

Identification des particules



ECOLE IN2P3 DU DETECTEUR A LA MESURE

Roscoff 13-21 juin 2007

P. Siegrist CERN-PH

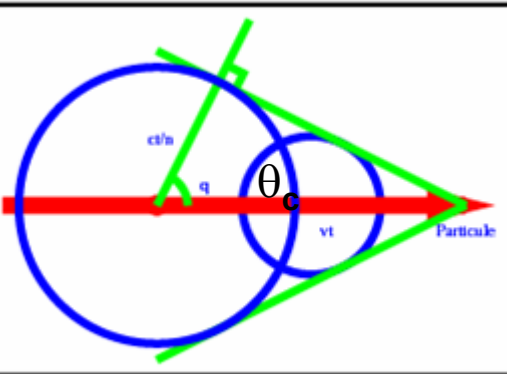
Définitions

- **Les particules à durée de vie courte** sont généralement identifiées par leurs produits de désintégrations → traces, vertex secondaire, détecteurs de vertex
- **Neutrinos**: déficit dans le bilan d'énergie ou d'impulsion de la réaction . Neutrino \equiv Energie manquante
- **Electrons photons et π^0** → gerbes électromagnétiques dans les calorimètres.
- **Les Muons**: parcours et pouvoir de pénétration spécifique
- **Hadrons chargés (π , K, p)**: ce sont les particules les plus difficiles à distinguer. C'est principalement à ce dernier groupe que se rapportent les notions d'identification que l'on va développer.

Les phénomènes physiques utilisés

- Perte d'énergie par ionisation → **dE/dx**
- Mesure de temps de vol → **TOF**
- Effet Cerenkov → **Č**
- Rayonnement de transition → **TRD**

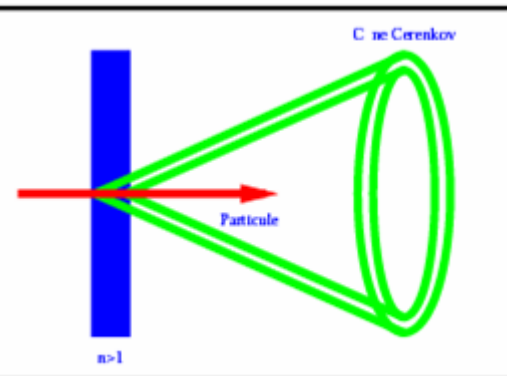
Effet Cerenkov Č



Dans un milieu d'indice de réfraction n , où la vitesse de la lumière est c/n , si une particule se déplace avec une vitesse $v > c/n$, il y a création d'une onde lumineuse qui se propage sous un angle θ_c par rapport à la direction de la particule, tel que:

$$\cos \theta_c = d/l = (c/n)t / vt = c/vn \text{ et } \cos \theta_c \leq 1 \rightarrow v > c/n$$

Emission à partir d'une vitesse limite minimum $v_{\text{lim}} = c/n$



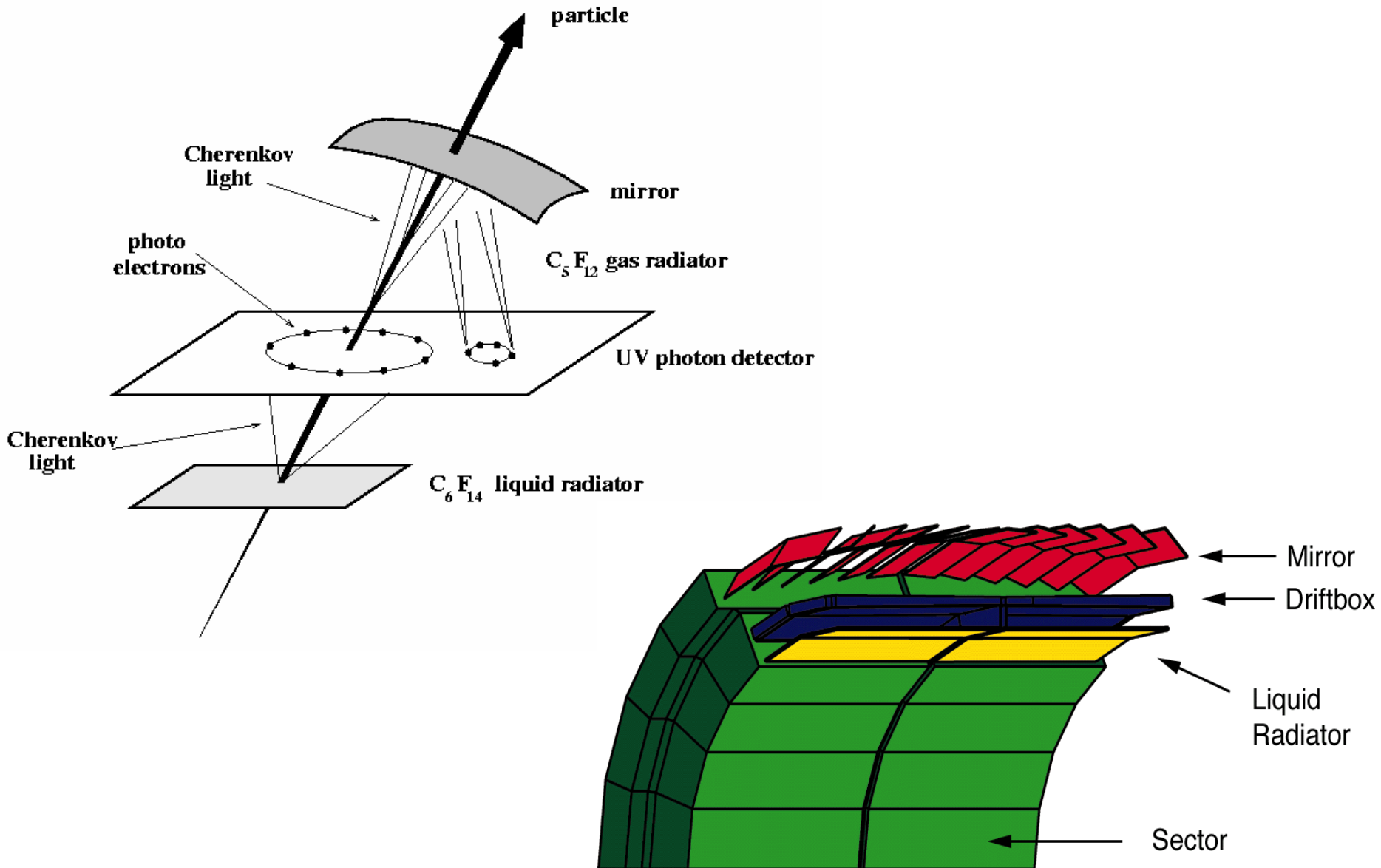
Pour un milieu d'indice fixe on peut sélectionner les particules en prenant toutes celles qui ont $v > v_{\text{lim}}$

→ Č à seuil

Avec des optiques sélectionnant les θ_c (cône) on mesure directement la vitesse:

→ Č différentiel

RICH Principe



Quelques détails...

Le radiateur liquide du Barrel RICH

- Le radiateur liquide est rempli avec du perfluorhexane liquide (C₆F₁₄)
- La boîte du radiateur est faite en quartz transparent
 - Une trace dans le radiateur liquide donne en moyenne 12 photoélectrons
- Le problème : ils sont supposés dériver sur 152 cm...

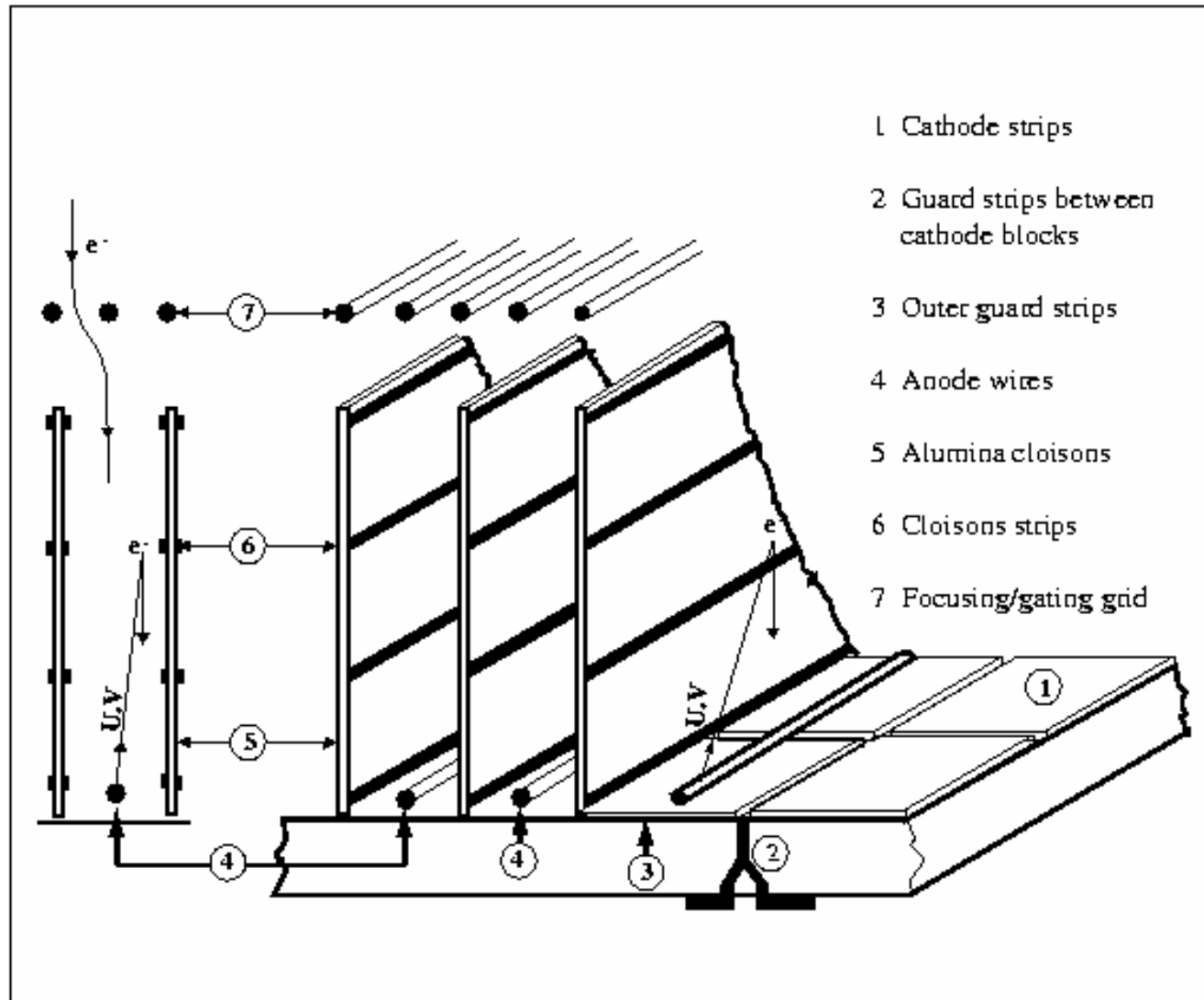
Le détecteur de photons du Barrel RICH

- Le gaz de dérive est un mélange de 80% Argon (Ar) et 20% Méthane (CH₄) avec un petit pourcentage de TMAE (0.1%)
 - Les photoélectrons dérivent à une vitesse de 4.5 cm/microseconde.
 - THT : 54 000 V. 500 résistances de 3 MOhm chacune.

Les Chambres Proportionnelles Multifils du Barrel RICH

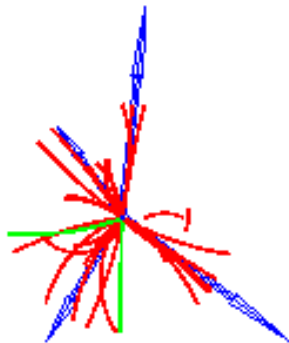
- 128 fil d'anode par chambre, total de 48 chambres, 8*16 strips par chambre
 - Distance entre fils d'anode 2.62 mm. Diamètre du fil 20 micron.
 - Multiplicité moyenne de l'avalanche d'électrons induite par 1 photoélectron = 10**5

Chambre Proportionnelle BRICH

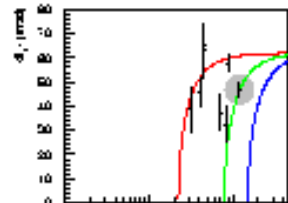


Paramètres Delphi B-RICH

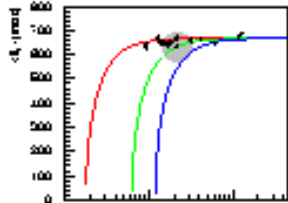
- Longueur Détecteur = 2×154 cm ($z > 0, z < 0$), 500 3M Ω Chaîne de Résistances, VHV = 54 000 V.
- Radiateur Liquide Indice : $n = 1.2718$, Radiateur Gaz Indice : $n = 1.00198$
- 288 Miroirs au total, 24 m³ de Radiateur Gaz,
- 48 Radiateurs Liquides(C₆F₁₄) (240 l)
- 48 Détecteurs Photon-UV (1200 l), 80% Argon, 20% Méthane , 0.15 % TMAE
- 12288 Canaux électroniques
- Température = 40 degrés, 1030 nP
- Contrôle SIEMENS de tous les sous-systèmes
- Température TMAE = 28 degrés



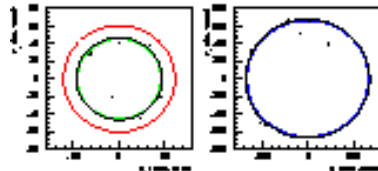
4 Jet Event



Kaon/Gas Radiator

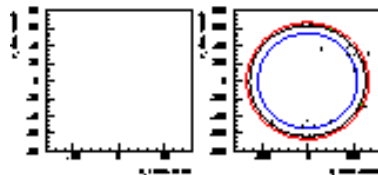


Kaon/Liquid Radiator



Kaon 11.8 GeV/c

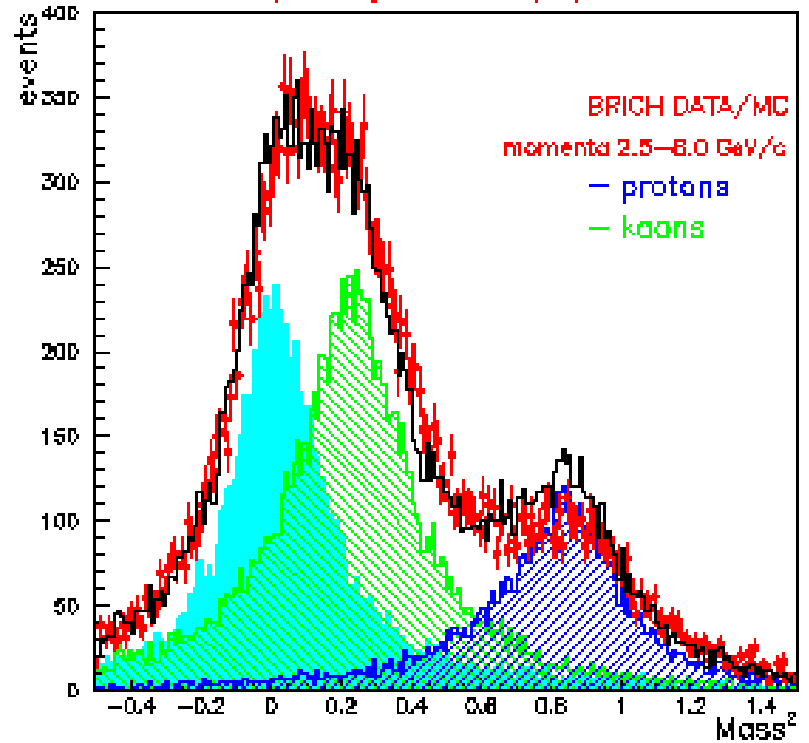
Gas Radiator: Ring identification
Liquid Radiator: Ambiguous

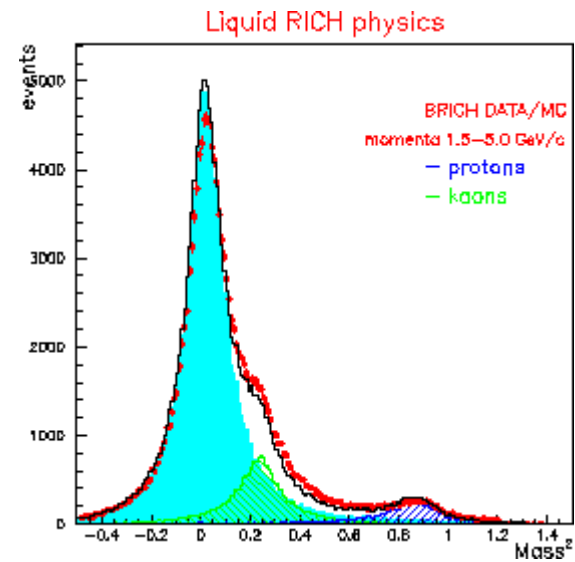
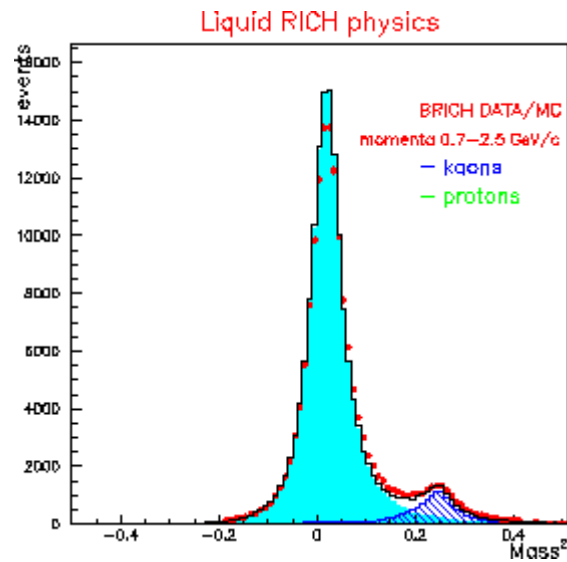
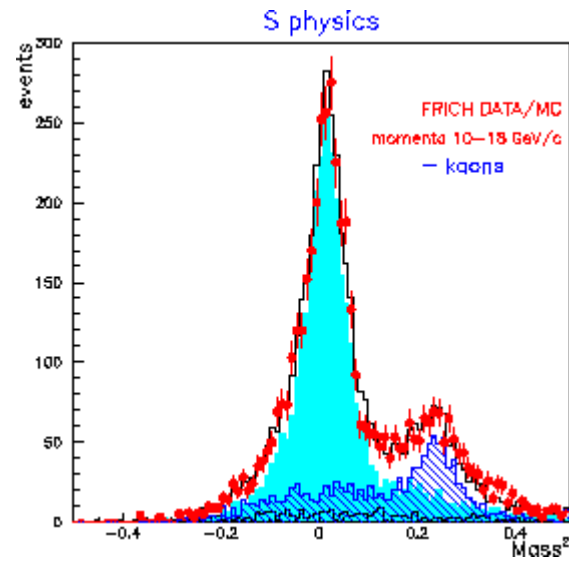
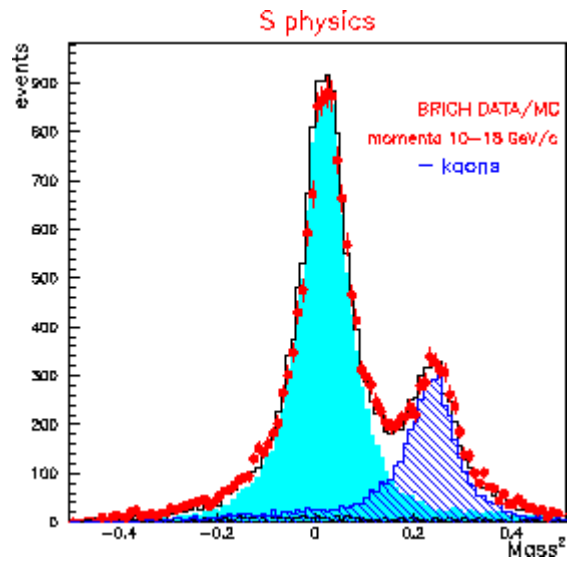


