

Détection et détecteurs de rayonnements

Mme SAIM Asma

Maitre de conférences classe B

Département de Génie Physique

Chapitre I : Interaction rayonnement-matière

Il existe plusieurs interactions entre la matière et le rayonnement. Ce dernier ne peut être détecté et caractérisé qu'en interagissant avec la matière où il cède son énergie en partie ou en totalité. Sur leurs trajets, les rayonnements font entrer des modifications dans le milieu (la matière) traversé. C'est vers la fin du 19^{ème} siècle, qu'il a été fait la distinction entre les phénomènes physiques de la matière et les phénomènes physiques liés au rayonnement d'où la relation de la force de Lorentz qui a relié les deux entités (rayonnement-matière) après qu'ils aient été séparés chacun avec ses propres lois. La détection d'un rayonnement directement ionisant (une particule chargée) ou indirectement ionisant (les photons γ ou les neutrons) est la formation d'une partie de l'énergie de rayonnement et la transformer en un signal électrique (l'information). Pour les particules chargées lourdes, le processus évoqué est l'interaction électromagnétique qui est le transfert d'énergie du rayonnement au milieu sous forme d'excitation ou d'ionisation des atomes du milieu. Les électrons ralentissent dans la matière mais par émission d'un rayonnement de freinage (Bremsstrahlung). Les rayonnements neutres transfèrent d'abord de l'énergie à des particules chargées qui perdent leur énergie dans le milieu traversé (l'atténuation).

I.1 La section efficace: C'est la probabilité d'interaction du rayonnement avec la matière qui est bien déterminée pour chaque interaction. Cette dernière diffère d'un rayonnement à un autre.

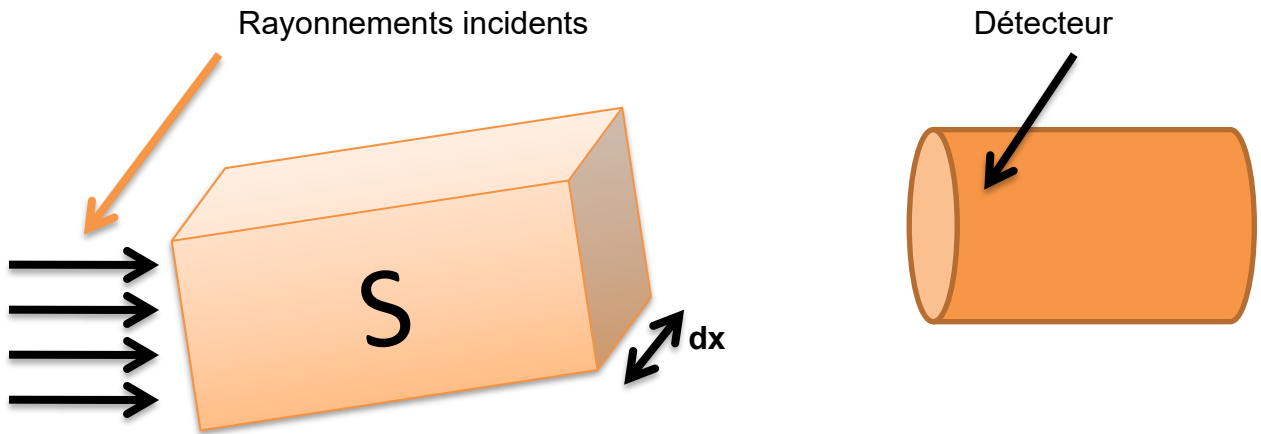


Figure 1.1 : Schéma simplifié de la détection d'un rayonnement traversant une matière.

L'intensité: C'est le nombre de particules qui traversent une unité de surface ($ds=1$) par unité de temps (1 seconde).

I.2 Le taux d'interaction "R": Ce taux est par unité de temps et par unité de volume ($s^{-1} \cdot \text{cm}^{-3}$). Dans toute la cible ; le taux d'interaction (R) est proportionnel à l'intensité (I), le nombre d'atomes (N), la surface (S) et l'épaisseur (dx).

$$R = Cst I N S dx \dots \dots \dots (1.1)$$

$$R = \sigma I N S dx \dots \dots \dots (1.2)$$

$N * S * dx \approx$ Le nombre totale d'atomes de la cible.

σ : Est la constante de proportionnalité qui est appelée aussi '*La section efficace*'. Telle que :

$$\sigma = \frac{R}{I N S dx} \dots \dots \dots (1.3)$$

$\sigma =$ Taux d'interaction / Intensité * le nombre d'atomes.

$\frac{\sigma}{S}$: La probabilité pour qu'un atome interagisse avec le rayonnement.

Puisque la surface de la cible "S" est fixée alors la probabilité d'interaction est entièrement déterminée par la section efficace " σ " seulement .

Interaction des rayonnements électromagnétiques avec la matière :

Les rayonnements électromagnétiques ne possèdent pas de charge électrique. En émergeant dans la matière, ils interagissent avec la matière suivant trois processus :

- *L'effet photo-électrique.*
- *L'effet Compton*
- *La création de paires électron-trou.*

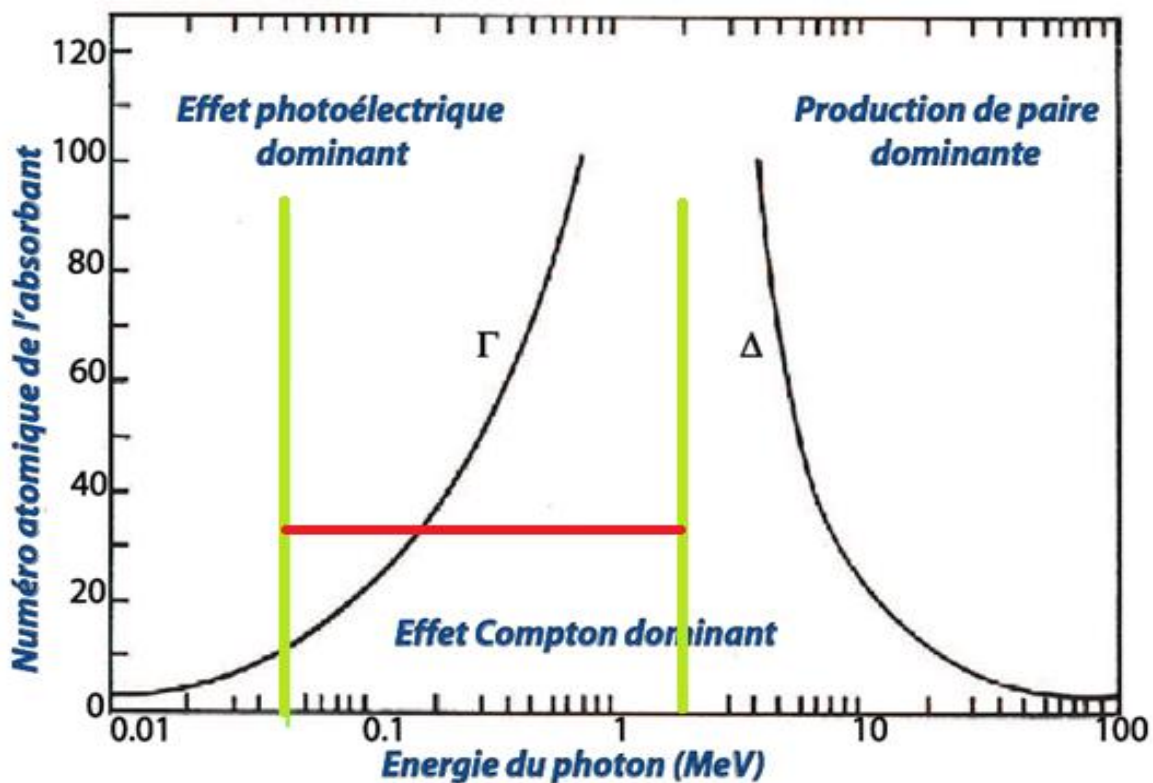


Figure 1.2: Représente les différents processus d'interactions en fonction de l'énergie et le nombre Z du milieu.

La figure (1.2) ci-dessous représente la dominance de chaque effet selon l'énergie et le nombre atomique de la matière traversée. On remarque que pour :

L'effet photo-électrique : μ_m est surtout important pour les éléments lourds (Un nombre atomique Z élevé) et les faibles énergies ($E = h\nu$). On observe des pics dès que $E = h\nu$ est proche de liaison de l'électron d'une couche K, L, M, ... (Ce qui n'est pas visible pour les éléments légers aux basses énergies).

L'effet Compton : μ_m est peu dépendant du milieu. Il est prédominant sur un large intervalle d'énergie.

L'effet de création de paires (matérialisations) : μ_m n'est défini que pour $E > 1.022$ MeV.

Les coefficients d'atténuation linéaire et massique : Pour un faisceau mono-énergétique d'intensité initiale I subit une perte de son intensité dI après avoir traversé une épaisseur dx de la matière. D'où :

$$-dI = \sigma I N dx \dots \dots (1.4)$$

Et la loi d'atténuation de l'intensité du faisceau s'écrit :

$$I = I_0 e^{-\sigma N x} = I_0 e^{-\mu x} \dots \dots (1.5)$$

D'où: $N = \frac{\rho}{A} N_A$: La densité électronique du milieu.

$\mu = \sigma N$: Le coefficient d'atténuation linéaire [cm^{-1}].

On peut distinguer le coefficient d'atténuation massique qui est donnée par la loi de Beer Lambert:

$$I = I_0 e^{\frac{-\mu}{\rho} \rho x} = I_0 e^{-\mu_m \rho x} \dots \dots (1.6)$$

D'où : μ_m : coefficient d'atténuation [g/cm^2].

Le coefficient d'atténuation massique ou linéique représente l'effet global d'atténuation dû aux 3 effets, tel que :

$$\mu = \tau + \sigma + \varphi \dots \dots (1.7)$$

τ : Coefficient d'atténuation linéaire dû à l'effet photoélectrique.

σ : Coefficient d'atténuation linéaire dû à l'effet Compton.

φ : Coefficient d'atténuation linéaire dû à l'effet matérialisation.

Du même pour le coefficient d'atténuation massique :

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\phi}{\rho} \dots \dots \dots (1.8)$$

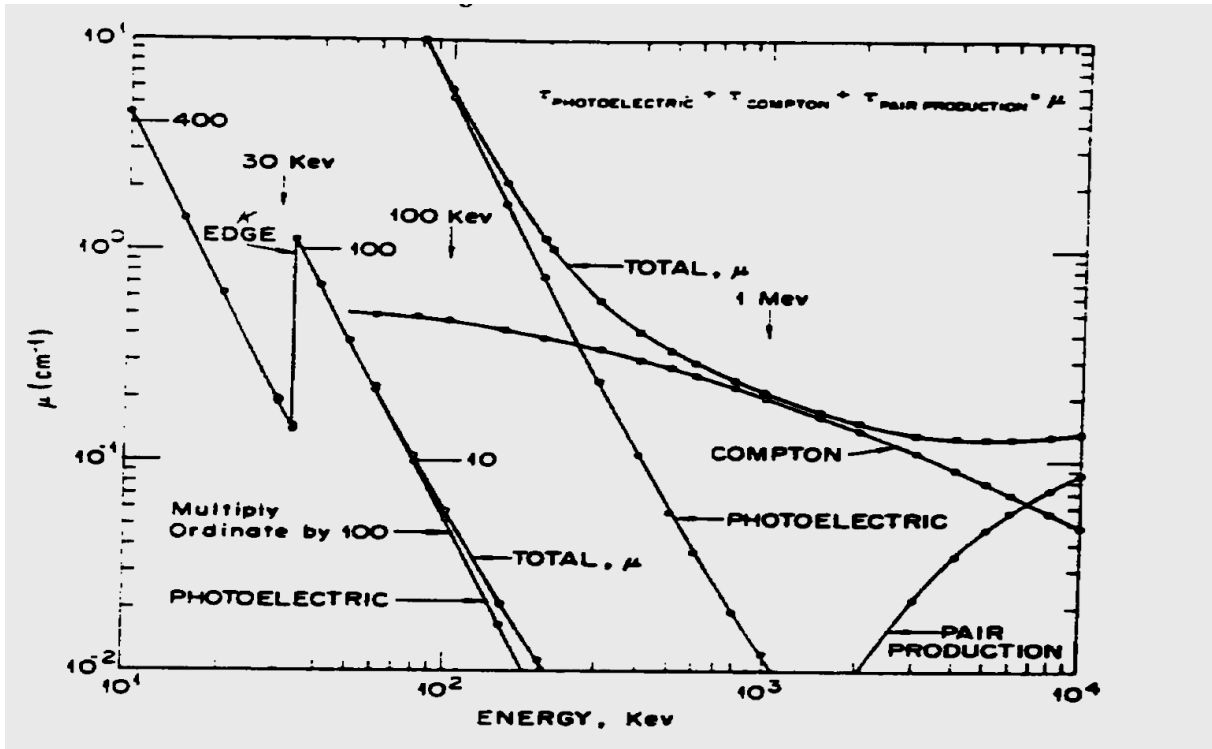


Figure 1.3 : Représente le coefficient d'atténuation linéaire de l'iodure de sodium NaI en fonction de l'énergie des photons incidents.

