

Interactions des photons avec la matière

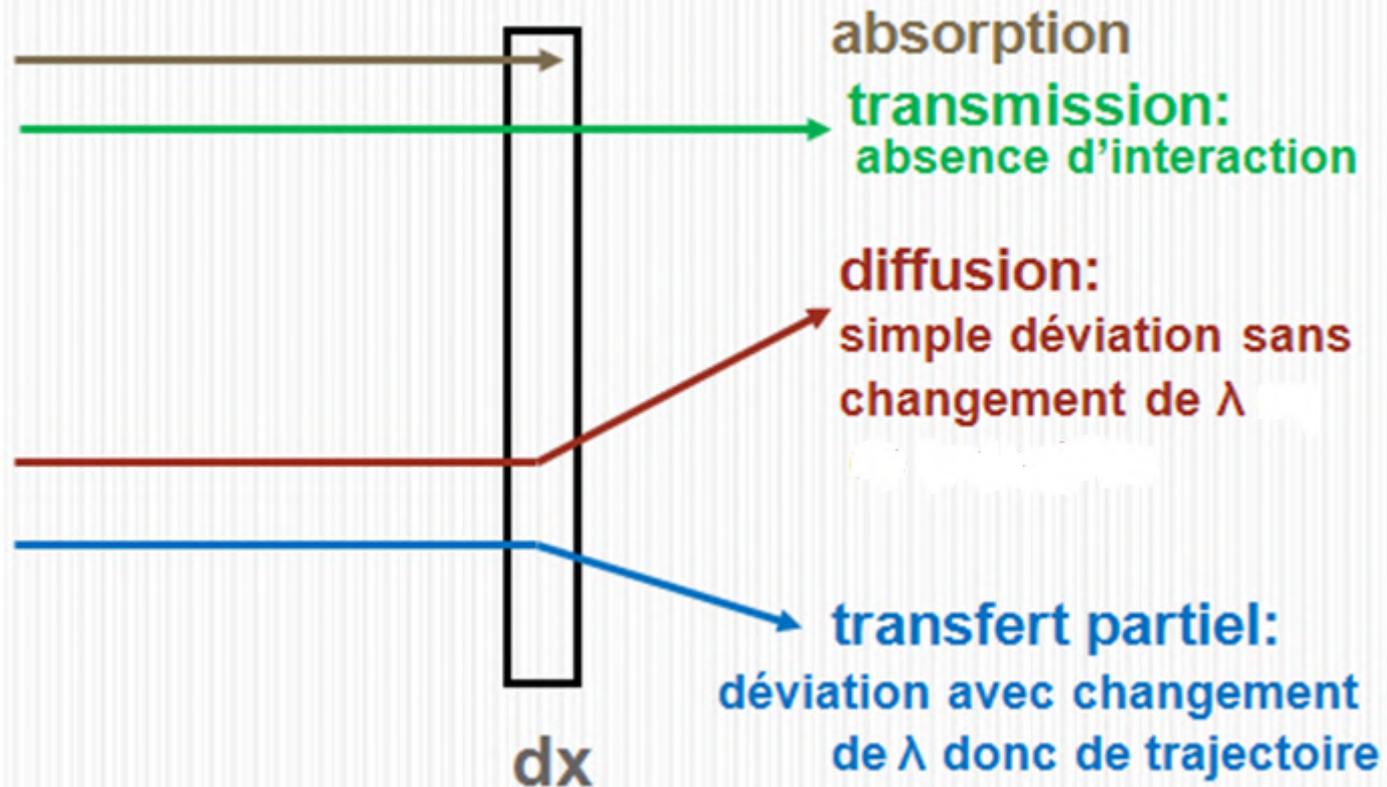
- Les photons ou R. EM: ionisants d'énergie > 10 eV : UV; RX et R γ
- Les photons X ou γ des rayonnements indirectement ionisants.
- Les photons X: origine électronique
 - émis par freinage d'un faisceau d'électrons accélérés
 - émis lors du retour à l'état fondamental d'un atome*
- Les Photons γ : origine nucléaire :
 - de transition nucléaire
 - ou d'annihilation de particules
 - dans les accélérateurs de particules

