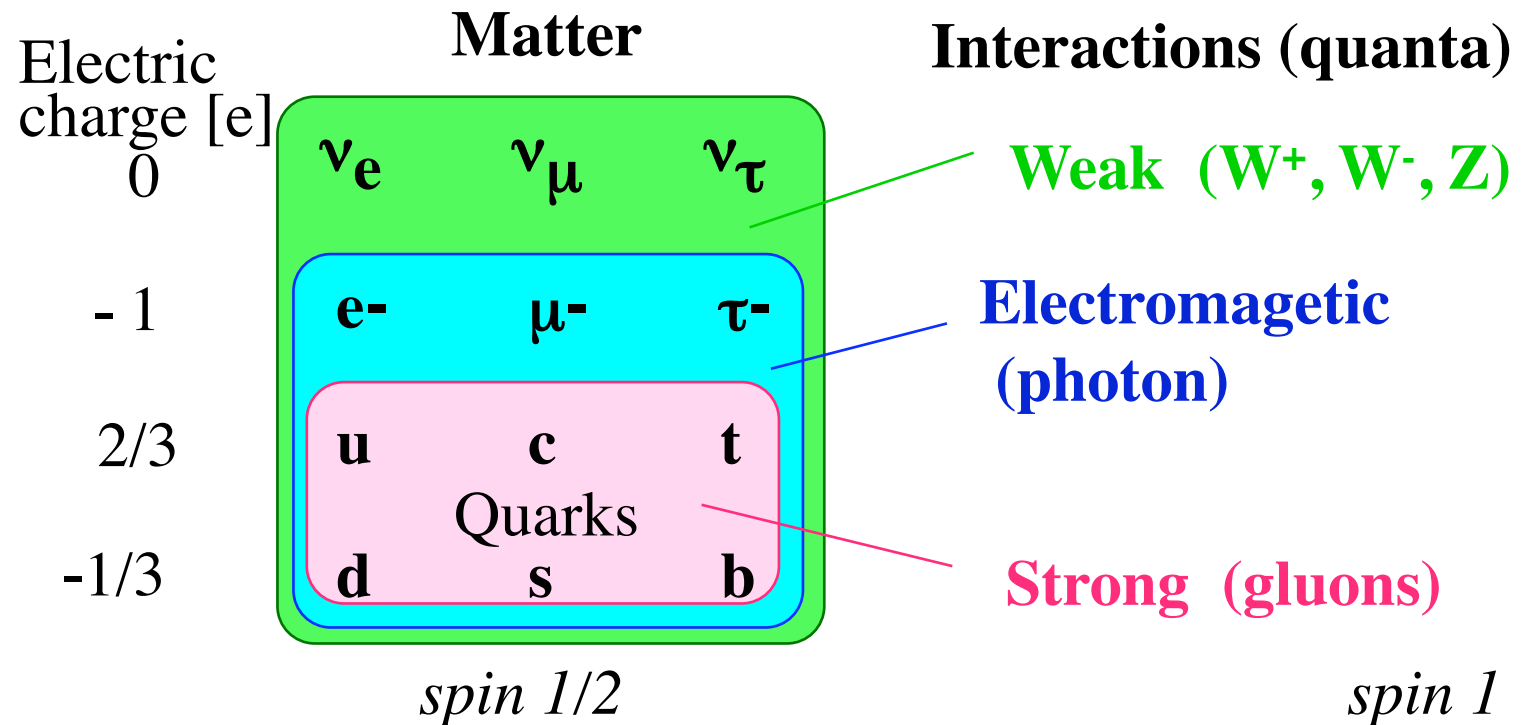


TP3 Physique nucléaire et corpusculaire

The Standard Model of Particles



Gravity is absent

each particle has an associated **anti-particle**:
 e^- and e^+ , u and \bar{u} , ν and $\bar{\nu}$, ...

Les expériences de TP3

Utilisent des isotopes radioactifs pour produire des particules alpha ($2p2n=He^{++}$), beta (e^- , e^+), gamma (γ).

Le but des expériences est de

- 1) se familiariser avec l'usage des sources,
- 2) étudier l'interaction de la radiation avec la matière
- 3) prendre contact avec les techniques de mesure dans ce domaine:
 - les détecteurs
 - les circuits électroniques
 - les techniques d'analyse des données

Les sources

A
X
Z

Voir Ch. 5 de la Notice Générale et appendice C.

Les sources sont scellées et de faible intensité (<1 mCurie, $1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^7$ désintégrations/s).

Dose max pour "publique" 25 mSievert/an, 0.025mS/h
Source de ^{60}Co , 1 mC à 1 m donne environ 0.013 mS/h

Règles:

- 1) limiter le temps d'exposition
- 2) utiliser les blindages Pb
- 3) ranger les sources dans les boites en Pb
- 4) ne pas boire ou manger dans le laboratoire

Sources radioactives

Les nouvelles directives:

Une assistant est responsable et il reste sur place toute la journée (sauf pause de midi: le labo est alors fermé à clef).

Les sources sont distribuées par les assistants.

Les étudiants doivent les rendre à 11h45 (sauf celles qui sont nécessaires pour les mesure en cours).

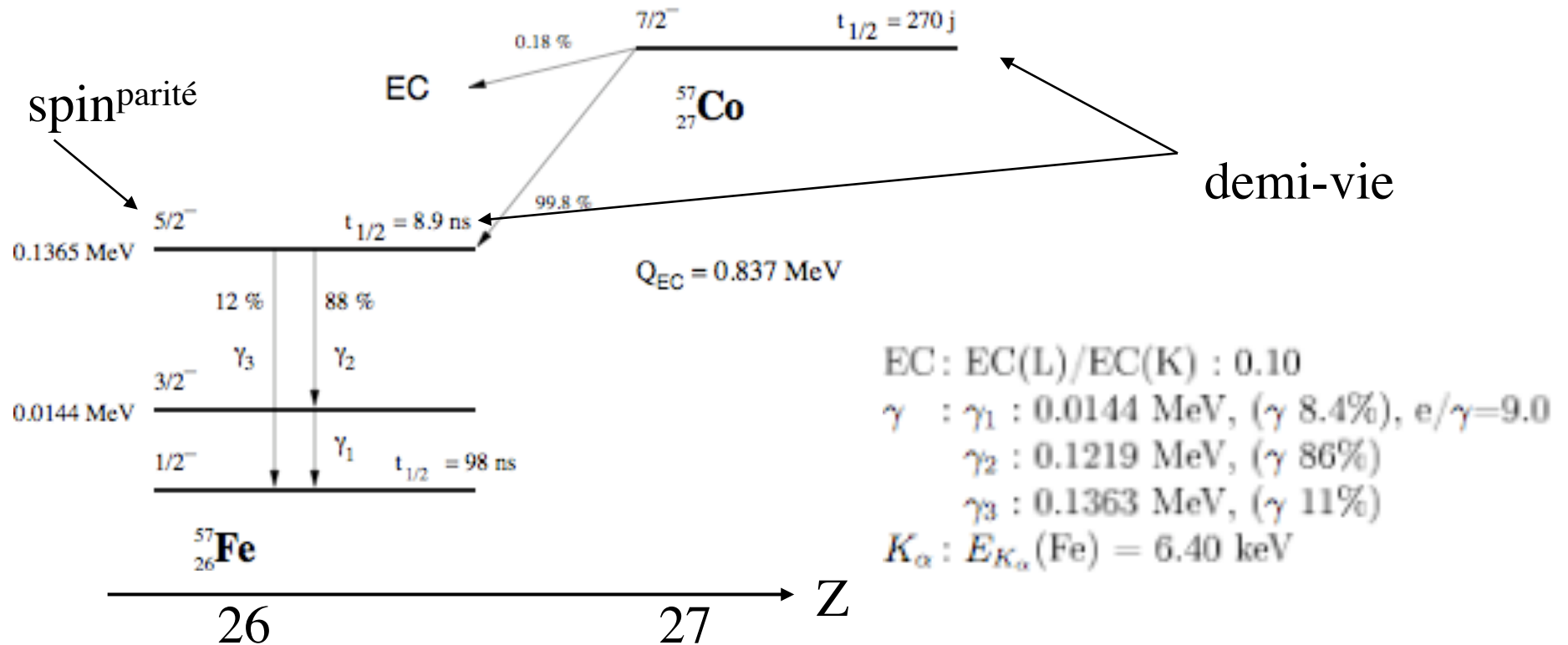
* Le nombre des sources est vérifié par le responsable.

