

# **Identification des particules**



## **ECOLE IN2P3 DU DETECTEUR A LA MESURE**

Roscoff 13-21 juin 2007

P. Siegrist CERN-PH

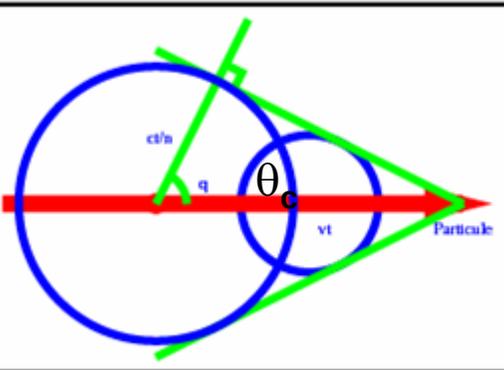
# Définitions

- **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  $\pi^0$**  → gerbes électromagnétiques dans les calorimètres.
- **Les Muons**: parcours et pouvoir de pénétration spécifique
- **Hadrons chargés ( $\pi$ , 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**

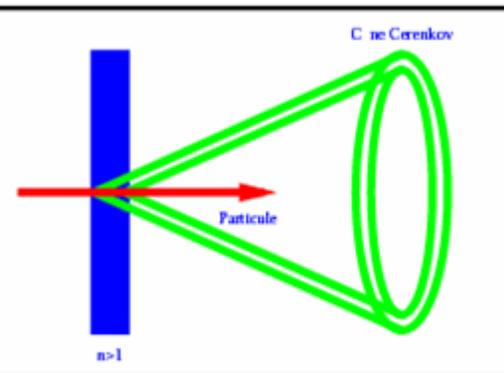
# Effet Cerenkov Č



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  $\theta_c$  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  $v_{\text{lim}} = c/n$



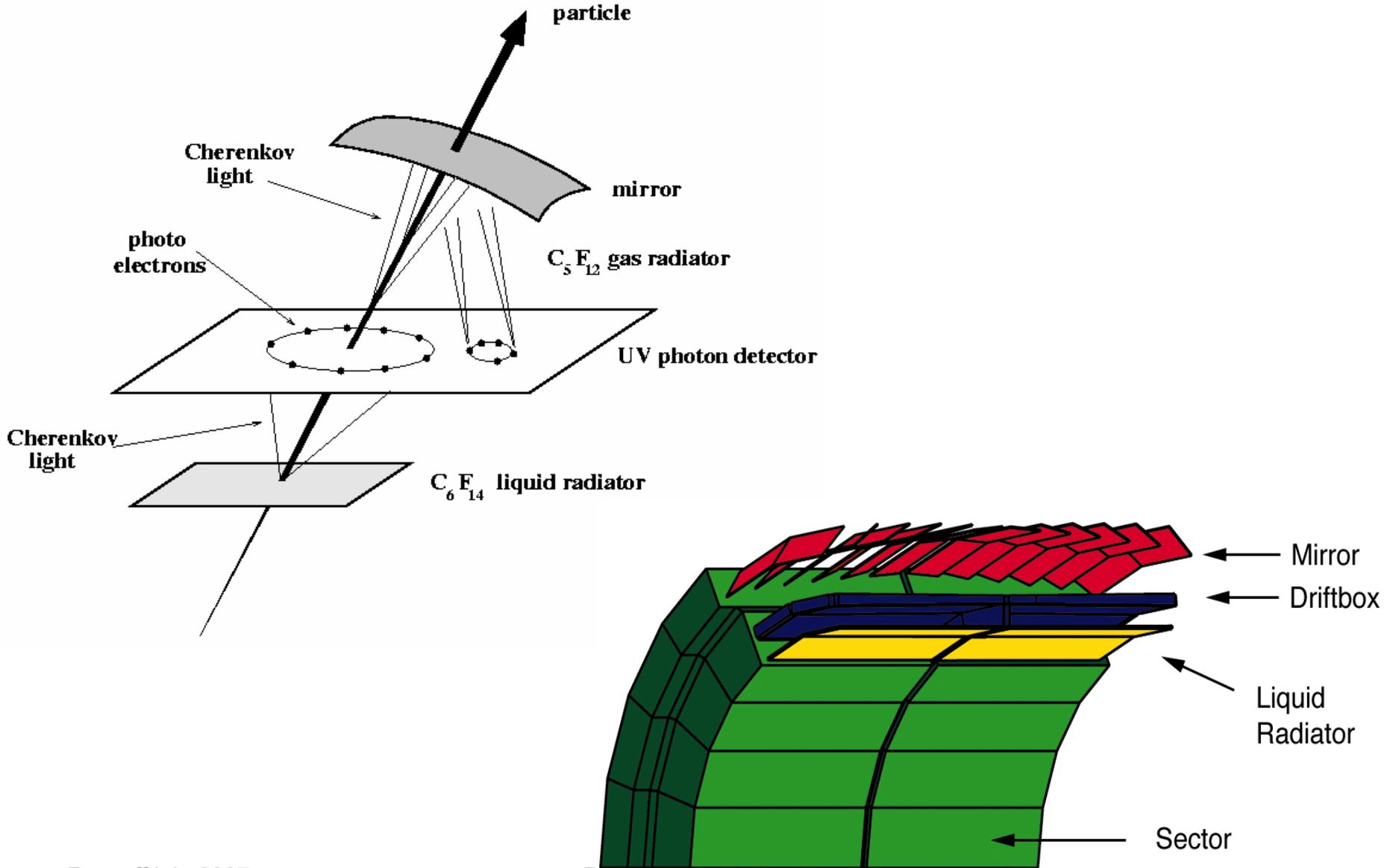
Pour un milieu d'indice fixe on peut sélectionner les particules en prenant toutes celles qui ont  $v > v_{\text{lim}}$

→ Č à seuil

Avec des optiques sélectionnant les  $\theta_c$  (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 (C<sub>6</sub>F<sub>14</sub>)
- 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...

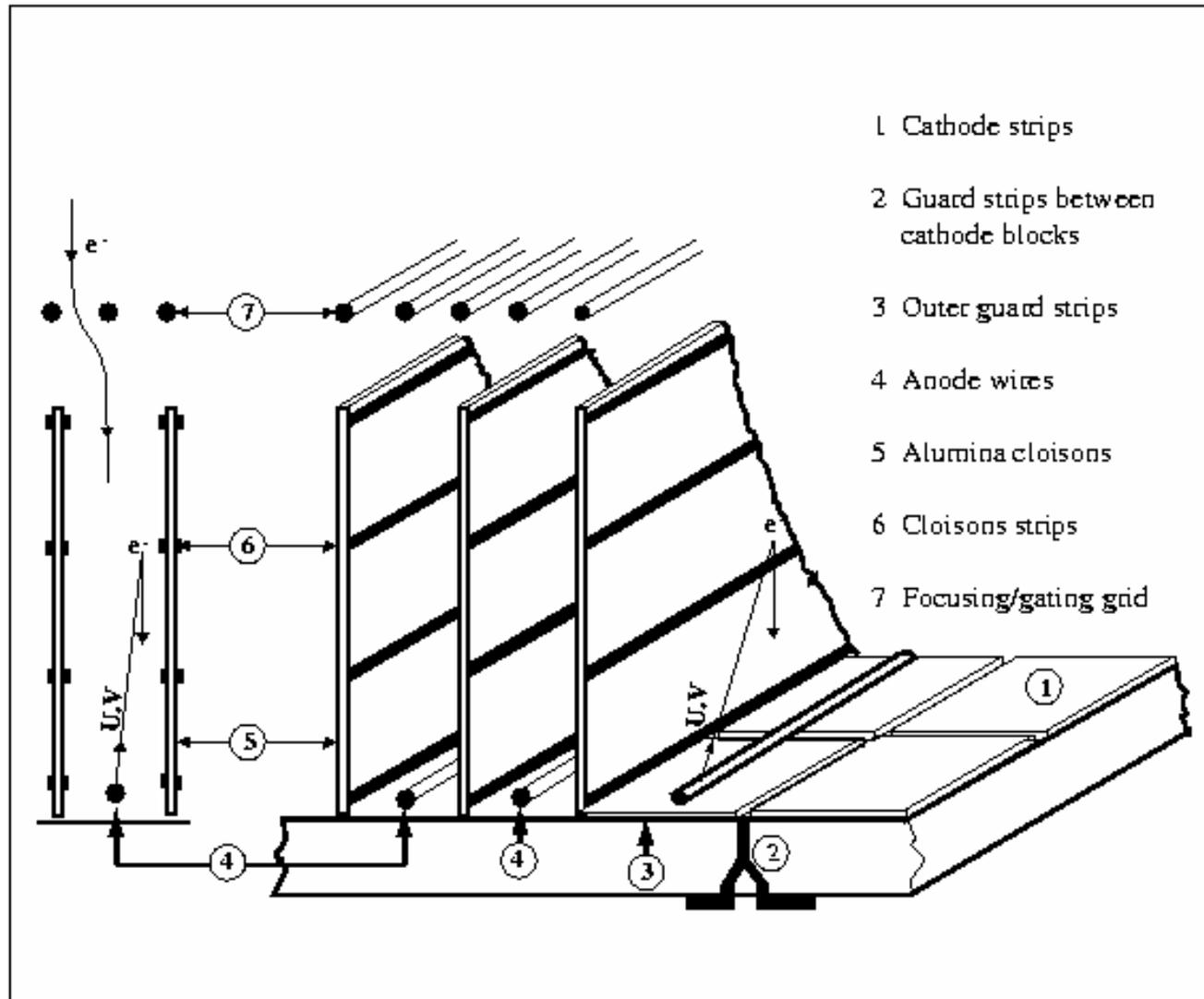
## **Le détecteur de photons du Barrel RICH**

- Le gaz de dérive est un mélange de 80% Argon (Ar) et 20% Méthane (CH<sub>4</sub>) 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**

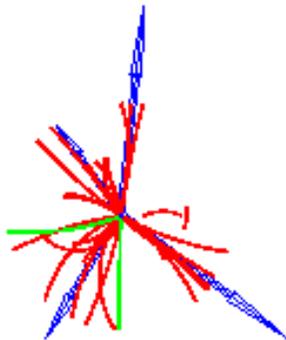
- 128 fil d'anode par chambre, total de 48 chambres, 8\*16 strips par chambre
  - Distance entre fils d'anode 2.62 mm. Diamètre du fil 20 micron.
  - Multiplicité moyenne de l'avalanche d'électrons induite par 1 photoélectron = 10\*\*5

# Chambre Proportionnelle BRICH

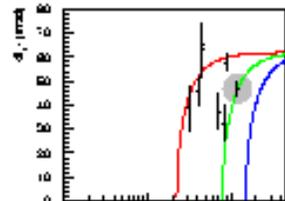


# Paramètres Delphi B-RICH

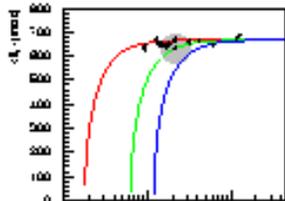
- Longueur Détecteur =  $2 \times 154$  cm ( $z > 0, z < 0$ ), 500 3M $\Omega$  Chaîne de Résistances, VHV = 54 000 V.
- Radiateur Liquide Indice :  $n = 1.2718$ , Radiateur Gaz Indice :  $n = 1.00198$
- 288 Miroirs au total, 24 m<sup>3</sup> de Radiateur Gaz,
- 48 Radiateurs Liquides(C<sub>6</sub>F<sub>14</sub>) (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



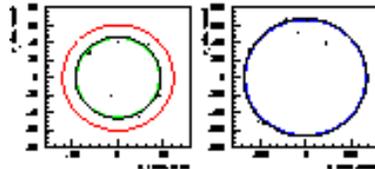
Kaon Gas Radiator



Kaon Liquid Radiator

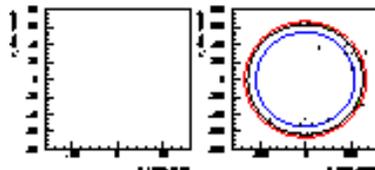
**Kaon 11.8 GeV/c**

Gas Radiator: Ring identification  
Liquid Radiator: Ambiguous

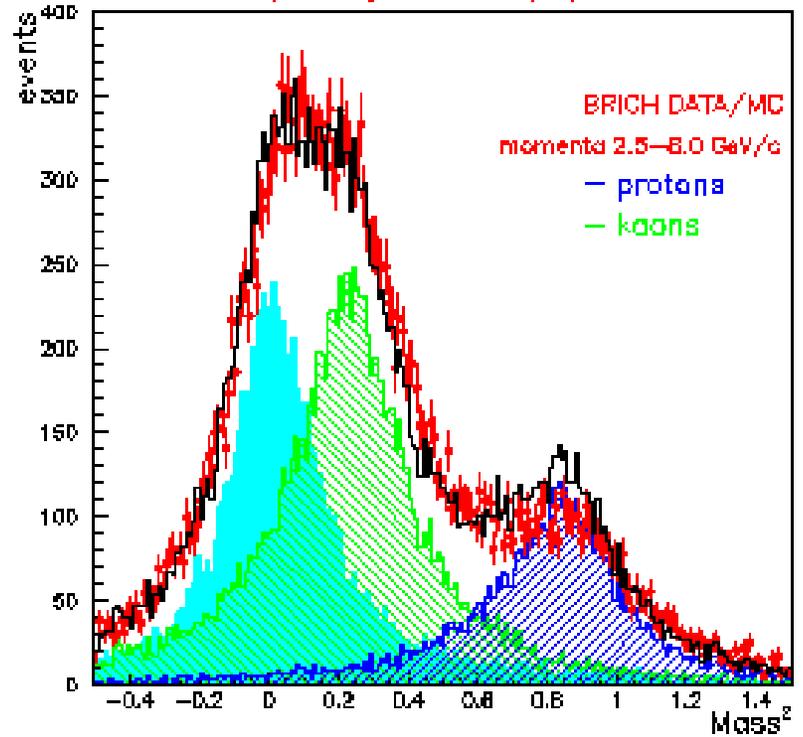


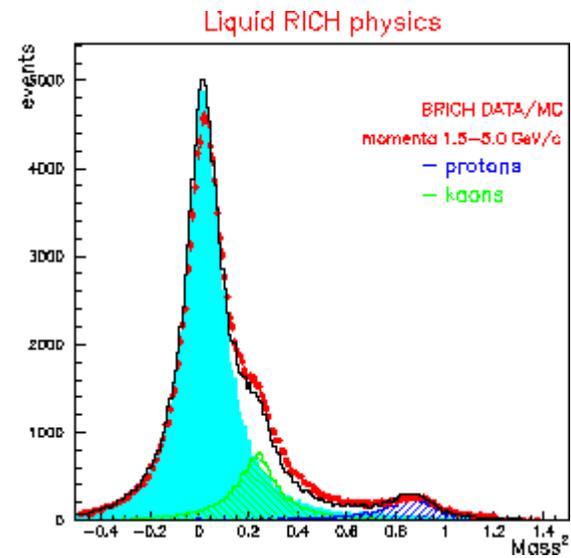
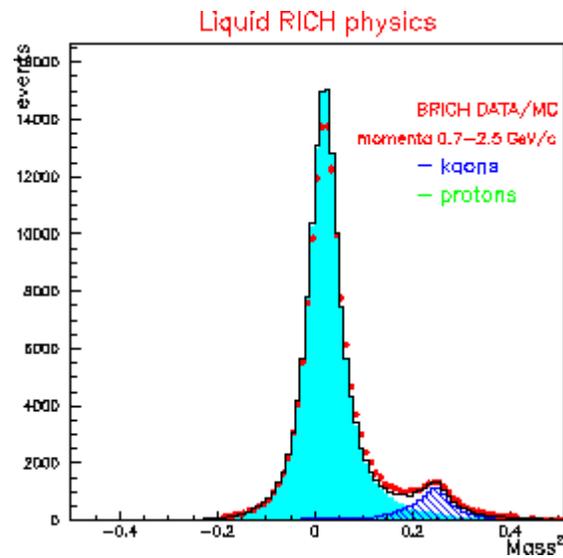
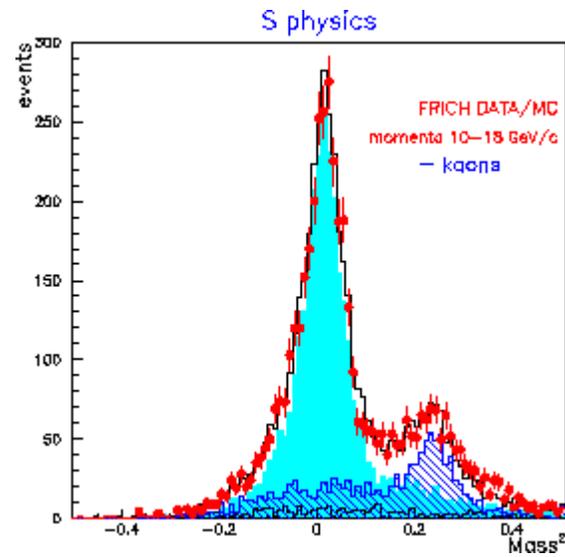
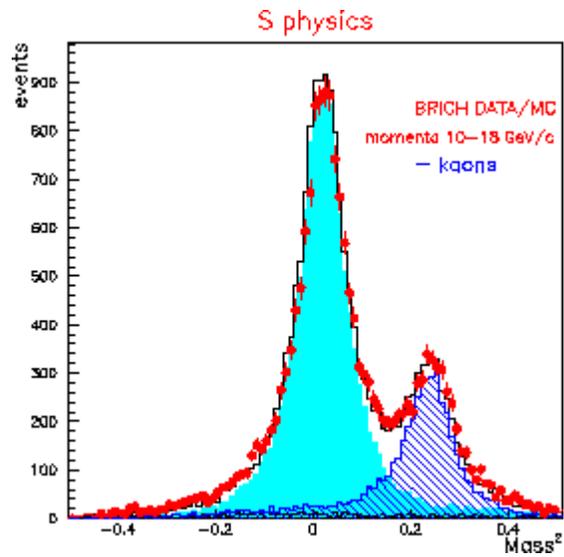
**Kaon 2.2 GeV/c**

