

Les transformations radioactives

UE3a - Biophysique





Plan

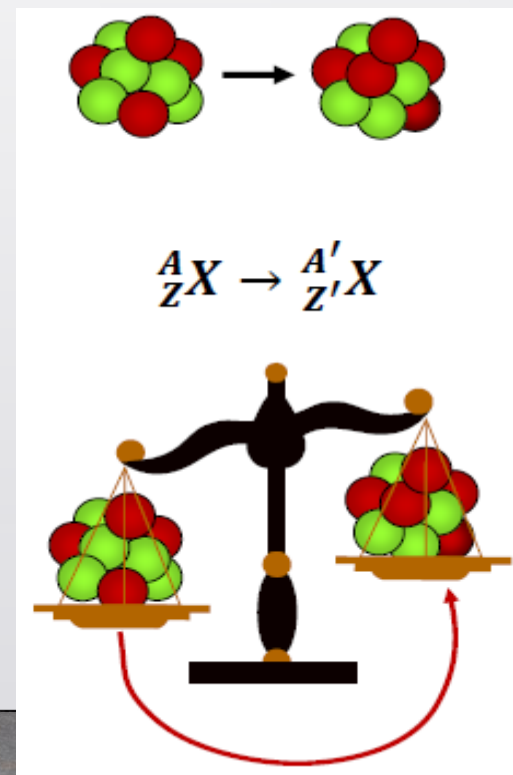
- I. Généralités
- II. Radioactivité alpha (α)
- III. Diagramme de désintégration
- IV. Transformations isobariques
- V. Transformations isomériques
- VI. Exemple : spectre électronique complet
- VII. Notion de famille radioactive

I. Généralités



A. Définition

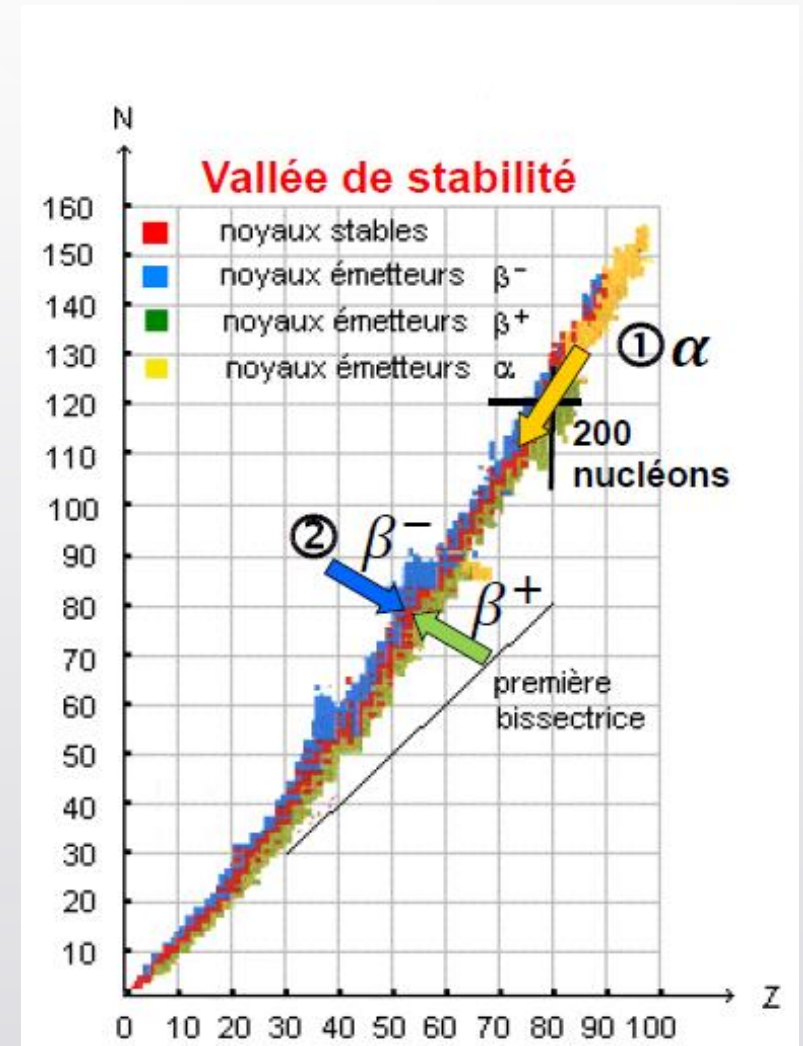
- Transformation radioactive = désintégration **spontanée** d'un noyau père **instable**
- **Perte** de masse
- Noyaux radioactifs : naturels (**51**) ou artificiels



B. Classification

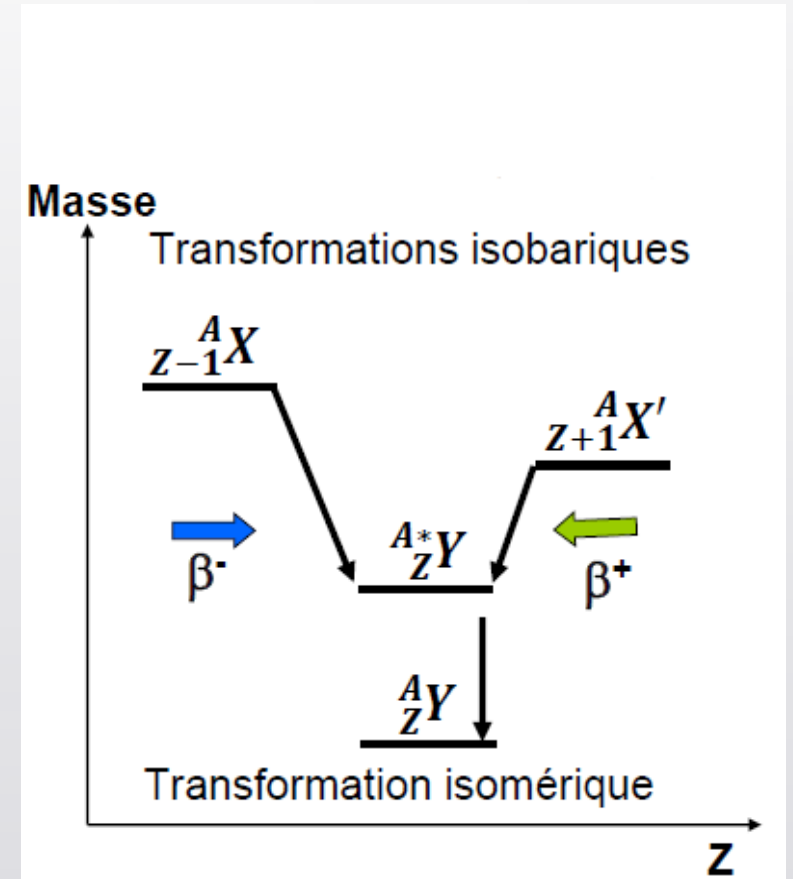
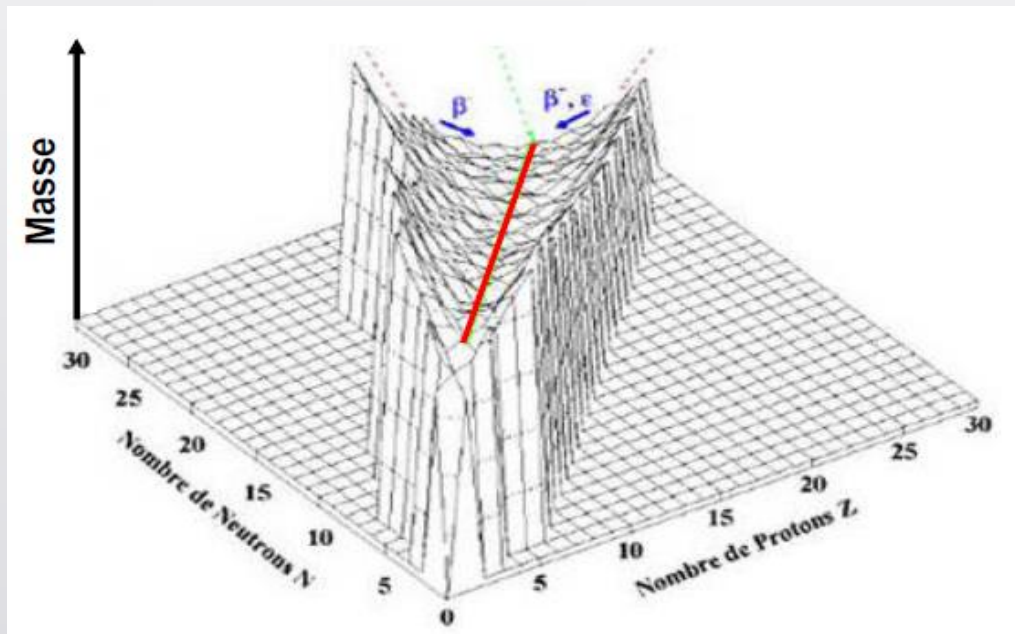
3 types de transformations radioactives :

- Émission α (si $A > 200$ nucléons)
- Transformations **isobariques**, avec $A = \text{constant}$
- Transformations **isomériques**



C. Évolution vers une masse inférieure

- Diminution masse \rightarrow stabilité maximale du noyau
- Cf **vallée de stabilité**



D. Lois de conservation (+++)

Conservation de :

- A et Z
- Énergie totale
- Quantité de mouvement ($p = mv$)

/!\ ATTENTION : La masse totale ne se conserve **pas** (+++)



Plan

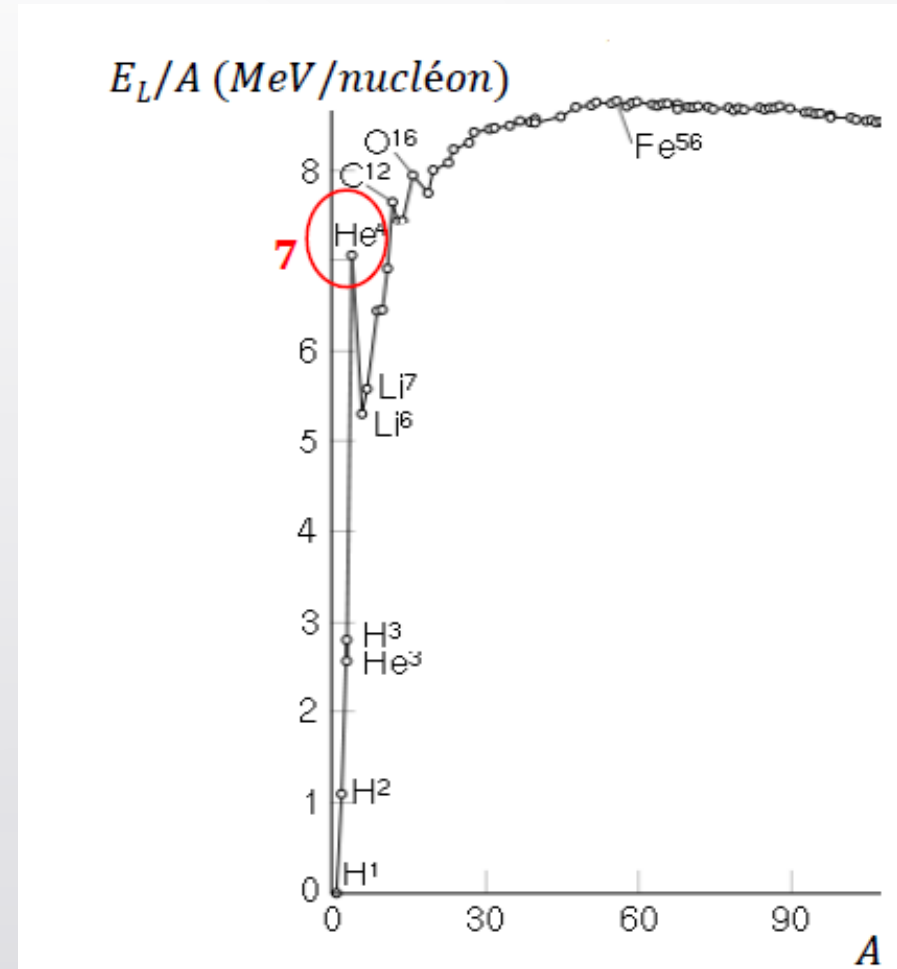
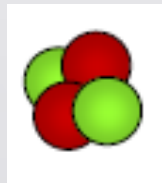
- I. Généralités
- II. Radioactivité alpha (α)
- III. Diagramme de désintégration
- IV. Transformations isobariques
- V. Transformations isomériques
- VI. Exemple : spectre électronique complet
- VII. Notion de famille radioactive