Kaon 2.2 GeV/c

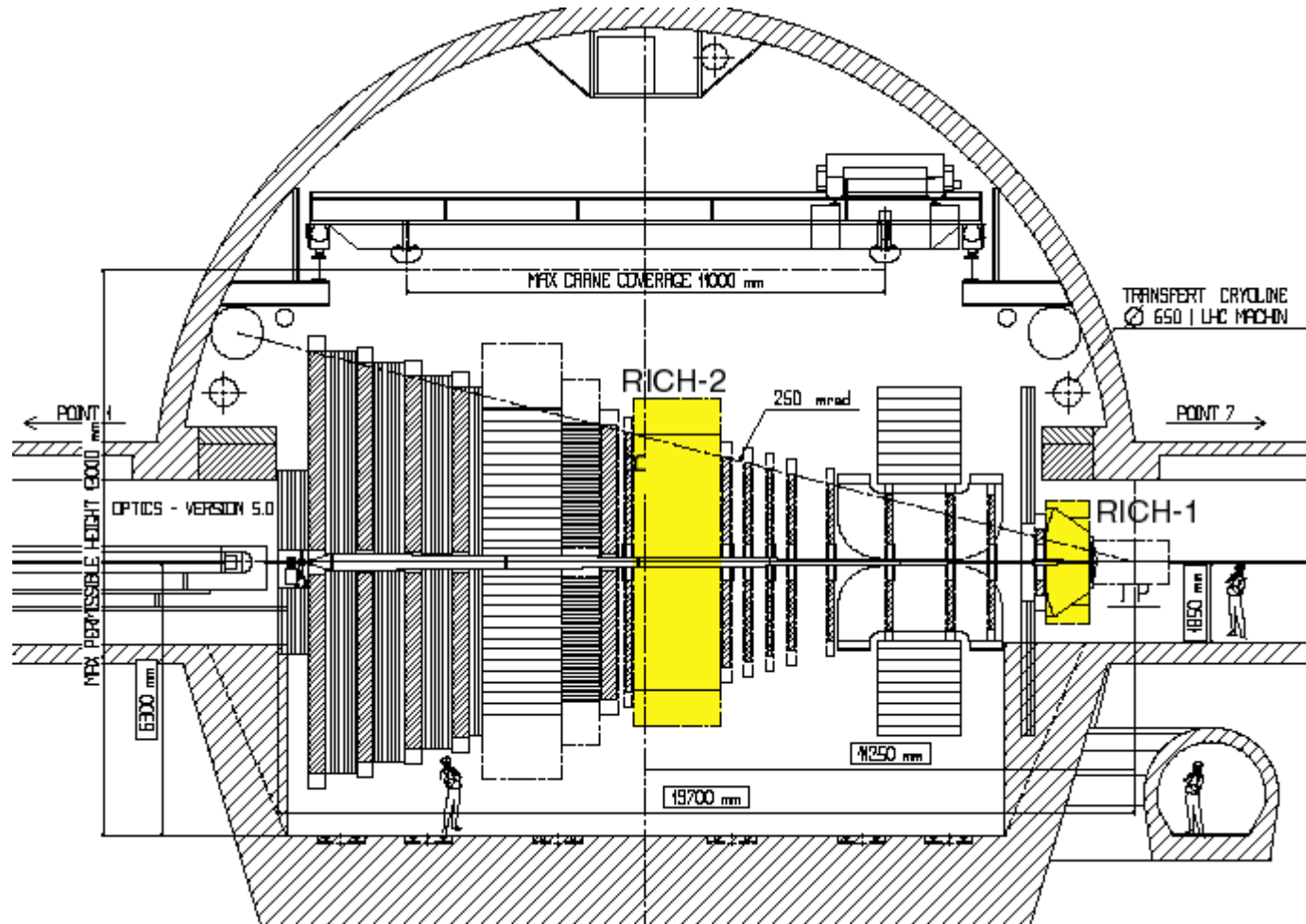
Gas Radiator: Velocity identification
Liquid Radiator: Ring identification

Liquid-gas RICH physics





RICH à LHCb



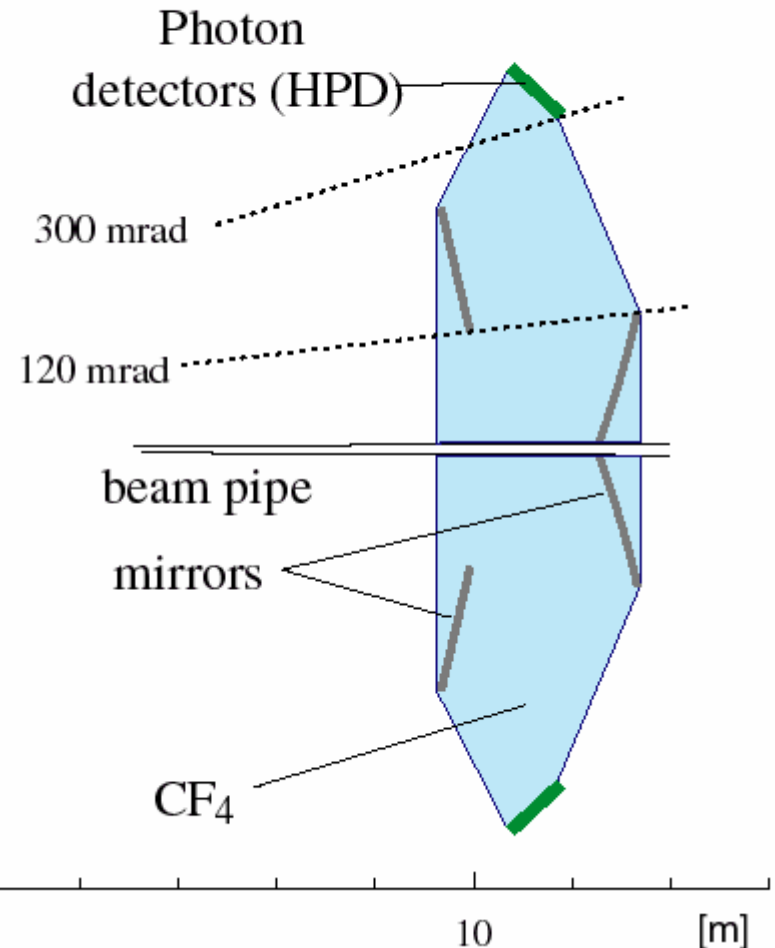
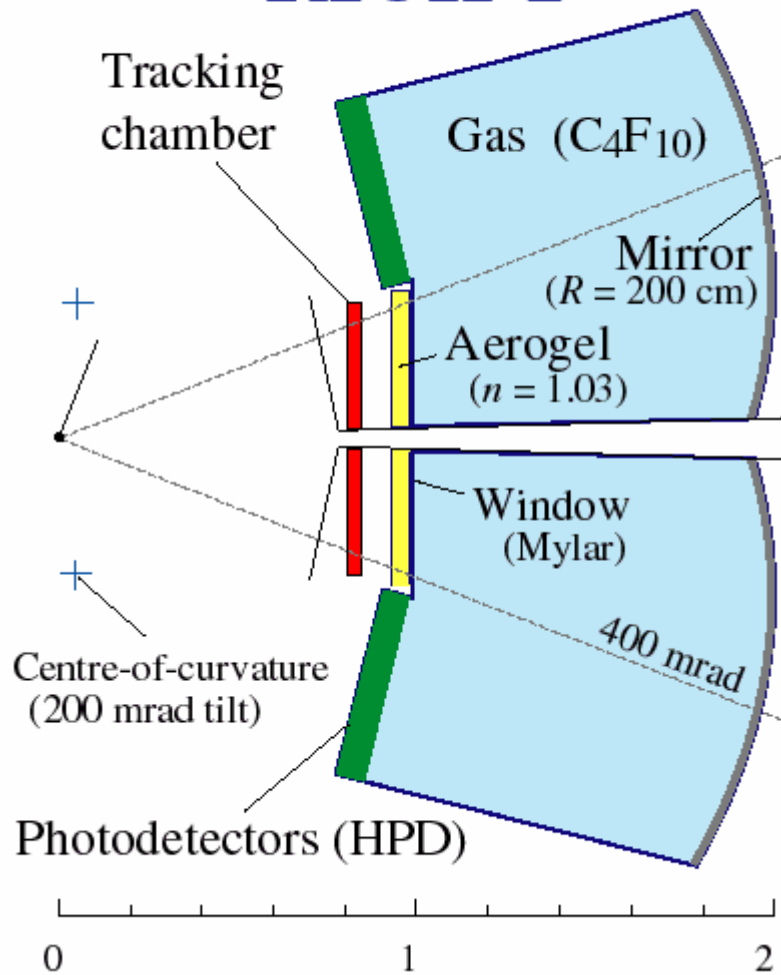
Gamme p 1 - 150 Gev

10 – 30 mrad

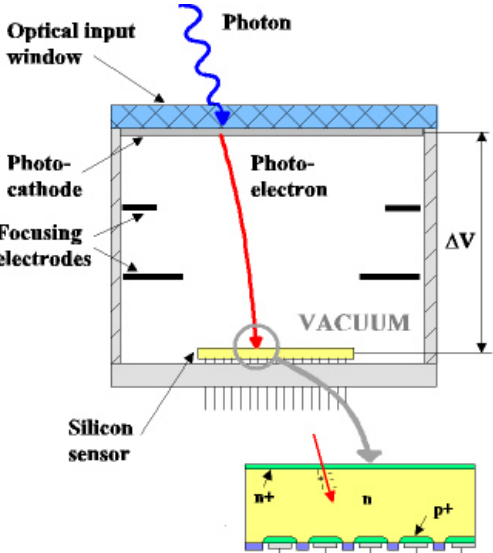
RICH-1

Top View

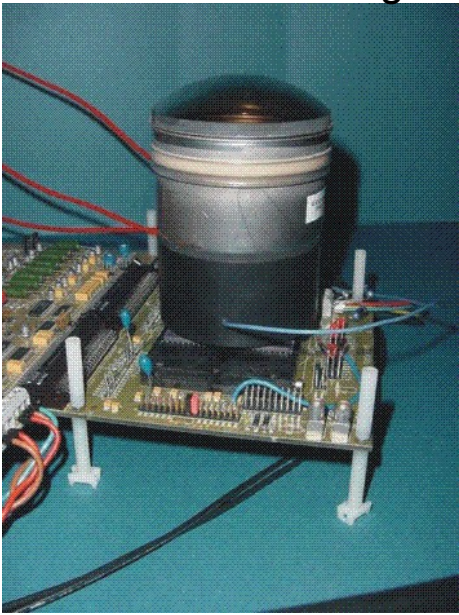
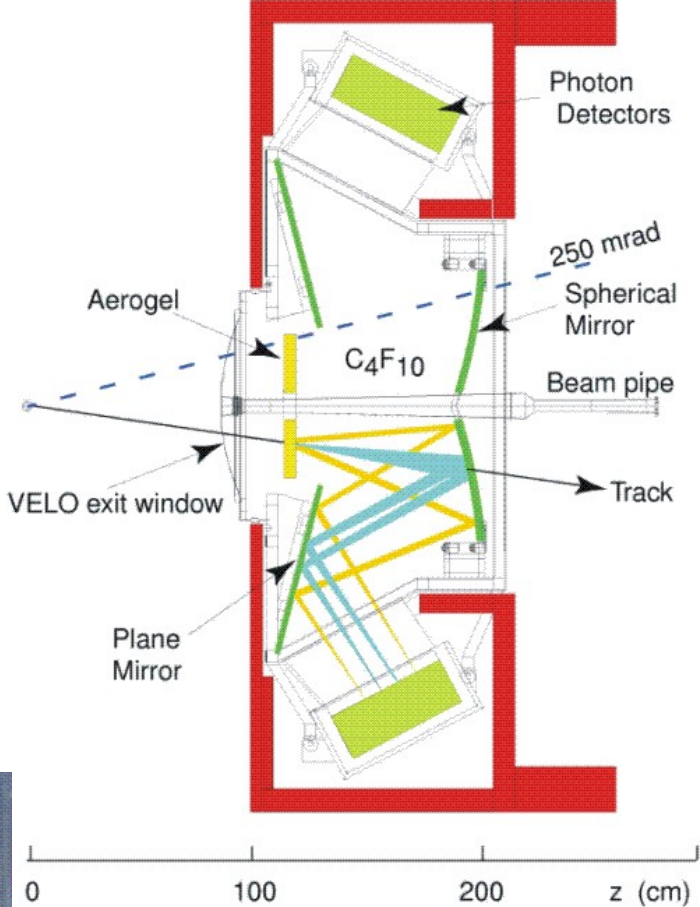
RICH-2



LHCb RICH 1



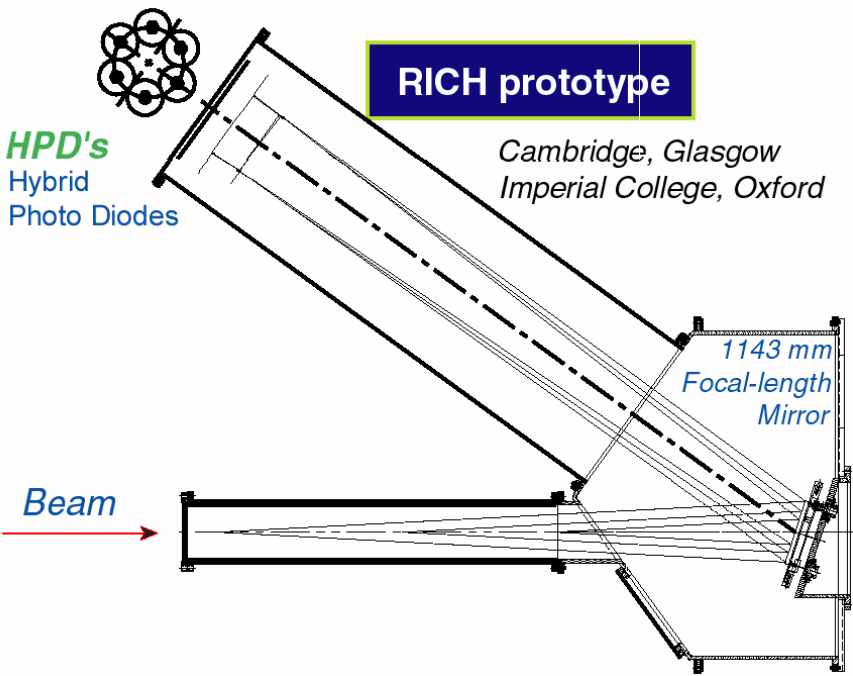
The photodetector planes will cover a total area of 2.6m^2 with a granularity of about $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$.



