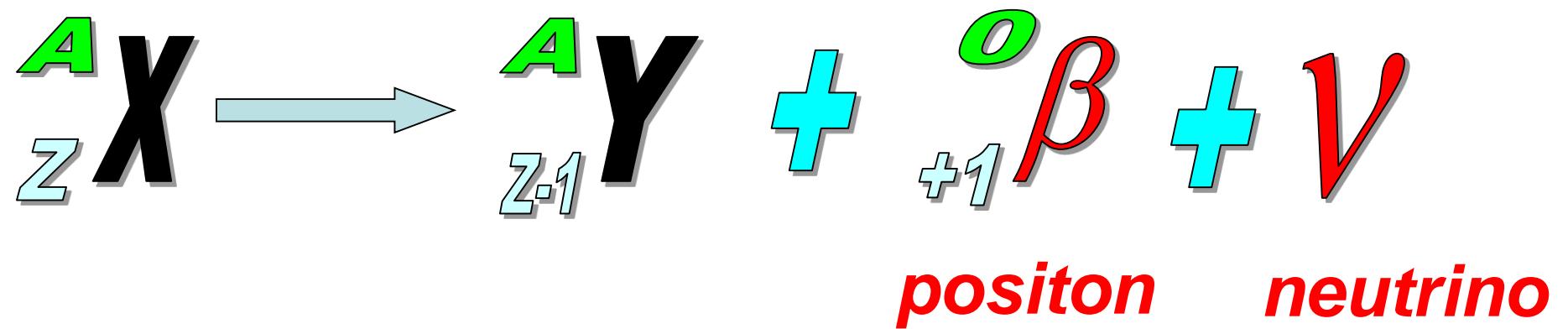
**Excès de proton**

→ Désintégration  $\beta^+$

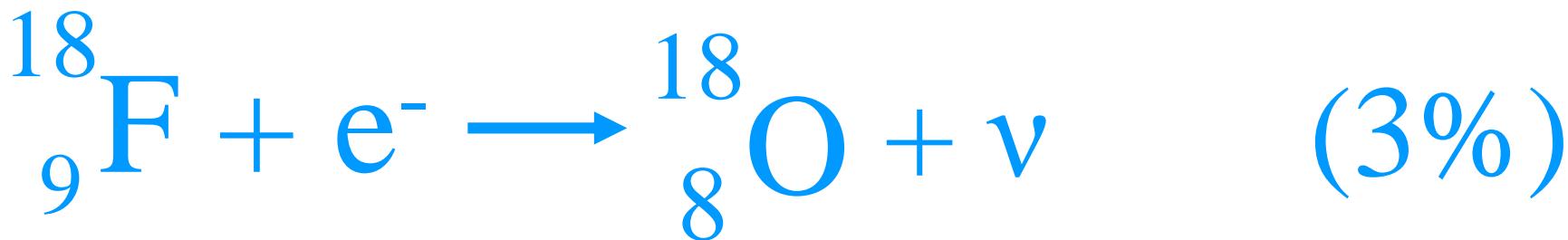


**Excès de proton  $\rightarrow$  Capture électronique**

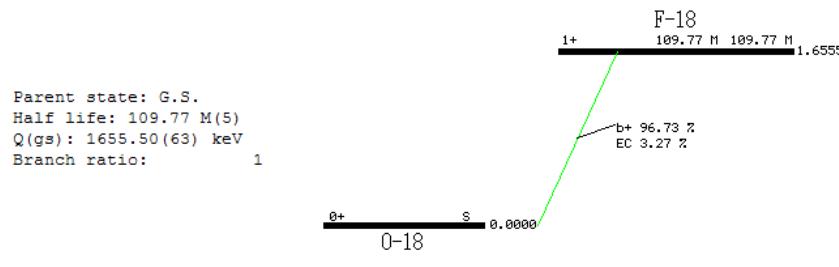
# Radioactivité $\beta^+$ /Capture électronique



