

# **Identification des particules**

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

Oléron 17 - 25 juin 2009

P. Siegrist CERN-PH

# Préambule

- L'identification des particules est un champ très vaste de la physique expérimentale des particules et sans doute un des plus complexes.
- Ce cours n'a pas la prétention de couvrir tous les domaines mais se cantonnera aux techniques les plus couramment utilisées en physique des particules
- Il n'y aura pas de calculs formels mais seulement l'énoncé de quelques formules
- Les exemples expérimentaux choisis seront volontairement gardés simples pour leur description
- Les choix d'expériences pour illustrer par l'exemple sont arbitraires et les erreurs éventuelles de ma seule responsabilité...

# 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.

# Méthode d'identification

- L'identification d'une particule se fait en général par la mesure de sa masse
- Pour mesurer la masse il faut toujours mesurer 2 quantités l'impulsion et l'énergie ou l'impulsion et la vitesse ou des quantités s'y rapportant (temps de vol,  $\theta_c$ ...)
- On utilise les définitions et relations suivantes entre la vitesse  $v$ , le facteur de Lorentz  $\gamma$ , l'impulsion  $p$ , l'énergie  $E$  et la masse  $m$ .

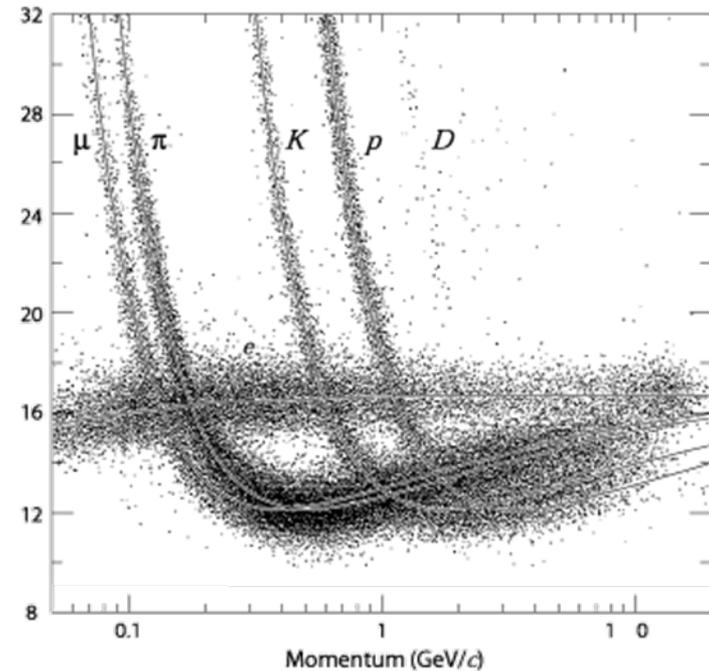
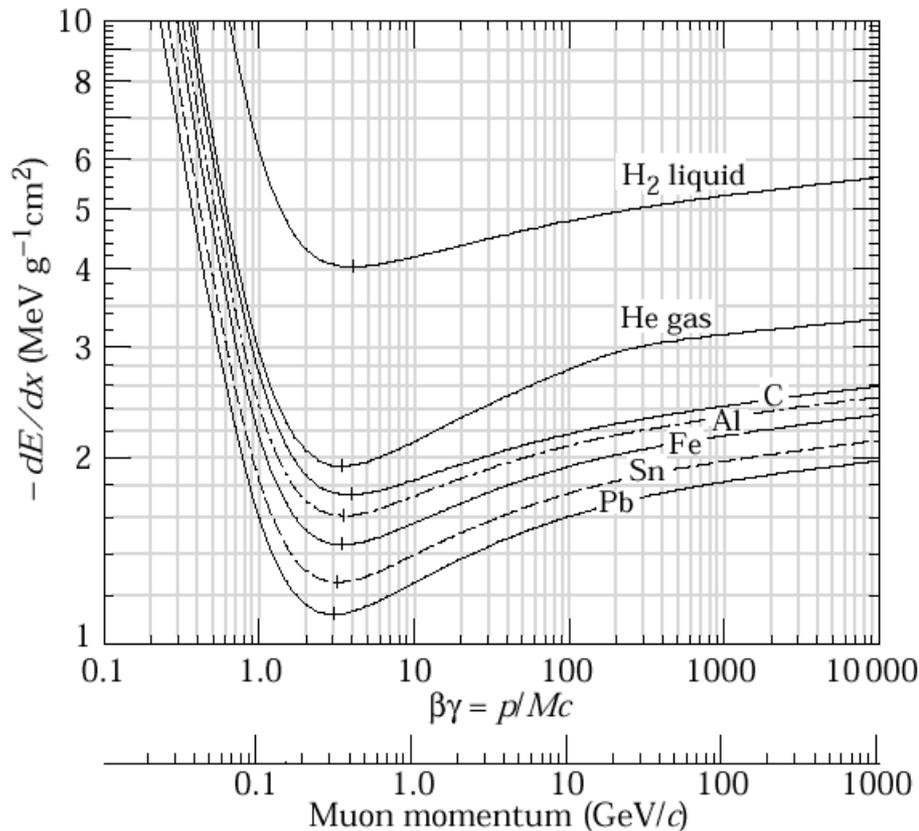
$$\mathbf{v} = \mathbf{p}/E , \quad \gamma = (1-v^2)^{-1/2} = E/m , \quad E^2 = p^2 + m^2$$

