

Interaction des rayonnements avec la matière



UE3a - Biophysique

Introduction

- **Transfert d'énergie** rayonnement → matière par : échauffement, excitation, ionisation
- Dans l'imagerie : interaction → **détection** rayonnements
- Intérêt en radiothérapie / radioprotection : **action biologique**





Plan

I. Interactions élémentaire

- A. Interaction par excitation
- B. Interaction par ionisation
- C. Caractère ionisant d'un rayonnement

II. Conséquences pour la matière

- A. Émission d'un photon de fluorescence
- B. Émission d'un électron Auger

III. Interaction des photons avec la matière

- A. Loi d'atténuation des photons dans la matière
- B. Mécanismes d'atténuation
- C. Importance relative des mécanismes d'interaction

IV. Interaction des particules

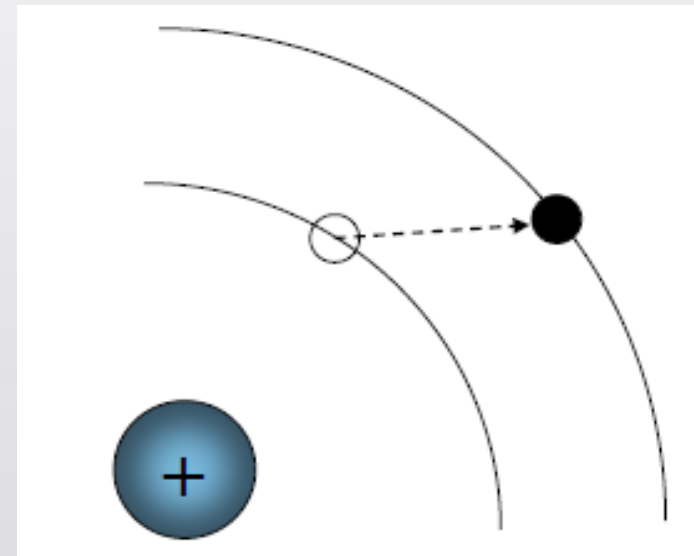
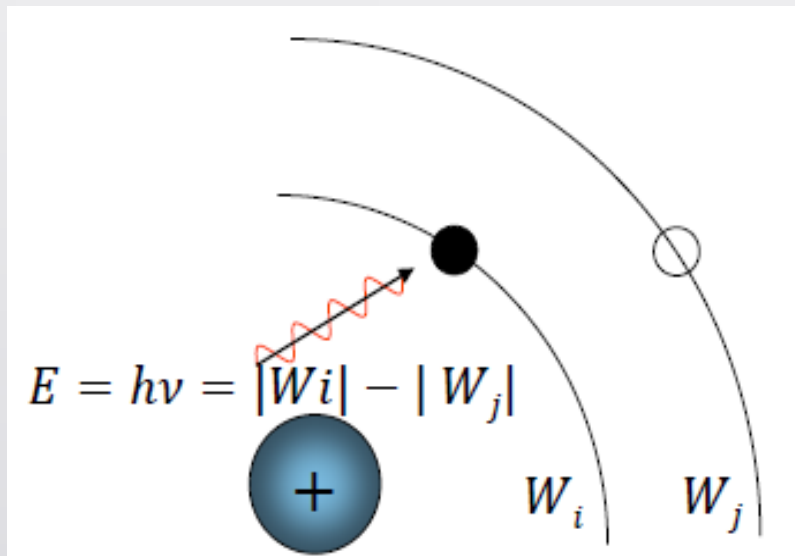
- A. Interaction des neutrons avec la matière
- B. Interaction des particules chargées positivement avec la matière
- C. Interaction des électrons avec la matière

I. Interactions élémentaires



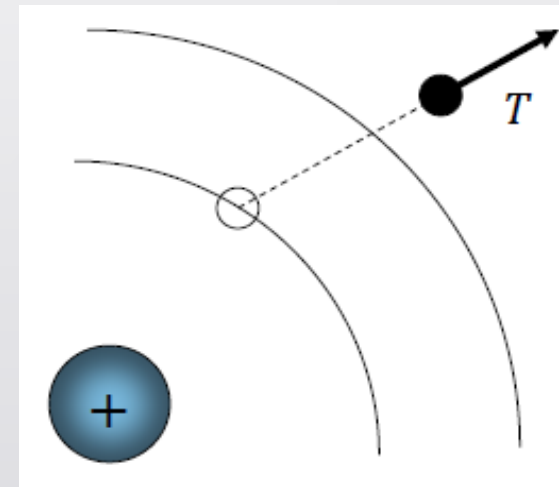
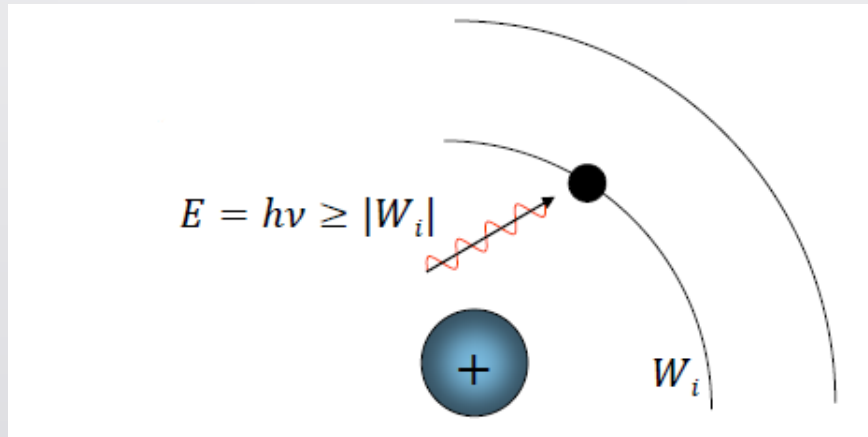
A. Interaction par excitation

- Si $E = h\nu < |W_i|$, mais $E = |W_i| - |W_j| \rightarrow$ **excitation** de l'atome
- Excès d'énergie $E = |W_i| - |W_j|$
- Énergie absorbée = **quantifiée**



B. Interaction par ionisation

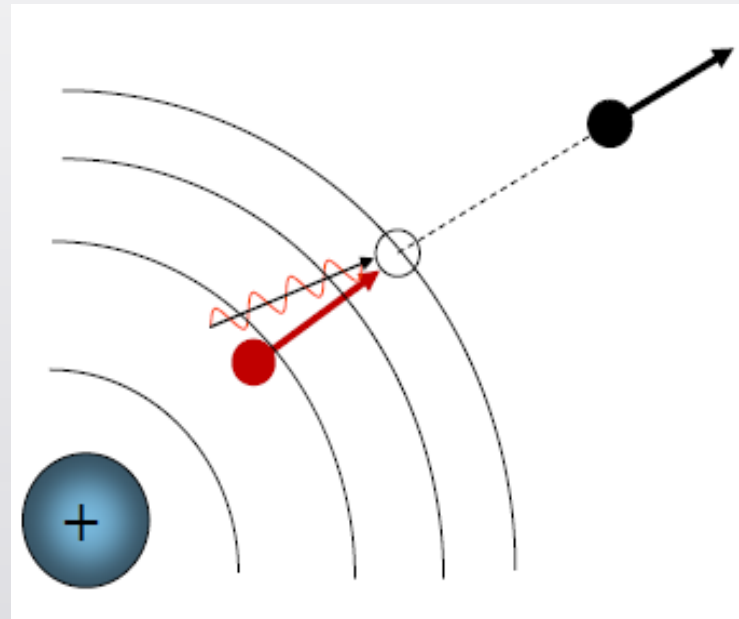
- Si $E = h\nu \geq |W_i| \rightarrow$ **ionisation** de l'atome
- Excès d'énergie $E = |W_i|$
- Énergie cinétique : $|W_i| + T = E = h\nu \quad \leftrightarrow \quad T = h\nu - |W_i|$
- Énergie absorbée **non quantifiée**



C. Caractère ionisant d'un rayonnement

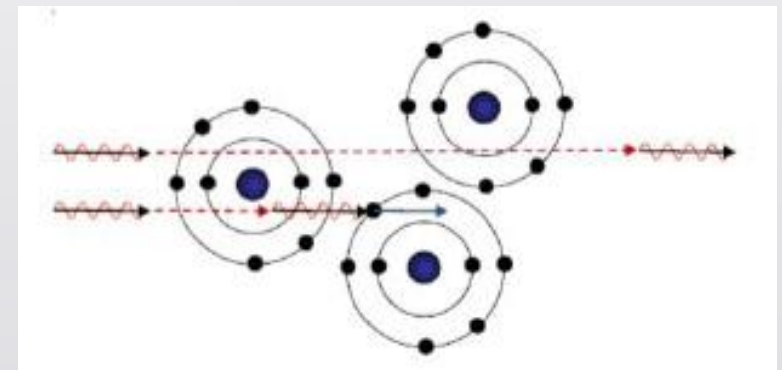
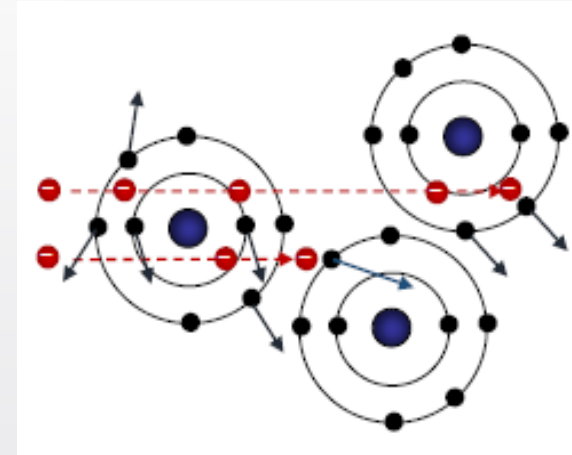
1. Définition