- R_X et R_Y ont le même comportement vis à vis de la matière
- Ces photons diffèrent des PC :
 - $m \approx 0$
 - Charge ≈ 0 } donc leur comportement vis à vis de la matière \neq PC

L'interaction des photons avec la matière est de caractère aléatoire

- les $R\gamma$ possèdent une énergie plus élevée que les RX.
- Les photons X ou γ , sont caractérisés par :
 - leur fréquences ν ,
 - leur longueur d'onde λ ,
 - leur énergie E_n : $E_n = h\nu$ avec $\nu = c / \lambda$.

Devenir possible d'un photon X ou γ après traversée d'une épaisseur dx d'un matériau



Les lois d'atténuation d'un faisceau de Photons X ou γ

- L'énergie incidente E_i d'un photon, après traversée d'une épaisseur dx de matériau, se répartit entre:
 - une énergie transmise
 - " " diffusée
 - " " transférée
- } dont la $\Sigma = E_i$
- L'étude de probabilités d'interaction des photons X et γ avec la matière conduit à la définition des lois d'atténuation d'un faisceau de photons

Soit N_0 le nombre de photons incidents sur une surface S de matière d'épaisseur x .

N_x le nombre de photons sortant de x et n'ayant pas interagis avec la matière.

Les deux nombres N_0 et $N(x)$ sont liés par l'équation : **$N(x) = N_0 e^{-\mu x}$**

Avec:

μ : la probabilité d'interaction par unité de longueur

x : l'épaisseur de la matière traversée, exprimée en cm.

Si l'on tient compte de l'intensité des deux faisceaux de photons I_0 et $I(x)$, l'équation s'écrit :

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

- ◆ μ le coefficient d'atténuation linéaire total exprimé en cm^{-1} .
- ◆ x l'épaisseur de la matière traversée, exprimée en cm .

Si l'on considère l'épaisseur x qui atténue de moitié l'intensité du faisceau incident I_0 , appelée encore couche de demi-atténuation et notée CDA

($x = \text{CDA}$), on aura :

$$I_{\text{CDA}} = I_0 / 2 = I_0 e^{-\mu (\text{CDA})}$$

$$\text{Soit } \ln 2 = \mu \cdot \text{CDA}$$

$$\text{Donc } \text{CDA} = \ln 2 / \mu \quad (\ln 2 = 0,69)$$

Exemple : la CDA du Plomb = 9,8 mm pour un faisceau de 1,14 MeV.

