

Travaux pratiques avancés de physique nucléaire

(Cours 2002-2003)

Maître Enseignant et Recherche: Divic Rapin

Maître Assistants: Daniel Haas, Bettina Mikulec, Imma Riu

Responsable technique: Jean-Claude Bostdéché

Références: W.R. Leo, "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments",
G.F. Knoll, "Radiation detection and measurement"

<http://dpnc.unige.ch/tp/>

2^e trimestre: 6,13,20,27 janvier, 3 fev (4 semaines exa + vac), 10, 17, 24 mars

Manipulations proposées aux étudiants de 3^{ème} année:

1. Spectroscopie rayon Gamma avec un détecteur au Germanium et NaI
2. Mesure du temps de vie des muons
3. Annihilation de positrons dans les matériaux
4. Diffusion de Rutherford

Évaluation des étudiants sur la base d'un rapport rendu en juin. Les critères sont:

- Consistance du rapport avec historique, théorie, descriptions de la manipulation et de tous les instruments (sources, détecteurs et électronique), analyse et discussion des résultats avec calculs d'erreurs et conclusion.
- Motivation et aptitudes à manipuler en travaux pratiques.
- Succès de la manipulation.

Il est **impératif** de suivre les règles en ce qui concerne l'utilisation et la manipulation des sources radioactives.

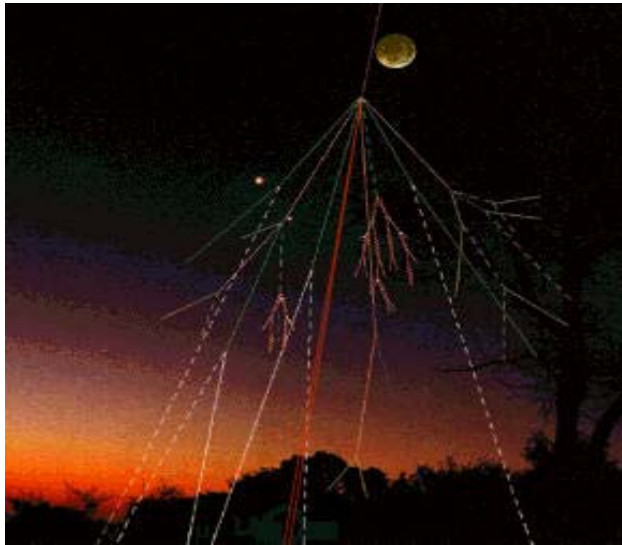
Il est **conseillé** de: - faire une recherche de documents très tôt;
- de créer un cahier/"logbook" de TP.

Outils d'informatique minimum à maîtriser : Turbo Pascal/C, Paw...

On assume la connaissance des étudiants suffisant pour:

- les calculs statistiques et des erreurs;
- la manipulation de l'oscilloscope.

Les Rayons Cosmiques



Origine: Galactique ou solaire.

Type: Particules chargées et ions lourds avec une extrêmement haute énergie cinétique (Énergie maximum observée: $3 \cdot 10^{20}$ eV).

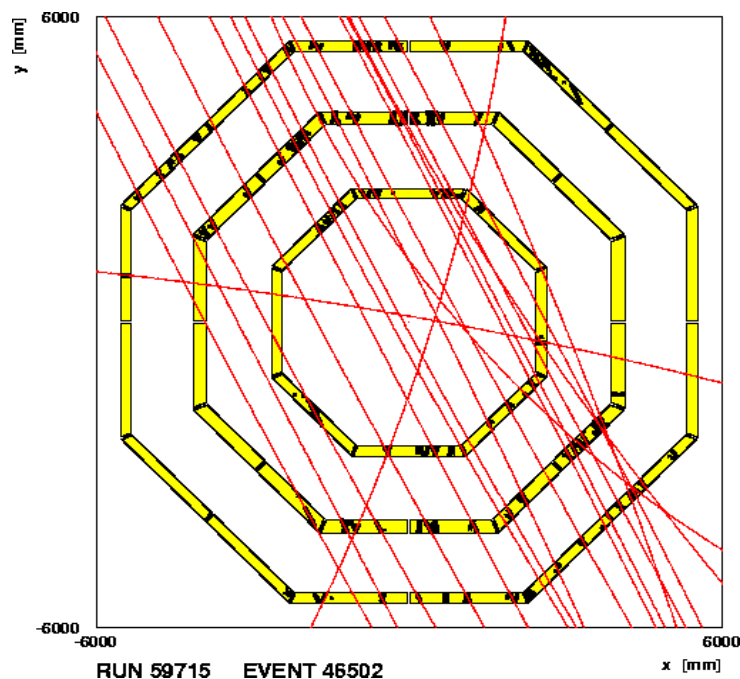
Cosmiques secondaires: Au passage dans l'atmosphère des interactions secondaires sont produites.

Au sol: Beaucoup de radiations atteignent le sol et sont constituées essentiellement de muons.

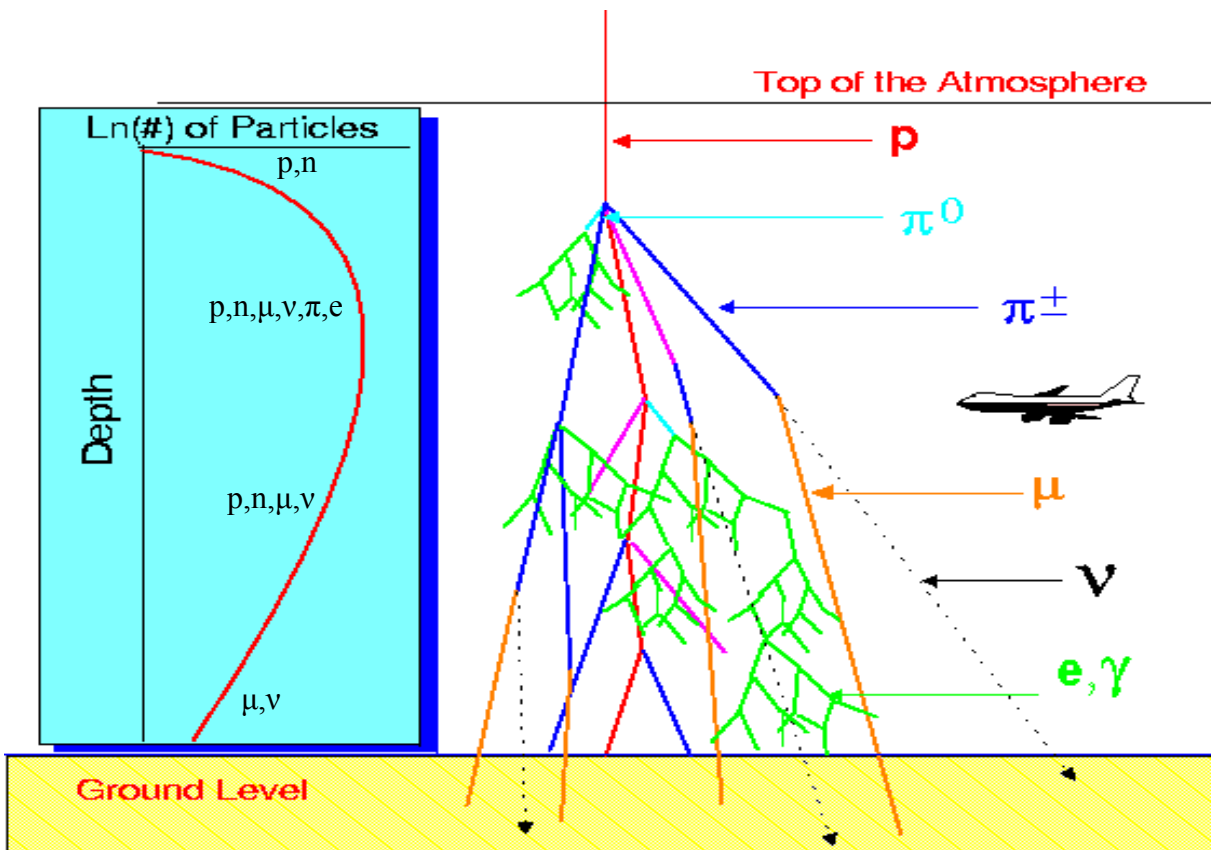
Utilisation en Physique des particules:

1. Expériences - études souterraines, à la surface de la terre et dans l'espace;
2. Tests et calibration de détecteurs (Particules minimum ionisantes - MIPs).

