

Interaction des rayonnements ionisants avec la matière

Un rayonnement ionisant est un rayonnement dont l'énergie est suffisante pour arracher un ou plusieurs électrons à la matière (atomes, molécules, ions) qu'il rencontre sur son passage.

Les rayonnements ionisants sont principalement constitués

- soit par des particules chargées (électrons, protons, deutons, ...) appelées aussi rayonnements directement ionisants.
- soit par des photons (X et γ) ou des particules neutres (neutrons) appelés rayonnements indirectement ionisants.

Ces rayonnements ionisants ont en commun la propriété de provoquer des ionisations dans les milieux matériels où ils pénètrent, c'est-à-dire l'éjection d'un ou plusieurs électrons de l'édifice atomique ou moléculaire rencontré [2]. Les ionisations sont à l'origine des effets utilisés pour la détection des rayonnements (compteurs de particules, dosimètres, ...). En effet, l'interaction entre un rayonnement et la matière se traduit par un transfert d'énergie. De plus, une interaction est nécessaire pour détecter un rayonnement.

I.1. Interaction des particules chargée avec la matière :

Lorsqu'une particule chargée pénètre dans la matière, elle interagit essentiellement avec les électrons périphériques des atomes. Les interactions faisant appel aux forces nucléaires, pouvant conduire à des modifications de la structure du noyau, sont peu probables; il faudrait pour cela que la particule incidente ait une énergie suffisante pour passer au travers du cortège électronique et du champ électrique engendré par le noyau. Bien que l'énergie transmise à un électron périphérique lors de l'interaction soit généralement faible, elle suffit pour placer l'électron sur un niveau d'énergie supérieur: il y a **excitation** de l'atome, voire **ionisation** de celui-ci. La particule incidente peut également perdre de l'énergie par émission d'un rayonnement électromagnétique. A chaque interaction, l'énergie de la particule diminue et celle-ci est peu à peu ralentie [3].

I.1.1. Interaction des électrons avec la matière :

Les électrons sont des particules légères porteuses d'une charge électrique élémentaire, négative pour les « négatons » et positive pour les « positons » [2].

Un électron traversant un milieu matériel perd de l'énergie par "**Collisions**", c'est-à-dire interactions coulombiennes avec les électrons des atomes du milieu traversé, ce qui conduit à

l'ionisation ou à l'excitation de ces atomes, deux cas de figure peuvent se présenter : les électrons agissent soit avec les électrons des atomes constituant le milieu, soit avec leur noyau [4].

- Dans le cas d'une interaction « électron-électron », il se produit un phénomène d'ionisation et / ou phénomène l'excitation ;
- dans le cas d'une interaction « électron-noyau », on parlera de rayonnements de freinage.

- **Phénomène d'excitation et d'ionisation:**

Ces interactions sont les plus probables. L'électron incident transfère une partie de son énergie cinétique à l'électron atomique ; selon la valeur de la quantité d'énergie transférée, l'une ou l'autre de ces réactions aura lieu [5] :

Notons ΔE l'énergie cinétique de l'électron incident et WL l'énergie de liaison de l'électron de l'atome cible.

Selon que ΔE est suffisante ou non pour éjecter l'électron de son orbite, deux phénomènes peuvent se produire [2] :

- Si $\Delta E \geq WL$: l' e^- de la cible est éjecté de son orbite avec une énergie cinétique ($\Delta E - WL$), et il se produit une **ionisation** de l'atome cible. L'électron éjecté, dit électron secondaire, peut à son tour créer d'autres ionisations si son énergie cinétique est suffisante.

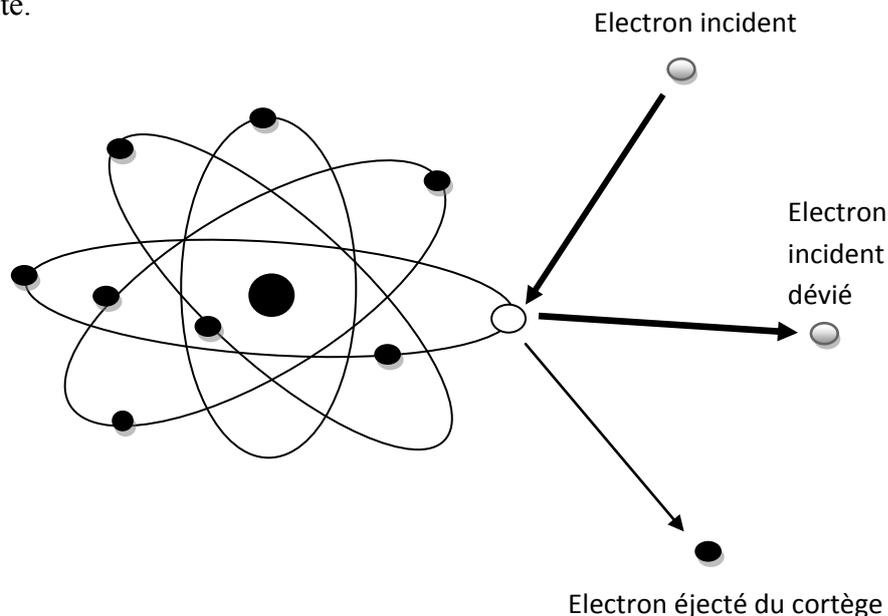


Figure 1 Phénomène d'ionisation.