# Les phénomènes physiques utilisés

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

# $dE/dx$ Formule de Bethe-Bloch

$$\frac{dE}{dx} = -2\pi N Z \frac{z^2 e^4}{m\beta^2} \left( \ln \frac{2m\gamma^2 \beta^2 E_{cut}}{I^2} - \frac{\beta^2}{2} \left( 1 + \frac{E_{cut}}{\Delta E_{max}} \right) - \frac{\delta}{2} \right)$$

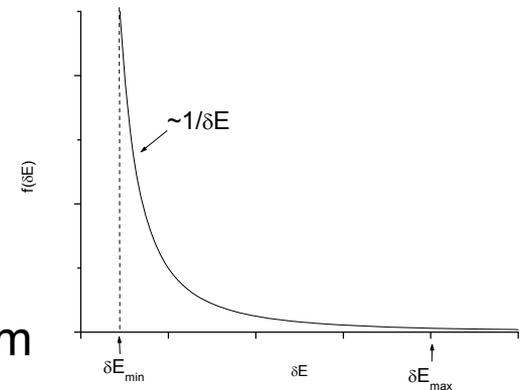


# $dE/dx$ Remarques

- Perte d'énergie par ionisation
- Collision de la particule lourde chargée avec les électrons atomiques du milieu traversé
- $dE/dX$  dépend que de  $\beta$  et pas de la masse
- Il faut également mesurer  $p$  !

