

# Que fait-on des informations obtenus avec ces détecteurs

- Comptages de particules
- Mesures de dépôt d'énergie moyen



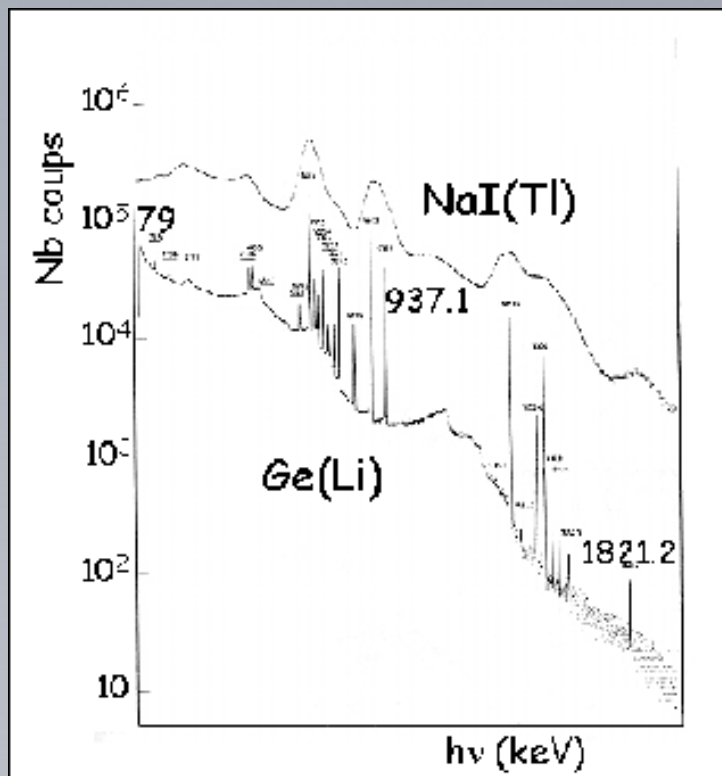
Mesures de Radioactivité

Débitmètres

Dosimétries



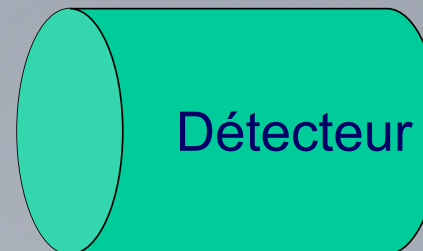
# Que fait-on des informations obtenus avec ces détecteurs



- Comptage en fonction de leur nature et de leur énergie: spectrométrie  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , X..etc

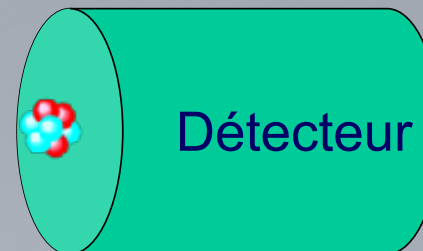
Les rayonnements sont les « empreintes digitales » du noyau émetteur

# Principe de base de la détection



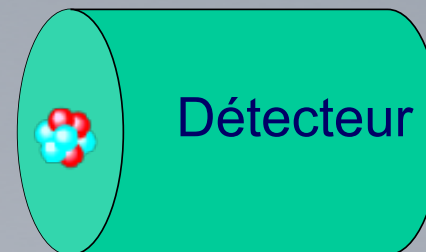
On place sur la trajectoire d'une particule  
de la **matière** que l'on va appeler **détecteur**

# Principe de base de la détection



On place sur la trajectoire d'une particule  
de la **matière** que l'on va appeler **décteur**

# Principe de base de la détection



**Lorsque la particule rentre en contact avec la matière qui sert de détecteur :**

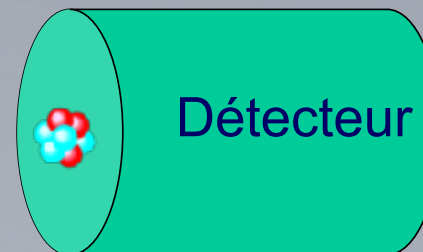
**On dit qu'il y a **interaction rayonnement-matière****

# Principe de base de la détection



**Au cours de l'interaction, la particule va déposer l'ensemble ou une partie de son énergie**

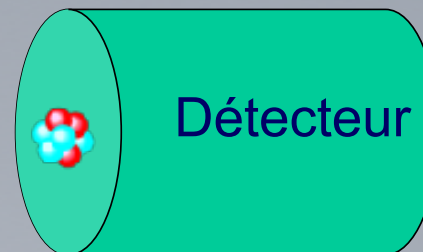
# Principe de base de la détection



**Au cours de l'interaction, la particule va déposer l'ensemble ou une partie de son énergie**

**C'est cette énergie déposée qui va permettre la détection**

# Principe de base de la détection



**La connaissance des processus d'interaction des particules est indispensable pour la conception de détecteurs et l'interprétation des mesures**



L'interaction rayonnement – matière  
Les grandes familles de détecteurs

L'interaction rayonnement – matière  
Les grandes familles de détecteurs

**Les particules chargées**

Modes d'interactions  
(particules « lourdes » /  $e^+$  et  $e^-$ )  
Détecteurs gazeux et à base de semi-  
conducteurs

## L'interaction rayonnement – matière Les grandes familles de détecteurs

### Les particules chargées

Modes d'interactions  
(particules « lourdes » /  $e^+$  et  $e^-$ )  
Détecteurs gazeux et à base de semi-conducteurs

### Les photons

Effets Compton, photoélectrique  
Création de paire  
Détecteurs germanium et à scintillation

## L'interaction rayonnement – matière

### Les grandes familles de détecteurs

#### Les particules chargées

Modes d'interactions  
(particules « lourdes » /  $e^+$  et  $e^-$ )  
Détecteurs gazeux et à base de semi-conducteurs

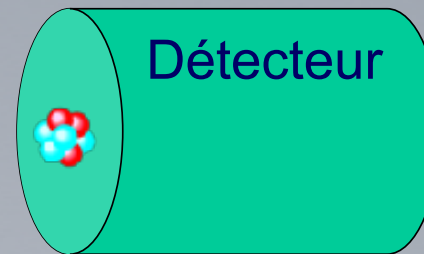
#### Les photons

Effets Compton, photoélectrique  
Création de paire  
Détecteurs germanium et à scintillation

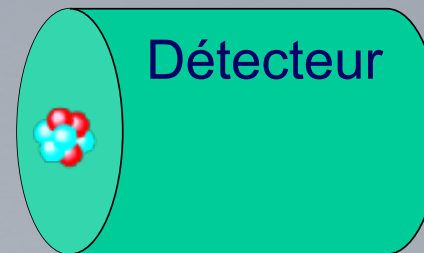
#### Les neutrons

Modération, capture, fission induite  
Diffusions élastique, inélastique  
Détecteurs gazeux et à scintillation

# Principe de base de la détection



# Principe de base de la détection



L'énergie déposée par la particule incidente sert à **exciter** (lumière) **ou ioniser** (charges électriques) le milieu tout au long du parcours de la particule dans la matière

# Principe de base de la détection

L'énergie  
déposée



Création de paires de  
particules chargées



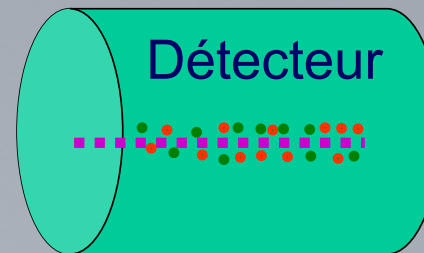
L'énergie déposée par la particule incidente sert à **exciter** (lumière) **ou ioniser** (charges électriques) le milieu tout au long du parcours de la particule dans la matière

# Principe de base de la détection

L'énergie  
déposée



Création de paires de  
particules chargées



L'énergie déposée par la particule incidente sert à **exciter** (lumière) ou **ioniser** (charges électriques) le milieu tout au long du parcours de la particule dans la matière

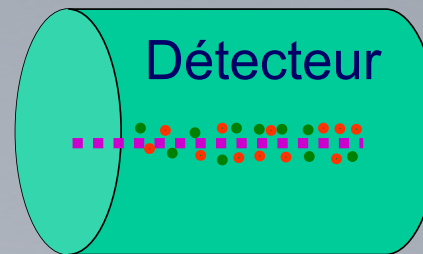


# Principe de base de la détection

L'énergie  
déposée



Création de paires de  
particules chargées

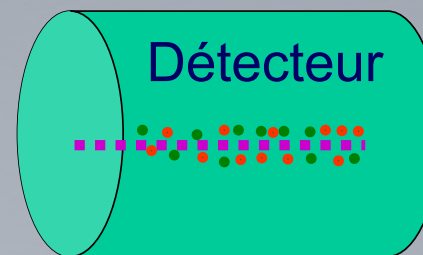


# Principe de base de la détection

L'énergie  
déposée

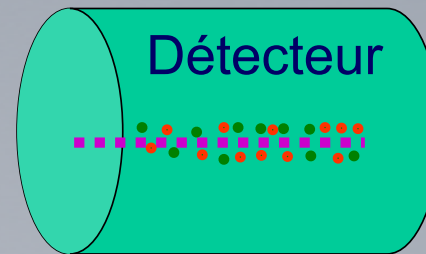


Création de paires de  
particules chargées

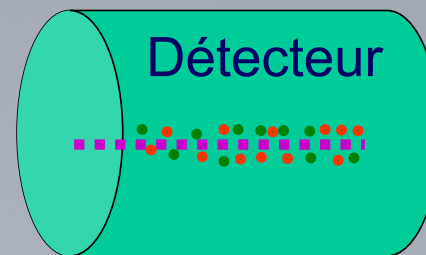


Le nombre de paires de particules chargées est  
proportionnel à l'énergie déposée

# Principe de base de la détection



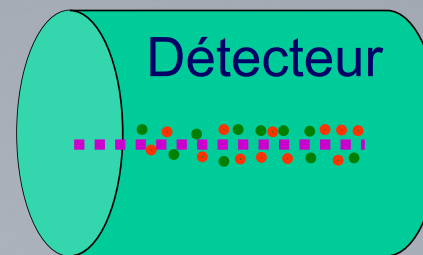
# Principe de base de la détection



Il faut appliquer un champ électrique pour collecter les particules chargées créées

# Principe de base de la détection

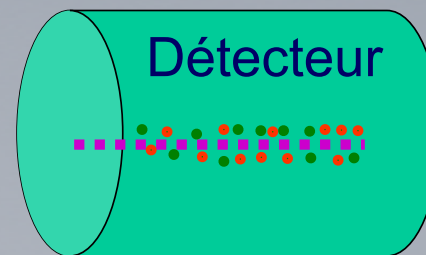
Le mouvement des charges dans la zone de détection sous l'influence du champ électrique



Il faut appliquer un champ électrique pour collecter les particules chargées créées

# Principe de base de la détection

Le mouvement des charges dans la zone de détection sous l'influence du champ électrique



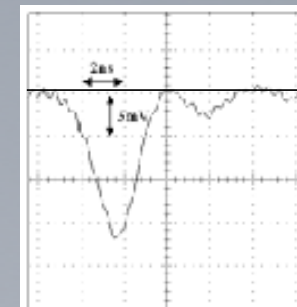
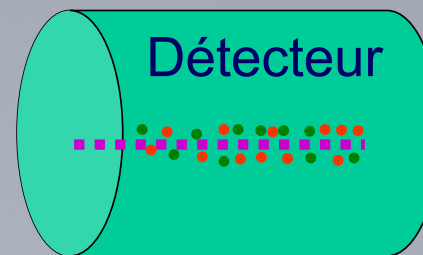
Il faut appliquer un champ électrique pour collecter les particules chargées créées

# Principe de base de la détection

Le mouvement des charges dans la zone de détection sous l'influence du champ électrique



L'apparition d'un signal électrique



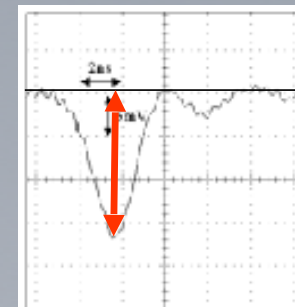
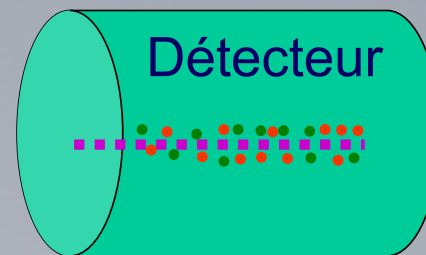
Il faut appliquer un champ électrique pour collecter les particules chargées créées

# Principe de base de la détection

Le mouvement des charges dans la zone de détection sous l'influence du champ électrique



L'apparition d'un signal électrique



L'amplitude du signal électrique est proportionnelle à l'énergie déposée



# Les détecteurs couramment utilisés pour détecter les particules chargées

Leur fonctionnement repose en général sur la collection des paires électrons-ions<sup>+</sup> ou électrons-trous<sup>+</sup> créées par le passage de la particule incidente.

**Les détecteurs gazeux**

**Les détecteurs basés sur les semi-conducteurs**

Principe et régimes de fonctionnement

## Détecteurs gazeux : énergie nécessaire à l'ionisation

Nombre de paires  
e-ions créées

$$n_{\text{paires}} = \frac{\Delta E}{W}$$

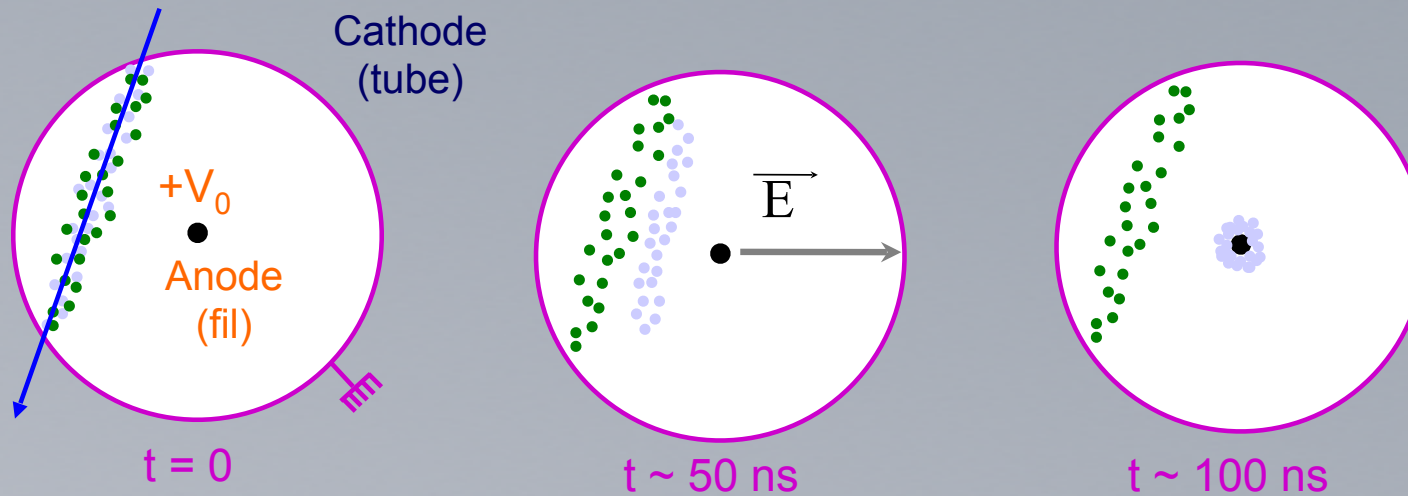
Perte d'énergie de la  
particule

Énergie effective à fournir pour  
produire une paire (tient compte de  
tous les processus possibles)

Gaz	W
Ar	26.4 eV
He	41.3 eV
Air	33.8 eV
CH <sub>4</sub>	27.3 eV

Détecteurs gazeux : principe

Le compteur cylindrique

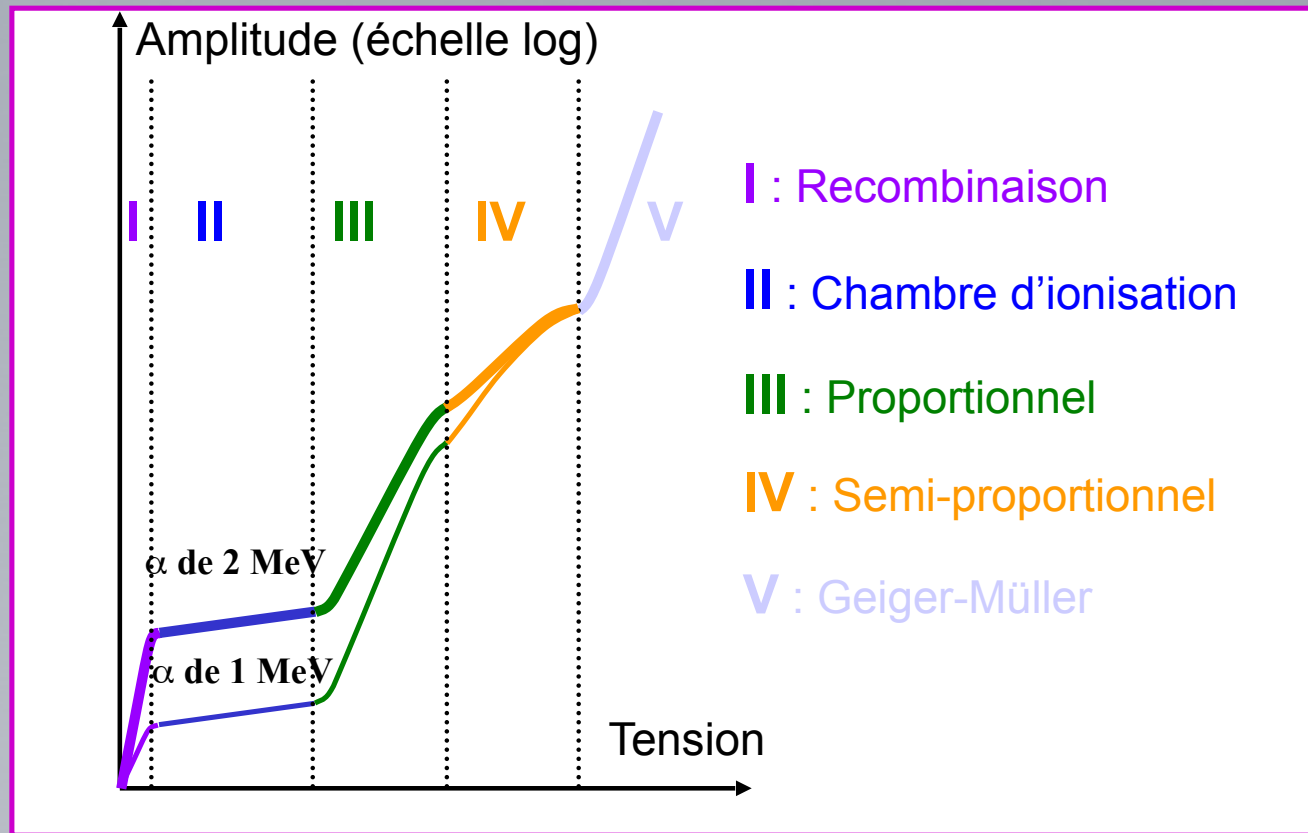


$$E_r(r) = \frac{V_0}{\ln(b/a)} \frac{1}{r}$$

b : rayon de la cathode  
 a : rayon du fil anode  
 r : distance / au centre du compteur

**E très fort et grande variation de V près de l'anode**

## Détecteurs gazeux : régimes de fonctionnement



## Détecteur gazeux : les différentes possibilités

### Mesure d'énergie :

Chambre d'ionisation

Compteur Proportionnel

### Mesure de position :

Chambre à dérive (MWDC)

Chambre à fils (MWPC)

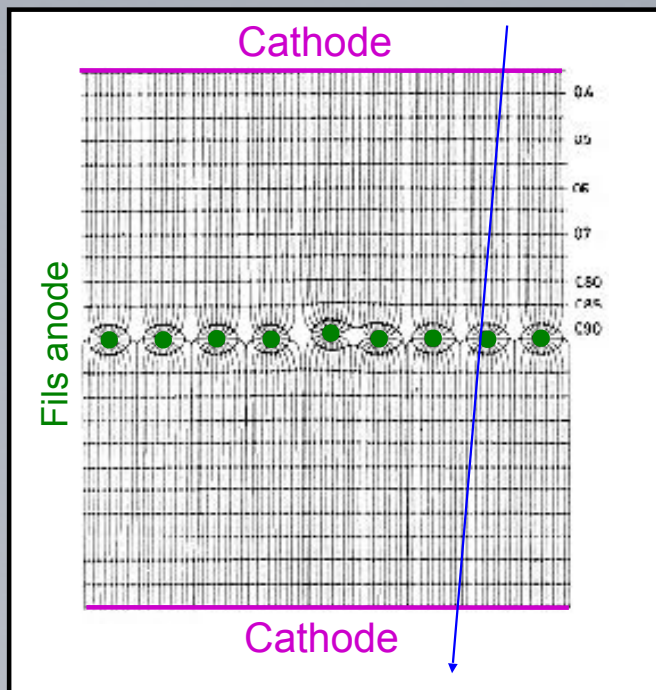
Plaques parallèles (PPAC)

### Mesure de temps de passage :

Compteur proportionnel, MWPC, Plaques parallèles (PPAC)

## Détecteurs gazeux : chambre à fils

Mesure de position et de temps de passage :



Chambre de Charpak

**Juxtaposition de compteurs proportionnels**

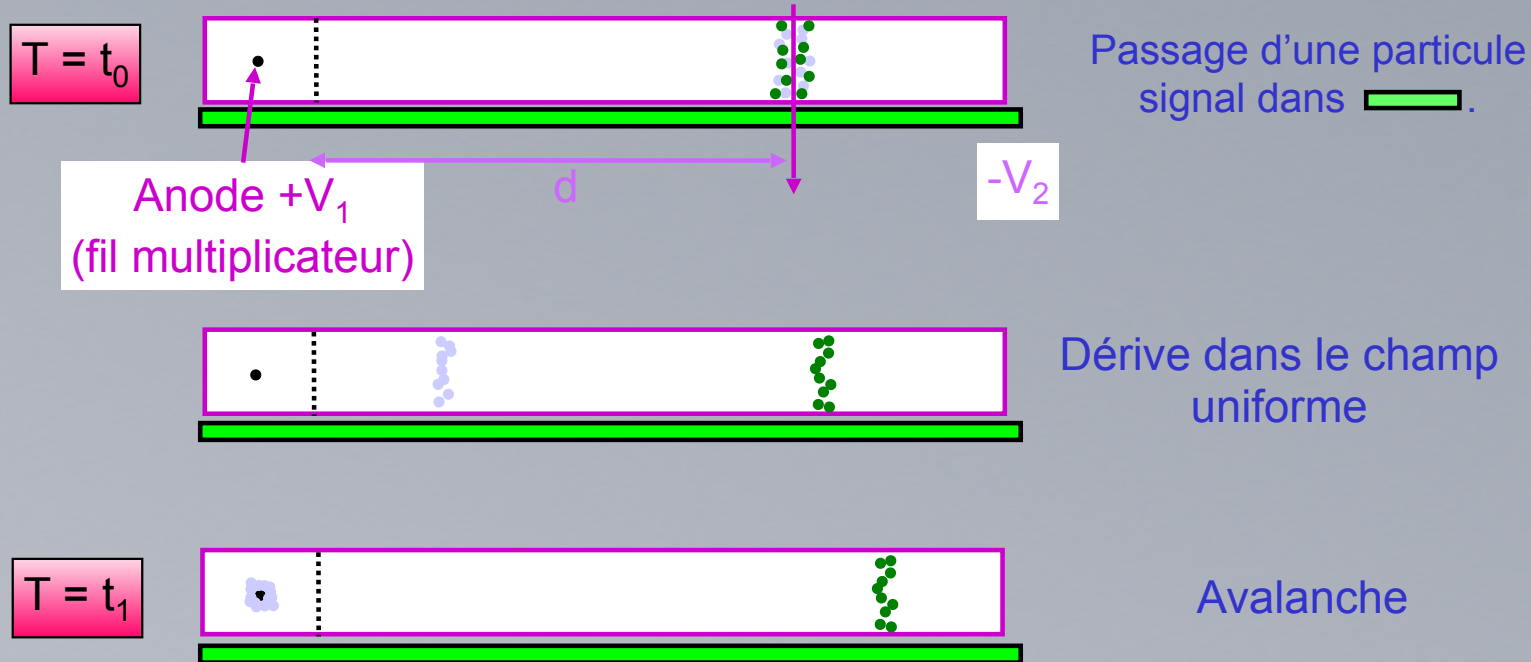
Dérive des électrons vers le fil le plus proche de la trajectoire