Roscoff juin 2007

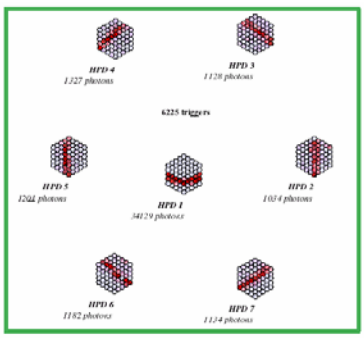
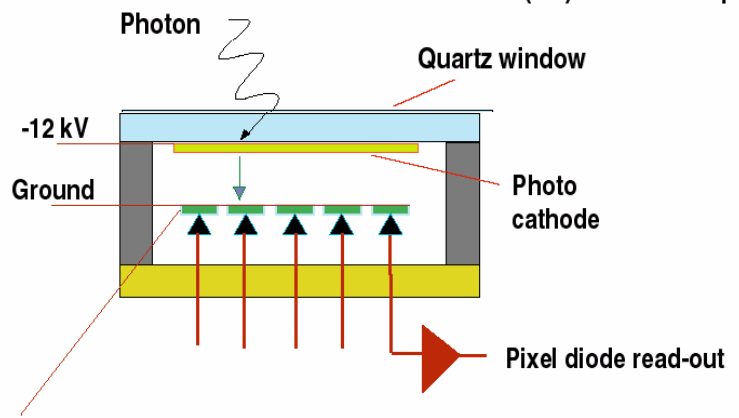


P. Siegrist CERN-PH

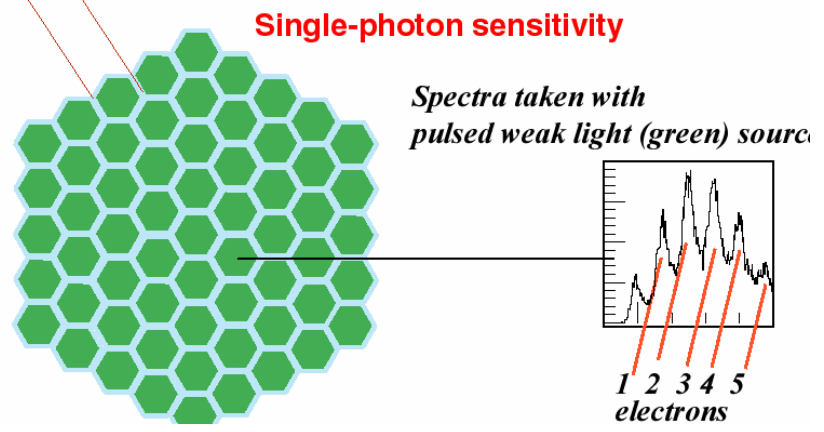
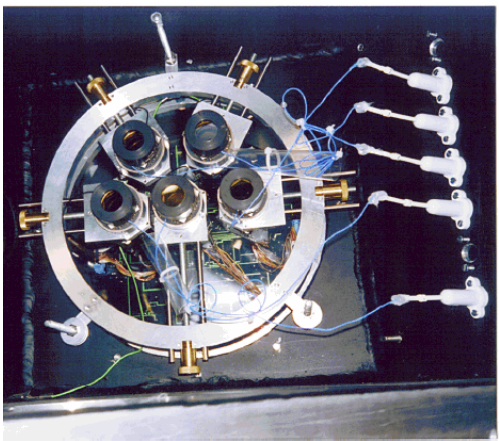


Hybrid Photo Diode:

61-pixel diodes : 2 x 2 mm²
DEP (NL) + UK development

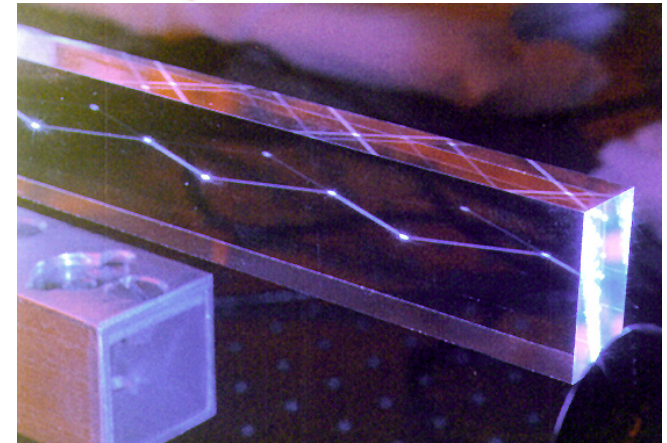
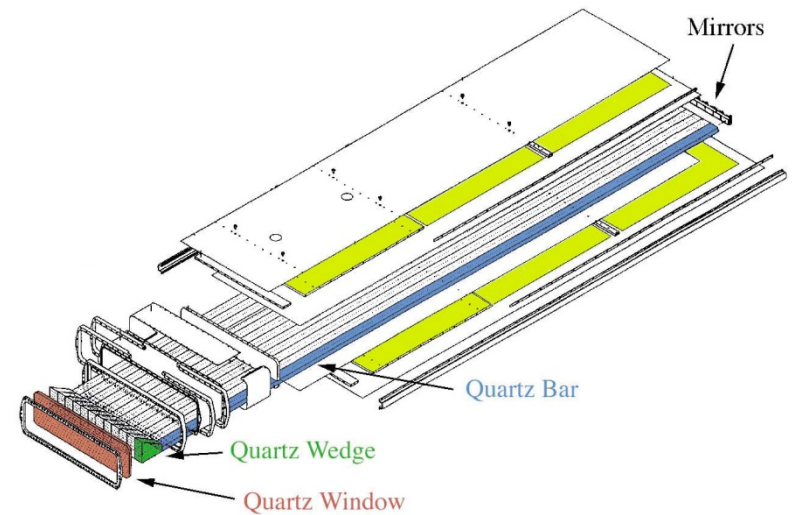
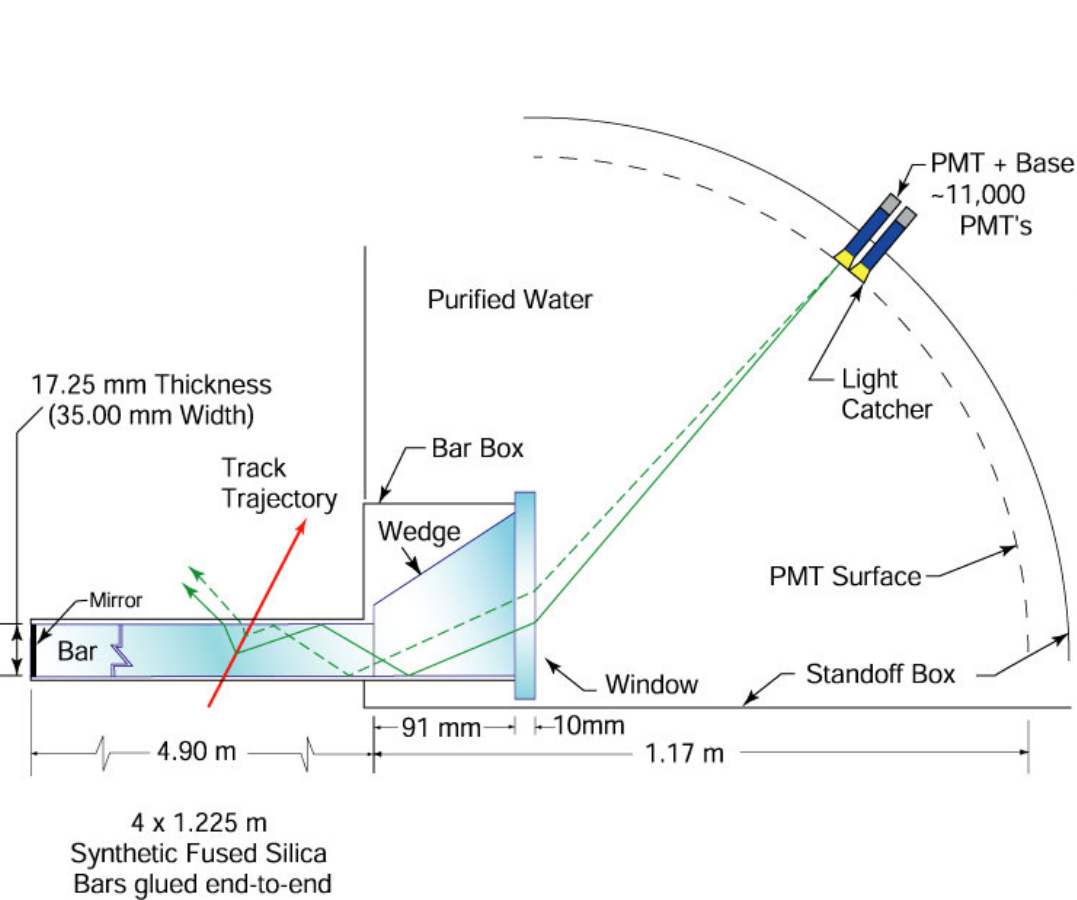


Display of the hits in a run taken with a pion beam, showing the rings from aerogel and C₄F₁₀ radiators.

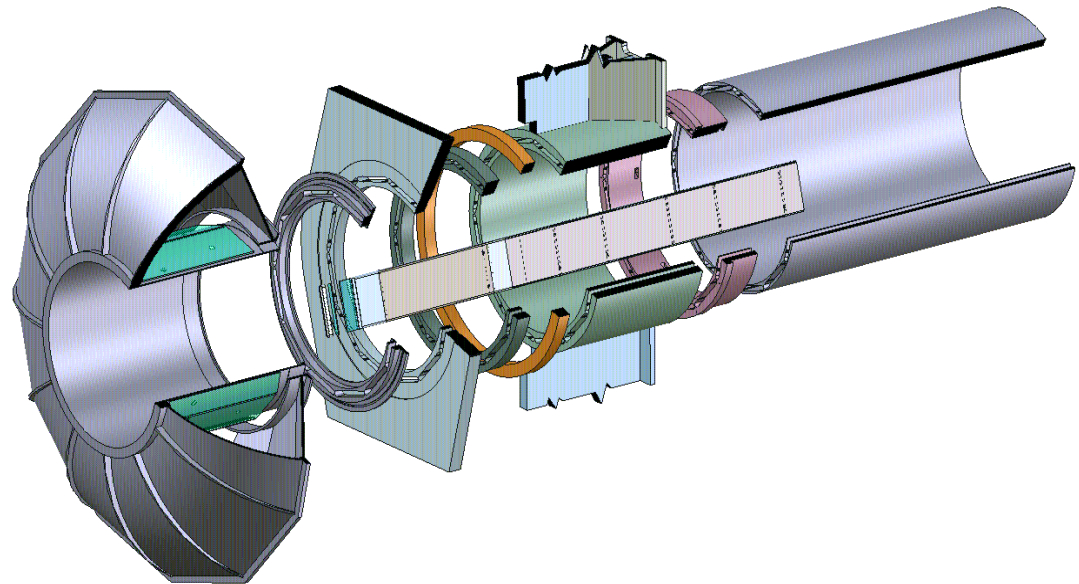
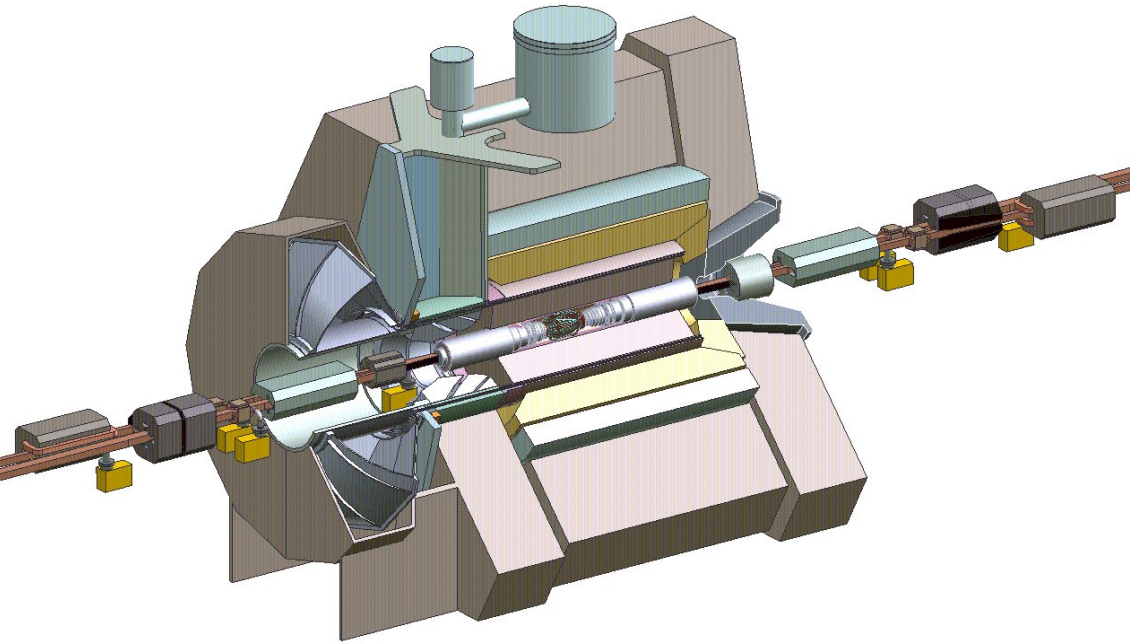


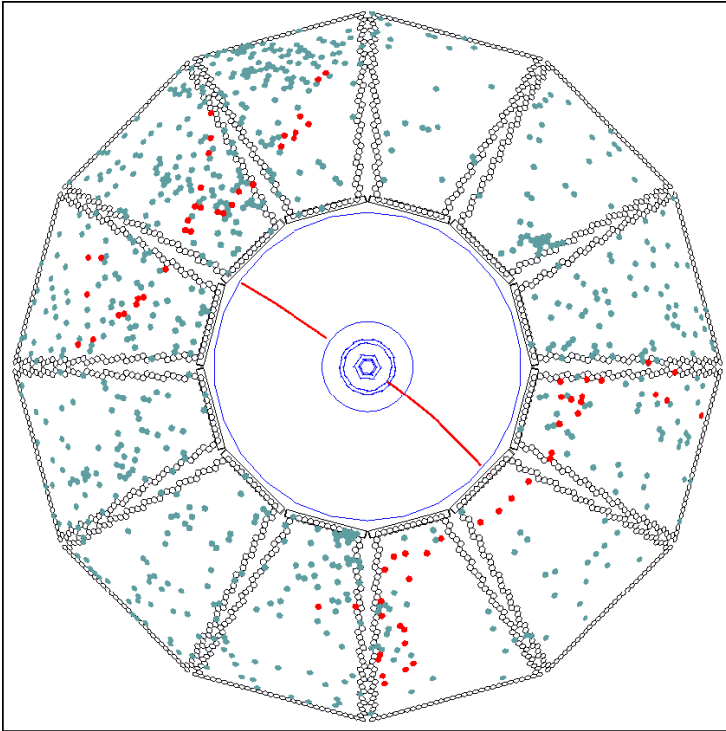
Dirc BaBar

Detection of Internally Reflected Cherenkov light



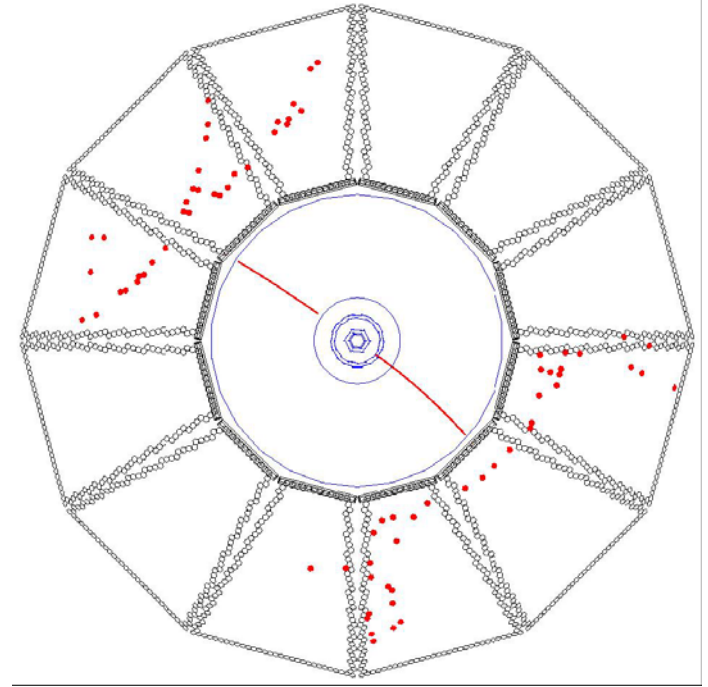
BaBar et DIRC





Anneaux

Track
TOF →

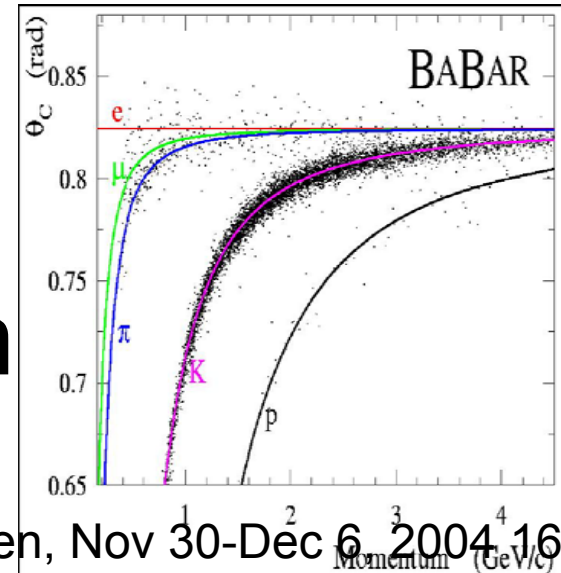
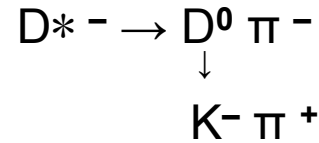
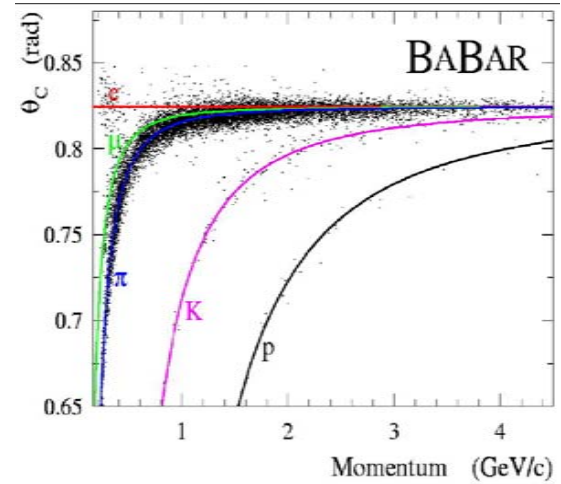
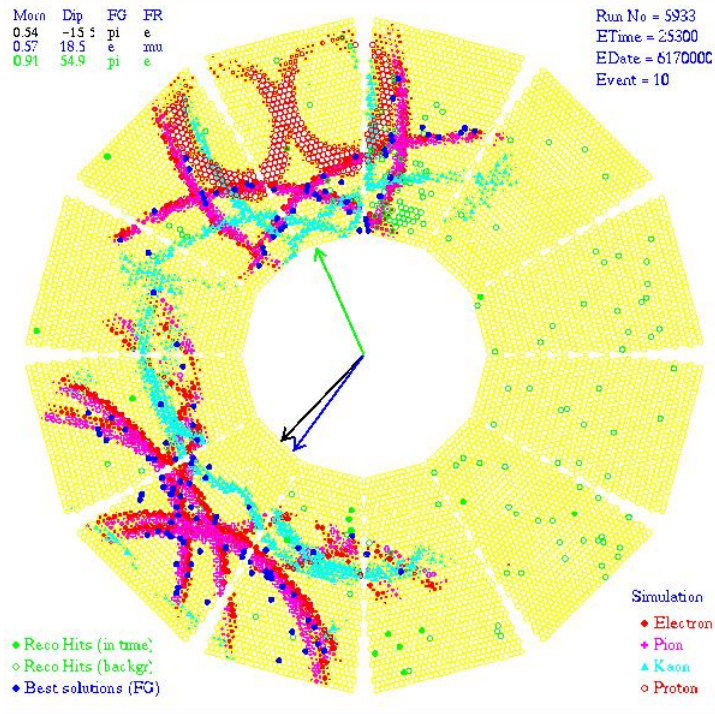


Problèmes



Jochen Schwiening, SLAC, RICH2004, Playa del Carmen, Nov 30-Dec 6, 2004 16/24

Simulation



Evts
reconnus

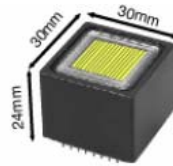
Ca marche ! Probabilite d'identification

Jochen Schwiening, SLAC, RICH2004, Playa del Carmen, Nov 30-Déc 6, 2004 16/24

Futur?

