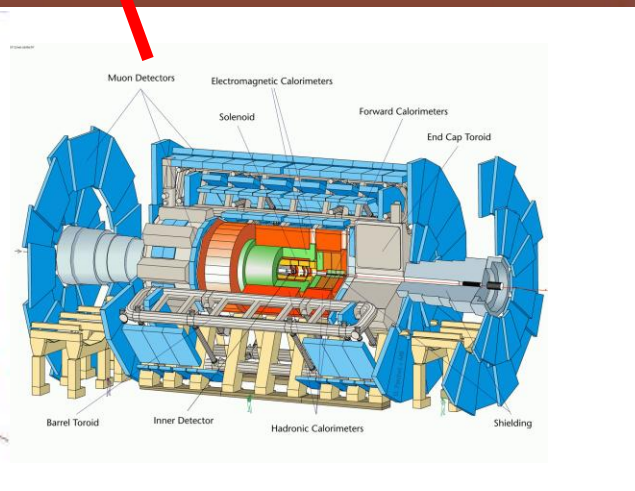
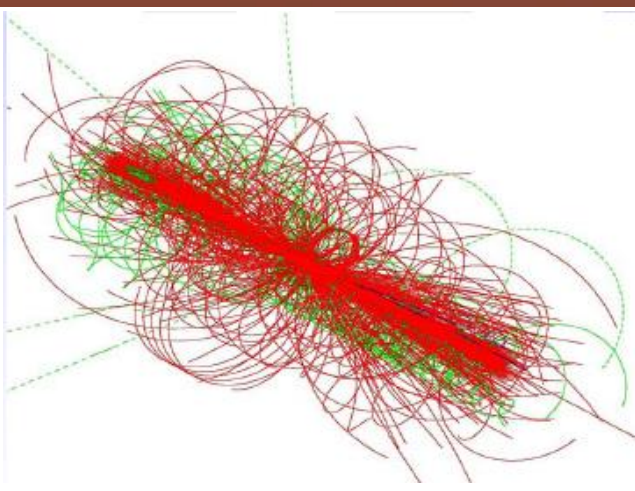
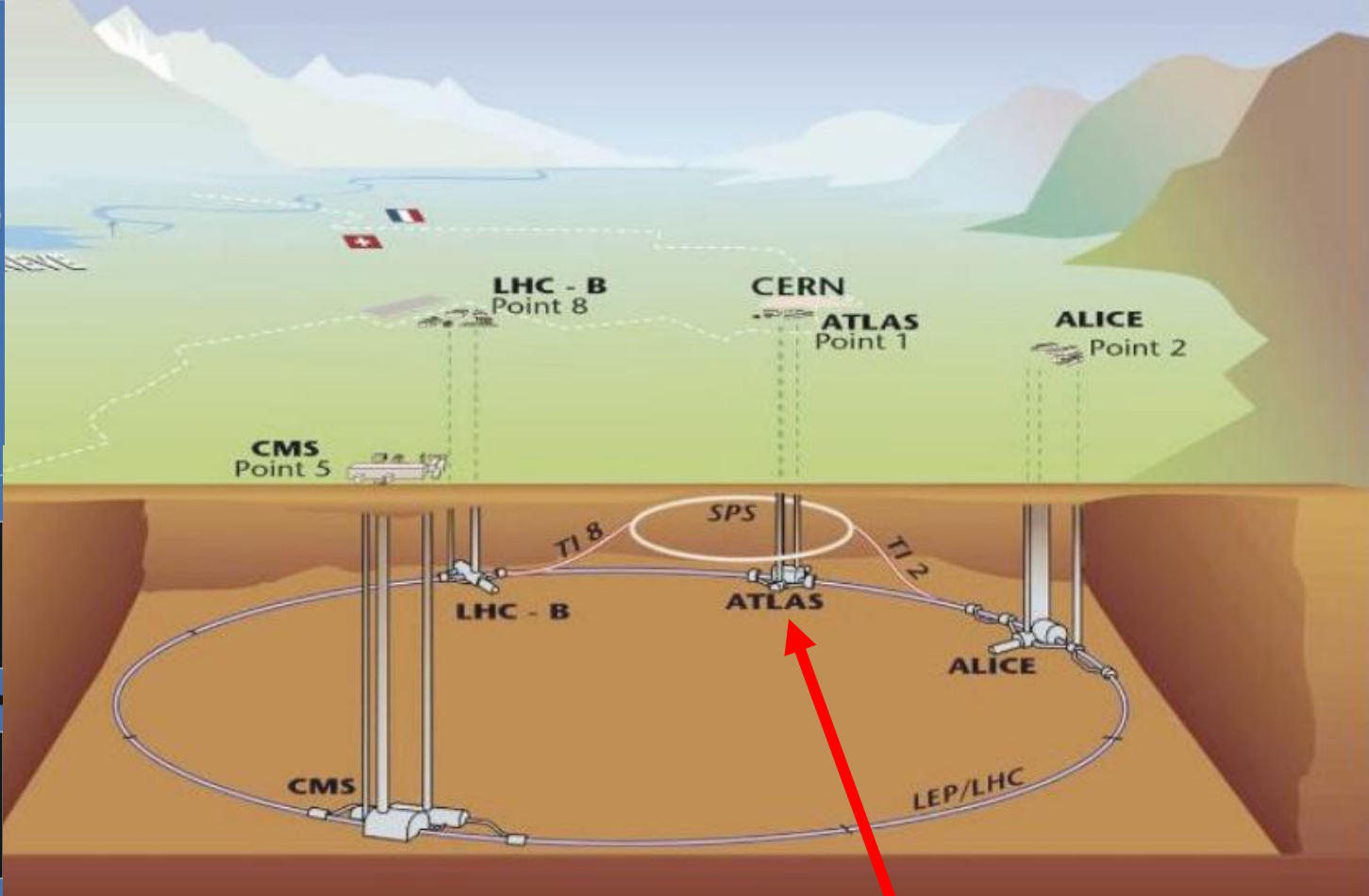
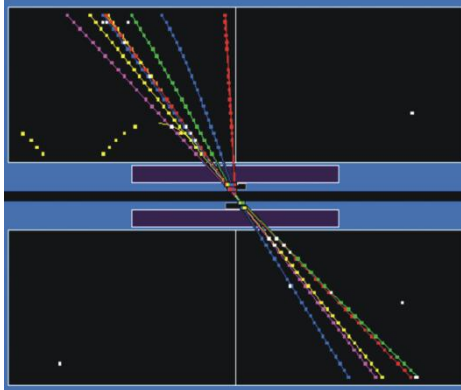
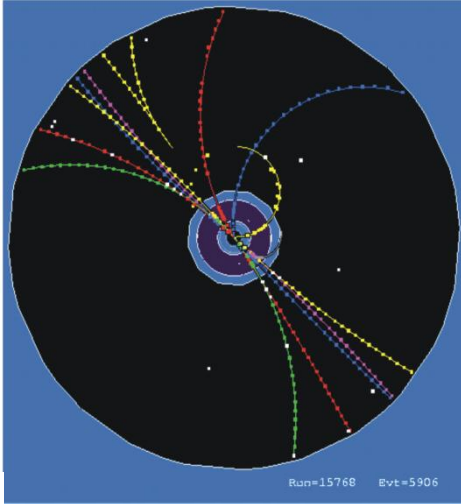


Introduction to particle detectors

Introduction aux détecteurs de particules

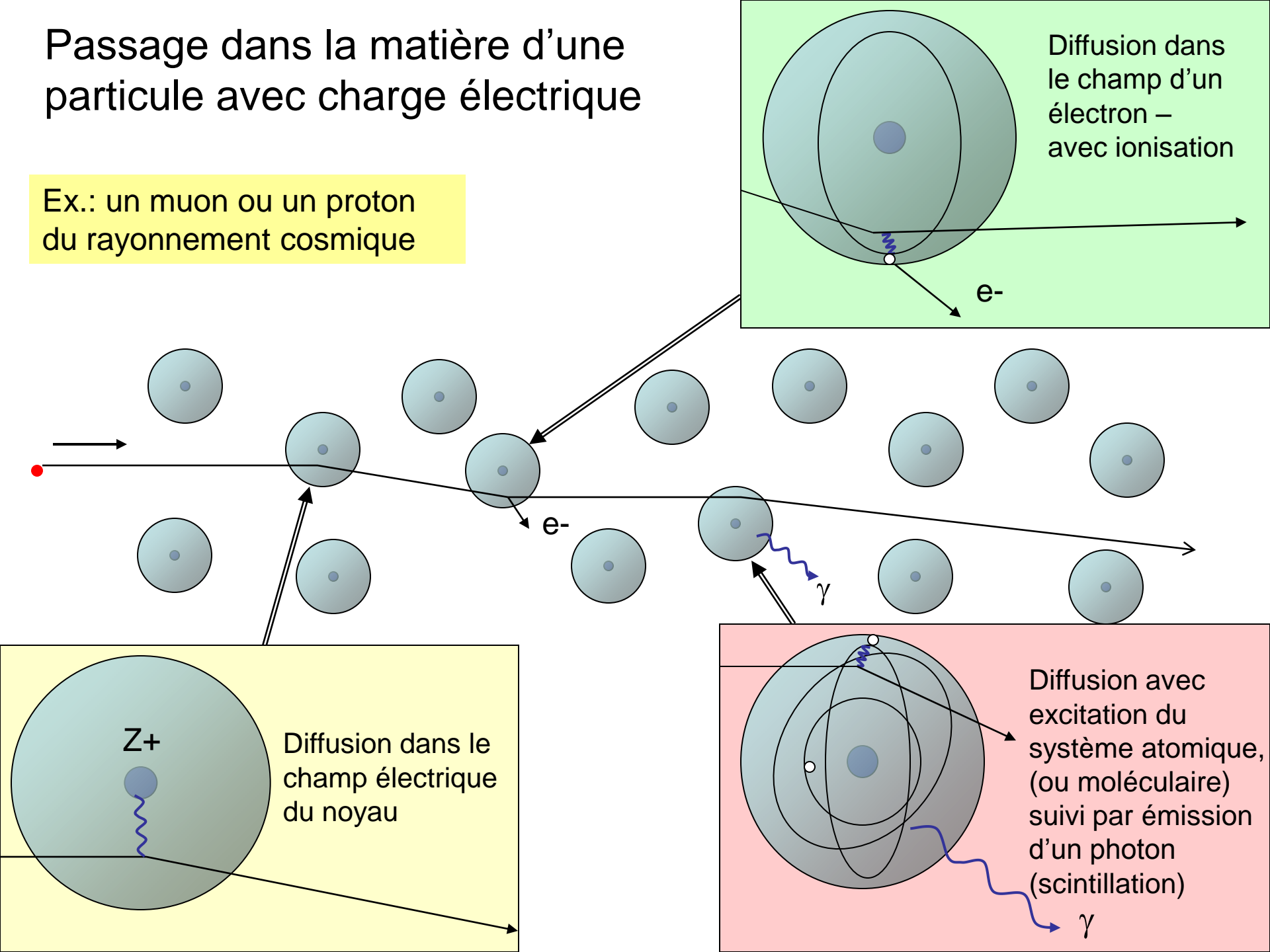
Sandro Palestini – CERN
CERN Programme for Science Teachers
June 2010