Références Web: <http://www-hfm.mpi-hd.mpg.de/CosmicRay/CosmicRaySites.html#education>
http://www2.slac.stanford.edu/vvc/cosmic_rays.html



Les Rayons Cosmiques



Extensive Air Showers

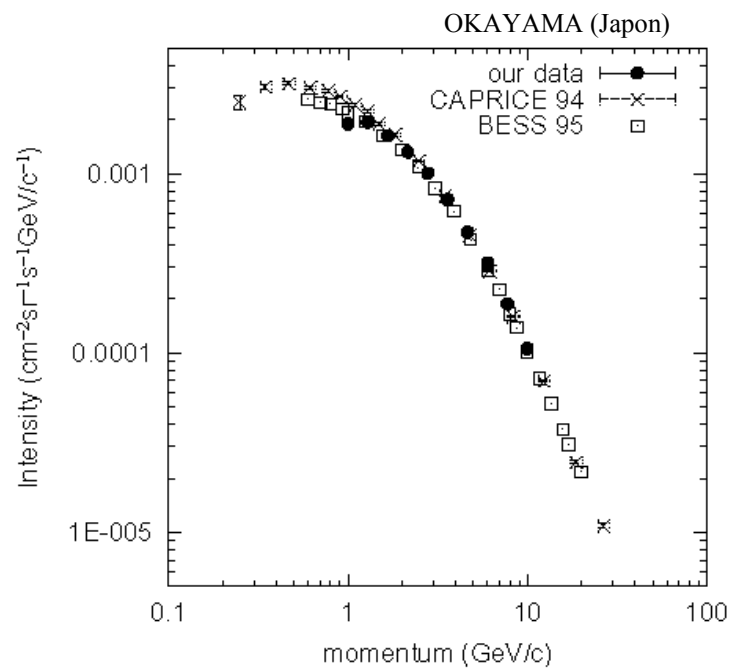


Fig. 1. Muon momentum spectrum in vertical at sea level.

Interactions dans la matière

Particules Chargées: électron, μ , τ , hadrons

Particules Neutres: photons, hadrons, neutrinos

Type de particules	Réactions	Techniques de détection
<i>Particules chargées</i>	<i>Ionisation</i> <i>Diffusion élastique</i> <i>Diffusion Coulomb</i> <i>Bremsstrahlung</i> <i>Diffusion inélastique</i> <i>Radiation Čerenkov</i> <i>Radiation de transition</i>	<i>Collection de charge, Photo-détection</i> <i>Photo-détection</i> <i>Collection de charge</i>
<i>Photons</i>	<i>Photo-électrique</i> <i>Diffusion Compton</i> <i>Création de paires e+e-</i>	<i>Collection de charge, Photo-détection</i>
<i>Neutrons</i>	<i>Interaction nucléaire</i>	
<i>Neutrinos</i>	<i>Interaction en courant neutre ou chargé</i>	

Notions de radioprotectons

Unités:

- **Activité:** 1 désintégration par seconde = Becquerel

(ancien: 1 Curie = $3.7 \cdot 10^{10}$ Becquerel)

- **Dose absorbée:** énergie déposée dans la matière par ionisation

1 Gray = 1 Joule/Kg = $6.25 \cdot 10^{12}$ MeV/Kg (ancien 1 rad = 10^{-2} Gray)

- **Dose équivalente pour dommages biologique:**

Sievert: 1 Sv = 1 Gray * Q (ancien 1 rem = 10^{-2} Sv)

- **Facteur de qualité, Q:** combien de fois pire que les photons est la particule (Q dépend aussi de l'énergie). Facteur de qualité pour différentes particules:

γ	α	p $E > 2 \text{ MeV}$	Neutrons $100 \text{ keV} < E < 2 \text{ MeV}$	β
1	20	5	20	1

Notions de radioprotections

Doses légales:

Le port de film badge est obligatoire pour le personnel professionnel exposé aux radiations. Les limites légales sont autour de **15 mSv/an pour les professionnels**.

Exposition naturelle: **2.4 mSv/an**

Règles:

- utiliser au maximum un blindage de plomb (valable pour les γ)
- limiter le temps d'exposition
- faire très attention à la distance (le flux étant proportionnel à $1/r^2$)
- bien se laver les mains si vous avez touché une source
- ne jamais manger dans les salles de TP
- remettre les sources en place après utilisation.

Exemples de calcul:

- Dose reçue par les cosmiques (au niveau de la mer)

La perte minimum d'énergie par unité de profondeur (dE/dx) pour les muons est :
 $\sim 2 \text{ MeV}/(\text{g}/\text{cm}^2)$ - Voir formule de Bethe-Bloch ou tables

Flux (intégré dans toutes les directions) = $2.4 \cdot 10^{-2} /(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ (à majorité des muons)

$\Rightarrow 7.56 \cdot 10^5 \text{ muons}/\text{cm}^2/\text{an}$ - (1 an = $3.15 \cdot 10^7 \text{ s}$)

\Rightarrow La dose sera de: $2 \text{ MeV}/(\text{g}/\text{cm}^2) * 7.56 \cdot 10^5 /\text{cm}^2/\text{an} = 1.5 \cdot 10^6 \text{ MeV}/\text{g}/\text{an}$

$\Rightarrow 1.5 \cdot 10^6 \text{ MeV}/\text{g}/\text{an} / 6.25 \cdot 10^{12} \text{ MeV}/\text{Kg} * 1000 \text{ g}/\text{Kg} = 2.4 \cdot 10^{-4} \text{ Gray}$

\Rightarrow La dose équivalente annuelle est (Q=1): 0.24 mSv

- Dose reçue par une source de Co^{60} d'une activité de 25 μCi et à une distance de 1m.

Valeur moyenne de l'énergie des γ : 1.25 MeV (γ de 1.17 MeV, γ de 1.33 MeV)

L'activité = $25 \cdot 10^{-6} \text{ Curie} = 9.25 \cdot 10^5 \text{ Becquerel}$

La probabilité d'interaction d'un photon dans l'eau est $7\% /(\text{g}/\text{cm}^2)$

Flux de photon/ cm^2 à 1m de distance?

Dose équivalente?