PMT

HPK R5900-U-L16

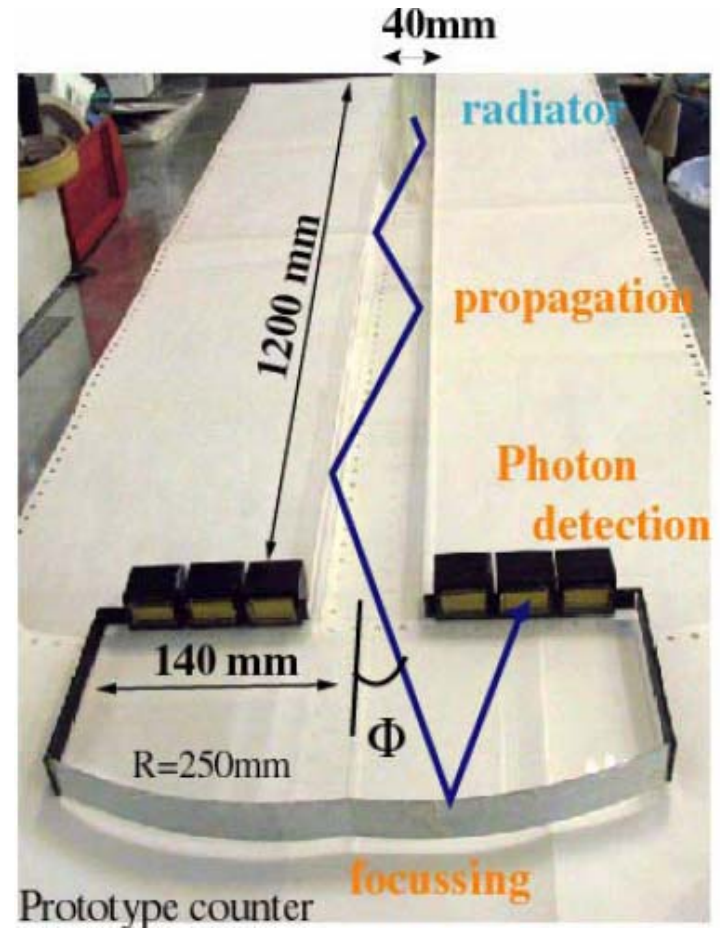
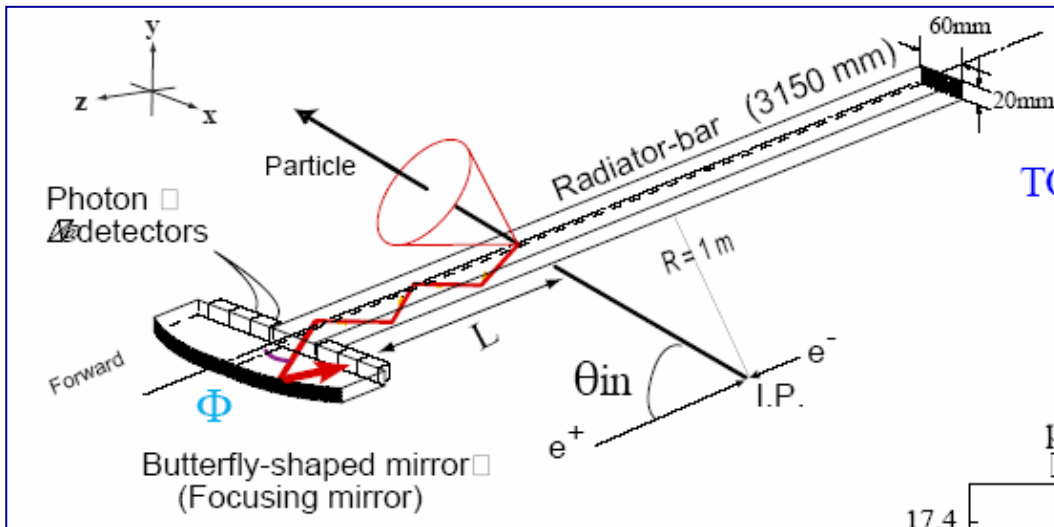


$\sigma_{T.T.S} = 75\text{ps}$

Linear array 16 anode (1 mm pitch)

effective area = 40%

collection efficiency = 50%

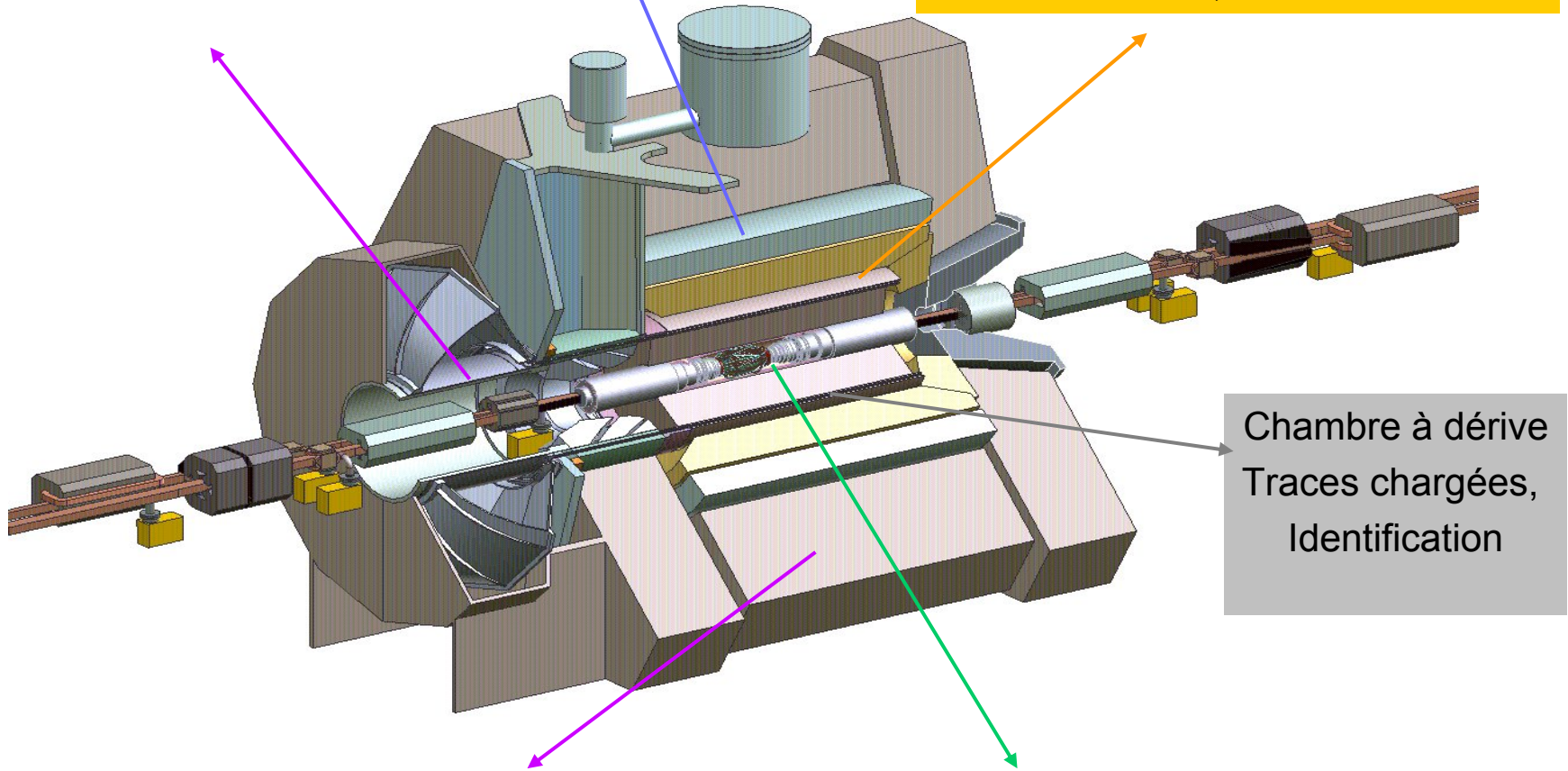


R.J.Wilson Snowmass, Colorado. August 23, 2005

DIRC (Cerenkov)
Identification $K^{+/-}/\pi^{+/-}/p$

Solénoïde 1.5T \rightarrow P

Calorimètre électromagnétique
Identification $e^{+/-}$, Reconstruction π^0



Chambre à dérive
Traces chargées,
Identification

IFR (retour de champ instrumenté)
Identification μ , hadrons neutres

Détecteur de vertex
Mesure du temps de vol des B

Rayonnement de Transition TRD

Le rayonnement de transition est un phénomène d'électrodynamique classique qui se produit lorsqu'une particule chargée, de facteur de Lorentz γ traverse l'interface entre 2 milieux de constantes diélectrique différentes.

Les propriétés particulières du rayonnement d'un radiateur constitué de N feuilles régulièrement espacées sont les suivantes:

- Les photons sont produits dans la région des X mous
- Le nombre de photons est de l'ordre de $\alpha.N$ avec $\alpha = 1/137$
- L'énergie rayonnée est nulle avant un certain seuil en γ et tend vers une valeur finie lorsque γ tend vers l'infini

Ces propriétés peuvent être utilisées en vue d'identifier les particules dont le facteur de Lorentz $\gamma = E/m$ est supérieur au seuil.

Rayonnement de Transition TRD

Intensité du rayonnement

$$I = N_\gamma \times \langle E_\gamma \rangle = \frac{\alpha}{3} z^2 \gamma \bar{h}\omega_p \quad \text{avec} \quad \bar{h}\omega_p = \sqrt{4\pi N_e r_0^3} \frac{m_e c^2}{\alpha} = 28,8 \sqrt{\rho \frac{Z}{A}} \quad \text{eV}$$

fréquence de plasma des électrons

Pour le passage d'un électron de 0.5 GeV/c $\rightarrow \gamma \sim 1000$

Rayons X émis de 2 à 20 keV

N_{photons} émis par interface $\sim 0.5 \alpha$

\rightarrow Augmenter le nombre de feuilles, mais

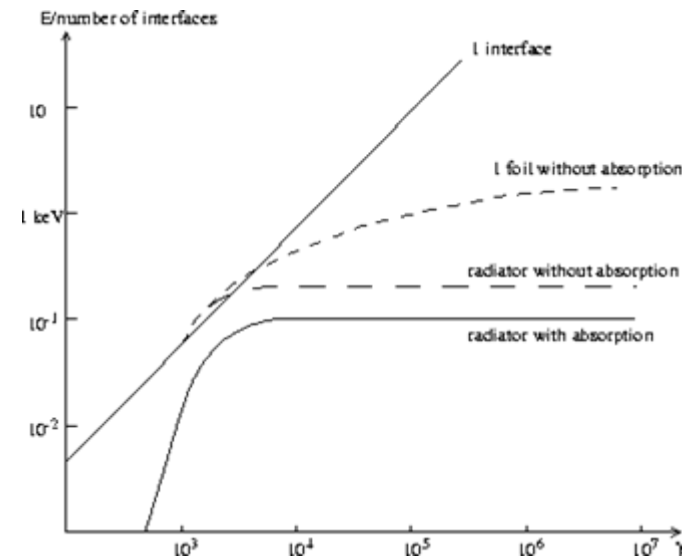
\rightarrow absorption et interférences \rightarrow limite

\rightarrow Matière radiateur densité ($N \sim \rho$) élevée

et faible Z car auto absorption par effet

photo-electrique $\sim Z^4$. Lithium et plastiques (polyéthylène,

polypropylène. Feuilles 20 à 50 μm + gaz à faible Z (hélium, azote)

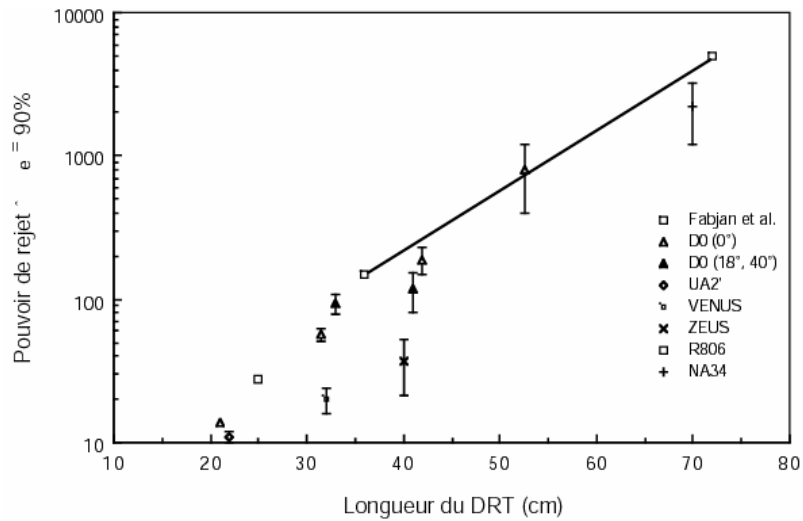


Ulrik Egede

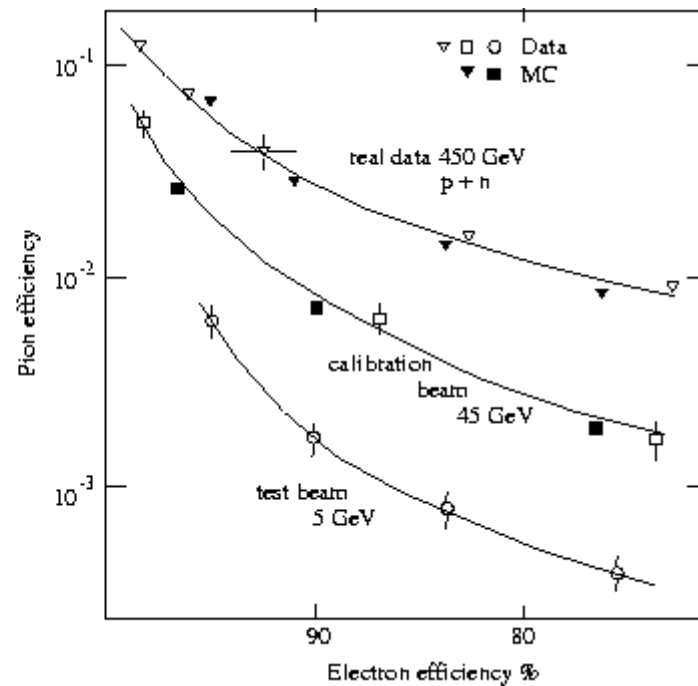
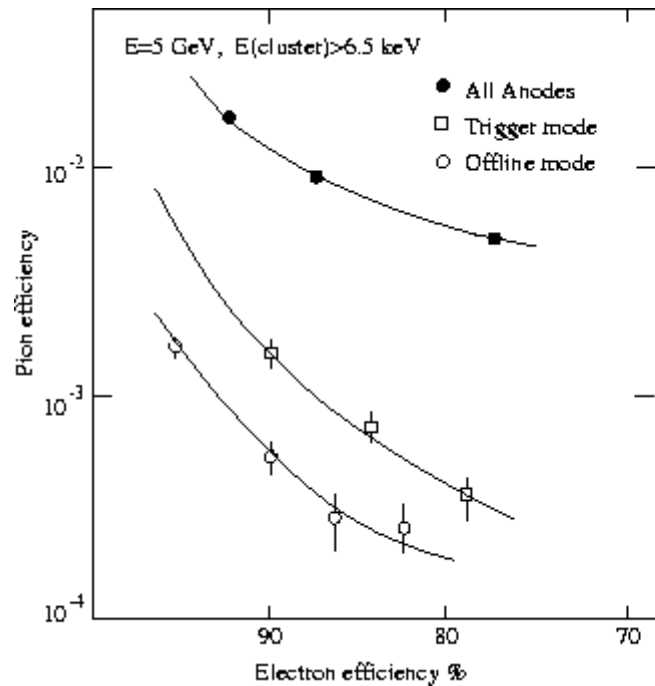
Détection photons dans gaz: Xénon (Z élevé) Effet de seuil en γ : électron de 0.5 GeV/c $\rightarrow \gamma$

~ 1000 pion a $\gamma \sim 1000$ @ ~ 140 GeV \rightarrow de 0.5 a 140 GeV rejection électron pion