Gas Radiator: Velocity identification  
Liquid Radiator: Ring identification

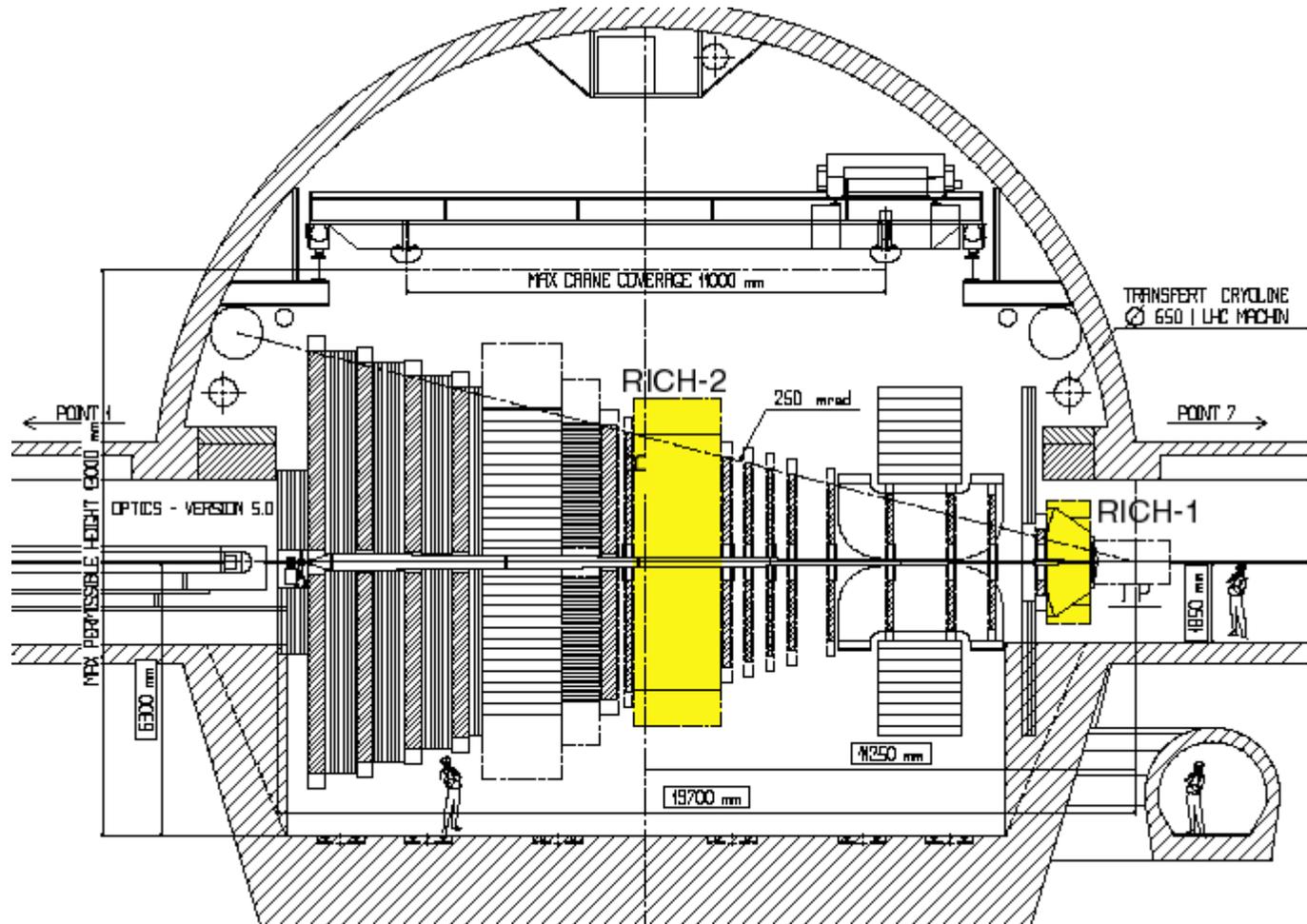


Liquid-gas RICH physics





# RICH à LHCb



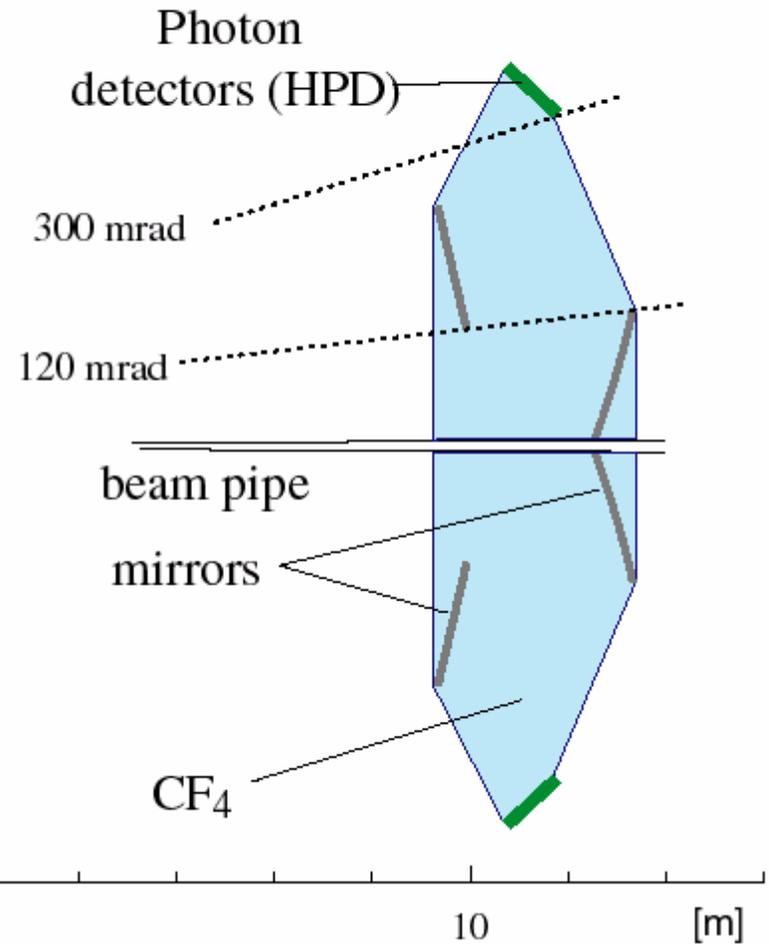
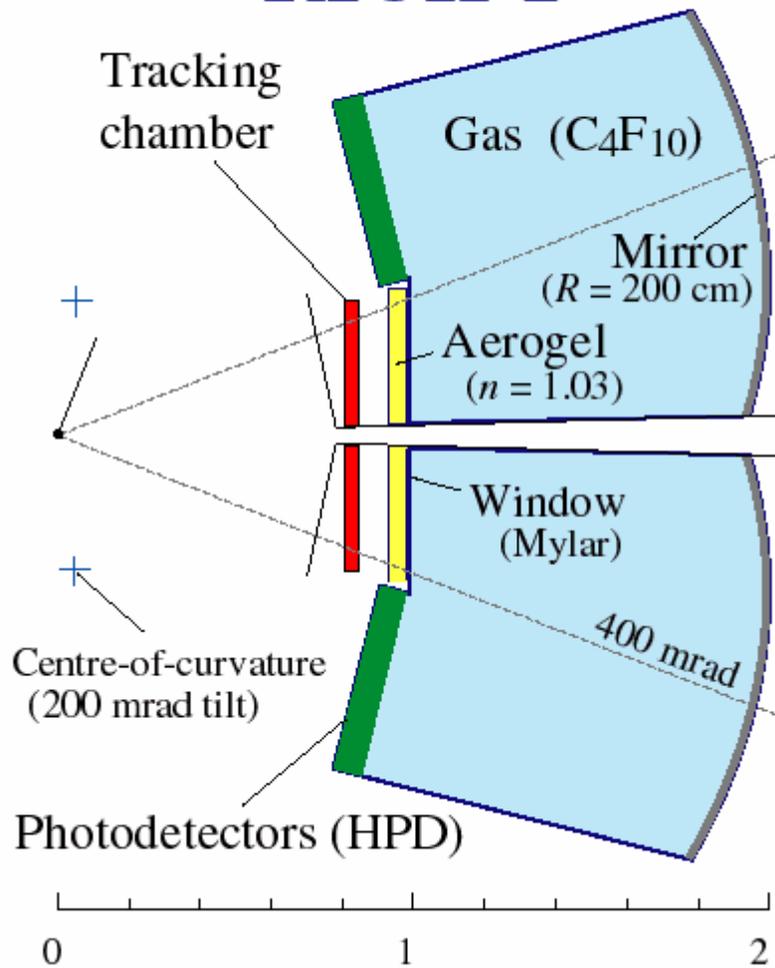
Gamme p 1 - 150 Gev

10 – 30 mrad

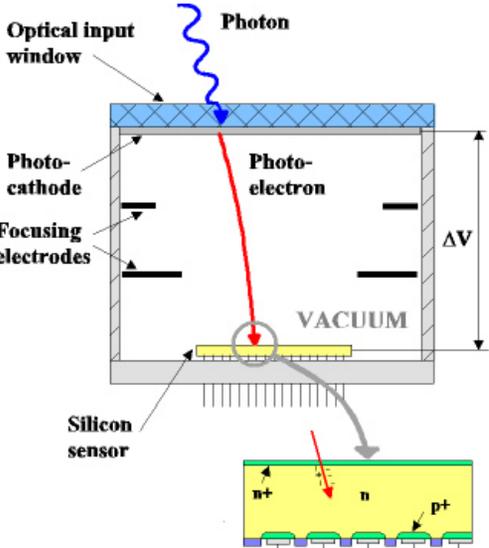
**RICH-1**

Top View

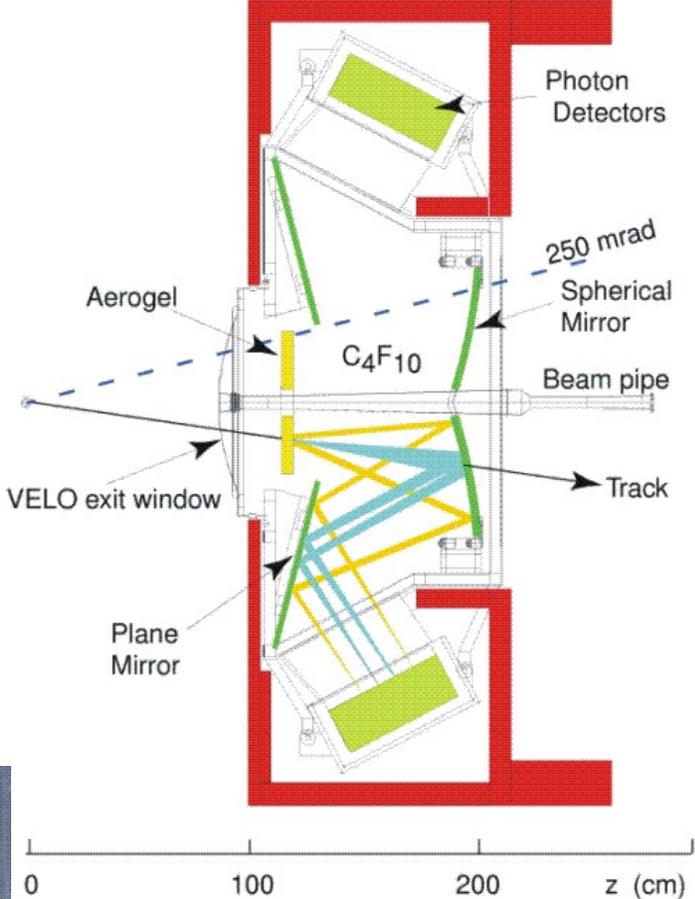
**RICH-2**



# LHCb RICH 1



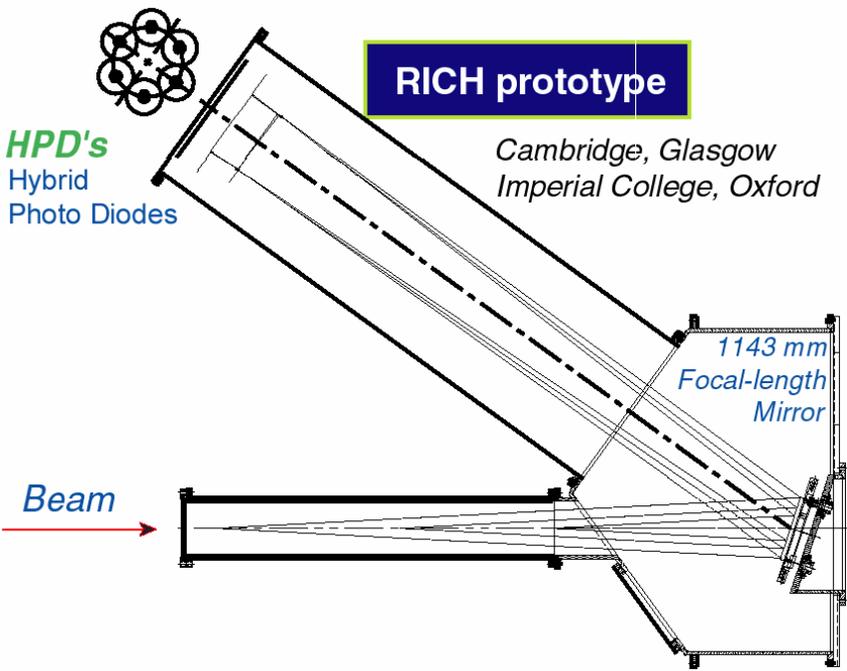
The photodetector planes will cover a total area of  $2.6\text{m}^2$  with a granularity of about  $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ .



Roscoff juin 2007

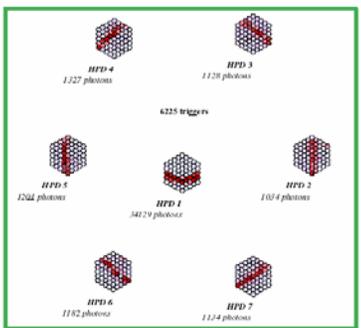
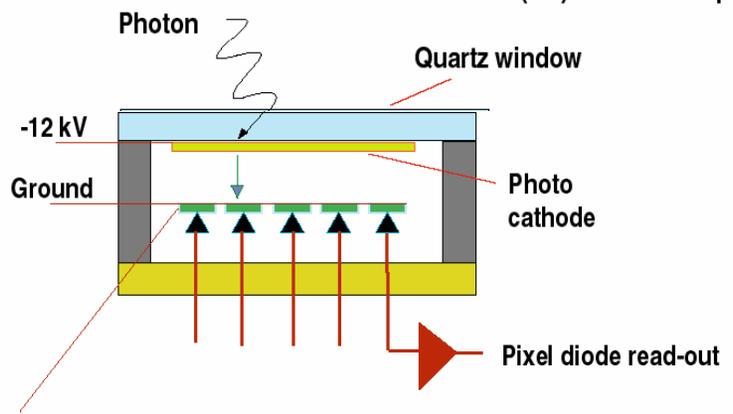


P. Siegrist CERN-PH

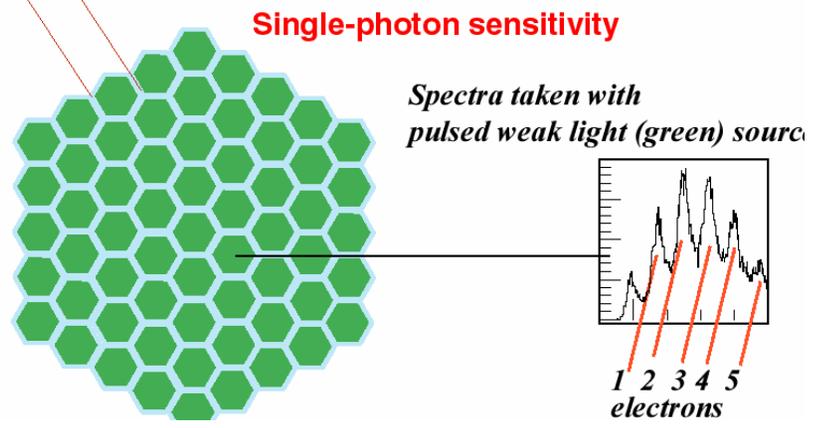
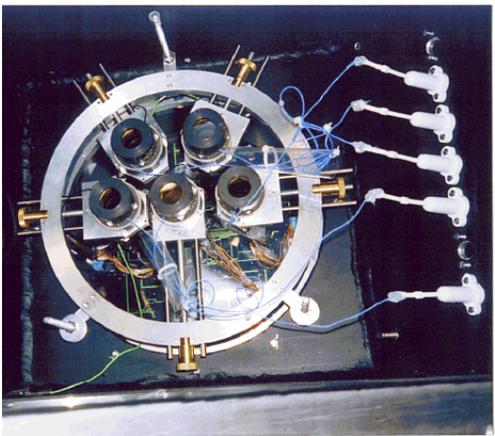