I.3 Effet photoélectrique:

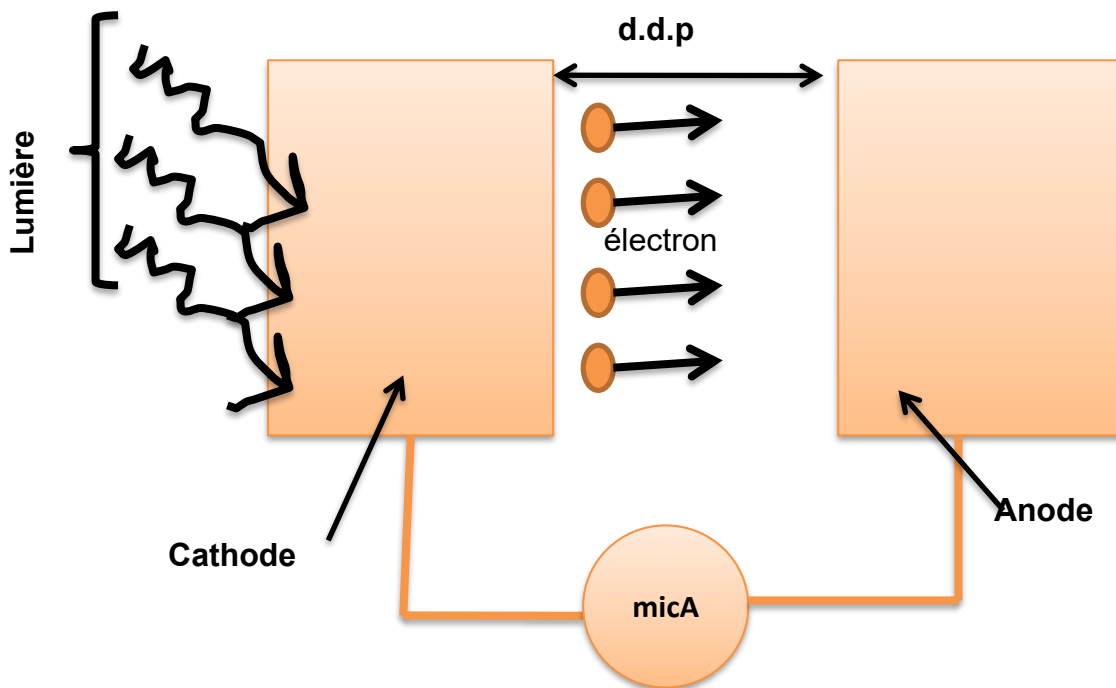


Figure 1.4 : représente un schéma explicatif de l'effet photoélectrique.

C'est un processus par lequel le photon incident cède toute son énergie à un électron des couches profondes qui est alors éjecté de l'atome. Il y a absorption totale du photon et ionisation de l'atome. Comme on peut le définir par l'arrachement des électrons de la matière par un rayonnement monochromatique (d'une seule longueur d'onde). Il s'agit d'une absorption totale. La direction du photo-électron va dépendre de l'énergie du photon incident. Elle sera d'autant plus alignée sur la direction du photon initial que celui-ci est énergétique. Donc il s'agit de l'absorption du photon par un atome et l'éjection d'un électron lié avec une énergie :

$$T_{\bar{e}} = h\nu - B \dots \dots \dots (1.9)$$

D'où B : est l'énergie de liaison de l'électron dans l'atome.

Et $h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$ (j.s) : La constante de Planck.

La section efficace d'effet photoélectrique est donnée par : $\sigma_{\phi} = \frac{Z^5}{(h\nu)^n} \dots \dots \dots (1.10)$

I.4 Effet Compton (diffusion incohérente): Il est basé sur le comportement corpusculaire du rayonnement incident.

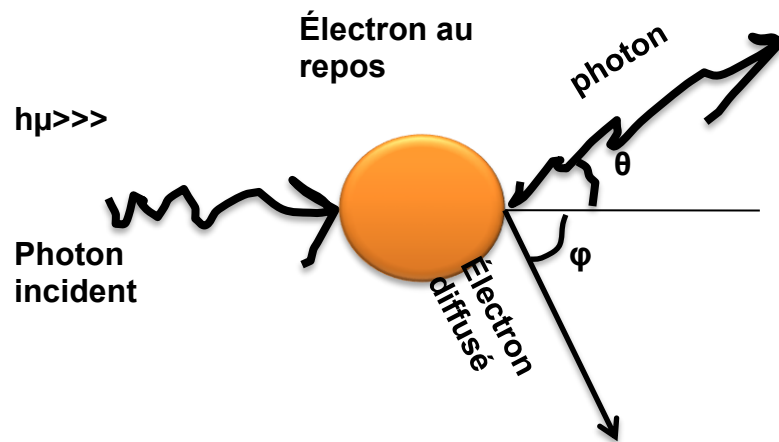


Figure 1.5 : Représente un schéma explicatif de l'effet Compton

Un photon incident avec une énergie importante rentre en choc avec un électron au repos qui possède une énergie de liaison très faible (quasi-libre) ou nul (si on le suppose libre). L'énergie du photon incident est divisée entre un électron cible éjecté appelé l'électron Compton et un photon résultant. La quantité de mouvement et l'énergie cinétique sont conservées.

Tel que l'équation de l'énergie s'écrit de la forme suivante :

$$E_{\text{photon}} + m_0 c^2 = E'_{\text{photon}} + mc^2 \dots \dots \dots (1.11)$$

Qui peut s'écrire aussi de la forme suivante :

$$h \gamma + m_0 c^2 = h \gamma' + m c^2 \dots \dots \dots (1.12)$$

Et la quantité de mouvement s'écrit :

$$P_{\text{photon}} + 0 = P'_{\text{photon}} + P'_{\text{électron}} \dots \dots \dots (1.13)$$

Qui peut s'écrire aussi de la forme suivante :

$$\frac{h \gamma}{c} = \frac{h \gamma'}{c} + m_0 v_{\text{électron}} \dots \dots \dots (1.14)$$

D'où on introduit la relation de la longueur d'onde du photon diffusé :

$$\lambda' - \lambda = \left(\frac{h}{m c} \right) (1 - \cos \theta) \dots \dots \dots (1.15)$$

Qui a comme énergie :

$$h \gamma' = \frac{h \gamma}{1 + \xi (1 + \cos \theta)} \dots \dots \dots (1.16)$$

Tel que :

$$\xi = \frac{h \gamma}{m_0 c^2} \dots \dots \dots (1.17)$$

Et l'énergie cinétique communiquée à l'électron :

$$E_{c\text{-électron}} = h \gamma \frac{\xi (1 - \cos \theta)}{1 + \xi (1 - \cos \theta)} \dots \dots \dots (1.18)$$

I.5 La production de paires : (matérialisation)

Elle se produit pour les hautes énergies. Pour $h\mu \geq 2 m_0 c^2$; un photon avec cette énergie $h\mu$ se matérialise par la création d'une paire électron-positron. Un processus inverse se produit quand un électron et un positron s'annihilent pour produire deux photons ayant la même énergie 0.511 Mev avec deux directions opposées. Avant que l'annihilation se produit les deux photons, on passe par la formation d'un positronium qui a une durée de vie de l'ordre de 10^{-10} secondes.

$$h \gamma = 2 m_0 c^2 + E_{\text{électron}} + E_{\text{positron}} \dots \dots \dots (1.19)$$

Près d'un noyau :

$$P_{P1} = P_{\text{électron}} + P_{\text{positron}} + \Delta P_{\text{noyau}} \dots \dots \dots (1.20)$$

Près d'un électron :

$$P_{P2} = P_{\text{électron}} + P_{\text{positron}} + \Delta P_{\text{électron}} \dots \dots \dots (1.21)$$

I.6 Bremsstrahlung: Le rayonnement de freinage est un processus par lequel on a émission de rayonnement électromagnétique par les particules chargées mobiles lorsqu'elles subissent une brusque accélération près du noyau ou d'un électron dans le milieu ralentisseur. Puisque ces particules sont en mouvement elles n'ont pas un niveau d'énergie bien déterminé mais des niveaux continus parce qu'elles ne sont pas liées (libres) ; donc le rayonnement émis est continu (exemple : les rayons X utilisés dans la radiographie).

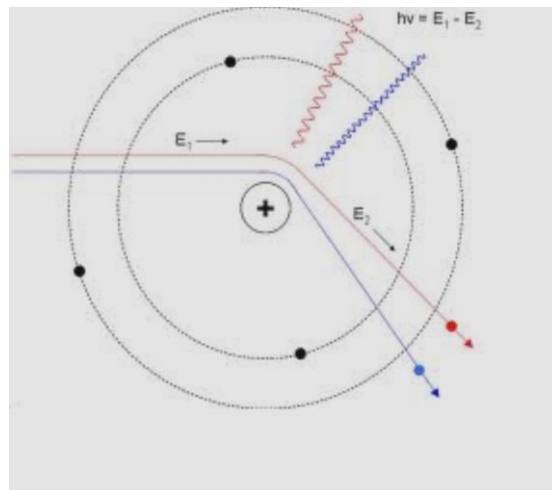


Figure 1.6 : Représente un schéma explicatif de l'effet Bremsstrahlung

La formule de la perte d'énergie par radiation s'écrit sous la forme suivante :

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_R \approx \left(\frac{Z z e^2}{m}\right)^2 = \frac{Z^2 z^2 e^4}{m^2} \dots \dots \dots (1.22)$$

Cette perte d'énergie est plus grande pour les électrons que pour les autres particules lourdes à cause du facteur $1/m^2$.

I.7 Ionisation: La perte moyenne d'énergie de la particule par unité de longueur du milieu traversé (ou pouvoir d'arrêt) se calcule à partir de l'interaction de Coulomb entre la particule chargée et les électrons du milieu. Pour une particule modérément relativiste ; on aboutit à la formule de Bethe :

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi z^2 e^4 NZ}{m_e c^2 \beta^2} \left(\ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \delta^2}{I} - \beta^2 \right) \dots \dots \dots (1.23)$$

Pour une particule de charge ze , vitesse $v=\beta c$ et $\delta = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$ interagissant dans un milieu de N atomes (de numéro atomique Z) par cm^3 , le potentiel d'ionisation moyen des électrons du milieu étant I ($I \approx 16 Z^{0.9}$ eV pour $Z > 1$).

- On en déduit que $-\frac{dE}{dx}$ varie :
 - ✓ En z^2 (indépendance du signe de la charge de la particule).
 - ✓ En $NZ = \frac{N_A \rho}{A}$ pour un milieu de masse A avec $N_A=6.023 * 10^{23}$.
 - ✓ En β^{-2} .
- On remarque que :
 - ✓ La masse de la particule incidente n'intervient pas.
 - ✓ Pour les particules de même z , $\frac{dE}{dx}$ est en fonction de la particule β seulement.

