

Identifier

Mesurer l'énergie

Localiser

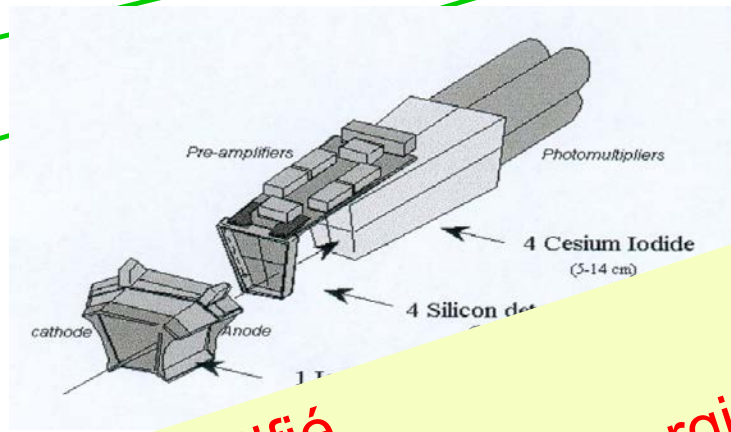
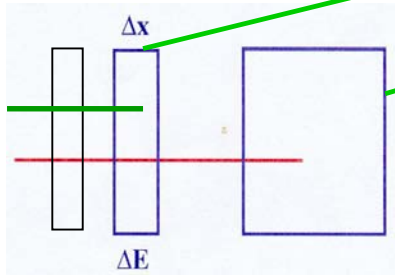
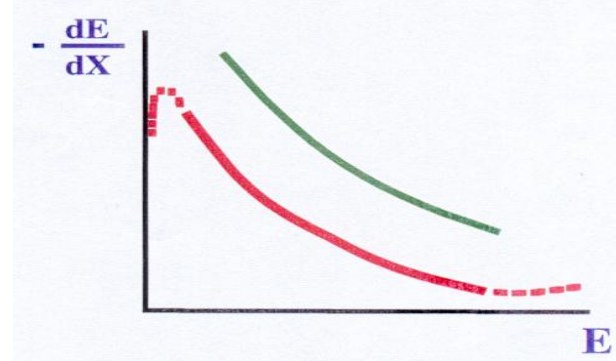
Identifier

1) Les particules chargées (m, z)

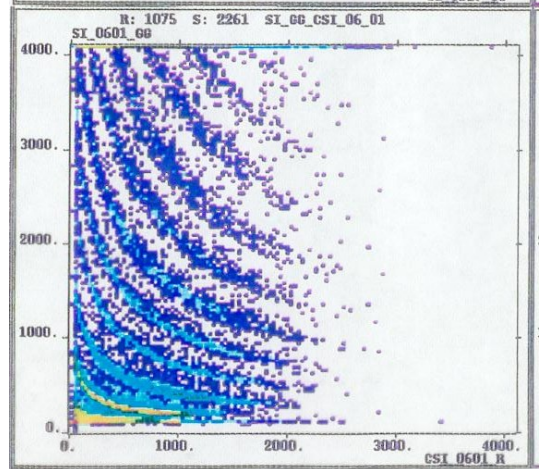
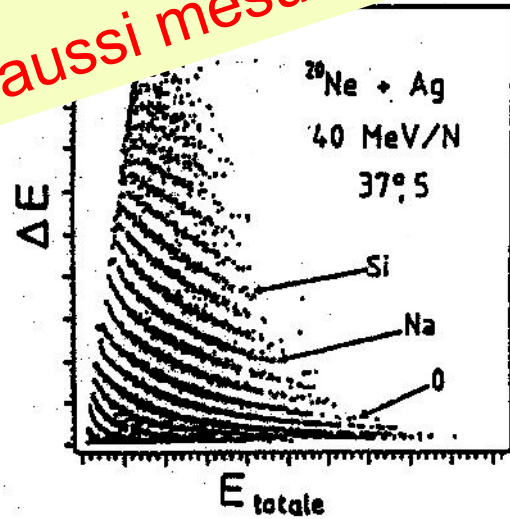
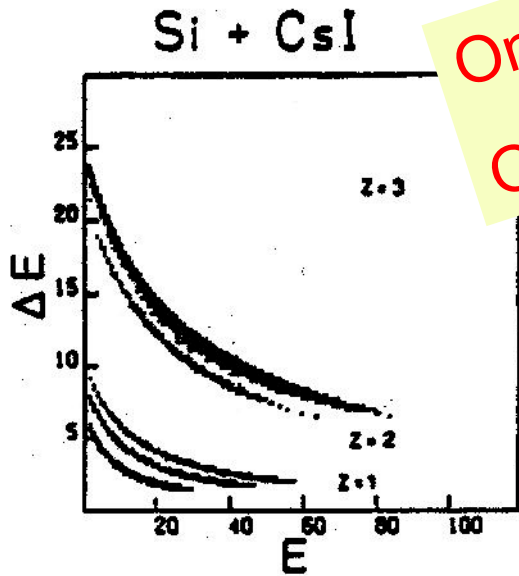
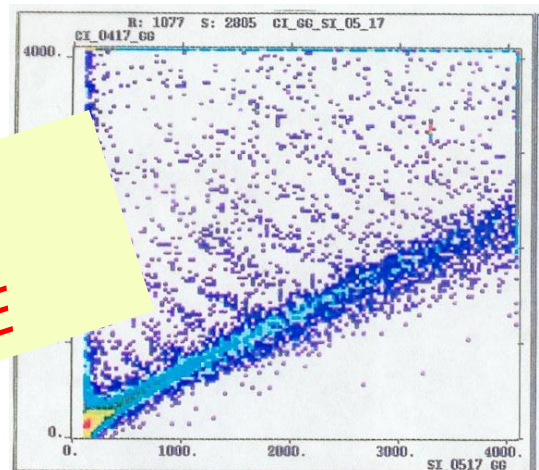
Méthode ΔE -E;