**Avalanche autour du fil**

Localisation à  $50 \mu\text{m}$  avec moins de temps mort qu'une chambre à dérive

## Détecteurs gazeux : chambre à dérivation

### Mesure de position :

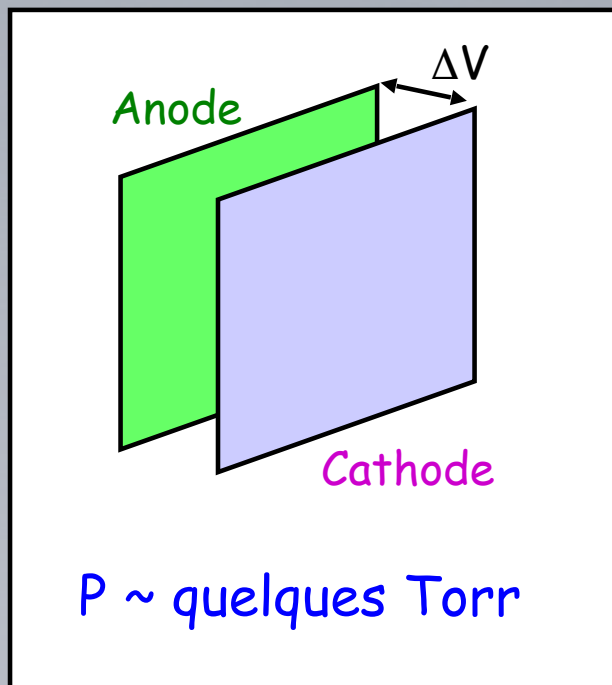


$$d = V_d \times (t_1 - t_0)$$

$V_d$  : vitesse de dérivation, constante dans certaines conditions de tension et pression

## Détecteurs gazeux : plaques parallèles

Mesure de position et de temps de passage :



Faible pression : moins de chocs avec les atomes du gaz (qui ont tendance à ralentir les charges)



Les électrons peuvent atteindre des énergies élevées (ionisation dominante / autres processus)

**AVALANCHE !**

Détecteur gazeux très rapide

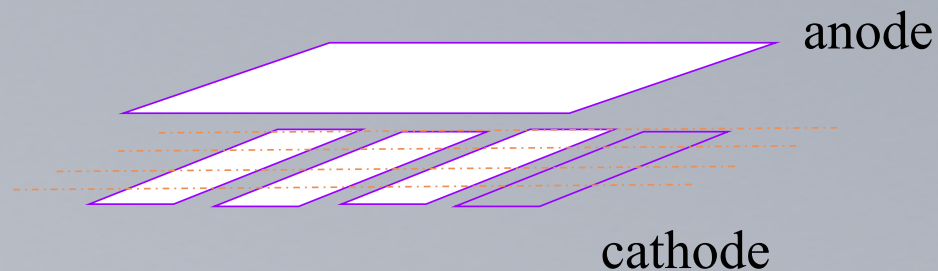


**Le principe de base de la localisation pour ce type de détecteur passe par une segmentation des cathodes.**

Une des électrodes est une feuille de mylar aluminisée.

L'autre est constituée de bandes aluminisées.

Entre ces deux plans, un 3<sup>ème</sup> plan de fil est tissé dans une direction perpendiculaire à celles des bandes et est porté à un potentiel intermédiaire.

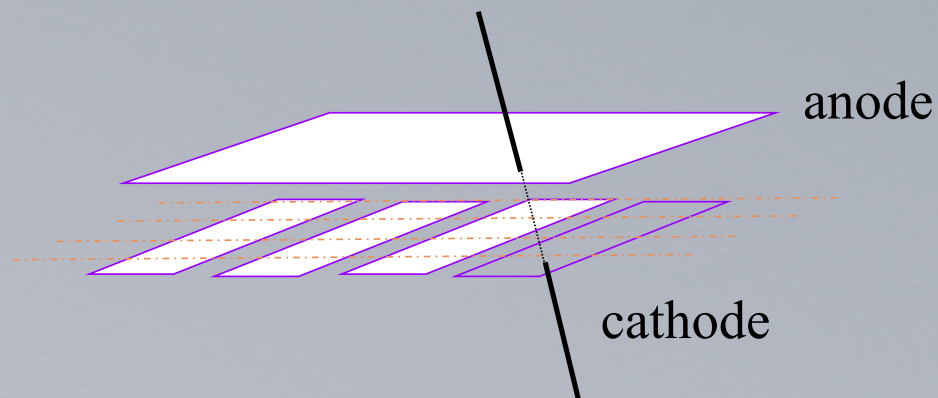


**Le principe de base de la localisation pour ce type de détecteur passe par une segmentation des cathodes.**

Une des électrodes est une feuille de mylar aluminisée.

L'autre est constituée de bandes aluminisées.

Entre ces deux plans, un 3<sup>ème</sup> plan de fil est tissé dans une direction perpendiculaire à celles des bandes et est porté à un potentiel intermédiaire.

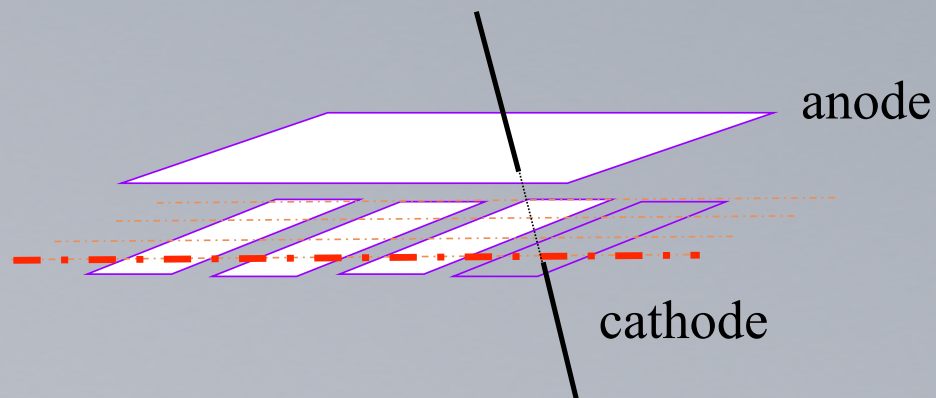


**Le principe de base de la localisation pour ce type de détecteur passe par une segmentation des cathodes.**

Une des électrodes est une feuille de mylar aluminisée.

L'autre est constituée de bandes aluminisées.

Entre ces deux plans, un 3<sup>ème</sup> plan de fil est tissé dans une direction perpendiculaire à celles des bandes et est porté à un potentiel intermédiaire.

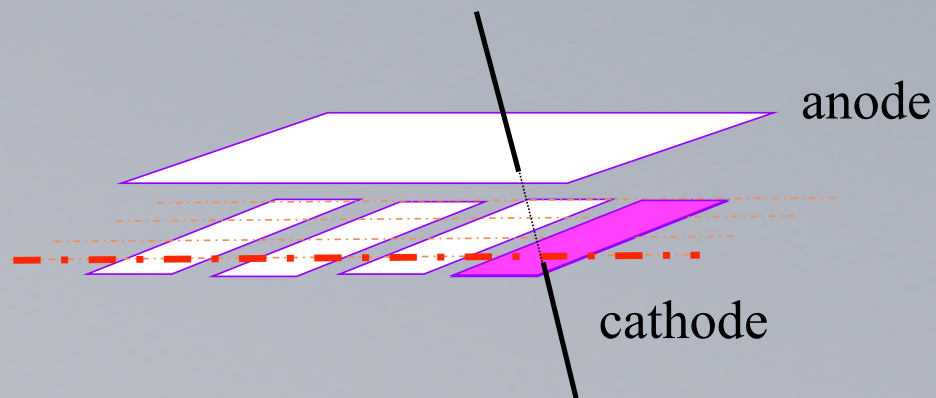


**Le principe de base de la localisation pour ce type de détecteur passe par une segmentation des cathodes.**

Une des électrodes est une feuille de mylar aluminisée.

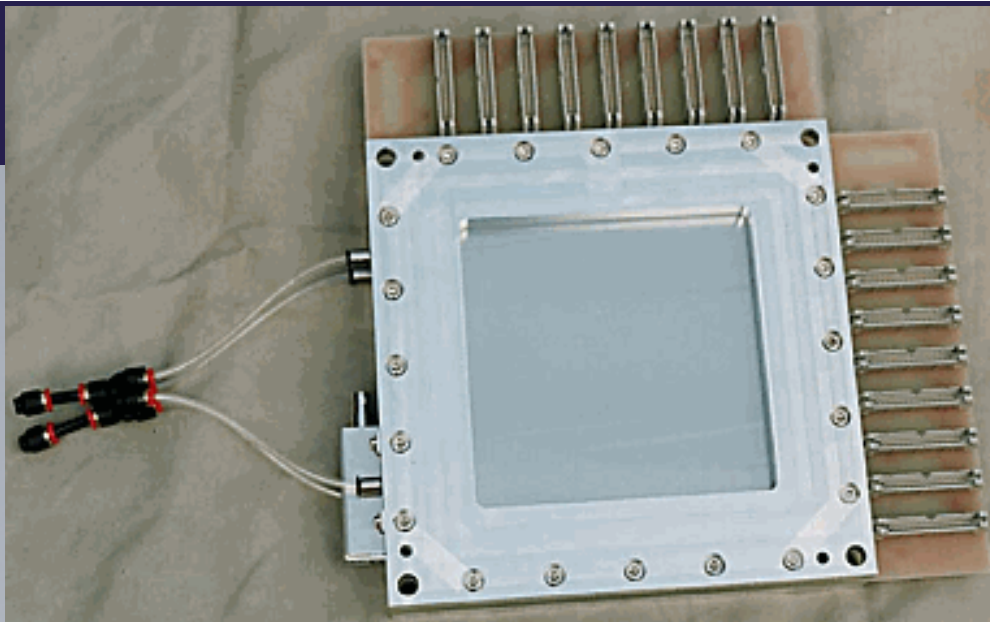
L'autre est constituée de bandes aluminisées.

Entre ces deux plans, un 3<sup>ème</sup> plan de fil est tissé dans une direction perpendiculaire à celles des bandes et est porté à un potentiel intermédiaire.

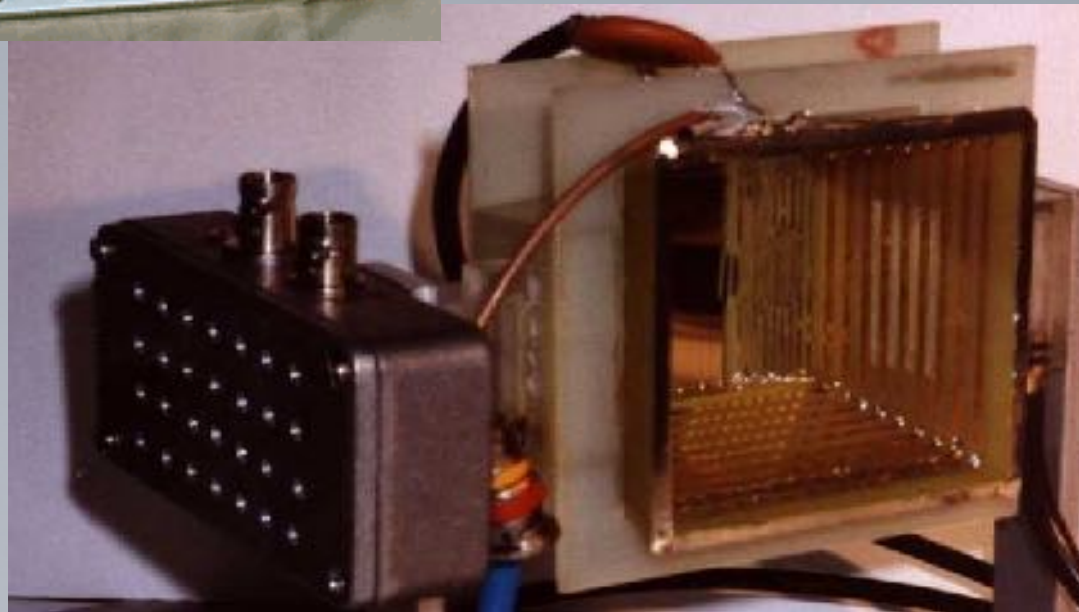
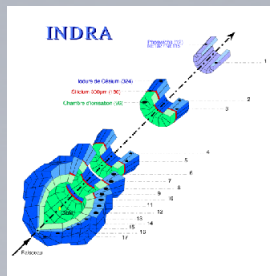


Profs au GANIL

Exemple  
de Chambre à fils

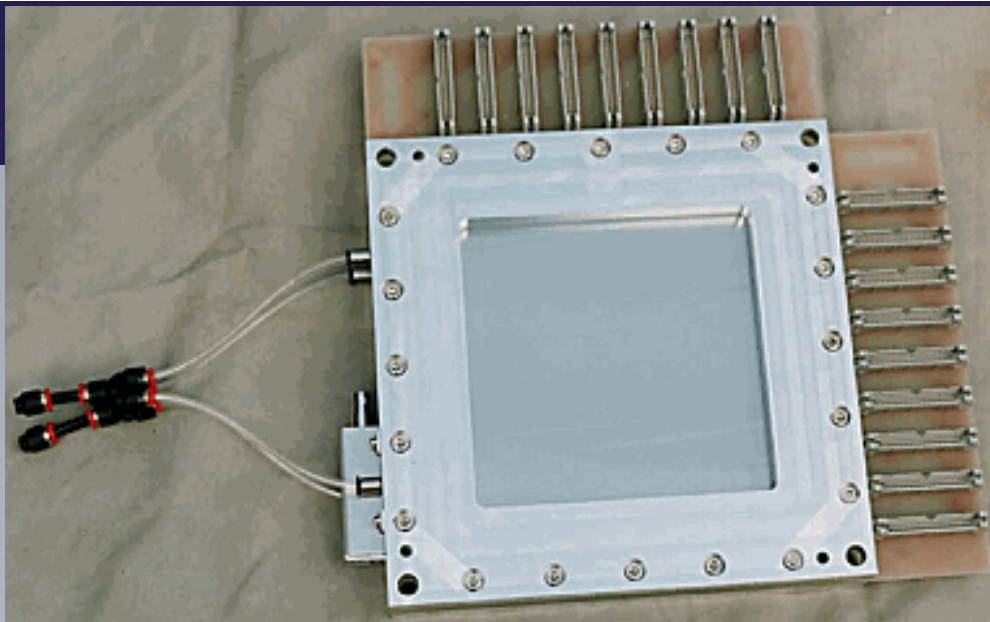


Chambre  
d'ionisation  
d'INDRA

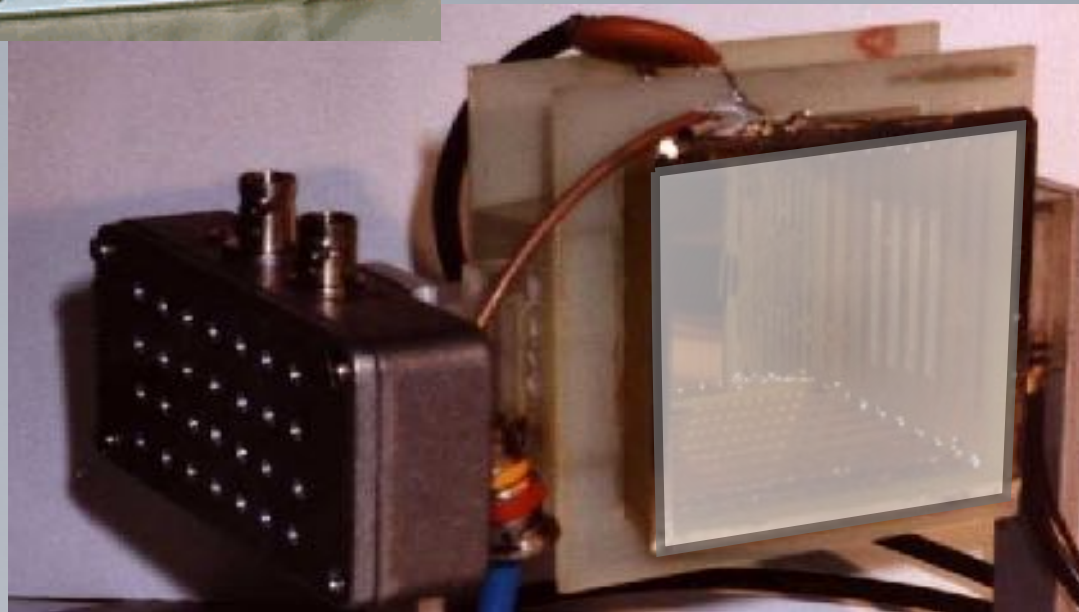
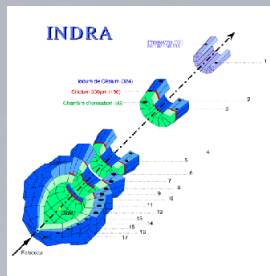


Profs au GANIL

Exemple  
de Chambre à fils



Chambre  
d'ionisation  
d'INDRA





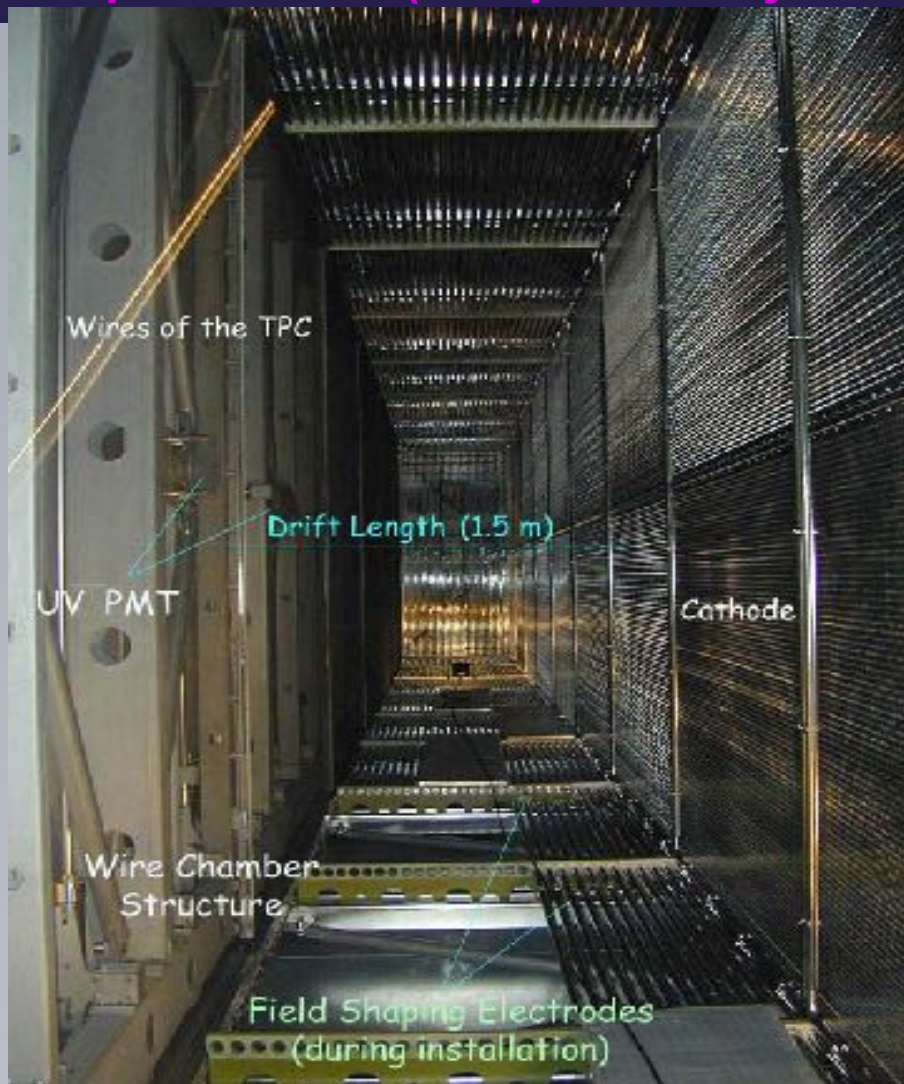
Application à la détection X des Chambre à fils



