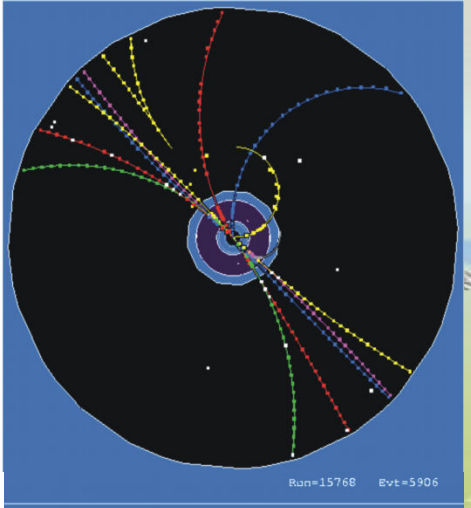
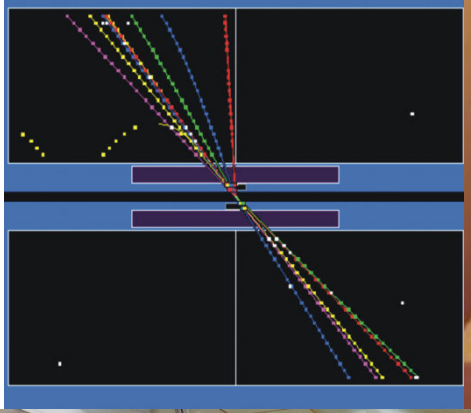
Introduction to particle detectors

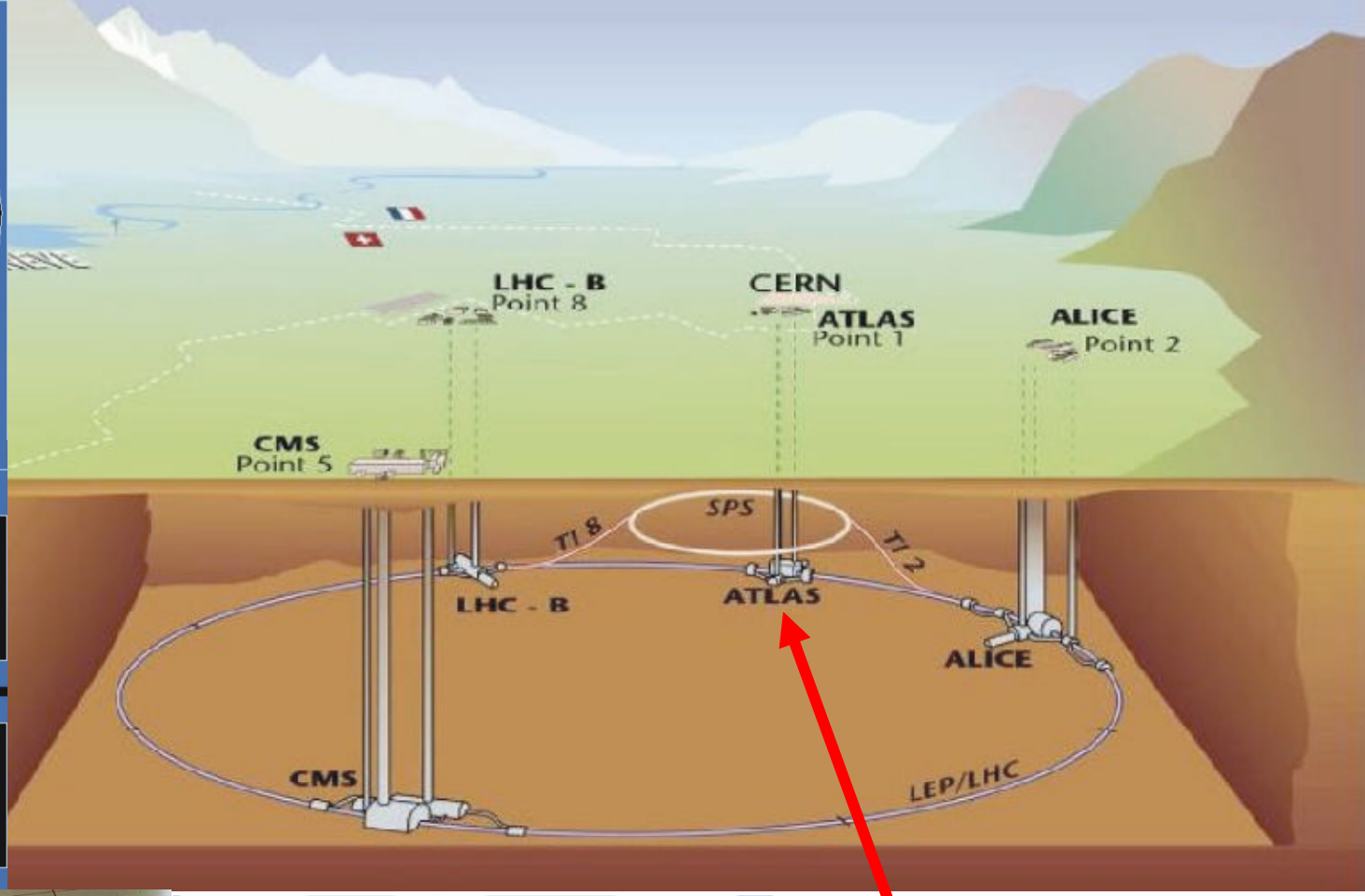
Introduction aux détecteurs de particules

Sandro Palestini – CERN
CERN Programme for Science Teachers
June 2009

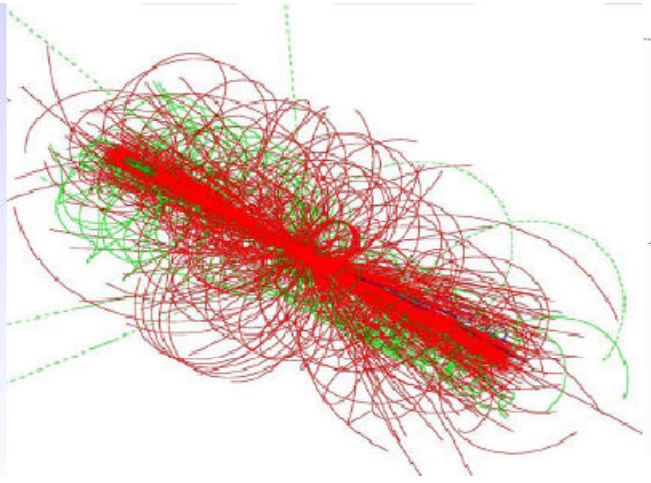
Partie I

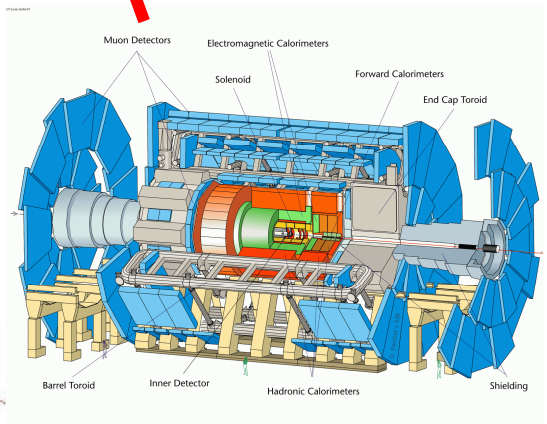

Run=15768 Evt=5906




LHC - B
Point 8
CERN
ATLAS
Point 1
ALICE
Point 2
CMS
Point 5
SPS
TI 8
TI 2
LHC - B
ATLAS
ALICE
CMS
LEP/LHC

ATTENTION
HAUTE TENSION
DANGER




Muon Detectors
Electromagnetic Calorimeters
Solenoid
Forward Calorimeters
End Cap Toroid
Barrel Toroid
Inner Detector
Hadronic Calorimeters
Shielding

Partie I

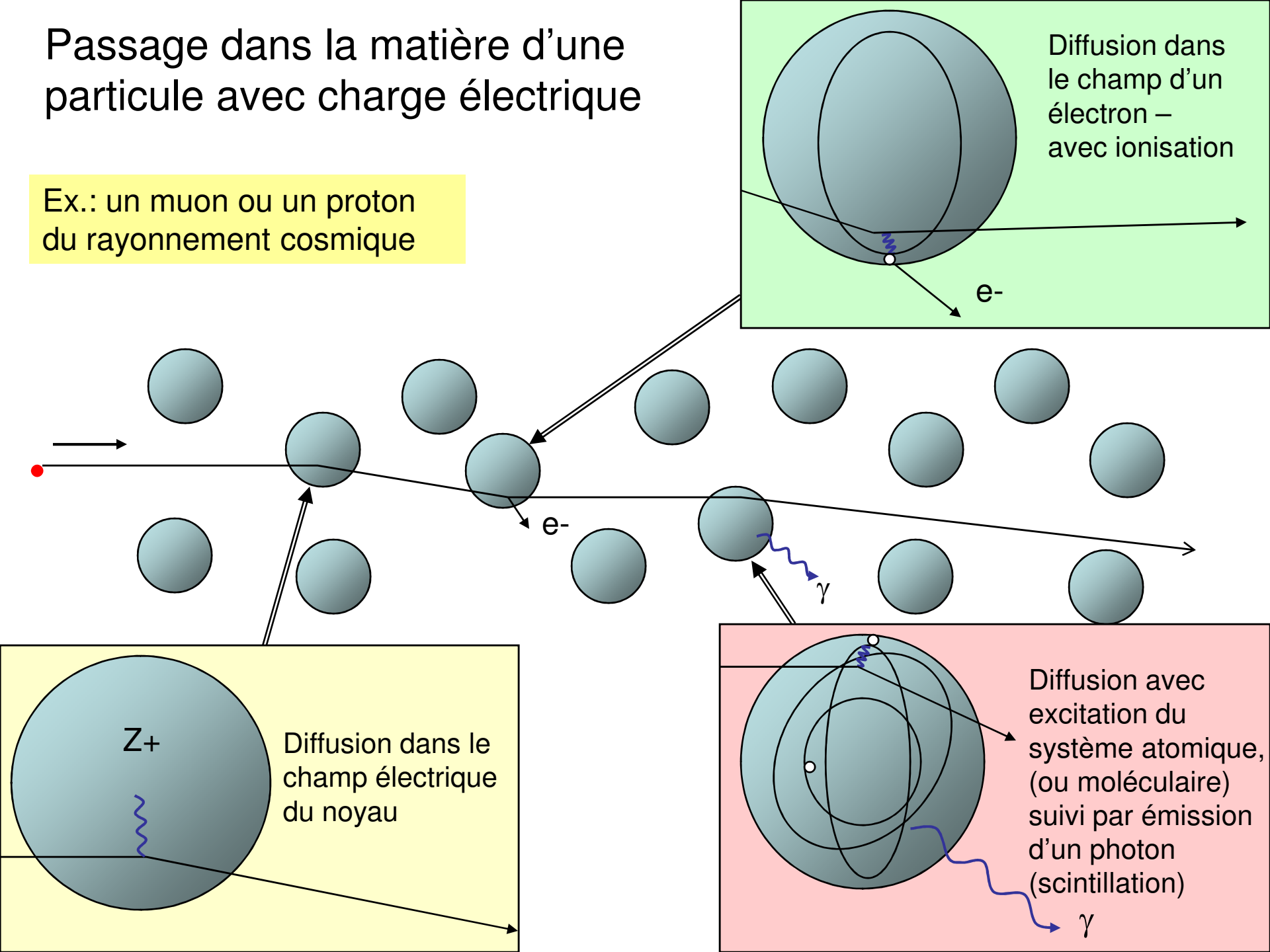
- Détection:
  - Interactions de particules avec charge électrique
  - Brouillard et bulles
  - Chambres à fils
  - Semi-conducteurs
  - Scintillation
  - Interactions de photons, électrons, neutrons, hadrons …
- Mesure
  - Spectromètres magnétique
  - Calorimètres
  - Détecteurs de vertex
  - Systèmes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