utilisation de la formule de Bethe

$$\frac{dE}{dx} = \frac{z^2 m}{E} f(E)$$

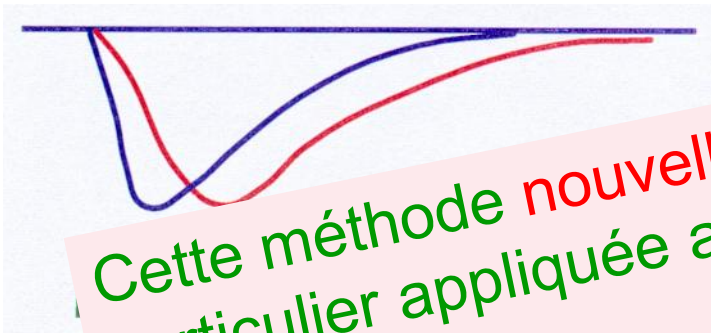


On a identifié
On a aussi mesuré l'énergie E

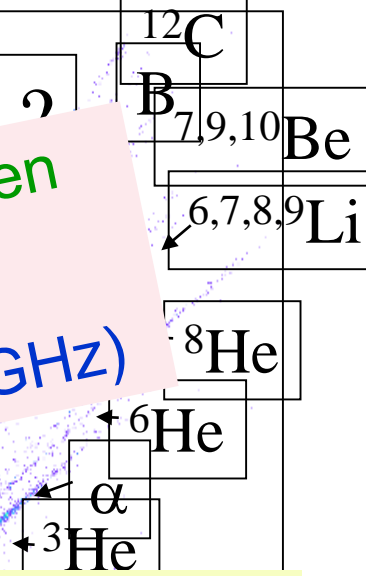


Variante de la méthode $\Delta E-E$

Rap

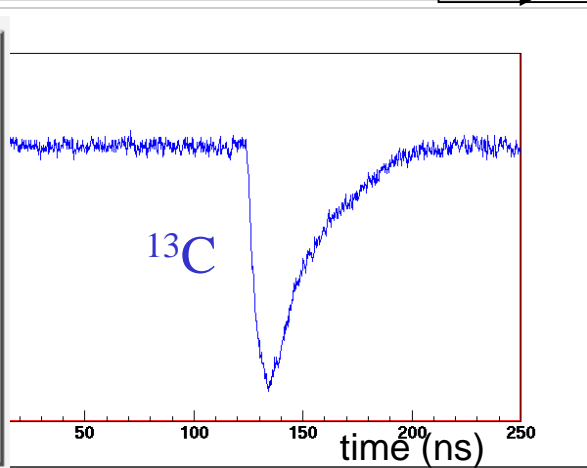
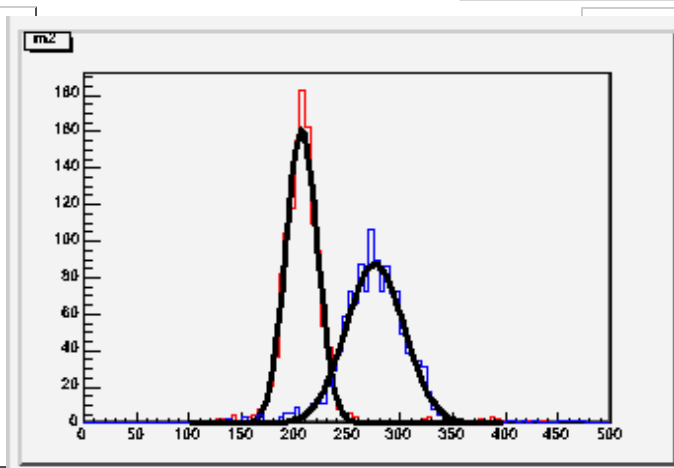
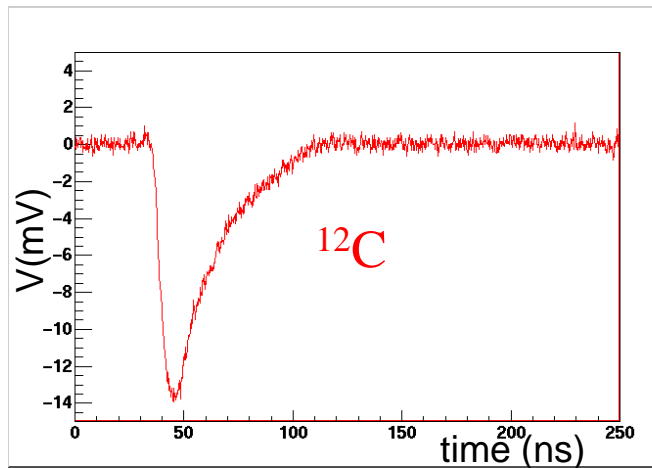


Cette méthode **nouvelle** est très générale et est en particulier appliquée au silicium : FAZIA
Elle implique un échantillonnage très rapide (\cong GHz)