- **Détection:**
 - Interactions de particules avec charge électrique
 - Brouillard et bulles
 - Chambres à fils
 - Semi-conducteurs
 - Scintillation
 - Interactions de photons, électrons, neutrons, hadrons ...
- **Mesure**
 - Spectromètres magnétique
 - Calorimètres
 - Détecteurs de vertex
 - Systèmes complexes à couches successives

Passage dans la matière d'une particule avec charge électrique

Ex.: un muon ou un proton du rayonnement cosmique

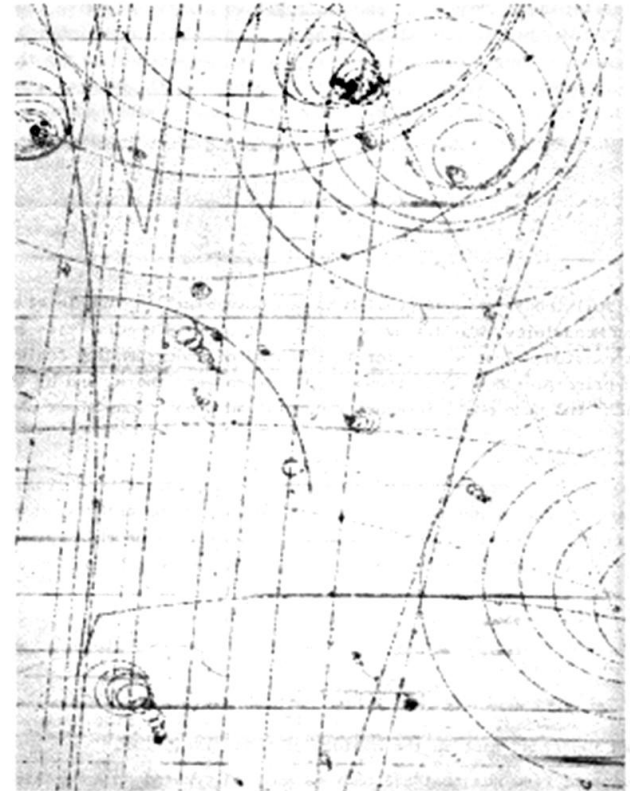


On peut voir les effets de la ionisation
et observer le trajectoires des particules



Chambre à brouillard

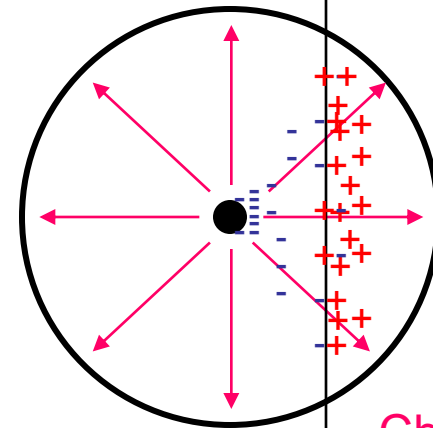
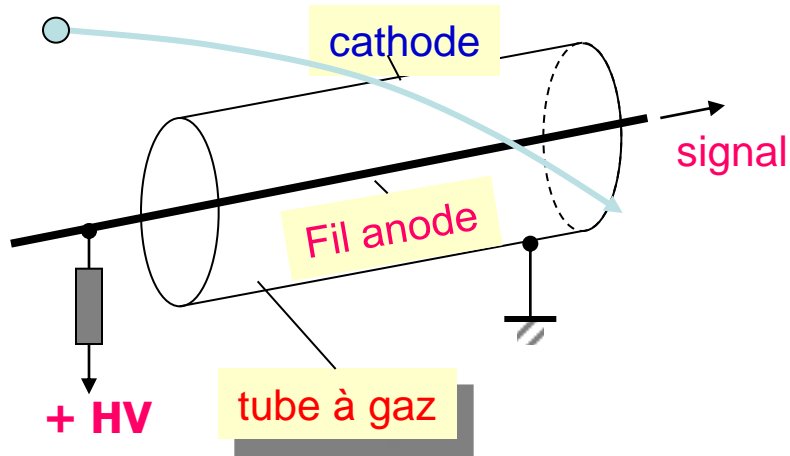
le passage d'une particule chargée dans
un gaz saturé en vapeur provoque la
formation de gouttelettes de condensation
le long de la trajectoire (1912-1960)



Chambre à bulles

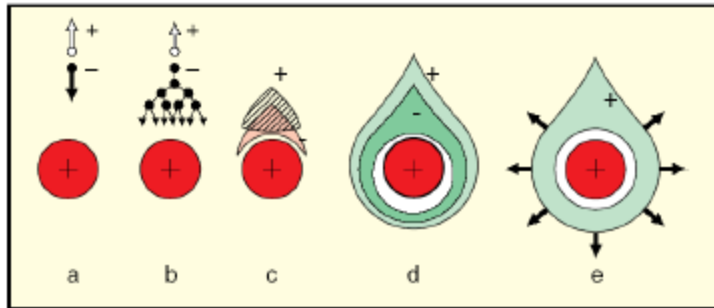
Formation des bulles dans un liquide
maintenu dans un condition proche a
l'ébullition (~ 1960-1980)

Un detecteur pour la ionisation et les traces



Champ électrique

particule ionisant

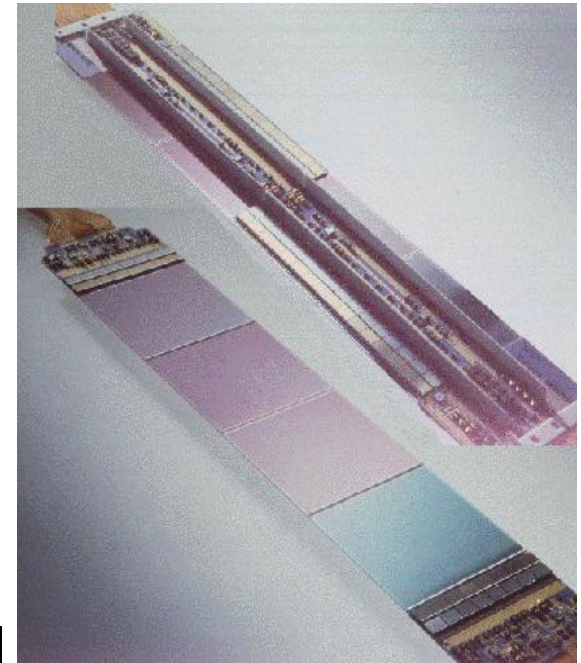
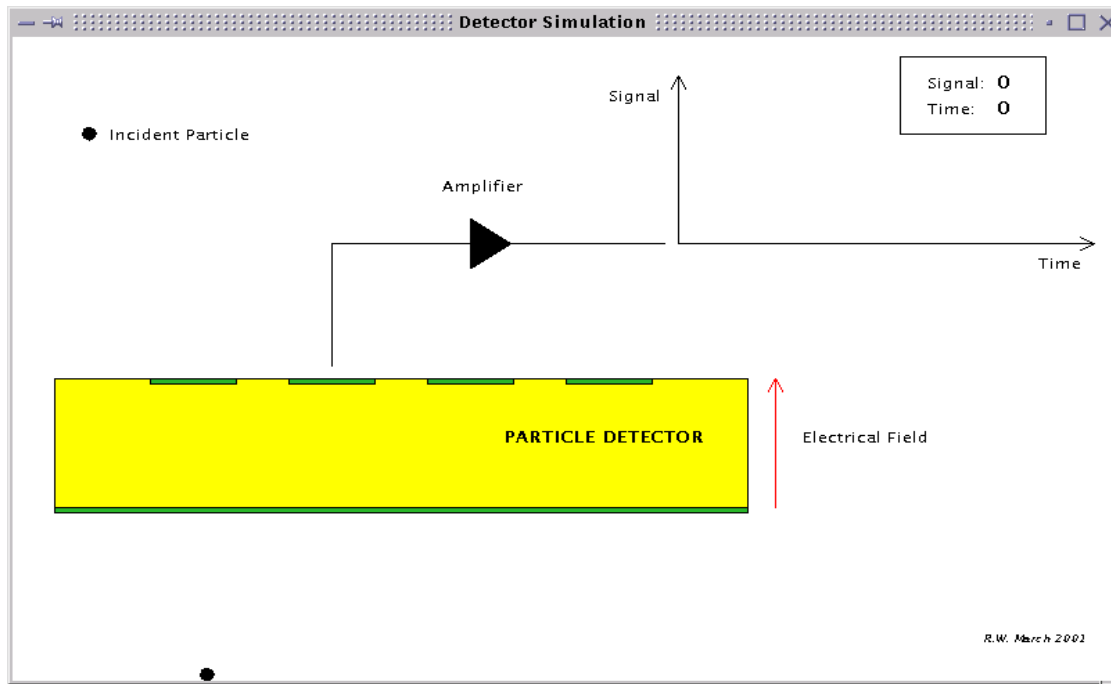


