

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

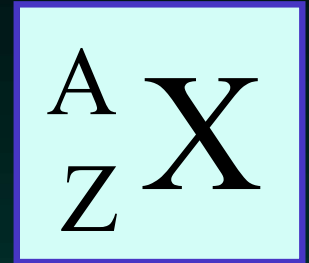
La charge électrique d'un neutron est **NULLE**



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

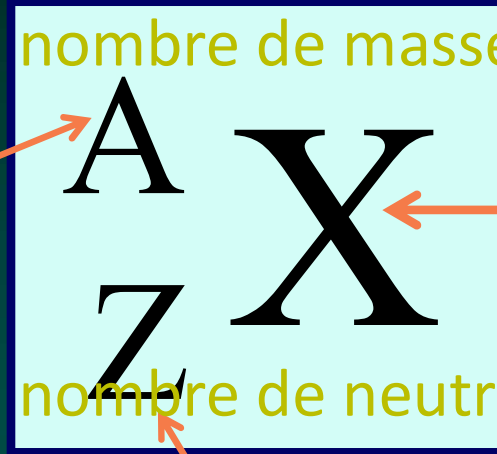
■ Les Isotones :

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.



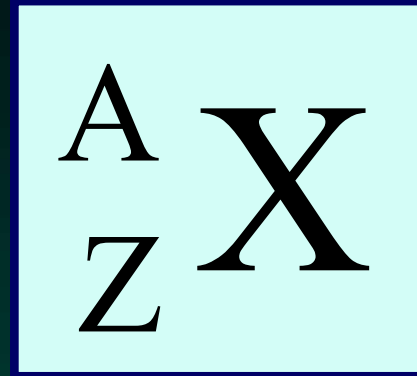
Symbole chimique
(Tableau de Mendeliev)

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

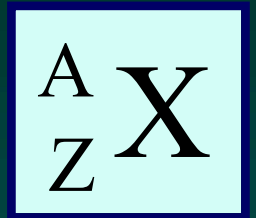
II- Le Noyau atomique : Énergie de liaison (1)

➤ Défaut de masse

Le défaut de masse Δm d'un système lié (de masse M) de particules (de masse m_i) s'exprime comme :

