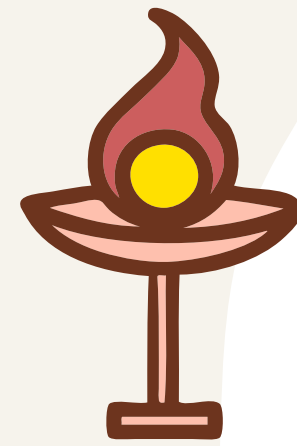
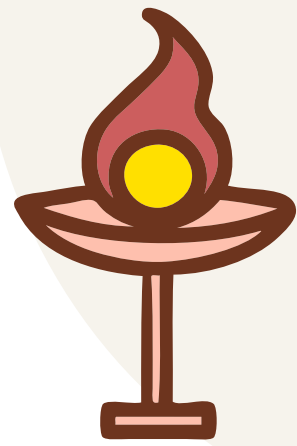


On/RI/Scie
INTERACTION
RI
MATIERE



Hésitez pas et posez
toutes vos questions!



all



QU'EST-QU'UN RI?

*Un rayonnement
électromagnétique (REM) ou
particulaire*

*Capable d'interagir avec les
atomes de la matière qu'il
traverse*

Directement ou indirectement

Créations d'ionisations

Phénomène physique -> effets chimiques -> effets biologiques





LES INTERETS DE CES RI

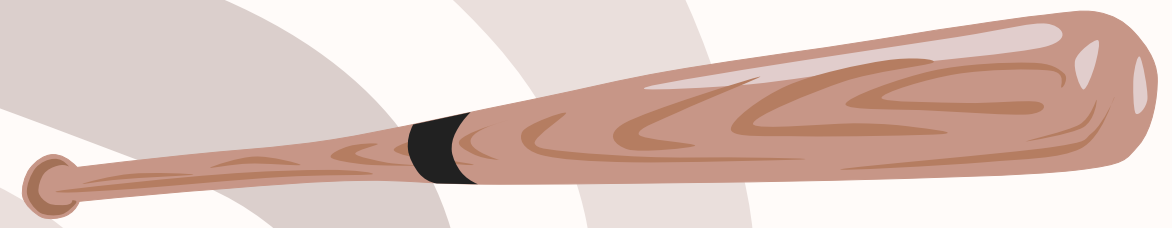


*Explorations
diagnostiques*

*Détection des rayons avec la création
d'une image (scanner et TEP)*

Santé

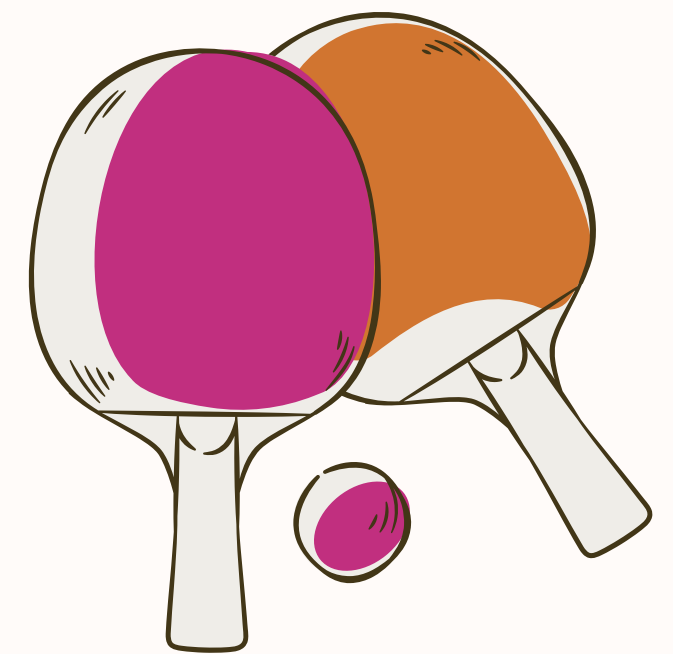
*Choix des effets biologiques: radiothérapie
Protection: radioprotection*



D'où Proviennent les RI?

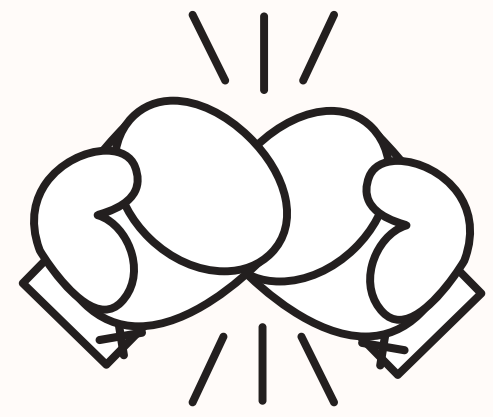
Ils proviennent de l'atome mais de différents endroits:

- les rayons X -> extérieur du noyau*
- la radioactivité -> noyau*

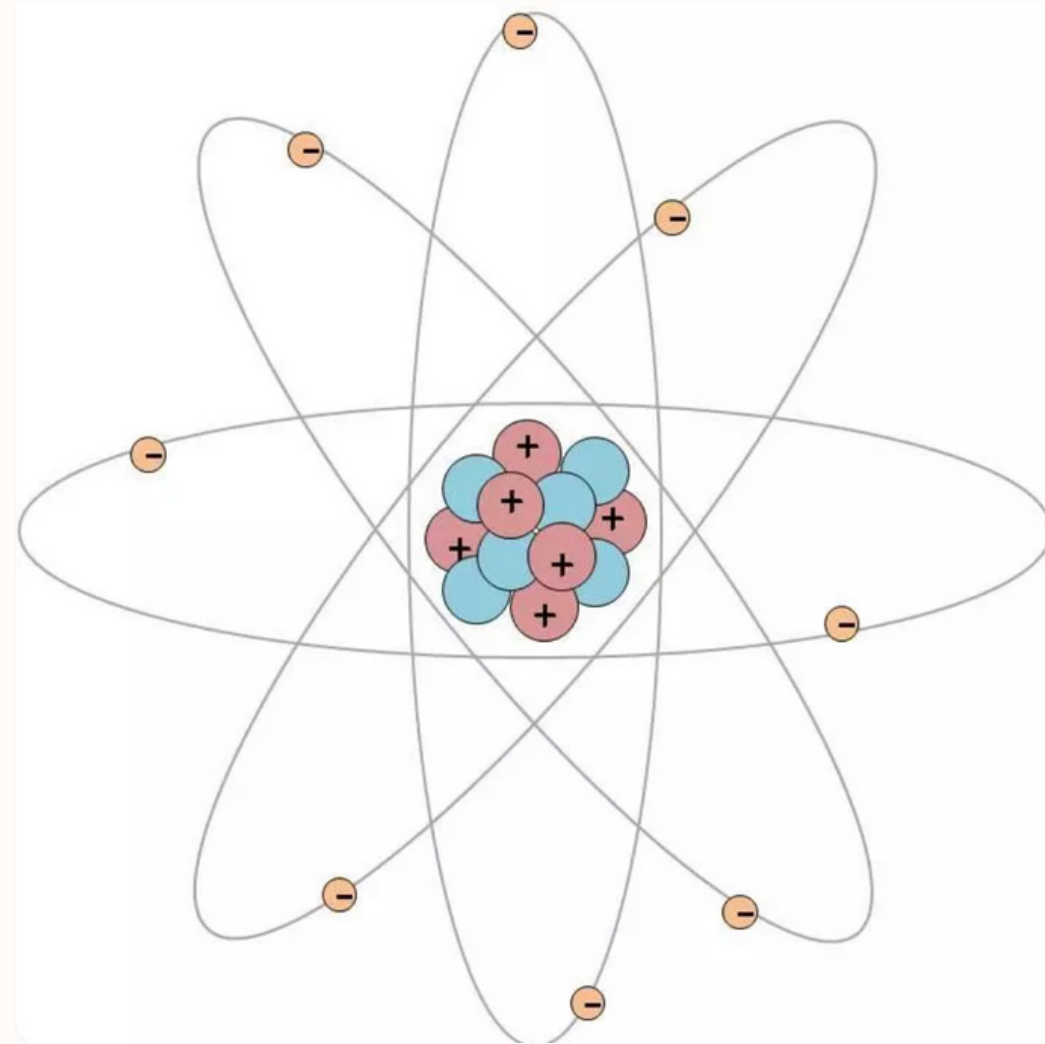




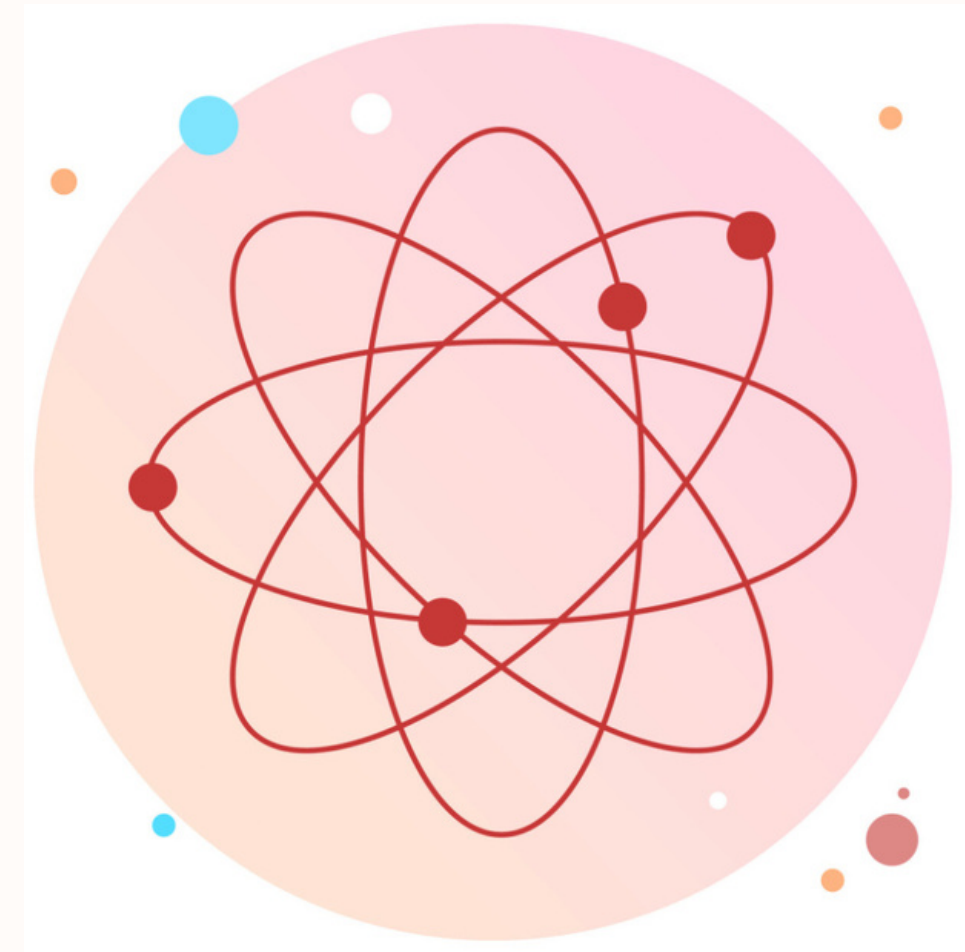
Mécanismes généraux



Player 1
Simple échauffement



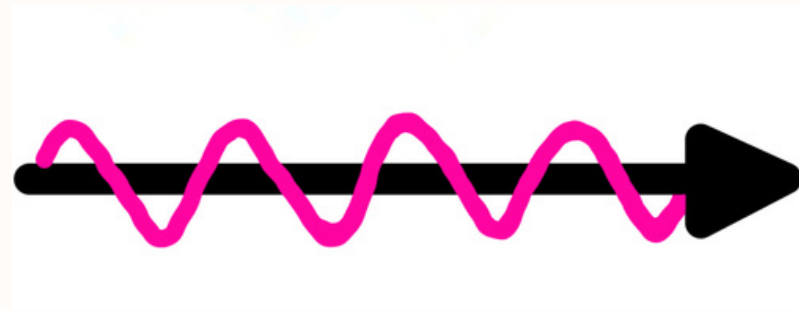
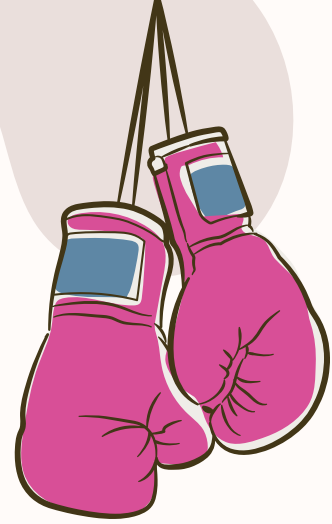
Player 2
Excitation