Les étudiants doivent les rendre toutes à 17:00 ou à une heure convenue avec le responsable.

* Le nombre des sources est vérifié par le responsable.

Si tout est OK les étudiants peuvent quitter le labo.

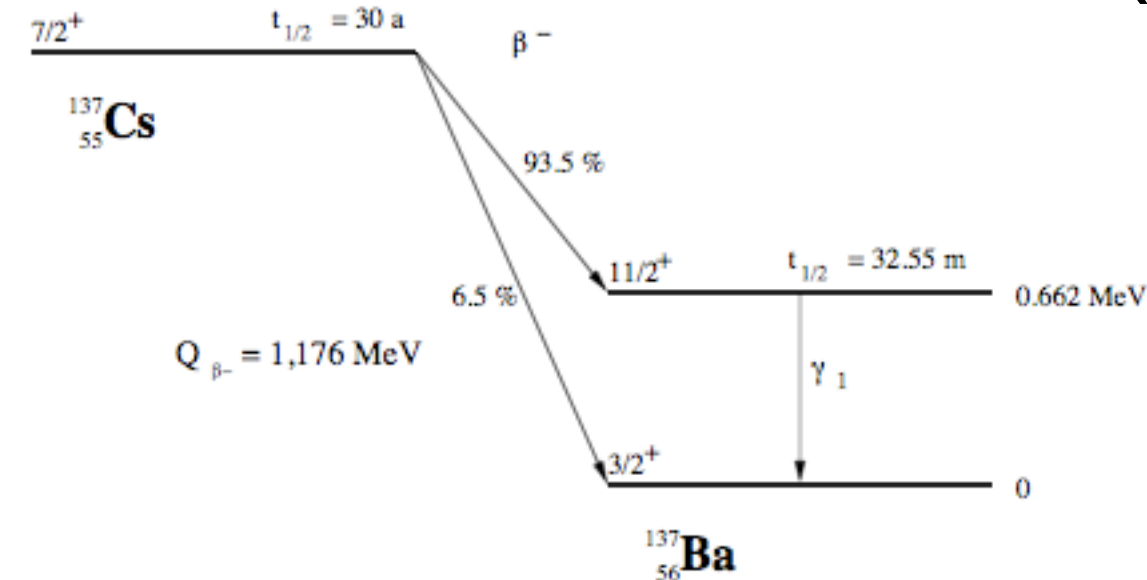
Radioactivité β et γ



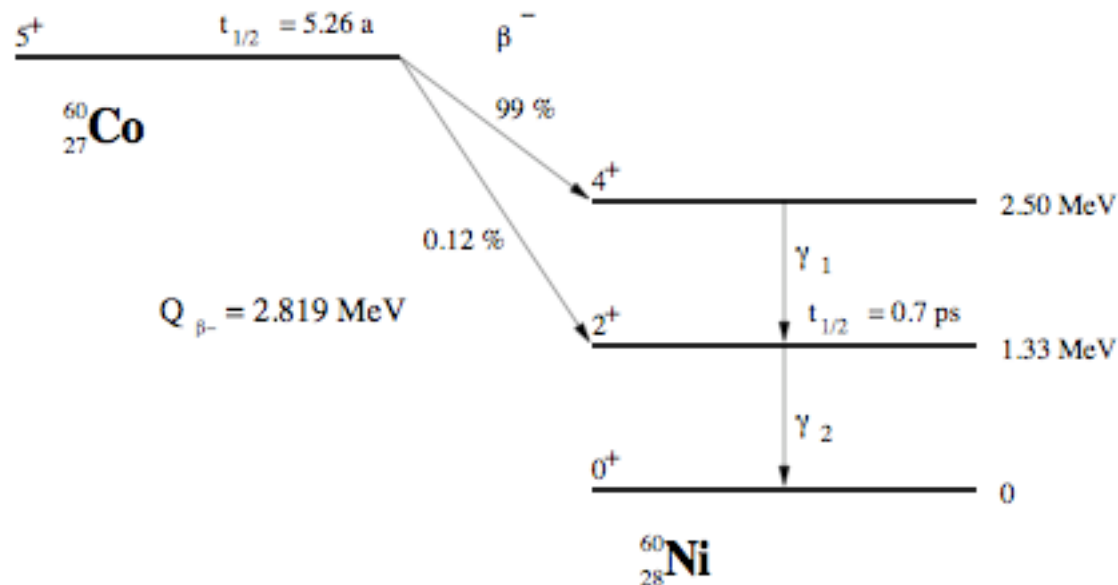
Le ^{57}Co se transforme en ^{57}Fe en 99.8% des cas par l'émission d'un positon (e^+ ou β^+) (Q disponible 0.84 MeV).

Dans 0.18% des cas c'est un e^- atomique qui est absorbé (capture électronique EC). Le ^{57}Fe se desexcite par γ_3 ou par la cascade γ_1, γ_2 . Un rayon X de 6.4 keV est aussi présent.

^{137}Cs et ^{60}Co (gamma)