En proximité d'anode, le champ électrique est important et les électrons de la ionisation initiale sont accélérés et capables de produire ionisation eux-mêmes: amplification du signal électrique par $\sim 10,000 - 100,000$

Voir le compteur Geiger, les chambres proportionnelles, les chambres à dérive, aussi les chambres à fils (multifilaires)

Détecteurs semi-conducteur

- Une particule ionisante peut transférer des électrons (et de *trous*) dans la bande de conduction d'une jonction polarisée.



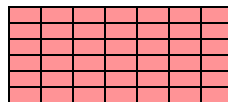
Détecteur micropistes (strips)

ex. $80\mu\text{m} \times 65\text{ mm}$

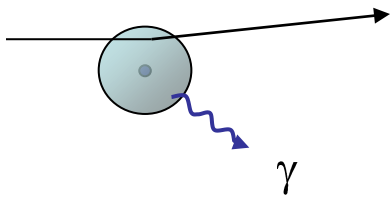


Détecteur pixel (type CCD)

ex. $50\mu\text{m} \times 400\mu\text{m}$



ALEPH VDET

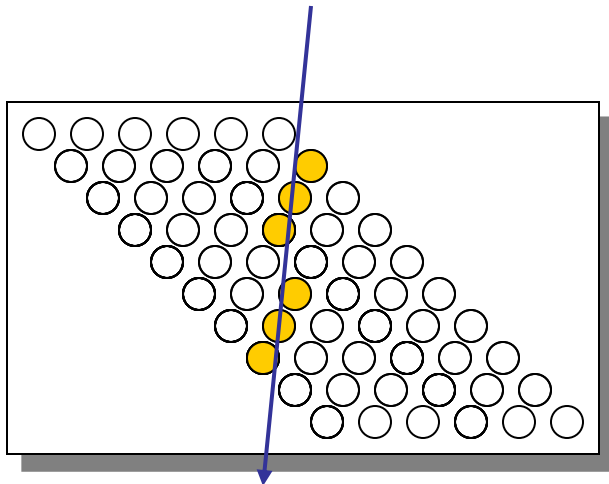
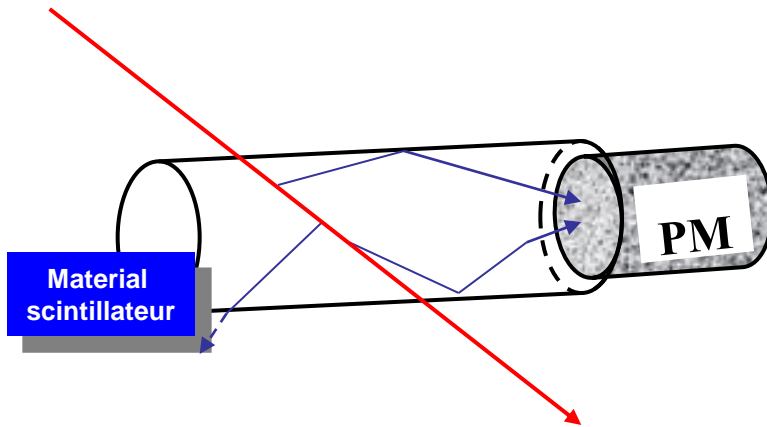


Détecteurs à scintillation

Plusieurs types de matériel:

- Scintillateurs organique (plastique, liquide, solide)
- Scintillateurs inorganique (cristal)

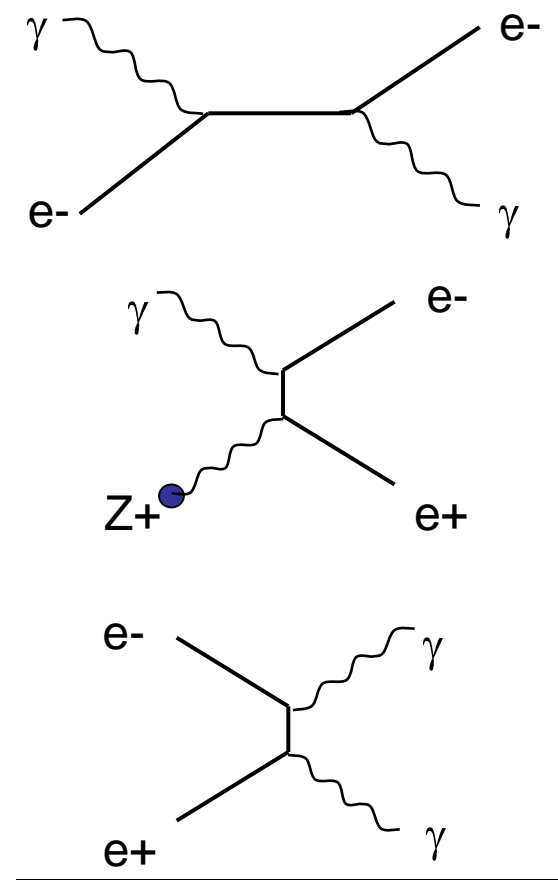
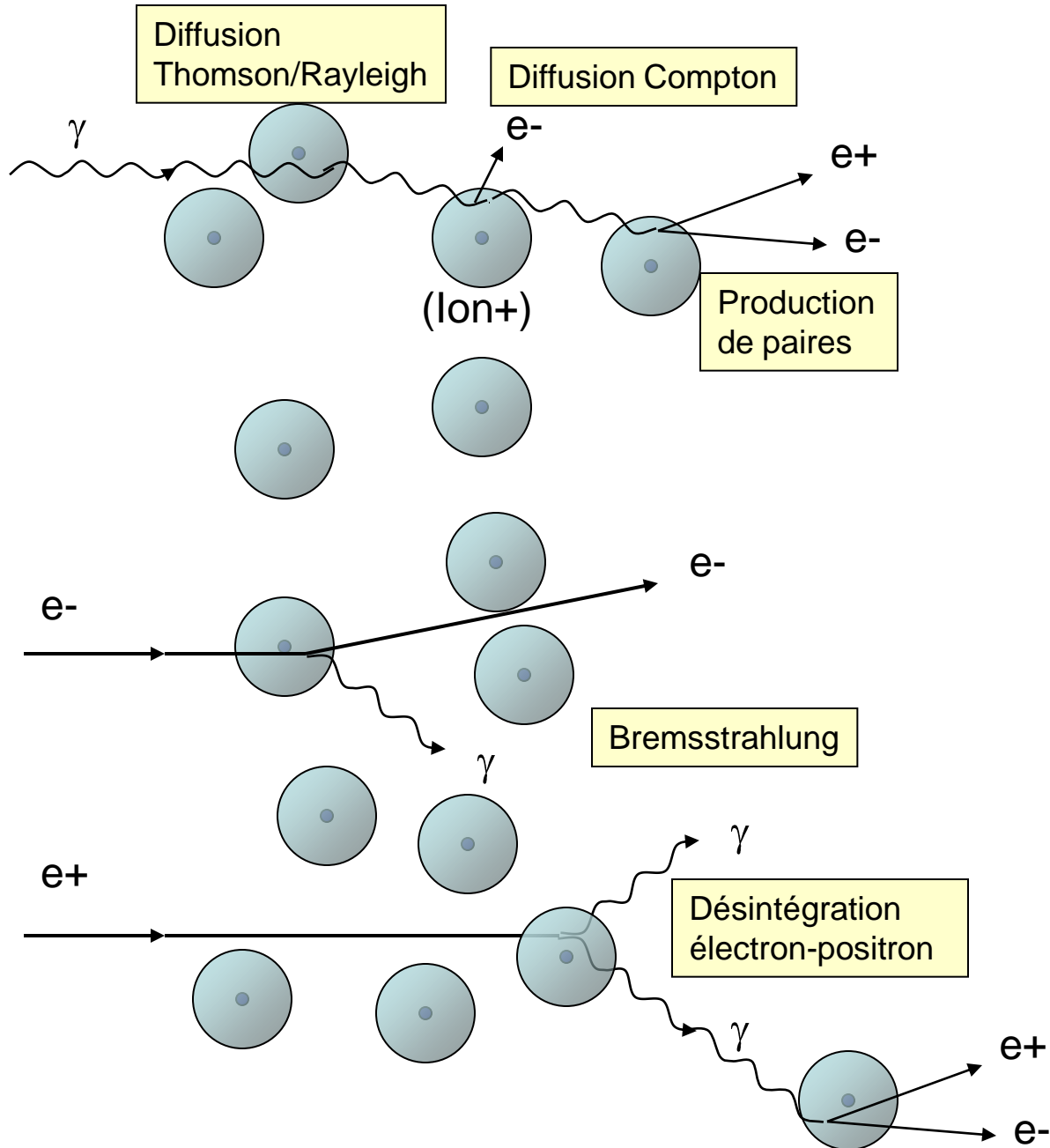
Ils utilisent un détecteur de lumière avec amplification électronique (photomultiplicateur, photodiode/triode)



