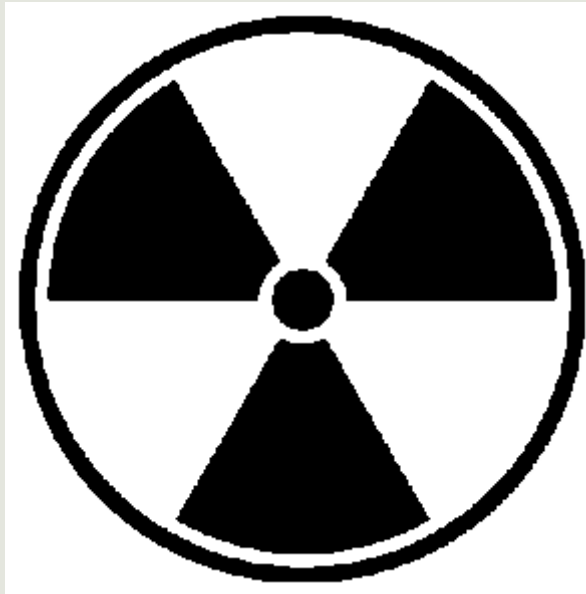


# BIOPHYSIQUE DES RADIATIONS

## LA RADIOACTIVITÉ



# LA RADIOACTIVITÉ

## I. LE NOYAU

- A. Classification des nucléides
- B. Composition des nucléides
- C. Énergie de liaison et défaut de masse
- D. Facteurs de stabilité nucléaire
- E. Les forces nucléaires
- F. Les réactions de fission et de fusion nucléaire

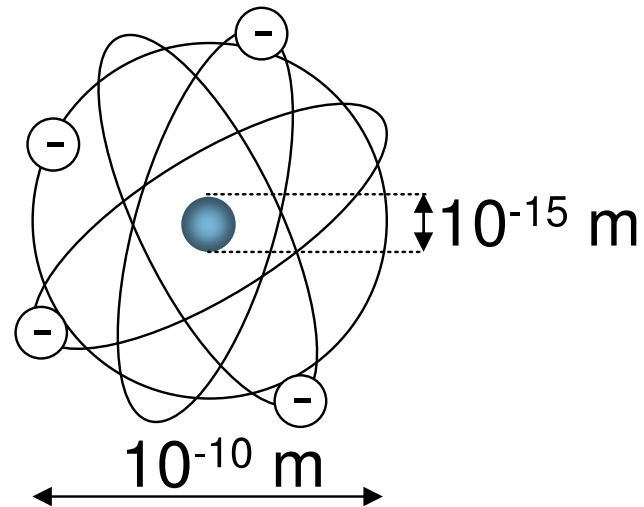
# LA RADIOACTIVITÉ

## II. LES TRANSFORMATIONS RADIOACTIVES

- A. Généralités
- B. La radioactivité alpha
- C. Les transformations isobariques
- D. Les transformations isomériques

# RAPPEL

L'atome a sa masse concentrée autour du noyau chargé + très dense autour duquel gravitent des électrons chargés -.



# RAPPEL



**A**: nombre de masse;  
nombre de nucléons

**Z**: numéro atomique;  
nombres de protons

# I. LE NOYAU

## A. Classification des nucléides

1. Classification chimique
2. Classification physique

C'est grâce au **numéro atomique Z** que sont classés chimiquement les éléments dans le tableau périodique de Mendeleïev.

**TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS**

**GROUPE**

**1** **IA**

**2** **IIA**

**3** **IIIB**

**4** **IVB**

**5** **VB**

**6** **VIB**

**7** **VIIA**

**8** **VIII**

**9** **VIII**

**10** **VIII**

**11** **IB**

**12** **IIB**

**13** **IIIA**

**14** **IVA**

**15** **VA**

**16** **VIA**

**17** **VIIA**

**18** **VIIIA**

**19** **IB**

**20** **IIB**

**21** **IIIB**

**22** **IVB**

**23** **VB**

**24** **VIB**

**25** **VIB**

**26** **VIB**

**27** **VIB**

**28** **VIB**

**29** **IB**

**30** **IIB**

**31** **IIIA**

**32** **IVA**

**33** **VA**

**34** **VIA**

**35** **VIIA**

**36** **VIIIA**

**37** **IB**

**38** **IIB**

**39** **IIIB**

**40** **IVB**

**41** **VB**

**42** **VIB**

**43** **VIB**

**44** **VIB**

**45** **VIB**

**46** **VIB**

**47** **VIB**

**48** **VIB**

**49** **IB**

**50** **IIB**

**51** **IIIA**

**52** **IVA**

**53** **VA**

**54** **VIA**

**55** **VIIA**

**56** **VIIIA**

**57** **IB**

**58** **IIB**

**59** **IIIB**

**60** **IVB**

**61** **VB**

**62** **VIB**

**63** **VIB**

**64** **VIB**

**65** **VIB**

**66** **VIB**

**67** **VIB**

**68** **VIB**

**69** **IB**

**70** **IIB**

**71** **IIIA**

**72** **IVA**

**73** **VA**

**74** **VIA**

**75** **VIIA**

**76** **VIIIA**

**77** **IB**

**78** **IIB**

**79** **IIIB**

**80** **IVB**

**81** **VB**

**82** **VIB**

**83** **VIB**

**84** **VIB**

**85** **VIB**

**86** **VIB**

**87** **IB**

**88** **IIB**

**89** **IIIB**

**90** **IVB**

**91** **VB**

**92** **VIB**

**93** **VIB**

**94** **VIB**

**95** **VIB**

**96** **VIB**

**97** **VIB**

**98** **VIB**

**99** **IB**

**100** **IIB**

**101** **IIIA**

**102** **IVA**

**103** **VA**

**104** **VIA**

**105** **VIIA**

**106** **VIIIA**

**107** **IB**

**108** **IIB**

**109** **IIIB**

**110** **IVB**

**111** **VB**

**112** **VIB**

**113** **VIB**

**114** **VIB**

**115** **VIB**

**116** **VIB**

**117** **IB**

**118** **IIB**

**119** **IIIA**

**120** **IVA**

**121** **VA**

**122** **VIA**

**123** **VIIA**

**124** **VIIIA**

**125** **IB**

**126** **IIB**

**127** **IIIB**

**128** **IVB**

**129** **VB**

**130** **VIB**

**131** **VIB**

**132** **VIB**

**133** **VIB**

**134** **VIB**

**135** **VIB**

**136** **VIB**

**137** **IB**

**138** **IIB**

**139** **IIIB**

**140** **IVB**

**141** **VB**

**142** **VIB**

**143** **VIB**

**144** **VIB**

**145** **VIB**

**146** **VIB**

**147** **VIB**

**148** **VIB**

**149** **IB**

**150** **IIB**

**151** **IIIA**

**152** **IVA**

**153** **VA**

**154** **VIA**

**155** **VIIA**

**156** **VIIIA**

**157** **IB**

**158** **IIB**

**159** **IIIB**

**160** **IVB**

**161** **VB**

**162** **VIB**

**163** **VIB**

**164** **VIB**

**165** **VIB**

**166** **VIB**

**167** **VIB**

**168** **VIB**

**169** **IB**

**170** **IIB**

**171** **IIIA**

**172** **IVA**

**173** **VA**

**174** **VIA**

**175** **VIIA**

**176** **VIIIA**

**177** **IB**

**178** **IIB**

**179** **IIIB**

**180** **IVB**

**181** **VB**

**182** **VIB**

**183** **VIB**

**184** **VIB**

**185** **VIB**

**186** **VIB**

**187** **VIB**

**188** **VIB**

**189** **IB**

**190** **IIB**

**191** **IIIA**

**192** **IVA**

**193** **VA**

**194** **VIA**

**195** **VIIA**

**196** **VIIIA**

**197** **IB**

**198** **IIB**

**199** **IIIB**

**200** **IVB**

**201** **VB**

**202** **VIB**

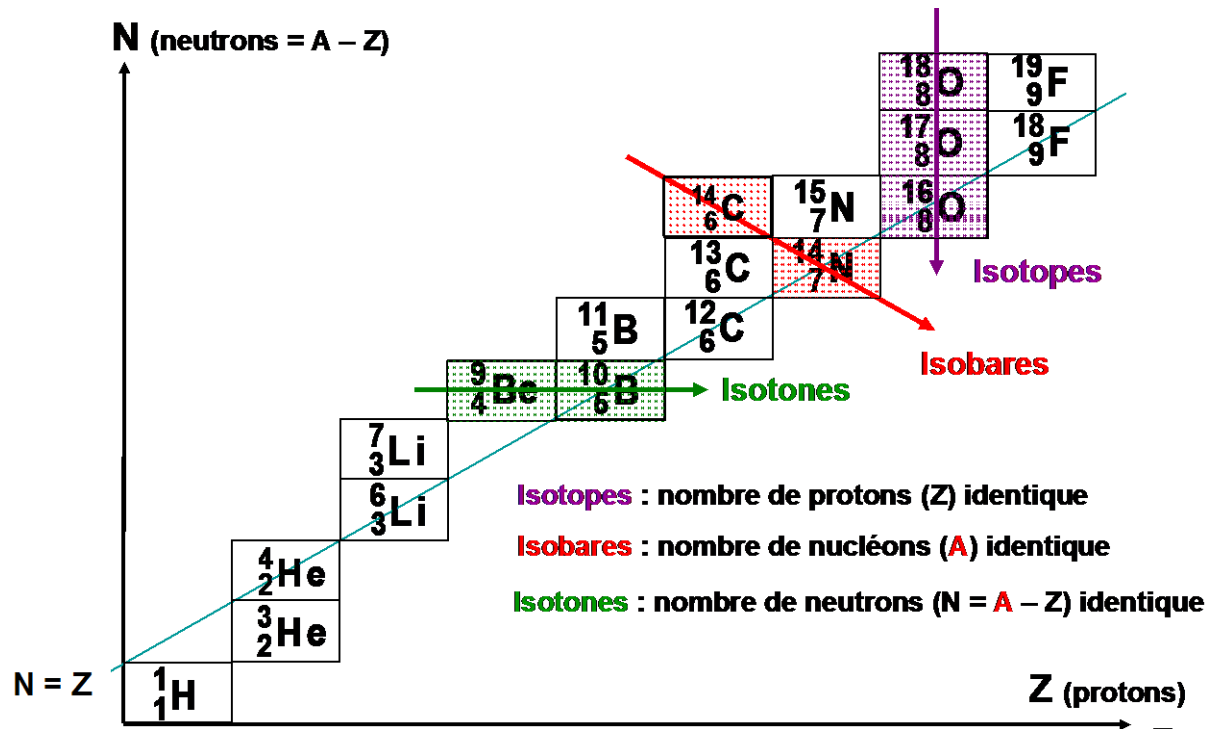
**203** **VIB**

**204** **VIB**

**205** **VIB**

**206** **VIB</**

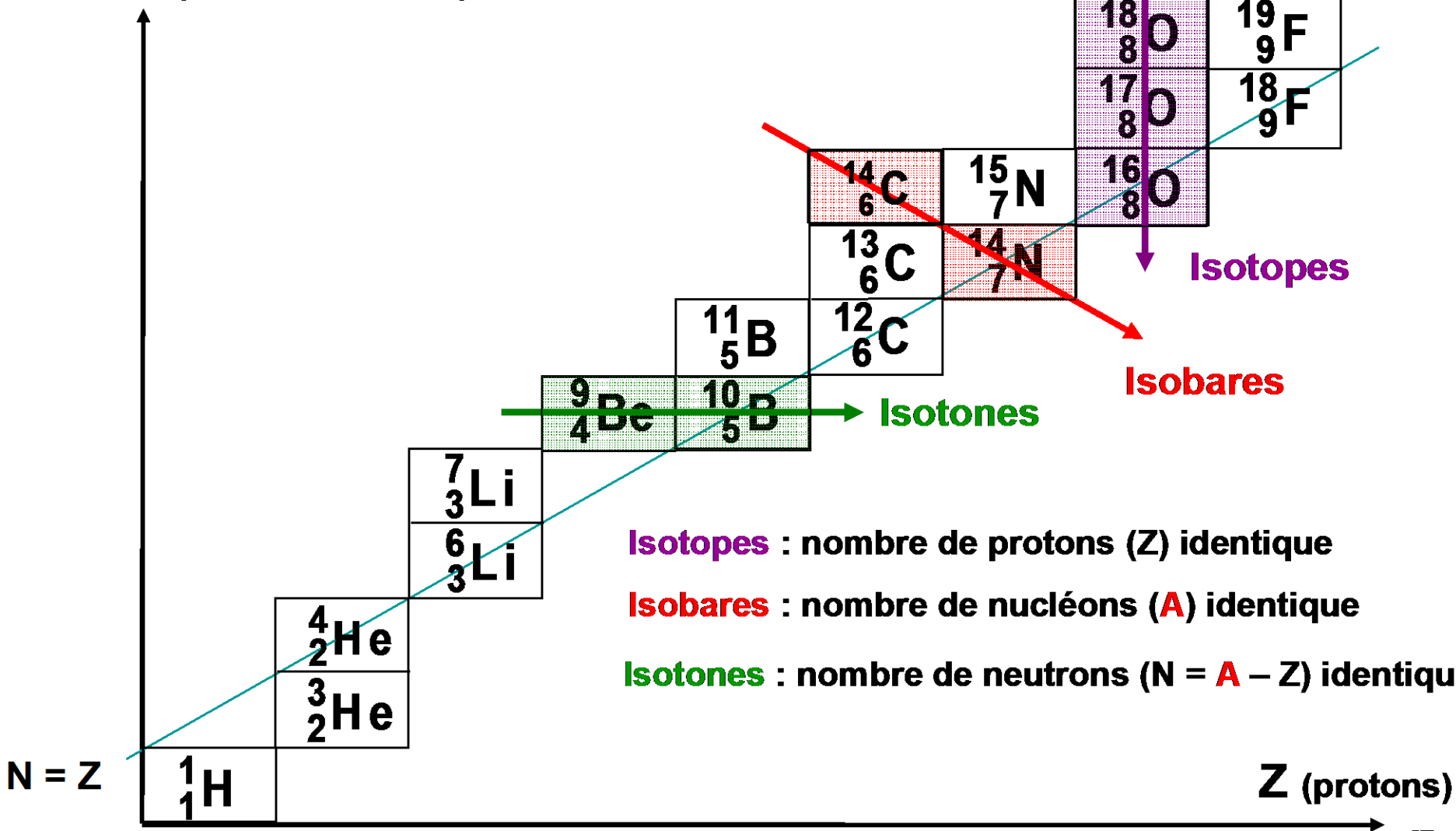
## II.A.2. Classification physique



**La table des nuclides** avec le nombre de protons en abscisse et le nombre de neutrons en ordonnée.



**N** (neutrons =  $A - Z$ )

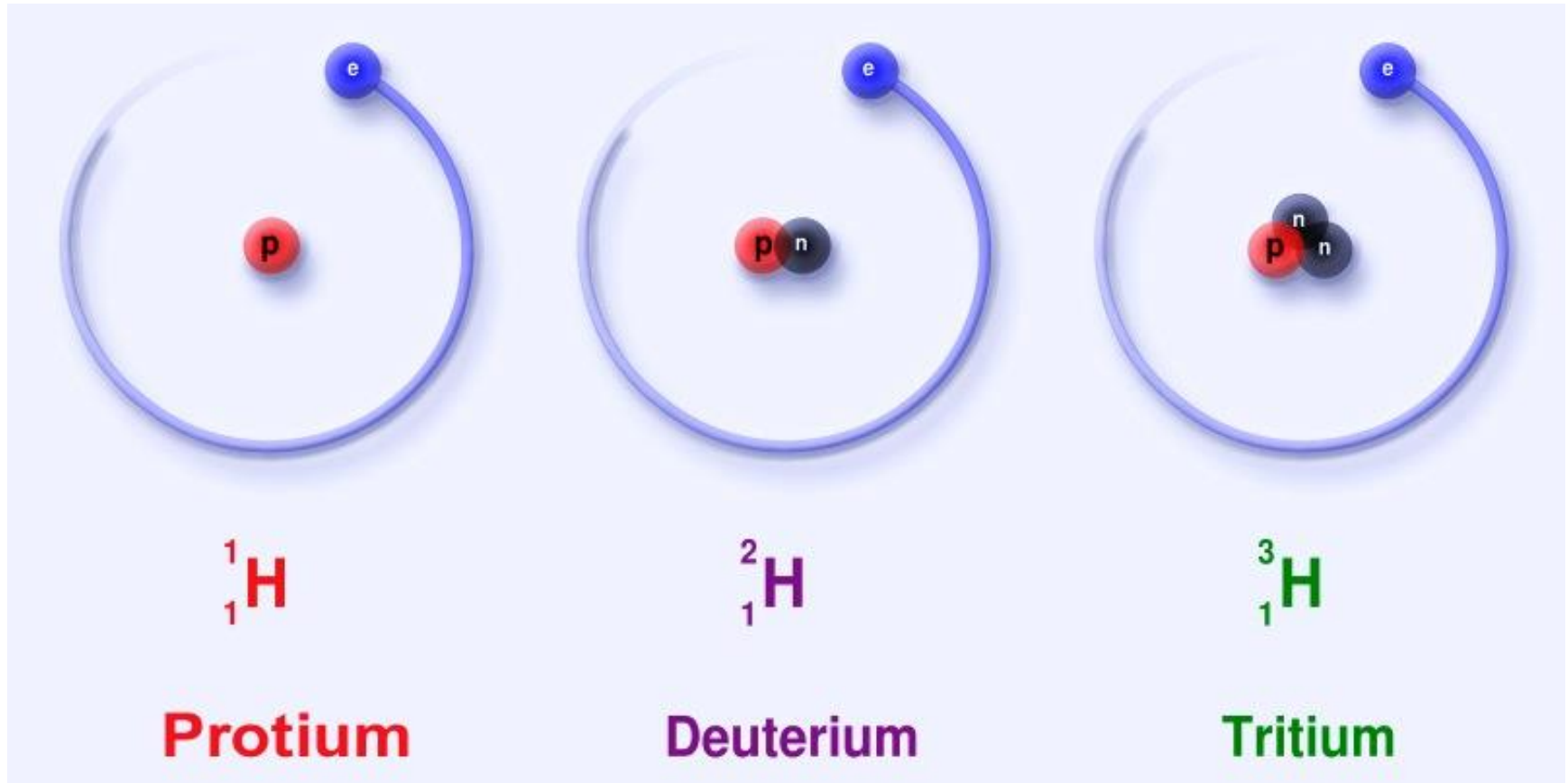


## I.A.2. Classification physique

### Les isotopes

**Définition**: ils ont le même nombre de protons  $Z$  mais différent par leur nombre de neutrons.

## Exemple: les isotopes de l'hydrogène



## I.A.2 Classification physique

### Les isobares

**Définition:** ils ont le même nombre de nucléons  $A$  mais différent par leur nombre de protons et de neutrons.

Exemple d'isobares

$^{14}_6\text{C}$

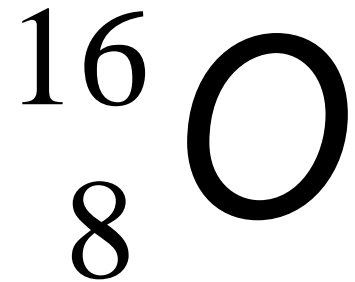
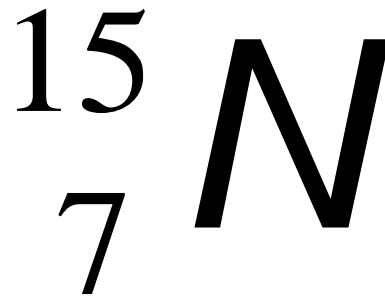
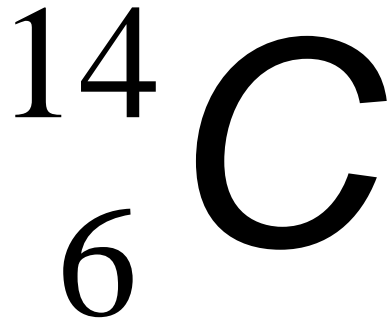
$^{14}_7\text{N}$

## I.A.2 Classification physique

### Les isotoNes

**Définition**: ils ont le même nombre de neutrons  $N$  mais différent par leur nombre de protons.

Exemple d'isotones

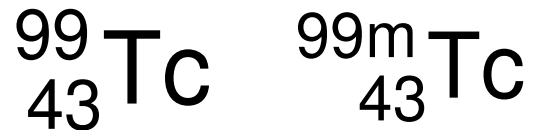


## I.A.2 Classification physique

### Les isomères

Les isomères ont le même nombre de protons  $Z$  et de neutrons  $N$ . Ils se différencient par leur **énergie interne**:

Ex: le technétium stable et métastable





# I.B. La composition des nucléides

## I. LE NOYAU

- A. Classification des nucléides
  - 1. Classification chimique
  - 2. Classification physique
- B. Composition des nucléides
  - 1. Les nucléons
  - 2. Les particules élémentaires
- C. Énergie de liaison et défaut de masse
- D. Facteurs de stabilité nucléaire
- E. Les forces nucléaires
  - 1. Les forces électrostatiques
  - 2. Les forces spécifiques du noyau
- F. Les réactions de fission et de fusion nucléaire
  - 1. La fusion
  - 2. La fission

# I.B.1. Les nucléons

## Le proton

- Chargé positivement
- Peut être stable à l'état libre hors du noyau.

# I.B.1. Les nucléons

## Le Neutron

- N'a pas de charge électrique.

# I.B.1. Les nucléons

## Le Neutron

- À l'intérieur du noyau, le neutron est stable, mais à l'extérieur du noyau, le neutron est toujours instable une réaction de transformation:



## I.B.2. Les particules élémentaires

◆ Les leptons: électrons, neutrinos, antineutrinos...

◆ Les quarks

- Les quarks up:  $+2/3$  de la charge élémentaire
- Les quarks down:  $-1/3$  charge élémentaire

## I.B.2. Les particules élémentaires

Chaque nucléon est composé de 3 quarks:

- ◆ Le proton: 2 quarks up et 1 quarks down ce qui lui donne sa charge positive.
- ◆ Le neutron: 1 quarks up et 2 quarks down, il n'a pas de charge.

# I.C. Défaut de masse et énergie de liaison

## I. LE NOYAU

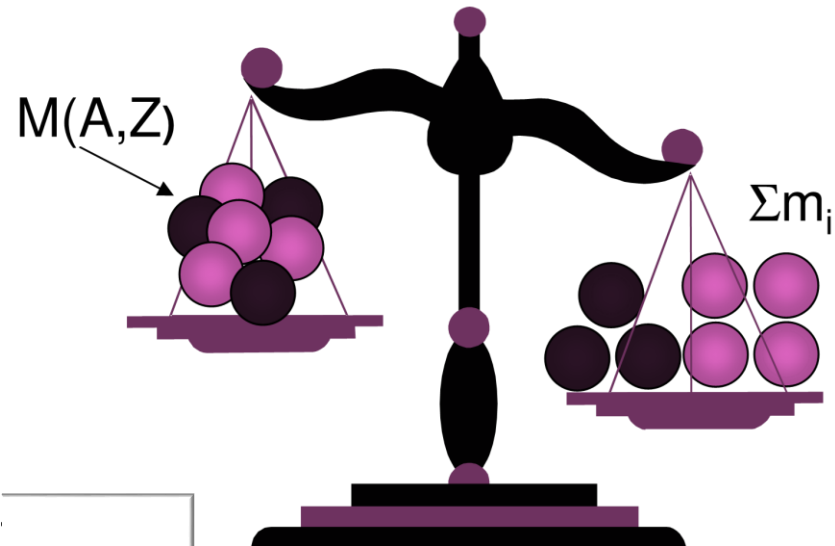
- A. Classification des nucléides
  - 1. Classification chimique
  - 2. Classification physique
- B. Composition des nucléides
  - 1. Les nucléons
  - 2. Les particules élémentaires
- C. Énergie de liaison et défaut de masse
- D. Facteurs de stabilité nucléaire
- E. Les forces nucléaires
  - 1. Les forces électrostatiques
  - 2. Les forces spécifiques du noyau
- F. Les réactions de fission et de fusion nucléaire
  - 1. La fusion
  - 2. La fission

# I.C. Défaut de masse et énergie de liaison

La masse d'un **noyau constitué** est inférieure à **la somme des masses** de ses constituants

$$M(A,Z) < \sum m_i$$

- ◆ 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.





# I.C. Défaut de masse et énergie de liaison

Ce **défaut de masse** peut aussi avoir une équivalence énergétique d'après l'équation:

$$E = m.c^2$$

Cette énergie équivaut à l'énergie de liaison des nucléons  $E_L$

$$E_L [\text{MeV}] = 931.5 \times \Delta M [u]$$

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.

# I.C. Défaut de masse et énergie de liaison

Le défaut de masse est lié à l'énergie de liaison des particules entre elles.

L'énergie de liaison des nucléons est l'énergie qu'il faut apporter à l'atome pour dissocier ses nucléons.

*On peut faire le lien avec les énergies de liaison des électrons: c'est l'énergie qu'il faut apporter aux électrons pour ioniser l'atome.*

# I.C. Défaut de masse et énergie de liaison

Les ordres de grandeur des différentes énergies de liaison

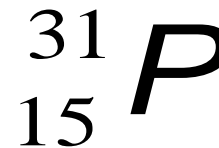
	<b><i>Nucléons</i></b>	<b><i>Électrons</i></b>	<b><i>Atomes</i></b>
ÉNERGIE DE LIAISON	MeV	keV	eV

# Exemple d'application

QCM CONCOURS 2005-2006

Calculer l'énergie de liaison par nucléon (MeV/nucléon) du noyau de phosphore-31 sachant que la masse atomique est  $M(31,15) = 30,9737u$ .