I.8 Le libre parcours moyen : Pour une particule chargée, il est défini par la relation :

$$R(E) = \int_E^0 \left(\frac{-dE}{dx} \right)^{-1} dE \dots \dots \dots (1.24)$$

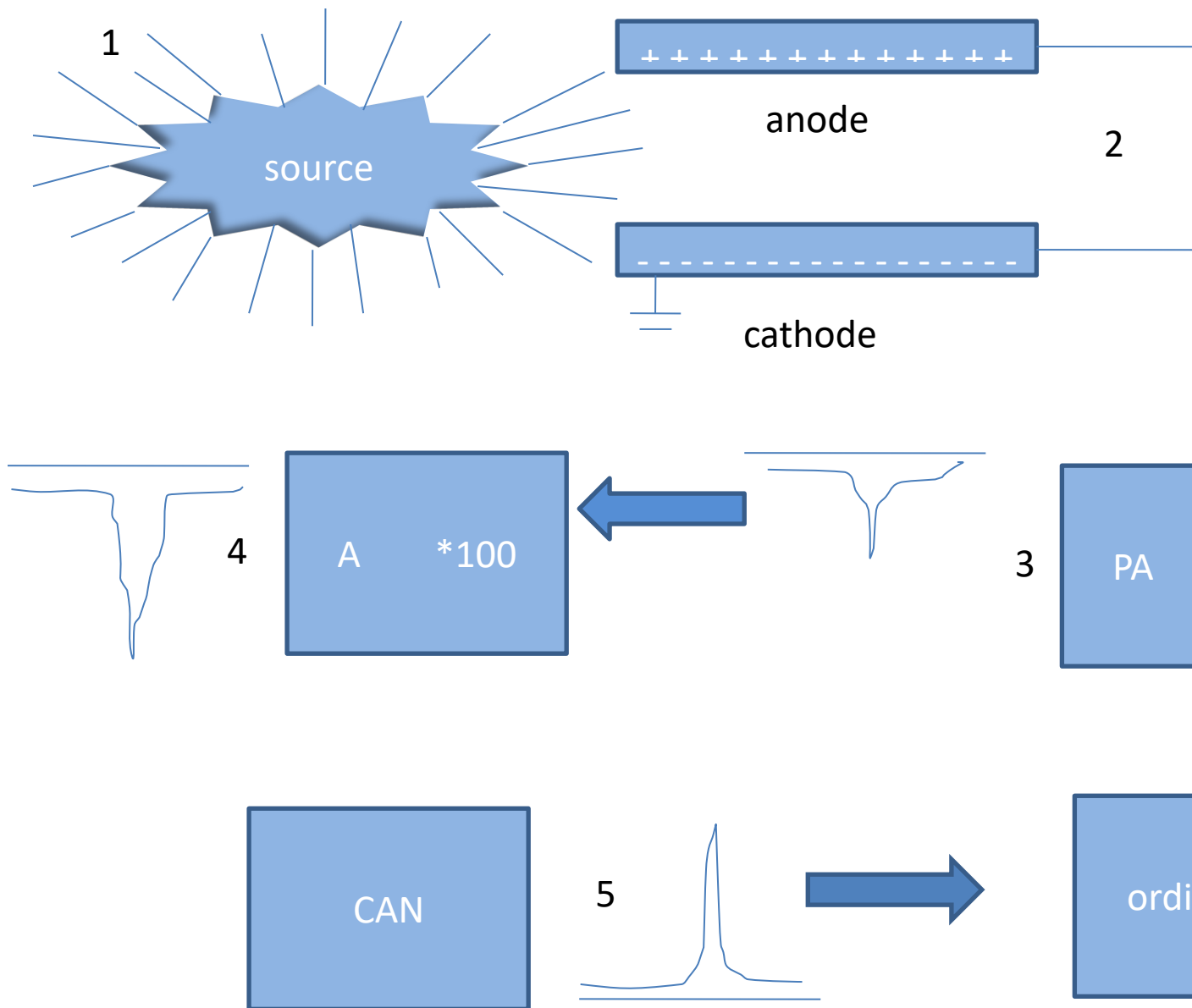
Et pour un milieu donné, on a :

$$\frac{-dE}{dx} = z^2 f(\beta) = z^2 g\left(\frac{E}{M}\right) \dots \dots \dots (1.25)$$

D'où :
$$R(E) = \frac{M}{z^2 N} h(\beta) \dots \dots \dots (1.26)$$

Chapitre II : la chaîne de détection et les détecteurs

Un rayonnement ne peut être détecté et caractérisé que grâce à son interaction avec la matière c'est pour cela que toute une chaîne de mesure a été réalisée pour mesurer l'énergie ou le nombre de particules dans le milieu.



II.1 La Chaine de détection :

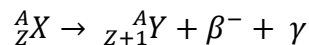
Dans la détection, on mesure l'énergie perdue dans le milieu et le nombre d'émission de particules ou de photons. Un schéma de la chaîne de détection est simplifié dans la figure ci dessous, qui résume le phénomène de détection et qui est constitué de :

II.1.1 La source 'L'échantillon' :

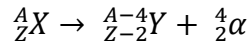
L'échantillon est un bloc de matière solide qui émet un rayonnement radioactif ou électromagnétique. La radioactivité est une propriété des noyaux instables qui se désintègrent à des noyaux plus stables grâce à l'émission d'une particule.

Il y'a quatre types de rayonnements qui résultent d'un processus atomique ou nucléaire :

a- *Les électrons rapides (Béta- et Béta+)* : celles qui résultent par la réaction suivante :



b- *Les particules chargées lourdes (protons, Alpha, noyaux des produits de fission...)* : au titre d'exemple on a la réaction de l'émission alpha :



Parmi les sources alpha, on a :

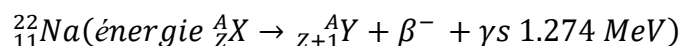
${}^{241}_{87}\text{Am}$ (Période 433 jours, énergie 5.48574 MeV et 5.44298 MeV)

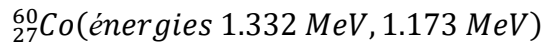
${}^{243}_{95}\text{Am}$ (Période $7.4E + 03$, énergie 5.2754 MeV et 5.2335 MeV)

c- *Les rayonnements électromagnétiques (rayonnements X et rayonnements gamma)* :

Les photons X ont une origine électronique. Ils sont émis soit par le freinage d'un faisceau des électrons ou lors du retour à l'état fondamental d'un atome.

Le photon gamma est émis par le noyau ou au cours de processus de transitions nucléaire ou d'annihilation de particules. Parmi les sources gamma, on a :





Ces photons X et gamma ont une masse nulle et se propage à la vitesse de la lumière, mais ils n'ont pas les propriétés des photons optiques (exemple : la réflexion).

- d- **Les neutrons** : Ils sont émis dans la réaction de fission dans un réacteur nucléaire par exemple. Ces neutrons ont des énergies qui vont de fraction d'un eV à plusieurs MeV.

II.1.2 Détecteur :

Le rayonnement pénètre à l'intérieur du détecteur, symbolisé dans la figure 1 par un espace (la zone active) entre les deux électrodes (anode + cathode). Le rayonnement rencontre et arrache dans son parcours des électrons entre les atomes du milieu. Lors de l'ionisation, la particule perd un peu de son énergie (qui représente l'énergie nécessaire pour arracher un électron). Cette particule ralentit progressivement jusqu'à être stoppée. Sous l'effet d'un champ électrique, les électrons sont attirés vers l'anode alors que les ions de charges positives sont collectés par la cathode. Un courant électrique très faible est alors créé dans le circuit reliant les deux électrodes. Ce courant de quelques micro-ampères est envoyé vers la chaîne de mesure.

Le temps de collection de ces charges créées est symbolisé par t_c et l'intégration du courant $i(t)$ sur le temps est égale à la charge collectée Q qui s'écrit sous la forme :

$$Q = \int_0^{t_c} i(t) dt \dots \dots \dots (2.1)$$

Il existe deux modes d'opération possibles pour un détecteur de rayonnement :

- a- **Le mode d'opération de courant** : Dans ce cas nous mesurons le courant continu moyen produit par le détecteur. Ce mode d'opération est utilisé pour des détecteurs de dosimétrie et dans le monitoring de la puissance des réacteurs nucléaires ainsi que les différentes sources radioactives...
- b- **Le mode d'opération en impulsion** : c'est l'enregistrement des charges électriques sortantes de chaque interaction individuelle dans le détecteur au lieu d'avoir le courant moyen créé par plusieurs interactions. Quand le détecteur fonctionne dans ce mode, l'amplitude de chaque impulsion transporte l'information concernant la charge

générée par l'interaction du rayonnement dans la zone active du détecteur. Ce mode est recommandé pour identifier les sources multiples.

Remarque : En absence de tout rayonnement incident ou source active, le détecteur placé dans les conditions normales d'utilisation délivre un courant très faible dit *courant d'obscurité*. Ce courant ou appelé aussi " *le bruit*" a une origine interne c'est l'excitation thermique ainsi qu'une origine externe qui revient au rayonnement thermique ambiant. Le bruit est particulièrement important dans le domaine infrarouge d'où il devient nécessaire parfois de refroidir le détecteur.

II.1.3 Préamplificateur :

Quand le signal électrique passe par cette première étape d'amplification, son amplitude sera multipliée par un facteur de 100. Nous utilisons un préamplificateur avant un amplificateur et au plus près du détecteur à cause du signal très faible qui résulte de la détection et qui est de l'ordre de micro-ampère qui peut être atténué facilement. Donc ce dernier permet au signal près-amplifié d'être envoyé sur une dizaine de mètres ce qui est souvent indispensable dans un environnement radioactif duquel le reste des appareils doivent être éloignés pour les protégés des radiations.

II.1.4 Amplificateur :

Le signal électrique doit passer par une deuxième étape d'amplification pour que le signal soit multiplié encore une deuxième fois par un facteur de 100 parce que le signal sortant du pré-amplificateur est encore faible (de l'ordre de quelques milliampères).

II.1.5 Codeur : Le convertisseur analogique numérique :

En passant par le codeur, le signal électrique sera codé sous le système binaire (nombres 0 et 1). Ces convertisseurs sont caractérisés par leur dynamique d'échantillonnage (12, 14 et 16 bits) qui permet d'affiner plus au moins la valeur associée au signal. Par suite, on distingue deux catégories de codeurs :

- a. *Les codeurs d'amplitude* : qui codent l'amplitude qui représente la hauteur du signal.
- b. *Les codeurs de charge* : qui codent la charge présentée par la surface du signal.

Remarque : selon la vitesse et la précision du traitement demandées, nous faisons le choix entre ces deux sortes de codage. Mais le nombre obtenu dans les deux convertisseurs représente l'énergie de la particule.

II.1.6 Visualisation : L'ordinateur

Le signal électrique est visualisé sous forme d'un graphe dit "*spectre*". Ce dernier représente le nombre de coups obtenus pour chaque valeur numérique. A cette étape, nous constatons l'information concernant la nature de la source utilisée et son rayonnement absorbé par le détecteur. Ce signal nous n'informe sur l'énergie, la date, la durée, la position ou l'intensité de l'interaction et la nature ou la vitesse de la particule.

Remarque : Des fluctuations qui peuvent influencer sur la réponse du détecteur et qui reviennent a plusieurs causes :

- ✓ Des déviations dans le point de fonctionnement du détecteur qui peuvent revenir à l'ancienneté, manque d'étalonnage...
- ✓ Le bruit de fond dans le détecteur et le système électronique de mesure.
- ✓ La nature statique du signal a mesuré qui est présente quelque soit la qualité de mesure à cause de la nature aléatoire de la charge générée dans le détecteur.

II.2 Les caractéristiques générales des détecteurs :

II.2.1 Les caractéristiques géométriques :

La réponse du détecteur et le flux du rayonnement dépendent de l'angle solide qui dépend à son tour de la source qui émet dans toutes les directions, la surface sensible du détecteur et la distance qui sépare le détecteur de la source.

II.2.2 L'efficacité de détection :

En général, L'efficacité du détecteur dépend de la nature et l'énergie du rayonnement incident. Elle est comprise entre 0 et 1. Il existe deux types d'efficacité :

a. *L'efficacité intrinsèque :*

$$\xi_{int} = \frac{\text{Nombre de particules ou photons détectés}}{\text{Nombre de particules ou photons ayant traversés le détecteur}}$$

b. L'efficacité extrinsèque :

$$\xi_{ext} = \frac{\text{Nombre de particules ou photons détectés}}{\text{Nombre de particules ou photons émis par la source}}$$

II.2.3 Le temps mort [t₀] :

Il représente le plus petit intervalle de temps qui doit séparer deux informations reçues (deux détections). Ce temps dépend des caractéristiques du détecteur et de l'électronique associée. Tel que :

$$N_{mesuré} = N_{rèel}(1 - t_0) \dots \dots \dots (2.2)$$

II.2.4 Le mouvement propre :

Il correspond au temps de comptage enregistré dans l'absence totale de toute sorte de source. L'origine de ce phénomène revient au bruit du fond du détecteur et qui dépend aussi de la radioactivité ambiante, les rayonnements cosmiques et même des impulsions parasites de l'appareillage électronique. Mais afin de réduire ce bruit, on utilise la protection plombée ou le système anti-cosmique.

$$\text{La zone de travail} = \frac{\text{Rapport signal}}{\text{Bruit minimum}}$$

II.2.5 La résolution en énergie :

Elle caractérise la qualité du détecteur à séparer deux régions proches dans la surface active du détecteur. Le pouvoir de résolution en énergie est donné par la formule :

$$R = \frac{dE}{E} \dots \dots \dots (2.3)$$

Chapitre III: Les détecteurs à gaz

Dans ce type des détecteurs, la détection du rayonnement est basée sur l'ionisation et/ou l'excitation des molécules du gaz utilisé. La majorité des détecteurs à gaz utilisent directement le signal électrique résultant de l'ionisation produite par le rayonnement ionisant incident. Lors de son passage, la particule ou le rayonnement ionisent les molécules de gaz du milieu du détecteur ce qui résulte une paire (électron- cation) de chaque ionisation.



