

# module de physique

## (BIO)Physique des rayonnements

[radioactivité - rayonnement radioactif - interaction rayonnement matière]

**notions à retenir**

Pr. M. CHEREF

Département de Médecine Dentaire  
Faculté de Médecine – Université ALGER 1

# Radioactivité -a

rappels : définitions – notions de nucléides et de nucléons

noyau atomique : caractérisation et modélisation

énergie de liaison et vallée de stabilité

réactions de fission et de fusion

# I- Le Noyau atomique : définitions (1)

## ➤ Notion de Nucléons

### ■ Notion de Protons : Z protons dans le noyau atomique

La masse du proton est :       $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$   
                                       $m_p = 938,28 \text{ Mev/c}^2$

La charge électrique d'un proton :     $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

### ■ Notion de Neutron : N neutrons dans le noyau atomique

La masse du neutron est :       $m_n = 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$   
                                       $m_n = 939,57 \text{ Mev/c}^2$

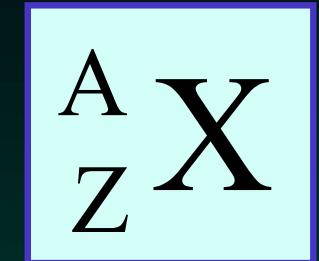
La charge électrique d'un neutron est **NULLE**



LA CHARGE ÉLECTRIQUE DU NOYAU ATOMIQUE EST Z  
LE NOMBRE DE MASSE A = (Z+N)

# I- Le Noyau atomique : définitions (2)

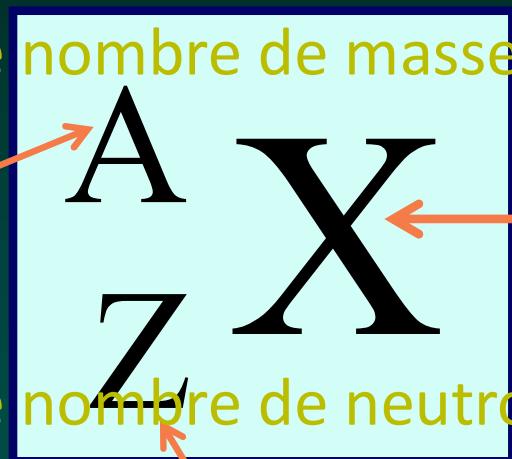
- Notion de Nucléides : Noyau atomique complet



- Les Isobares :

Nucléides de même **nombre de masse A** mais de numéros atomiques Z différents.

Nombre de masse



Symbole chimique  
(Tableau de Mendeliev)

- Les Isotones :

Nucléides de même **nombre de neutrons**, mais de nombre de masse A différents.

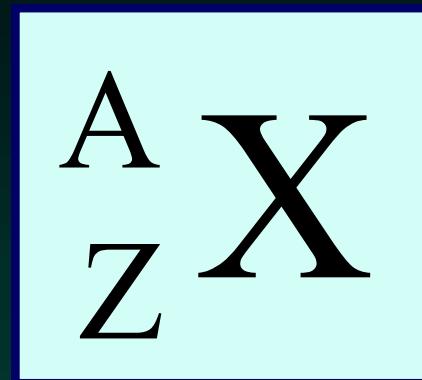
Numéro atomique

- Les Isotopes :

Nucléides de même numéros atomiques, mais de nombre de masse A différents.

# I- Le Noyau atomique : définitions (3)

- Dimension du noyau  
(Vision semi-empirique)



$$R = r_0 \cdot A^{1/3}$$

$1,2 \text{ fm} < r_0 < 1,4 \text{ fm}$

un atome :  
un noyau (protons + neutrons)  
+  
des électrons

REMARQUE



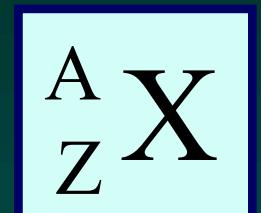
RAYON DE L'ATOME :  
~ 100.000 FOIS  
LE RAYON DU NOYAU