Player 3
Ionisation



LE PHOTON



$$\mathcal{E} = h\nu$$



$h = \text{constante de Planck}$



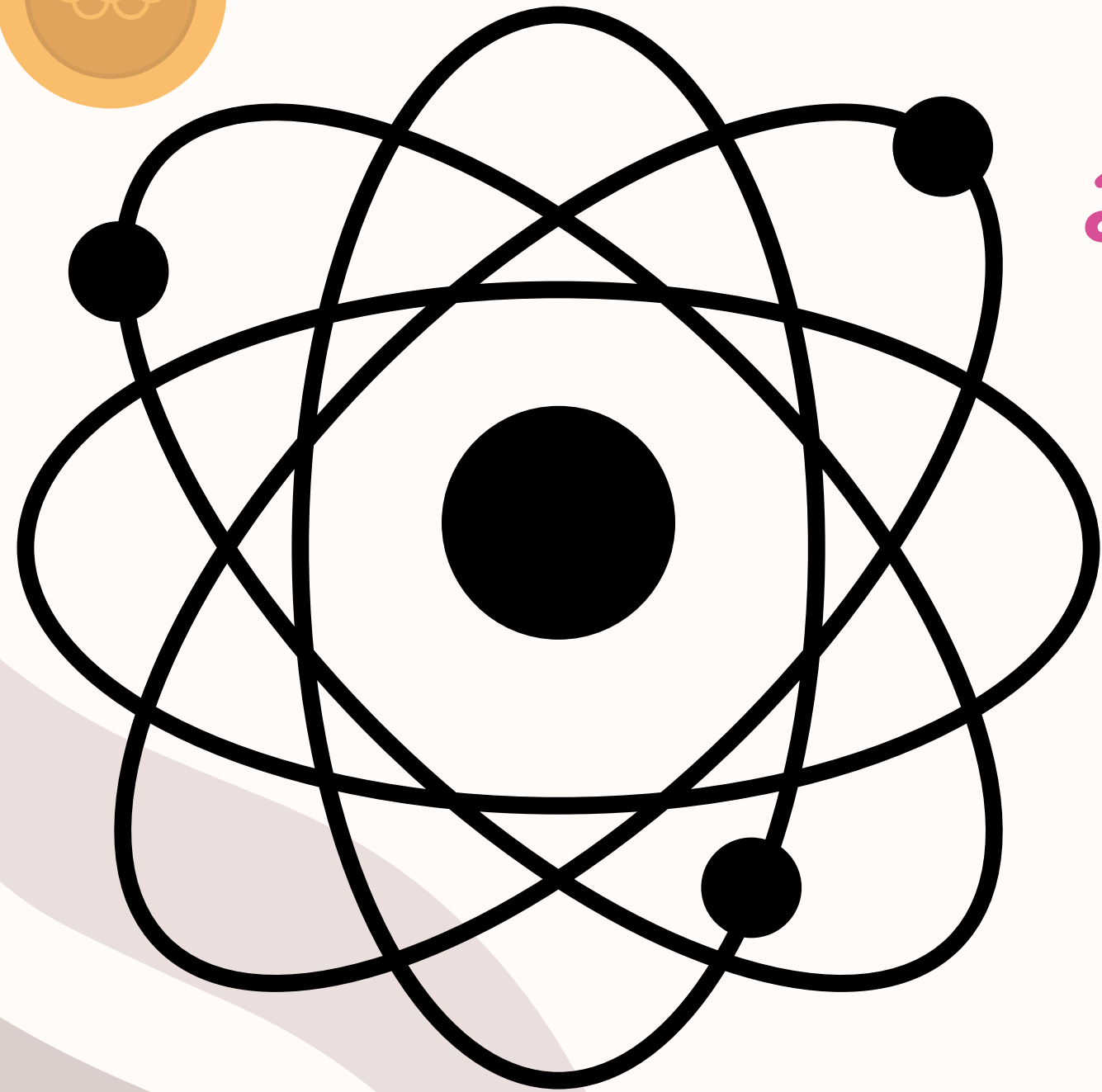
$\nu = \text{fréquence de vibration de ce REM}$

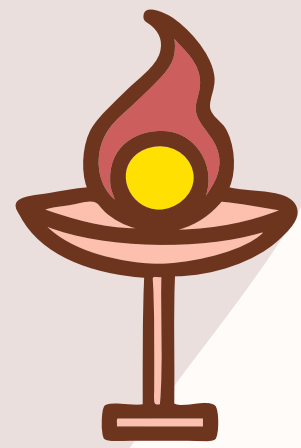


L'ATOME

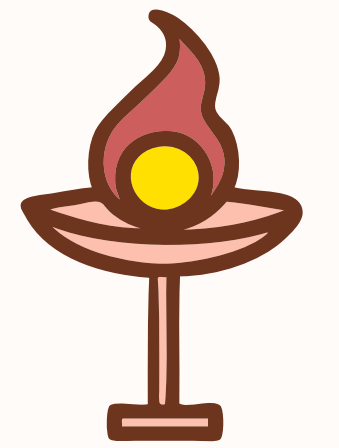
Le modèle de Bohr:

- couches électroniques (K, L, M...)
- énergie de liaison avec le noyau
- énergie de l'électron $W_i < 0$
- énergie de liaison de l'électron $|W_i| > 0$





Petit récapitulatif:

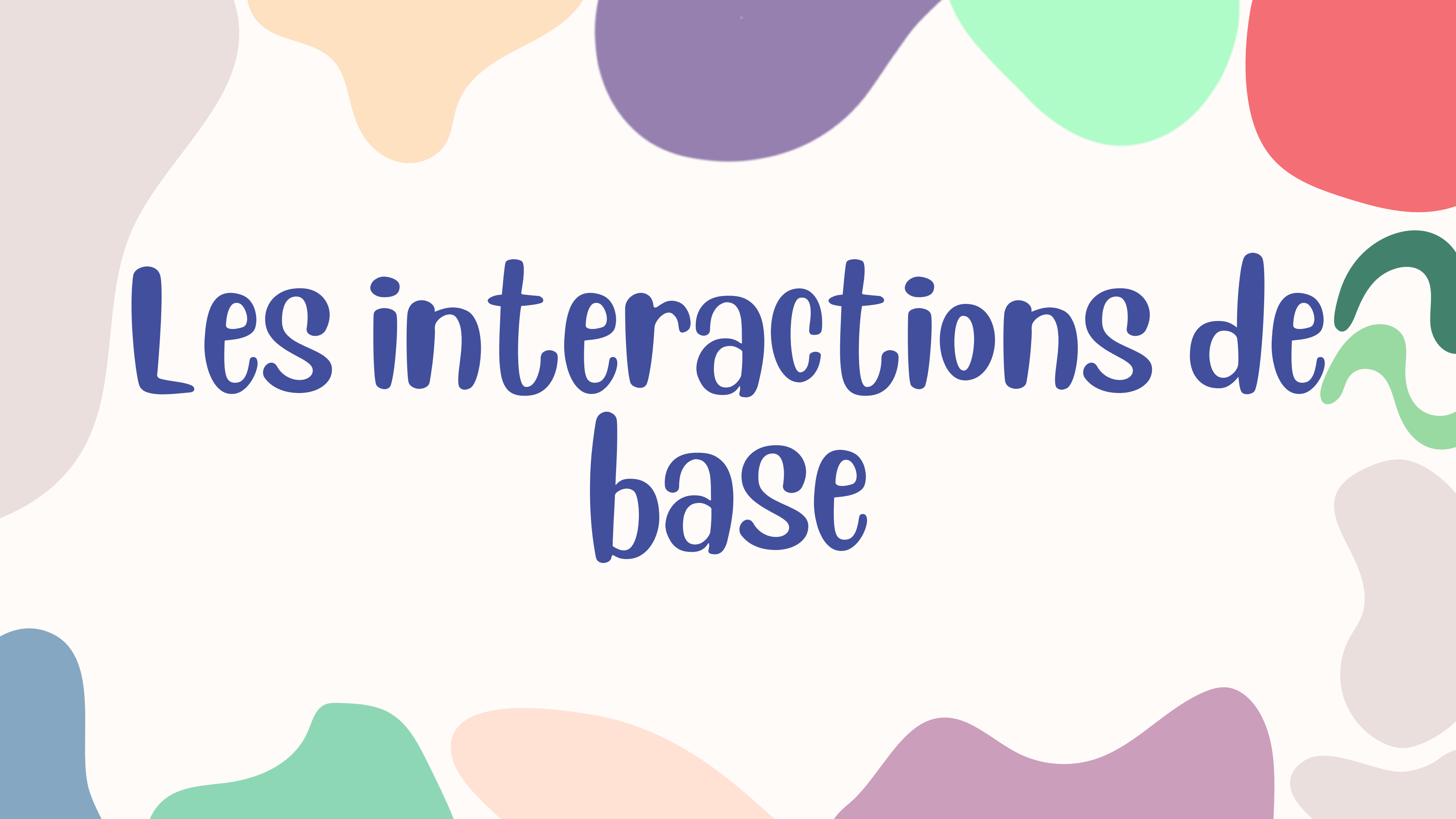


Énergie de l'électron = W_i

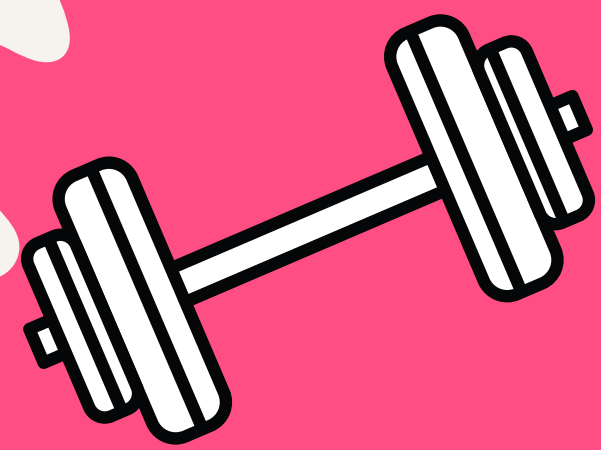
Énergie de liaison de l'électron = $|W_i|$

$|W_i|$ c'est l'énergie qu'il faut fournir à l'électron pour l'arracher

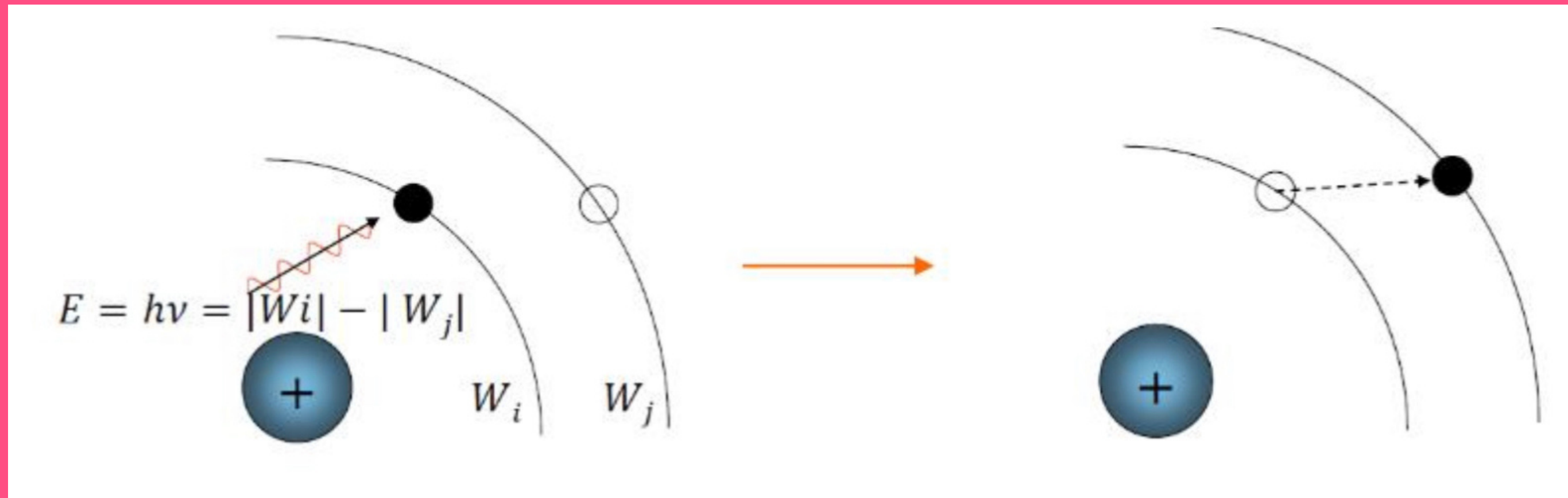
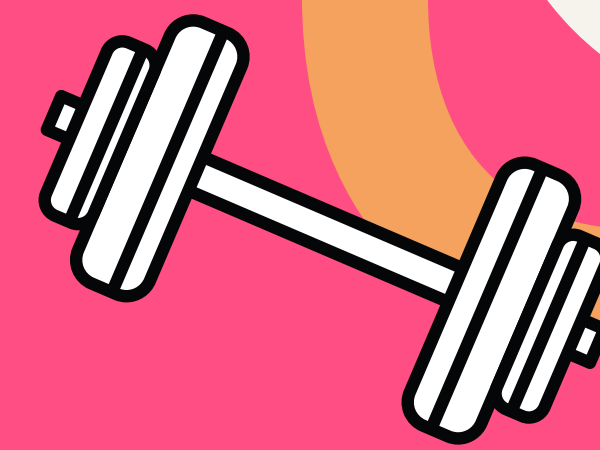




Les interactions de base



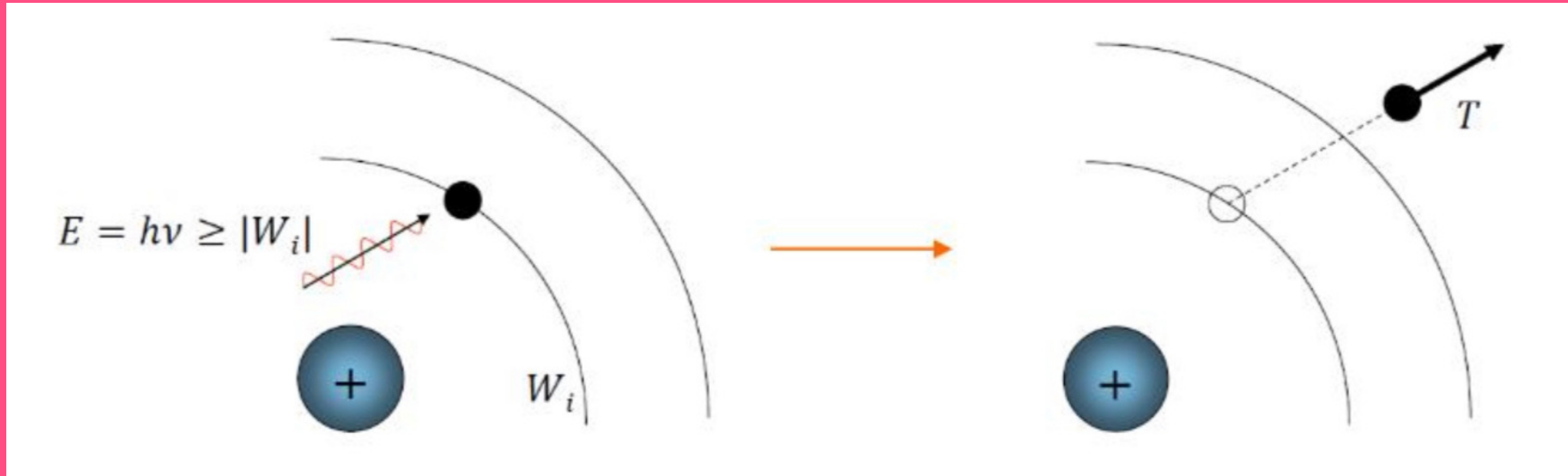
Excitation



- Si $E < |W_i| - |W_j|$
- Si $E = |W_i| - |W_j| \rightarrow$ absorption de l'énergie \rightarrow case vacante
- Energie absorbée \rightarrow quantifiée (valeurs bien définies).
- État pas stable.