L'ionisation de l'atome avec l'éjection d'un électron peut provenir de l'absorption d'un photon incident d'énergie $h\nu$, ou encore de transfert d'une partie de l'énergie cinétique d'une particule chargée. Le photon incident d'énergie $h\nu$ excite l'atome et modifie la structure électronique de l'atome qui devient excité. Le transfert d'énergie du rayonnement incident au milieu traversé dépend de :

- La nature de ce rayonnement (Charge Z , masse m et vitesse v).
- l'énergie du photon (contribution de l'effet photoélectronique, de la diffusion Compton et de la création de paires).
- La nature de la matière traversée (le matériau stoppant) (numéro atomique A , densité électronique).

La probabilité d'interaction d'un photon dans la matière va dépendre de la nature du matériau stoppant (nombre d'électron et la charge du noyau) et elle dépend de l'énergie du photon incident donc l'interaction photon-matière se fera préférentiellement par effet photoélectrique, diffusion Compton ou encore par création de paires.

III.1 La recombinaison :

Pour récupérer les électrons et les cations (les ions positifs) avant qu'ils se recombinent en atomes, il faut la présence d'un champ électrique un peu plus élevé et apte à les séparer. Ce dernier va les faire dévier vers les deux électrodes. En arrivant, Les charges (électrons-cations) induisent des courants sur les électrodes. Ces courants sont détectés par un amplificateur qui produit un signal électrique.

Le nombre moyen de paires électrons- ions positifs produites lors du passage d'une particule chargée est donné par la formule de **Bethe-Bloch** :

$$N_I = n_I d = \frac{dE}{W} d \dots \dots \dots (3.1)$$

D'où d : l'épaisseur du détecteur

W : l'énergie moyenne pour créer une paire (électron-ion). Dans le gaz, elle est de l'ordre de 30 eV).

La figure montrée ci-dessous est un exemple de la variation de $-\frac{dE}{dx}$ en fonction de l'énergie qui décroît avec β^{-2} passe par un minimum d'ionisation pour $\gamma=3.2$.

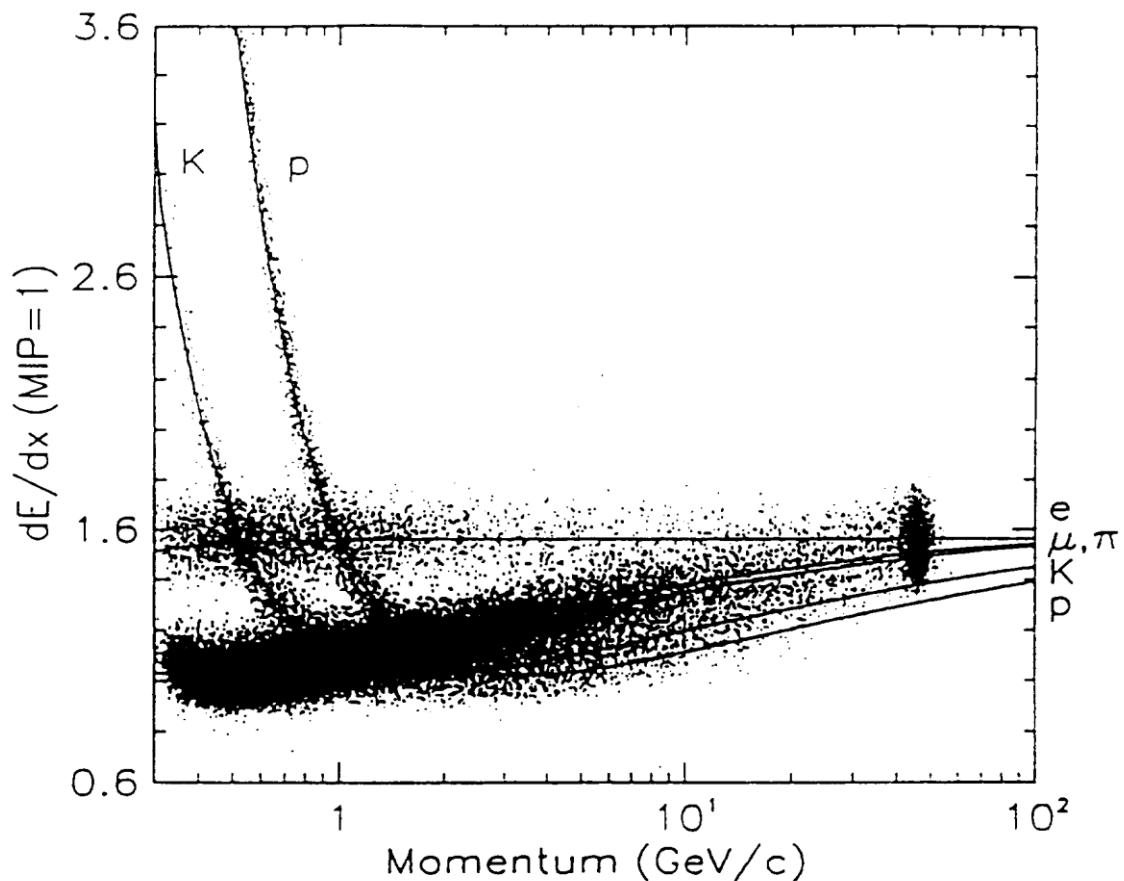


Figure 3.1 : Représente la perte d'énergie par ionisation de particules chargées dans un détecteur à gaz.

III.2 Le phénomène de multiplication :

Dans la présence d'un champ électrique élevé, les électrons et les ions positifs résultant de la première ionisation de la particule incidente se dirigent vers l'anode et la cathode respectivement. Le long de leurs trajets, ils vont subir plusieurs collisions avec les molécules neutres du gaz. Si l'énergie cinétique des électrons et des ions est supérieure à l'énergie d'ionisation de la molécule de gaz. Donc, il y aura production des autres paires d'électrons et d'ions. Ce qu'on appelle "ionisation secondaire". Ces électrons et ces cations sont accélérés une nouvelle fois avec le champ électrique appliqué. Sachant qu'ils peuvent encore produire d'autres paires si leurs énergies deviendront suffisantes pour l'ionisation.

III.3 Les types du détecteur à gaz :

Il existe plusieurs modes de fonctionnement pour les détecteurs à gaz. Ils peuvent fonctionner en mode :

- ✓ Chambre d'ionisation
- ✓ Compteur proportionnel
- ✓ Compteur Geiger-Müller

III.3.1 La chambre d'ionisation: Au-dessus d'une certaine valeur de la tension ("U" entre 600 à 1100V), la recombinaison devient négligeable et pratiquement l'ensemble des charges d'ionisation dérivent vers les électrodes et sont par suite détectés. Ce signal résultant est proportionnel à l'ionisation déposée et il permet donc une mesure de l'énergie de la particule ou le photon détecté. Ce mode est recommandé dans la mesure de la dose, l'étalonnage des sources radioactives et l'étude de la nature du rayonnement ionisant.

III.3.2 Le compteur proportionnel : Pour un champ électrique suffisamment fort, les électrons sont suffisamment énergétiques pour créer des ionisations secondaires et permettent une amplification du signal. On appelle ce compteur par proportionnel parce que l'amplitude mesurée est proportionnelle au nombre de paires d'ions produits par le passage de la particule dans le milieu gazeux du détecteur. Ce type de régime est utilisé essentiellement pour localiser la position de la particule, pour la spectroscopie des rayons X et la détection des neutrons.

III.3.3 Le Compteur Geiger-Müller : Il est constitué par un tube métallique mis à la masse par un fil (anode) porté à potentiel de l'ordre de 1500 à 2000 V. Le tube du détecteur est rempli de gaz inerte (argon, krypton ou xénon). Les électrons sont accélérés par le champ électrique qui règne au voisinage de l'anode et peuvent par collision ioniser les atomes neutres rencontrés. L'utilisation d'un champ électrique très intense produit une avalanche collective de paires (ions-électrons) qui donne une plus grande charge à collecter. Avec cet *effet d'avalanche*, les électrons arrivent sur l'anode et ils provoquent une diminution de son potentiel. Une impulsion ainsi créée est amplifiée et transmise au compteur.

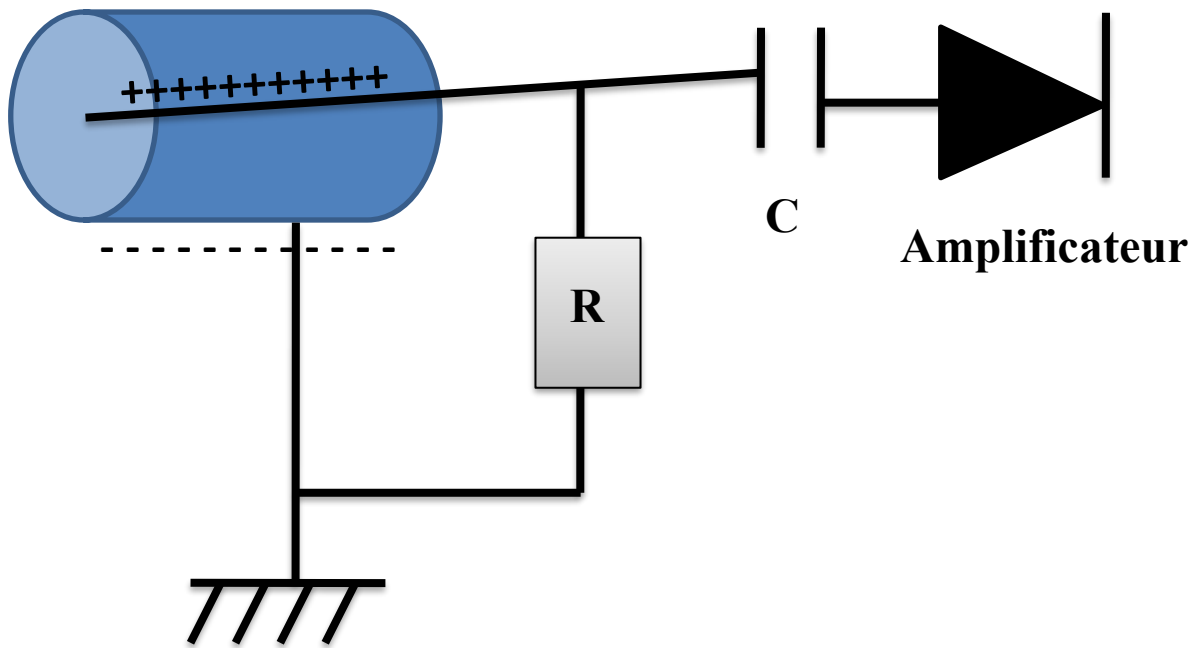


Figure 3.2 : représente un schéma simplifié du compteur Geiger Müller

La géométrie cylindrique induit un champ électrostatique élevé au voisinage de l'anode et plus faible dans le reste du détecteur. Ces caractéristiques permettent d'avoir les deux avantages suivants :

- ✓ Un grand facteur de multiplication avec une tension appliquée raisonnable.
- ✓ Une multiplication uniforme pour toutes les charges primaires.

