



Interactions des REM avec la matière

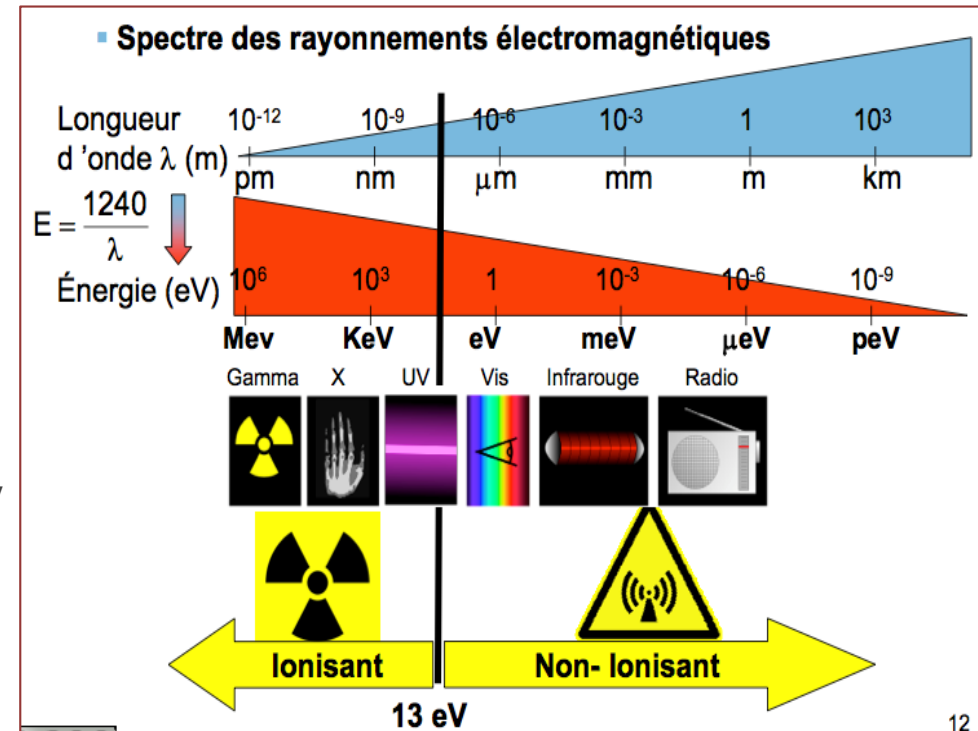
BIOPHYSIQUE DES RADIATIONS

PLAN

- ▶ Rayonnement ionisant
- ▶ Interactions élémentaires
 - ▶ Absorption (par excitation, par ionisation)
 - ▶ Emission (de fluorescence, d'électron Auger)
- ▶ Interactions des photons avec la matière
 - ▶ Loi d'atténuation des photons dans la matière
 - ▶ Mécanismes d'interaction
- ▶ Interaction des particules avec la matière

Rayonnement ionisant

- **Définition** : « Rayonnements électromagnétiques ou corpusculaires capable de produire directement ou indirectement des ions, lors de leur passage à travers les atomes et les molécules ».
- **Intérêt** : savoir si un rayonnement est ionisant permet d'éviter leurs effets délétères sur les matières biologiques comme l'ADN.
- **Le reconnaître ?** Son énergie doit être supérieure à **13,6 eV** environ (donc les Gamma, X et UV)