Calcul de la dose reçue par une source de Co⁶⁰

$$\begin{aligned}\text{Le Flux à 1 m [h}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}] &= 2 \times 9.25 \cdot 10^5 [\text{s}^{-1}] \times 3600 [\text{s}\cdot\text{h}^{-1}] \times 1 / (4\pi \cdot 10^4 [\text{cm}^2]) \\ &= 5.3 \cdot 10^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{La dose reçue} &= 5.3 \cdot 10^4 [\text{h}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}] \times 0.07 [\text{g}^{-1}\cdot\text{cm}^2] \times 10^3 [\text{kg}^{-1}\cdot\text{g}] \times 1.25 [\text{MeV}] \\ &= 4.64 \cdot 10^6 [\text{MeV}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \\ &= 0.74 \mu\text{Sv/h}\end{aligned}$$

à 10 cm on aurait 74 $\mu\text{Sv/h}$ (flux varie comme $1/r^2$)

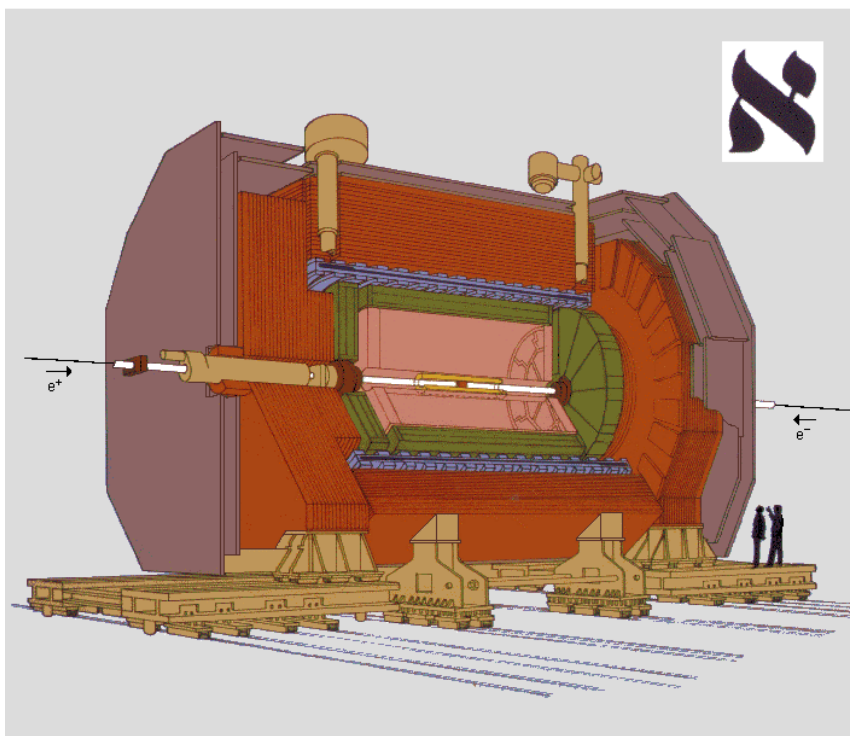
à 1 cm on aurait 7.4 mSv/h (Rappel: Maxi par an ~ 15 mSv)

\Rightarrow À ne pas laisser dans la poche !

Techniques de détections et Type de Mesures

Techniques	Types de mesure
<i>Détecteurs à ionisation - Gaz</i>	<i>Détecteurs de traces (chambres à dérives..)</i> <i>Compteurs proportionnels (spectroscopie à basse énergie)</i> <i>Compteurs Geiger-Mueller (comptage simple)</i> <i>electrons/Pions identification (détecteur à radiation de transition)</i>
<i>Détecteurs à scintillation</i>	<i>Plastiques (pour le déclenchement)</i> <i>Inorganiques (mesure d'énergie γ et e^-)</i>
<i>Les semi-conducteurs</i>	<i>Mélange d'absorbeurs et plastiques (mesure d'énergie hadronique)</i> <i>Détecteurs de traces (hautes précisions)</i>
<i>Les Photomultiplicateurs</i>	<i>Détecteur au Germanium (spectroscopie γ)</i> <i>Mesure très sensible de la lumière (UV, Visible)</i>

Le Détecteur ALEPH du LEP (CERN)



■	Vertex Detector	double sided silicon strips
■	Inner Tracking Chamber	multiwire drift chambers
■	Time Projection Chamber	imaging drift chamber
■	Electromagnetic Calorimeter	sampling calorimeter: lead (Pb) and proportional wire
■	Superconducting Magnet Coil	
■	Hadron Calorimeter	sampling calorimeter: iron (Fe) and streamer tubes
■	Muon Chambers	streamer tubes
■	Luminosity Monitors	

The ALEPH Detector

Chambres à ionisations

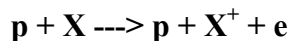
Une particule chargée réagit essentiellement de deux manières dans la matière:

1. excitation d'un atome (collision inélastique faible)



Section efficace: $\sim 10^{-17} \text{ cm}^2$ (10^7 barn)

2. soit il ionise la matière en libérant des paires électron-ion (collision inélastique forte)



Section efficace: $\sim 10^{-16} \text{ cm}^2$ (10^8 barn)

Seuil d'énergie Excitation < Seuil d'énergie Ionisation

Autres mécanismes connus:

1. Effet Penning - Dans certains atomes, les états métastables excités ne sont pas capables de se désexciter immédiatement dans l'état fondamental. La désexcitation peut arriver à ce moment à travers une collision avec un second atome.



2. Formation d'ion moléculaire



NB: Quand il n'y a pas de champ électrique, les paires ion-électron se recombinent par attraction électrique et émettent ainsi un photon : $X^+ + e^- \rightarrow X + h\nu$.

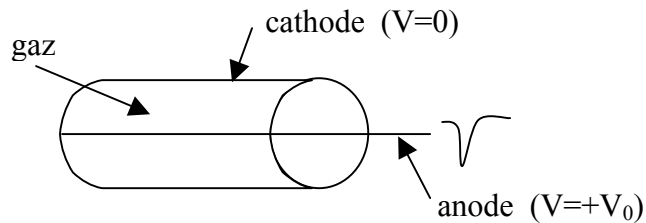
Effets recherchés dans ce type de technique de détection:

- Dérive et mobilité des électrons et ions libres. Ils sont accélérés le long des lignes de champs jusqu'aux anodes et cathodes respectivement.
- Multiplication d'avalanches. Les électrons primaires ionisés ont suffisamment d'énergie, due à l'accélération du champ électrique, pour ioniser des molécules du gaz.
- Éviter la décharge. Si le champ est suffisamment élevé, une réaction en chaîne d'avalanche se produit le long de l'anode (elles sont produites par les photons émis de la désexcitation des molécules). Le courant de sortie d'un canal de lecture devient alors complètement saturé quelque soit l'énergie de la particule incidente initial, mais aussi d'autres canaux sont affectés par cette décharge. Un gaz spécial est alors utilisé comme "Quencher" pour absorber les photons et évacuer (drain) leur énergie à d'autres canaux. Ils sont en général des gaz poli-atomique tels que le méthane ou l'alcool ou quelque gaz inorganique (CO_2 , BF_3 ...).