- Production **d'ions** → détection rayonnements + effets biologiques



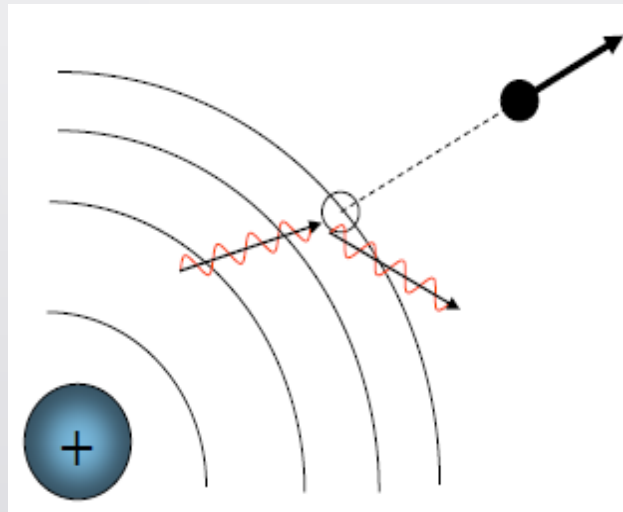
2. Rayonnements directement et indirectement ionisants

- Particules **chargées** = **directement** ionisantes
→ interaction (électrostatique) **obligatoire**
avec la matière
- REM + particules **neutres** = **indirectement** ionisantes
→ interaction (balistique/statistique) **non obligatoire**
avec la matière



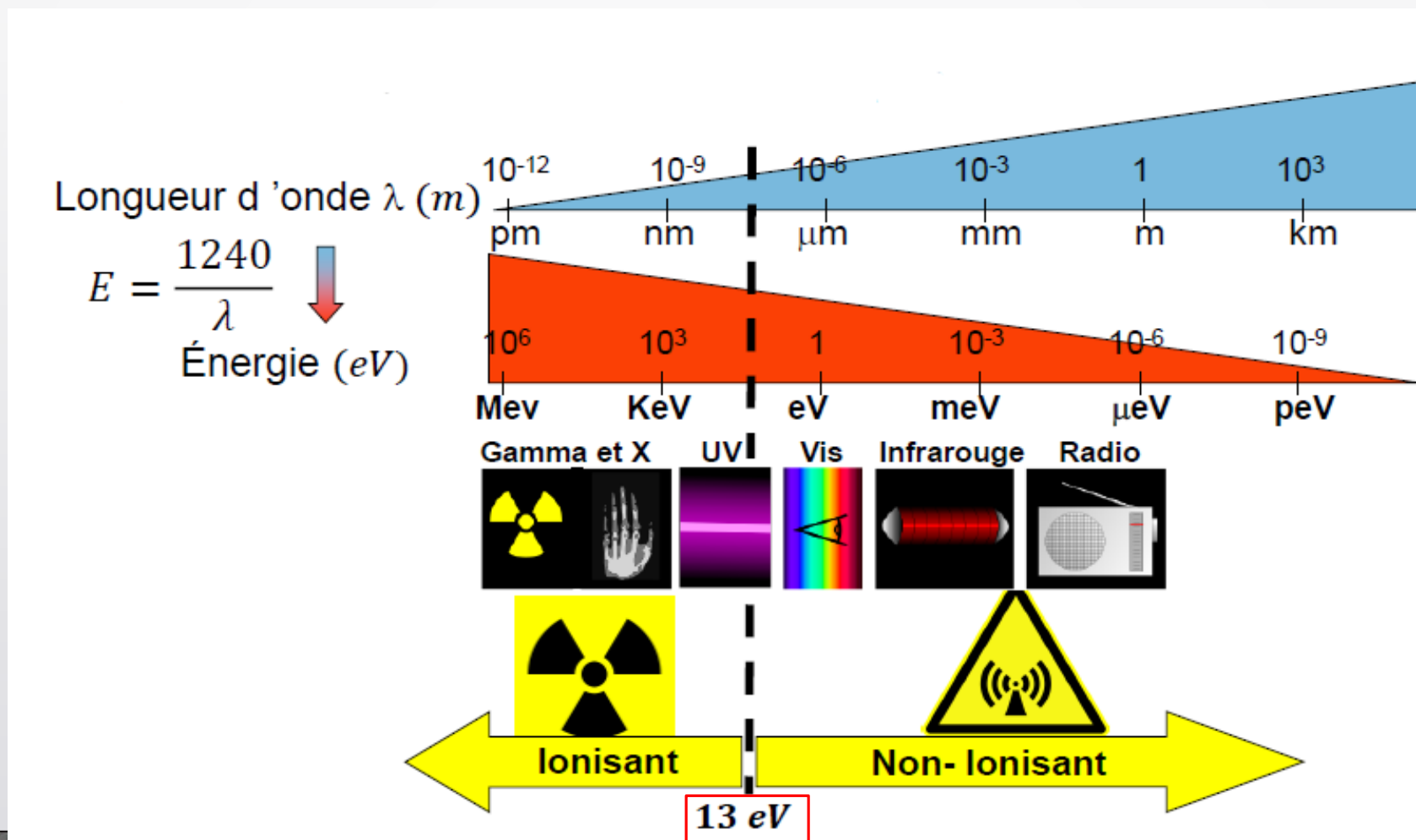
3. Caractère ionisant ou non des REM

- REM ionisant si $E = h\nu > |W_i|$
- Dans les milieux biologiques : REM ionisant si $E = h\nu > 13,6 \text{ eV}$



Atome	$ W $ (eV)
<i>C</i>	11,24
<i>H</i>	13,54
<i>O</i>	13,57
<i>N</i>	14,24

Spectre des REM





Plan

I. Interactions élémentaire

- A. Interaction par excitation
- B. Interaction par ionisation
- C. Caractère ionisant d'un rayonnement

II. Conséquences pour la matière

- A. Émission d'un photon de fluorescence
- B. Émission d'un électron Auger

III. Interaction des photons avec la matière

- A. Loi d'atténuation des photons dans la matière
- B. Mécanismes d'atténuation
- C. Importance relative des mécanismes d'interaction

IV. Interaction des particules

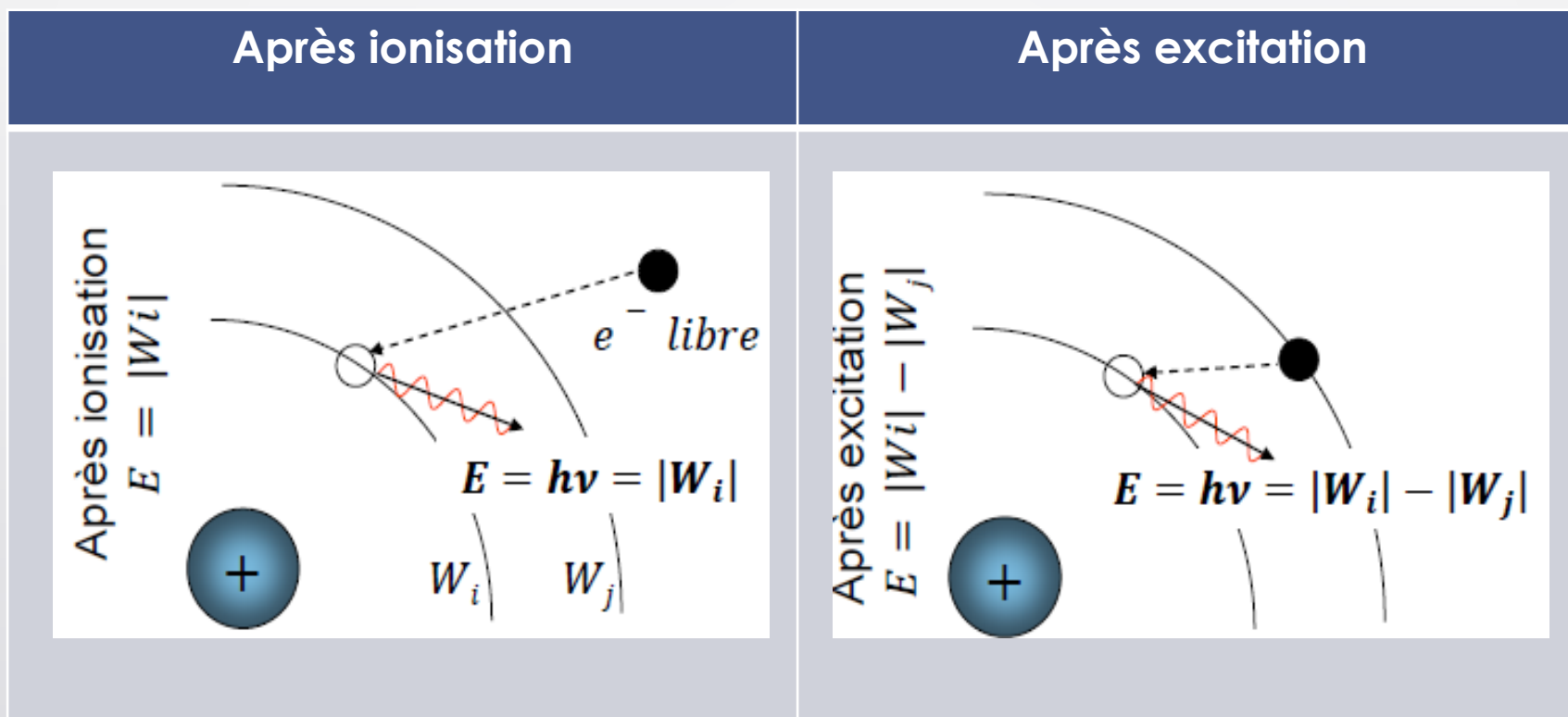
- A. Interaction des neutrons avec la matière
- B. Interaction des particules chargées positivement avec la matière
- C. Interaction des électrons avec la matière