$$E_{\gamma} = 662 \text{ keV}$$

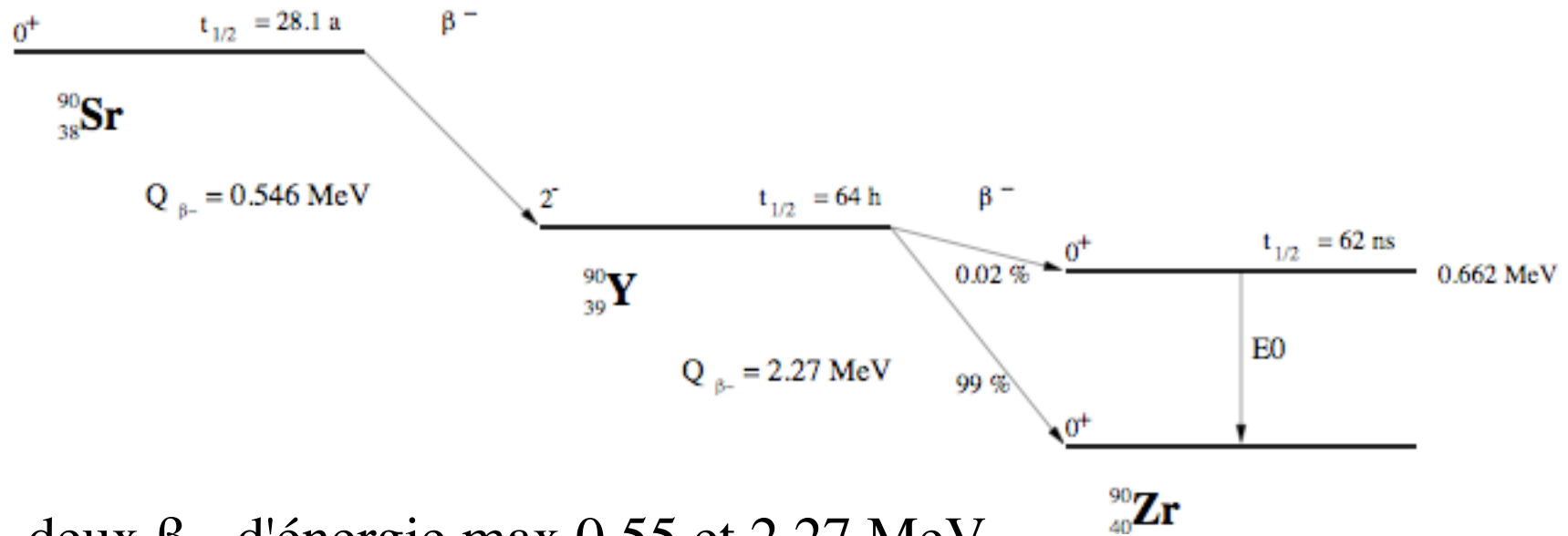


$$E_{\gamma} = 1.33 \text{ MeV}$$

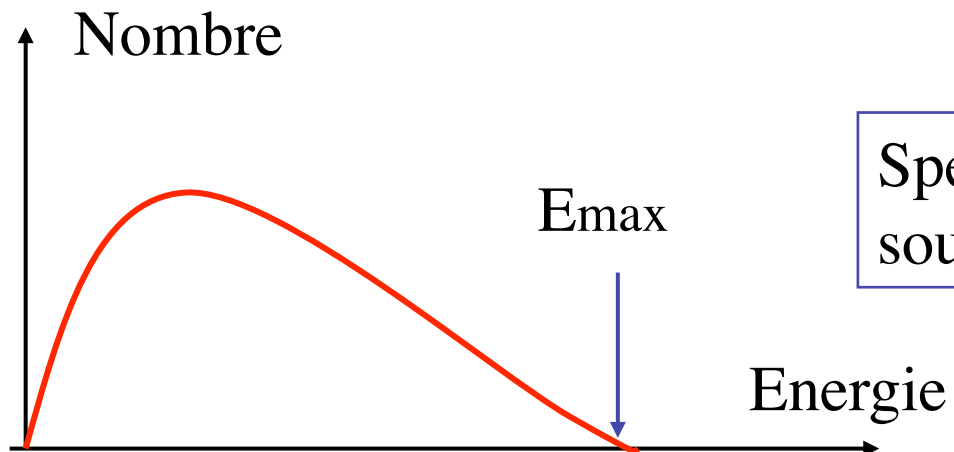
et

$$2.50 - 1.33 = 1.17 \text{ MeV}$$

90Sr (beta)

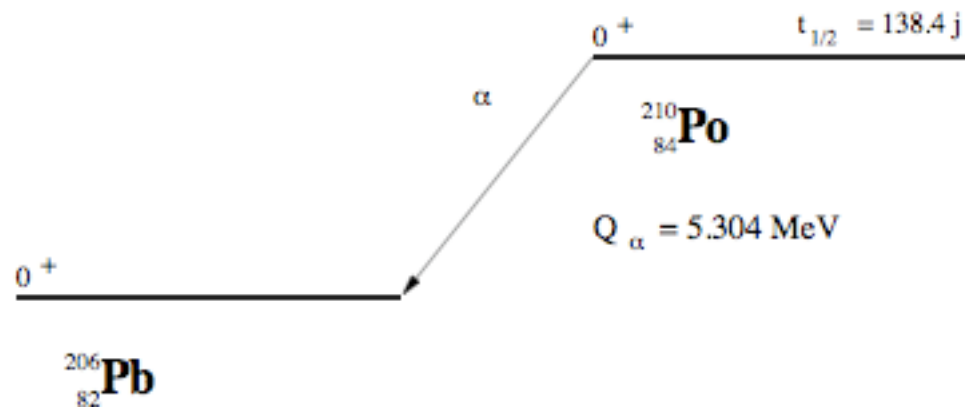


deux β^- d'énergie max 0.55 et 2.27 MeV



Spectre d'émission d'une source beta

^{210}Po (alpha)



Energie disponible pour l'émission: 5.3 MeV

Taux de désintégration

Probabilité de désintégration par unité de temps = λ

Prob (dans dt) = λdt

$N(t)$ = nombre de noyaux au temps $t \Rightarrow dN(t) = -N(t)\lambda dt$

\Rightarrow loi exponentielle $N(t) = N(t=0)\exp(-\lambda t)$

\Rightarrow demi-vie: $t_{1/2} = \ln(2)/\lambda$

1 Becquerel = 1 désintégration/s

1 Curie = $3.7 \cdot 10^{10}$ B

Interactions radiation-matière

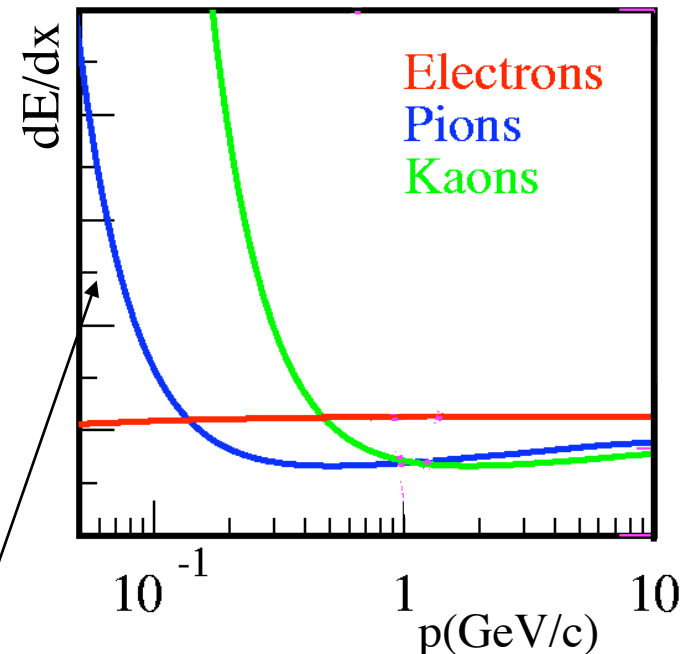
Particule chargée: il y a une perte progressive de son E cinétique par interaction principalement avec le champ des noyaux

Par exemple la formule de Bethe-Block (non valable pour les électrons):

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi}{m_e c^2} \cdot \frac{n z^2}{\beta^2} \cdot \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \cdot \left[\ln \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I \cdot (1 - \beta^2)} \right) - \beta^2 \right]$$