$$\Delta m = \left(\sum_i m_i \right) - M$$

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

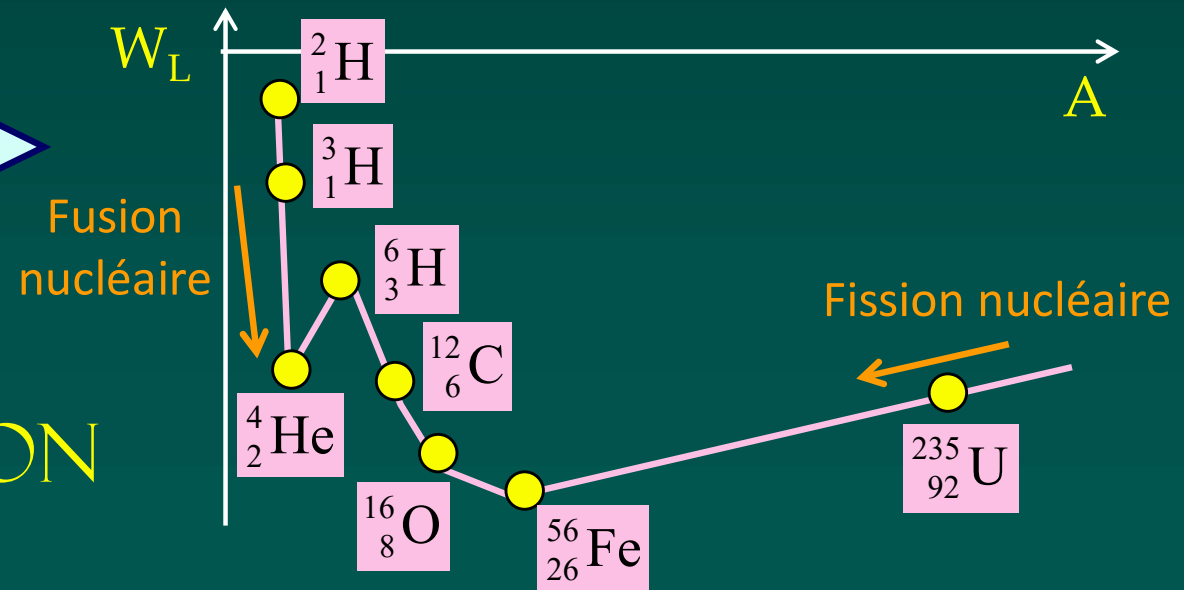


ÉNERGIE DE LIAISON MOYENNE PAR NUCLÉON

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

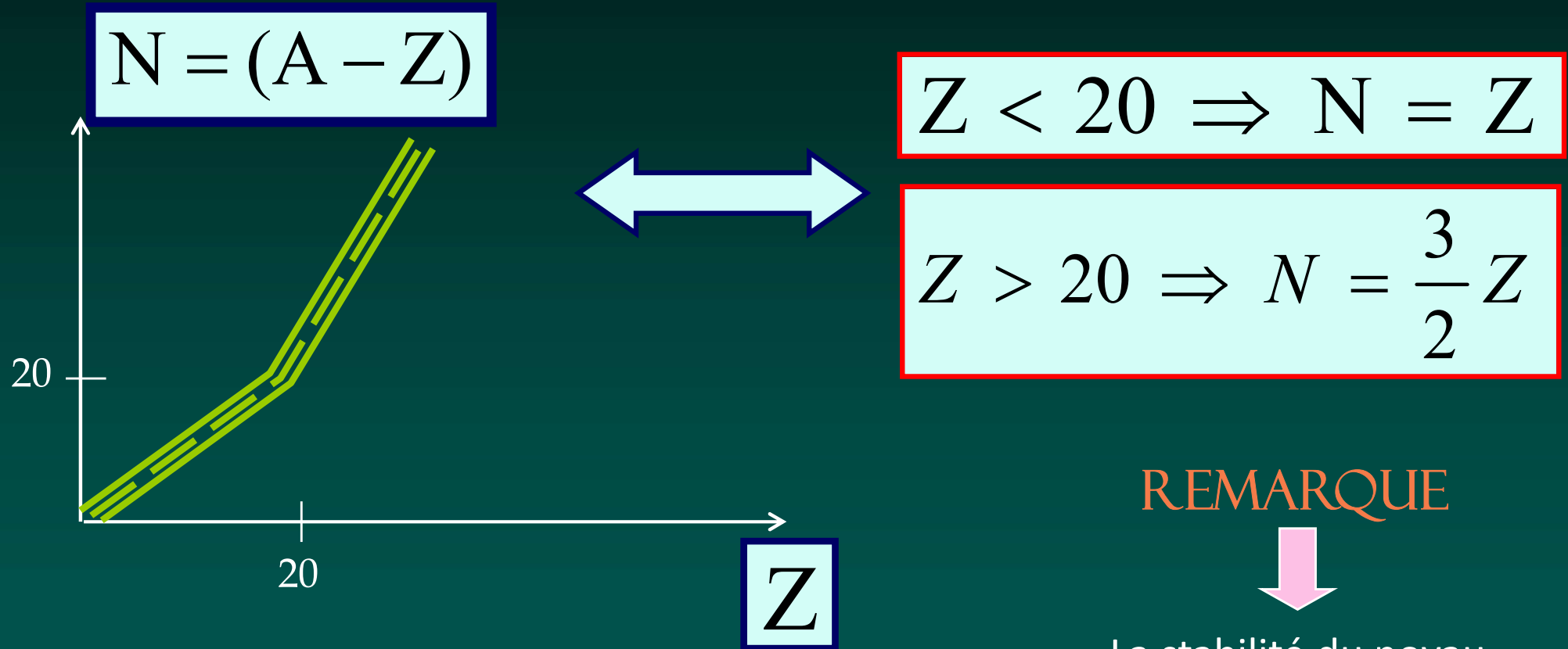


COURBE D'ASTON



II- Le Noyau atomique : Vallée de stabilité

➤ Répulsion coulombienne et attraction nucléaire



VALLÉE DE STABILITÉ

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 α

radioactivité β (β^+ et β^-)