II. Conséquences pour la matière

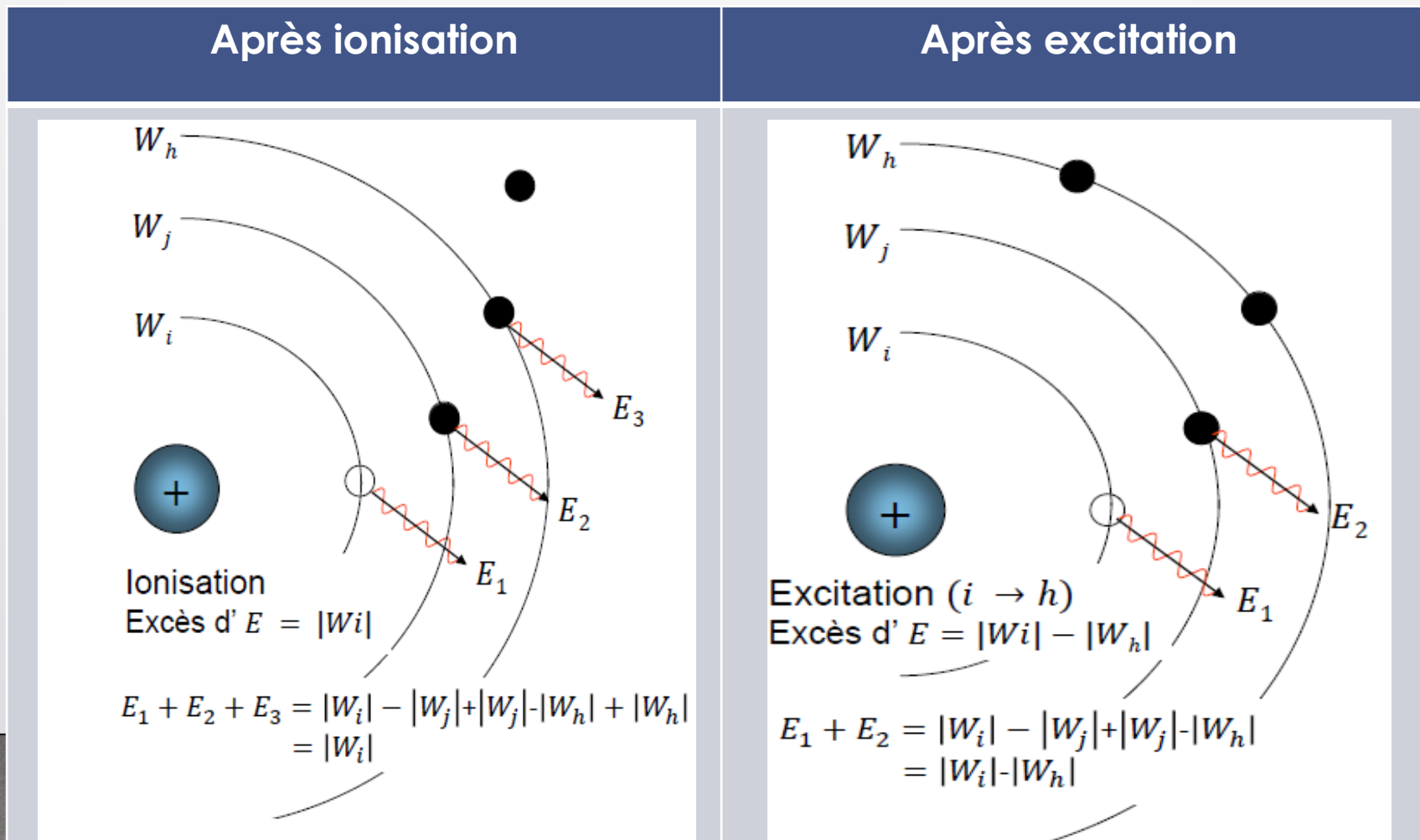


A. Émission d'un photon de fluorescence

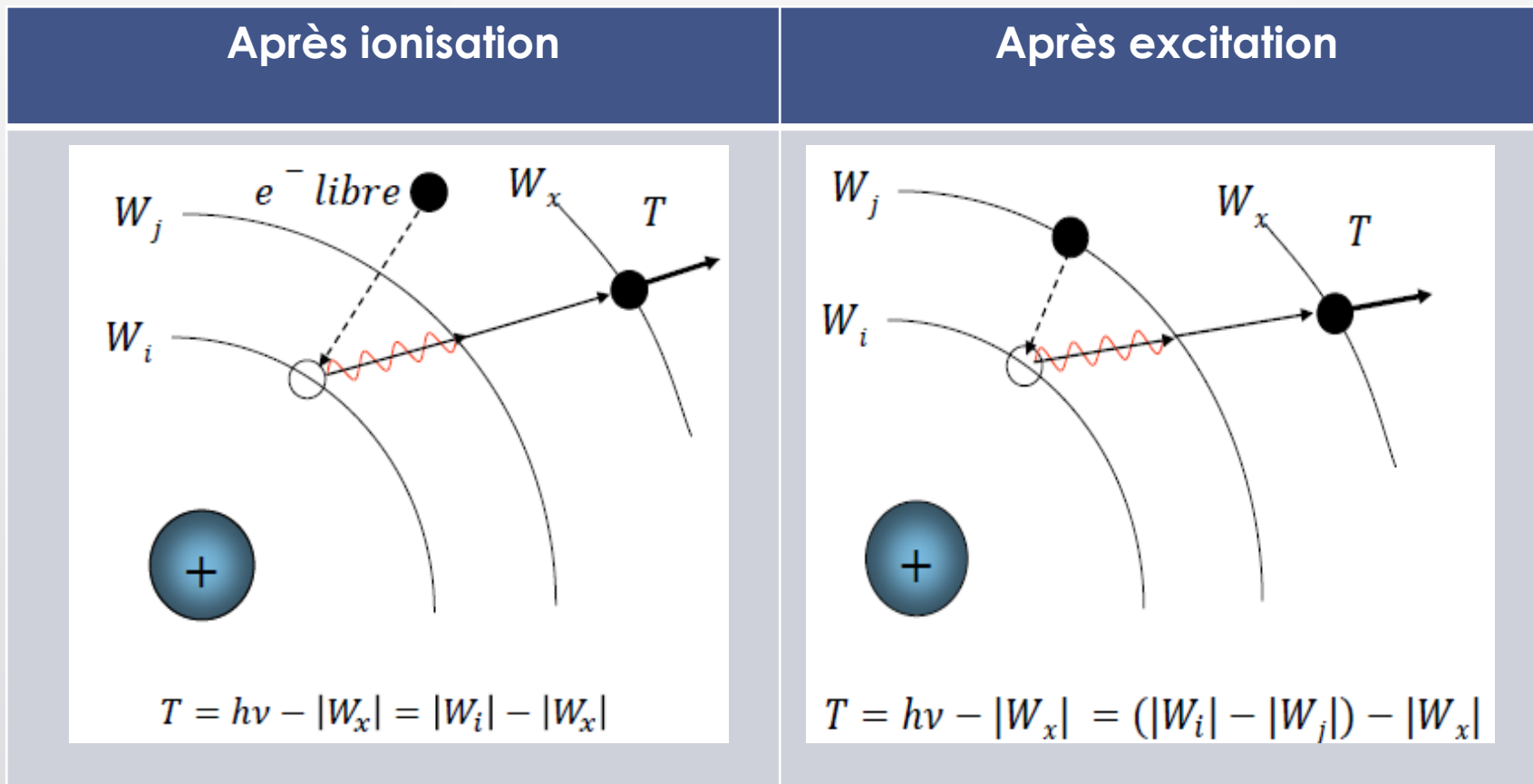
- Retour à l'état fondamental en **1 étape** :



- Retour à l'état fondamental en plusieurs étapes = **cascade de réarrangement** (+++):



B. Émission d'un électron Auger





QCMs

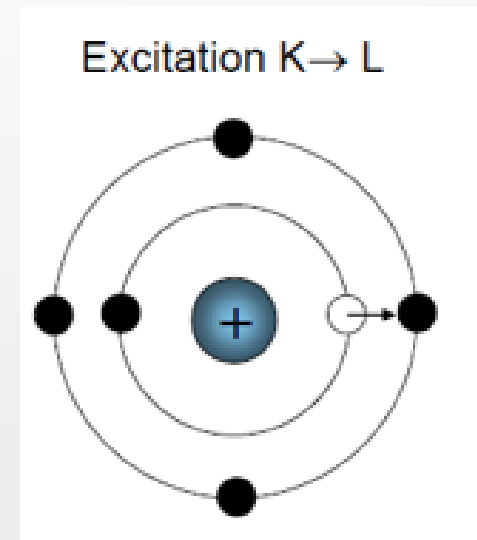
Connectez-vous sur Socrative pour répondre aux QCMs en direct !

Nom de la salle : BIOPHYTUTORAT



QCM 1

- Soit l'atome de Bore ($Z=5$). Les énergies de ses électrons sont (en eV) : $W_K = -188$ et $W_L = -7,3$.



- Un électron passe de la couche K à la couche L : l'atome est excité, donc instable. Cela l'amène alors à se désexciter, engendrant l'émission d'un électron Auger.

→ Quel est, en eV, l'énergie cinétique T de cet électron ?