II. Radioactivité alpha (α)

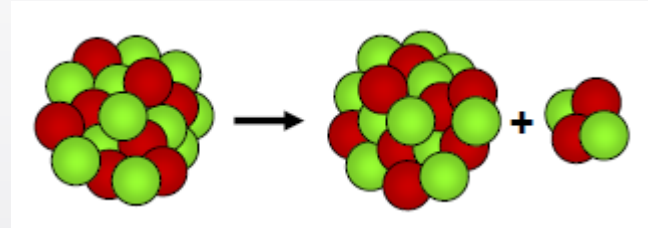
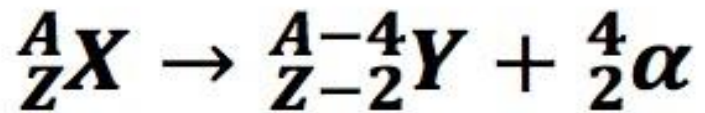


1. Généralités

- $A > 200$ nucléons
- Particule α = noyau **d'hélium**
→ $E_L/A = 7 \text{ MeV / nucléon}$.



2. Réaction de désintégration (+++)



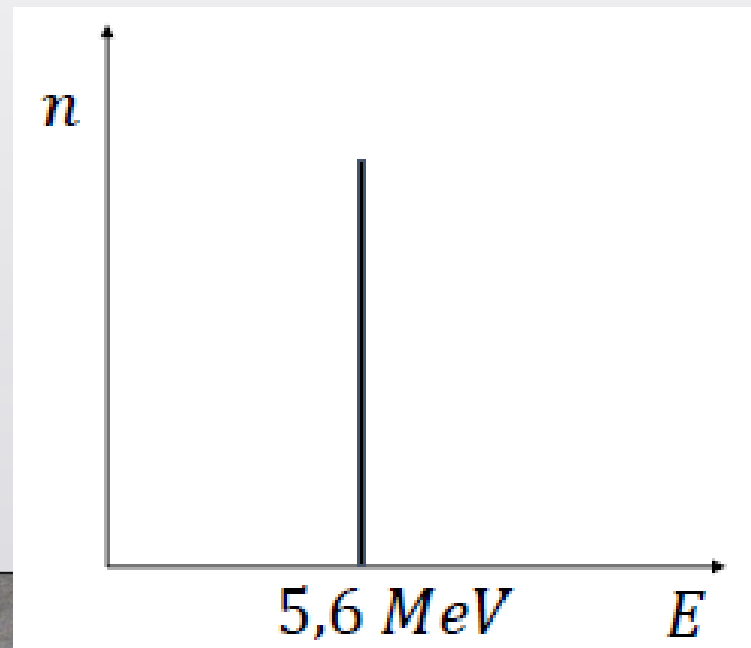
3. Bilan masse-énergie (++)

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

$$E_d [\text{MeV}] = 931,5 \times \Delta M [\text{u}]$$

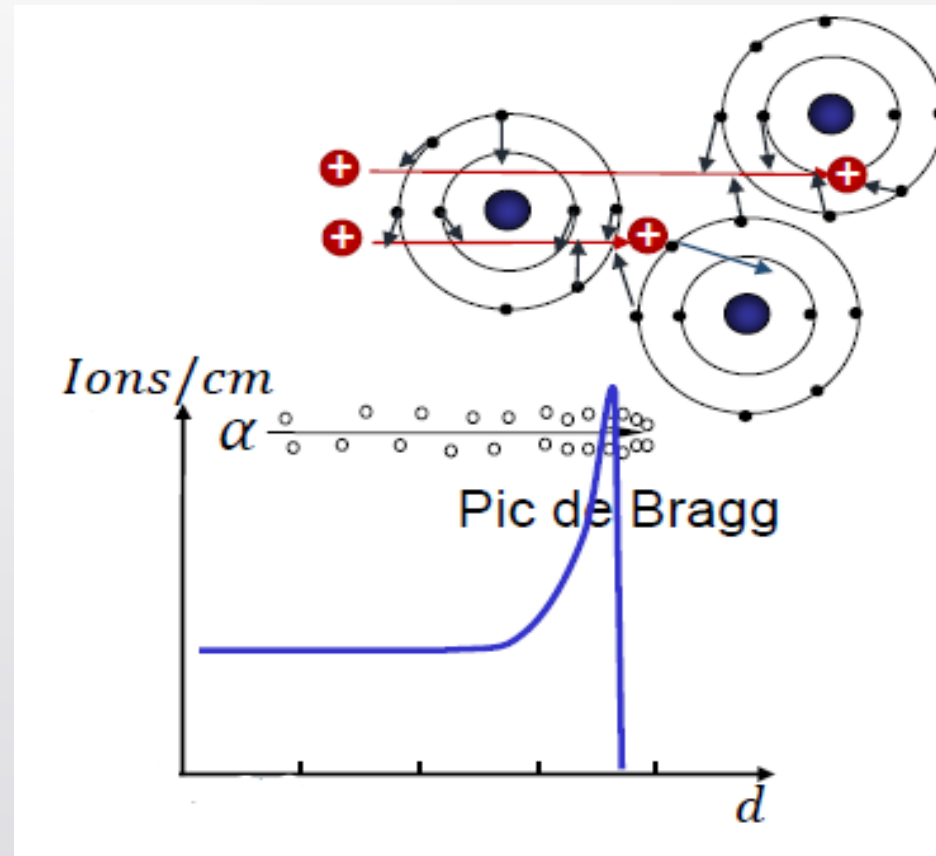
4. Spectre énergétique

- E_d libérée sous forme d' E_c .
- Particule α emporte presque toute l'énergie \rightarrow spectre de **raie**
- Noyau Y : E_c de recul = négligeable



5. Parcours dans la matière

- Trajectoire **rectiligne**
- Effets biologiques importants
- **Pic de Bragg**
- Interactions **obligatoires** avec la matière



6. Applications biomédicales

- Radioprotection : - en source externe → aucun danger
- si exposition interne → effet radiobiologique important
(cf Radon-222)
- Radiothérapie métabolique : cf l'Actinium-225 → traitement cancer prostate.



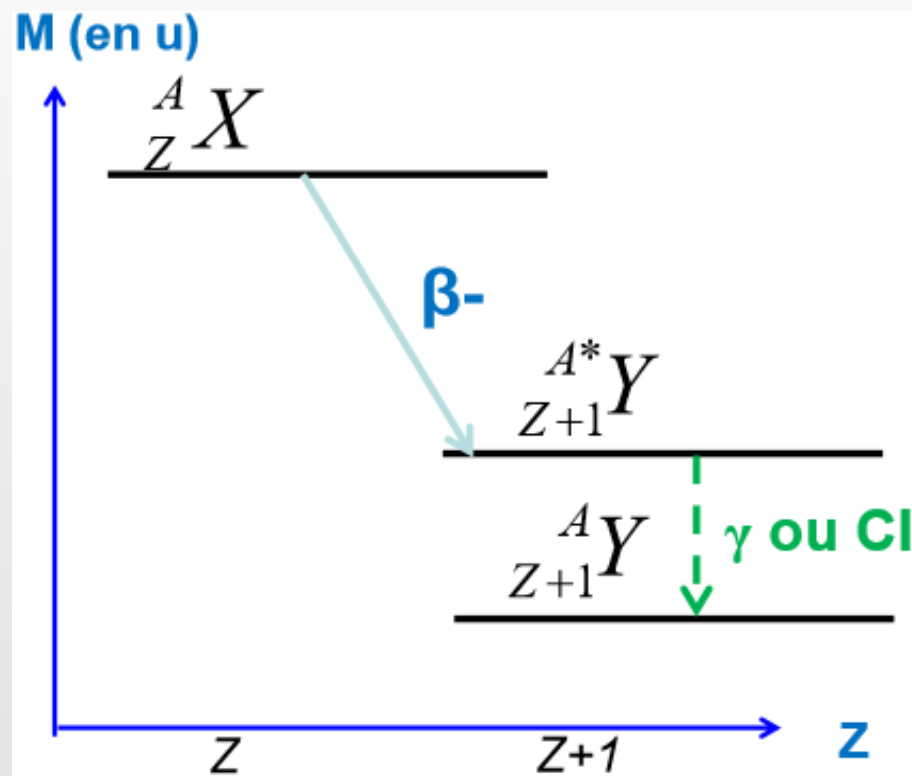


Plan

- I. Généralités
- II. Radioactivité alpha (α)
- III. Diagramme de désintégration
- IV. Transformations isobariques
- V. Transformations isomériques
- VI. Exemple : spectre électronique complet
- VII. Notion de famille radioactive

III. Diagramme de désintégration





— Désintégrat°

— Transfo isomérique



Plan

- I. Généralités
- II. Radioactivité alpha (α)
- III. Diagramme de désintégration
- IV. Transformations isobariques
- V. Transformations isomériques
- VI. Exemple : spectre électronique complet
- VII. Notion de famille radioactive

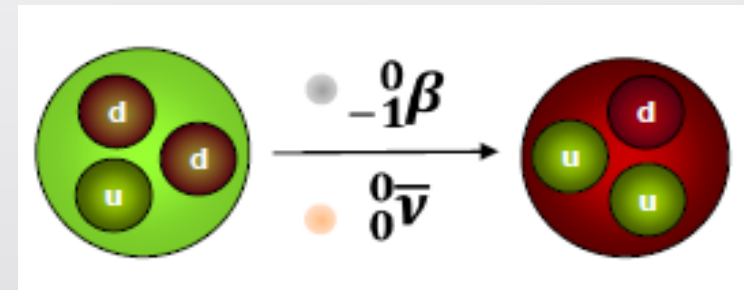
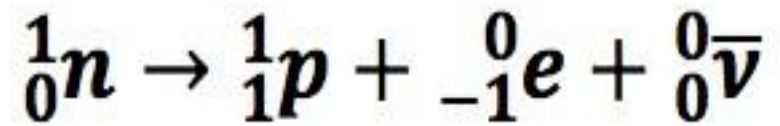
IV. Transformations isobariques