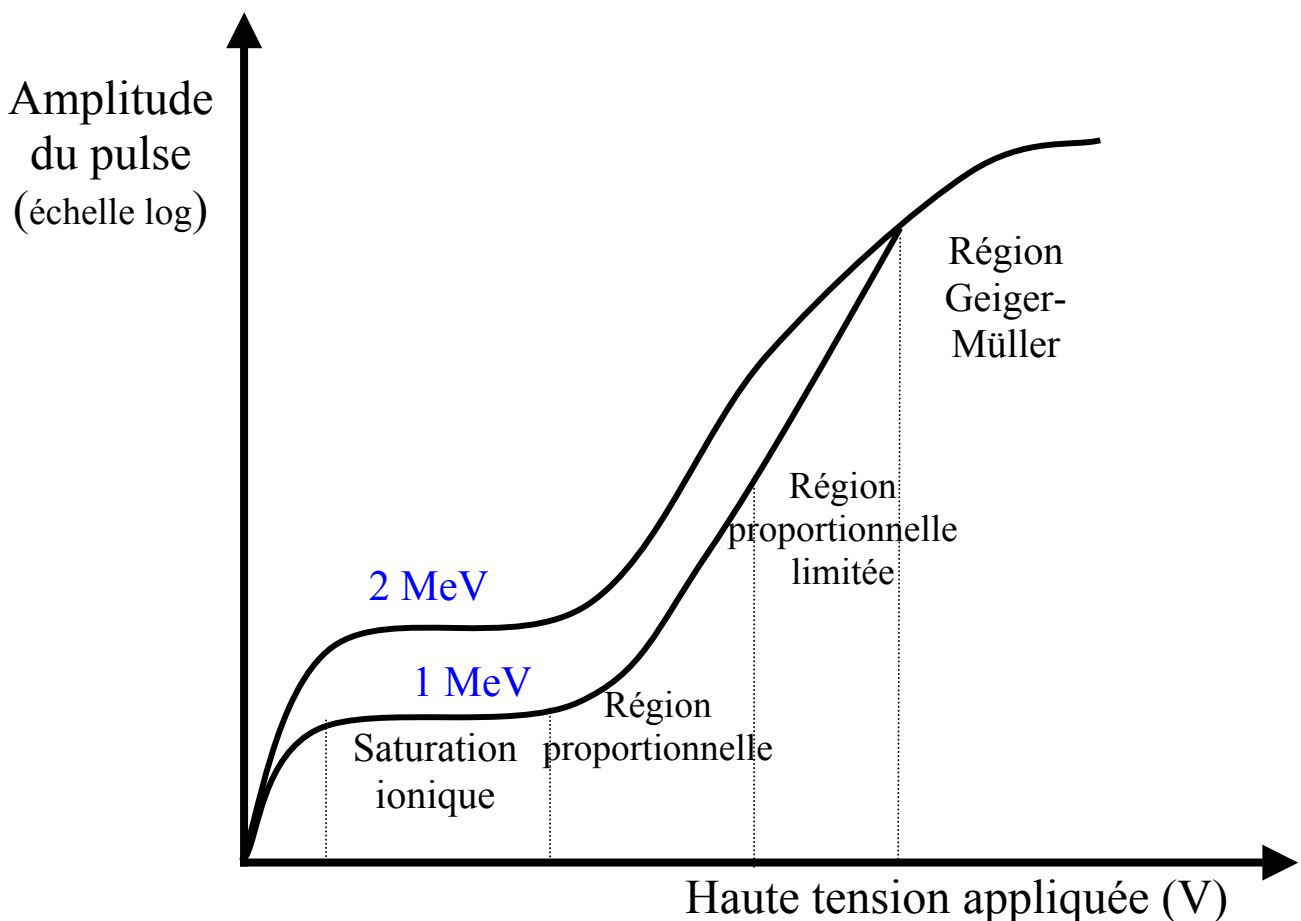
Chambres à ionisations

Utilisation : pour déterminer la trajectoire des particules chargées traversants.

Détecteur gaz simple à ionisation :



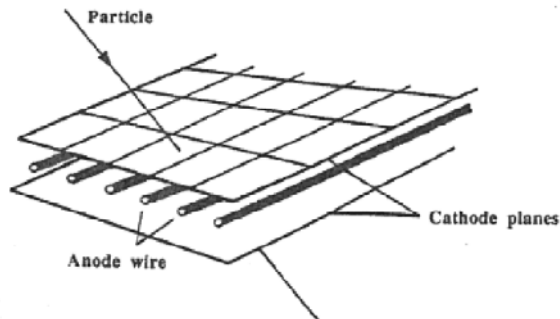
Différentes régions d'opération des détecteurs à gaz



Chambres à ionisations

Chambres proportionnelles à multi-fils (MWPC):

Charpak, 1968



La charge lue du compteur proportionnel, en l'absence d'effet non-linéaire, peut être assumée comme la somme des charges créées dans chaque avalanche. Cette technique est généralement utilisée pour la spectroscopie à basse énergie de rayon X.

La reconstruction de l'impact de la particule chargée est donnée par la reconstruction du centre de gravité du signal des fils lus.

Chambres à projection temporelle (TPC):

C'est essentiellement un détecteur de traces à 3-dimensions capable de donner en plus des informations sur la perte d'énergie spécifique dE/dx .

Compteurs Geiger:

Une de plus vieilles techniques de détection à radiation (1928: Geiger et Müller).

Par ce que le même nombre d'avalanches est créé à chaque fois, tous les pulses du compteur sont de la même amplitude. Il ne fonctionne uniquement comme un compteur simple.

Les scintillateurs

Le mécanisme de scintillation (émission de lumière) est déclenché quand un rayonnement électromagnétique pénètre dans un matériau scintillant.

La lumière produite est issue soit d'un mécanisme de **fluorescence** (quand l'émission de lumière est produite juste après l'absorption d'énergie) ou de **phosphorescence** (quand l'émission est retardée).

Plusieurs types de scintillateurs existent:

1. organiques (Plastiques, liquides, liquides chargés);
2. inorganiques (cristals intrinsèques ou avec activateurs);

1- Les scintillateurs organiques

Plus communément les scintillateurs plastique sont utilisés pour les déclenchements **ultra-rapides**. Le processus de fluorescence surgit de transitions dans la structure de niveaux d'énergie de molécules simples. Il peut, donc, être observé indépendamment de l'état physique du matériau (solide, liquide, etc.).

Les utilisations sont telles que la spectroscopie β et la détection de neutrons rapides.

Les caractéristiques typiques sont:

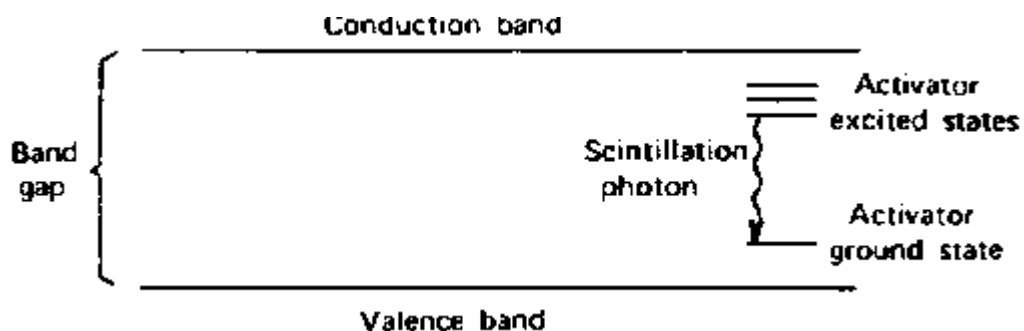
- **Densité:** environ 1 g/cm^3
- **Constante de temps:** 1.4 ns au minimum.
- **Longueur d'onde d'émission:** $\sim 400 \text{ nm}$.
- **Indice de réfraction:** 1.58 pour les plastiques.

2- Les scintillateurs inorganiques

Ils sont 2-3 ordres de magnitude **moins rapides** que les organiques mais **produisent plus de lumière**. Le mécanisme de scintillation des matériaux inorganiques dépend des états d'énergie déterminés par le réseau cristallin du matériau.

L'utilisation la plus commune est la spectroscopie de rayons gamma.

Il existe des alcalino-terreux dopés ou non (NaI(Tl), CsF₂...) et les oxydes (BGO, PbWO₄...)



La **bande de valence** représente les électrons qui sont essentiellement liés aux sites cristallins, alors que la **bande de conduction** représente les électrons possédant suffisamment d'énergie pour être libres de migrer à travers le cristal. Il existe une bande intermédiaire d'énergie, appelée bande interdite, dans laquelle les

Les scintillateurs

2- Les scintillateurs inorganiques (suite)

électrons ne peuvent jamais se trouver au sein de cristaux purs.

L'absorption d'énergie peut provenir de l'élévation d'un électron de sa position normale dans la bande de valence jusqu'à la bande de conduction. Il laisse alors un trou dans la bande de valence normalement pleine. Dans un cristal pur, le retour de l'électron à la bande de valence avec l'émission d'un photon est un processus "inefficace". En plus, l'énergie du photon émis est trop haute pour être dans l'intervalle visible.

Pour augmenter la probabilité d'émission d'un photon visible pendant le processus de "désexcitation", on ajoute habituellement de petites quantités d'impuretés aux scintillateurs inorganiques. Ces impuretés, appelés **activateurs**, créent des sites spéciaux dans le réseau, pour lesquels la structure normale de la bande d'énergie est différente de celle du cristal pur. En conséquence, des états d'énergie se créent à l'intérieur de l'intervalle interdit à travers desquels l'électron peut revenir à son état initial de la bande de valence. Cette quantité d'énergie est plus petite que celle de la zone interdite remplie, ce qui a pour conséquence que la transition donne lieu à un photon visible et sert de base au processus de scintillation.