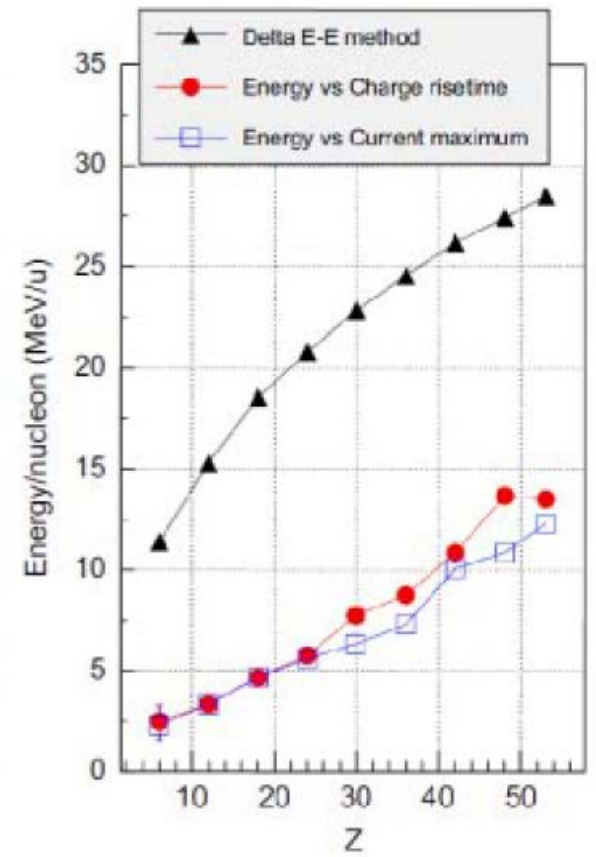
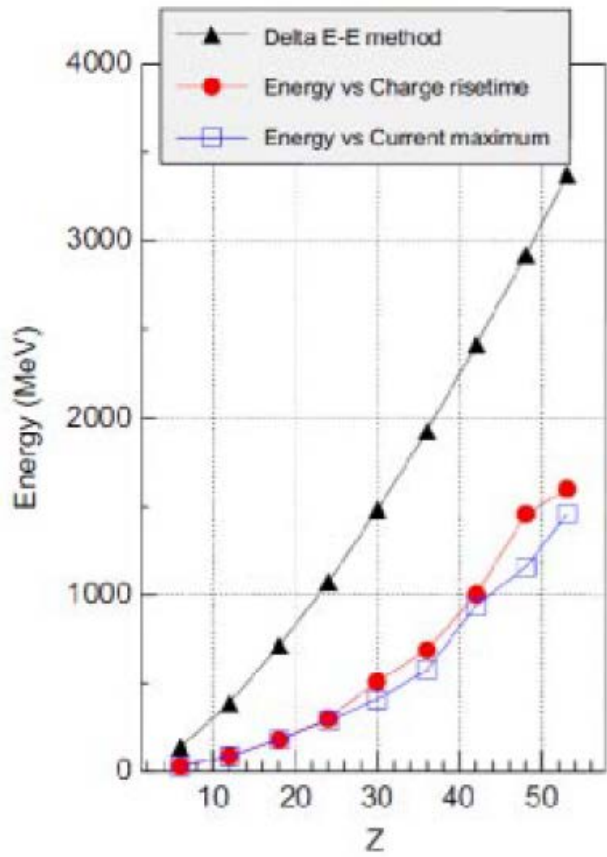
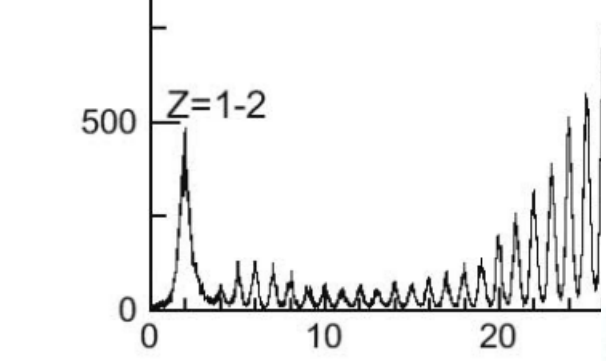
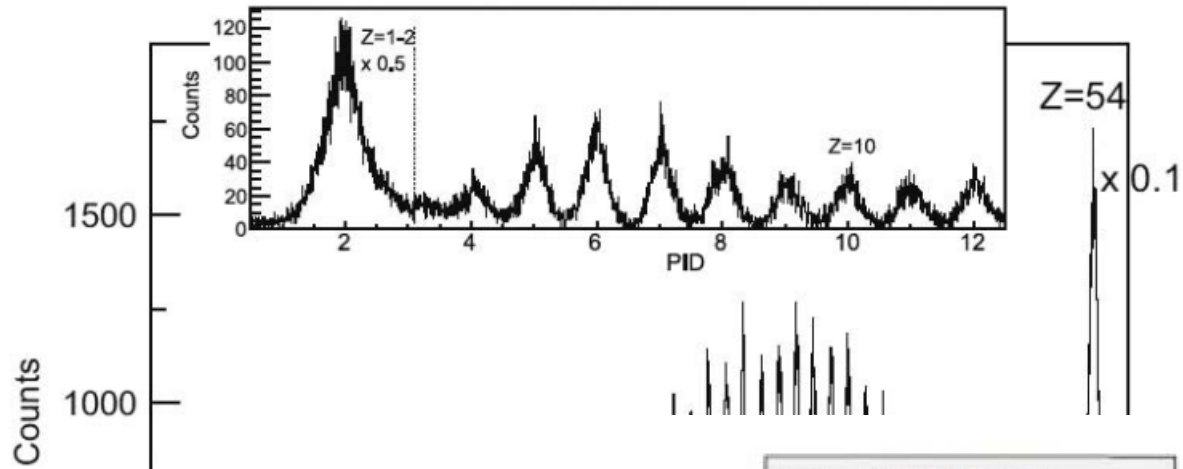


- est ... scintillateurs (séparation n- γ -particules légères)
- pour séparer les noyaux, il faut faire mieux :
traitement numérique du signal

Principe : La forme d'un signal dépend de la nature de la particule détectée.
On étudie donc cette forme en reconstruisant le signal point par point.