Partie II

- Le détecteur ATLAS
  - Conception
  - Aimants
  - Détecteur intérieur
  - Calorimètres
  - Chambres à muons
  - Déclenchement et acquisition des données

Passage dans la matière d'une particule avec charge électrique

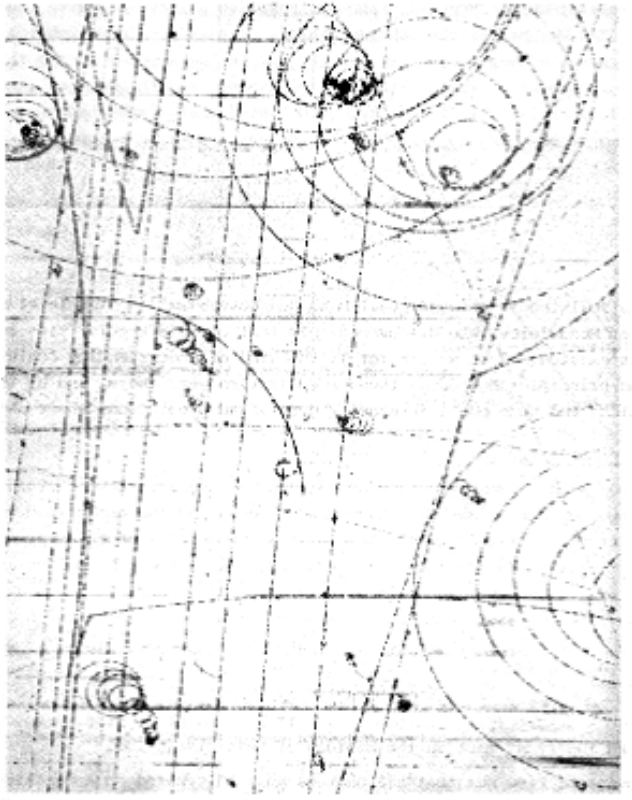
Ex.: un muon ou un proton du rayonnement cosmique



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

Chambre à brouillard

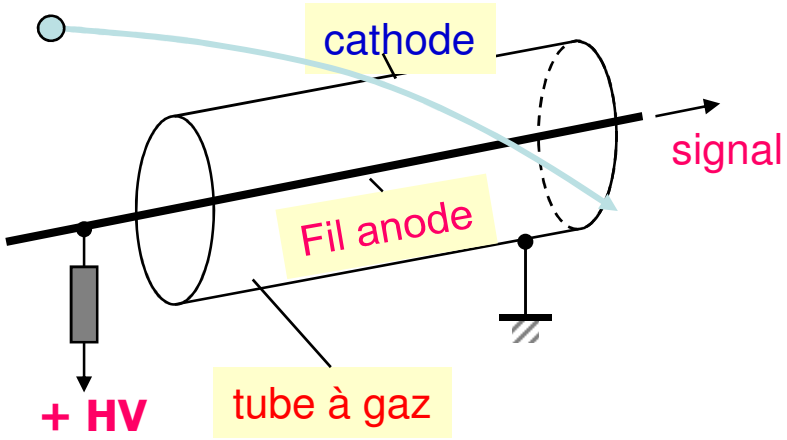
le passage d'une particule chargée dans un gaz saturé en vapeur provoque la formation de gouttelettes de condensation le long de la trajectoire (1912-1960)

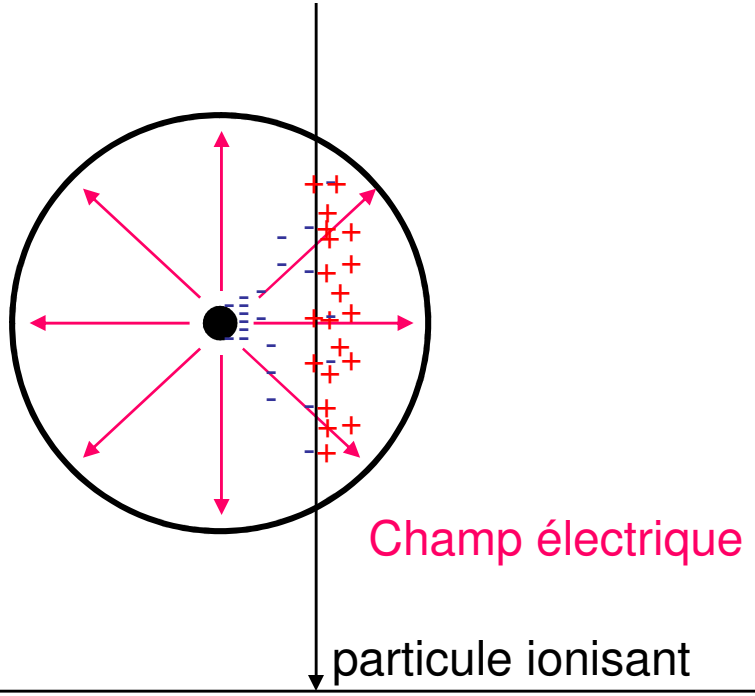


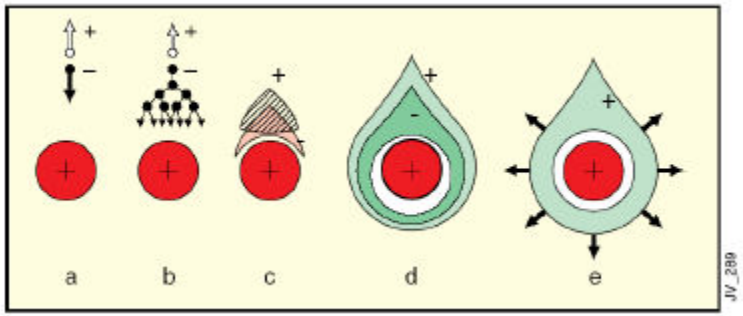
Chambre à bulles

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

Un detecteur pour la ionisation et les traces





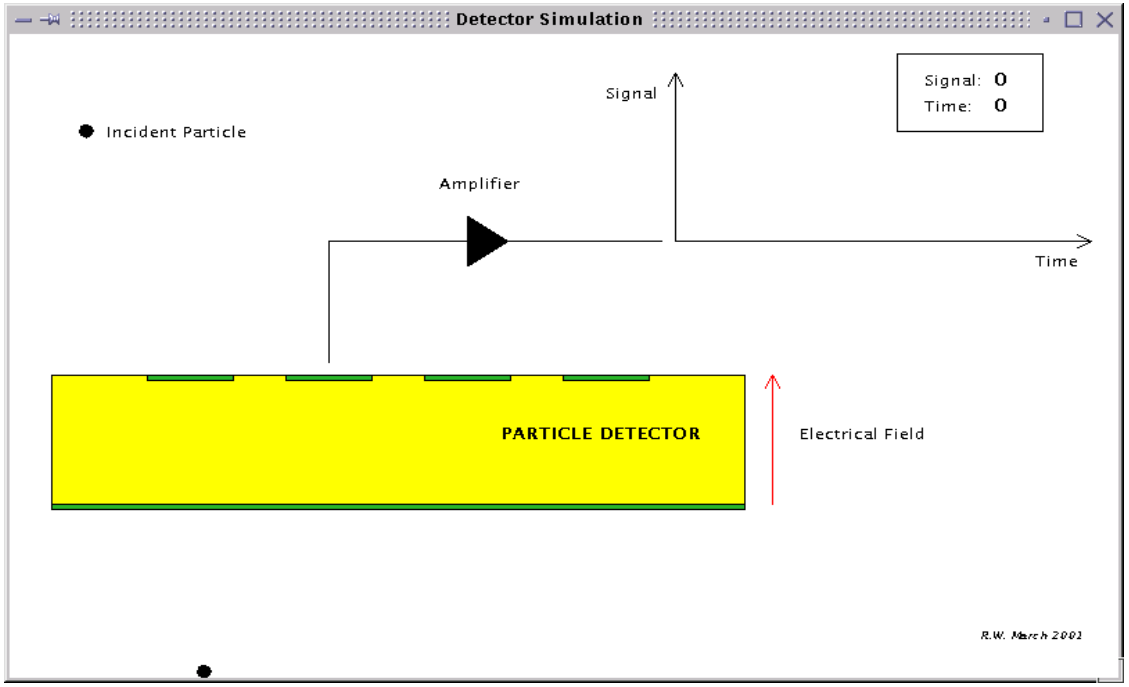


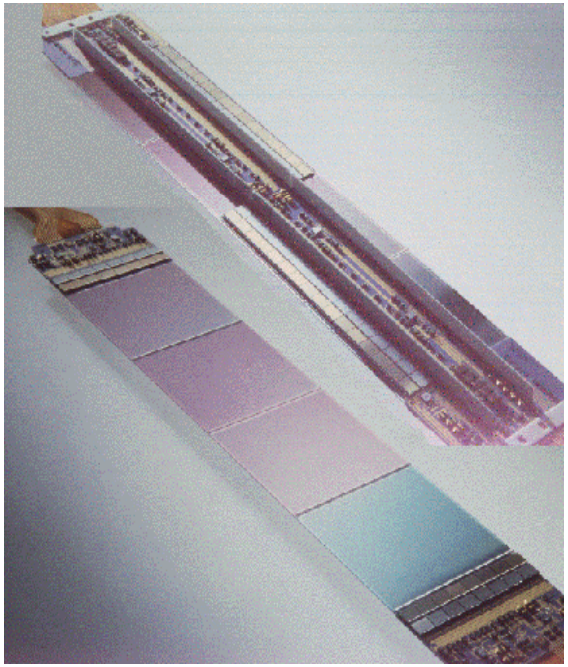
En proximité d'anode, les champ électrique est important et les électrons de la ionisation initiale sont eccelerés et capable de produir ionisation eux-memes: amplification du signal électrique par ~ 10,000 – 100,000