Remarque :

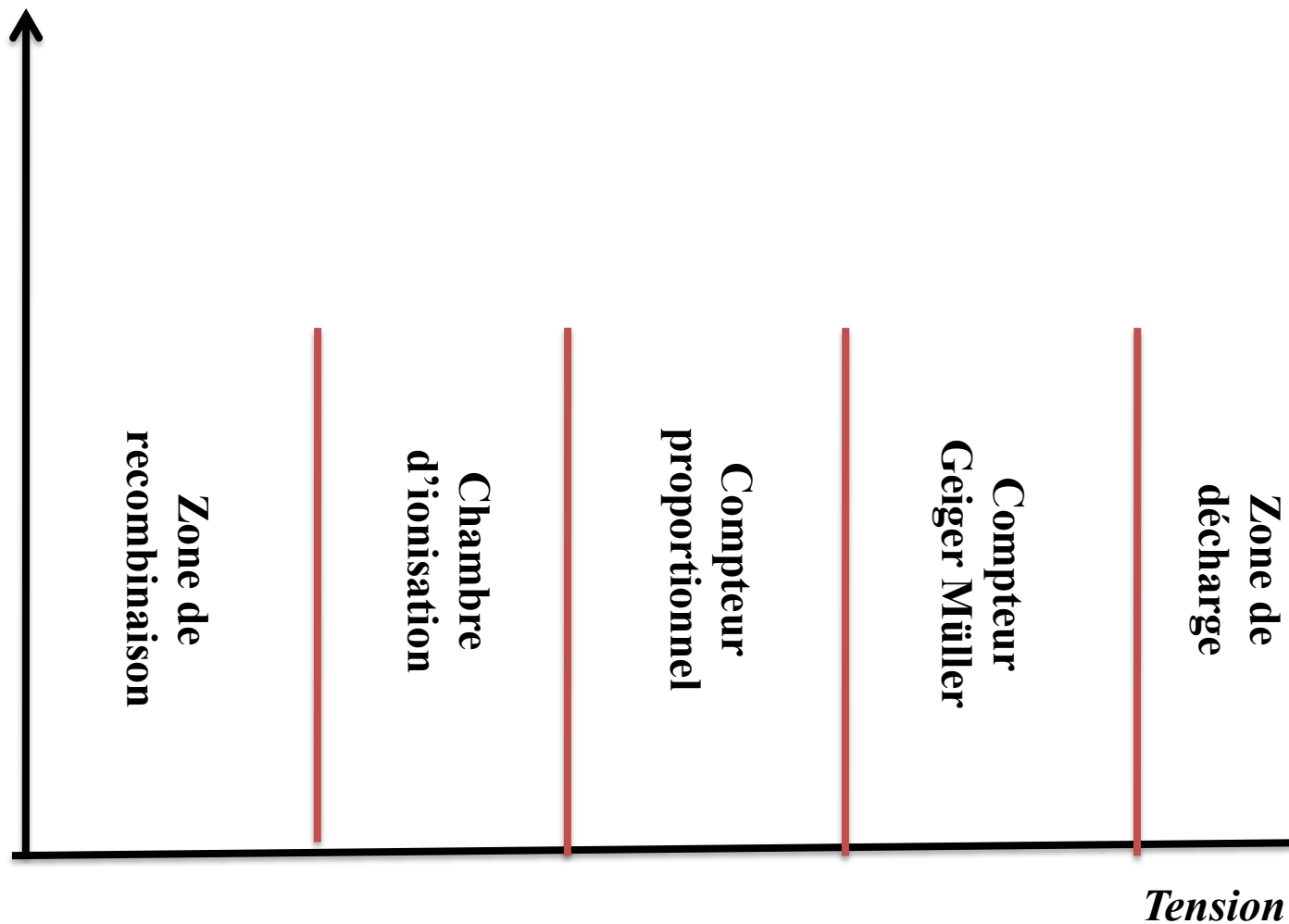


Figure 3.3 : représente les modes de fonctionnement dans un détecteur à gaz en fonction de la différence du potentiel appliquée.

Comme la figure le montre, ces trois modes cités en dessus se trouvent entre deux régions :

- **La région de recombinaison** : Quand le champ électrique entre les deux électrodes est faible, les électrons et les cations peuvent se recombiner en atomes tout de suite après qu'ils soient produits. Seule une très faible fraction des charges d'ionisation sont détectées par l'amplificateur
- **La région de décharge** : Augmenter le champ au-delà de la région Geiger-Müller entraîne une décharge continue donc le détecteur n'est plus utile.

Chapitre IV: Les détecteurs à scintillation

C'est au début des années 1950, cette technique de détection par scintillation a commencé. Il contient un matériau qui émet la lumière, alors pour aboutir à la scintillation, ce matériau doit posséder les propriétés suivantes :

- ✓ *La transparence du milieu dans le but d'avoir une bonne collection de ces photons.*
- ✓ *Un temps d'émission court pour générer une impulsion rapide.*
- ✓ *La conversion d'énergie cinétique en photons visibles doit être linéaire pour un domaine d'énergie large.*
- ✓ *Son indice de réfraction doit être proche de celui du verre.*

Avoir toutes ces qualités dans un seul matériau est introuvable dans la réalité, mais le matériau le plus utilisé est l'iodure de sodium NaI.



Le retour de l'électron de la bande de conduction (BC) vers la bande de valence (BV) est efficace dans un cristal pur. Donc pour augmenter l'efficacité de ce matériau, on doit ajouter ce qu'on appelle *des impuretés* ou aussi *des activateurs* qui forment des sites spéciaux dans la maille du cristal. Il y aura des états d'énergie créés dans la bande interdite (BI) qui donneront *des émissions de photons visibles* qui sont la base de la scintillation.

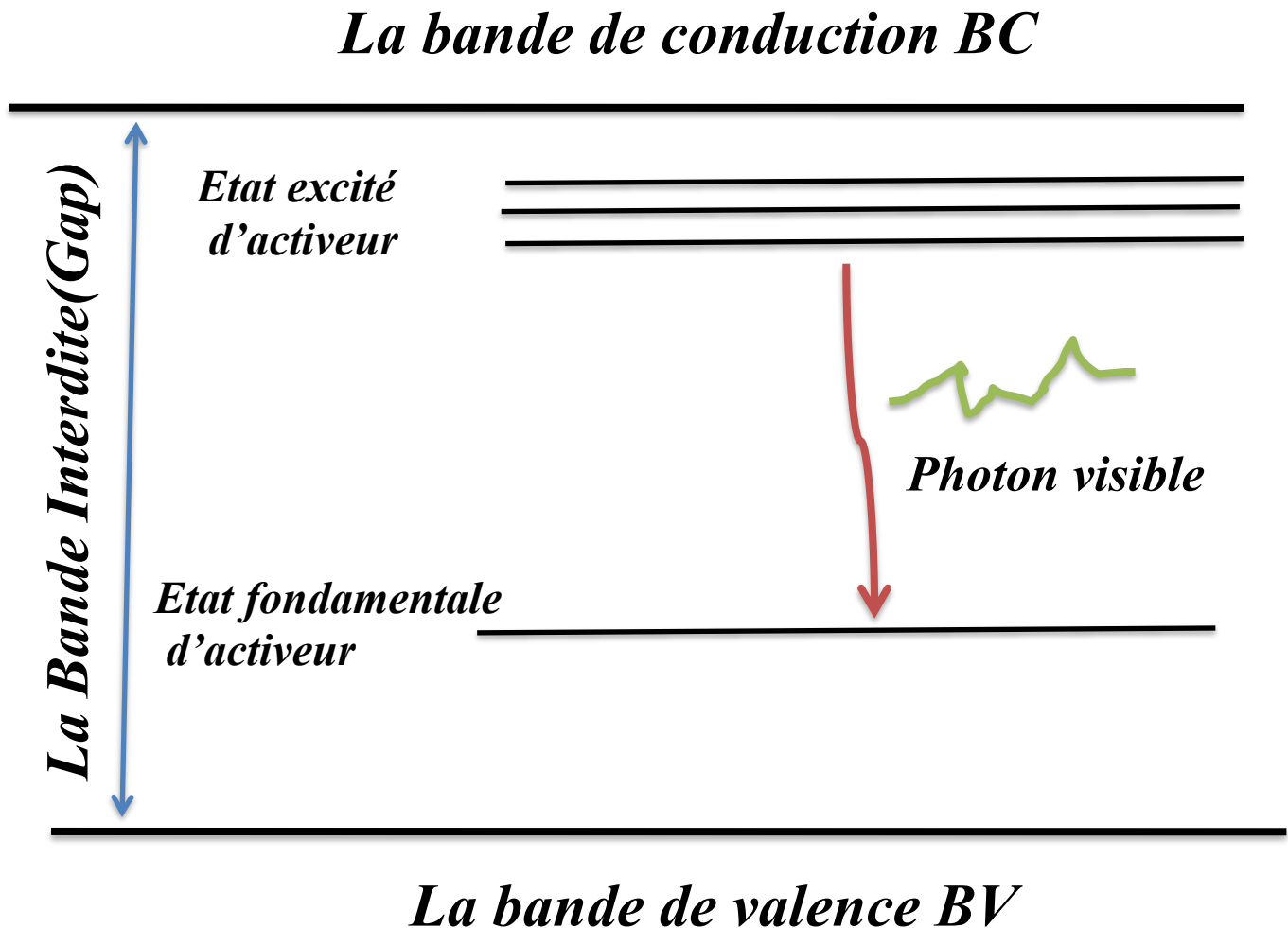


Figure 4.1 : explique le mécanisme d'apparition du photon visible dans le matériau scintillateur

La durée de vie d'un état excité est de l'ordre de 10^{-7} secondes. Le temps de la désexcitation ou la scintillation du cristal reste de l'ordre du 10^{-7} , car l'excitation de toutes les impuretés se fait au même temps.

Lors de son passage à travers le milieu détecteur, la particule chargée forme un grand nombre de paires (électron-trou) qui causent le transport des électrons de la bande de valence vers la bande de conduction puisque. *L'énergie d'ionisation d'un activateur est plus petite* que celle d'un autre site du cristal par suite le trou va directement l'ioniser. Dans ce temps-là, l'électron libre dans le cristal rencontre une impureté ionisée et qui peut se trouver dans un état d'énergie excité.

Nous pouvons avoir *une fluorescence* (une lumière rapide instantanée, avec une durée de vie de 10^{-7} secondes, s'il y aura une transition vers l'état fondamentale.

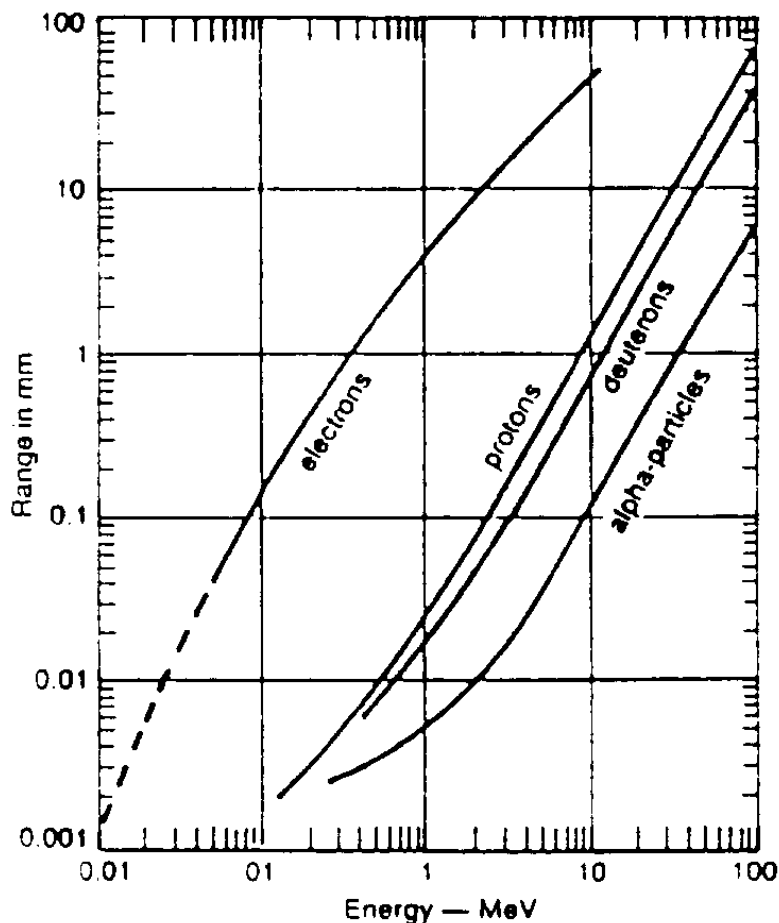
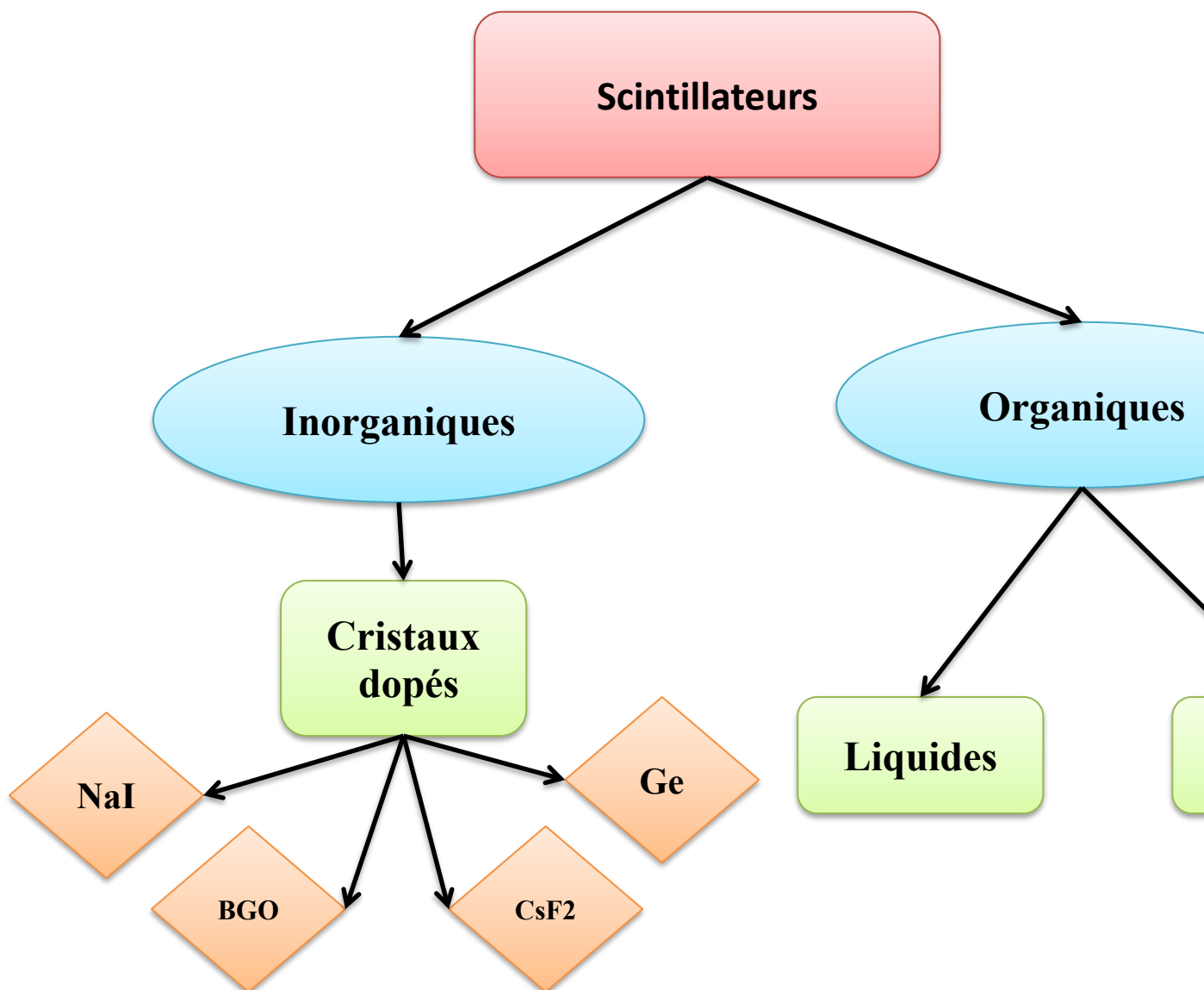