A. 180,7 eV

B. 173,4 eV

C. 195,3 eV

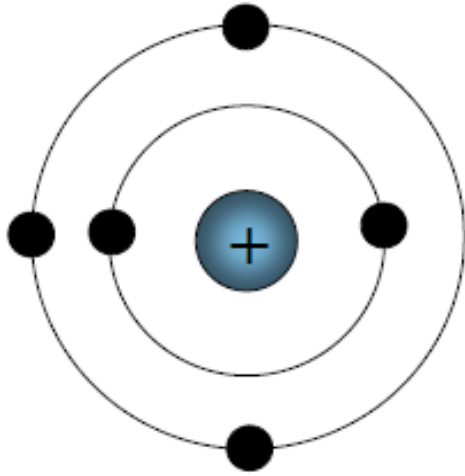
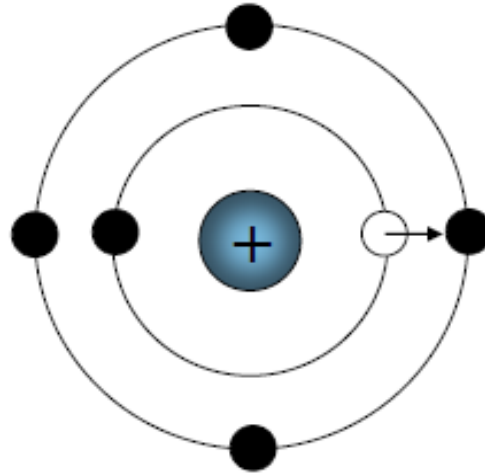
D. 188 eV

E. 202,6 eV

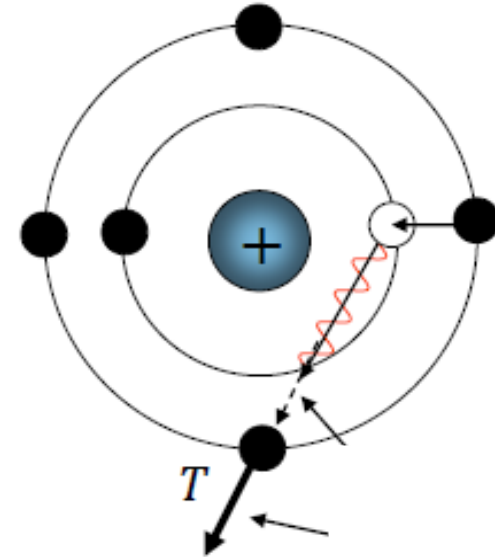
$$W_K = -188 \text{ eV} \text{ et } W_L = -7,3 \text{ eV}$$

18

État fondamental

Excitation $K \rightarrow L$ 

Désexcitation Auger



A. 180,7 eV

B. 173,4 eV

C. 195,3 eV

D. 188 eV

E. 202,6 eV

Réponse : B

QCM 2

- Soit l'atome de carbone ($Z=6$). Les énergies de ses électrons sont (en eV) : $W_K = -284$ et $W_L = -12$.
- Il subit une excitation avec passage d'un électron de la couche K à la couche L.
- Il se désexcite par émission d'un électron Auger.

→ **Quel est, en eV, l'énergie cinétique T de cet électron ?**

$$T = (284 - 12) - 12 = 260 \text{ eV}$$

- A. 236 eV B. 260 eV C. 308 eV D. 272 eV E. 284 eV

Réponse : B



Plan

I. Interactions élémentaire

- A. Interaction par excitation
- B. Interaction par ionisation
- C. Caractère ionisant d'un rayonnement

II. Conséquences pour la matière

- A. Émission d'un photon de fluorescence
- B. Émission d'un électron Auger

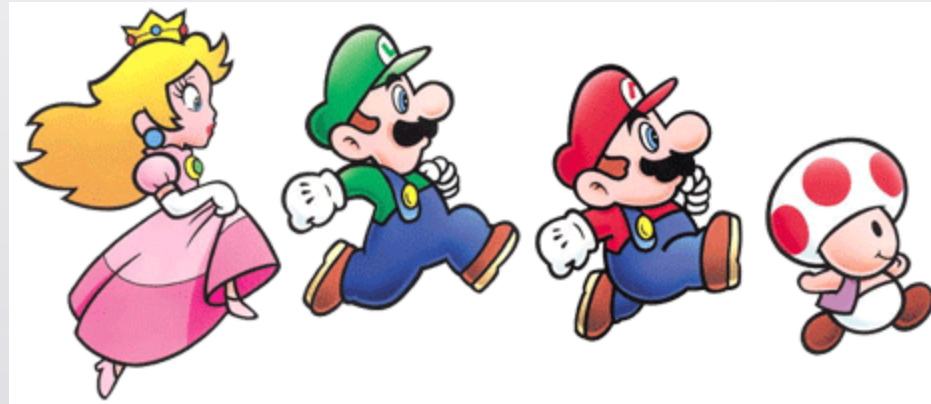
III. Interaction des photons avec la matière

- A. Loi d'atténuation des photons dans la matière
- B. Mécanismes d'atténuation
- C. Importance relative des mécanismes d'interaction

IV. Interaction des particules

- A. Interaction des neutrons avec la matière
- B. Interaction des particules chargées positivement avec la matière
- C. Interaction des électrons avec la matière

III. Interaction des photons avec la matière



A. Loi d'atténuation des photons dans la matière

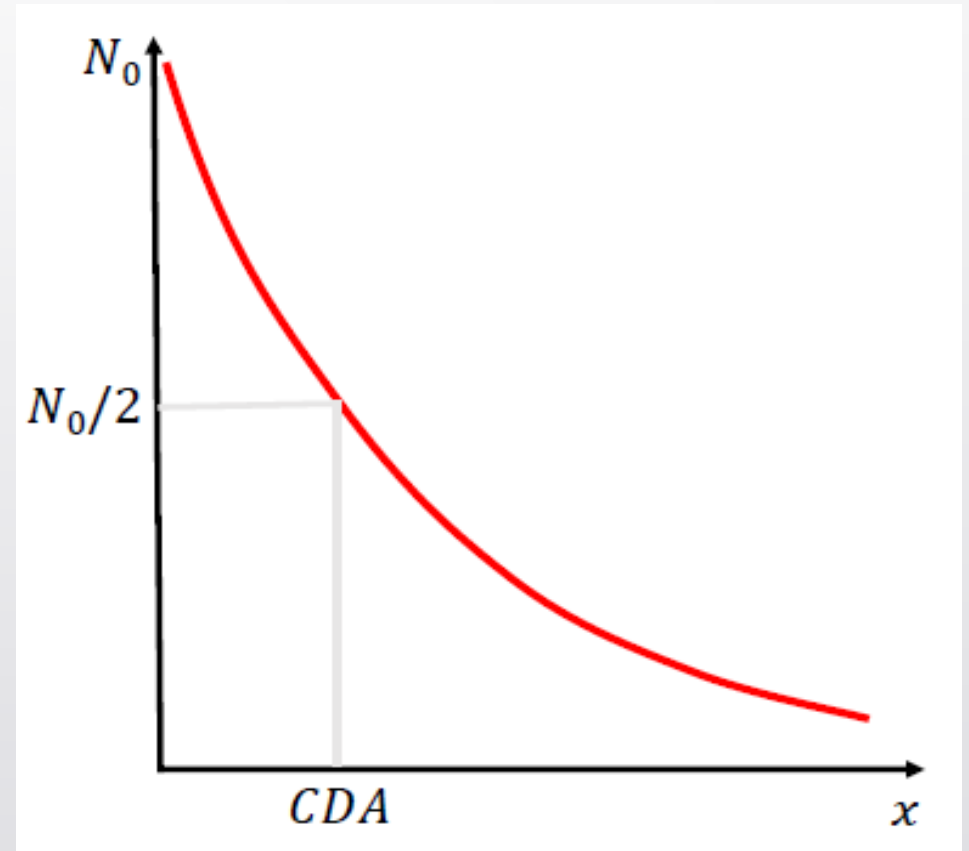
- **Atténuation** = diminution exponentielle du nombre de photons transmis :

$$N(x) = N(0)e^{-\mu x}$$

- μ : coefficient **linéique** d'atténuation \rightarrow dépend de l'énergie des photons et de l'état du milieu
- μ/ρ : coefficient **massique** d'atténuation

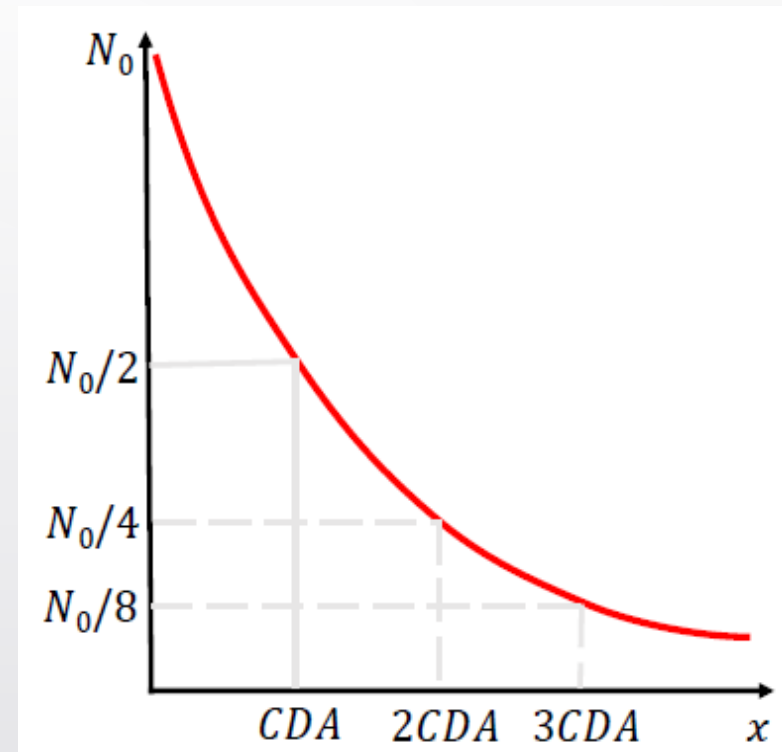
- Couche de Demi-Atténuation (CDA) :

$$CDA = \frac{\ln 2}{\mu}$$



- $N(k \times CDA) = \frac{N(0)}{2^k}$ (+++)

x	$N(x)/N(0)$	%
CDA	$1/2$	50
$2 \times CDA$	$(1/2)^2$	25
$3 \times CDA$	$(1/2)^3$	12,5
$n \times CDA$	$(1/2)^n$	
$10 \times CDA$	$1/1024$	0,1



