

# Interactions des photons avec la matière

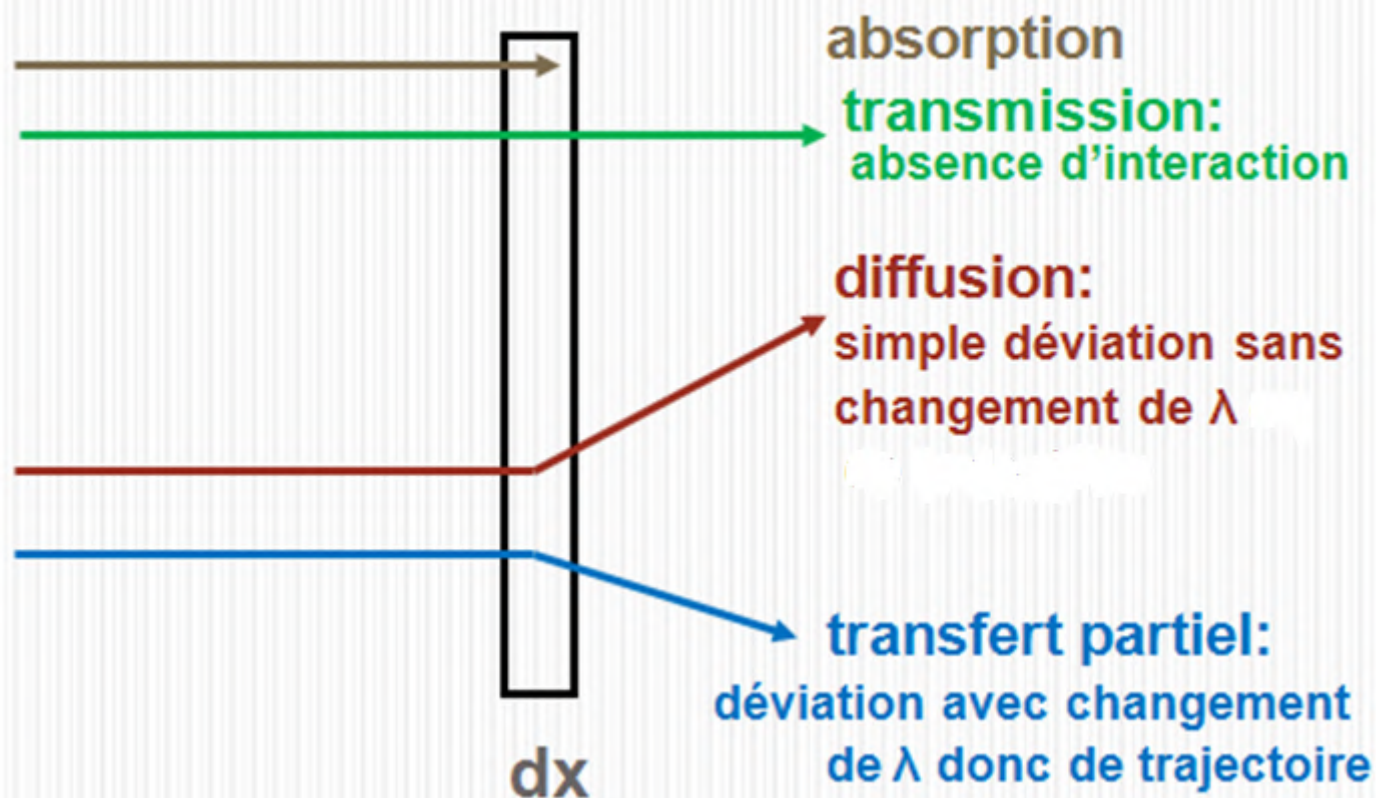
- Les photons ou R. EM: ionisants d'énergie  $> 10$  eV : UV; RX et R $\gamma$
- Les photons X ou  $\gamma$  des rayonnements indirectement ionisants.
- Les photons X: origine électronique
  - émis par freinage d'un faisceau d'électrons accélérés
  - émis lors du retour à l'état fondamental d'un atome\*
- Les Photons  $\gamma$ : 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  $\approx 0$ } 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  $\gamma$ , sont caractérisés par :
  - leur fréquences  $\nu$ ,
  - leur longueur d'onde  $\lambda$ ,
  - leur énergie  $E_n$  :  $E_n = h\nu$  avec  $\nu = c / \lambda$ .