- A. 4,5
- B. 9,5
- C. 8,5
- D. 263
- E. 13



# Exemple d'application

Il faut utiliser les masses des nucléons :

${}_{15}^{31}\text{P}$	$(31-15) \times M_n = 16 \times M_n = 16 \times 1,009$ <b>= 16,144</b>
	$15 \times M_p = 15 \times 1,007$ <b>= 15,105</b>
$\Sigma M_{\text{nucléons}}$	<b>31,249</b>

On leur soustrait la masse du noyau:

$$31,249 - 30,974 = 0,275$$

# Exemple d'application

On déduit l'énergie de liaison du noyau:

$$E_L [\text{MeV}] = 931.5 \times \Delta M [u]$$

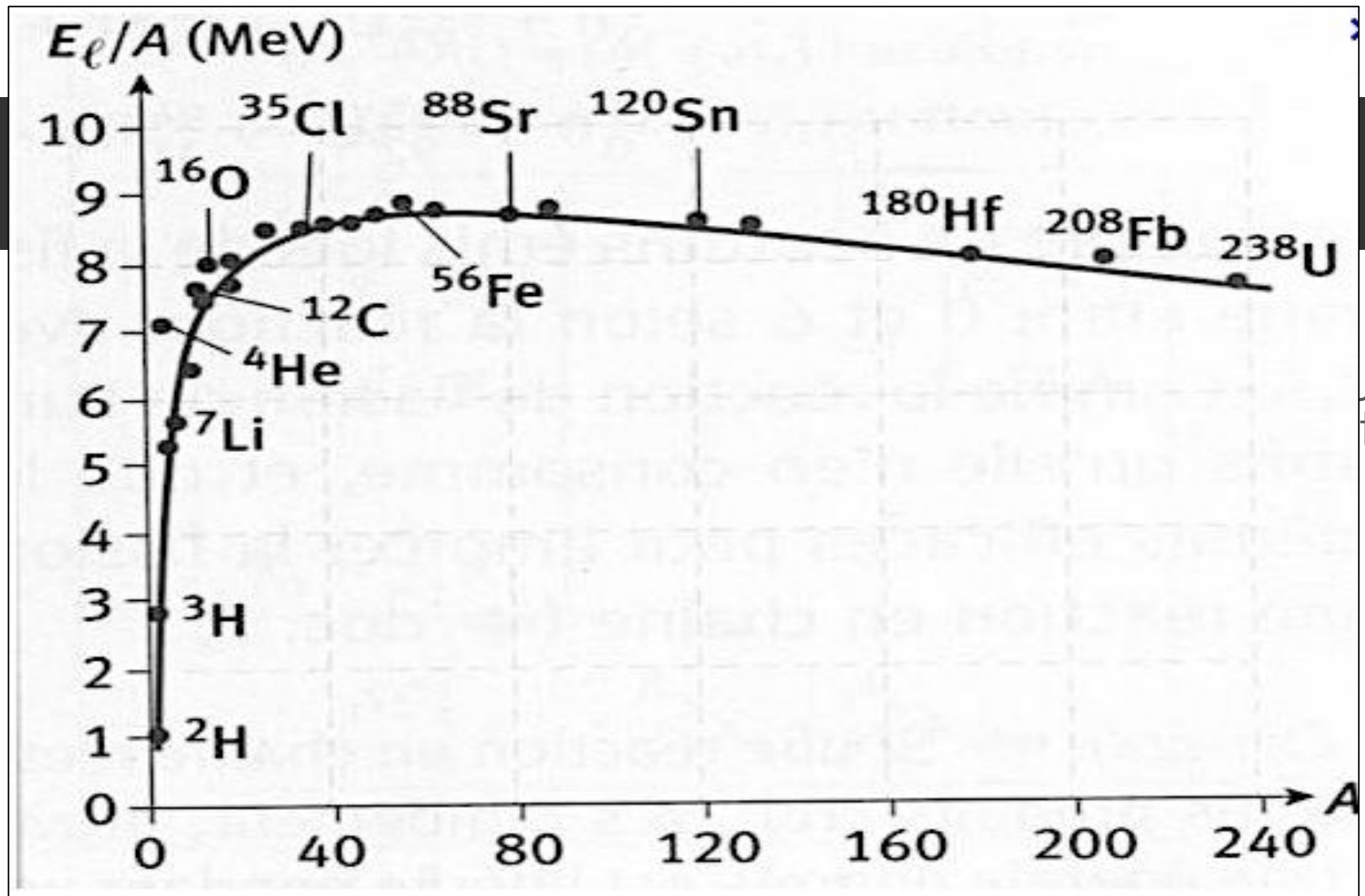
$$E_L = 931,5 \times 0,275$$

On n'hésite pas à arrondir 931,5 à 900 ou à 1000! ☺

$$900 \times 0,275 = 247,5 \text{ MeV}$$

Ce n'est pas fini! on n'oublie pas qu'on nous a demandé **l'énergie de liaison/nucléons...** On divise par le nombre de nucléons:

$$247/31 \approx 250/30 \approx 25/3 \approx 8,3$$



E. 13

# Exemple d'application

QCM CONCOURS 2005-2006

Calculer l'énergie de liaison par nucléon (MeV/nucléon) du noyau de phosphore-31 sachant que la masse atomique est  $M(31,15) = 30,9737u$ .

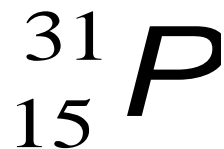
**A. 4,5**

~~B. 9,5~~

**C. 8,5**

~~D. 263~~

~~E. 13~~



*Si on regarde les propositions on peut déjà éliminer celles au dessus de 8,5 MeV/nucléon*



# Application

QCM CONCOURS 1993-1994: La masse atomique du plomb-32 est 207,9766 u, l'énergie de liaison moyenne de cet isotope du plomb exprimée en MeV/nucléon est:

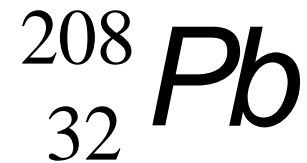
A. 1,75

B. 4,6

C. 9,66

D. 6,8

E. 7,8



# Correction

La masse atomique du plomb-32 est 207,9766 uma, l'énergie de liaison moyenne de cet isotope du plomb exprimée en MeV/nucléon est:

~~A. 1,75~~

~~B. 4,6~~

~~C. 9,66~~

~~D. 6,8~~

E. 7,8

# Correction

$$M_p \times Z = 1,007 \times 32 = 32,224$$

$$M_n \times (A-Z) = 1,007 \times (208-32) = 1,007 \times 176 = 177,584$$

$$\sum M_{\text{nucléons}} = 177,584 + 32,224 = 209,808$$

$$209,808 - M_{\text{noyau}} = 209,808 - 207,977 = 1,831$$

$$1,831 \times 900 = 1647,9 \approx 1648$$

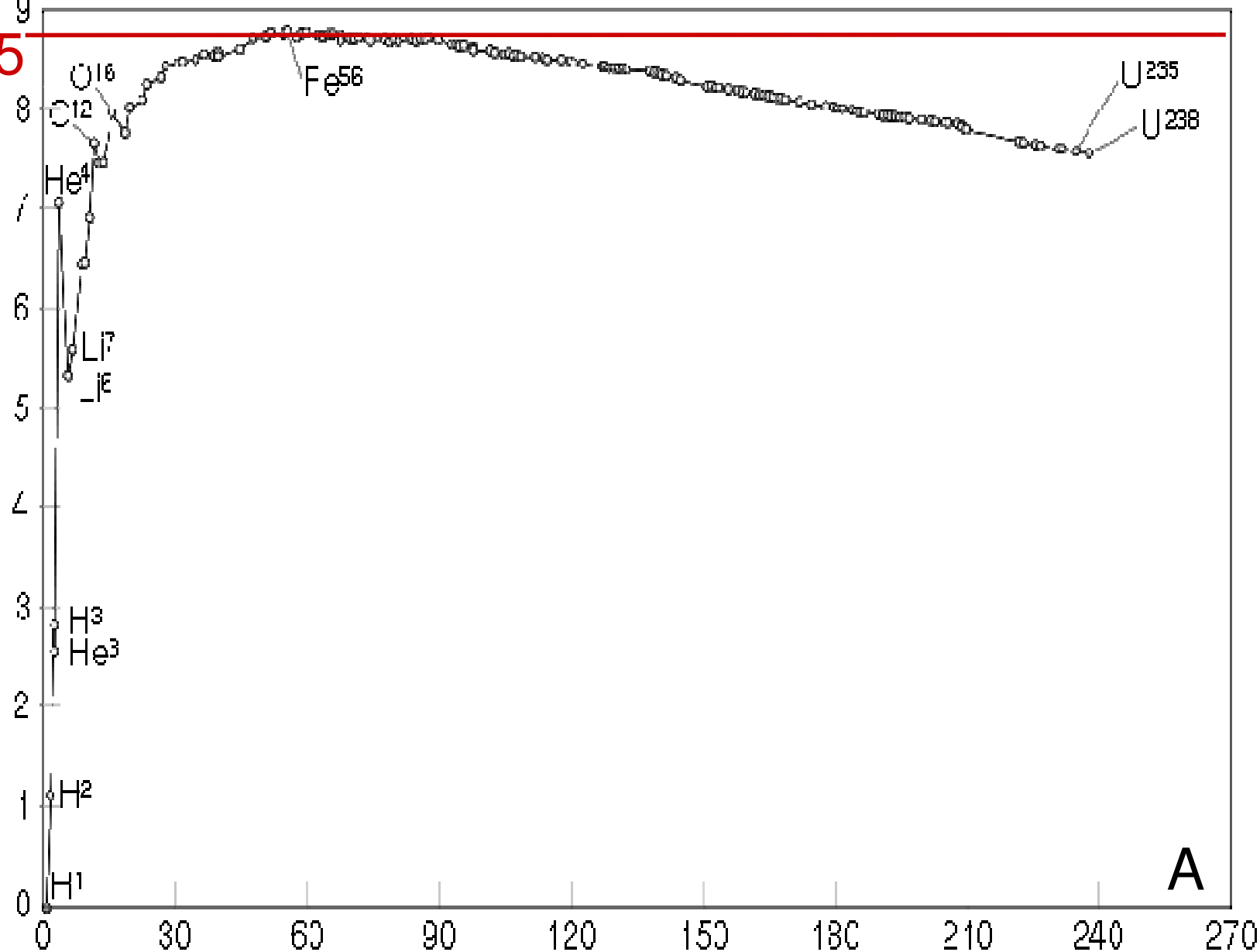
On divise par le nb de nucléons:

$$1648/208 \approx 1600/200 \approx 8$$

→ 7,8 est la valeur la plus proche dans les propositions donc réponse E

$E_L/A$  (MeV)

8,5



# I.D. Les facteurs de stabilité nucléaire

## I. LE NOYAU

- A. Classification des nucléides
  - 1. Classification chimique
  - 2. Classification physique
- B. Composition des nucléides
  - 1. Les nucléons
  - 2. Les particules élémentaires
- C. Énergie de liaison et défaut de masse
- D. Facteurs de stabilité nucléaire
- E. Les forces nucléaires
  - 1. Les forces électrostatiques
  - 2. Les forces spécifiques du noyau
- F. Les réactions de fission et de fusion nucléaire
  - 1. La fusion
  - 2. La fission

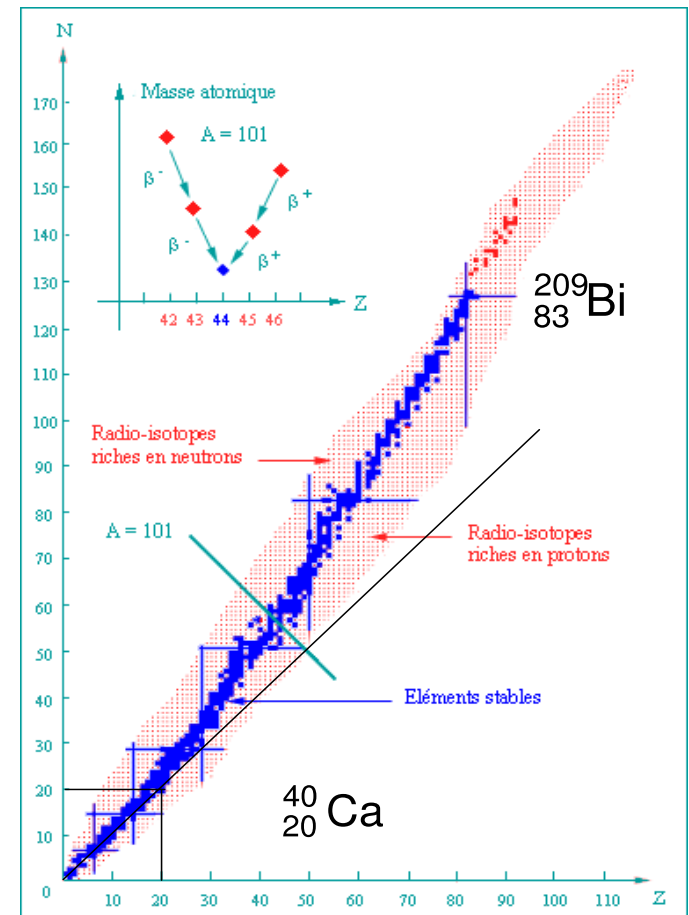
# I.D. Les facteurs de stabilité nucléaire

Pour les noyaux légers ( $Z \leq 20$ ):

$$Z = N$$

Pour les noyaux lourds ( $Z > 20$ ):  $Z < N$ , plus de neutrons sont nécessaires pour que le noyau soit stable.

→ La vallée de stabilité s'élève, pour les noyaux lourds au dessus de la première diagonale  $Z=N$ .



# I.E. Les forces nucléaires

## I. LE NOYAU

- A. Classification des nucléides
  - 1. Classification chimique
  - 2. Classification physique
- B. Composition des nucléides
  - 1. Les nucléons
  - 2. Les particules élémentaires
- C. Énergie de liaison et défaut de masse
- D. Facteurs de stabilité nucléaire
- E. Les forces nucléaires
  - 1. Les forces électrostatiques
  - 2. Les forces spécifiques du noyau
- F. Les réactions de fission et de fusion nucléaire
  - 1. La fusion
  - 2. La fission

# I.E. Les forces nucléaires

- ◆ Elles sont responsables de la cohésion du noyau.
- ◆ Elles sont liées aux interactions des nucléons entre eux.



## I.E.1. Les forces électrostatiques

Les forces électrostatiques ou coulombiennes sont des **forces répulsives** exercées entre protons.

Elles expliquent l'excès de neutrons à l'intérieur des noyaux lourds.

## I.E.2. Les forces nucléaires spécifiques

Les forces spécifiques du noyau s'exercent à des distances très faibles.