$dX$  limité à  $\delta x \rightarrow$  fluctuations de Landau

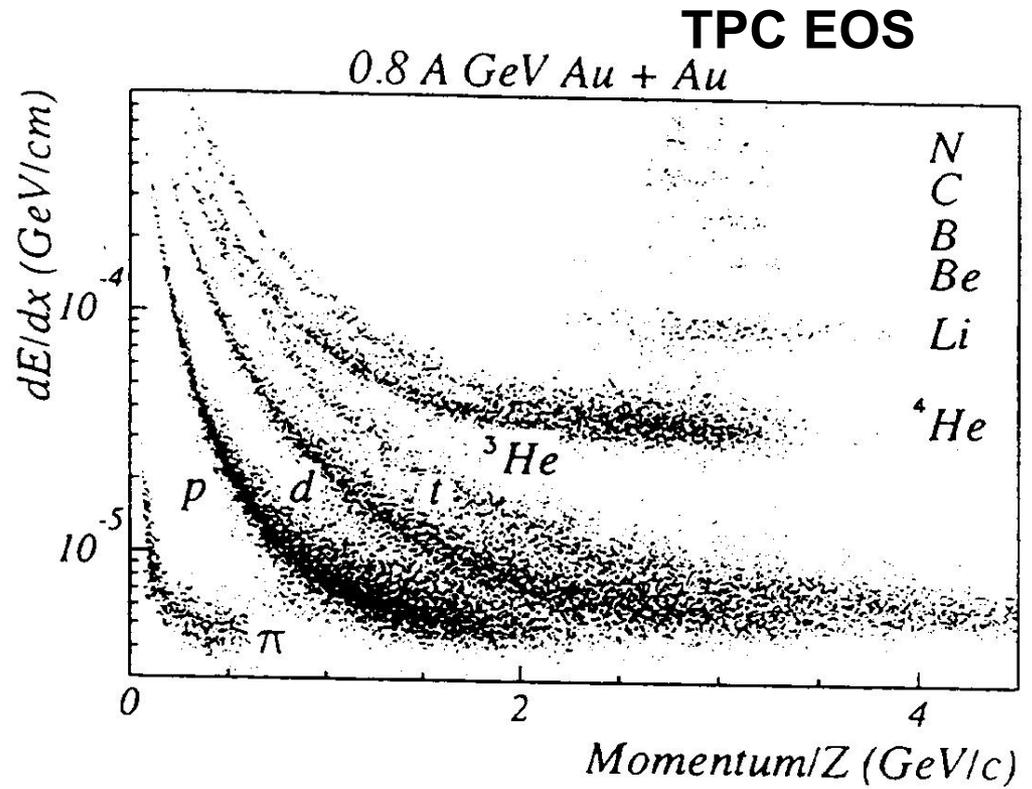
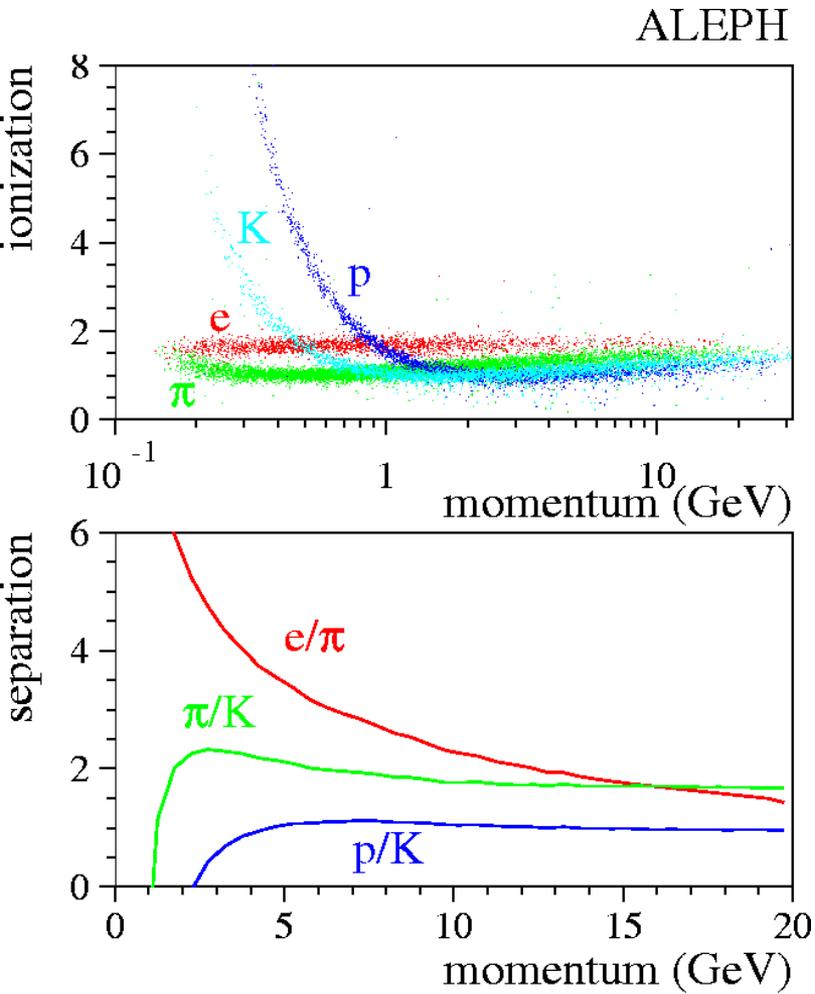
En général moyenne tronquée à 80% du maximum d'amplitude