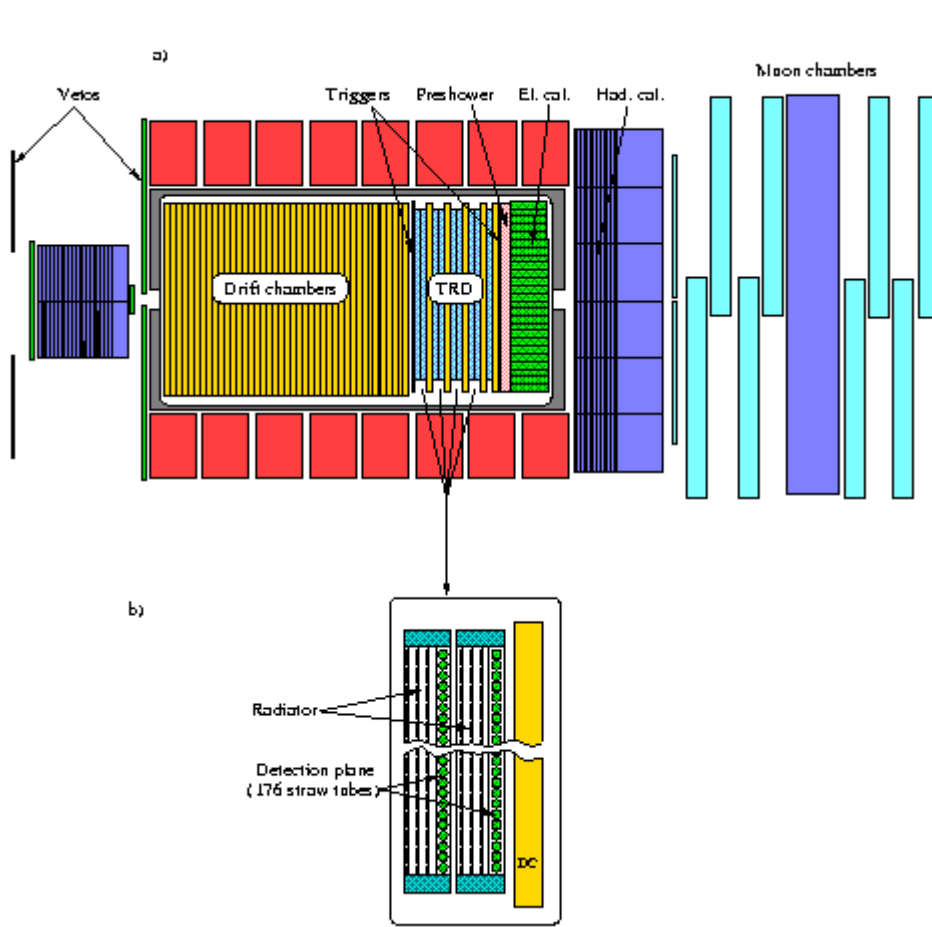
Performances TRD



Experiments	R806	E715	NA34	UA6	UA2	E769	NA31	NA24
length (cm)	55	360	70	55	22	130	110	60
number layers	2	12	8	3	2	24	4	4
radiator	Li	CH ₂	CH ₂	Li	CH ₂	CH ₂	CH ₂	CH ₂
method	Q	N	N	Q	Q	N	Q	N
efficiency π	5	0.06	0.05	10	8	2	10	0.5
efficiency e (%)	90	99	90	90	80	87	98.7	80

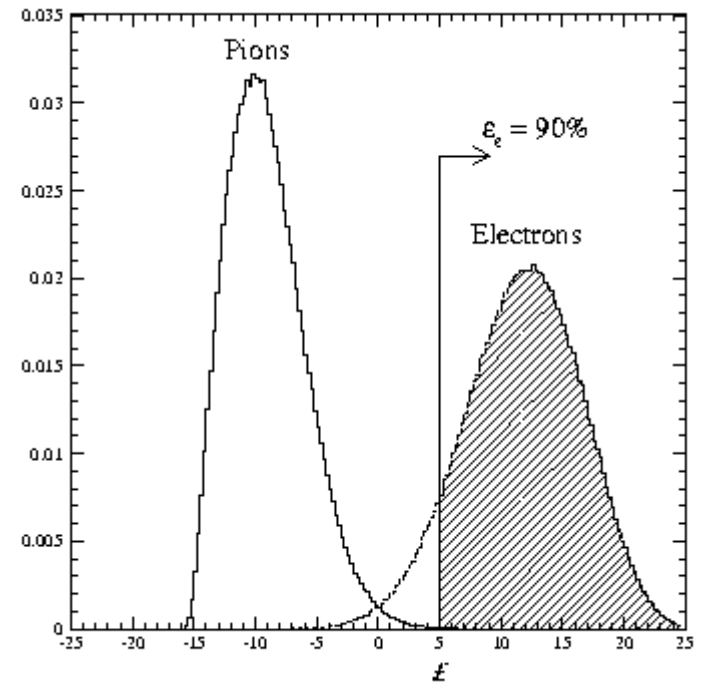


Nomad

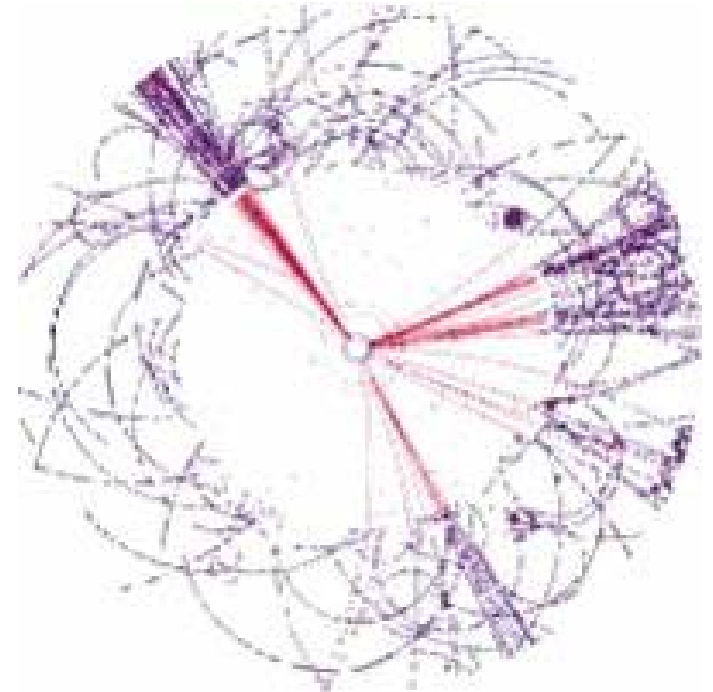
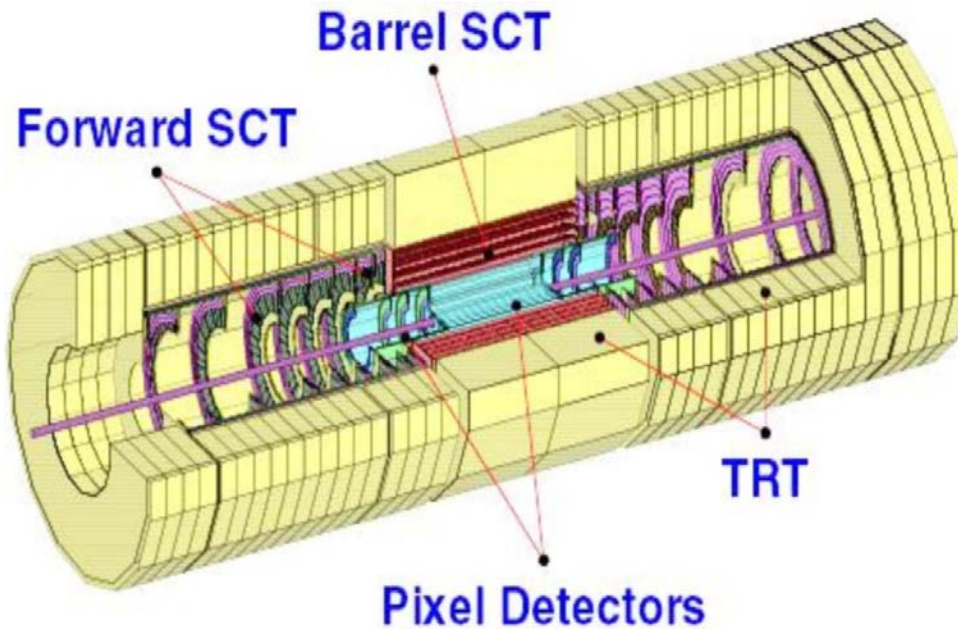


π/e Réjection 10^{-3}

désintégration électronique du tau

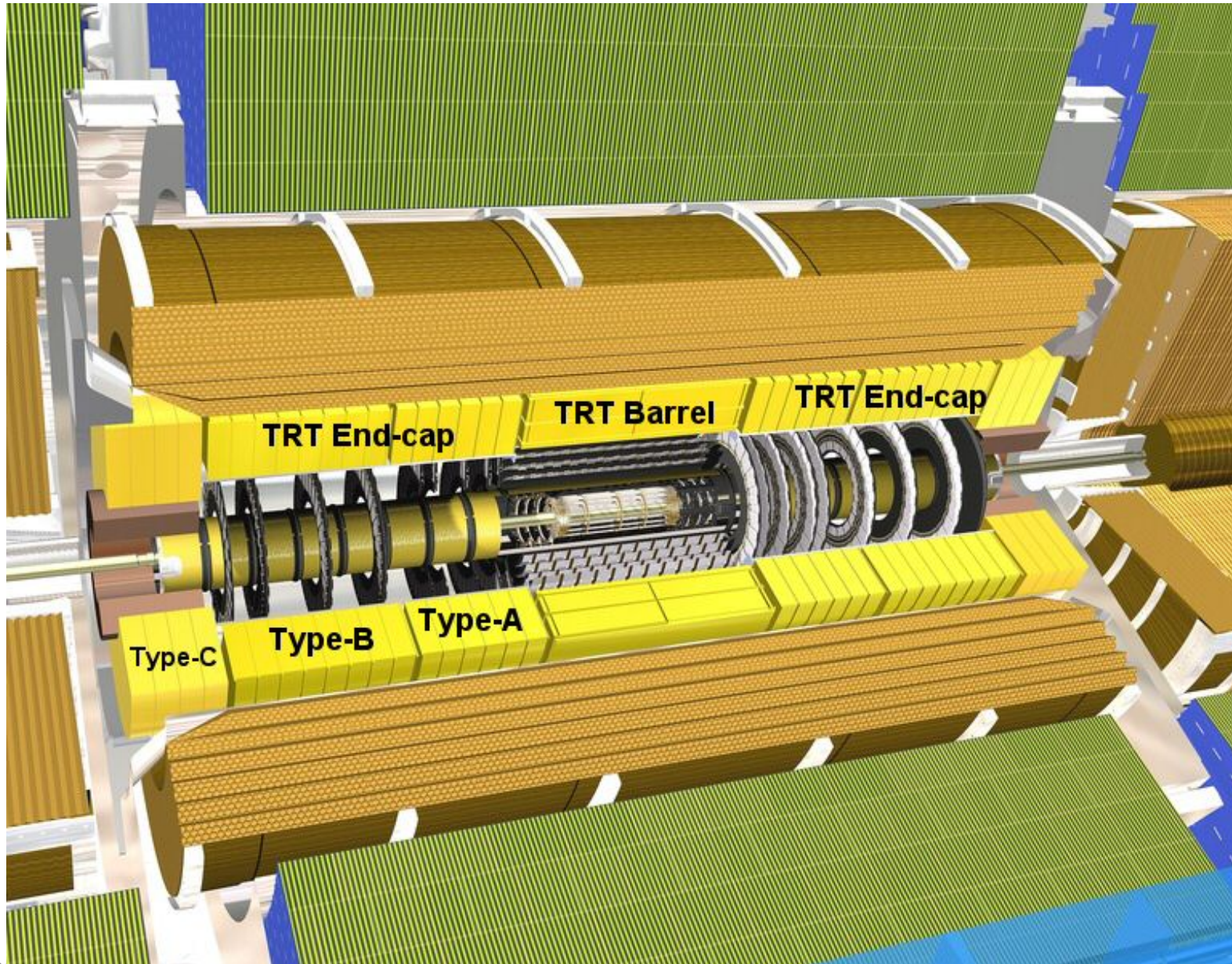


Tracker ATLAS



- 3 couches de Pixel**
- 4 Couches Silicon Strip (SCT)**
- Transition Radiation Tracker (TRT) "Continu"**
- 1 m de rayon actif**
- 5.5 m de longueur active**
- 2 Tesla de champ axial**

TRT ATLAS



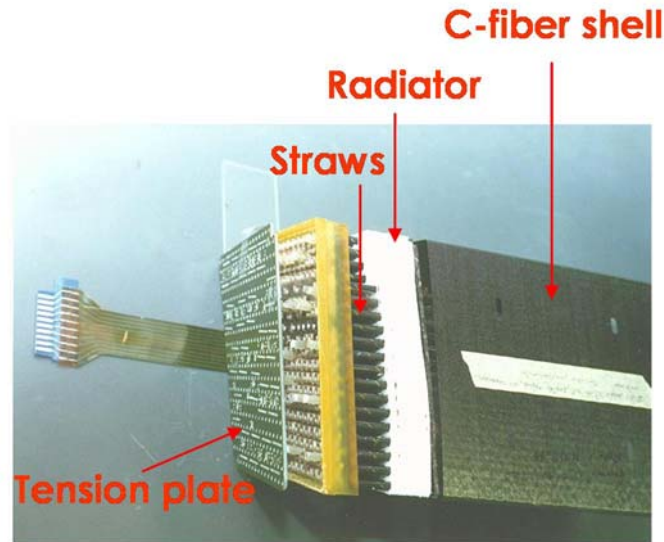
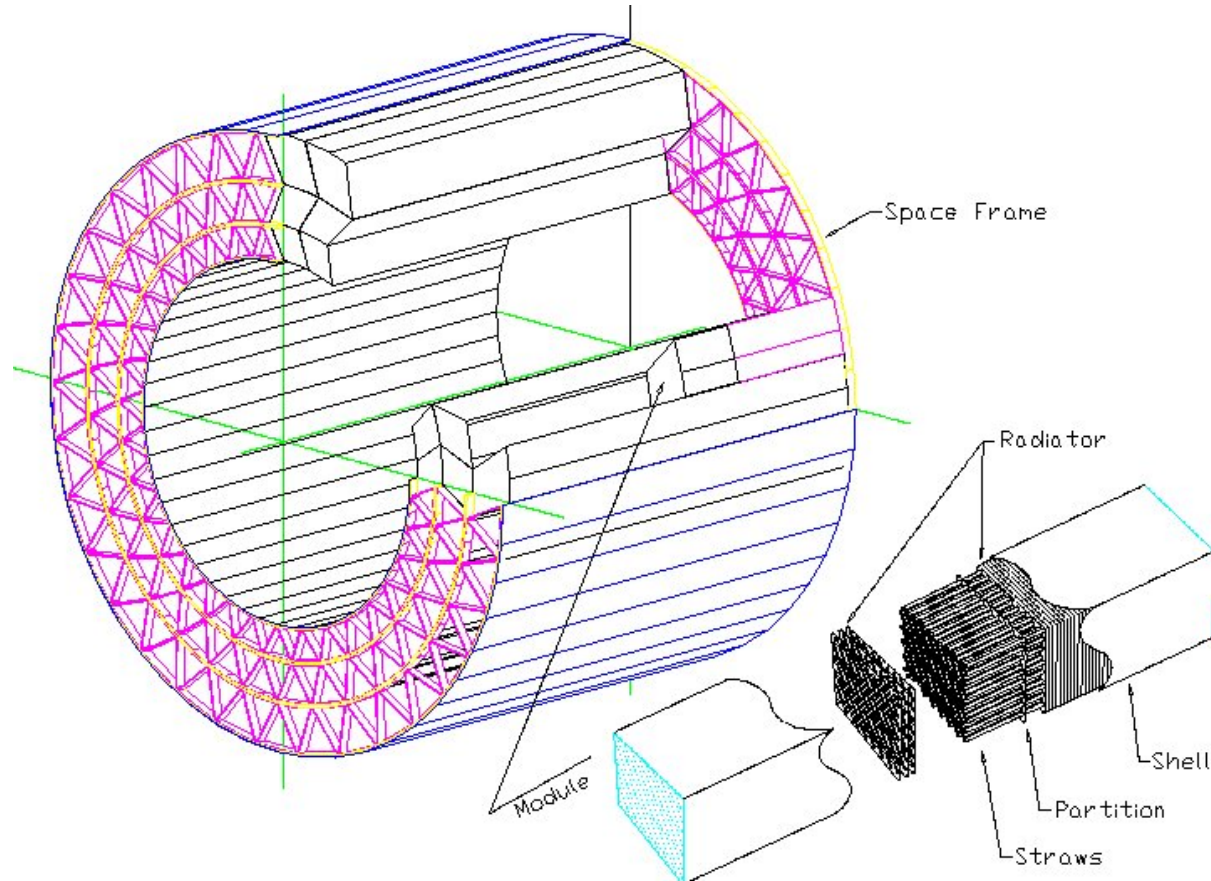
Longueur Module	1.5 m
Longueur Fil Sensible	2 x 0.75 m
Diamètre de la Paille	4 mm
Diamètre du fil	30 μ m
Distance entre les pailles	6.8 mm
Groupage Haute Tension	8 pailles

TRT ATLAS Barrel

Design du Module de base

Les pailles sont empaquetées dans des radiateurs et maintenues par des entretoises et les plaques de fond et sont tenues le long du module par une coquille en fibre de carbone.