Figure 4.2 : Représente le parcours des particules chargées dans un plastique scintillant

Lors de son passage à travers le milieu détecteur, la particule chargée forme un grand nombre de paires électrons-trous qui causent le transport des électrons de la BV vers la BC. Puisque l'énergie d'ionisation d'un activateur est plus petite que celle d'un autre site pur du

cristal, le trou va directement l'ioniser. Dans ce temps-là, l'électron libre dans le cristal rencontre une impureté neutre ionisée et qui peut se trouver dans un état d'énergie excité. Nous pouvons avoir une fluorescence (une lumière rapide= instantanée, avec une durée de vie de 10^{-7} secondes) s'il y aura une transition vers l'état fondamental. Mais la transition vers l'état fondamental qui nous permet d'avoir une phosphorescence (lumière un peu plus tard que la fluorescence) n'est pas toujours autorisée.



- ✓ NaI (l'iodure de sodium) est dopé en thallium $NaI(Tl)$; c'est un cristal scintillateur très utilisé dans *la détection des rayonnements électromagnétiques gamma*.
- ✓ Les cristaux BGO : $Bi_4 Ge_3 O_{12}$

- ✓ Les scintillateurs organiques ont un temps de réponse plus court que les scintillateurs inorganiques.

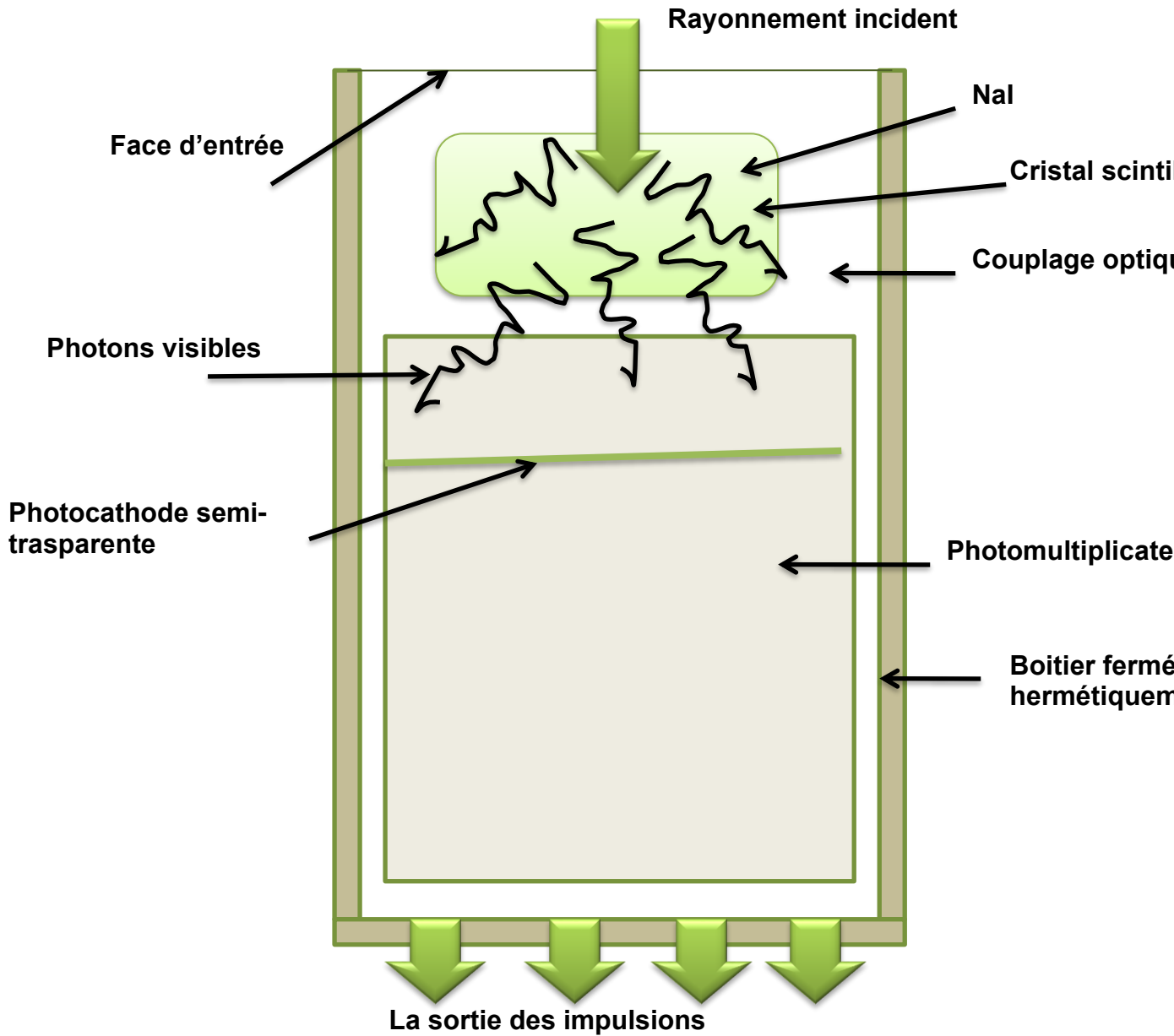


Figure 4.3: Représente schéma simplifié d'un scintillateur.



Schéma simplifié d'un détecteur à scintillation

Remarque : on utilise le guide de lumière pour adaptation géométrique et transportation de lumière.

IV.1 Un photomultiplicateur: c'est l'œil électronique qui permet *de convertir les photons en électrons* lorsqu'ils touchent la photocathode. Et donc ces électrons générés sur la photocathode sont *accélérés et focalisés* sur la première dynode qui *multiplie le nombre des électrons* et ainsi de suite avec le reste des dynodes.

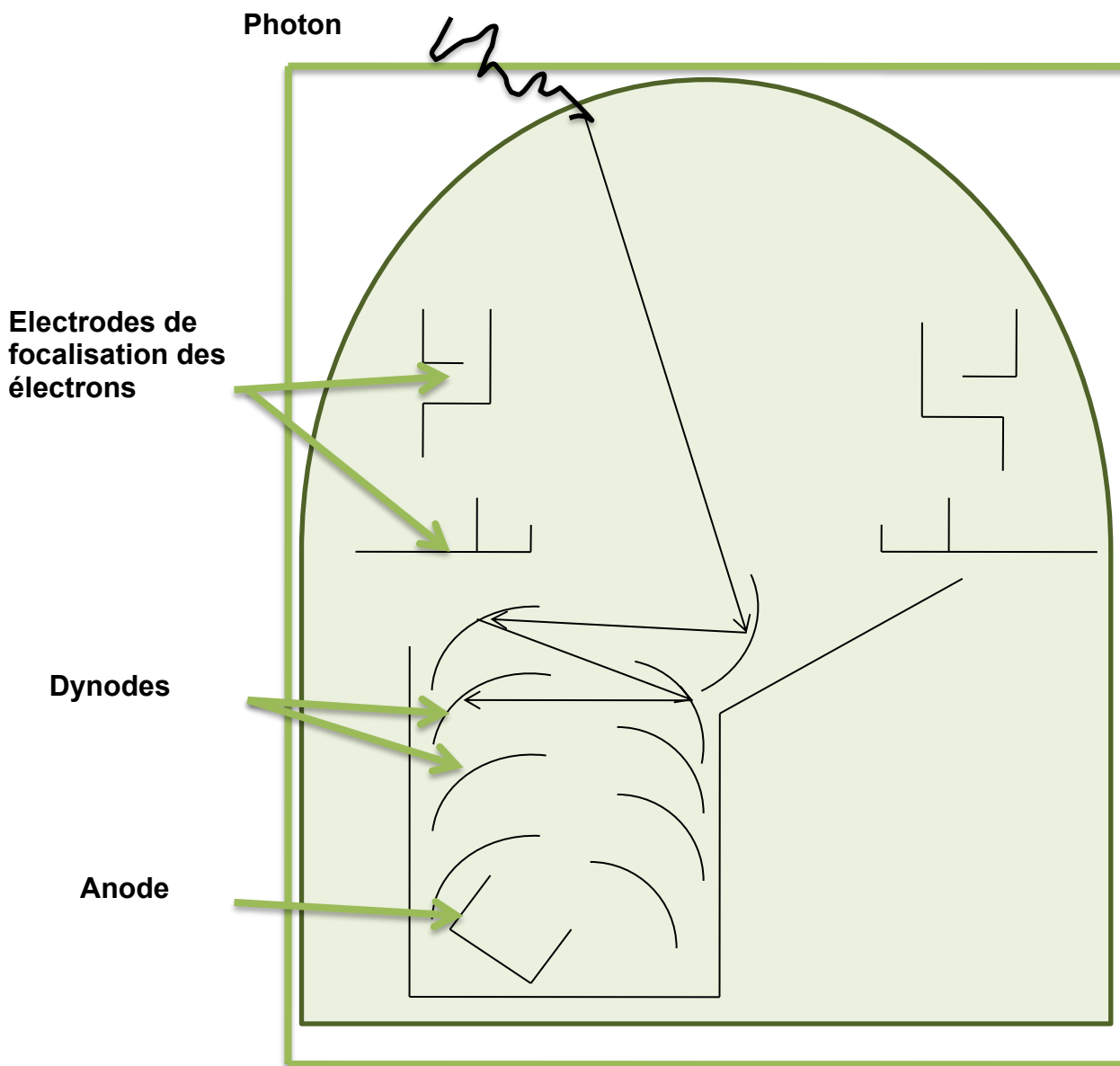


Figure 4.4: Schéma explicatif du fonctionnement et de composants d'un photomultiplicateur.

La photocathode : est une couche sensible aux photons. Elle émet par effet photo-électrique des photoélectrons. Ces derniers sont accélérés et focalisés sur la première dynode, **en arrachant 2 à 5 électrons par photoélectrons**.

La dynode : est un métal porté à un potentiel très élevé (10V, 30 V,...) à chaque étape elle reste accélérée pour pouvoir faire la multiplication des électrons. Il y'a entre *10 à 14 dynodes* dans un photomultiplicateur afin de pouvoir **obtenir 10^{17} fois le signal initial** (amplification).

IV.2 Les principaux types de compteurs à scintillation :

- ✓ Compteurs corps entiers
- ✓ Scintigraphie à balayage
- ✓ Gamma caméra
- ✓ Tommo gamma caméra

VI.3 Quelques priorités des détecteurs à scintillation :

- ✓ Les scintillateurs sont très rapides, tel que le temps mort t_0 il est de l'ordre de quelques nanosecondes. Ils sont plus rapides que les détecteurs à ionisation. Grace à cette priorité, il est utilisé comme déclencheur.
- ✓ L'efficacité (la sensibilité) représente l'énergie nécessaire à créer un photon : Pour NaI(Tl) il faut 25 eV et pour le plastique 100 eV.
- ✓ Une bonne linéarité de réponse

Chapitre V: Les détecteurs à semi-conducteurs (les détecteurs solides) :

Pourquoi utilise-t-on un matériau semi-conducteur pour la fabrication d'un détecteur solide au lieu d'un isolant ou un conducteur ?

