

# UE3a - Biophysique

## COURS N°2

**NOYAU ; RADIOACTIVITE**

# PLAN DU COURS

## PARTIE 1 : LE NOYAU

- I. Introduction
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion

## PARTIE 2 : LA RADIOACTIVITE

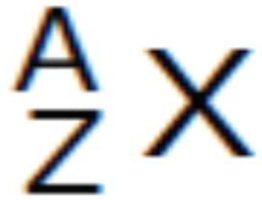
- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations isobariques
- IV. Les transformations isomériques

## PARTIE 1 : LE NOYAU

- I. **Introduction**
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion

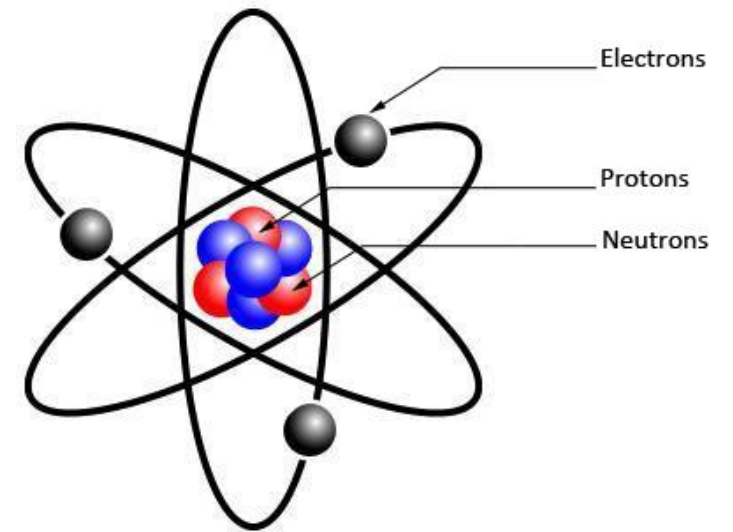
## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations isobariques
- IV. Les transformations isomériques



A = nombre de masse  
Z = numéro atomique

- La matière est constituée d'atome
- L'atome est constitué d'un noyau et d'électrons qui gravitent autour de celui-ci
- Ce noyau est constitué de protons Z chargés positivement et de neutrons N non chargés.
- L'ensemble Protons + Neutrons forme les Nucléons.
- Lorsque l'atome est non ionisé, il a le même nombre de protons et d'électrons.



## PARTIE 1 : LE NOYAU

- I. Introduction
- II. Classification des nuclides**
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion

## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations isobariques
- IV. Les transformations isomériques

# A) Classification Chimique

**TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS**

**Legend for Boron (B):**

- 13: NUMÉRO DU GROUPE RECOMMANDATIONS DE L'URAC (1985)
- 5: NOMBRE ATOMIQUE
- B: SYMBOLE
- 10,811: MASSE ATOMIQUE RELATIVE (1)
- BORE: NOM DE L'ÉLÉMENT

**Text on the left:**

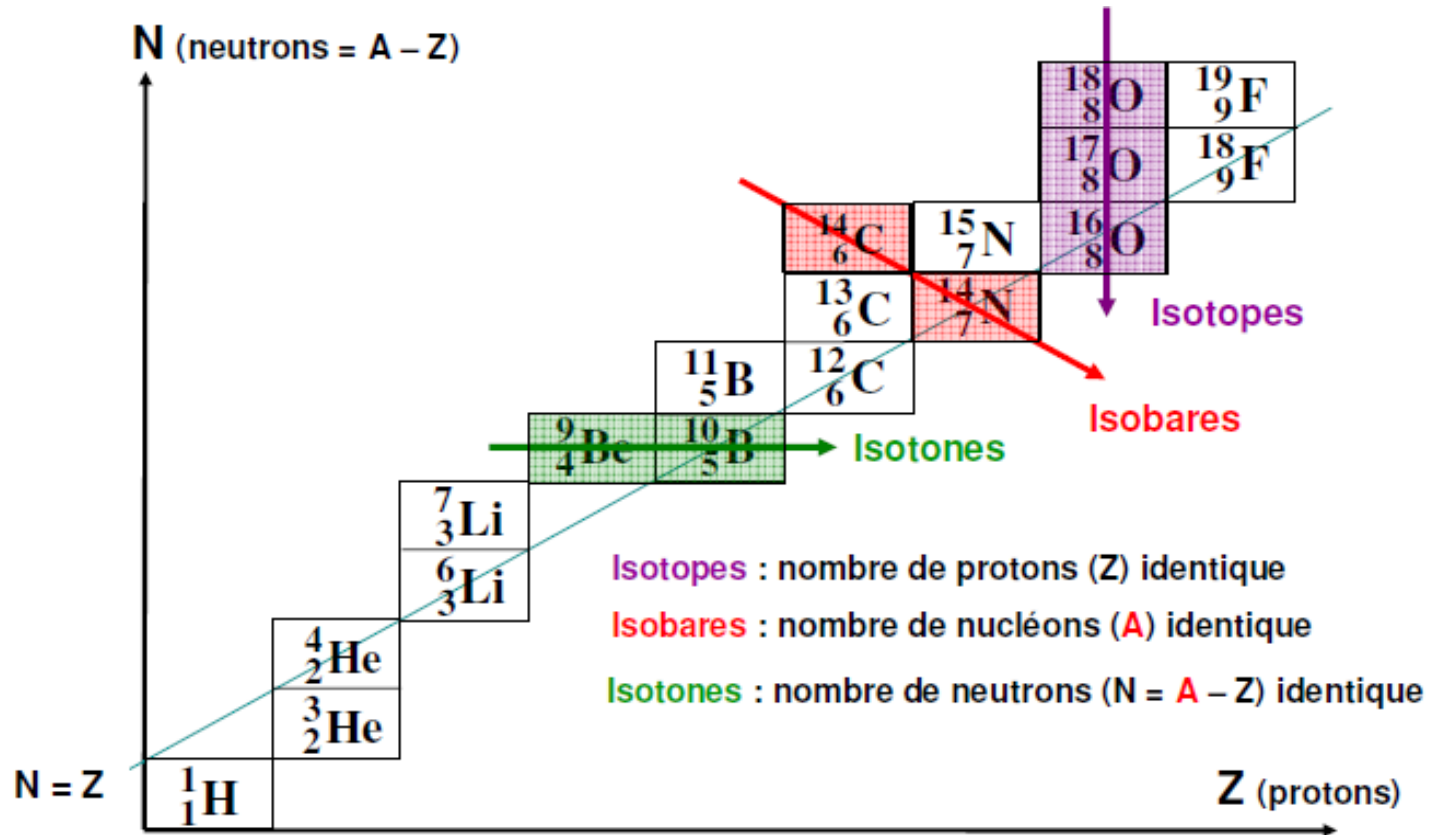
La masse atomique relative est donnée avec 6 décimales significatives. Pour les éléments qui n'ont pas de nucléides stables, la valeur entre parenthèses indique le nombre de masse de l'isotope de l'élément ayant la durée de vie la plus grande.

Toutefois, pour les trois éléments Th, Pa et U qui ont une composition isotopique complexe connue, une masse atomique est indiquée.

## Exemples de moyens mémos techniques :

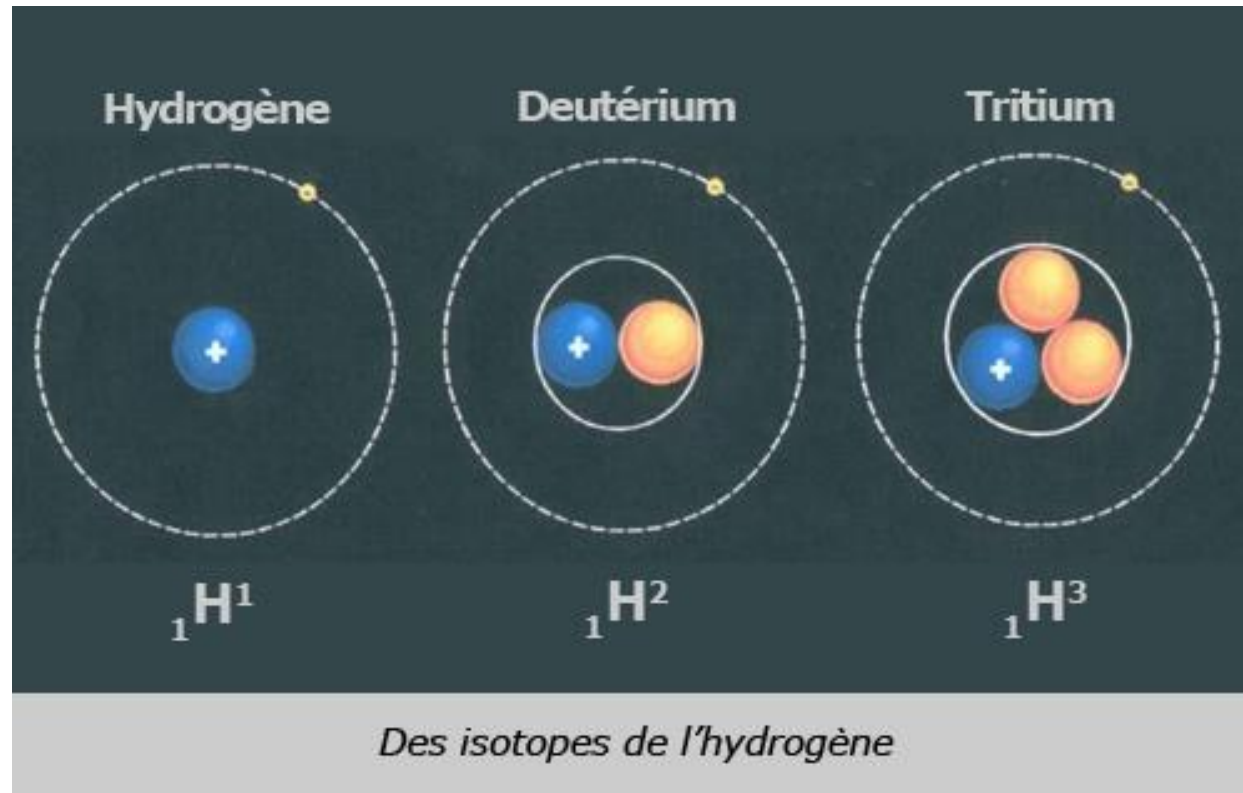
- 2eme ligne : Lili besa bien chez notre oncle florentin Nestor
- 3eme ligne : Napoléon mangea allègrement six poulets sans claquer d'argent.
- Gaz rares : Hector négligea d'arracher le korsage de Xena et rentra
- Halogènes : Florentin claqua brutalement Irène à terre

## B) Classification Physique : La table des nuclides



# Les isotopes :

Ce sont les mêmes éléments, avec le même nombre de Protons Z, mais avec un nombre de neutrons N différents et donc de nucléons A.



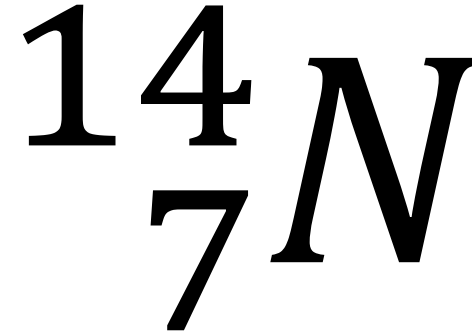
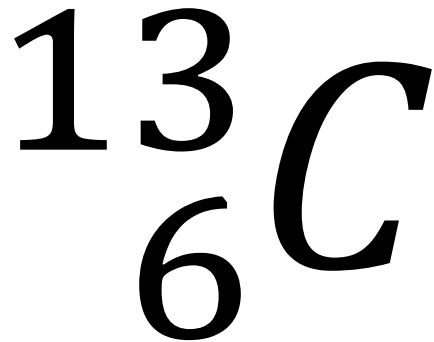
## Les isobAres :

Ce sont deux éléments distincts, avec un nombre de protons  $Z$  différent, mais un même nombre de nucléons  $A$



# Les isotopes

Ce sont deux éléments distincts, soit avec 2 nombres de protons différents, mais qui ont le même nombre de neutrons N.



