

INTERACTIONS DES RAYONNEMENTS AVEC LA MATIERE

PLAN:

- Introduction
- Interactions des particules chargées
 - Particules chargées lourdes
 - Particules chargées légères
- Interactions des particules non chargées
 - Rayonnements électromagnétiques
 - Neutrons

Introduction

Interaction = transfert d'énergie

Un rayonnement : émission d'En à partir d'une source

RI = particules chargées ou non responsables d'ionisations

Rayonnements chargés

P. C légères : e^{\pm}

P.C lourdes : protons; deutons : d^+ ; α^{++} , fragments lourds de fissions, ions lourds

Rayonnements neutres :

Neutrons : n

Neutrinos ν

Pions π^0

Rayonnements électromagnétiques :

RX et R_{γ}

- ❑ **Un rayonnement :**
 - **particulaire**
 - **ou électromagnétique (E.M)**
- ❑ **ionisant s'il est susceptible d'arracher des électrons à la matière.**
- ❑ **conditions:**
 - E_c (particules)
 - $h\nu$ (photons)} **> E_L des électrons**
- ❑ **en général, cette énergie \approx **10eV****

Un rayonnement ionisant peut-être :

- Directement ionisant :

les particules chargées légères et lourdes:

β^+ , β^- , p, d, α , ions lourds

- Indirectement ionisant :

- rayonnements électromagnétiques : RX, et R γ
- les UV énergétiques

Rayonnements non ionisants :

- UV proches du visible
- IR et ondes hertziennes

L'interaction d'un rayonnement avec la matière

Transfert d'énergie du rayonnement incident au milieu traversé; ceci dépend de :

- **la nature de ce rayonnement**
- **son énergie**
- **la nature de la matière traversée.**

Rayonnements chargés

Les interactions peuvent avoir lieu soit avec les électrons soit avec les noyaux :

- Interactions particules-électrons = collisions:

elles entraînent un transfert d'énergie à la matière responsable des effets produits sur le milieu

- Interactions particules-noyaux = freinage:

elles sont responsables de la production de rayons X de freinage qui peuvent soit être diffusés soit interagir à leur tour avec la matière

↪ Interactions des particules chargées lourdes avec la matière: PCL

Ce sont les protons, deutons, α , ions lourds

Origine:

- **Désintégrations radioactives**
- **réactions nucléaires**

Interactions à caractère obligatoire avec:

- **les électrons +++**
- **noyaux des atomes**

Interaction des PCL avec les électrons: Collision

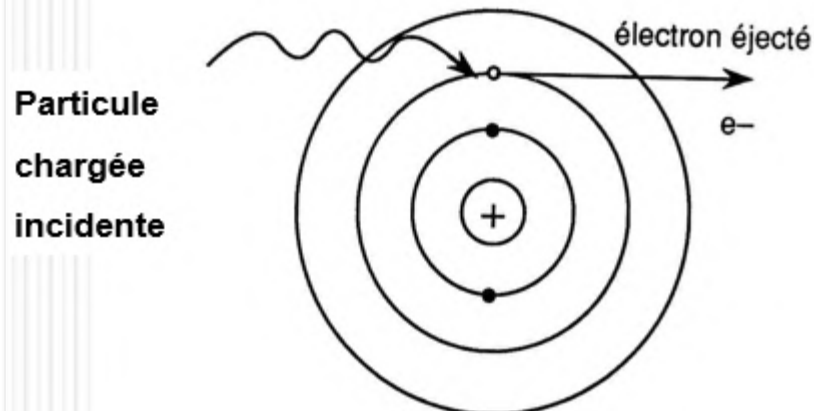
L'énergie cédée ΔE par la particule incidente est cédée à un électron d'énergie de liaison E_I , trois cas peuvent se rencontrer :

- $\Delta E \geq E_I \Rightarrow$ ionisation**
- $\Delta E < E_I \Rightarrow$ excitation**
- si ΔE est très faible \Rightarrow dissipation thermique**

Si $\Delta E \geq EI$, => ionisation :

- l'é est éjecté de son orbite avec une $E_c = \Delta E - EI$, **il se produit une ionisation** et la création d'une paire d'ions (ion+ et é).
- Cet é éjecté peut à son tour créer d'autres ionisations secondaires si son énergie est suffisante.
- L'ionisation est suivie d'un réarrangement du cortège électronique avec émission de fluorescence X.

