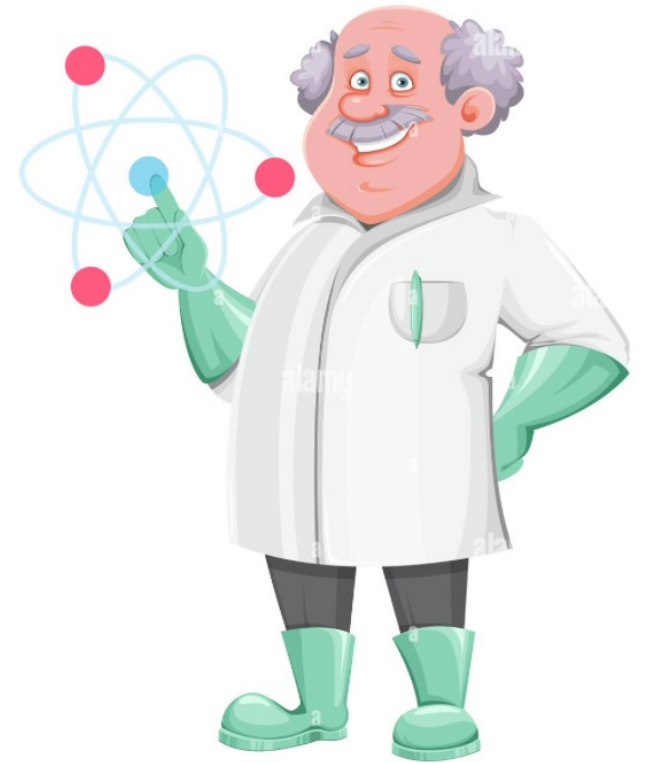
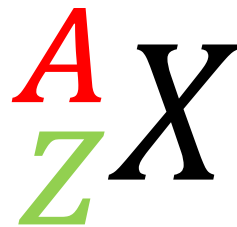


Margo<sub>2</sub>

# Les transformations radioactives



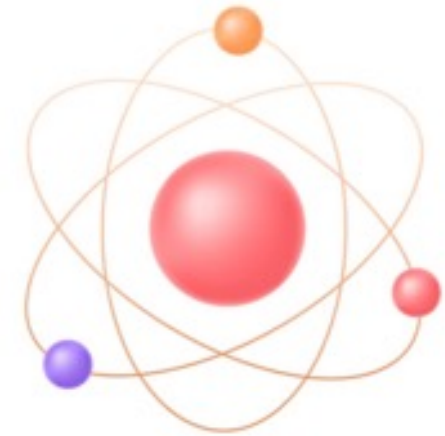
Avant de commencer...



- Le **proton** est chargé et correspond à un électron positif
- Le **neutron** n'est pas chargé

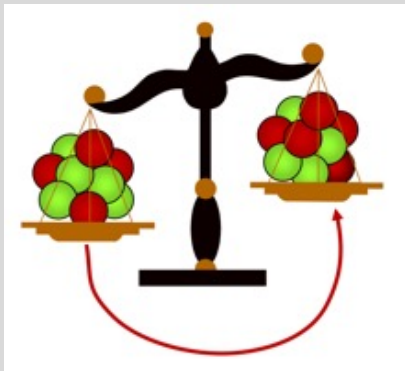
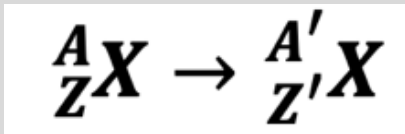
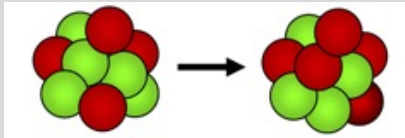
**A** = nombre de masse = nombre de nucléons  
**Z** = nombre de protons = nombre d'électrons  
**N** peut se calculer : **A-Z**

**Nucléons** = **protons** + **neutrons**



# I - Généralités sur les transformations radioactives

## A - Introduction



### Définition

Une **transformation radioactive** est une **mutation**, une désintégration spontanée d'un noyau atomique.

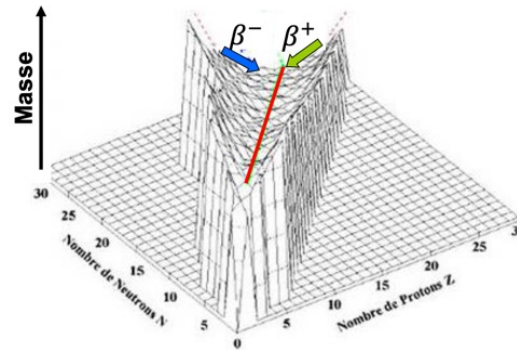


Lors de la transformation, entre le noyau père et fils on retrouve :

- Une **perte de masse**
- Un **gain en énergie de liaison**
- Une **libération d'énergie** sous forme soit d'une particule soit d'un photon : c'est la radioactivité !

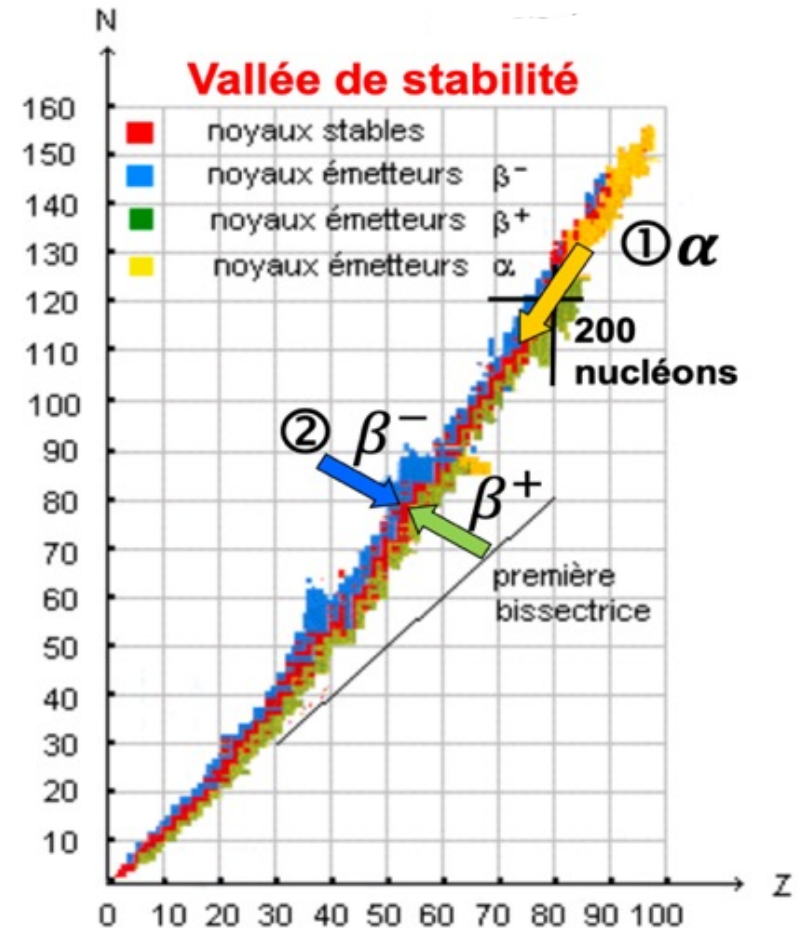
## B - Historique

## C - Classification



Selon le noyau d'origine, on distingue :

- La **radioactivité  $\alpha$**  pour les noyaux **lourds** ( $A > 200$ )
- Les **transformations isobariques** :  
pour les noyaux avec un excès de neutrons  $\rightarrow \beta^-$   
pour les noyaux avec un excès de protons  $\rightarrow \beta^+$
- Les **transformations isomériques** avec libération d'énergie sans changement de nature du noyau

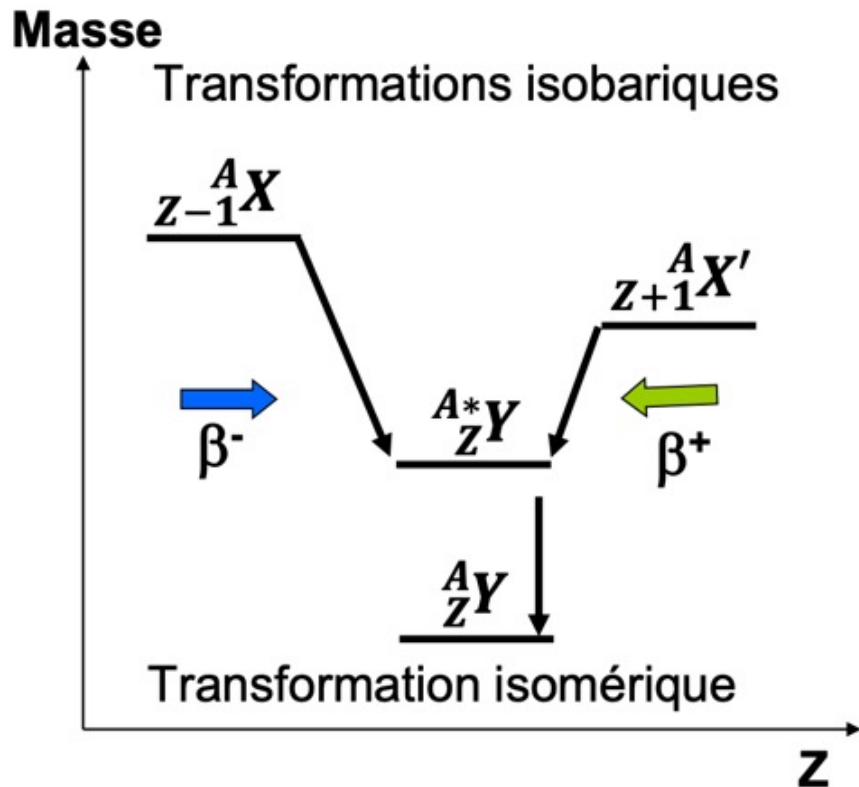
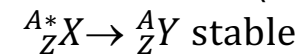