# Les isomères

Ce sont deux noyaux avec Z identique, A identique, N identique.

Mais l'un des deux a un excédent d'énergie nucléaire, ce qui le rend instable.

Le surplus d'énergie sera libéré en un rayon Gamma.



## PARTIE 1 : LE NOYAU

- I. Introduction
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons**
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion

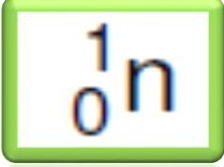
## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations isobariques
- IV. Les transformations isomériques

# Le proton :

- Chargé positivement
- Noté de 2 façons différentes :  ${}^1_1p$  ou  $H^+$
- Peut être stable à l'état libre hors du noyau.

# Le Neutron :

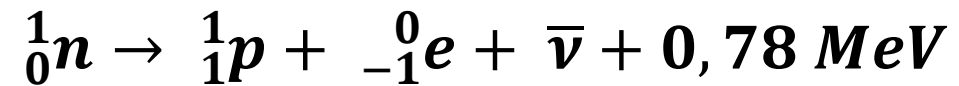
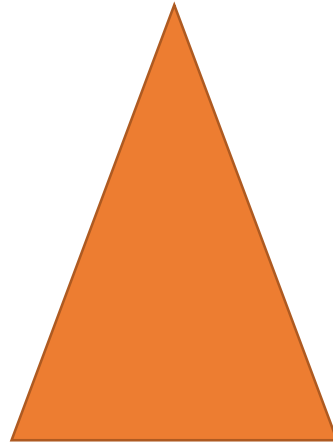
- N'a pas de charge électrique.
- Dans les transformations radioactives, il est noté 
- A l'intérieur du noyau, le neutron est stable mais peut donner lieu, dans certaines conditions à une réaction de transformation :

- Période radioactive faible (~12min)  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + \bar{\nu} + 0,78 \text{ MeV}$

 Est un antineutrino, particule de charge électrique nulle produite dans la désintégration  $\beta^-$  nucléaire

**IMPORTANT** : A l'extérieur du noyau, le neutron est **TOUJOURS** instable

En suivant cette même réaction



## PARTIE 1 : LE NOYAU

- I. Introduction
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires**
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion

## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations isobariques
- IV. Les transformations isomériques

Les particules élémentaires sont très très petites et assemblées, forment les nucléons. Il y en a 2 sortes :

- Les leptons : famille qui comprend les électrons, les neutrinos, les antineutrinos ...
- Les quarks : Les Quarks UP → + 2/3 de la charge élémentaire  
Les Quarks DOWN → -1/3 de la charge élémentaire

PROTON : formé de 2 quarks UP et d'un quark DOWN

$$2/3 + 2/3 - 1/3 = 1$$

NEUTRON : formé de 2 quarks DOWN et d'un quark UP

$$2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$$

Ps : c'est simple la biophysique hein ? 😊

## PARTIE 1 : LE NOYAU

- I. Introduction
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison**
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion

## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations isobariques
- IV. Les transformations isomériques

La masse d'un noyau constituée est inférieure à la somme des masses de ses constituants  $\rightarrow \underline{M(A,Z) < \sum m_i}$

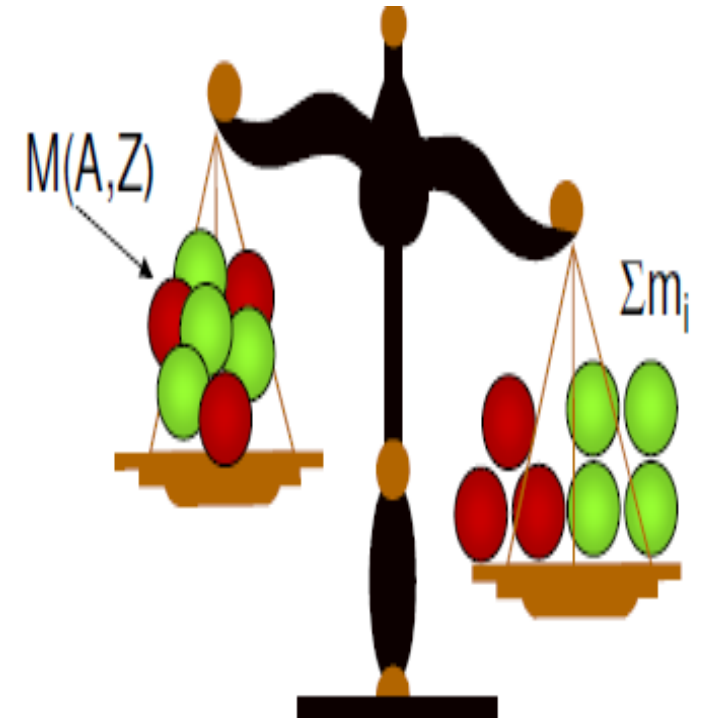
Le défaut de masse  $\Delta M(A,Z)$  est donc égal à la différence entre toutes les masses des constituants et la masse du noyau.

C'est-à-dire :  $\sum m_i - M(A,Z) = \Delta M(A,Z)$  « défaut de masse »

Ce Défaut de masse peut aussi avoir une équivalence énergétique d'après l'équation  $E=mc^2$

Cette énergie équivaut à **l'énergie de liaison des nucléons** noté  $E_l$  et qui vaut  $E_l = 931.5 \times \Delta M$  (avec  $E_l$  en MeV)

De plus, si l'on apporte à un noyau une énergie équivalente à l'énergie de liaison de ses nucléons, on peut le briser en ses différentes particules élémentaires.



## En résumé :

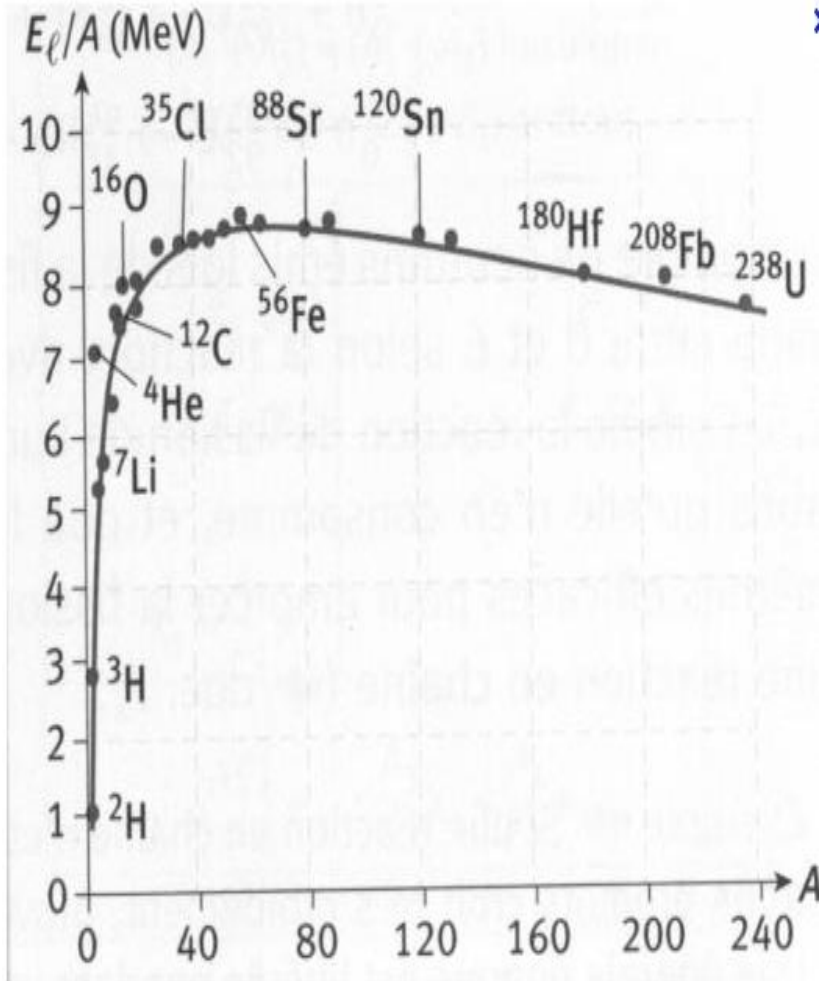
L'énergie de liaison des nucléons d'un noyau est l'énergie **qu'il faut fournir pour les dissocier** (ceci est la même chose pour l'énergie de liaison de l'atome qui est l'énergie qu'il faut fournir pour le dissocier en noyau et électrons).

El nucléons  $\rightarrow$  MeV

El électrons  $\rightarrow$  keV

El atomes  $\rightarrow$  eV

# Courbe de stabilité nucléaire.



Seuil à ~8,5 MeV

Plus l' $E_l/A$  est élevée, plus les nucléons sont unis entre eux,  
Plus le noyau est stable.

A partir du seuil, plus un noyau est gros, plus il devient instable.

## PARTIE 1 : LE NOYAU

- I. Introduction
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires**
- VII. La fission et la fusion

## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations isobariques
- IV. Les transformations isomériques

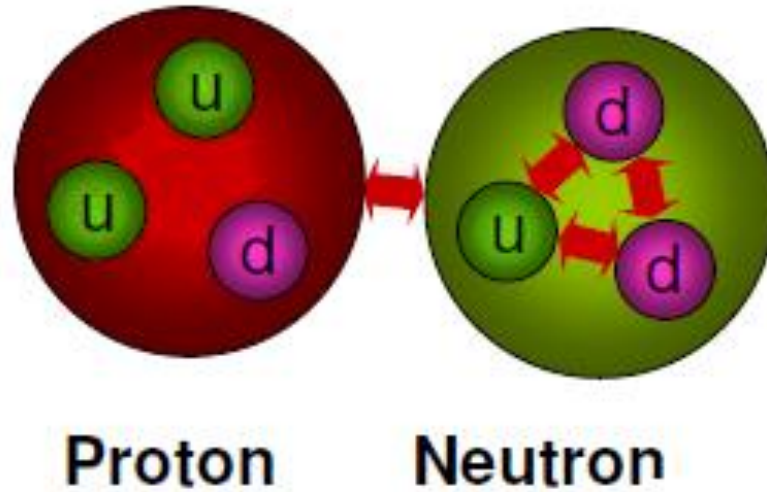
- Les forces nucléaires assurent la cohésion du noyau et donc sa stabilité.
- Leurs intensités sont déterminées par l'énergie moyenne de liaison du noyau
- Elles résultent des interactions entre les nucléons.

## A. Forces électrostatiques

Ce sont des **forces répulsives** concernant les protons et qui expliquent l'excès de neutrons à l'intérieur des noyaux lourds.