Voir le compteur Geiger, les chambres proportionelles, le chambres à derive, aussi les chambres à fils (multifilaires)

Détecteurs semi-conducteur

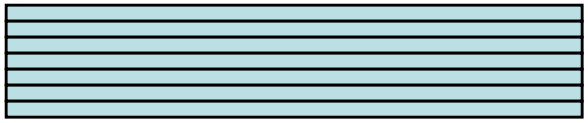
- Une particule ionisant peut transférer des électrons (et de *trous*) dans la bande de conduction d'une jonction polarisée.



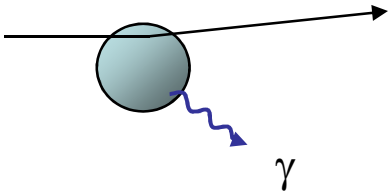


ALEPH VDET

Détecteur micropistes (strips)
ex. 80μm × 65 mm



Détecteur pixel (type CCD)
ex. 50 μm × 400 μm

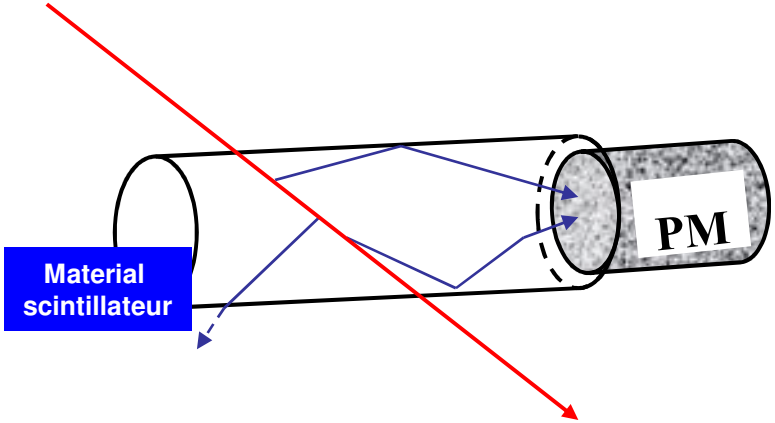


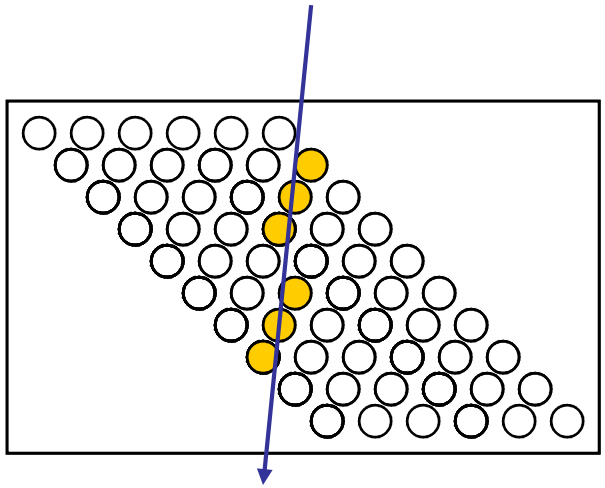
Détecteurs à scintillation

Plusieurs types de matériel:

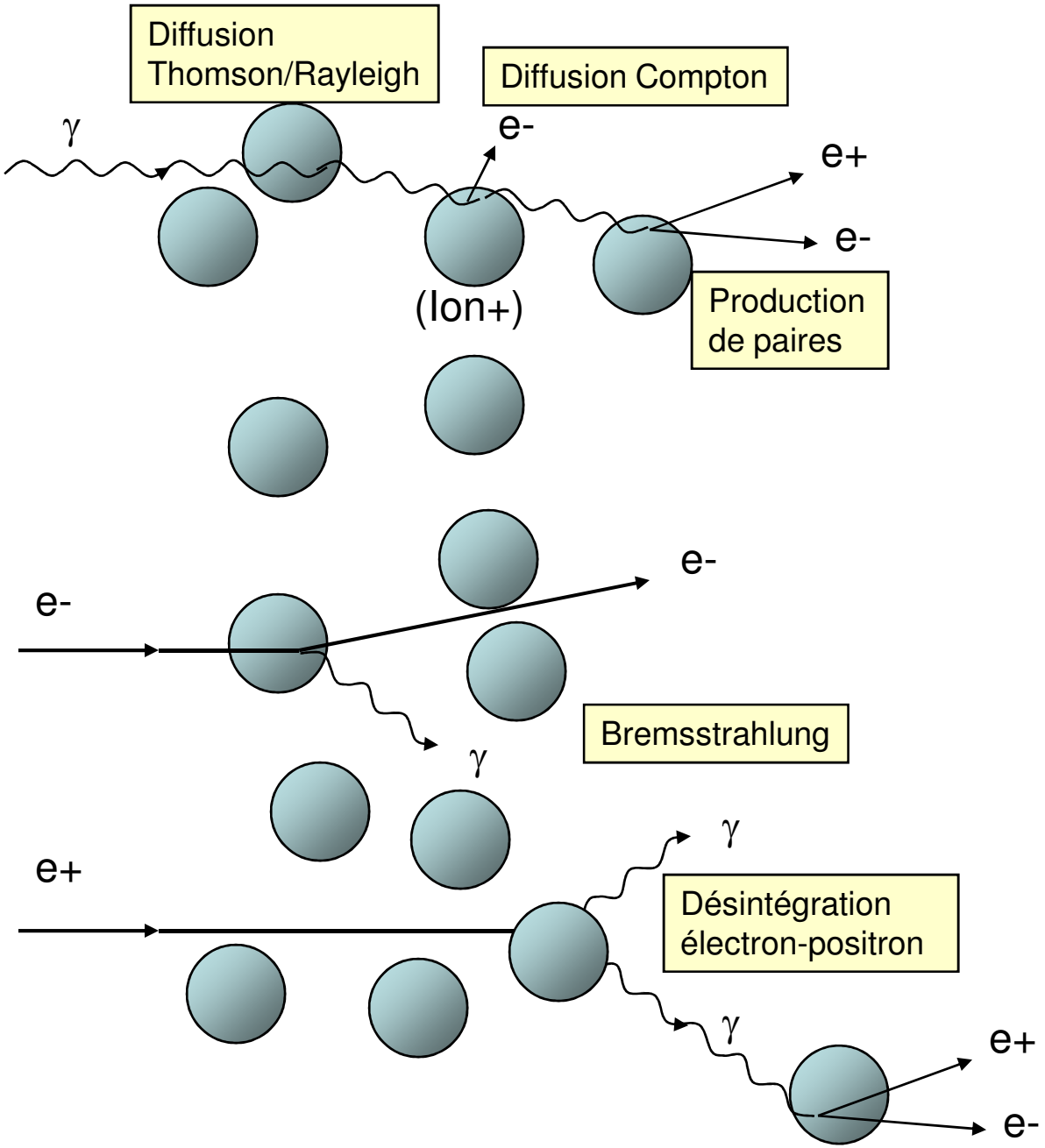
- Scintillateurs organique (plastique, liquide, solide)
- Scintillateurs inorganique (cristal)

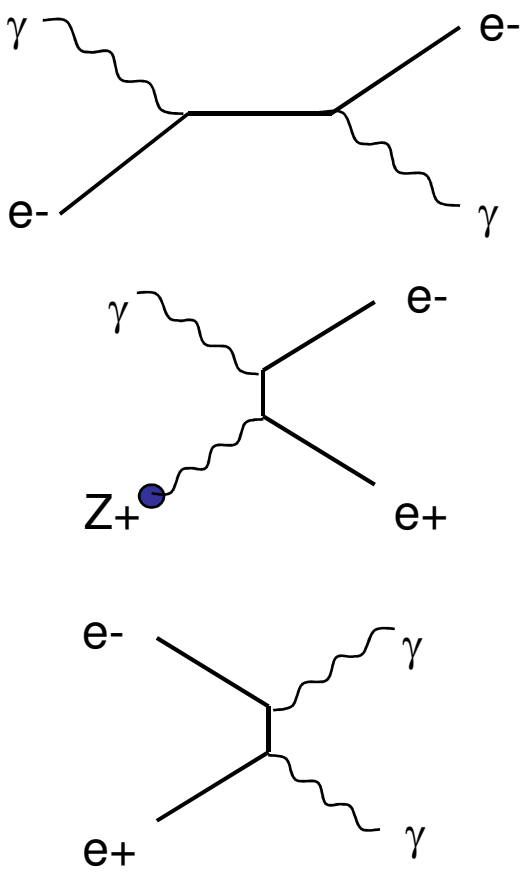
Ils utilisent un détecteur de lumière avec amplification électronique (photomultiplicateur, photodiode/ triode)