## D - Evolution de la masse

Dans un premier temps, une **transformation isobarique** :

- Émission  $\beta^-$  (excès de neutrons)  ${}_{z-1}^AX \rightarrow {}_Z^{A*}Y$
- Émission  $\beta^+$  (excès de protons)  ${}_{z+1}^AX' \rightarrow {}_Z^{A*}Y$

Dans un second temps, une **transformation isomérique** avec **émission  $\gamma$**  ou **conversion interne** (excès d'énergie interne)



Au final, on a TOUJOURS une évolution vers :

- Une **masse minimale**
- Une énergie de liaison  $E_L$  **maximale**
- Une **stabilité maximale** des nucléons entre eux
- Une libération d'énergie sous forme de rayonnement radioactif

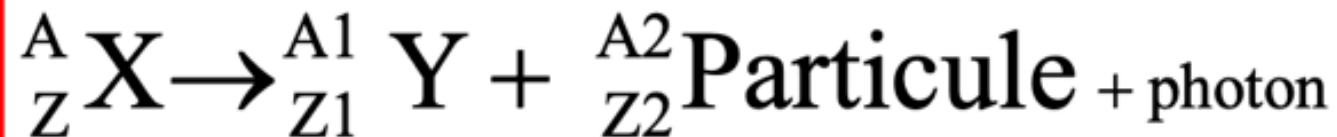
## E - Lois de conservation

Les transformations nucléaires répondent à des **lois de conservations** toujours appliquées :

- Conservation du nombre de **nucléons A** et du nombre de **charge Z**
- Conservation de **l'énergie totale**
- Conservation de la **quantité de mouvement**

ATTENTION : Le nombre de masse A se conserve mais pas la masse totale

La **masse totale NE SE CONSERVE PAS** (*la masse du père n'est pas égale à la masse du fils et des particules cumulés*)



**QCM : A propos des généralités sur les transformations radioactives, indiquez la(les) proposition(s) exacte(s) :**

- A) Il y a une toujours évolution vers une masse minimale
- B) Une transformation isobarique ne fait pas varier la composition du noyau
- C) Lors d'une transformation, la masse totale ne se conserve pas
- D) Lors d'une transformation, le nombre de masse ne se conserve pas
- E) Tout est faux

**QCM : A propos des généralités sur les transformations radioactives, indiquez la(les) proposition(s) exacte(s) :**

**A) Il y a une toujours évolution vers une masse minimale**

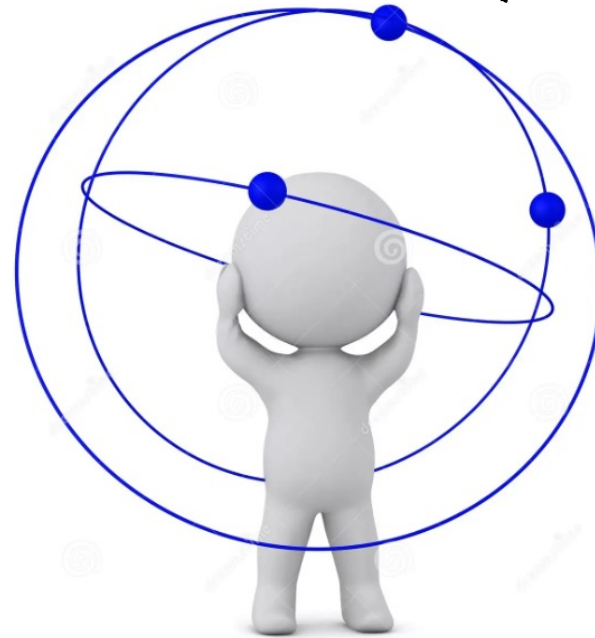
B) Une transformation isobarique ne fait pas varier la composition du noyau

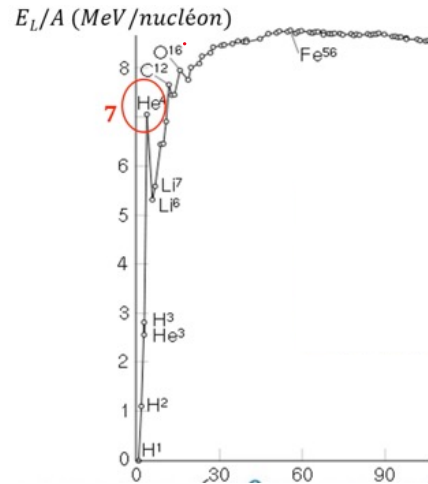
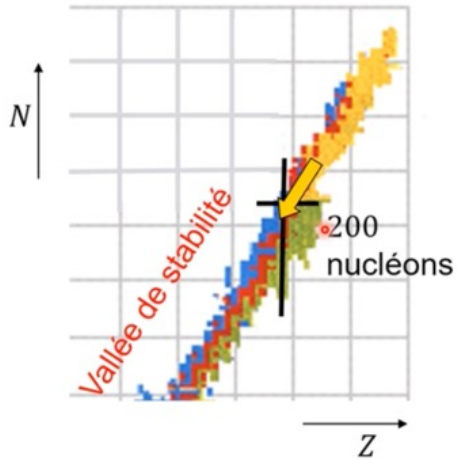
**C) Lors d'une transformation, la masse totale ne se conserve pas**

D) Lors d'une transformation, le nombre de masse ne se conserve pas

E) Tout est faux

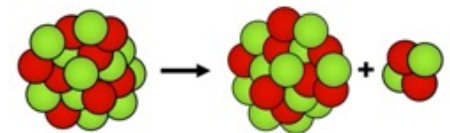
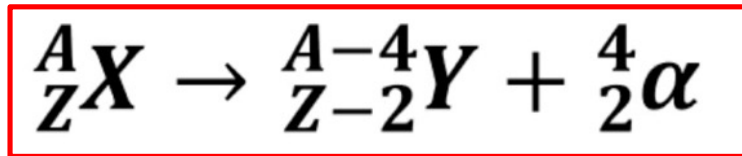
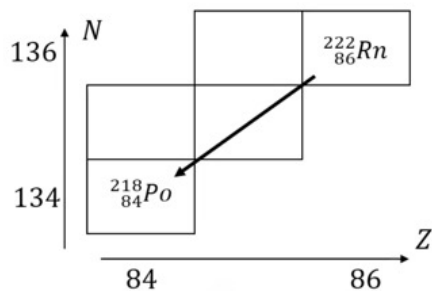
## II - La radioactivité alpha $\alpha$





La radioactivité alpha concerne les noyaux lourds ( $A > 200$ ). La particule alpha est un noyau à 4 nucléons ( $A=4$  et  $Z=2$ ), qui est aussi l'atome d'Hélium  ${}^4_2\text{He}$ . Ce noyau est particulièrement stable avec une  $E_L$  très élevée et correspond au seul noyau complexe pouvant être émis spontanément.

## A - La réaction de désintégration



Exemple : Radon -> Polonium

- Conservation de A et Z
- Changement d'élément chimique
- Noyau fils plus léger

## B - Le bilan masse-énergie

L'énergie disponible est la différence des masses nucléaires entre l'état **initial** et l'état **final** de la transformation. L'énergie « en trop » sera expulsée sous forme de **particule alpha**.

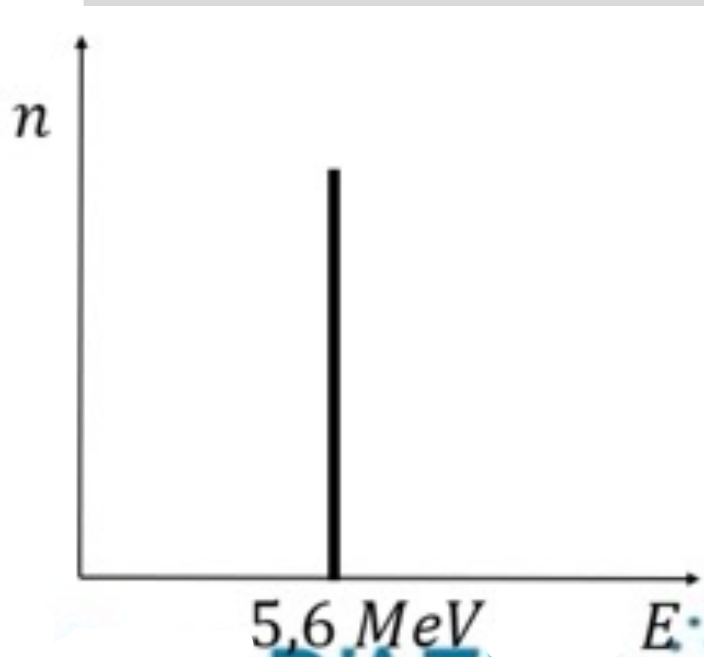
$$\Delta M = \mathcal{M}(A, Z) - \mathcal{M}(A - 4, Z - 2) - \mathcal{M}(4, 2)$$

Pour l'équivalence masse-énergie, on utilise :

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

Avec  $\Delta M$  en **unité de masse atomique** ( $u$ ) et  $E_d$  finalement donné en **MeV**.

## C - Le spectre énergétique

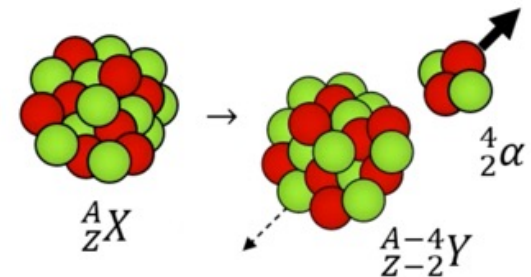


Exemple : Radon  $\rightarrow$  Polonium

Energie disponible:  $E_d = 6 \cdot 10^{-3} \times 931,5 = 5,6 \text{ MeV}$

L'énergie disponible est libérée **exclusivement** sous forme **d'énergie cinétique**. La **particule  $\alpha$**  emporte la **quasi-totalité** de l'énergie cinétique.