Différents modes d'interaction des photons X et γ avec la matière

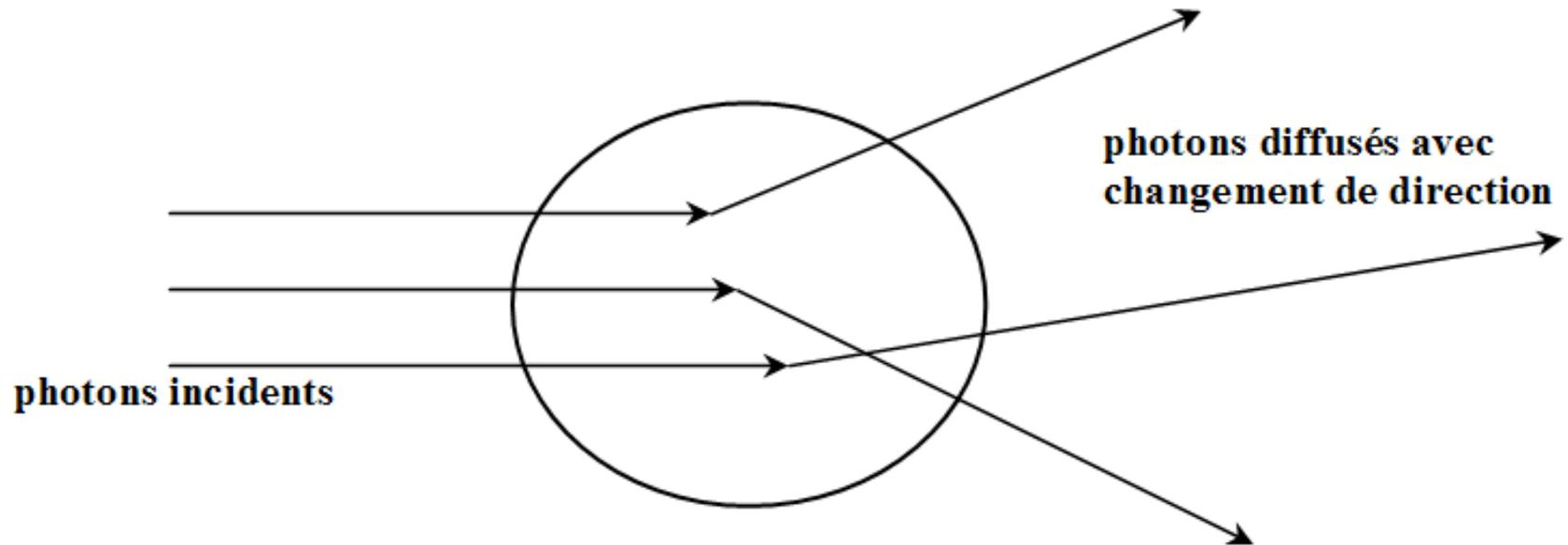


Mécanismes des interactions:

Électrons	noyau
diffusion simple effet Compton effet photoélectrique	matérialisation (paires) réactions nucléaires

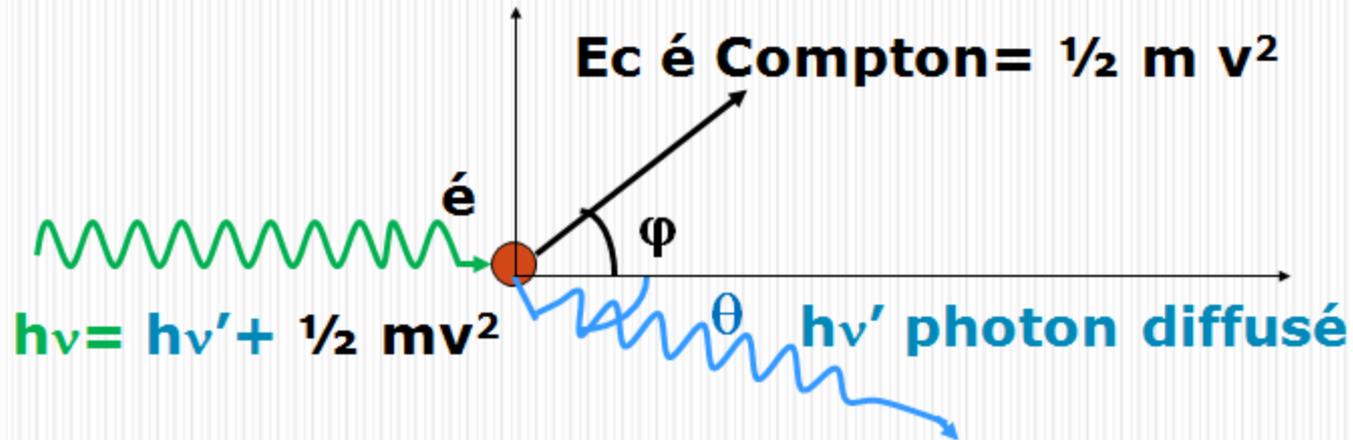
Interaction avec les électrons

Diffusion simple (phénomène de Thomson - Rayleigh)