3 types de module, forment
3 anneaux de 32 modules
identiques
52544 pailles au total



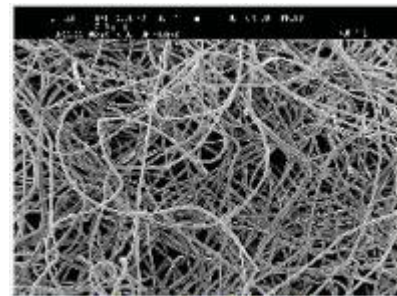
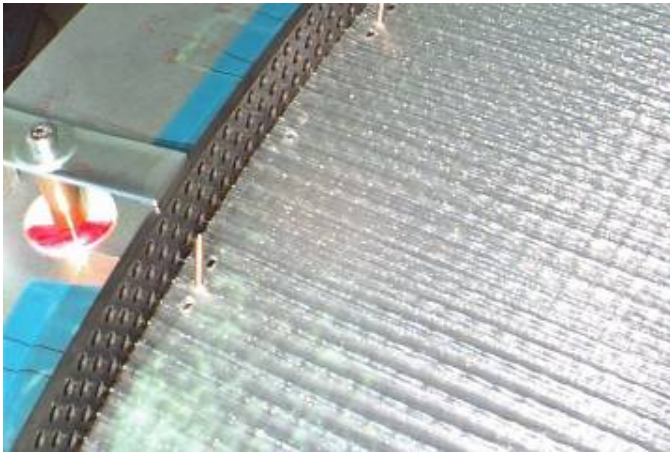
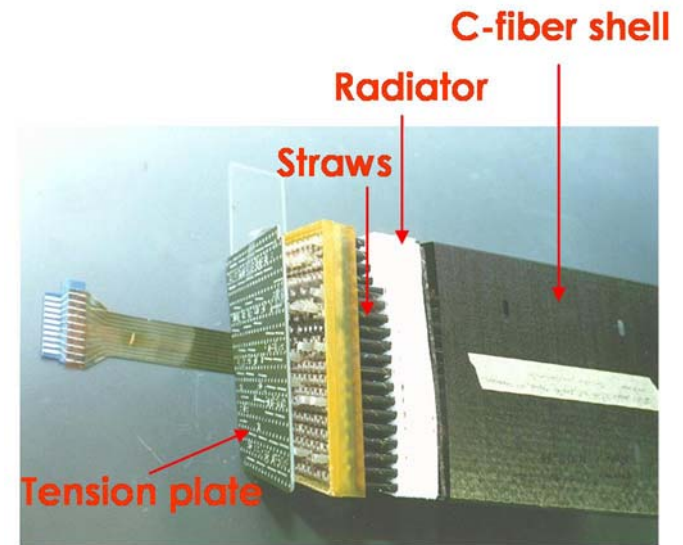
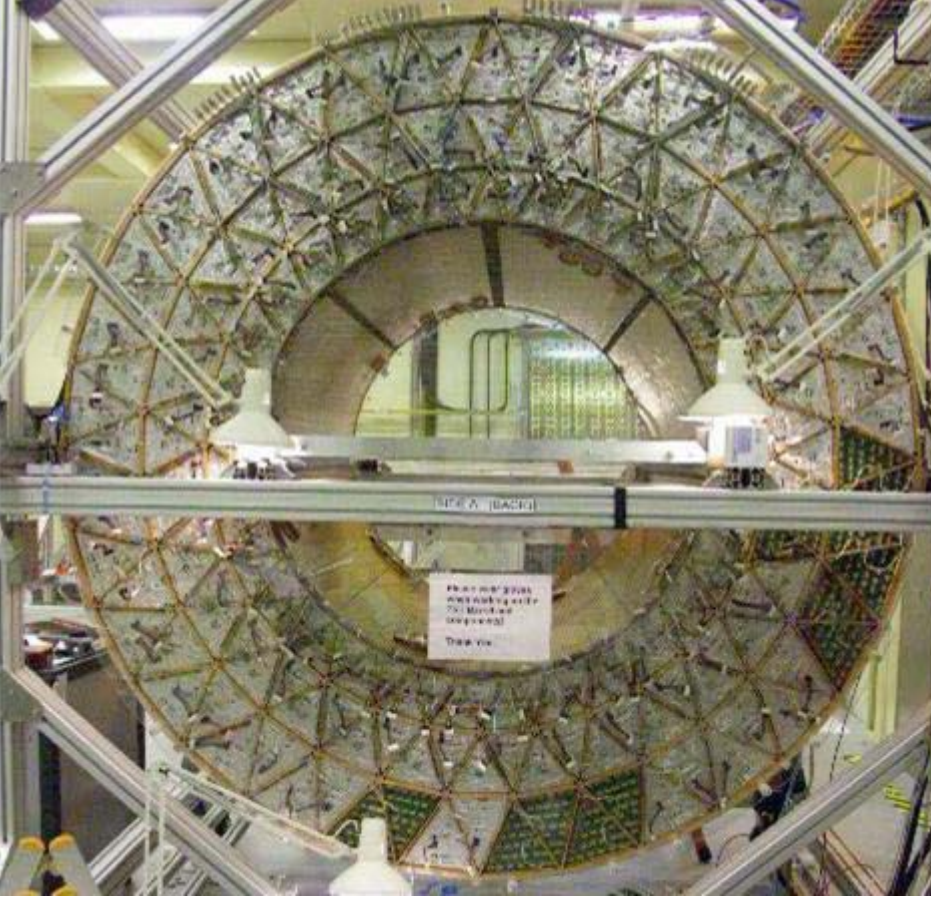
Roscoff juin 2007

TRT ATLAS Barrel

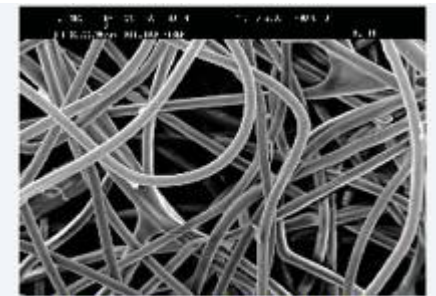
Mélange de Gaz :Xe(70%)/CO2(27%)/O2(3%)

Seuil TR 5.5 keV – électron/pion séparation

MIP 0.2 keV – détermination tracking/drift time



500 μm



200 μm

TRT ATLAS END-CAP

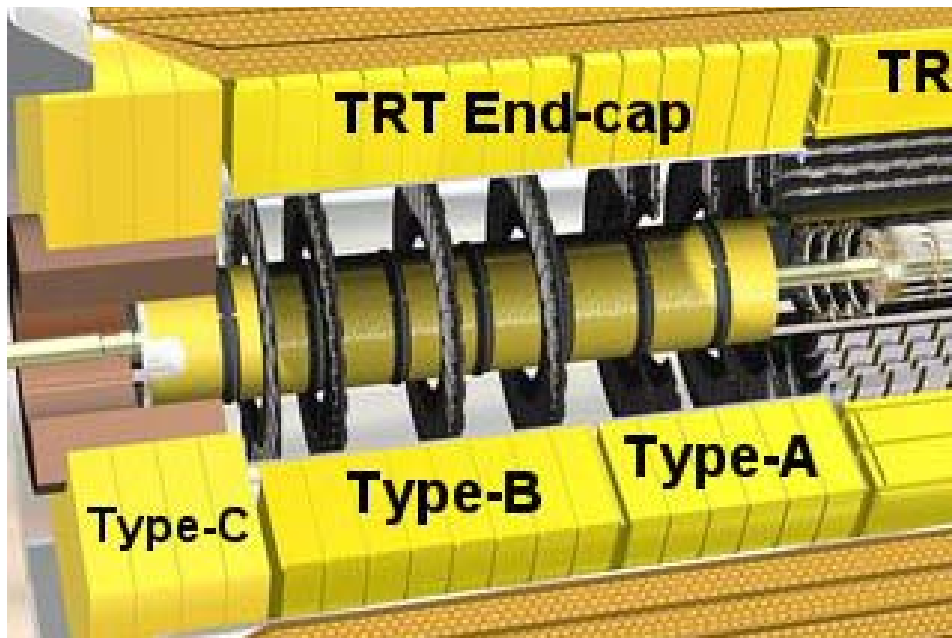
Mélange de Gaz :Xe(70%)/CO2(27%)/O2(3%)

Seuil TR 5.5 keV – électron/pion séparation

MIP 0.2 keV – détermination tracking/drift time

Un end-cap contient:

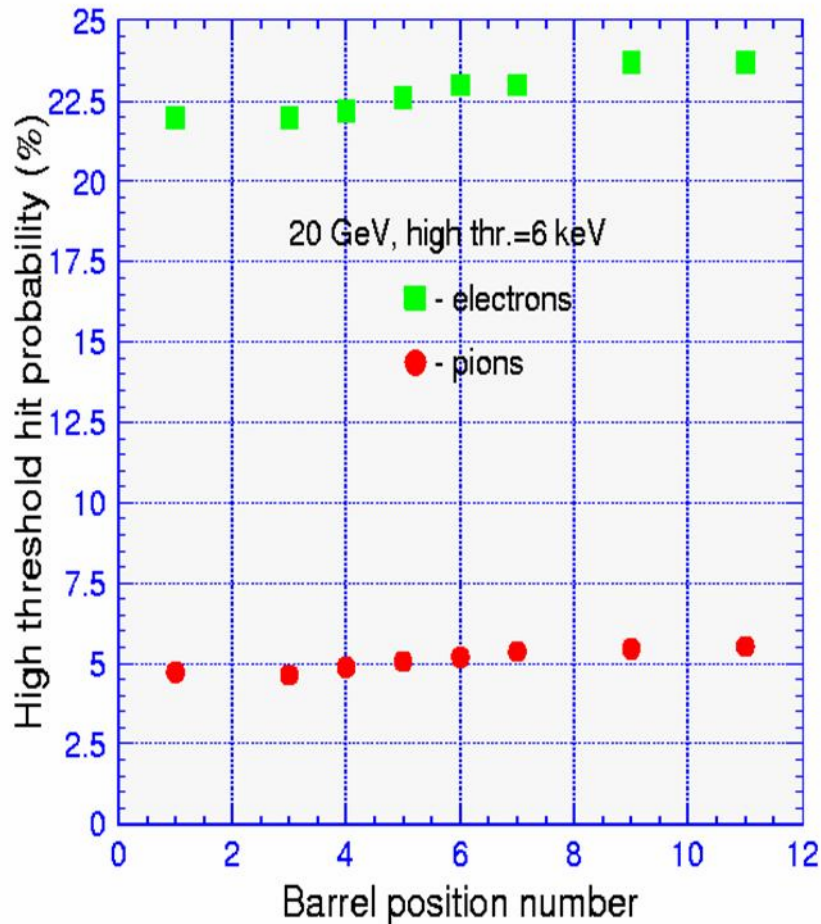
24 roues de type A + 16 de type B
160 plans de 768 pailles radiales, empilées
avec des feuilles radiateur
(122'880 pailles au total)



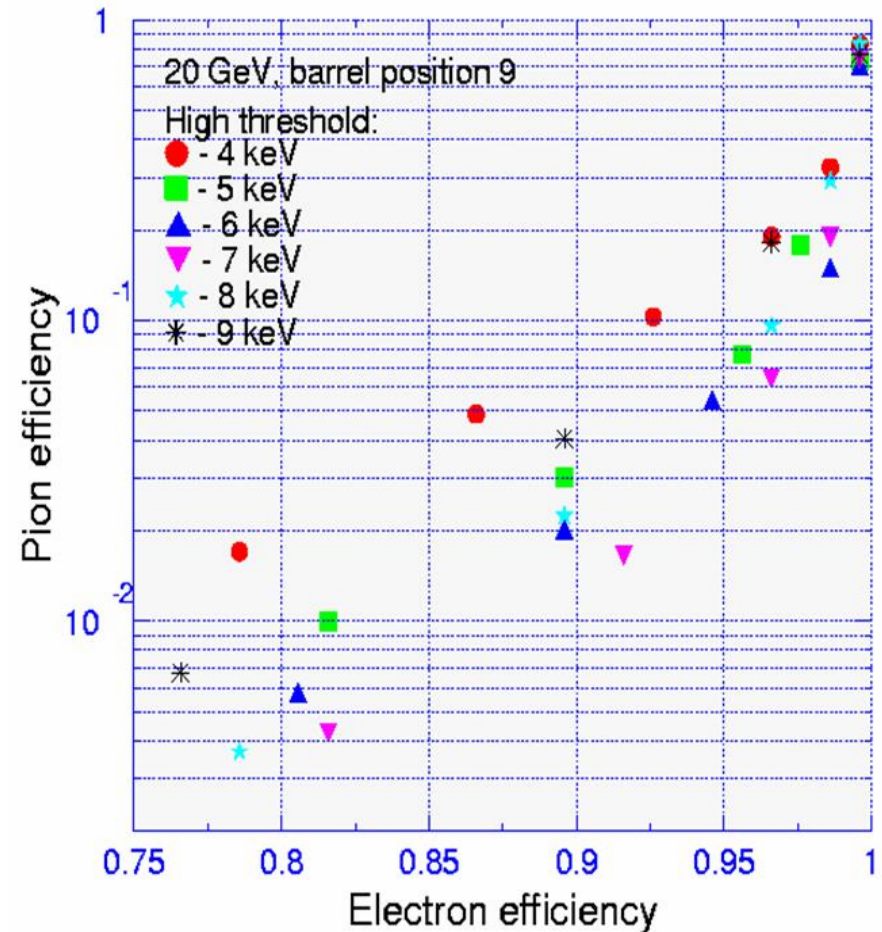
TRT ATLAS en faisceau test

e – p separation à 20 GeV

Position scan: high threshold hit probability

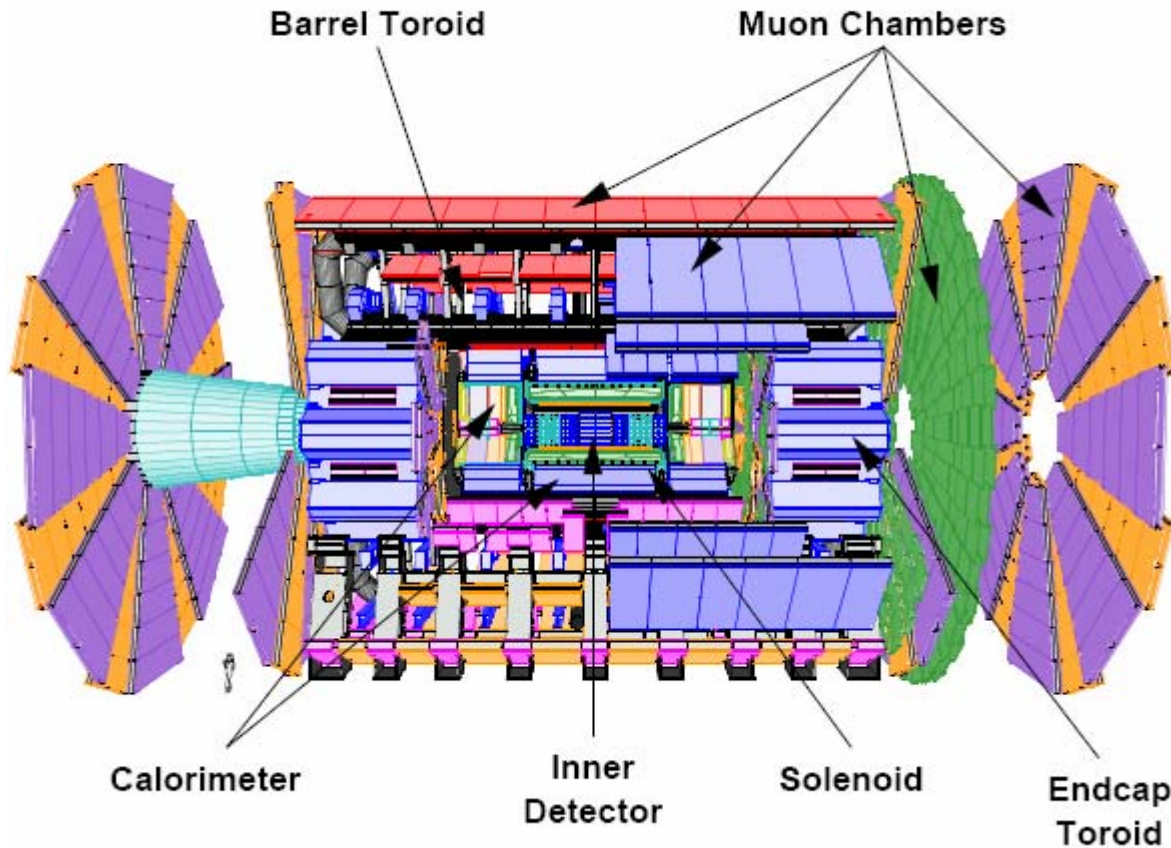


Pion vs electron efficiency



Futur très proche: Les muons à LHC

Atlas: spectrometre à muons

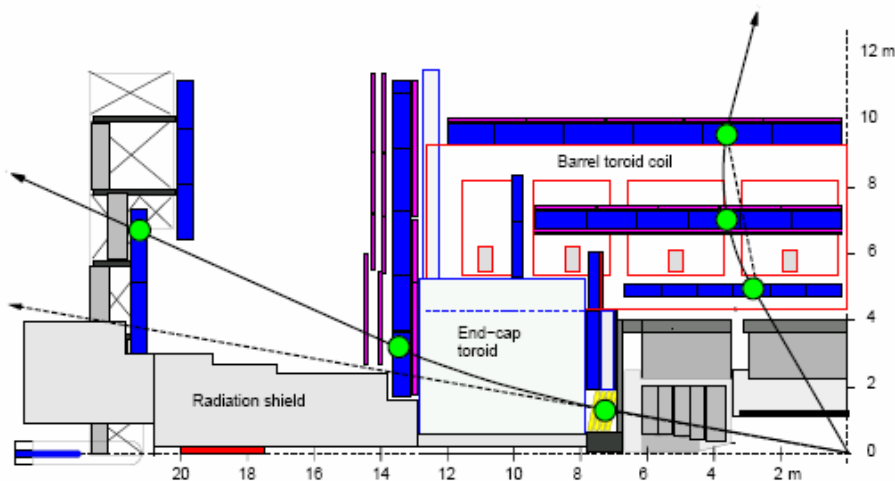


Surface: $\sim 5500 \text{ m}^2$

2264 Chambres trigger
1194 chambres de précision

Enveloppe totale
44 m x 22 m

Mesure d'impulsion

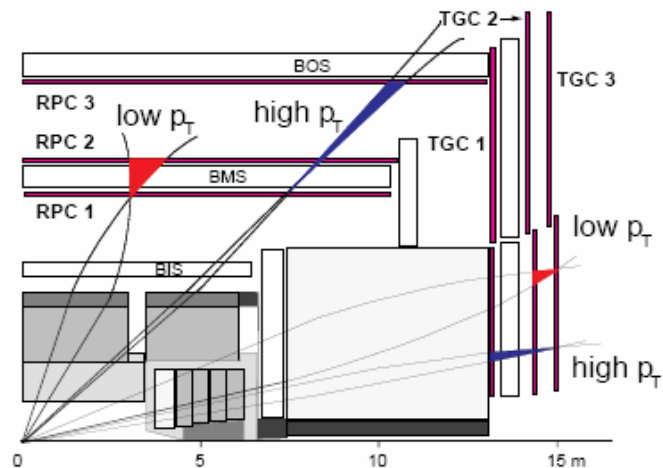


3 plans de chambres de précision:

Barrel 3 points de mesure → flèche
End-cap point et angle

Resolution point de 50 μm

Trigger muon niveau 1

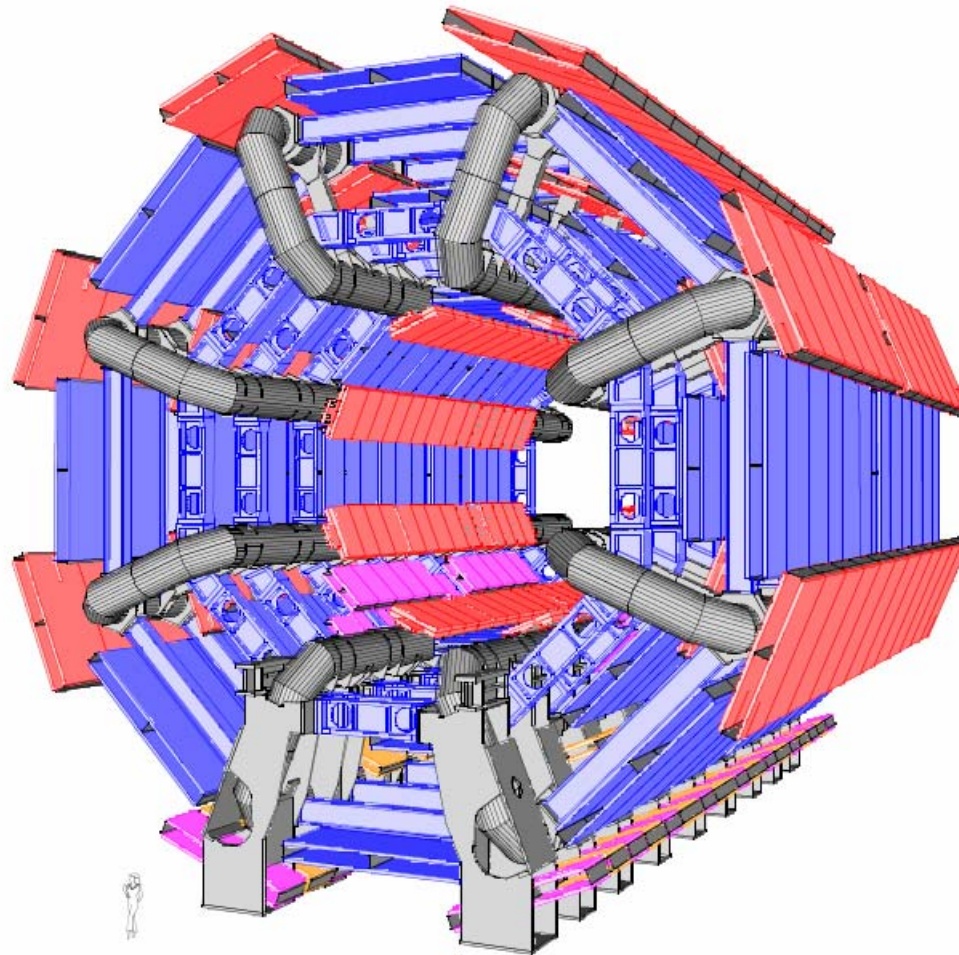


Identification du croisement 40 MHz- 25ns

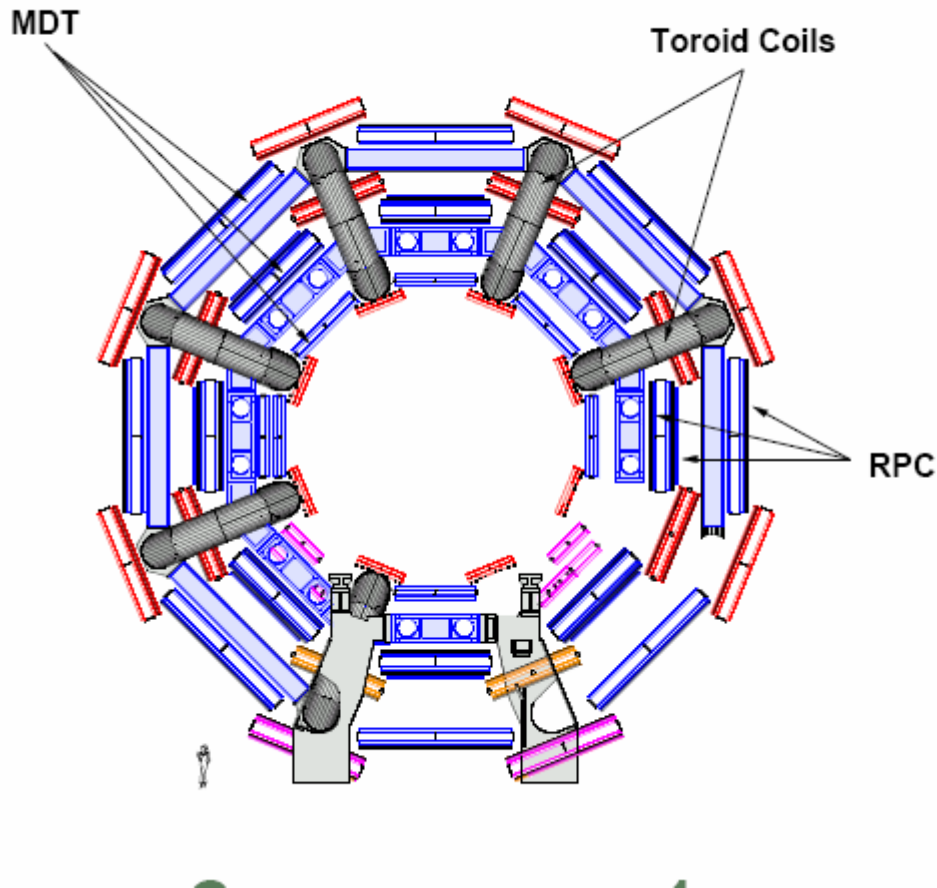
Low P_t 2 plans voisins
Haut P_t 1 plan supplémentaire

Zone touchée → régions d'intérêt niveau 2

ATLAS Barrel Muon



ATLAS Barrel Muon



640 MDT monitored drift tubes
(précision)

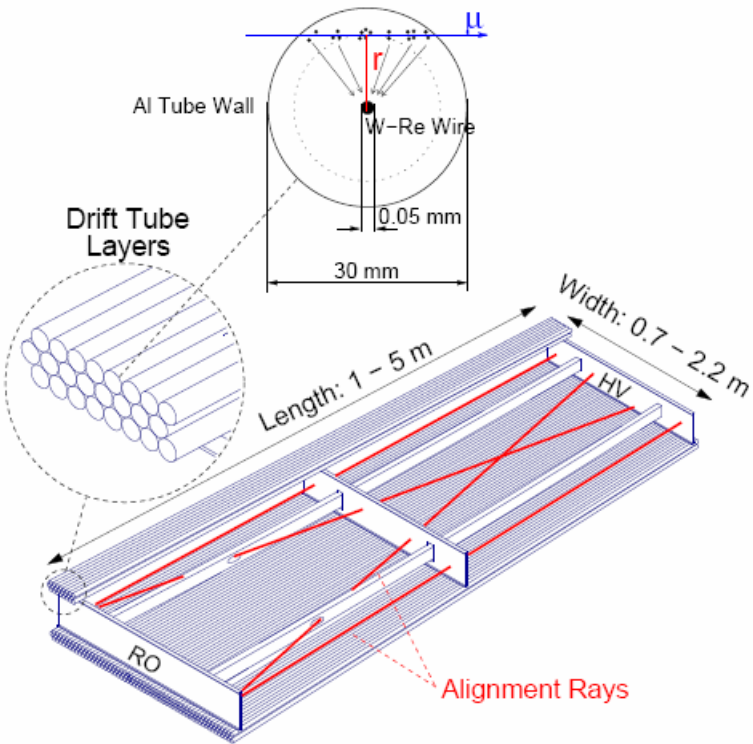
686 chambres trigger
RPC resistive plate chamber

2 Plans milieux, 1 plan externe

Aimant toroidal
D interne 9.4 m
D externe 20.1m
Longueur 25.3 m

Champ intégré 2-6 Tm
Energie stockée 1080 MJ

MDT



Taille 0.5- 11 m²

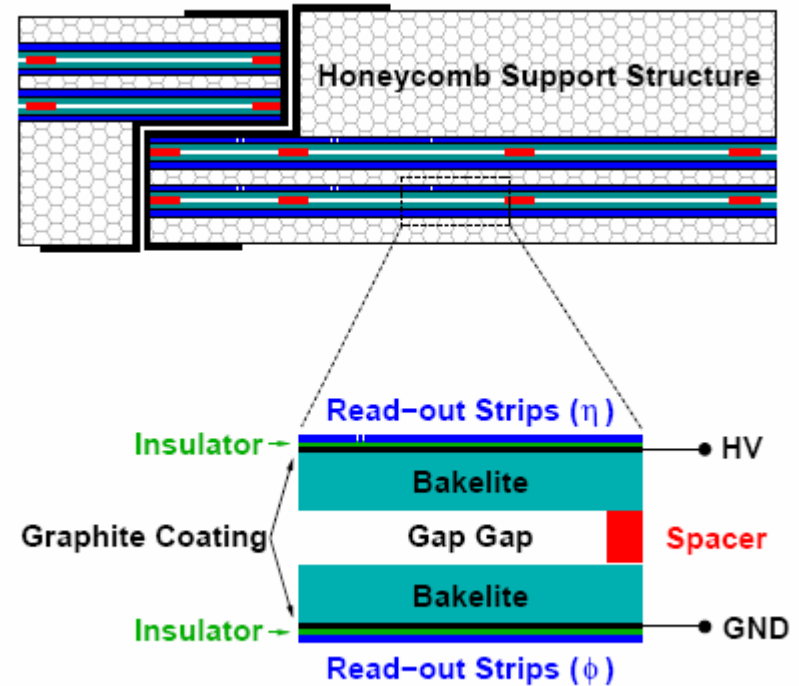
2 multi couches de 3 ou 4 couches

48 – 432 tubes à dérive

Temps de dérive 700 ns

Resolution 80 μm

RPC



2 Gaps/chambre

Gap 2 mm

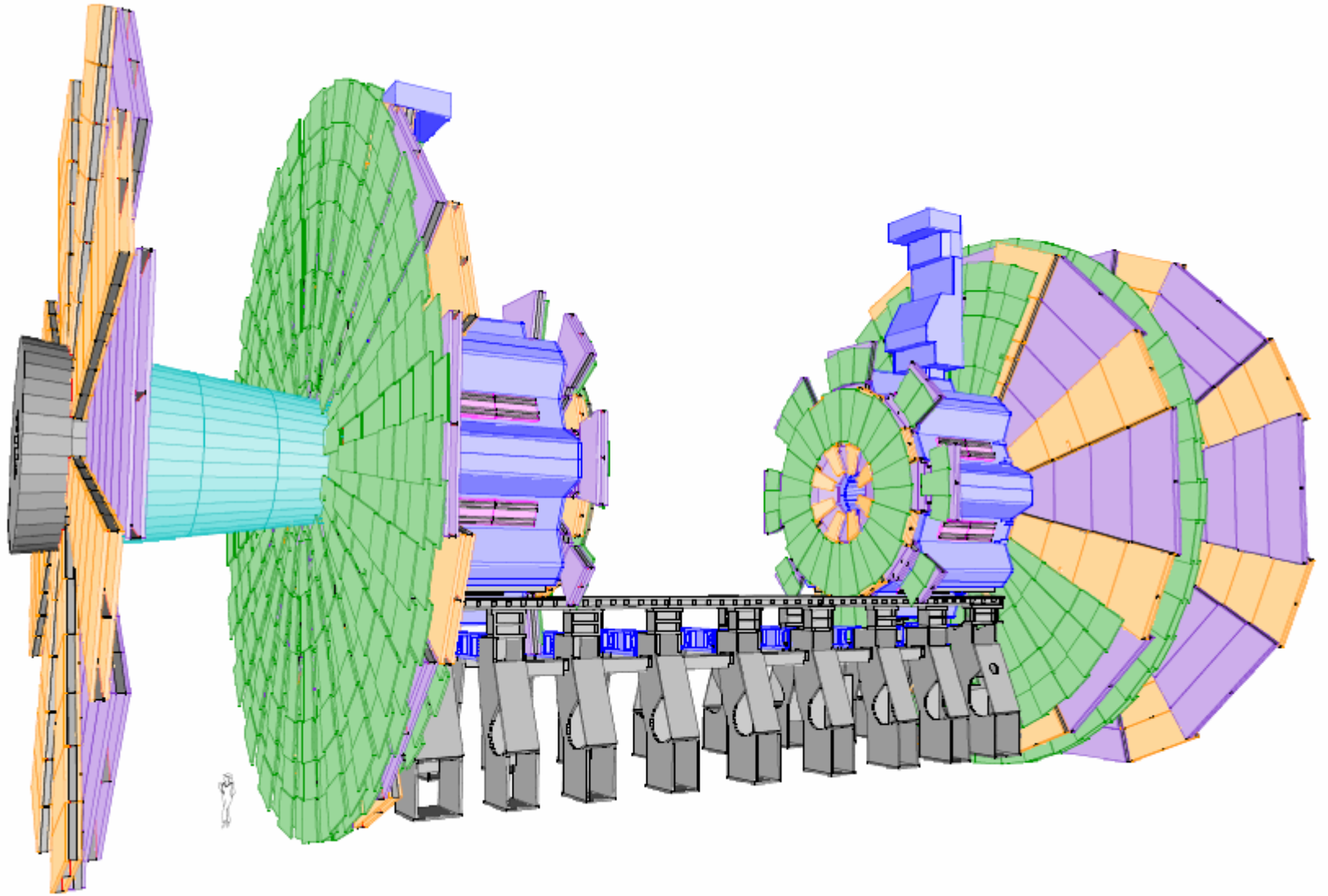
HV 9600 V

Mode avalanche

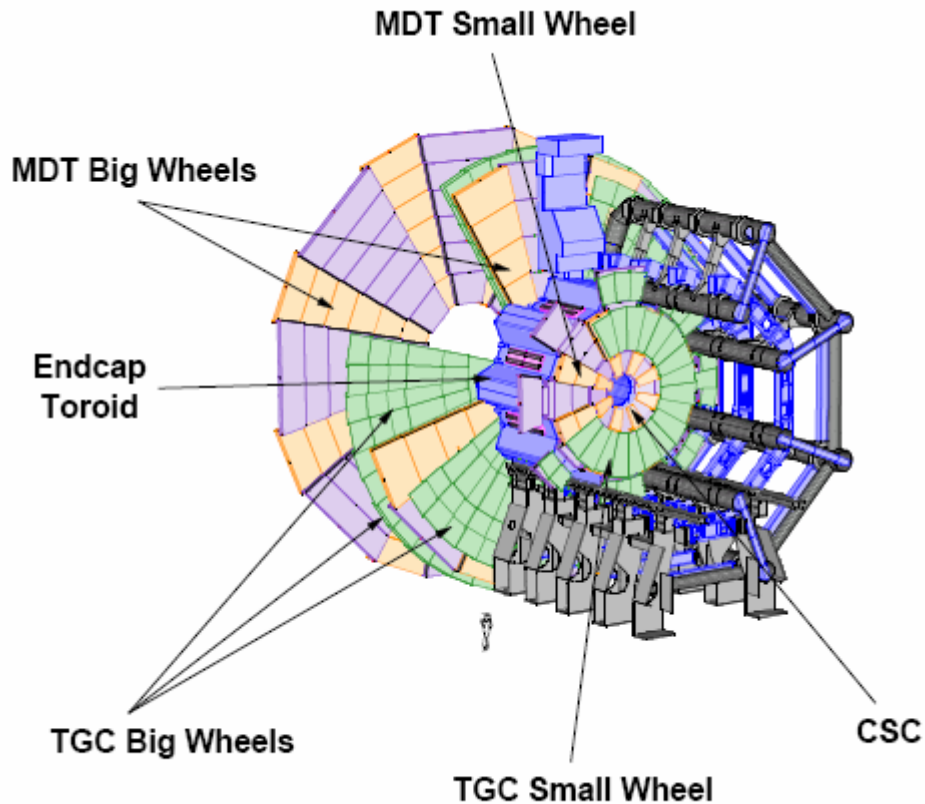
Resol temps qq ns

espace ~ 1 cm

ATLAS End Cap Muons



ATLAS End Cap Muons



534 chambres de précision:

- 470 MDT
- 64 CSC (cathode strip chambers)

1578 chambres trigger:

TGC thin gap chamber

- 2 couches BW
- 1 couche SW

Aimant toroidal:

D interne 1.7 m

D externe 10.7 m

Longueur 5 m

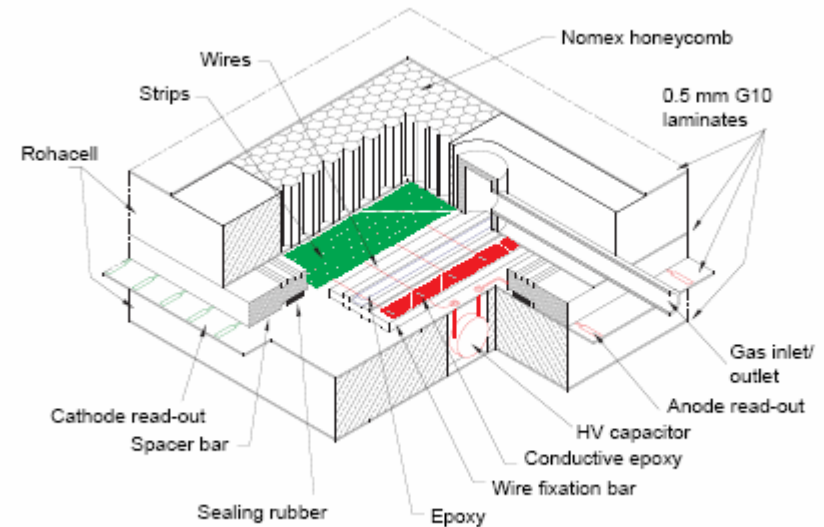
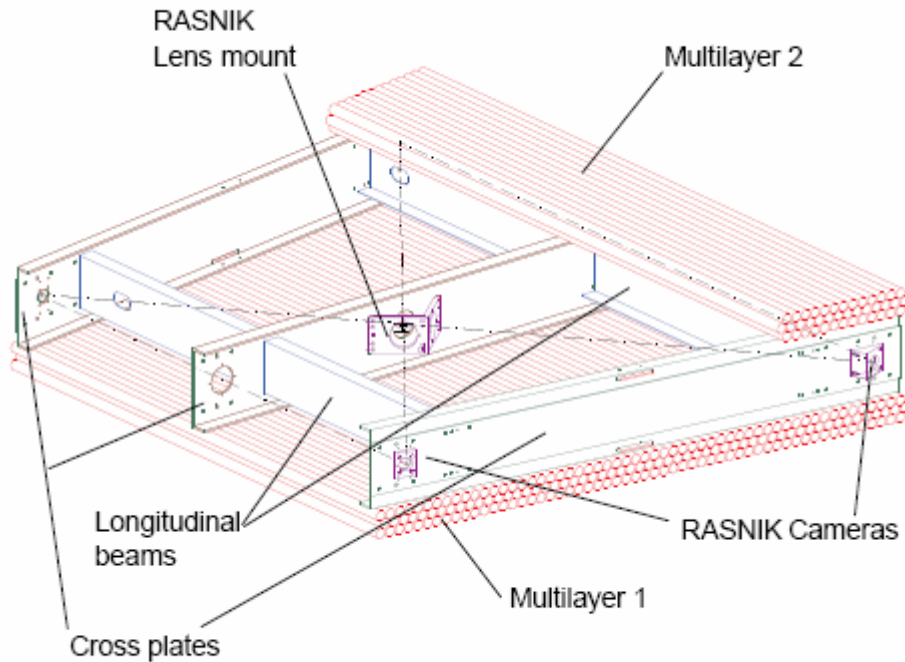
Champ intégré 4-8 Tm