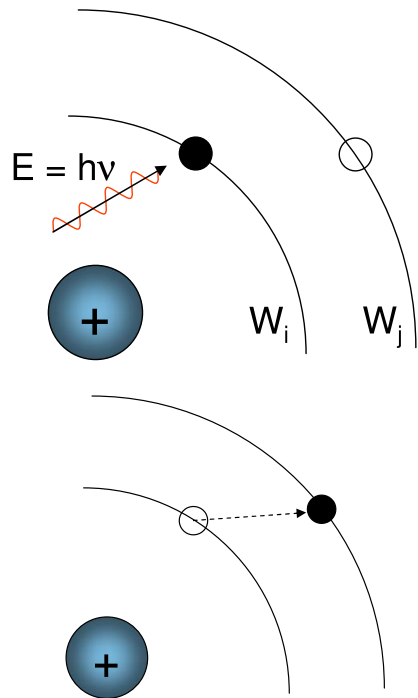
Interactions élémentaires

1. ABSORPTION D'ENERGIE PAR L'ATOME

- ▶ Il y a transfert d'énergie du rayonnement aux atomes de la matière, il y a absorption d'énergie ce qui provoque un déplacement des électrons et donc une excitation ou une ionisation.
- ▶ La restitution de l'énergie absorbée par l'atome se fera par émission d'énergie.
- ▶ L'énergie étant transportée par des photons.

Interactions élémentaires

► ABSORPTION PAR EXCITATION



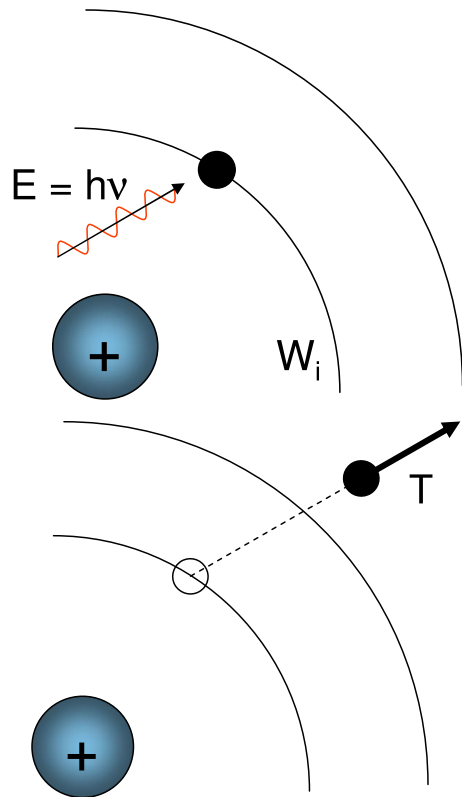
- L'énergie **E** du **photon** (ou rayonnement) incident est inférieure à l'**énergie de liaison** $|W_i|$ de l'électron sur son orbitale mais est strictement égale à la **différence des énergies de liaison des électrons de 2 orbitales différentes** :

- $E = hv = |W_i| - |W_j|$

- L'électron ne peut pas être expulsé de l'atome, il ne peut que passer sur une orbitale plus éloignée (ici celle de la couche J) sur une case quantique libre grâce à l'énergie du rayonnement incident.
- L'énergie est **quantifiée**

Interactions élémentaires

► ABSORPTION PAR IONISATION



- **L'énergie du photon incident E** est supérieure à **l'énergie de liaison $|W_i|$** de l'électron sur son orbitale. Il est alors expulsé de la structure électronique de l'atome.

- L'énergie absorbée n'est pas quantifiée

- $E = h\nu > |W_i|$

- L'atome qui a perdu un électron est alors ionisé. L'électron expulsé part avec une énergie cinétique T :

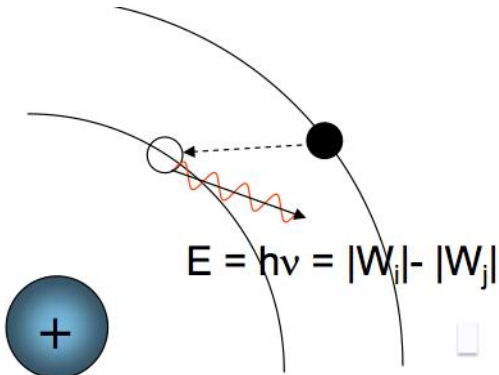
- $T = E - |W_i|$

Interactions élémentaires

EMISSION DE PHOTONS DE FLUORESCENCE

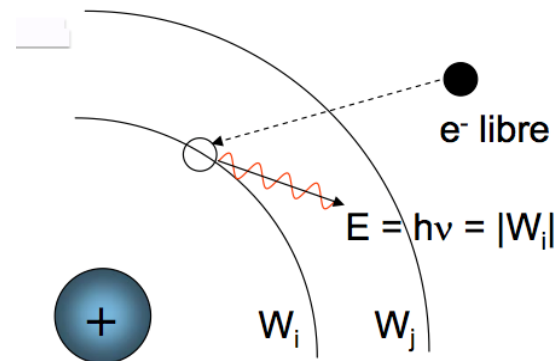
Après une excitation

- Un électron d'une orbitale + lointaine vient combler la case quantique laissée vide. Un photon de fluorescence est émis, **d'énergie égale à la différence d'énergie entre les 2 orbitales**.