**Hybrid Photo Diode:**

61-pixel diodes : 2 x 2 mm<sup>2</sup>  
DEP (NL) + UK development

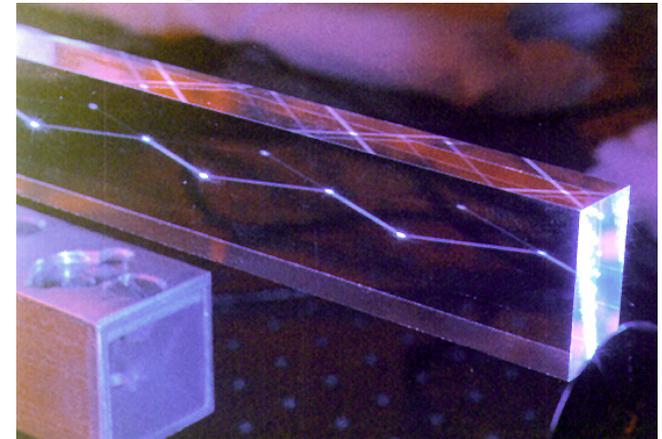
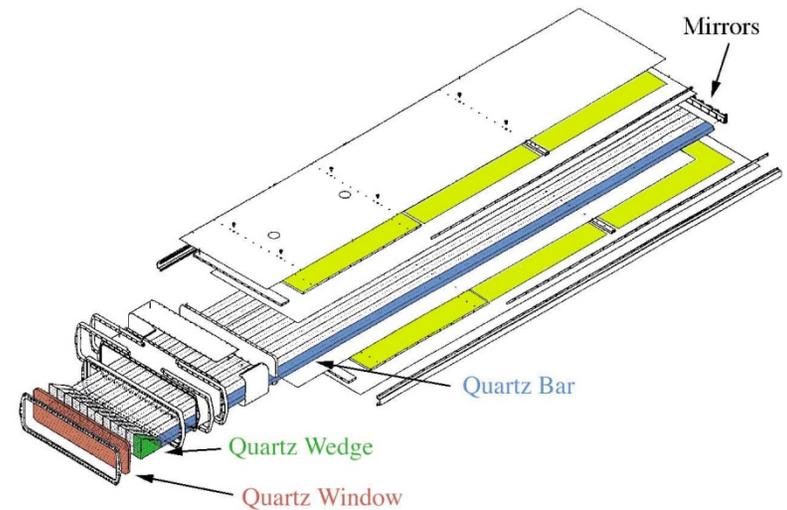
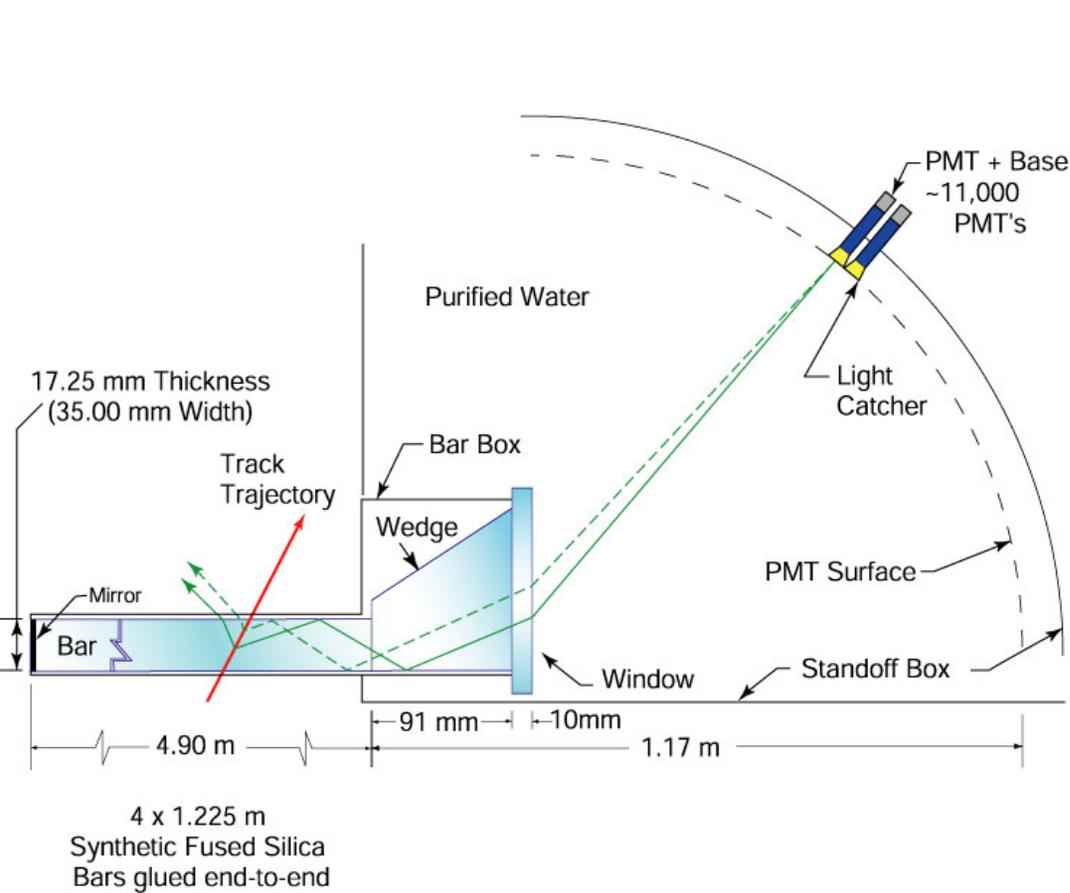


Display of the hits in a run taken with a pion beam, showing the rings from aerogel and C<sub>4</sub>F<sub>10</sub> radiators.

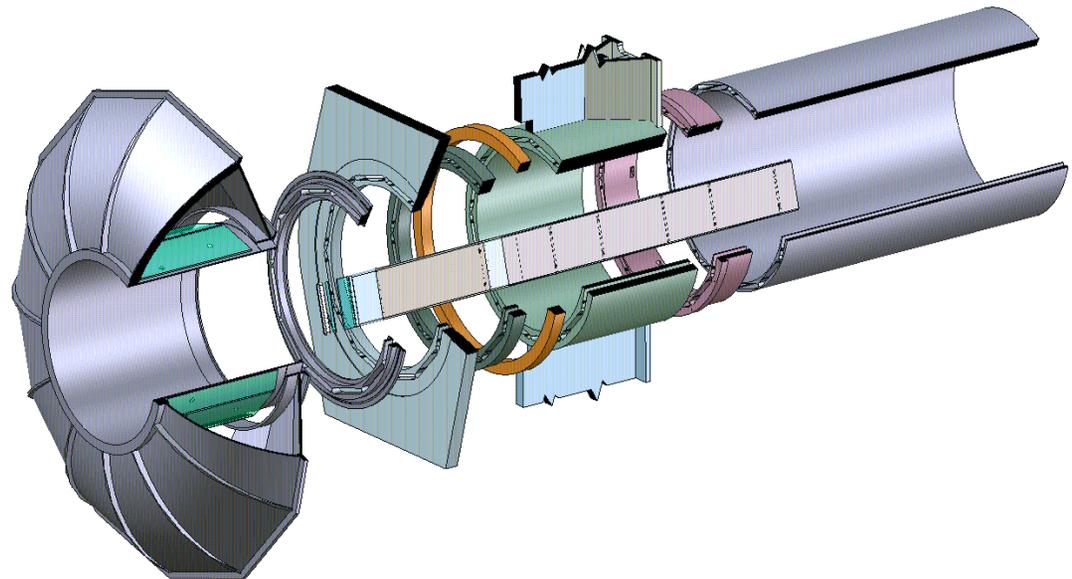
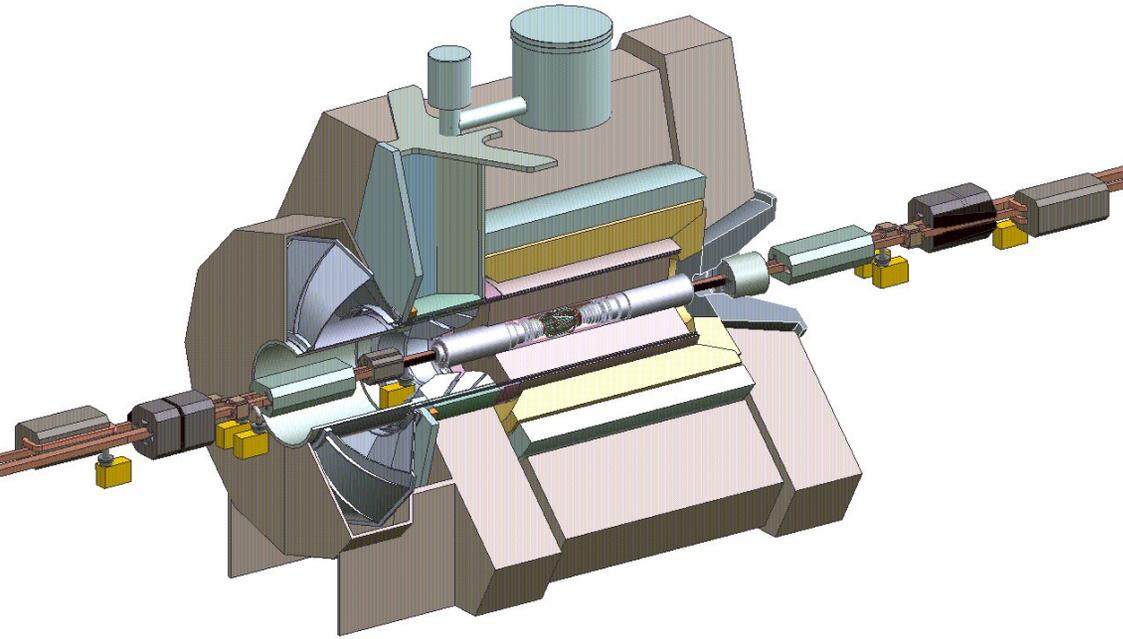


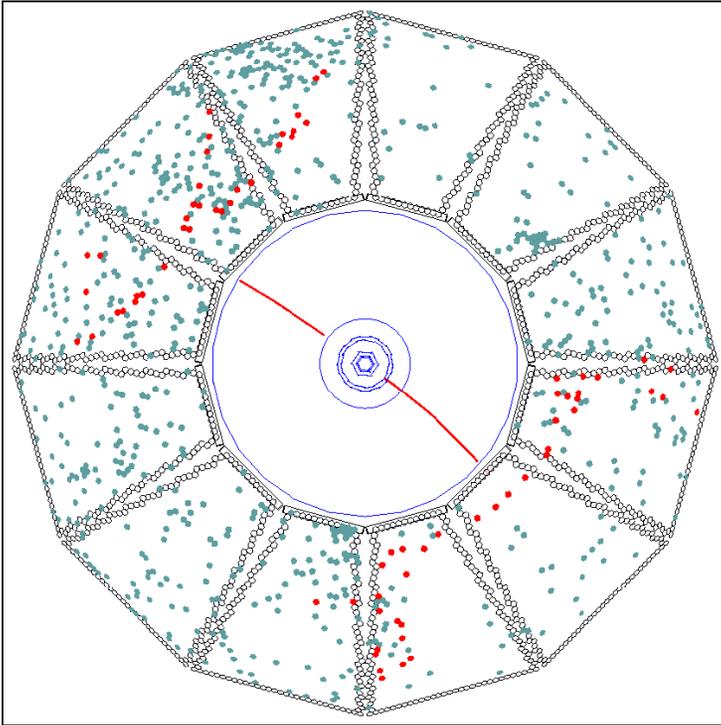
# Dirc BaBar

## Detection of Internally Reflected Cherenkov light



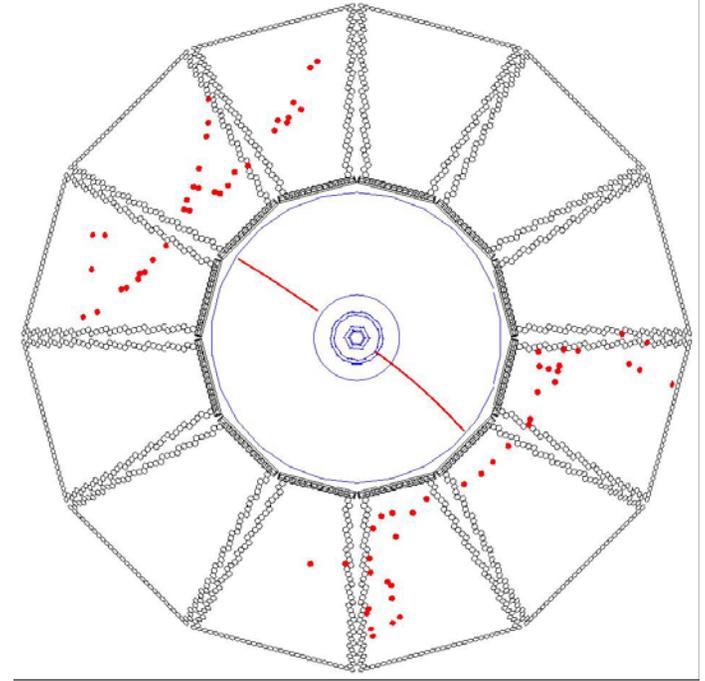
# BaBar et DIRC





Anneaux

Track  
TOF →

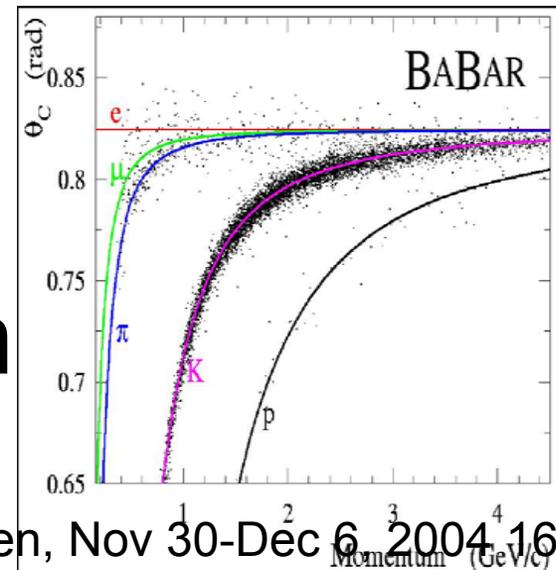
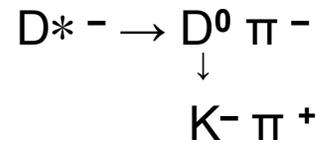
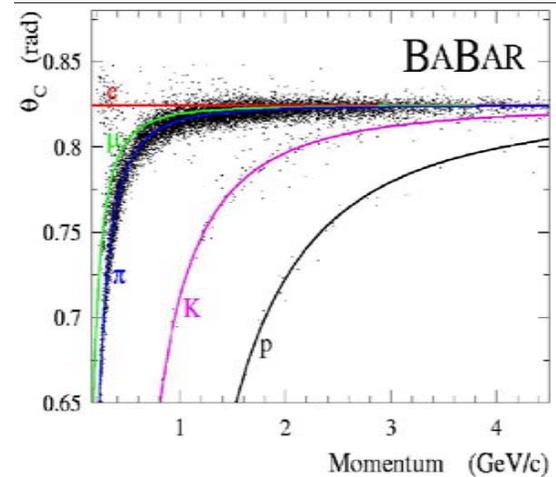
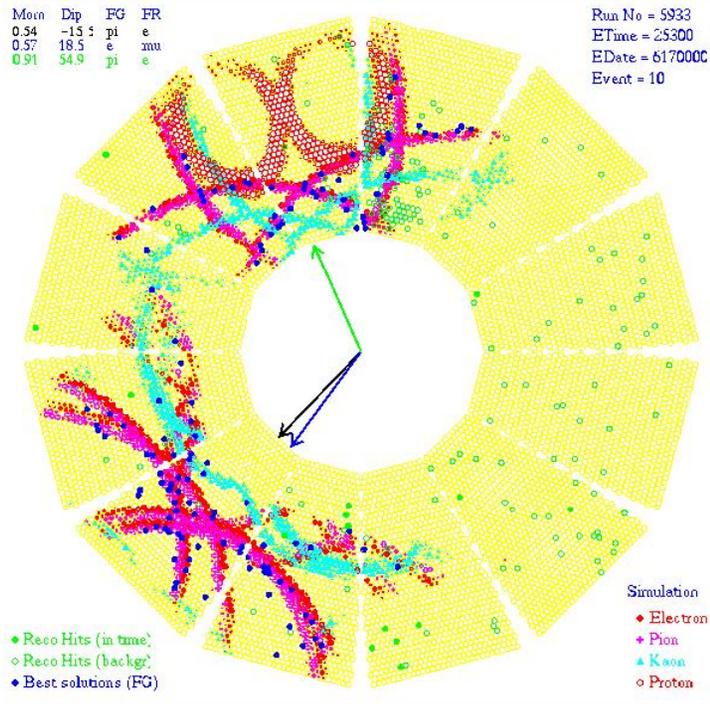