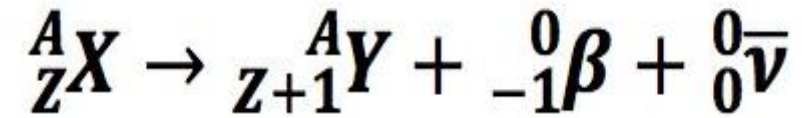
A. La désintégration β^-

1. Généralités

- Noyaux avec **excès de neutrons** : $1 n \rightarrow 1 p$



2. Réaction de désintégration (+++)



- $\bar{\nu}$ = antineutrino

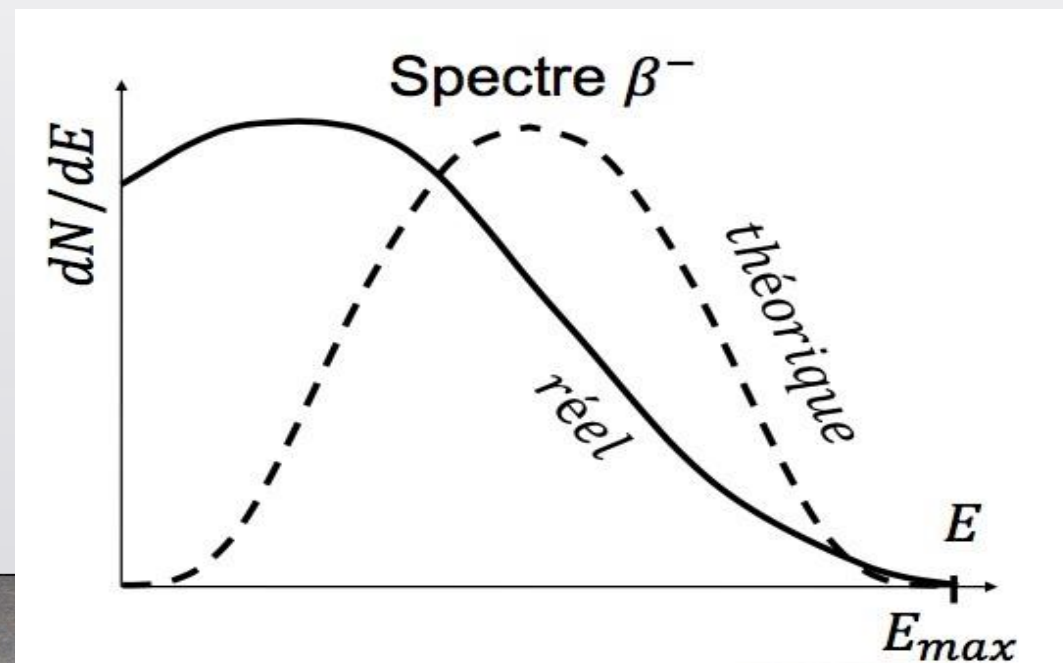
3. Bilan masse- énergie (+++)

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

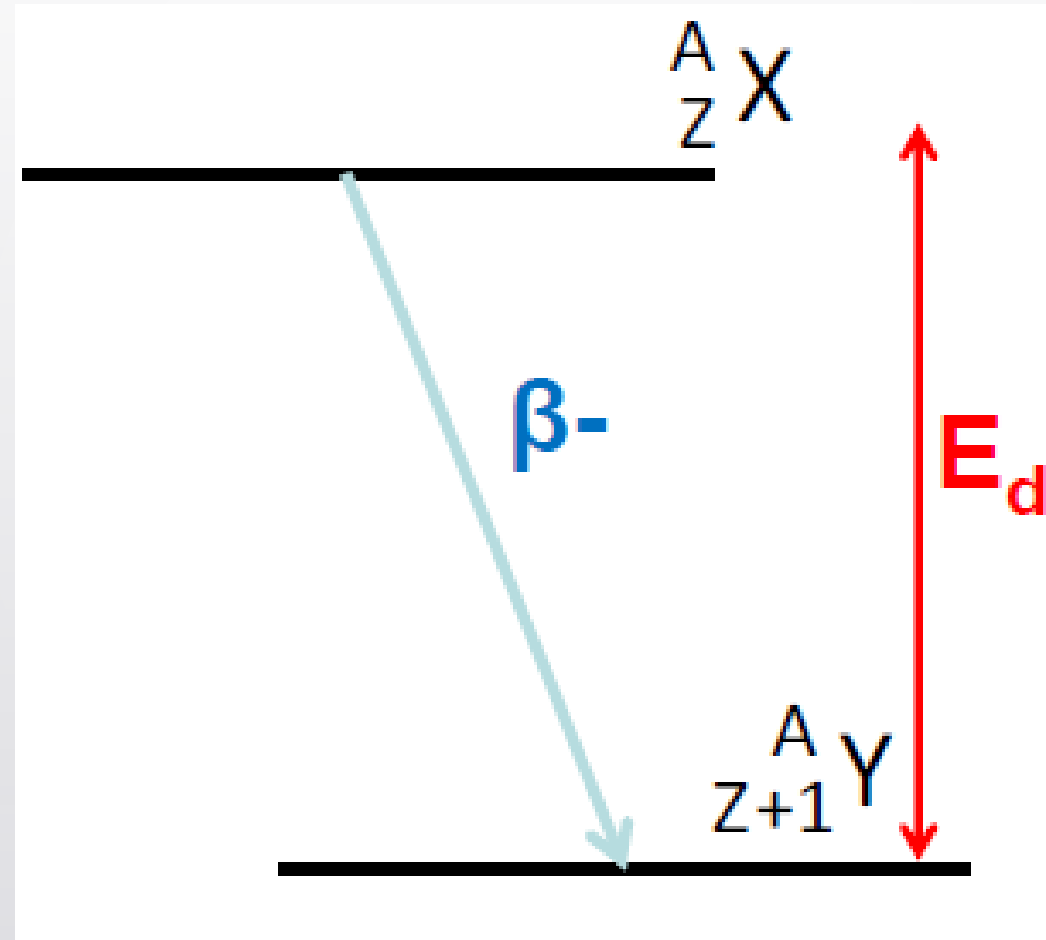
$$E_d [\text{MeV}] = 931,5 \times \Delta M [\text{u}] > 0$$

4. Spectre énergétique

- Spectre continu, avec $E_{\max} = E_d$ (++)
- Seul β^- est détectable
- Attraction coulombienne \rightarrow spectre réel décalé vers la gauche