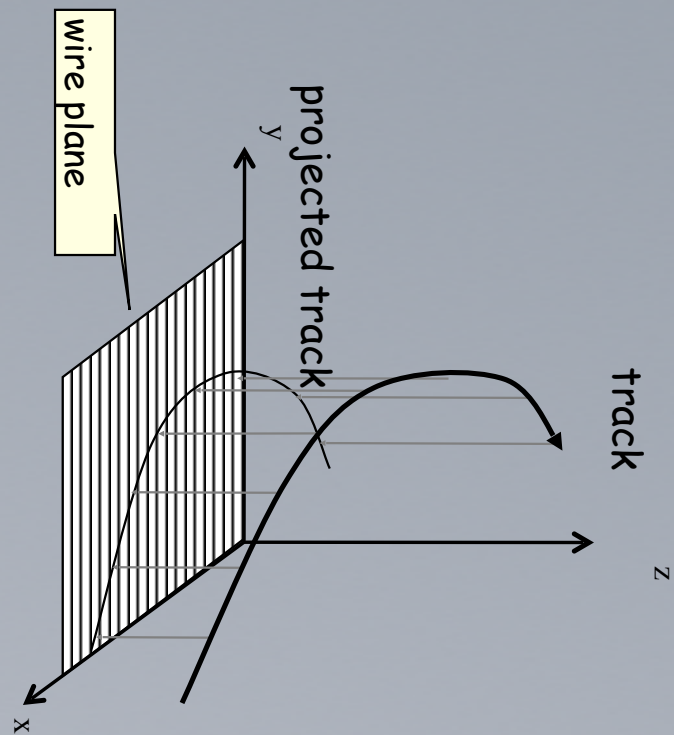


# Exemple de TPC (Temporal Projection Chamber)

Profs au GANIL

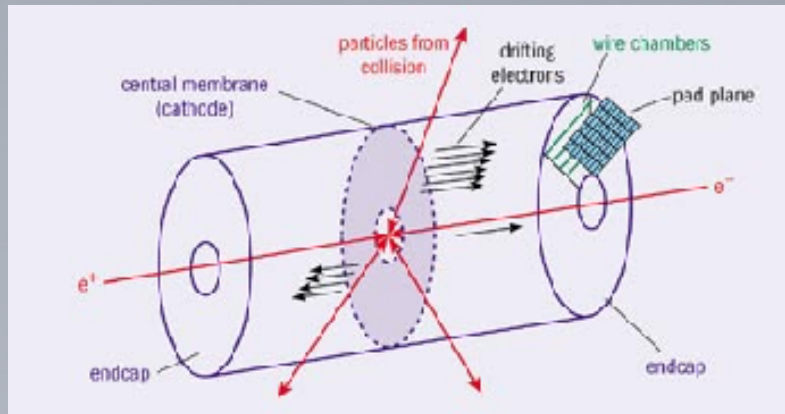


$$\text{TPC} = \text{MWPC} + \text{MWDC}$$



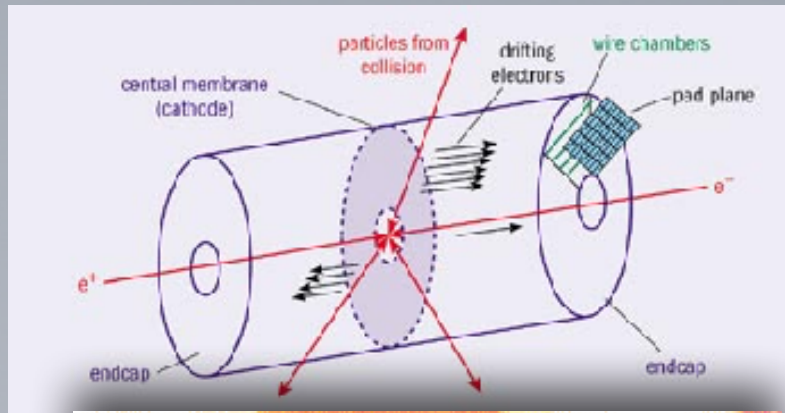
Trajectographie

## Exemple de Temporal Projection Chamber

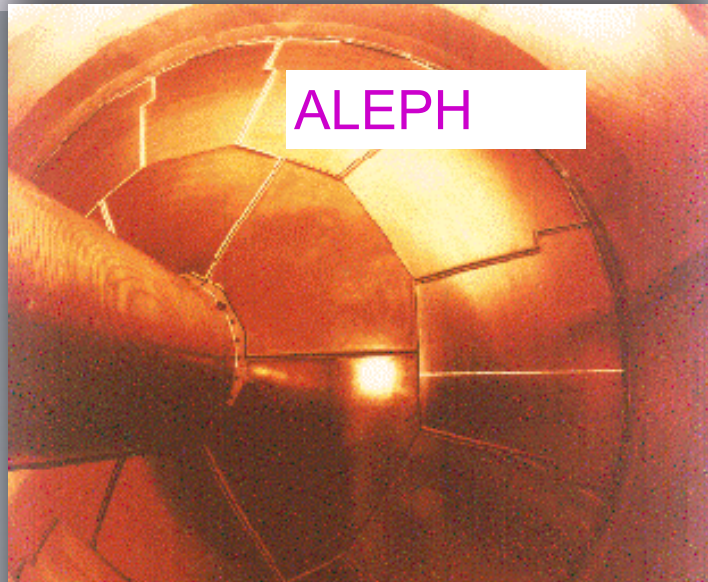


TPC

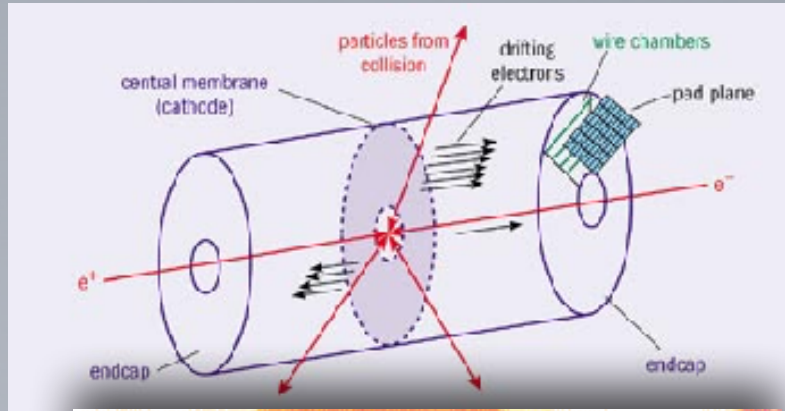
## Exemple de Temporal Projection Chamber



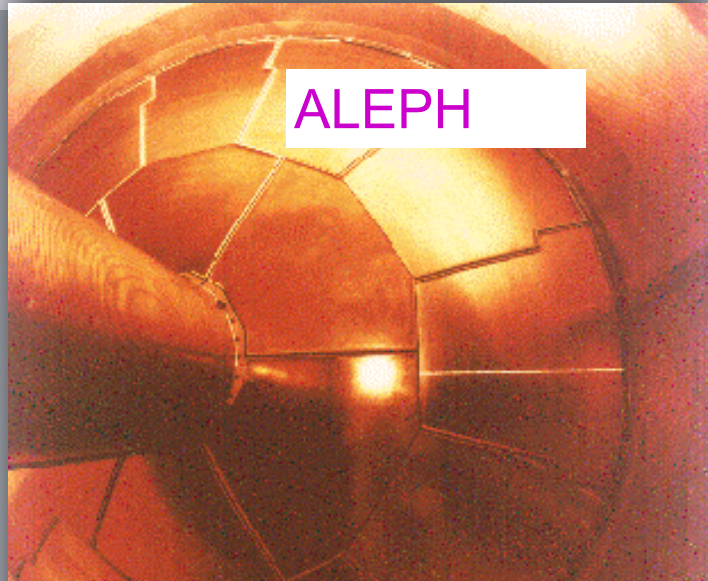
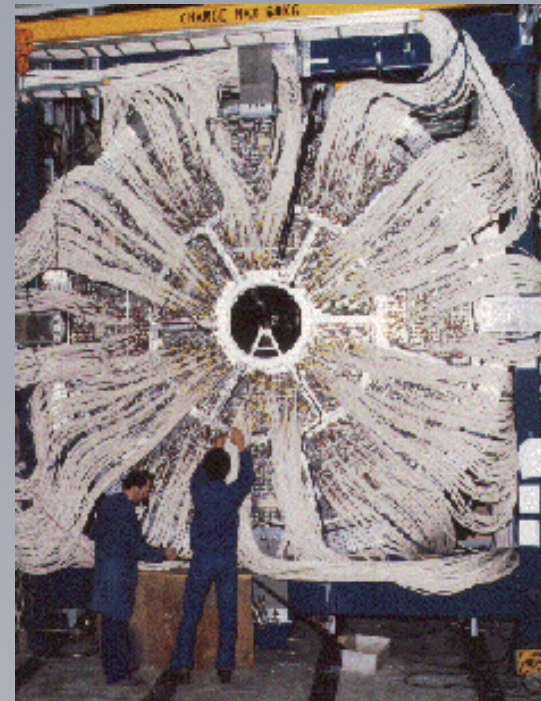
TPC



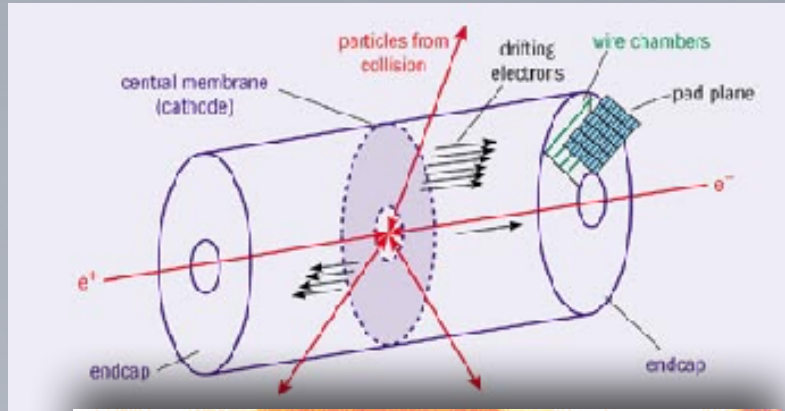
Exemple de Temporal Projection Chamber



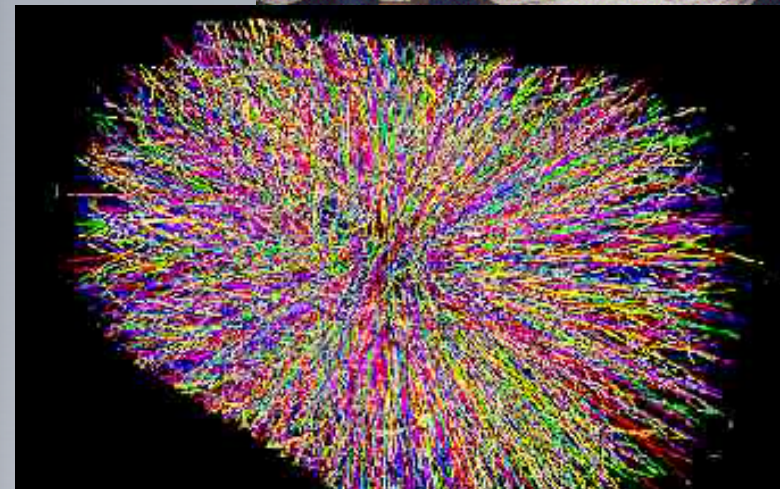
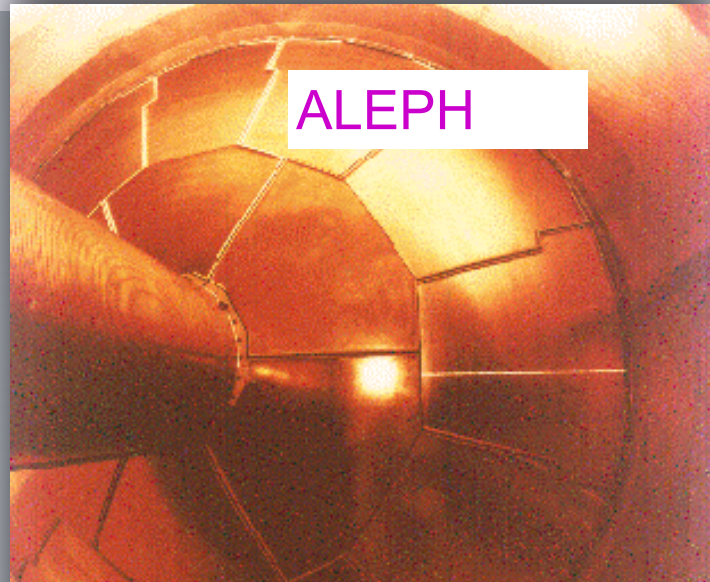
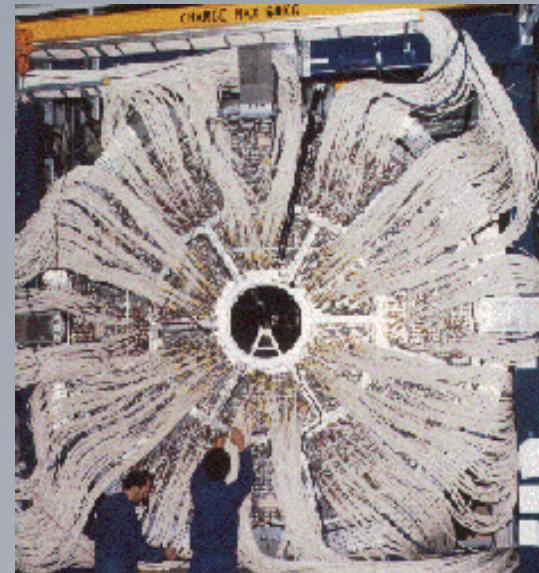
TPC



Exemple de Temporal Projection Chamber



TPC



# Les détecteurs couramment utilisés pour détecter les particules chargées

## Détecteurs basés sur les semi-conducteurs

Plusieurs avantages / au milieu gazeux :

Densité plus élevée :

$$\rho_{\text{air}} = 0.00129 \text{ g/cm}^3 \quad \rho_{\text{Si}} = 2.32 \text{ g/cm}^3$$

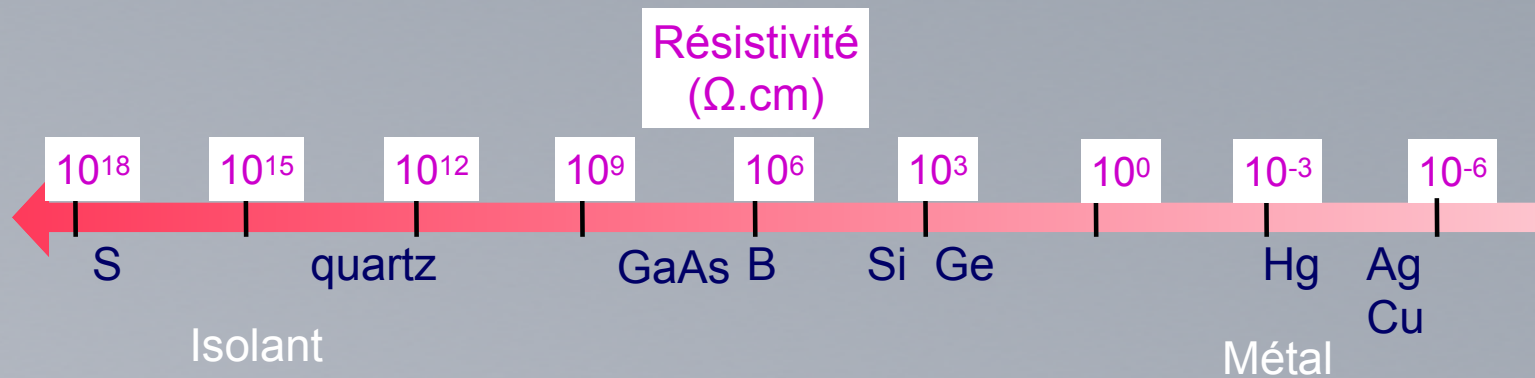
T = 20°C, Pression Atmosphérique

Énergie de création de paire plus faible :

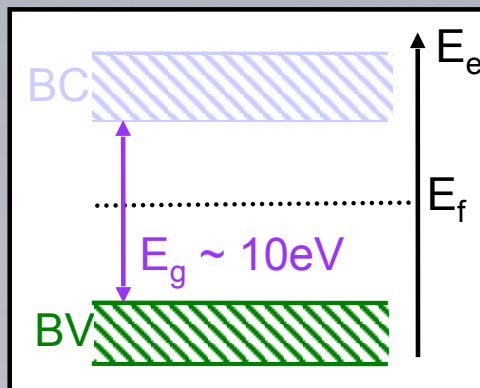
$$W_{\text{air}} = 33.8 \text{ eV}$$

$$W_{\text{Si}} = 3.6 \text{ eV}$$

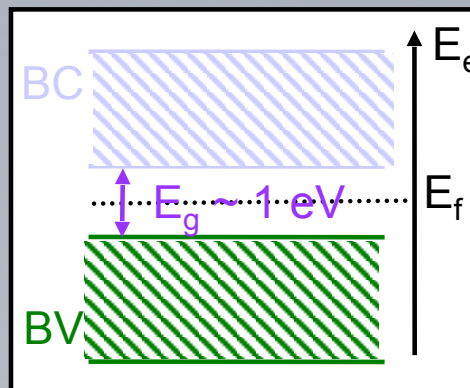
Détecteurs semi-conducteurs



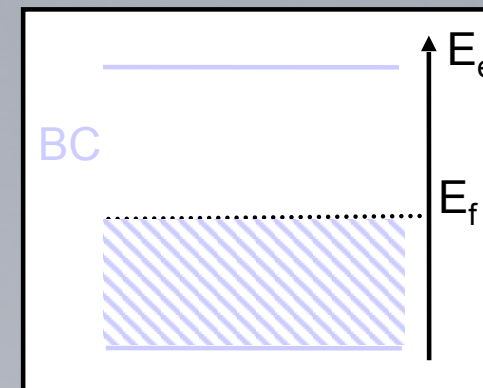
Isolant



Semi-conducteur



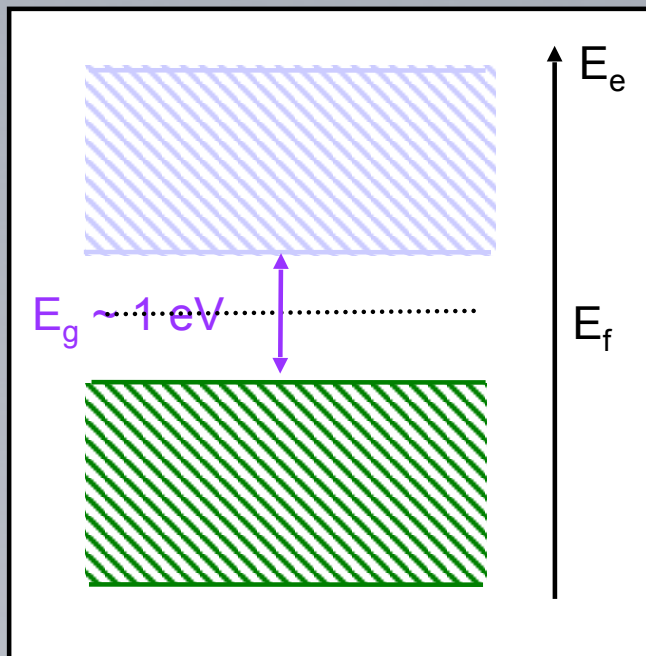
Conducteur



## Détecteurs semi-conducteurs

Agitation thermique  $\Rightarrow$   $n$   $e^-$  passent dans la BC, laissant  $p$  états vacants dans la BV :  $p$  **trous**

$$n = p$$



Champ électrique : mise en mouvement des  $e^-$  de la BC, des  $t^+$  dans la BV

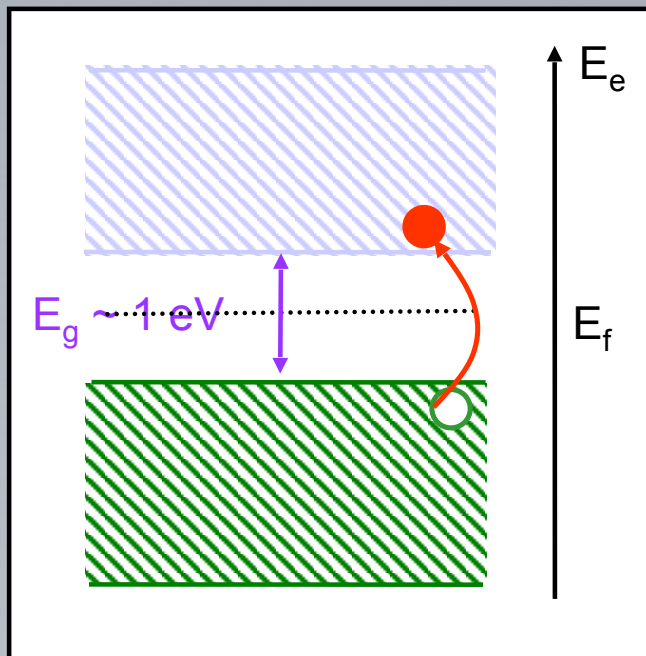
**Les trous se comportent comme une charge +, avec une mobilité comparable à  $e^-$**



## Détecteurs semi-conducteurs

Agitation thermique  $\Rightarrow$   $n$   $e^-$  passent dans la BC, laissant  $p$  états vacants dans la BV :  $p$  **trous**

$$n = p$$

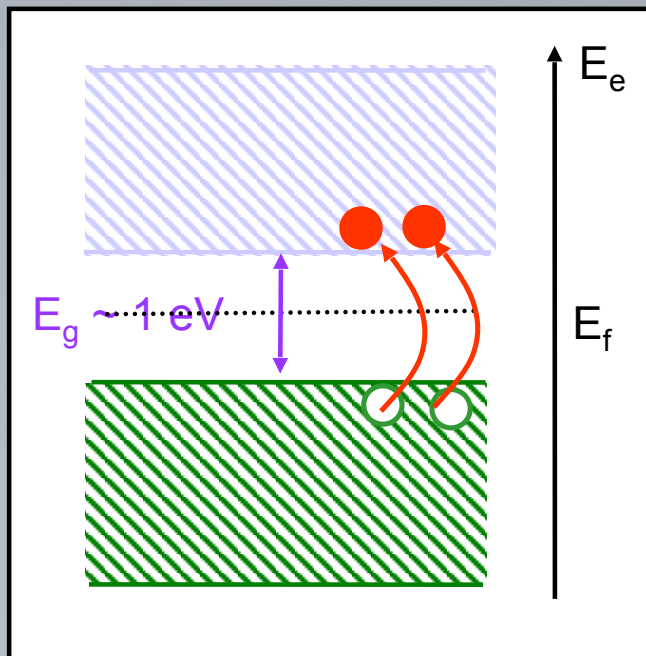


Champ électrique : mise en mouvement des  $e^-$  de la BC, des  $t^+$  dans la BV

**Les trous se comportent comme une charge +, avec une mobilité comparable à  $e^-$**

## Détecteurs semi-conducteurs

Agitation thermique  $\Rightarrow$   $n$   $e^-$  passent dans la BC, laissant  $p$  états vacants dans la BV :  $p$  **trous**



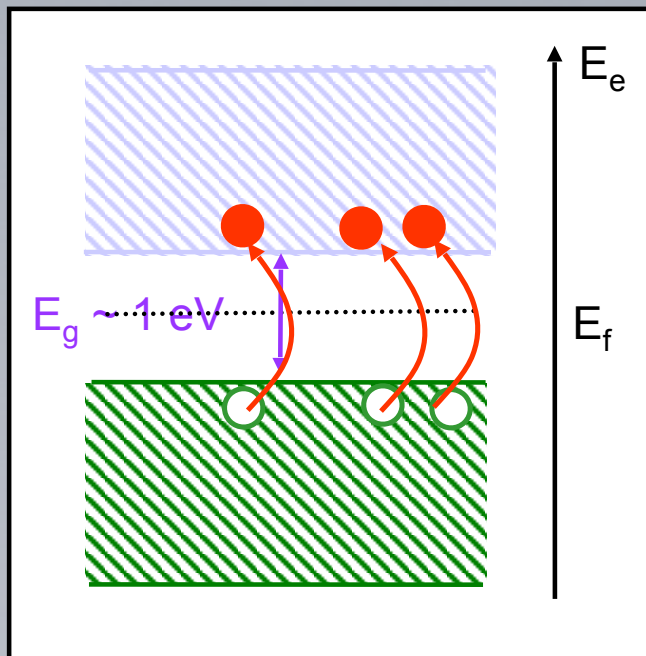
$$n = p$$

Champ électrique : mise en mouvement des  $e^-$  de la BC, des  $t^+$  dans la BV

**Les trous se comportent comme une charge +, avec une mobilité comparable à  $e^-$**

## Détecteurs semi-conducteurs

Agitation thermique  $\Rightarrow$   $n$   $e^-$  passent dans la BC, laissant  $p$  états vacants dans la BV :  $p$  **trous**



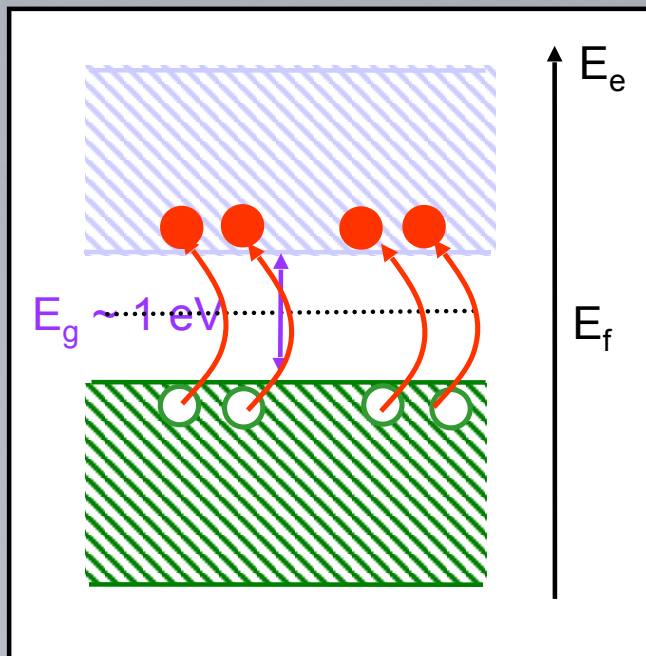
$$n = p$$

Champ électrique : mise en mouvement des  $e^-$  de la BC, des  $t^+$  dans la BV