- Au bout de **10 CDA** : on néglige le nombre de photons restants



QCM

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

Nom de la salle : BIOPHYTUTORAT



socrative
by MasteryConnect

QCM 3

- Pour se protéger d'un flux de photon de 511 keV, on dispose de plomb dont la CDA est de 0,4 cm et de fer dont la CDA est de 0,3 mm.
- A. Le coefficient d'atténuation du plomb est supérieur à celui du fer
- B. 0,8 cm de plomb laisse passer 25 % du flux de photons
- C. 0,3 mm de fer laisse passer 50 % du flux de photons
- D. L'association de 0,4 cm de plomb et de 0,3 mm de fer laisse passer 75 % du flux de photons
- E. Les propositions A, B, C et D sont fausses

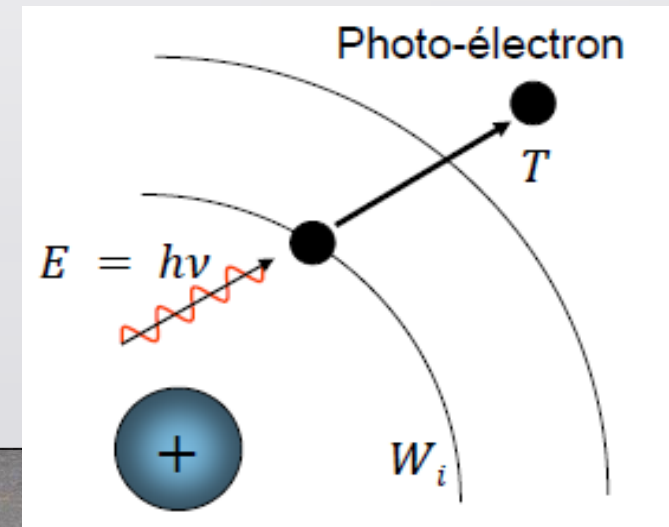
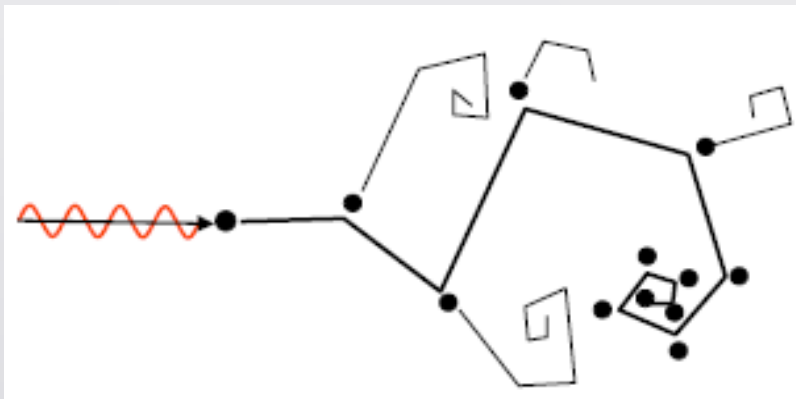
QCM 3

- Pour se protéger d'un flux de photon de 511 keV, on dispose de plomb dont la CDA est de 0,4 cm et de fer dont la CDA est de 0,3 mm.
- A. Le coefficient d'atténuation du plomb est supérieur à celui du fer
- B. 0,8 cm de plomb laisse passer 25 % du flux de photons
- C. 0,3 mm de fer laisse passer 50 % du flux de photons
- D. L'association de 0,4 cm de plomb et de 0,3 mm de fer laisse passer 75 % du flux de photons
- E. Les propositions A, B, C et D sont fausses

B. Mécanismes d'atténuation

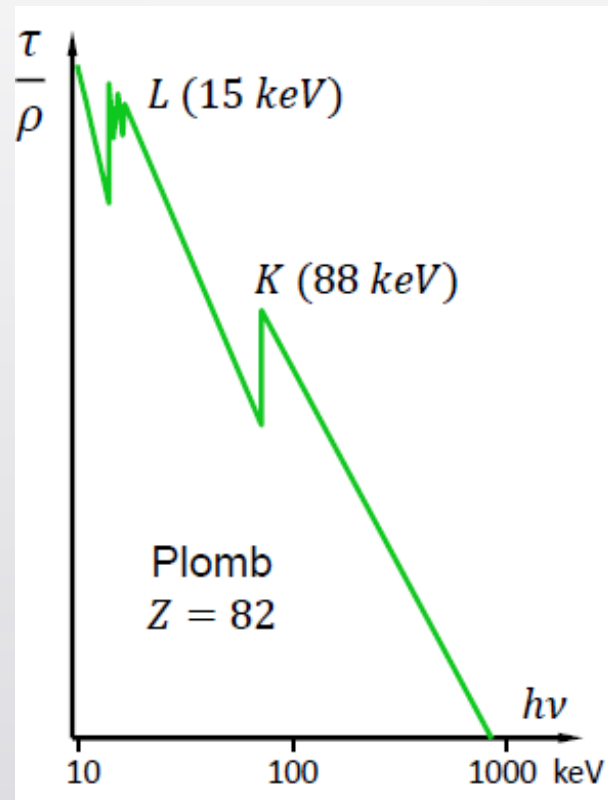
1. Effet photo-électrique

- Transfert de la **totalité** de l'énergie du photon incident à un électron
- $T = h\nu - |W_i|$
- Conséquences : réarrangement de l'atome + disparition du rayonnement



- **Probabilité d'interaction :** $\frac{\tau}{\rho} = k \frac{Z^3}{(h\nu)^3}$

→ Proba élevée pour les éléments lourds et les photons d'énergie faible

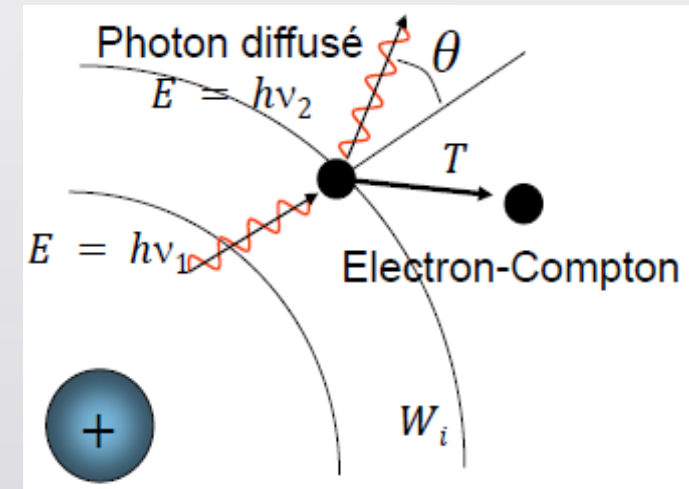
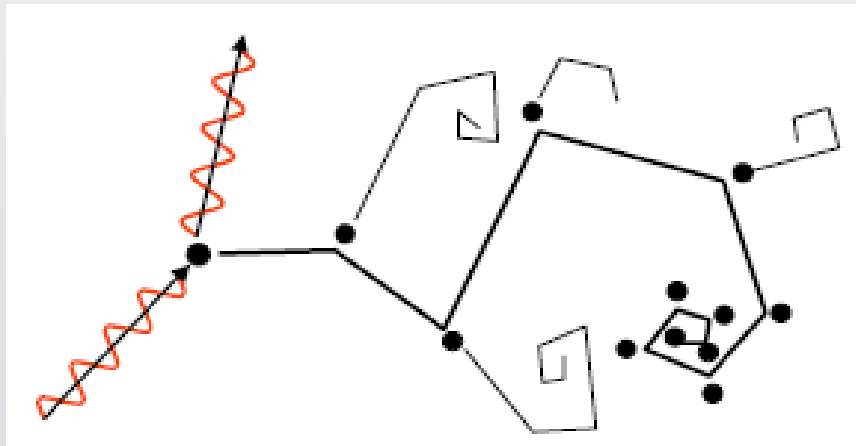


2. Effet Compton

- Transfert **partiel** de l'énergie du photon incident à un électron :