Problèmes



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

# Simulation



# Ca marche !

# Probabilite d'identification

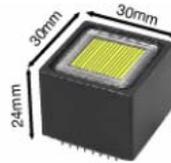
Evts  
reconnus

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

# Futur?

PMT

HPK R5900-U-L16

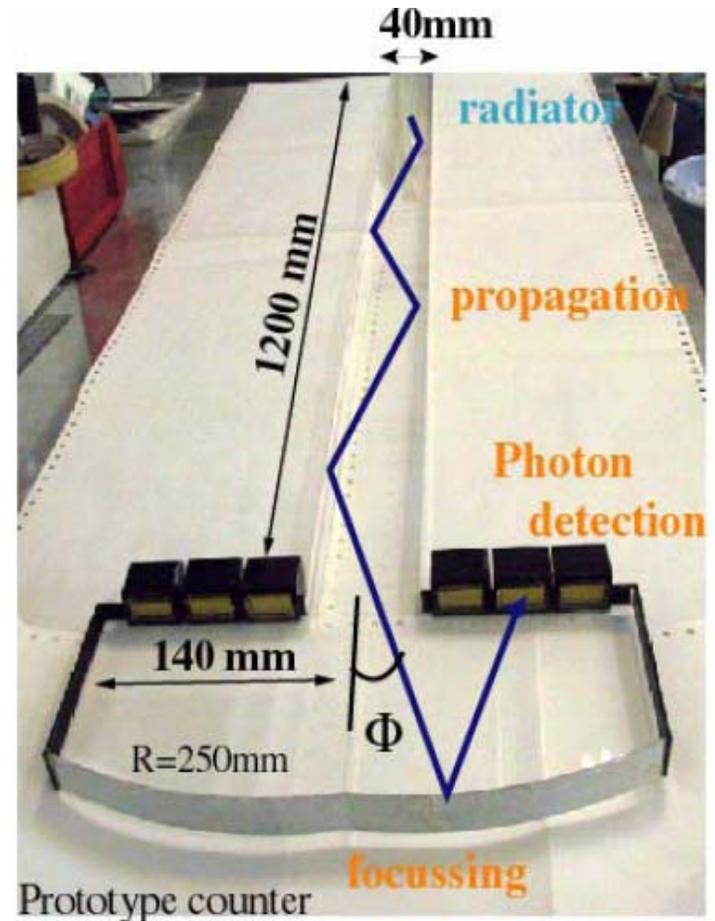
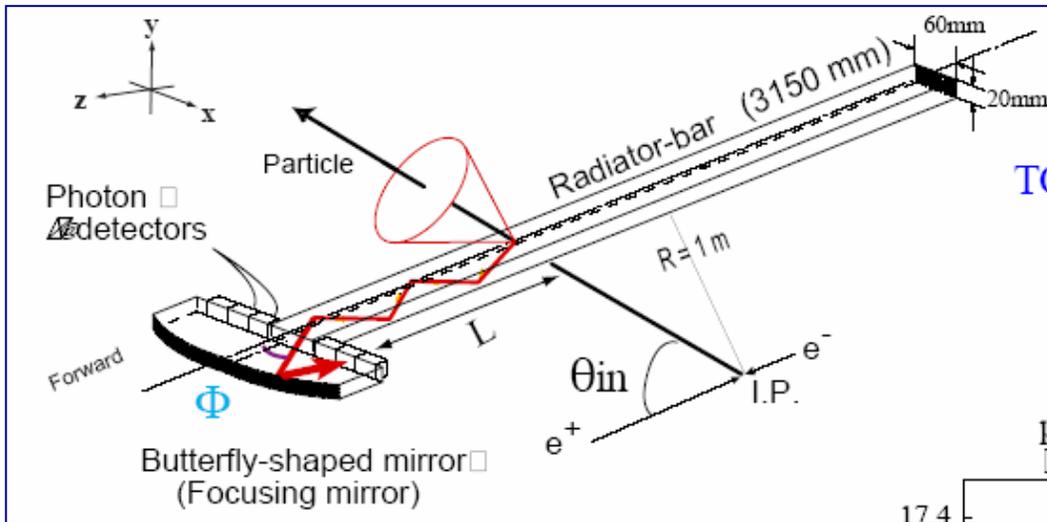


$\sigma_{T.T.S} = 75\text{ps}$

Linear array 16 anode (1 mm pitch)

effective area = 40%

collection efficiency = 50%

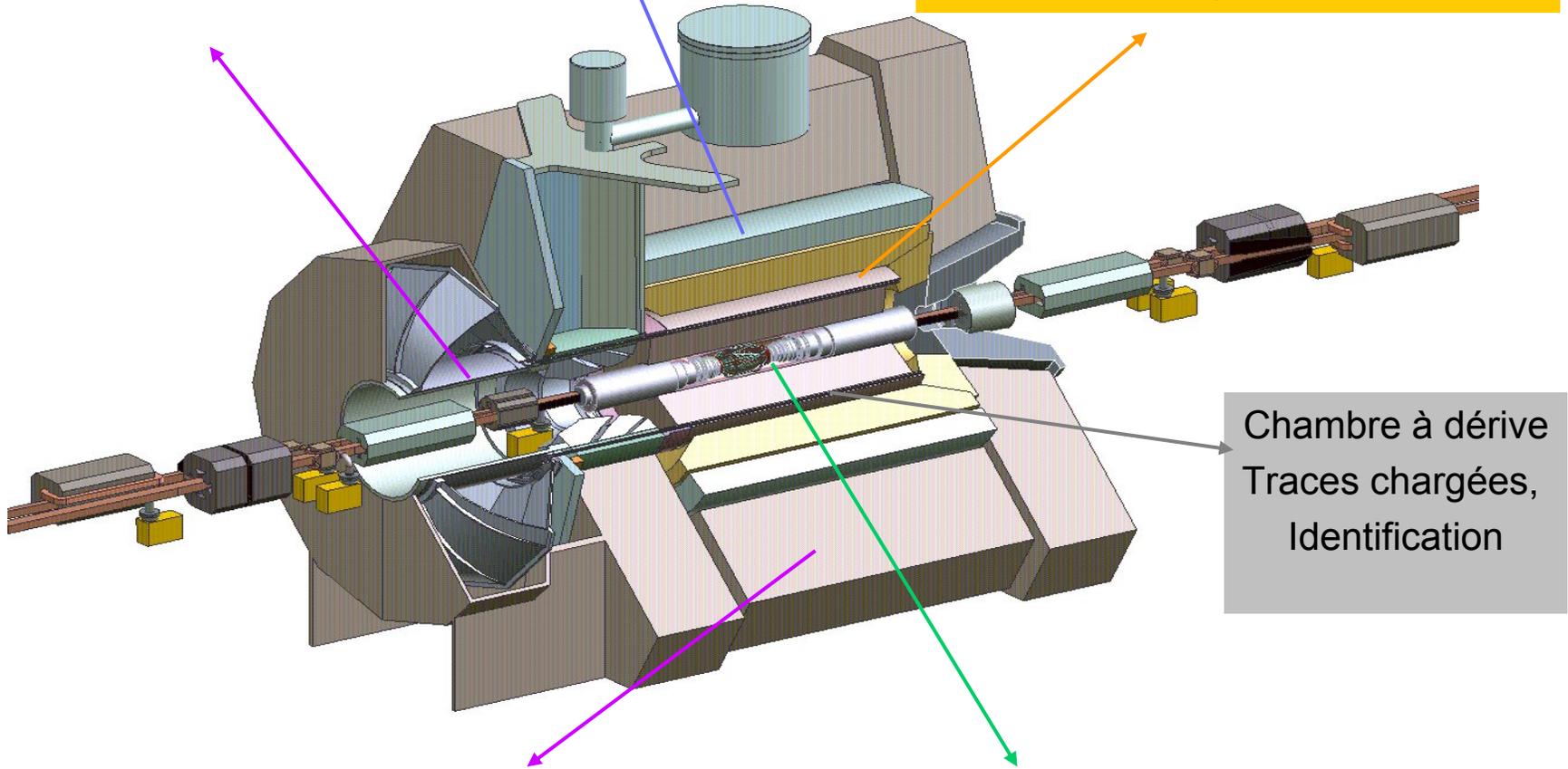


R.J.Wilson Snowmass, Colorado. August 23, 2005

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

Solénoïde 1.5T  $\rightarrow$  P

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



Chambre à dérive  
Traces chargées,  
Identification

IFR (retour de champ instrumenté)  
Identification  $\mu$ , 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  $\gamma$  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  $\gamma$  et tend vers une valeur finie lorsque  $\gamma$  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

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

$\rightarrow$  Augmenter le nombre de feuilles, mais

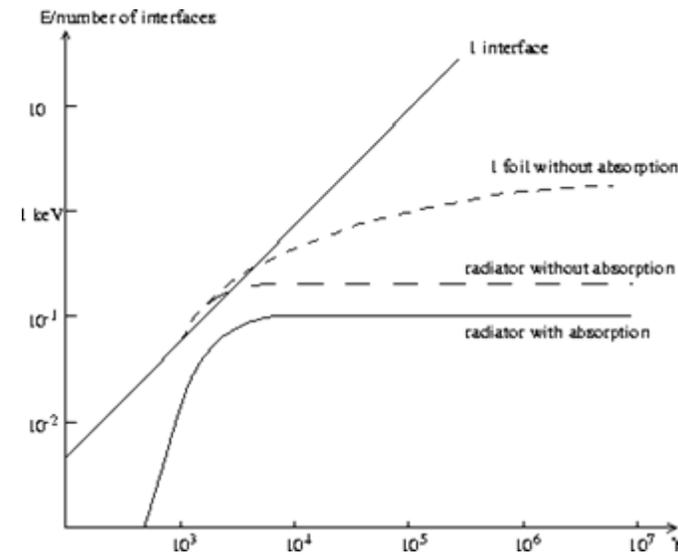
$\rightarrow$  absorption et interférences  $\rightarrow$  limite

$\rightarrow$  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  $\mu\text{m}$  + gaz à faible Z (hélium, azote)

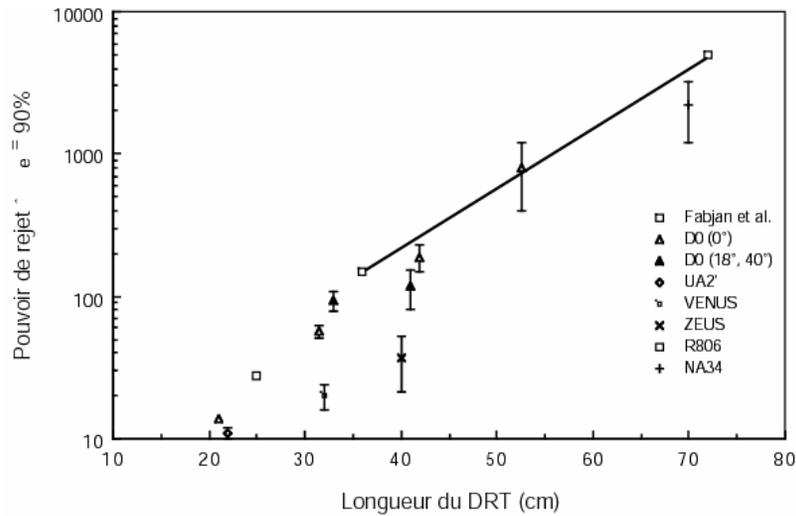


*Ulrik Egede*

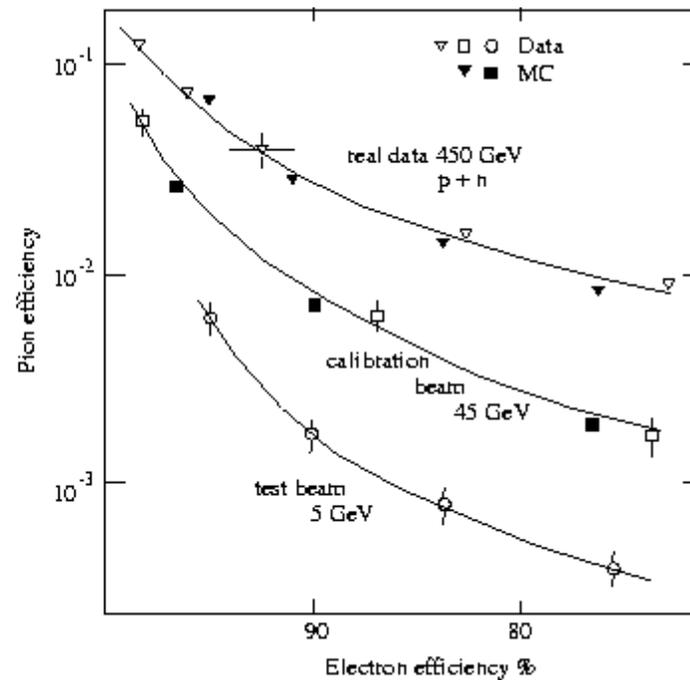
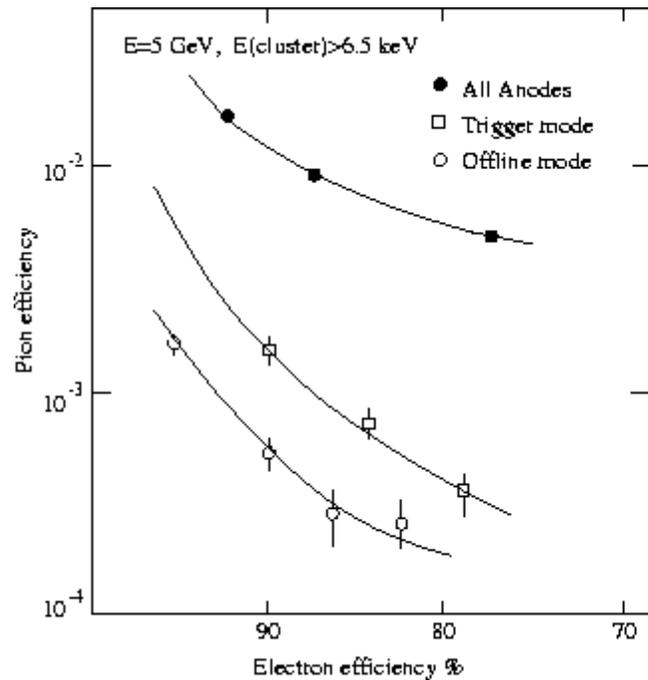
Détection photons dans gaz: Xénon (Z élevé) Effet de seuil en  $\gamma$ : électron de 0.5 GeV/c  $\rightarrow \gamma$

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

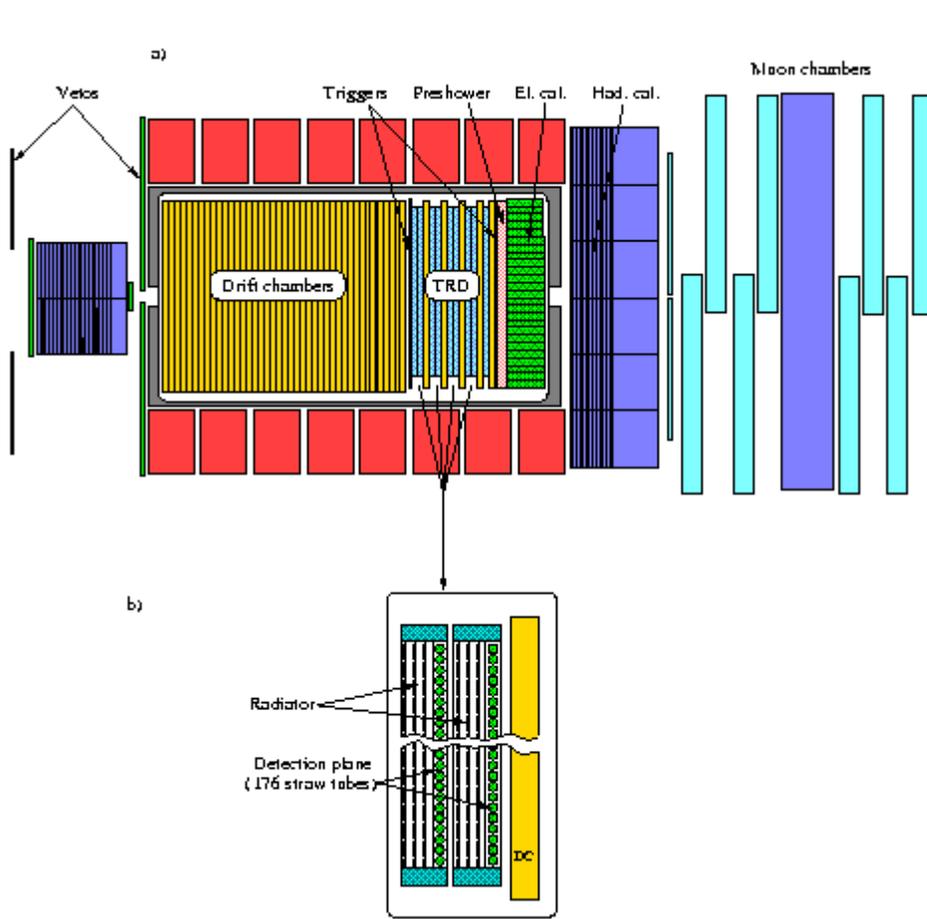
# Performances TRD



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 <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub>	Li	CH <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub>
method	Q	N	N	Q	Q	N	Q	N
efficiency $\pi^-$	5	0.06	0.05	10	8	2	10	0.5
efficiency e (%)	90	99	90	90	80	87	98.7	80