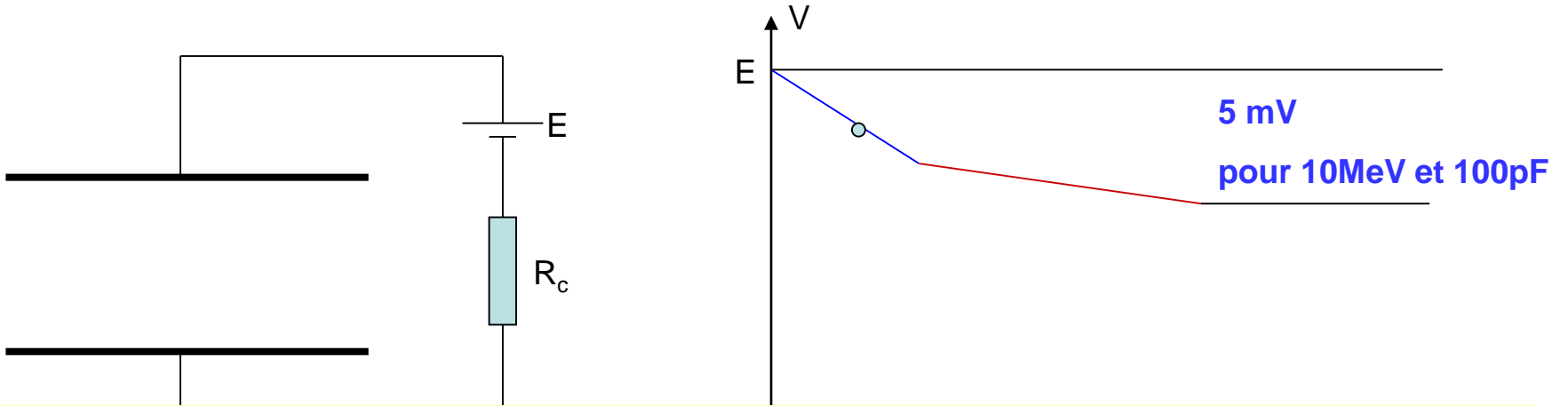


FAZIA

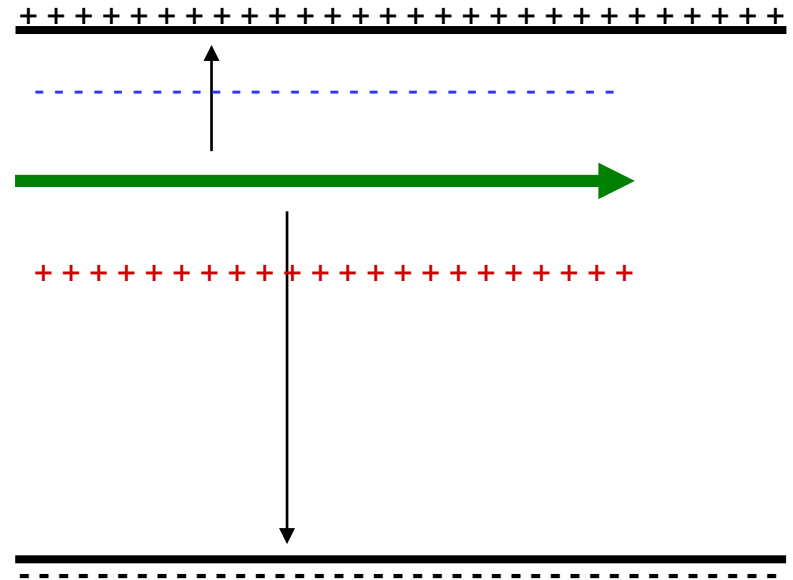
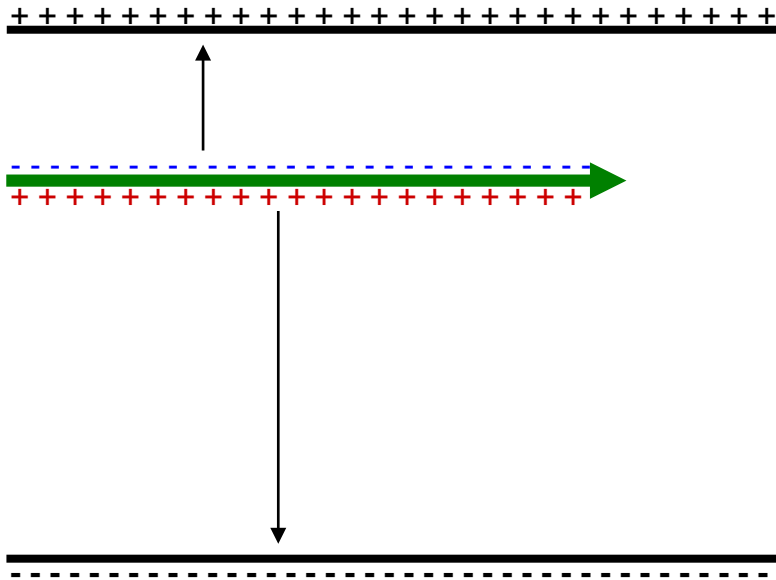


Baisse significative
des seuils

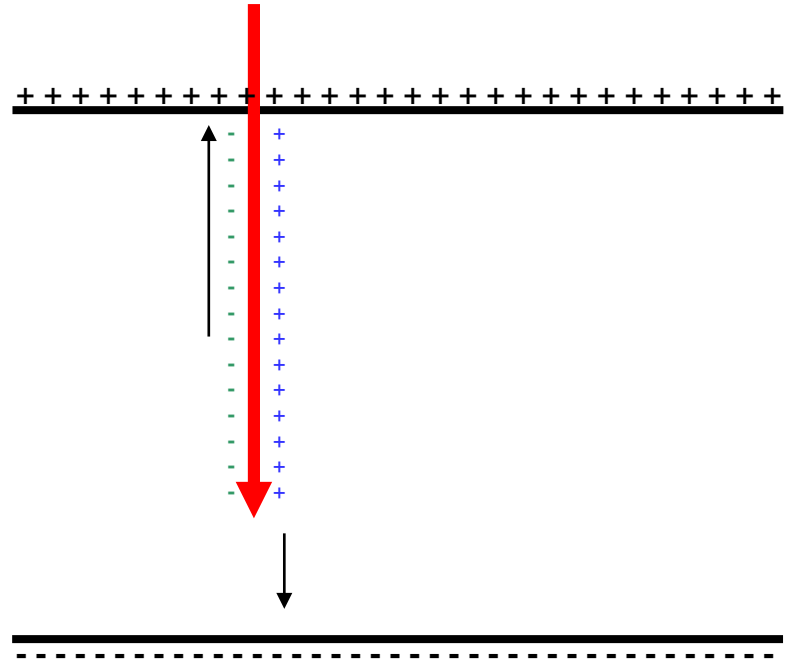
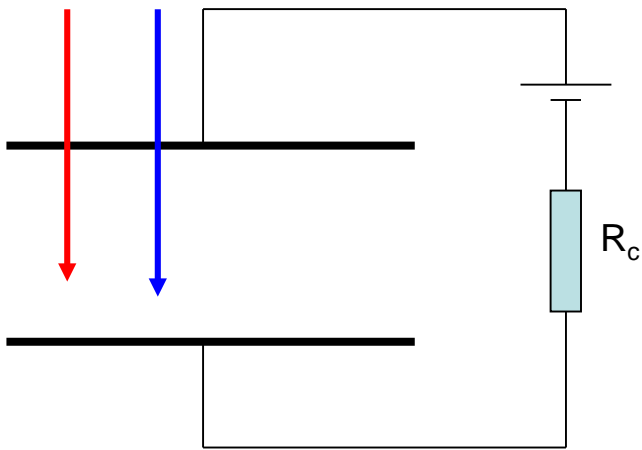
Une loupe sur le traitement numérique du signal