**Les trous se comportent comme une charge +, avec une mobilité comparable à  $e^-$**

## Détecteurs semi-conducteurs

Agitation thermique  $\Rightarrow$   $n$   $e^-$  passent dans la BC, laissant  $p$  états vacants dans la BV :  $p$  **trous**



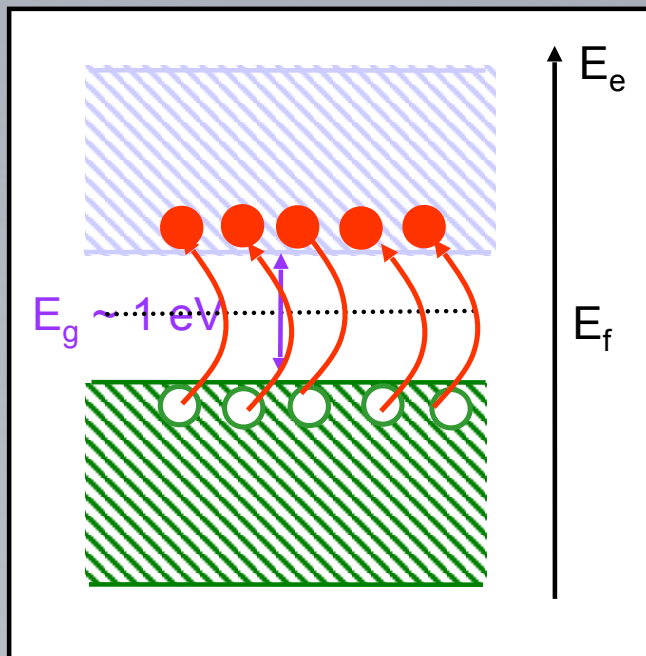
$$n = p$$

Champ électrique : mise en mouvement des  $e^-$  de la BC, des  $t^+$  dans la BV

**Les trous se comportent comme une charge +, avec une mobilité comparable à  $e^-$**

## Détecteurs semi-conducteurs

Agitation thermique  $\Rightarrow$   $n$   $e^-$  passent dans la BC, laissant  $p$  états vacants dans la BV :  $p$  **trous**



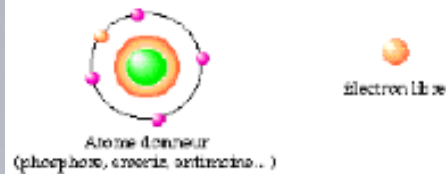
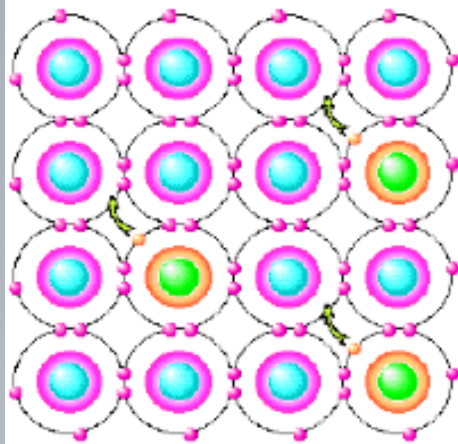
$$n = p$$

Champ électrique : mise en mouvement des  $e^-$  de la BC, des  $t^+$  dans la BV

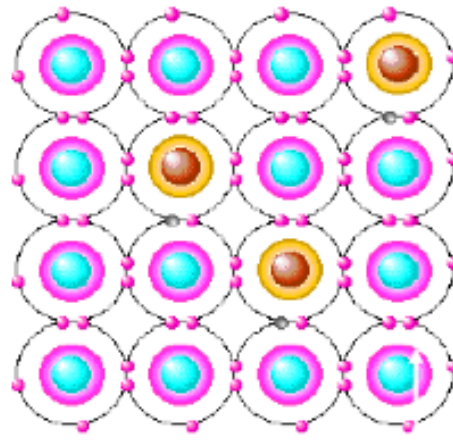
**Les trous se comportent comme une charge +, avec une mobilité comparable à  $e^-$**

## Dopage d'un semi-conducteur

*Semi conducteur  
de type N*



*Semi conducteur  
de type P*



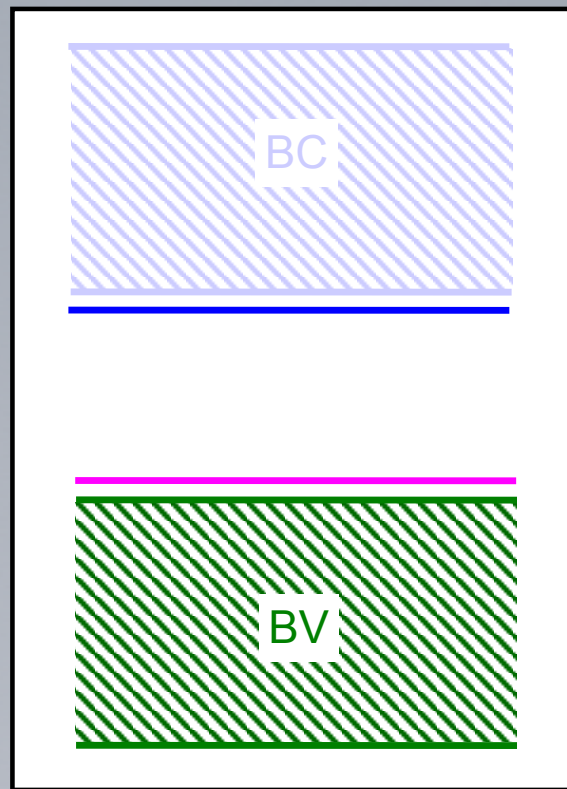
Dopage

$10^{13}$  à  $10^{16}$

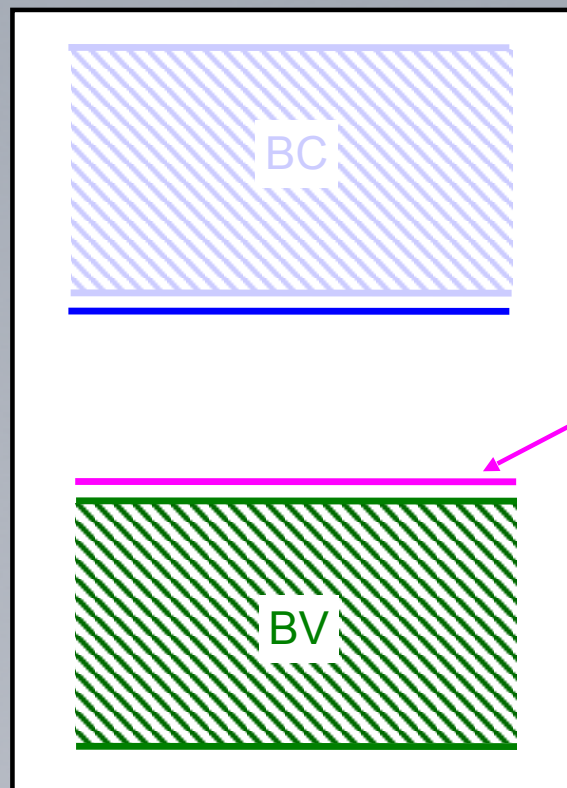
pour

$10^{22}$  at /  $\text{cm}^3$

Détecteurs semi-conducteurs : dopants



Détecteurs semi-conducteurs : dopants



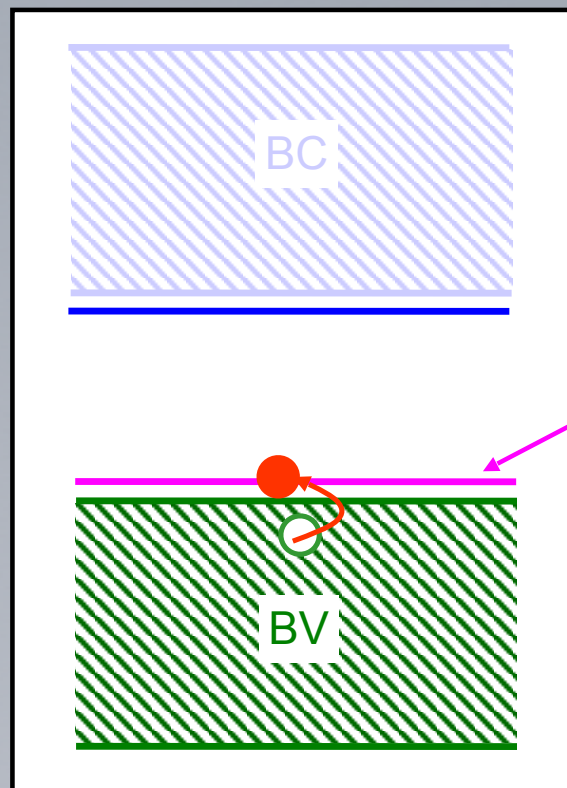
Dopage de type p :  
atomes trivalents  
B, In

Niveau accepteur  
dans la BI

B dans Si : 0.045 eV  
pour qu'apparaisse un  
trou dans la BV



Détecteurs semi-conducteurs : dopants



Dopage de type p :  
atomes trivalents  
B, In

Niveau accepteur  
dans la BV

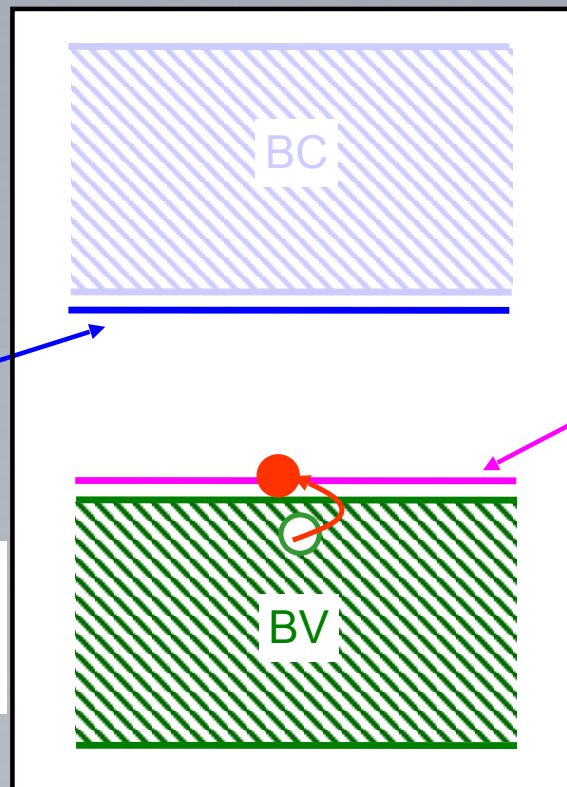
B dans Si : 0.045 eV  
pour qu'apparaisse un  
trou dans la BV

## Détecteurs semi-conducteurs : dopants

Dopage de type n :  
atomes pentavalents  
P, As

Niveau donneur  
dans la BI

P dans Si : 0.045 eV  
pour qu'un e<sup>-</sup> passe  
dans la BC



Dopage de type p :  
atomes trivalents  
B, In

Niveau accepteur  
dans la BI

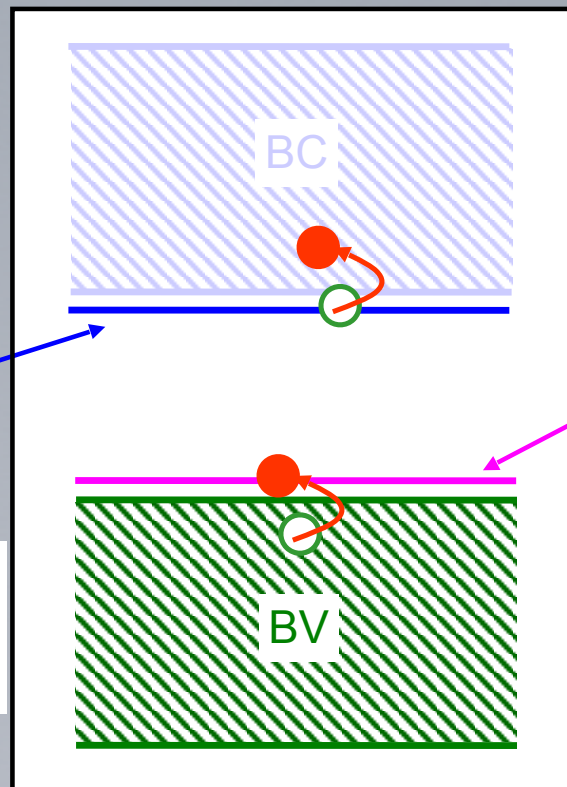
B dans Si : 0.045 eV  
pour qu'apparaisse un  
trou dans la BV

## Détecteurs semi-conducteurs : dopants

Dopage de type n :  
atomes pentavalents  
P, As

Niveau donneur  
dans la BI

P dans Si : 0.045 eV  
pour qu'un e<sup>-</sup> passe  
dans la BC



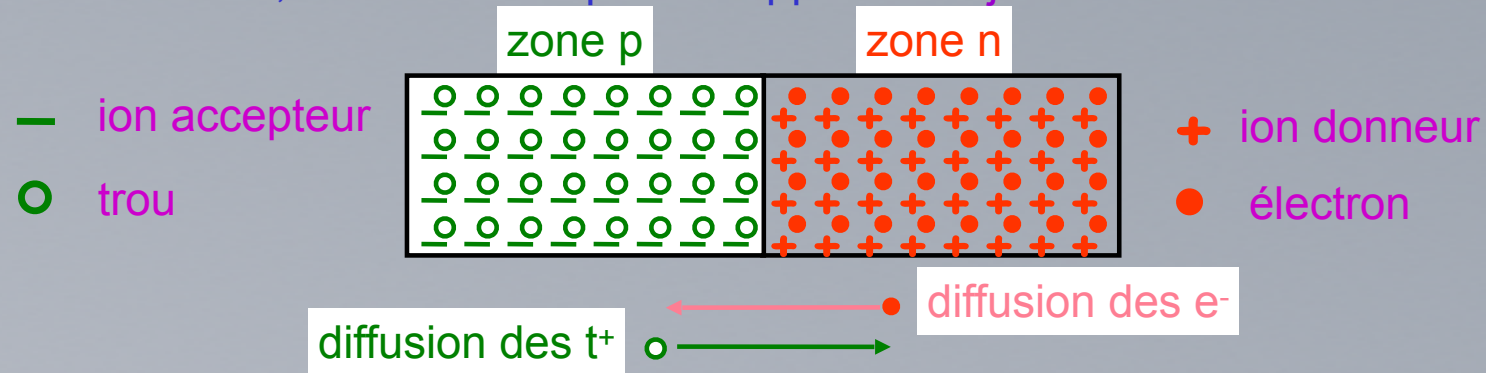
Dopage de type p :  
atomes trivalents  
B, In

Niveau accepteur  
dans la BI

B dans Si : 0.045 eV  
pour qu'apparaisse un  
trou dans la BV

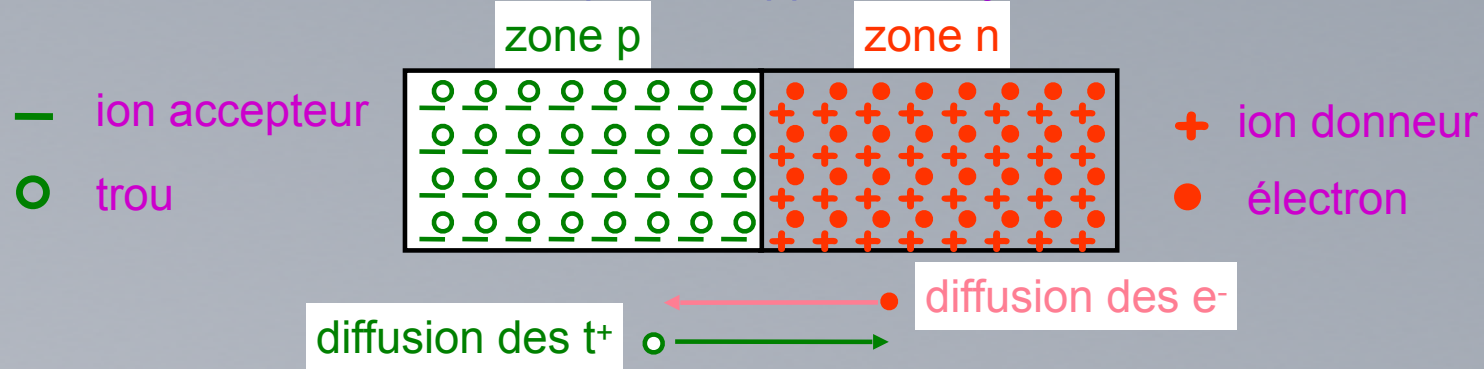
## Détecteurs semi-conducteurs : jonction p<sup>+</sup>-n

Si l'on accole deux semi-conducteurs extrinsèques de dopages différents, on réalise ce que l'on appelle une jonction PN.

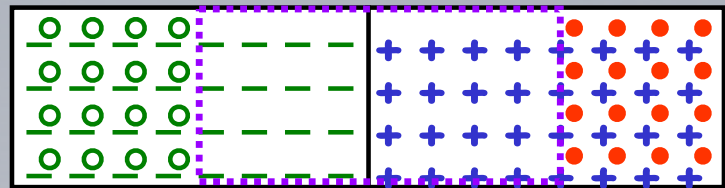


## Détecteurs semi-conducteurs : jonction p<sup>+</sup>-n

Si l'on accole deux semi-conducteurs extrinsèques de dopages différents, on réalise ce que l'on appelle une jonction PN.

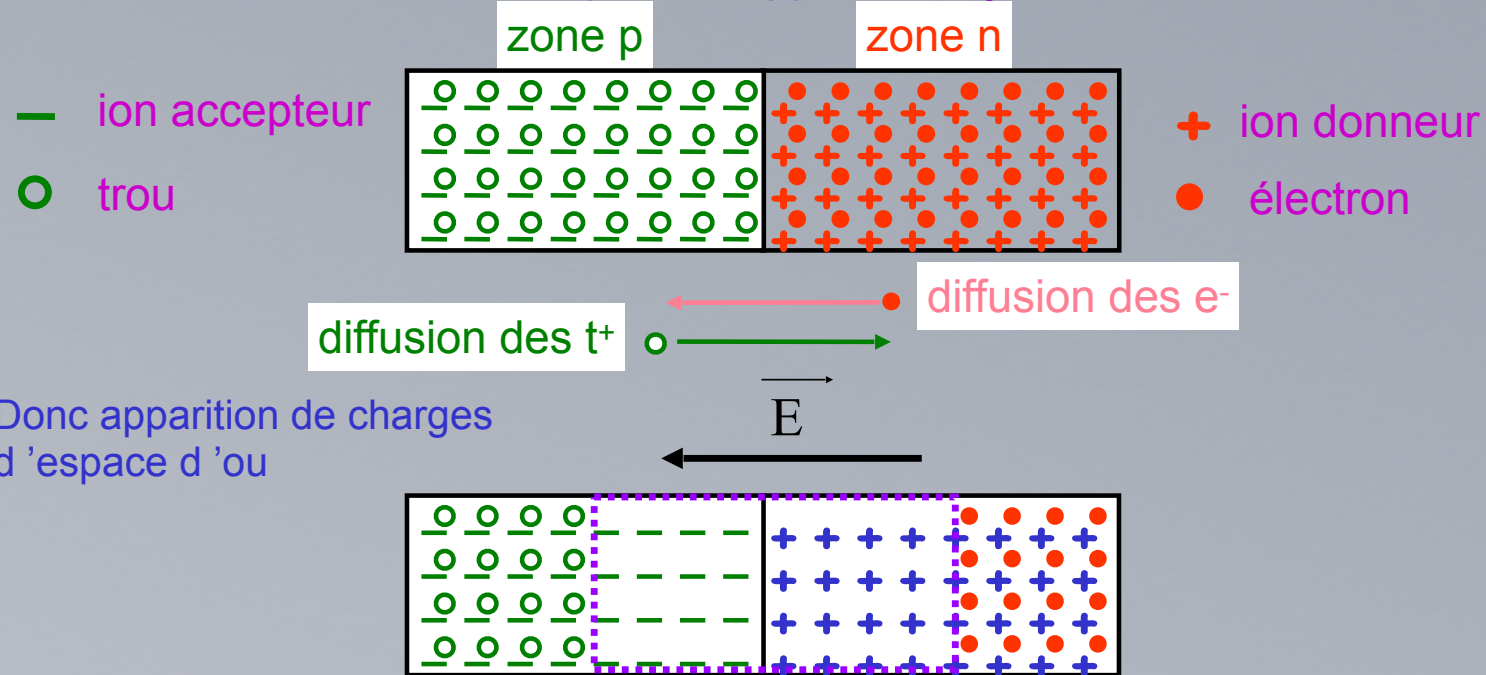


Donc apparition de charges d'espace d'ou



## Détecteurs semi-conducteurs : jonction p<sup>+</sup>-n

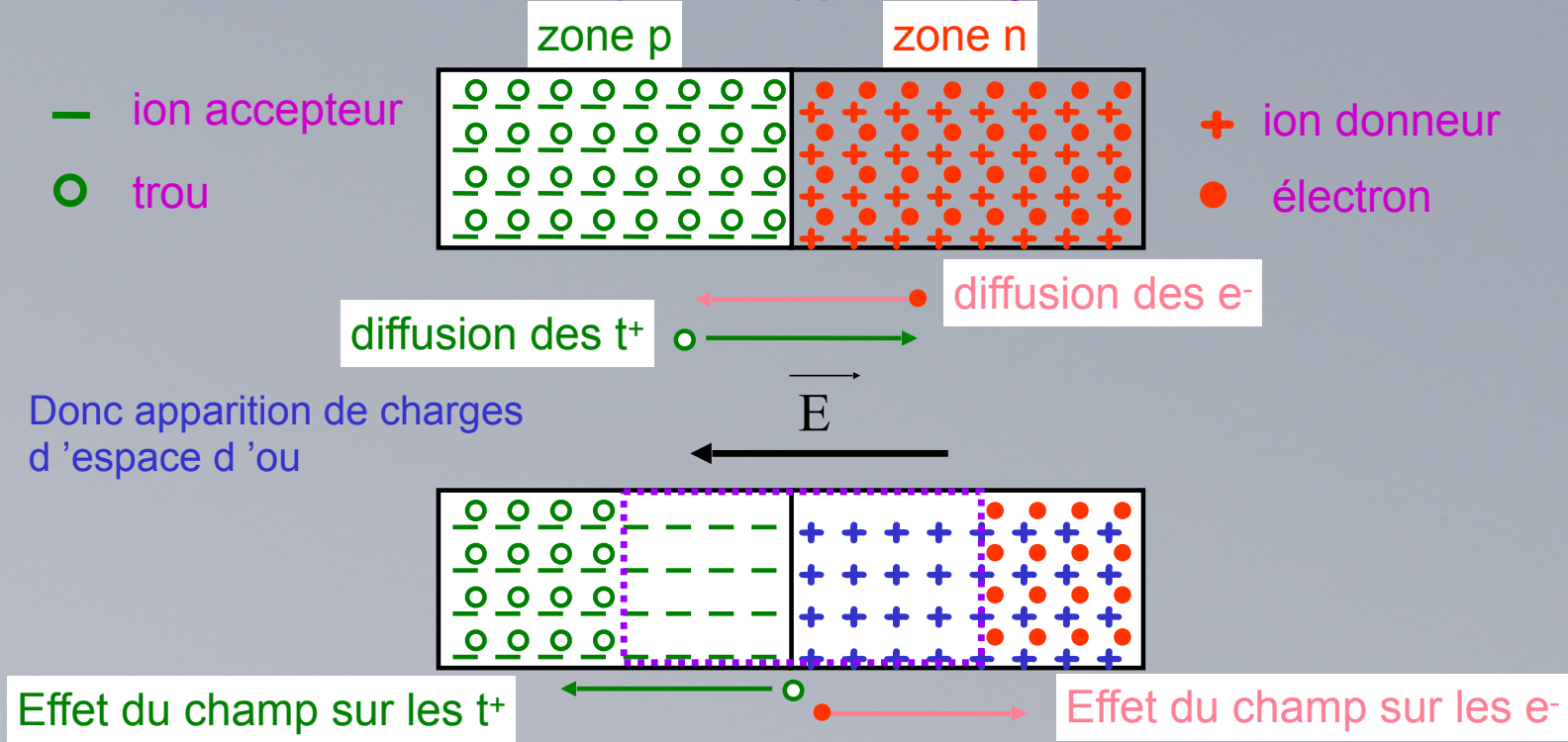
Si l'on accole deux semi-conducteurs extrinsèques de dopages différents, on réalise ce que l'on appelle une jonction PN.