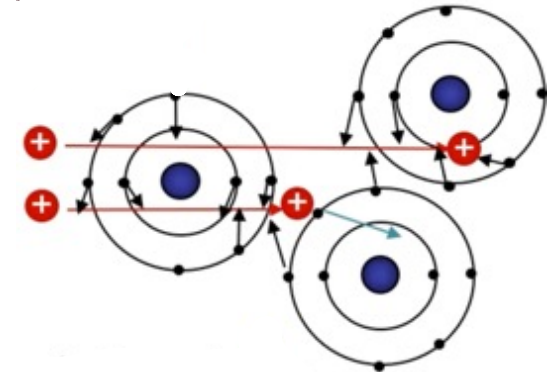
La particule  $\alpha$  possède une énergie représentés sous forme de **spectre de raies** avec **une seule valeur bien quantifiée** correspondant à son énergie cinétique (entre 4 et 10 MeV).



# D - Parcours dans la matière

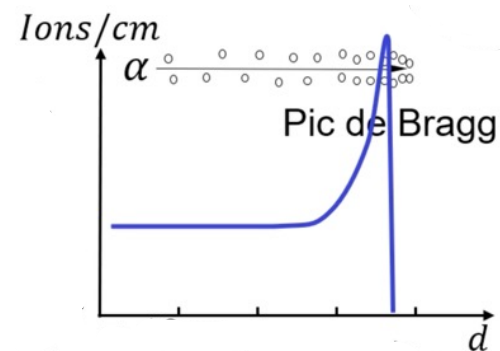
Caractéristiques de la particule  $\alpha$  :

- Elle est **lourde** ( $A=4$ )
- Elle est **chargée** ( $Z=2$ ) et va donc avoir des interactions sous forme d'ionisations avec la matière
- Vitesse considérée comme faible
- Trajectoire **rectiligne** (liée à sa masse importante)
- Trajet court dans la matière
- Arrêtée par une fine feuille de papier



Le pic de Bragg des particules chargées + :

- **Peu** d'ionisations en début de parcours
- Puis les ionisations atteignent un **maximum** en fin de parcours : pouvoir d'arrêt très élevé à cette distance
- Arrêt brutal de la particule



Les ionisations sont concentrées à une profondeur bien déterminée correspondant au pic de Bragg.

## E - Applications biomédicales

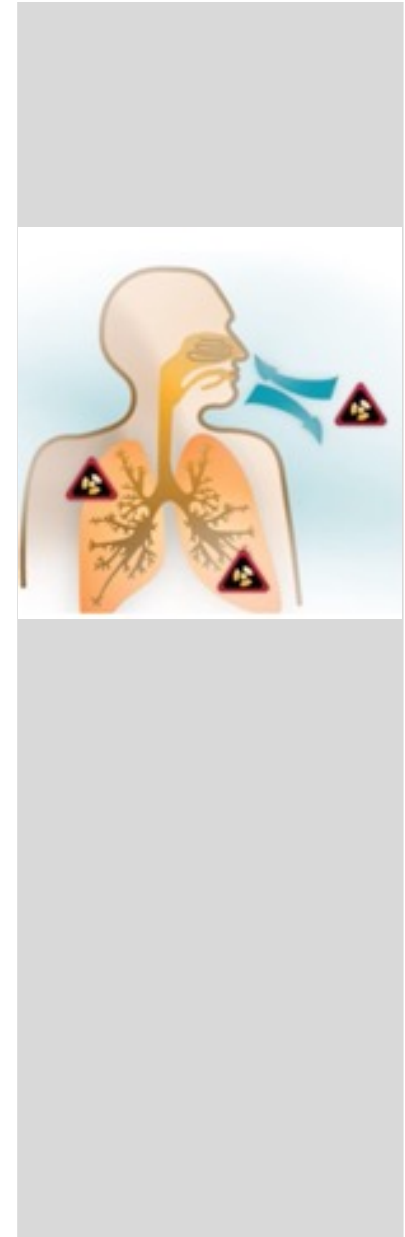
### Radioprotection :

- Une irradiation **externe** n'est en **aucun cas un danger**
- Une irradiation par une source **interne** expose la personne à des **effets radiobiologiques importants**

*Exemple : Le Radon-222 qui, au contact de l'épithélium pulmonaire, aura de nombreux effets sur la santé.*

### Thérapeutique :

Nommée la radiothérapie métabolique afin de cibler les **cellules cancéreuses** sans atteindre les cellules saines grâce à leur fort effet **ionisant à courte distance**.



**QCM : L'Uranium 238 se transforme directement en Thorium 234 stable. Indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :**

**Données : masses atomiques en u :  $M(238, 92) = 238,0508$  ;  $M(234,90) = 234,0436$   $M(4,2) = 4,0026$**

- A) L'énergie de la particule alpha est de 4,28 MeV
- B) L'énergie de la particule alpha est de 7,87 MeV
- C) L'énergie de la particule alpha est de 0,00046 u
- D) L'énergie de la particule alpha est de 0,0083 u
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

**QCM : L'Uranium 238 se transforme directement en Thorium 234 stable. Indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :**

**Données : masses atomiques en u :  $M(238, 92) = 238,0508$  ;  $M(234,90) = 234,0436$   $M(4,2) = 4,0026$**

- A) L'énergie de la particule alpha est de 7,87 MeV
- B) L'énergie de la particule alpha est de 4,28 MeV**
- C) L'énergie de la particule alpha est de 0,0046 u**
- D) L'énergie de la particule alpha est de 0,0083 u
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausse

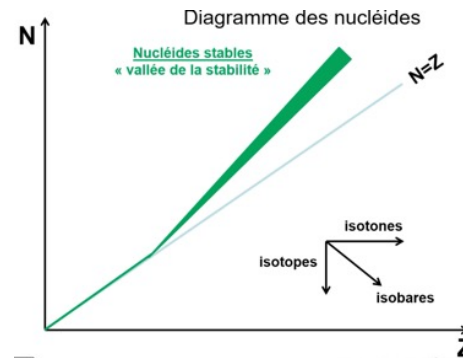


### III - Les transformations isobariques

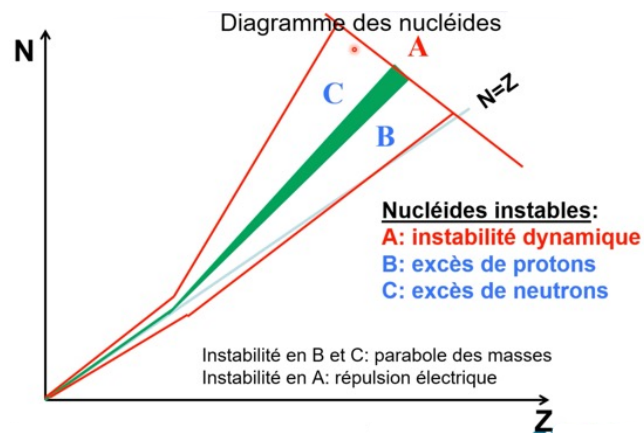


## Caractéristiques des transformations isobariques :

- Pas de changement du nombre de masse **A**
- Z et N varient (**isobares**)



Il existe 2 types de régions particulières pour les noyaux **STABLES**. Les noyaux **légers** sur la **première bissectrice** sont stables si **N=Z**. Les éléments **lourds** sont sur la **deuxième bissectrice** doivent avoir **plus de neutrons** afin d'être stables.



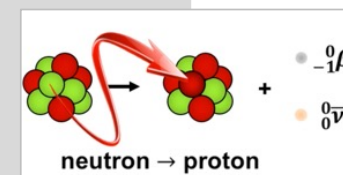
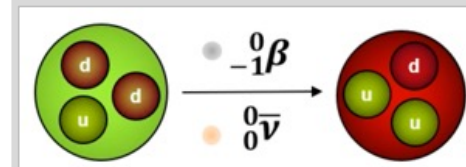
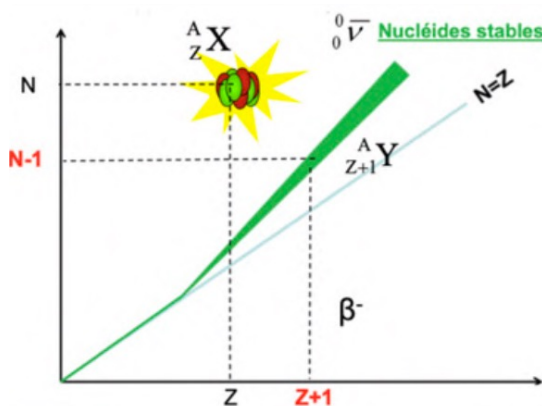
Il existe 3 types de transformations isobariques pour les noyaux **INSTABLES**:

- L'émission (ou désintégration)  $\beta^-$  si excès de **neutrons** (C)
- L'émission (ou désintégration)  $\beta^+$  si excès de **protons** (B)
- La **capture électronique** si excès de **protons** (B)

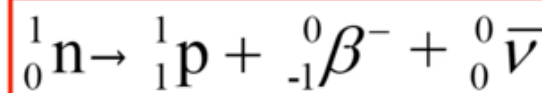
# La transformation $\beta^-$

## A - La réaction de désintégration

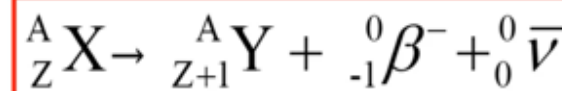
Cette transformation se produit lorsque le noyau père est en excès de neutrons. Il va alors perdre un **neutron** qui se transformera en **proton**. Cela est rendu possible grâce à l'inversion d'un **quark**.



Dans le noyau  $\rightarrow$



Dans le nucléide  $\rightarrow$



La **particule  $\beta^-$**  correspond à un **électron** créé par la transformation. **L'antineutrino**, lui, est un postulat afin d'expliquer le spectre énergétique de la transformation. Il a comme caractéristiques de posséder : une **charge nulle**, une **masse négligeable**, d'être pénétrant **sans être ionisant** et de ne pas être un REM !!