L'impulsion se construit *pendant* le mouvement des charges



Une loupe sur le traitement numérique du signal



La forme de l'impulsion reflète le *détail* du dépôt d'énergie: en principe, elle permet donc d'identifier (formule de Bethe)

Une autre méthode pour identifier

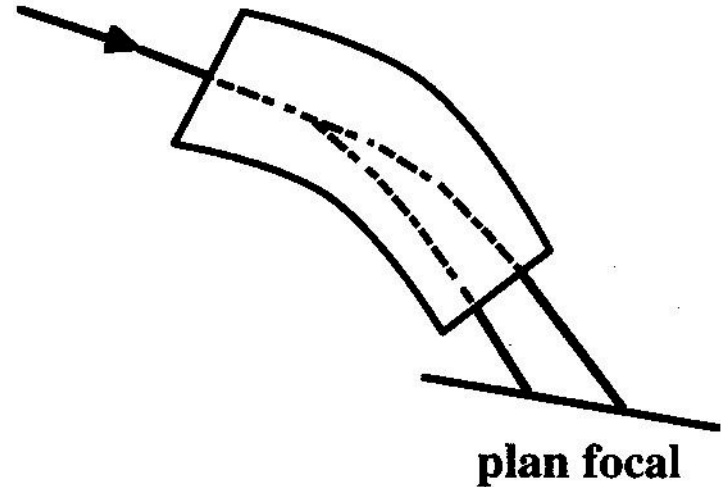
Utilisation d'un aimant

mesure de E

$TV (\rightarrow v)$

ρ

$$\begin{array}{l} E = \frac{1}{2} m v^2 \\ z_i e v B = \frac{m v^2}{\rho} \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} \rightarrow m \\ z_i \end{array} \right.$$



Avantage : meilleure précision (mieux que le %)

Inconvénients : mesure longue

angle solide petit

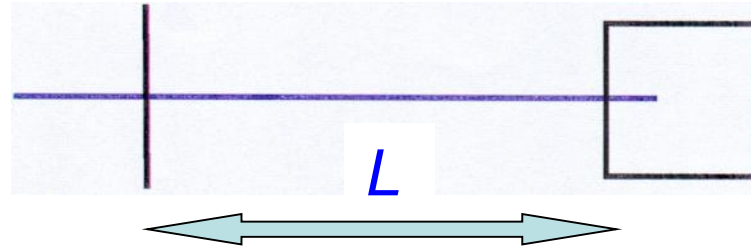
Mesurer m seulement : méthode du temps de vol

Principe :

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E = \frac{1}{2} m \frac{L^2}{TV^2}$$

$$m = \frac{2 E TV^2}{L^2}$$



(Cette méthode ne s'applique bien sûr pas pour les produits relativistes)

Ordres de grandeur :

L : quelques mètres

$TV \approx 100 \text{ ns}$



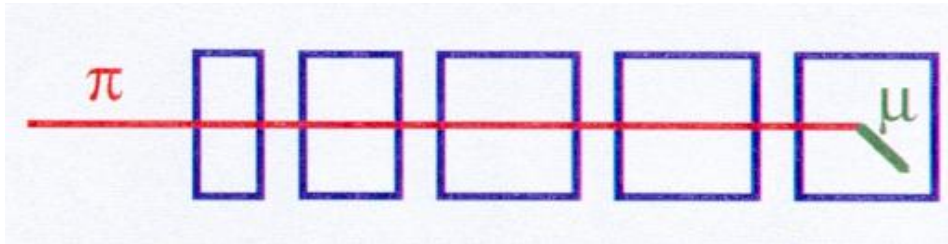
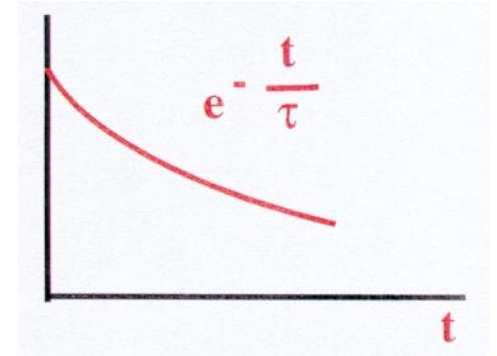
détecteurs rapides nécessaires

temps de réponse : $\approx \text{ns}$

Cas particulier des particules instables : identifier en reconnaissant la décroissance

par le temps :

exemple : $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$ $\tau = 26 \text{ ns}$



par la nature et l'énergie des produits de désintégration :

exemple : $\pi^0 \rightarrow 2 \gamma$

somme des énergies = 135 MeV dans le repère du π^0

Mesure de l'énergie cinétique

1) l'ionisation est un phénomène linéaire

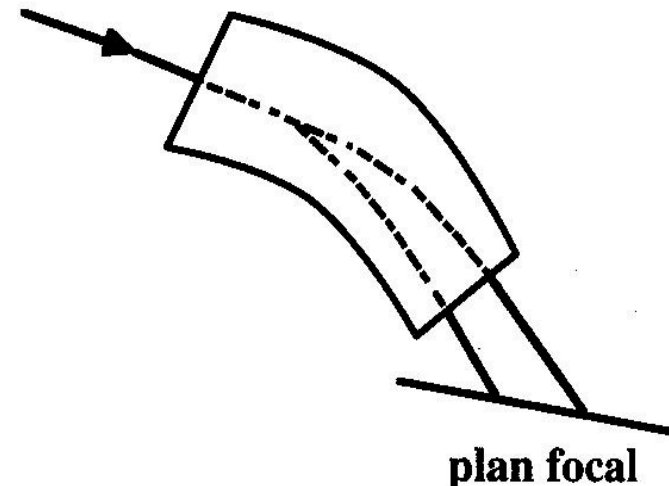
- **mesure du nombre d'électrons arrachés (intégration du signal)**
 - méthode valable pour tous les détecteurs d'ionisation
 - les meilleurs : Silicium (particules) et Germanium (gammas)
- **mesure du nombre de photons de retour à l'équilibre (intégration du signal)**
 - les scintillateurs sont moins linéaires que les détecteurs d'ionisation : leur réponse dépend de la nature de la particule