Après une ionisation

- Un électron libre vient combler la case quantique laissée vide. Un photon de fluorescence est émis, **d'énergie égale à l'énergie de l'orbitale** qui contenait la case quantique vide.



Interactions élémentaires

EMISSION D'UN ELECTRON AUGER

Après une excitation

- ▶ Un électron d'une orbitale + lointaine vient combler la case quantique laissée vide. Un photon de fluorescence est émis, **d'énergie égale à la différence d'énergie entre les 2 orbitales**.
- ▶ Ce photon est capable d'ioniser un e- d'une des orbitales plus lointaines. Il entre en contact et **expulse donc un e- du même atome avec une énergie cinétique T**
- ▶ $T = E - |W_x| = h\nu - |W_x| = (|W_i| - |W_j|) - |W_x|$

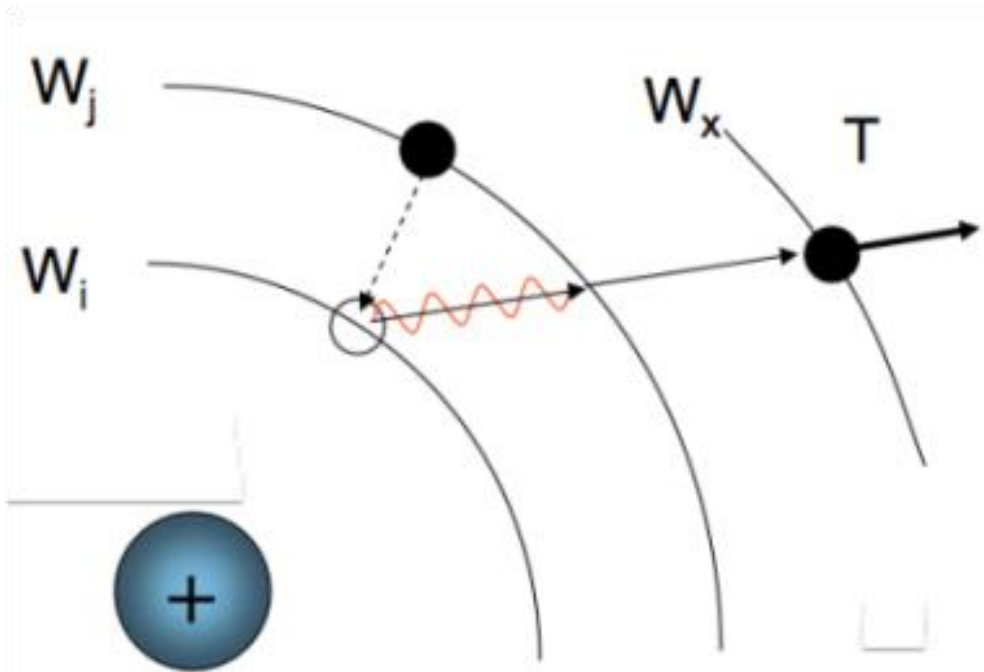
Après une ionisation

- ▶ Un électron libre vient combler la case quantique laissée vide. Un photon de fluorescence est émis, **d'énergie égale à l'énergie de l'orbitale** qui contenait la case quantique vide.
- ▶ Ce photon est capable d'ioniser un e- d'une des orbitales plus lointaines. Il entre en contact et **expulse donc un e- du même atome avec une énergie cinétique T**
- ▶ $T = E - |W_x| = h\nu - |W_x| = |W_i| - |W_x|$