# Devenir possible d'un photon X ou $\gamma$ après traversée d'une épaisseur $dx$ d'un matériau



# Les lois d'atténuation d'un faisceau de Photons X ou $\gamma$

- 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  $\gamma$  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:

$\mu$  : 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 :

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

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



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 :

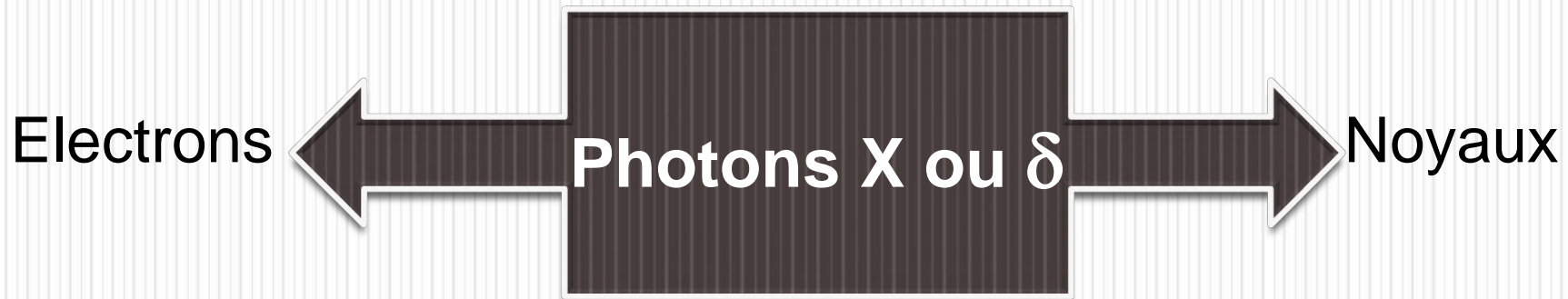
$$I_{\text{CDA}} = I_0 / 2 = I_0 e^{-\mu (\text{CDA})}$$