## B - Le bilan masse-énergie

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

Pour cette transformation, on se rend compte que la différence de masse des **atomes** est **égale** à la différence de masse des **noyaux**.

D'après la formule de Einstein :

$$E_d = \Delta M \times c^2 \quad \text{Avec } E \text{ en J ; } \mathcal{M} \text{ en kg ; } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

donc 
$$E_d = [\mathcal{M}(A, Z) - \mathcal{M}(A, Z + 1)] \times c^2$$

**Attention aux unités utilisées!!**

Pour simplifier, on modifie les unités et on obtient cette formule ++ :

$$E_d = \Delta M \times 931,5 \quad \text{Avec } E \text{ en MeV ;}$$

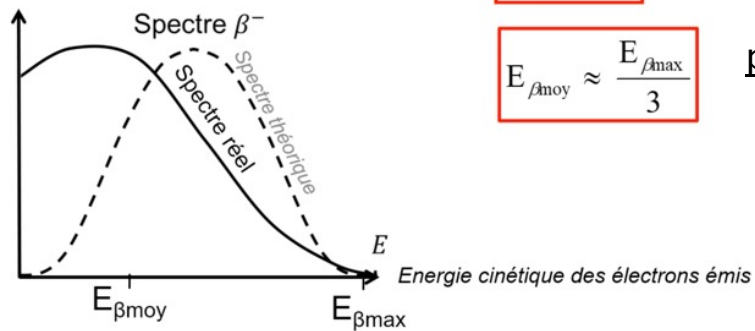
$\mathcal{M}$  en u (unité de masse atomique)

donc 
$$E_d = [\mathcal{M}(A, Z) - \mathcal{M}(A, Z + 1)] \times 931,5$$

# C - Spectre et schéma

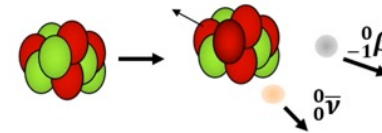
## Le spectre énergétique

Nombre d'é mis par  
intervalle d'énergie  
 $= dn/dE$



L'énergie se partage entre le noyau fils, la particule  $\beta^-$  et l'antineutrino

Finalement, l'énergie cinétique se répartit **aléatoirement** entre la particule  $\beta^-$  et l'antineutrino. Seule la particule  $\beta^-$  est détectable, elle est alors à l'origine du **spectre continu** de la transformation

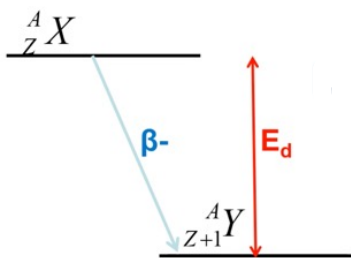
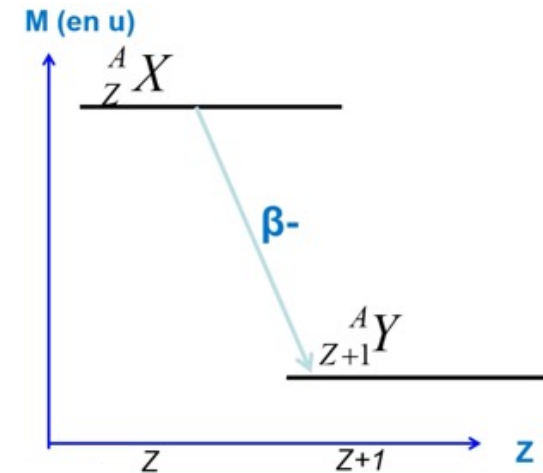


- **Spectre théorique** → Le **spectre continu** est expliqué par le fait que l'antineutrino emporte une part variable et complémentaire de l'énergie de cette réaction.
- **Spectre réel** → Il est décalé vers la gauche en raison des **forces électriques coulombiennes** entre la particule  $\beta^-$  et les protons du noyau. Ces forces s'opposant à l'émission de particules  $\beta^-$  de faible énergie.

## Le schéma de la désintégration

Il s'agit d'une représentation graphique regroupant les **principales caractéristiques** d'une désintégration radioactive :

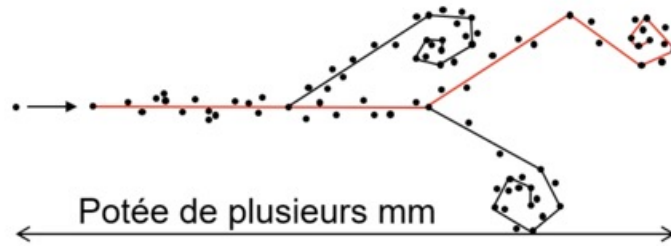
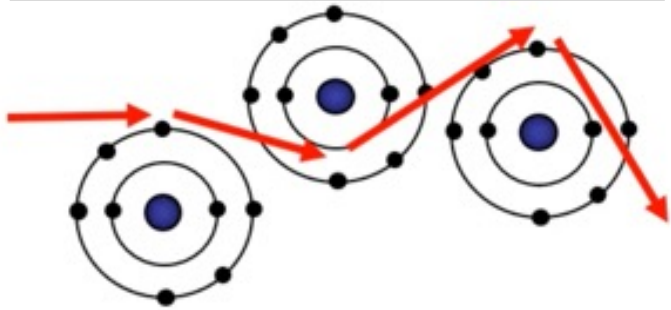
- En ordonnée se trouve la **masse des atomes père et fils** (les segments horizontaux correspondent aux différents **niveaux d'énergies** autorisés pour le noyau)
- En abscisse se trouve le **numéro atomique Z**.



Des flèches sont utilisées pour indiquer les **transitions autorisées** du père et des états possibles du fils. Dans ce cas, il y a une **perte de masse** et une **augmentation du nombre de protons** dans le noyau.

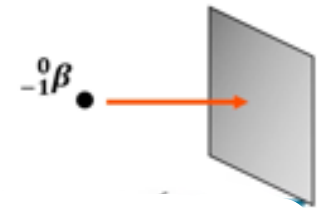
La différence entre les deux segments correspond certes à leur **différence de masse**, mais elle correspond aussi à **l'énergie délivrée** lors de la transformation.

## D - Parcours dans la matière



La **particule  $\beta^-$**  :

- Est chargée **négativement** (puisque c'est un électron)
- Trajectoire **non rectiligne** avec des interactions avec les électrons environnants, parcours « chaotique »
- Profondeur de pénétration courte
- Arrêtés par une fine feuille de **métal**

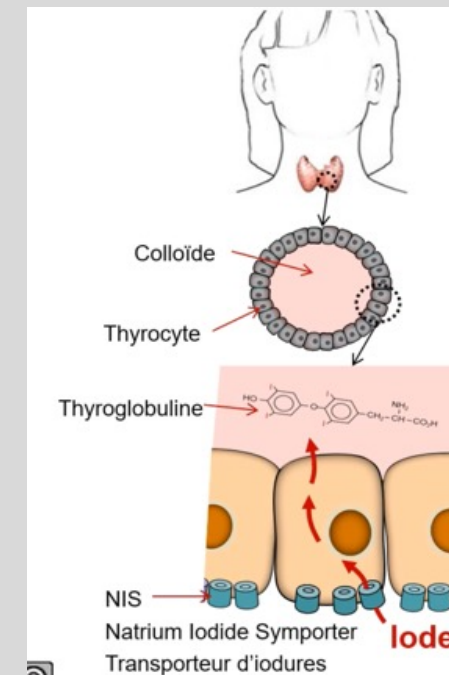
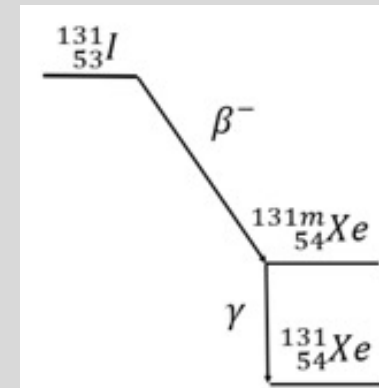


L'**antineutrino** va être très pénétrant, sans interactions avec la matière et indétectable.

## E - Applications biomédicales

Radiothérapie : L'**iode-131** est un **émetteur  $\beta^-$** . Après la désintégration  $\beta^-$ , il se transforme en Xénon-131 métastable puis stable. En médecine, on l'utilise en injection dans le but de **traiter ou guérir le cancer thyroïdien** qu'il soit local ou métastatique. Cette application est appelée la **radiothérapie métabolique**.

La thyroïde est un petit organe à la base du cou synthétisant les hormones thyroïdiennes. Après injection d'iode 131 instable capté par la thyroïde, les émissions  $\beta^-$  vont provoquer des ionisations avec **destruction des cellules thyroïdiennes**, qu'elles soient saines ou cancéreuses



**QCM : L'iode I (53,130) se transforme directement en Xénon Xe (54,130) stable. Indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :**  
**Données : masses atomiques en u :  $M(130, 53) = 129,906674$  ;  $M(130,54) = 129,903508$**

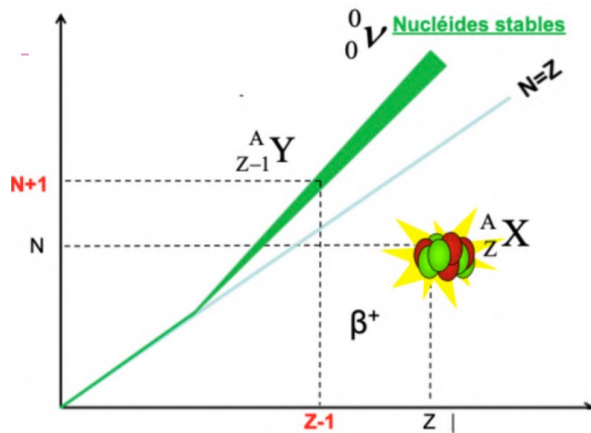
- A) 2,0 MeV
- B) 2,9 MeV
- C) 13,4 MeV
- D) 19,3 MeV
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

**QCM : L'iode I (53,130) se transforme directement en Xénon Xe (54,130) stable. Indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :**  
**Données : masses atomiques en u :  $M(130, 53) = 129,906674$  ;  $M(130,54) = 129,903508$**

- A) 2,0 MeV
- B) 2,9 MeV**
- C) 13,4 MeV
- D) 19,3 MeV
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

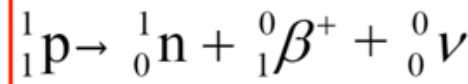
# La transformation $\beta^+$

## A - La réaction de désintégration

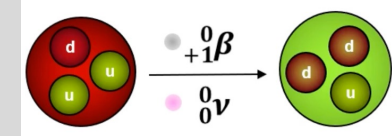
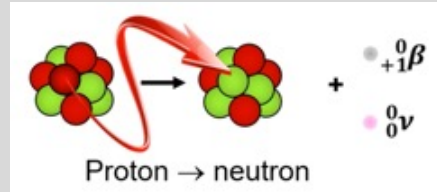
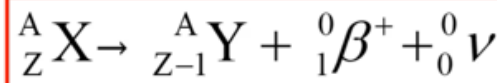


Cette transformation se produit lorsque le noyau père est en excès de protons. Il va alors perdre un **proton** qui se transformera en **neutron**. Cela est rendu possible grâce à l'inversion d'un **quark**.