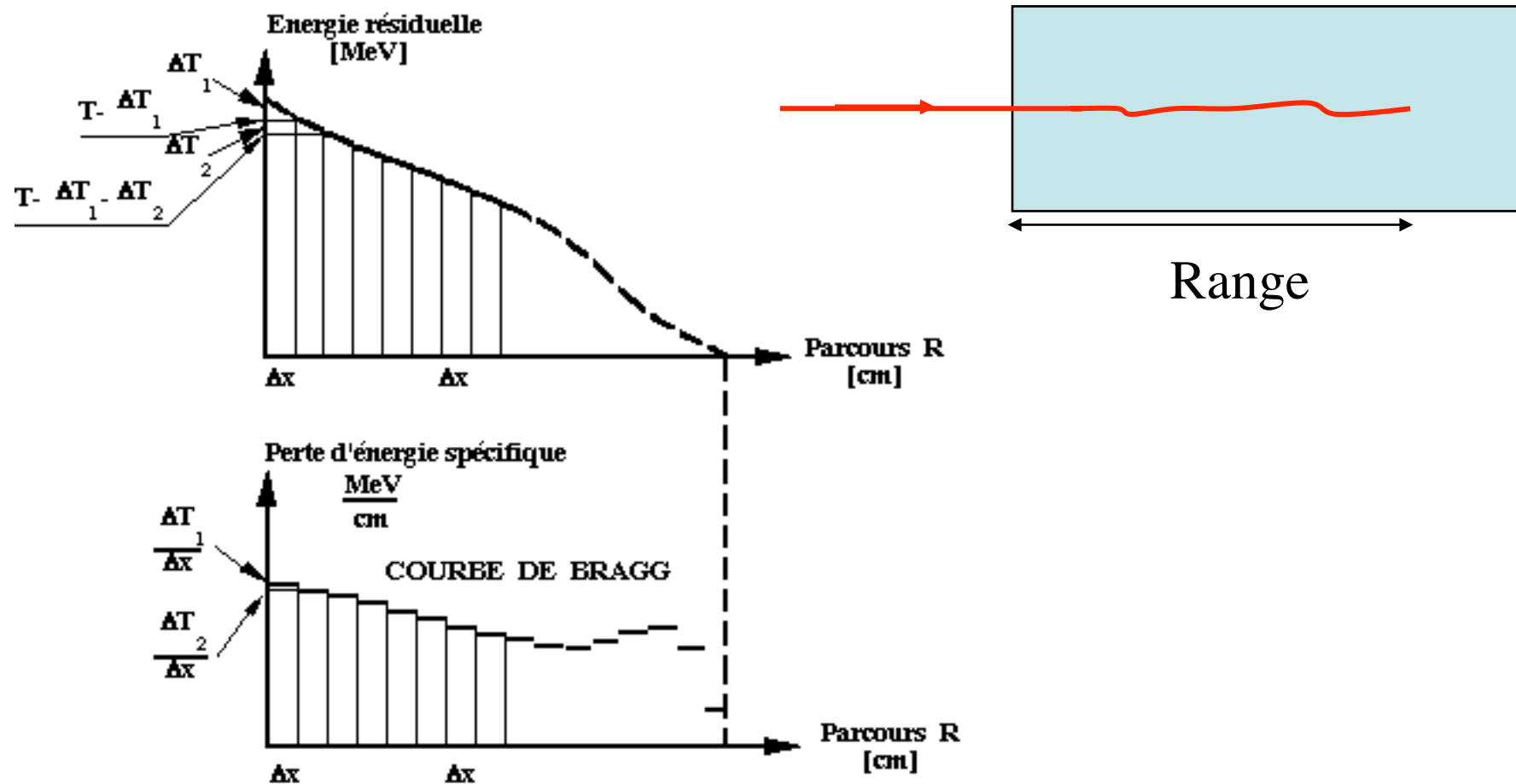
β est la vitesse de la particule (v/c)

A haute énergie, pour une substance donnée (Z) on trouve des courbes dE/dx en fonction de la quantité de mvt p , du type de la figure:

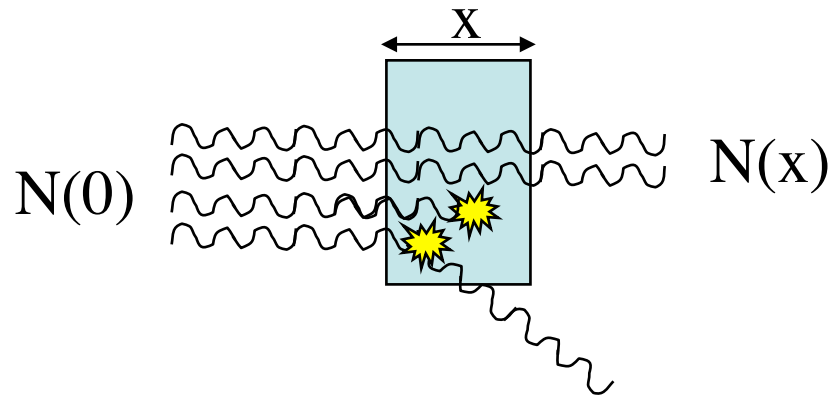


perte élevée quand la particule va lentement

Parcours (Range) et courbe de Bragg



Pénétration des gammas



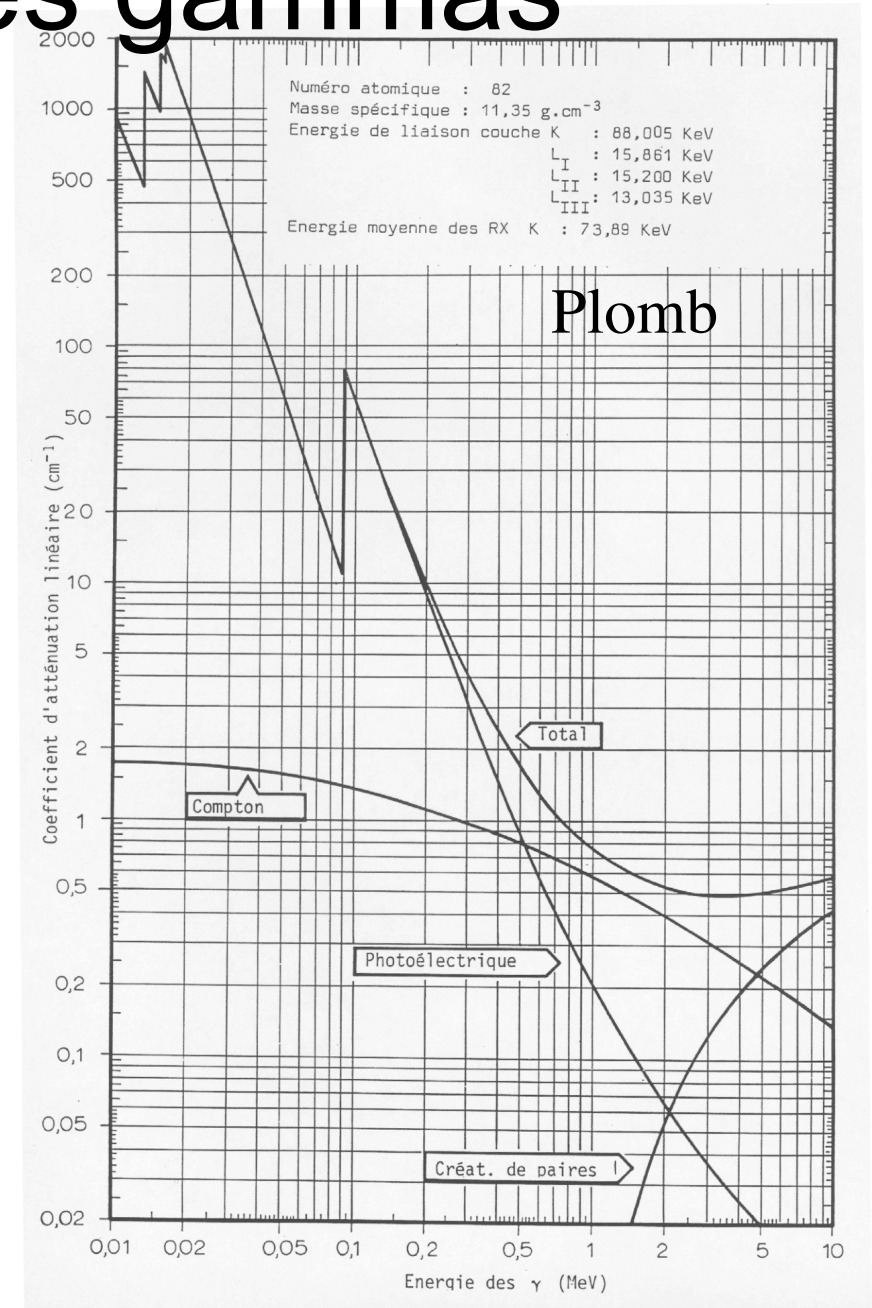
$$N(x) = N(x=0) \exp(x/\mu)$$

x épaisseur de la matière

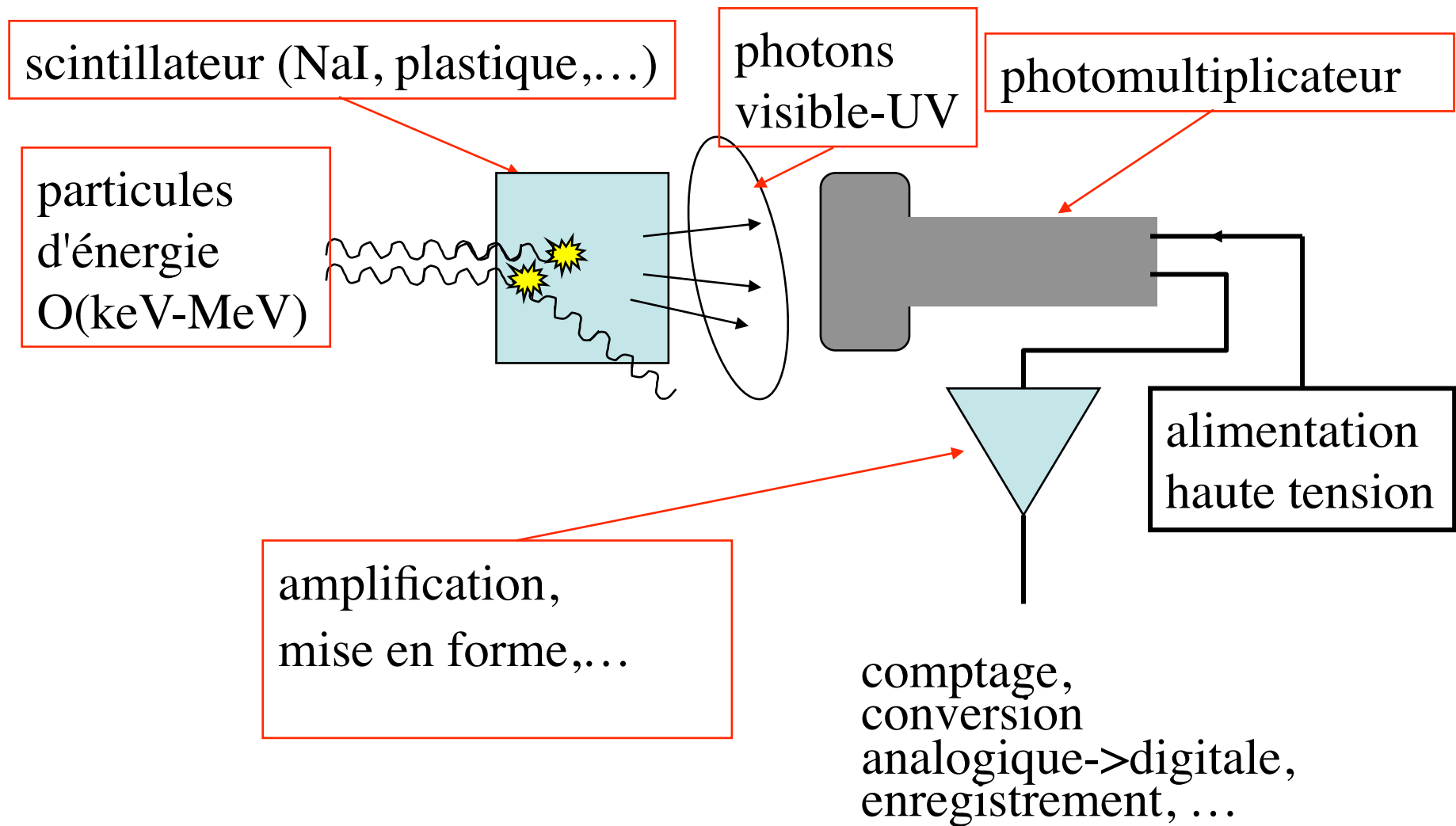
μ coef. d'atténuation linéaire

Interaction par

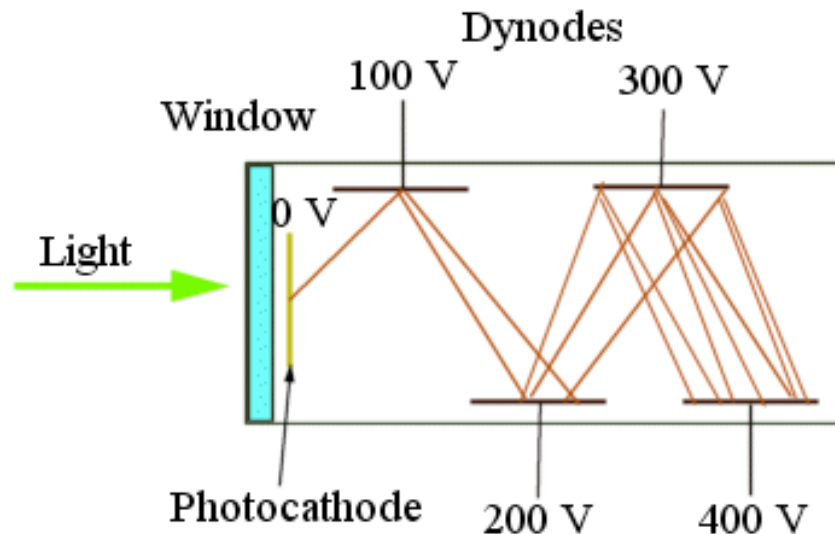
- * effet photoélectrique
- * effet Compton
- * création de paires (quand $E_\gamma > 2 m_e = 2 \times 511 \text{ keV}/c^2$)