2 x 250 MJ

ATLAS End Cap Muons: Détecteurs de précision

MDT

CSC



Comme Barrel mais forme trapézoidale

Taille 2-10 m²

Forme trapézoidale, taille 1 m²

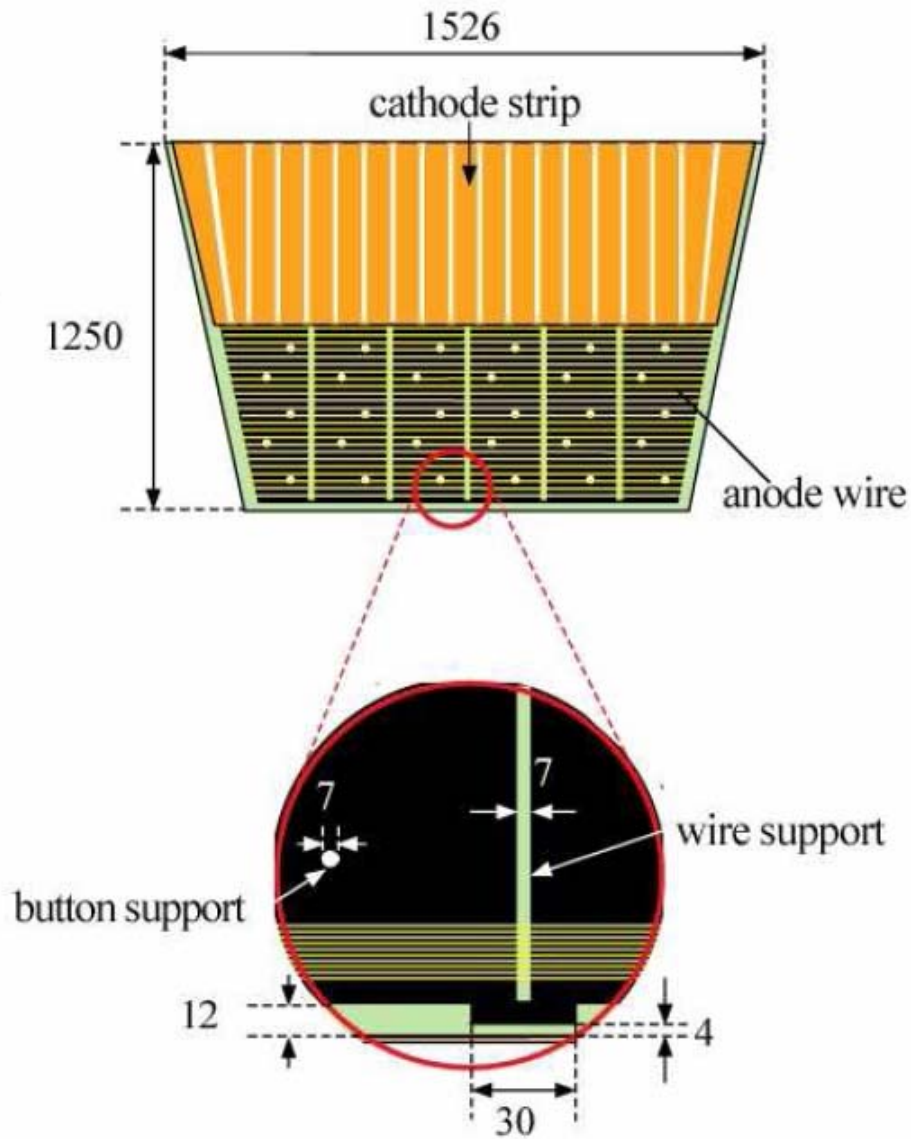
Unités de 2 x 4 couches

Gap et ws 2.54 mm

Lecture cathode 2-D avec interpol. de charge

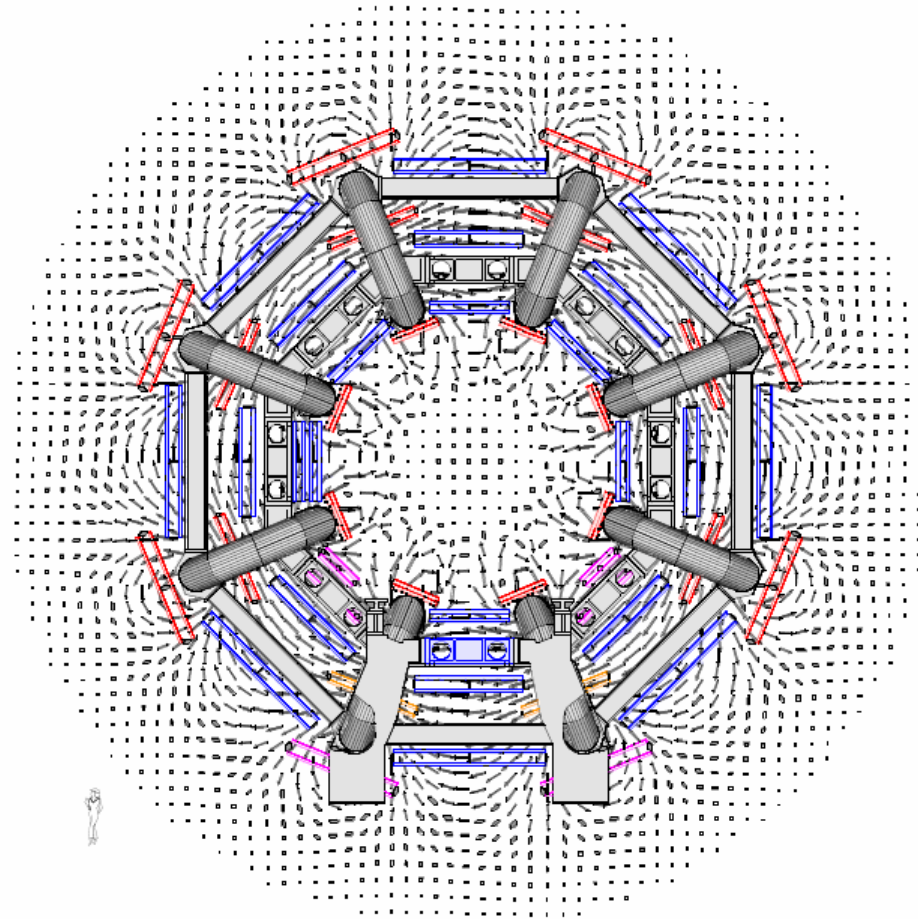
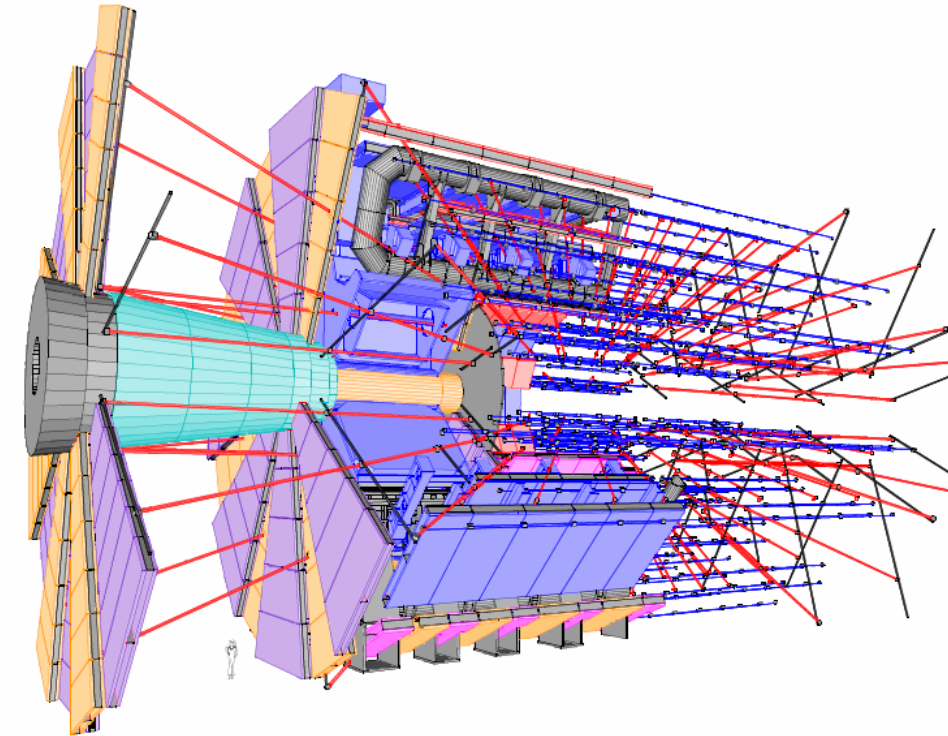
Résolution 60 μm

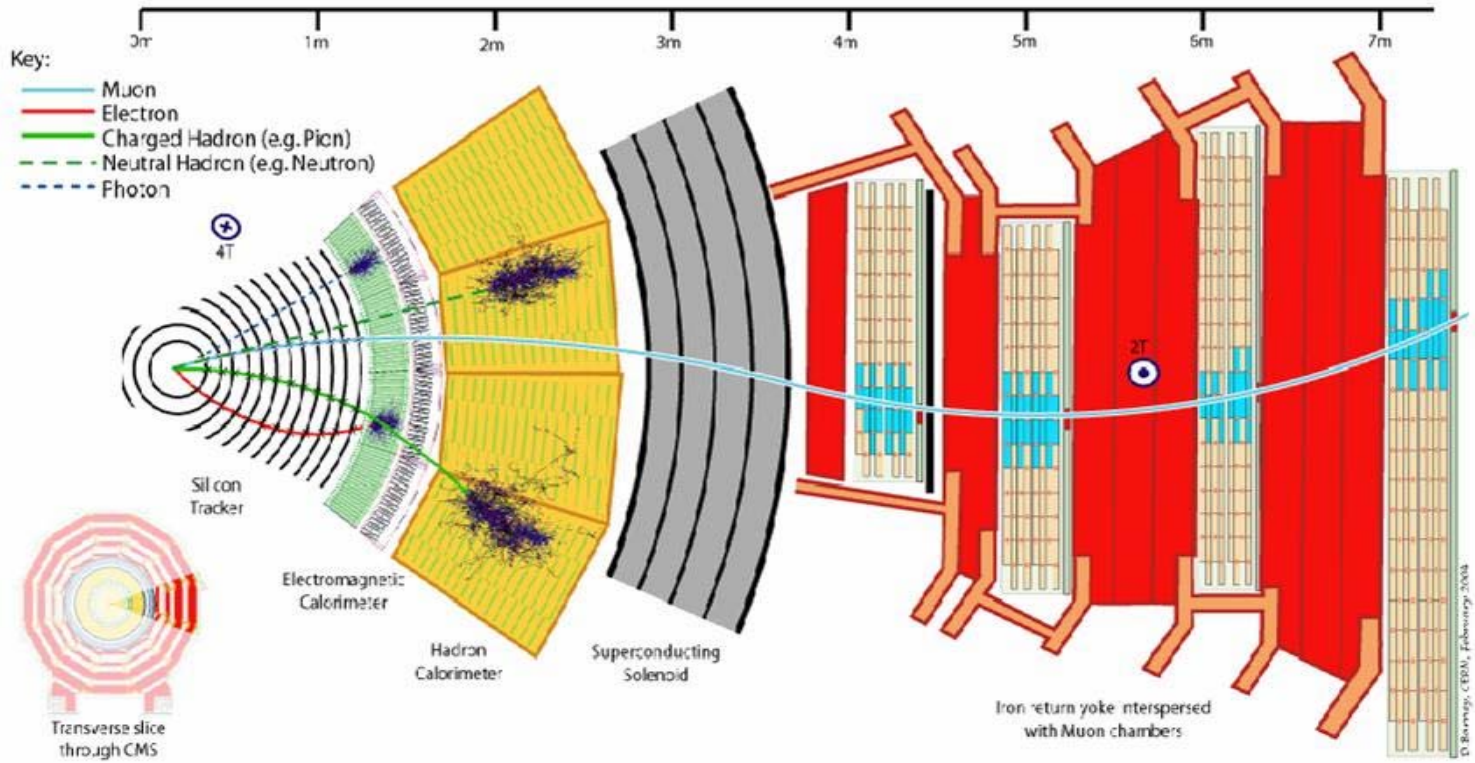
TGC :Thin Gap Trigger Chambers



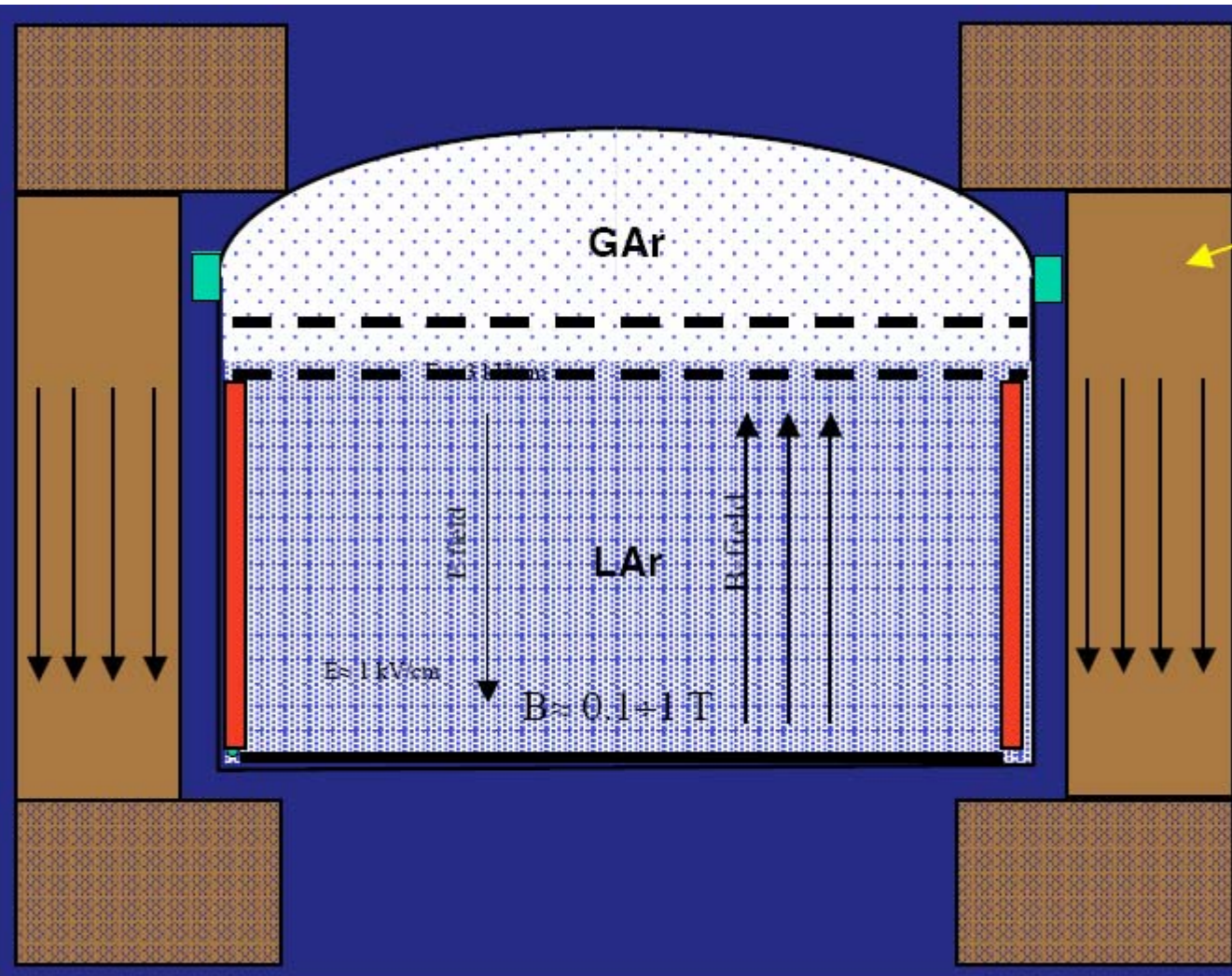
- Chambres proportionnelles multifils
 - 1 – 3 m²
 - Doublets ou triplets
 - Support nida
 - Ws 1.8 mm, gap 1.4 mm
 - Fils anode 50 mm
 - Lecture 2D fils et strips
-
- Fils groupés

Alignement et champ magnétique





TPC ARGON LIQUIDE



A. Rubbia 2005 - 2006

Conclusion

Identification = procédure complexe

- Spécialement pour π k p
- Pousse l'instrumentation au max
- Nécessite l'utilisation conjointes de plusieurs techniques/méthodes → maîtrise analyse, simulation & méthodes statistiques
- Fait appel a des vieux phénomènes mais avec des techniques nouvelles (photo détection)

Il reste encore beaucoup de travail....