# Exemple : le fluor 18



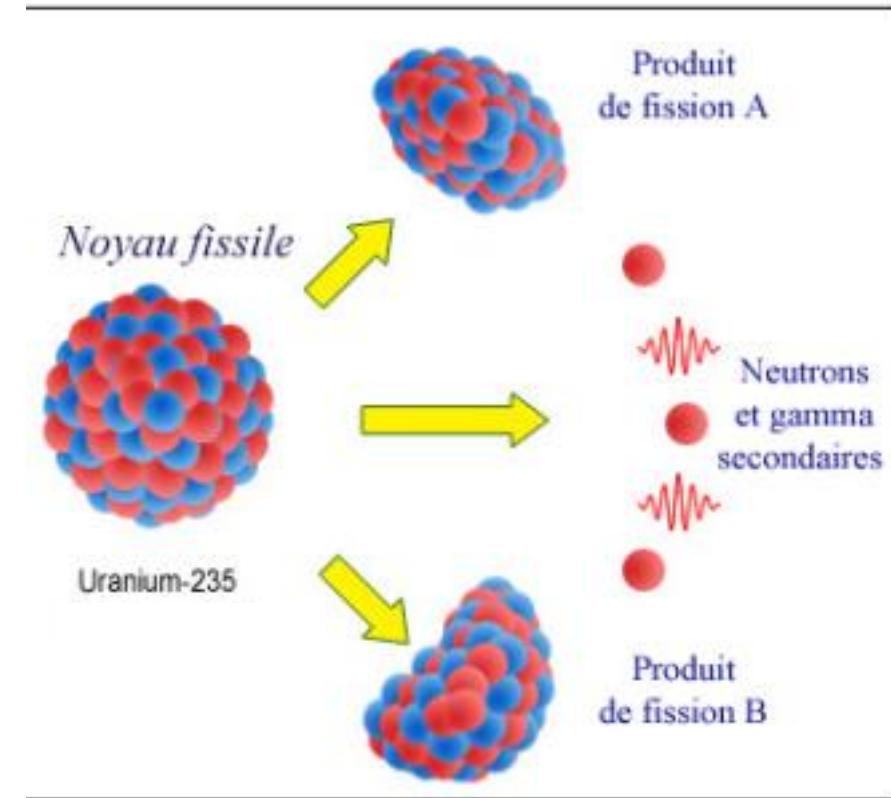
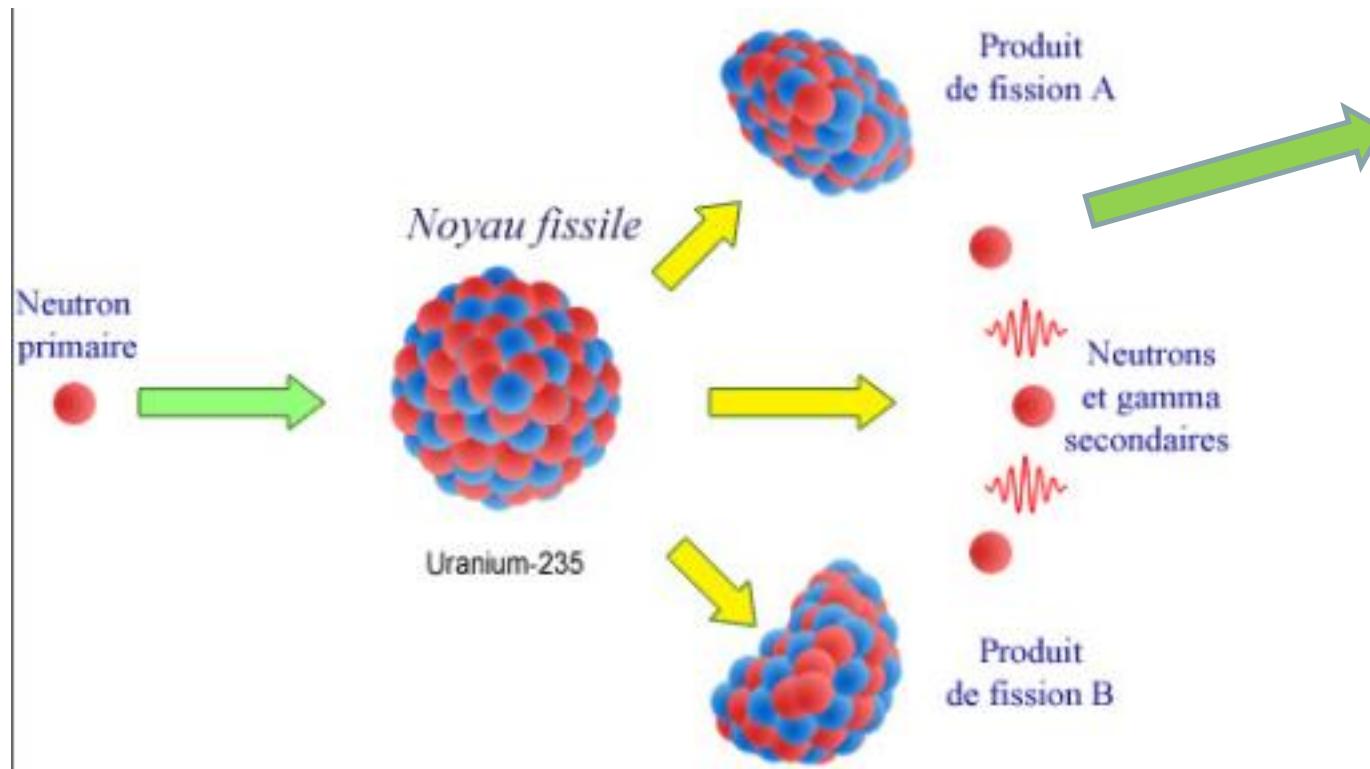
## **18F B+ DECAY**