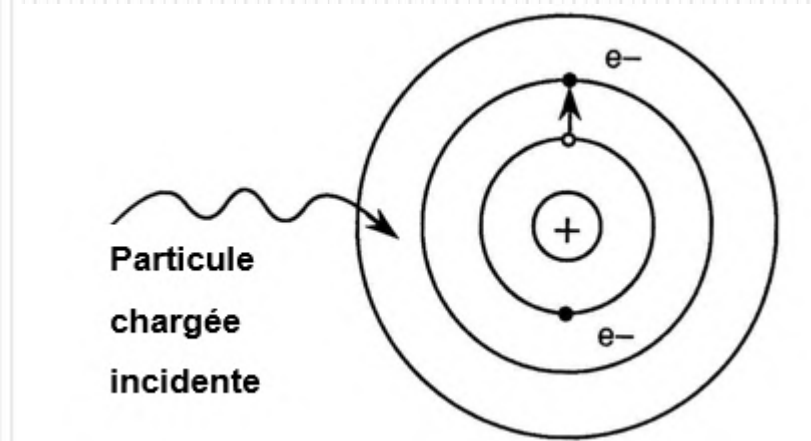
ionisation



Ionisation = mécanisme fondamental pour les effets biologiques des rayonnements

Si $\Delta E < EI$, \Rightarrow excitation :

- l'énergie transférée à l'électron est insuffisante pour l'expulser mais peut porter l'électron à un niveau énergétique supérieur (changement d'orbite) : **il y a excitation** de l'atome cible puis
- retour à l'état fondamental par émission de rayons de fluorescence



excitation

si ΔE est très faible: dissipation thermique

Lors de l'interaction des PCL avec les e^- , leur trajectoire reste rectiligne ou peu modifiée du fait de la supériorité de la masse des PCL par rapport à celle des e^- .

Quantification de l'énergie transférée : notion de TEL et DLI

Transfert d'énergie linéique ou TEL

Le TEL est la quantité d'énergie transférée au milieu cible par la particule incidente par unité de longueur de trajectoire.

- TEL = dE/dx - KeV/ μ m : eau
- MeV/cm : air

Pour des particules de vitesse faible devant la lumière on a :

$$\text{TEL} = K q^2 n Z/v^2$$

avec:

- k = constante
- q = charge de la particule incidente
- n = nb d'atomes de la cible par unité de volume
- Z = numéro atomique de la cible
- v = la vitesse de la particule incidente

Densité linéique d'ionisation (DLI) ou ionisation spécifique

On appelle DLI le nombre de paires d'ions créés par la particule incidente par unité de longueur.