Dans le noyau  $\rightarrow$



Dans le nucléide  $\rightarrow$



La **particule  $\beta^+$**  correspond à un **électron** avec une **charge positive** créé par la transformation. Le **neutrino** possède les mêmes caractéristiques que l'antineutrino : **une charge nulle, une masse négligeable, d'être pénétrant sans être ionisant et de ne pas être un REM !!**

## B - Le bilan masse-énergie

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

Pour calculer l'énergie disponible :

$$E_d = [\mathcal{M}(A, Z) - \mathcal{M}(A, Z - 1)] \times c^2 - 2m_e \times c^2$$

Afin que la désintégration  $\beta^+$  soit énergétiquement possible, il faut que :

- L'énergie délivrée par la transformation soit **supérieure à 0**

- Après avoir basculé l'équation, on peut alors écrire

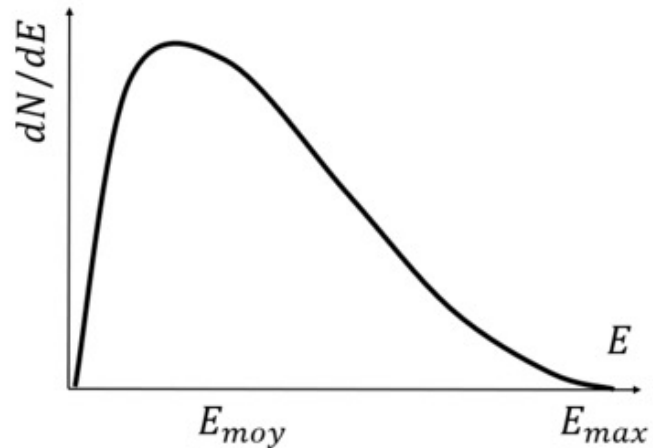
$$[\mathcal{M}(A, Z) - \mathcal{M}(A, Z - 1)] \times c^2 > 2m_e \times c^2$$

- Or, on sait que  $2m_e \times c^2 = 1,022 \text{ MeV}$

Donc pour que la transformation  $\beta^+$  soit possible, l'équivalent en énergie de la différence de masse des atomes père et fils doit être **au moins égal à l'énergie seuil de 1,022MeV**

## C - Spectre et schéma

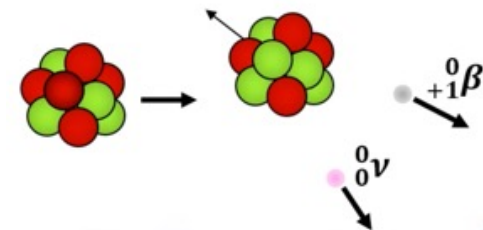
### Le spectre énergétique



L'énergie se partage entre le noyau fils, la particule  $\beta^+$  et le neutrino .

Finalement, l'énergie cinétique se répartit **aléatoirement** entre la particule  $\beta^+$  et l'antineutrino. Seule la particule  $\beta^+$  est détectable, elle est alors à l'origine du **spectre continu** de la transformation

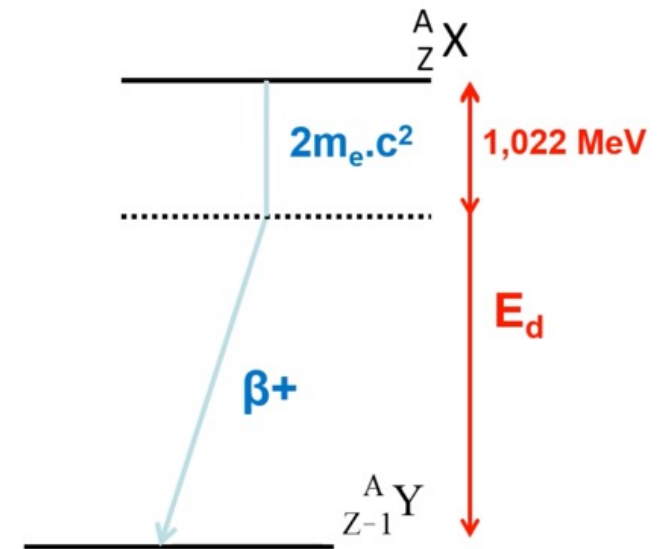
Ici, il n'y a pas de décalage vers la gauche du spectre puisque la particule possède une **charge positive** qui n'est donc pas attirée par le noyau (il en est même repoussé).



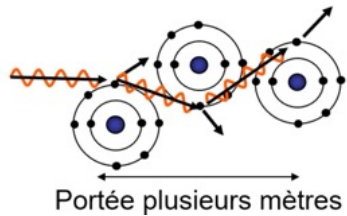
## Le schéma de la désintégration

Il s'agit d'une représentation graphique regroupant les **principales caractéristiques** d'une désintégration radioactive :

- En ordonnée se trouve la masse des atomes père et fils (les segments horizontaux correspondent aux différents **niveaux d'énergies** autorisés pour le noyau)
- En abscisse se trouve le numéro atomique Z.



On peut observer le noyau père X à **Z protons** et le noyau fils Y à **Z-1 protons**. Il y a donc le **gain d'un neutron** et une **perte de masse** du noyau au cours de la transformation. Au niveau des flèches, on fait apparaître le **seuil énergétique** nécessaire à la transformation  $\beta^+$  (ce seuil agit comme une « **taxe en énergie** »).



## D - Parcours dans la matière

La particule  $\beta^+$  :

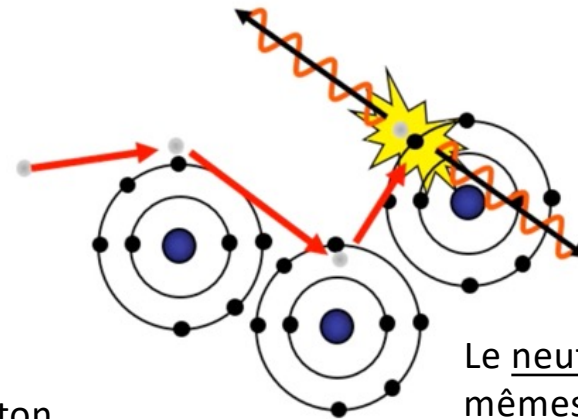
- Est chargée **positivement**
- Trajectoire **non rectiligne** avec des interactions avec les électrons environnants
- Profondeur de pénétration courte
- Interactions avec les électrons environnants jusqu'à épuisement de l'énergie cinétique

Les photons  $\gamma$  :

- D'origine **indirectement nucléaire**
- Interactions non obligatoires avec la matière.
- Atténués par une couche importante de plomb ou de béton.

Une fois arrêté, le positon ne s'arrête pas là et cherche **immédiatement** à s'appareiller à un électron libre dans une réaction nommée **l'annihilation**. Cette réaction est la **conversion de l'énergie** :

masse  $\rightarrow$  énergie lumineuse avec l'émission de **deux photons  $\gamma$  de 511 keV.**



Le neutrino possède les mêmes caractéristiques que l'antineutrino.

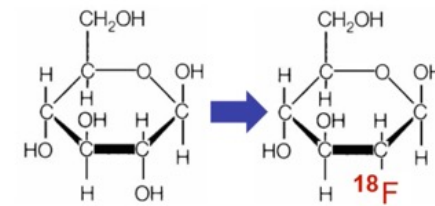
# E - Applications biomédicales

## Cancérologie :

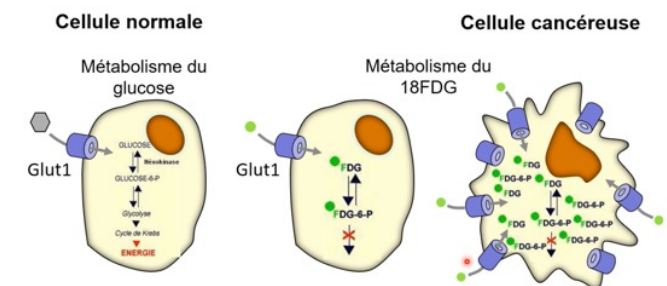
Le Fluor, radioactif, va pouvoir être greffé par une liaison covalente à une molécule de glucose, nous permettant d'obtenir le  $^{18}\text{F}$ Fluoro-déoxy-glucose ( $^{18}\text{FDG}$ ), et qui va avoir comme particularité d'être radioactif.

En raison de leur prolifération accrue, les **cellules tumorales** hyper consomment du glucose : c'est **l'effet Warburg**. Le glucose radioactif s'accumule dans les cellules tumorales et, par **émission  $\beta^+$** , il y a **émission secondaire de photons  $\gamma$** .

Ces photons sont ensuite détectés par une technique d'imagerie, la **tomographie par émission de positons**.