On distingue:

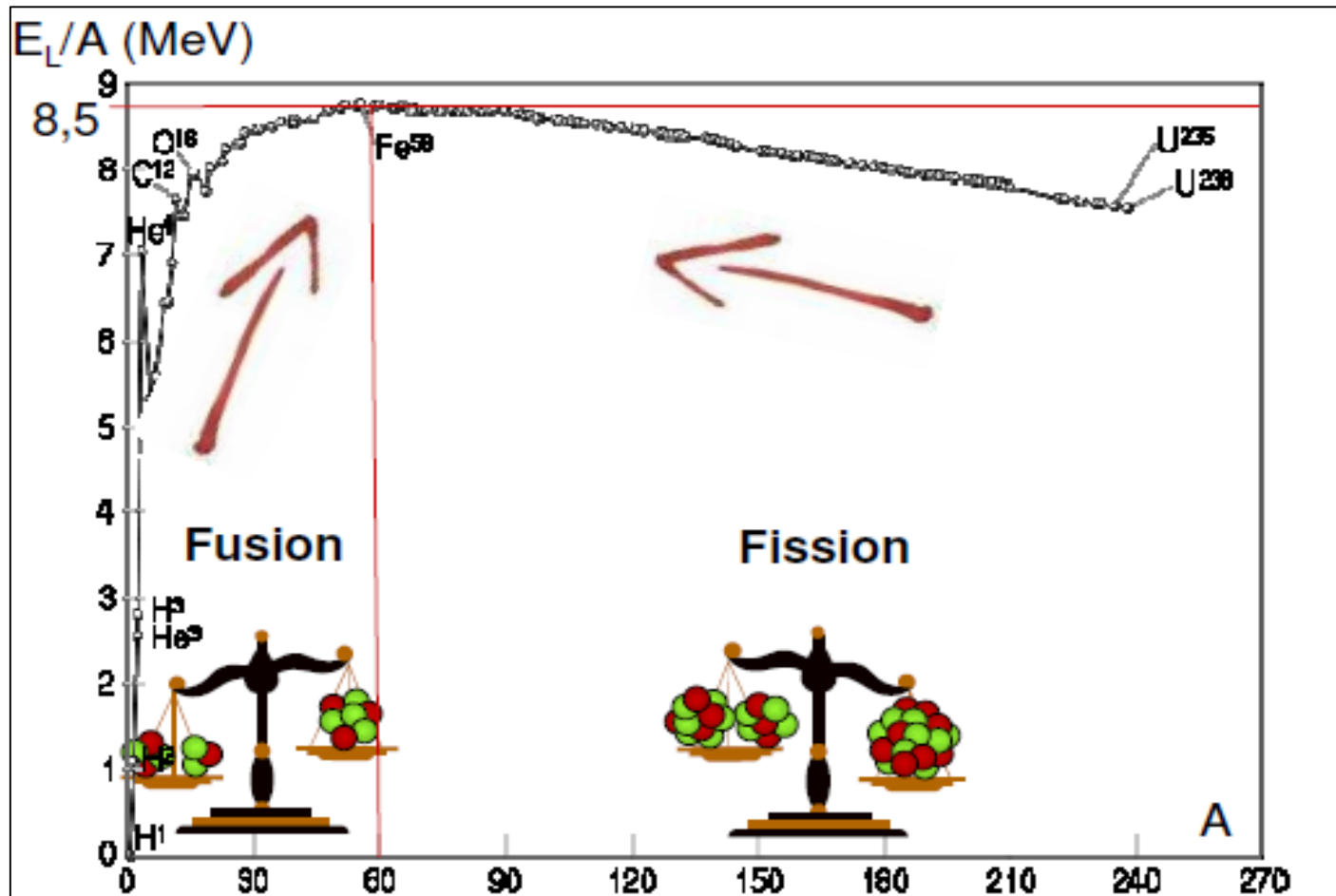
- ◆ si Interaction faible: elle est **répulsive**  $\Rightarrow$  explique les transformations radioactives.
- ◆ si Interaction forte: Force **attractive** qui assure la cohésion du noyau. Elle est  $\ggg$  force électrostatique. Elle est répulsive à très courte distance. Elle correspond à la mise en commun des particules qui s'appellent les **gluons**.

# I.F. Les réactions de fission et de fusion nucléaire

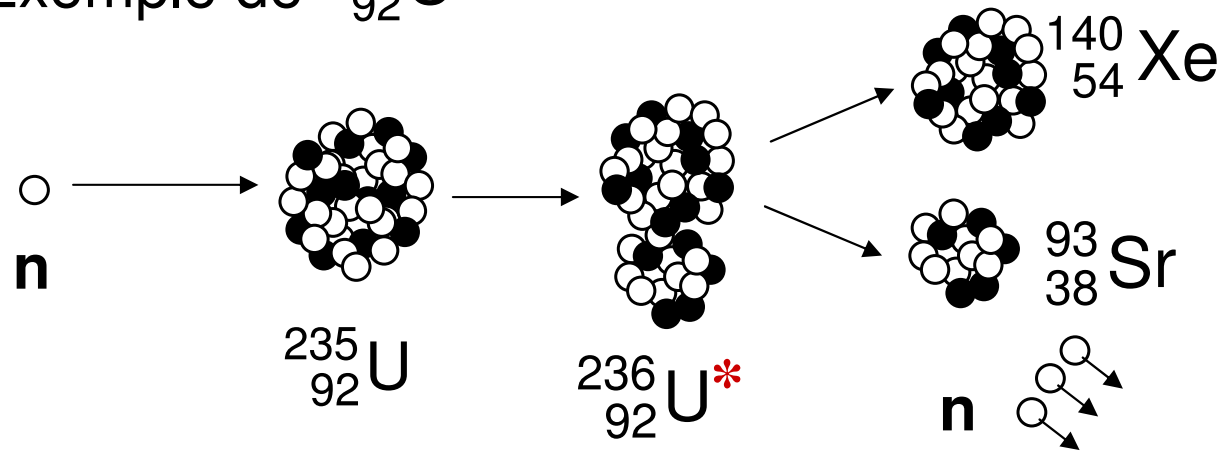
## I. LE NOYAU

- A. Classification des nucléides
  - 1. Classification chimique
  - 2. Classification physique
- B. Composition des nucléides
  - 1. Les nucléons
  - 2. Les particules élémentaires
- C. Énergie de liaison et défaut de masse
- D. Facteurs de stabilité nucléaire
- E. Les forces nucléaires
  - 1. Les forces électrostatiques
  - 2. Les forces spécifiques du noyau
- F. Les réactions de fission et de fusion nucléaire
  - 1. La fusion
  - 2. La fission

# I.F. les réactions de fusion et de fission nucléaire

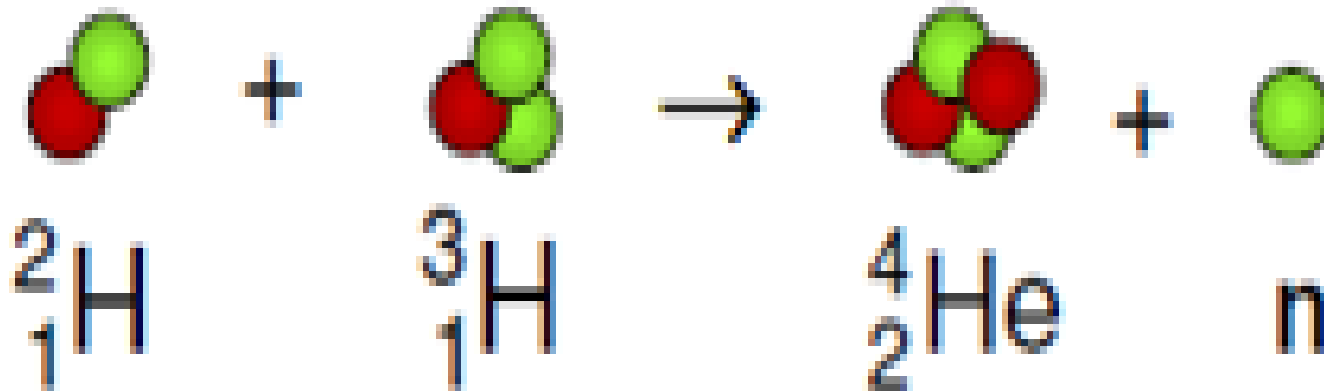


- Exemple de  $^{235}_{92}\text{U}$



## I.F.1. La fission

- ① On bombarde le noyau d'uranium d'un neutron lent, qui devient alors **instable**.
- ② L'**instabilité du noyau** provoque sa fission en 2 noyaux plus petits et en 3 neutrons.
- ③ Ces 3 neutrons libérés seront réutilisés pour fissionner à nouveau: réaction en chaîne dans un réacteur nucléaire.



## I.F.2. 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.

# Énergie libérée

- ◆ 1 réaction de fission une énergie équivalente à 2 tonnes de pétrole.
- ◆ 1 réaction de fusion libère une énergie équivalente à 12 tonnes de pétrole.

# LA RADIOACTIVITÉ

## II. LES TRANSFORMATIONS RADIOACTIVES

A. Généralités

B. La radioactivité alpha

C. Les transformations isobariques

1. Désintégration  $\beta^-$
2. Désintégration  $\beta^+$
3. Désintégration par capture électronique

D. Les transformations isomériques

1. Radioactivité  $\gamma$
2. La conversion interne



## II. LES TRANSFORMATIONS RADIOACTIVES

**Définition:** Une transformation radioactive est une mutation ou une désintégration d'un noyau atomique.

Un noyau père se transforme en noyau fils de moindre masse.

Cette perte de masse entraîne une libération d'énergie sous forme d'émission d'une particule ou d'un photon.

## II.A. Généralités

### II. LES TRANSFORMATIONS RADIOACTIVES

#### A. Généralités

capture électronique

#### B. La radioactivité alpha

#### C. Les transformations isobariques

1. Désintégration  $\beta^-$
2. Désintégration  $\beta^+$
3. Désintégration par

#### D. Les transformations isomériques

1. Radioactivité  $\gamma$
2. La conversion interne

## II.A. Généralités

Les noyaux radioactifs instables vont se transformer en noyaux stables.

3 types de transformation radioactives :

- ◆ **L'émission  $\alpha$**

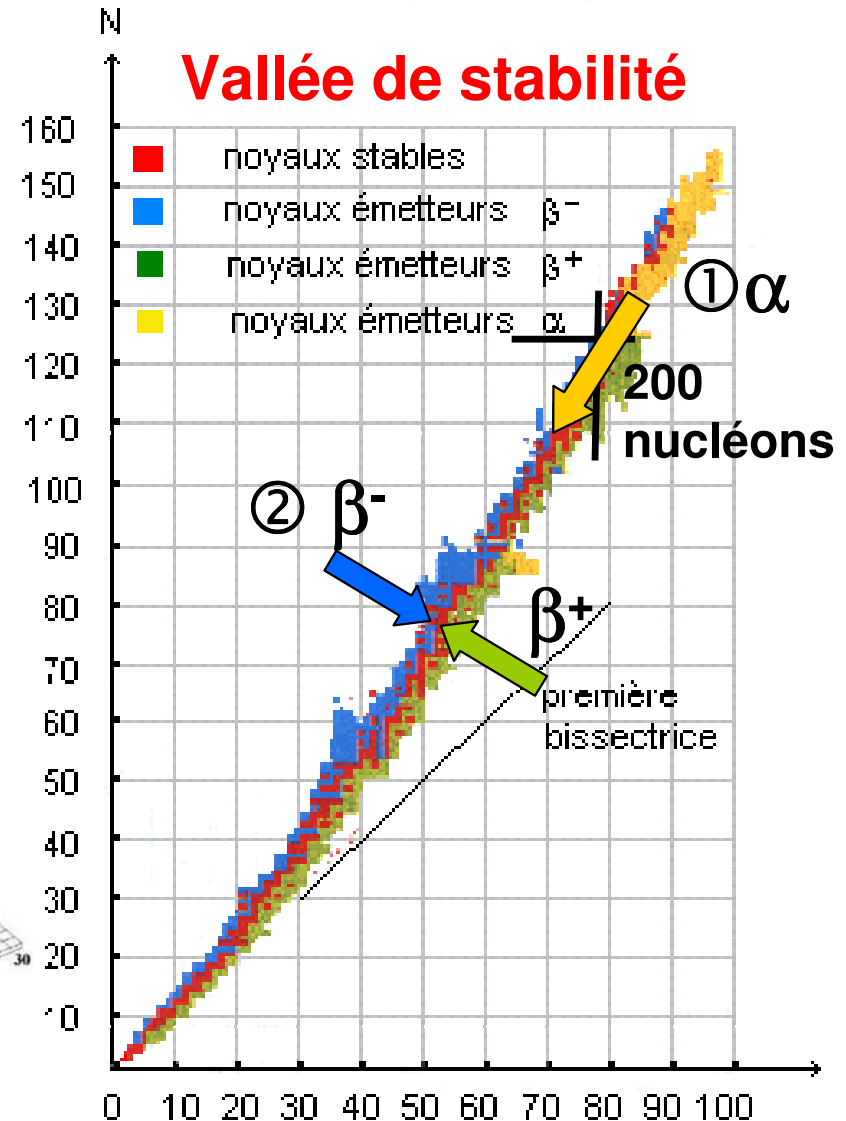
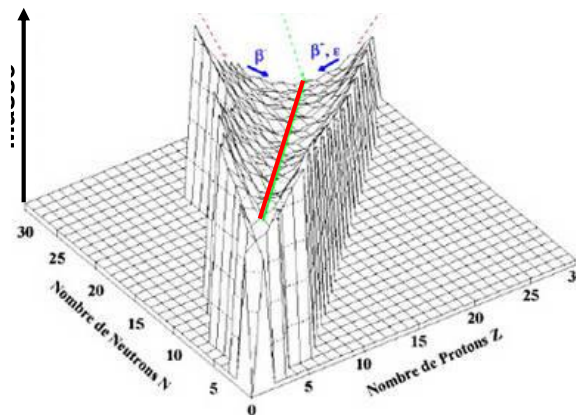
- ◆ **Les transformations isobariques**