Unité= (paires d'ions) μm^{-1}

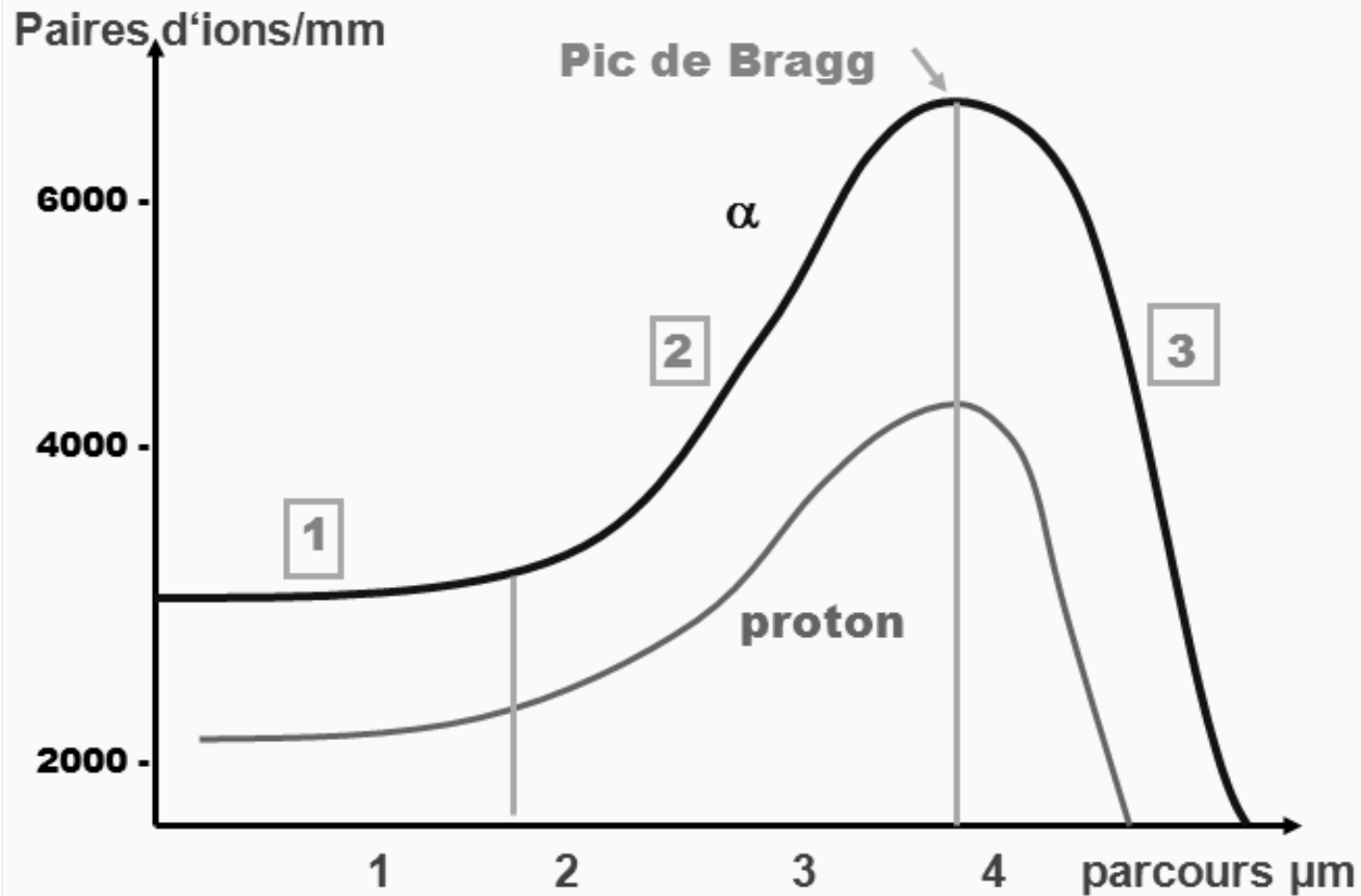
On a : **TEL = W.DLI**

W: énergie nécessaire pour provoquer une ionisation (en biologie:
W= 33 eV)

- Pour des particules différentes, d'énergie cinétique égale, le TEL est d'autant plus élevé pour une particule donnée que:
 - sa charge est plus grande
 - sa vitesse plus faible
 - donc sa masse plus élevée

- La variation de la DLI le long de la trajectoire d'une particule : la courbe de Bragg
- La fin de parcours d'une PCL: marquée par une ↗↗↗ DLI due au ralentissement de la particule(2)
- Puis une diminution (3) lorsque, ayant capturé des é du milieu, elle s'arrête et cesse d'être ionisante

Courbe de Bragg pour $\alpha = 5,3 \text{ MeV}$ (air) et pour p



Variation de la DLI le long de la trajectoire d'une PCL

Applications en radiothérapie

- La variation de la DLI le long de la trajectoire d'une PC lourde est mis à profit en radiothérapie
- En sélectionnant l'énergie cinétique des particules (α , p; ions lourds..) mis en mouvement par un accélérateur,
- on peut *ajuster la profondeur du pic de Bragg* à celle *d'une tumeur* et ainsi mieux protéger les tissus sains environnants.

♦ Interaction des PCL avec les noyaux:

Les interactions des particules chargées lourdes avec les noyaux atomiques sont d'une importance secondaire

Interactions des particules chargées légères avec la matière : PCI

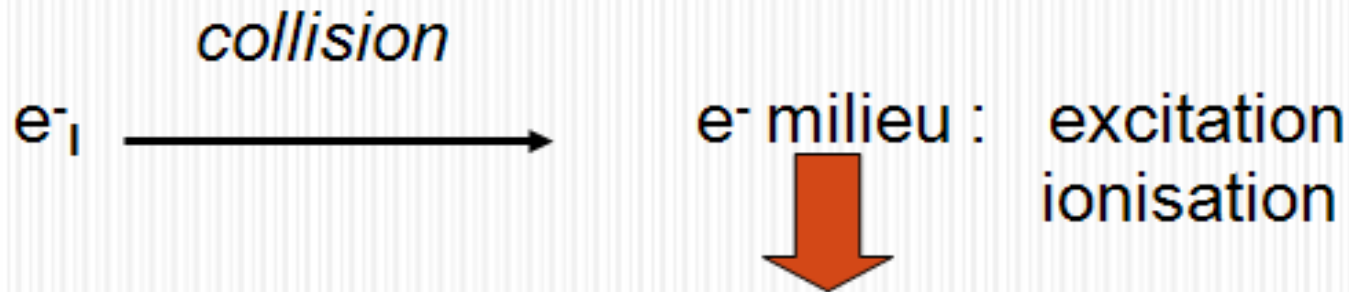
Origine:

- émissions β^- , β^+ , CI
- accélérateurs particules
- mise en mouvement secondaire d'électrons par RX- $R\gamma$
- désexcitation électronique par effet Auger

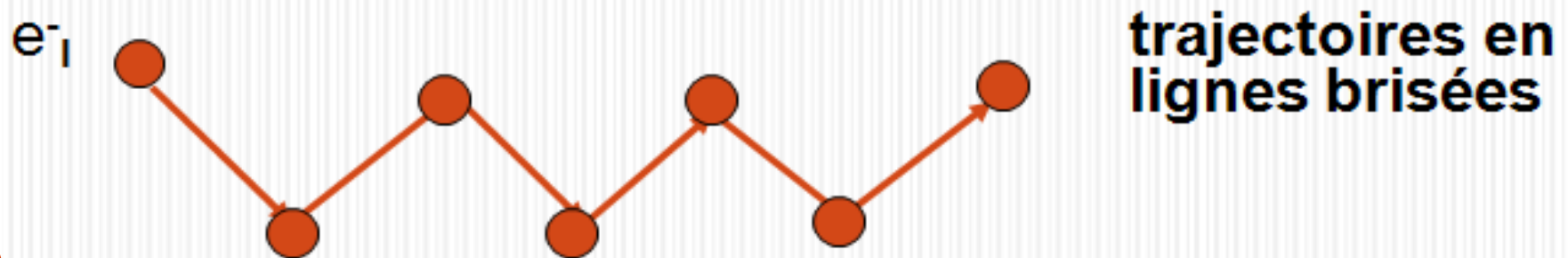
Interactions des P.C légères se font avec :

- Les électrons +++
- Noyaux+++

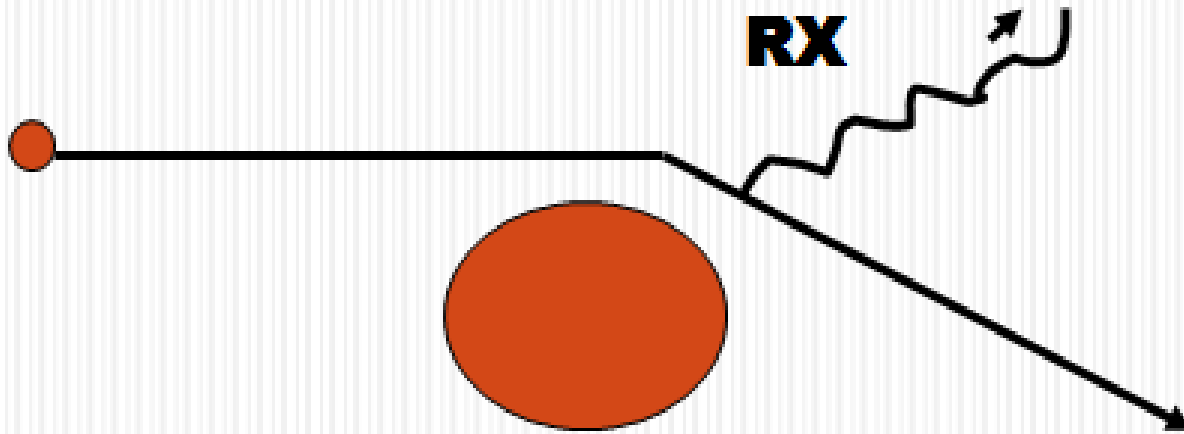
Interaction des PCI avec les électrons atomiques: collision



Déviations par répulsion coulombienne :
diffusion avec perte d'énergie importante e^-_i



Interaction des PCI avec les noyaux atomiques: freinage



Diffusion inélastique par
Champ coulombien noyau:
Rayonnement freinage