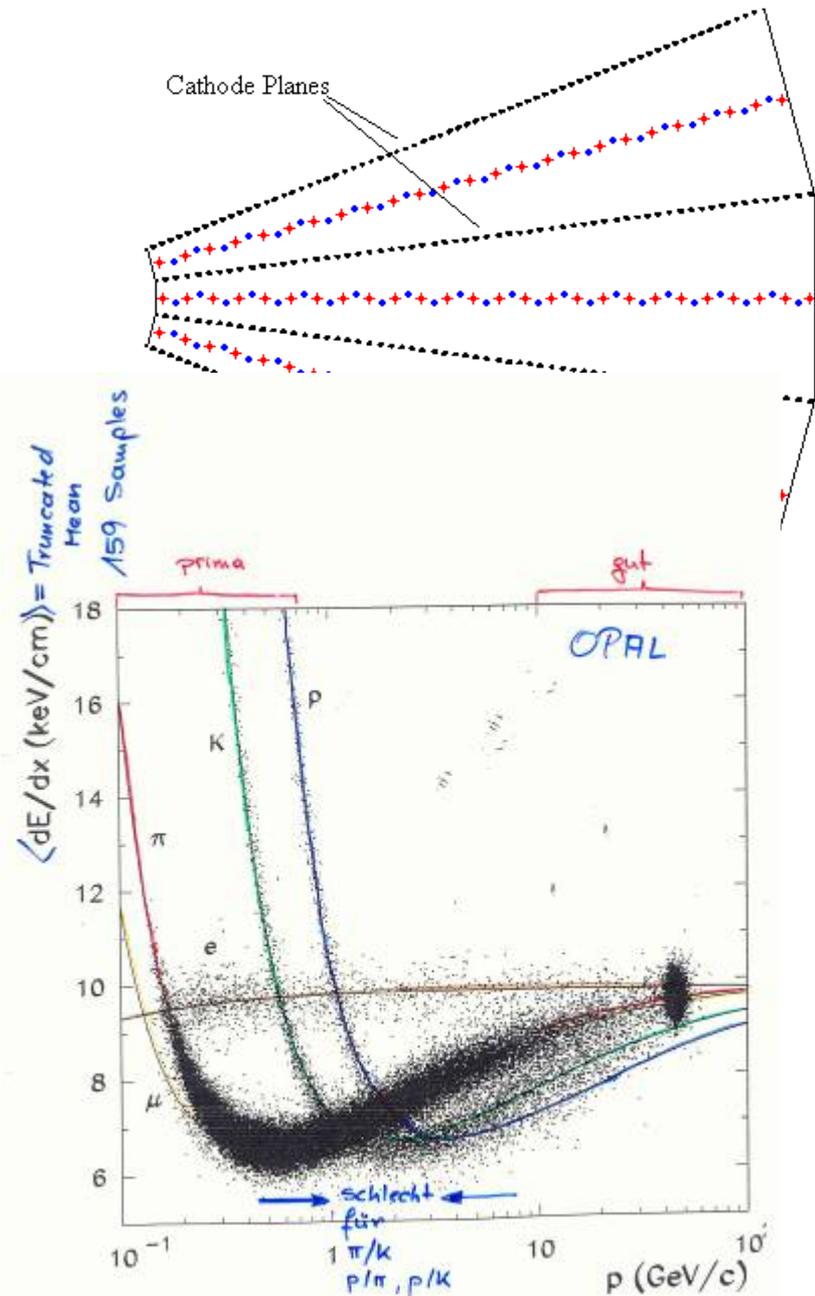