Lead Tungstate Crystals

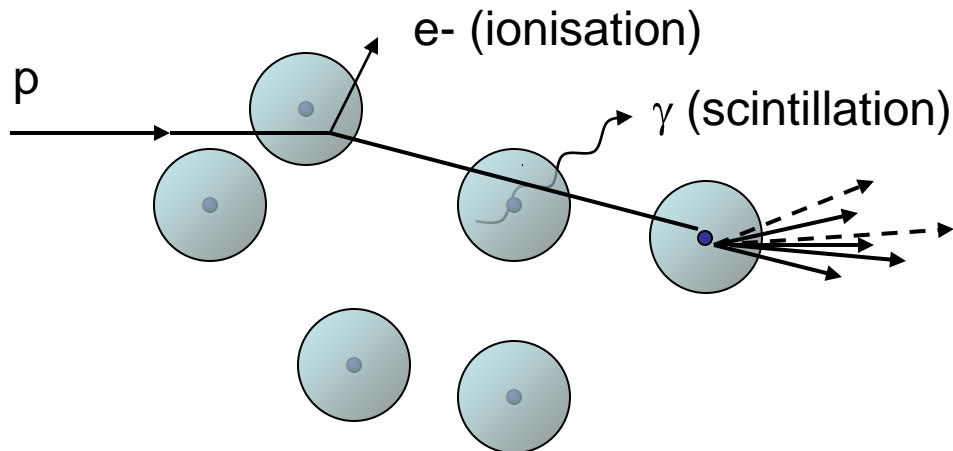


Interaction des photon, electrons et positrons

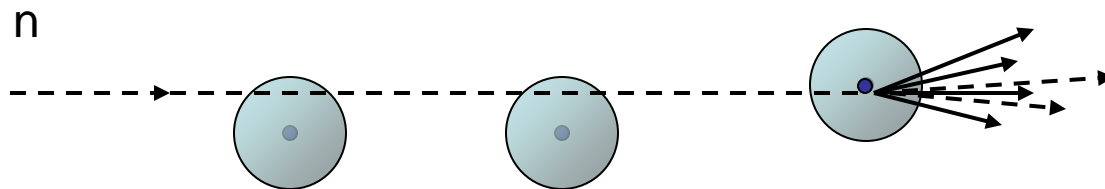


Schémas avec diagrammes de Feynman pour le calcul de la probabilité du processus

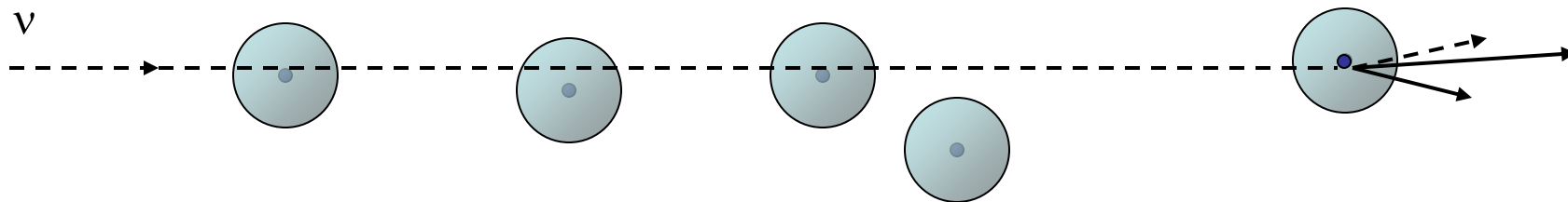
Interaction des proton, neutron (mesons, hyperons) et des neutrinos



Interaction avec le noyau (protons, neutrons) avec production des hadrons et fragments nucléaires



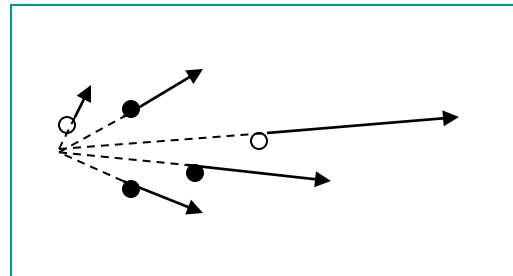
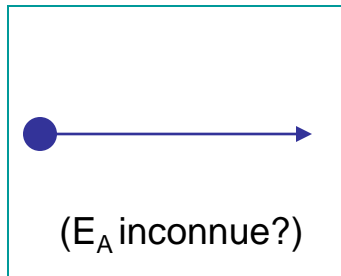
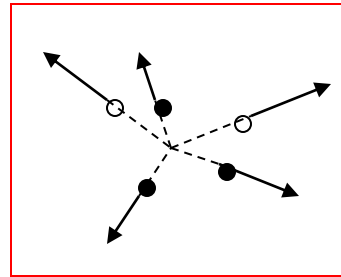
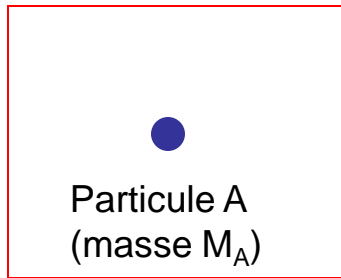
La probabilité d'interaction d'un neutrino est très faible



- Compréhension des lois fondamentales de la physique



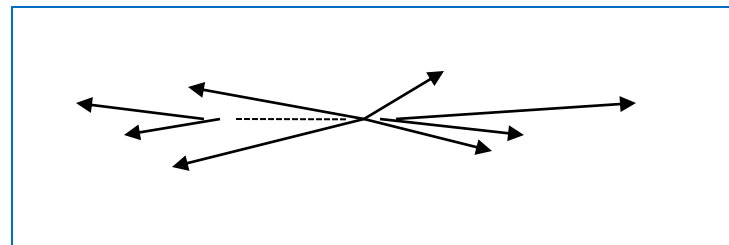
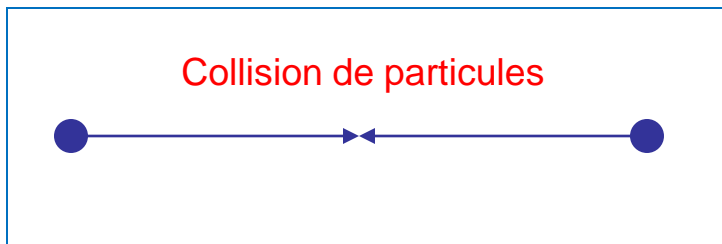
- Etude de la diffusion entre particules.
- Etude des **particules instables** et des **résonances** produit dans les interactions des particules a haute énergie