Les Caractéristiques recherchées des scintillateurs sont:

Haute efficacité de scintillation - Le rapport entre le nombre moyen de photons émis (N_p) et l'énergie du rayonnement incident absorbée dans le scintillateur (E_a) doit être haut.

Linéarité de la conversion - La lumière produite doit être proportionnelle à l'énergie déposée.

Longueur d'onde de la luminescence de préférence dans le bleu ou le visible (adaptée aux PMs)

Milieu transparent - Au moins à sa longueur d'onde d'émission.

Densité élevée - $25 X_0$ suffit à arrêter des particules électromagnétiques de très hautes énergies.

Luminescence rapide. 1-2 ns pour les plus rapides (doit être adapté à l'expérience).

Résistance aux radiations - Pour les expériences sensibles aux radiations en général il y a une dégradation importante de la transparence du cristal.

Indice de réfraction proche de 1.5 - Il intervient dans le couplage optique avec le dispositif photosensible pour avoir un minimum de perte de lumière.

Matière non hygroscopique.

Matière mécaniquement résistante.



Les scintillateurs

Spectre du Co^{60} avec un cristal BaF_2

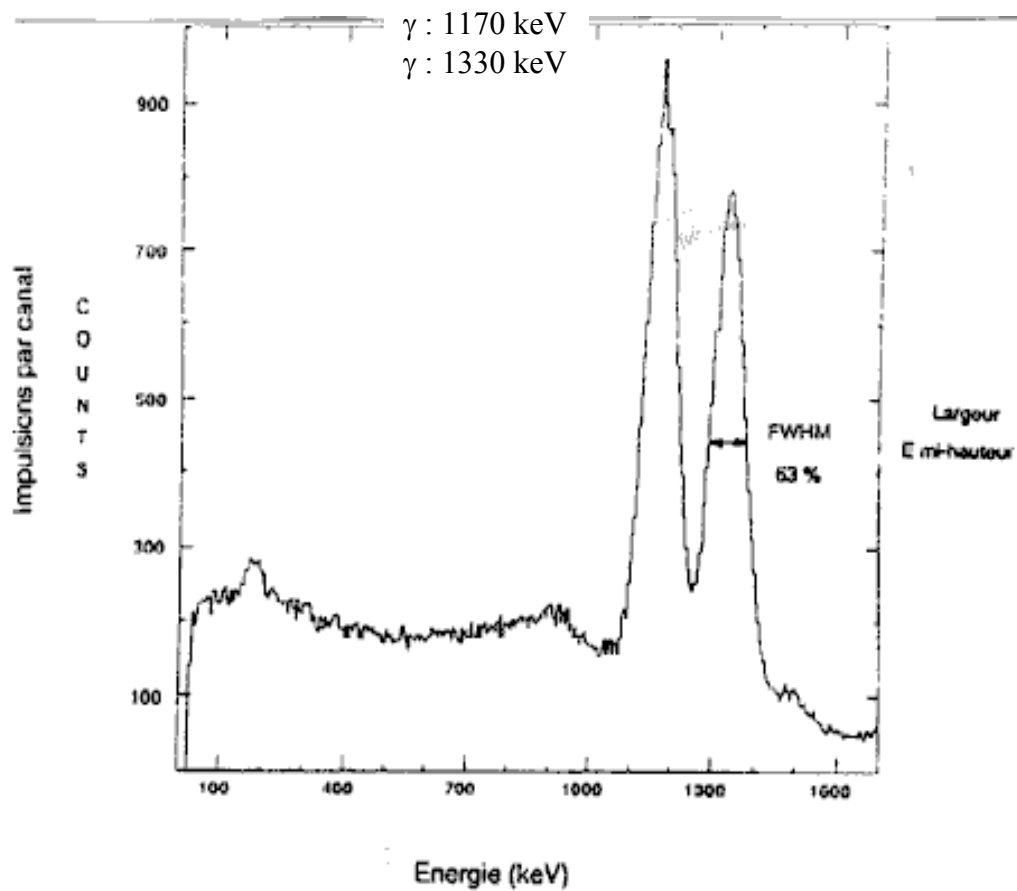
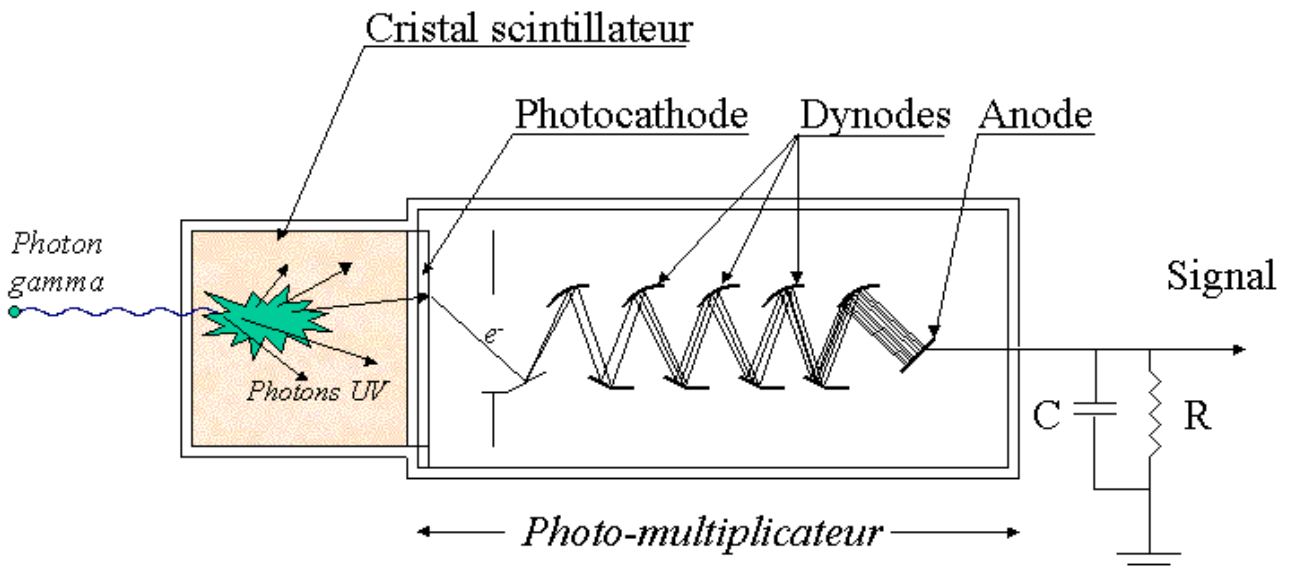


Table récapitulative de certains scintillateurs inorganiques:

	<i>CaF₂ (Eu)</i>	<i>CsF</i>	<i>BaF₂</i>	<i>NaI (Tl)</i>
Densité (g/cm³)	3.18	4.64	4.89	3.67
Point de fusion (K)	1691	955	1627	924
Hygroscopique	non	très	non	oui
Longueur d'onde d'émission (nm)	435	390	310 / 220	410
Indice de réfraction à l'émission maximum	1.47	1.48	1.56	1.85
Temps de décroissance primaire (ns)	940	3 à 5	620 / 0.7	250
Rendement lumineux (photons / MeV) γ	19	2	6,5 / 2,5	38

Les photomultiplicateurs (PM)

Le photomultiplicateur (PM) convertit la lumière de scintillation en signal électrique.



Le photomultiplicateur est composé d'un phototube (1 photocathode + N dynodes + 1 anode) et d'une embase électronique permettant l'alimentation des différentes parties et la pré-amplification du signal.