- Si $\Delta E < WL$: le transfert d'énergie ΔE ne peut produire aucune ionisation mais, peut porter l'électron cible à un niveau énergétique supérieur, avec **excitation** de l'atome cible.

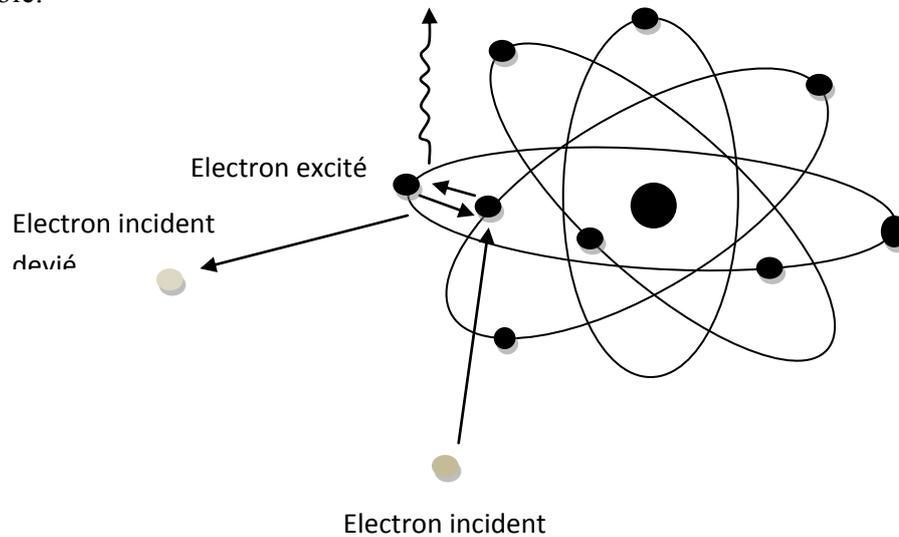


Figure 2 Phénomène d'excitation.

- **Rayonnement de freinage :**

Plus rarement, les électrons incidents peuvent interagir avec les noyaux des atomes de la substance traversée. Ils subissent l'influence du champ coulombien du noyau : ils sont alors déviés et cèdent une partie de leur énergie au noyau.

Cela se manifeste par un ralentissement ou freinage. L'énergie perdue est émise sous la forme de rayonnements X, dits de «*freinage*».

Dans la littérature, on emploie aussi le terme de «*Bremsstrahlung*» («*rayonnement de freinage*», en allemand).

Ce phénomène n'est important que dans le cas d'électrons de forte énergie (supérieure à 1MeV) traversant une matière constituée d'atomes lourds (numéro atomique Z élevé) [5].

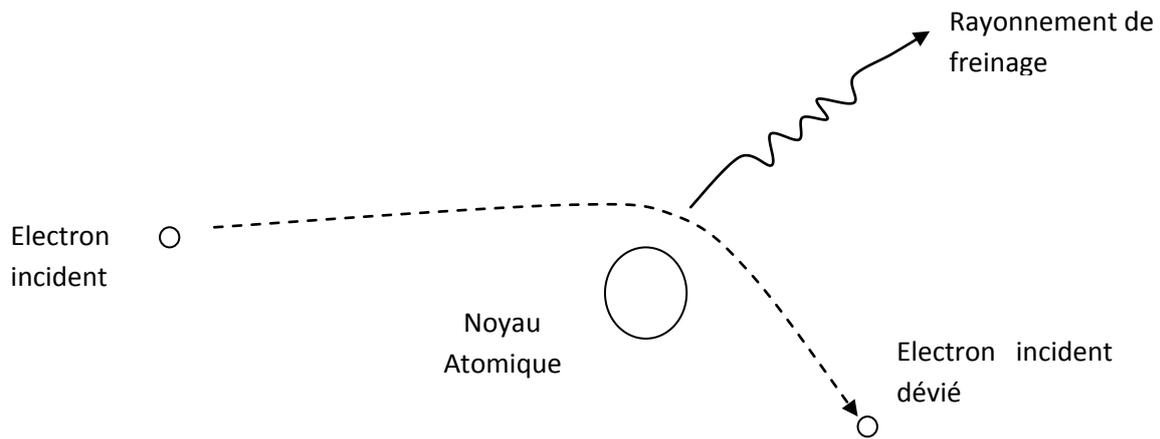


Figure 3 : Phénomène de freinage

I.1.2. Interaction des particules chargées lourdes avec la matière

Les particules chargées lourdes sont tout simplement l'ensemble de toutes les particules chargées, à l'exception des électrons (et positrons). On peut en citer quelques-unes, tel le proton, la particule alpha (noyau d'hélium) et les ions lourds. Le passage d'une particule chargée dans la matière a deux effets principaux qui sont la perte d'énergie par la particule et une déflexion de la trajectoire de la particule. Les processus qui gouvernent le freinage des particules chargées dans la matière sont extrêmement complexes. Nous nous bornerons à une approche simplifiée.

Quatre processus peuvent en principe entrer en ligne de compte pour freiner une particule chargée [6].

- a) Collisions élastiques avec les électrons atomiques de la matière.
- b) Collisions inélastiques avec les électrons atomiques de la matière.
- c) Collisions élastiques avec les noyaux de la matière.
- d) Collisions inélastiques avec les noyaux de la matière.