## B. Forces spécifiques du noyau

- Interaction faible : force **répulsive**  $\Rightarrow$  explique les transformations radioactives
- Interaction forte : force **attractive** (mais répulsive à très courte distance par incompressibilité) qui assure la cohésion du noyau grâce à la mise en commun de gluons



## PARTIE 1 : LE NOYAU

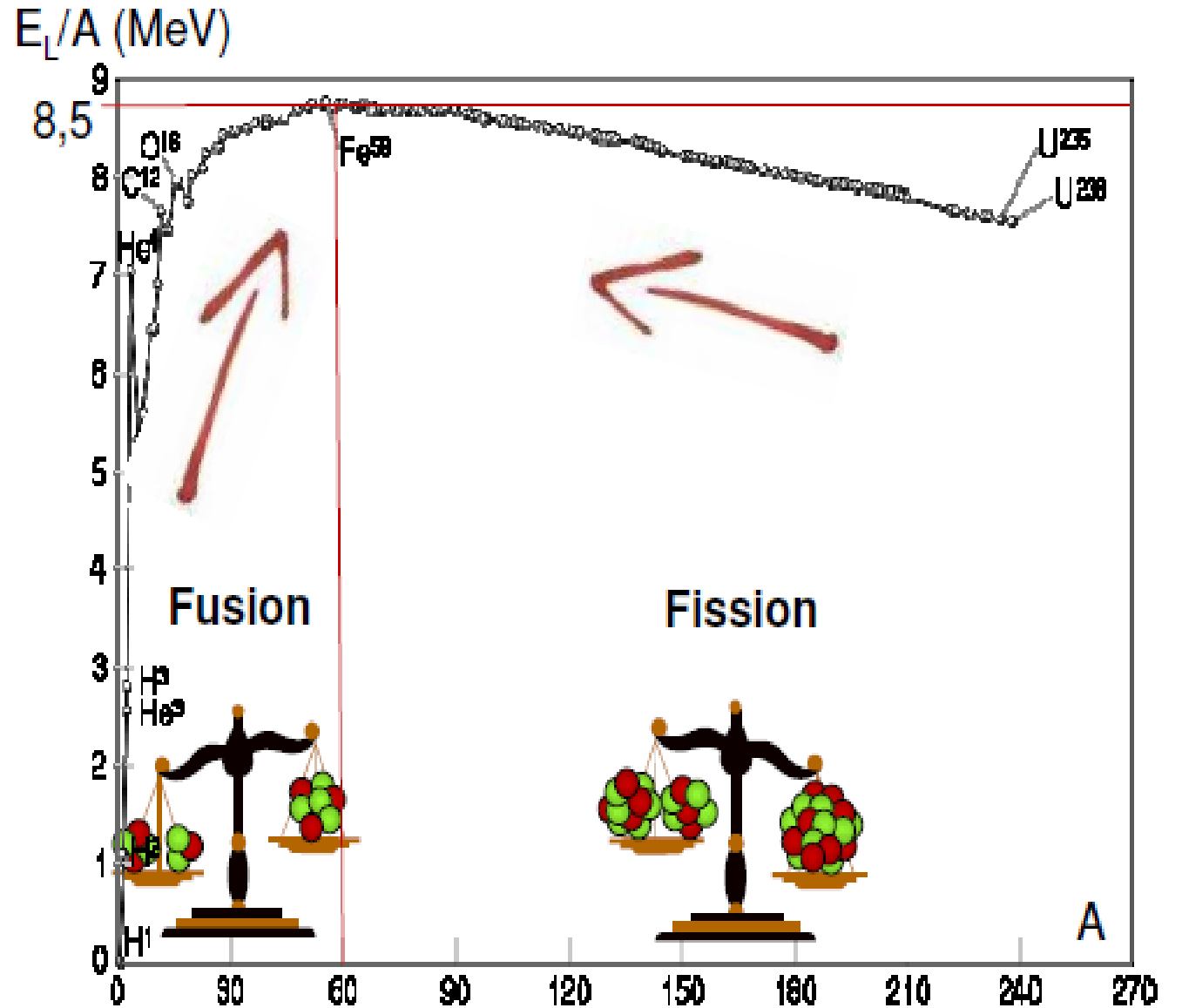
- I. Introduction
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion**

## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

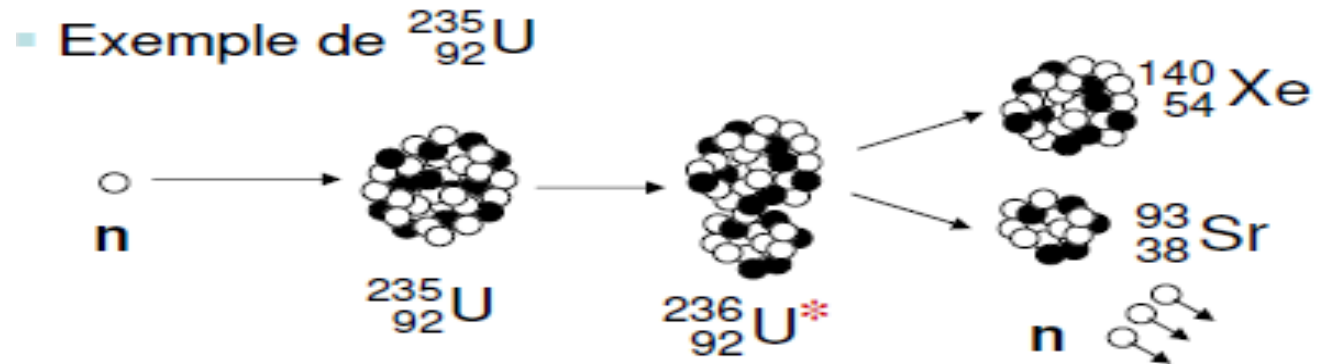
- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations
- IV. Les transformations isomériques

- La fusion de 2 petits noyaux donnent un noyau qui a une masse plus petite, donc plus stable.
- Si on fissionne un gros noyau, on obtient 2 noyaux plus petits, donc plus légers, donc plus stables.

De plus, une fusion libère plus d'énergie qu'une fission.



# La Fission



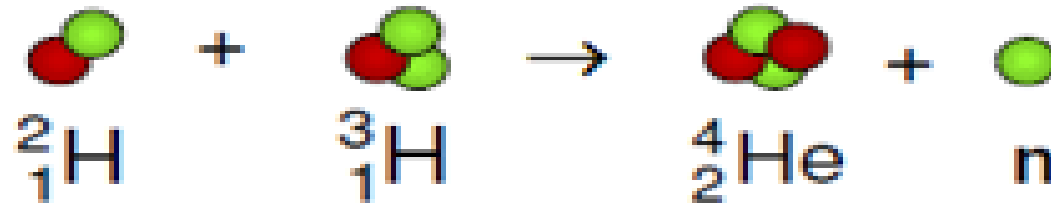
- On bombarde le noyau d'uranium d'un neutron lent, qui devient alors instable.
- L'instabilité du noyau provoque sa fission en 2 noyaux plus petits et en 3 neutrons.
- Ces 3 neutrons libérés seront réutilisés pour fissionner à nouveau → réaction en chaîne dans un réacteur nucléaire

# Calcul de l'énergie libérée par la fission

$$\begin{array}{rccccccc}
 & {}^1_0\text{n} & + & {}^{235}_{92}\text{U} & \rightarrow & {}^{140}_{54}\text{Xe} & + & {}^{93}_{38}\text{Sr} & + & 3\,{}^1_0\text{n} \\
 E_{L/A} & 0 & & 7,5 & & 8,2 & & 8,5 & & 0 \\
 & & & \underline{\times 235} & & \underline{\times 140} & & \underline{\times 93} & & \\
 E_L(\Delta M) & 0 & & 1762,5 & & 1148 & & 790,5 & & 0 \\
 \text{Total avant} & = & & 1762,5 \text{ MeV} & & \text{après} & = & 1938,5 \text{ MeV} & & \\
 \Delta E_L & = & & 1938,5 - 1762,5 = 176 \text{ MeV} & & & & & & 
 \end{array}$$



# La Fusion



Dans cet exemple de fusion, on peut observer un processus où deux noyaux atomiques légers s'assemblent pour former un plus gros noyau et un seul neutron

# Calcul de l'énergie libérée par la Fusion

- Calcul de l'énergie libérée

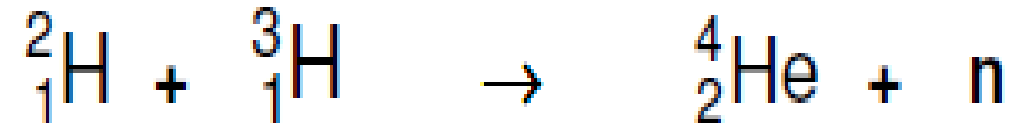
$$\begin{array}{rccccccc} & & {}^2_1\text{H} & + & {}^3_1\text{H} & \rightarrow & {}^4_2\text{He} & + & \text{n} \\ E_{L/A}(\text{MeV}) & & 1 & & 2,8 & & 7 & & 0 \\ & & \underline{\times 2} & & \underline{\times 3} & & \underline{\times 4} & & \\ E_L(\Delta M) & & 2 & & 8,4 & & 28 & & \end{array}$$

Total avant = 10,4 Mev

après = 28 Mev

$$\Delta E = 28 - 10,4 = 17,6 \text{ MeV libérés}$$

- Autres calculs de l'énergie libérée



$$E_{L/A}(\text{MeV}) \quad 1 \quad 2,8 \quad 7 \quad 0$$

✓ Avec les  $\Delta E_{L/A}$ :

$$\Delta E = 2 (7 - 2,8) + 2 (7 - 1) + 1 (0 - 2,8) = 17,6 \text{ MeV}$$

✓ Avec  $\mathcal{M}$  en u:

$$\mathcal{M}(2,1) = 2,014102 \quad \mathcal{M}(3,1) = 3,016049 \quad \mathcal{M}(4,2) = 4,002603 \quad m_n = 1,00866$$

$$\Delta M = \mathcal{M}(2,1) + \mathcal{M}(3,1) - \mathcal{M}(4,2) - 1.m_n = 17,6 \text{ MeV}$$

# Applications de la fission

*Explosives*

Bombe A



*Contrôlées*

Centrale nucléaire



# Application de la fusion

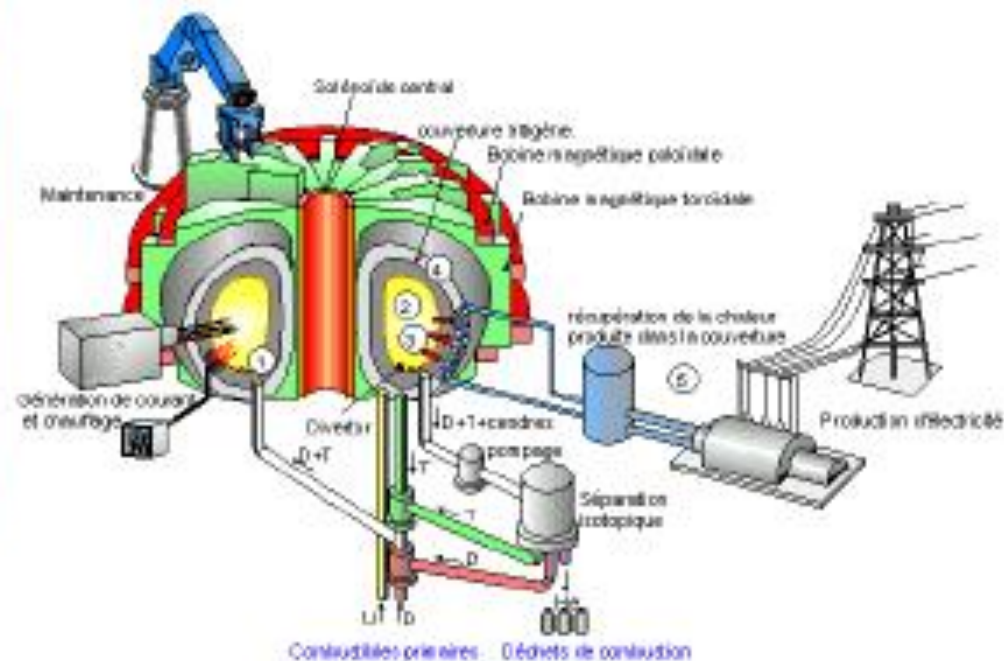
Soleil



Bombe H



ITER



# **PARTIE 2. LA RADIOACTIVITE**

## PARTIE 1 : LE NOYAU

- I. Introduction
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion

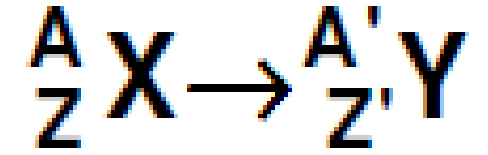
## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations isobariques
- IV. Les transformations isomériques

**Transformation radioactive** : mutation  
(ou désintégration) d'un noyau atomique.

On change de noyau atomique, donc d'élément chimique.