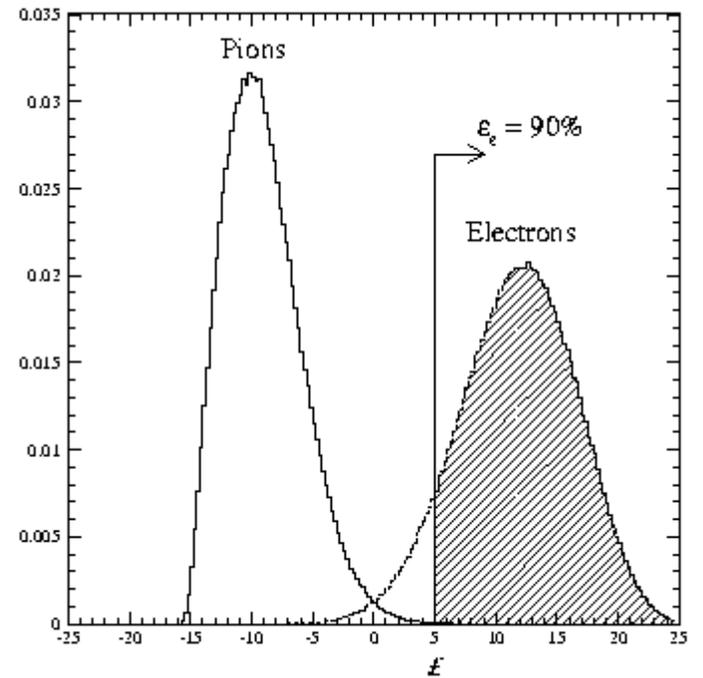


# Nomad

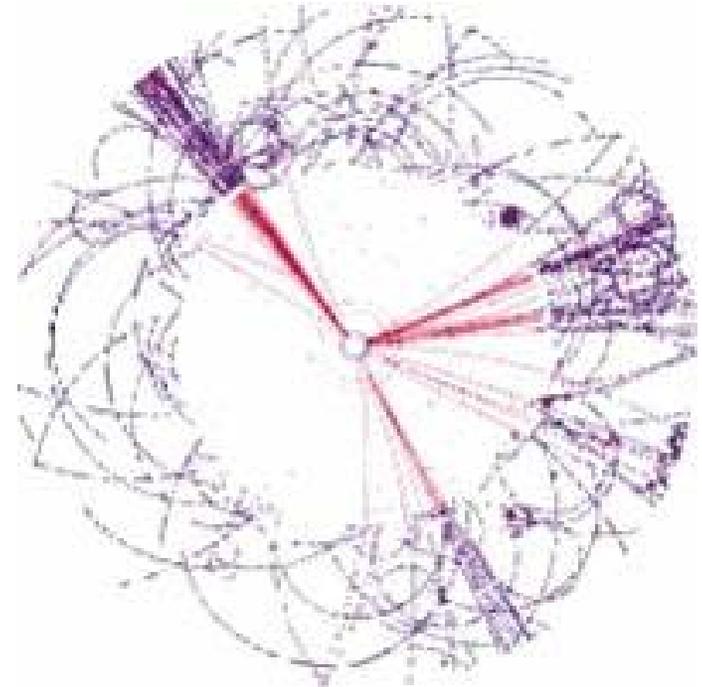
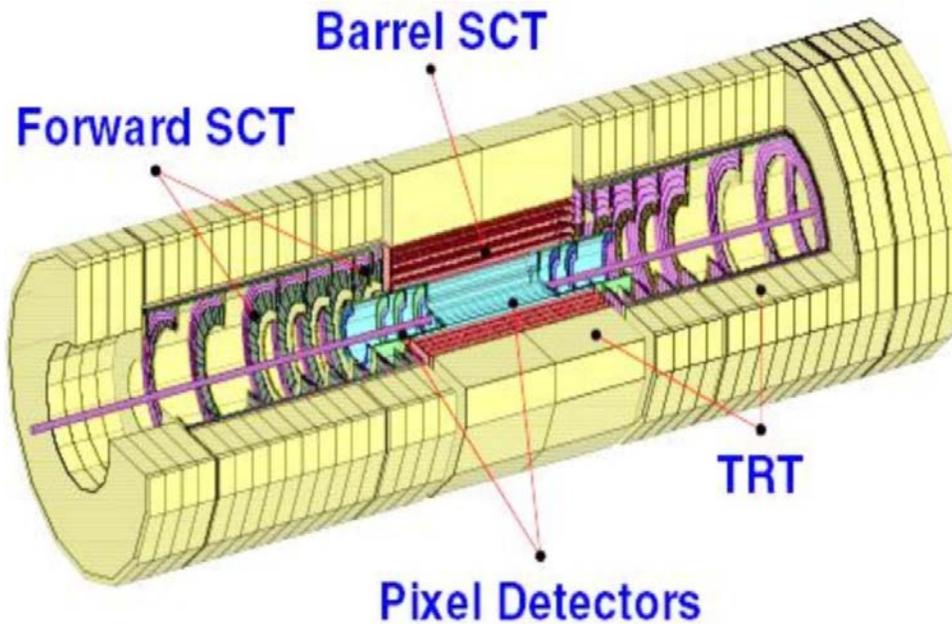


$\pi/e$  Réjection  $10^{-3}$

désintégration électronique du tau

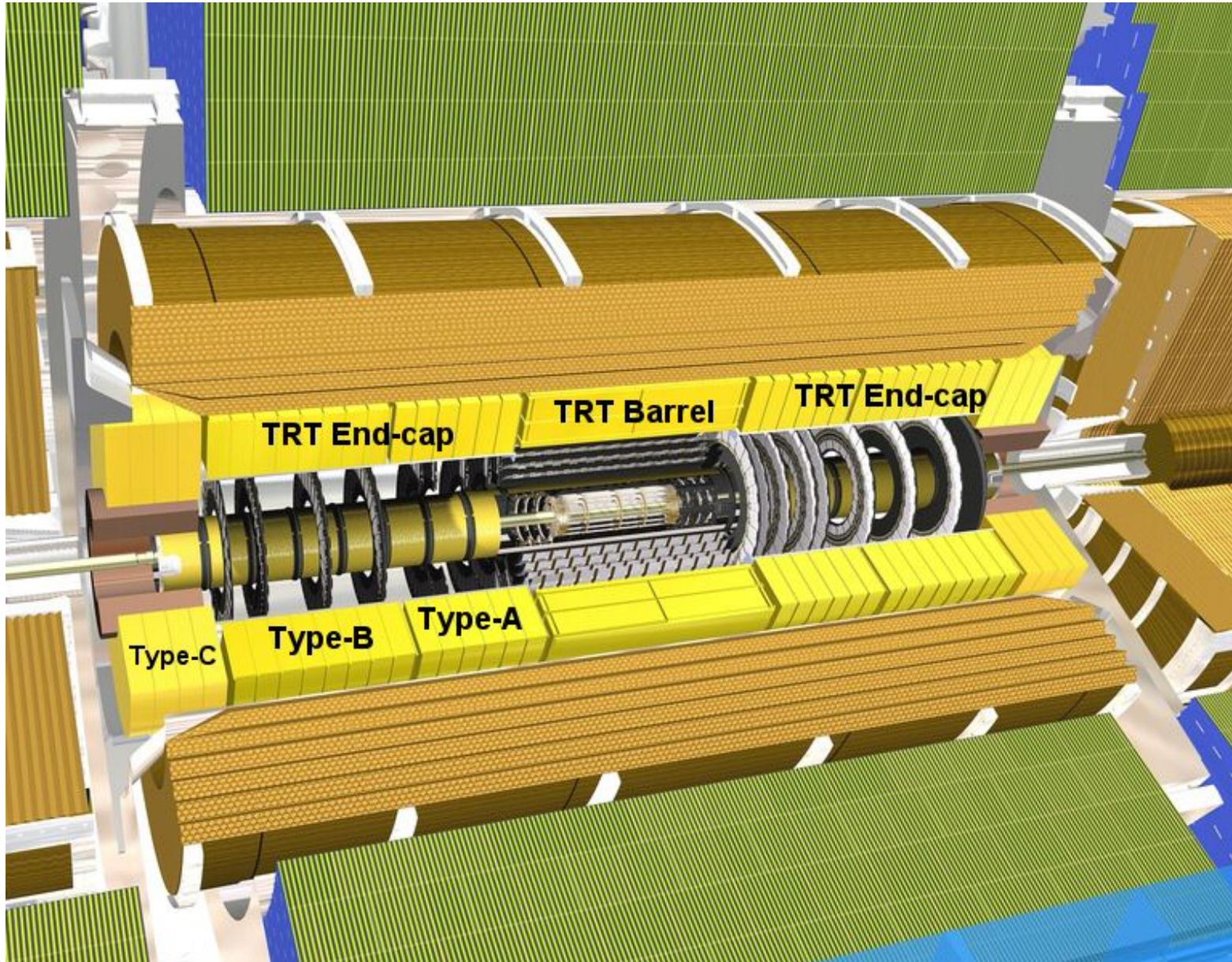


# Tracker ATLAS



- 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



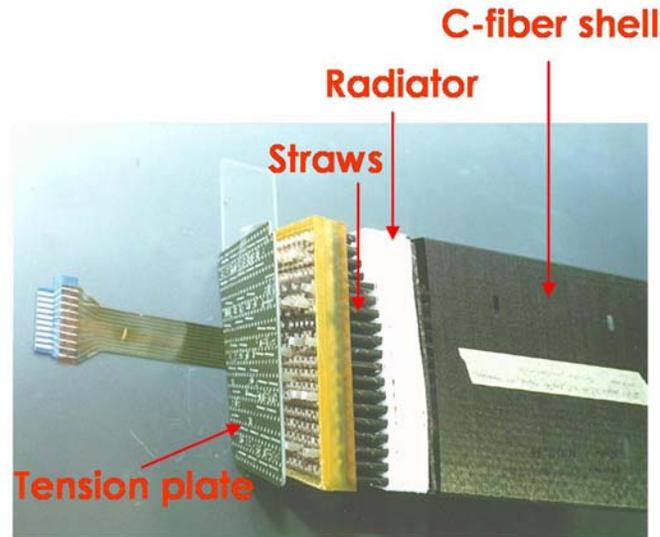
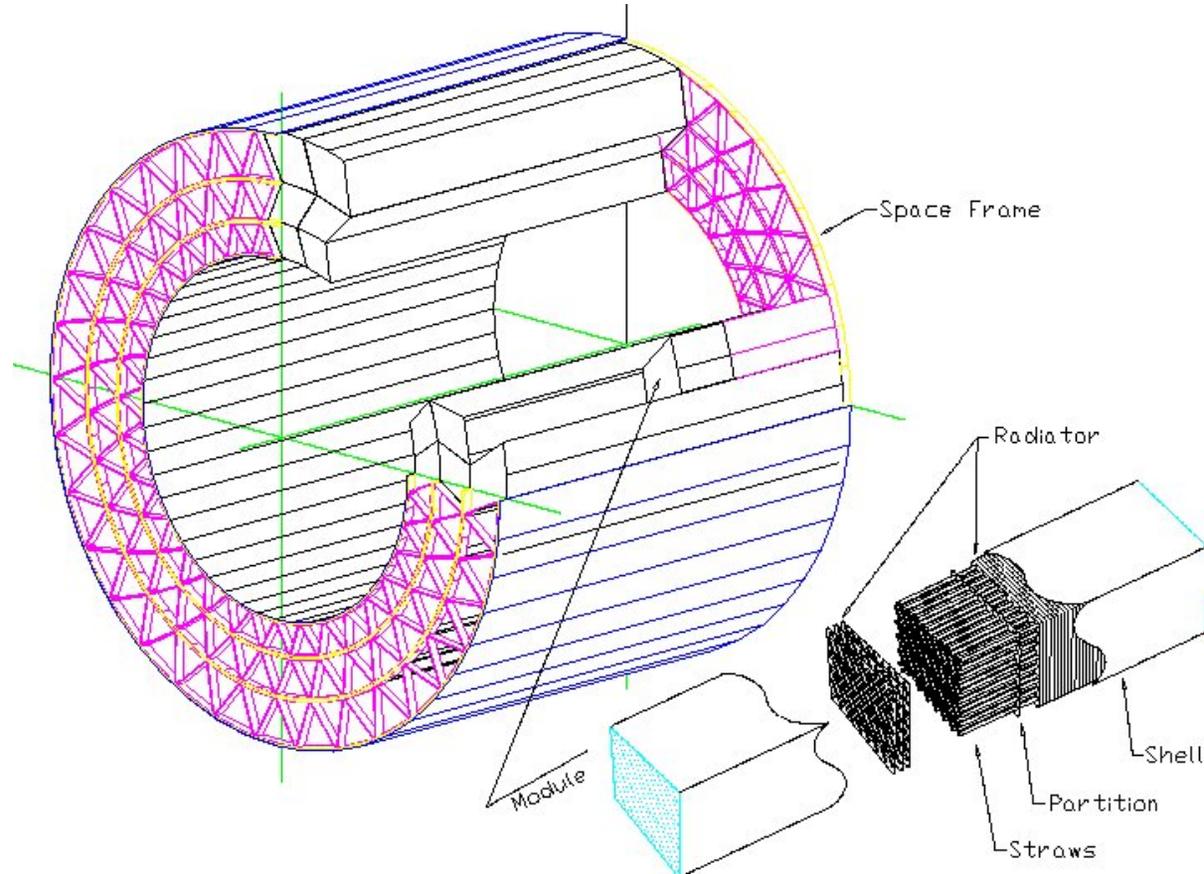
Longueur Module	1.5 m
Longueur Fil Sensible	2 x 0.75 m
Diamètre de la Paille	4 mm
Diamètre du fil	30 $\mu$ m
Distance entre les pailles	6.8 mm
Groupage Haute Tension	8 pailles

# 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.

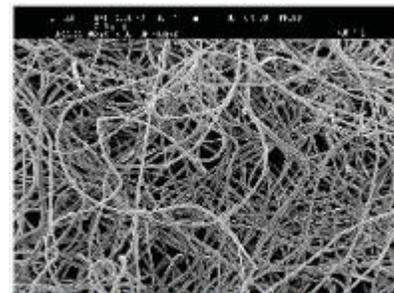
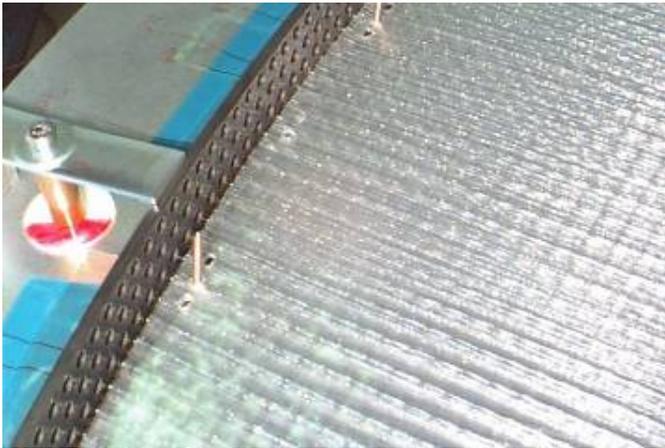
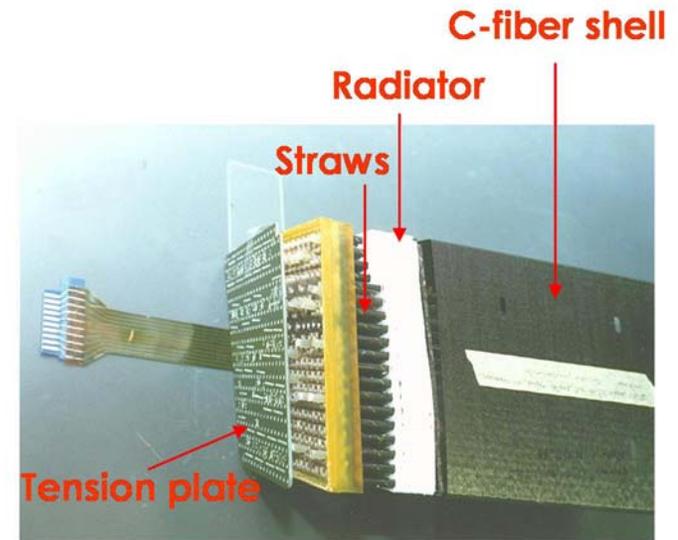
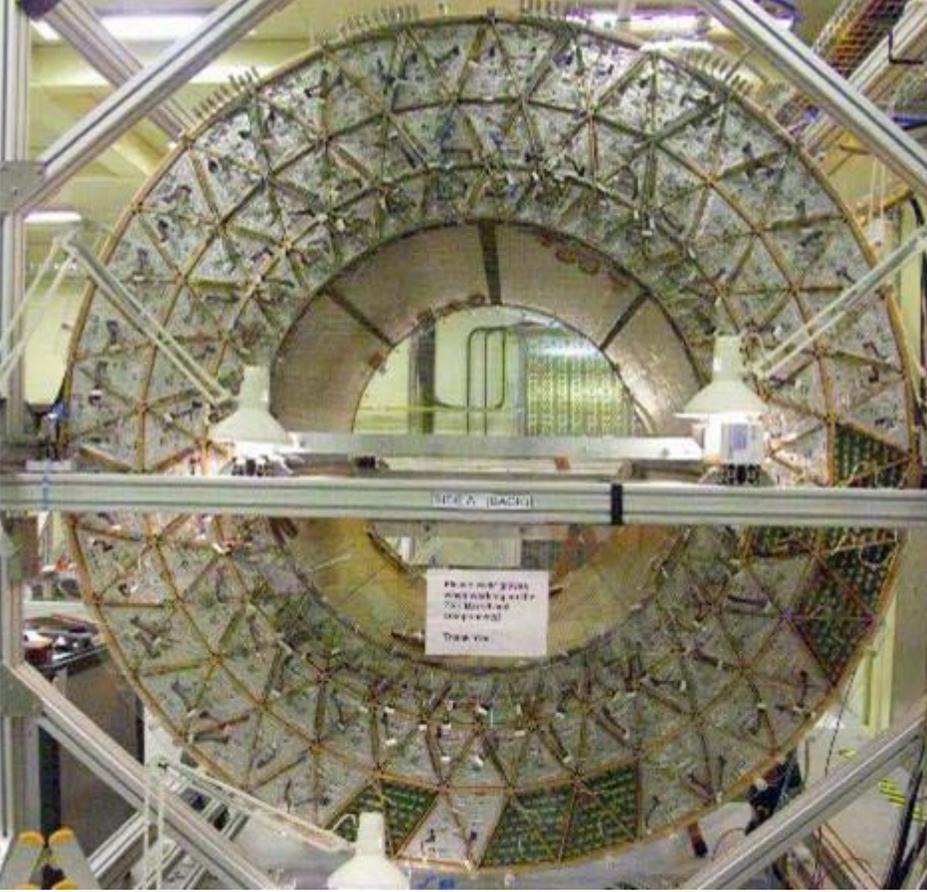
3 types de module, forment  
3 anneaux de 32 modules  
identiques  
52544 pailles au total