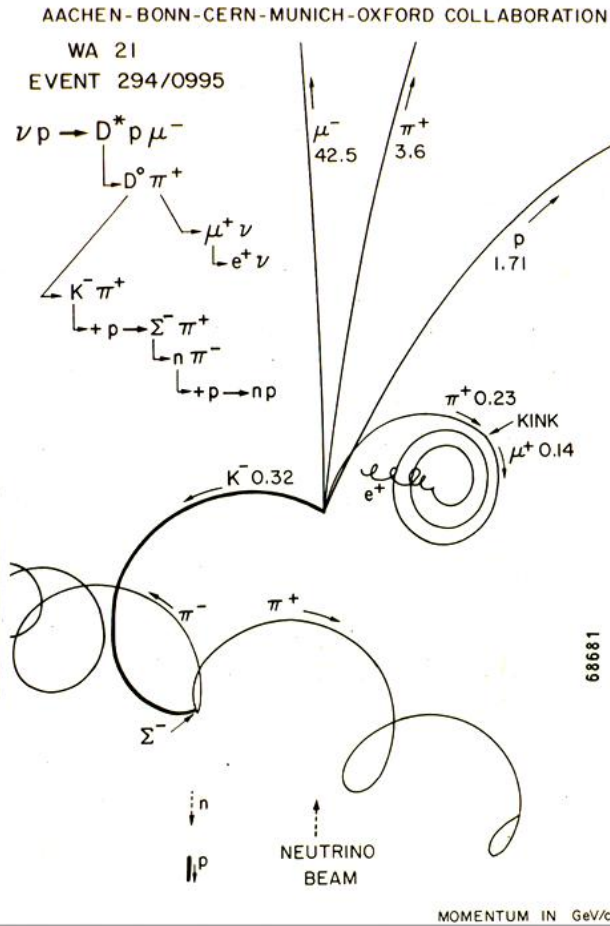
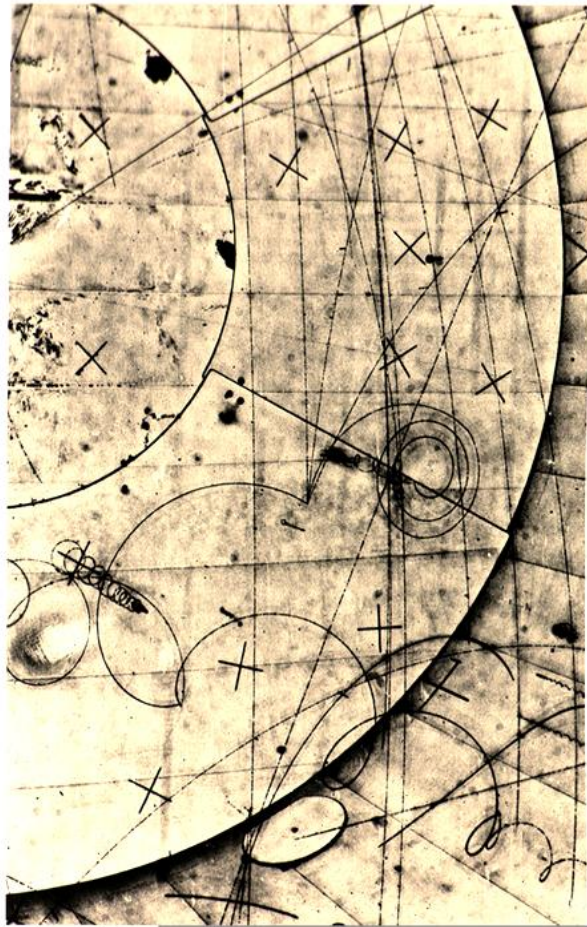
L'identification des produits et l'étude des caractéristiques de **désintégration** donnent des informations sur A et sur les interactions.

La somme des énergies de produit est égale a $M_A c^2$

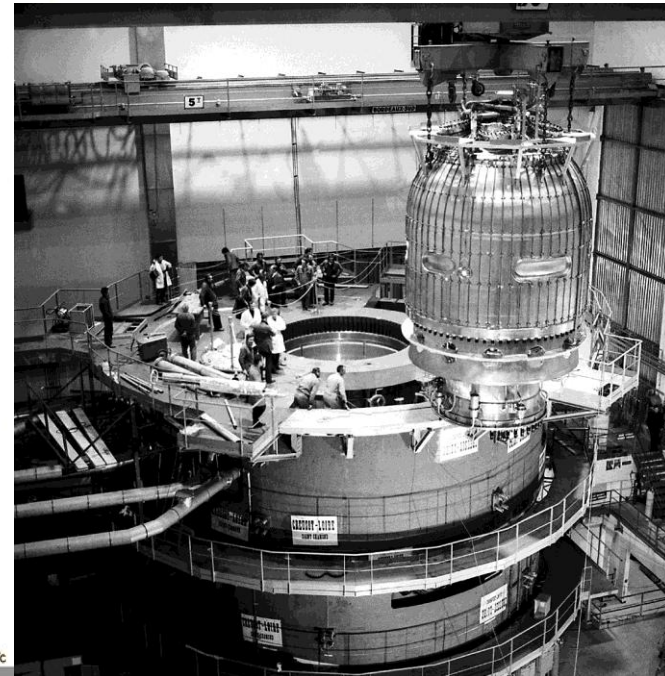
Il faut identifier et mesurer avec précision la **direction et l'énergie** de la plupart possible de produit de désintégration (ou de collision)



Mesure de *quantité de mouvement* (*) dans champ magnétique



BEBC, equipped with the largest superconducting magnet in service at the time.

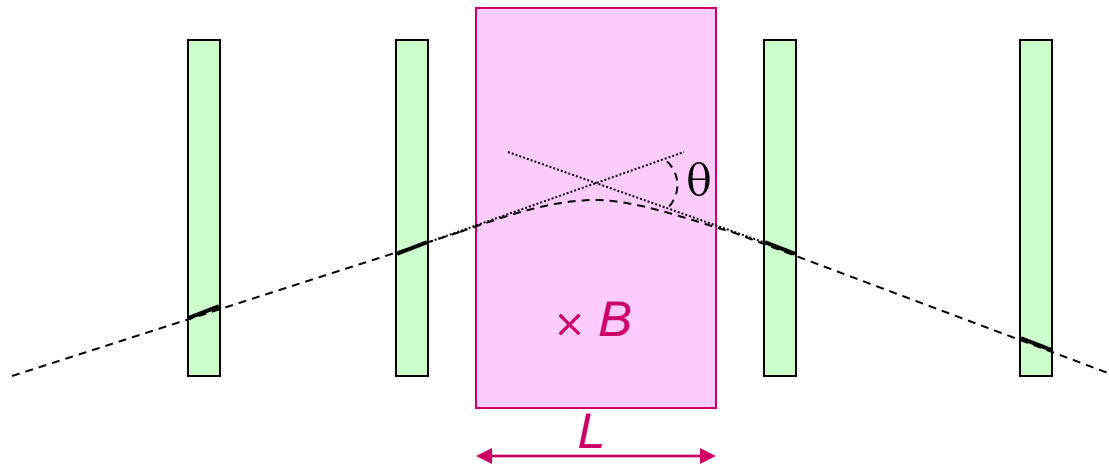


Arcs de cercle, hélices, spirales: champ magnétique

Force de Lorentz: $F = e \mathbf{v} \times \mathbf{B}$

$R [m] = P [GeV/c] / (0.3 \times B [Tesla])$

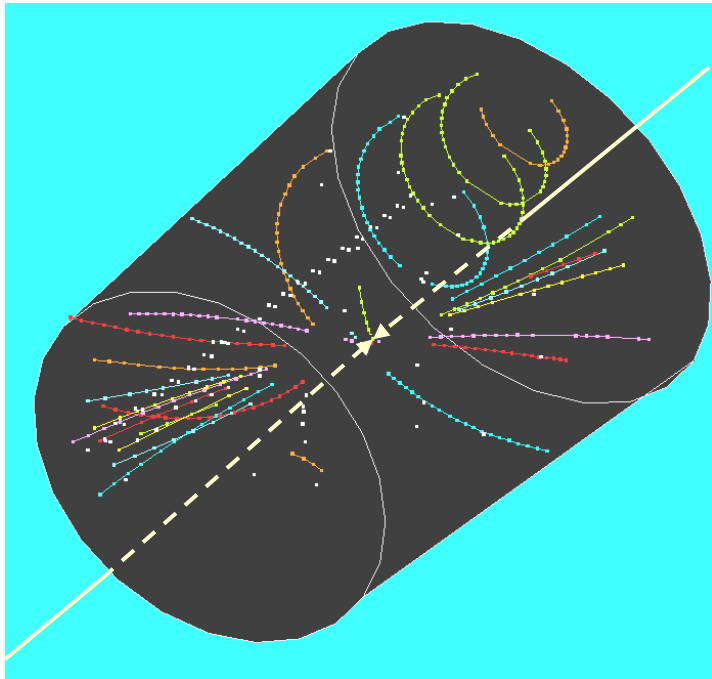
(*) \mathbf{P} , $P^2 = E^2/c^2 - m^2c^2$
 ou *moment linéaire, impulsion*
 en physique classique: $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$



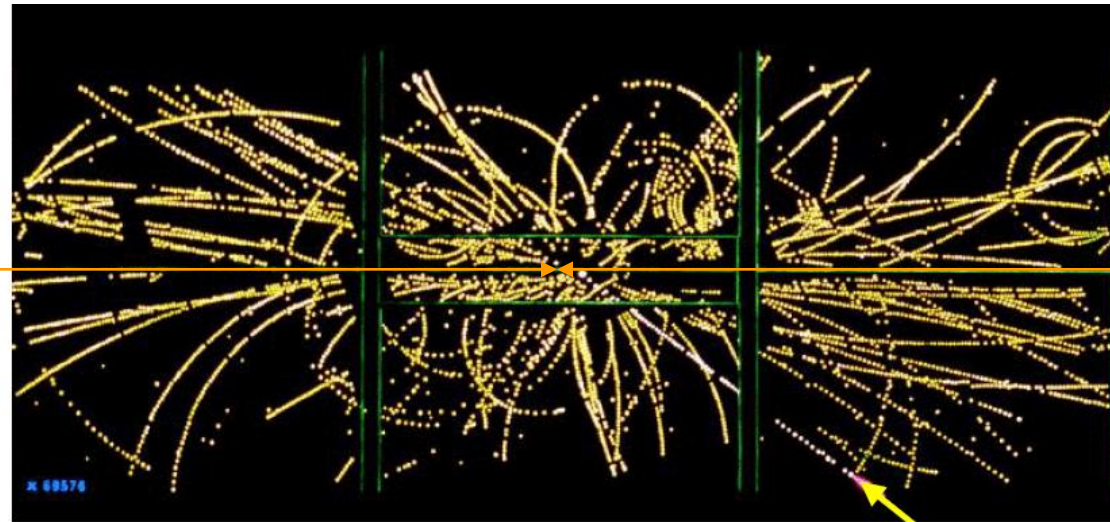
Exemple de spectromètre magnétique: chambres à fils et dipôle magnétique

$$\theta = 0.3 \times B \times L / P$$

(Tesla, metre, GeV/c)