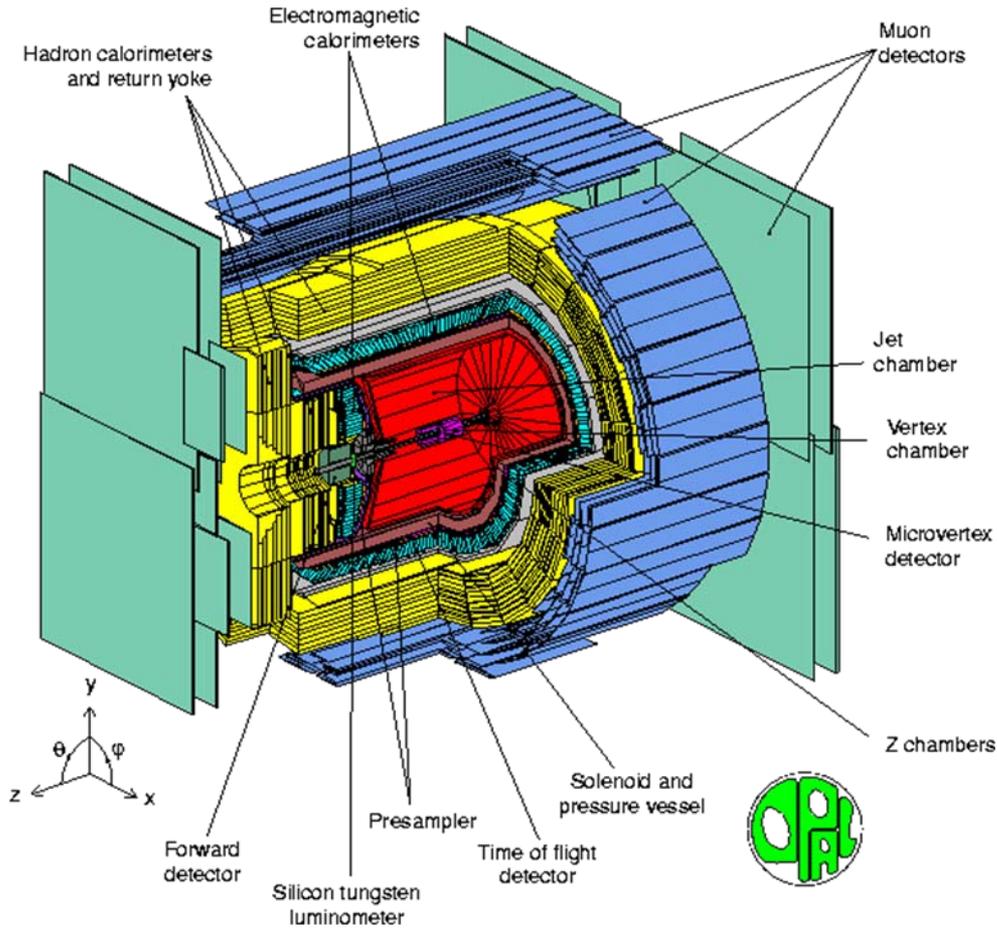
# Identification par $dE/dx$