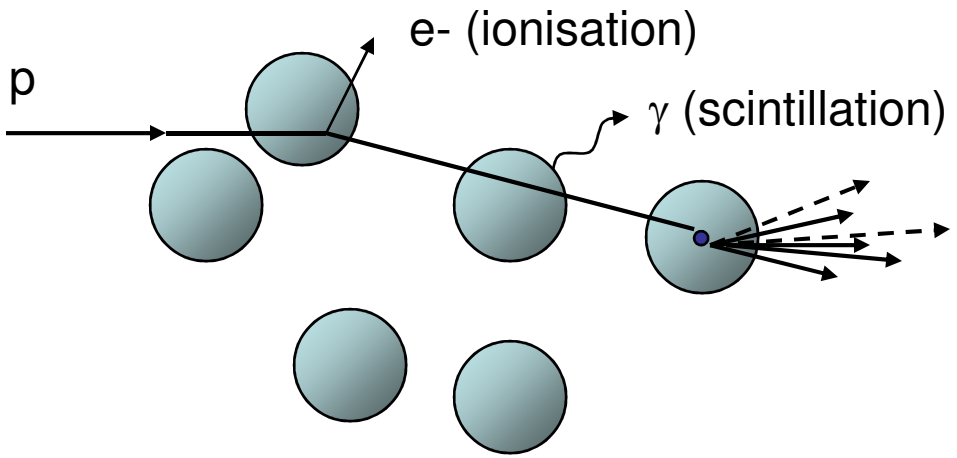
Interaction des photon, electrons et positrons



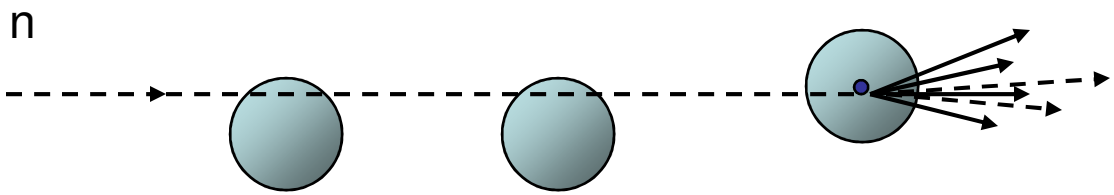


Schémas avec *diagrammes de Feynman* pour le calcul de la probabilité du processus

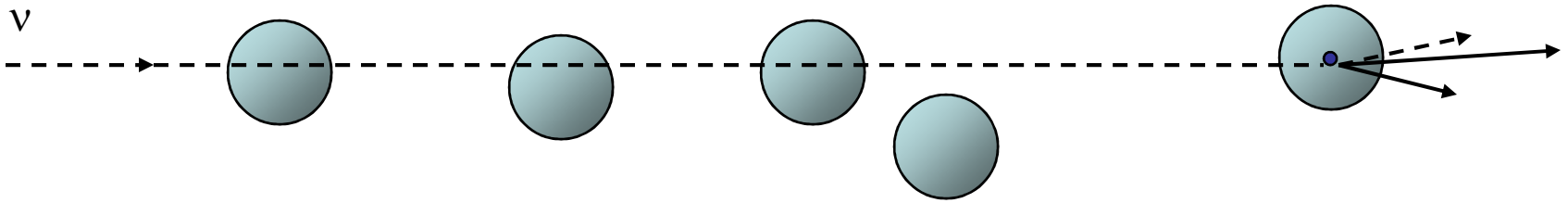
Interaction des proton, neutron (mesons, hyperons) et des neutrinos



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



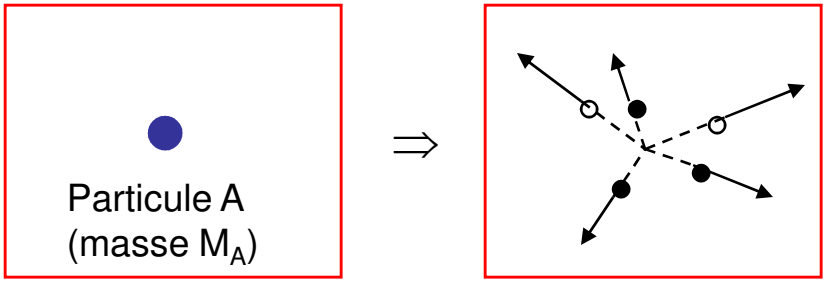
La probabilité d'interaction d'un neutrino est très faible



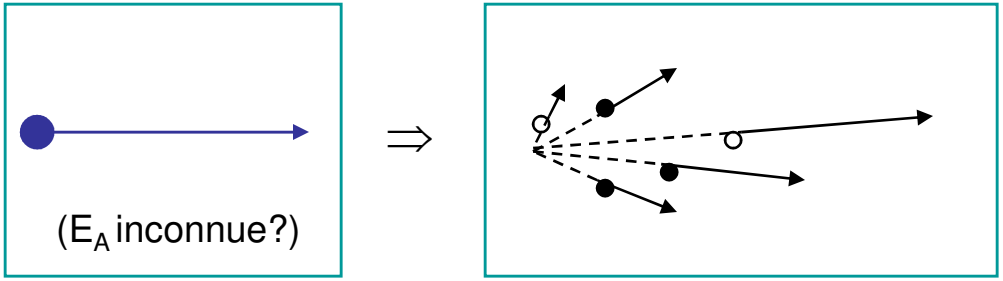
- Compréhension des lois fondamentales de la physique

⇔

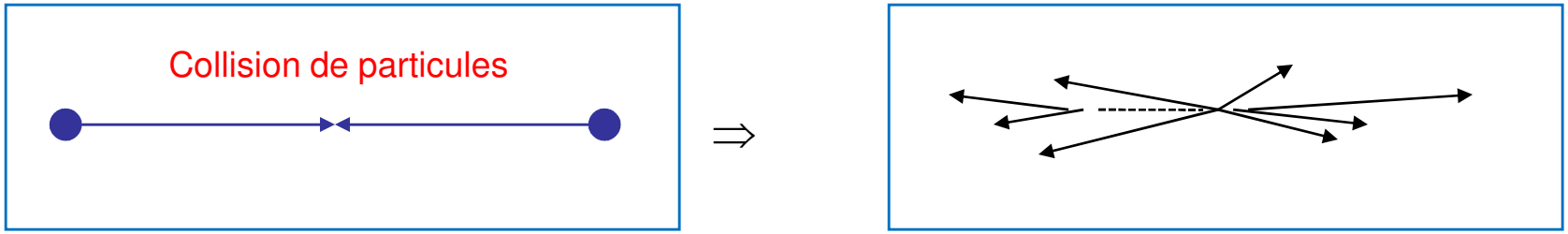
- Etude de la diffusion entre particules.
- Etude des **particules instables** et des **résonances** produit dans les interactions des particules a haute énergie



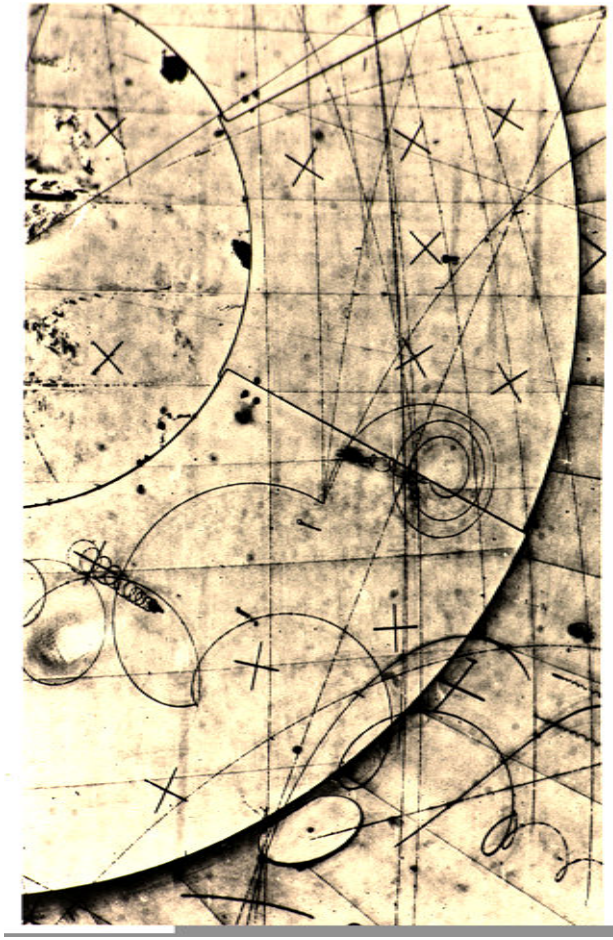
L'identification des produits et l'étude des caractéristiques de désintégration donnent des informations sur A et sur les interactions.
La somme des énergies de produit est égale a $M_A c^2$

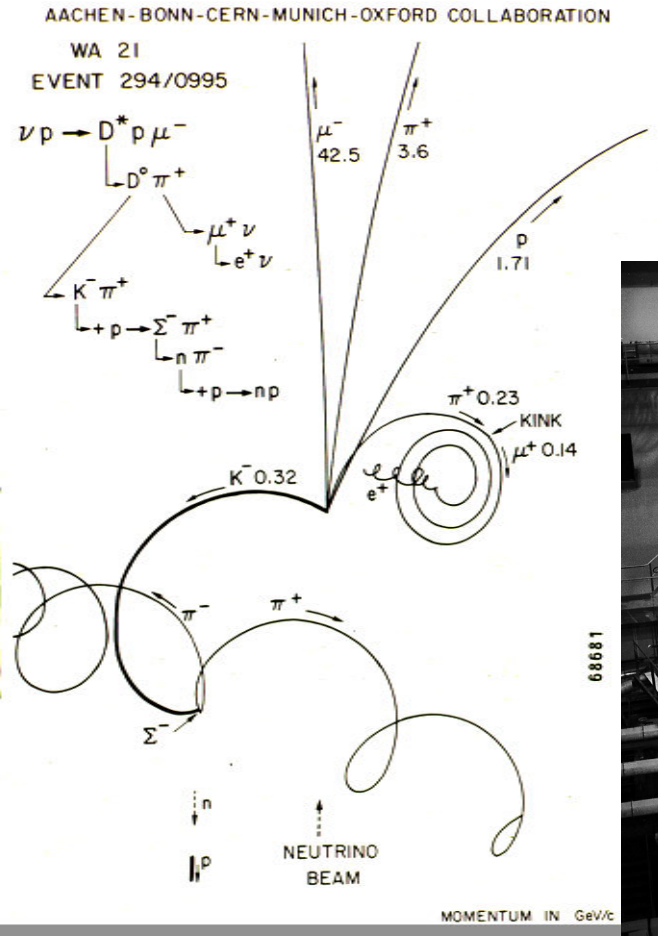


Il faut identifier et mesurer avec précision la **direction et l'énergie** de la plupart possible de produit de désintégration (ou de collision)