Donc apparition de charges d'espace d'ou

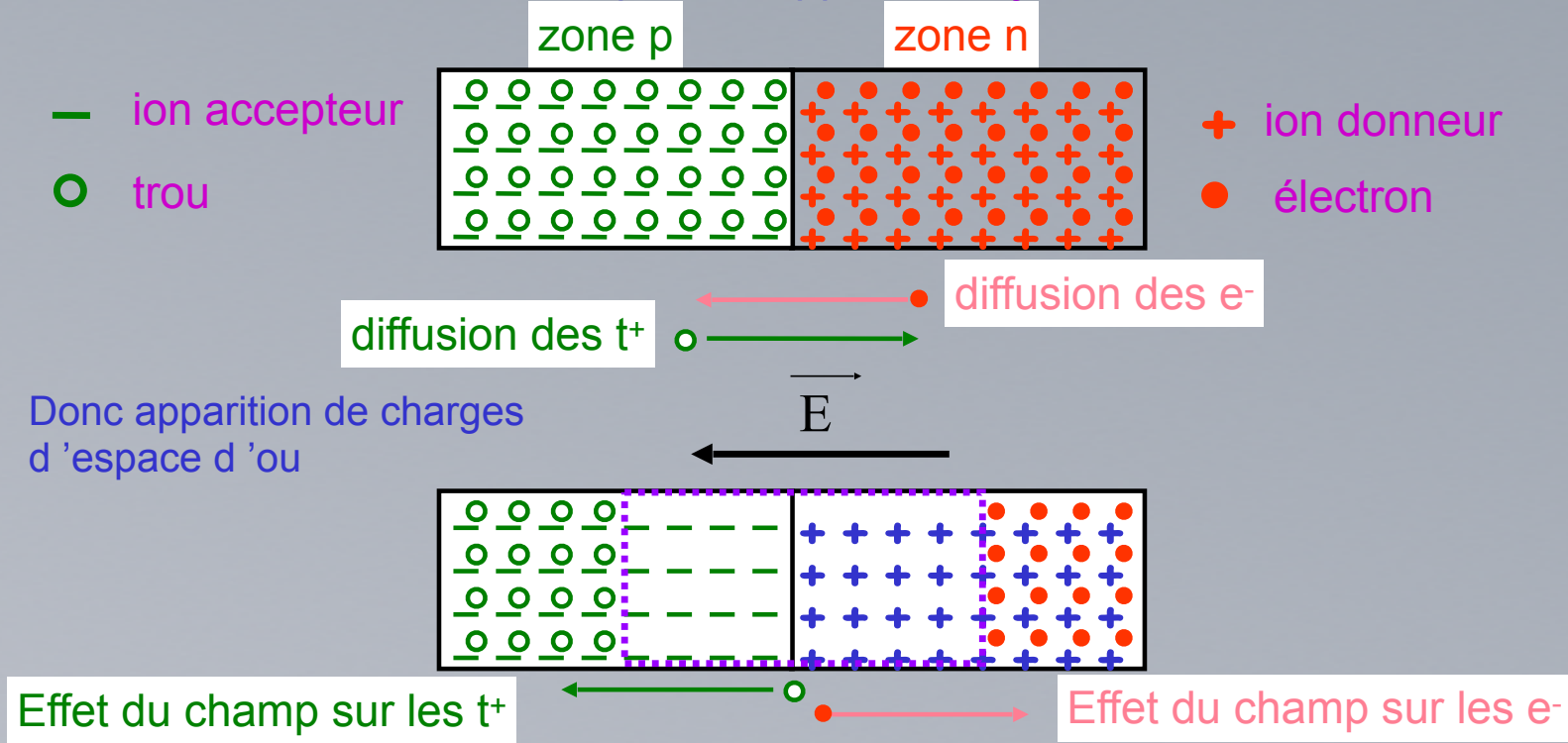
## Détecteurs semi-conducteurs : jonction p<sup>+</sup>-n

Si l'on accole deux semi-conducteurs extrinsèques de dopages différents, on réalise ce que l'on appelle une jonction PN.



## Détecteurs semi-conducteurs : jonction p<sup>+</sup>-n

Si l'on accole deux semi-conducteurs extrinsèques de dopages différents, on réalise ce que l'on appelle une jonction PN.

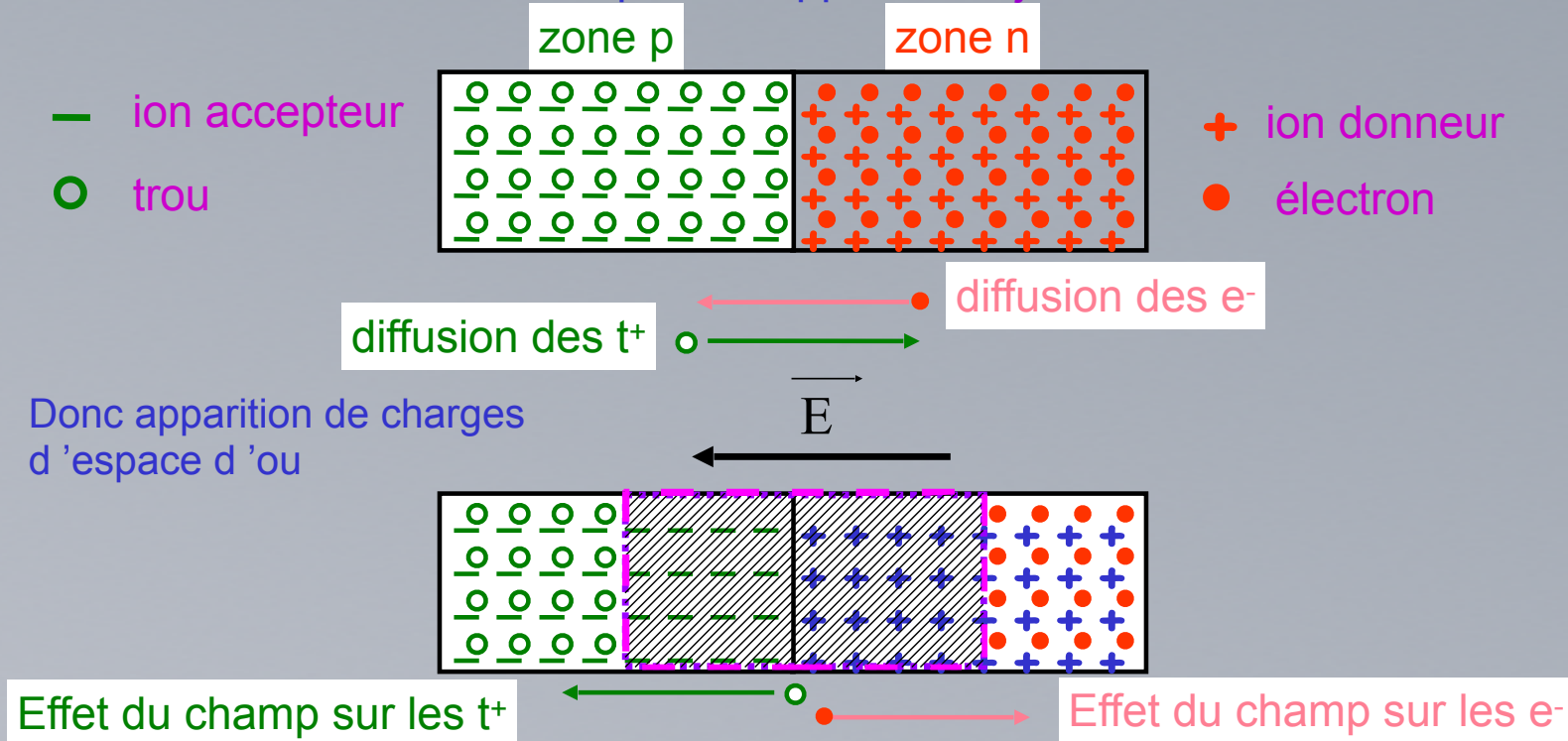


À l'équilibre : zone dépourvue de porteurs libres (déplétée) : haute résistivité



## Détecteurs semi-conducteurs : jonction p<sup>+</sup>-n

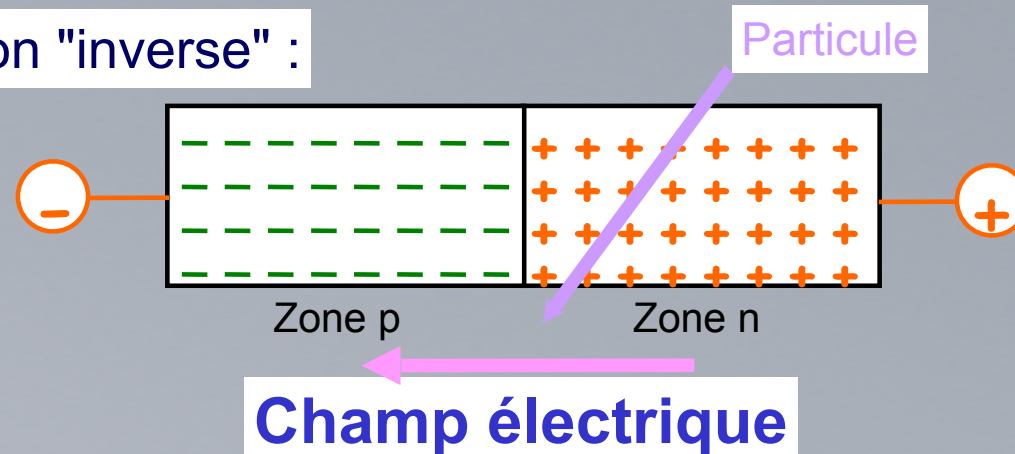
Si l'on accole deux semi-conducteurs extrinsèques de dopages différents, on réalise ce que l'on appelle une jonction PN.



À l'équilibre : zone dépourvue de porteurs libres (déplétée) : haute résistivité

Détecteurs semi-conducteurs : jonction p<sup>+</sup>-n

Polarisation "inverse" :



L'effet s'ajoute au potentiel contact :

$$X \text{ taille de la zone} = \sqrt{V_{ext} / N_D}$$



Champ nécessaire à la collection des charges créées par une particule ionisante

Apparition d'un courant inverse lié aux porteurs minoritaires

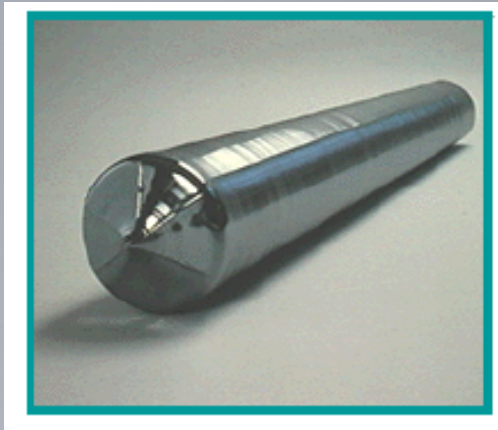
## Détecteurs semi-conducteurs

Jonctions

Barrière de surface

Détecteurs compensés : Si(Li) et Ge(Li)

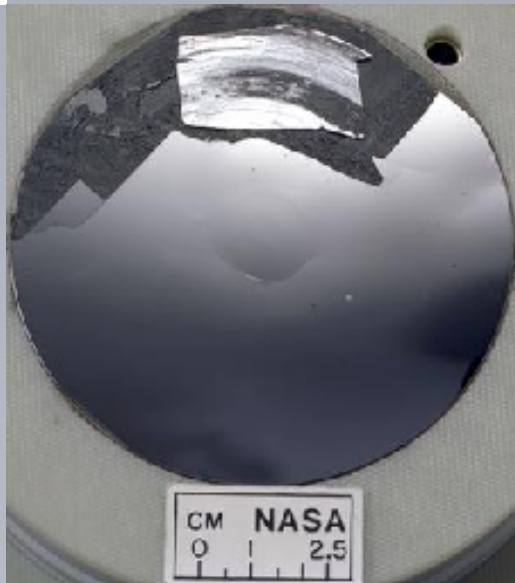
Détecteurs Ge de haute pureté refroidis



Lingots :  
Monocristal de Silicium



Wafer :  
Tranche de Silicium



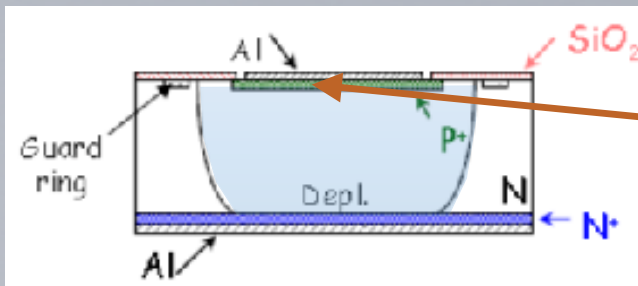
Exemples de détecteurs Silicium



Siliciums compensés au lithium

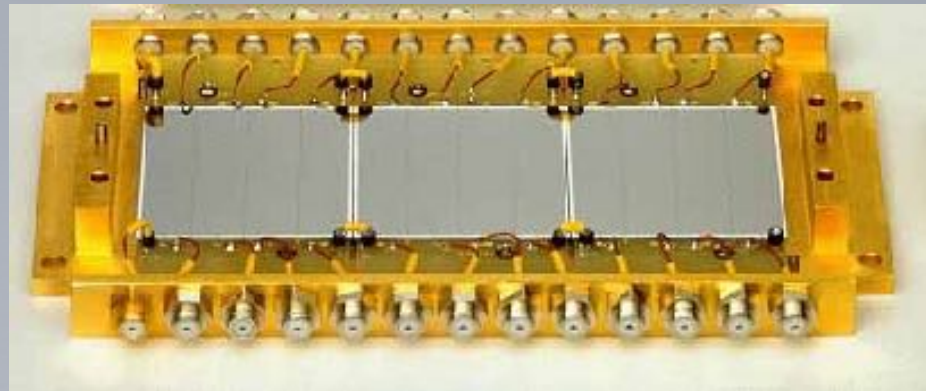


Exemple de matrices Silicium et détecteurs Silicium



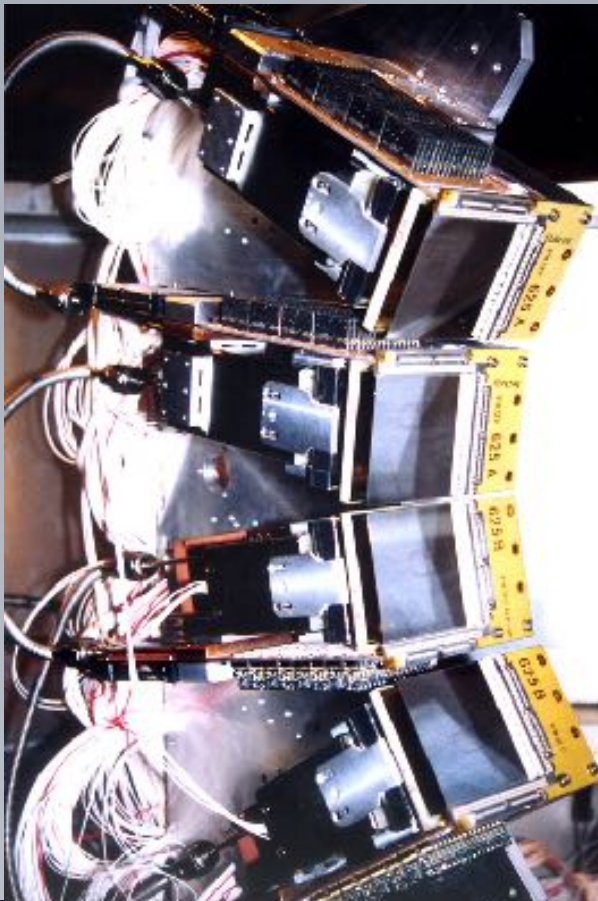
Siliciums planaires implanté passive

Exemples de détecteurs Silicium



Siliciums à pistes

Exemple d'utilisation de semi-conducteurs



MUST : MUr à STrips

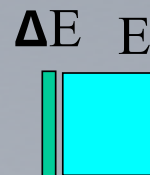
Localisation x et y

Mesure du temps de passage

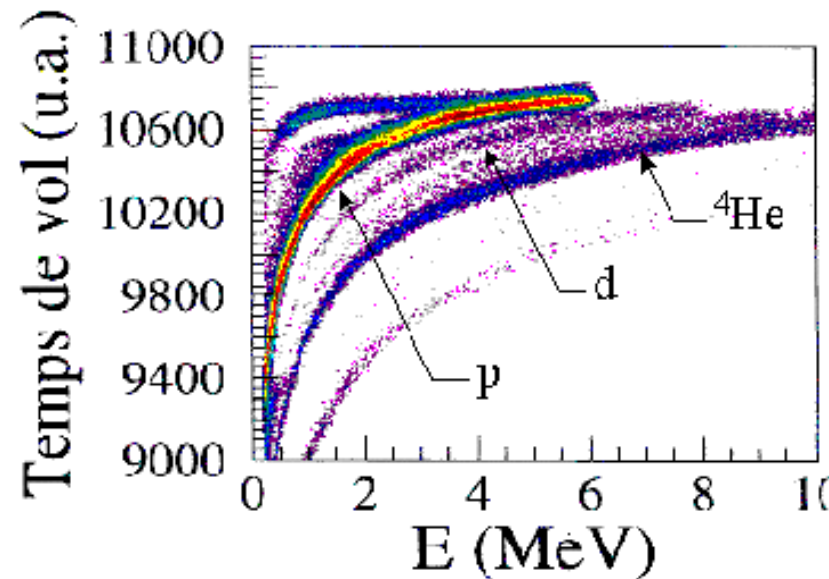
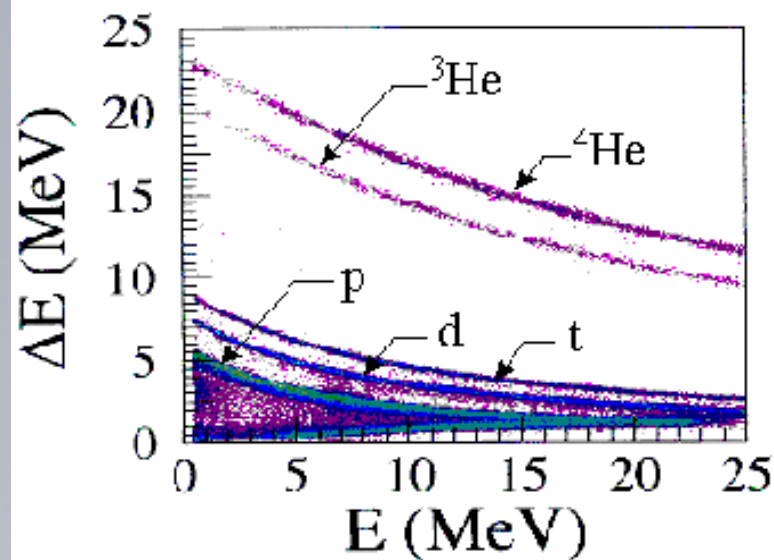
Mesure de l'énergie

Exemple d'utilisation de semi-conducteurs

Télescope constitué de deux détecteurs Silicium



$$E \times \Delta E \propto AZ^2$$



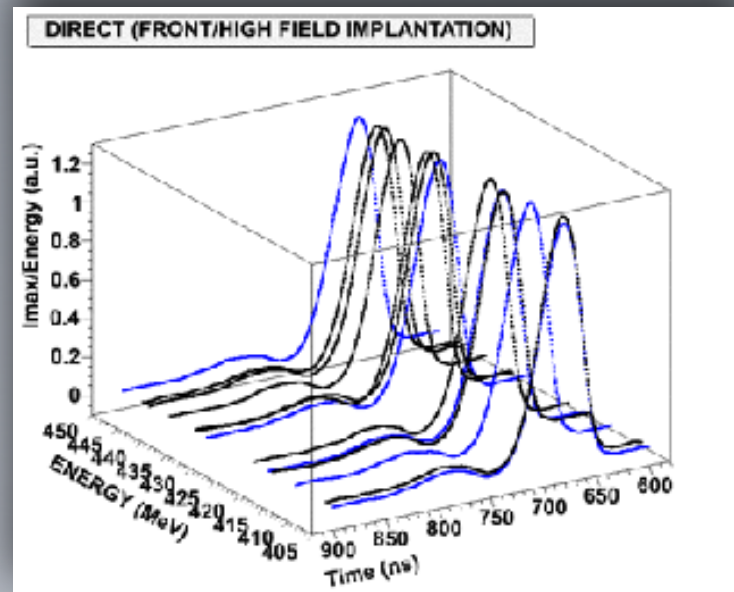


Avec de l'électronique numérique en plus

- Identification en charge et en masse
- avec  $\Delta E$  seul ou  $\Delta E-E$

Avec de l'électronique numérique en plus

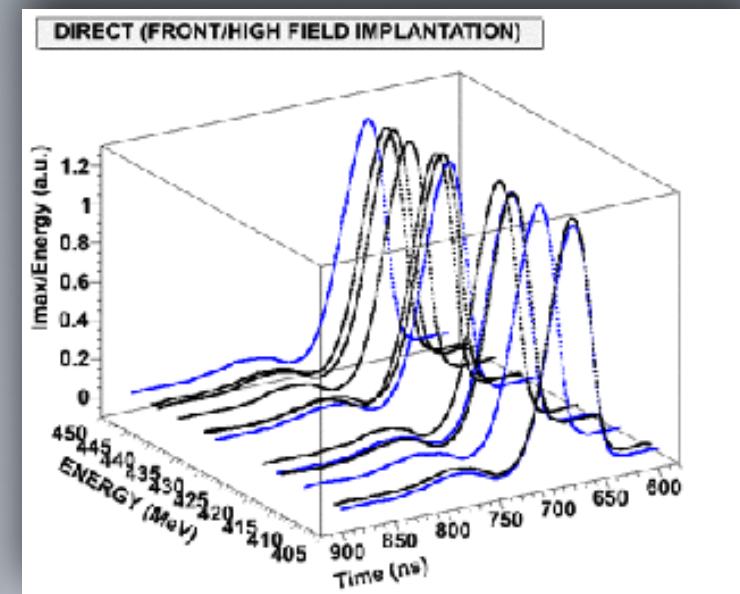
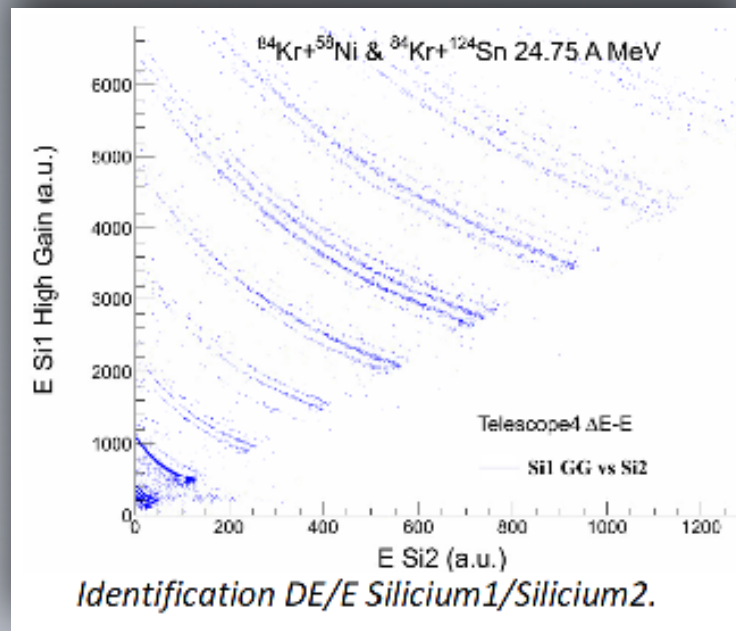
- Identification en charge et en masse
- avec  $\Delta E$  seul ou  $\Delta E-E$