Le glucose  $\rightarrow$  Le  $^{18}\text{F}$ FDG



**QCM : Le  $Y78$  se transforme en  $Sr78$ . Indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) : 39 38**

**Données : masses atomiques en u :  $M(78,39) = 77,94361$  et  $M(78,38) = 77,93218$**

- A) Il existe un seuil énergétique à cette réaction
- B) Il peut se produire une transformation radioactive  $\beta^+$
- C) Il y a l'émission d'un antineutrino
- D) Il peut y avoir une émission de photon de 511keV
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

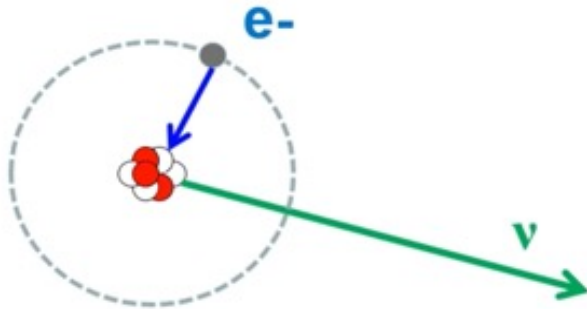
**QCM : Le  $Y_{78}$  se transforme en  $Sr_{78}$ . Indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) : 39 38**

**Données : masses atomiques en u :  $M(78,39) = 77,94361$  et  $M(78,38) = 77,93218$**

- A) Il existe un seuil énergétique à cette réaction**
- B) Il peut se produire une transformation radioactive  $\beta^+$**
- C) Il y a l'émission d'un antineutrino
- D) Il peut y avoir une émission de photon de 511keV**
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

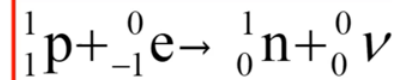
# La capture électronique

## A - La réaction de désintégration

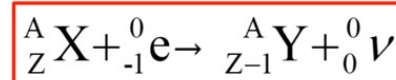


Cette transformation se produit lorsque le noyau père est en excès de protons (comme la transformation  $\beta^+$ ). Cela consiste en la **capture d'un électron** d'une couche électronique profonde par le noyau. Cet **électron se combine à un proton** pour donner un **neutron**.

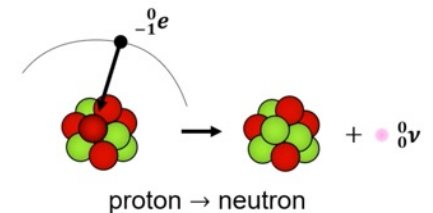
Dans le noyau  $\rightarrow$



Dans le nucléide  $\rightarrow$



Une seule particule est émise : le **neutrino** ayant une charge nulle et une masse considérée comme négligeable. Il s'agit alors d'une désintégration très discrète.



## B - Le bilan masse-énergie

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

Pour que la réaction ait lieu, elle exige une **énergie seuil** qui correspond à l'énergie de liaison ( $E_L$ ) de l'électron capturé (donc il faut que  $\Delta M > E_L$ ).

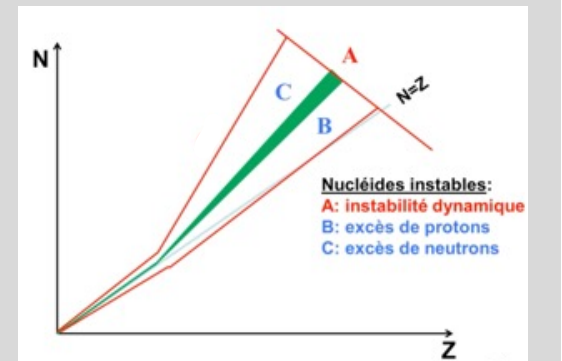
Pour calculer l'énergie disponible :

$$E_d = [\mathcal{M}(A, Z) - \mathcal{M}(A, Z - 1)] \times c^2 - E_L$$

Energie de liaison de l'e- capturé

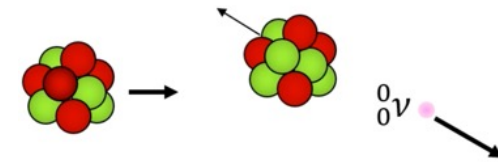
Au final, pour les noyaux INSTABLES dans la zone B (en excès de protons), il y a deux possibilités pour redevenir stable :

- Au dessous de  $\Delta M = 1,022 \text{ MeV}$  → **capture électronique**
  - Au dessus de  $\Delta M = 1,022 \text{ MeV}$  → **concurrence**



## C - Spectre et schéma

### Le spectre énergétique

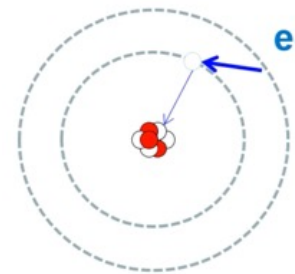


L'énergie disponible se partage entre le noyau fils et le neutrino .

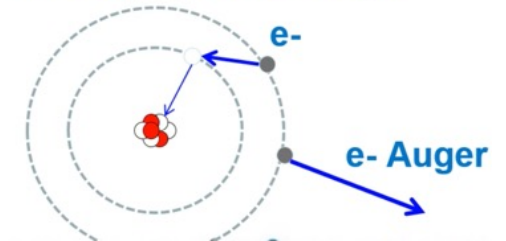
Finalement, toute l'énergie cinétique est emportée par le neutrino. Cette particule n'est pas délectable, il n'y a alors pas de **spectre réel** de la transformation.

Il existe cependant un **spectre indirect** lié au **réarrangement électronique secondaire** du cortège de l'atome.

Emission d'un photon X



Emission d'un e- Auger

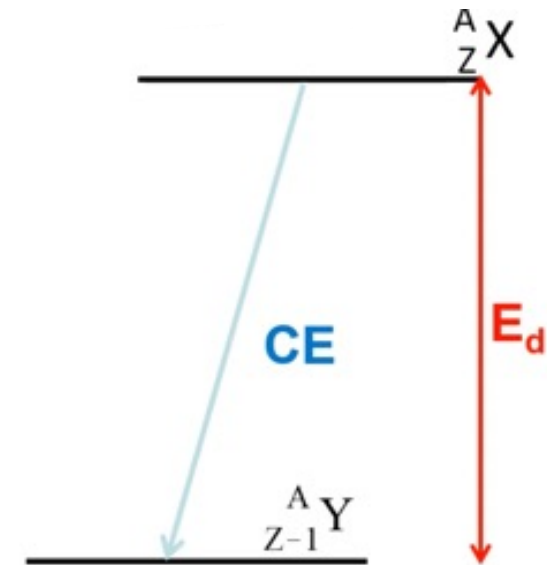


Le spectre en énergie détecté sera alors un spectre de **raies électromagnétique** (photons X) ou **électronique** (électrons Auger) avec des valeurs précises qui seront définies par les couches d'où proviennent les électrons. L'origine des spectres est atomique.

## Le schéma de la désintégration

Il s'agit d'une représentation graphique regroupant les **principales caractéristiques** d'une désintégration radioactive :

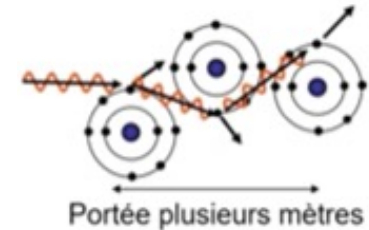
- En ordonnée se trouve la masse des atomes père et fils (les segments horizontaux correspondent aux différents **niveaux d'énergies** autorisés pour le noyau)
- En abscisse se trouve le numéro atomique Z.



Le nucléide Y est dans son état fondamental

Suite à une CE, X devient Y **si l'énergie seuil est atteinte**, avec une diminution de nombre de protons et libération d'énergie emportée par le neutrino uniquement. Le seuil correspondant à l'énergie de liaison de l'électron capturé n'est pas schématisé car faible comparée à **l'énergie délivrée mais n'est PAS NÉGLIGEABLE.**

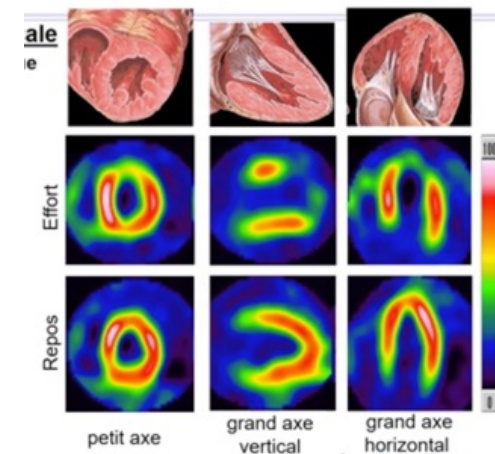
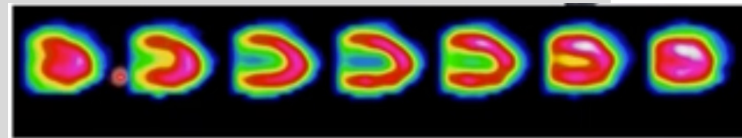
## D - Parcours dans la matière



Les **photons** émis indirectement vont interagir via **effets photo-électrique et effet Compton** sur une portée de plusieurs mètres en raison de leurs interactions non obligatoires. Les photons sont atténués par du **plomb ou du béton**.

Le neutrino (comme l'antineutrino) est indétectable et n'a pas d'interaction avec la matière.

## E - Applications biomédicales



### Imagerie :

Le **Thallium 201** se désintègre en **Mercure 201** via une capture électronique. Cette désintégration va pouvoir être utilisée en imagerie au travers de **scintigraphies cardiaques**. Le Thallium va venir se fixer de manière intense au niveau du myocarde **en fonction du débit sanguin coronaire**.

Les zones les plus perfusées sont marquées par une émission indirecte de **photons de fluorescence du Mercure** et donc de déduire celles qui le sont le moins, traduisant une ischémie myocardique.