## II- Le Noyau atomique : Énergie de liaison (1)

### ➤ Défaut de masse

Le défaut de masse  $\Delta m$  d'un système lié (de masse  $M$ ) de particules (de masse  $m_i$ ) s'exprime comme :

$$\Delta m = \left( \sum_i m_i \right) - M \quad \text{avec } \Delta m > 0$$



**dans le cadre du noyau**



A : Nombre de masse ; Z : Nombre de protons ; N : Nombre de neutrons ;  $N = A - Z$   
 $m_p$ : masse du proton ;  $m_N$  : masse du neutron ; M : masse du noyau



$$\Delta m = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_N) - M$$

## II- Le Noyau atomique : Énergie de liaison (2)

- Énergie de liaison  $W(A, Z)$  du Noyau

$$\Delta m \cdot c^2 = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_N) \cdot c^2 - M \cdot c^2$$

- Stabilité du Noyau

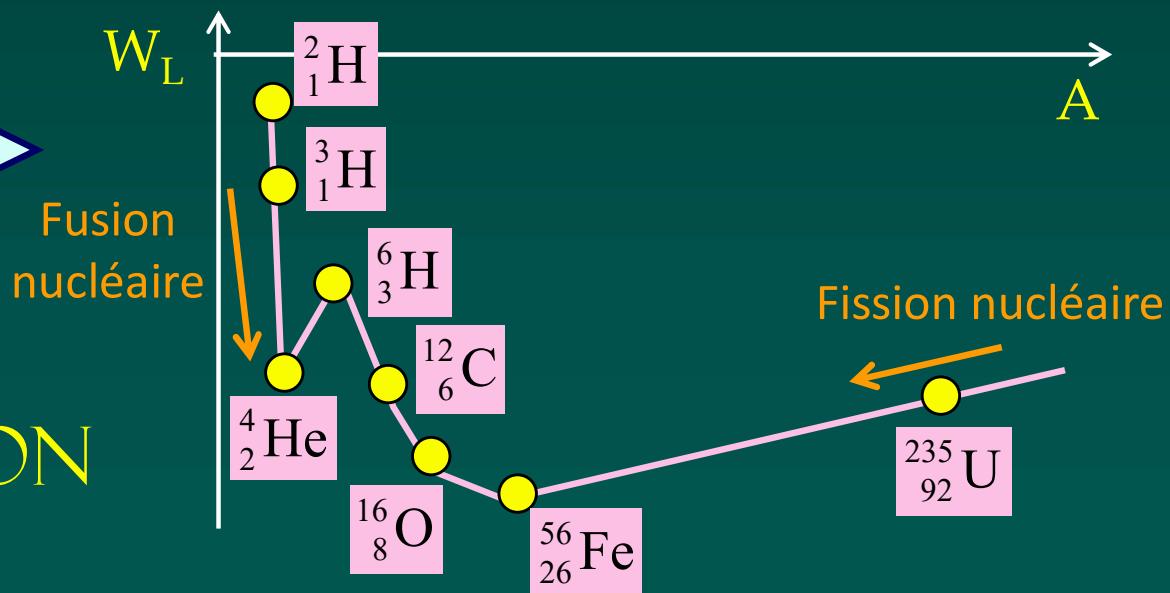
ÉNERGIE DE LIAISON MOYENNE PAR NUCLÉON

$A_Z X$

$$W_L = \frac{W(A, Z)}{A}$$

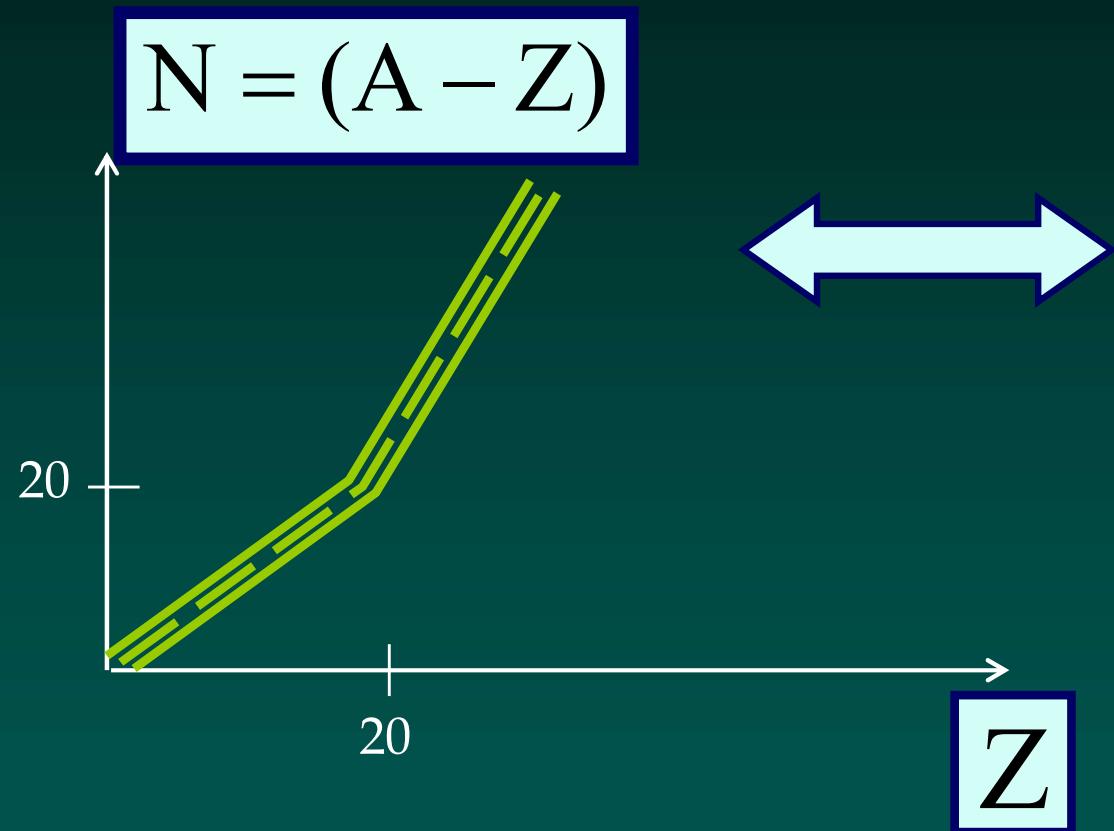


COURBE D'ASTON



## II- Le Noyau atomique : Vallée de stabilité

- Répulsion coulombienne et attraction nucléaire



$$Z < 20 \Rightarrow N = Z$$

$$Z > 20 \Rightarrow N = \frac{3}{2}Z$$