Détection avec scintillateurs

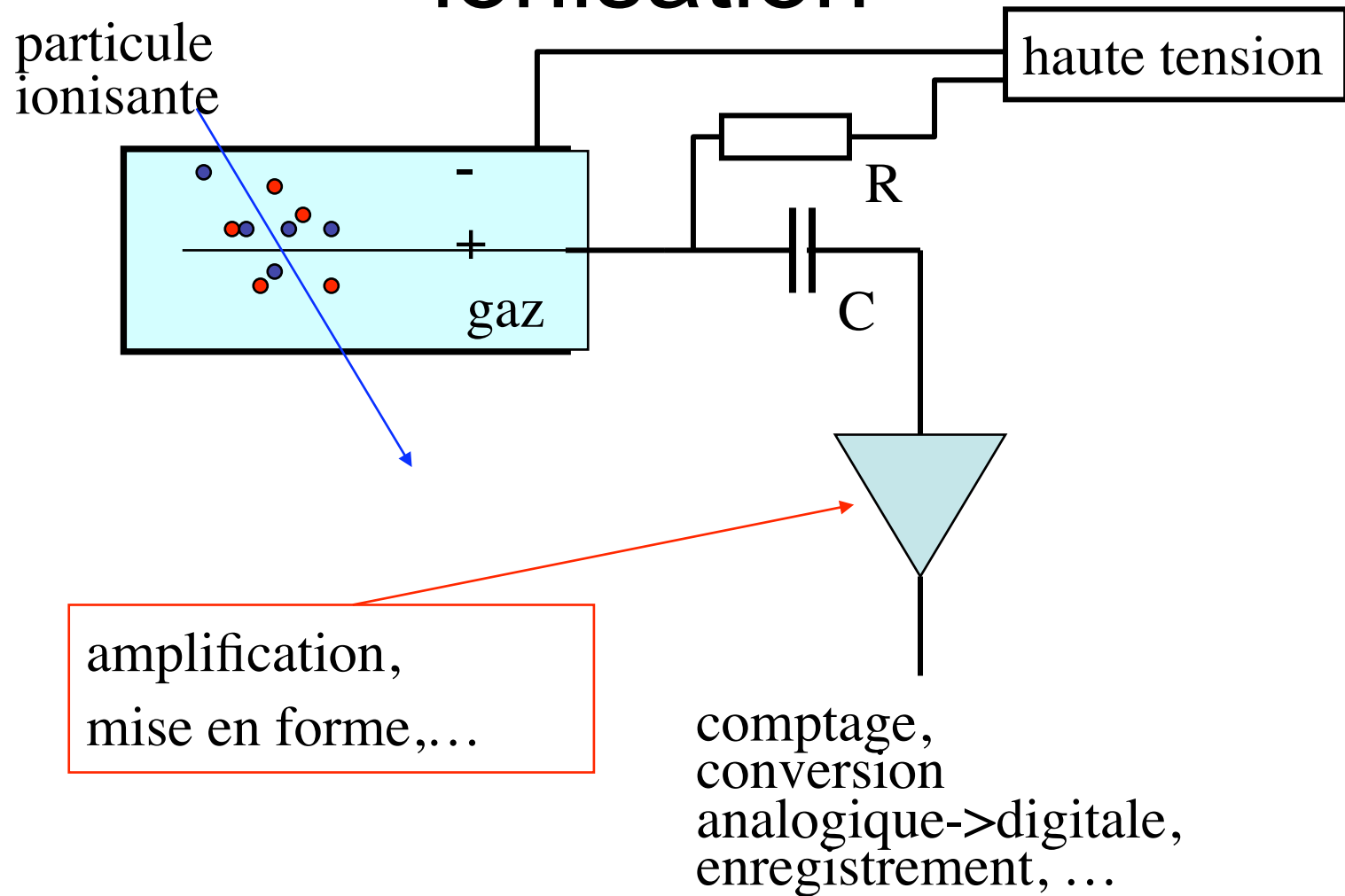


Photomultiplicateur (PMT)



La lumière est convertie en (photo)électrons par la photocathode, avec un rendement quantique ϵ (10-30%). Une fraction f (90%) est accélérée vers la première "dynode". L'E cinétique de chaque e^- peut ejecter d e^- secondaires. Le processus continue en cascade sur les n dynodes jusqu'à l'anode. Le gain du PMT est donc $G=d^n$.