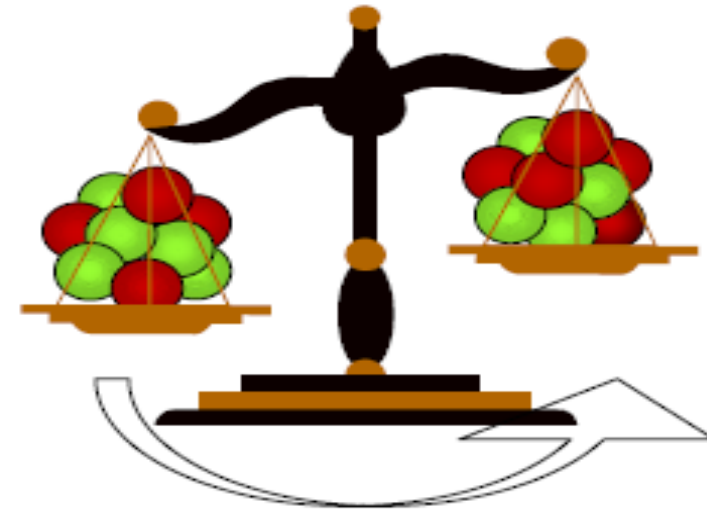
On dit que l'élément père X se transforme en élément fils Y.



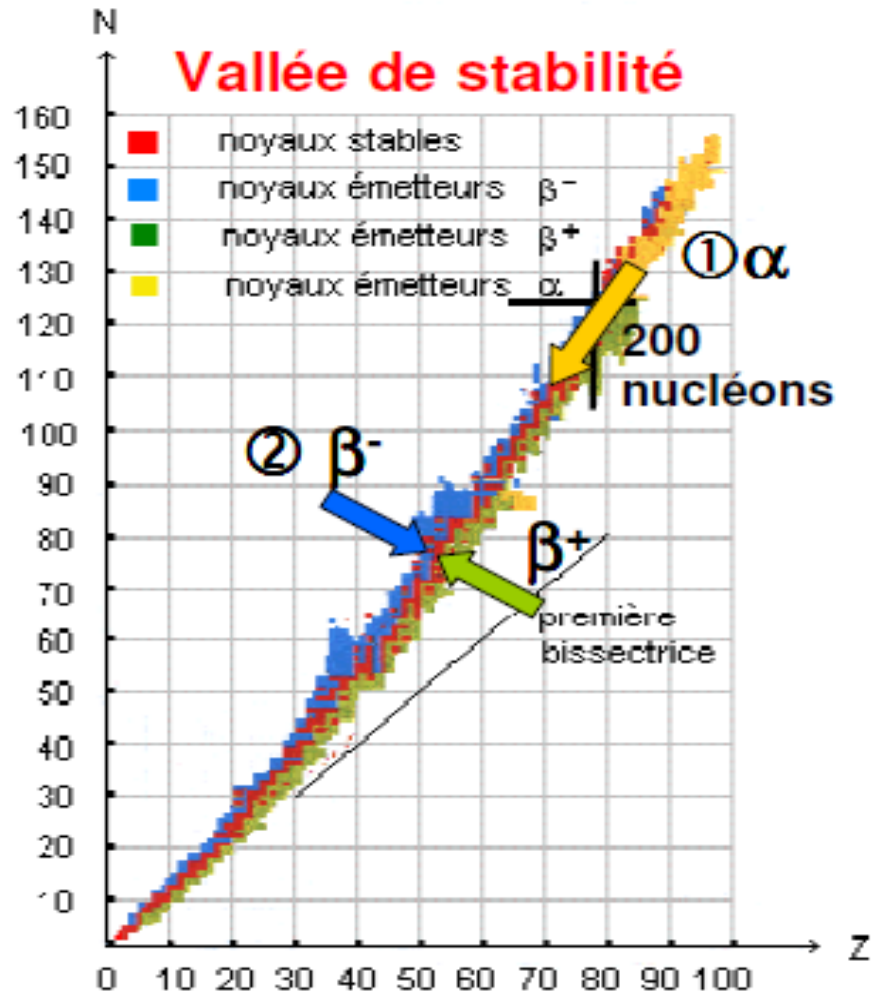
L'élément fils Y a toujours **une masse inférieure** à l'élément père X.

On a donc une perte de masse, qui est convertie en énergie.

Cette énergie est emportée par la ou les particules résultantes de la désintégration.



# Classification des transformations radioactives.



Les noyaux radioactifs instables vont se transformer en noyaux stables.

Selon le noyau d'origine on distingue plusieurs types de transformations radioactives :

## A. Emission $\alpha$

- C'est l'émission d'un noyau d'hélium pour des noyaux trop lourds.

## B. Transformations isobariques

- Emission  $\beta^-$  (si excès de neutrons) : Il s'agit d'une transformation pour les noyaux qui ont plus de neutrons que de protons. Il faut donc qu'un neutron se transforme en proton, ce qui s'accompagne d'une émission  $\beta^-$ .
- Emission  $\beta^+$  (si excès de protons) : Il s'agit d'une transformation pour les noyaux qui ont trop de protons par rapport aux neutrons. Un proton se transforme donc en neutron, et l'on va avoir une émission  $\beta^+$

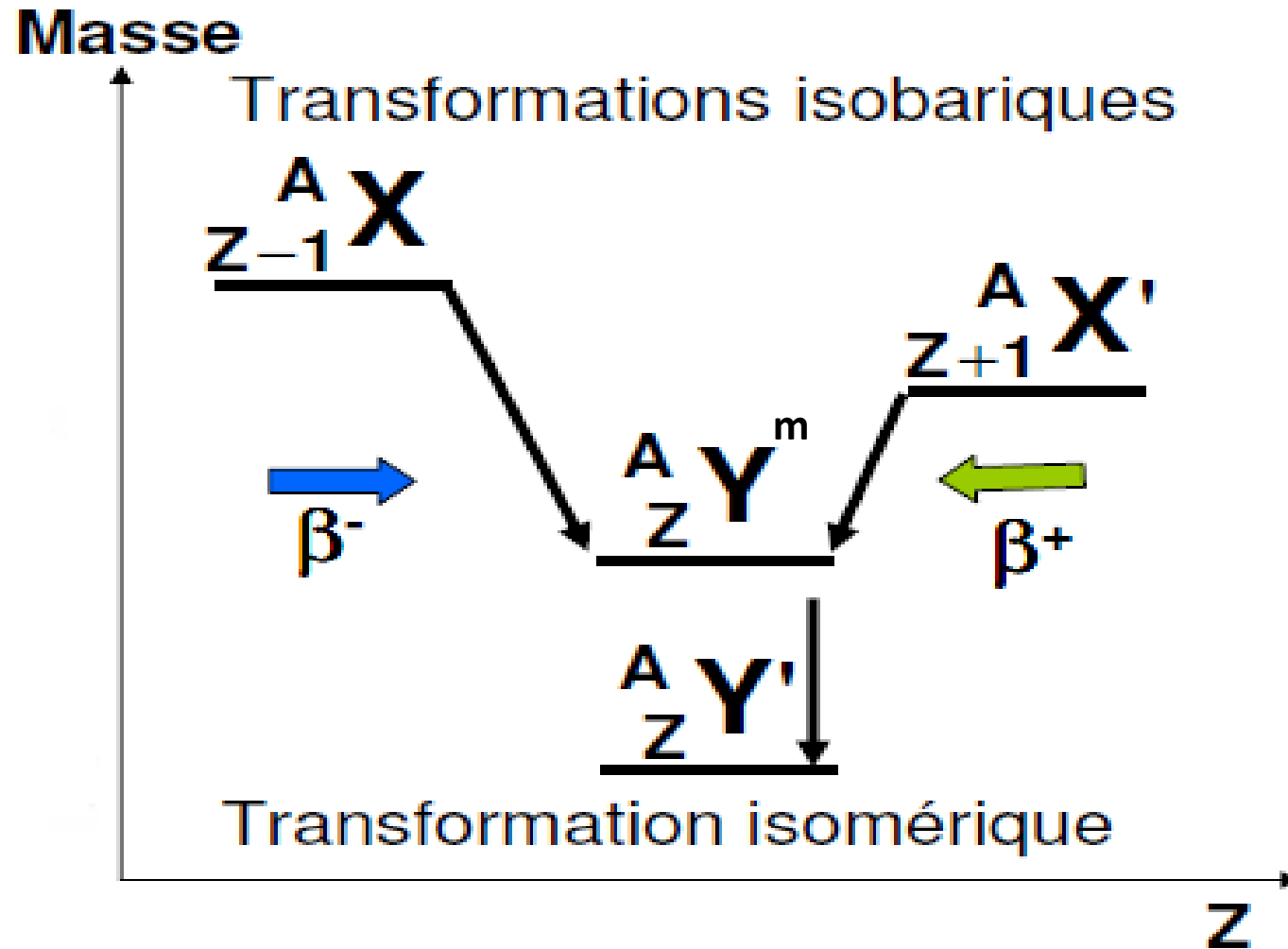
## C. Transformations isomériques

Il peut y avoir transformation isomérique si après le départ d'une particule  $\alpha$  ou  $\beta$ , le noyau fils se retrouve dans un état excité. Il va alors spontanément se désexciter par émission d'un rayonnement électromagnétique  $\gamma$  qui emportera l'excédent d'énergie.

# Il est donc possible d'obtenir :

- Une émission  **$\alpha$  pure**  $\rightarrow$  rend le noyau stable.
- Une émission  **$\beta$  pure**  $\rightarrow$  rend le noyau stable.
- Radioactivité  **$\alpha$  suivie de  $\Upsilon$**   $\rightarrow$  si le départ de la particule  $\alpha$  a laissé le noyau instable.
- Radioactivité  **$\beta$  suivie de  $\Upsilon$**   $\rightarrow$  si le départ de la particule  $\beta$  a laissé le noyau instable.
- Emission d'un  **$\Upsilon$  pur**
- Capture électronique/Conversion interne

# Schématisation de transformations



### 3 Lois de conservation lors des transformations radioactives +++

- Conservation du nombre de nucléons ( $A$ ) et du nombre de charges ( $Z$ ).
- Conservation de l'énergie totale du système (bilan masse-énergie).
- Conservation de la quantité de mouvement (explique le spectre énergétique de la transformation). ( $p=mv$ )

## PARTIE 1 : LE NOYAU

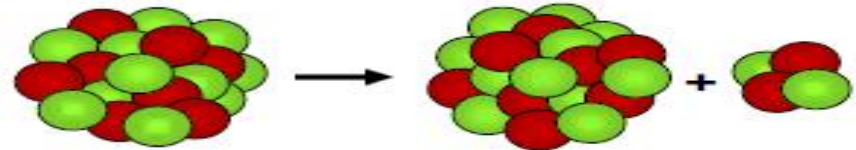
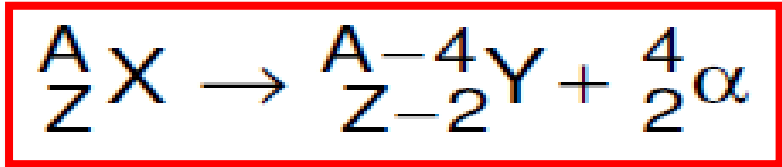
- I. Introduction
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion

## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations isobariques
- IV. Les transformations isomériques

# RADIOACTIVITE $\alpha$

Equation bilan type de la transformation  $\alpha$



La particule  $\alpha$  est formée de 4 nucléons (2p, 2n) : c'est le noyau de l'atome d'hélium  $\begin{matrix} 4 \\ 2 \end{matrix} He$

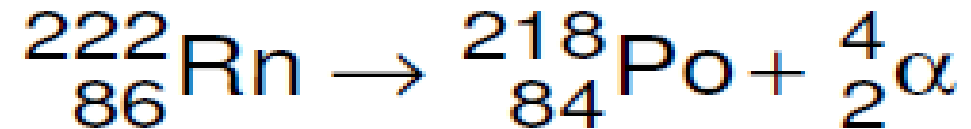
# Radioactivité $\alpha$

## Bilan masse-énergie

On soustrait à la masse du noyau initial les masses du noyau fils et de la particule  $\alpha$ . On obtient alors une différence de masse qui sera emportée sous forme d'énergie cinétique par la particule  $\alpha$  formée.

$$\Delta M = \mathcal{M}(A, Z) - \mathcal{M}(A-4, Z-2) - \mathcal{M}(4, 2)$$

Petit exercice d'application :



On donne :

$$M(222, 86) = 222.0176 \text{ u}$$

$$M(218, 84) = 218.009 \text{ u}$$

$$M(4, 2) = 4.0026 \text{ u}$$

Quelle est l'énergie libérée par cette transformation ? :D

## Correction :



$$M(222, 86) = 222.0176 \text{ u}$$

$$M(218, 84) = 218.009 \text{ u}$$

$$M(4, 2) = 4.0026 \text{ u}$$

$$\Delta M = 222.0176 - 218.009 - 4.0026 = 6.10^{-3} \text{ u}$$

$$E_d = 6.10^{-3} * 931.5 = 5.6 \text{ MeV}$$

Easy hein ? :D

# Radioactivité $\alpha$

## Spectre d'énergie :

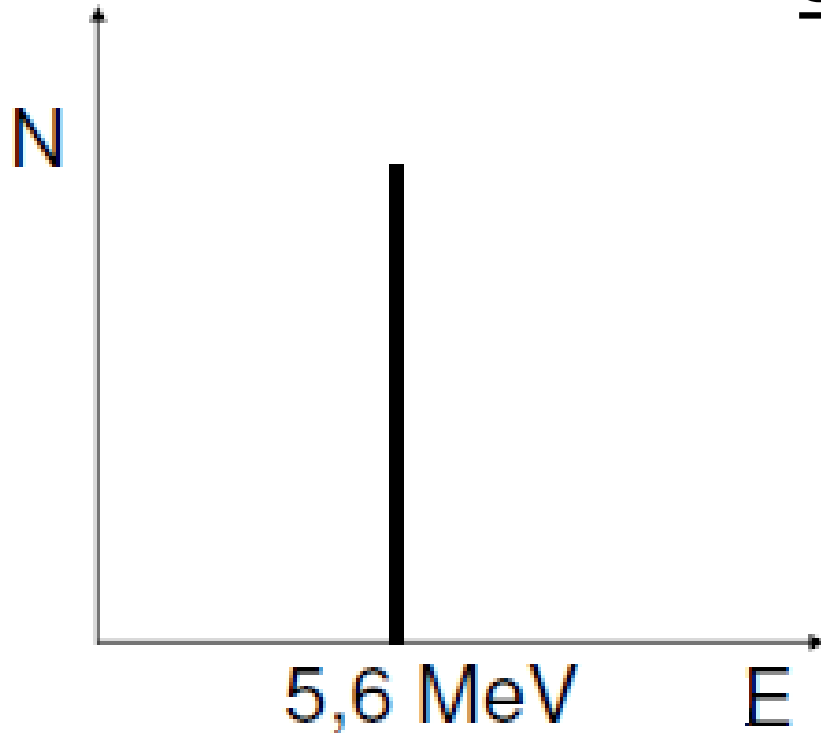
L'énergie disponible est libérée sous forme d'énergie cinétique partagée entre les 2 noyaux formés :

- Energie cinétique de la particule  $\alpha$
- Energie de recul du noyau Y

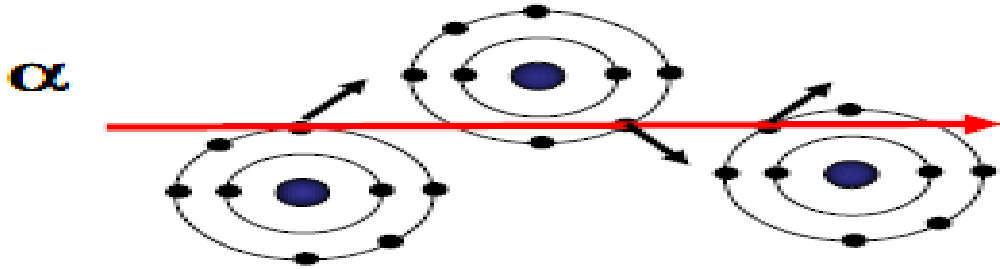
Le noyau Y aura une vitesse nulle vu sa grande taille. Il ne va donc quasiment pas emporter d'énergie .

C'est donc la particule  $\alpha$  qui va emporter la quasi-totalité de l'énergie de la transformation. Sa vitesse sera tout de même **non relativiste**. (  $\sim 15\,000$  km/s )

# Radioactivité $\alpha$ Spectre d'énergie :



En reprenant l'exemple du radon qui se transforme en polonium, on obtient ce spectre de raie caractéristique de l'émission  $\alpha$



# Radioactivité $\alpha$

## Parcours dans la matière :

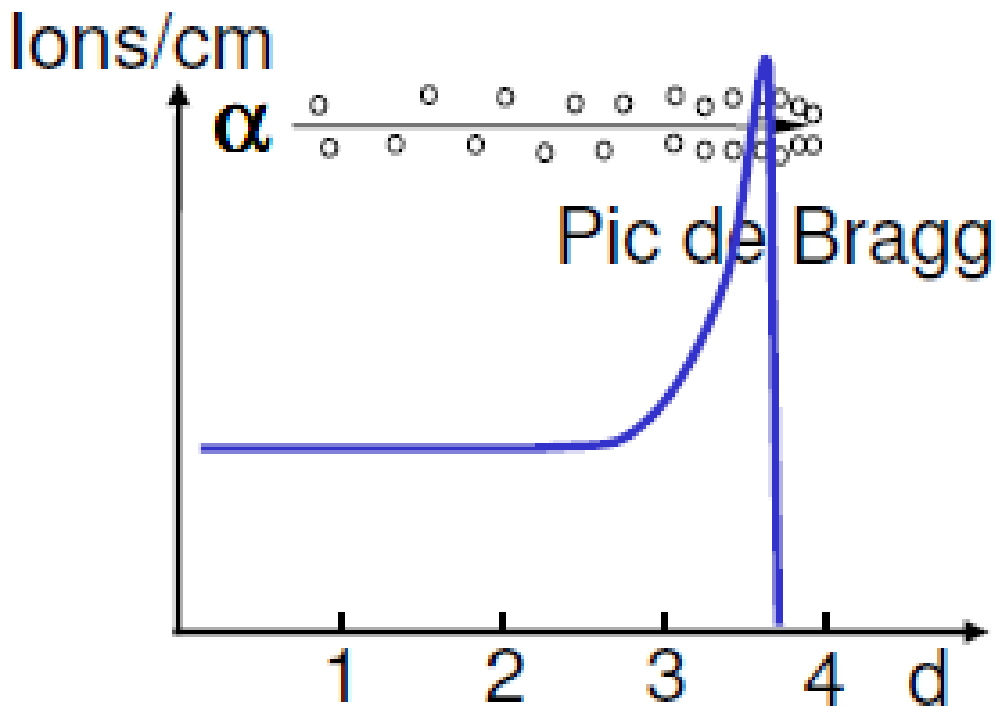
Les particules  $\alpha$  étant lourdes et chargées, elles vont tout bousculer sur leur passage, en ayant une trajectoire rectiligne mais avec une faible vitesse

Le passage de particules  $\alpha$  dans la matière va provoquer :

- Des ionisations
- Une perte progressive de l'énergie des particules alpha, qui se traduit par un ralentissement puis l'arrêt total des particules  $\alpha$

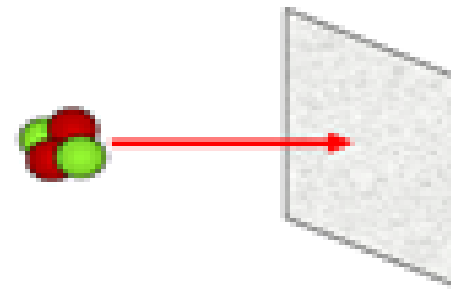
# Radioactivité $\alpha$

## Parcours dans la matière :



C'est en fin de parcours que les particules alpha provoquent le plus d'ionisation.

On obtient une courbe caractéristique avec un **pic de Bragg**



## PARTIE 1 : LE NOYAU

- I. Introduction
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion

## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. **Les transformations isobariques**
- IV. Les transformations isomériques

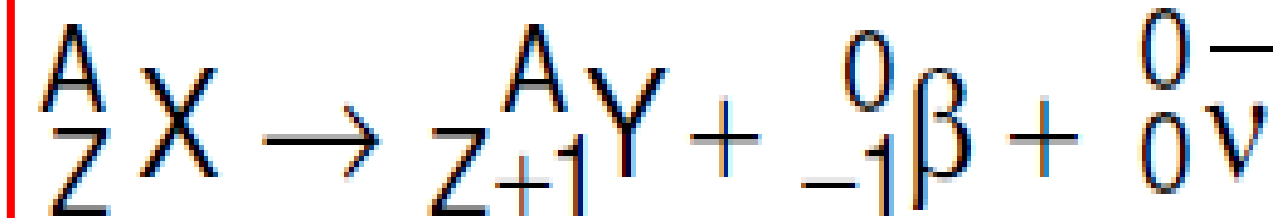
# Désintégration $\beta^-$

- Transformation pour les noyaux avec excès de neutrons.
- Neutron  $\rightarrow$  proton en suivant la réaction  ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e + \bar{\nu} + 0,78 \text{ MeV}$
- La particule  $\beta^-$  émise peut être notée  ${}_0^0\beta$  ou  $\beta^-$  ou  ${}_{-1}^0e$  ou  $e$
- Cette particule n'existe pas initialement dans le noyau X, elle naît donc de la transformation du neutron en proton.

# Désintégration $\beta^-$

Résumé : on a un neutron qui se transforme en proton, une particule  $\beta^-$  émise, ainsi qu'un antineutrino ,

Le bilan de la transformation  $\beta^-$  d'un noyau X est alors :



# Désintégration $\beta^-$

## Bilan masse-énergie :

Il y a conservation de l'énergie lors de la transformation.