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

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

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

# Différents modes d'interaction des photons X et $\gamma$ avec la matière

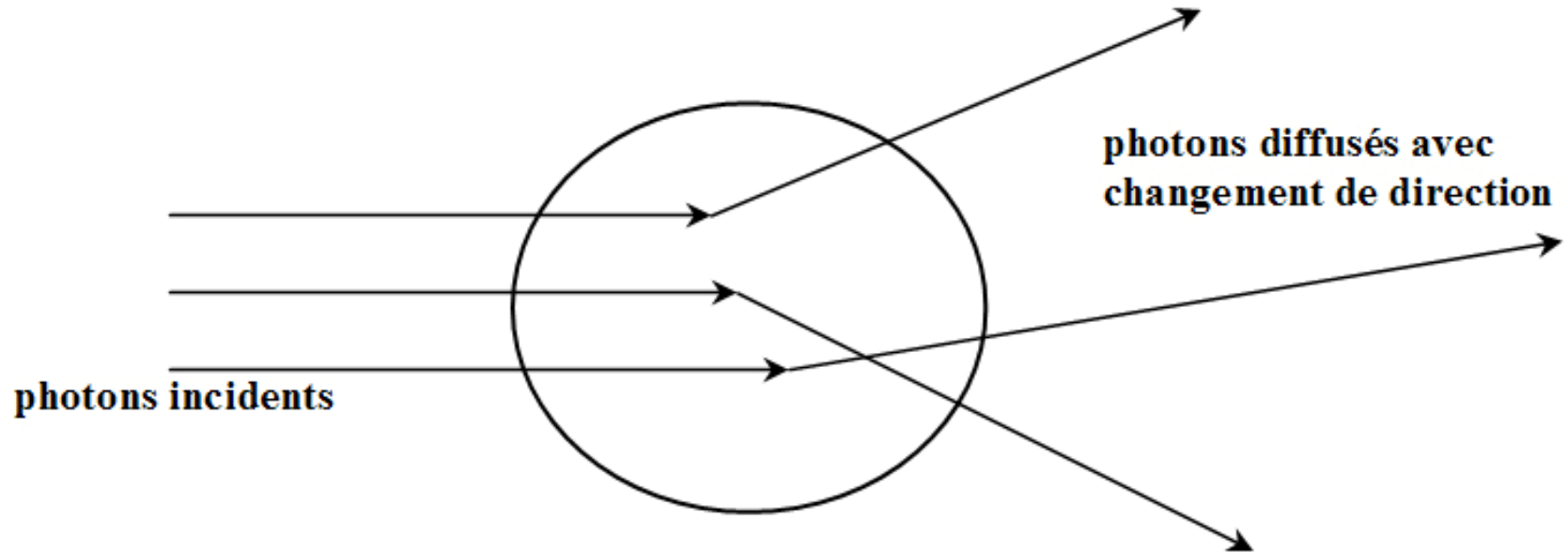


## Mécanismes des interactions:

<b>Électrons</b>	<b>noyau</b>
diffusion simple effet Compton effet photoélectrique	matérialisation (paires) réactions nucléaires

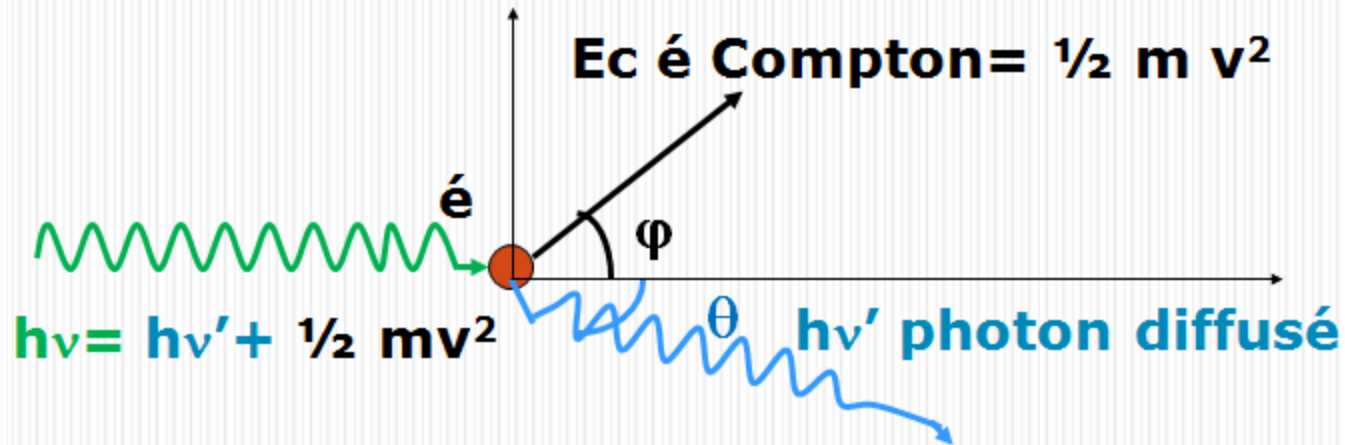
# Interaction avec les électrons

## 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



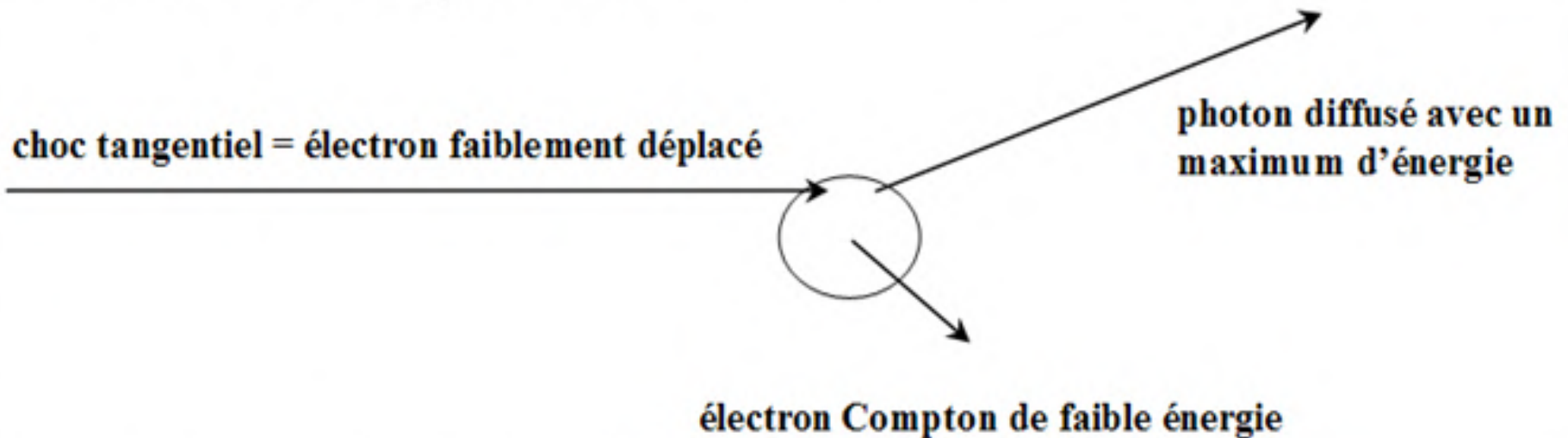
Effet Compton: interaction: photon - é libre ou peu lié