Electronique numérique

Avec de l'électronique numérique en plus

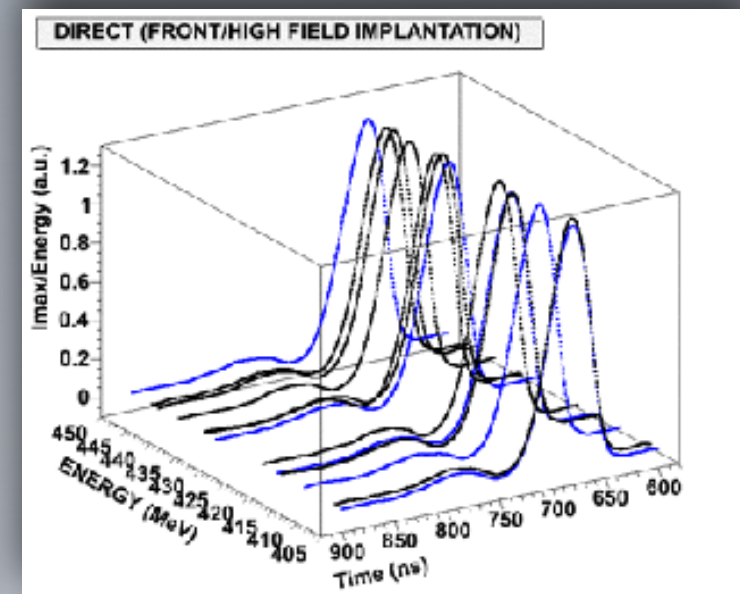
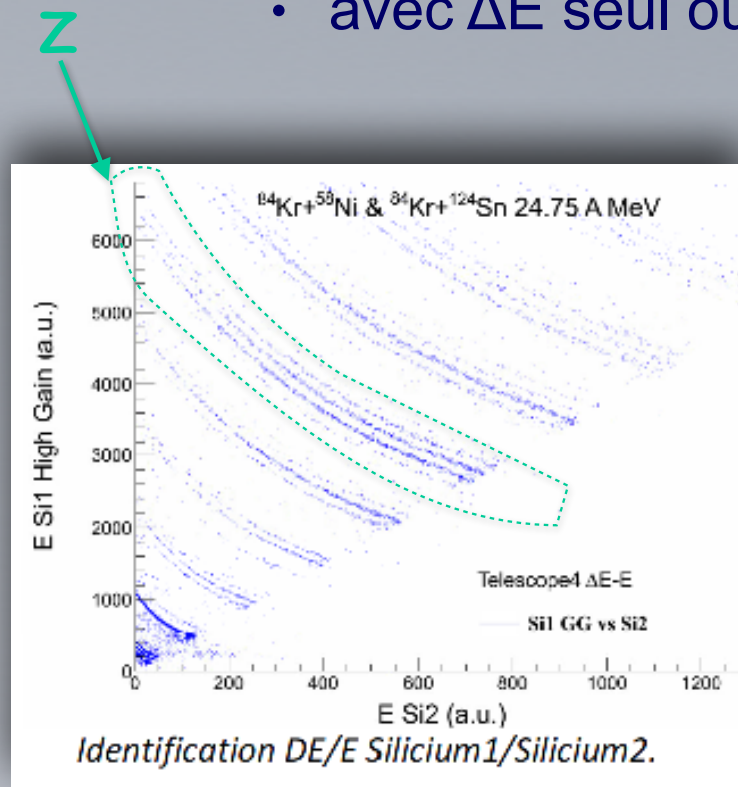
- Identification en charge et en masse
- avec  $\Delta E$  seul ou  $\Delta E-E$



Electronique numérique

Avec de l'électronique numérique en plus

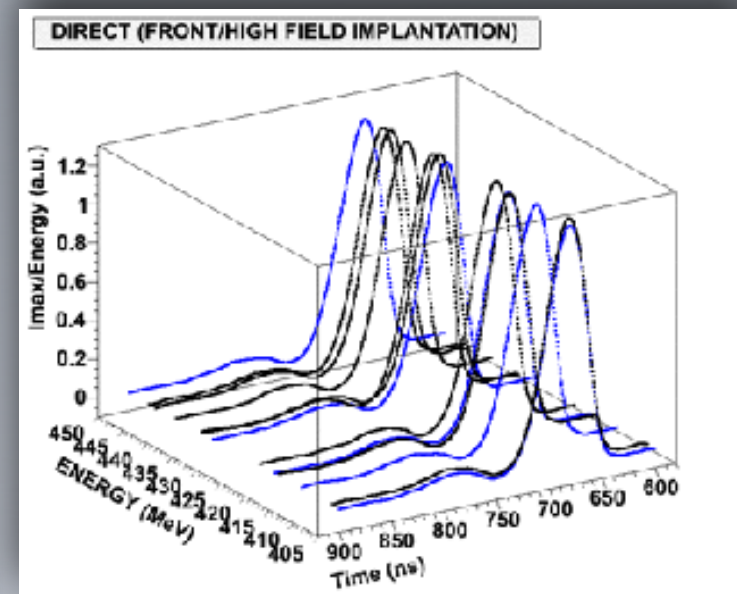
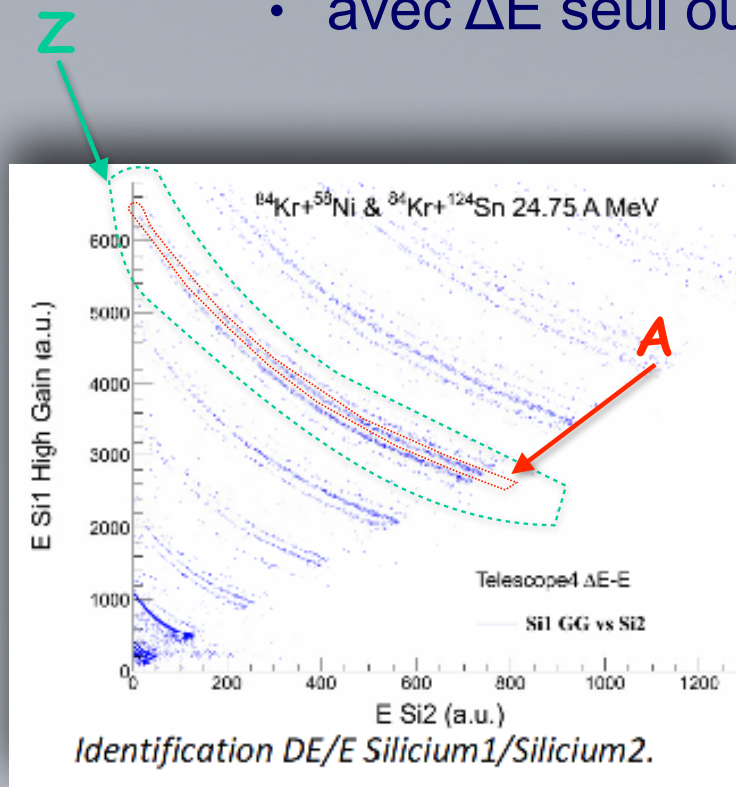
- Identification en charge et en masse
- avec  $\Delta E$  seul ou  $\Delta E-E$



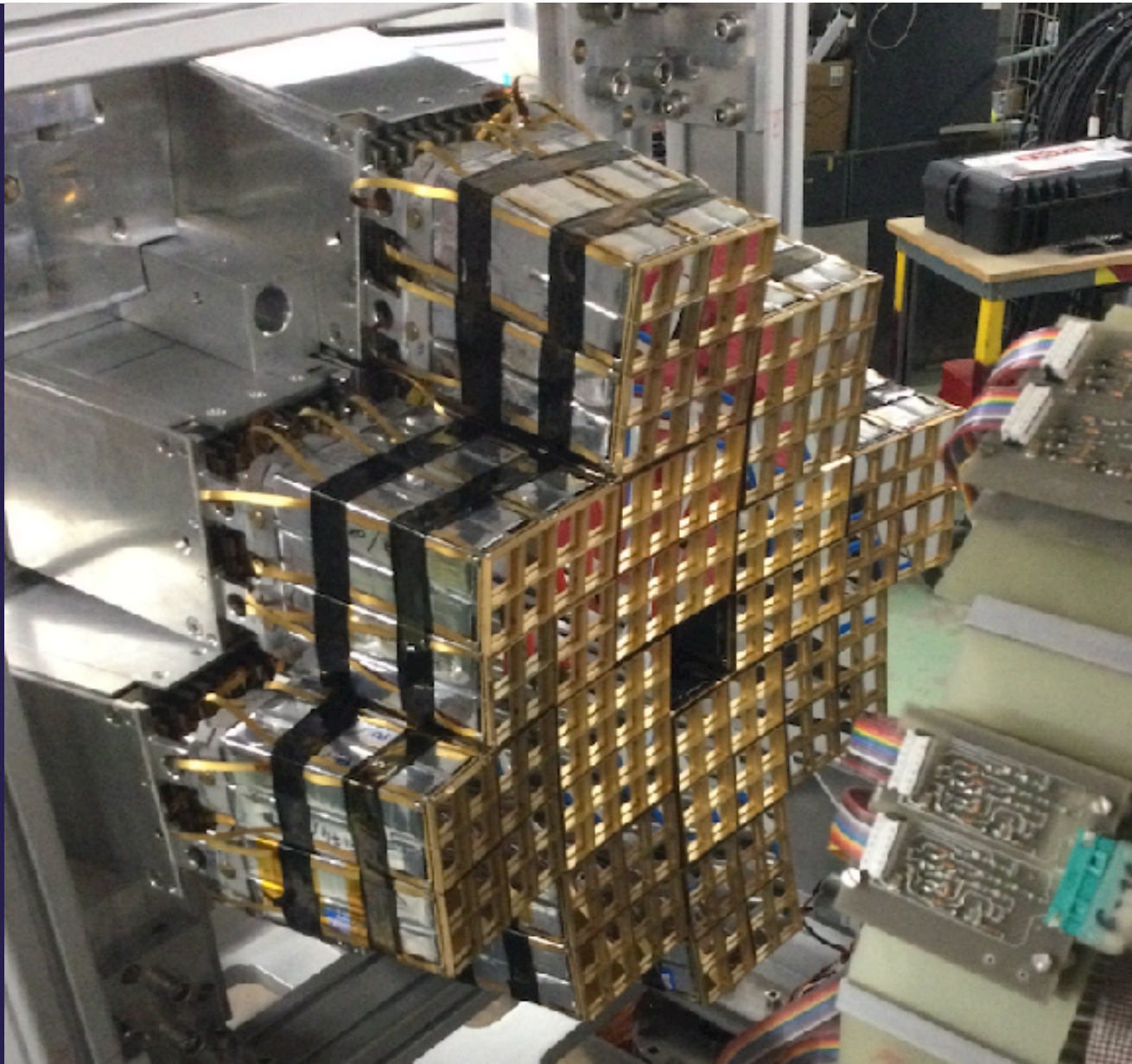
Electronique numérique

Avec de l'électronique numérique en plus

- Identification en charge et en masse
- avec  $\Delta E$  seul ou  $\Delta E-E$

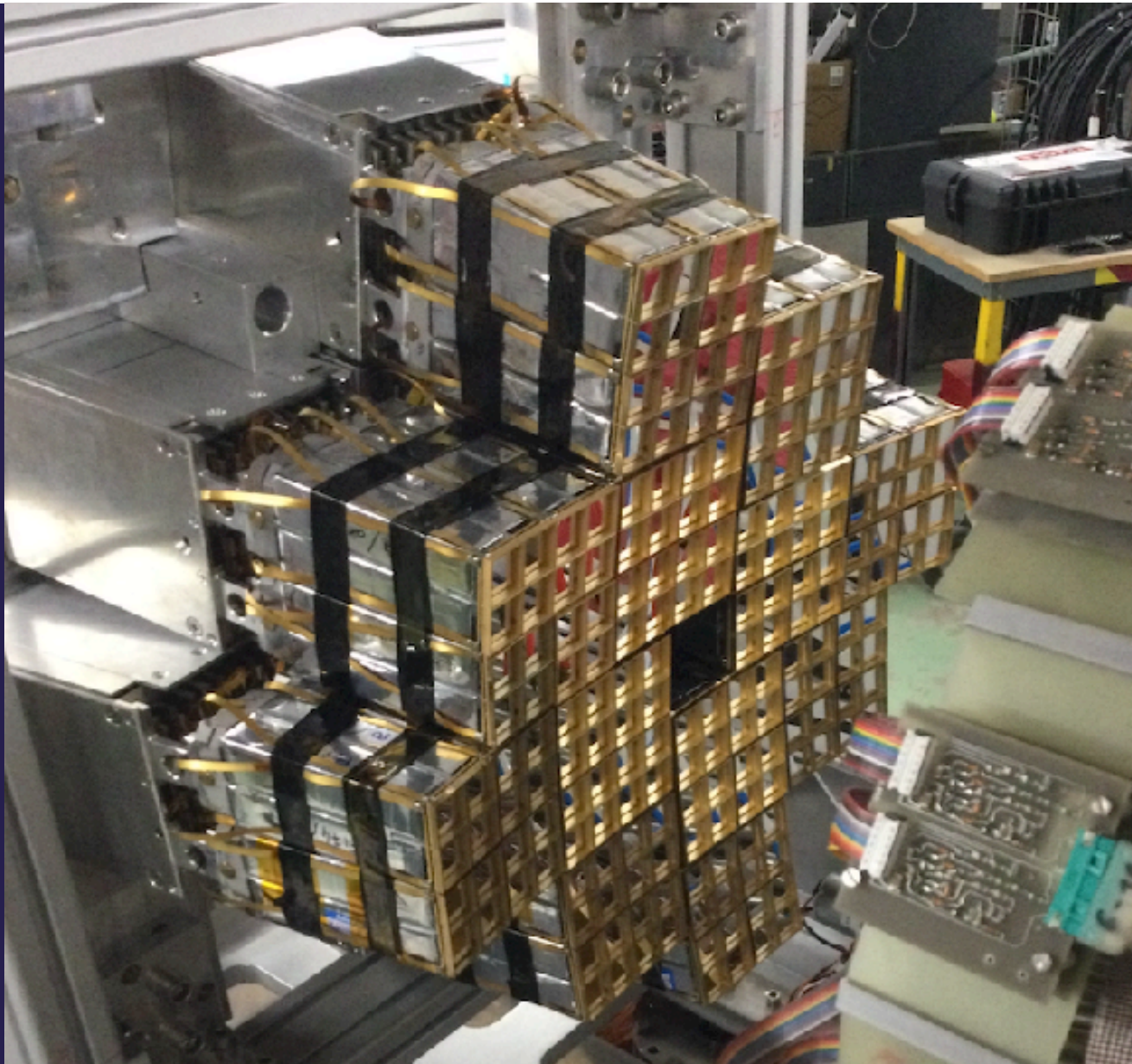


Electronique numérique



Profs au GANIL

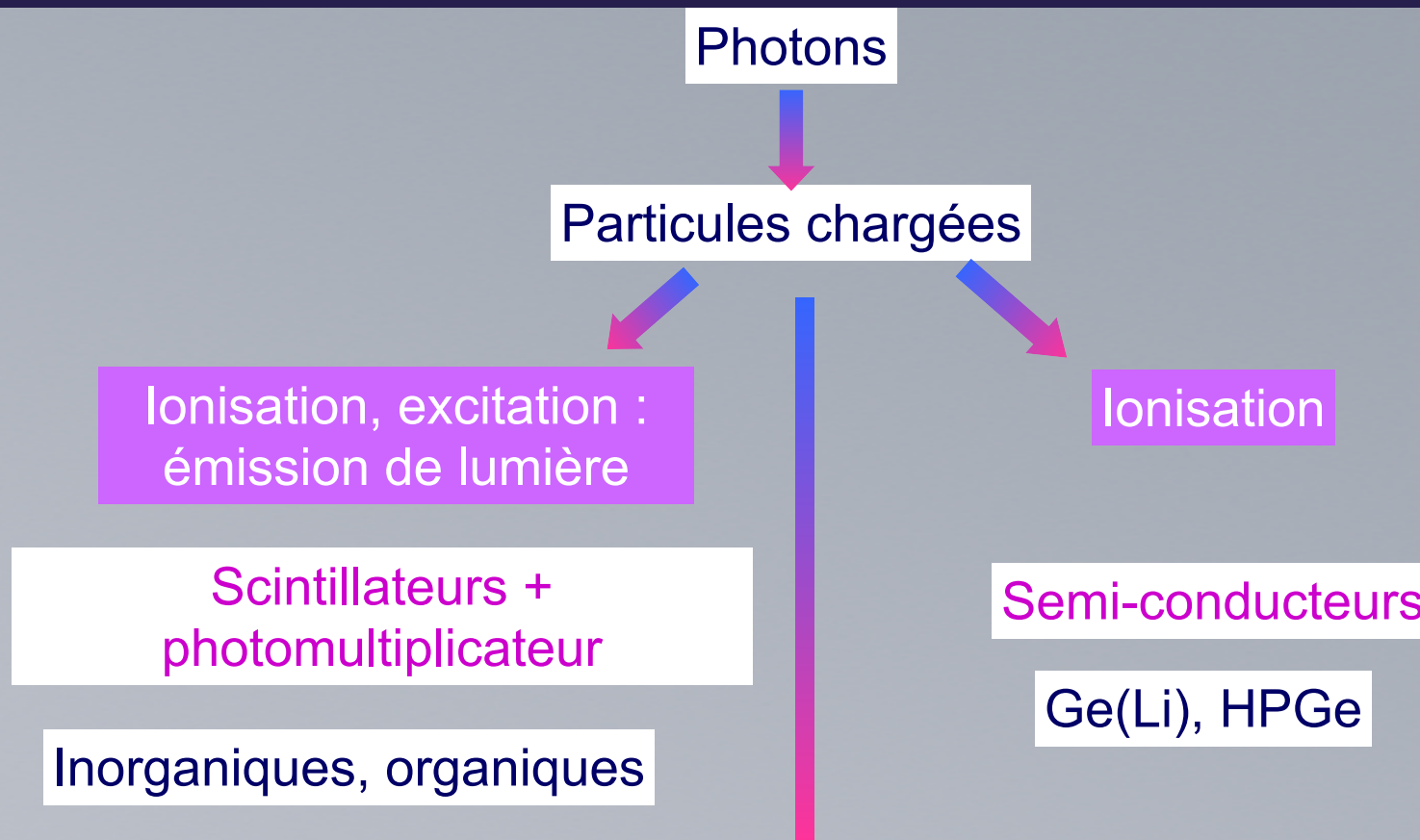
FAZIA



Profs au GANIL

FAZIA

# Les détecteurs couramment utilisés pour détecter les gammas et X





# Les détecteurs couramment utilisés pour détecter les gammas et X

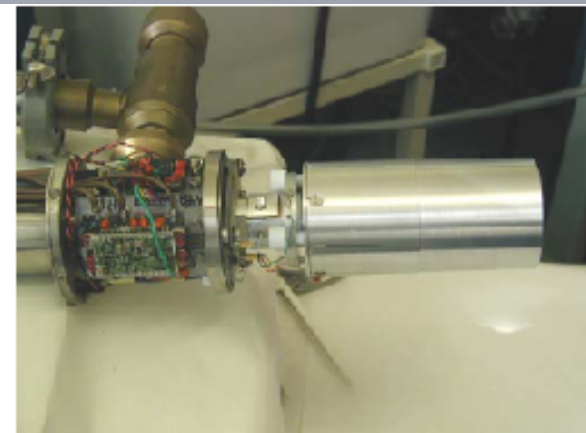
## Les détecteurs basés sur les semi-conducteurs

Reposent en général sur la mise en mouvement d'électrons puis sur la collection des électrons--trous<sup>+</sup> créées par le passage de l'électron mis en mouvement.

## Les détecteurs scintillateurs

Reposent en général sur sur la mise en mouvement d'électrons puis collection des photons visibles ou UV créées par le passage de l'électron mis en mouvement. puis convertis en électrons<sup>-</sup> .