- ◆ **Les transformations isomériques**

# II.A. Généralités

Les transformations radioactives :

- perte de masse
- gain de stabilité
- Vers la vallée de stabilité



## II.A. Généralités

### Lois de conservation :

- ◆ Nombre de nucléons  $A$  et de charges  $Z$
- ◆ Energie totale
- ◆ Quantité de mouvement

## II.B. La radioactivité alpha

### II. LES TRANSFORMATIONS RADIOACTIVES

#### A. Généralités

capture électronique

#### B. La radioactivité alpha

#### C. Les transformations isobariques

1. Désintégration  $\beta^-$
2. Désintégration  $\beta^+$
3. Désintégration par

#### D. Les transformations isomériques

1. Radioactivité  $\gamma$
2. La conversion interne

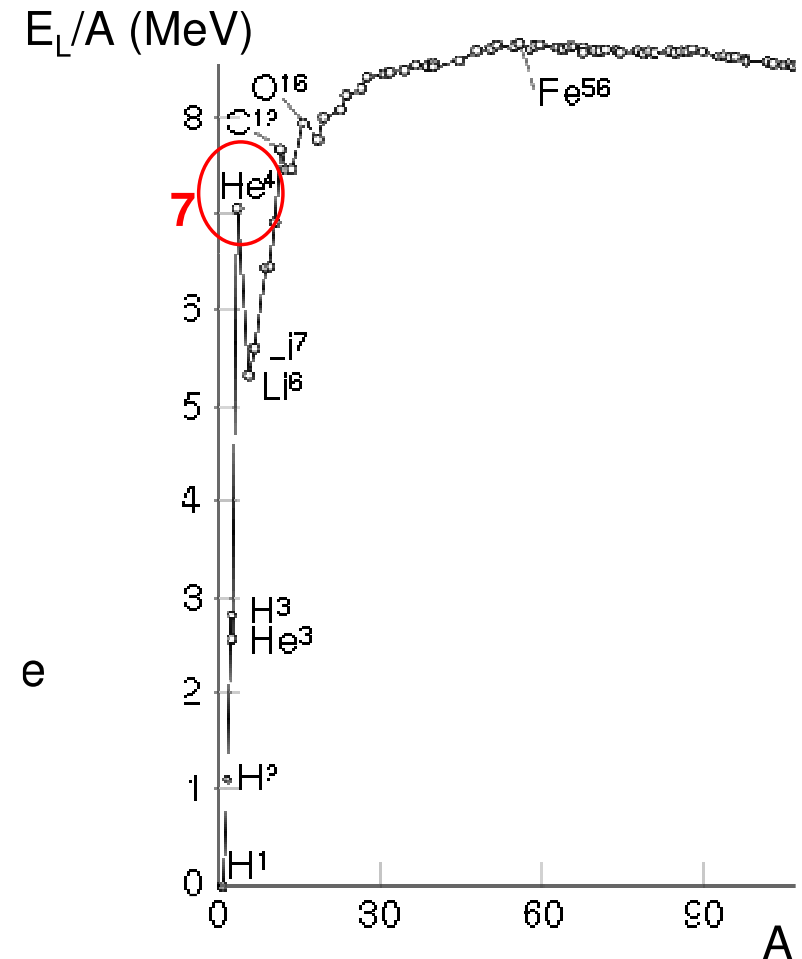
## II.B. La radioactivité alpha

La particule alpha :

**Noyau** d'Hélium

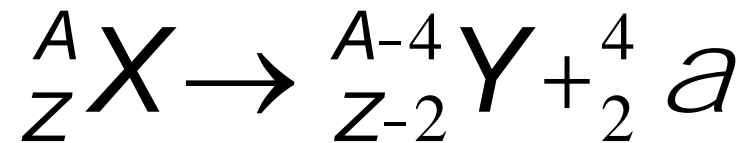
Pas d'électrons : 2 charges +

Très stable



## II.B. La radioactivité alpha: bilan masse énergie

### Réaction de désintégration



X: atome père

Y: atome fils, il s'agit d'un nouvel élément car Z change.

a: ou  $\text{He}^{++}$  ou  $\alpha^{++}$ ,  $M(4,2) = 4,0026 \text{ u}$



## II.B. La 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.

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

## III.B. La radioactivité alpha: bilan masse énergie

### Application

Le Bismuth-213 se transforme en Thallium-209



On donne  $M(213,83)=212,9943$  u et  $M(209,81)= 208,9853$  u

Quelle est l'énergie libérée par cette transformation?

## II.B. La radioactivité alpha: bilan masse énergie

### Correction

$$\Delta M = M(213,83) - M(209,81) - M(4,2)$$

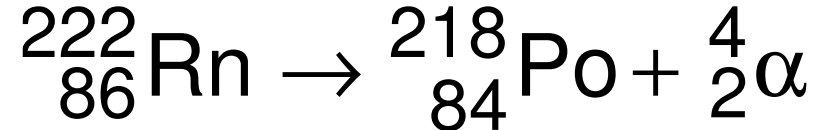
$$\Delta M = 212,9943 - 208,9853 - 4,0026 = \mathbf{0,0064}$$

$$E_d = 0,0064 \times 931,5 \approx \mathbf{6,0 \text{ MeV}}$$

## II.B. La radioactivité alpha: bilan masse énergie

### Application 2

Soit la transformation suivante:



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 ?

## II.B. La radioactivité alpha: bilan masse énergie

### Correction

$$\Delta M = 222.0176 - 218.009 - 4.0026$$

$$= 6.10^{-3} \text{ u}$$

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

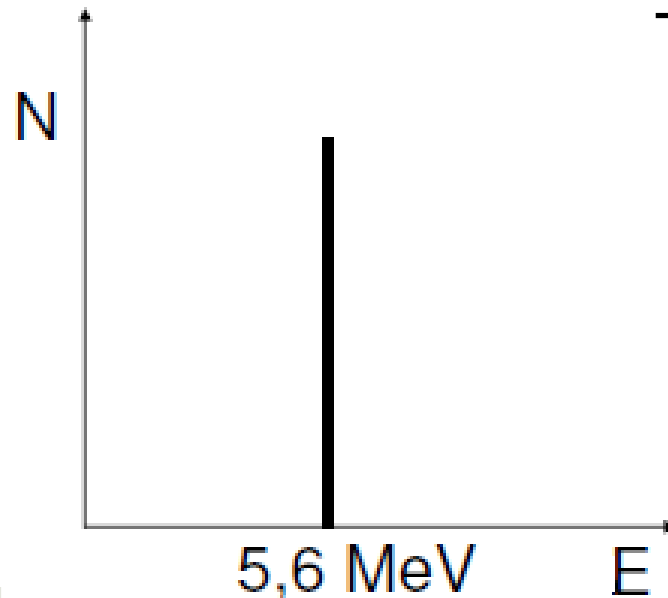
## II.B. La radioactivité alpha: spectre en énergie

Répartition de l'énergie de la réaction :

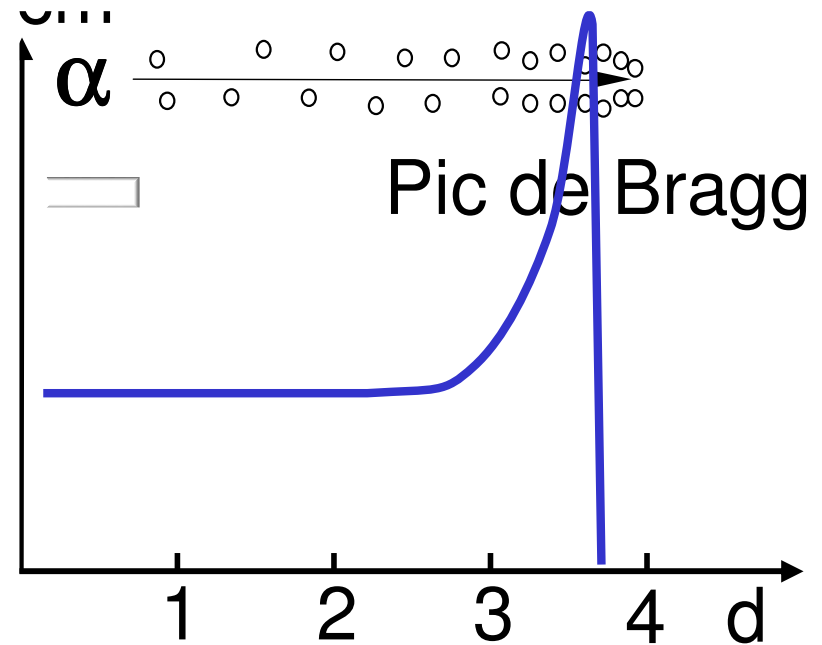
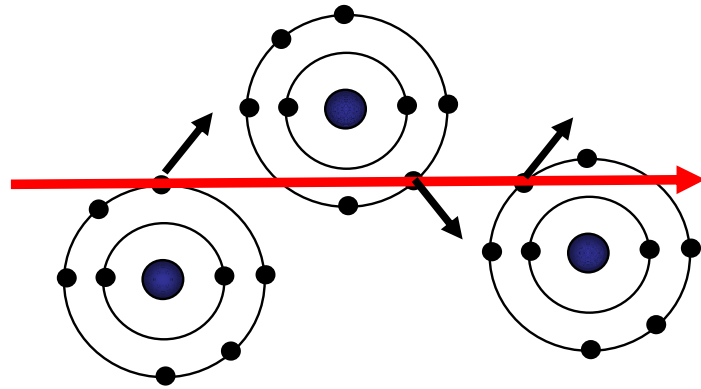
- Noyau Y (recul négligeable)
- Particule  $\alpha$  : transporte sous forme d'énergie cinétique la quasi-totalité de l'énergie libérée

## II.B. La radioactivité alpha: spectre en énergie

Spectre **de raie** correspondant à l'énergie transporté par la particule  $\alpha$



$\alpha$



## II.B. La radioactivité alpha: parcours dans la matière

Les particules  $\alpha$  sont lourdes et chargées, elles ont:

- ◆ Une vitesse faible (non relativiste)
- ◆ Une trajectoire rectiligne
- ◆ Elles exercent une attraction sur les  $e^-$  de par leurs charges positives entraînant d'importantes ionisations des atomes du milieu.

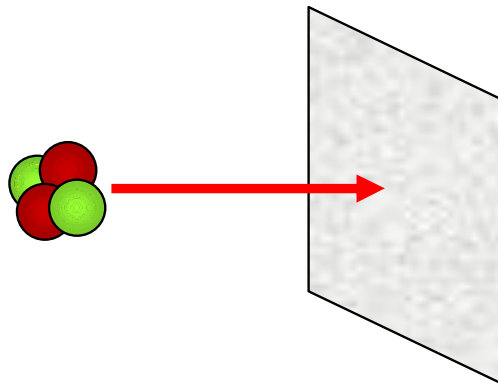


## II.B. La radioactivité alpha: **parcours dans la matière**

Leurs nombreuses interactions avec la matière entraîne une perte progressive de l'énergie des **particules  $\alpha$** .

Elles sont donc **très rapidement arrêtées par la matière**.

Une feuille de papier suffit pour les arrêter !



## II.C. Les transformations isobariques

### II. LES TRANSFORMATIONS RADIOACTIVES

A. Généralités

B. La radioactivité alpha

C. Les transformations isobariques

1. Désintégration  $\beta^-$
2. Désintégration  $\beta^+$
3. Désintégration par capture électronique

D. Les transformations isomériques

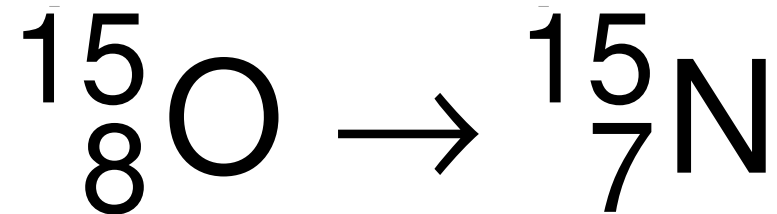
1. Radioactivité  $\gamma$
2. La conversion interne

## II.C. Les transformations isobariques

Transformations à nombre de masse A constant

Seul Z donc la répartition neutrons/protons change

Création d'un nouvel élément

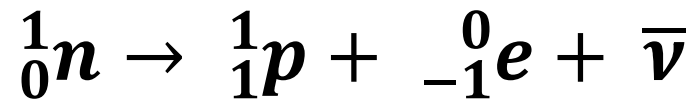


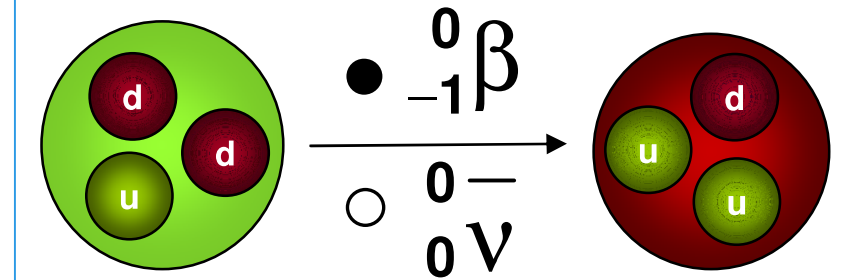
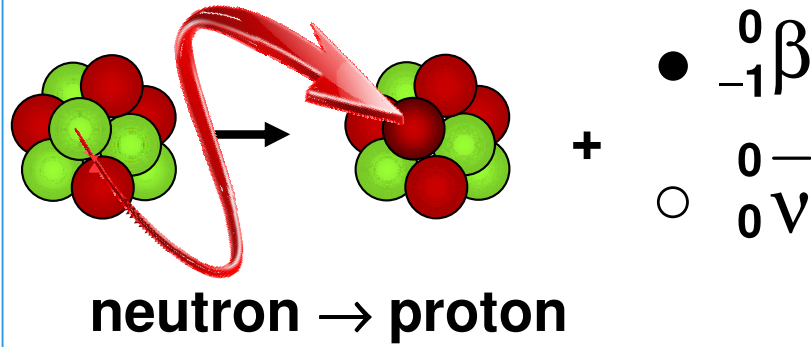
## II.C.1. La désintégration $\beta^-$

Excès de neutrons : N remplacé par P



Transformation du neutron en proton :





Issue de la réaction :

Electron : ne préexiste pas dans le noyau

Antineutrino : charge nulle et masse négligeable

Transformation N en P : du à l'inversion d'un quark Down en Up

## II.C.1. La désintégration $\beta^-$ : Bilan masse-énergie

Le défaut de masse est:

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

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

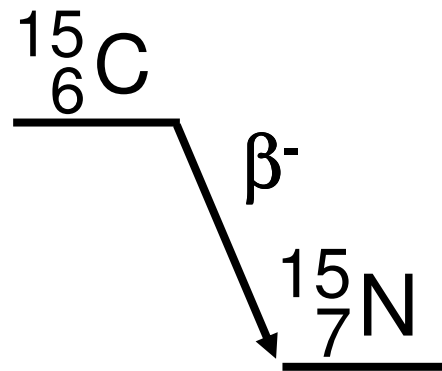
$$\Delta M = M(A, Z) - M(A, Z+1)$$

## II.C.1. La désintégration $\beta^-$

### Application

Soit la désintégration du **carbone-15** en **azote-15** avec:

$$M(15,6) = 15,0105; M(15,7) = 15,0001 \text{ u}$$



Quelle est l'énergie libérée?