- 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 :

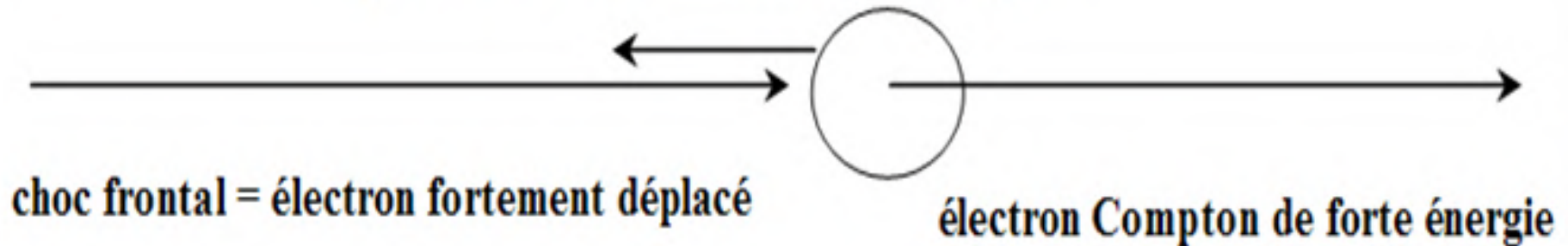
- une direction d'Â :  $\theta \quad 0 < \theta < 180^\circ$
- $E = h\nu'$  du photon diffusé