2) Les aimants permettent des mesures précises

- mesure (approximative) de l'énergie
- mesure du rayon de courbure
- mesure de la position

$$z e v B = \frac{m v^2}{\rho}$$

$$v = \frac{z e \rho}{m B}$$



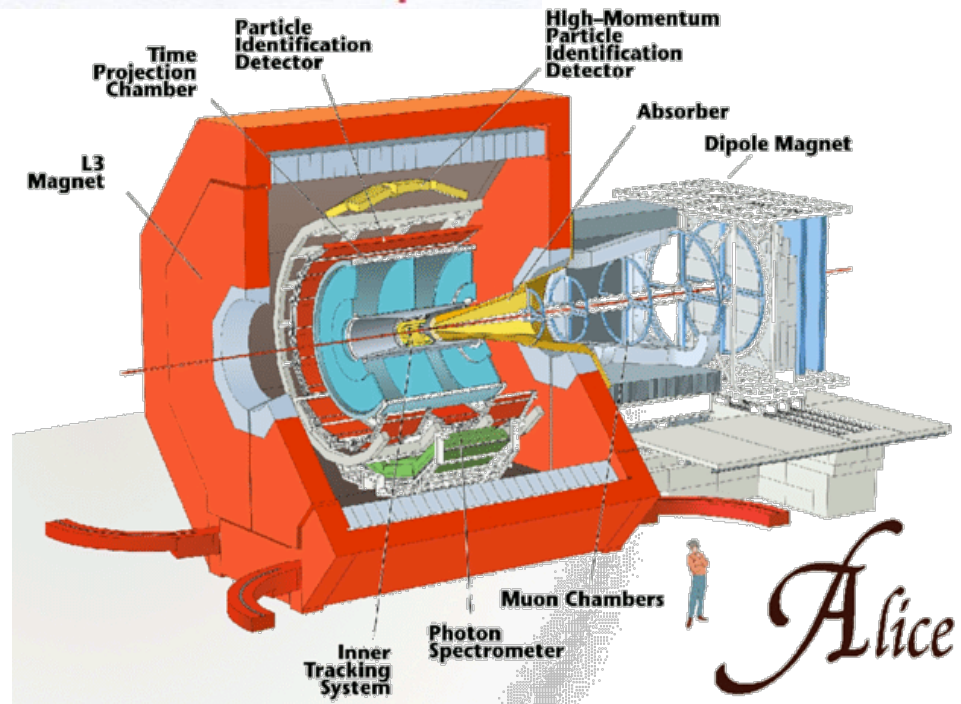
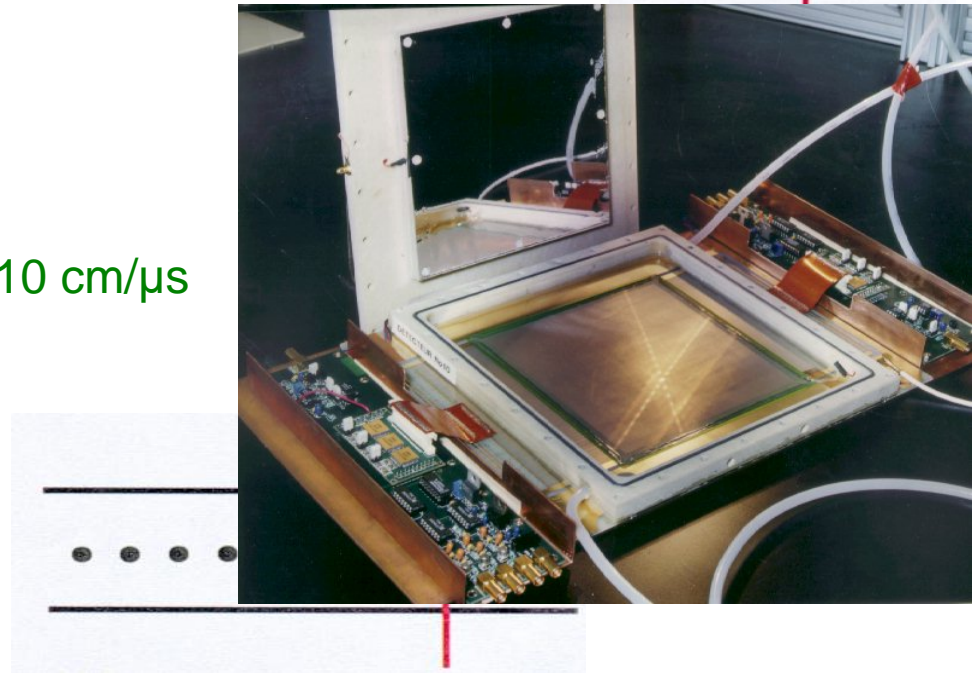
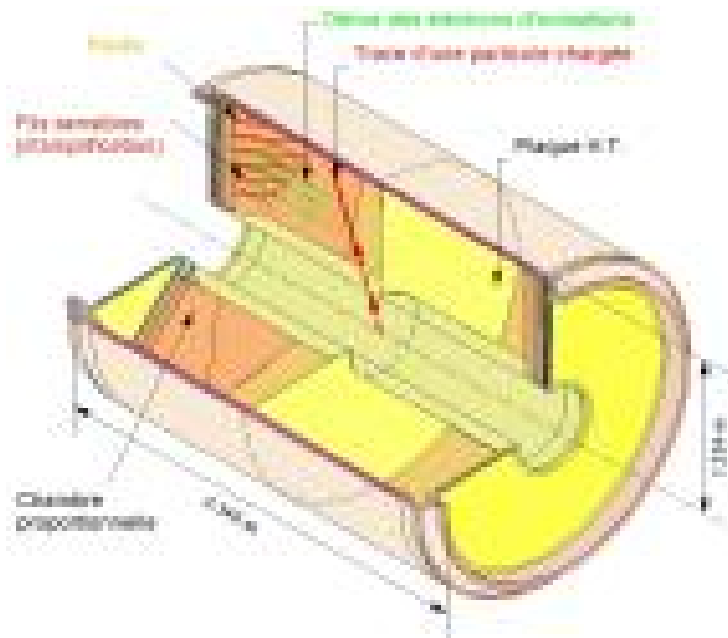
Cette méthode est générale : elle donne la vitesse -donc l'énergie- (non relativiste) ou la quantité de mouvement -donc l'énergie- (relativiste)