L'effet b) est le processus principal responsable de la perte d'énergie des particules chargées lourdes. Dans ce type de collisions, l'énergie est transférée de la particule à l'atome en créant une ionisation ou une excitation de la matière. La quantité d'énergie transférée lors de chaque collision est généralement une très faible portion de l'énergie cinétique totale de la particule incidente. Cependant le nombre de collisions par unité de libre parcours moyen est tellement grand que l'on peut observer une perte d'énergie substantielle même dans des matériaux de faibles épaisseurs.

L'effet c) est aussi assez fréquent. Cependant, une très faible quantité d'énergie est transférée dans ce type de collisions car la masse des noyaux de la matière est en général grande en comparaison avec la masse de la particule incidente [6].

I.2. Les type d'interactions et les particules élémentaires :

I.2.1. Les type d'interactions:

Toute force est causée par des interactions au niveau des particules élémentaires. Toute désintégration de particules est aussi causée par des interactions. L'interaction entre particules de matière se fait via l'échange de particules (ex. bosons de jauge) qui portent les quanta d'énergie-impulsion de quatre types d'interaction [7].

- Interaction faibles, responsables de l'instabilité ou la désintégration de toutes les particules sauf les particules élémentaires les moins massives appartenant à la même classe.
- Interactions électromagnétiques, responsables de forces électriques et magnétiques.
- Interactions fortes, responsables des forces entre quarks et gluons et des liaisons nucléaires.
- Interaction gravitationnelles responsables de forces entre n'importe quelle paire d'objets dues à leur énergie (incluant leur masse).

Tableaux 1 les particules d'échange

| Particules d'échange (interaction) | | |
|------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Electromagnétique | Photon (spin 1) | γ |
| Faible | 3 bosons faibles (spin 1) | Z^0, W^+, W^- |
| Forte | 8 gluons (spin 1) | G |
| Gravitationnelle | Graviton (spin 2) | $h_{\mu\nu}$ |
| | Boson de Higgs | H |

Ici nous ajoutons le Higgs aux quanta d'interactions bien qu'il n'en soit pas un à proprement parler. Comme nous le verrons plus loin cependant, celui-ci est lié au mécanisme qui donne une masse aux bosons d'interaction faible Z^0 , W^+ et W^- . Le graviton a pour le moment éludé toute tentative d'observation et n'existe que dans le cadre de théories quantiques de la gravitation où il est interprété comme une fluctuation quantique du champ gravitationnel classique. Cependant, aucune de ces théories n'est entièrement satisfaisante même si certaines sont prometteuses. Par ailleurs la découverte du **boson de Higgs** reste à confirmer. Dans le passé, on a estimé sa masse par des moyens indirects, mais ces estimations sont peu fiables et ont changé fréquemment notamment parce que les effets indirects du boson de Higgs sur les phénomènes physiques sont relativement fiables. De plus il existe plusieurs scénarios qui ne requièrent pas de boson de Higgs alors que d'autres modèles proposent plusieurs Higgs.

En juillet 2012, les groupes ATLAS et CMS présentaient leurs résultats mettant en évidence l'existence d'une particule scalaire compatible avec le Higgs. La confirmation qu'il s'agit bien du Higgs exige toutefois une vérification des propriétés de cette particule scalaire si ce n'est son existence même.

Ces particules sont de spin 1, sauf le Higgs et le graviton qui sont de spins 0 et 2 respectivement. Toutes les interactions sont donc la conséquence d'échange de bosons (particule de spin entier).

I.2.2. Les particules élémentaires :

La matière est composée de noyaux et d'électrons. Les particules peuvent être regroupées selon les interactions auxquelles elles participent.

Il y a deux classes de particules fondamentales: **fermions** et **bosons** classées selon leur quantité de mouvement angulaire. Les particules de matière comme les taus, les électrons et les quarks appartiennent tous à la famille des fermions. Par contre, les particules associées aux diverses forces qui agissent sur ces fermions sont des bosons, comme les photons et les bosons W et Z.

a) Les leptons et les quarks

- **Les leptons** : un lepton est une particule élémentaire de spin $\frac{1}{2}$ qui n'est pas sensible à l'interaction forte. La famille des leptons est constituée des électrons, des **muons**,

des **tauons**, des **neutrinos** respectifs et des **antiparticules** de toutes celles-ci. Le terme « lepton » provient du mot grec signifiant « léger » et se réfère à la faible masse du premier lepton découvert, l'électron, par rapport aux nucléons.

– **Les quarks** : les quarks sont les particules élémentaires qui forment la matière nucléaire.

1) Ils interagissent fortement (soumissent à l'interaction forte).

2) Ils portent des charges électriques fractionnaires.

3) Ils possèdent une charge faible et forment des doublets d'interactions faibles.

4) On leur associe aussi une charge colorée et ils forment des triplets d'interaction forte.

Les quarks apparaissent au moins en six saveurs : les quarks up, down, étrange, charmé, bottom et le quark top [7].

b) Confinement des quarks, les hadrons

On n'a jamais observé de quark à l'état libre et l'on pense qu'il faudrait pour cela une énergie infinie. On observe seulement des états liés de quarks et d'antiquarks, les **hadrons**. Il en existe deux sortes : les **baryons**, de spin demi entier, états liés de trois quarks, comme le proton et le neutron ; les **mésons**, de spin entier, états liés d'un quark et d'un antiquark. Les états liés de trois antiquarks sont les **antibaryons** [8].