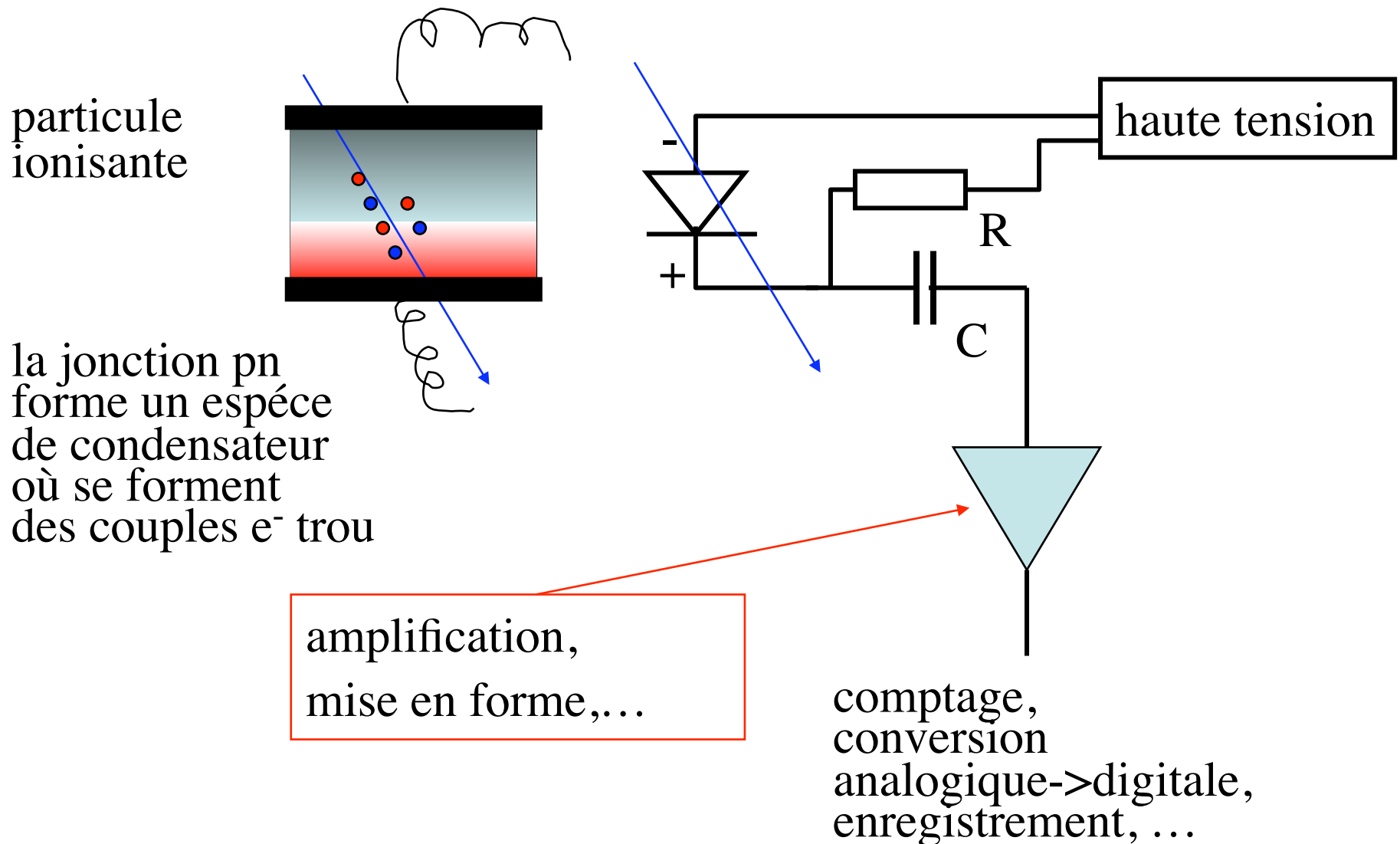
Détection avec chambres à ionisation



Un principe similaire s'applique avec les semiconducteurs

Détecteurs à semiconducteur

ce sont des diodes polarisés en sens opposés à la conduction



Spectroscopie

Mesure de l'énergie des particules émises par une source

Dans le cas d'une chaîne **scintillateur-PMT** on aura:

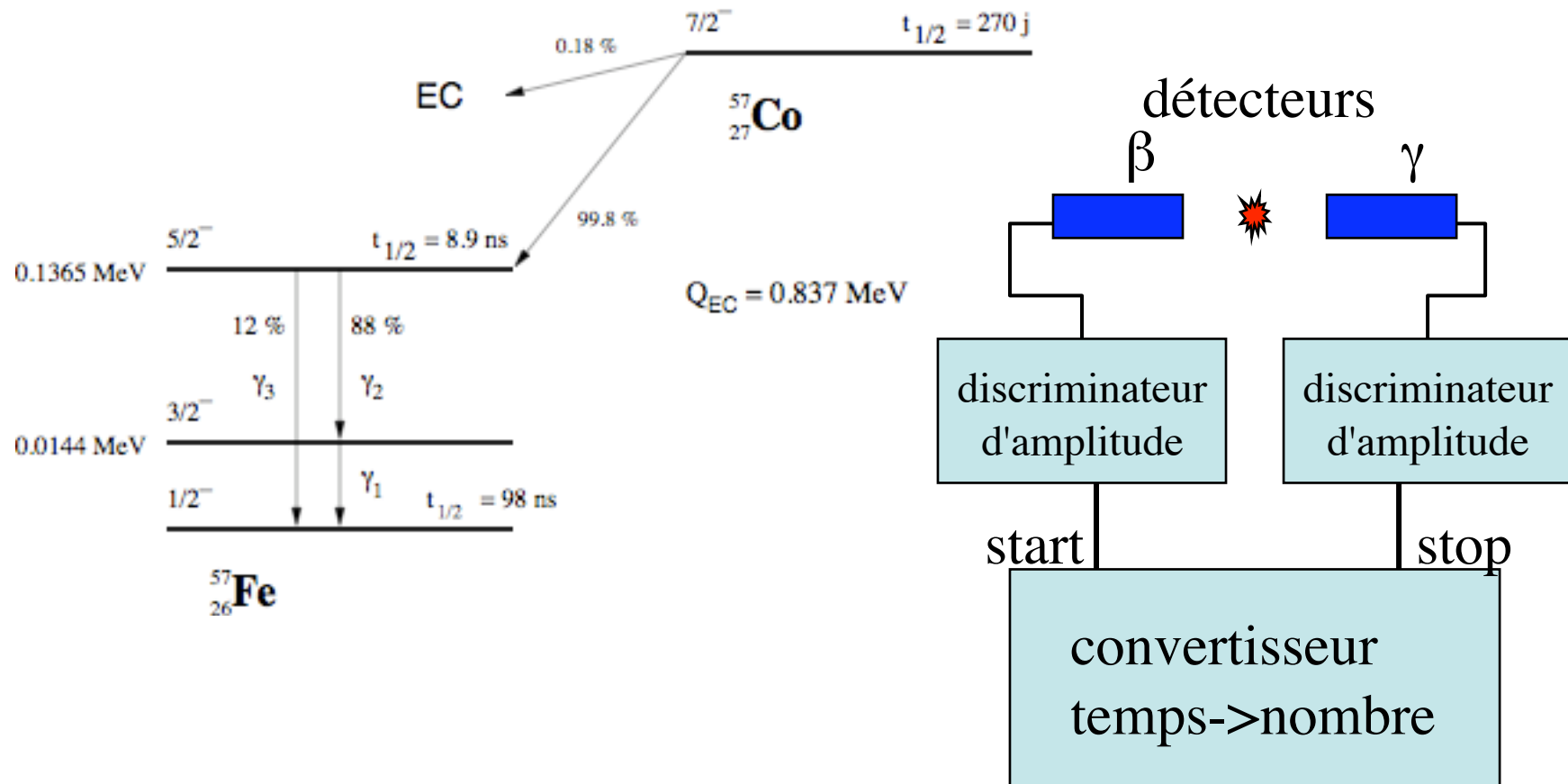
- 1) la particule laisse l'énergie E dans le scintillateur
- 2) le scintillateur convertit E en un nombre N_p de photons de basse énergie $h\nu$: $N_p = \alpha E/h\nu$ $\alpha < 1$ est l'efficacité du processus
- 3) la photocathode du PMT convertit les N_p photons en (photo)électrons avec un rendement $\varepsilon < 1$ (p. ex. 20%): $N_e = \varepsilon N_p$
- 4) la fraction $f < 1$ de N_e est "multiplié" par le gain G du PMT

Donc l'impulsion à la sortie du PMT contient une charge
 $Q = E (\alpha/h\nu)\varepsilon Gf$. **Q est bien proportionnel à E .**

Tous les processus ci-dessus sont stochastiques. P.ex. à parité de E , on aura des fluctuations de N_p de l'ordre de $\sqrt{N_p}$, etc.

De plus il y a du bruit électronique. Donc Q varie autour de la valeur vraie de $\delta Q_{\text{stochastique}} + \delta Q_{\text{bruit}} \Rightarrow$ **résolution finie** de la chaîne