L'isolant par sa nature empêche le passage du courant et le conducteur a un signal de conduction (les électrons libres) plus grand que le signal de la détection (on peut pas le distinguer). Par suite le matériau semi-conducteur est un élément préférable pour les détecteurs qui sont fabriqués d'un seul ou d'un couple d'éléments et qui forment un matériau cristallin. Ils ont un gap (la bande interdite) de 1 à 5 eV. Le silicium (Si) et le germanium

(Ge) sont les deux semi-conducteurs les plus utilisés et commercialisés pour la détection. Mais il y'a d'autres matériaux qui sont utilisés dans des applications spéciales et d'autres encore en étude afin de développer leurs performances dans la détection de certaines particules ou rayonnements.

Exemples : Si, Ge, CdTe, GaAs, CdZnTe,...

La probabilité d'interaction d'un photon dans la matière va dépendre de la nature du matériau stoppant (nombre d'électron et la charge du noyau) et elle dépend de l'énergie du photon incident donc l'interaction photon-matière se fera préférentiellement par effet photoélectrique, diffusion Compton ou encore par création de paires

Un rayonnement est l'émission d'énergie à partir d'une source. Cette énergie peut être portée par des particules chargées (électrons, protons, particules alpha...), par des particules non chargées (neutrons), ou par des photons (X, gamma). Ce rayonnement a deux sortes de propagation soit rectiligne dans le vide sans perte d'énergie ou atténuée (perte d'énergie) dans la matière après qu'elle transfère une partie de son énergie. Il ya deux sortes de rayonnements:

Rayonnement directement ionisant: La particule éjecte les électrons constitue le rayonnement incident (particules chargées).

Rayonnement indirectement ionisant: Le rayonnement primaire constitué de particules neutres (photons, neutrons) produit un rayonnement secondaire de particules chargées (électrons, protons) qui sont ionisantes.

Tableau 5.1: Représente l'épaisseur du matériau semi-conducteur nécessaire pour absorber 90% d'un rayonnement ionisant :

E(KeV)	Si	Ge	CdTe	HgI₂
5	60 μm	25 μm	6 μm	6 μm
50	40 mm	1.5 mm	0.5 mm	0.5 mm
100	80 mm	10 mm	2.5 mm	1 mm
200	120 mm	40 mm	25 mm	10 mm

L'importance relative de ces effets dépend de l'énergie du rayonnement et du numéro atomique du matériau. L'absorption par interaction photoélectrique prédomine en dessous de quelques dizaines à quelques centaines de keV, selon les matériaux. Pour une énergie donnée, la part de l'absorption par effet Compton est d'autant plus faible que le numéro atomique moyen de l'absorbeur est élevé. Elle ne devient comparable à l'absorption photoélectrique qu'aux environs de 50 KeV pour le silicium et 500 KeV pour l'iodure mercurique, par exemple. La création de paires ne se produit que pour des énergies supérieures à deux fois la masse de l'électron au repos (1.022 MeV). A une profondeur x , le flux de photons $I(x)$ résultant de la pénétration d'un rayonnement de flux initial I_0 dans un solide possédant un coefficient d'atténuation linéaire μ vaut:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \dots \dots \dots (5.1)$$

Le Tableau IV.1 indique pour quelques semi-conducteurs l'épaisseur nécessaire pour absorber 90% d'un rayonnement incident d'énergie donnée. L'absorption de l'énergie E_0 d'un rayonnement dans un semi-conducteur se traduit par la création d'un nombre N_0 de paires électron-trou, qui dépend de l'énergie du rayonnement incident et du matériau. Elle est donnée par la loi suivante:

$$N_0 = \frac{E_0}{w} \dots \dots \dots (5.2)$$

Telle que w est l'énergie nécessaire pour la création d'une paire qui est liée à la largeur de la bande interdite E_g du semi-conducteur.

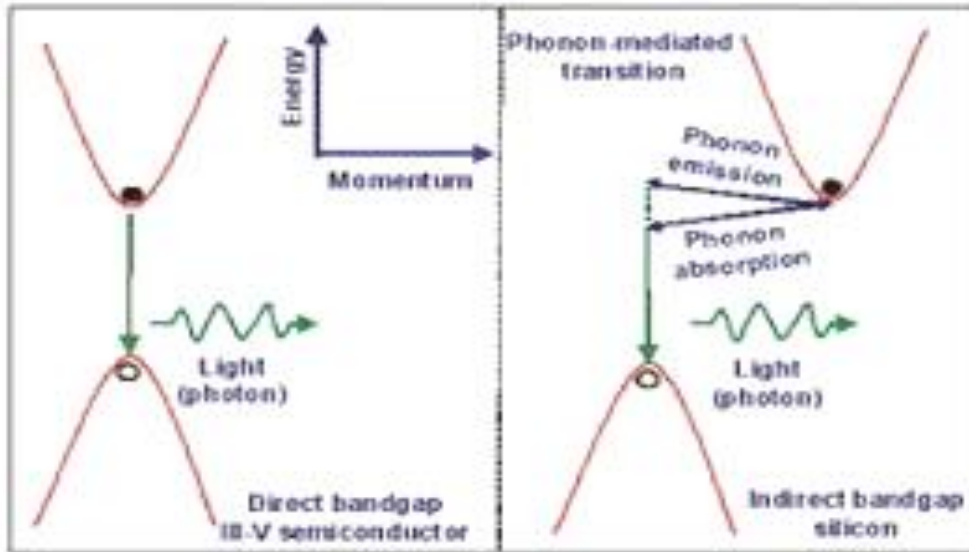


Figure 5.1: Représente les directions de la bande interdite.

V.1 Coefficient d'absorption et sensibilité des détecteurs :

Le phénomène important qui détermine le rendement d'une photodiode est l'absorption du matériau semi-conducteur, caractérisé par le coefficient d'absorption α , qui est défini par unité de longueur habituellement en cm^{-1} . La puissance absorbée dans le matériau sur une tranche comprise entre z et $z+dz$ en fonction de la profondeur z sera fonction de coefficient de ce coefficient: Où P_{inc} est la puissance incidente arrivant sur la surface du détecteur. La puissance totale absorbée sera l'intégrale de toutes ces puissances.

Afin d'obtenir une détection efficace il faut une épaisseur d'absorption $z=w$ suffisante au moins supérieure d'absorption à la longueur $L_a=\alpha^{-1}$.

Le coefficient d'absorption dépend de la longueur d'onde λ et donc aussi de l'énergie de gap E_g dans le semi-conducteur. Si l'énergie du photon $h\nu$ est supérieure à E_g il y'a absorption. Pour une détection il faut donc que la longueur d'onde soit inférieure à la longueur d'onde de coupure λ_c . Si l'on exprime les énergies en électronvolt (eV), avec $1\text{eV}=1.602 \cdot 10^{-19}$ J, une relation utile pour la longueur d'onde de coupure est :

$$\lambda_c(\mu\text{m}) = \frac{1.24}{E_g(\text{eV})} \dots \dots \dots (5.3)$$

On peut distinguer plusieurs zones dans la variation de l'absorption en fonction de la longueur d'onde.

- ✓ Une zone d'absorption pour $\lambda < \lambda_c$ où l'on peut considérer en première approximation α constant.
- ✓ Une zone de transparence pour $\lambda > \lambda_c$.
- ✓ Une zone où α devient très grand pour des longueurs d'onde petites et où pratiquement toute l'absorption se fait à la surface avec un temps de recombinaison et très court.

IV.2 La jonction PN et la zone de déplétion :

C'est quand deux semi-conducteurs de type différents (l'un de type P et l'autre de type N) sont juxtaposés, on obtient une jonction PN. Dans le côté N, les électrons sont majoritaires avec une présence d'une concentration de trous mineures. Dans le côté P, les trous sont majoritaires et c'est les électrons qui sont minoritaires.

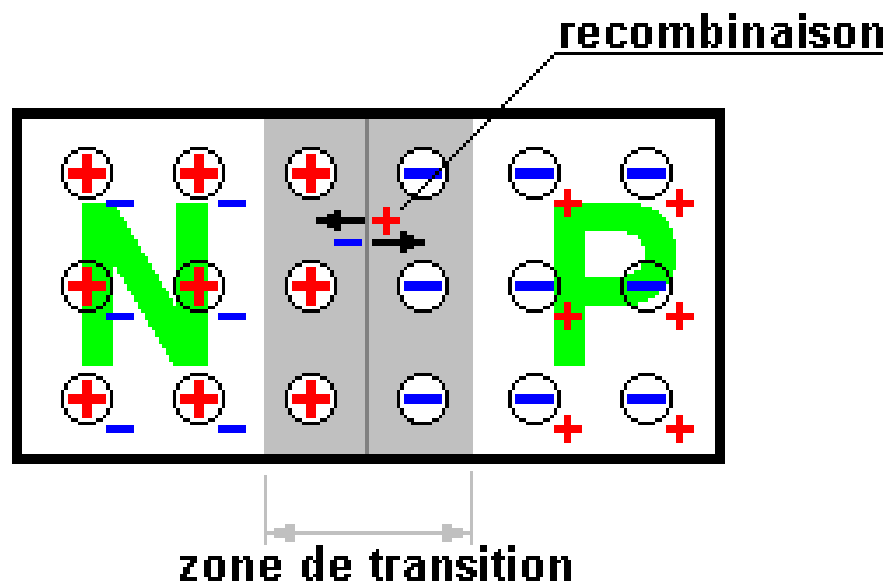


Figure 5.2: Représente un schéma explicatif de la diode PN

Il existe un gradient de concentration des électrons et des trous ce qui va permettre la diffusion des électrons de la zone N vers la zone P.

- ✓ Les électrons ont tendance à diffuser de la partie la plus concentrée vers la partie la moins concentrée.

- ✓ Avec le premier déplacement, les électrons du N vers P, il y aura un champ électrique intérieur.
- ✓ Quand l'électron entre dans la région P, il devient porteur minoritaire alors sa durée de vie est très courte car il se recombine rapidement avec un trou ce qu'on appelle phénomène de recombinaison et l'électron devient un électron piégé dans un trou.
- ✓ En traversant la jonction, les électrons créent une paire d'ion au niveau de la jonction PN et forme un dipôle. Au fur et à mesure, le nombre des dipôles s'accroît, la zone qui entoure la jonction PN se vide de charges mobiles. Autrement dit, le champ électrique intérieur augmente jusqu'à ce qu'il ne laisse passer aucun ion. Alors il n'y a plus de gradient au niveau de la jonction PN.
- ✓ On obtient un équilibre qui représente la zone de charge d'espace ou appelée aussi la zone de déplétion.
- ✓ Les porteurs minoritaires tels que les électrons dans la région P vont diminuer l'intensité du champ et permettre à quelques porteurs majoritaires de diffuser à travers la jonction. Sachant que la structure de base d'un détecteur à semi-conducteur est une jonction PN inversement polarisée (polarisation indirecte) donc le champ électrique bloque d'avantage le passage des électrons de la région P vers la région N.

V.3 Les matériaux semi-conducteurs utilisés en détection :

Parmi les matériaux semi-conducteurs utilisés dans la fabrication d'un détecteur de rayonnement, nous citons le silicium (Si) et le germanium (Ge). Le silicium est très utilisé surtout dans les applications à température ambiante. Ces deux semi-conducteurs représentent une large utilisation dans les différents domaines et une bonne commercialisation. Ces deux semi-conducteurs représentent les matériaux de la 4^{ème} colonne. Depuis quelques dernières années, l'intérêt est porté au tellure de cadmium (CdTe) et le tellure de zinc de cadmium (CdZnTe). Le tellure est de la sixième colonne et le cadmium est de la deuxième colonne. Ils ont une très bonne résistivité et un gap de l'ordre de 1.5 eV à 1.6 eV.

V.4 Quelques caractéristiques des détecteurs à semi-conducteurs :

Parmi les forts points qui caractérisent les détecteurs solides et les rendent les plus puissants et demandés dans les applications les plus complexes sont les suivants :

V.4.1 L'efficacité : Elle dépend de la géométrie, la densité, le numéro atomique et de la pureté du matériau utilisé ainsi que le type et l'énergie du rayonnement incident. La nature solide du matériau utilisé qui est relativement dense donne une géométrie égale.