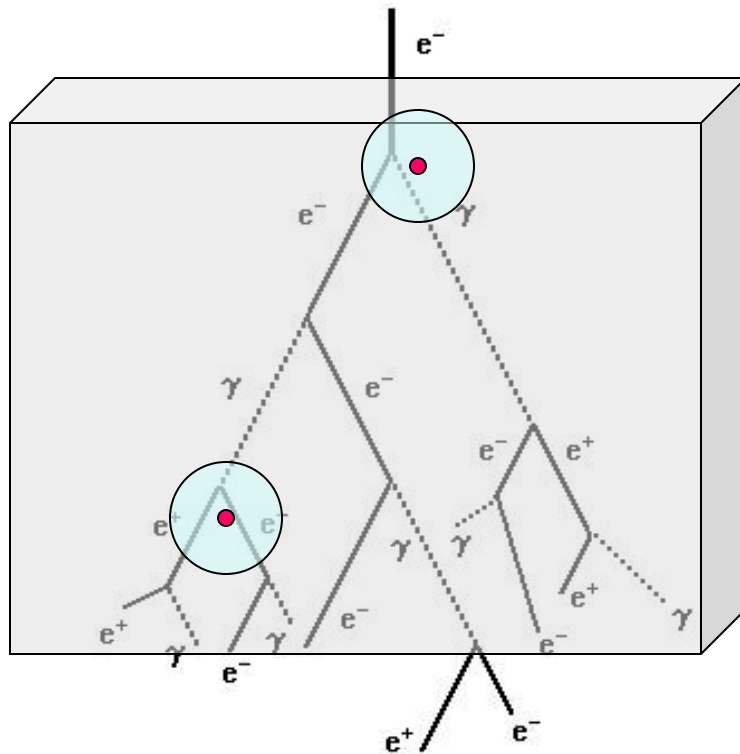
Dans un champ solénoïdal (ALEPH à CERN-LEP, e+e-, '90s)



Dans un collision proton-antiproton 48 GeV electron (UA1 à CERN-SPS, '80s)

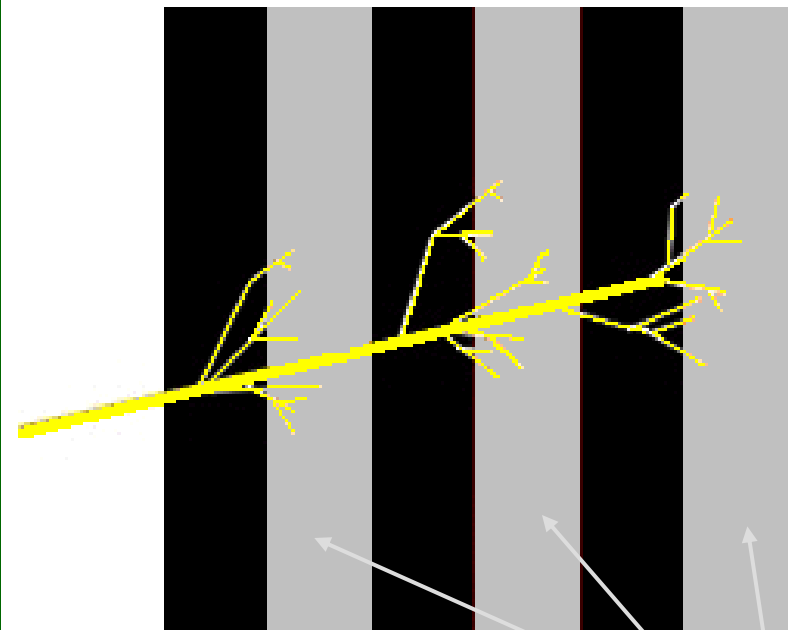
Mesure de l'énergie avec calorimètres

1. Calorimètres électromagnétiques pour γ et e^-, e^+



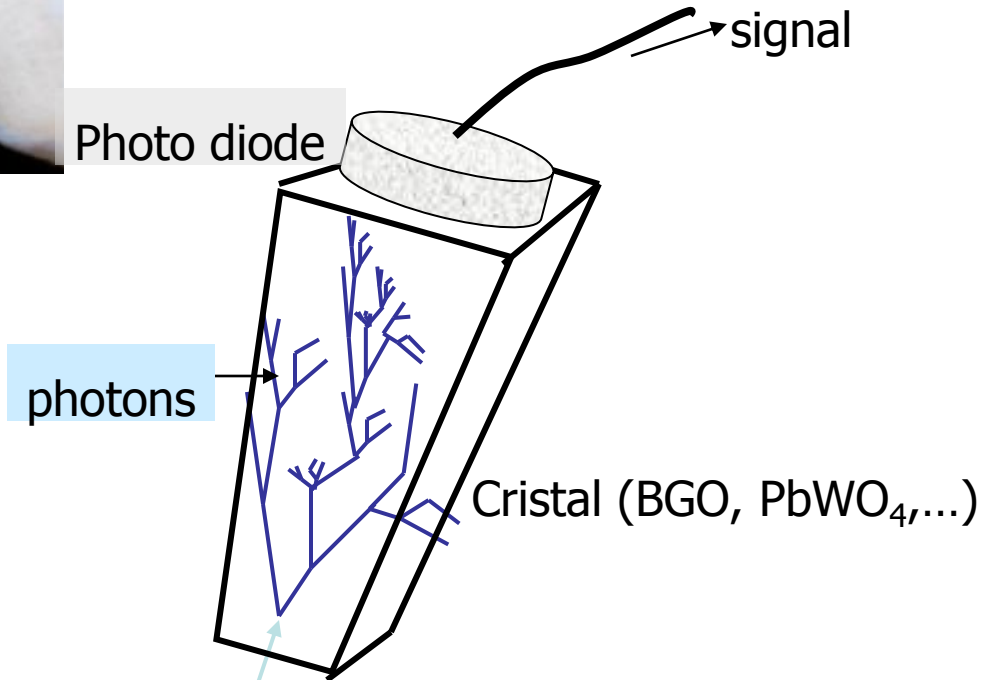
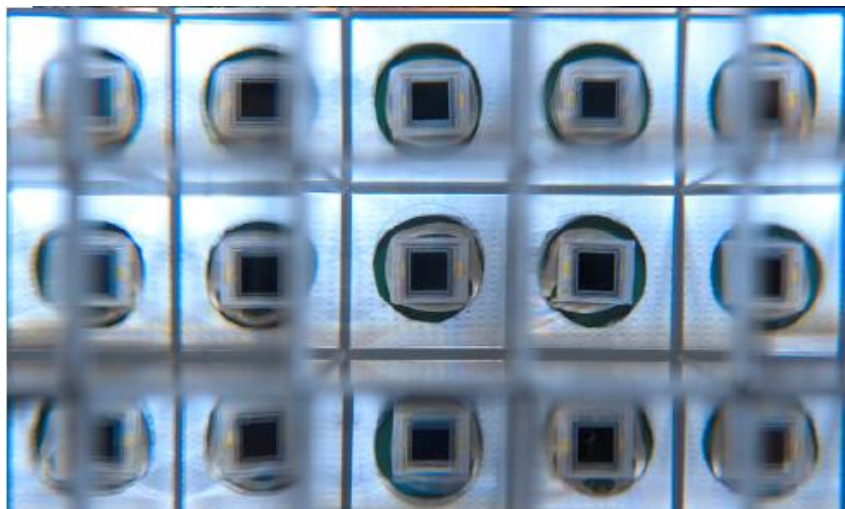
Calorimètres homogènes (ex. Calorimetre scintillateur de CMS)

Calorimètre à échantillonnage (sandwich), combinant un milieu sensible et un absorbeur dense. Le signal total est proportionnel à l'énergie de la particule à l'origine de la cascade.