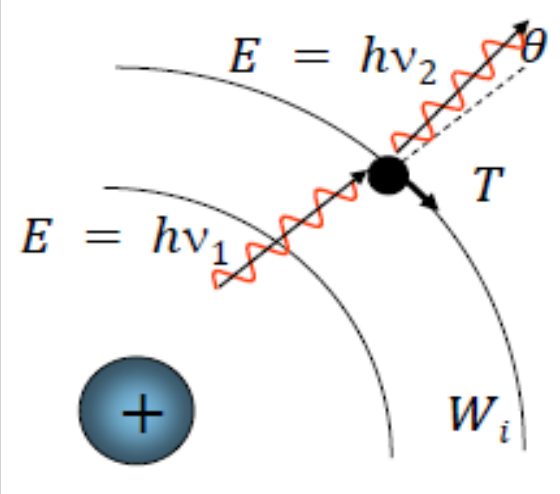
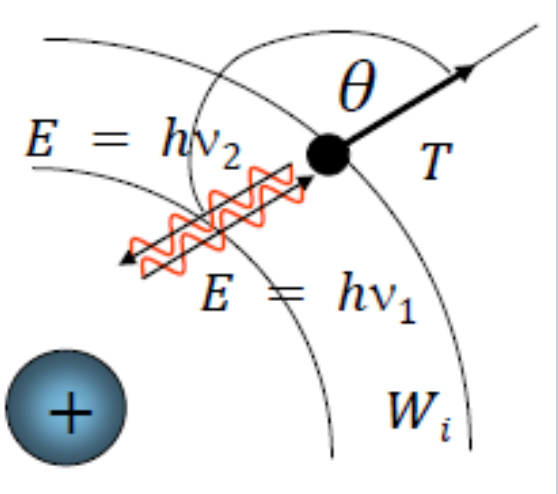
$$h\nu_1 = T + h\nu_2 + |W_i|$$

- Conséquences : réarrangement de l'atome + une partie de l'énergie est absorbée (E_a) tandis qu'une autre est diffusée (E_d)



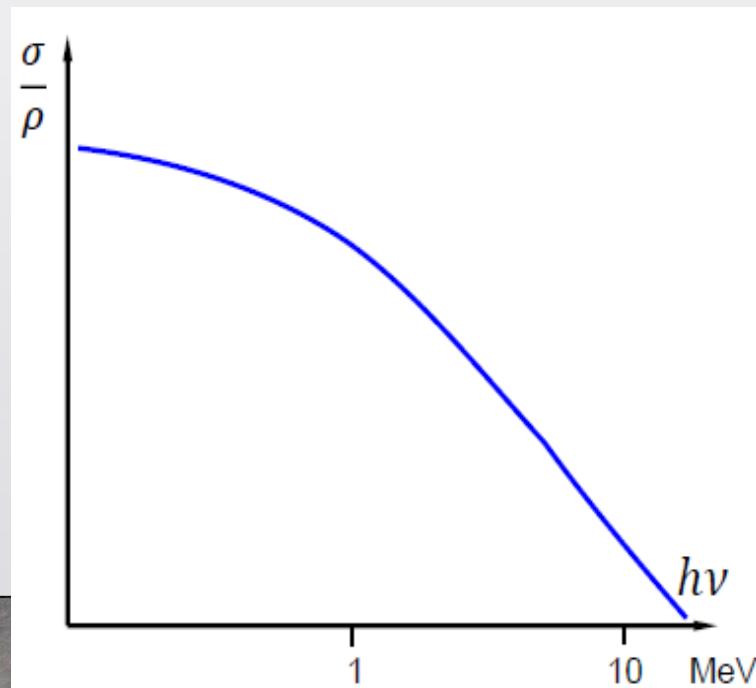
- Formules de Compton :
$$\frac{E_{\text{absorbée}}}{E_{\text{diffusée}}} = \frac{T}{h\nu_2} = \frac{h\nu_1(1 - \cos\theta)}{mc^2}$$

- Effet de l'angle θ :

Si $\theta = 0$	Si $\theta = \pi$
<p>➤ Choc tangentiel, énergie diffusée maximale</p> 	<p>➤ Choc frontal, T maximale</p> 

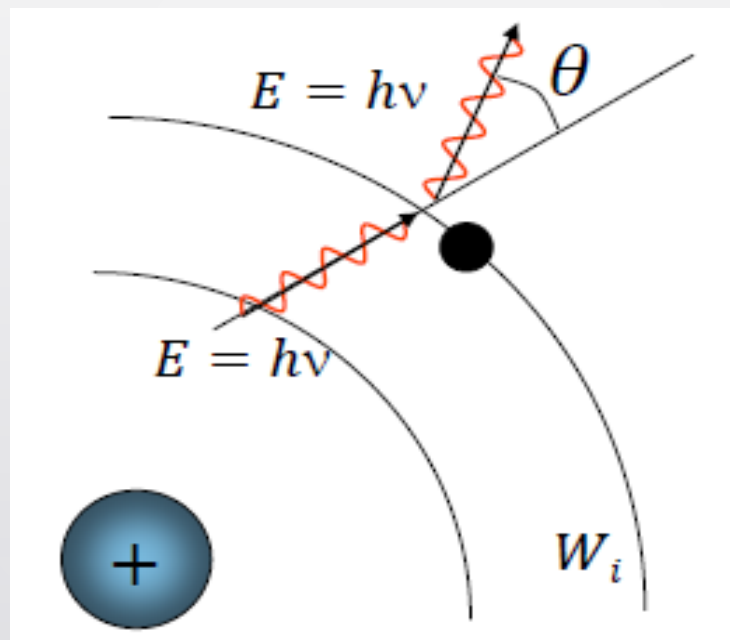
- Probabilité d'interaction : $\frac{\sigma}{\rho} = k \frac{1}{h\nu}$

→ Proba élevée pour les photons d'énergie faible, mais indépendante de la nature de la matière (Z)