REMARQUE



La stabilité du noyau  
dépend également de la parité  
du nombre de protons et de neutrons

### III- Réactions de fission et de fusion (1)

#### ➤ Réaction de fission

- Un nucléide lourd « se brise » et donne alors naissance à deux nucléides plus stables, caractérisés par des énergies de liaison par nucléon plus grandes.
- En pratique, cette réaction peut être provoquée par un « neutron thermique » (neutron de faible énergie cinétique): exemple d'une centrale nucléaire.

Réaction fortement exoénergétique

### III- Réactions de fission et de fusion (2)

#### ➤ Réaction de fusion

- Deux nucléides légers fusionnent pour donner un élément plus lourd.
- Cet élément aura alors une énergie de liaison par nucléon plus grande.  
Il sera donc plus stable.
- Réaction thermonucléaire : exemple du Soleil

RÉACTION NON SPONTANÉE  
TRÈS FORTEMENT ÉNERGÉTIQUE

# Radioactivité -b

radioactivité  $\alpha$

radioactivité  $\beta$  ( $\beta^+$  et  $\beta^-$ )

capture électronique

émission  $\gamma$

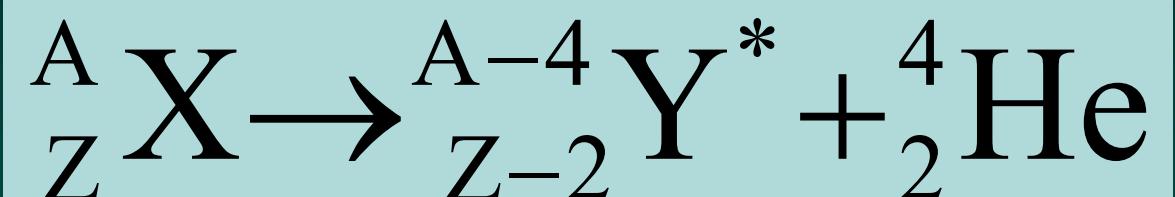
période radioactive – loi de décroissance radioactive