On dit que les quarks sont confinés à l'intérieur des hadrons.

Lorsque les quarks sont créés par les collisions à très haute énergie, ils apparaissent sous forme de jets d'hadrons émis dans un cône étroite autour de la direction du quark.

Le seul hadron stable est le proton dont la durée de vie est 10^{31} années. Le neutron libre est instable mais est stable dans les noyaux par l'énergie de liaison. Les hadrons les plus importants du point de vue expérimental sont les états fondamentaux des systèmes de trois quarks (spin $\frac{1}{2}$) ou d'un quark et d'un antiquark (spin 0) dont la durée de vie est suffisamment longue pour qu'ils puissent être observés dans un détecteur. Les hadrons interagissent entre eux par des interactions fortes, résidus des interactions entre quarks.

I.3. Interaction des neutrons avec la matière :

Le neutron est une particule non chargée de masse voisine de celle du proton. Il est instable lorsqu'il n'est pas lié, avec une demi-vie de 12 minutes. Les neutrons sont généralement classés en fonction de leur énergie.

Les neutrons n'interagissent qu'avec les noyaux des atomes du matériau traverse en raison de leur charge nulle, Ces interactions se divisent en deux catégories : celles qui entraînent la disparition du neutron, que l'on nomme absorptions et celles qui ne contribuent qu'à diminuer l'énergie du neutron que l'on nomme diffusions.

Les neutrons rapides perdent leur énergie cinétique au cours de chocs avec les noyaux atomiques, transférant une partie de son énergie au noyau heurte. Le transfert d'énergie est faible lorsque le noyau cible à une masse élevée et cette interaction entraine seulement la diffusion du neutron.

Lorsque la masse du noyau est égale à celle du neutron on a un choc frontal et pour arrêter les neutrons on utilise des milieux riches en hydrogène (paraffine). Les neutrons thermiques, ayant leur énergie cinétique réduit à une valeur très faible, correspondant à l'énergie cinétique de l'agitation thermique, sont absorbés dans le milieu par capture nucléaire et il en résulte la production d'un isotope souvent radioactif.

Les applications principales des neutrons sont la production des radioéléments et l'analyse par activation, mais la présence de neutrons au voisinage des piles atomiques des accélérateurs soulève des problèmes de protection.

I.4. Grandeurs Caractéristiques de ces interactions :

Les interactions des particules chargées sont caractérisées par :

- **Ralentissement des particules et pouvoir d'arrêt**

On appelle pouvoir d'arrêt ou coefficient de ralentissement d'un matériau par une particule d'énergie E la perte d'énergie S subie par la particule dans le matériau par unité de longueur :

$$S = \frac{dE}{dl} \quad (1)$$

S s'exprime en MeV.cm^{-1} .

On peut séparer $S = S_c + S_r$ (2)

Avec S_c pouvoir d'arrêt par collision et S_r pouvoir d'arrêt par freinage.

- **Transfert Linéique d'Énergie (TEL)**

Les trois mécanismes décrits précédemment permettent aux électrons de transférer leur énergie à la matière traversée.

L'expérience montre que les faibles transferts d'énergie sont très favorisés ; les électrons doivent donc subir un très grand nombre d'interactions avant d'être stoppés.

Il en résulte que le ralentissement peut être considéré comme un phénomène progressif et continu qui peut être caractérisé par le transfert linéique d'énergie (TEL ou TLE).

On appelle transfert linéique d'énergie (TEL) la quantité d'énergie transférée au milieu cible par la particule incidente, par unité de longueur de trajectoire.

Le TEL s'exprime classiquement en keV/ μm ou keV.cm⁻¹.

Pour des particules de vitesse faible devant celle de la lumière, le TEL est donnée par la formule approchée :

$$TLE = K \frac{z^2}{v^2} nZ \quad (3)$$

Avec K une constante ; z la charge de la particule incidente ; v sa vitesse ; n : le nombre d'atomes de la cible/unité de volume et Z le numéro atomique de la cible.

I.5. Interactions des rayonnements électromagnétiques avec la matière :

De par leur absence de masse, les rayonnements électromagnétiques sont très pénétrants dans la matière. Cela veut donc dire que leurs interactions avec la matière ont un caractère « rare » ou « aléatoire » par rapport à celles des particules chargées que l'on qualifie souvent d'interactions « obligatoires ». De ce fait, leur parcours sera très important : de l'ordre de **plusieurs centaines de mètres dans l'air**.

Les rayonnements électromagnétiques sont également appelés « rayonnements indirectement ionisants ». En effet lors de leurs interactions, ils mettent en mouvement des électrons, lesquels vont ioniser la matière selon les phénomènes vus précédemment.

Dans la gamme d'énergie étudiée ici (de 0 a quelques MeV), nous nous limiterons aux trois processus d'interaction suivants entre les rayonnements électromagnétiques et la matière :

- L'effet photoélectrique ;
- L'effet Compton ;
- L'effet de production de paires.

I.5.1. Effet photoélectrique :

L'effet photoélectrique est le mode dominant d'interaction pour les photons de basse énergie (0.01 et 0.1 MeV) [9].