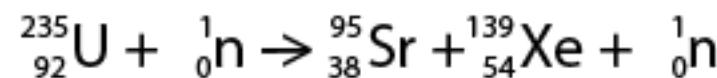
EC: total intensity = 3.3

$$E_{c_{\beta^+}} \text{ moy} \approx 250 \text{ keV}$$
$$E_{c_{\beta^+}} \text{ max} \approx 633 \text{ keV}$$

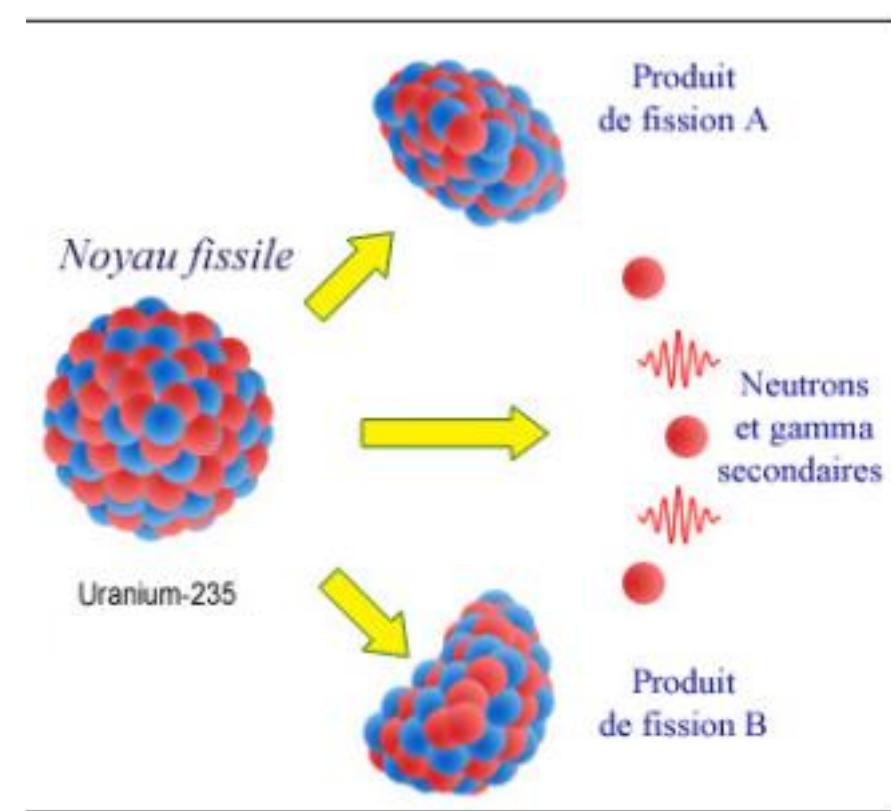
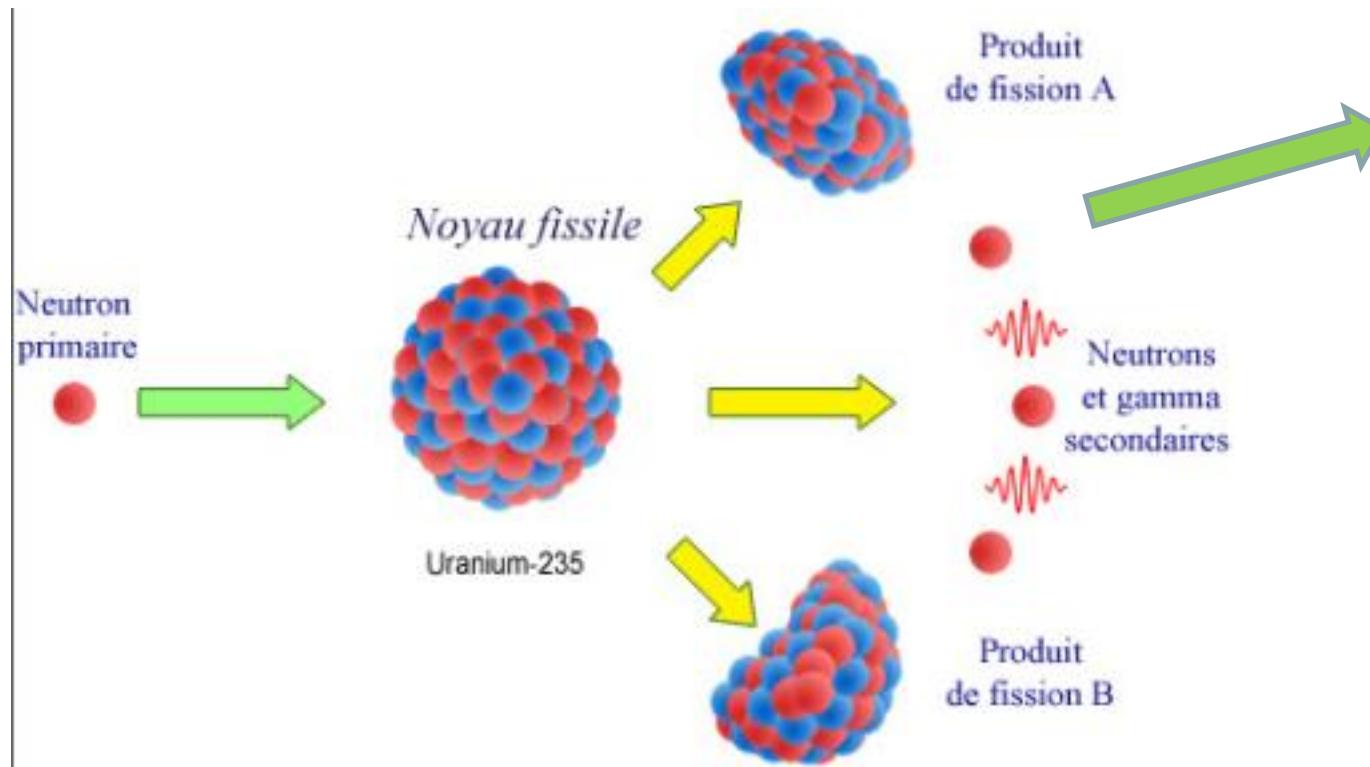
# Fission