Les PM ont une sensibilité spectrale entre 200 et 700 nm et est capable de détecter quelques photons et de les transformer en signal électrique rapide (1 ns de temps de montée).

L'amplification de charge est en général directement proportionnelle au nombre initial de photo-électrons.

Le principe est directement basé sur l'effet photo-électrique (absorption d'un photon par un atome avec l'éjection suivante d'un électron de l'atome) se passant sur la fenêtre de la photocathode. Les électrons ainsi créés sont accélérés dans champs électriques sur la première dynode.

Le facteur multiplication d'une dynode est:

$$\delta = \text{Nombre d'électrons secondaires émis} / \text{Nombre d'électrons incidents}$$

Le gain total d'un PM est: $\text{Gain}_{\text{total}} = \alpha \delta^N$ (typiquement : 10^6 - 10^9)

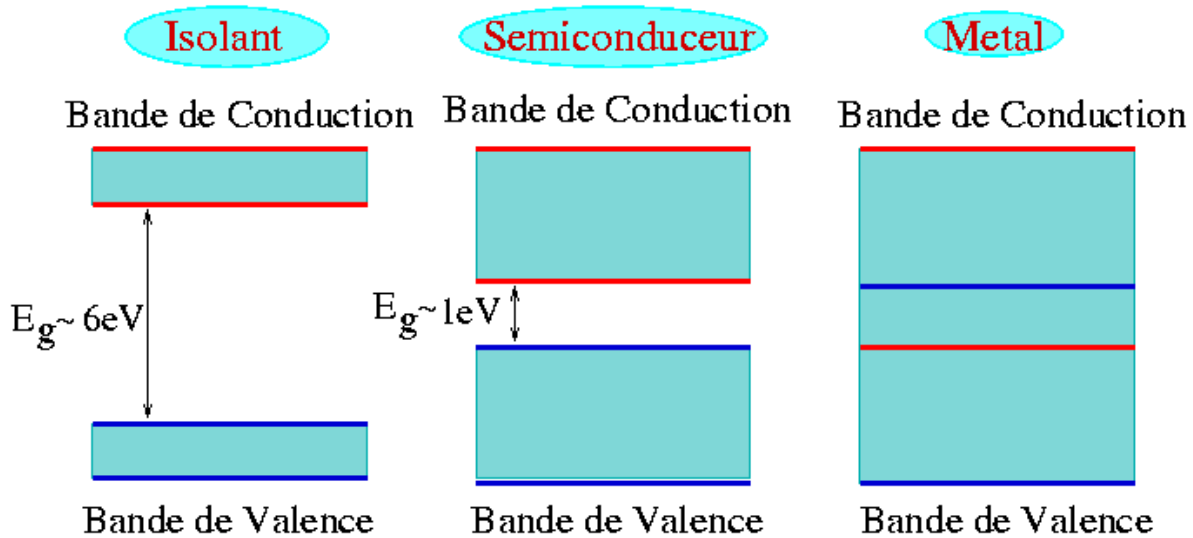
ou α est la fraction de photo-électrons collectés par la structure de multiplication.

On parle généralement d'efficacité quantique d'un PM:

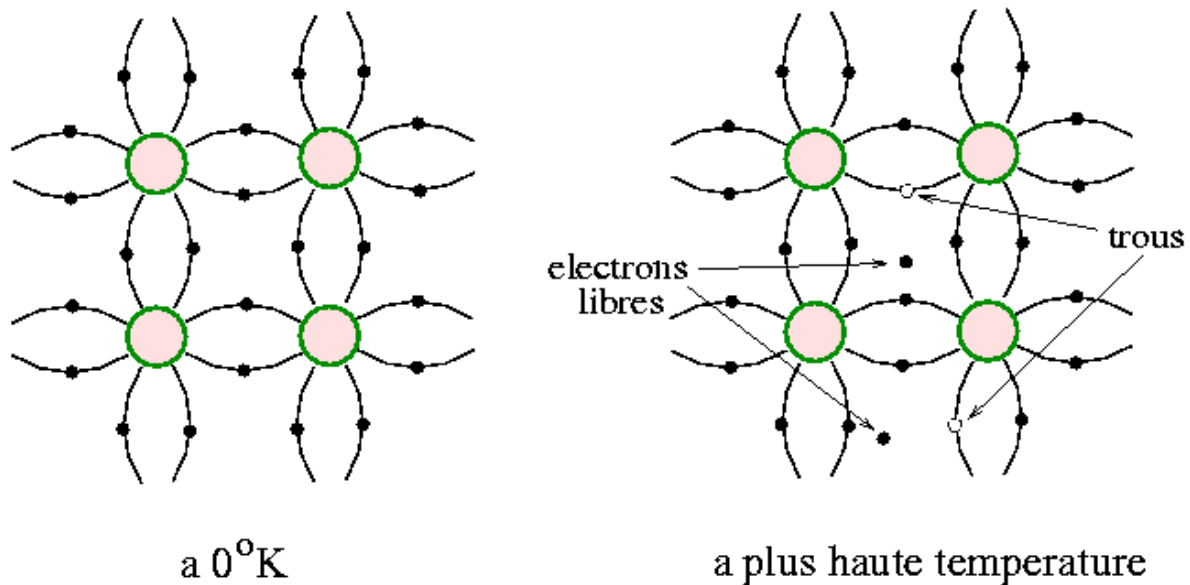
$$\text{QE} = \text{Nombre de photo-électrons émis} / \text{Nombre de photons incidents}$$

Les semi-conducteurs - Détecteurs au silicium

Rappels:



Porteurs de charges dans les semi-conducteurs:



La concentration intrinsèque d'électrons et de trous est la même (cristal pur):

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right) = AT^{3/2} \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right)$$

N_C/N_V : Nombre d'états dans la bande de Conduction/Valence (la statistique Fermi-Dirac donne $T^{3/2}$)

T: température

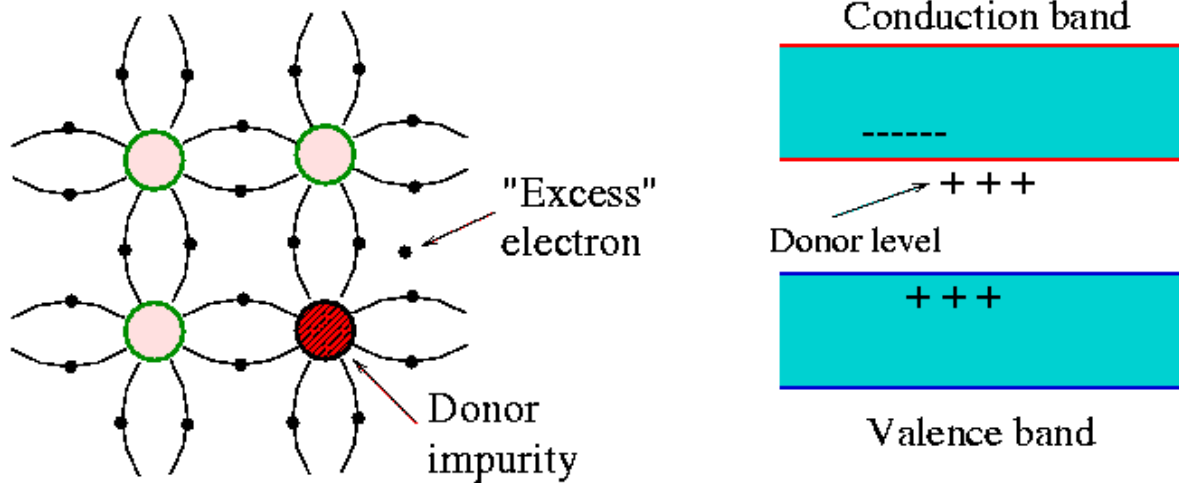
k : constante de Boltzmann

E_g : énergie "gap"