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





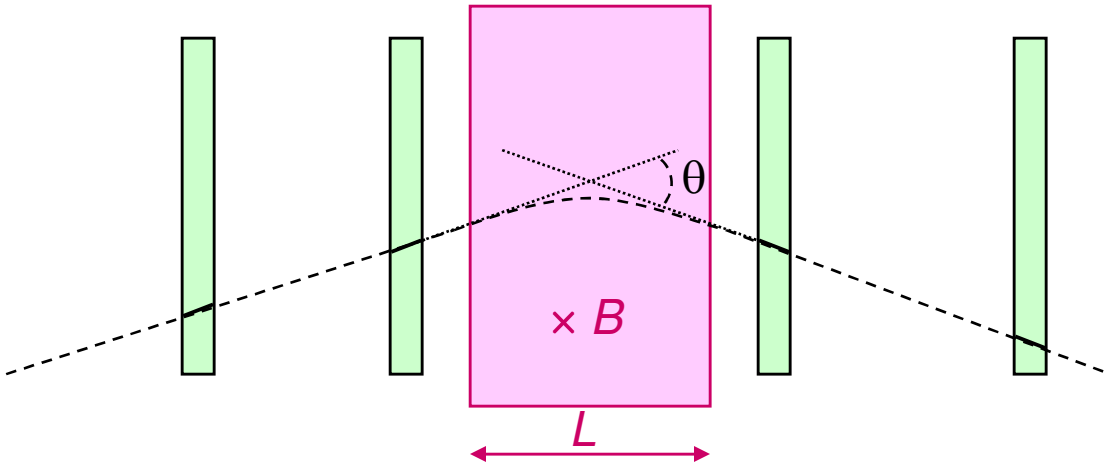
BEBC, equipped with the largest superconducting magnet in service at the time.

Arcs de cercle, hélices, spirales: champ magnétique

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

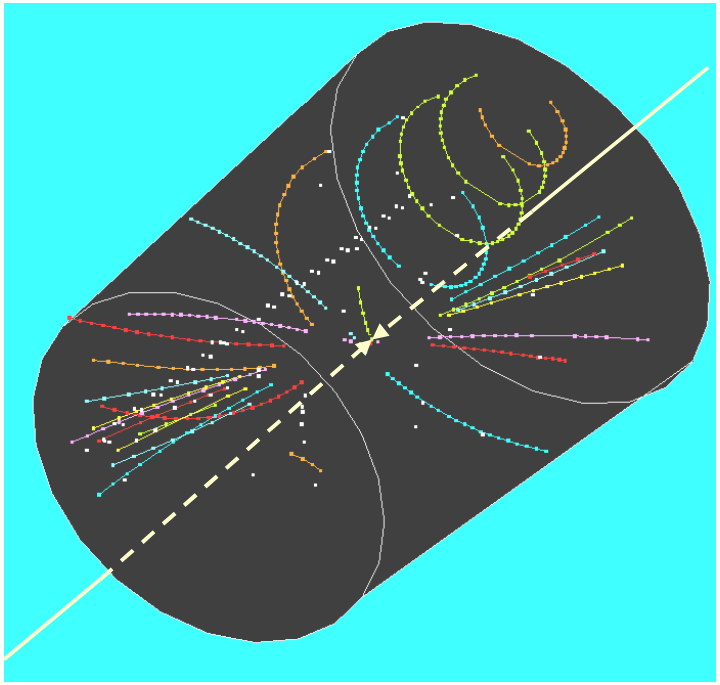
$R\,[\mathrm{m}] = P\,[\mathrm{GeV/c}] \,/\, (0.3 \times B\,[\mathrm{Tesla}])$

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

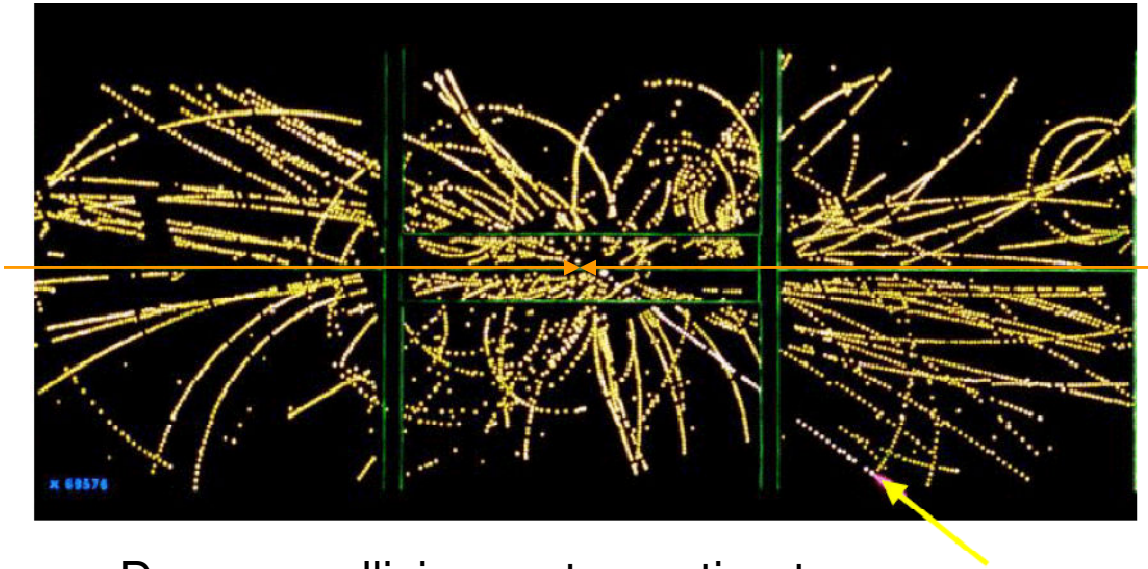


Exemple de spectromètre magnétique: chambres à fils et dipôle magnétique

$\theta = 0.3 \times B \times L / P$
(Tesla, metre, GeV/c)



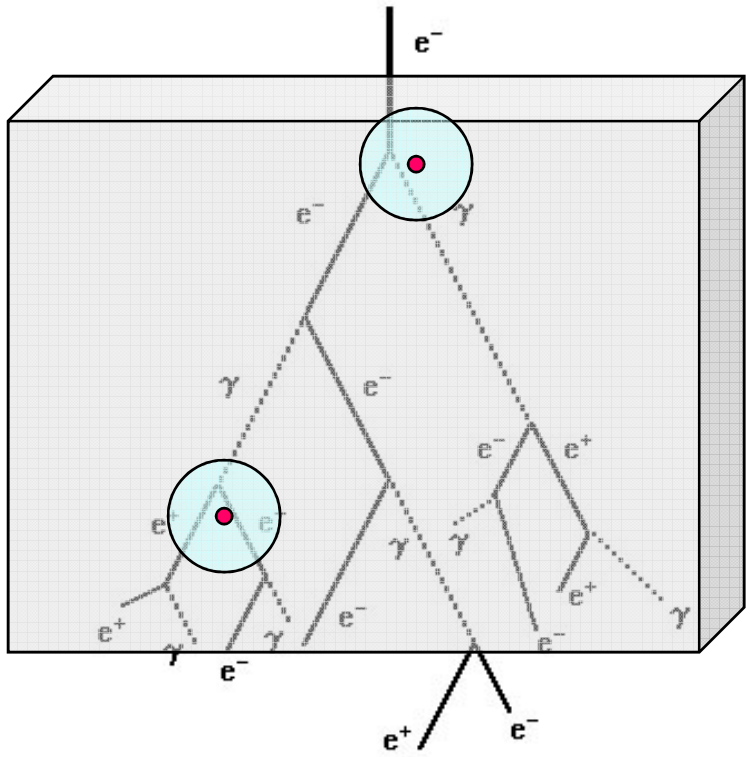
Dans un champ solénoïdal
(ALEPH à CERN-LEP, e+e-, '90s)



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

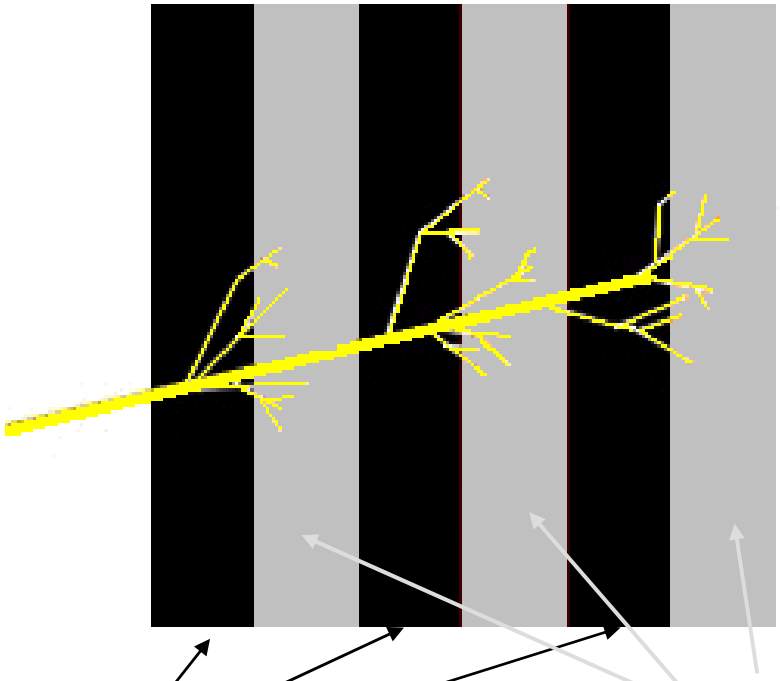
Mesure de l'énergie avec calorimètres

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



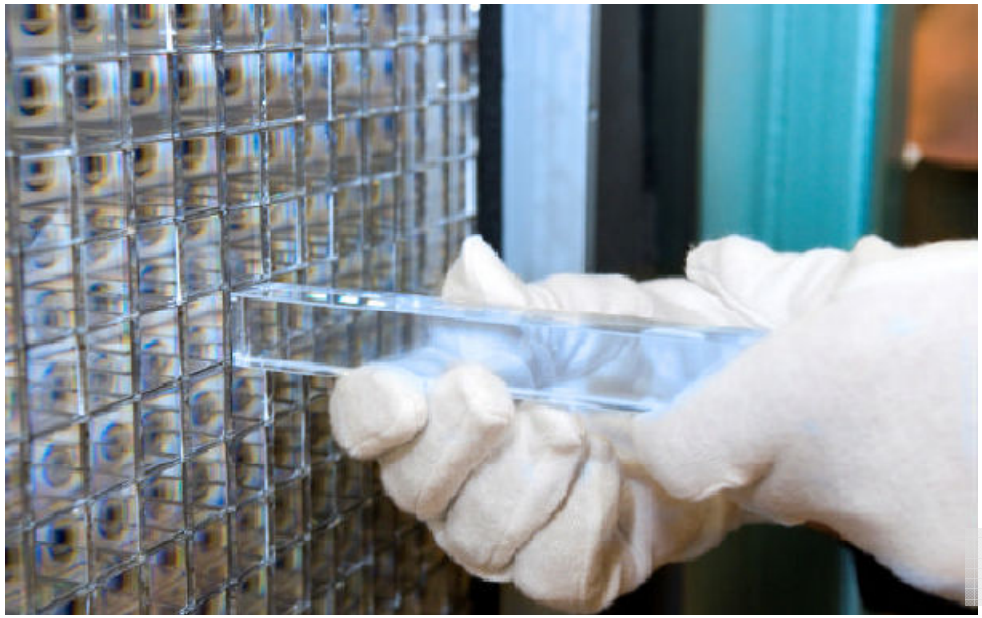
Calorimètres homogènes (ex. Calorimetre scintillateur de CMS)