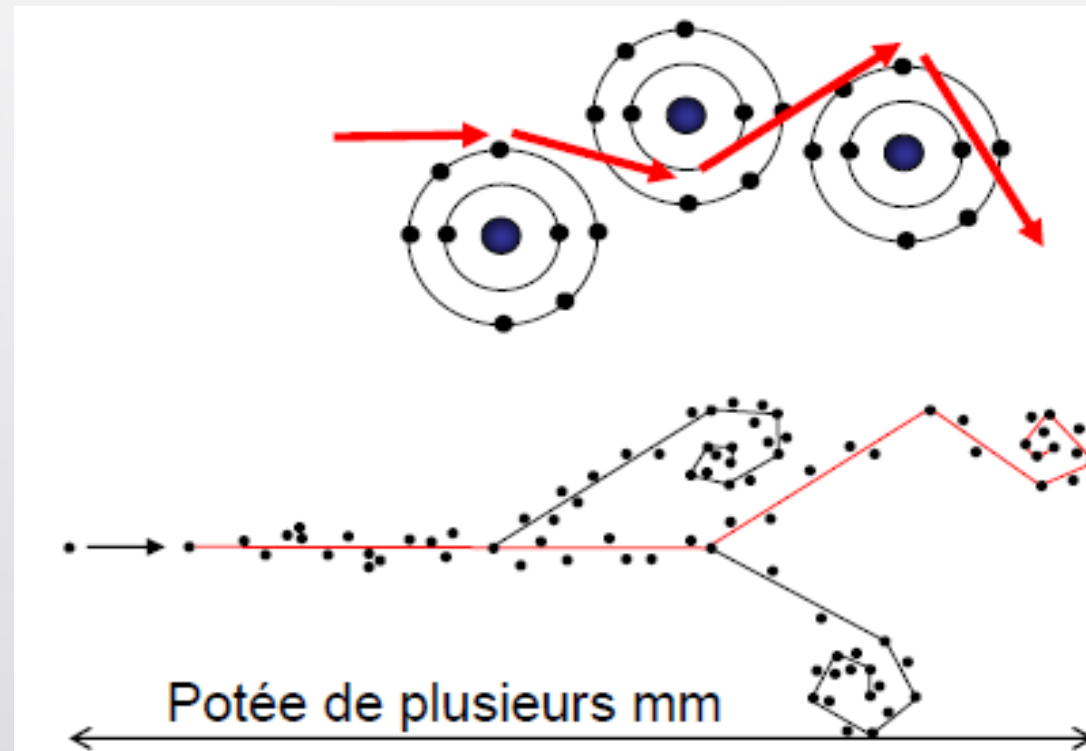


5. Schéma de désintégration



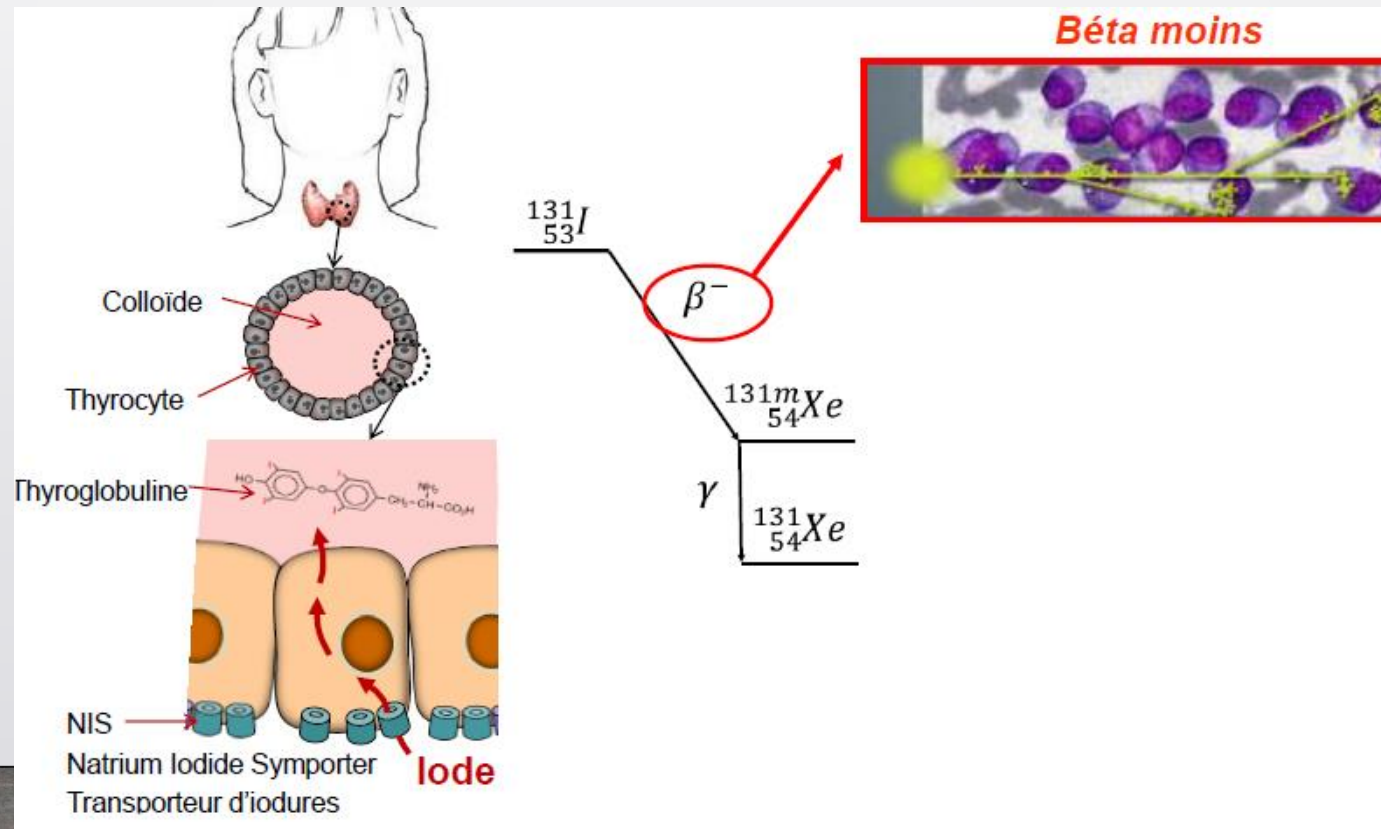
6. Parcours dans la matière

- Parcours **court** et **non rectiligne**



7. Applications biomédicales

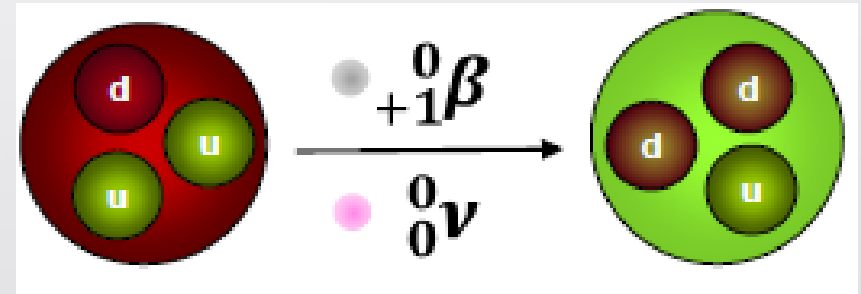
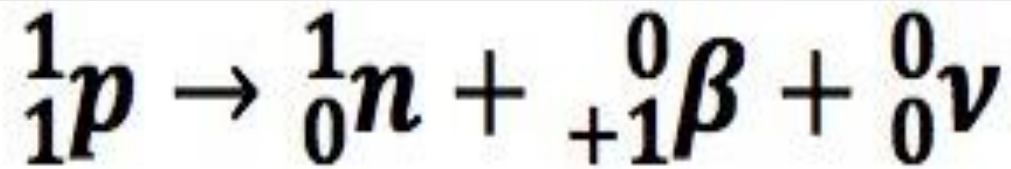
- **Iode 131** → traitement cancer thyroïdien = radiothérapie métabolique



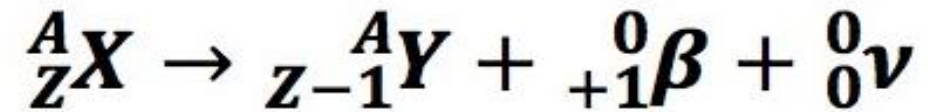
B. La désintégration β^+

1. Généralités

- Noyaux avec **excès de protons** : $1 p \rightarrow 1 n$



2. Réaction de désintégration



- ν = neutrino

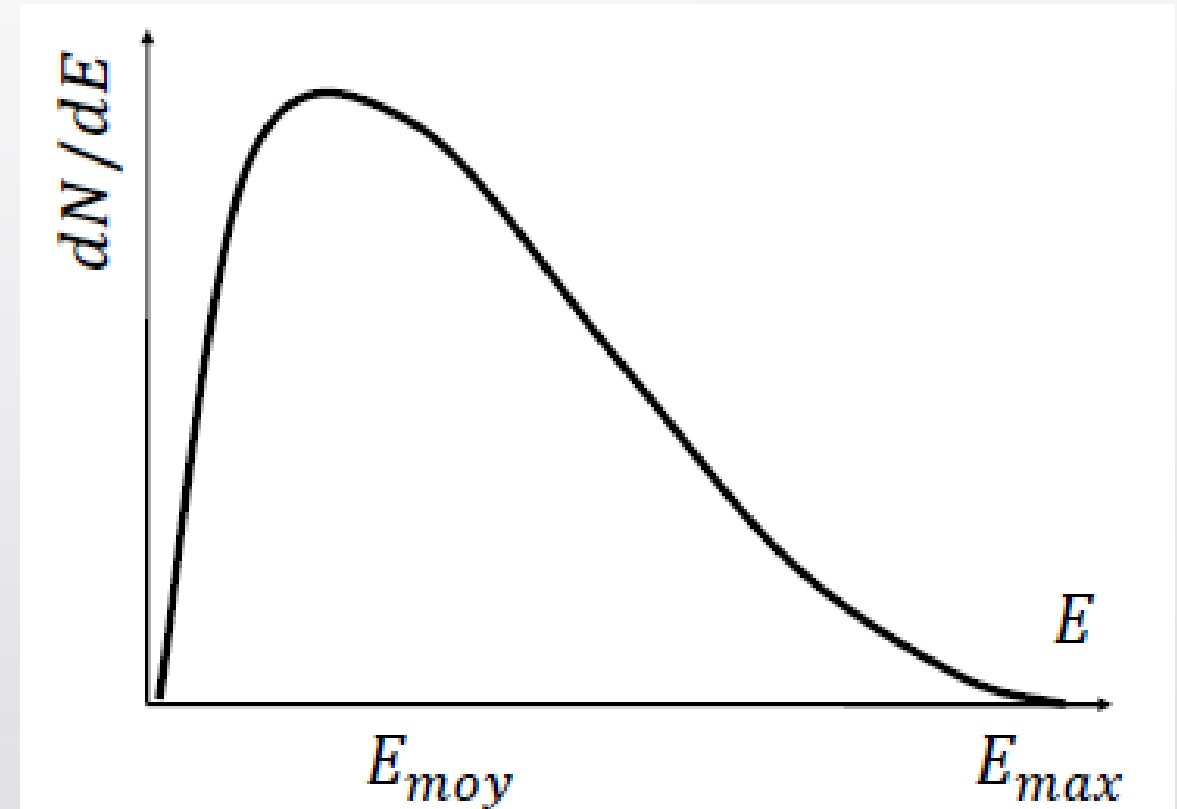
3. Bilan masse-énergie

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

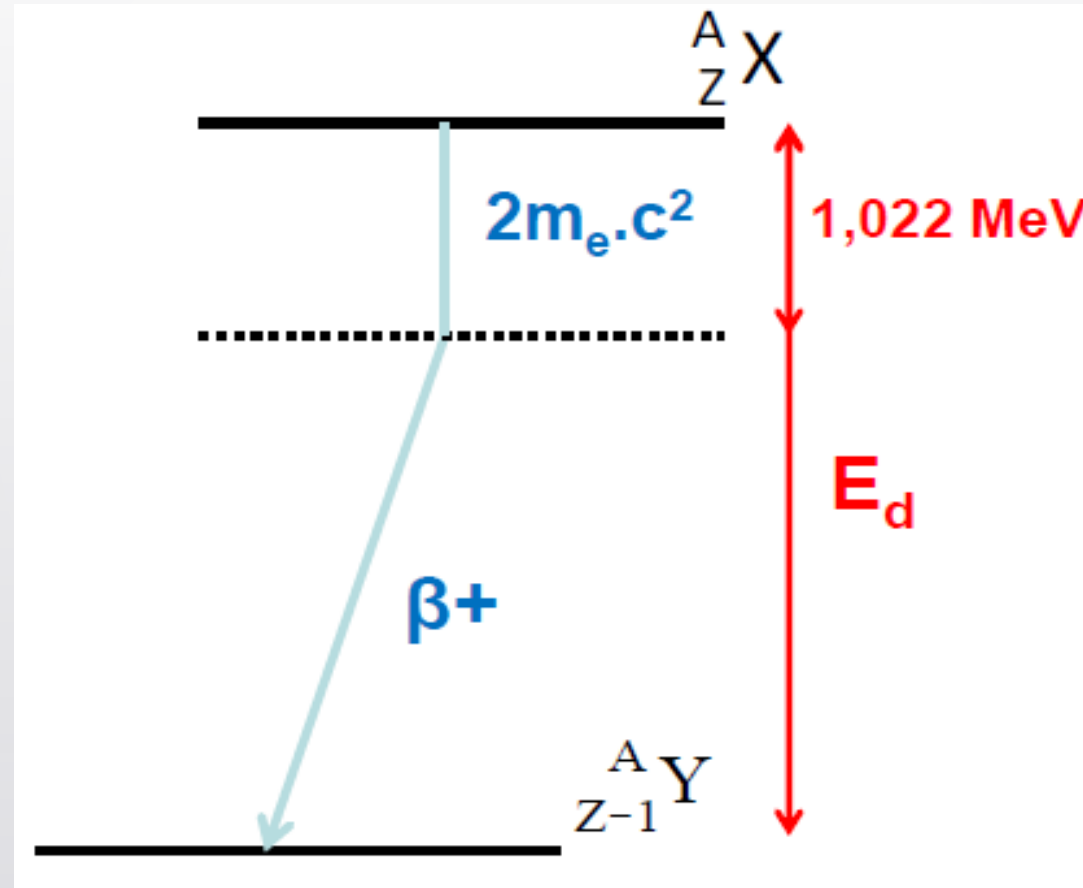
- $2m_e = 0,0011 u$
- Seuil énergétique : **1,022 MeV** (QCM +++)