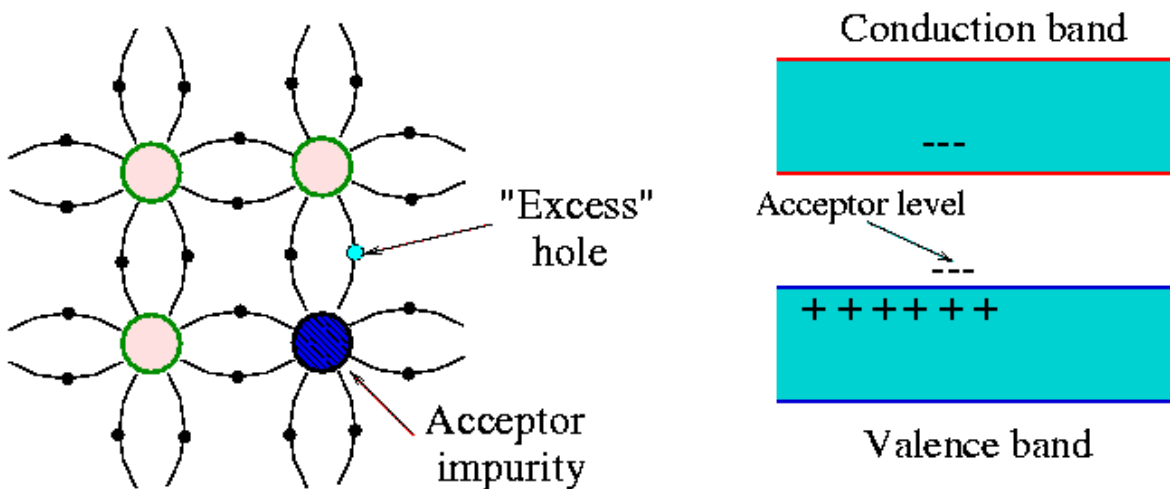
Les semi-conducteurs - Détecteurs au silicium

Rappels (suite):

Semi-conducteurs dopés de type -n (impuretés comme le Phosphore, Arsenic, Antimoine (groupe V))



Semi-conducteurs dopés de type -p (impuretés comme le Bore, Gallium, Indium (groupe III))



n: concentration d'électrons;

p: concentration de trous

$$np = n_i^2 = AT^3 \exp\left(\frac{-E_g}{kT}\right)$$

and $N_D + p = N_A + n$ where in n-type material: $n \sim N_D$

puisque le semiconducteur est neutre est dans le type -n, $N_A=0$ et $n \gg p$.

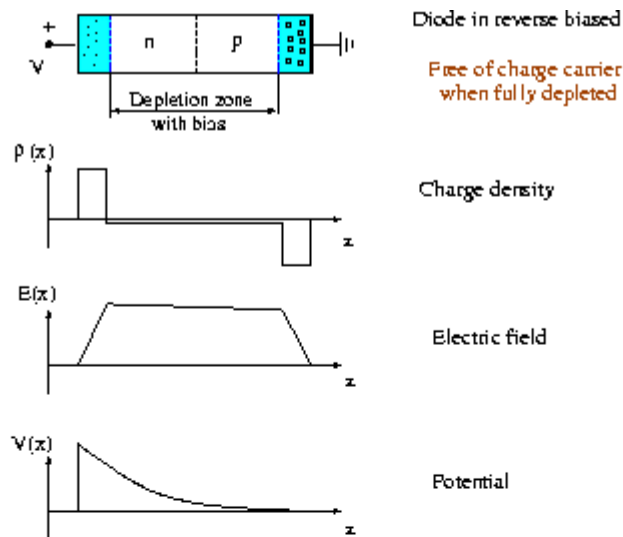
N_D : concentration d'impuretés type -n;

N_A : concentration d'impuretés type -p

Les semi-conducteurs - Détecteurs au silicium

Rappels (suite):

Les jonctions semi-conducteurs np:



For a planar geometry capacitance is: $C = \epsilon \frac{A}{d}$

where A is the depletion area

d is the depletion zone width and ϵ is the dielectric constant

Full depletion voltage for n-type: $V_{fd} = \frac{e}{2\epsilon} N_D d^2 = \frac{d^2}{2\epsilon\mu_e\rho}$
(FDV)

where $\epsilon = 1.05 \cdot 10^{-10} \text{ Fm}^{-1}$ for silicon

$\mu_e = 1350 \text{ cm}^2/(\text{V.s})$

and typical ρ is from $1 \text{ k}\Omega\text{cm}$ to $10 \text{ k}\Omega\text{cm}$ for reasonable FDV

ρ : resistivity

μ_e : mobility of the electrons

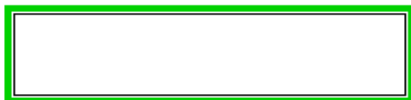
Les semi-conducteurs - Détecteurs au silicium

Rappels (suite):

Les étapes de fabrication:



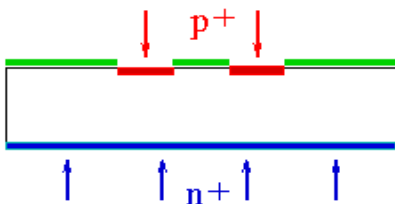
n-type silicon substrate



Oxidation with SiO_2
growth of oxide with reaction
of Si with oxygen



Opening of windows



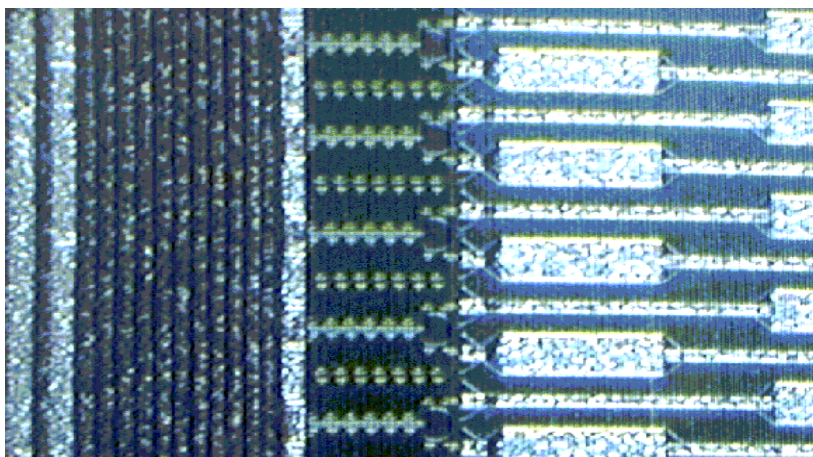
Doping by implantation
p+ implant on top
n+ implant for the backplane



Aluminium layer deposition
according to mask
Backplane aluminisation



Passivation with SiO_2



Les semi-conducteurs - Détecteurs au silicium

Les caractéristiques:

- Excellente résolution spatiale jusqu'à 3 μm (meilleure performance parmi tous les détecteurs).
- Technique de détection très bien connue pour les micro-pistes et les pixels.
- L'électronique de lecture (Circuits Intégrés) est en général adaptée pour du bas bruit et une très grande rapidité.
- Ils peuvent fonctionner après être exposés à très fortes radiations.
- Très bonne détermination du moment et du vertex.
- Technique de fabrication très bien maîtrisée par les producteurs.