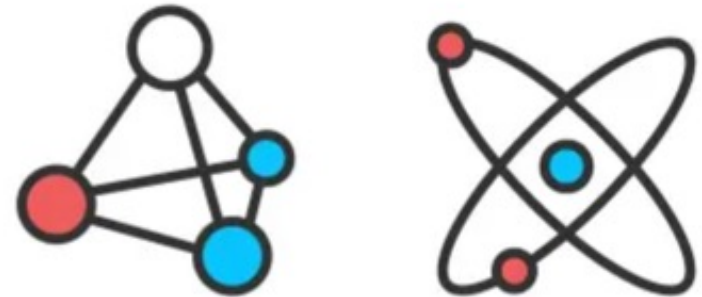
**QCM : L'Iode I (53,130) se transforme directement en Xénon Xe (54,130) stable. Indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :**  
**Données : masses atomiques en u :  $M(130, 53) = 129,906674$  ;  $M(130,54) = 129,903508$  ; Masse d'un électron =  $0,5 \cdot 10^{-3}$**

- A) Il peut se produire une  $\beta^+$
- B) Il peut se produire une  $\beta^-$
- C) Il peut se produire une capture électronique
- D) Il peut se produire une émission de photon gamma
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

**QCM : L'Iode I (53,130) se transforme directement en Xénon Xe (54,130) stable. Indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :**  
**Données : masses atomiques en u :  $M(130, 53) = 129,906674$  ;  $M(130,54) = 129,903508$  ; Masse d'un électron =  $0,5 \cdot 10^{-3}$**

- A) Il peut se produire une  $\beta^+$
- B) Il peut se produire une  $\beta^-$**
- C) Il peut se produire une capture électronique
- D) Il peut se produire une émission de photon gamma
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

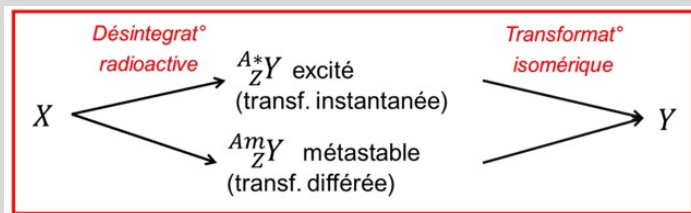
### III - Les transformations isomériques



# Les différentes formes isomériques d'un même radionucléide

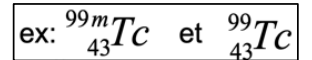
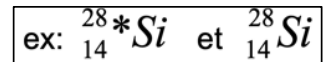
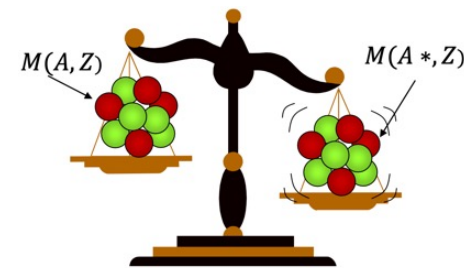
## Définition

Des isomères sont des nucléides avec un **même nombre Z et A** mais sous différents états qui correspondent à **différents niveaux d'énergie**.



On distingue 3 états isomériques différents :

- L'état **fondamental**  $^A X$
- L'état **excité**  $^{A*} X$  avec un retour **quasiment instantané** ( $\approx 10^{-12} \text{s}$ ).
- L'état **métastable**  $^{A^m} X$  avec un retour avec une **période radioactive dépassant les  $10^{-12} \text{s}$**

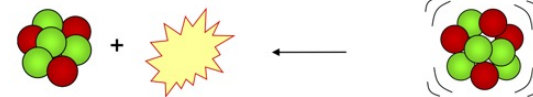


### État fondamental

- Stabilité maximale
- Masse minimale
- Niveau d'E minimal

### état excité et métastable

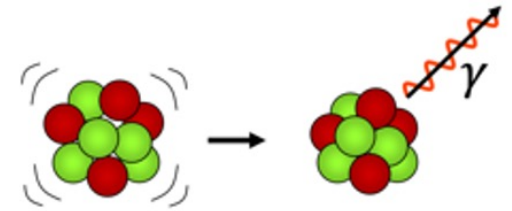
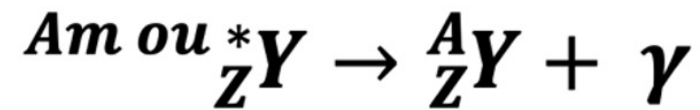
- Instable
- Masse ↑
- Niveau d'E est ↑



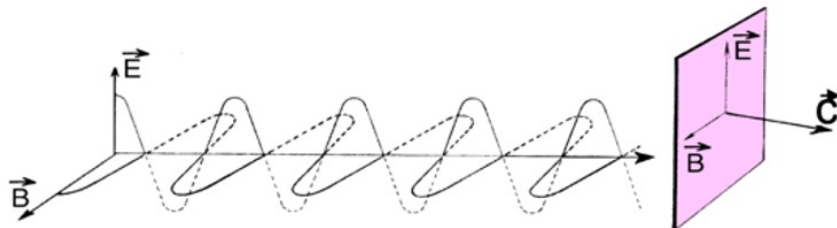
La transformation porte sur le **niveau d'énergie** des nucléons :  
L'excès d'énergie est libéré grâce à l'émission d'un photon gamma ou un phénomène de conversion interne.

# La radioactivité gamma

## A - La réaction de désexcitation



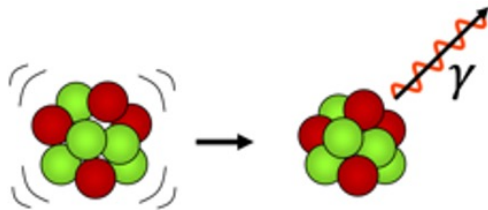
Un noyau fils Y dans un état excité ou métastable va donner par désexcitation un fils Y dans un état fondamental avec l'émission d'un **photon gamma**.



Rayons X -> origine cortège  
photons gamma -> origine nucléaire

## B - Le bilan masse-énergie

Le rayon gamma n'apparaît pas car il n'a pas de masse.



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

Pour calculer l'énergie disponible :

$$E_d = \Delta M \times c^2 \quad \text{avec } E \text{ en } J ; M \text{ en kg et } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$
$$E_d = \Delta M \times 931.5 \quad \text{Avec } E \text{ en MeV ; } M \text{ en u}$$

## C - Spectre et schéma

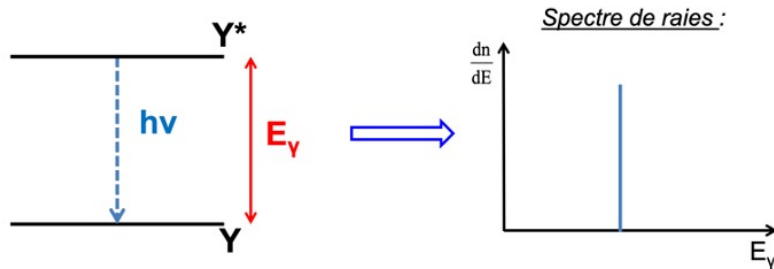
### Le spectre énergétique

L'énergie disponible est entièrement emportée par le **photon gamma**, d'où le spectre électromagnétique de raie(s) d'origine nucléaire.

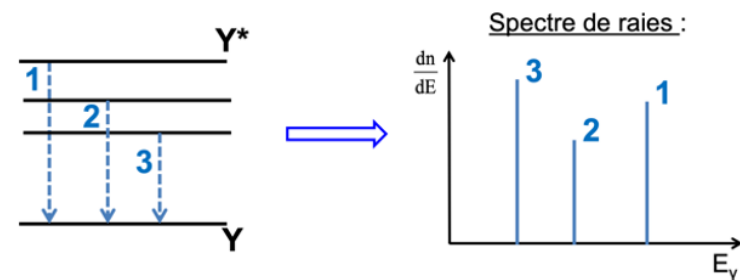
$$E_\gamma = E_d = \Delta M \times 931.5$$

(l'énergie de recul du noyau est négligeable)

Ici le photon gamma ne peut prendre **qu'un seul niveau** énergétique possible. Ce photon pourra être observé sur un spectre de raie(s) avec une **raie unique**.

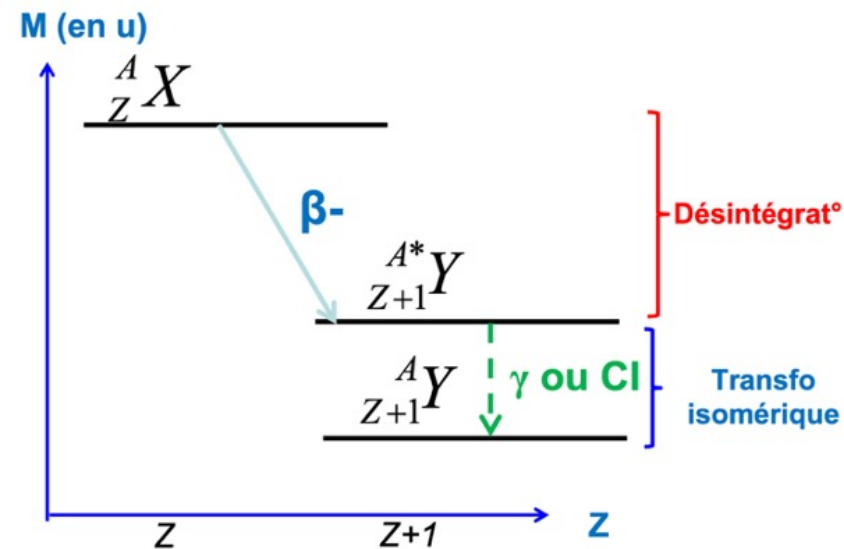


Le plus souvent, il y a **plusieurs niveaux** **énergétiques** possibles et donc **plusieurs gamma possibles**.



## Le schéma de la désintégration

On remarque que la masse de Y dans son état **fondamental** est **minimale**.