C'est un processus par lequel le photon incident, cède toute son énergie à un électron des couches profondes (couche K ou L), qui est alors éjecté de l'atome : il y a absorption totale du photon et ionisation de l'atome [10].

L'énergie cinétique de l'électron E_{cin} est égale à l'énergie du photon incident, moins l'énergie de liaison de l'électron qui a été éjecté :

$$E_{cin} = h\nu - |W_e| \quad (4)$$

Où W_e est l'énergie de liaison d'un électron atomique et $h\nu$ l'énergie initiale du photon Incident.

Comme les énergies de liaison sont relativement faibles, l'énergie de l'électron secondaire est à peu près égale à celle du photon incident. L'atome se trouve alors dans un état excité et son retour à l'état fondamental peut se faire par deux processus :

Le mode de désexcitation radiatif correspondant à l'émission d'un rayonnement de fluorescence, dont le spectre de raies discontinu est caractéristique du matériau cible.

Le mode de désexcitation non radiatif ou électronique qui est également connu sous le nom "*d'effet Auger*"[9].

La probabilité d'interaction par effet photoélectrique est caractérisée par le coefficient d'atténuation massique.

Cette probabilité est grande quand l'énergie du photon incident est supérieure, mais voisine à l'énergie de liaison d'un électron sur sa couche ; la probabilité décroît très vite avec l'énergie.

On peut conclure que l'effet photoélectrique = Absorption complète du photon incident par l'atome et éjection consécutive d'un électron de l'atome.

C'est-à-dire Quand l'énergie du photon augmente, des électrons des couches plus profondes peuvent être éjectés [11].

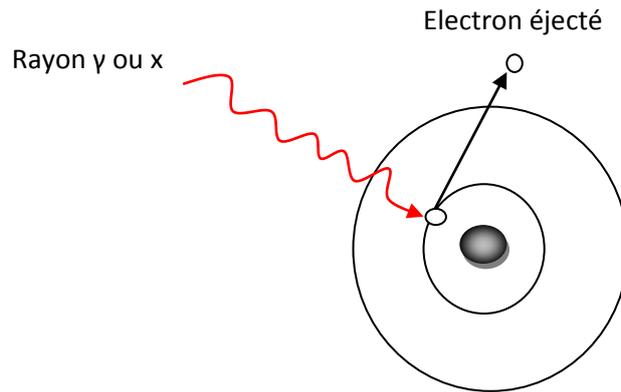


Figure 4 : l'effet photoélectrique

I.5.2. Effet Compton :

Cet effet est produit si le photon incident possède une énergie de 0.1 à 0.5 MeV.

Le photon interagit avec un électron libre ou peu lié et l'interaction conduit l'éjection de l'électron, et le photon incident subit une diffusion avec une énergie inférieure à son énergie initiale.

L'énergie du photon diffusé et électron de Compton est donnée simplement, en appliquant les lois de la conservation de l'énergie et du moment cinétique au choc du photon avec un électron libre, ce qui donne la relation suivante [9] :

$$h\nu = h\nu' + E_{cin} \quad (5)$$

$h\nu$ est l'énergie du rayonnement électromagnétique incident, et E_{cin} est l'énergie cinétique de l'électron éjecté.

Au cours de l'interaction, une partie du photon est transmise à l'électron, qui recule et le reste de l'énergie, $h\nu'$ apparaît sous forme d'un photon diffusé.

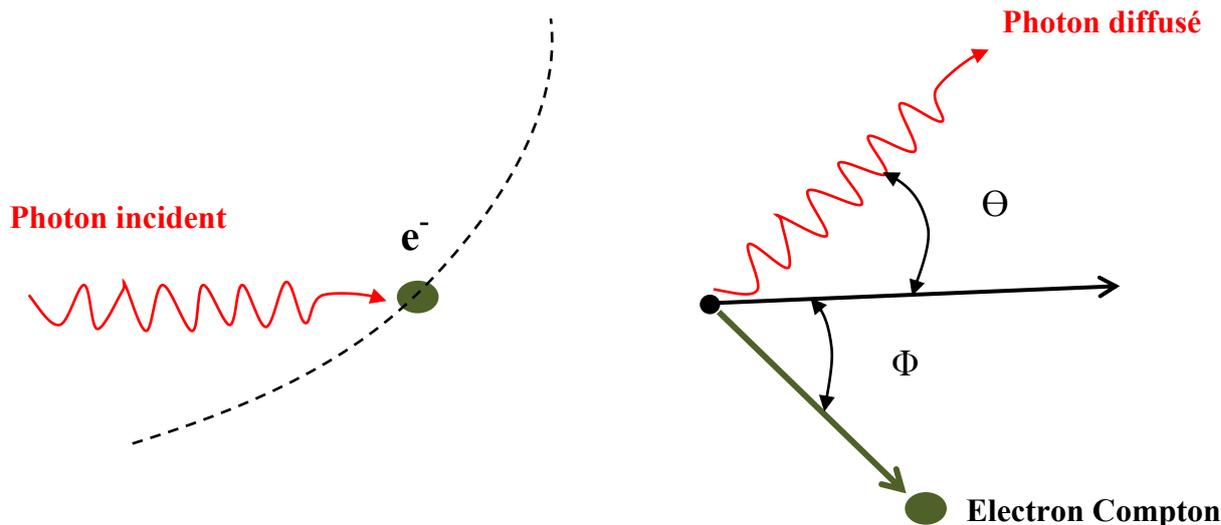


Figure 5 : la diffusion Compton

I.5.3. Production de paires :

Dans le champ électrique intense qui règne au voisinage du noyau, le photon peut se matérialiser sous forme d'un électron et d'un positon.