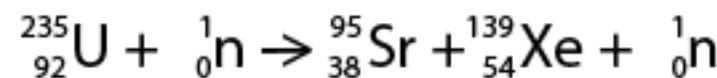
Réaction en chaîne



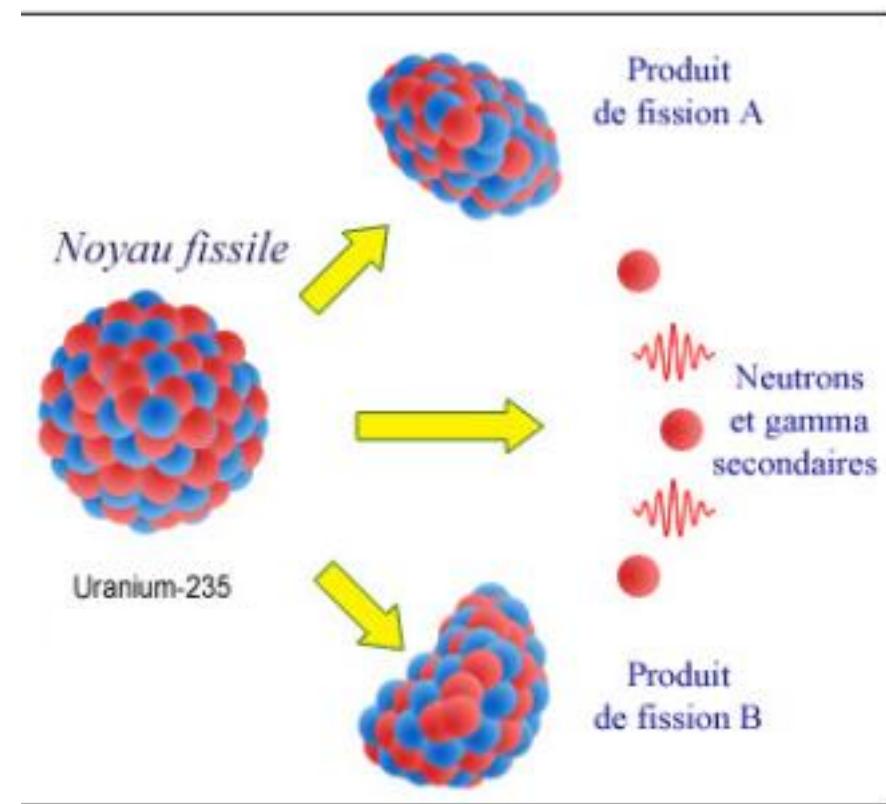
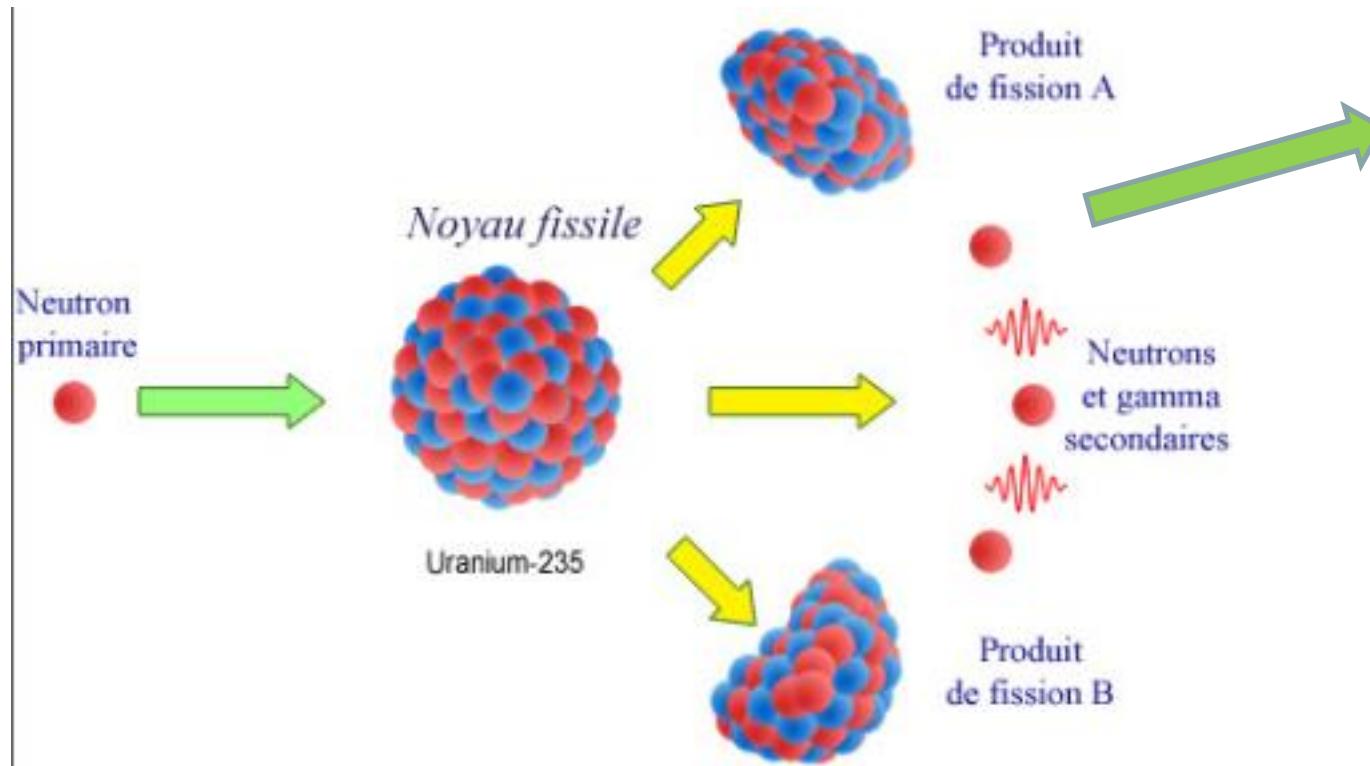
# Fission



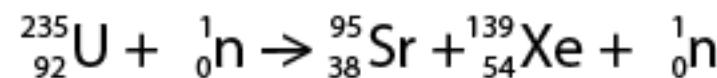
Réaction en chaîne



# Réactions en chaîne



Réaction en chaîne



# Messages essentiels du cours

- Définition : isotopes, isobares, isotones et isomères.
- La radioactivité  $\alpha$  : trop de nucléons, éjection d'un noyau d'hélium = particule alpha
- La radioactivité bêta:
  - $\beta^-$  trop de neutrons, dans le noyau :  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$
  - $\beta^+$ , CE trop de protons :  $p \rightarrow n + e^+ + \nu$  ( $\beta^+$ ), ou  $p + e^- \rightarrow n + \nu$  (CE)
- La fission et les réactions en chaîne

# Et au prochain cours ...

- La radioactivité – partie 2
  - Après la désintégration radioactive:
    - Désexcitation gamma
    - Conversion interne
  - Réorganisation du cortège électronique

# Mentions légales

---

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'Université Grenoble Alpes (UGA).

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits à l'Université Grenoble Alpes (UGA), et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.