Ionisation



- Si $E >$ ou $=$ à $|W_i|$
- Excès d'énergie
- Énergie cinétique $T = hv - |W_i|$
- Énergie pas quantifiée
- État pas stable

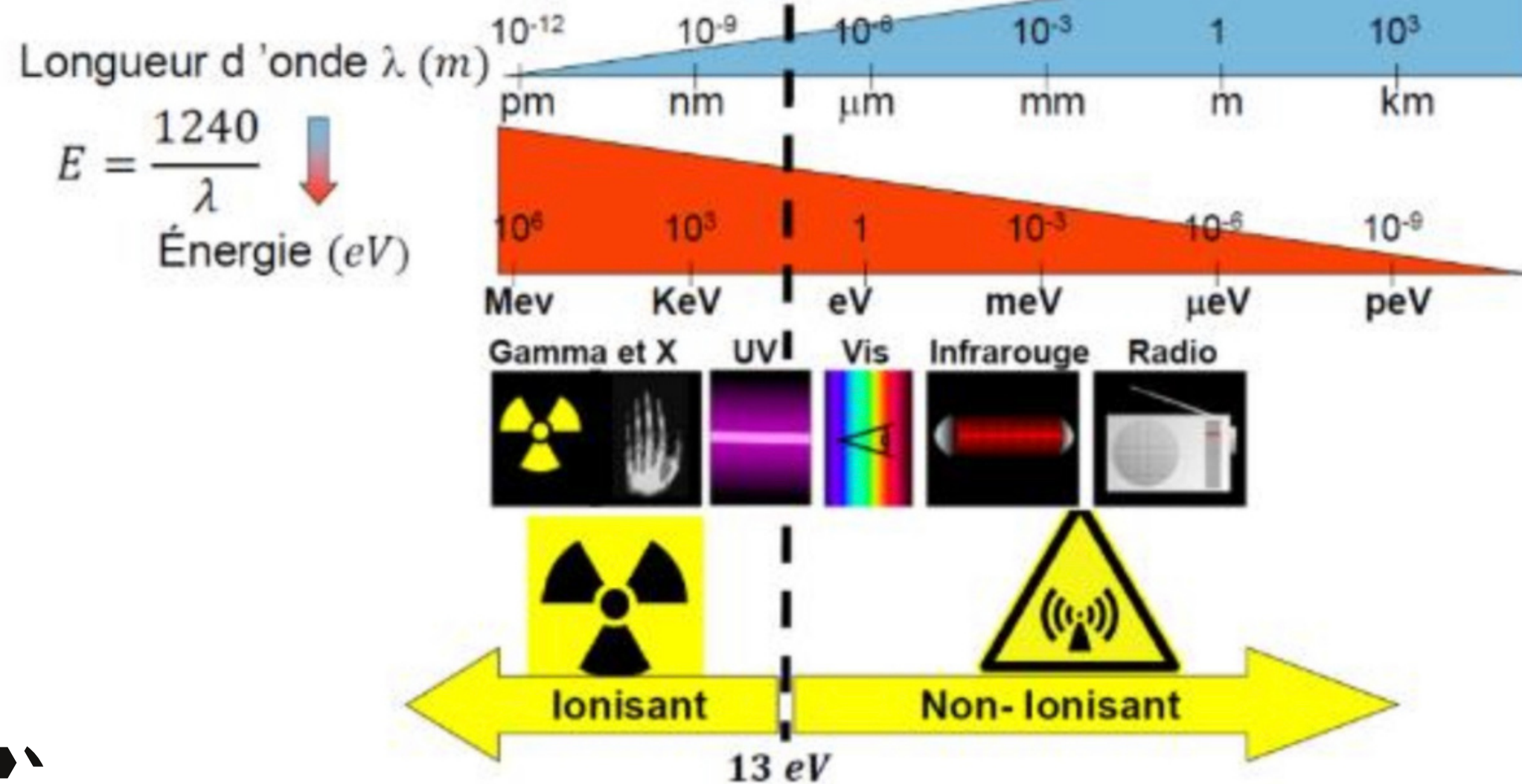


Caractéristiques des RI

Ionisant ou non-ionisant?

Dépend de l'énergie de liaison moyenne des électrons dans les atomes qui constituent la matière $\rightarrow h\nu \geq |W|$
On prend comme repère celle d'une molécule d'eau $W(H_2O) = 13,6 \text{ eV}$

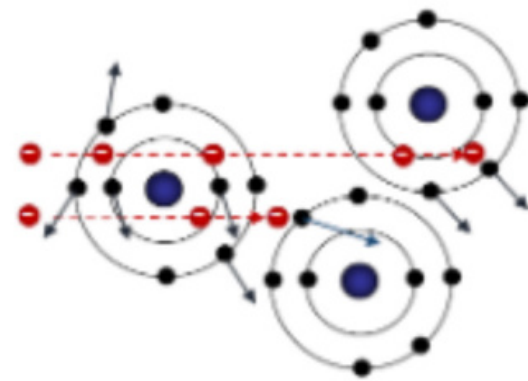
Spectre des rayonnements électromagnétiques



Directement ou indirectement ionisant?

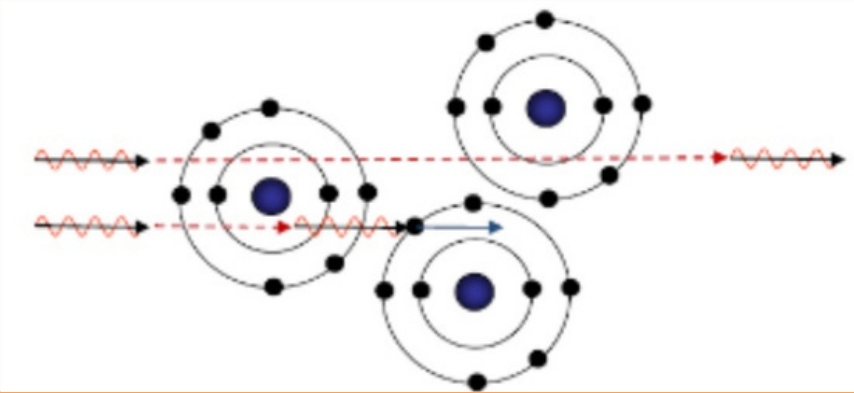
LES PARTICULES CHARGÉES
 α^{2+} ; β^+ ; β^- ; e^- ; p^+

- *directement ionisantes*
- *interactions obligatoires avec la matière*
- *interactions coulombiennes*
- *attraction si +*
- *repoussement si -*



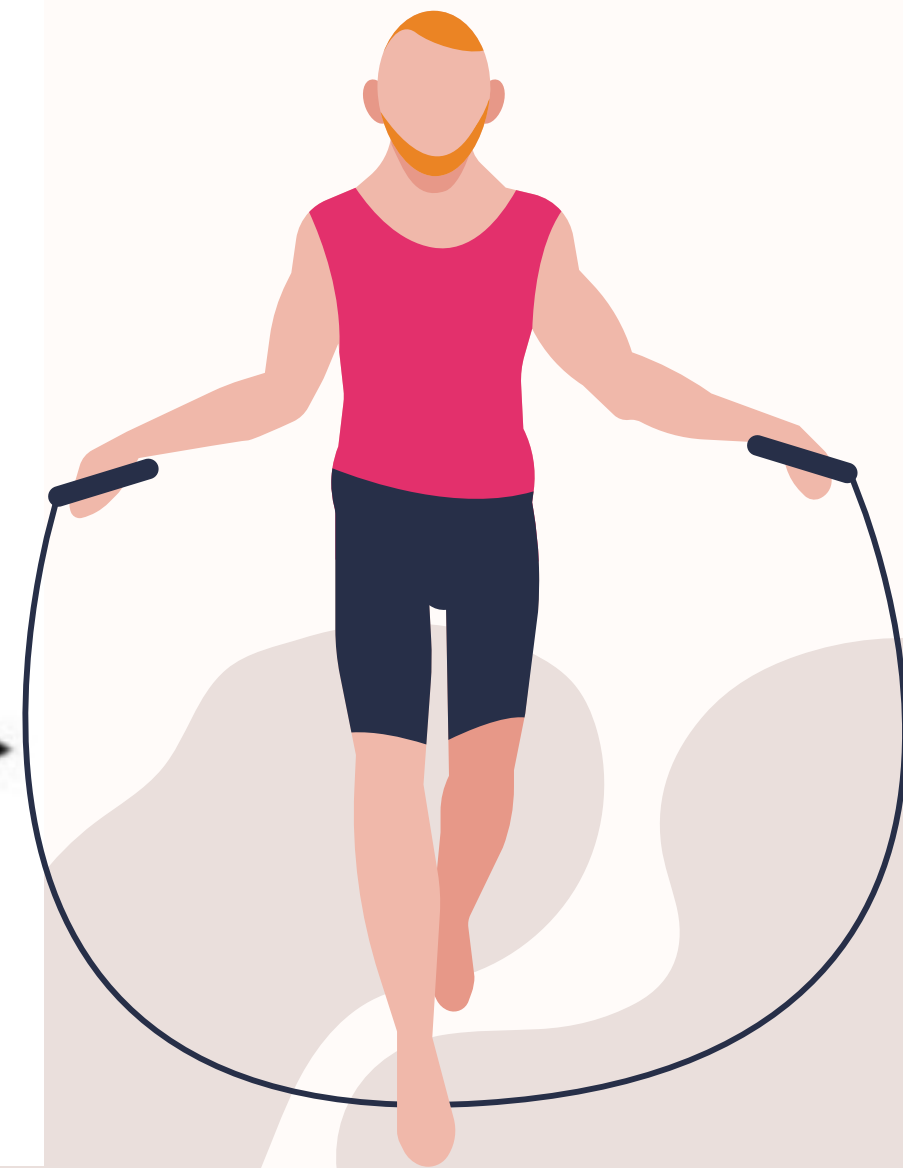
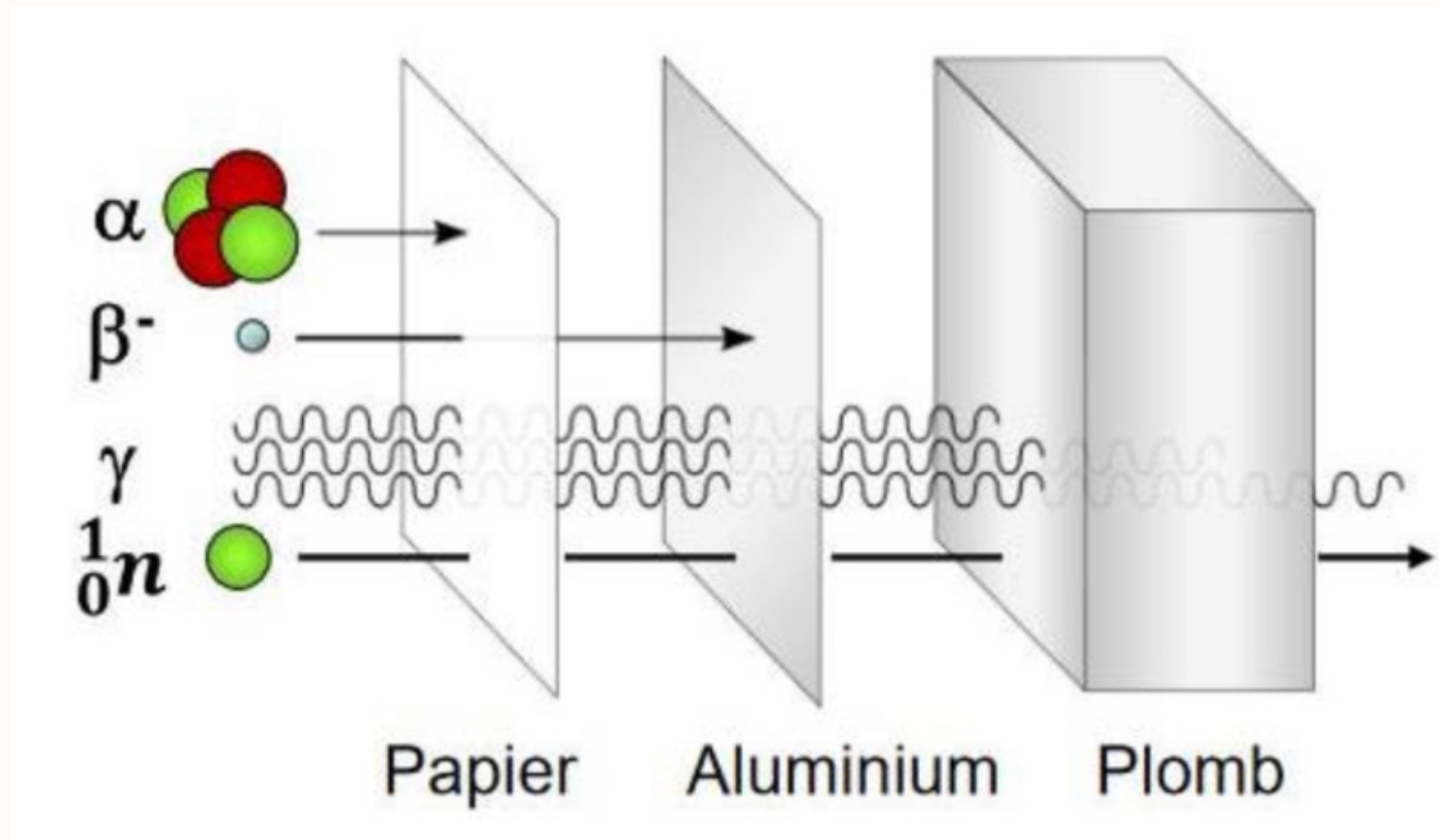
LES RAYONS ET LES PARTICULES NEUTRES
 γ ; X ; 1_0n


- *indirectement ionisantes*
- *interactions non obligatoires*
- *interactions balistiques*
- *déterminent le parcours dans la matière*



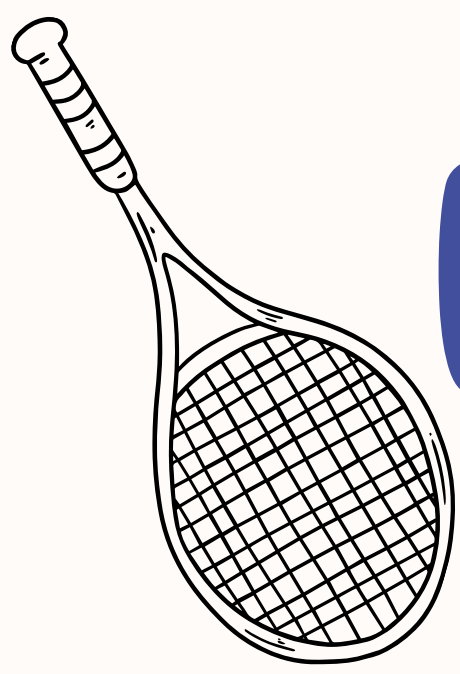
Pénétration des β dans la matière ?

Plus une particule est chargée, plus elle va interagir avec la matière donc plus elle sera arrêtée rapidement.