# Choc tangentiel



# Choc frontal

photon rétro-diffusé de faible énergie



# Probabilité d'interaction par effet Compton

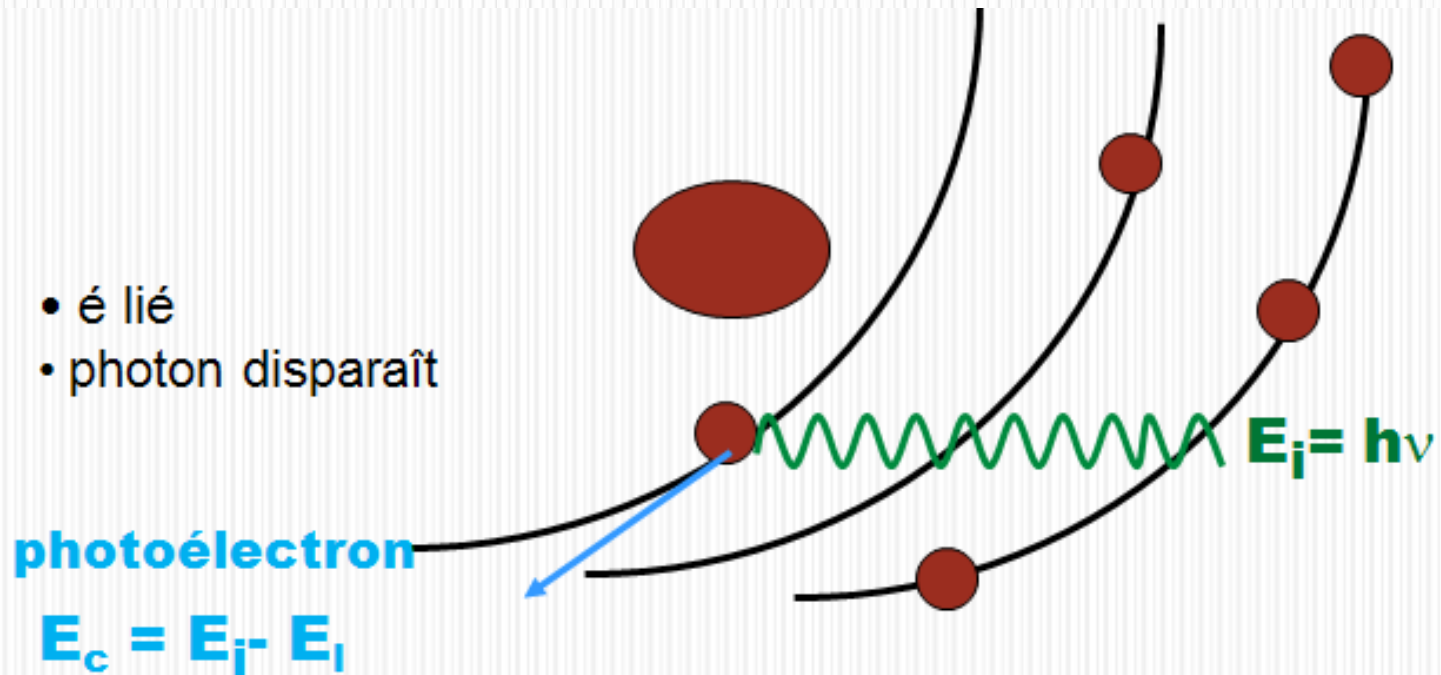
*Probabilité de l'effet Compton*

$\mu_c$  : 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 :

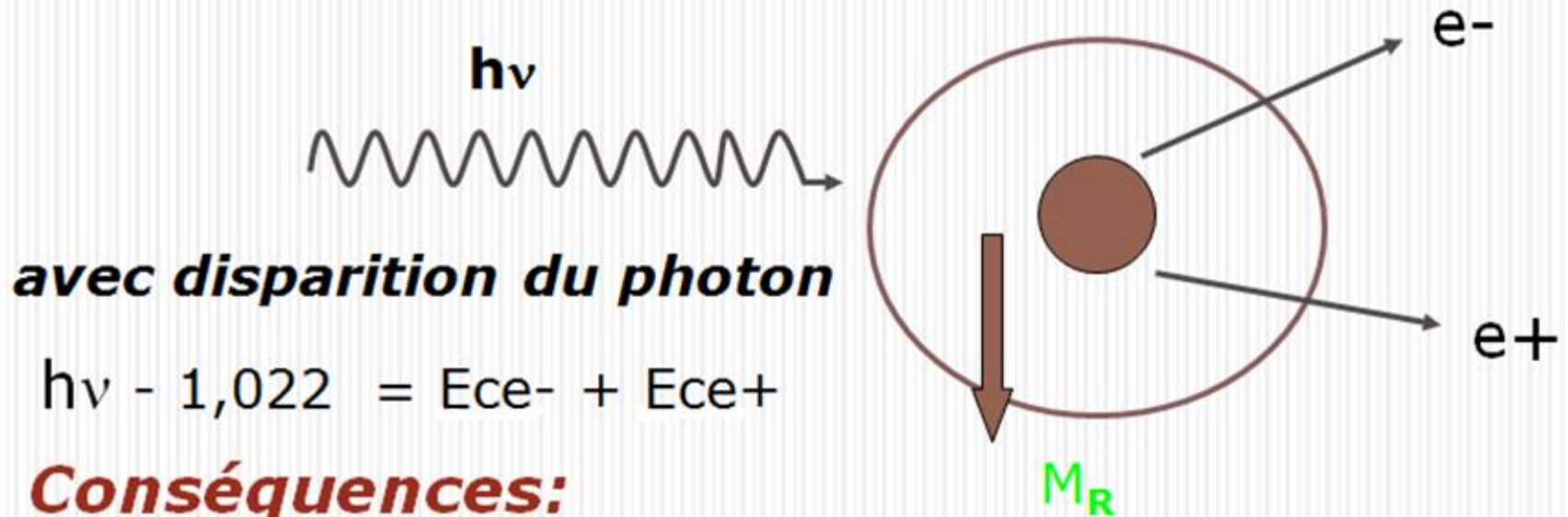
- $\mu_{\phi}$  dépend de  $E_n$  du photon incident et de  $Z$  cible:
  - $\mu_{\phi}$  ↗↗↗ avec  $Z$   
 $\Leftrightarrow \mu_{\phi} = k Z^3/E^3$  (K: constante)
  - $\mu_{\phi}$  ↘↘↘ avec  $E$
- Effet prédominant jusqu'à:
  - $E = 0,5 \text{ MeV}$
  - $Z$  ↗↗↗ (noyaux lourds)