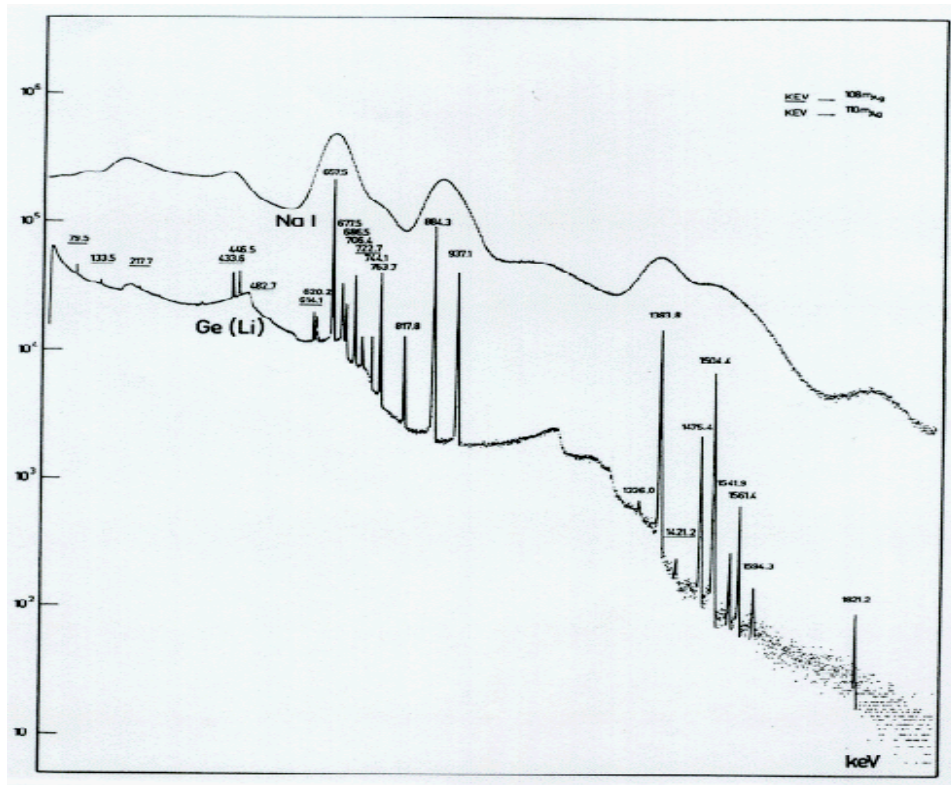
Les inconvénients:

- Fragiles et nécessite de travailler dans des environnements propres.
- Nécessite une construction mécanique extrêmement précise.
- Technologie encore très coûteuse.

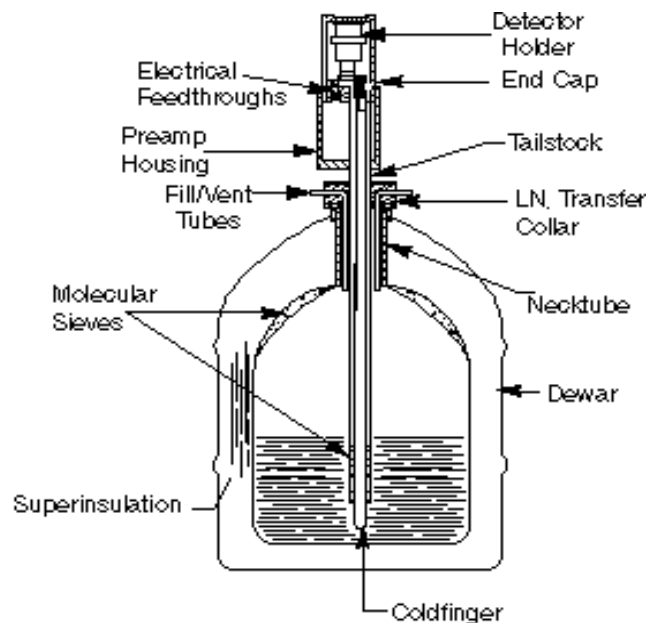
Les semi-conducteurs - Détecteurs au germanium

Utilisé le plus souvent pour la spectroscopie Gamma.

La section efficace de l'effet photo-électrique est 60 fois plus grande que pour le silicium ($Z_{Si}=14$, $Z_{Ge}=32$). La résolution spectrale est extrêmement bonne comparée au cristal de NaI.



Ce détecteur nécessite un refroidissement à la température d'azote (Ni) liquide à cause du petit E_g (0.7 eV).



Les semi-conducteurs - Détecteurs au germanium

Quand on regarde le spectre de rayons gamma (nombre de détections de charge vs énergie) produit par une source radioactive on peut observer des pics dus aux interactions suivantes:

1. Le pic Photo-électrique ($\gamma + N \rightarrow e^-$) : $E_e = h\nu$ (pur si le détecteur est très grand)
Il apparaît un grand pic.
2. La diffusion Compton ($\gamma + e^-_{\text{libre}} \rightarrow \gamma + e^-$) (existe pour les détecteurs petits et moyens)
Les électrons compton sont distribués de façon continue en énergie jusqu'à E_{max} .
3. Le pic de production de paires e^+e^- ($\gamma + N \rightarrow e^+e^-$) (existe pour les détecteurs petits et moyens):
 - Annihilation + perte d'un photon : $E = h\nu - m_e$
 - Annihilation + perte de 2 photons : $E = h\nu - 2m_e$
4. La rétro-diffusion due à la matière autour:
 - Pic X-ray (γ émis après l'effet photo-électrique par la présence d'un trou à la matière)
 - Retour en diffusion Compton
 - Retour d'un photon d'annihilation

Le Hardware

Les baies NIM et CAMAC sont utilisées au laboratoire.

Les cartes/modules les plus utilisés sont: Discriminator, Scaler (Compteur), ADC, DAC, Dual timer, Coincidence, Logic Box, delay, etc...

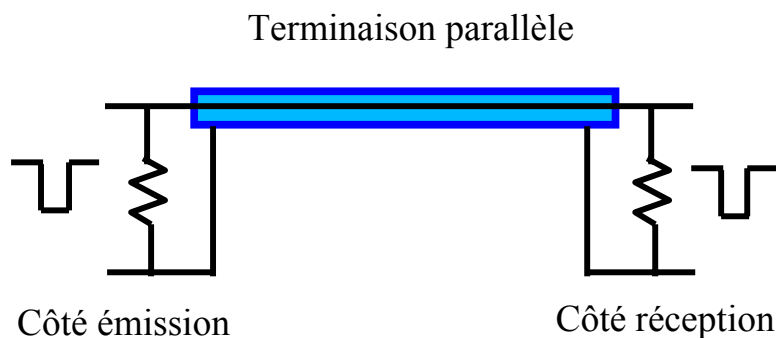
La haute tension est utilisée pour alimenter:

- les PM (1500 < HT < 2200V)
- le Germanium (~ 2500V).

NB: ATTENTION À LA POLARITÉ!!!

Les choses à faire attention:

- l'adaptation d'impédance est essentielle pour éviter la distorsion des signaux (terminaison 50/1000 Ω en parallèle si nécessaire) - voir documentation;



- l'étanchéité de lumière des scintillateurs (cherche du plateau);
- le timing des signaux pour le déclenchement - Attention a la distorsion et au délai dans les câbles (5.14 ns par mètre);
- la calibration.

Les utilités CAMAC

La baie CAMAC permet la communication avec les différentes cartes utilisées: ADC, compteur... Il permet de faire un système d'acquisition de données contrôlé par un PC.

Les bibliothèques sont sur le serveur: \\servtp3-1\public
répertoire: nucleaire\units

La bibliothèque `ucamac` est la plus utilisée. Elle contient les fonctionnalités de:

- test en ligne;
- read/write;
- lecture, set, clear inhibit;
- clear;
- mise à jour de Z;
- renvoie de Q;

Les fonctions de lecture/écriture (entre autres):

F(0) read

F(2) read and clear

F(16) write

`camac (n, a, f, data input/output);` (mots de 16 bits)

`camac2 (n, a, f, data input/output);` (mots de 24 bits)

n: slot number;

a: sub-address;

f: function

NB: Une des premières choses à faire c'est de voir les modules qui répondent avec les sous-adresses et les fonctions possibles. Utiliser l'exécutable **qtest**.