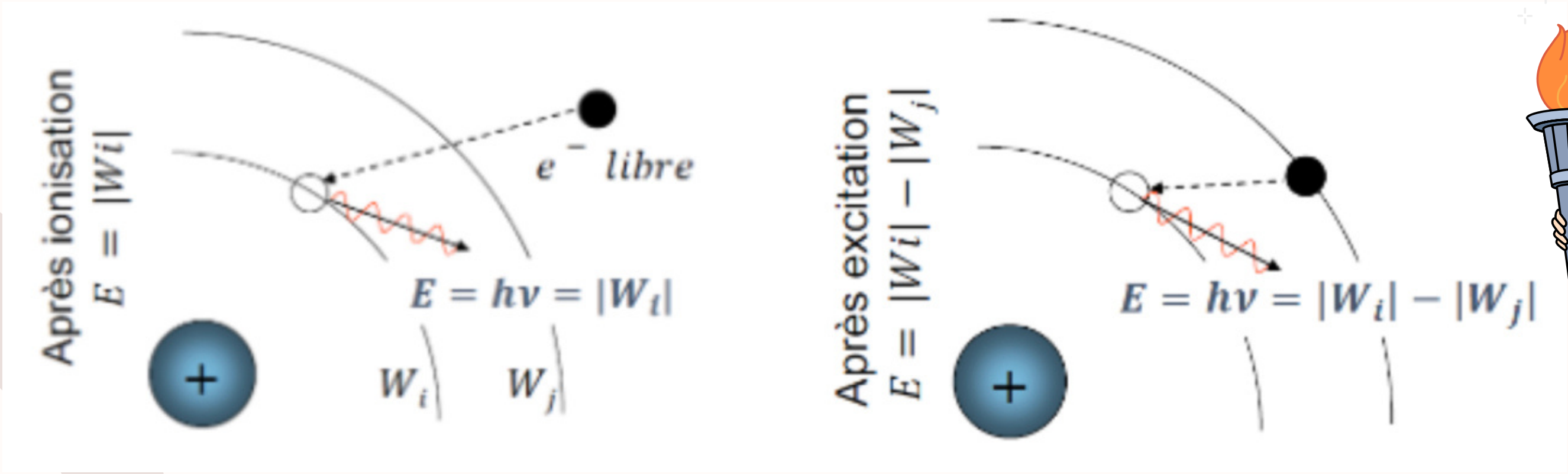
Les conséquences des
interactions des PI
avec la matière



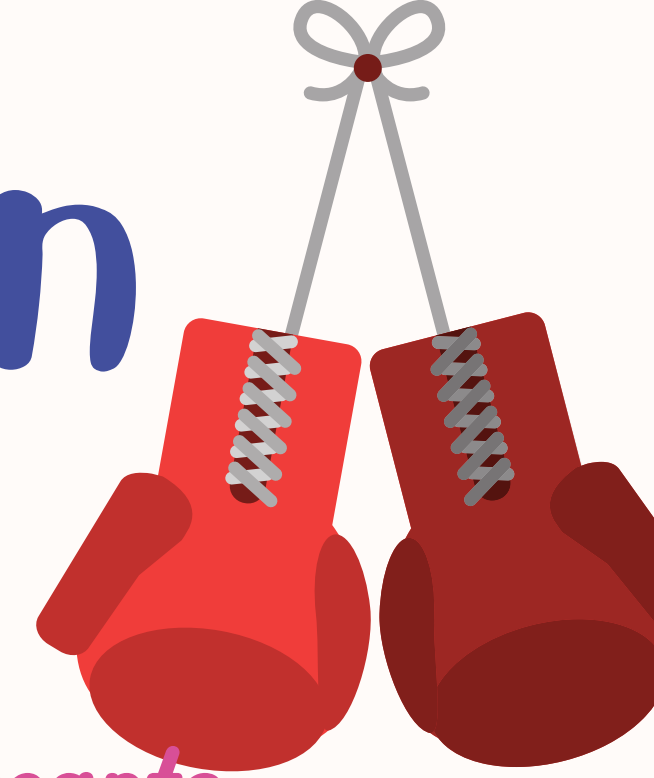
Émission d'un Photon de fluorescence



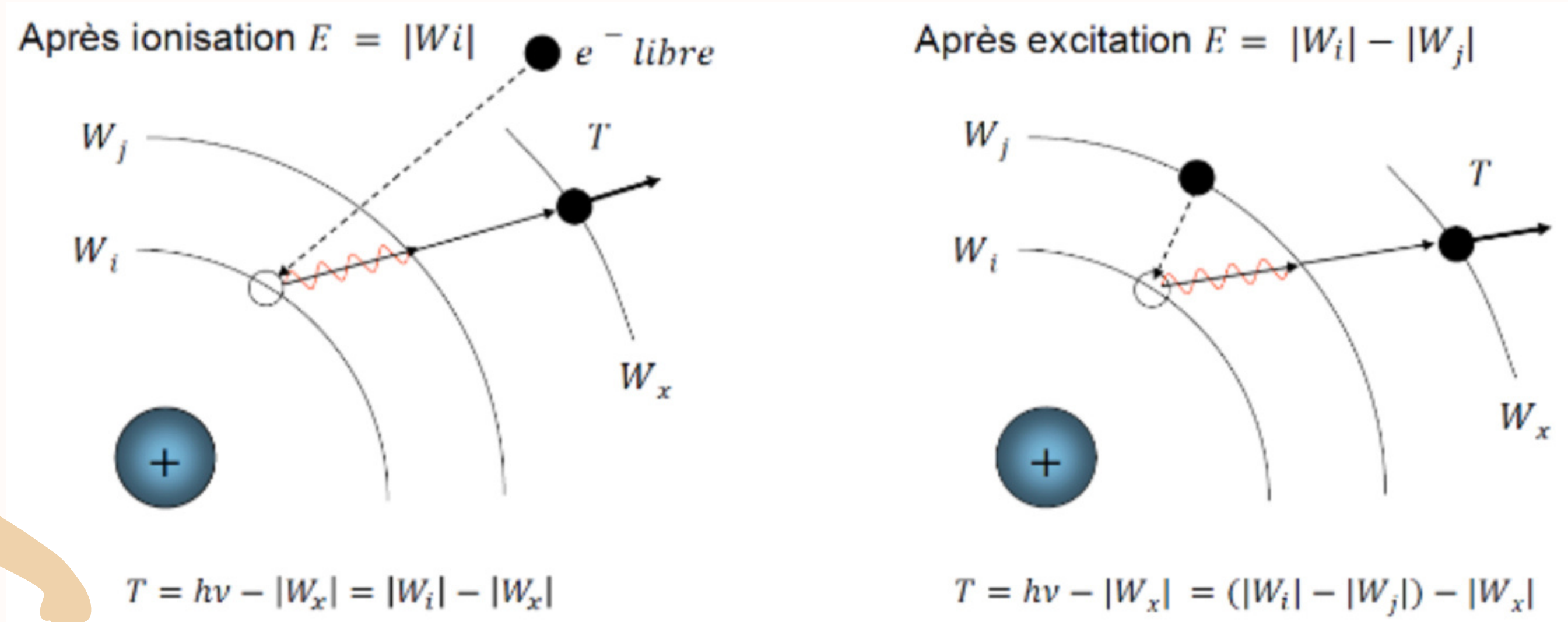
- un atome ionisé ou excité possède un excès d'énergie -> veut restituer cette énergie
- Pour retourner à son état fondamental
- case quantique -> mouvement électron -> émission photon



Émission d'un électron d'Auger



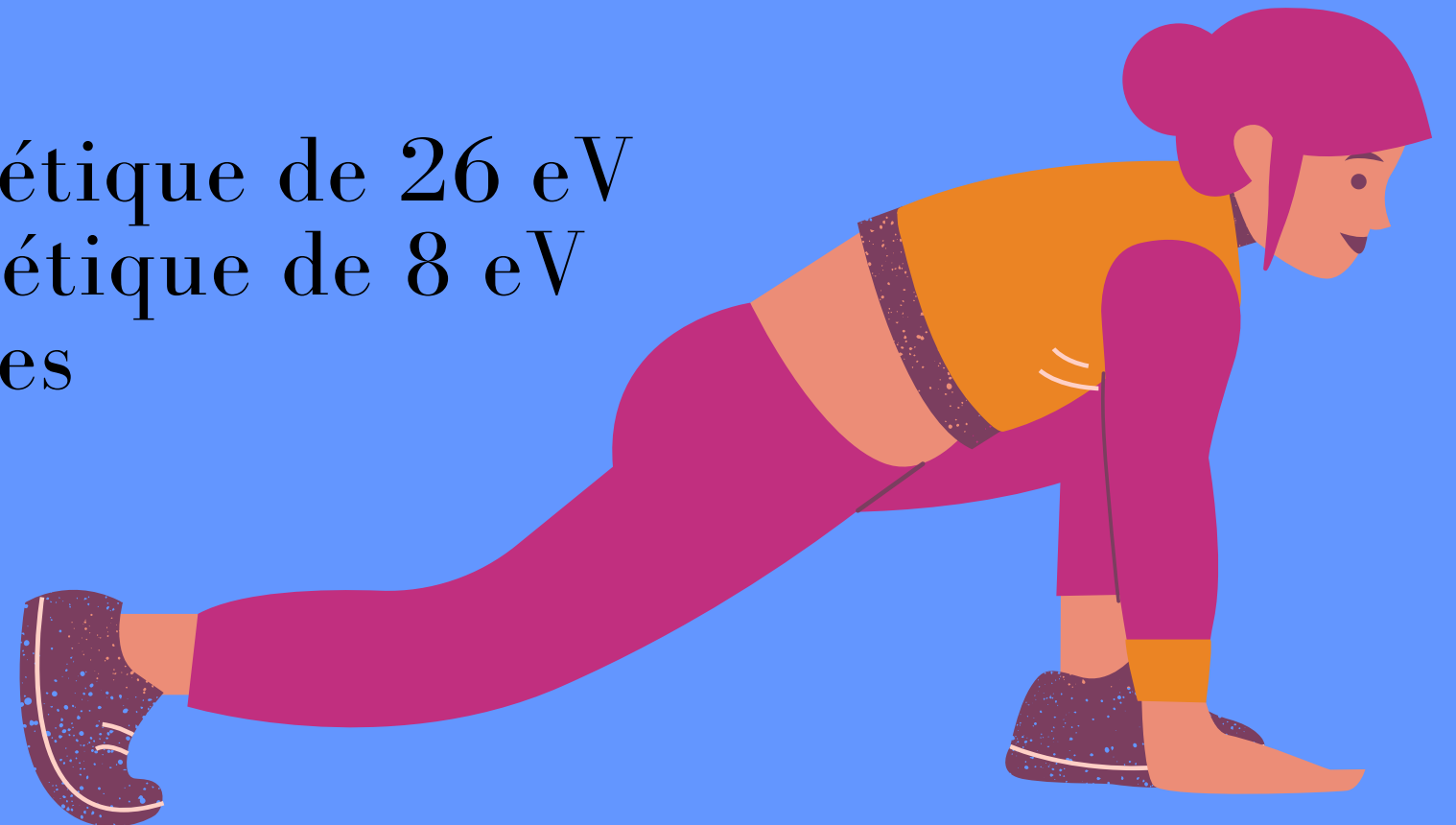
- *Photon fluorescence -> électron couche périphérique -> case vacante*



QCM

QCM: On considère l'atome d'Argon ($Z = 18$), dont les énergies des électrons selon le modèle de Bohr sont (en eV) : $W_K = -98$; $W_L = -36$; $W_M = -14$. Un atome d'Argon subit une excitation d'un électron de la couche K vers la couche M. Parmi les phénomènes que l'on pourra observer, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

- A) Un photon de fluorescence de 98 eV
- B) Un photon de fluorescence de 62 eV
- C) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 26 eV
- D) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 8 eV
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses



CORRECTION

QCM: On considère l'atome d'Argon ($Z = 18$), dont les énergies des électrons selon le modèle de Bohr sont (en eV) : $W_K = -98$; $W_L = -36$; $W_M = -14$. Un atome d'Argon subit une excitation d'un électron de la couche K vers la couche M. Parmi les phénomènes que l'on pourra observer, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

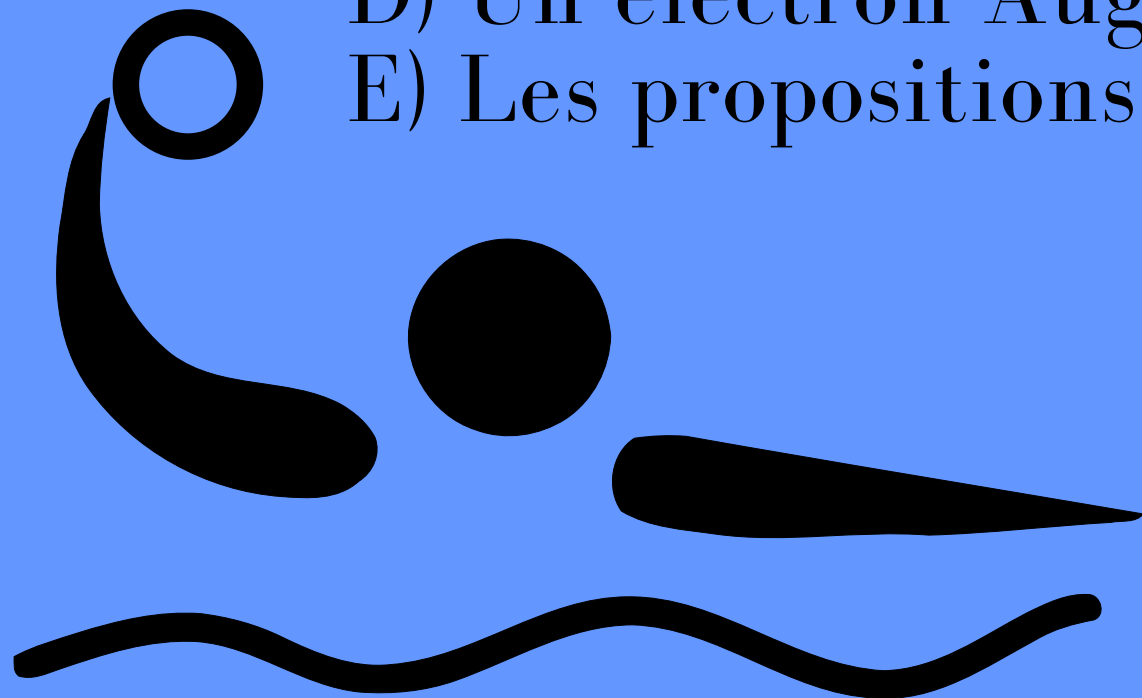
- A) Un photon de fluorescence de 98 eV
- B) Un photon de fluorescence de 62 eV
- C) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 26 eV
- D) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 8 eV
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses



QCM

QCM: On considère l'atome X , dont les énergies des électrons selon le modèle de Bohr sont (en eV) : $W_K = -1070$; $W_L = -40$ et $W_M = -10$. Un atome X subit une ionisation de la couche L. Parmi les phénomènes que l'on pourra observer, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

- A) Un photon de fluorescence de 1070 eV
- B) Un photon de fluorescence de 1030 eV
- C) Un photon de fluorescence de 30 eV
- D) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 30 eV
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses



CORRECTION

QCM: On considère l'atome X, dont les énergies des électrons selon le modèle de Bohr sont (en eV) : $W_K = -1070$; $W_L = -40$ et $W_M = -10$. Un atome X subit une ionisation de la couche L. Parmi les phénomènes que l'on pourra observer, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

- A) Un photon de fluorescence de 1070 eV
- B) Un photon de fluorescence de 1030 eV
- C) Un photon de fluorescence de 30 eV
- D) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 30 eV
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses





À vous de jouer

QCM: On considère l'atome de Plomb ($Z = 82$), dont les énergies des électrons selon le modèle de Bohr sont (en keV) : $W_K = -88$; $W_L = -15$ et $W_M = -3$. Un atome de Plomb subit une ionisation de la couche K. Parmi les phénomènes que l'on pourra observer, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

- A) Un photon de fluorescence de 88 keV
- B) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 73 keV
- C) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 58 keV
- D) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 9000 eV
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses





CORRECTION

On considère l'atome de Plomb ($Z = 82$), dont les énergies des électrons selon le modèle de Bohr sont (en keV) : $W_K = -88$; $W_L = -15$ et $W_M = -3$. Un atome de Plomb subit une ionisation de la couche K. Parmi les phénomènes que l'on pourra observer, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

- A) Un photon de fluorescence de 88 keV
- B) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 73 keV
- C) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 58 keV
- D) Un électron Auger avec une énergie cinétique de 9000 eV
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses



L'atténuation des Photons

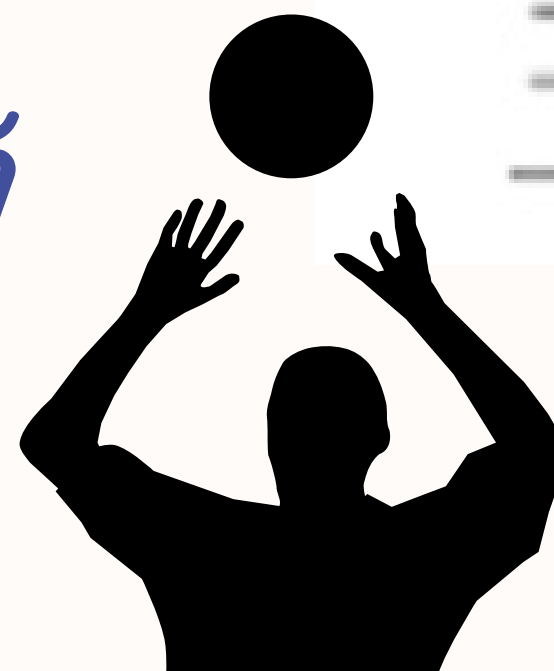
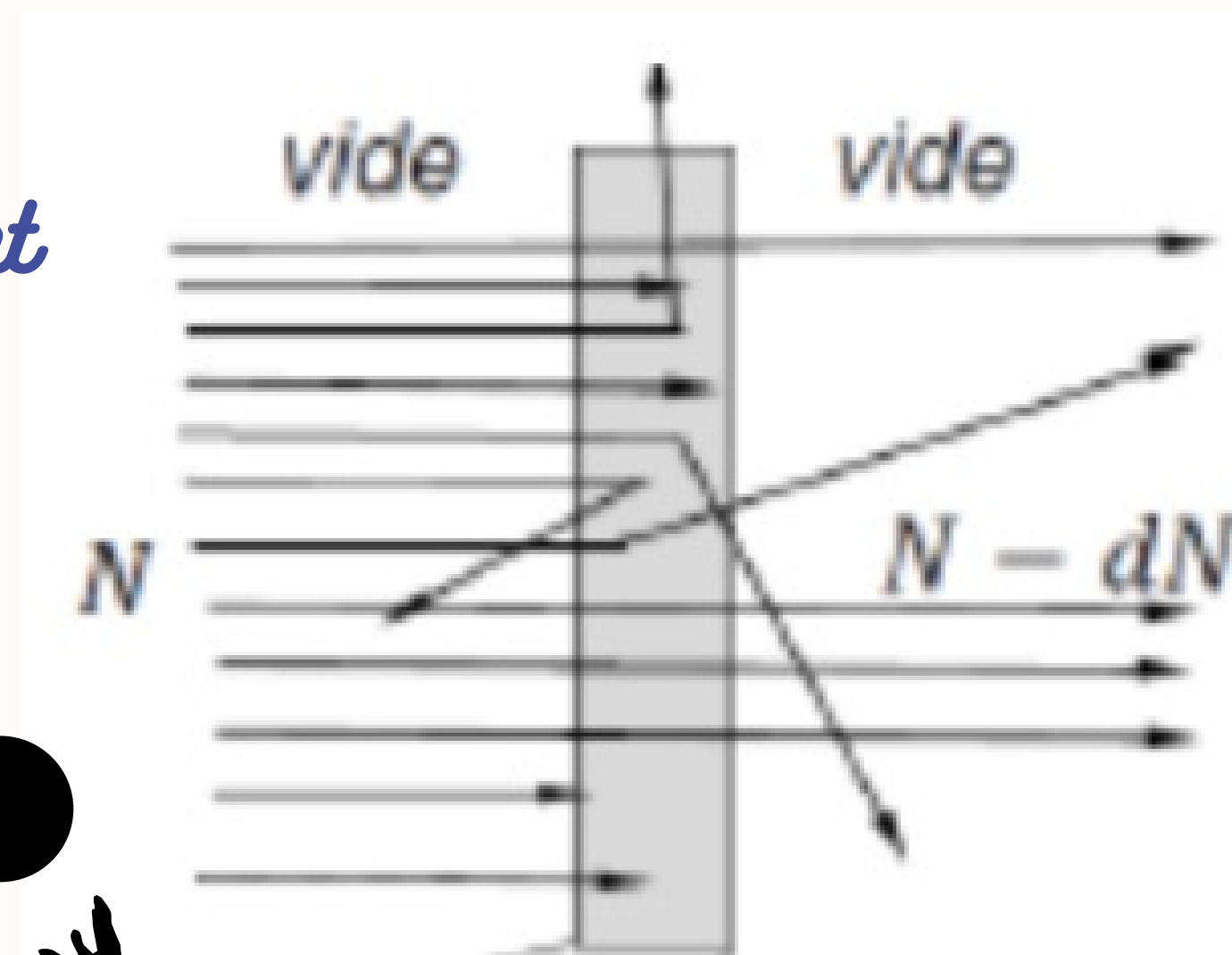


Atténuation des photons

Flux de photons dans la matière -> avenir différent

- absorbé
- diffusé (dévié)
- transmis (pas d'interaction)

*L'atténuation concerne les photons transmis
(+ atténuation est forte - photons transmis)*



Couche de demie-atténuation

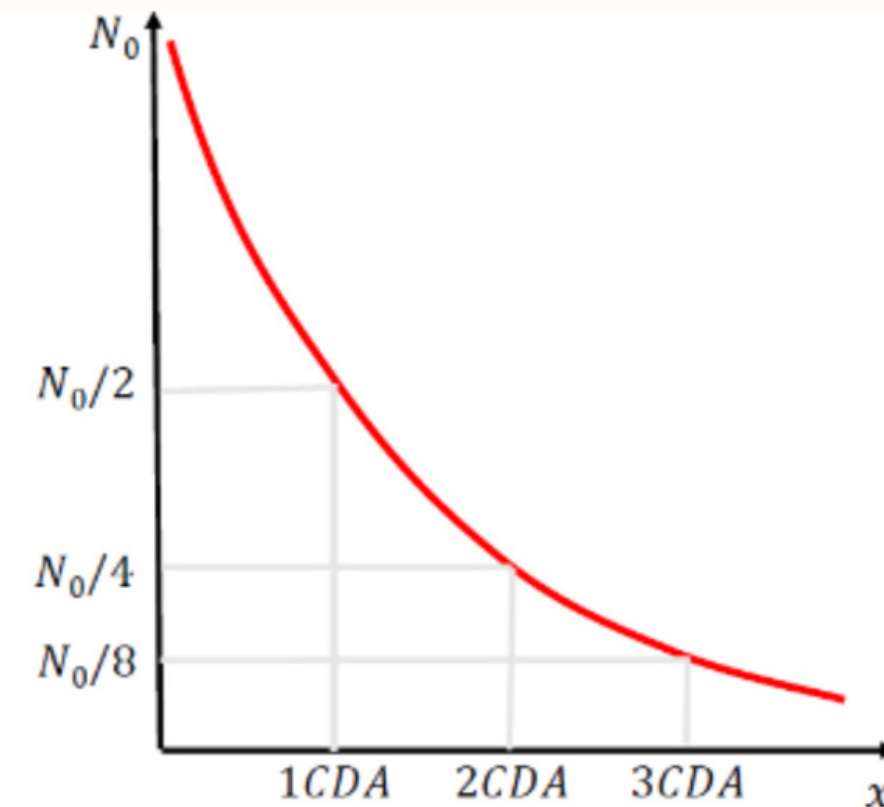
« l'épaisseur x qui diminue le flux de photon incident d'un facteur 2 » ++++

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

Avec μ : le coefficient linéique d'atténuation
Et on considère μ/ρ : coefficient massique d'atténuation



x	$N(x)/N(0)$	%
$1 \times CDA$	$1/2$	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



QCM

Un rayonnement électro-magnétique mono-énergétique a un coefficient massique d'atténuation dans le polyéthylène égal à $0,007 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$. Quelle est, en centimètre, la couche de demi-atténuation du polyéthylène correspondante ?
Données : masse volumique du polyéthylène = 2 g.cm^{-3} ; $\ln(2) = 0,693$

- A) 7
- B) 10
- C) 14
- D) 50
- E) 100



CORRECTION

Un rayonnement électro-magnétique mono-énergétique a un coefficient massique d'atténuation dans le polyéthylène égal à $0,007 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$. Quelle est, en centimètre, la couche de demi-atténuation du polyéthylène correspondante ?
Données : masse volumique du polyéthylène = 2 g.cm^{-3} ; $\ln(2) = 0,693$

A) 7

B) 10

C) 14

D) 50 CORRECTION: on a μ/p et on veut juste μ , donc on fait

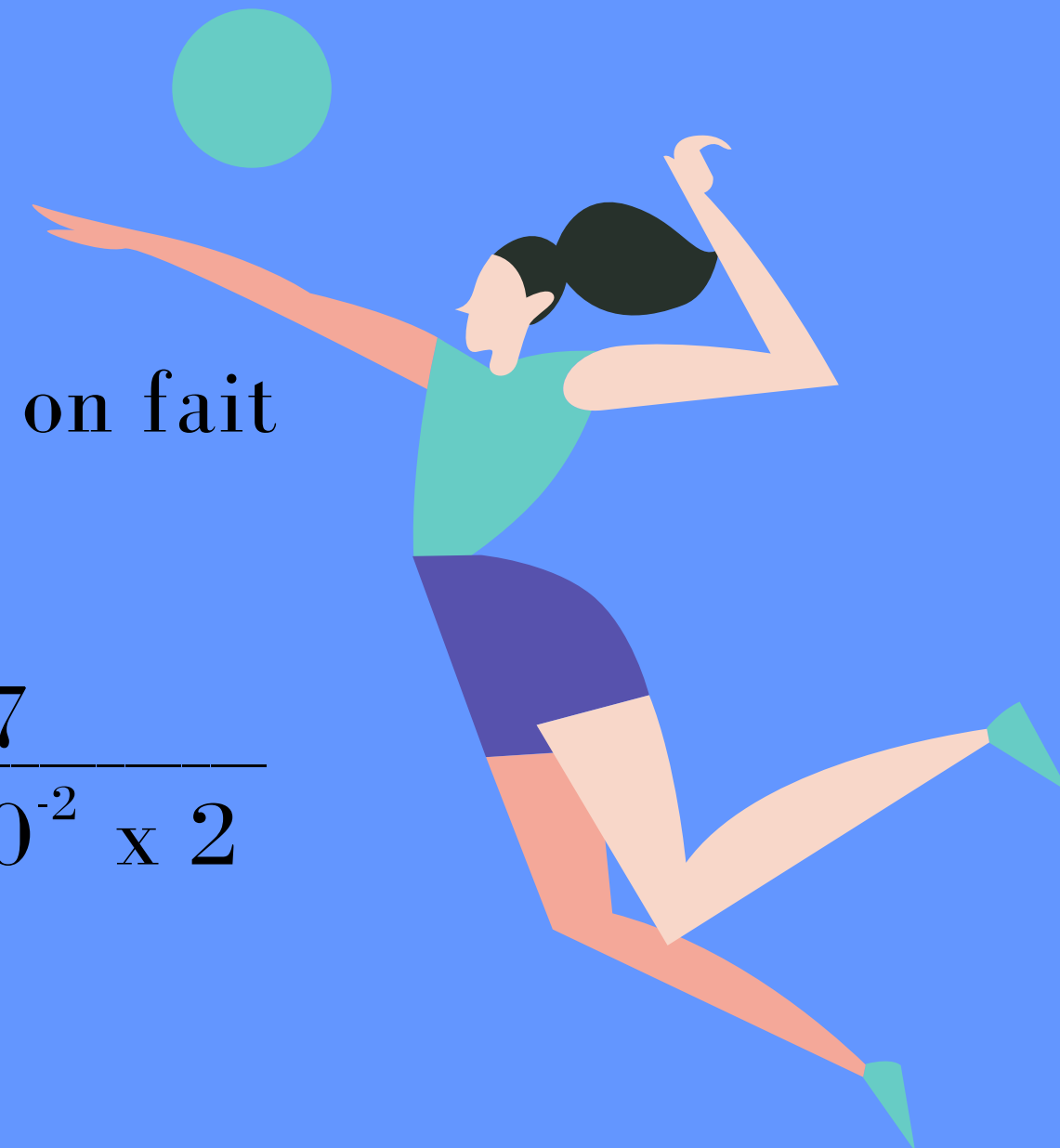
$$CDA = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

$$\mu \times p = 0,007 \times 2$$

$$CDA = \frac{0,693}{0,7 \times 10^{-2} \times 2} = \frac{0,7}{0,7 \times 10^{-2} \times 2}$$