Une énergie de $2 \times 0.511 \text{ MeV}$, correspondant à leurs masses, est dépensée pour créer l'électron et le positon (figure 1.8). L'excédent d'énergie se répartit, sous forme d'énergie cinétique, entre les deux particules. La production d'une paire e^+ , e^- n'est donc possible que si l'énergie du photon est supérieure à $2m_e c^2$ [12].

La conservation de l'énergie s'écrit :

$$E = 2E_0 + E_{e^-} + E_{e^+} \quad (6)$$

Où E_0 est l'équivalent énergétique de la masse de l'électron ($E_0 = 0,511 \text{ MeV}$), E_{e^-} et E_{e^+} sont respectivement les énergies cinétiques de l'électron et du positron.

L'électron et le positron sont ralentis dans la matière.

À la fin de son parcours, le positron interagit avec un électron et s'annihile ce qui engendre l'émission de deux photons gamma d'énergie 511 keV à 180° l'un de l'autre.

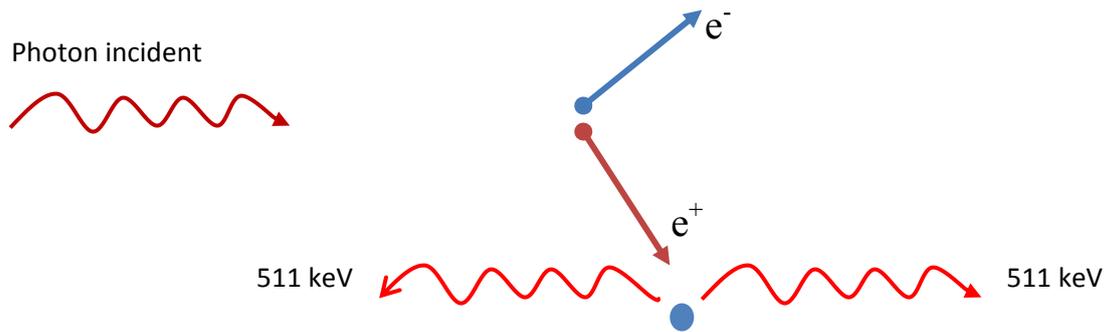


Figure 6 : production de paire

I.5.4. Section efficace et luminosité :

En physique nucléaire ou en physique des particules, la **section efficace** est une grandeur physique reliée à la probabilité d'interaction d'une particule pour une réaction donnée. L'unité de section efficace est une unité de surface ; on utilise traditionnellement le barn (b) :

$1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2 = 100 \times 10^{-30} \text{ m}^2$, soit la surface d'un carré de dix femto mètres de côté (c'est-à-dire l'ordre de grandeur du diamètre d'un noyau atomique).

La section efficace représente « *la probabilité intrinsèque* » d'une interaction et elle est indépendante des variables du faisceau et de la cible : la géométrie, la densité et l'intensité.

A chacun de ces modes d'interaction est associée une section efficace, qui dépend de l'énergie des photons incidents et du numéro atomique Z du matériau traversé. L'importance relative de ces trois modes en fonction de E et Z est représentée sur la figure, avec σ_{ph} , σ_{c} et σ_{pair} les sections efficaces des effets photoélectriques, Compton et création de paires respectivement [5,13].

L'interaction des photons avec la matière a comme section efficace la somme de toutes les sections efficaces des différents processus. Elle est donnée par :

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{ph}} + \sigma_{\text{c}} + \sigma_{\text{pair}} \quad (7)$$

Pour des photons traversant un milieu donné, les trois effets peuvent se produire, mais avec une probabilité différente selon l'énergie des photons et la nature du milieu.

Schématiquement, l'effet photoélectrique est prépondérant dans les milieux relativement denses et pour des énergies de photons relativement faibles. En pratique, l'atténuation par effet photoélectrique est prépondérante pour les photons d'énergie comprise entre 10 et 50 keV environ. La création de paires est l'effet principal pour les photons de haute énergie. L'effet Compton se produit principalement dans le domaine d'énergie intermédiaire. L'effet Compton prédomine dès que l'énergie des photons incidents dépasse 30 à 50 keV.

L'importance relative des différents types d'interaction est en fonction de l'énergie de la radiation et du numéro atomique du milieu.