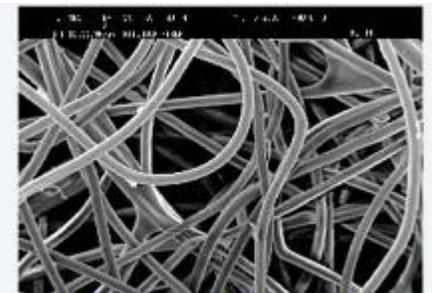
Roscoff juin 2007

# 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  $\mu\text{m}$



200  $\mu\text{m}$

# TRT ATLAS END-CAP

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

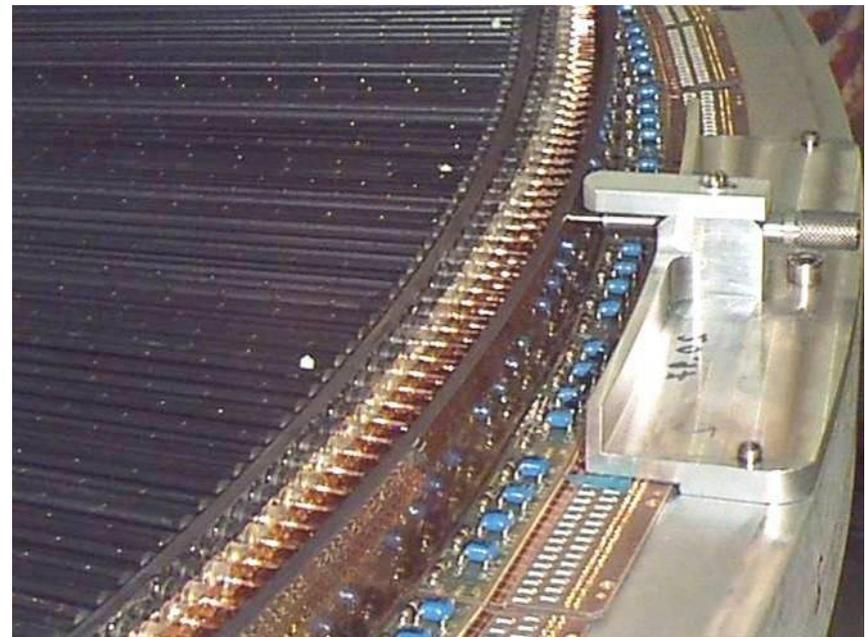
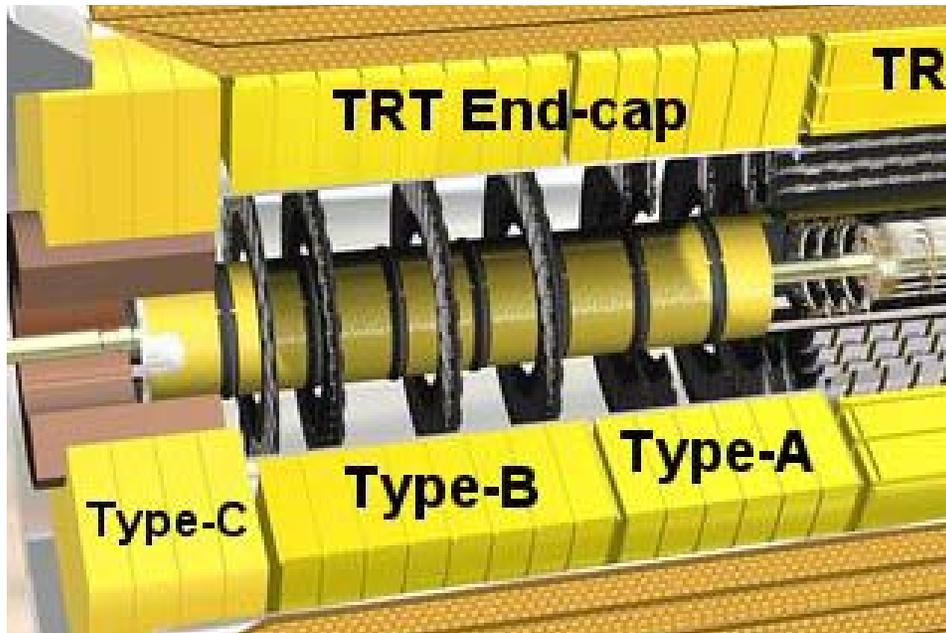
**Seuil TR 5.5 keV – électron/pion séparation**

**MIP 0.2 keV – détermination tracking/drift time**

## **Un end-cap contient:**

24 roues de type A + 16 de type B

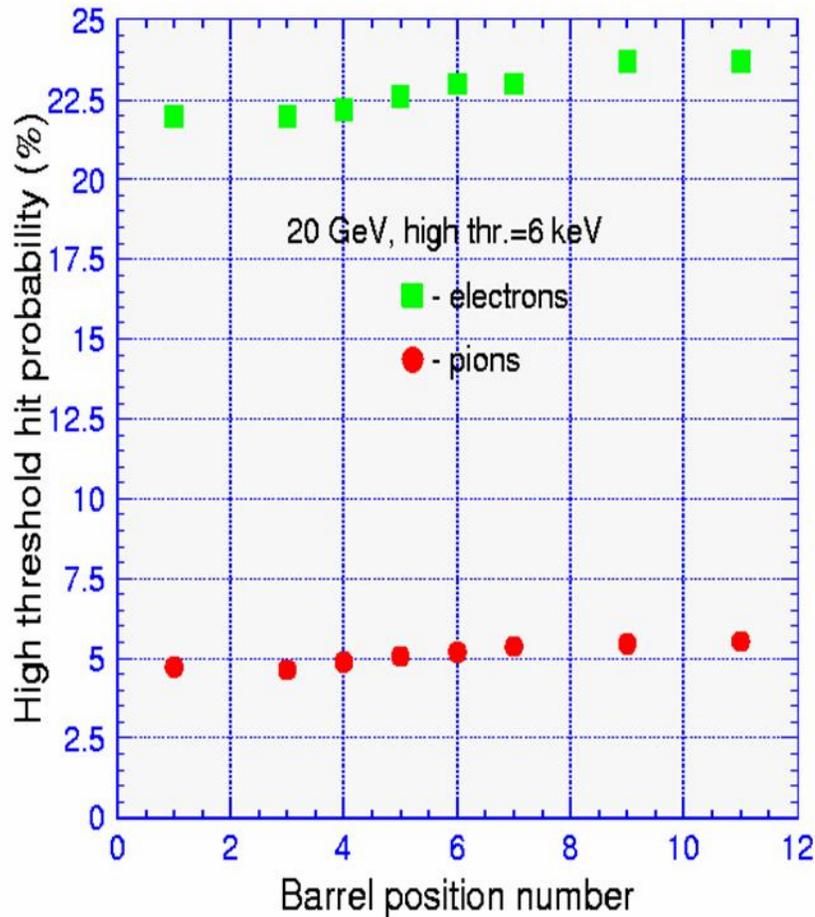
160 plans de 768 pailles radiales, empilées  
avec des feuilles radiateur  
(122'880 pailles au total)



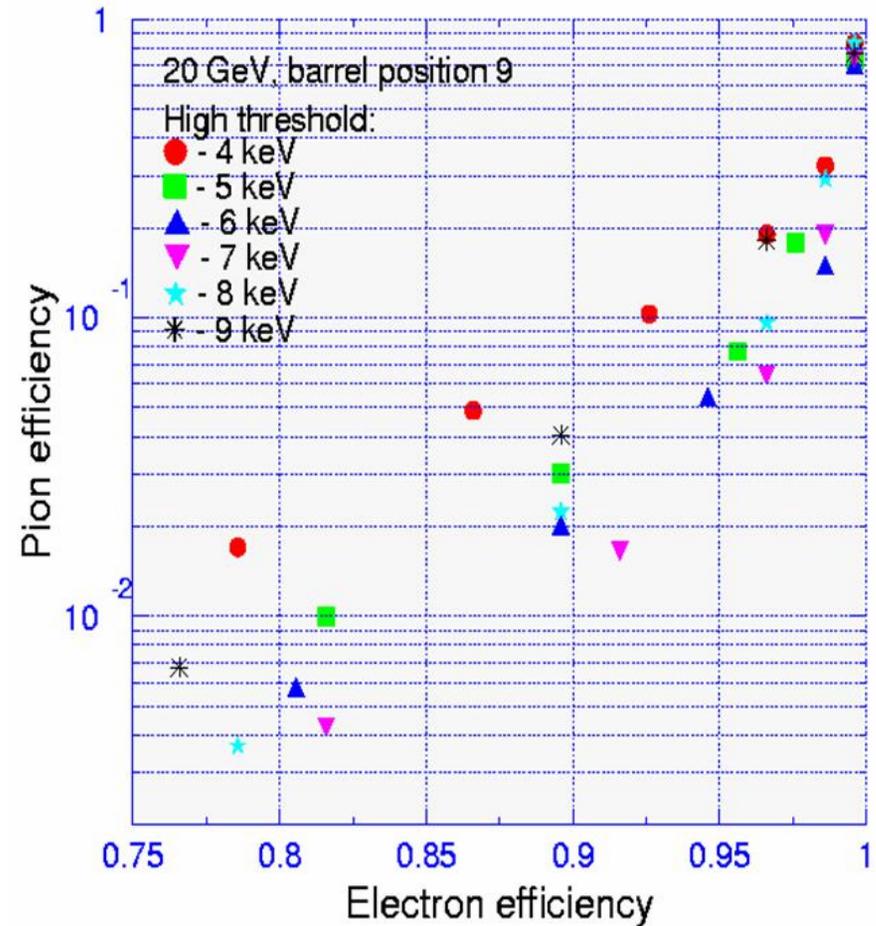
# TRT ATLAS en faisceau test

e – p separation à 20 GeV

Position scan: high threshold hit probability

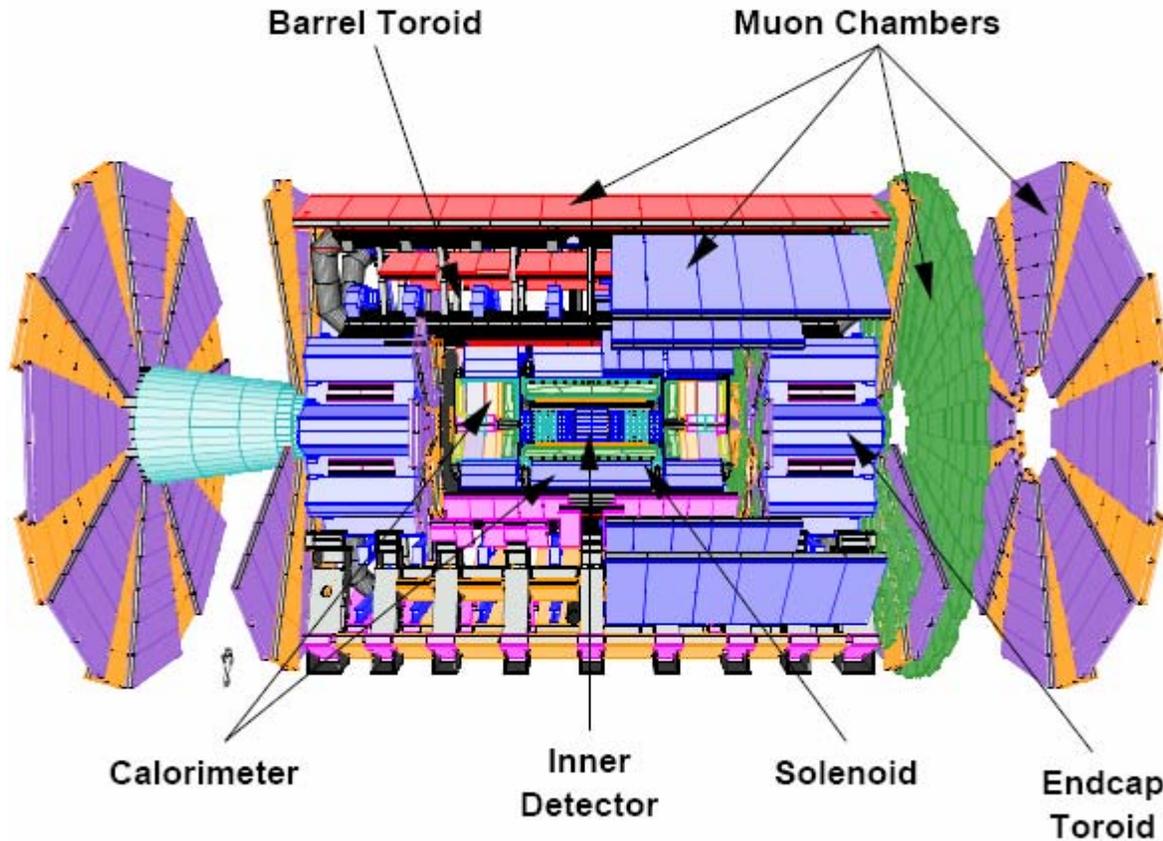


Pion vs electron efficiency



# Futur très proche: Les muons à LHC

## Atlas: spectrometre à muons

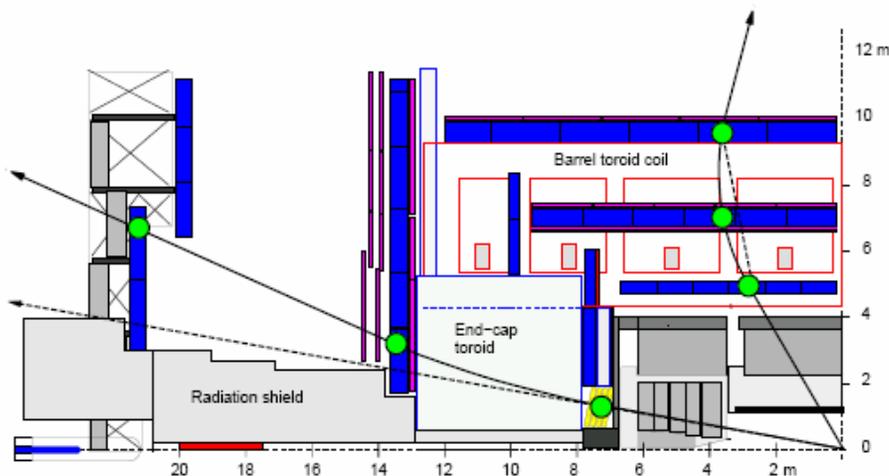


Surface:  $\sim 5500 \text{ m}^2$

2264 Chambres trigger  
1194 chambres de précision

Enveloppe totale  
44 m x 22 m

# Mesure d'impulsion

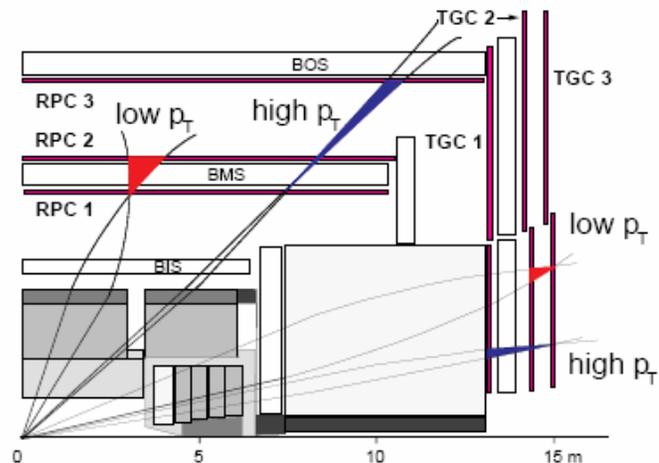


3 plans de chambres de précision:

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

Resolution point de 50  $\mu\text{m}$

# Trigger muon niveau 1

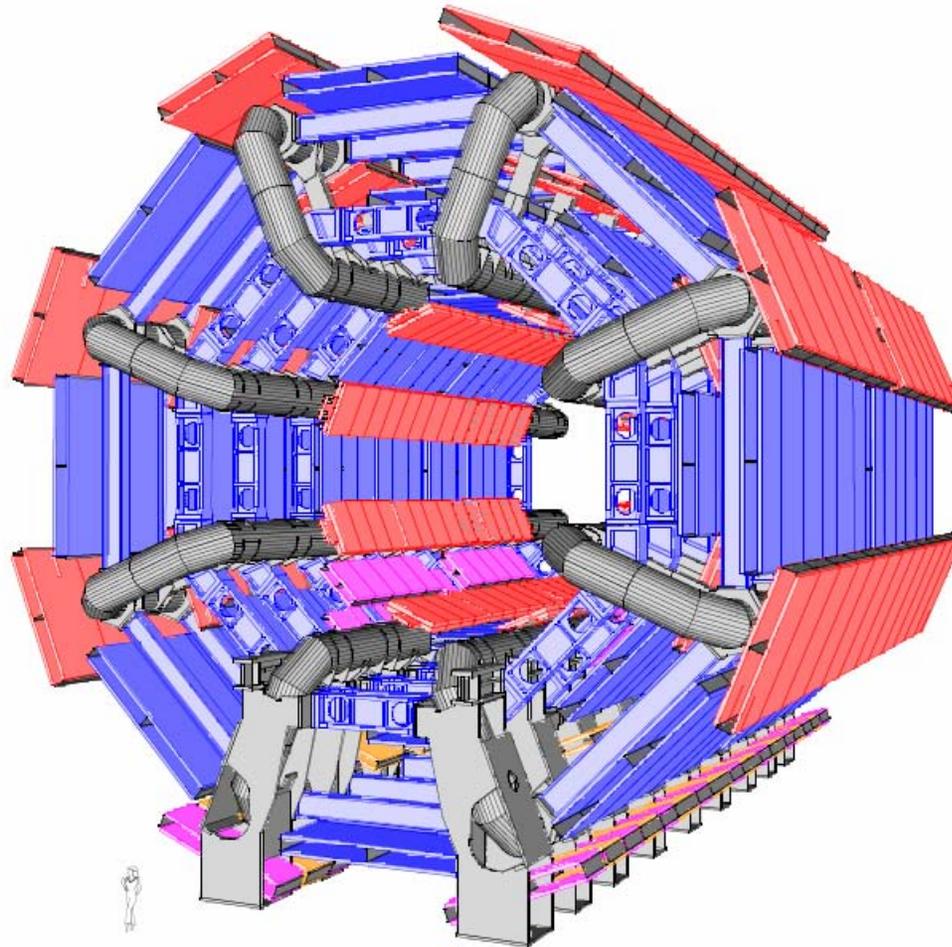


Identification du croisement 40 MHz- 25ns

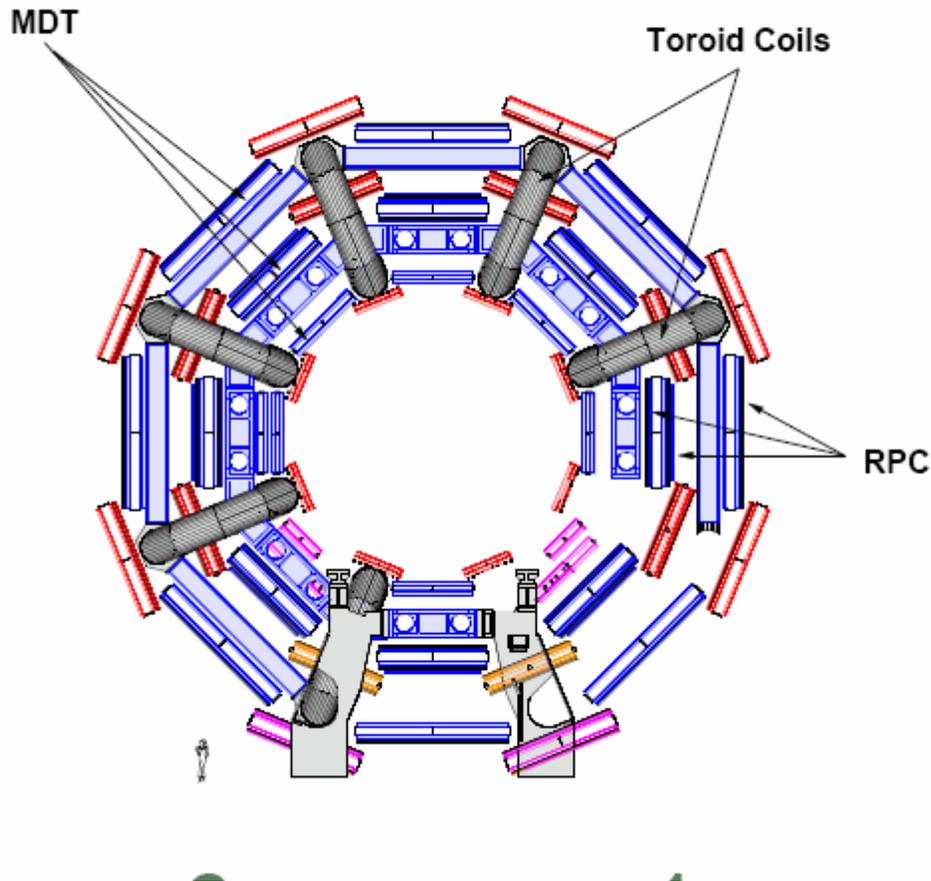
Low  $P_t$  2 plans voisins  
Haut  $P_t$  1 plan supplémentaire