$$= \frac{100}{2} = 50$$

E) 100

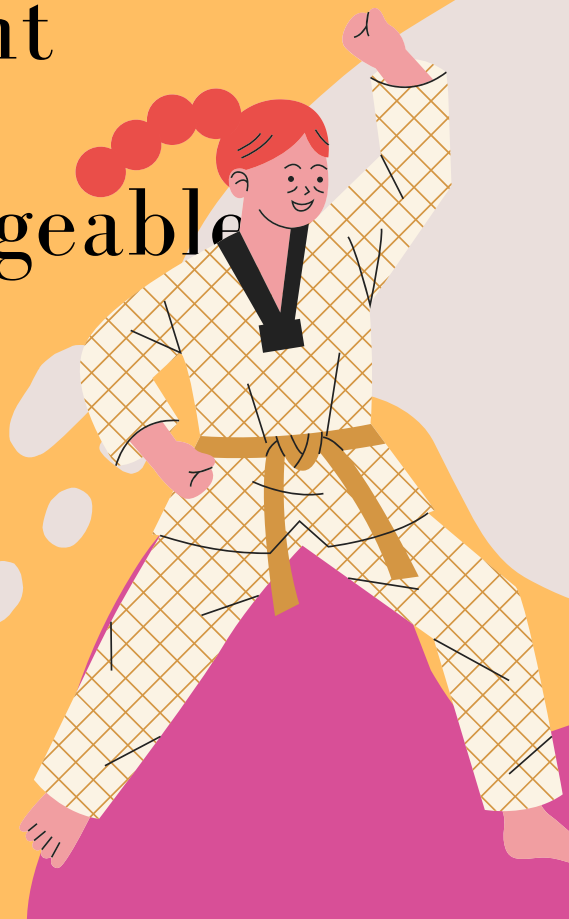
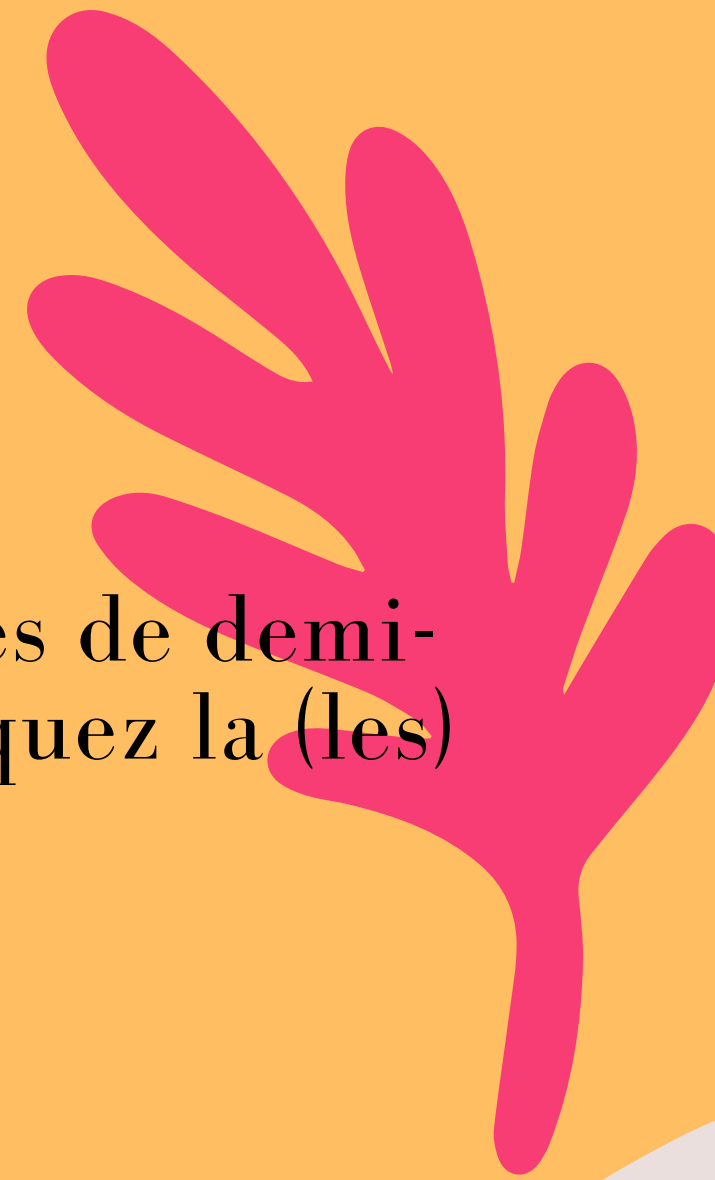




À vous de jouer

Pour un faisceau de photons mono énergétiques de 100 keV, les couches de demi-atténuation sont égales à 4 cm pour l'eau et 1,6 cm pour le verre. Indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

- A) En traversant 8 cm d'eau, 75% des photons seront transmis
- B) En traversant 8 cm de verre, 12,5% des photons seront transmis
- C) En traversant 4 cm d'eau et 1,6 cm de verre, 75% des photons seront atténués
- D) En traversant 16 cm d'eau, la quantité de photon transmis est négligeable
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses



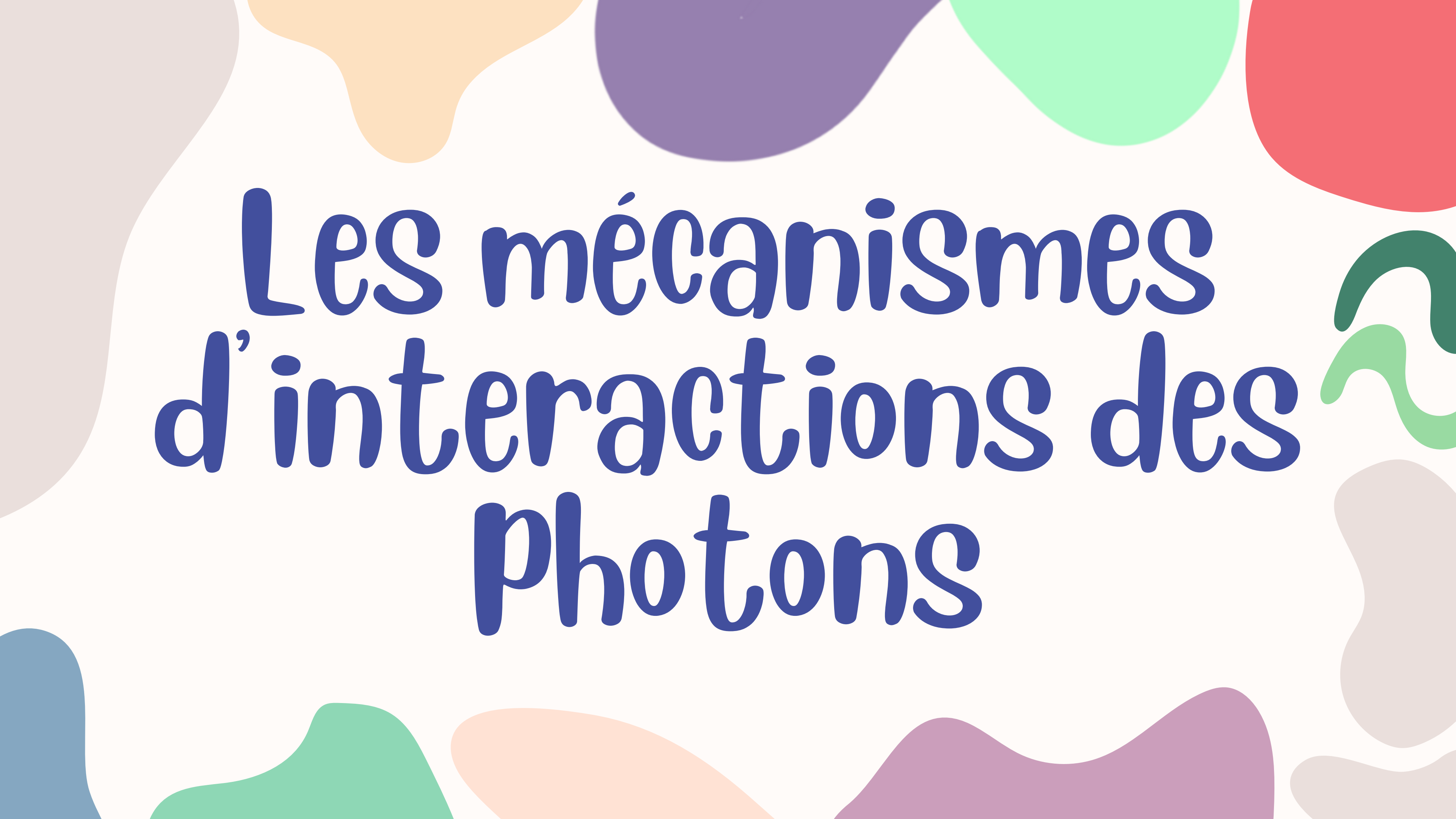


CORRECTION



Pour un faisceau de photons mono énergétiques de 100 keV, les couches de demi-atténuation sont égales à 4 cm pour l'eau et 1,6 cm pour le verre. Indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

- A) 8 cm d'eau = 2 CDA, donc 25% des photons seront transmis
- B) 8 cm de verre = 5 CDA ($8 / 1,6 = 5$), 3,056% des photons seront transmis
- C) 4 cm d'eau = 1 CDA et 1,6 cm de verre = 1 CDA donc 2 CDA , 75% des photons seront atténués
- D) 16 cm d'eau = 4 CDA, la quantité de photon transmis n'est pas négligeable (négligeable >10 CDA)
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

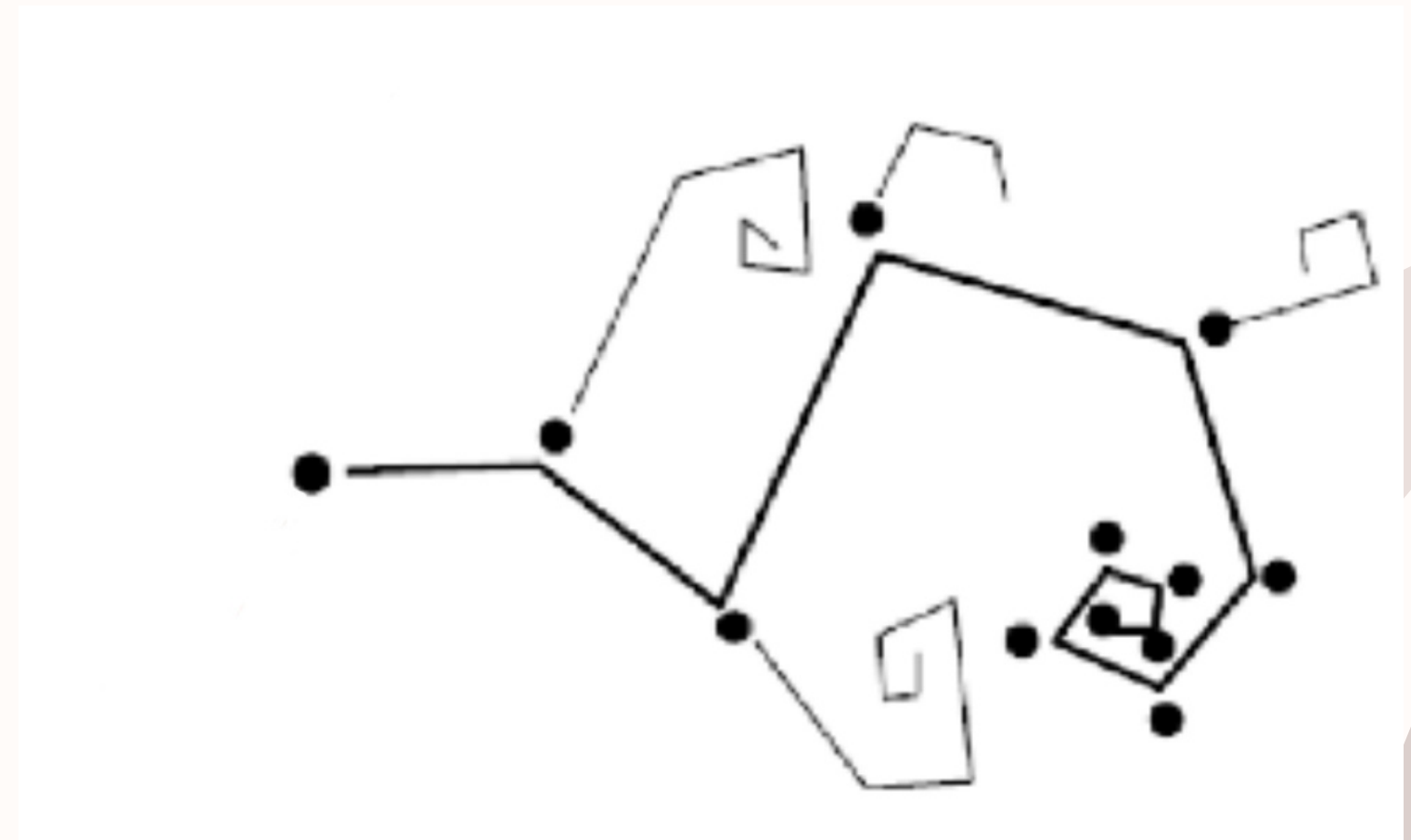
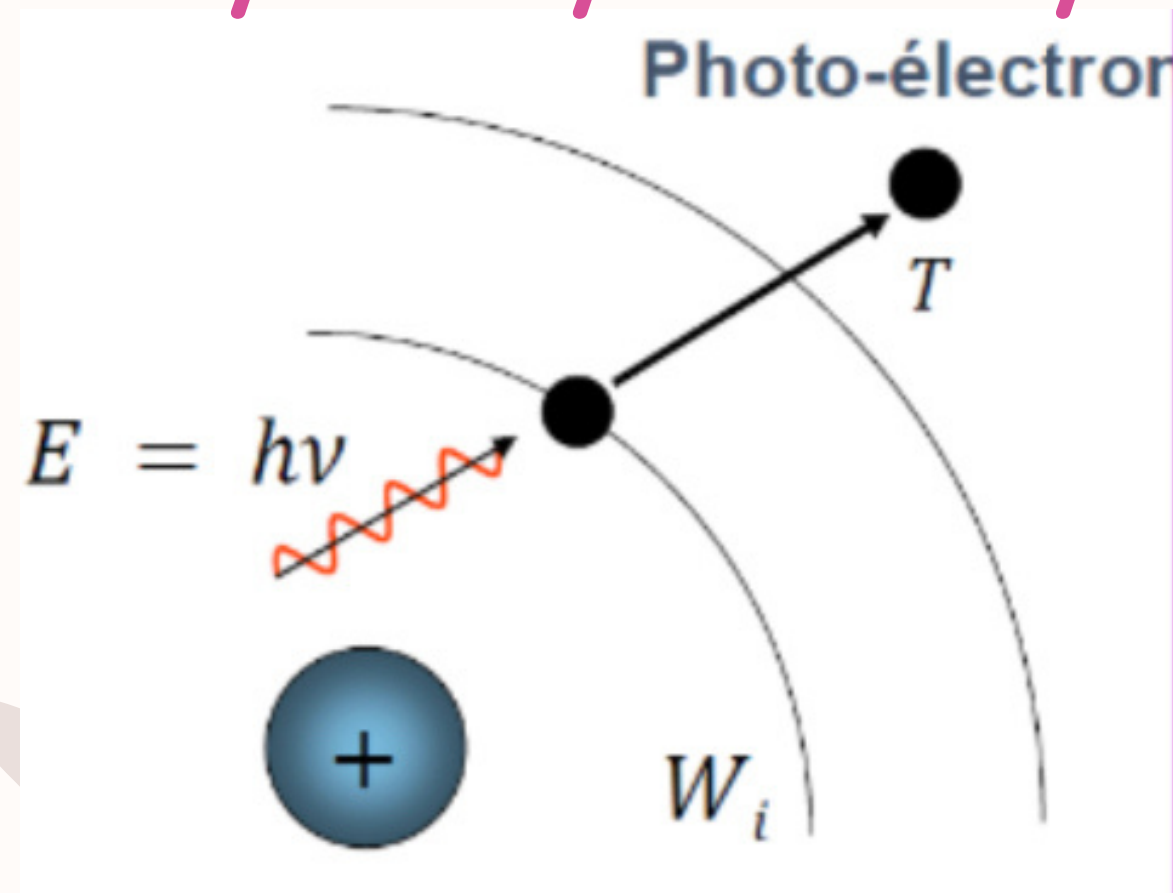
The background features several large, overlapping, organic shapes in various colors: light beige, orange, purple, light green, red, and blue. On the right side, there is a green wavy line that resembles a sine wave or a stylized wave.