# 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  $\gamma$  de 0,511 MeV chacun

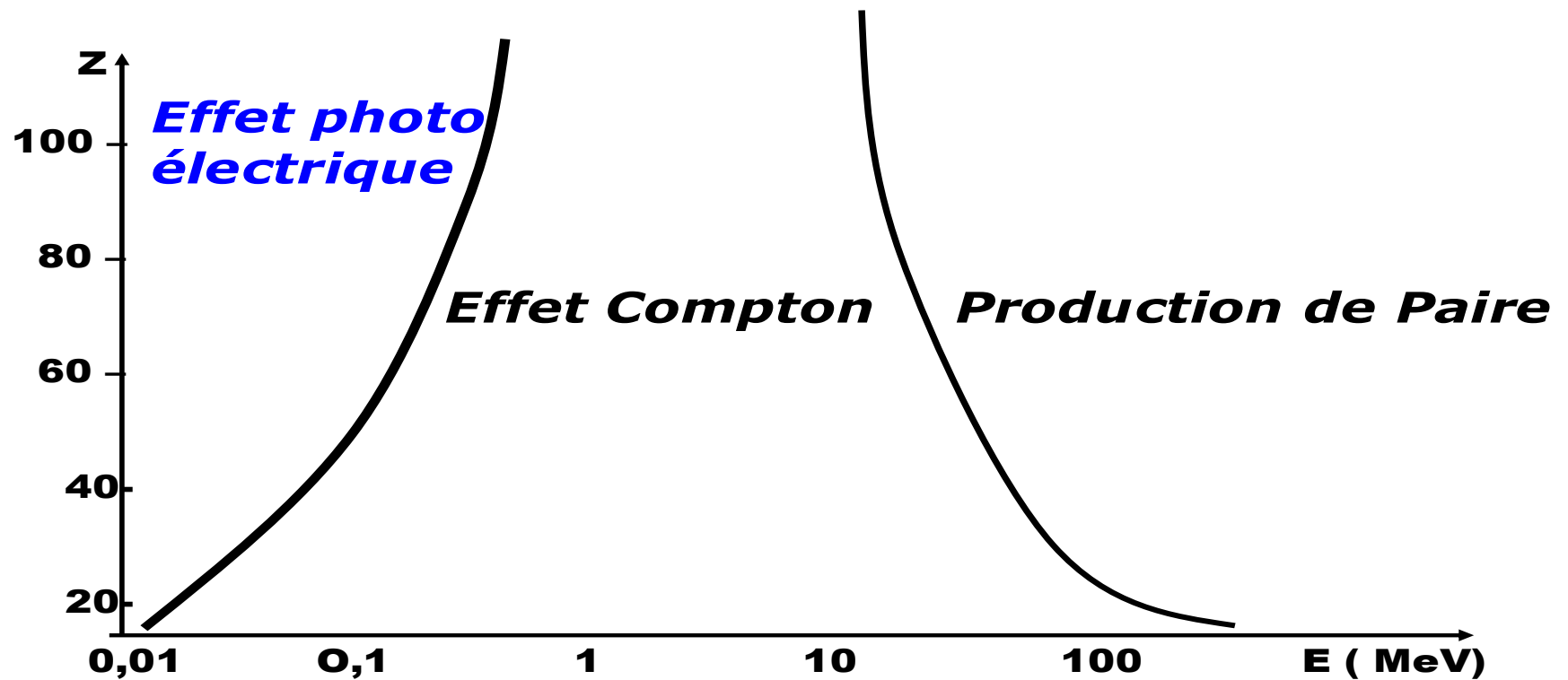
**Probabilité**  
**atténuation PP**  $\left\{ \begin{array}{l} \mu_p \sim Z^2 \text{ ( } \nearrow \text{ avec } Z \text{ )} \\ \mu_p \text{ croit lentement avec } h\nu \end{array} \right.$

# 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***