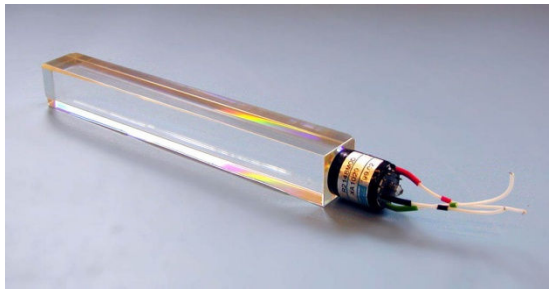
Calorimètre à échantillonnage (sandwich), combinant un milieu sensible et un absorbeur dense. Le signal total est proportionnel a l'énergie de la particule à l'origine de la cascade.

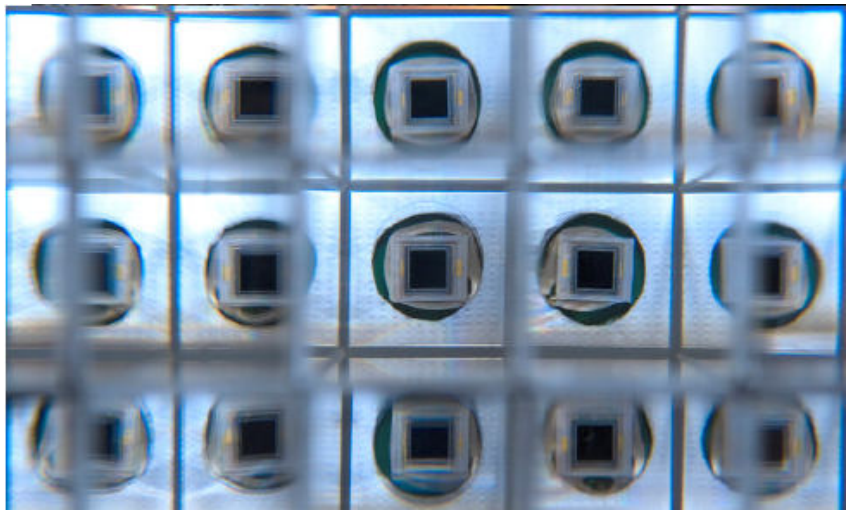


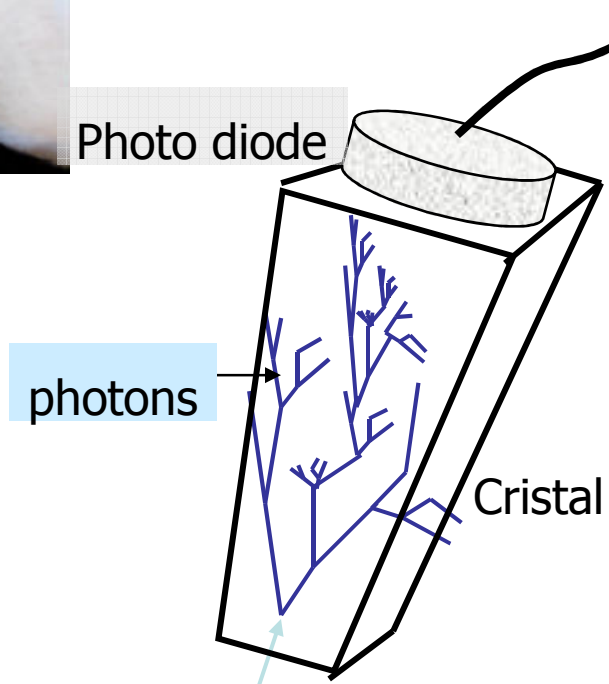
Matériel dense, ex. plomb

Détecteurs, ex. chambre a fils, scintillateur

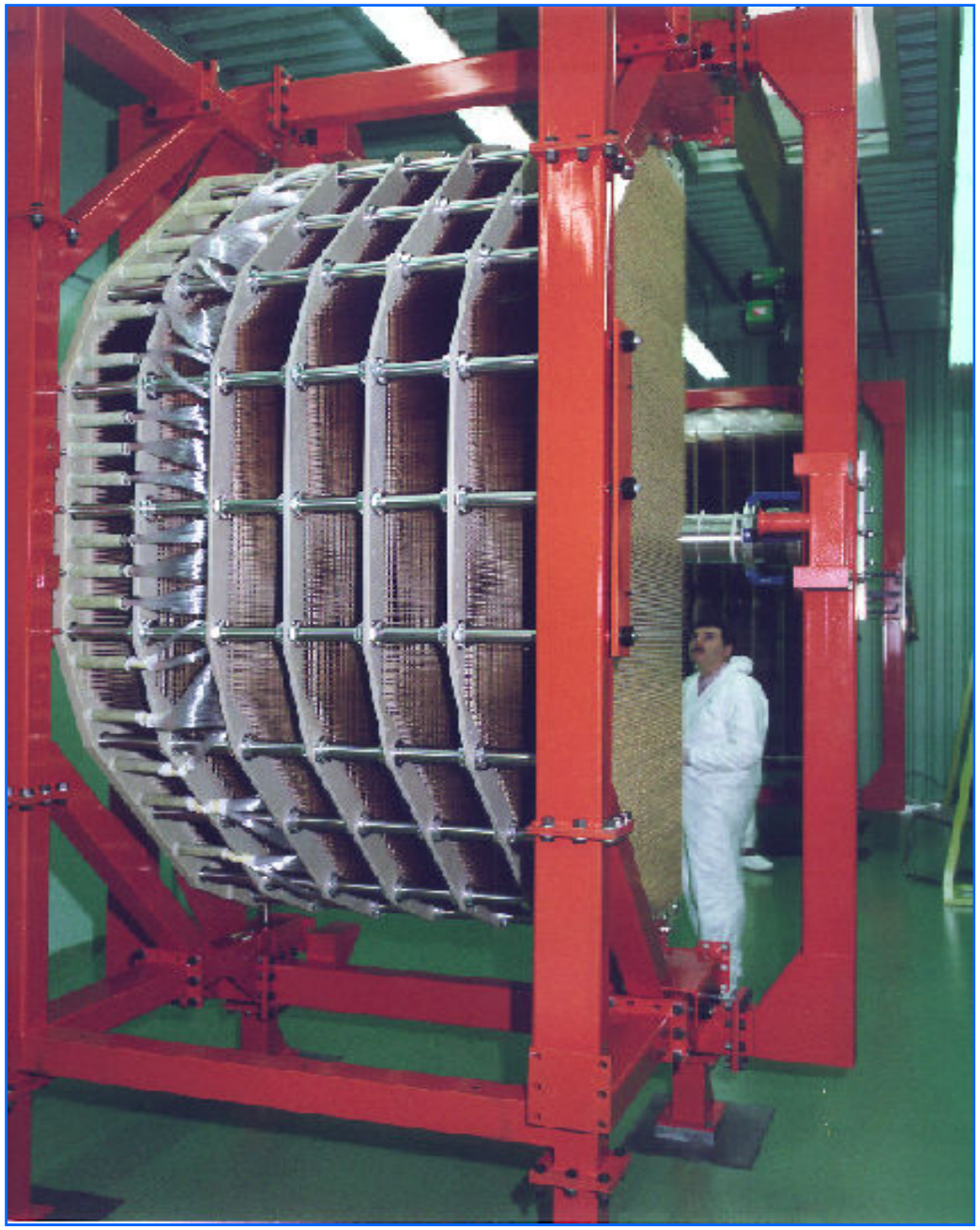


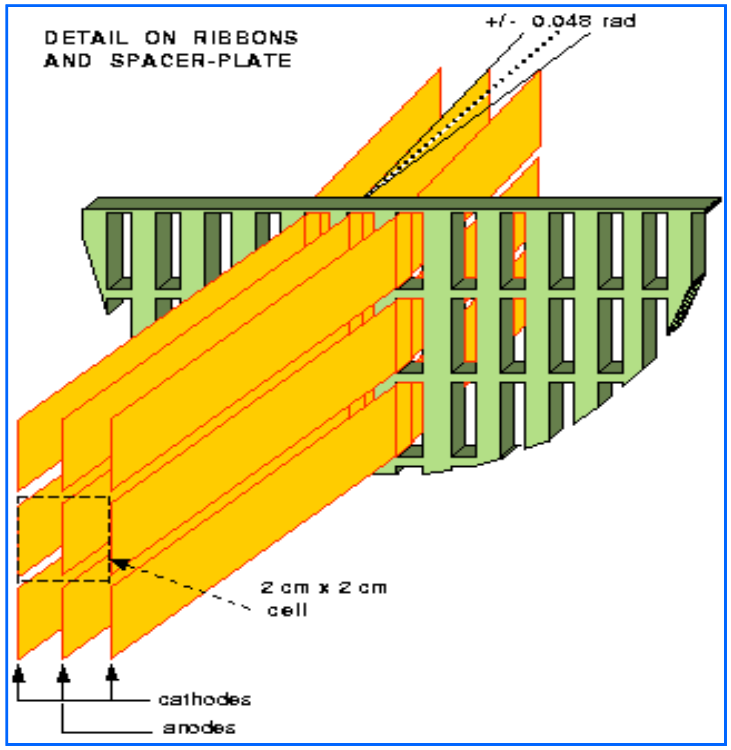






Ex.: calorimètre homogène en tungstate de plomb pour CMS (et ALICE)