## II.C.1. La désintégration $\beta^-$

Correction

$$\Delta M = 15,0105 - 15,0001 = \mathbf{0,0104 \text{ u}}$$

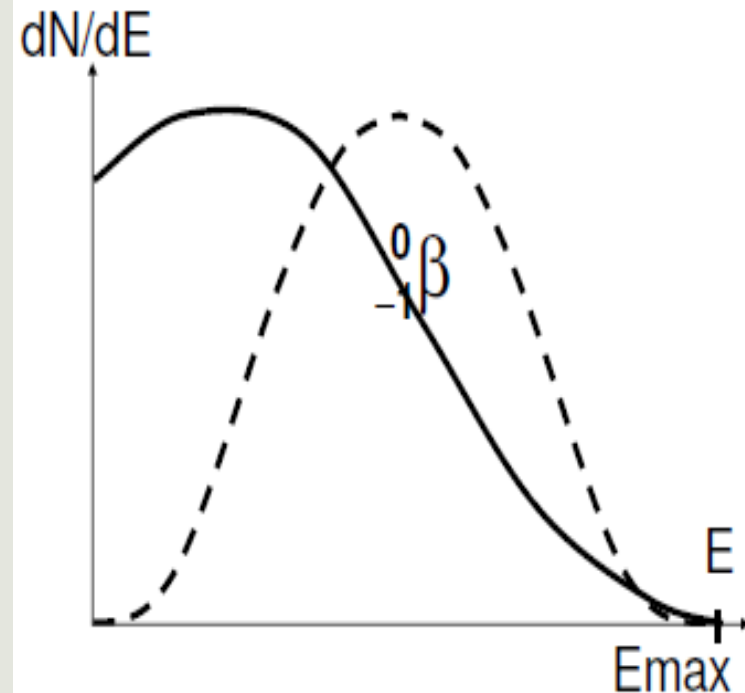
$$E_d = 0,0104 \times 931,5 = \mathbf{9,7 \text{ MeV}}$$



## II.C.1. La désintégration $\beta^-$ : spectre en énergie

Répartition de l'énergie de la réaction :

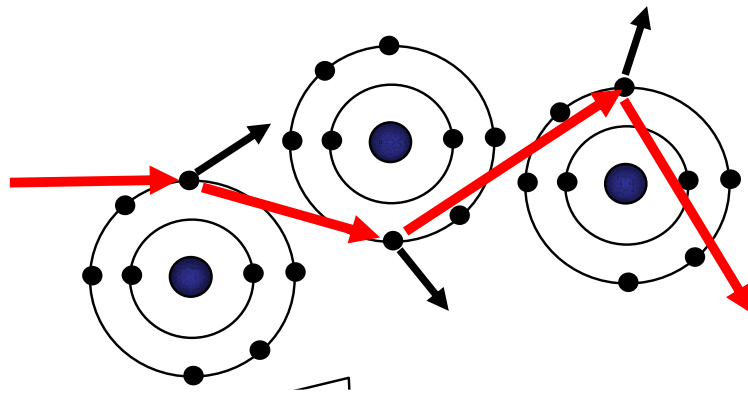
- Noyau (recoil négligeable)
- Antineutrino (non détectable)
- Electron (spectre continu)
- Répartition aléatoire de l'énergie entre  $\beta^-$  et  $\nu$



## II.C.1. La désintégration $\beta^-$ : parcours dans la matière.

### Particularité des particules $\beta^-$ :

- ◆ Vitesse rapide  $> 0,9c$  (particule relativiste)
- ◆ Trajectoire non rectiligne
- ◆ Portée millimétrique
- ◆ Ionisantes

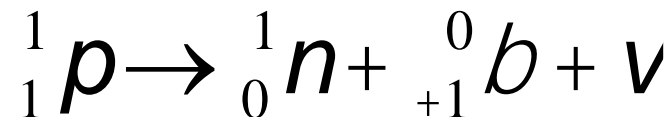


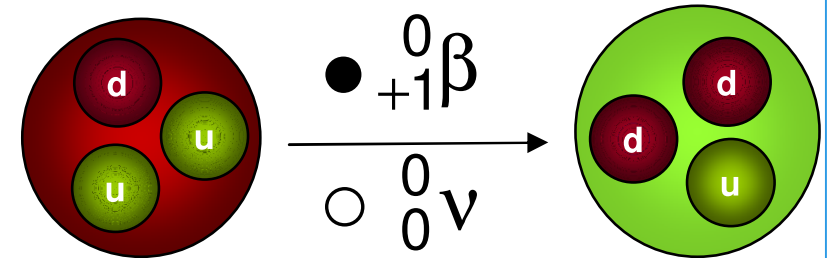
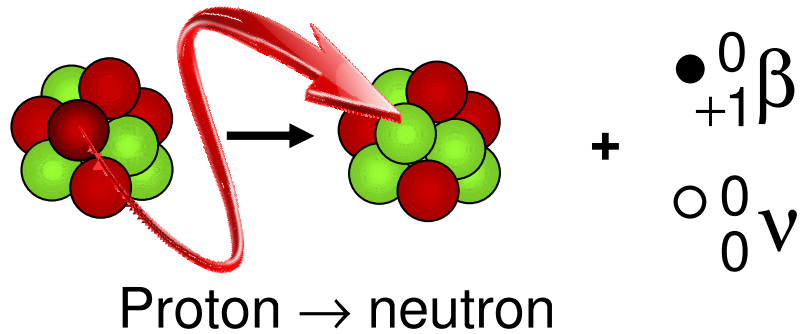
## II.C.2. La désintégration $\beta^+$

Elle concerne les noyaux ayant un excès de protons.



Transformation du proton en neutron :





Issue de la réaction :

Positon :  $\begin{smallmatrix} 0 \\ +1 \end{smallmatrix} \beta$  ou  $\beta^+$  ou  $\begin{smallmatrix} 0 \\ +1 \end{smallmatrix} e$

Neutrino  $\nu$  : charge nulle et masse négligeable

Transformation P en N : du à l'inversion d'un quark Up en Down

## II.C.2. La désintégration $\beta^+$ : Bilan masse-énergie

Le défaut de masse est:

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

$$\Delta M = M(A, Z) - Zm_e - M(A, Z-1) + (Z-1)m_e - m_e$$

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

$\Delta M$  ne peut pas être  $< 0$

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

$$[M(A, Z) - M(A, Z+1)].931,5 > 2 \times 0,511 \text{ MeV} = 1,022 \text{ MeV}.$$

**Il y a un seuil de 1,022 MeV**

## II.C.2. La désintégration $\beta^+$ : Bilan masse-énergie

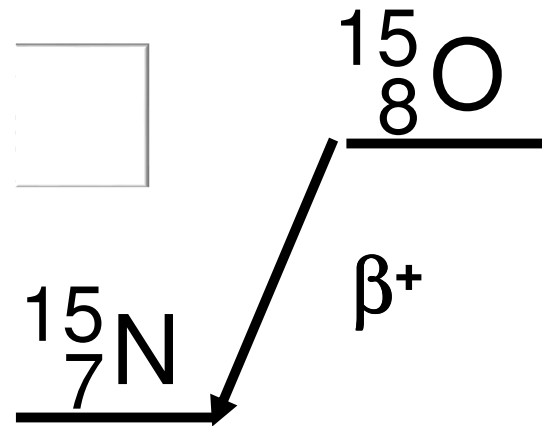
### Application

Soit la désintégration de l'oxygène-15 en azote-15 avec:

◆  $M(15,8) = 15,0030 \text{ u}$ ;

◆  $M(15,7) = 15,0001 \text{ u}$ ;

◆  $m_e = 0,00055 \text{ u}$



## II.C.2. La désintégration $\beta^+$ : Bilan masse-énergie

### Correction

$$\Delta M = 15,0030 - 15,0001 - 2 \times 0,00055 = \mathbf{0,0018 \text{ u}}$$

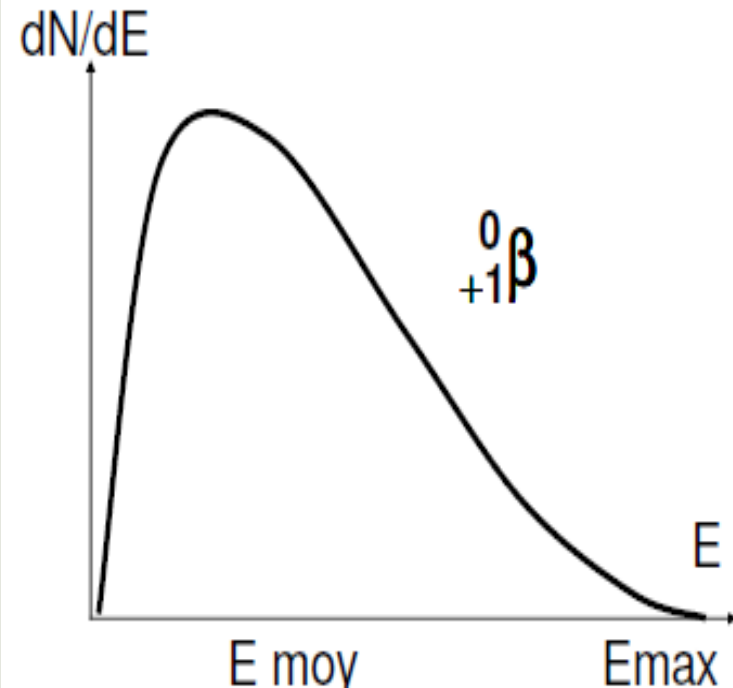
$$E_d = 0,0018 \times 931,5 = \mathbf{1,7 \text{ MeV}}$$

Le seuil de 1,022 MeV est dépassé  
la transformation  $\beta^+$  est possible.