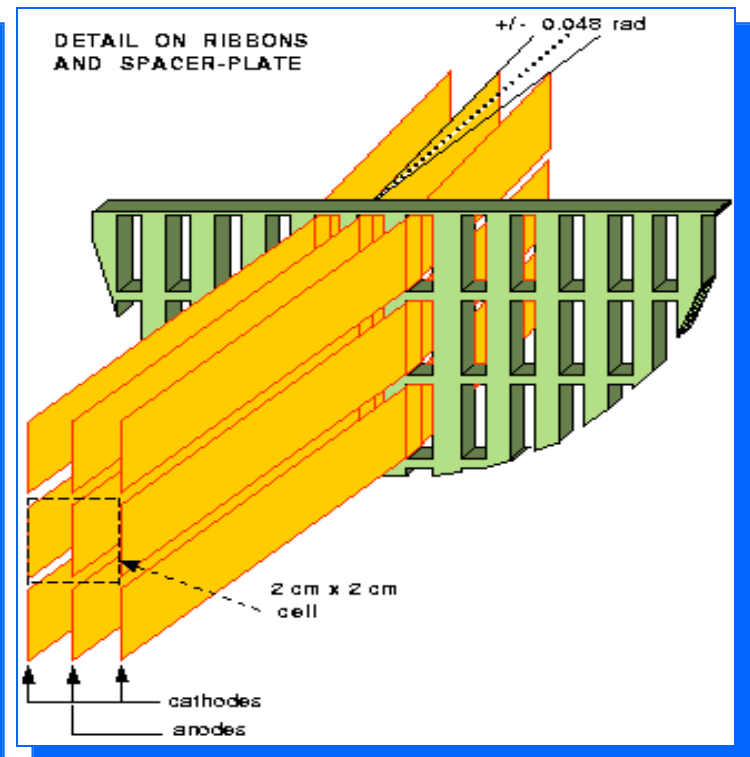


Matériel dense, ex. plomb

Détecteurs, ex. chambre à fils, scintillateur



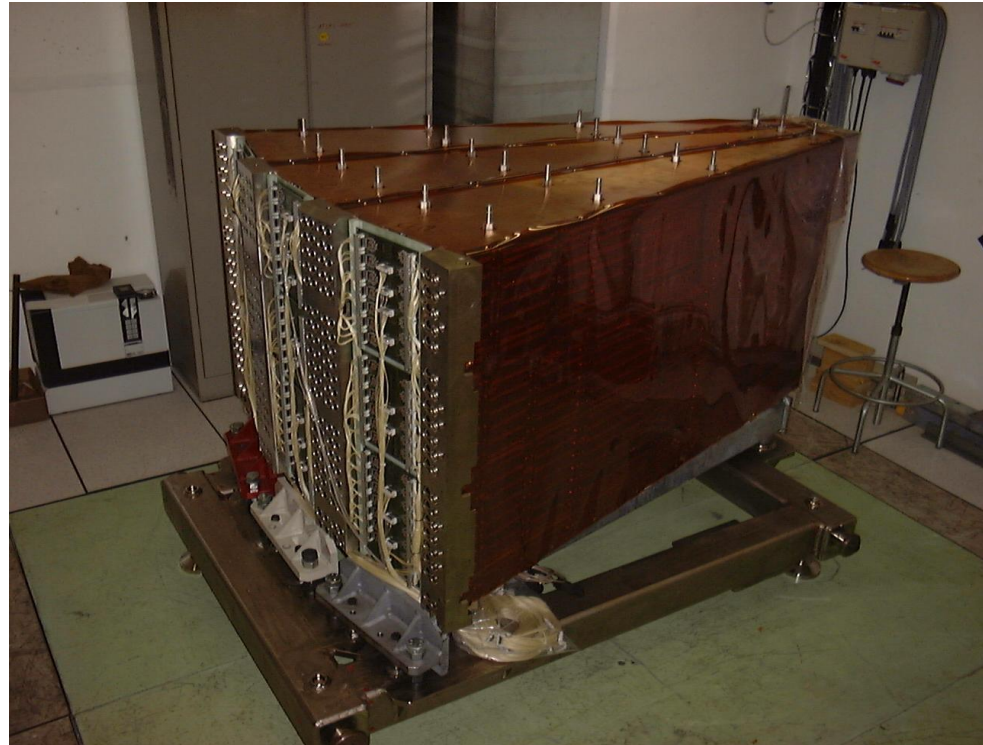
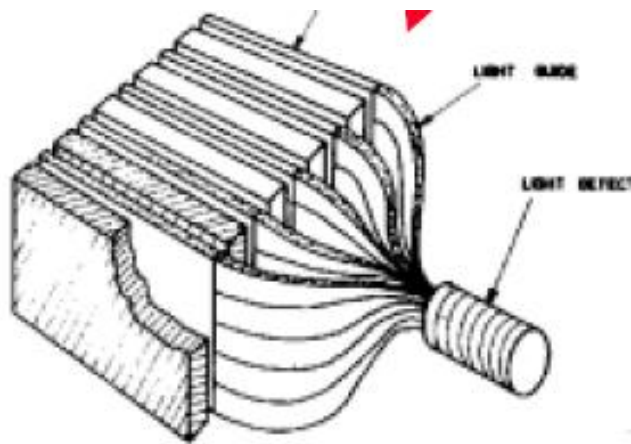
Ex.: calorimètre homogène en tungstate de plomb pour CMS (et ALICE)



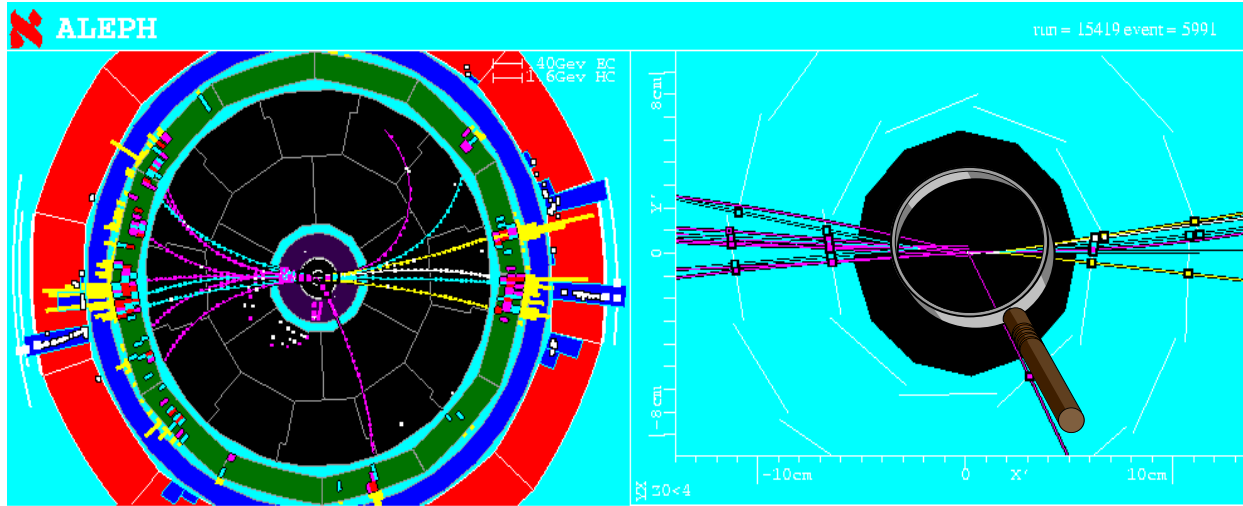
Calorimètre homogène à
ionisation: Krypton liquide,
pour NA48.

2. Calorimètres pour cascades hadroniques

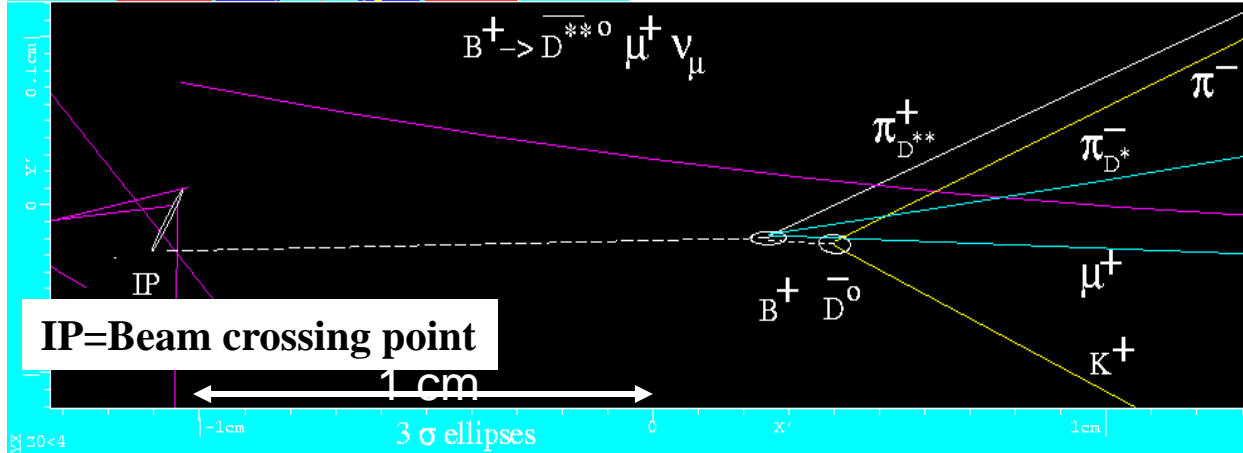
- On utilise les calorimètres pour la mesure de l'énergie des hadrons, souvent si les traces sont trop proches pour une mesure des traces.
- Typiquement, ils sont des systèmes à échantillonnage de grandes dimensions, car le développement d'une cascade hadronique exige des volumes importants.



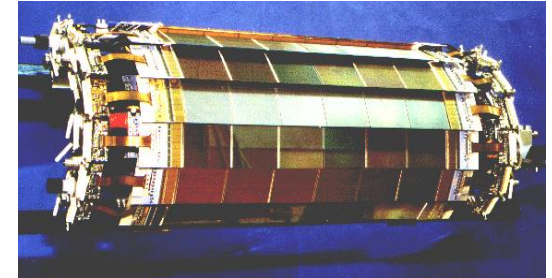
Détecteurs de vertex



Observation et mesure de la distance entre le vertex primaire et le vertex de désintégration d'une particule instable.