- Utilisée dans toutes les expériences avec chambres à dérive
  - Exemples d' autres chambres à dérive:  
OPAL, CDF,
  - TPC PEP4, Aleph, Delphi, Ions lourds...
- Utilisée pour les détecteurs silicium
  - CDF,

# TPC $dE/dx$



# OPAL



# CDF COT



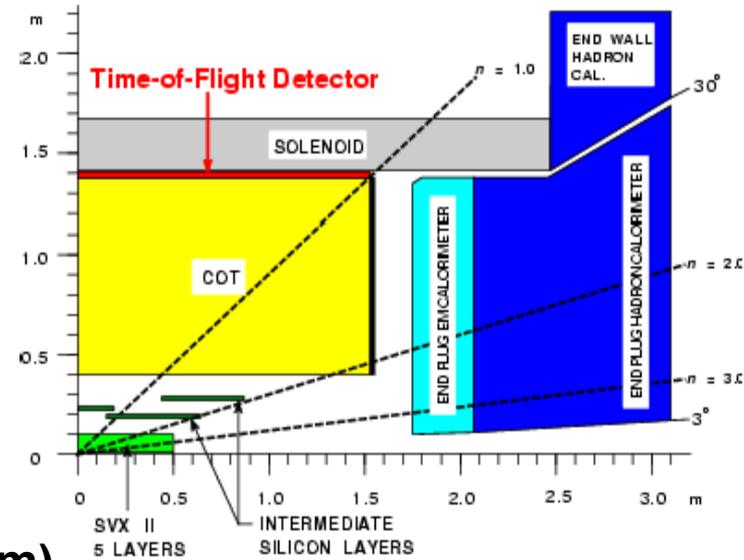
$L = 310$  cm

$R = 43$ - $132$  cm

8 couches  
(2520 cellules)

30 000 fils  
sensibles

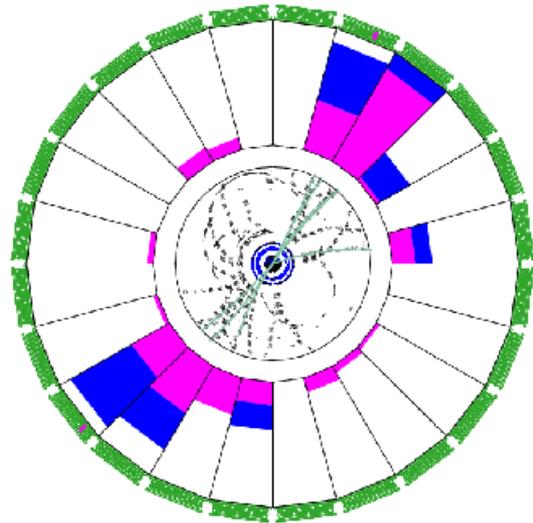
Traces ( $\sigma = 180$   $\mu\text{m}$ )  
et  $dE/dx$  (96 fils/tr)