Le défaut de masse  $\Delta M$  est alors la différence entre la masse du noyau initial et la masse du noyau fils Y :

$$\begin{aligned} \Delta M &= \mathcal{M}(A,Z) - Zm_e - [\mathcal{M}(A,Z+1) - (Z+1)m_e + m_e] \\ &= \mathcal{M}(A,Z) - \cancel{Z}m_e - \mathcal{M}(A,Z+1) + \cancel{(Z+1)}m_e - \cancel{m_e} \end{aligned}$$

$$\Delta M = \mathcal{M}(A,Z) - \mathcal{M}(A,Z+1)$$

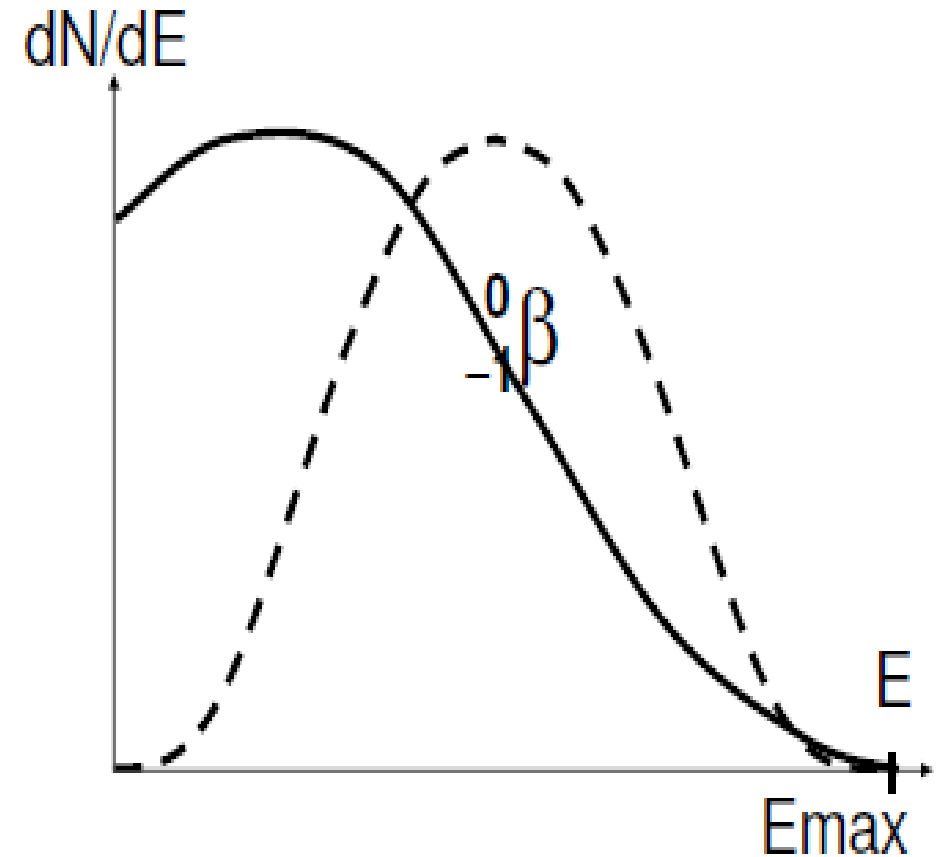
# Désintégration $\beta^-$ Spectre d'énergie

L'énergie disponible va se répartir en énergie cinétique pour le noyau fils, la particule  $\beta^-$  et l'antineutrino.

Du fait de la masse du noyau fils, son énergie cinétique de recul sera quasi nulle

L'énergie est donc partagée entre la particule  $\beta^-$  et l'antineutrino selon un **spectre continu** :

Seule la particule  $\beta^-$  est détectable



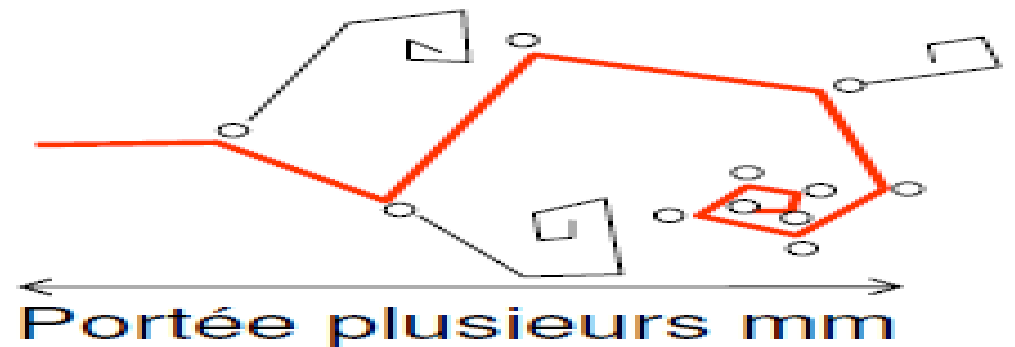
# Désintégration $\beta^-$ Parcours dans la matière

Chaque fois qu'une particule  $\beta^-$  va percuter un électron, elle va le mettre en mouvement, donc lui donner une énergie cinétique.

Si cette même particule  $\beta^-$  a toujours une  $E_c$  élevée, elle va rebondir et percuter un autre électron.

Chaque fois qu'elle percute un électron, sa trajectoire change et son énergie cinétique diminue.

- Parcours long, portée courte.
- $\beta^-$  arrêtés par une feuille de métal



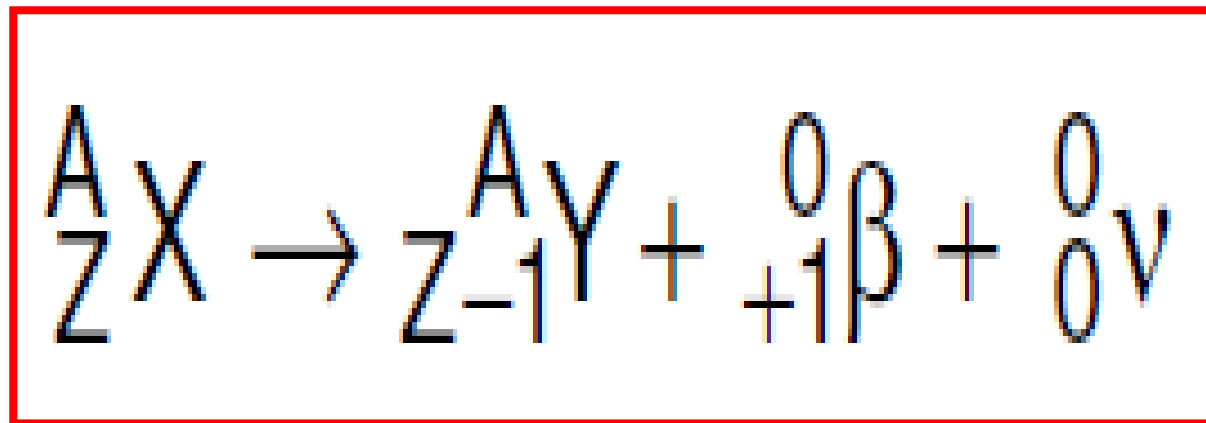
# Désintégration $\beta^+$

- C'est la réaction inverse de la transformation  $\beta^-$
- Transformation pour les noyaux avec excès de protons.
- Un proton se transforme donc en neutron en suivant la transformation :  ${}_1^1\text{p} \rightarrow {}_0^1\text{n} + {}_{+1}^0\beta + {}_0^0\nu$
- La particule  $\beta^+$  émise peut être notée  ${}_{+1}^0\beta$  ou  $\beta^+$  ou  ${}_{+1}^0\text{e}$  ou positon
- Elle ne peut pas être créée spontanément. Elle naît obligatoirement de la transformation du proton en neutron

# Désintégration $\beta^+$

Résumé : On a un proton qui se transforme en neutron, une particule  $\beta^+$  émise, ainsi qu'un neutrino.

La réaction de désintégration  $\beta^+$  est donc :



# Désintégration $\beta^+$ Bilan masse-énergie

- On part du même principe que la  $B^-$ , l'énergie se conserve...  
Sauf qu'il y a une différence au niveau du calcul du défaut de masse !!!

$$\begin{aligned}\Delta M &= \mathcal{M}(A,Z) - Zm_e - [\mathcal{M}(A,Z-1) - (Z-1)m_e + m_e] \\ &= \mathcal{M}(A,Z) - \cancel{Z}m_e - \mathcal{M}(A,Z-1) + \cancel{(Z-1)}m_e - m_e\end{aligned}$$

$$\Delta M = \mathcal{M}(A,Z) - \mathcal{M}(A,Z-1) - 2m_e$$

**$\Delta M$  est donc égal à la masse de l'atome père moins celle de l'atome fils moins la masse de 2 électrons ! +++++**

# Désintégration $\beta^+$

## Bilan masse-énergie

- **$\Delta M$  ne peut pas être négatif** car lors de la transformation isobarique, vous avez une perte de masse car on cherche à avoir un noyau plus léger donc plus stable.

$$M(A,Z) - M(A,Z-1) - 2m_e > 0$$

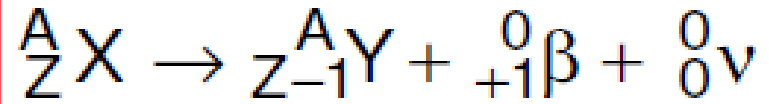
$$M(A,Z) - M(A,Z-1) > 2m_e$$

Energétiquement, cela équivaut à  $[\mathcal{M}(A,Z) - \mathcal{M}(A,Z-1)].931,5 > 2.0,511 \text{ MeV} = 1,022 \text{ MeV}$ .

**La transformation  $\beta^+$  est donc une transformation à SEUIL. +++**

L'énergie de la réaction doit être **>1.022 MeV**. Sinon ce n'est plus une transformation  $\beta^+$  mais une capture électronique

# Désintégration $\beta^+$ Spectre d'énergie.



C'est comme pour la  $\beta^-$ , d'après la loi de conservation de quantité de mouvement, on considère que l'énergie se répartit entre les trois particules formées : le noyau de recul Y, le positon et le neutrino

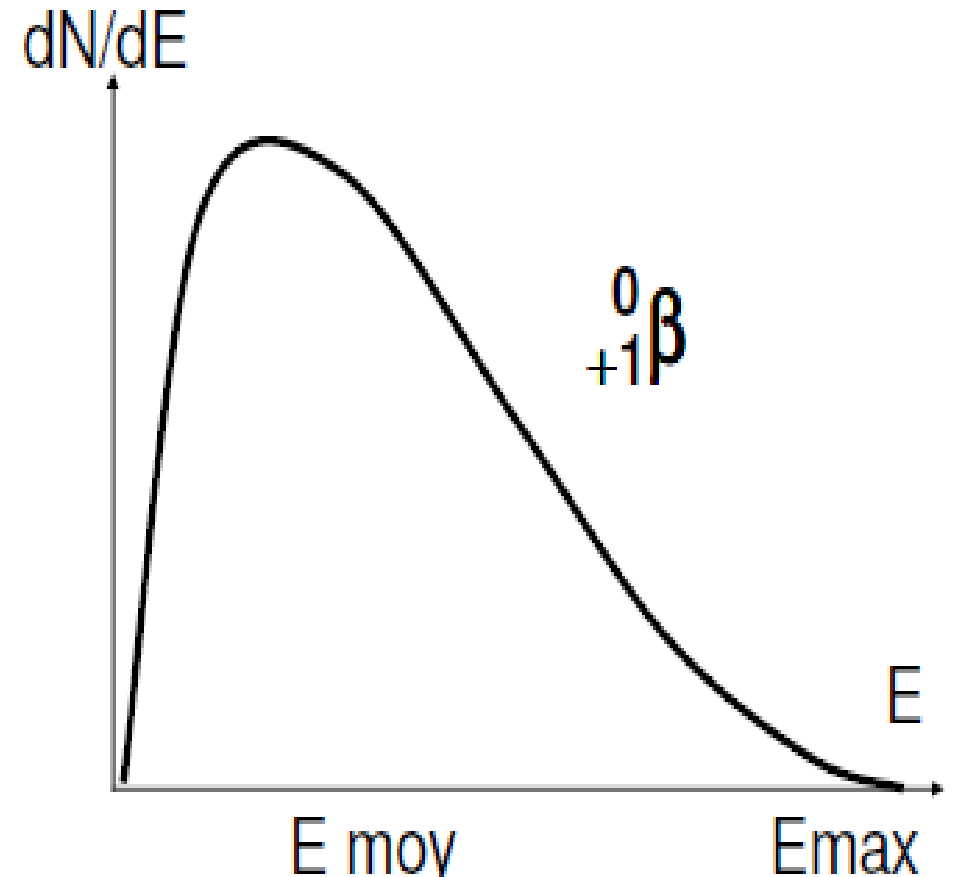
Mais comme l'énergie de recul sera faible, L'Ed sera au final réparti entre la particule  $\beta^+$  et le neutrino.