Zone touchée → régions d'intérêt niveau 2

# ATLAS Barrel Muon



# ATLAS Barrel Muon



640 MDT monitored drift tubes  
(précision)

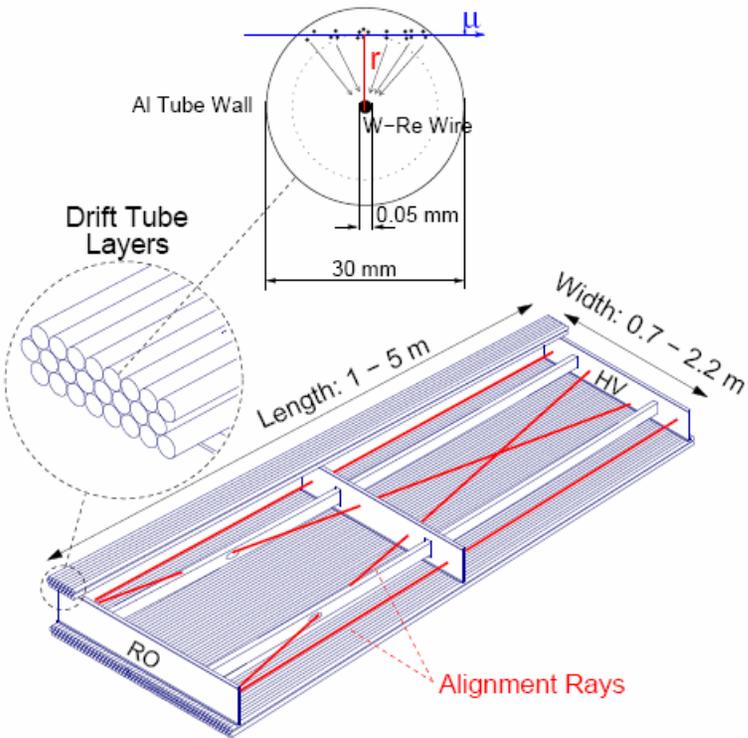
686 chambres trigger  
RPC resistive plate chamber