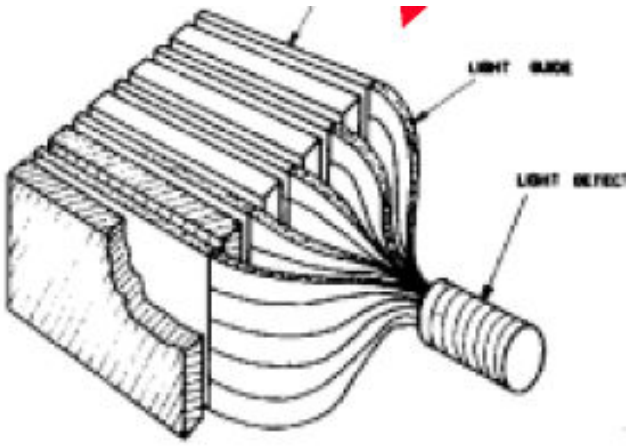


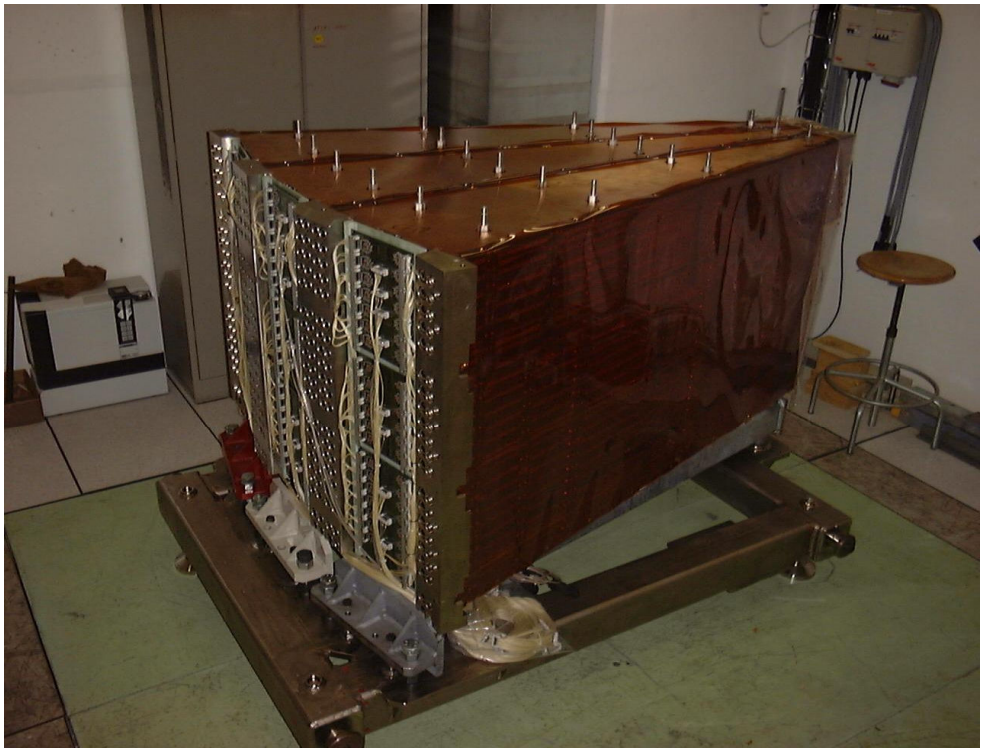


Calorimètre homogène à ionisation: Krypton liquide, pour NA48.

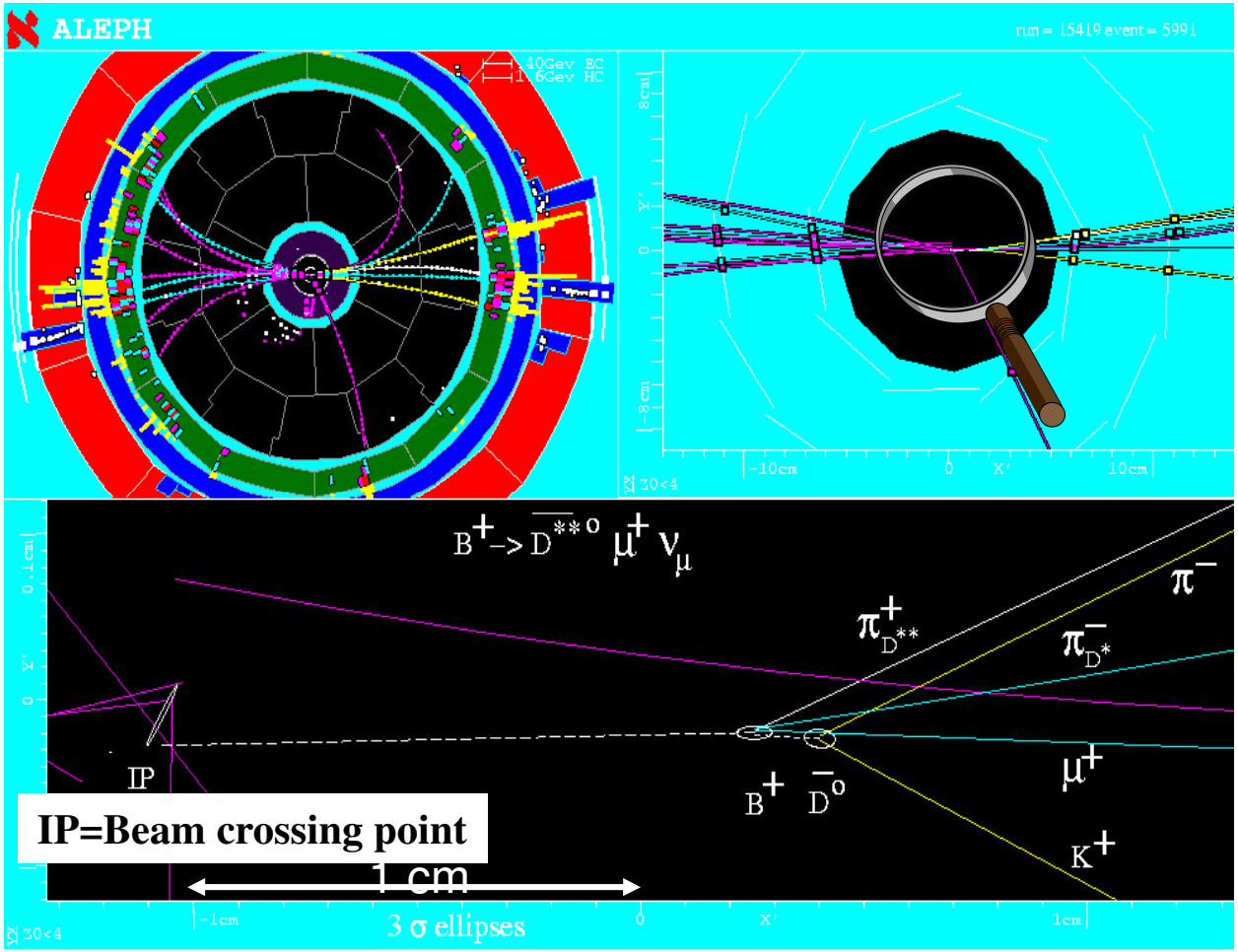
2. Calorimètres pour cascades hadroniques

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



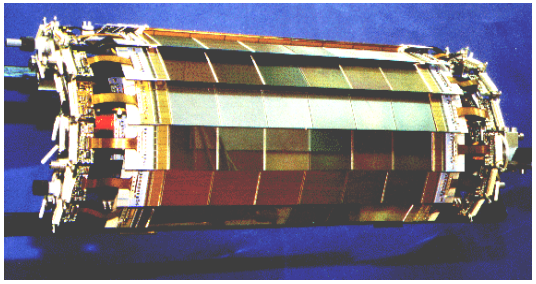


Détecteurs de vertex



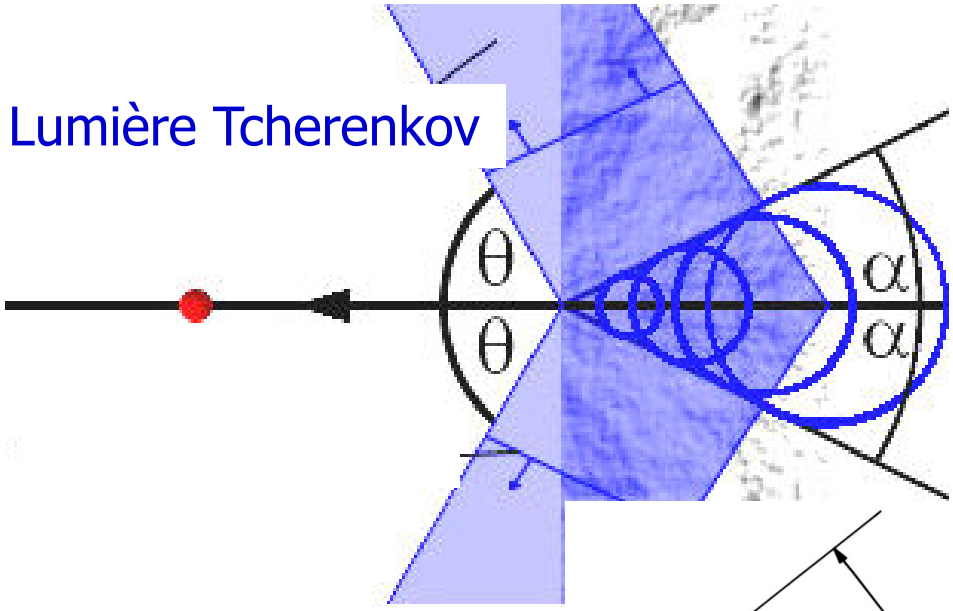
Observation et e mesure de la distance entre le vertex primaire et le vertex de désintégration d'une particule instable.