Le photon incident est absorbé par l'atome, puis réémis sans modification d'énergie, mais selon une direction différente de la direction incidente

Effet Compton



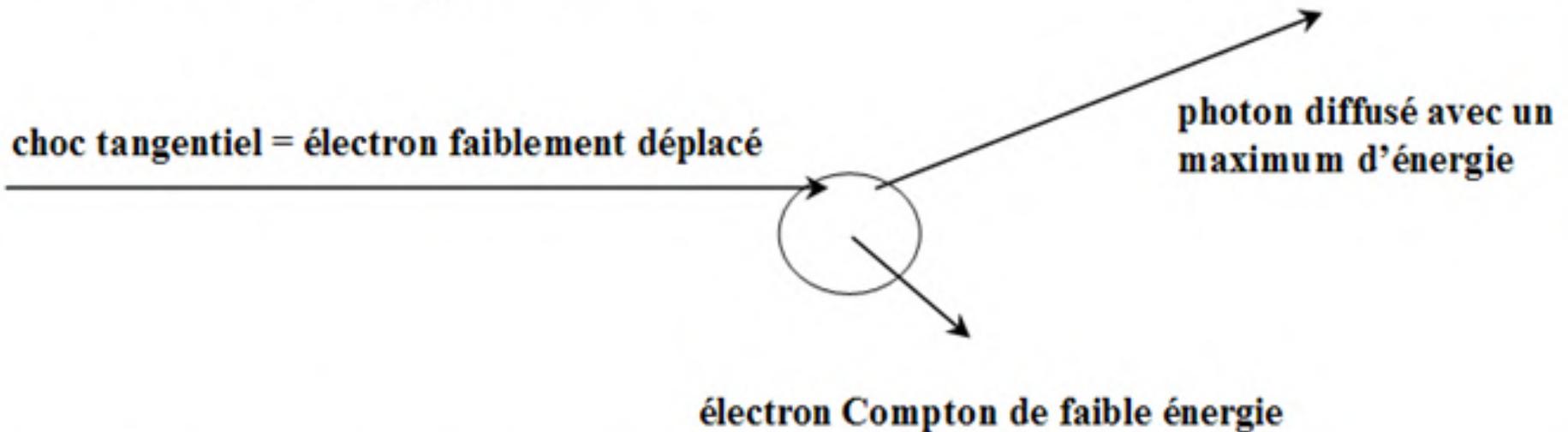
Effet Compton: interaction: photon - é libre ou peu lié

- Projection de l'é selon :
 - angle : $0 < \varphi < 90^\circ$
 - avec une $E_c = \frac{1}{2} m v^2$

Diffusion du photon Incident selon :

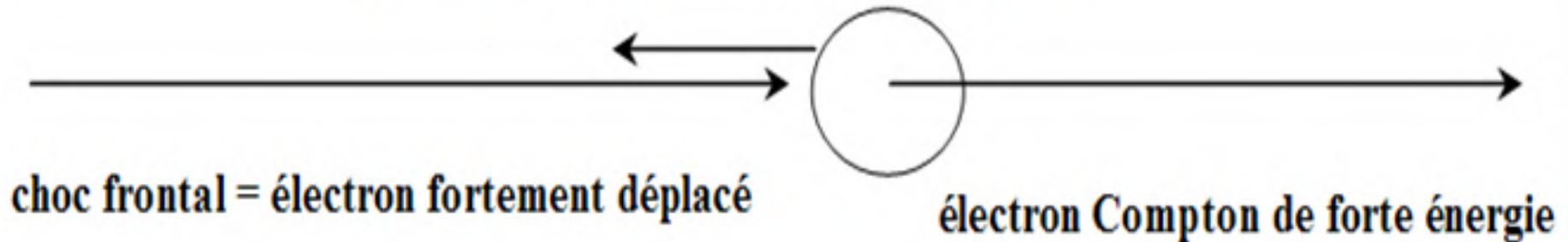
- une direction d'Â : $\theta \quad 0 < \theta < 180^\circ$
- $E = h\nu'$ du photon diffusé