capture électronique

émission γ

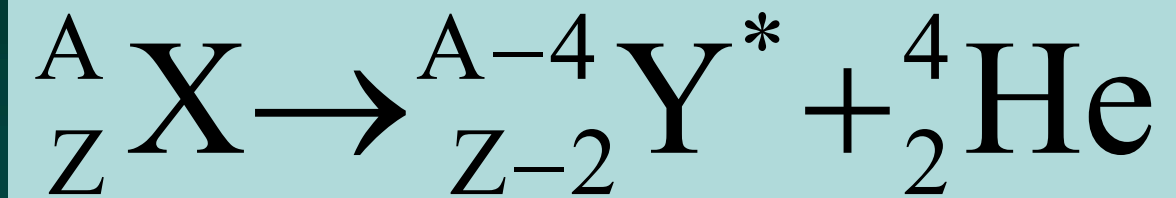
période radioactive – loi de décroissance radioactive

activité radioactive et équilibre radioactif

IV- Radioactivités (1)

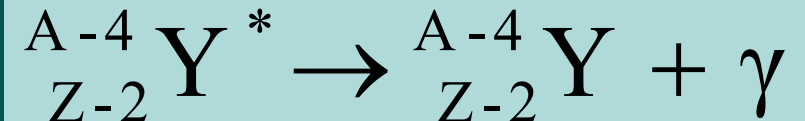
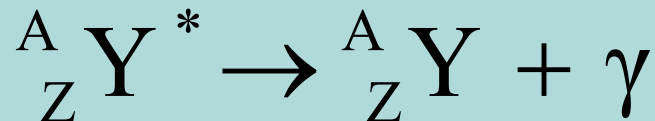
➤ Radioactivité α

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



➤ Émission γ

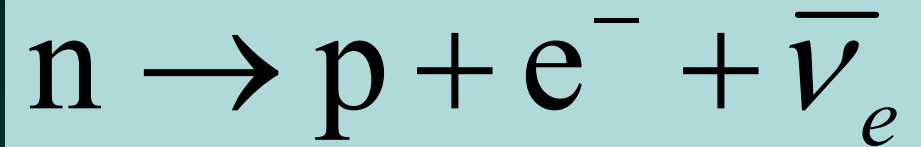
Obtention d'un noyau Y (exemple de la radioactivité α) dans un état excité, qui revient à son état fondamental en émettant un ou plusieurs photons γ



IV- Radioactivités (2)