Elle est utilisée dans tous les grands détecteurs de physique des particules

Mesure de la position

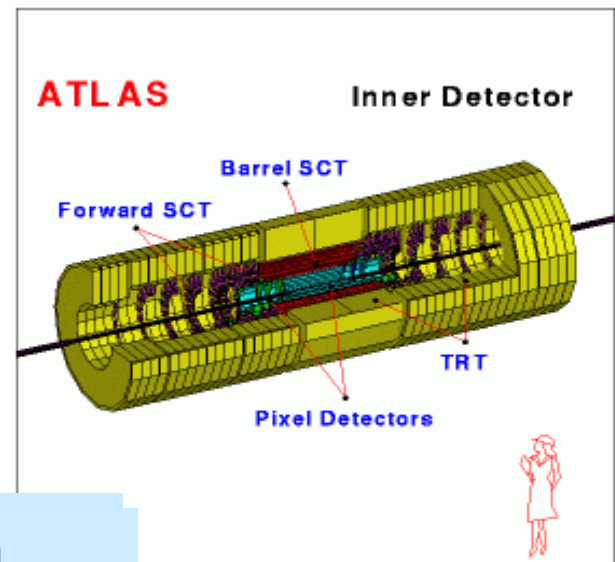
1) Dans les gaz :

- chambres à **dérive**
 - valeurs typiques de v_{drift} : 6-10 cm/ μs
- chambres à **fils** ou à **pads**
- **TPC**



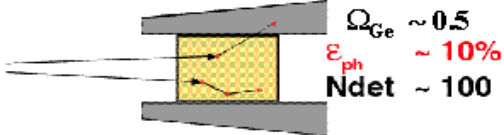
Mesure de la position

- 2) Dans les Silicium : les strips ou les pads
Must, Atlas, Alice,...
- 3) Dans les germanium :
Exogam et Agata

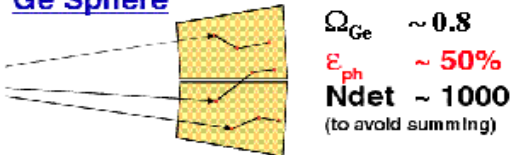


The principle of gamma-ray tracking

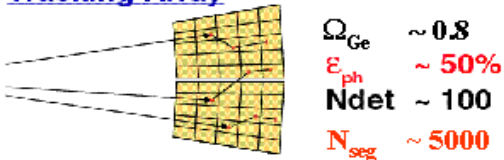
Compton Shielded Ge



Ge Sphere



Tracking Array

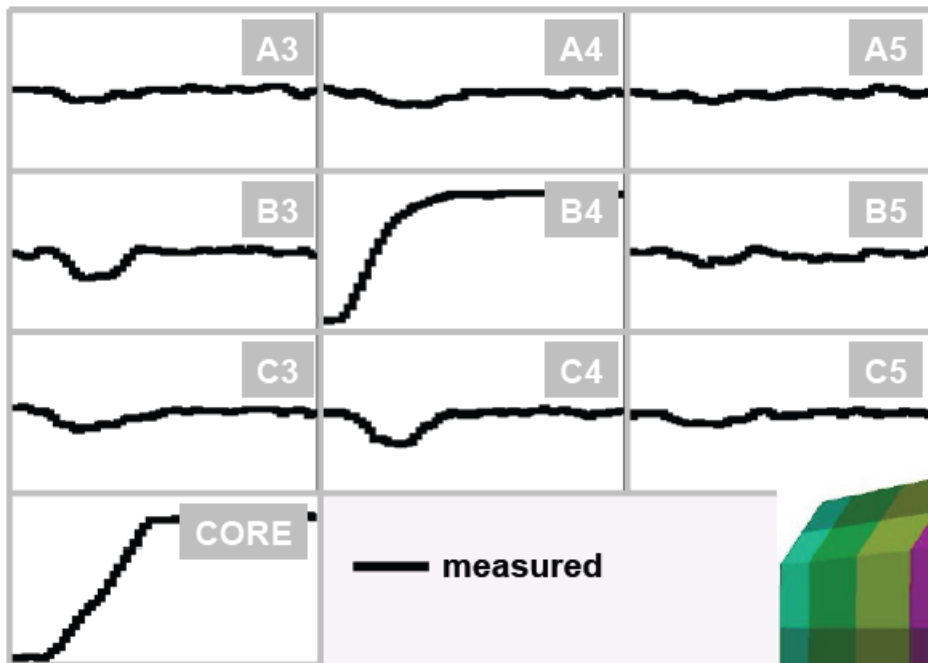


Courtesy of F. Stephens, LBLN, Greta group

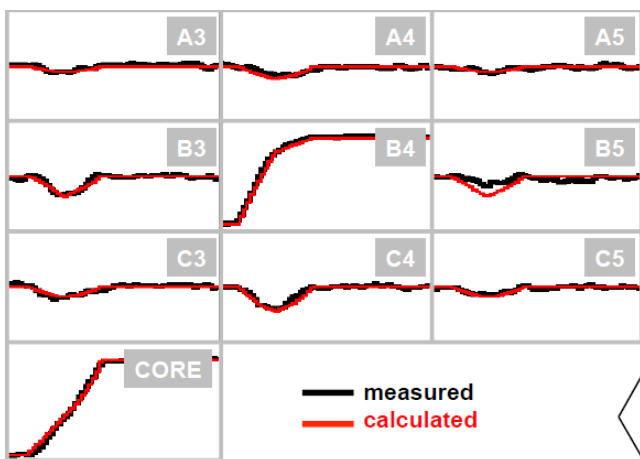
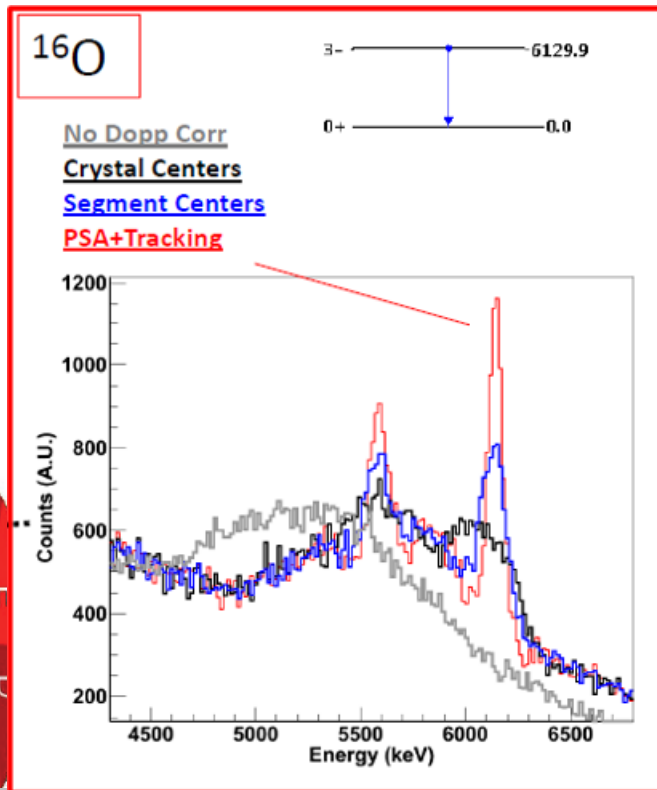
Largest Ge arrays today :
Euroball (239 Det.)
Gammasphere (120 Det.)