activité radioactive et équilibre radioactif

## IV- Radioactivités (1)

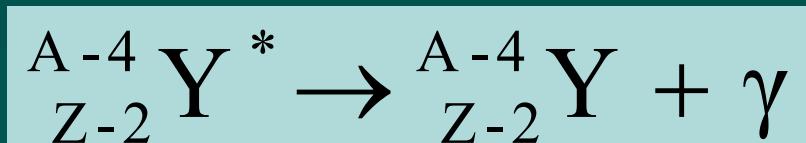
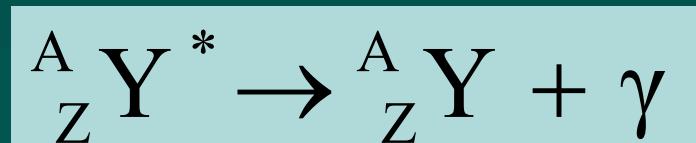
### ➤ Radioactivité $\alpha$

Cette réaction amène le noyau atomique vers une zone plus stable (obtention du noyau Y et d'un noyau d'hélium)



### ➤ Émission $\gamma$

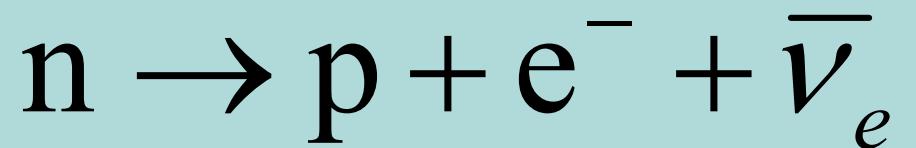
Obtention d'un noyau Y (exemple de la radioactivité  $\alpha$ ) dans un état excité, qui revient à son état fondamental en émettant un ou plusieurs photons  $\gamma$



## IV- Radioactivités (2)

➤ Radioactivité  $\beta$  (1) : Deux types de radioactivité  $\beta$  :  $\beta^+$  et  $\beta^-$

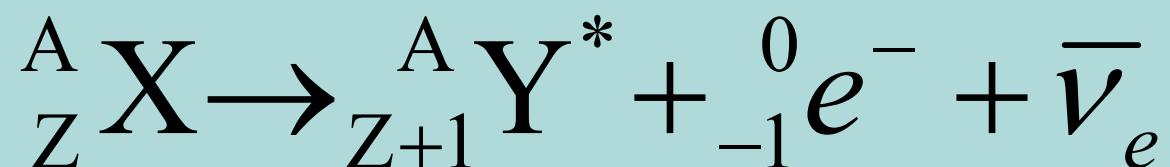
- Radioactivité  $\beta^-$



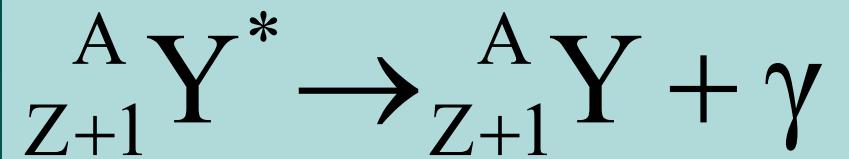
Nucléides avec un excès de neutrons

Un neutron se désintègre en un proton, un électron, et ....

une particule appelée antineutrino  
(masse nulle, charge électrique nulle, spin  $\frac{1}{2}$ )