## II.C.2. La désintégration $\beta^+$ : spectre en énergie

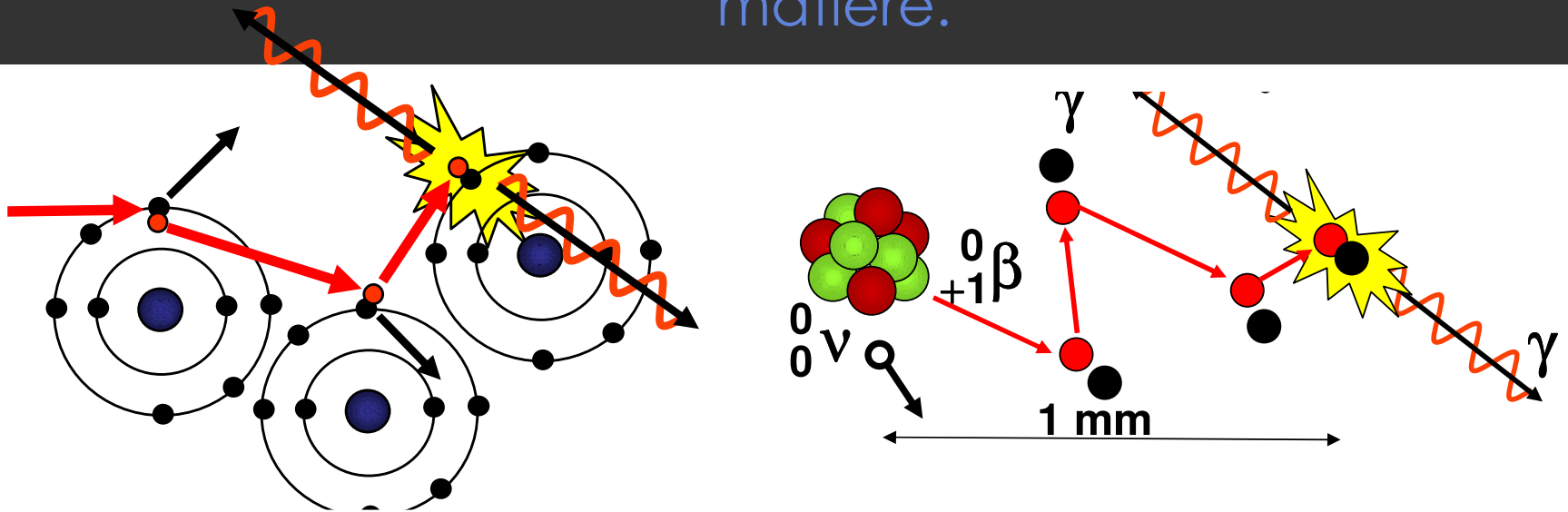
Répartition de l'énergie de la réaction :

- Noyau (recul négligeable)
- Neutrino (non détectable)
- Positron (spectre continu)
- Répartition aléatoire de l'énergie entre  $\beta^+$  et  $\nu$





## II.C.2. La désintégration $\beta^+$ : parcours dans la matière.



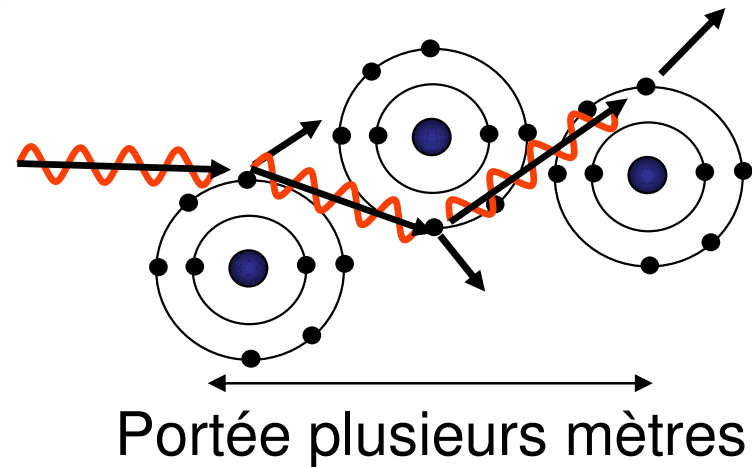
Les particules  $\beta^+$  sont sujettes à des :

- ◆ **Collisions** avec les électrons jusqu'à épuisement de l'énergie cinétique.
- ◆ **Réactions d'annihilations avec un électron** : crée 2 photons gamma

## II.C.2. La désintégration $\beta^+$ : **parcours** **dans la matière.**

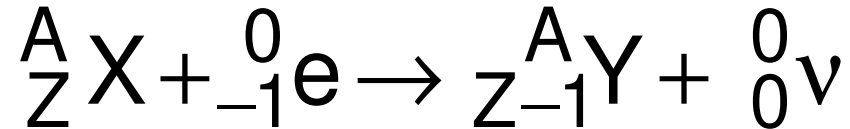
### Photons $\gamma$

- ◆ Portée de plusieurs mètres
- ◆ Atténués par du plomb ou du béton

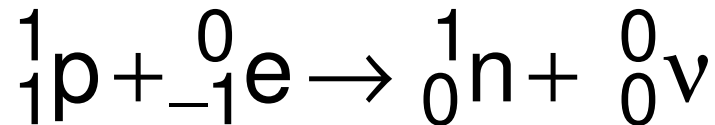


## II.C.3. La capture électronique

Elle concerne les noyaux avec un excès de protons.



L'**électron** de la transformation est généralement prélevé sur la couche K.



.

## II.C.3. La capture électronique: bilan masse / énergie

Le défaut de masse est:

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

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

Pour que la transformation soit *possible* il faut que l'énergie libérée soit supérieure à  $|\mathbf{W}_K|$

## II.C.3. La capture électronique: bilan masse / énergie

### Application

Soit la transformation suivante :



On donne :

$$W_k \text{ du } {}^{201}\text{Tl} = -85 \text{ keV}$$

$$M(201, 81) = 200,97079$$

$$M(201, 80) = 200,97028, \text{ Quelle est l'énergie libérée?}$$

## II.C.3. La capture électronique: bilan masse / énergie

### Correction

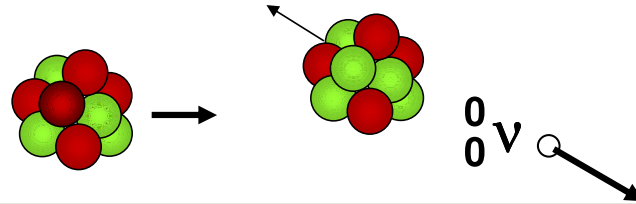
$$\Delta M = 200,97079 - 200,97028 = \mathbf{5.10^{-4} \text{ u}}$$

$$E_d = 5.10^{-4} \times 931,5 = \mathbf{0,475 \text{ MeV}}$$

L'énergie libérée est inférieure à  $1,022 \text{ MeV}$ : il n'y a pas de désintégration  $\beta^+$  possible.

L'énergie libérée est supérieure  $85 \text{ keV} = |W_K|$ : elle permet une **capture électronique**.

## II.C.3. La capture électronique: spectre en énergie

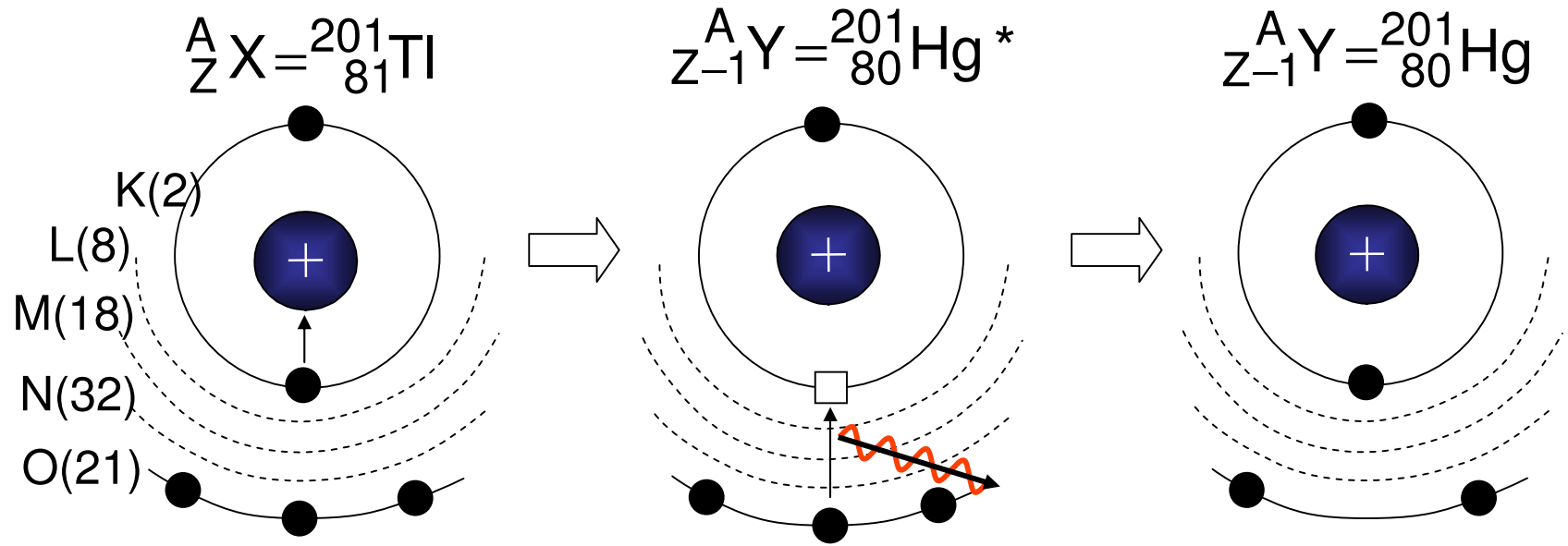


Répartition de l'énergie de la réaction :

- Noyau (recul négligeable)
- Neutrino (non détectable)
- Energie utilisée pour arracher l'électron de  $W_k$

$$E_{\text{neutrino}} = E_d - |W_k|$$

## II.C.3. La capture électronique: spectre en énergie



Réarrangement électronique :

- photons de fluorescence
- électrons Auger



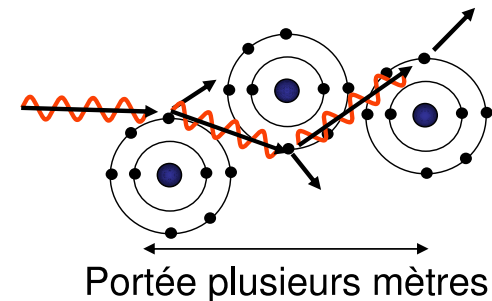
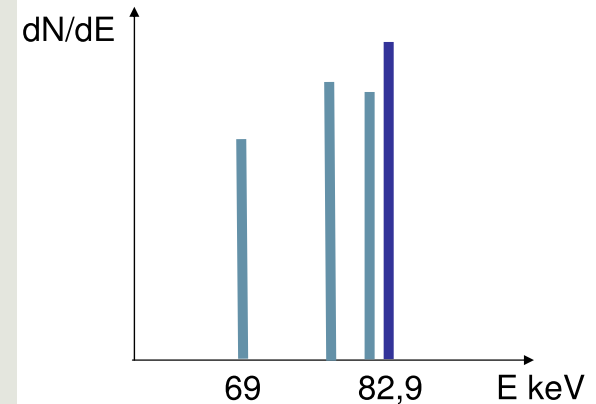
## II.C.3. La capture électronique: spectre en énergie

Réarrangement électronique :

**Spectre atomique de raie du aux photons de fluorescence**

Caractéristique :

- Plusieurs mètres de portée
- Atténués par le plomb/béton



## II.D. Les transformations isomériques

### II. LES TRANSFORMATIONS RADIOACTIVES

A. Généralités

B. La radioactivité alpha

C. Les transformations isobariques

1. Désintégration  $\beta^-$
2. Désintégration  $\beta^+$
3. Désintégration par capture électronique

D. Les transformations isomériques

1. Radioactivité  $\gamma$
2. La conversion interne

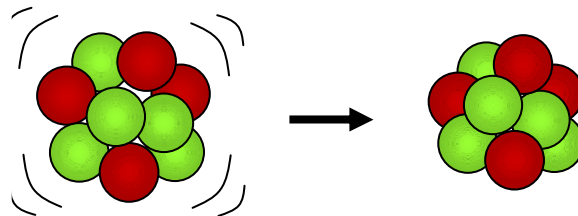
## II.D. Les transformations isomériques

Les transformations sans changement de nature du noyau

Sur les niveaux d'énergie des nucléons.

Certaines transformations isobariques : **état intermédiaire possible** où persiste un excédent d'énergie.

Les nucléons occupent alors des niveaux d'énergie supérieurs à ceux de l'état fondamental.



## II.D. Les transformations isomériques

2 état possibles :

- ◆ Noyau excité : retour instantané
- ◆ Noyau métastable : retour différé  $> 1\text{sec}$

## II.D. Les transformations isomériques

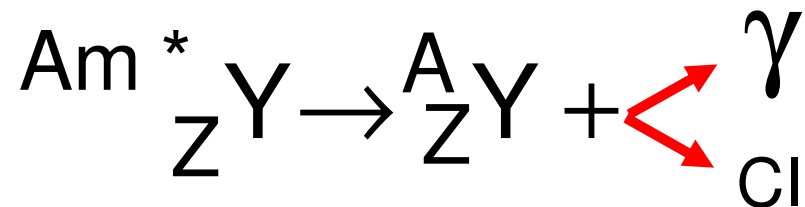
Libération de l'excédent d'énergie :

◆ Emission d'un **photon gamma  $\gamma$**

- Si le noyau père est excité ou métastable  ${}^mY$

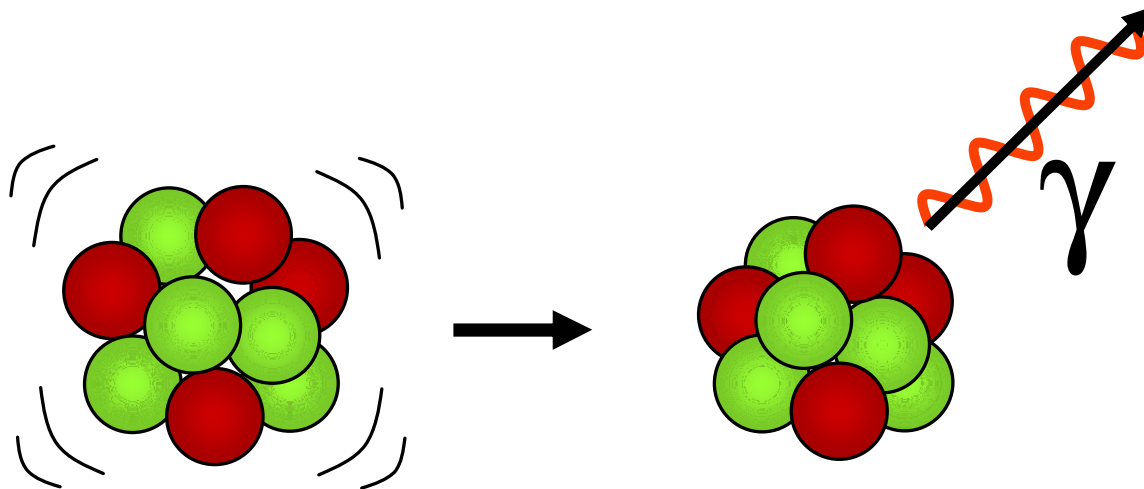
◆ Phénomène de **conversion interne**

- Si le noyau père est excité ou métastable  ${}^mY$



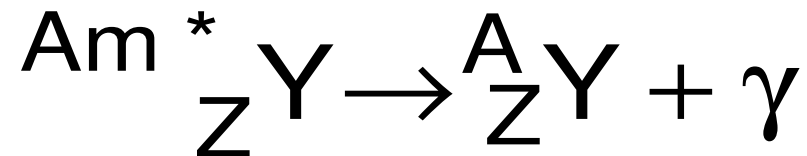
## II.D.1. La radioactivité gamma

Retour à l'**état fondamental** par émission d'un photon gamma d'origine **nucléaire**



## II.D.1. La radioactivité gamma: bilan masse / énergie

On a le bilan suivant:



Le défaut de masse est :

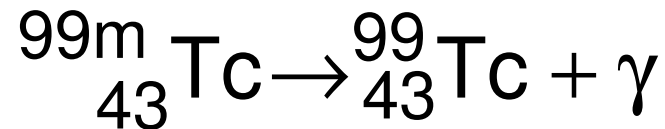
$$\Delta M = M(A_m, Z) - Zm_e - [M(A, Z) - Zm_e]$$

$$\Delta M = M(A_m, Z) - M(A, Z)$$

## II.D.1. La radioactivité gamma: bilan masse / énergie

### Application

Soit la transformation suivante:



On donne les masses:

$$M(99m, 43) = 98,90655$$

$$M(99, 43) = 98,90640$$

Quelle est l'énergie du photon gamma libéré?