Choc tangentiel



Choc frontal

photon rétro-diffusé de faible énergie



Probabilité d'interaction par effet Compton

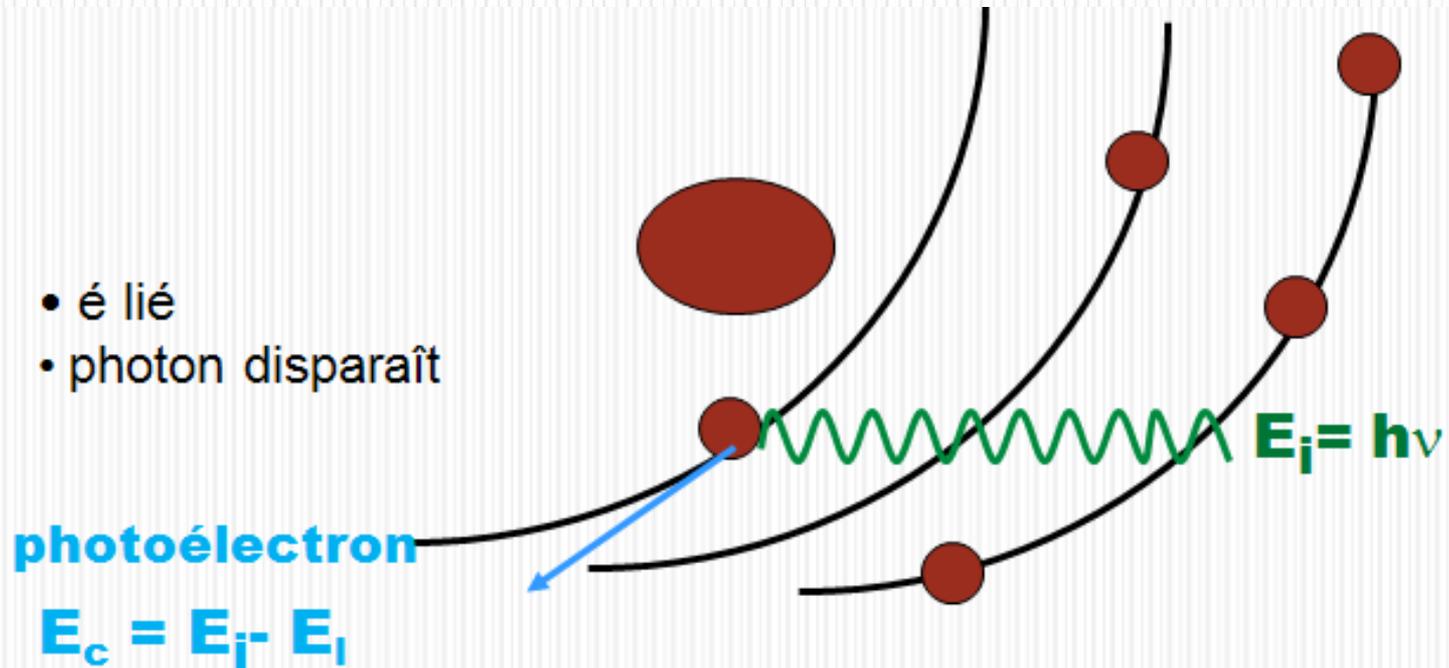
Probabilité de l'effet Compton

μ_c : coefficient d'atténuation par effet Compton

$\mu_c = K.Z / h\nu$ pour:

- * $E > 0,5 \text{ Mev}$
- * Eléments légers

Effet photoélectrique:



E_i sert à : - extraire de sa couche l'é d' E_l
- communiquer à cet é une E_c

Conditions:

- $E_i > E_l$
- Ce phénomène a lieu sur é lié **K+++; L++; M+**

Phénomènes secondaires:

- réorganisation cortège électronique avec émission de :
 - RX de fluorescence
 - électron Auger
- ionisations et excitations des atomes du milieu