Full Ge sphere without shields :
→ inter-detector scattering
~ 10 times more detectors

Next generation 4π array :
~ 200 high-fold segmented
Ge detectors that allow for a
“tracking” of interaction points

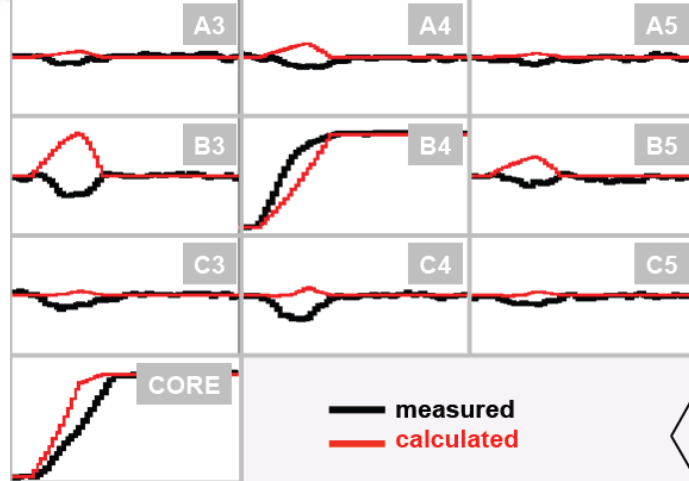
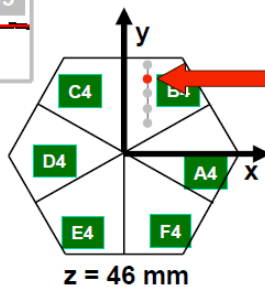


791 keV deposited in segment B4



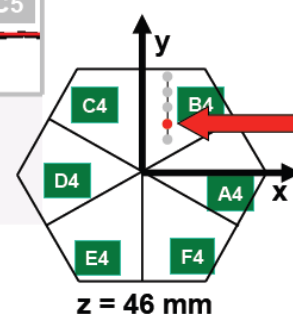
791 keV deposited in segment B4

(10, 25, 46)



791 keV deposited in segment B4

(10, 15, 46)

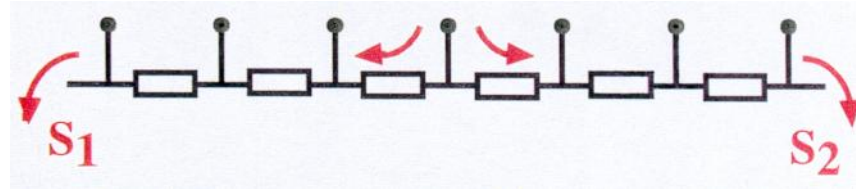


Détermination du fil, du strip ou du pad

1) Électronique individuelle : si on est riche...
sinon...

2) Division résistive

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{R_2}{R_1}$$



3) Division par retard

$$T_1 - T_2 = r_1 - r_2 = (n-1)r - (N-n)r = (2n - N - 1)r$$

Mais alors attention aux doubles coups ou aux hauts taux de comptage

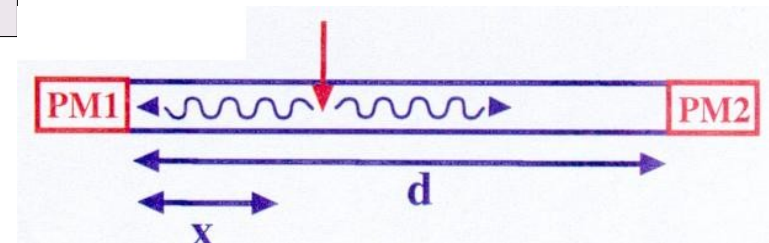
Localisation dans les scintillateurs

1) Localisation par différence de temps

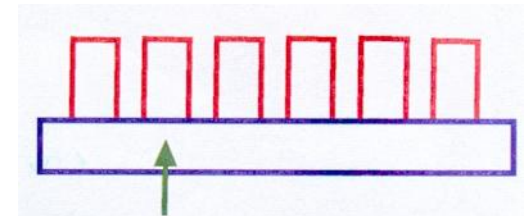
(Tonnerre, détecteur Opéra)

$$\Delta t = \frac{x}{c} - \frac{d-x}{c}$$

$$\Delta x = 10 \text{ cm} \rightarrow \Delta(\Delta t) \approx 1 \text{ ns}$$



2) Localisation par centre de gravité (gamma camera)



Conclusion

- On ne sait « voir » que les **particules chargées**
- Seuls les bolomètres (et encore..) peuvent voir la matière noire
- Les signaux recueillis sont soit **l'ionisation** soit **la lumière** de retour à l'équilibre
- On sait mesurer **l'énergie, la position et les temps**
- On sait **identifier**

- **L'avenir passe par un rapprochement des techniques de la physique nucléaire et de la physique des particules et astroparticules**

- **L'avenir passe par le traitement numérique du signal qui autorisera :**
 - une meilleure identification en physique nucléaire (identification en charge et en masse des noyaux)
 - une meilleure résolution en énergie gamma
 - une meilleure résolution en position (germanium gamma)
 - une réduction du bruit car une numérisation au plus près du détecteur