## II.D.1. La radioactivité gamma: bilan masse / énergie

### Correction

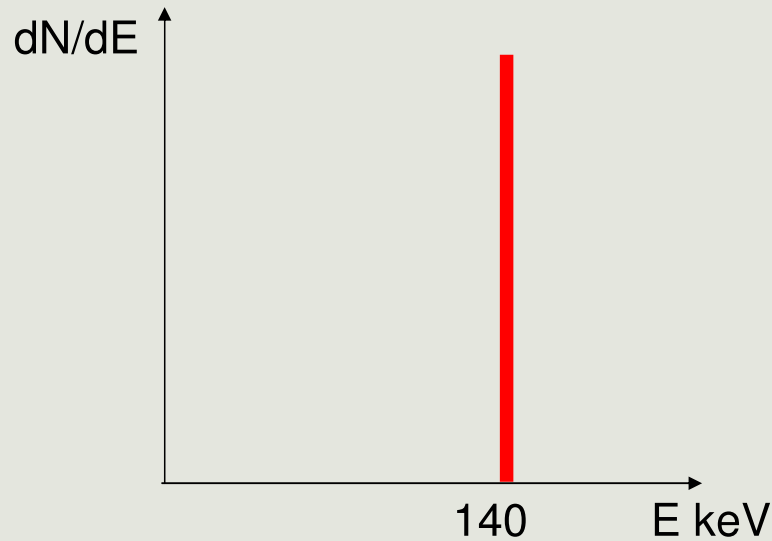
$$\Delta M = 98,90655 - 98,90640 = \mathbf{0,00015 \text{ u}}$$

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

## II.D.1. La radioactivité gamma: spectre en énergie

$$E_{\text{gamma}} = h\nu = E_d$$

Spectre électromagnétique **nucléaire** de raie.

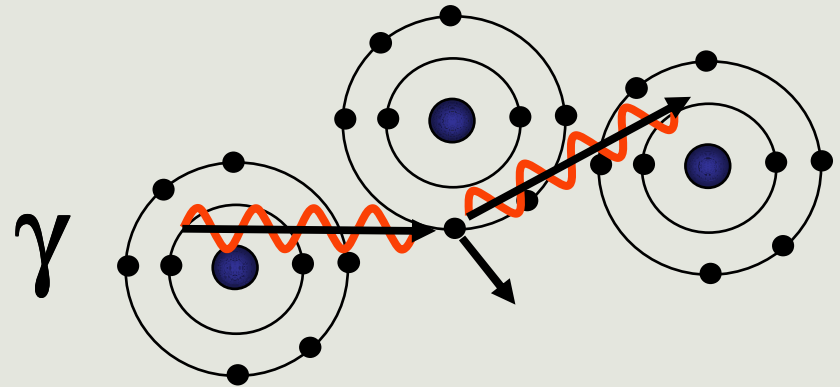


## II.D.1. La radioactivité gamma: **parcours** dans la matière

Le photon gamma est **ionisant** :

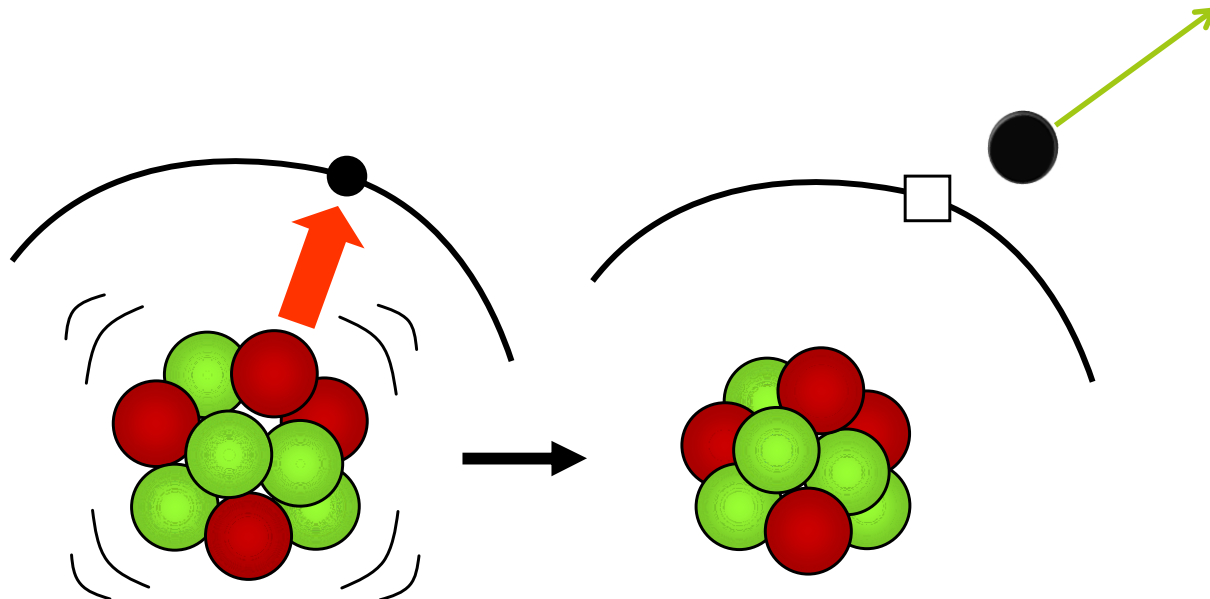
- ◆ L'effet photo-électrique
- ◆ La diffusion Compton
- ◆ La création de paire

◆ Atténués par du plomb ou béton



## I.D.2. La conversion interne

L'énergie en excès : transmise à un électron de l'atome qui est alors **ionisé**.



## II.D.2. La conversion interne: bilan masse / énergie

La réaction de désintégration:



Le défaut de masse

$$\Delta M = M(A_m, Z) - Zm_e - [M(A, Z) - Zm_e]$$

$$\Delta M = M(A_m, Z) - M(A, Z)$$

## II.D.2. La conversion interne: bilan masse / énergie

### Application

Soit la désexcitation du  $^{137*}_{56}\text{Ba}$

Avec

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

$$W_K(56\text{Ba}) = -37,4 \text{ keV} ; W_L(56\text{Ba}) = -5,6 \text{ keV}$$

Calculer les énergies cinétiques des électrons pouvant être ionisés..

## II.D.2. La conversion interne: bilan masse / énergie

### Correction

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

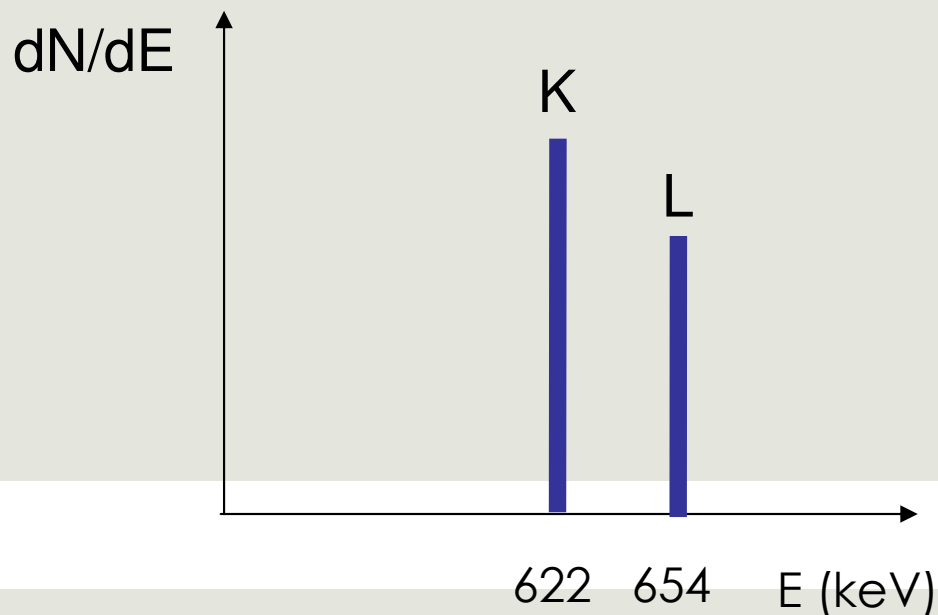
$$W_k(56\text{Ba}) = -37,4 \text{ keV} ; W_L(56\text{Ba}) = -5,6 \text{ keV}$$

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

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

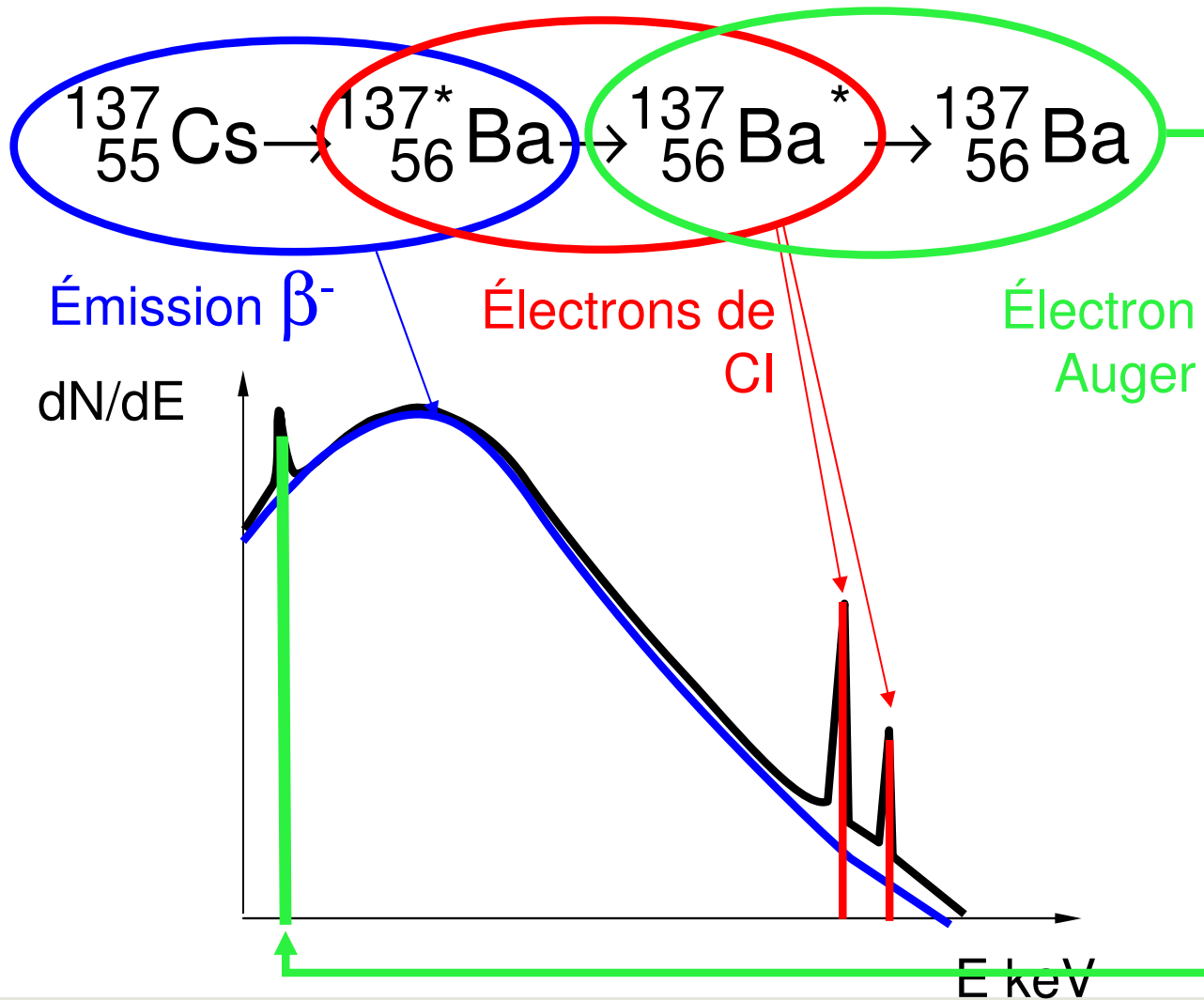
## II.D.2. La conversion interne: spectre énergétique

**Spectre électronique atomique de raies** du au réarrangements électronique





## II.D.2. La conversion interne: spectre énergétique



Merci pour votre attention !