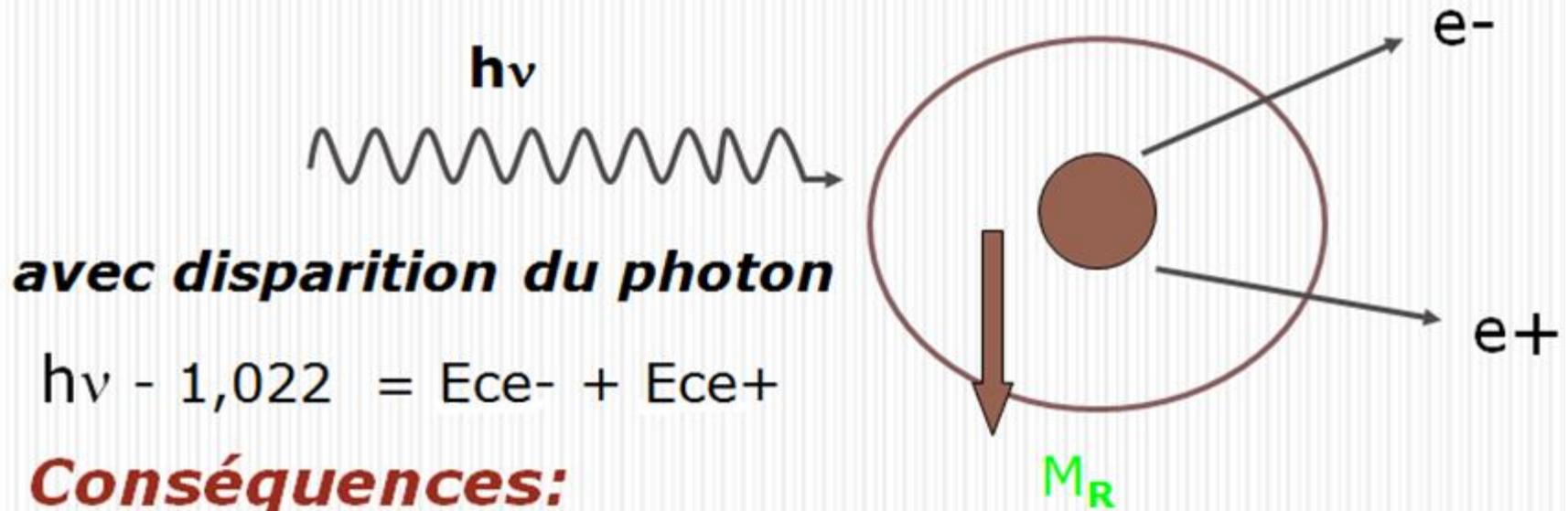
Probabilité d'interaction par effet photoélectrique :

- μ_{ϕ} dépend de E_n du photon incident et de Z cible:
 - μ_{ϕ} ↗↗↗ avec Z
 $\Leftrightarrow \mu_{\phi} = k Z^3/E^3$ (K: constante)
 - μ_{ϕ} ↘↘↘ avec E
- Effet prédominant jusqu'à:
 - $E = 0,5 \text{ MeV}$
 - Z ↗↗↗ (noyaux lourds)

Interaction avec les noyaux

Matérialisation : production de paire

- Mécanisme possible si $h\nu > 1,022 \text{ MeV}$



- e^- perd son E_c par excitation et ionisation
- e^+ : fin parcours s'annihile avec un e^- libre matière
- émission de 2 photons γ de 0,511 MeV chacun