ALEPH VDET

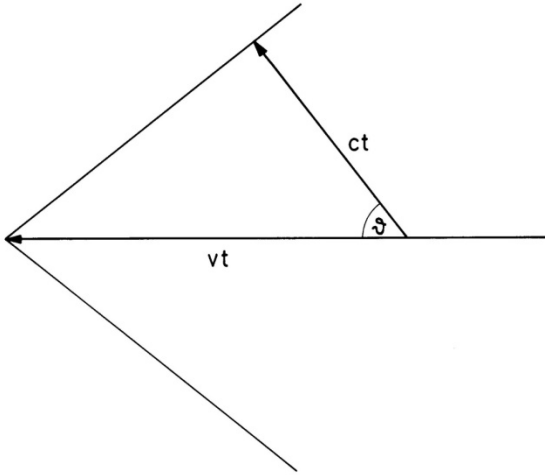


Rayonnement Tcherenkov et de transition

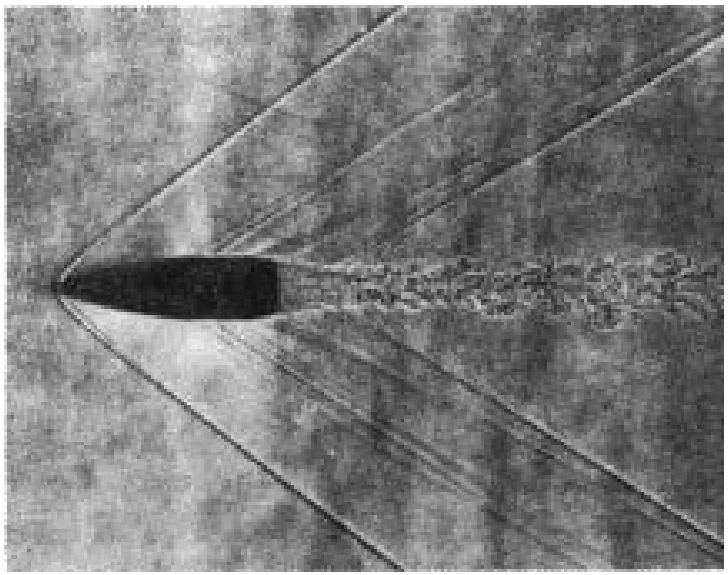
c_0 = vitesse de la lumière dans le vide; $c=c_0/n < V$

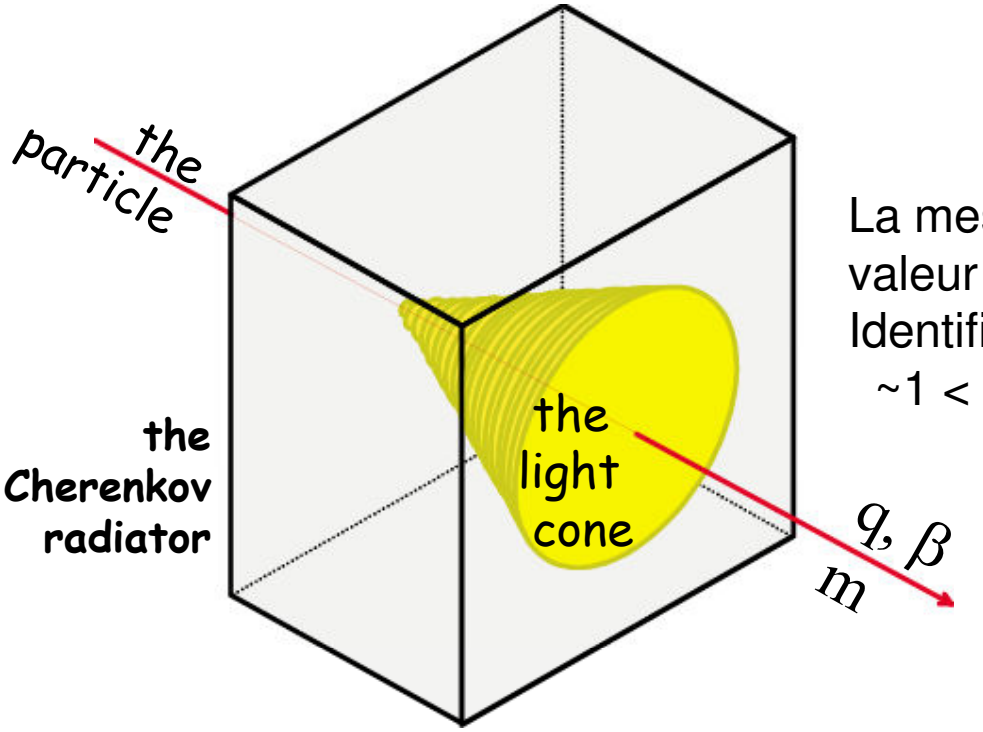


- un flash de lumière a lieu lorsqu'une particule chargée se déplace dans un milieu avec une vitesse supérieure à la vitesse de la lumière dans le milieu.



$$\sin\alpha = \frac{c}{v} = \frac{c_0}{n}\frac{1}{v}$$

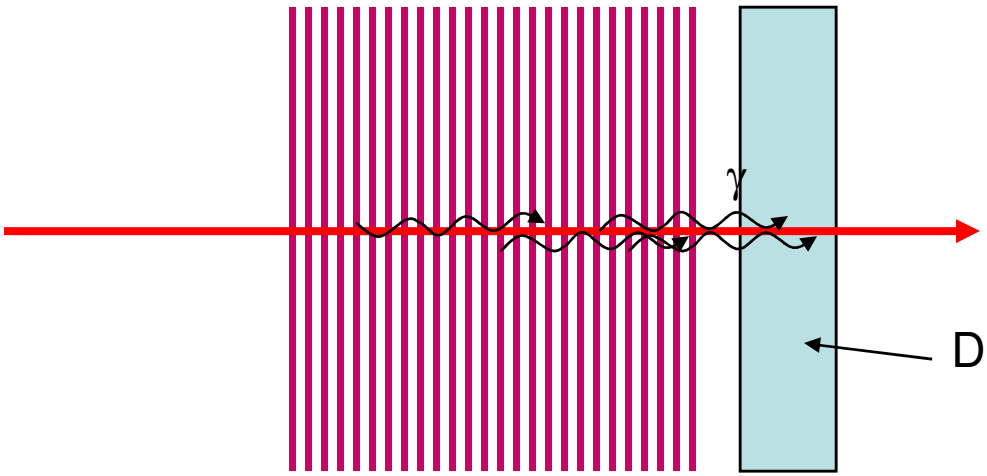




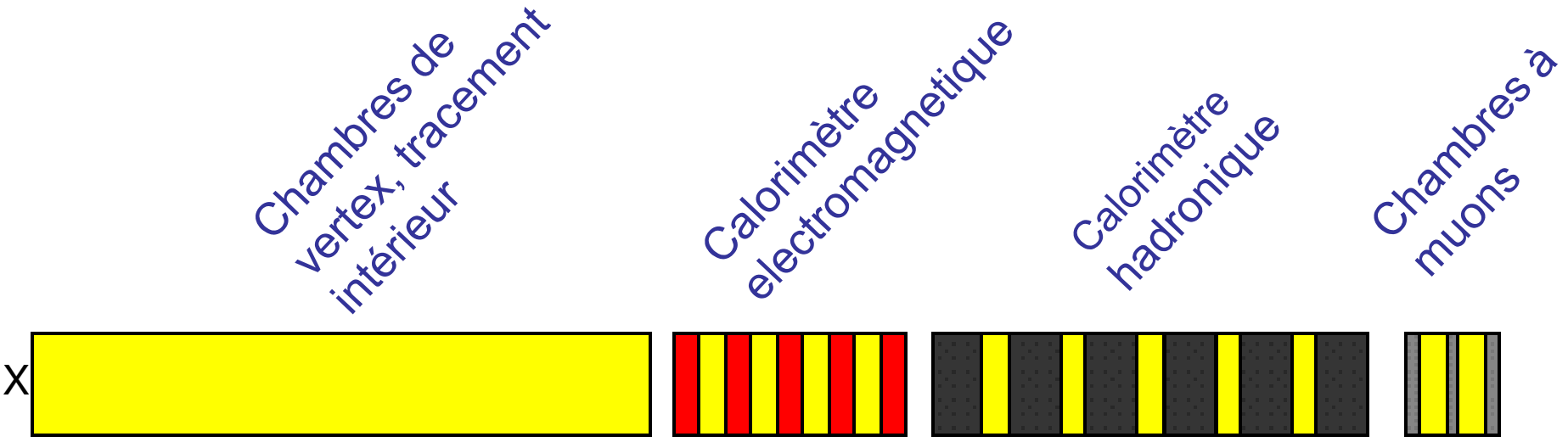
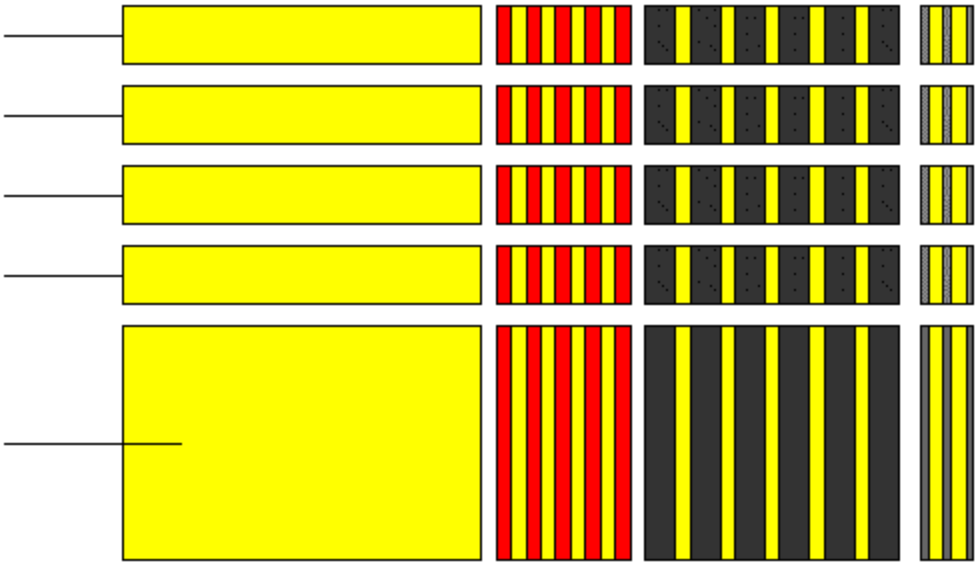
La mesure de l'angle du cône donne le valeur de la vitesse v de la particule: Identification de particules avec
~1 < E/Mc^2 < ~10-50

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

Ex.: ATLAS TRT



Détecteur complexe à couches successive



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