# Désintégration $\beta^+$ Spectre d'énergie.

Contrairement à la courbe précédente, celle-ci commence à l'origine du repère.

Cela est dû à la force de répulsion entre les  $\beta^+$  et le noyau, qui sont tous deux de même charge.

Seule la particule  $\beta^+$  est détectable,



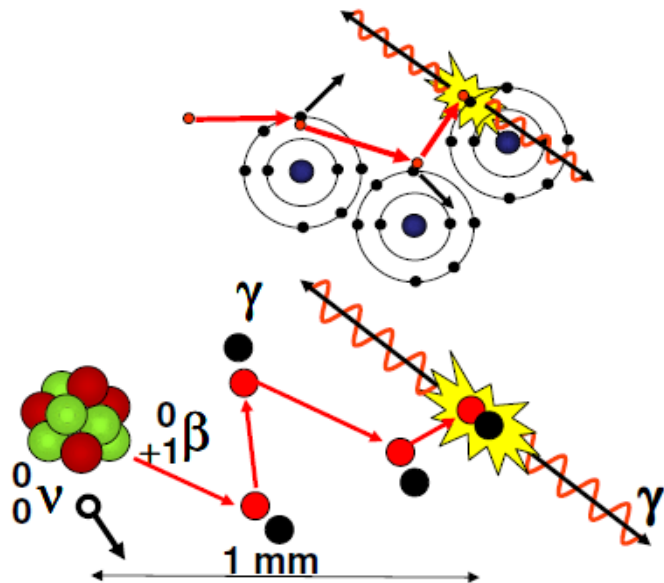
# Désintégration $\beta^+$

## Parcours dans la matière :

Vous avez un positon qui a une grande énergie cinétique. Il va percuter des électrons et continuer grâce à son énergie cinétique jusqu'à épuisement de celle-ci où le positon va rester coller à un électron d'un cortège électronique. Cela va produire un phénomène **d'ANNIHILATION**

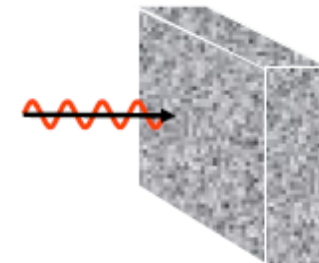
Cette réaction d'annihilation se caractérise par deux phénomènes :

- **2 photons gammas** qui emportent chacun sous forme d'énergie l'équivalent de la masse d'un électron (0.511 MeV)
- L'angle entre les 2 photons est de  $180^\circ$ , ils partent donc dans une direction opposée



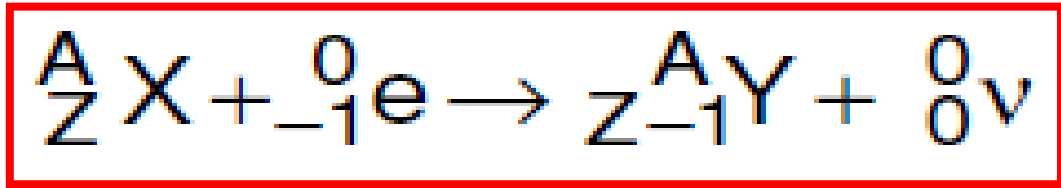
La portée de la particule  $\beta^+$  est courte car elle va vite s'annihiler avec un électron  
Cependant, celle des photons gammas est très grande (de l'ordre de plusieurs mètres)

Les **photons gamma** peuvent être **ATTENUÉS**  
(Et non arrêtés !!!) par du plomb ou du béton.



# Désintégration par capture électronique

- Autre désintégration possible en cas d'excès de protons.



- Le noyau, trop riche en proton, capte un électron (en général de la couche profonde K). On a donc une réaction de suppression de la charge d'un proton qui va donner  ${}_1^1 p + {}_{-1}^0 e \rightarrow {}_0^1 n + {}_0^0 \nu$
- Capture d'un électron  $\rightarrow$  réarrangement électronique **de l'atome fils**

# Désintégration par capture électronique

## Bilan masse-énergie



$$\Delta M = \mathcal{M}(A, Z) - Zm_e + m_e - [\mathcal{M}(A, Z-1) - (Z-1)m_e]$$

$$\Delta M = \mathcal{M}(A, Z) - \mathcal{M}(A, Z-1)$$

Cependant, pour que la transformation soit possible, il faudra que  $\Delta M > |W_k|$

## Exemple numérique :

$$m_p(201,81) = 200.97079 \text{ u}$$

$$m_p(201,80) = 200.97028 \text{ u}$$

$$W_k \text{ du } {}^{201}_{81}\text{Ti} = -85\text{keV}$$



Quelles transformations sont possibles ?

## Exemple numérique :

- Calcul :  $\Delta M = 200.97079 - 200.97028 = 5.10^{-4} u$
- $E = 5.10^{-4} \times 931.5 = 0.475 \text{ MeV}$

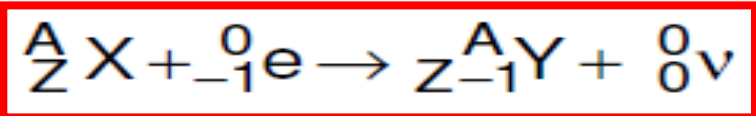
$0.475 \text{ MeV} < 1.022 \text{ MeV} \rightarrow$  pas de  $\beta^+$  possible

$0.475 \text{ MeV} > 85 \text{ keV} \rightarrow$  capture électronique de la couche K possible

Rmq : Excès de protons  $\rightarrow \beta^+$  et CE possible

- Au-dessous du seuil de 1.022 MeV, seule la capture électronique sera possible.
- Au-dessus de ce seuil, les 2 sont en compétition : la CE est plus probable lorsque les nombres de masse A sont élevés et lorsque le  $\Delta M$  est très légèrement  $> 1.022 \text{ MeV}$

# Désintégration par capture électronique



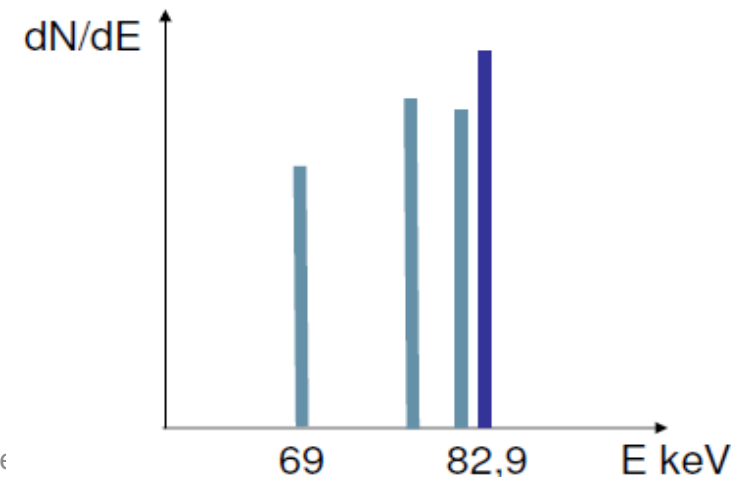
## Spectre d'énergie :

On a un gros noyau de recul qui ne bouge presque pas et un neutrino qui emporte toute l'énergie.

- Neutrino → indétectable donc pas de spectre nucléaire de la CE
- Réarrangement électronique du noyau fils → émission de photons → spectre de raies atomique.
- Exemple :  ${}_{81}^{201}\text{Tl} + {}_{-1}^0 e \rightarrow {}_{80}^{201}\text{Hg} + {}_0^0 \nu$

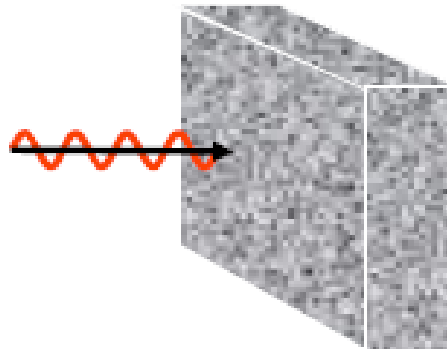
Le seul spectre détectable est donc celui des réarrangements électroniques de  ${}_{80}^{201}\text{Hg}$

keV	$W_K$	$W_L$	$W_M$	$W_N$	$W_O$
${}_{81}\text{Tl}$	85	14	2	0,4	0,1
${}_{80}\text{Hg}$	83	14	2,5	0,5	0,1
$W_i - W_K$		69	80,5	82,5	82,9



# Désintégration par capture électronique Parcours dans la matière

- Le neutrino ne provoque pas d'interaction (indétectable)
- Les photons émis indirectement interagissent avec la matière. Ils ont une longue portée et seront **atténués** par du plomb ou du béton



## PARTIE 1 : LE NOYAU

- I. Introduction
- II. Classification des nuclides
- III. Les nucléons
- IV. Les particules élémentaires
- V. Défaut de masse et énergie de liaison
- VI. Les forces nucléaires
- VII. La fission et la fusion

## PARTIE 2 . LA RADIOACTIVITE

- I. Généralités
- II. Radioactivité Alpha
- III. Les transformations isobariques
- IV. Les transformations isomériques ( **courage c'est bientôt la fin :D** )

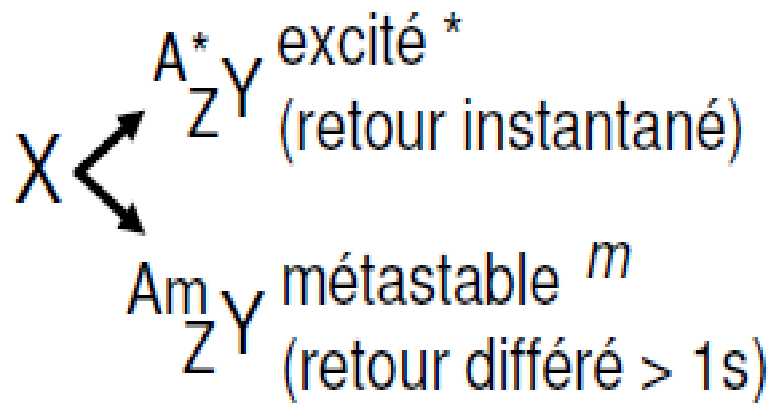
# Les transformations isomériques

- Se font sans changement de nature du noyau
- La transformation porte sur les niveaux d'énergie des nucléons. En effet, les nucléons se répartissent sur des niveaux d'énergies comme les électrons.
- Certaines transformations isobariques peuvent aboutir à un état intermédiaire du noyau où persiste un excédent d'énergie. Les nucléons occupent alors des niveaux d'énergies supérieurs à ceux de l'état fondamental

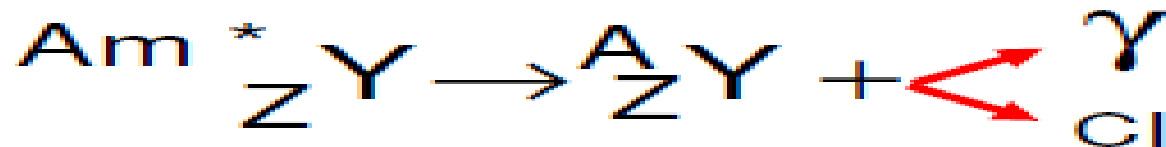
# Les transformations isomériques

Suite au départ de la particule se profile 2 possibilités :