Le nucléide Y peut être dans un état **excité** ( ${}^{A*}Y$ ) ou **métastable** ( ${}^{Am}Y$ )

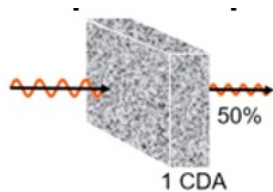
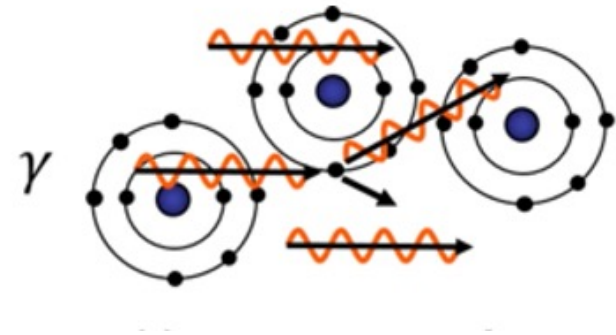
Élimination de l'énergie en excès par émission d'un photon ou par conversion interne.

Les transformations isomériques font **TOUJOURS** suite à une première transformation radioactive.

## D - Parcours dans la matière

Les photons gamma ont/sont :

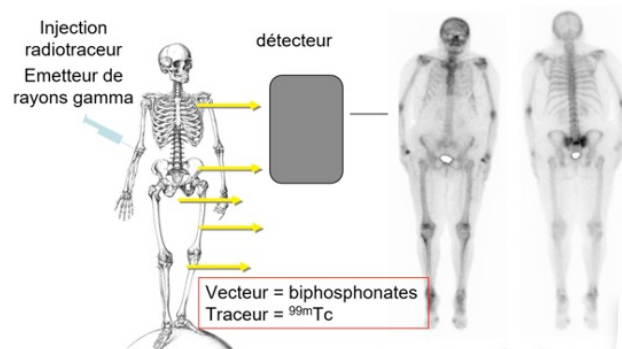
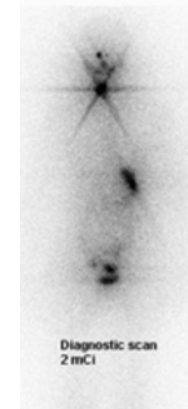
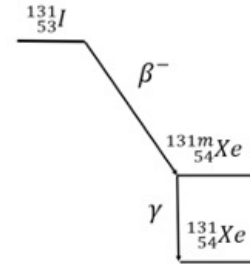
- Interactions **non obligatoires** (car non chargées)
- Rayonnements **très pénétrants**
- Provoquent des **ionisations** par collision avec des électrons
- Atténués par du plomb ou du béton



# E - Applications biomédicales

## L'iode 131 :

Après transformation de l'iode 131 en Xénon métastable, dans le **thyroïde** notamment, retourne à l'état fondamental par **émission gamma**. Ces derniers détectés permettent d'observer les fixations de l'iode dans le corps : vérification **cancer** de la thyroïde (fixation pathologique intense).



## Le Technétium 99 métastable :

Il est utilisé dans des imageries de **scintigraphies** afin de former des traceurs radioactifs pour **visualiser** des voies biologiques.

(ex : couplé au biphosphonates, on peut visualiser le remodelage osseux avec une forte affinité ostéoblastique)

**QCM : A propos des transformations isomériques, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :**

- A) Un atome dans un état métastable retourne toujours à l'état fondamental quasi instantanément
- B) Un atome dans un état excité peut retourner à l'état fondamental en plusieurs heures
- C) Des isomères sont des nucléides avec le même  $A$  et le même  $Z$  mais sous différents états correspondant à différents niveaux d'énergie du noyau.
- D) Il existe 3 types de transformations isomériques
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

**QCM : A propos des transformations isomériques, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :**

A) Un atome dans un état métastable retourne toujours à l'état fondamental quasi instantanément

B) Un atome dans un état excité peut retourner à l'état fondamental en plusieurs heures

**C) Des isomères sont des nucléides avec le même A et le même Z mais sous différents états correspondant à différents niveaux d'énergie du noyau.**

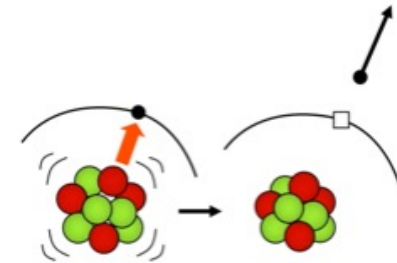
D) Il existe 3 types de transformations isomériques

E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

# La conversion interne

## A - La réaction de désexcitation

k



Un noyau fils Y dans un état excité ou métastable va donner par désexcitation un fils Y dans un état fondamental grâce à une **conversion interne**. La particularité de cette désexcitation est que **l'énergie disponible** va être transmise à un **électron** contenu dans le cortège électronique.



Une case vacante est laissée et l'atome subira un **réarrangement** de son cortège électronique par photons X ou électrons Auger.

## B - Le bilan masse-énergie

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

$M$  = masse des noyaux  
 $\mathcal{M}$  = masse des atomes

Pour calculer l'énergie disponible :

$$E_d = \Delta M \times 931.5$$

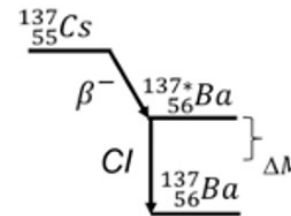
Afin de calculer l'énergie cinétique de l'électron expulsé :

$$E_d = \Delta M \times 931.5$$
$$E_c(\text{électron}) = E_d - E_l$$

Energie rendue disponible par la réaction

Energie de liaison

## C - Le spectre énergétique



Il y a une **absence** de spectre d'origine **nucléaire** mais il possède un spectre d'origine **atomique** :

- **Direct** avec un spectre **électronique de raie(s)**
- **Indirect** lié au **réarrangement secondaire du cortège**, soit électromagnétique de raie(s) (photon X) ou électronique de raie(s) (électron Auger)

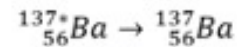
$$\Delta M = 660 \text{ keV}$$

$$E_{K(56Ba)} = -37,4 \text{ keV}; \quad E_{L(56Ba)} = -5,6 \text{ keV}$$

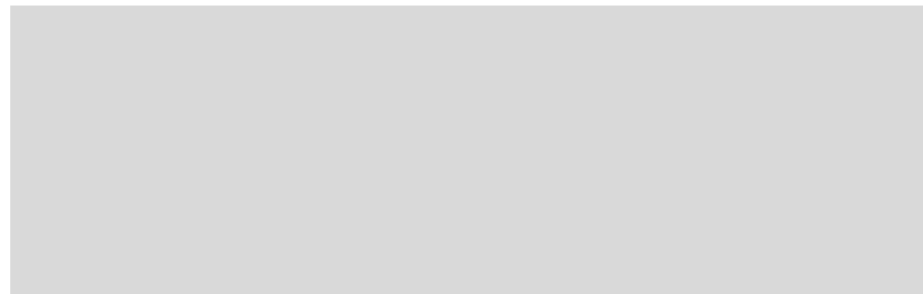
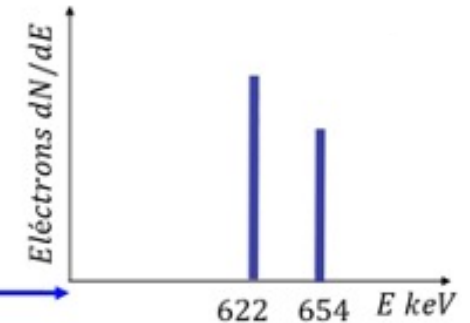
$$E_c(e_K) = 660 - 37,4 = 622,6 \text{ keV}$$

$$E_c(e_L) = 660 - 5,6 = 654,4 \text{ keV}$$

- **Spectre électronique de raie** par réarrangements atomiques



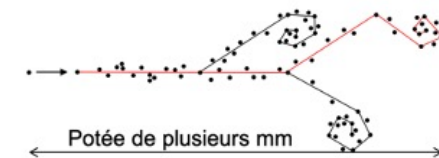
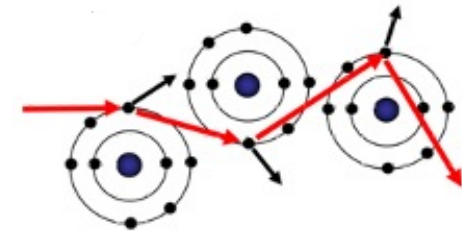
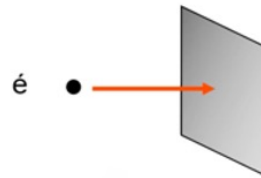
électrons de Cl



## D - Parcours dans la matière

Le parcours dans la matière de l'électron éjecté du cortège électronique par la conversion interne  $\alpha$ /est :

- Les mêmes effets biologiques qu'une **émission  $\beta$ -**
- **Ionisations** par interaction avec des électrons : parcours **non rectiligne** et **sinueux**
- Pénétration de quelques mm dans les tissus
- Arrêtés par une feuille de métal



**QCM : A propos des transformations radioactives isomériques, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :**

- A) Il peut y avoir un retour à l'état fondamental par émission d'un antineutrino et de béta –
- B) Il peut y avoir un retour à l'état fondamental par émission d'un photon gamma
- C) Ces photons gamma sont non chargés, atténués par de grandes épaisseurs de plomb et sont très pénétrants
- D) Il peut y avoir un retour à l'état fondamental par capture électronique qui est de l'énergie qui va être transmise à un électron du cortège qui sera ionisé
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

**QCM : A propos des transformations radioactives isomériques, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :**

A) Il peut y avoir un retour à l'état fondamental par émission d'un antineutrino et de béta –

**A) Il peut y avoir un retour à l'état fondamental par émission d'un photon gamma**

**C) Ces photons gamma sont non chargés, atténués par de grandes épaisseurs de plomb et sont très peu pénétrants**

D) Il peut y avoir un retour à l'état fondamental par capture électronique qui est de l'énergie qui va être transmise à un électron du cortège qui sera ionisé

E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

Merci et courage à tous !!