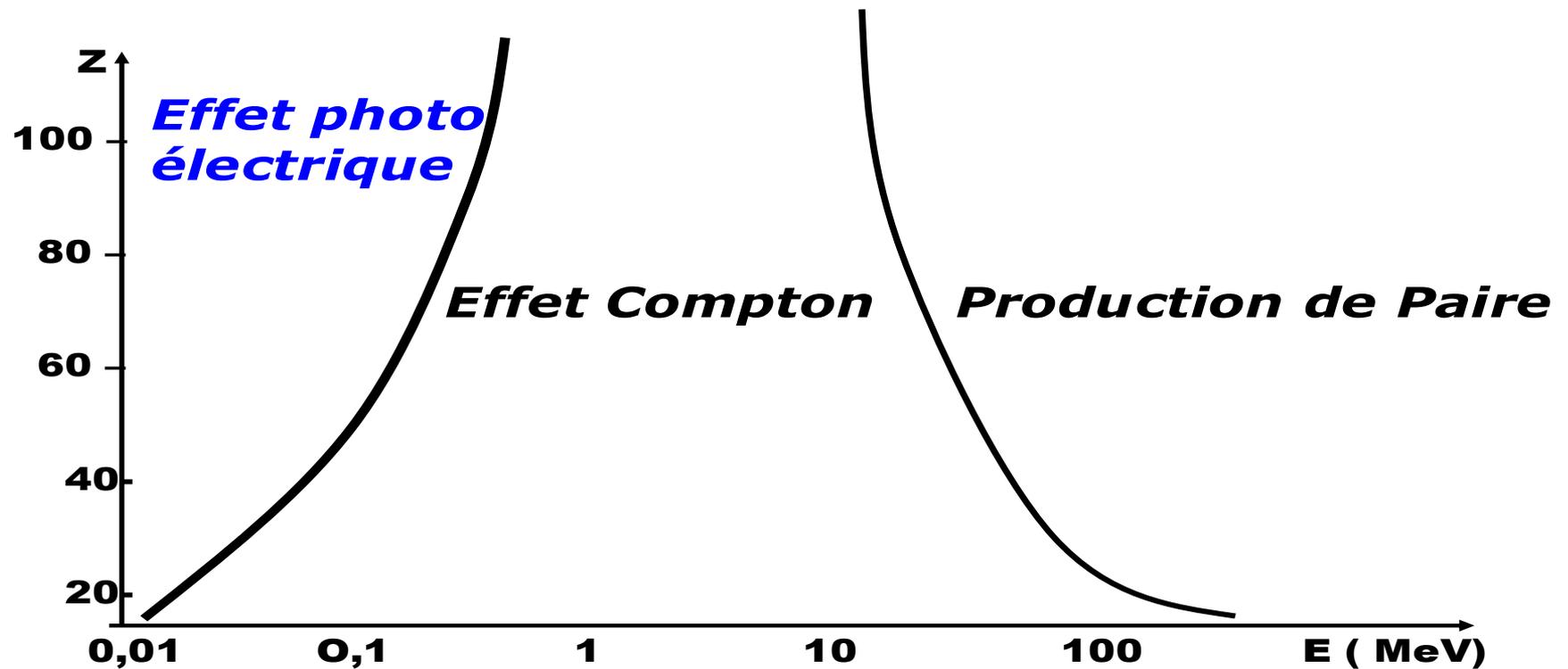
Probabilité
atténuation PP $\left\{ \begin{array}{l} \mu_p \sim Z^2 \text{ (} \nearrow \text{ avec } Z \text{)} \\ \mu_p \text{ croit lentement avec } h\nu \end{array} \right.$

Réactions nucléaires

Il peut y avoir absorption du photon X par le noyau avec transformation de celui-ci



Ce type de réaction ne concerne que des photons de très haute énergie ($>10\text{MeV}$)



Prépondérance d'un effet par rapport au deux autres en fonction de Z de la cible et de l'énergie E du photon incident

INTERACTIONS DES NEUTRONS AVEC LA MATIERE

- $m_n \approx m_p$
 - n sans charge
- } neutrons ↔ noyaux

• 2 types d'interactions:

- Absorption des neutrons : lents



- Diffusion des neutrons : rapides



Perte d'énergie par n

Les neutrons sont indirectement ionisants