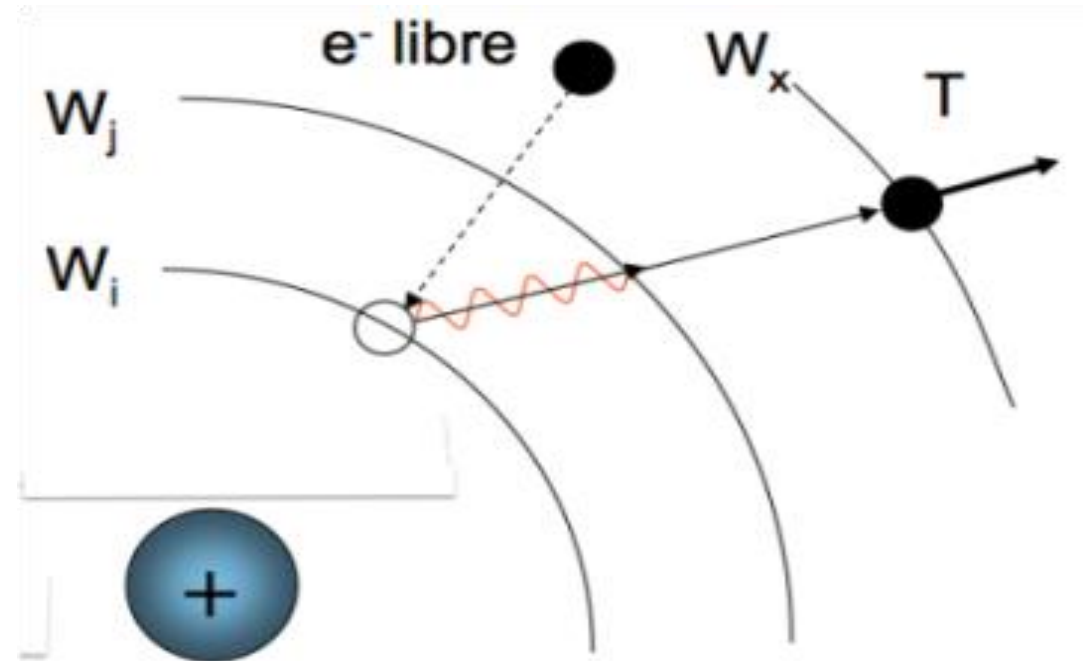
Interactions élémentaires

EMISSION D'UN ELECTRON AUGER

Après une excitation



Après une ionisation



Interaction des photons avec la matière

1. LOI D'ATTENUATION DES PHOTONS DANS LA MATIERE

- ▶ On considère $N(0)$ photons mono-énergétiques (ils ont tous la même énergie) qui traversent une épaisseur x de matériau. Le but de cette loi est de savoir de façon probabiliste :
 - le nb de photons qui vont traverser la matière sans interagir avec les atomes
 - le nb de photons qui seront absorbés par cette dernière.

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

▶ $N(x)$: nb de photons transmis

▶ $N(0)$: nb de photons initial

▶ μ : coefficient linéique d'atténuation, il représente la probabilité d'interaction

▶ Couche de demi-atténuation (CDA)