4. Spectre énergétique

- Spectre continu, avec $E_{\max} = E_d$
- Seul β^+ est détectable

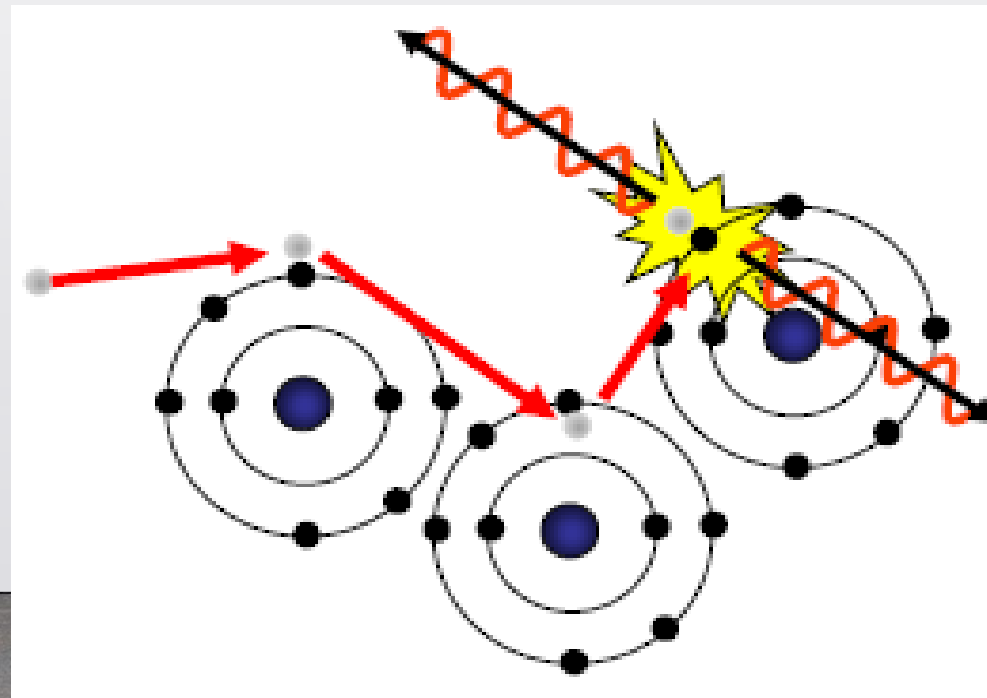


5. Schéma de désintégration



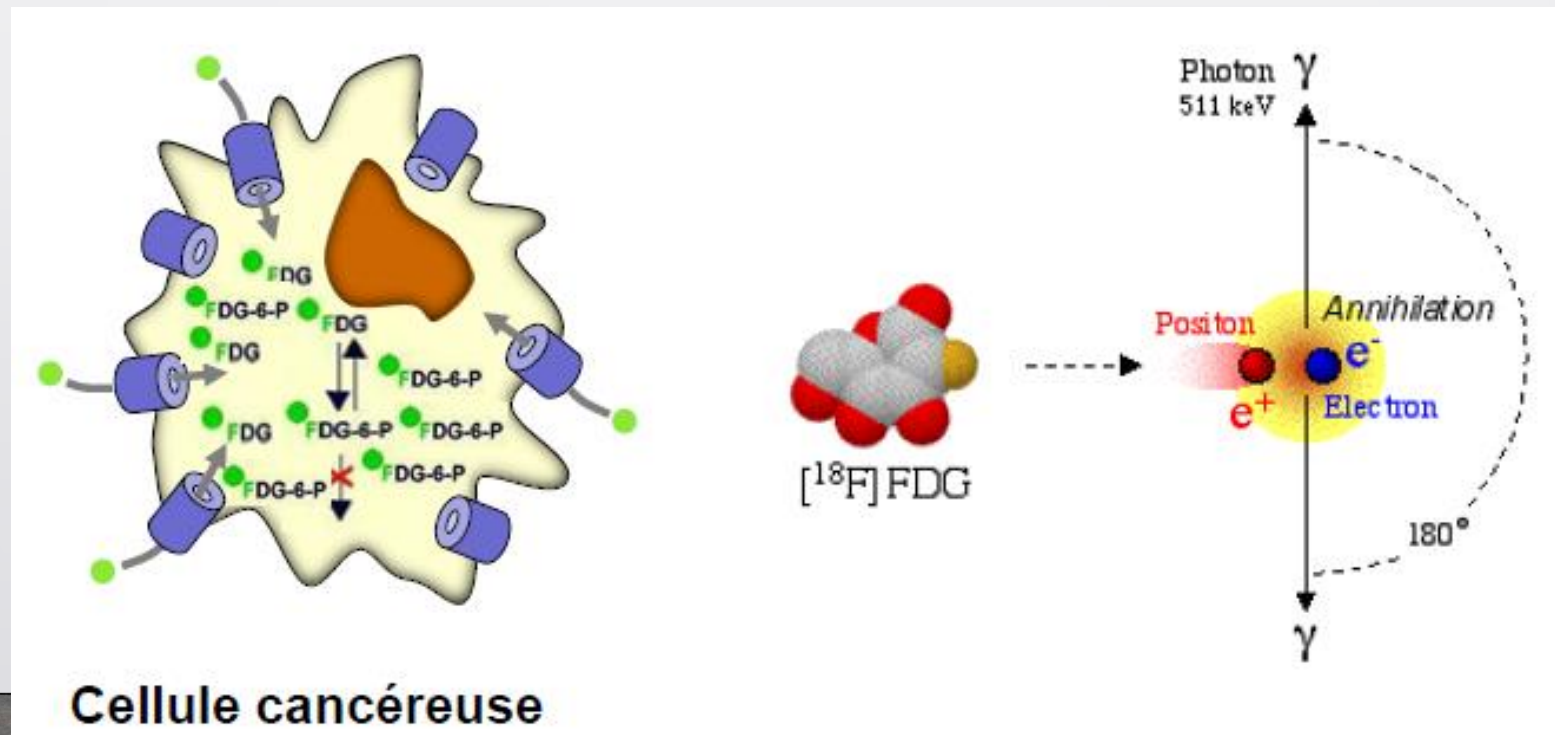
6. Parcours dans la matière

- Ionisations (par collision avec les e^-)
- **Annihilation** avec un e^- libre \rightarrow 2 photons γ de **511 keV**
- Photons γ : interactions non-obligatoires avec la matière



7. Applications biomédicales

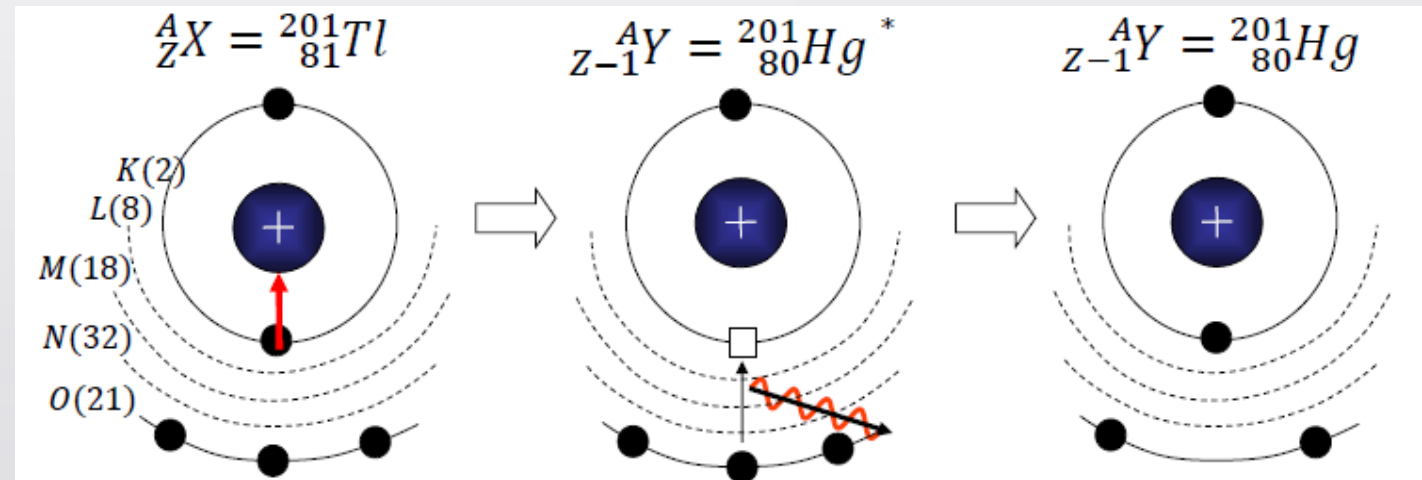
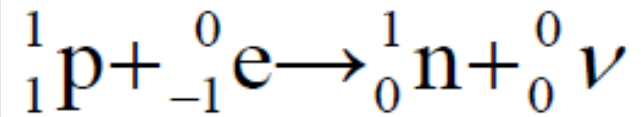
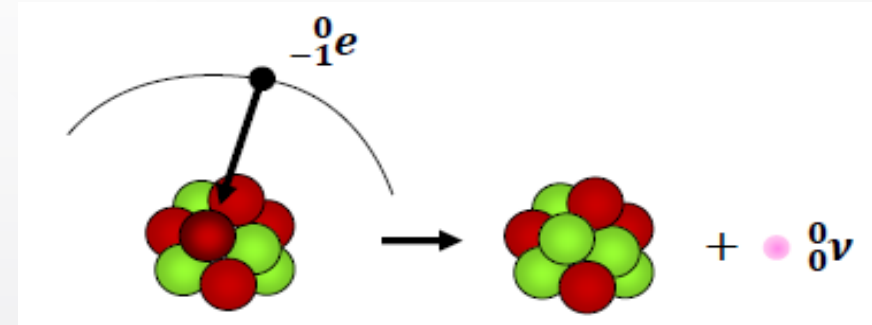
- Radiothérapie : **FDG** (Fluoro-Deoxy-Glucose) → détection cellules cancéreuses (TEP)



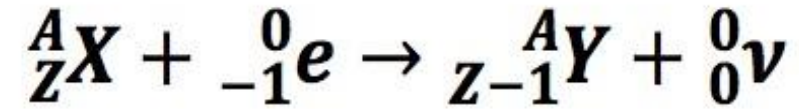
C. Capture électronique

1. Généralités

- Noyaux avec **excès de protons** → capture d'un e^- du cortège électronique (souvent sur couche K)



2. Réaction de désintégration



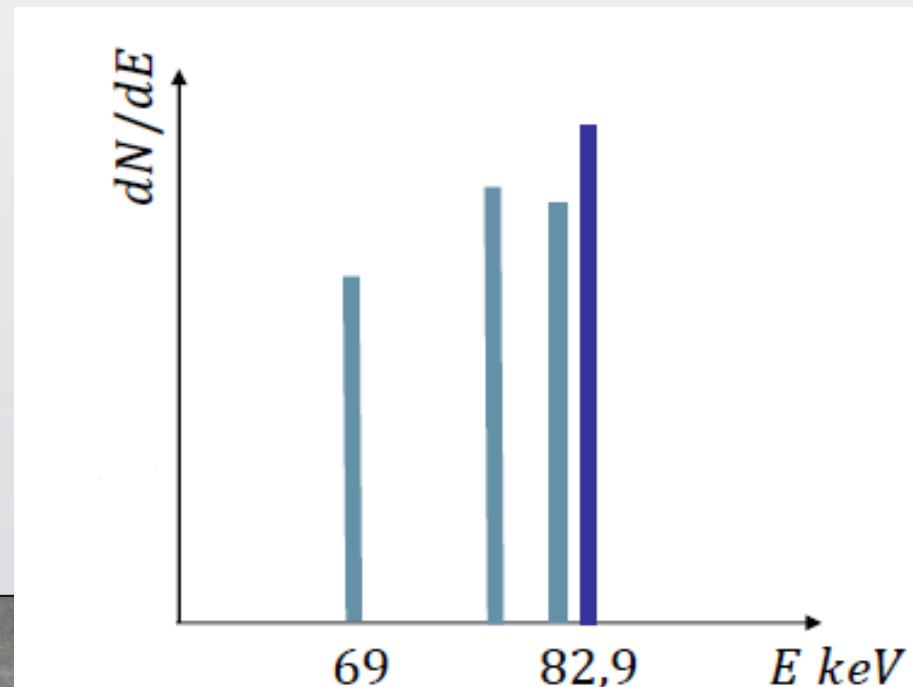
3. Bilan masse-énergie

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

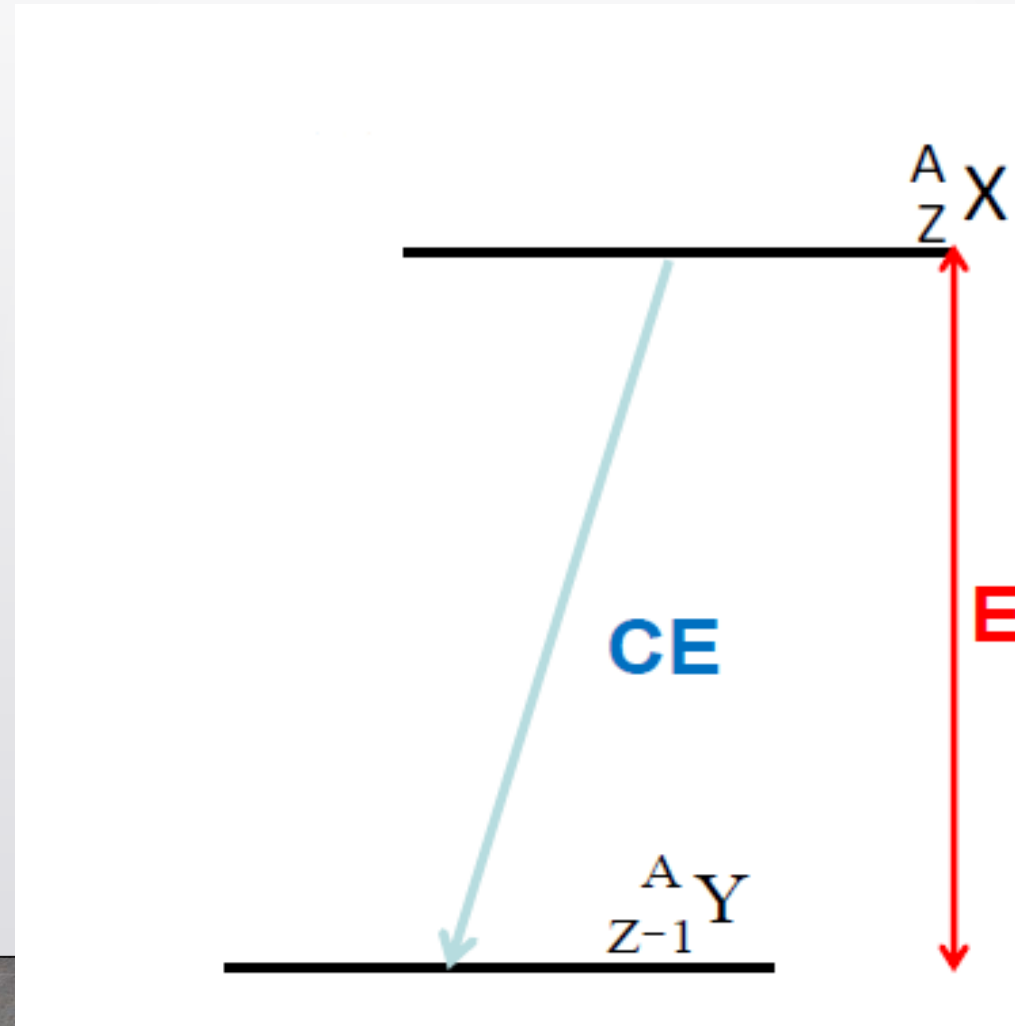
$$E_d [\text{MeV}] = 931,5 \times \Delta M [\text{u}] - E_L$$