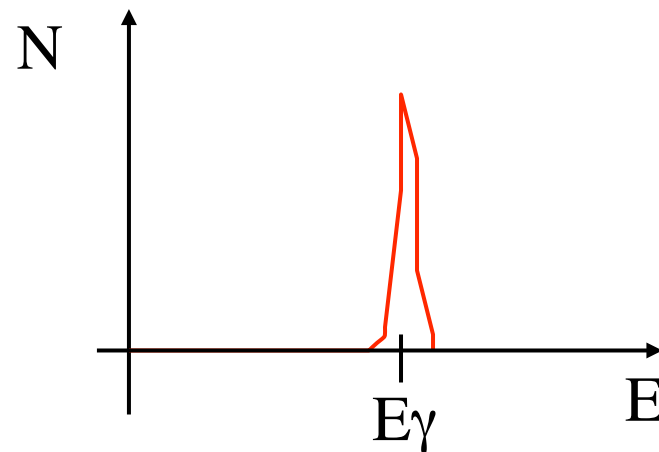
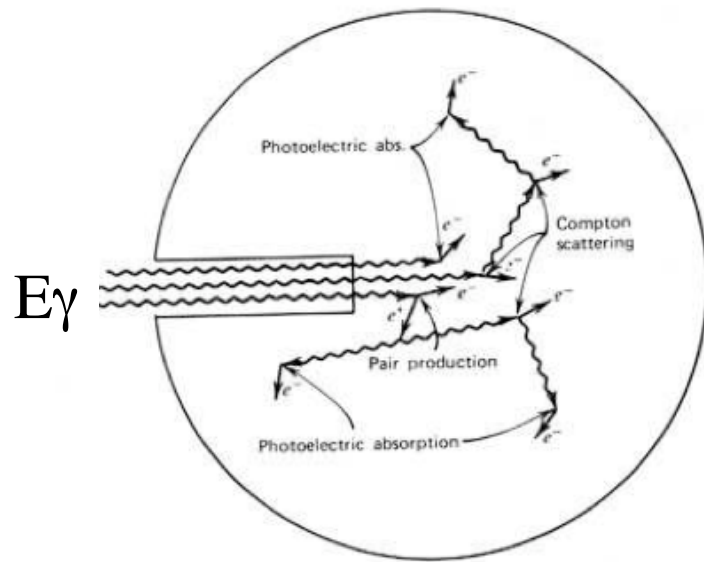
Mesure d'un temps de vie (ns- μ s)



Subtilité: après un start le convertisseur est en attente pendant un temps prédéfini. Il ne peut plus accepter de start. Il faudrait garantir qu'il n'y a pas de start sans stop...

Spectroscopie gamma... les complications

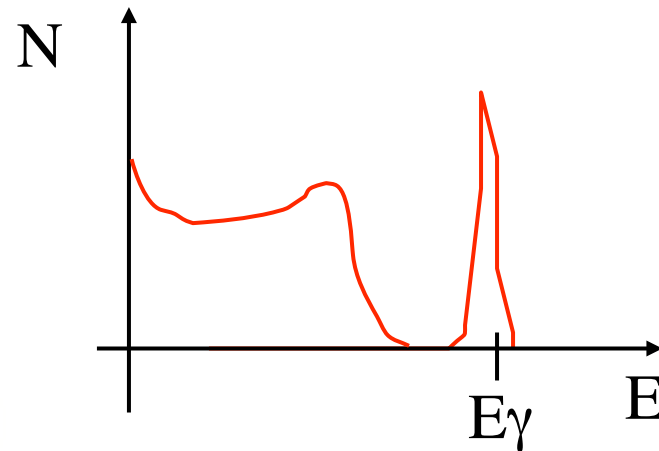
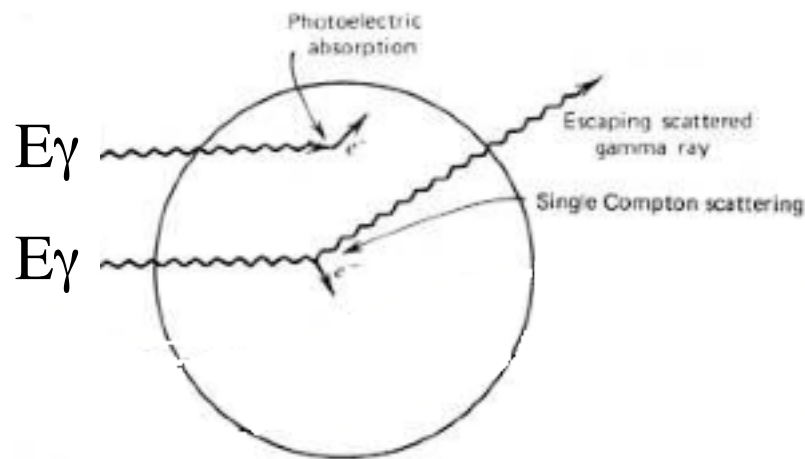
Scintillateur de taille infinie (calorimètre): pratiquement toute l'énergie E_γ du gamma est transférée au scintillateur



Le spectre serait un pic centré sur E_γ
La largeur du pic est la résolution de la chaîne spectrométrique

Spectroscopie gamma... les complications

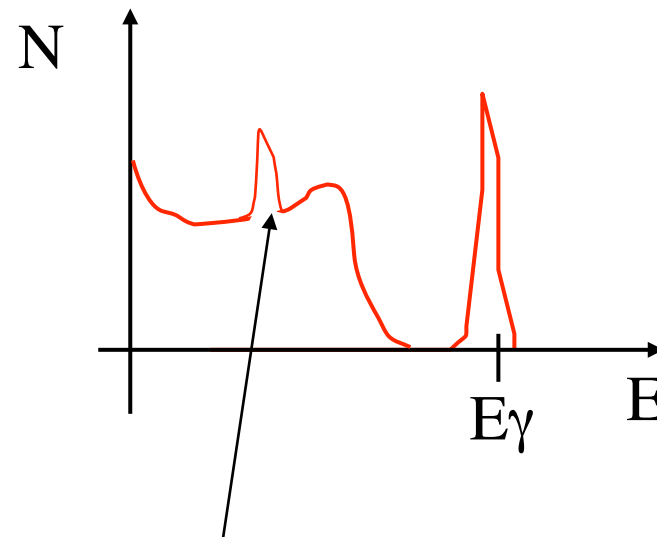
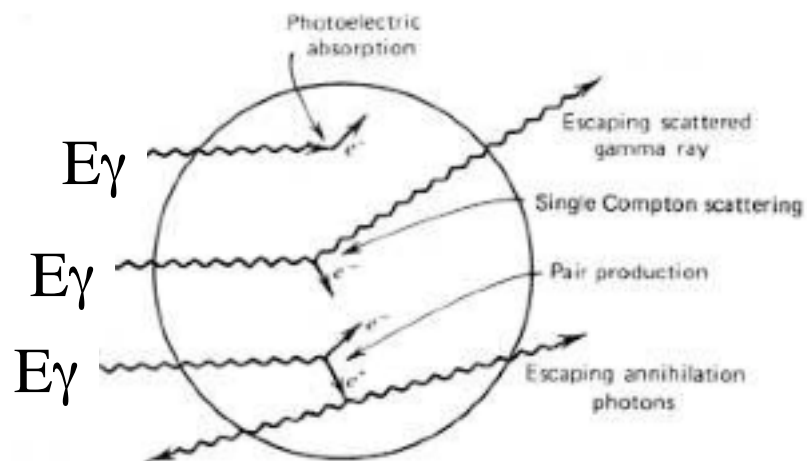
Scintillateur de petite taille: seulement dans le cas de l'effet photoélectrique (presque) toute l'énergie E_γ est transférée au scintillateur par l'électron. Dans le cas d'un Compton, si le g diffusé s'échappe on aura une énergie moindre.



Spectre Compton et pic photoélectrique

Spectroscopie gamma... les complications

Si le photon produit des paires, le positons s'annihile et donne deux photons de 511 keV. Si les deux sont absorbés on retrouve E_γ . Si les deux s'échappent on a $E_\gamma - 1.022 \text{ MeV}$



Pic de double echappement

Spectroscopie gamma... les complications

La matière autour de la source et de la source elle même affectent la mesure