2Plans 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 m<sup>2</sup>

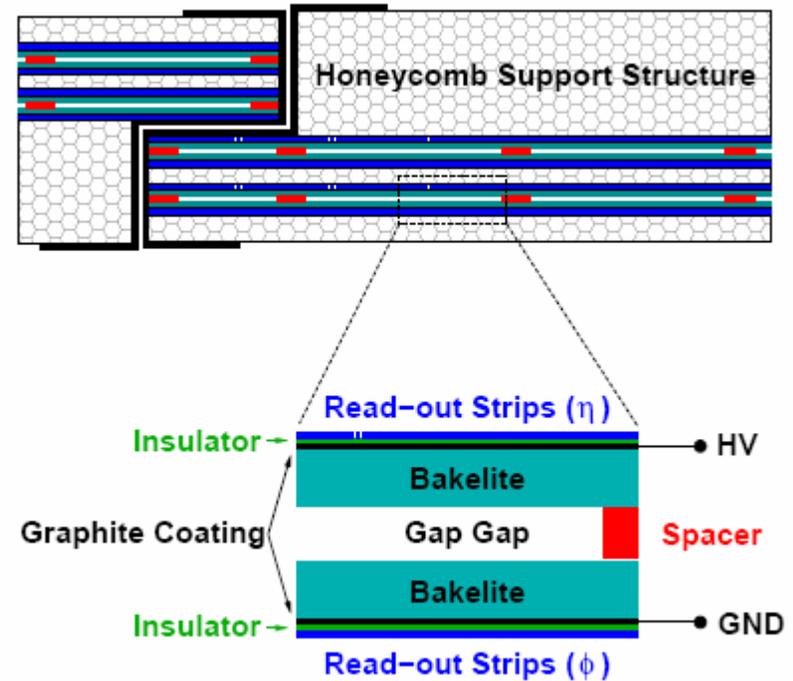
2 multi couches de 3 ou 4 couches

48 – 432 tubes à dérive

Temps de dérive 700 ns

Resolution 80 μm

# RPC



2 Gaps/chambre

Gap 2 mm

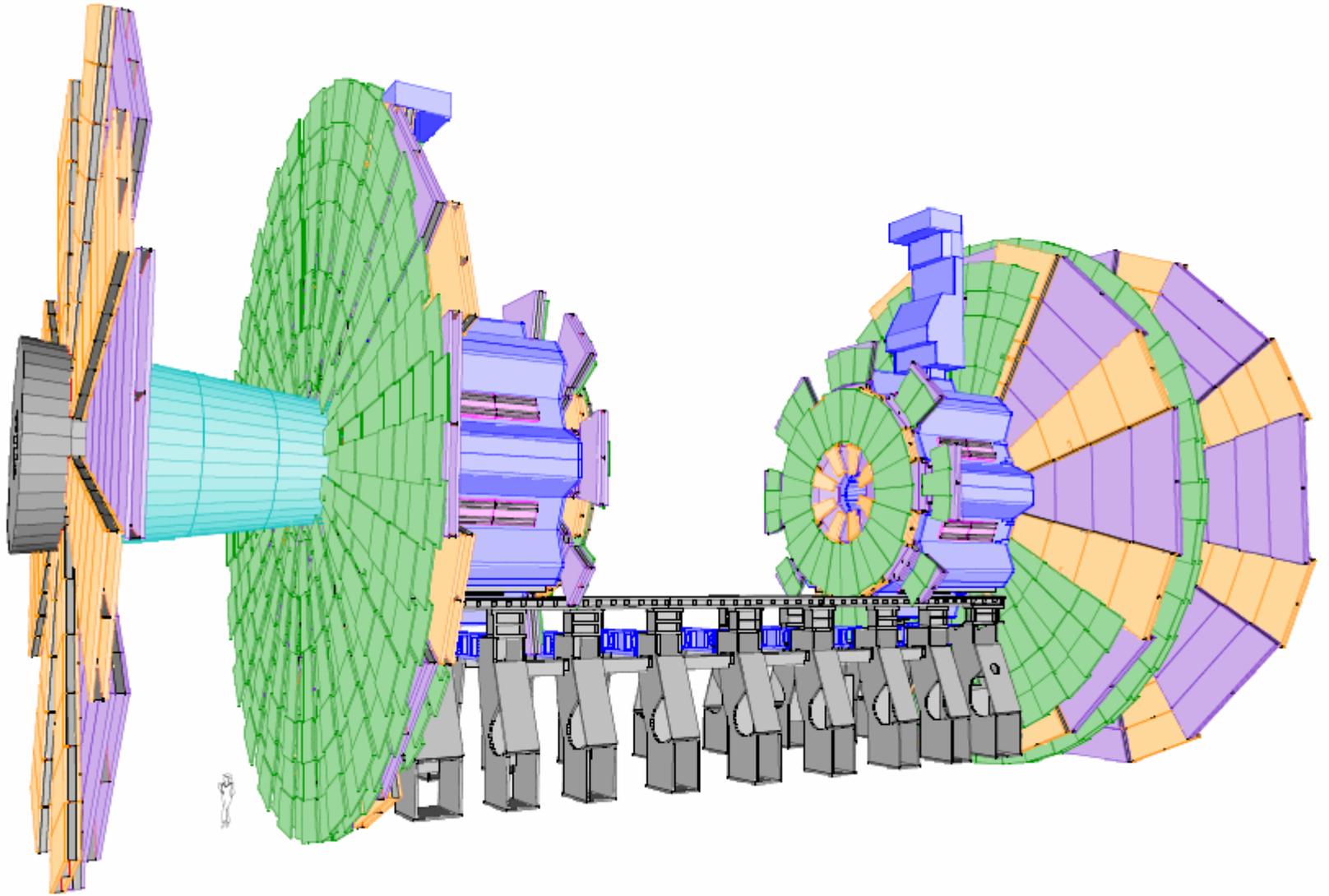
HV 9600 V

Mode avalanche

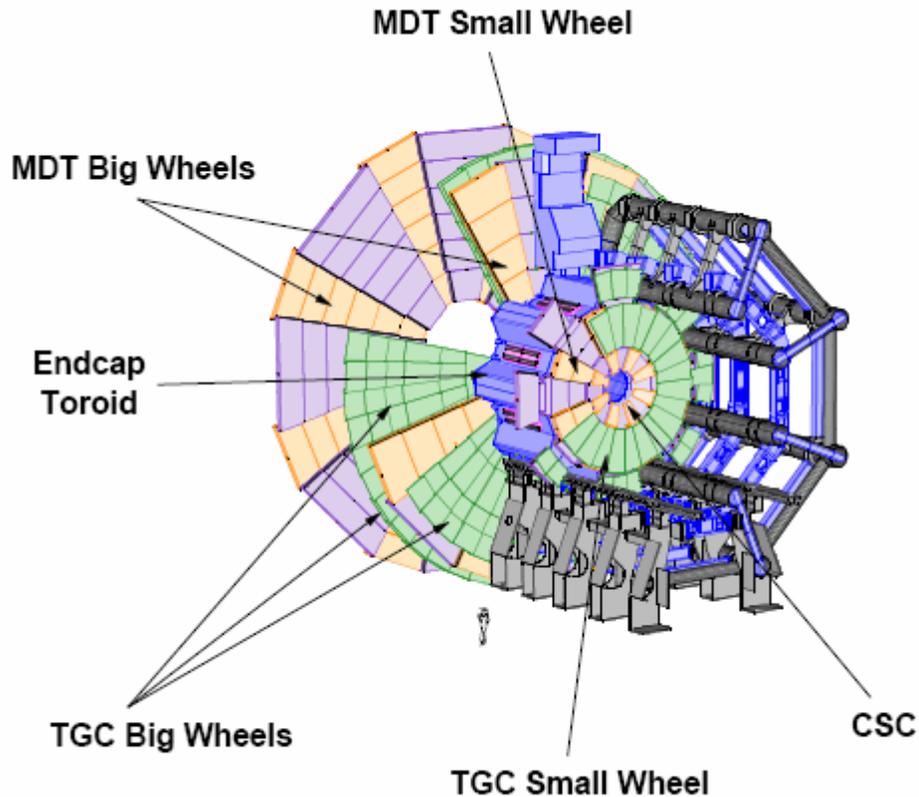
Resol temps qq ns

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

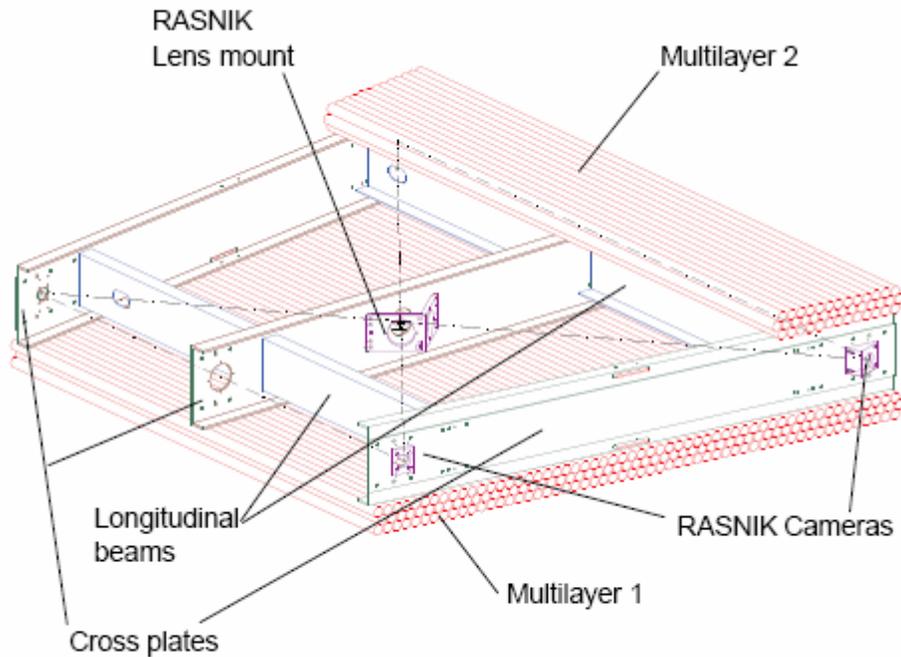
Longueur 5 m

Champ intégré 4-8 Tm

2 x 250 MJ

# ATLAS End Cap Muons: Détecteurs de précision

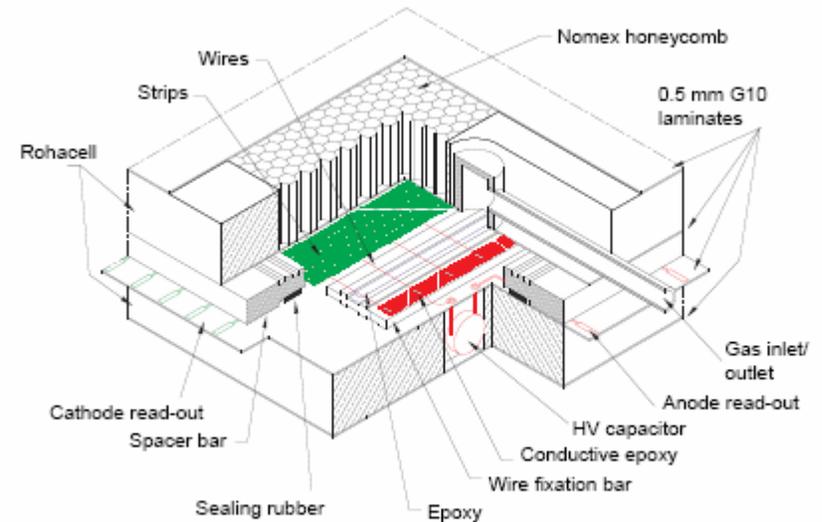
## MDT



Comme Barrel mais forme trapézoidale

Taille 2-10 m<sup>2</sup>

## CSC



Forme trapézoidale, taille 1 m<sup>2</sup>

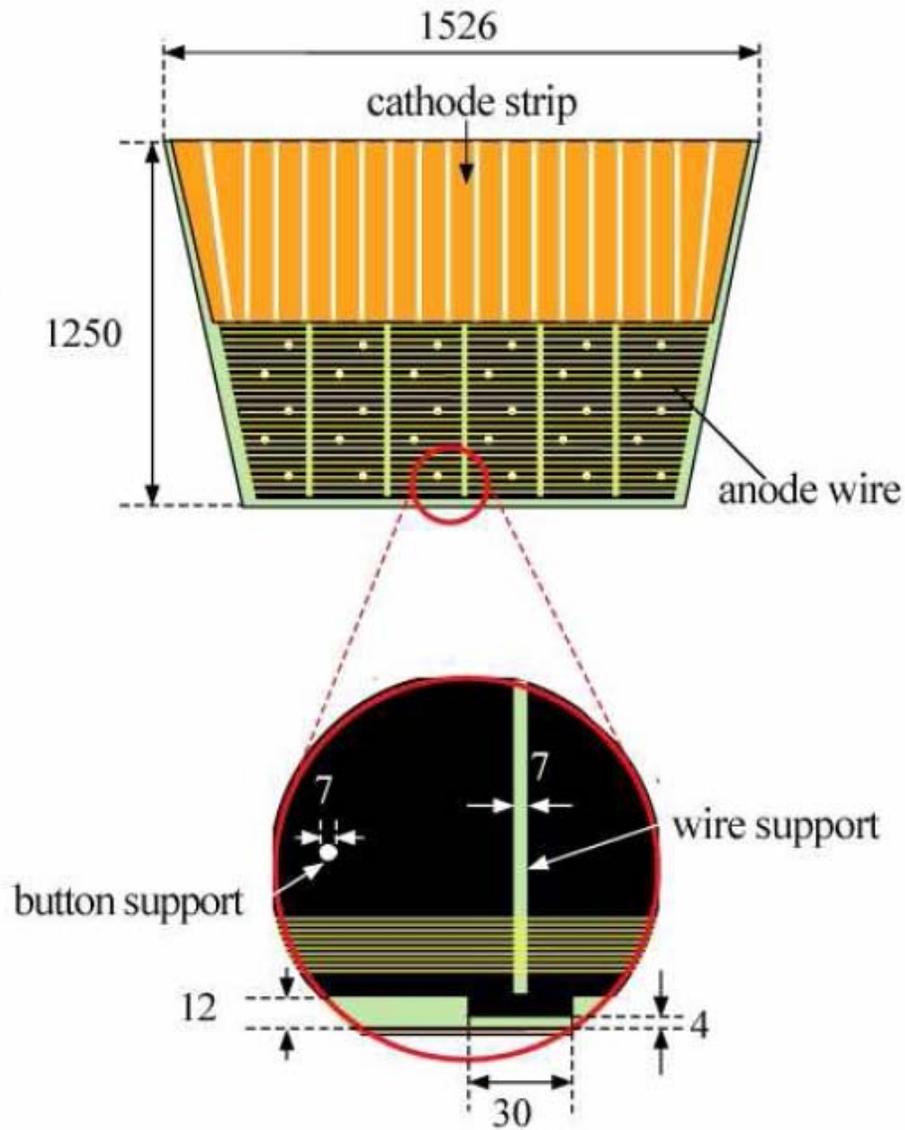
Unités de 2 x 4 couches

Gap et ws 2.54 mm

Lecture cathode 2-D avec interpol. de charge

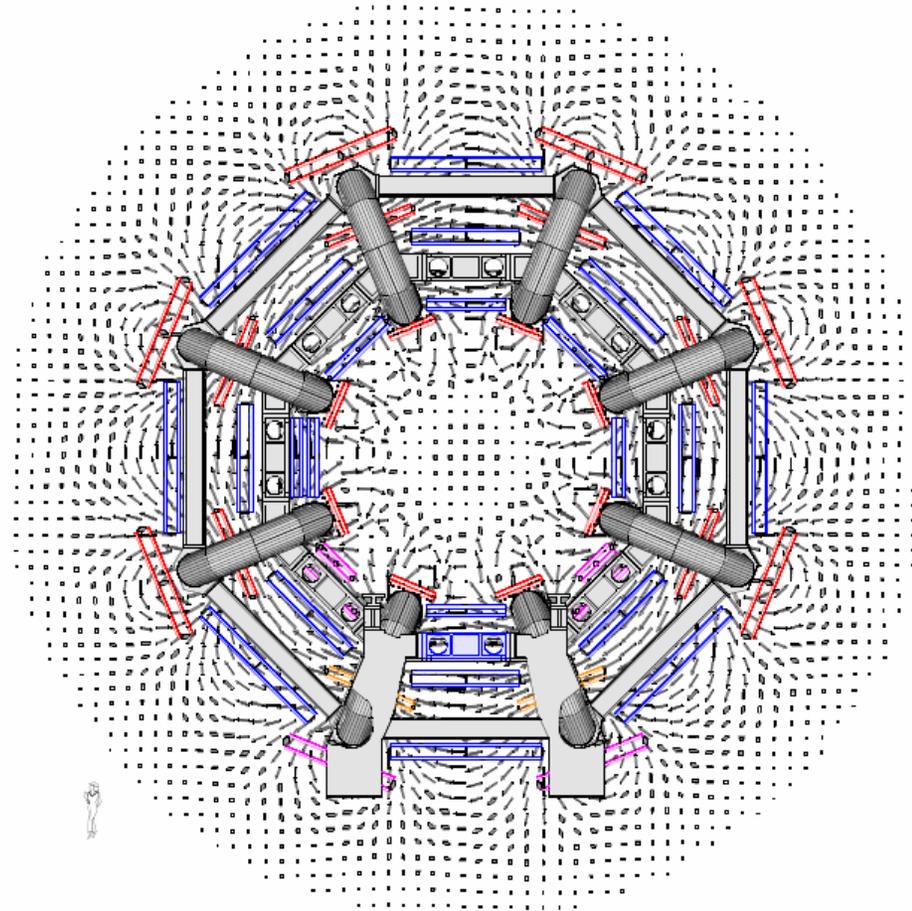
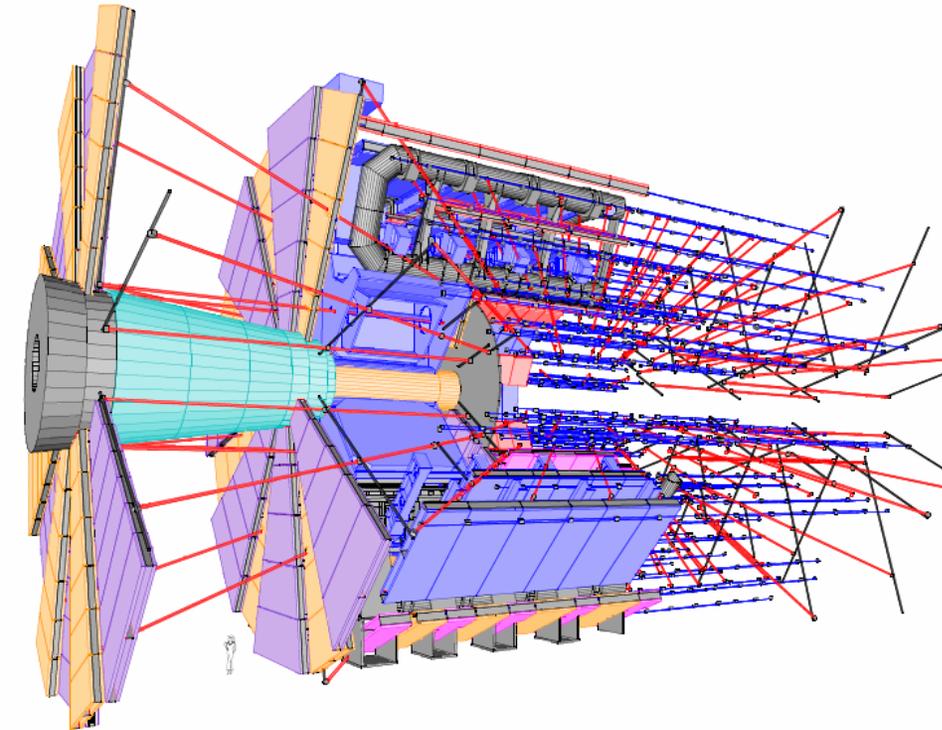
Résolution 60  $\mu\text{m}$

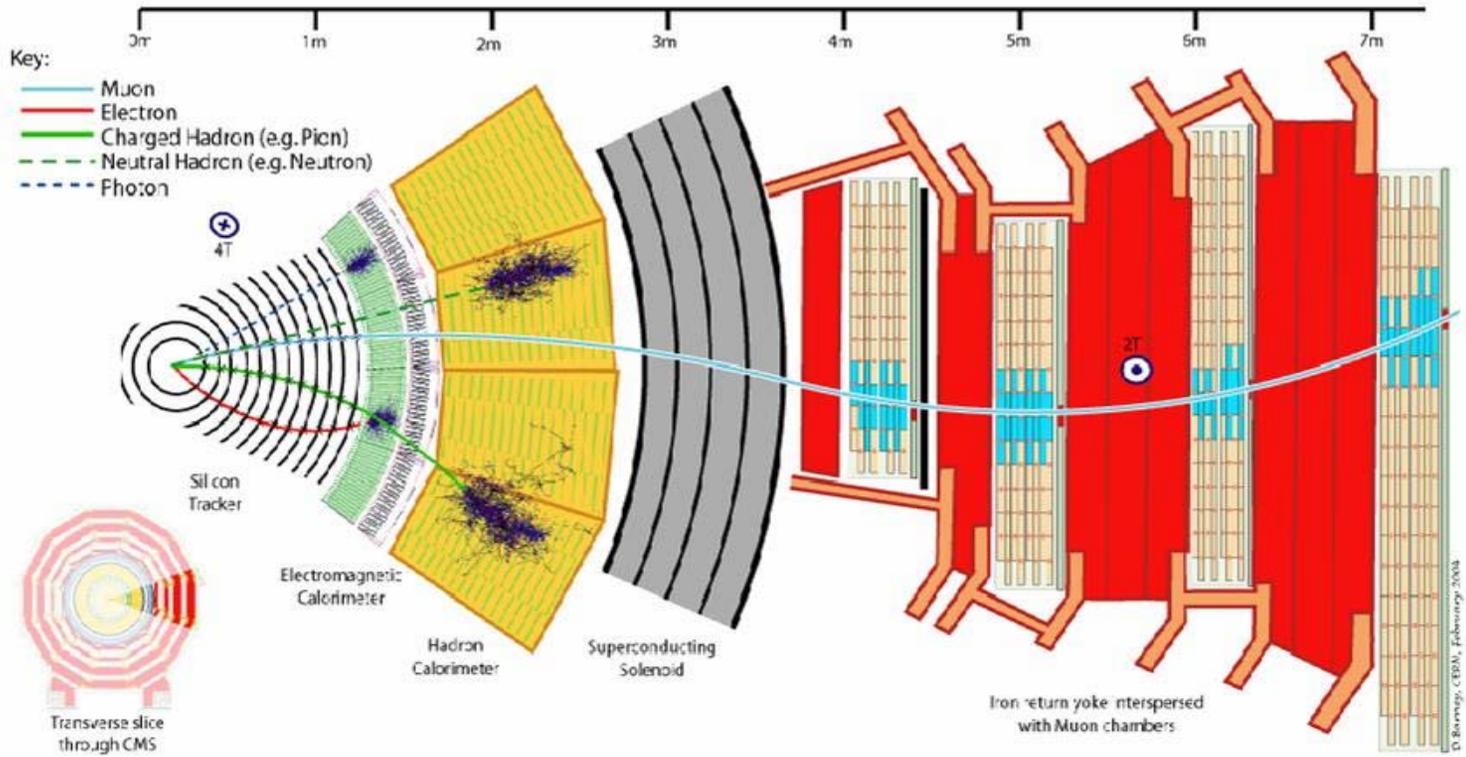
# TGC :Thin Gap Trigger Chambers



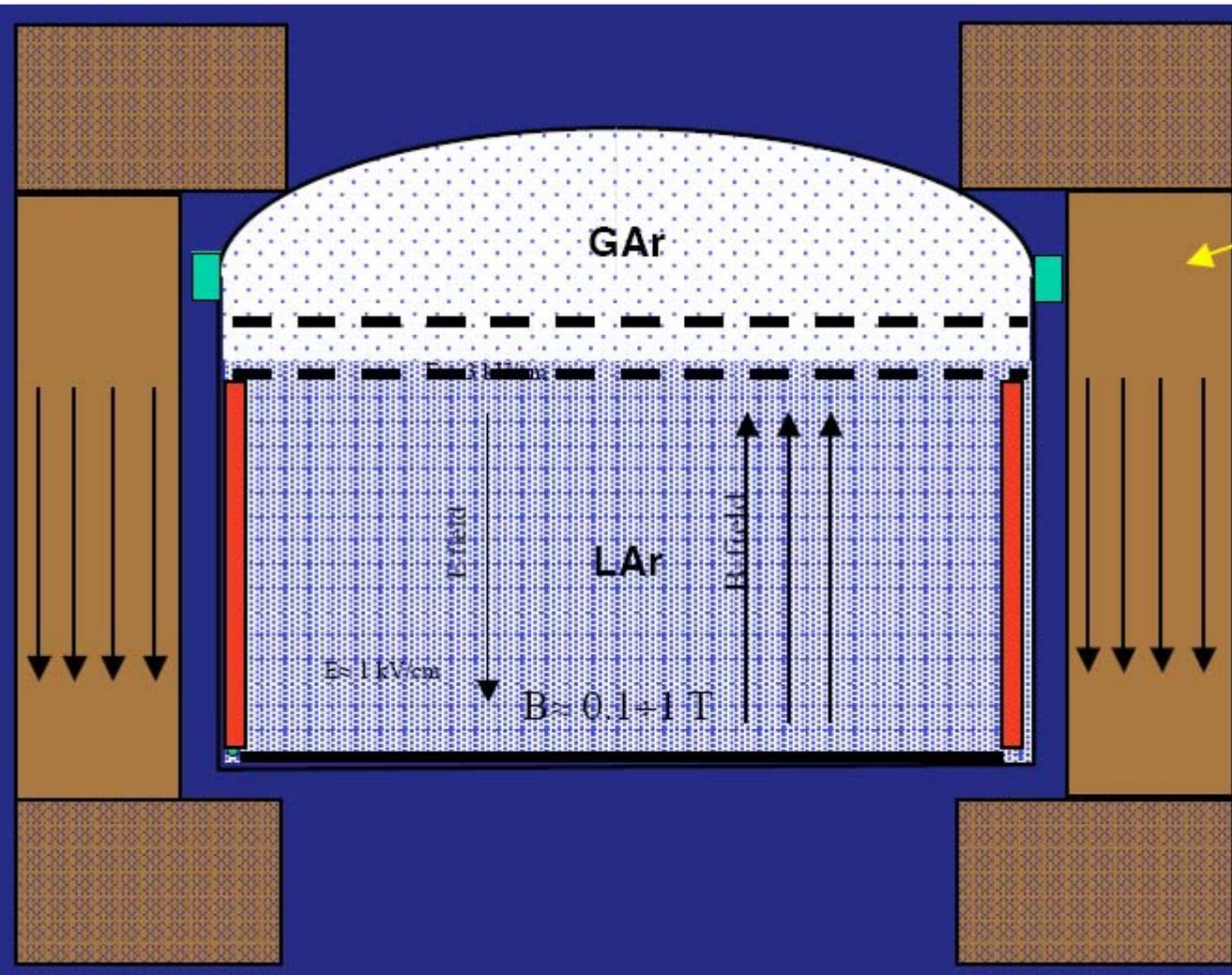
- Chambres proportionnelles multifils
- 1 – 3 m<sup>2</sup>
- Doublets ou triplets
- Support nida
- Ws 1.8 mm, gap 1.4 mm
- Fils anode 50 mm
- Lecture 2D fils et strips
  
- Fils groupés

# Alignement et champ magnétique





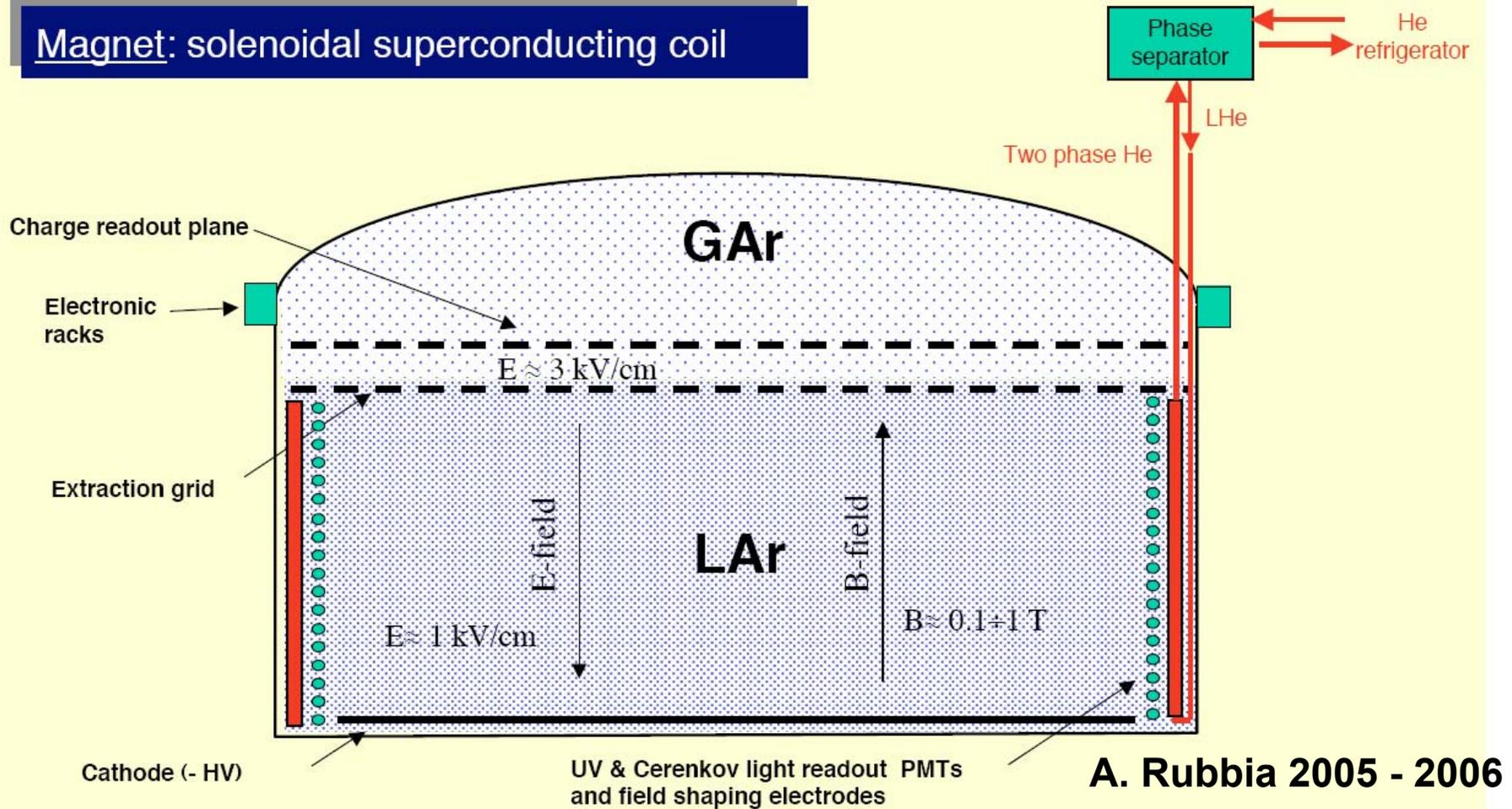
# TPC ARGON LIQUIDE



A. Rubbia 2005 - 2006

# Tentative layout of a large magnetized GLACIER

**Magnet:** solenoidal superconducting coil



**LHe Cooling:** Thermosiphon principle + thermal shield=LAr

# Conclusion

Identification = procédure complexe

- Spécialement pour  $\pi$  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....