4. Spectre énergétique

- **Pas** de spectre d'origine nucléaire (+++)
- Spectre de **raies** d'origine **atomique** → réarrangements du noyau fils (+++): électromagnétique et électronique



5. Schéma de désintégration



6. Parcours dans la matière

- Neutrino = indétectable
- Photons de fluorescence : atténuation par des interactions **non-obligatoires**

7. Applications biomédicales

- **Scintigraphie cardiaque** au Thallium-201



D. Compétition CE et β^+ (QCM +++)

Noyaux instables avec excès de protons

- $E_d < 1,022 \text{ MeV}$ (ou $\Delta M < 2m_e$) → **CE seulement**
- $E_d > 1,022 \text{ MeV}$ (ou $\Delta M > 2m_e$) → **CE ou β^+**



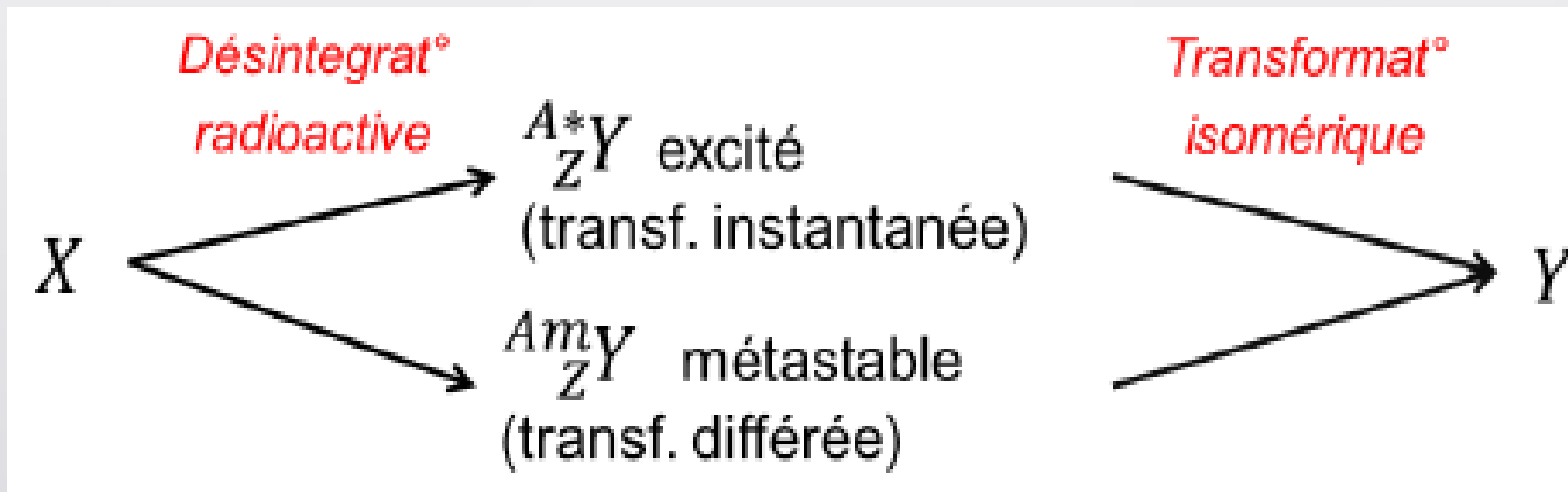
Plan

- I. Généralités
- II. Radioactivité alpha (α)
- III. Diagramme de désintégration
- IV. Transformations isobariques
- V. Transformations isomériques
- VI. Exemple : spectre électronique complet
- VII. Notion de famille radioactive

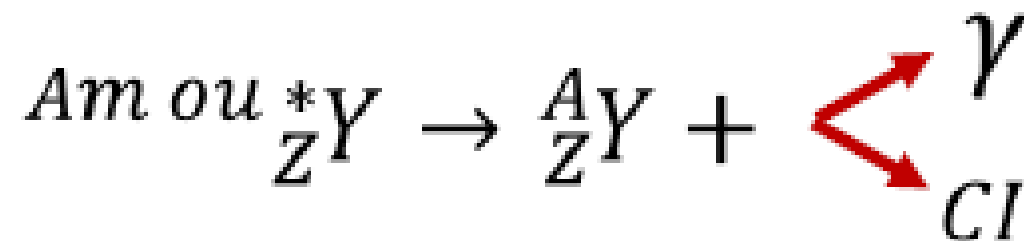
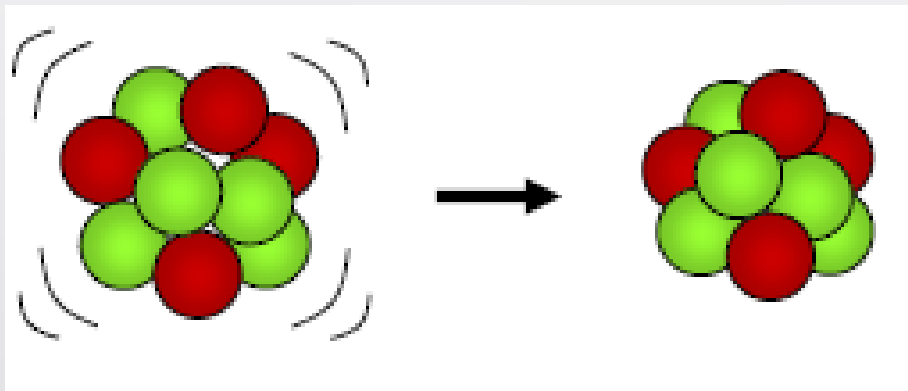
V. Transformations isomériques



- **Isomères** → même A et même Z, mais ≠ niveaux d'énergie :
 - état **fondamental** A_ZX → stabilité maximale
 - état **excité** ${}^{A*}_ZX$ → noyau très instable
 - état **métastable** ${}^{Am}_ZX$ → noyau instable



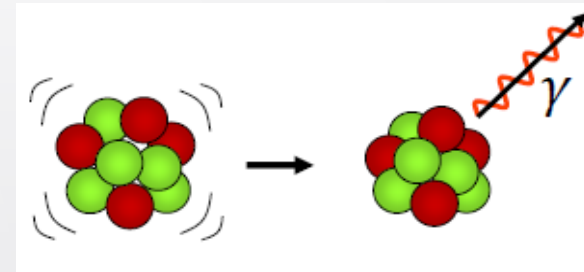
- Transformations isomériques (2 types) = **changements d'énergie**



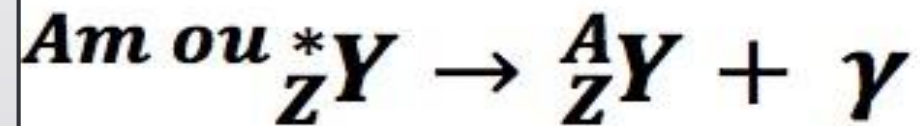
A. La radioactivité γ

1. Généralités

- Noyau père = **excité** ou **métastable**



2. Réaction de désintégration



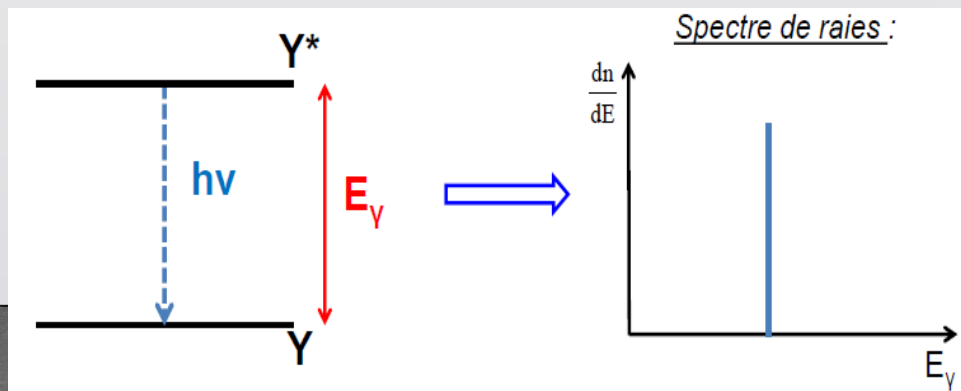
3. Bilan masse-énergie

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

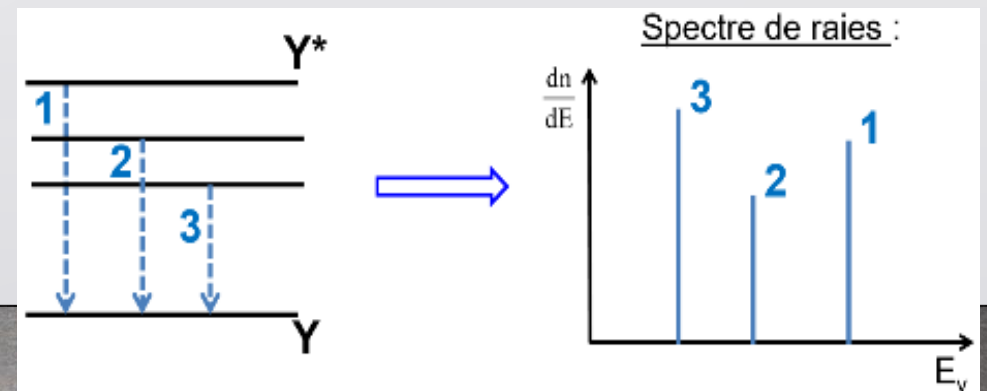
$$E_d \text{ [MeV]} = 931,5 \times \Delta M \text{ [u]} = E_\gamma$$

4. Spectre énergétique et schéma de désintégration (+++)

- Spectre **électromagnétique** de **raie(s)** d'origine **nucléaire**, avec $E_d = E_\gamma$