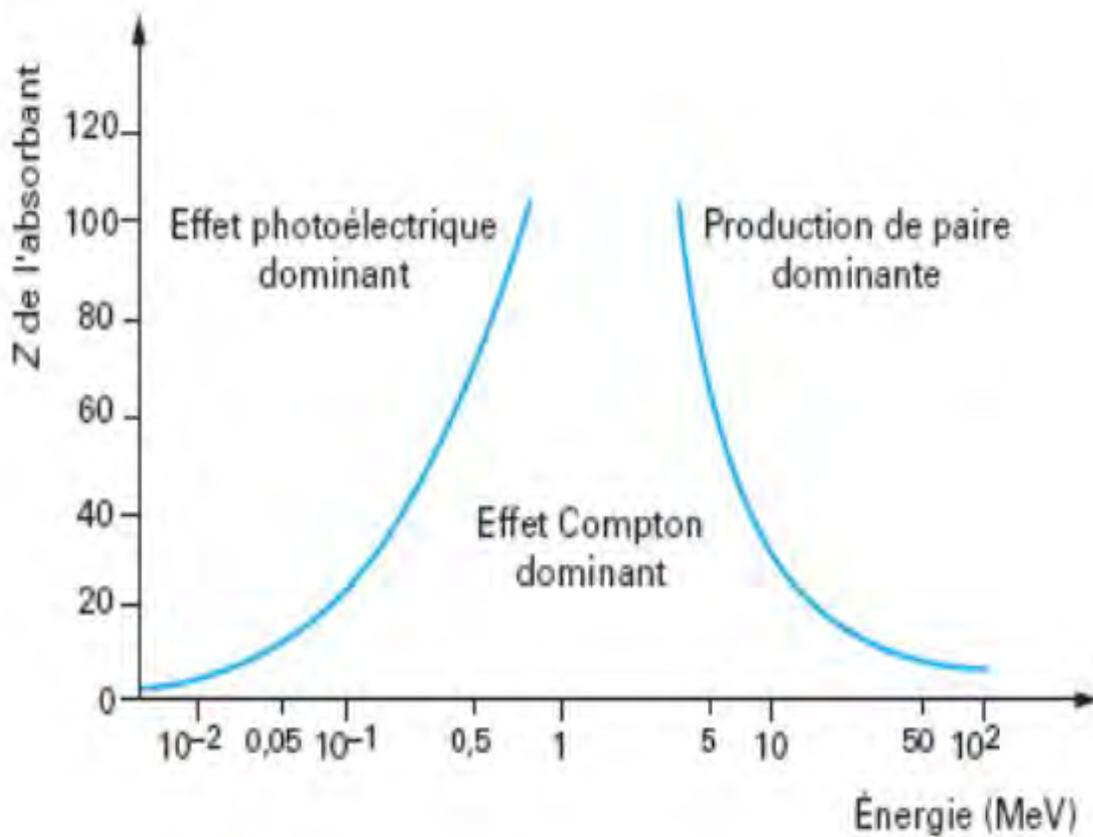


Figure 7 : Domaine de prédominance des différentes interactions fondamentales

I.5.5. Atténuation des rayonnements électromagnétiques :

- **Loi d'atténuation :**

L'étude de probabilités d'interaction des photons avec la matière conduit à la définition des lois d'atténuation d'un faisceau de photons.

Au contraire des particules chargées qui cèdent progressivement leurs énergies à la matière au cours d'interactions successives, les rayonnements électromagnétiques disparaissent brutalement à la suite d'une interaction.

On ne peut plus parler de ralentissement, il faut y substituer la notion **d'atténuation en nombre**.

Dans le cas d'un faisceau parallèle mono énergétique (dont les rayonnements ont la même énergie), le nombre de rayons émergents N n'ayant subi aucune interaction dans la traversée d'un écran d'épaisseur x est lié au nombre de rayons incidents par une relation exponentielle du type :

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad (8)$$

Où μ est le coefficient d'atténuation linéique dont la valeur dépend de l'énergie du rayonnement et de la nature de l'écran : si x , épaisseur de l'écran, est exprimé en cm par exemple, μ devra être exprimé en cm^{-1} .

Sur papier semi-logarithmique, la représentation graphique de cette loi d'atténuation est une droite de pente $-\mu$.

Il est important de noter que cette loi ne permet pas de calculer que le nombre de rayonnements électromagnétiques sortant de l'écran avec l'énergie initiale.

Ceux-ci ne représentent qu'une partie des rayonnements électromagnétiques émergents, ils ne prennent pas en compte, en particulier, les rayonnements diffusés Compton.

- **Couche de demi-atténuation(CDA) :**

On appelle couche de demi-atténuation (CDA) l'épaisseur de matière nécessaire pour diminuer de moitié l'intensité du faisceau.

$$CDA = X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (9)$$

I.5.6. la luminosité

En physique des particules, la luminosité d'un détecteur détermine le taux d'évènements qu'il est susceptible d'enregistrer. En réalité, un évènement donné à une probabilité d'occurrence déterminée par sa section efficace, déterminant schématiquement la section par la quelle une particule incidente doit passer pour interagir avec une particule donné. En pratique, la luminosité est donnée non pas comme un taux d'évènement (c'est-à-dire une fréquence, qui

serait exprimée en hertz), mais en taux d'évènement par section efficace, le taux d'évènement d'une section efficace donnée étant déterminé par le produit de la section efficace considérée par la luminosité. Dans le système international d'unités, la luminosité s'exprime en $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Cependant, en pratique, on la trouve au moins aussi souvent exprimée en $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, ainsi qu'en $\text{barn}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, le barn étant une unité de section efficace (non reconnue par le système international) fixée à 10^{-28} m^2 [14].

La luminosité intégrée représente le nombre d'évènements par unité de section efficace sur une durée donnée. Elle est simplement déterminée par le produit de la luminosité par la durée considérée (ou l'intégrale de la luminosité sur l'intervalle considéré, si la luminosité n'y est pas constante). L'unité de la luminosité intégrée est ainsi l'inverse d'une surface, le plus souvent exprimé en cm^{-2} ou en b^{-1} .