Les mécanismes d'interactions des Photons

L'effet Photoélectrique

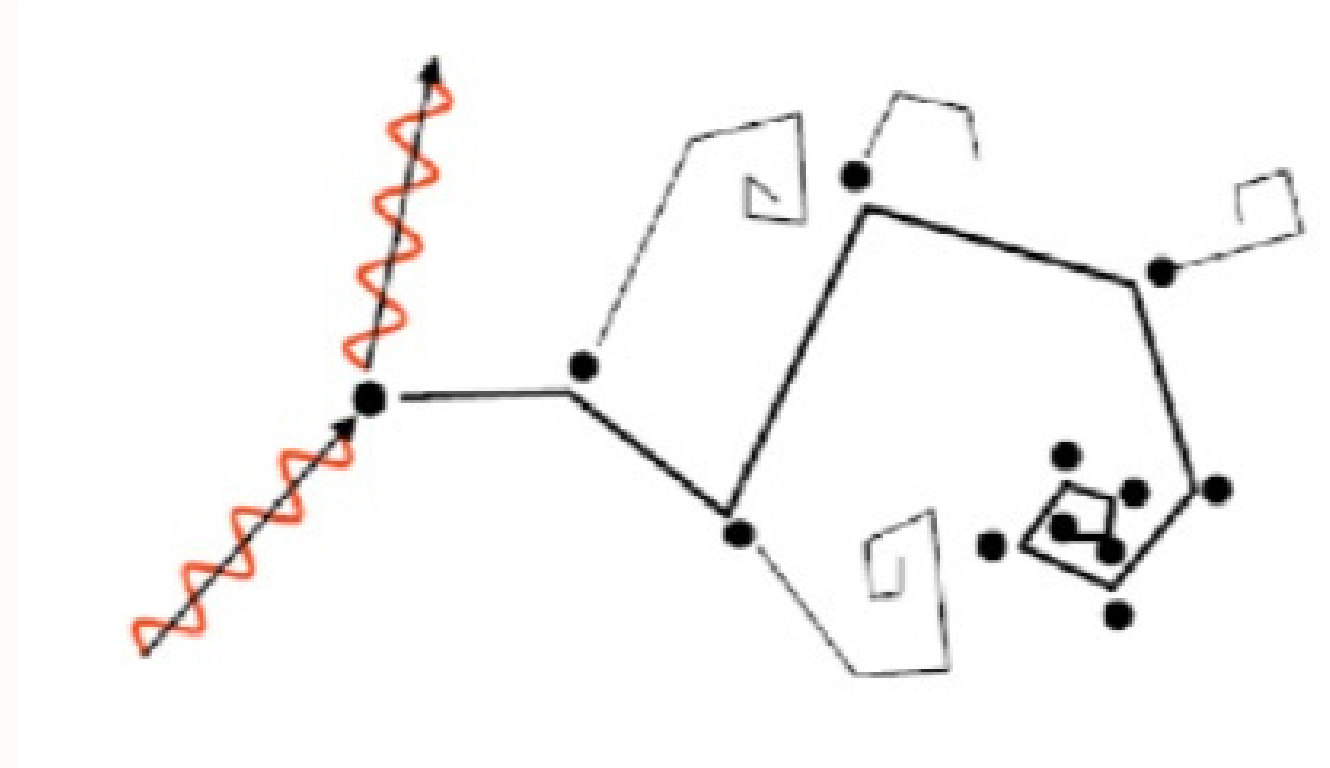
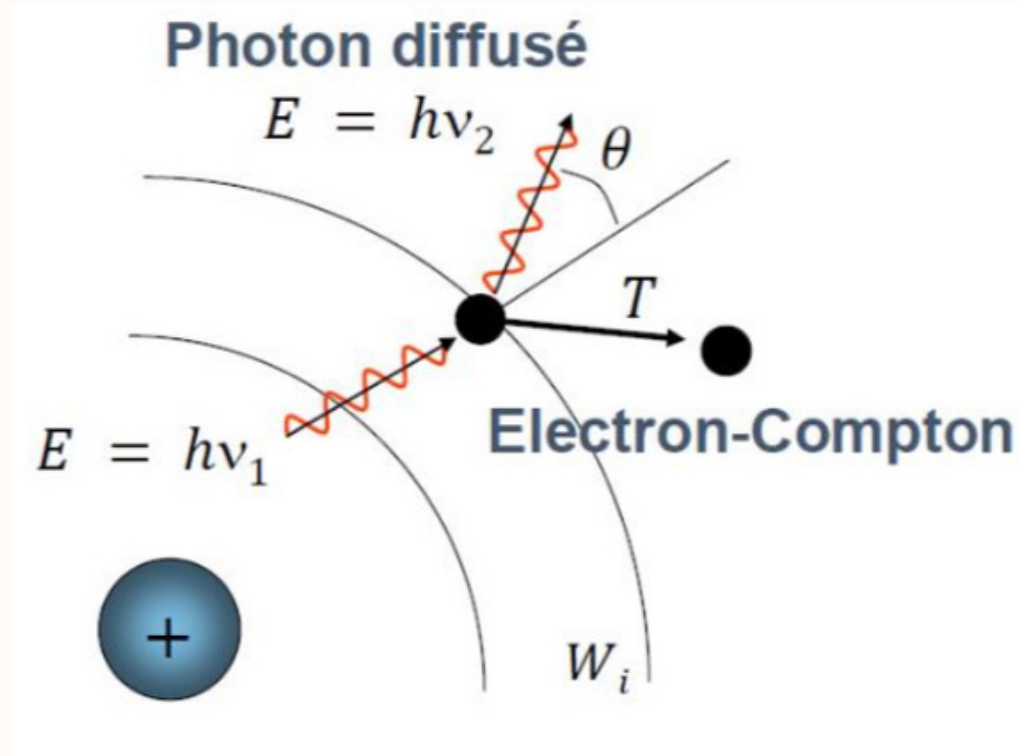


- *transfert total de l'énergie du photon incident*
- *expulsion photon-électron $T = hv - |W_i|$*
- *Les conséquences:*
 - *pour l'atome: case vacante + excès d'énergie -> réarrangement*
 - *pour l'électron ionisé: parcours dans la matière -> épuisement*
 - *pour le photon: disparition*



L'effet Compton

- *transfert partiel de l'énergie du photon incident*
- *répartition de l'énergie entre l'énergie cinétique de l'électron-Compton, l'énergie consommé pour l'arracher et l'énergie du photon diffusé*
- *Les conséquences:*
 - *pour l'atome: case vacante + excès d'énergie -> réarrangement*
 - *pour l'électron ionisé: parcours dans la matière -> épuisement*
 - *pour le photon: une partie du rayonnement est diffusée*

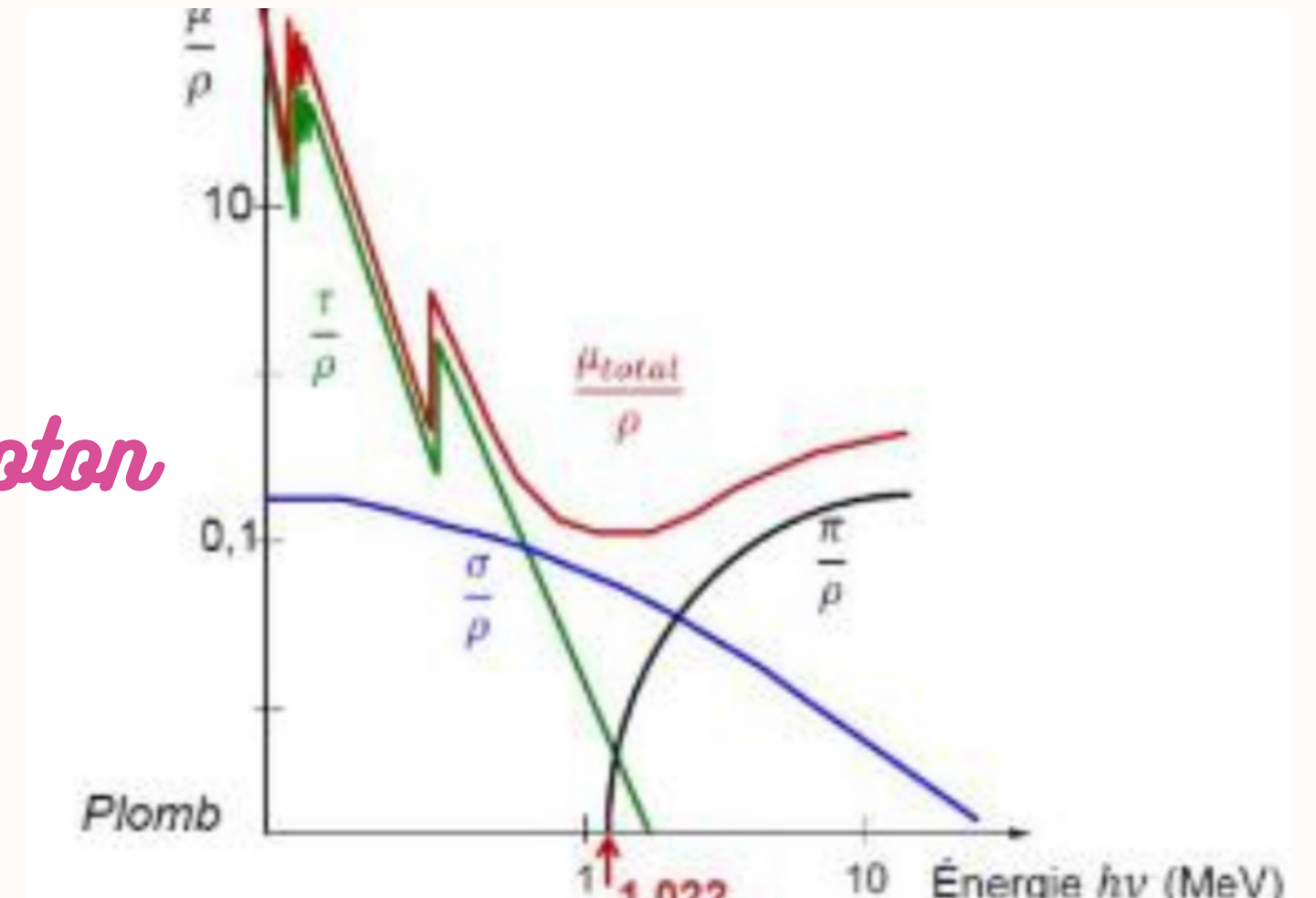




Probabilités de ces interactions



- *Effet photo-électrique*
 - *éléments lourds avec Z élevé et photons de faibles énergies*
- *Effet Compton*
 - *indépendante de la nature de la matière*
 - *probabilité qui diminue quand l'énergie du photon augmente*
- *Création de paire*
 - *photons de 1,022 MeV minimum*





Les mécanismes d'interactions d'autres RI

INTERACTIONS DES NEUTRONS AVEC LA MATIÈRE

- *non chargés, indirectement ionisants -> chocs directs*
- *très pénétrants car probabilité d'interaction faible*

Neutrons rapides

- *énergie cinétique élevée*
- *dans milieu riche en H, expulsion du noyau*
- *dans milieu avec noyaux lourds: neutrons rebondissent*

Neutrons lents

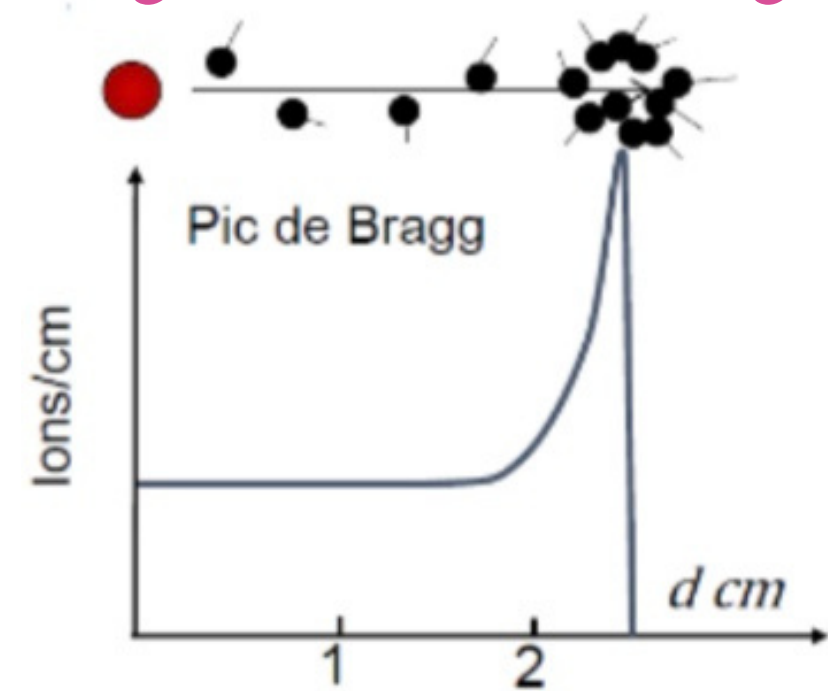
- *Énergie cinétique faible*
- *absorbés par les noyaux (capture nucléaire (autre cours))*