- ▶ C'est l'épaisseur qui atténue la moitié des photons

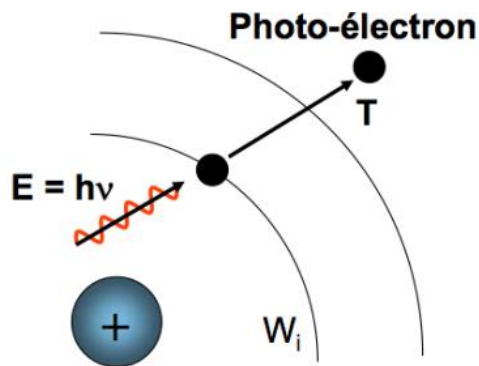
$$N(k.CDA) = \frac{N(0)}{2^k}$$

- ▶ Au bout de **10 CDA** on considère que le faisceau est totalement atténué

Les mécanismes d'atténuation

► EFFET PHOTOELECTRIQUE

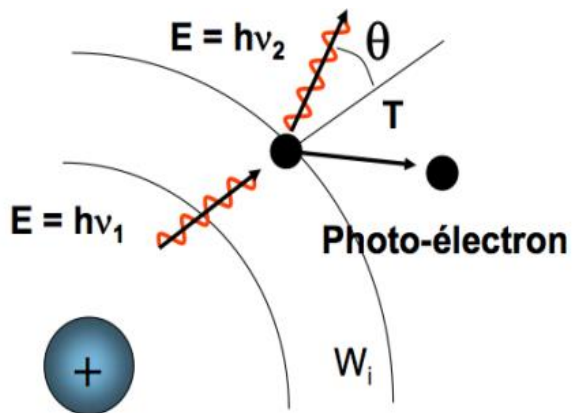
- La **TOTALITE** de l'énergie du rayon de photon incident est transmise à un e- qui est expulsé. C'est un **photoélectron**.
- L'atome de la matière est alors **ionisé** et va pouvoir subir divers réarrangements (photons de fluorescence et électron Auger). La matière absorbe toute l'énergie incidente.
- Le **photoélectron** part avec une énergie cinétique : $T = h\nu - |W_i|$ qui va se dissiper au contact des autres atomes en les ionisant.



Les mécanismes d'atténuation

► L'EFFET COMPTON

- Une **PARTIE** de l'énergie du faisceau incident est transmise à un e^- qui est expulsé, c'est un **photoélectron** avec une énergie cinétique $T = h\nu_1 - |W_i| - h\nu_2$. Une autre partie de cette énergie est diffusée via un **photon de fluorescence** ($E = h\nu_2$)
- L'atome alors ionisé subit des réarrangements successifs. Le photo- e^- perd peu à peu de son énergie cinétique par ionisations successives.

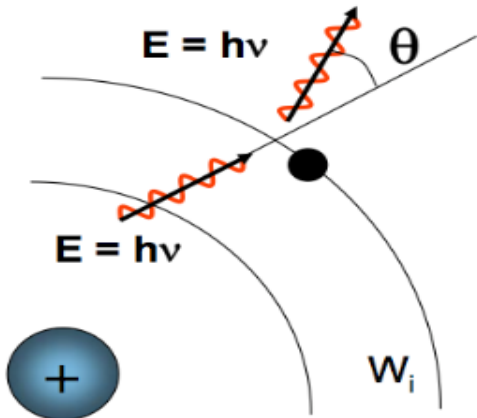


- **T est maximum** si le choc est frontal (c'est comme en voiture, si vous percutez quelqu'un de plein fouet, vous l'envoyez très loin)
- **T est faible** si le choc est tangentiel (toujours en voiture, si vous effleurez quelqu'un il ne va pas loin)

Mécanismes d'atténuation

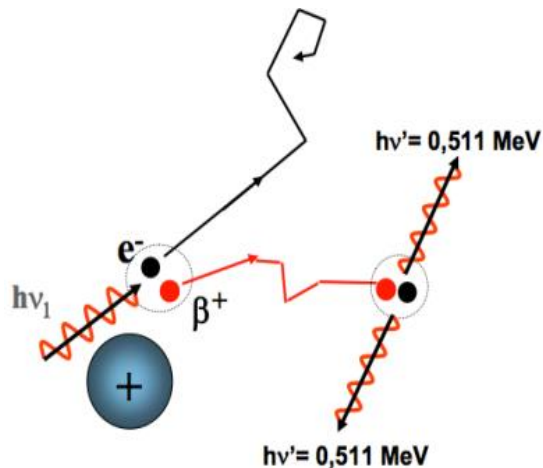
► DIFFUSION DE THOMSON-RAYLEIGH

- **AUCUN** transfert d'énergie à la matière. Le faisceau incident ne fait que changer de direction (sans changer d'énergie et donc de longueur d'onde).