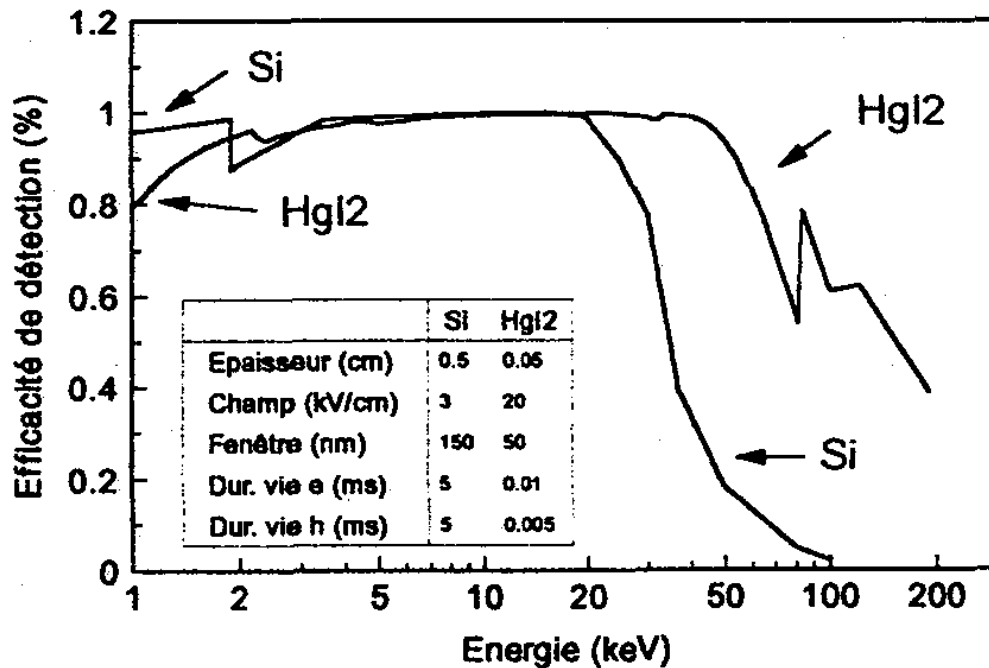


Figure 5.3: Représente l'efficacité de détection des deux détecteurs Si et Hgl2 à basse énergie.

V.4.2 La résolution en énergie : quelques électrons volts suffisent pour créer une paire (électron-trou) dans un matériau semi-conducteur ce qui est 10 fois moins que le gaz et 100 fois moins qu'un matériau scintillateur. Cela se traduit par une très bonne résolution en énergie puisque la statistique sur le nombre de charges élémentaires créés est plus favorable. Par suite, l'avantage fondamental de la résolution en énergie pour ce type de détecteurs est attribué à une faible quantité de l'énergie requise pour produire une charge transportée relativement à d'autres types de détecteurs avec une même énergie du photon. Le germanium ou le silicium (éventuellement compensés au lithium), employés de longue date, fournissent à l'heure actuelle les meilleurs résultats en spectrométrie (résolution en énergie proche de 100 eV à 6 KeV), mais doivent être refroidis aux environs de 77K. Deux voies sont ouvertes pour réduire cette contrainte et permettre un fonctionnement à température ambiante tout en maintenant des performances équivalentes: l'utilisation pour le silicium des techniques issues

de la micro-électronique d'une part, la mise en œuvre de matériaux à large bande interdite, tels que le tellure de cadmium CdTe ou l'iodure mercurique HgI₂, d'autre part.

V.4.3 La linéarité : Les détecteurs à semi-conducteurs ont une bonne linéarité puisque le seuil de la perte d'énergie reste très faible.

V.4.4 Le courant de fuite : la jonction dans le détecteur à semi-conducteur est inversement polarisée donc il existe un courant très faible de l'ordre du nano ampère à travers cette jonction. Ce courant de fuite vient des mouvements de porteurs de charges, des effets des impuretés et les effets de surface.

V.4.5 Le temps de montée : Le temps de montée est égal au temps de transit des porteurs qui peut aller de la nanoseconde à la microseconde. Cela dépend de la géométrie du détecteur utilisé et l'intensité du champ électrique.

V.5 Rendement et sensibilité: Le rendement quantique η_Q est donné par le rapport du nombre d'électrons photo-crées par rapport aux photons incidents. Les détecteurs optoélectroniques couvrent aujourd'hui un grand domaine d'applications, comme les transmissions par fibre optique, les systèmes de prise de vue, la détection infrarouge ou les panneaux solaires.

Plusieurs matériaux spécifiques, ont été développés pour leur réalisation. Les performances des détecteurs à semi-conducteurs ils sont grands, en effet ils peuvent détecter jusqu'aux quelques photons seulement avec des rendements proches de 100%. Ceci a permis le développement des transmissions optiques à très longue distance.

Une autre propriété intéressante se situe au niveau de l'étendue spectrale du rayonnement optique détectée. On trouve actuellement des détecteurs à semi-conducteurs travaillant de l'ultraviolet proche autour de $\lambda=100$ nm, jusqu'à l'infrarouge lointain autour de $\lambda=100$ μ m, couvrant donc trois ordres de grandeur en longueur d'onde.

Les matériaux utilisés sont nombreux. Le silicium (Si) est utilisé dans le domaine visible $450\text{nm} < \lambda < 750\text{nm}$, et le proche infrarouge jusqu'à 1 μ m. Le germanium (Ge) est utilisé dans le proche infrarouge, $900\text{nm} < \lambda < 1700$ nm.

Les transmissions par fibre optique, dans l'infrarouge proche, utilisent trois fenêtres de transmission, dans la première fenêtre à $\lambda_1=850$ nm on dispose de photodiodes en Si, et dans

la deuxième, à $\lambda_2 = 1300\text{nm}$, et la troisième, à $\lambda_4 = 1550\text{nm}$, en InGaAs et en Ge. On utilise surtout InGaAs qui présente moins de bruit que Ge.

Dans les applications infrarouges dans l'imagerie infrarouge ou la détection thermique, on dispose de photoconducteur ou de photodiodes constituées de matériaux spécifiques. L'alliage HgCdTe est très utilisé dans l'infrarouge moyen et lointain.

Une structure de composant simple et le photoconducteur qui fonctionne sur le principe d'un changement de conductivité dans le matériau semi-conducteur, en fonction du rayonnement incident. Ce composant est largement utilisé en détection thermique infrarouge.

Les photodiodes sont les éléments les plus sensibles et les plus rapides, elles peuvent être utilisées en mode photoconducteur, par une jonction polarisée en inverse, par exemple dans les transmissions ou en mode photovoltaïque, à l'aide d'une jonction non polarisée, par exemple dans les cellules solaires.

V.6 Le domaine d'application des détecteurs à semi-conducteurs:

La physique médicale : c'est très demandée en radiothérapie et en imagerie médicale.

Exemples: les détecteurs en Si et en CdTe dans les micros CT+PET. Aussi les détecteurs en CdTe pour le diagnostic du cancer du sein.

L'industrie nucléaire et la radioprotection : utilisé dans le domaine militaire et le nucléaire civil.

Exemples:

- Les détecteurs CdTe pour la surveillance de la matière dangereuse.
- Le contrôle non destructif
- Le diagnostic dans les aéroports contre les incidents nucléaires.

La science : en physique des particules, la spectrométrie de fluorescence X, et la cristallographie.

VI. Questions :

1/ La région de décharge dans un détecteur à gaz s'entraîne :

- S'il y'a saturation de gaz rempli
- Si la tension est suffisamment haute
- Si les électrons ne sont pas accélérés par un champ électrique
- Si le champ appliqué est au-delà de la région Geiger Müller

2/ L'Iodure de Sodium (NaI) : est

- Un gaz rare
- Un scintillateur transparent
- Un semi-conducteur binaire

3/ L'utilisation d'un guide de lumière :

- Se trouve avant le scintillateur
- Transportation de la lumière vers le matériau scintillateur
- Adaptation géométrique vers le photomultiplicateur
- Amplification du signal

4/ Dans le photomultiplicateur :

- Electron + effet
- Amplification du signal
- Conversion en lumière

5/ Le rôle de la dynode dans un PM :

- Multiplier le nombre des électrons
- Créer les électrons -trous
- Changer la direction du signal

6/ Au niveau de la photocathode, on a l'apparition de :

- L'effet photo-électrique
- L'effet Compton
- L'effet production de paires
- Photo-multiplication

7/ Quel est le détecteur recommandé à utiliser dans les appareils de médecine nucléaire :

-

- Les détecteurs à gaz
- Les détecteurs à scintillations
 - Les détecteurs solides
 - Les détecteurs à semi-conducteurs

8/ Dans la jonction PN :

- Dans le côté N, les électrons sont majoritaires et les trous sont minoritaires
- Dans le côté N, les électrons sont minoritaires et les trous sont majoritaires
- Dans le côté N, il y'a que des électrons
- Dans le côté N, le nombre des électrons est égal au nombre des trous

9/ Pourquoi on n'utilise pas un matériau conducteur en détection :

- Il rend le signal plus faible à cause de son énergie
- Il empêche la détection à cause des électrons libres
- Il ne laisse passer aucun électron

10/ la résolution en énergie d'un détecteur à semi-conducteur est meilleur par apport aux autres détecteurs, cela revient :

- A l'énergie de la bande interdite
- Au nombre des électrons-trous créés
- A l'énergie suffisante pour la création d'une paire
- A la nature du matériau constituant le détecteur

11/ Dans une chambre d'ionisation, si le champ électrique n'est pas suffisant, il y aura :

- Une transition de l'électron de la bande de valence vers la bande de conduction
- Création des charges positives plus que les charges négatives
- Recombinaison des charges
- Amplification d'un signal très faible

12/ Le changement de régime de détection dans les détecteurs à gaz se change par apport :

- Aux types des gaz utilisés
- La nature du rayonnement détecté
- A l'énergie appliquée entre les deux électrodes

13/ La zone de déplétion qui est la zone active d'un détecteur est :

- Une jonction polarisée en inverse
- Une bande interdite de l'ordre de quelques eV (entre 1 à 5 eV)
- Des impuretés (activeurs)

14/ Le détecteur Geiger Müller :

- Est un détecteur à scintillation

- Ne permet pas la détection des rayons gamma
- Demande une tension plus élevée qu'un compteur proportionnel
- Ne peut pas détecter une source radioactive

15/ Parmi ces détecteurs, lequel (ou lesquels) est (ou sont) utilisé (és) pour une simple détection :

- Une chambre d'ionisation
- Un détecteur à semi-conducteur
- Un compteur proportionnel
- Un détecteur à scintillation
- Un Geiger Müller

16/ L'interaction des rayons gamma avec la matière :

- Provoque une excitation dans les électrons des couches externes
- Provoque une excitation dans les électrons des couches internes
- Provoque une perturbation électronique seulement
- Provoque une transformation dans les noyaux

17/ Côté la bonne réponse :

$L'efficacité\ quantique\ d'une\ photocathode = \frac{\text{Nombre de photo-électrons produits}}{\text{Nombre de photons incidents}}$

$L'efficacité\ quantique\ d'une\ photocathode = \frac{\text{Nombre de photo-électrons produits}}{\text{Nombre de paires créées}}$

18/ Côté la bonne réponse :

$le\ facteur\ multiplicateur\ d'une\ dynode = \frac{\text{Nombre d'électrons incidents}}{\text{Nombre de paires créées}}$

$le\ facteur\ multiplicateur\ d'une\ dynode = \frac{\text{Nombre d'électrons secondaires émis}}{\text{Nombre d'électrons primaires incidents}}$

18/ quel est le principal point de différence entre les trois détecteurs à gaz ?

19/ que signifie le temps mort en détection t_0 ?

20/ Pourquoi on utilise un amplificateur juste après un détecteur ?

21/ Dessiner la chaîne de détection en précisant le nom de chaque élément de la chaîne ?

22/ Pourquoi Rajoute-t-on des puretés au matériau scintillateur ?

23/ Quel est le rôle principale du collimateur ?

Références:

Arrond. Y. 'Interactions et détecteurs'. Cours de master 1 ITDD. LPSC Grenoble. 2008-2009.

Toffano. Z. 'Optoélectronique – Composants photoniques et fibres optiques'. Chapitre 6, page 203. Supélec. 2001.

Tsoufanidis. N. 'Measurement and detection of radiation'. Second edition. University of Missouri-Rolla. Edition Taylor & Francis (second edition); 1995; Washington; USA.

Ponpon. J.P et Siffert. P. 'Détecteurs de rayons X à semi-conducteurs. Evolutions récentes'. Colloque C4, supplément du journal de Physique III, volume 6 ; Juillet 1996.

Bourgeois. Ch. 'Des Processus de Base aux détecteurs scintillateurs et semi-conducteurs'. Ecole Internationale Joliot-Curie de Physique Nucléaire Maubuisson. Septembre 1994. IPN Orsay et Université Paris VII.