INTERACTIONS DES PARTICULES CHARGÉES

Particules alpha et protons

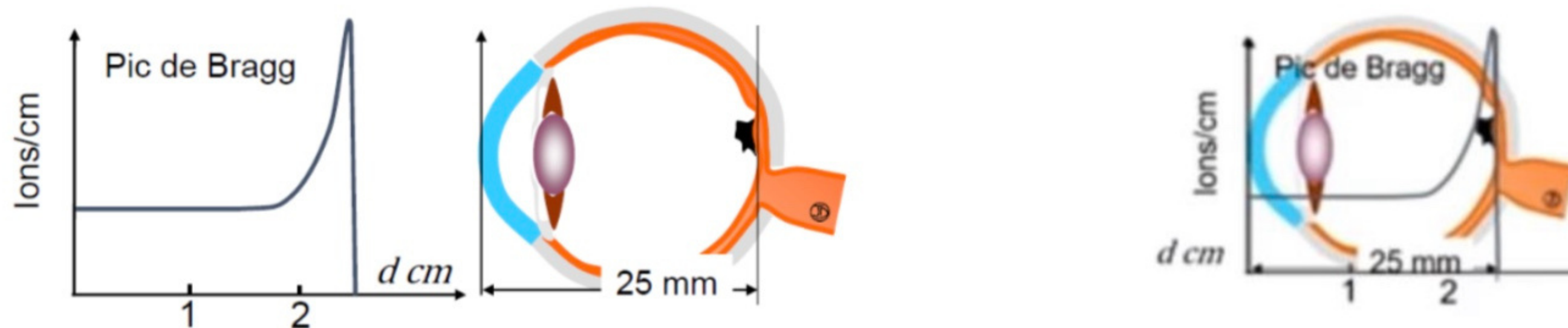
- *interactions coulombiennes (à distance)*
- *masse bien supérieure à l'électron donc trajectoire rectiligne*
-> *beaucoup d'ionisations*
- *parcours assez court: le pic de Bragg*



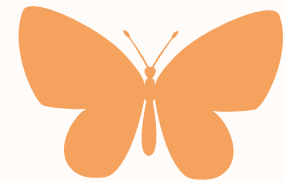
INTERACTIONS DES PARTICULES CHARGÉES

Exemple de la protonthérapie

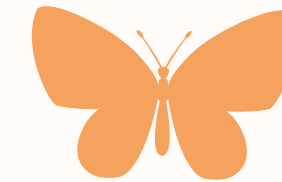
Traitements des tumeurs superficielles avec précision



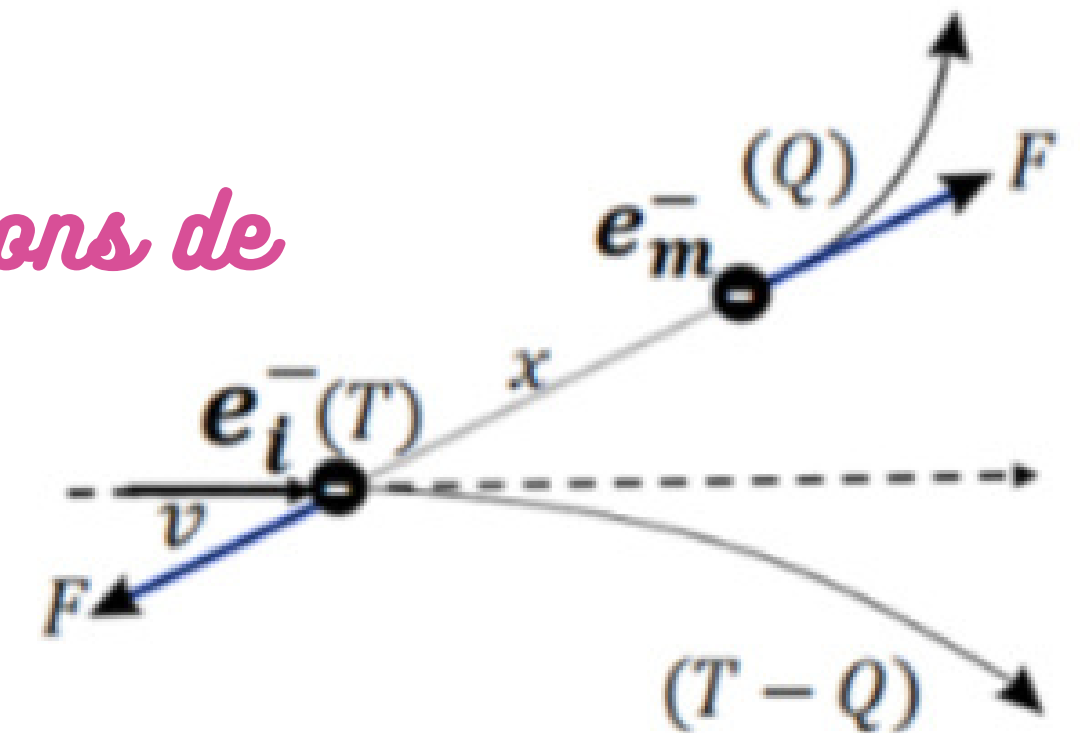
INTERACTIONS DES ÉLECTRONS



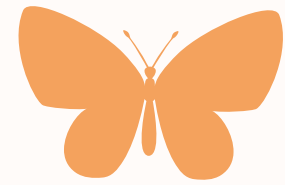
Interaction « par collision »: électron - électron



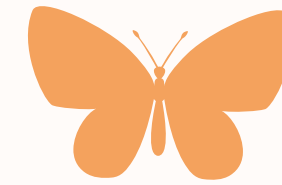
- pas de véritables chocs mais deux charges qui vont se repousser
 - Si $T < |W_{ij}|$ -> pas de déplacement mais chaleur et vibration
 - Si $T = |W_{ij}|$ -> excitation
 - Si $T \geq |W_{ij}|$ -> ionisation
- réarrangements pour retrouver un état stable (photons de fluorescence)
- photons de fluorescence -> rayons X



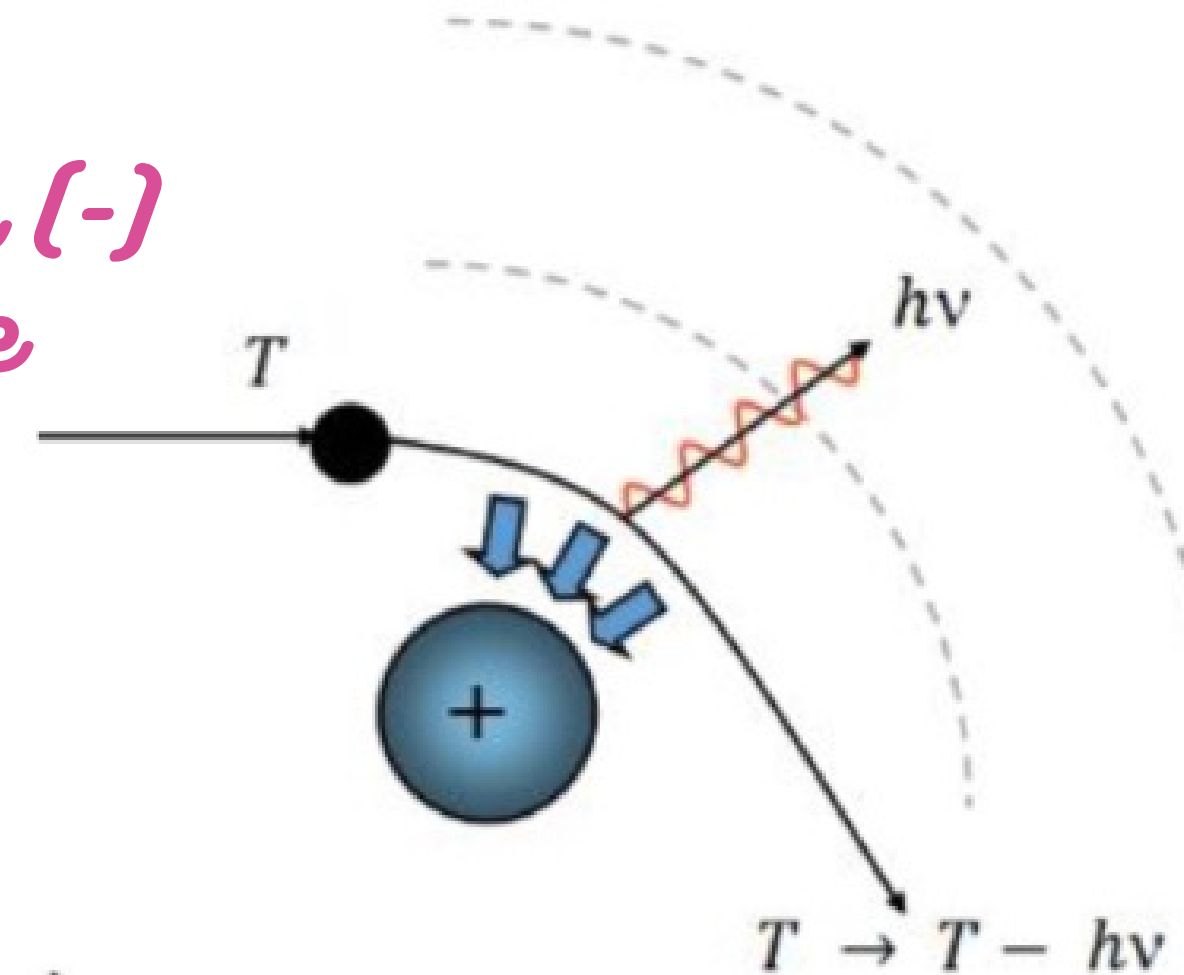
INTERACTION DES ÉLECTRONS



Interaction « par freinage »: électron - noyau



- *Électron incident et noyaux de la matière traversée*
- *différence de masse importante*
- *le noyau (+) va influencer la trajectoire de l'électron (-)*
- *électron va être dévié par une accélération centripète*
- *création d'un photon qui se rapproche du rayon X*
- *perte d'énergie de l'électron*

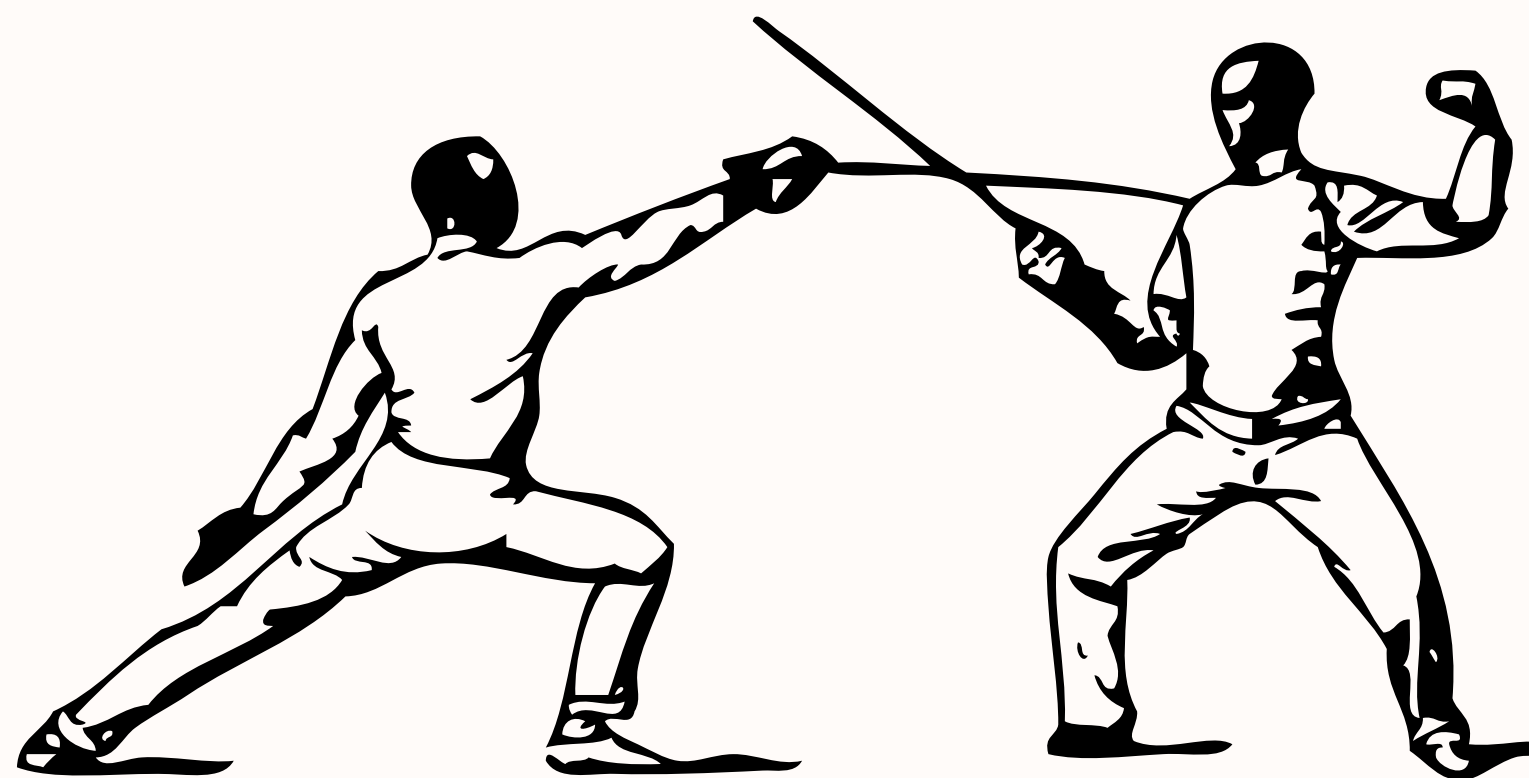




CONCLUSION



- *Notions barbares*
- *SUPER IMPORTANTES en santé (prise en charge des tumeurs)*
- *Cours assez complet et qcm pas vraiment durs donc c'est très faisable*
- *ce cours est vraiment LA BOURSE de la biophysique de la matière*



Posez toutes vos questions



all