La luminosité est utilisée entre autres pour déterminer le temps nécessaire pour observer un nombre déterminé d'évènements, et par suite, si une expérience donnée est capable ou non d'observer tel ou tel type d'évènement avec une statistique raisonnablement bonne.

La luminosité nominale attendue au Large Hadron Collider (LHC), entré en service le 10 septembre 2008, est de $10^{34} \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, soit $10^{-2} \text{ pb}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. A titre de comparaison, la luminosité maximale atteinte par le Tevatron était début 2008 de $3,2\cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Sa luminosité intégrée depuis 2001 a atteint en 2008 les 5000 pb^{-1} , ce que le LHC devrait être en mesure d'atteindre en moins d'une semaine de fonctionnement en luminosité nominale.

I.6. Interaction forte des hadrons dans un milieu matériel

La force forte des interactions hadron-noyaux est de courte portée (10^{-13} cm). Ces interactions sont donc très rares par rapport aux processus électromagnétiques.

Toutefois les réactions fortes deviennent importantes pour les hadrons à haute énergie, et quand le milieu est dense.

i) Gerbe hadronique

Une gerbe hadronique, ou cascade hadronique, est un ensemble de particules créées par l'interaction d'une particule incidente avec la matière environnante et essentiellement constitué de hadrons ou de quarks et de gluons (on parle dans ce dernier cas de jet), principalement sensibles à l'interaction forte.

Une gerbe hadronique est initiée par les hadrons secondaires rapides créés dans l'interaction inélastique d'un hadron incident de haute énergie. En moyenne la moitié de l'énergie de l'hadron incident passe aux hadrons secondaires rapides, et le reste est partagé parmi les pions lents et d'autres processus.

- Le développement longitudinal d'une gerbe hadronique est caractérisé par la longueur d'absorption nucléaire. Puisque, une gerbe hadronique se développe plus profondément dans le milieu qu'une gerbe électromagnétique.

- Les hadrons secondaires ont des impulsions transversales importantes (~ 350 MeV/c). La dimension transversale d'une gerbe hadronique est plus grande que celle d'une gerbe électromagnétique (dominée par diffusion multiple à petit angle).

- La fluctuation du développement d'une gerbe hadronique est très grande. C'est la raison pour laquelle la mesure d'énergie d'un hadron est moins précise que celle d'un électron par calorimètre [1].

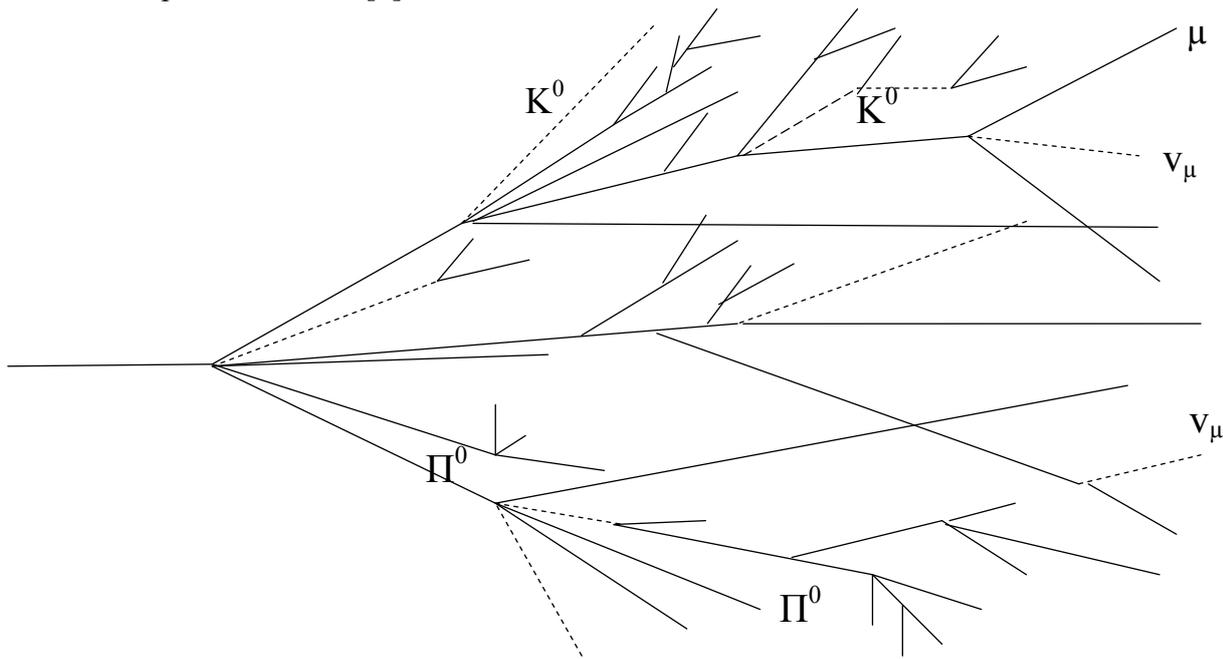


Figure 8 : la formation d'une gerbe hadronique

ii) Gerbes électromagnétiques

- À haute énergie, les électrons perdent leurs énergies presque exclusivement par Bremsstrahlung et les photons perdent les leurs par production de paires. La combinaison de ces deux effets résulte en la formation d'une gerbe électromagnétique quand un électron ou un photon entre dans un milieu. (Fig.9).