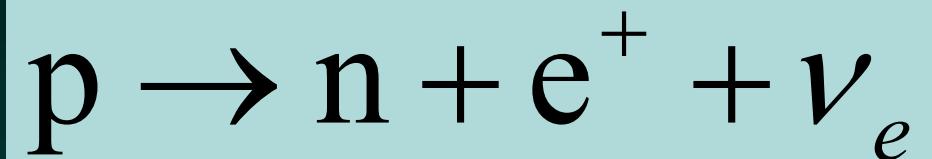
Transformation isomérique



## IV- Radioactivités (3)

### ➤ Radioactivité $\beta$ (2) :

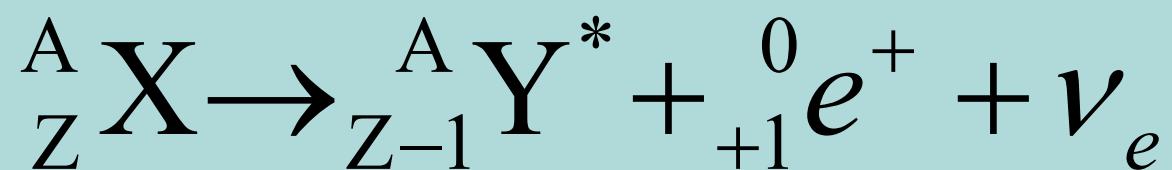
- Radioactivité  $\beta^+$



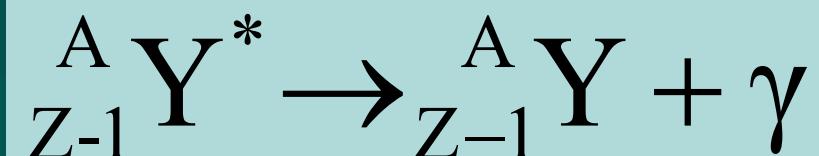
Nucléides avec un excès de protons

Un proton se désintègre en un neutron, un positon, et ....

une particule appelée neutrino  
(masse nulle, charge électrique nulle, spin  $-\frac{1}{2}$ )



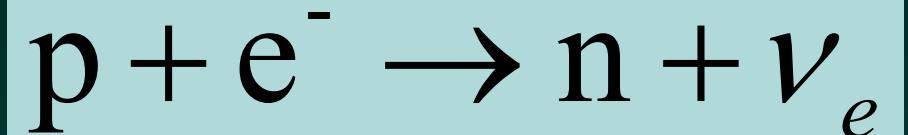
Transformation isomérique



## IV- Radioactivités (4)

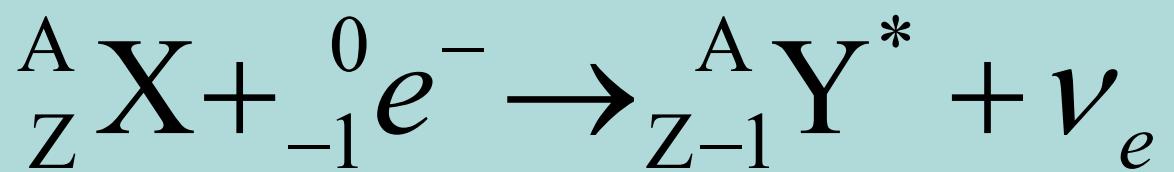
### ➤ Capture électronique

Déficit neutronique

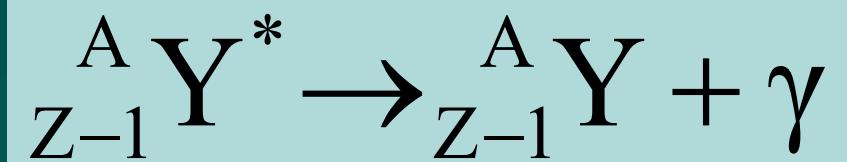


Capture électronique (électron proche du noyau) par un proton

$$\Delta A = 0 ; \Delta Z = -1$$



Transformation isomérique



## V- Période radioactive - Loi de décroissance

### ➤ Loi de décroissance radioactive

Soient  $N_0$  et  $N$ , respectivement les nombres moyens de noyaux non désintégrés à l'instant initial ( $t_0 = 0$ ) et à l'instant  $t$

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$\lambda$  : Constante radioactive  
du noyau considéré

### ➤ Période radioactive

Temps  $T$  correspondant à la désintégration de la moitié de la population  $N_0$  de nucléides

$$T = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

# VI- Activité et équilibre radioactifs

## ➤ Activité d'une substance radioactive

C'est le nombre de désintégrations par unité de temps.