➤ Radioactivité β (1) : Deux types de radioactivité β : β^+ et β^-

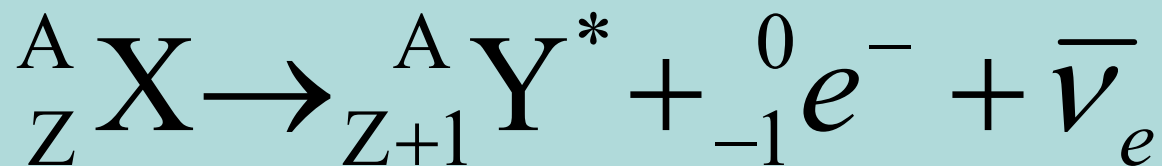
- Radioactivité β^-



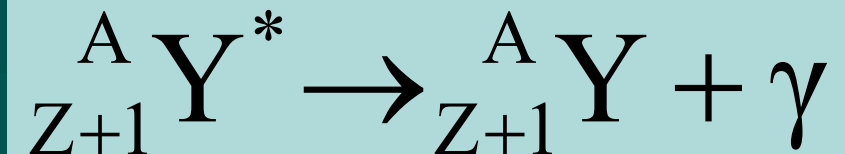
Nucléides avec un excès de neutrons

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

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



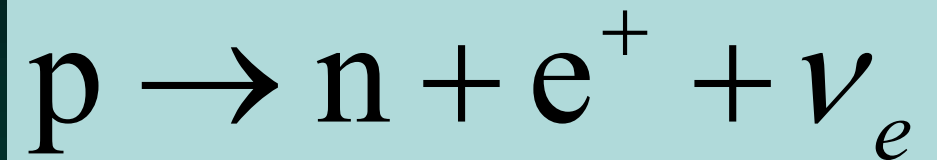
Transformation isomérique



IV- Radioactivités (3)

➤ Radioactivité β (2) :

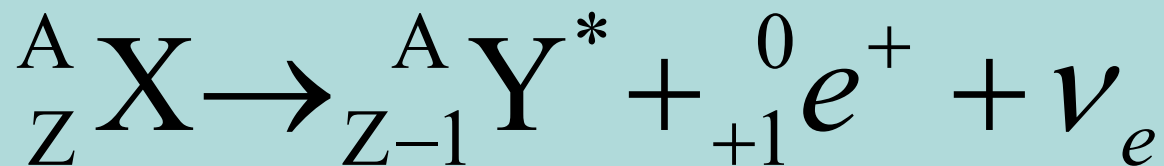
- Radioactivité β^+



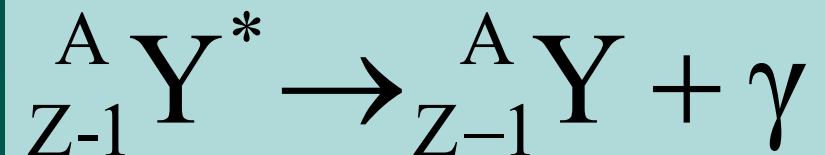
Nucléides avec un excès de protons

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

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



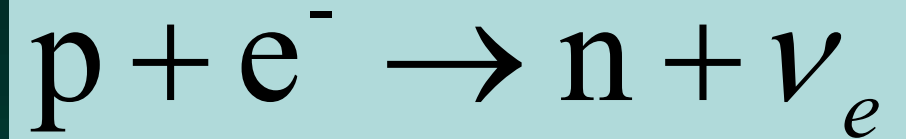
Transformation isomérique



IV- Radioactivités (4)

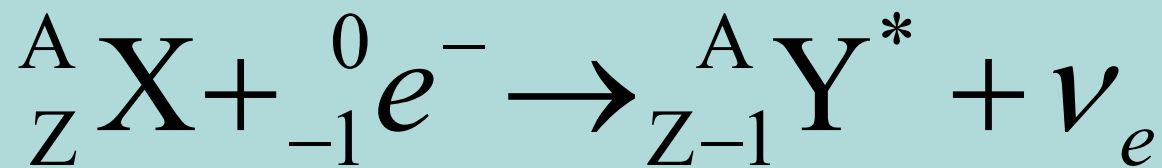
➤ Capture électronique

Déficit neutronique

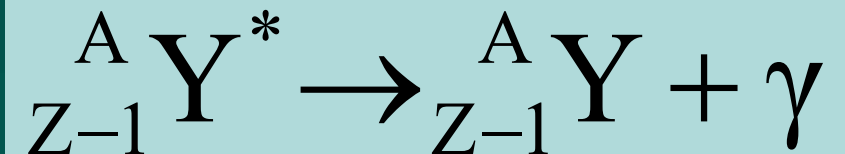


Capture électronique (électron proche du noyau) par un proton

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



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

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

λ : 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 ENDOCAVITAIRE
- 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, α)
- 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

μ : Coefficient massique d'atténuation

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



$$\mu \cdot \text{CDA} = \ln(2)$$

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



PAS DE CONSERVATION
AVANT ET APRÈS LE CHOC

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 RECOL)

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