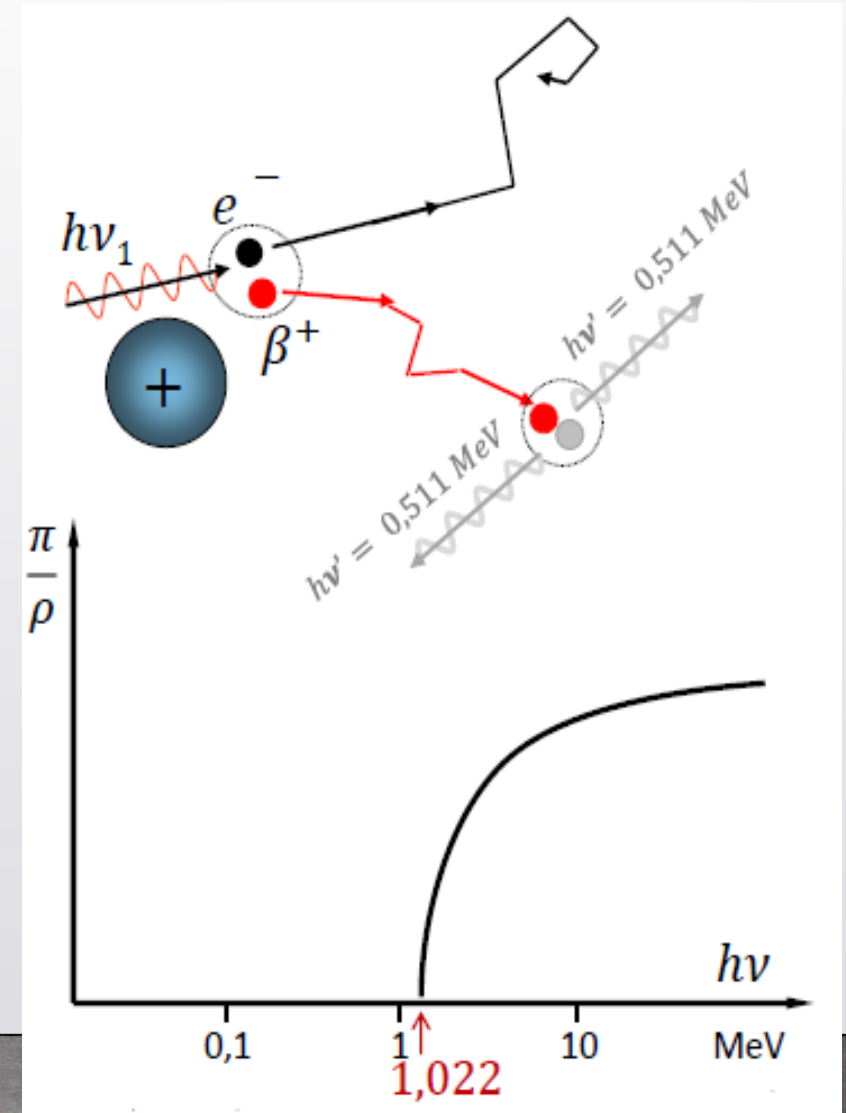
3. Diffusion de Thomson-Rayleigh

- **Dévi**ation du photon incident sans changement d'énergie



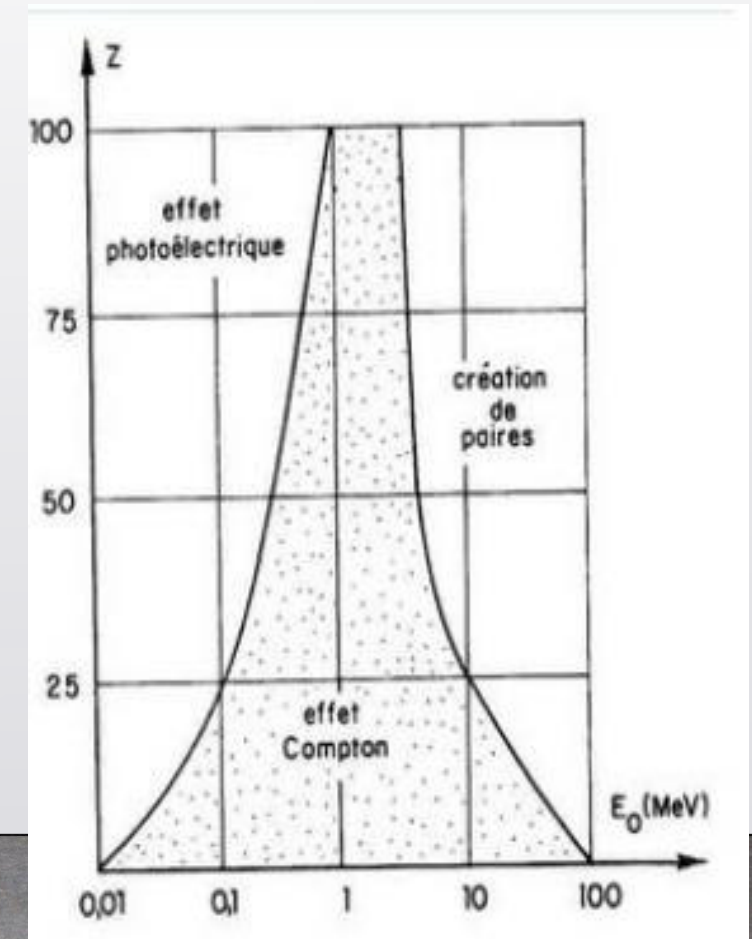
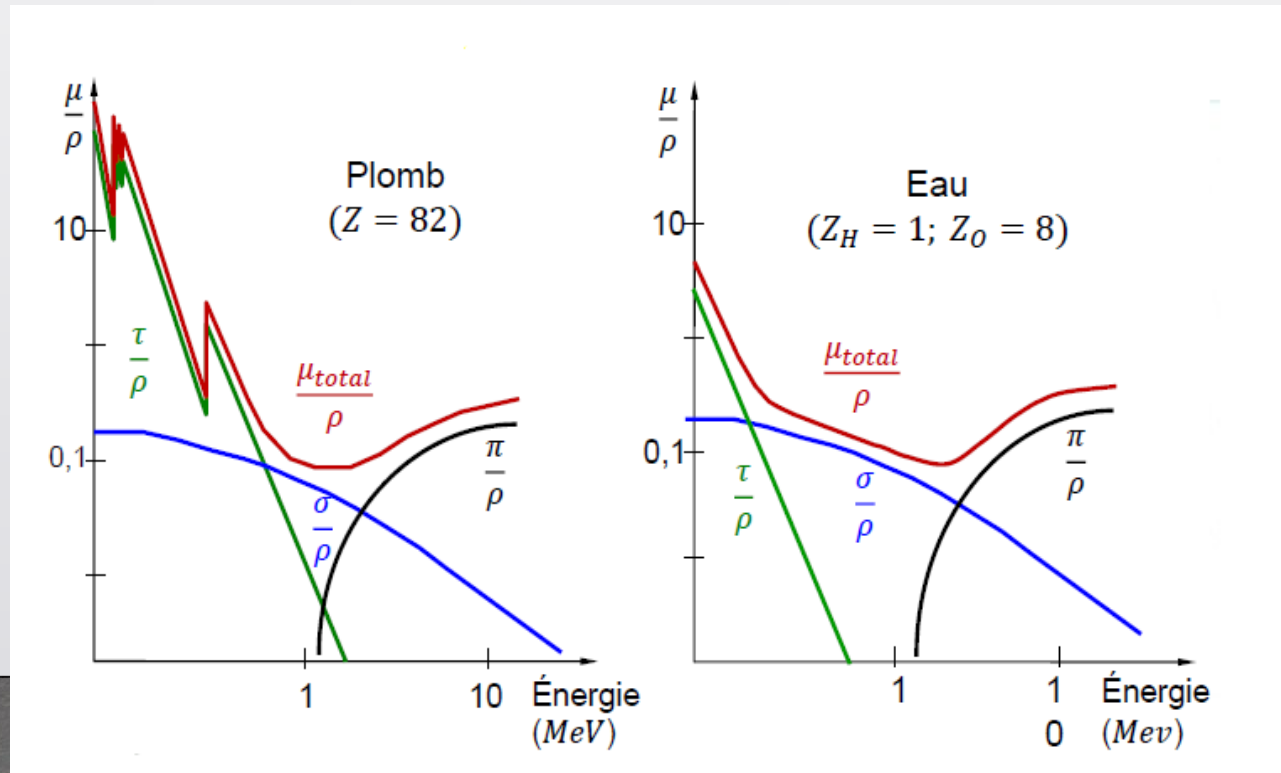
4. Création de paire = matérialisation

- Photon très énergétique \rightarrow **paire e^- / β^+** .
- π indépendante de Z
- Seuil = **1,022 MeV** (++)
- **Annihilation** = réaction inverse



C. Importance relative des mécanismes d'interaction

- E_0 et Z influe sur l'atténuation





Plan

I. Interactions élémentaire

- A. Interaction par excitation
- B. Interaction par ionisation
- C. Caractère ionisant d'un rayonnement

II. Conséquences pour la matière

- A. Émission d'un photon de fluorescence
- B. Émission d'un électron Auger

III. Interaction des photons avec la matière

- A. Loi d'atténuation des photons dans la matière
- B. Mécanismes d'atténuation
- C. Importance relative des mécanismes d'interaction

IV. Interaction des particules

- A. Interaction des neutrons avec la matière
- B. Interaction des particules chargées positivement avec la matière
- C. Interaction des électrons avec la matière

IV. Interaction des particules





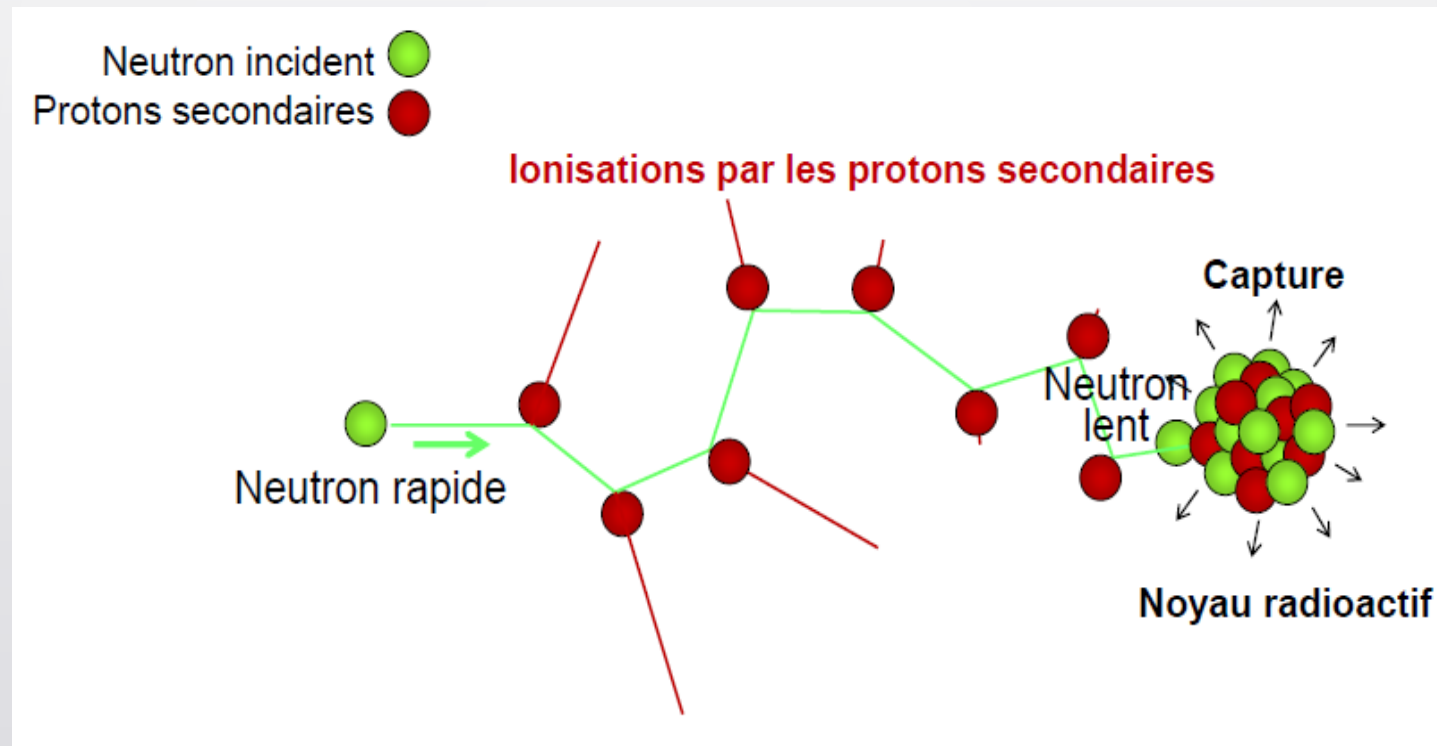
A. Interaction des neutrons avec la matière

1. Neutrons rapides

- Dans les milieux riches en hydrogène : transfert d'énergie maximal.
- **Indirectement** ionisants
- Dans les milieux composés de noyaux lourds : **diffusion**