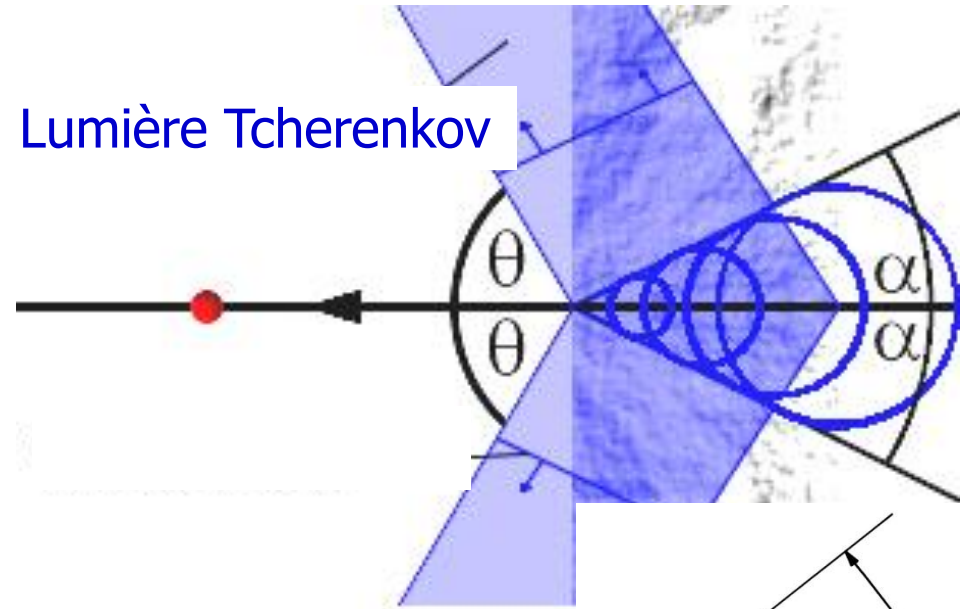


ALEPH VDET

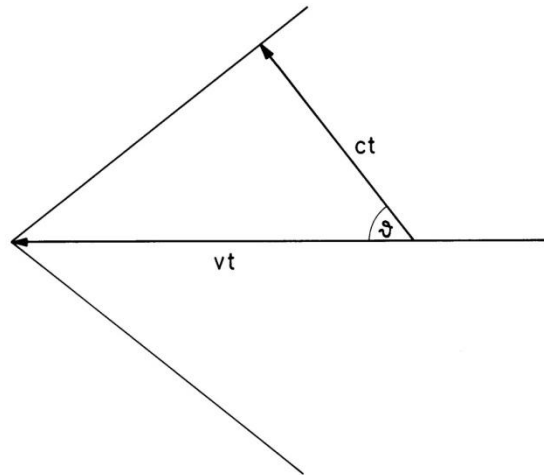


Rayonnement Tcherenkov et de transition

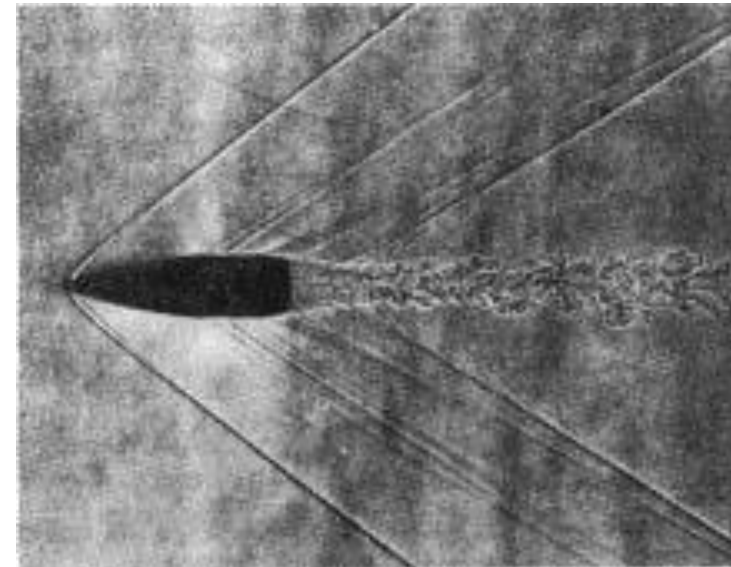
c_0 = vitesse de la lumière dans le vide; $c=c_0/n < V$

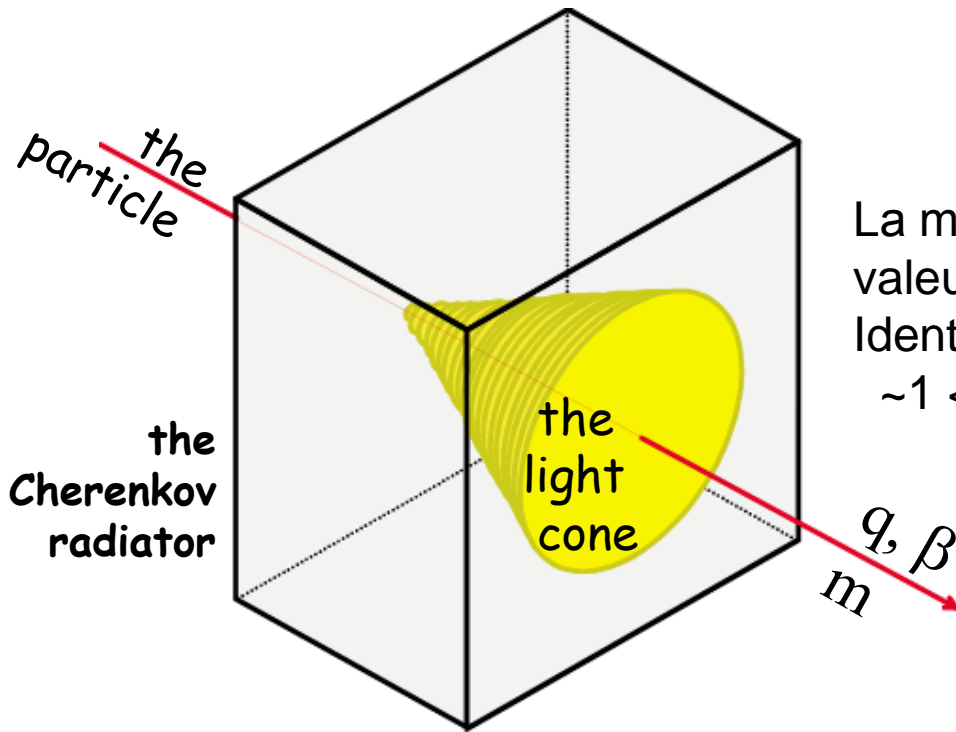


- un flash de lumière a lieu lorsqu'une particule chargée se déplace dans un milieu avec une vitesse supérieure à la vitesse de la lumière dans le milieu.



$$\sin \alpha = \frac{c}{v} = \frac{c_0}{n v}$$

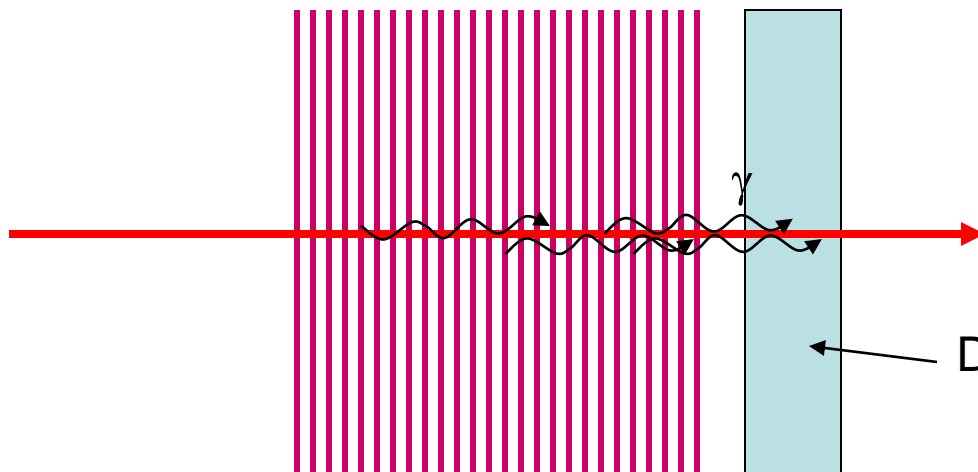




La mesure de l'angle du cône donne le valeur de la vitesse v de la particule:
 Identification de particules avec
 $\sim 1 < E/Mc^2 < \sim 10-50$

Rayonnement de transition: pile de feuilles du matériel transparent: émission de lumière en avant, pour l'identification des particule ultra-relativistiques ($E/Mc^2 > \sim 1000$)

Ex.: ATLAS TRT



Détecteur pour rayons X

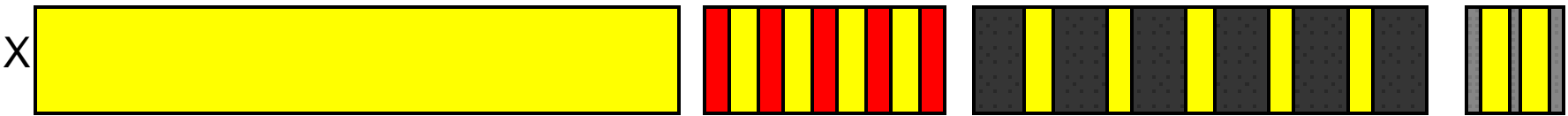
Détecteur complexe à couches successives

Chambres de vertex, tracement intérieur

Calorimètre électromagnétique

Calorimètre hadronique

Chambres à muons



- Electrons
- Photons
- Hadrons
- Muons
- Désintégration de particule instable