► CREATION DE PAIRE OU MATERIALISATION

- Lorsqu'un **faisceau de photon** d'énergie supérieure à 1022keV passe à proximité d'un noyau, il voit son énergie transformée en **2 particules** (particule e^- et antiparticule $\beta^+ = \text{positon}$). Ces 2 particules se désintègrent rapidement en 2 **photons** chacun d'énergie égale à **511keV**.



Interaction des rayonnements particuliers

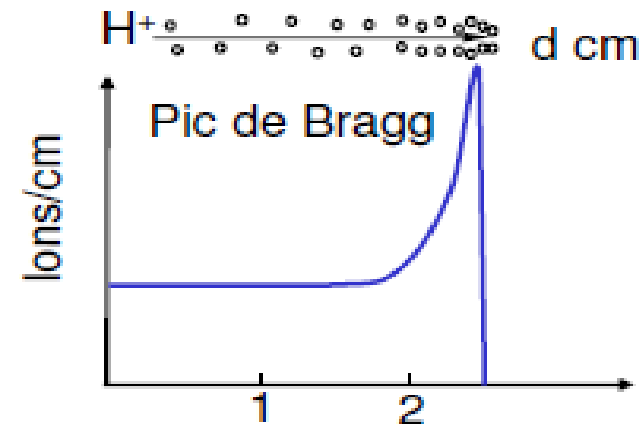
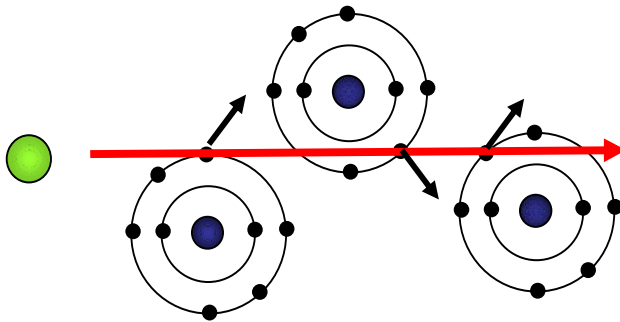
► INTERACTION DES NEUTRONS

- Les **neutrons** interagissent avec les **noyaux**. Du fait du diamètre très faible par rapport à l'atome, cette interaction a une probabilité faible. Les neutrons sont donc **très pénétrants** (interagissent peu). On en distingue 2 types :
 - **Les neutrons rapides** : d'énergie cinétique élevée
 - Dans les milieux riches en hydrogène (la masse du noyau est proche de celle du neutron): le transfert d'énergie est maximal. Ce noyau H^+ percuté est expulsé = proton secondaire qui donnera des **ionisations** (les neutrons sont indirectement ionisants).
 - Dans les milieux composés de noyaux lourds, les neutrons « rebondissent » sans perdre beaucoup d'énergie.
 - **Les neutrons lents** : d'énergie cinétique faible ou neutrons « thermiques » sont absorbés par les noyaux: capture nucléaire à l'origine de transformations radioactives (« capture radiative »).

Interaction des rayonnements particulaires

► INTERACTION DES PARTICULES CHARGÉES (POSITIVEMENT)

- Les particules chargées ont une trajectoire rectiligne, de part leur **charge** elles sont très ionisantes. Elles provoquent un maximum d'ionisation en fin de parcours appelé pic de Bragg : il n'y a plus d'ionisation après ce pic. Le transfert d'énergie par ionisation se fait donc à une distance particulière.



QCM

- ▶ Quel(s) photon(s) est(sont) capable(s) d'exciter l'atome de Manganèse ($Z=25$) sachant que les énergies de ses orbitales sont les suivantes : $W_k = -176,3 \text{ eV}$, $W_l = -44 \text{ eV}$ et $W_m = -19,6 \text{ eV}$?
- ▶ A) $E = 44 \text{ eV}$
- ▶ B) $E = 24,4 \text{ eV}$
- ▶ C) $E = 156,7 \text{ eV}$
- ▶ D) $E = 63,6 \text{ eV}$
- ▶ E) Toutes les réponses sont fausses

- ▶ Réponse : BC



FIIIIINNNNN

BON COURAGE À TOUS ♥ ♥