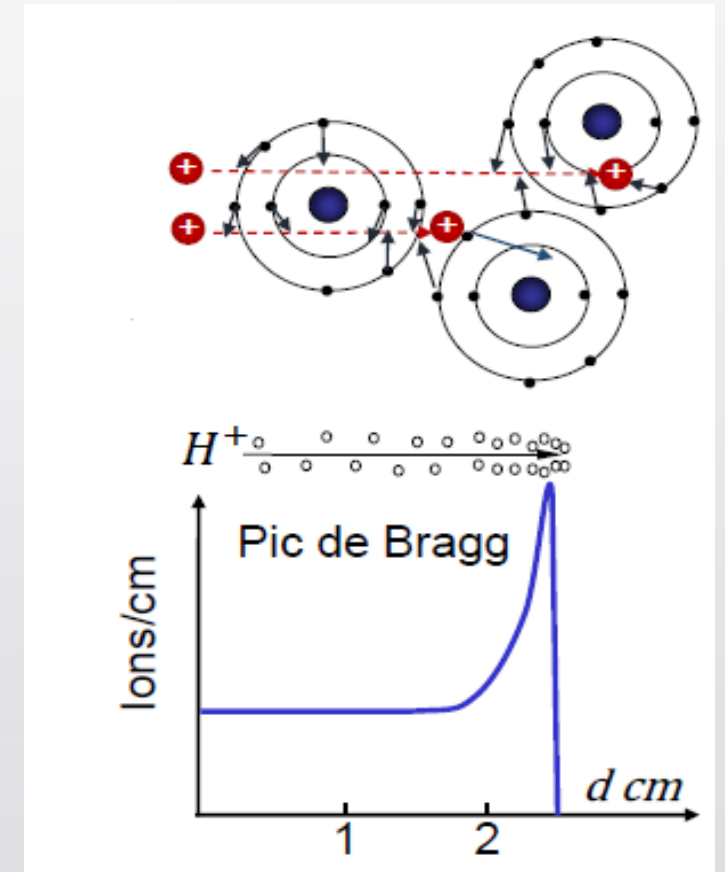
2. Neutrons lents

- Absorption par les noyaux = **capture nucléaire** ou « radiative »

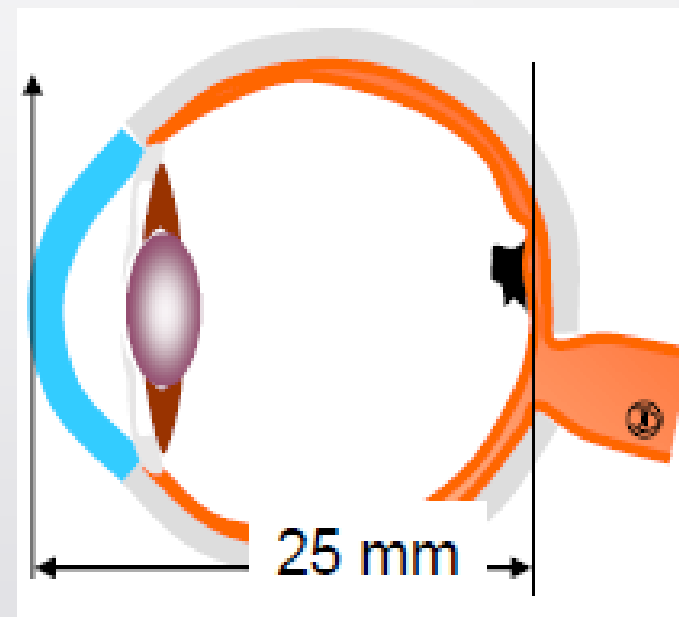
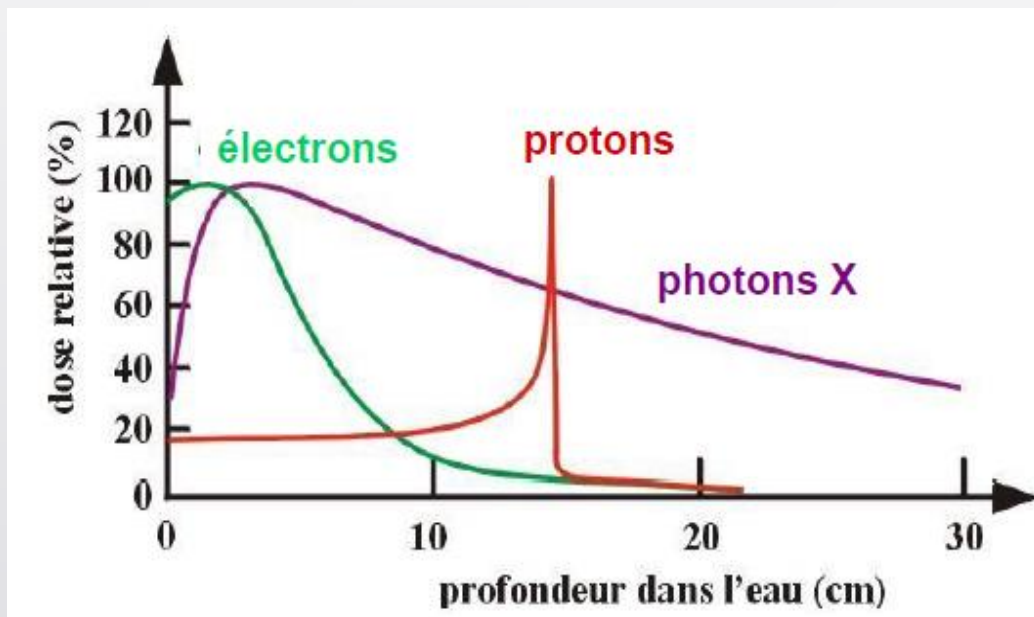


B. Interaction des particules chargées positivement avec la matière

- Interaction **électrostatique** → particules **directement** ionisantes
- Masse > à celle de l'électron → transfert d'énergie par faibles quantités + nombreuses ionisations
- Pouvoir d'arrêt très élevé → **pic de Bragg**

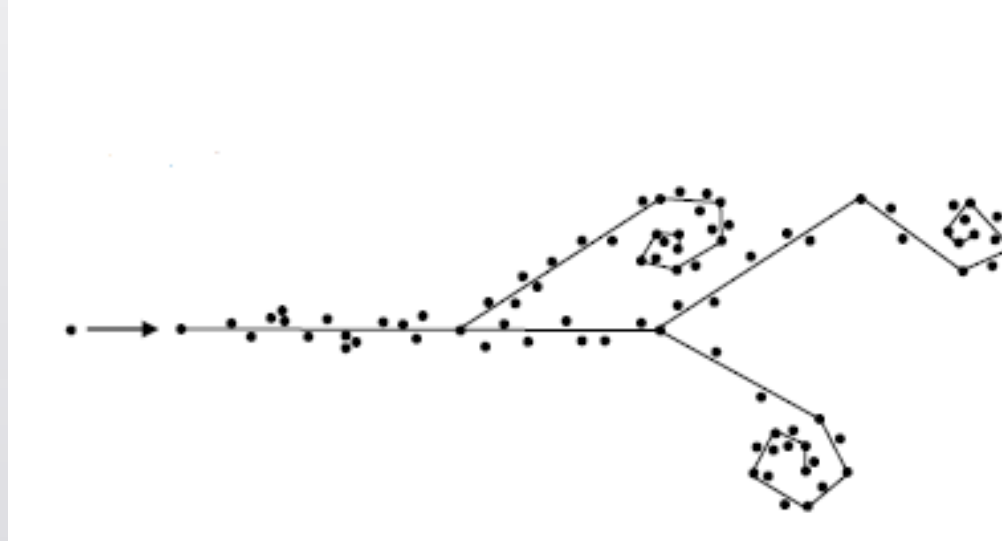


- Radiothérapie externe → traitement cancer (cf **protonthérapie**)



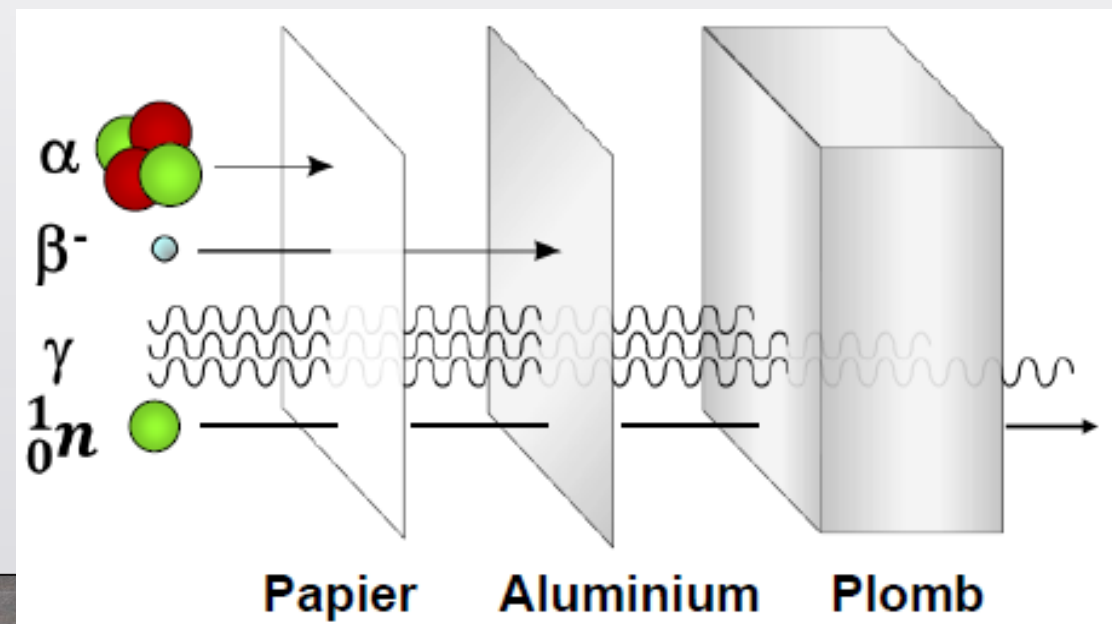
C. Interaction des électrons avec la matière

- Interaction avec :
 - les **électrons** de la matière
 - les **noyaux** de la matière



Conclusion

- RI traversant la matière → **ionisations**
- L'importance du transfert d'énergie dépend du **type de RI**, de son **énergie** et des **milieux traversés**





Des questions ?



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

FIN,
merci pour votre attention !



Vous à la fin de ce cours