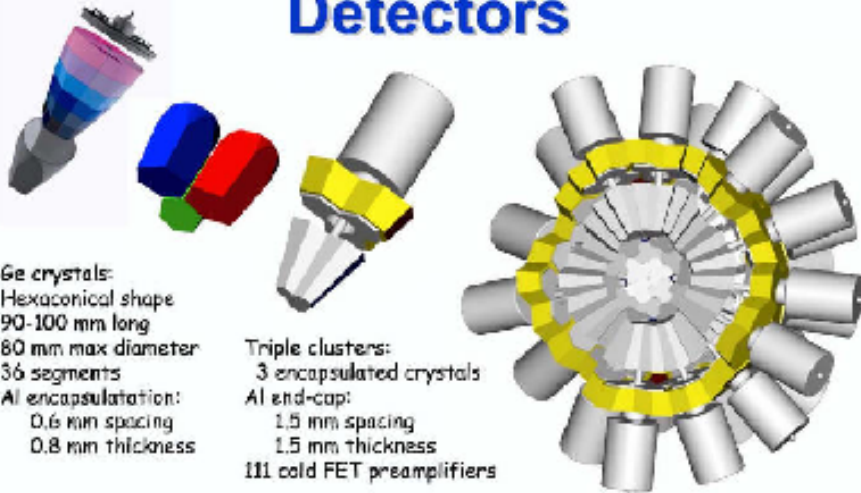
Exemple de détecteurs Germanium



**Fonctionne à la température de l'azote liquide (77,36 K)**

Détecteur : 50 mm de long et 50 mm de diamètre

## Detectors



Ge crystals:  
Hexaconical shape  
90-100 mm long  
80 mm max diameter  
36 segments  
Al encapsulation:  
0.6 mm spacing  
0.8 mm thickness

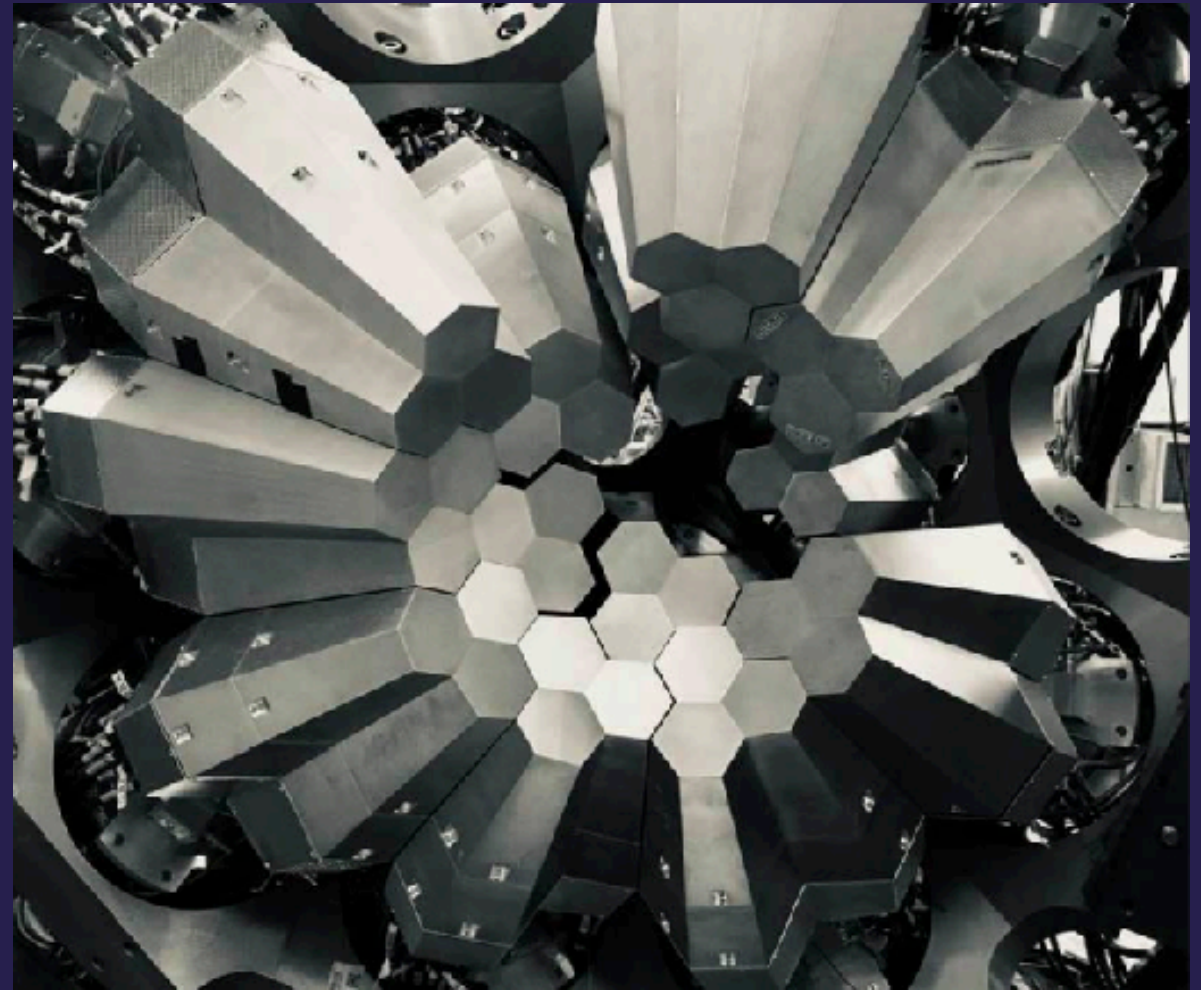
Triple clusters:  
3 encapsulated crystals  
Al end-cap:  
1.5 mm spacing  
1.5 mm thickness  
111 cold FET preamplifiers

Distance between faces of crystals:  
in same cluster ~3 mm  
in adjacent clusters ~9 mm

Total weight of the 60 clusters of the  
AGATA-180 configuration ~2.5 tons  
Mounted on a self-supporting structure

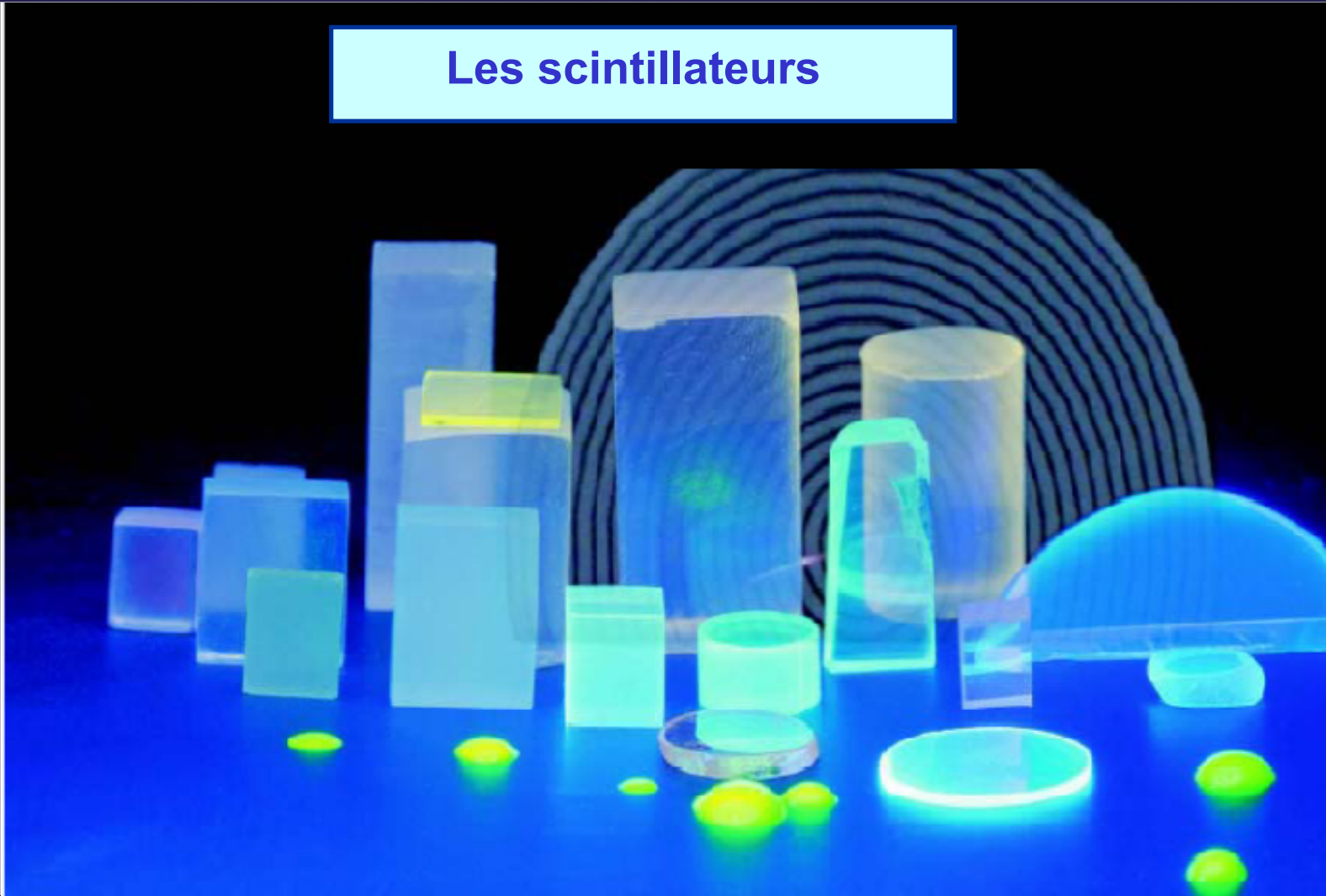
## Multidétecteurs de gammas

AGATA

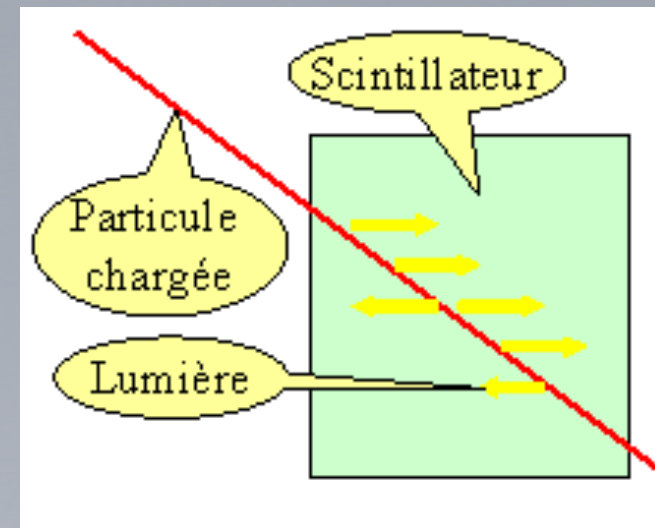
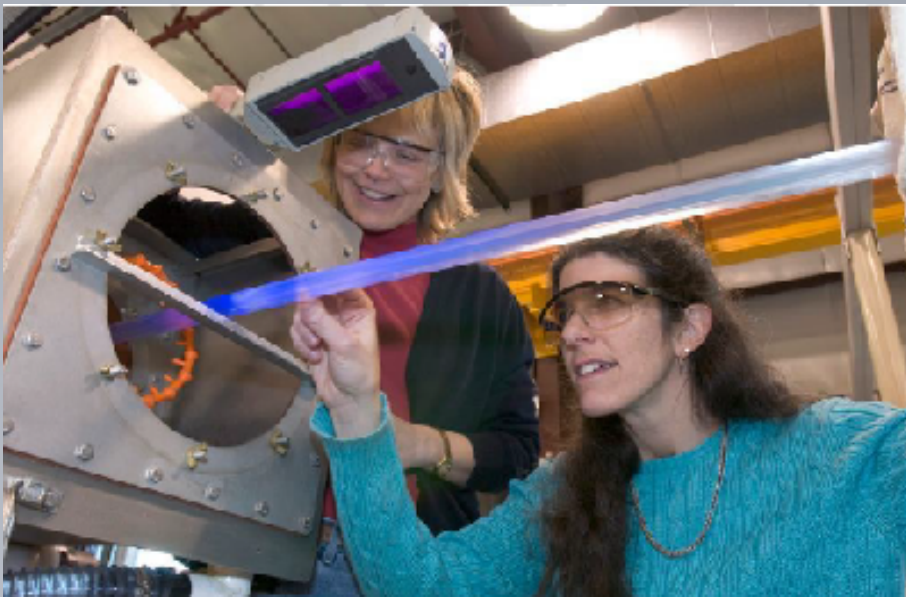


Profs au GANIL

Les scintillateurs



Un **scintillateur** est une **substance** qui **émet de la lumière** (en général dans le visible) à la suite d'un stimulus énergétique (exemple interaction avec un rayonnement ionisant) avec une intensité lumineuse qui évolue au cours du temps.

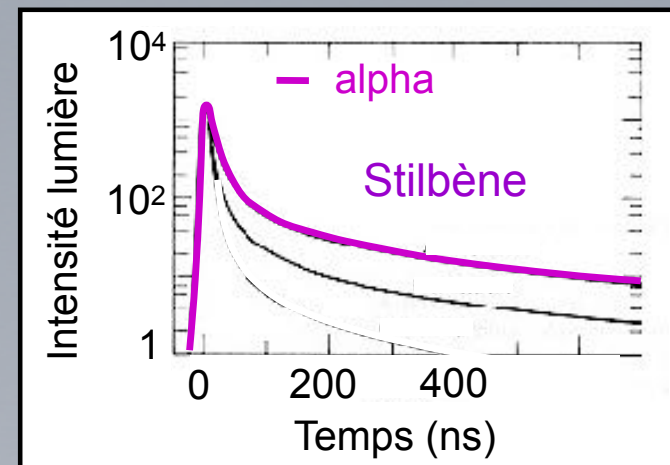


La détection des particules chargées par un scintillateur donne lieu à l'émission de **lumière visible ou UV**

## Les scintillateurs

Lorsqu'une particule ionisante les traverse, ils émettent de la lumière en suivant une loi de décroissance exponentielle :

$$I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$$

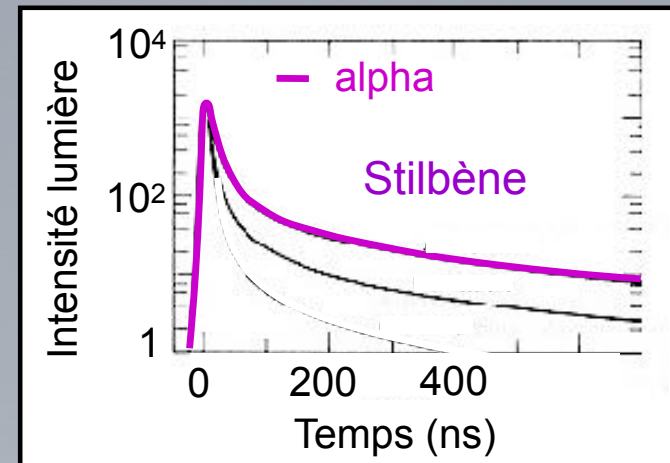


## Les scintillateurs

Lorsqu'une particule ionisante les traverse, ils émettent de la lumière en suivant une loi de décroissance exponentielle :

$$I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$$

Propriétés requises



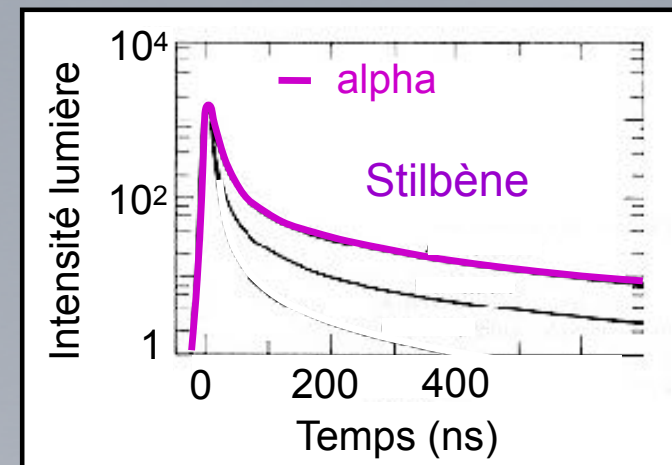
## Les scintillateurs

Lorsqu'une particule ionisante les traverse, ils émettent de la lumière en suivant une loi de décroissance exponentielle :

$$I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$$

### Propriétés requises

- Linéarité de la conversion  $dE/dx \rightarrow$  lumière





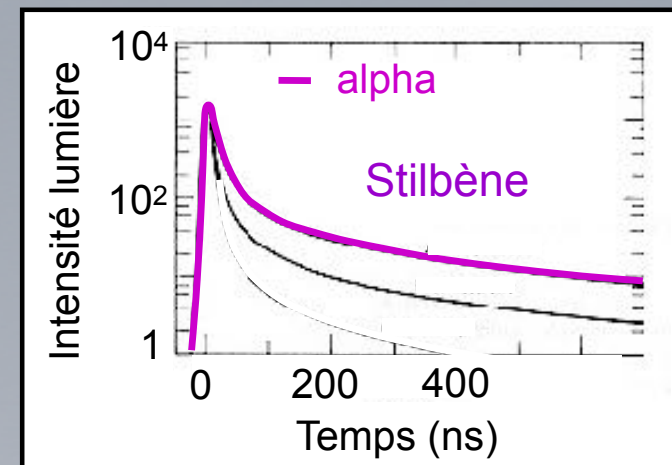
## Les scintillateurs

Lorsqu'une particule ionisante les traverse, ils émettent de la lumière en suivant une loi de décroissance exponentielle :

$$I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$$

### Propriétés requises

- Linéarité de la conversion  $dE/dx \rightarrow$  lumière
- Transparence à la lumière émise



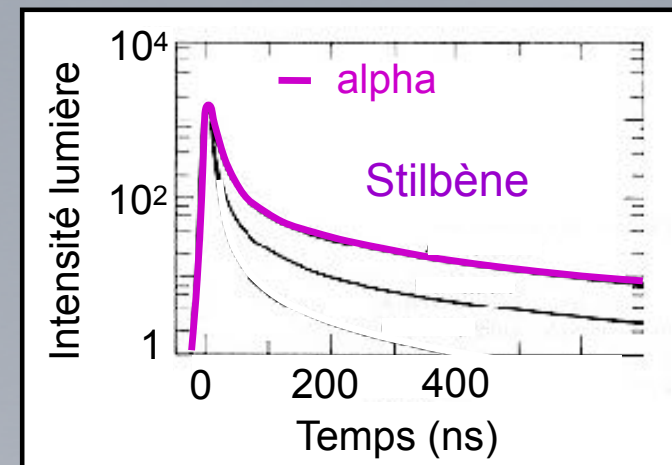
## Les scintillateurs

Lorsqu'une particule ionisante les traverse, ils émettent de la lumière en suivant une loi de décroissance exponentielle :

$$I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$$

### Propriétés requises

- Linéarité de la conversion  $dE/dx \rightarrow$  lumière
- Transparence à la lumière émise
- Constante de décroissance  $\tau$  "courte"



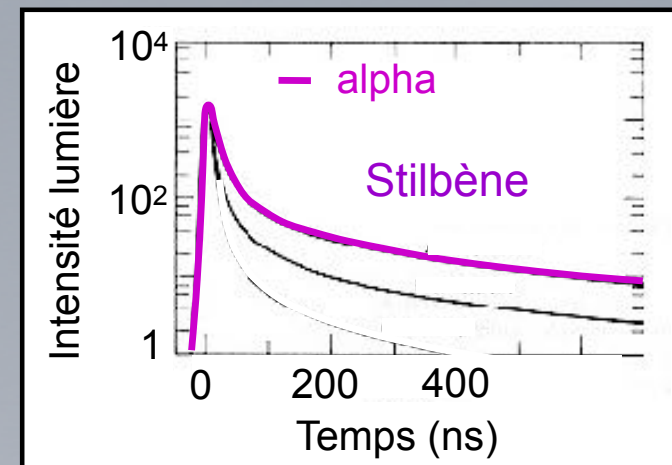
## Les scintillateurs

Lorsqu'une particule ionisante les traverse, ils émettent de la lumière en suivant une loi de décroissance exponentielle :

$$I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$$

### Propriétés requises

- Linéarité de la conversion  $dE/dx \rightarrow$  lumière
- Transparence à la lumière émise
- Constante de décroissance  $\tau$  "courte"
- $n \sim n_{\text{verre}}$  pour couplage au tube photomultiplicateur



## Les scintillateurs

### Scintillateurs organiques

- linéaires en énergie

Rendement de scintillation (luminosité)  
- élevé

+ rapides

Z bas

densité voisine de 1

### Scintillateurs inorganiques

+ linéaires en énergie

Rendement de scintillation  
+ élevé

+ lents

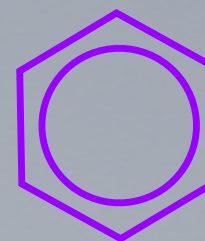
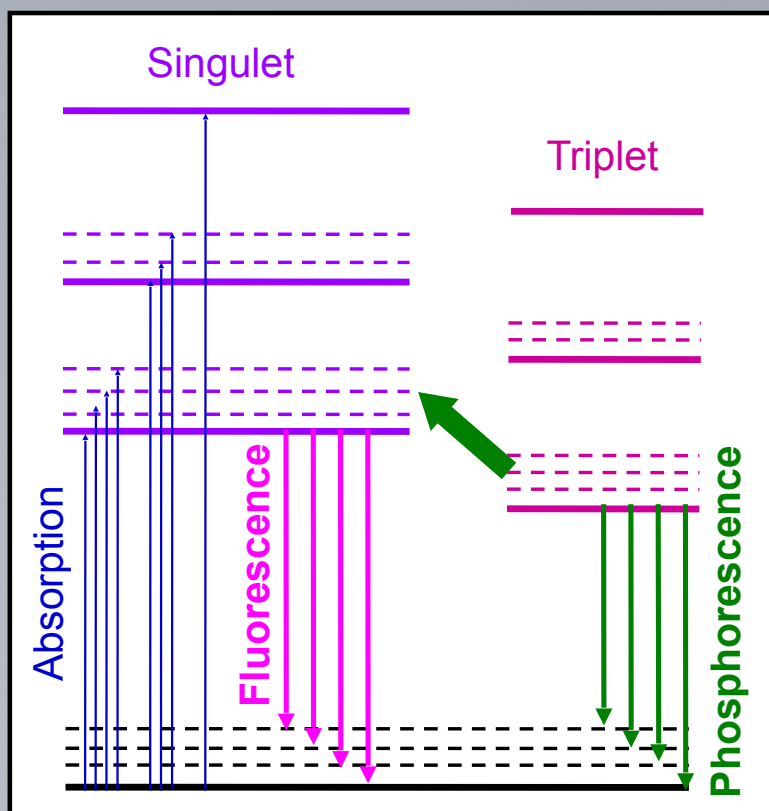
Z élevé

densité voisine de 4 à 5

## Les scintillateurs organiques

Formés à partir du cycle benzénique :

anthracène, stilbène



Cycle benzénique

Propriété intrinsèque de la molécule, indépendante de son état, solide ou liquide

Cristaux, liquides, plastiques

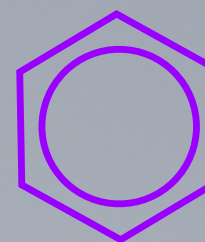
Fluorescence (rapide)

Fluorescence retardée (lente)

## Les scintillateurs organiques

Formés à partir du cycle benzénique :

anthracène, stilbène



Cycle benzénique

Propriété intrinsèque de la molécule, indépendante de son état, solide ou liquide

Cristaux, liquides, plastiques

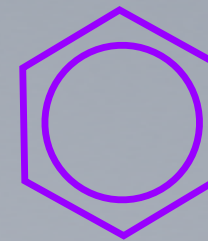
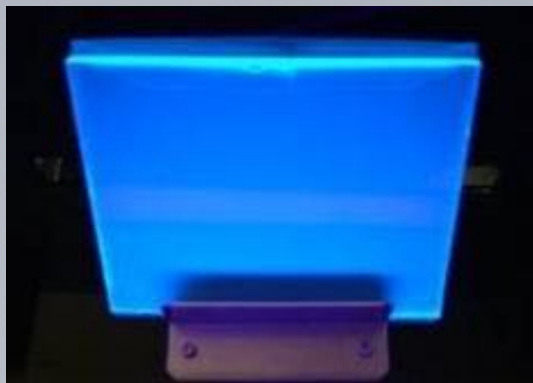
Fluorescence (rapide)

Fluorescence retardée (lente)

## Les scintillateurs organiques

Formés à partir du cycle benzénique :

anthracène, stilbène



Cycle benzénique

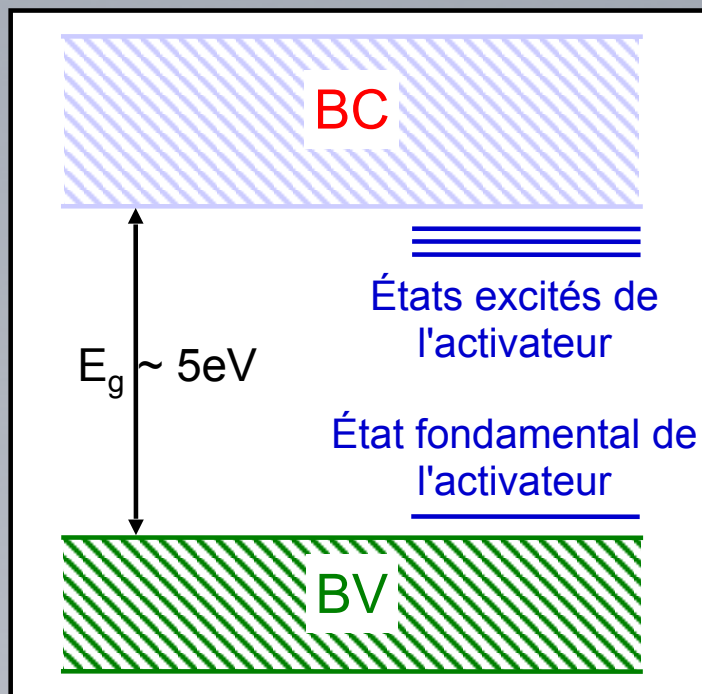
Propriété intrinsèque de la molécule, indépendante de son état, solide ou liquide

Cristaux, liquides, plastiques

Fluorescence (rapide)

Fluorescence retardée (lente)

## Les scintillateurs inorganiques



### Cristal

Avec activateur :  
NaI(Tl), CsI(Tl)