Elle s'exprime en becquerel (1 Bq = 1 désintégration /s) [ou en curie : Ci]

$$a = a_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

avec

$$a_0 = \frac{N_0}{\tau}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

## ➤ Équilibre radioactif

Soient A et B, substances mère – fille  
 $N_A$  et  $N_B$ : noyaux à l'équilibre radioactif

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{T_A}{T_B}$$

# VII- Radioactivités naturelle et artificielle

## ➤ Radioactivité naturelle

- Radioactivité issue de l'espace (rayonnement cosmique), issue de la Terre, ...
- Trois familles radioactives : Radium, Thorium, Actinium

## ➤ Radioactivité artificielle

- Les éléments artificiels sont appelés Radioéléments ou Radio-isotopes.
- Produits à partir de générateurs appelés « vaches à isotopes » (exemple dans le monde biomédical : radioéléments à périodes courtes)

# VIII- Applications médicales : Irradiation

## ➤ Diagnostic

Utilisation de traceurs : molécules marquées

ÉTUDE DE LEURS ÉVOLUTIONS DANS L'ORGANISME  
DE LEURS FIXATIONS ET ÉLIMINATIONS

## ➤ Thérapeutique

- CURIETHÉRAPIE : IMPLANTATION D'AIGUILLES
- MÉTHODE ENDOCAVITAIRES
- UTILISATION D'ACCÉLÉRATEURS

# Interactions rayonnement -matière

types d'interaction

types de rayonnement

concept de couche de demi-atténuation (CDA)

# IX- Interactions Rayonnements – Matière (1)

- Deux types d'Interactions
- Interactions avec le Cortège électronique
  - COLLISION ÉLASTIQUE
  - COLLISION INÉLASTIQUE
- Interactions avec le Noyau



ATTÉNUATION DE L'INTENSITÉ DU FAISCEAU INCIDENT

# IX- Interactions Rayonnements – Matière (2)

- Deux types de rayonnements
- Rayonnements particulaires
  - PARTICULES CHARGÉES ( ÉLECTRONS, POSITONS, PROTONS,  $\alpha$  )
  - PARTICULES NON CHARGÉES (NEUTRONS)
- Rayonnements électromagnétiques



NOTION DE COUCHE DE DEMI-ATTÉNUATION (CDA)

# X- Couche de demi-atténuation (CDA)

## ➤ Définition

C'est l'épaisseur que doit avoir un écran pour ne laisser passer que la moitié du flux photonique incident

$\mu$  : Coefficient massique d'atténuation

$$N(CDA) = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot (CDA)} \Big| = \frac{N_0}{2}$$



$$\mu \cdot CDA = \ln(2)$$

Remarque :

Loi exponentielle, par conséquent un écran ne peut arrêter totalement un faisceau mais,...un écran de plomb de 9 cm : 1 photon sur 1000 d'un faisceau de 1 MeV !!

# XI- Interactions élémentaires (1)

## ➤ Collision inélastique

### ■ Effet Photoélectrique

- NOMBRE DE PARTICULES

- NATURE DES PARTICULES

COUCHES PROFONDES

ÉMISSION DE PHOTON DE FLUORESCENCE

COUCHES PÉRIPHÉRIQUES

ÉJECTION D'UN ÉLECTRON AUGER



# XI- Interactions élémentaires (2)

## ➤ Collision élastique

### ■ Effet Compton

- NOMBRE DE PARTICULES
- NATURE DES PARTICULES



CONSERVATION AVANT ET APRÈS LE CHOC

ATTÉNUATION DE L'INTENSITÉ DU FAISCEAU INCIDENT

ÉMISSION D'UN PHOTON DIFFUSÉ (DIT DE RECUL)

# XI- Interactions élémentaires (3)

- Importance relative de l'absorption et de la diffusion
- Énergie diffusée
  - FLOU DES IMAGES EN RADIODIAGNOSTIC
  - ÉNERGIE PERDUE (OU INCONTRÔLABLE) EN RADIOTHÉRAPIE
  - IRRADIATION ACCIDENTELLE

IMPORTANCE DU RAYONNEMENT DIFFUSÉ  
DANS LE MONDE BIOMÉDICAL