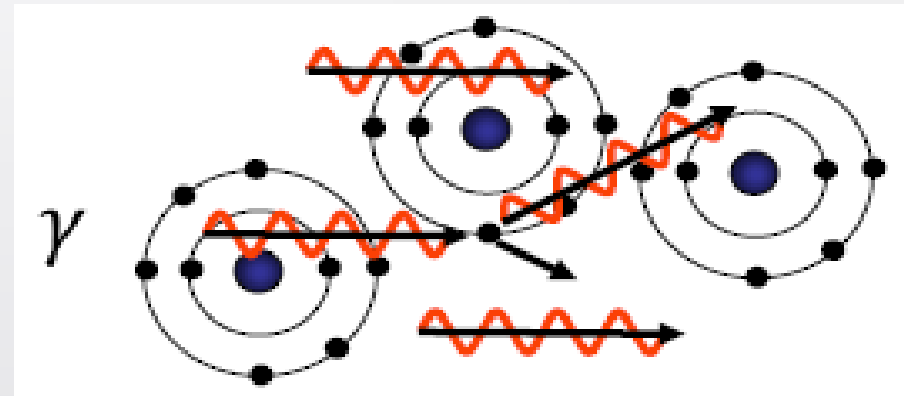


OU



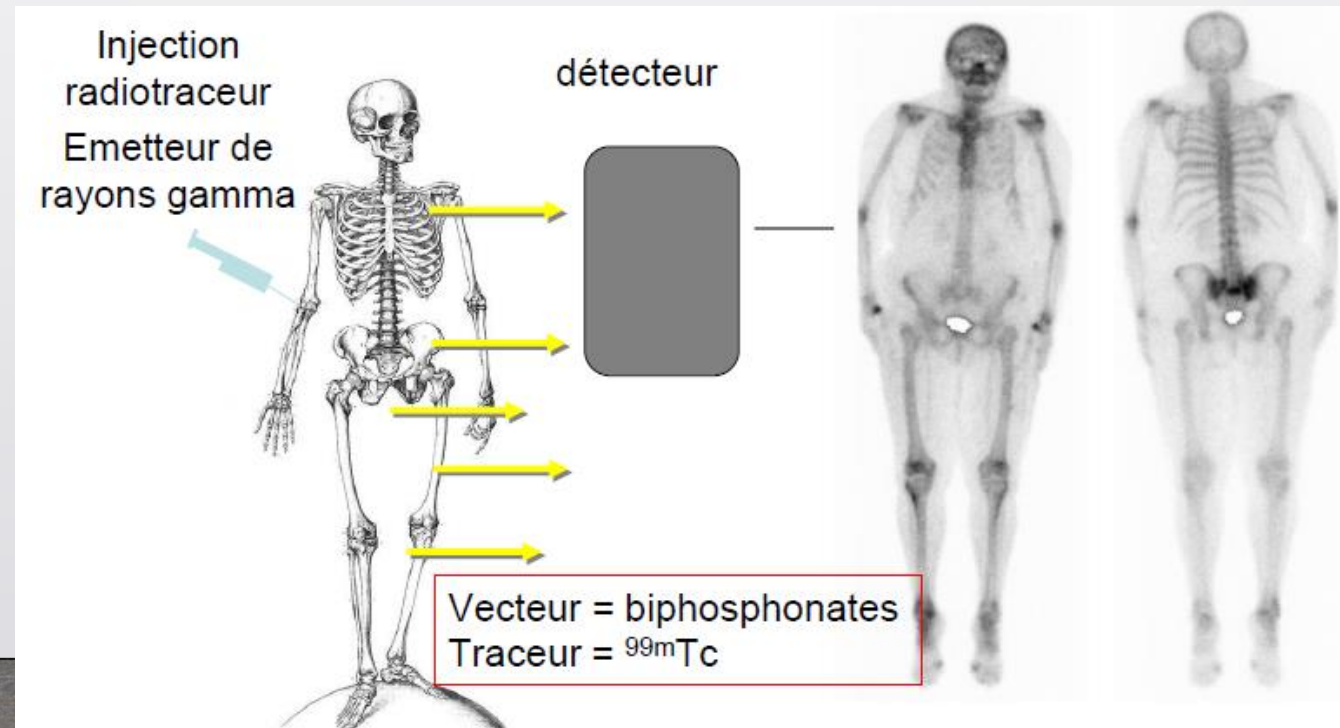
5. Parcours dans la matière

- Interaction **non-obligatoire**
- **Ionisations** par collisions avec les e^-
- Parcours **long**



6. Applications biomédicales

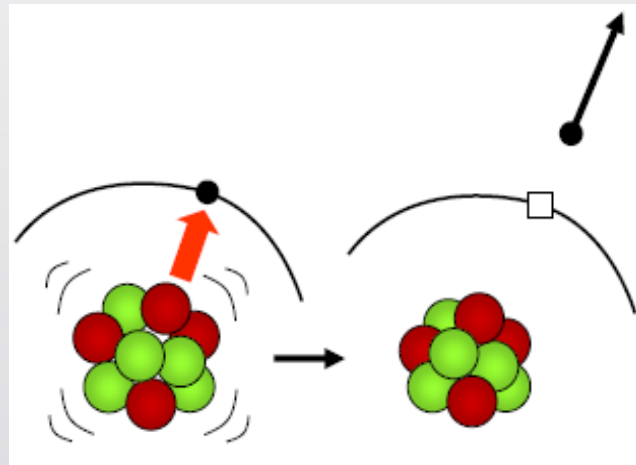
- Iode 131 → **radiothérapie** métabolique
- Technétium 99 métastable → **scintigraphie**



B. La Conversion Interne (CI)

1. Généralités

- Excès d'énergie transmis à un e^- de l'atome \rightarrow ionisation
- **Réarrangements** électroniques



2. Réaction de désintégration



3. Bilan masse-énergie

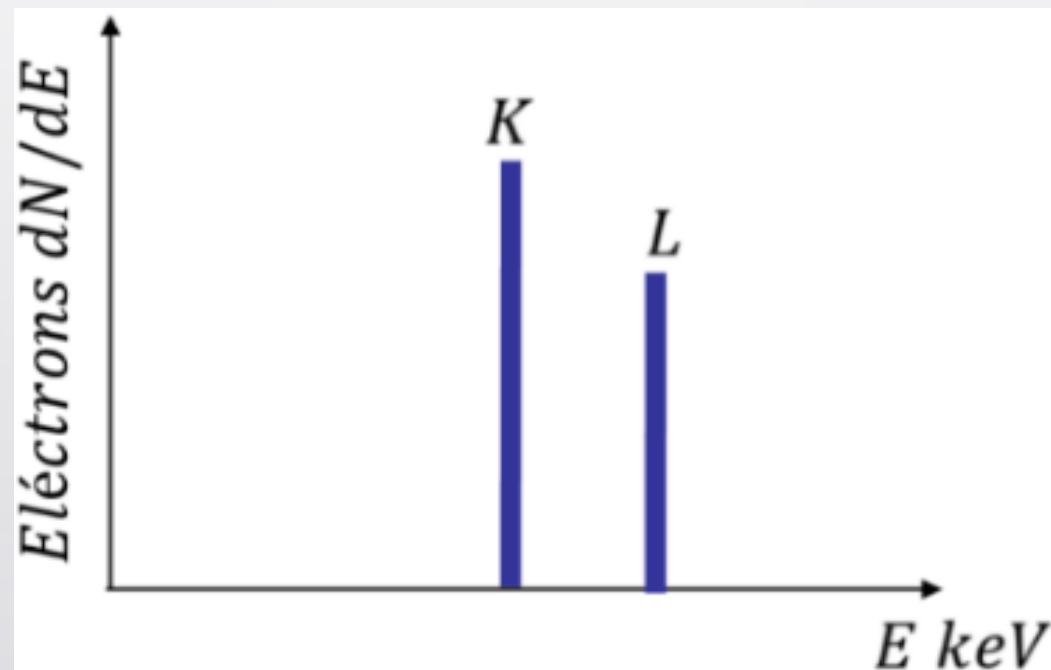
$$\Delta M = \mathcal{M}(Am, Z) - \mathcal{M}(A, Z)$$

$$E_d [\text{MeV}] = 931,5 \times \Delta M [\text{u}]$$

$$E_c = E_d - E_L$$

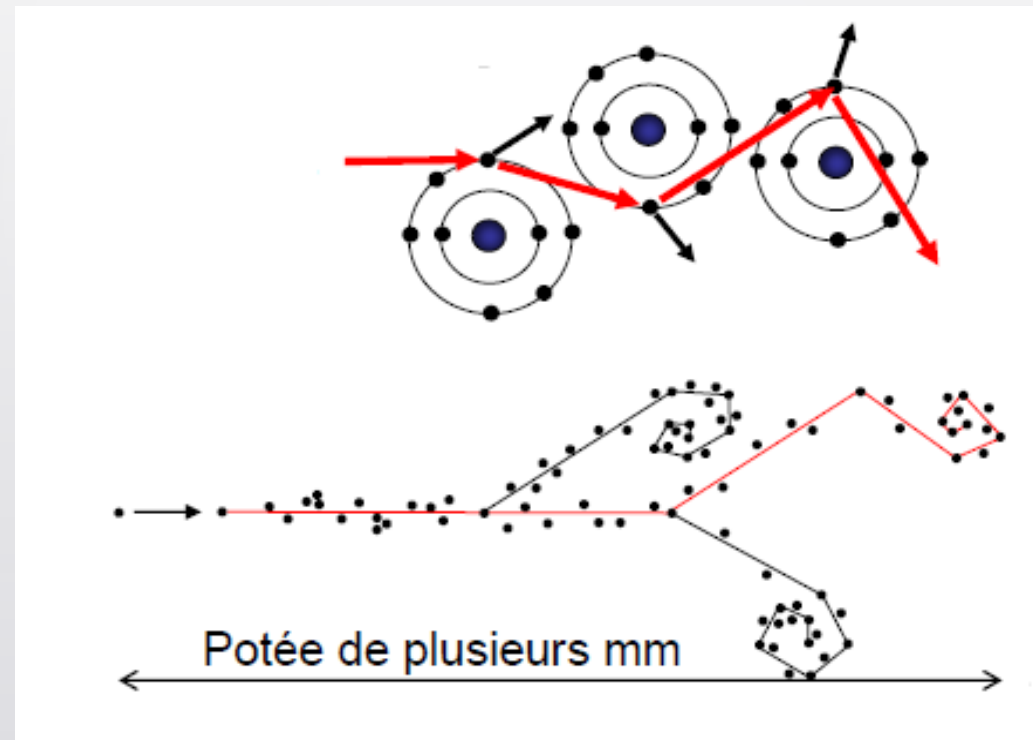
4. Spectre énergétique

- Spectre électronique + électromagnétique de **raies** d'origine **atomique**



5. Parcours dans la matière

- Parcours **court** et **non rectiligne** (car ionisations)