1. Soit le noyau produit se trouve dans un état excité, Il retournera instantanément à son état d'équilibre.
2. Soit ce noyau produit sera dans un état métastable, avec un retour différé à son état d'équilibre stable (temps >1 sec)

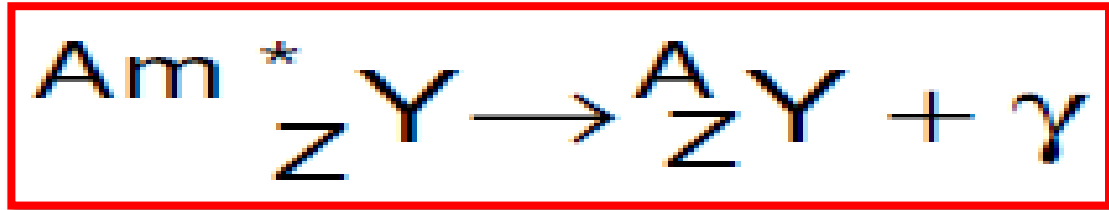


Lors du retour à l'état stable du noyau, l'excès d'énergie est libéré grâce à l'émission d'un **photon  $\gamma$**  ou grâce à un phénomène de **conversion interne (CI)**



# Les transformations isomériques

## Radioactivité $\gamma$



Il s'agit du retour à l'état stable **spontanément** du noyau par émission d'un photon  $\gamma$ .  
Le photon  $\gamma$  provient **du noyau** de l'élément ! (origine nucléaire)

$$\begin{aligned} \Delta M &= \mathcal{M}(A_m, Z) - Z m_e - [\mathcal{M}(A, Z) - Z m_e] & E_d &= \Delta M \times 931,5 = E_\gamma \\ &= \mathcal{M}(A_m, Z) - \mathcal{M}(A, Z) \end{aligned}$$

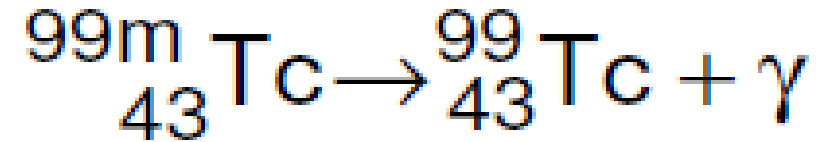
# Les transformations isomériques

## Spectre d'énergie :

- Energie disponible emportée par le photon  $\gamma$
- On a donc un **spectre électromagnétique nucléaire de raie unique !**

## Exemple :

Prenons par exemple le Technétium ( le prof adore cet élément :D) :



On donne :

$$M(99m,43) = 98,90655 \text{ u}$$

$$M(99,43) = 98,90640 \text{ u}$$

Quelle est l'énergie du photon gamma ?

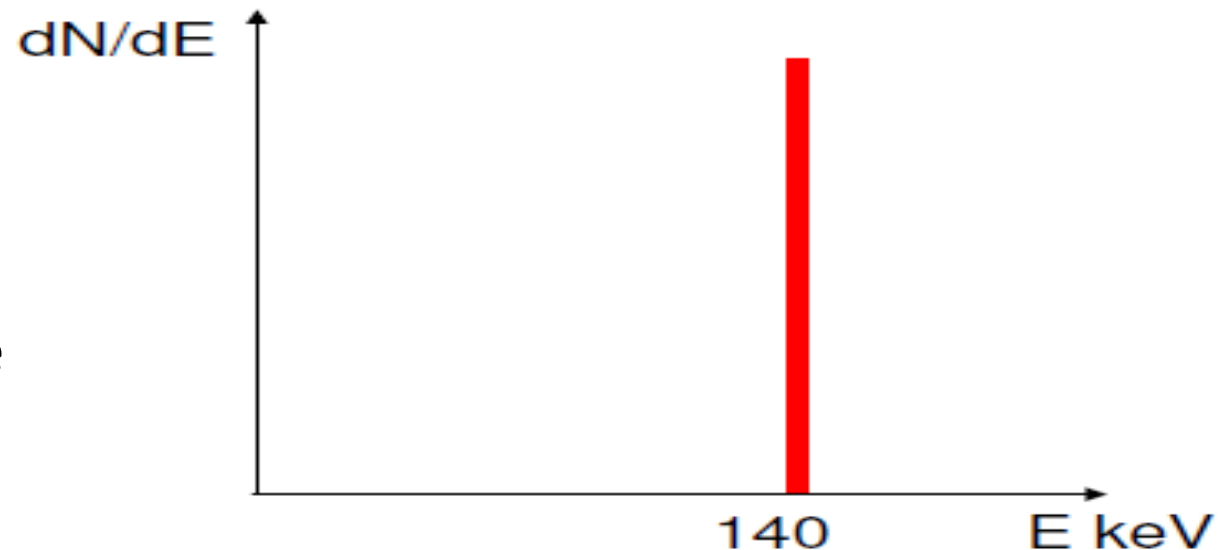
# Exemple :

On calcule d'abord le défaut de masse du technétium :

$$\Delta M = 98,90655 - 98,90640 = 0,00015 \text{ u}$$

$$E_d = 0,00015 \times 931,5 = 0,14 \text{ MeV} = \underline{\underline{140 \text{ keV}}}$$

On obtient alors un spectre électromagnétique nucléaire caractéristique du photon gamma provenant du technétium ! Avec une énergie de 140 keV



# Les transformations isomériques

## Conversion interne

- Il n'y a pas d'émission de photon  $\gamma$
- L'énergie en excès est transmise à un électron de l'atome qui est alors ionisé.
- Ionisation  $\rightarrow$  réarrangements électroniques  $\rightarrow$  photons de fluorescence/ électrons d'Auger...

$$\Delta M = \mathcal{M}(Am, Z) - Z m_e - [\mathcal{M}(A, Z) - Z m_e]$$

$$= \mathcal{M}(Am, Z) - \mathcal{M}(A, Z)$$

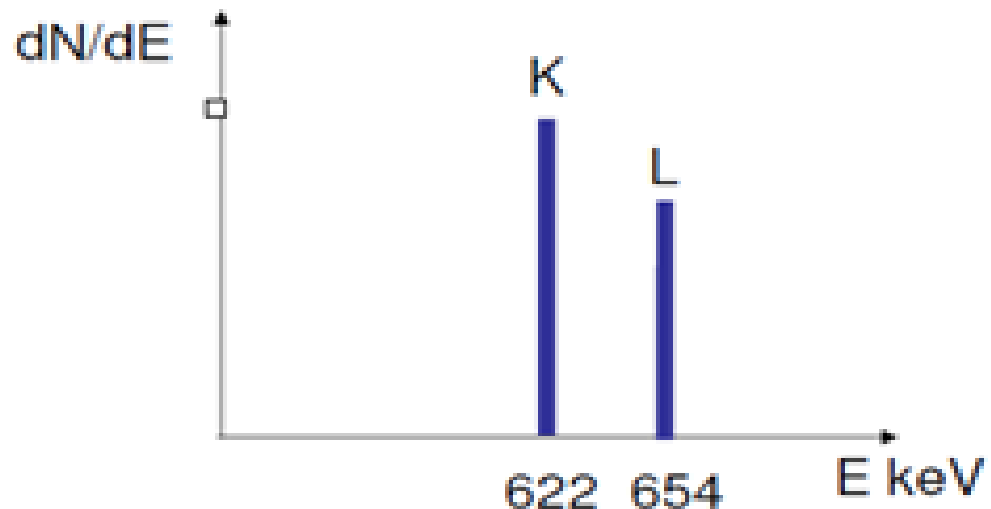
$$E_d = \Delta M \times 931,5 = E_\gamma$$

$$E_c(e_i) = E_d - |W_i|$$

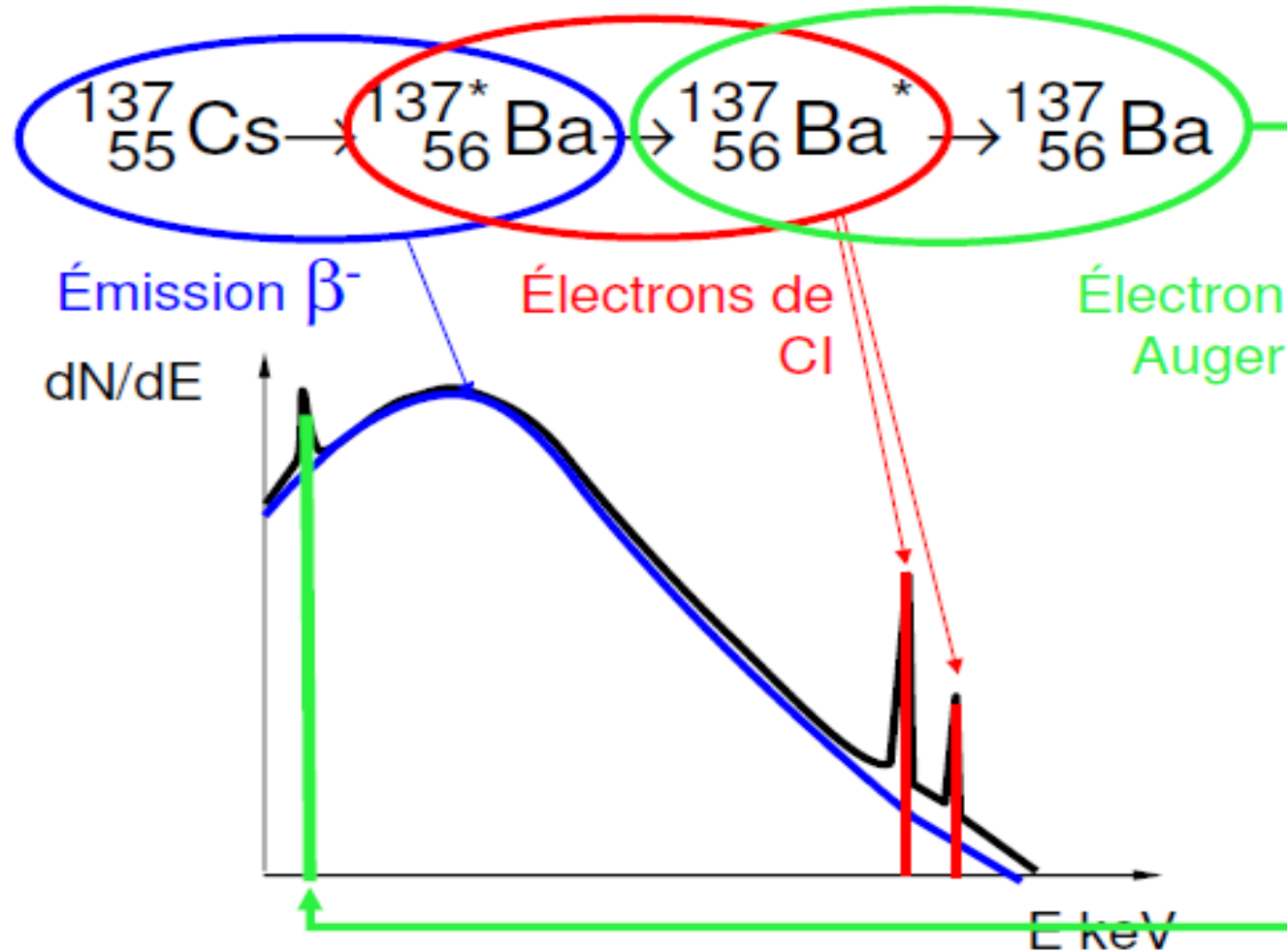
# Conversion interne

## Spectre d'énergie :

- L'énergie disponible est emportée par l'électron atomique: pas de spectre nucléaire
- On obtient donc un spectre électronique atomique de raies dû aux réarrangements électroniques



# EXEMPLE DE SPECTRE COMPLET :





iii **FIN** !!!



By Chlorofyl