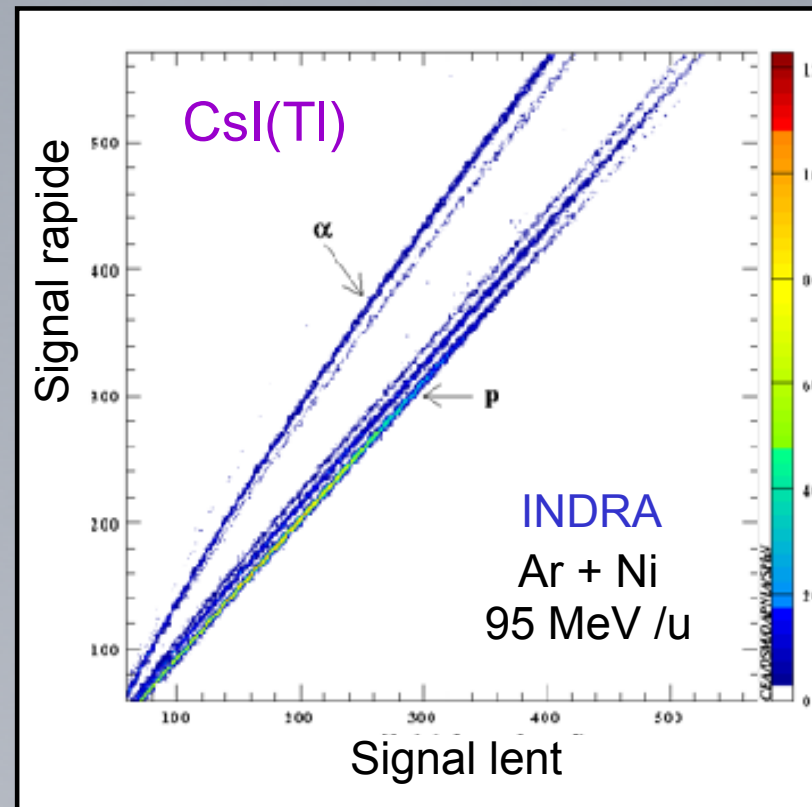
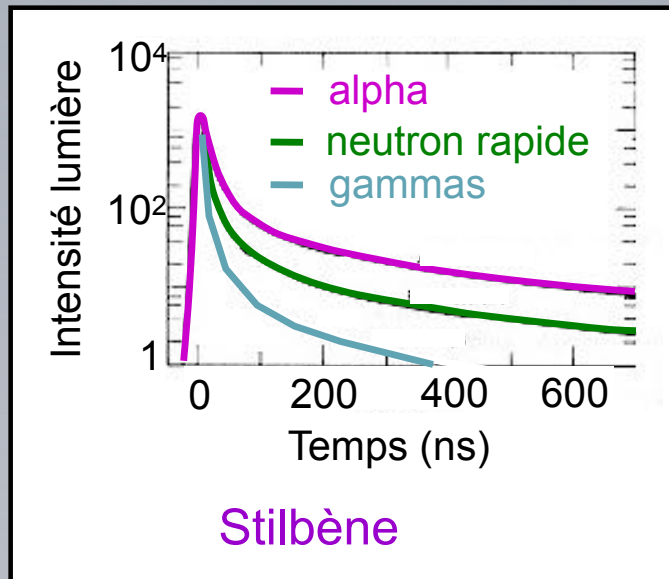
Création de niveaux d'énergie  
dans la bande interdite

Sans activateur :  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (BGO)

Propriété intrinsèque de fluorescence du cristal



Les scintillateurs : discrimination de forme



# Convertisseur lumière électricité

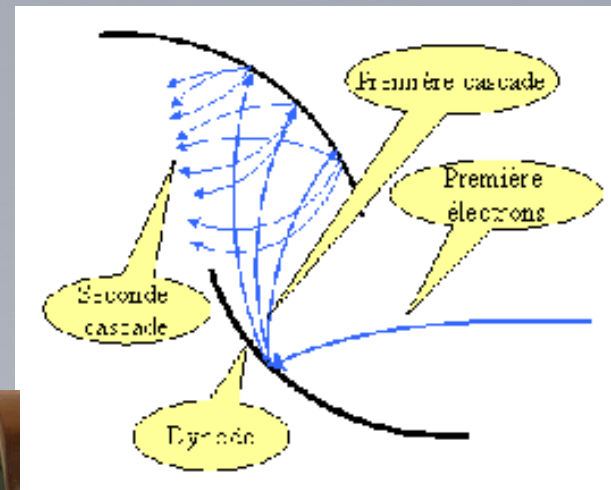
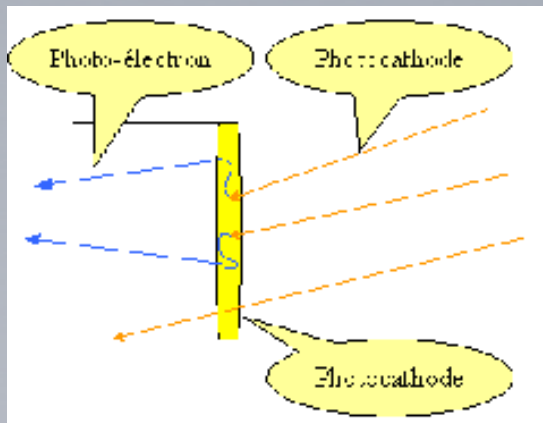


Exemple du tube photomultiplicateur

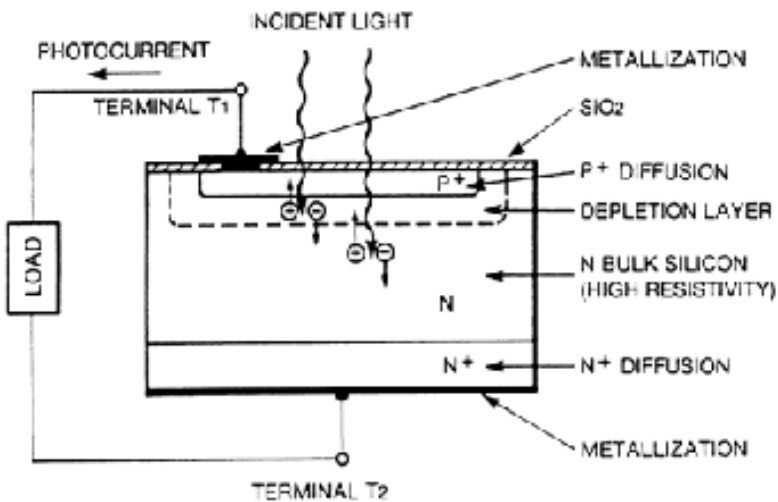
On utilise un œil électronique pour convertir un signal lumineux en signal électrique

## Principe de fonctionnement du tube photomultiplicateur

C'est un convertisseur énergie lumineuse  $\Rightarrow$  énergie électrique



# Convertisseur lumière électricité

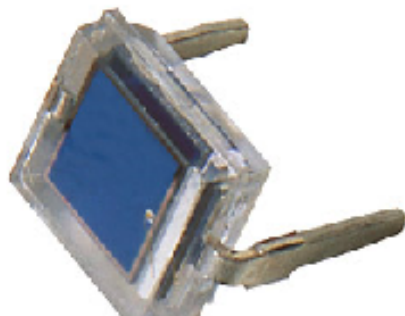
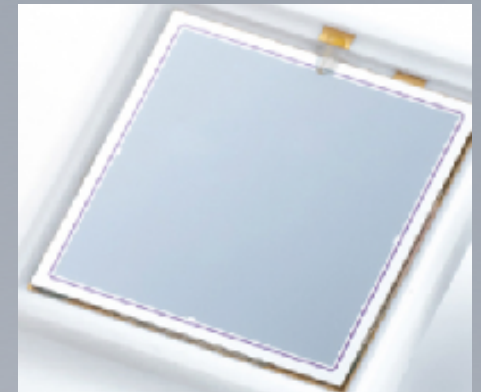


Les progrès des photodiodes à semi-conducteurs les font parfois préférer dans certaines applications en raison de leur plus faible encombrement (2 mm d'épaisseur) ou prix.

Elles consomment peu. Elles peuvent fonctionner avec un champ magnétique contrairement au PM.

Il s'agit en général de jonction PiN réalisé à partir de Silicium de haute résistivité

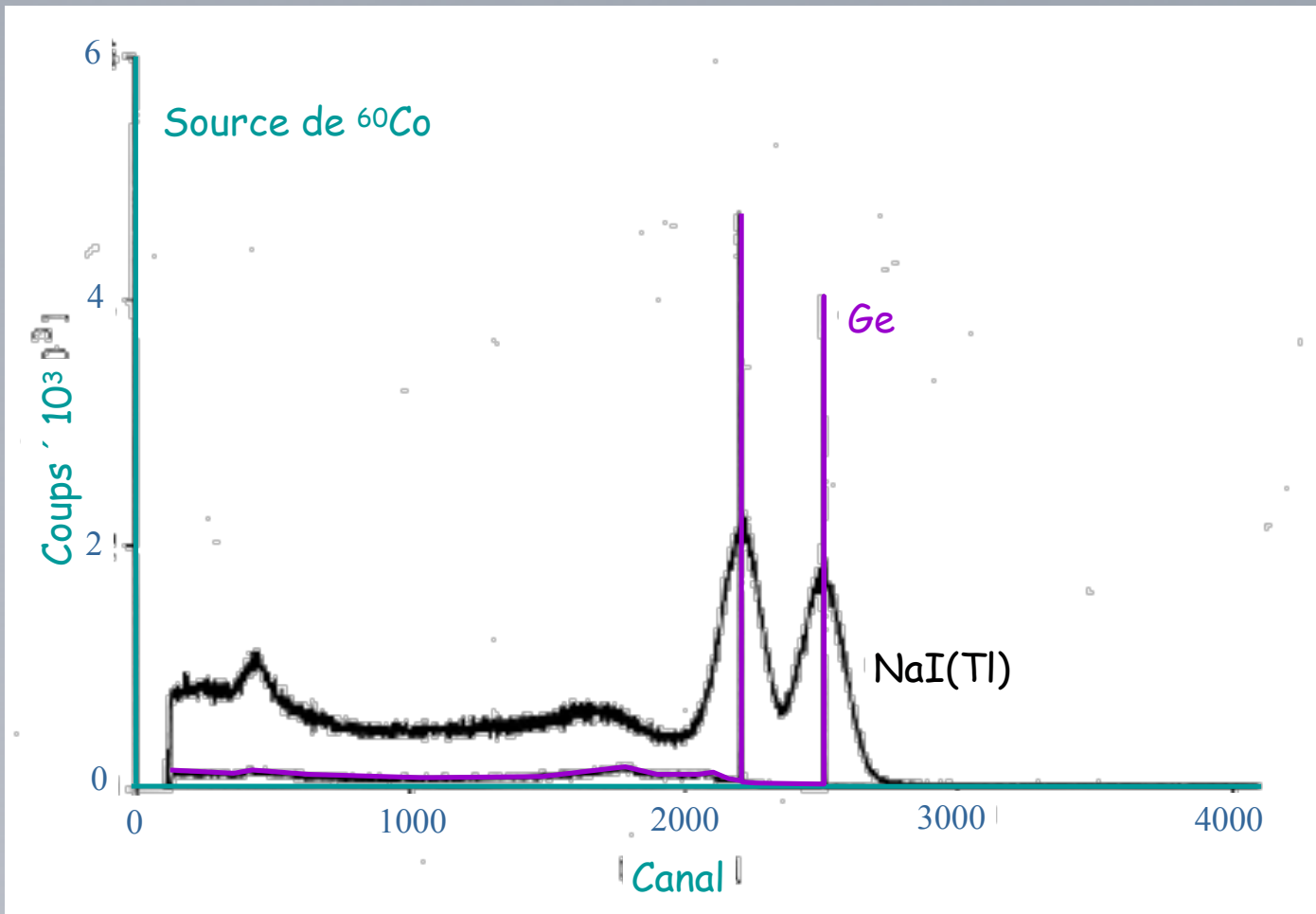
Exemple de la photodiode



Pas de gain:  $G = 1$

Efficacité quantique proche de 80% dans le visible

Détection des photons : NaI(Tl) et Ge



# Les détecteurs couramment utilisés pour détecter les neutrons

## Les détecteurs gazeux

Reposent en général sur la mise en mouvement de particules chargées par le neutron puis sur la collection des paires électrons-ions<sup>+</sup> créées par le passage de ces particules chargées.

## Les détecteurs scintillateurs organiques liquides

Reposent en général sur la mise en mouvement de protons ou de particules par le neutron puis sur la collection des photons visibles ou UV créés par le passage de ces particules chargées puis la lumière créée est convertie en électrons<sup>-</sup>.

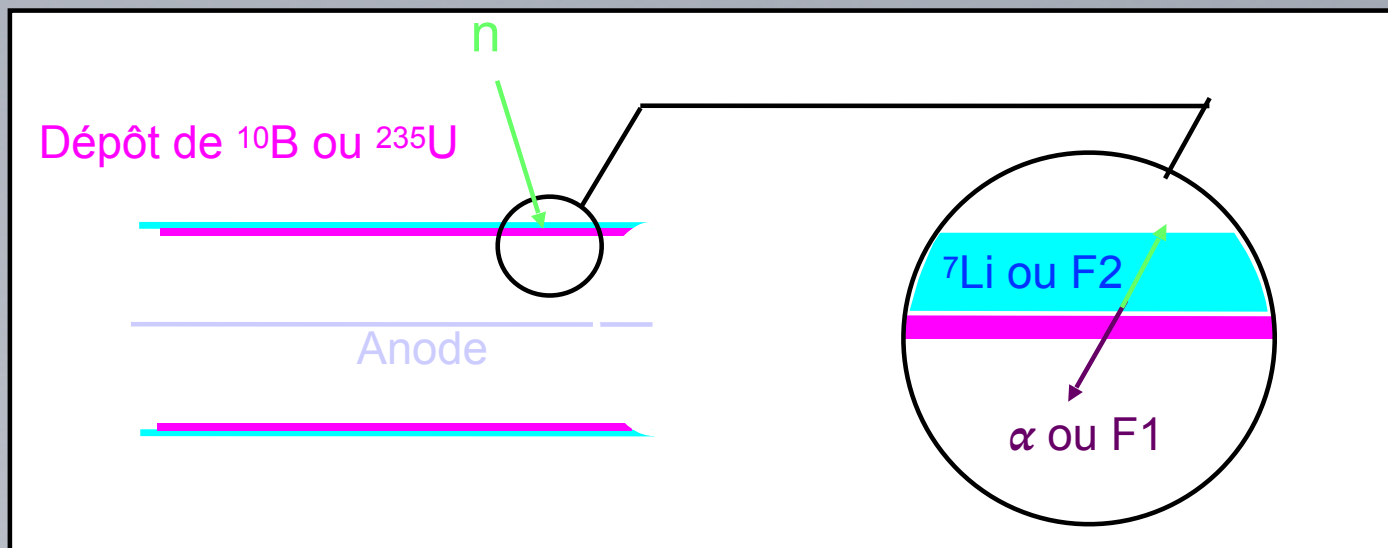
## Détecteurs pour les neutrons lents

### Compteurs proportionnels

- utilisant comme gaz du  $\text{BF}_3$  ou  $^3\text{He}$
- avec un dépôt de  $^{10}\text{B}$

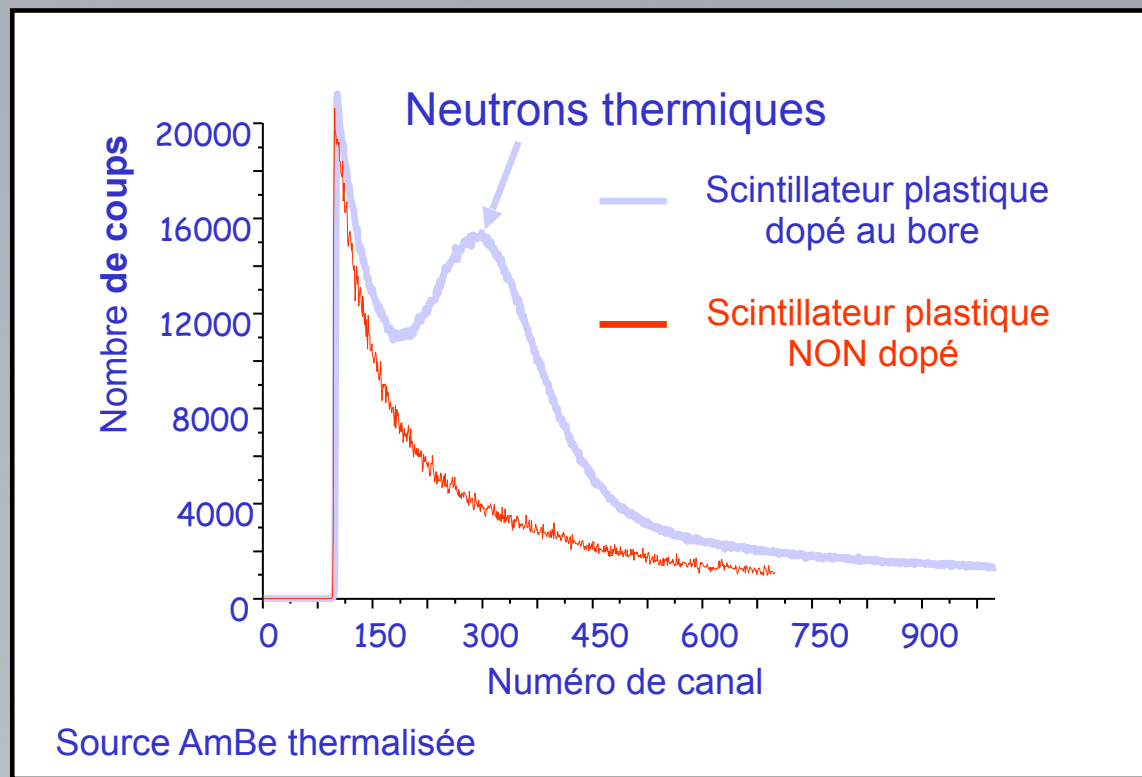
### Chambres d'ionisation

- avec un dépôt de  $^{10}\text{B}$
- avec un dépôt de  $^{235}\text{U}$   
(= chambre à fission)



## Détecteurs pour les neutrons lents

Scintillateurs organiques ou inorganiques dopés au  $^{10}\text{B}$





## Exemple de détecteur de neutrons rapides

DEMON : DEtecteur MOdulaire à Neutrons



96 modules de NE213  
(scintillateur liquide)

- distribution angulaire

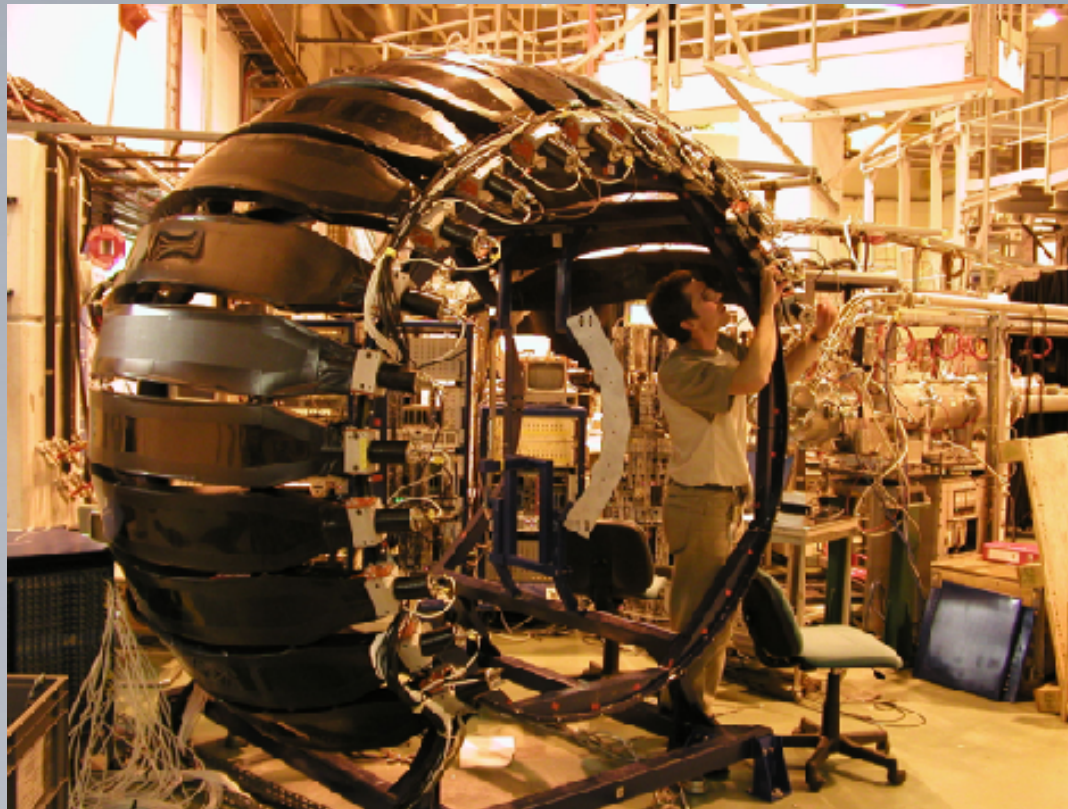
- spectre en énergie

- multiplicité moyenne

des neutrons émis

Exemple de détecteur de neutrons rapides

Tonnerre



## Détecteurs de particules chargées

### Semi-conducteurs

Prix élevé : qq kEuros

Petits volumes

Résolution en énergie excellente :  $< 1\%$

Sensibilité aux rayonnements :  
qq  $10^8$  noyaux /  $\text{cm}^2$

Localisation : qq  $10 \mu\text{m}$

Rapidité

Amplitudes élevées

Détection de particules énergétiques

### Gazeux

Prix + faible

Grandes surfaces : plusieurs  $\text{m}^2$

Résolution en énergie bonne :  $\sim \%$

Pas de sensibilité aux rayonnements

Localisation : qq  $10 \mu\text{m}$

Rapidité

Amplitudes plus faibles

## Détecteurs pour les photons

### Semi-conducteurs

Résolution en énergie  
excellente

Coût élevé

Volume limité

Cryogénie

### Scintillateurs inorganiques

Grande efficacité

Grands volumes

Résolution en énergie  
"médiocre"

Dérive du PM avec la  
température

## Bibliographie

- Paulin, R. Détection des rayonnements, Enseignement aux utilisateurs de radioisotopes, Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires, Saclay (1985).
- Blanc, D. L'Electronique nucléaire, Presses Universitaires de France, Paris (1971).
- Blanc, D. Les rayonnements ionisants, Masson, Paris (1997).
- G. F. Knoll, Radiation Detection et Measurement, John Wiley (1989) (Première édition 1979, dernière édition 2000)
- W. R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer-Verlag, (1994) (Première édition 1987)
- C. F.N. Tsoufanidis, Measurements and Detection of Radiation, Taylor & Francis, (1995) (Première édition 1983)
- K. Kleinknecht, Detectors for particle radiation, Cambridge University Press, 1998 (Première édition :en allemand 1985, en anglais 1986)
- C.Grupen, Particle Detectors, Cambridge University Press, 1996
- C. F. G. Delaney and E. C. Finch, Radiation Detectors, Oxford University Press, 1992
- R. C. Fernow, Introduction to experimental particle physics, Cambridge University Press, 1986
- Ecole internationale Joliot-Curie 1988, 1994, 2001, 2008  
<https://heberge.lp2ib.in2p3.fr/EcoleJoliotCurie/spip.php?rubrique6&lang=fr>

# Profs au GANIL

Merci pour votre attention



Ce cours a été fait en partie à partir des transparents faits par madame **Stéphanie Ottini-Hustache (CEA)** dans le cadre de l'école internationale Joliot Curie 2001 de Physique Nucléaire et Physique des Particules organisée par l'IN2P3, le CEA et le FNRS.