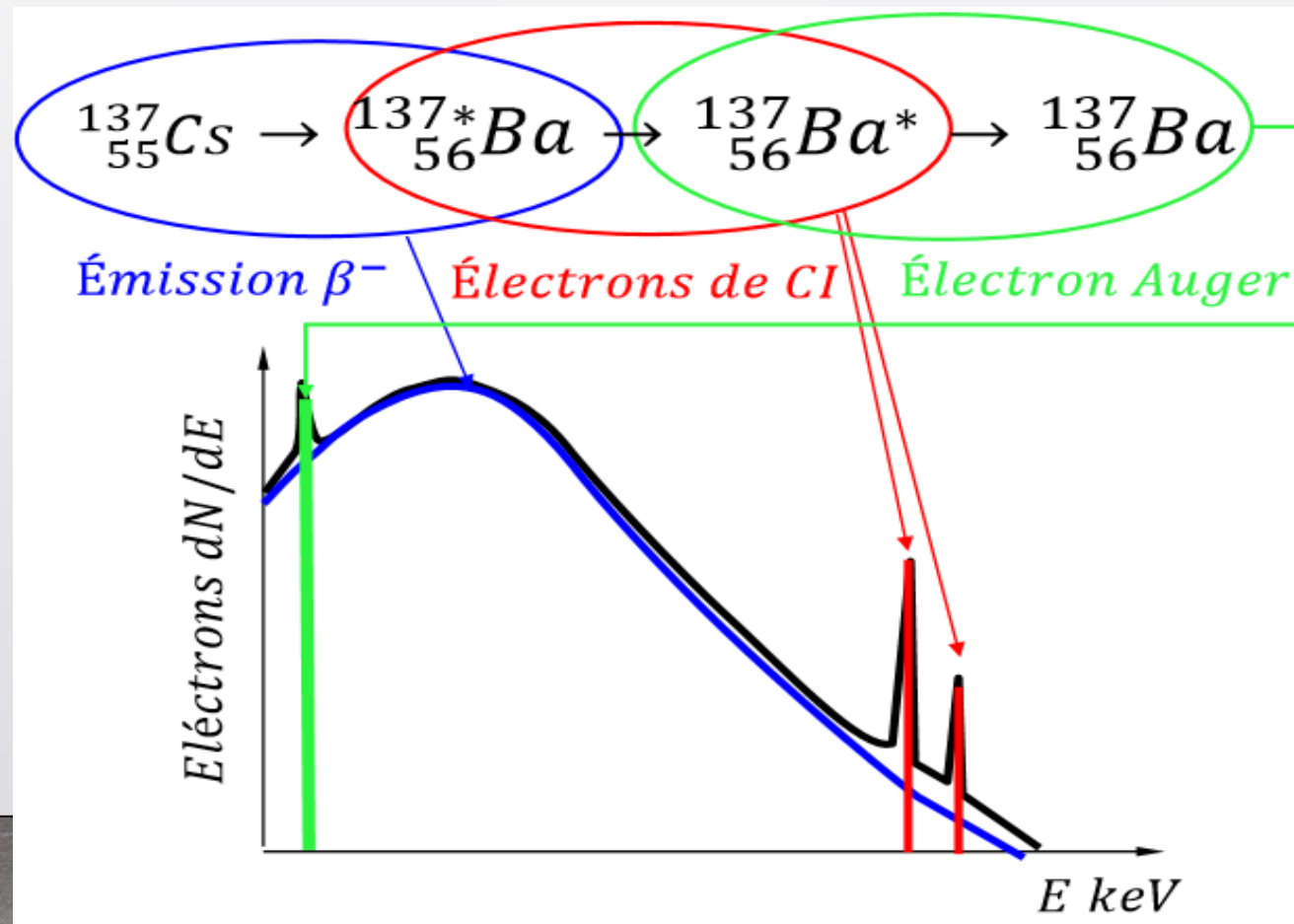
Plan

- I. Généralités
- II. Radioactivité alpha (α)
- III. Diagramme de désintégration
- IV. Transformations isobariques
- V. Transformations isomériques
- VI. Exemple : spectre électronique complet
- VII. Notion de famille radioactive

VI. Exemple : spectre électronique complet



- Souvent : **plusieurs** réactions radioactives → spectre global = **superposition** de tous les spectres





Plan

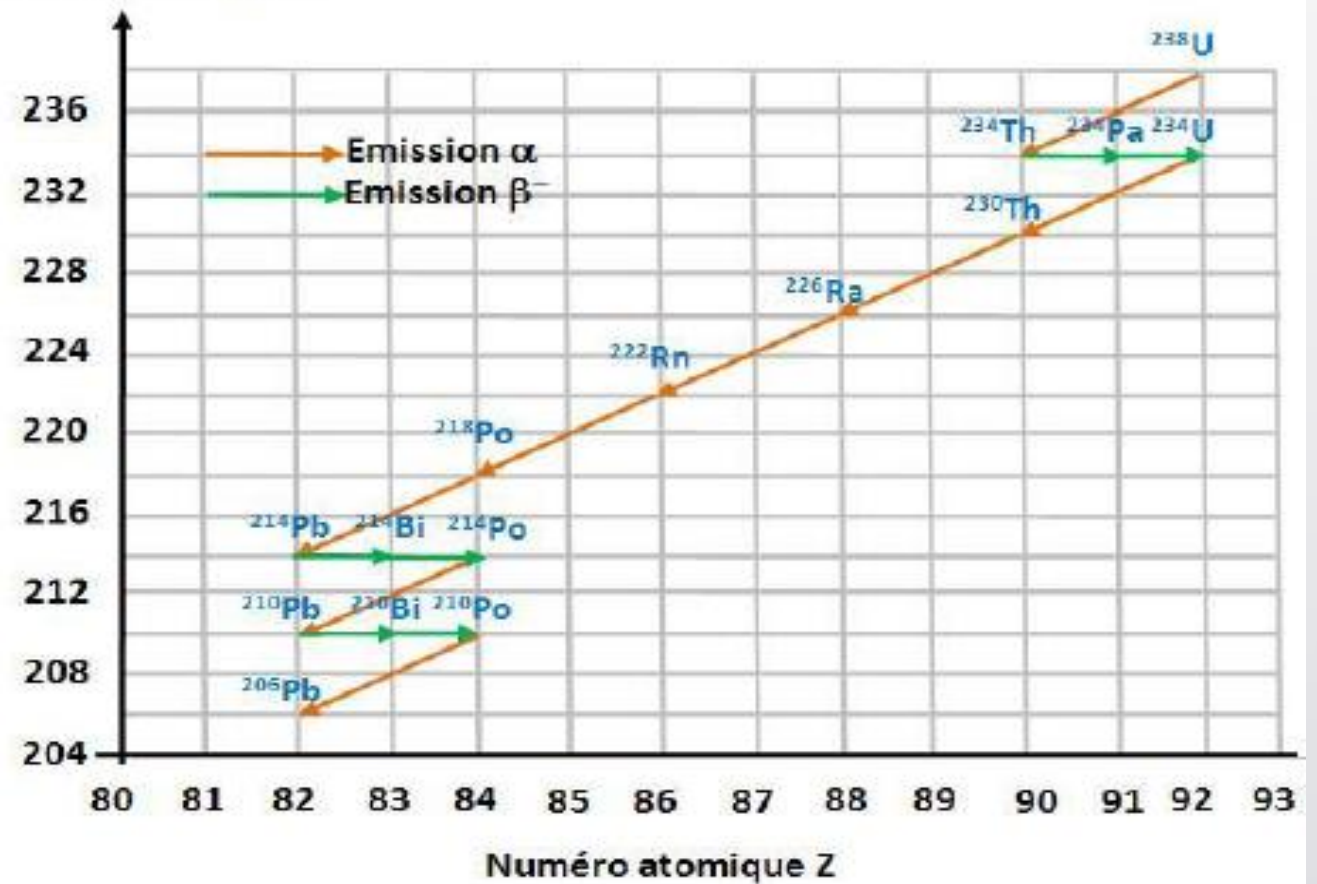
- I. Généralités
- II. Radioactivité alpha (α)
- III. Diagramme de désintégration
- IV. Transformations isobariques
- V. Transformations isomériques
- VI. Exemple : spectre électronique complet
- VII. Notion de famille radioactive



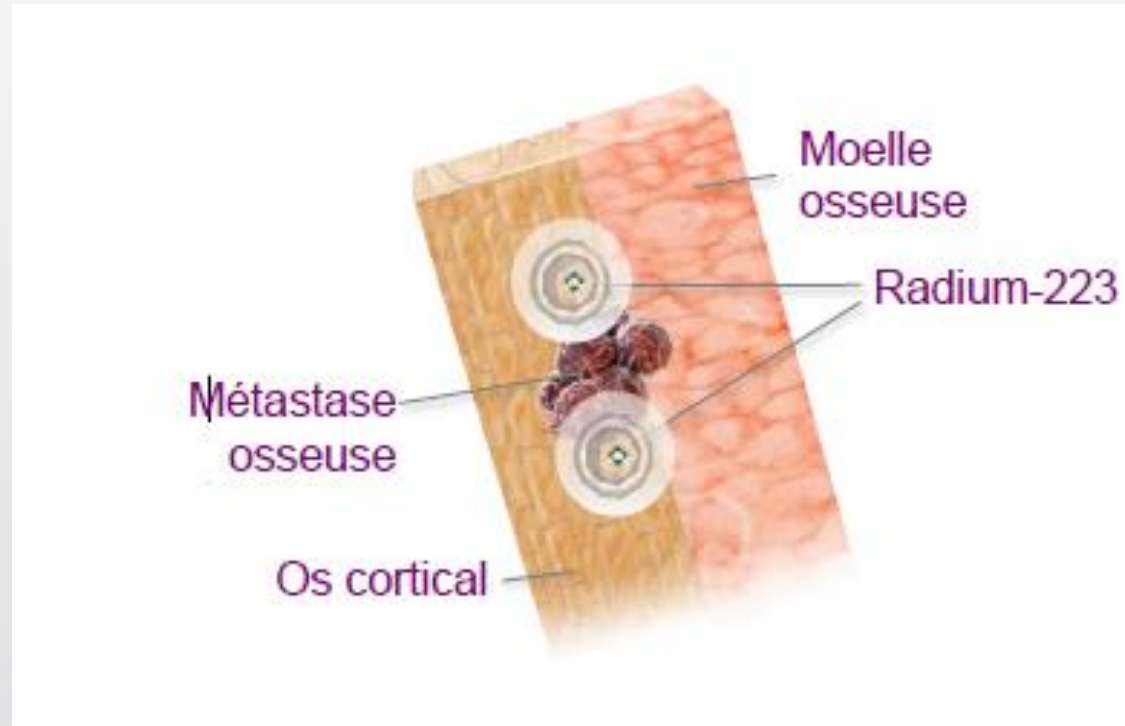
- Succession de désintégration **α et $\beta^- \pm \gamma$** \rightarrow noyau **stable**
 - 3 familles : ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th
- $\frac{1}{2}$ **vie** des noyaux pères = plusieurs milliards d'années

- $\Delta A = 4$ ou 0
- $\Delta Z = 2$ ou 1
- Éléments d'une même famille :
 $A \pm 4$ (QCM +++)
- Ex : descendance de l' ^{238}U →
 $A = 4n + 2$

Masse atomique A



- Exemple 2 : **radium 223** → famille de l' ^{235}U , avec **$A = 4n + 3$**





QCMs

Connectez-vous sur Socrative pour répondre aux QCMs en direct !

Nom de la salle : BIOPHYTUTORAT



QCM 1

- Soit la transformation radioactive : ${}^{15}_8\text{O} \rightarrow {}^{15}_7\text{N} + {}^0_1\beta^+ + {}^0_0\nu$
- Données : $M(15;8) = 15,0030 \text{ u}$; $M(15;7) = 15,0001 \text{ u}$; $m_e = 0,00055 \text{ u}$

A. Il s'agit d'une capture électronique

B. Il s'agit d'une transformation isobarique

C. $\Delta M = 0,0018 \text{ u}$

$$\Delta M = 15,0030 - 15,0001 - 0,0011 = 0,0018 \text{ u}$$

D. $E_d = 0,545 \text{ MeV}$

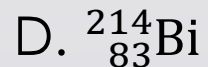
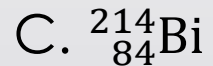
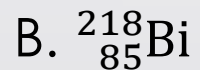
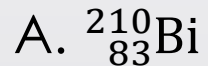
E. Les propositions A, B, C et D sont fausses

Réponse : BC

QCM 2

- Le Polonium 218 ($Z=84$) se désintègre par émission α en Plomb, qui va lui-même se désintégrer par émission β^- en Bismuth.

→ Quel est le noyau final de la réaction ?



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

**Noyau final : $\rightarrow A = 218 - 4$
 $\rightarrow Z = (84 - 2) + 1 = 83$**

Réponse : D

QCM 3

- Quels éléments font partie de la chaîne de désintégration de l'Uranium 238?

A. L'Uranium 235

B. Le Plomb 211

238 ; 234 ; 230 ; 226 ; 222 ; 218 ; 214 ; 210 ; 206 ; etc

C. Le Polonium 215

D. Le Thallium 207

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

Réponse : E



Des questions ?



NB: vous pouvez les poser anonymement sur Socrative si vous n'osez pas les poser en amphitheatre ;)

//////
Merci pour votre attention !