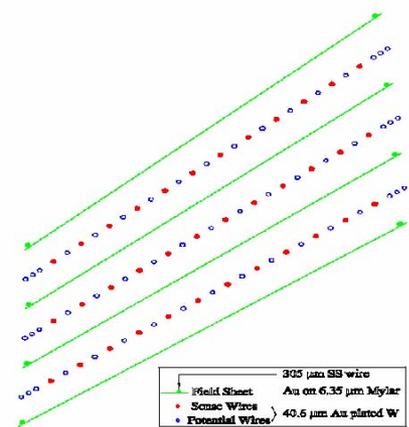
Oleron juin 2009



P. Siegrist CERN-PH



# CDF COT $dE/dx$

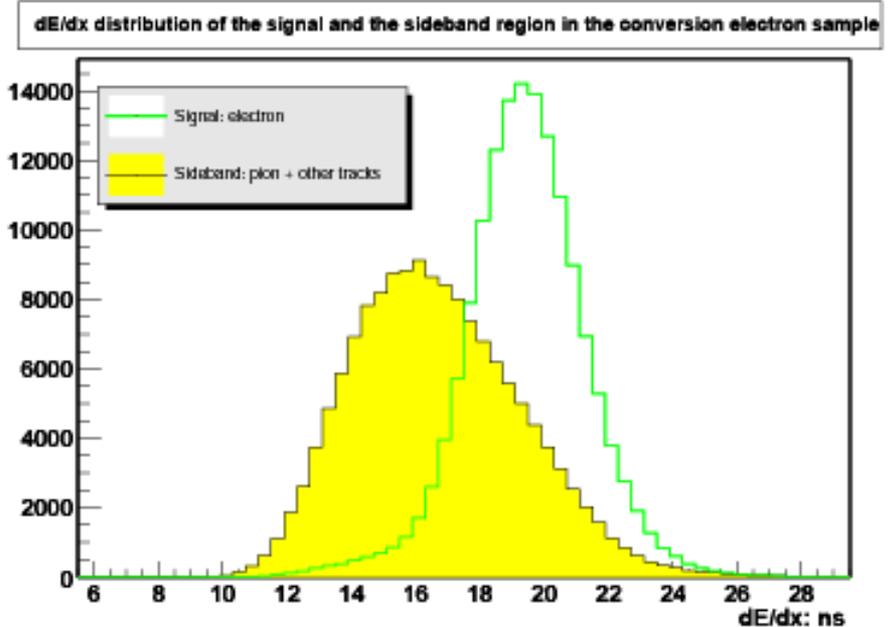
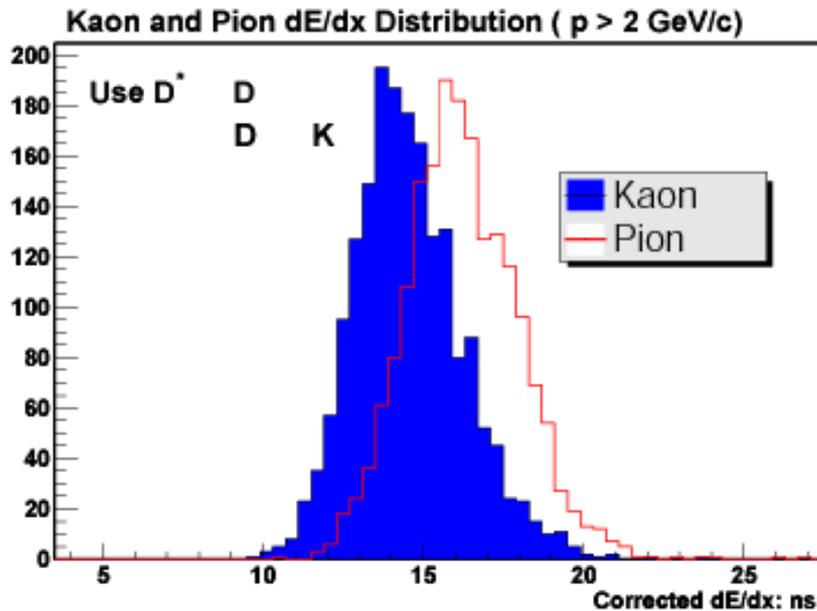


Séparation K-  $\pi$ : 1.6 ns ( $\sigma=1.6$  ns)

Séparation de 1- $\sigma$  jusqu' à 10 GeV/c, ensuite tombe à 0.75 s à 30 GeV/c

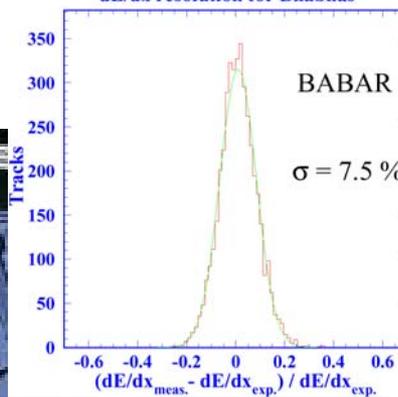
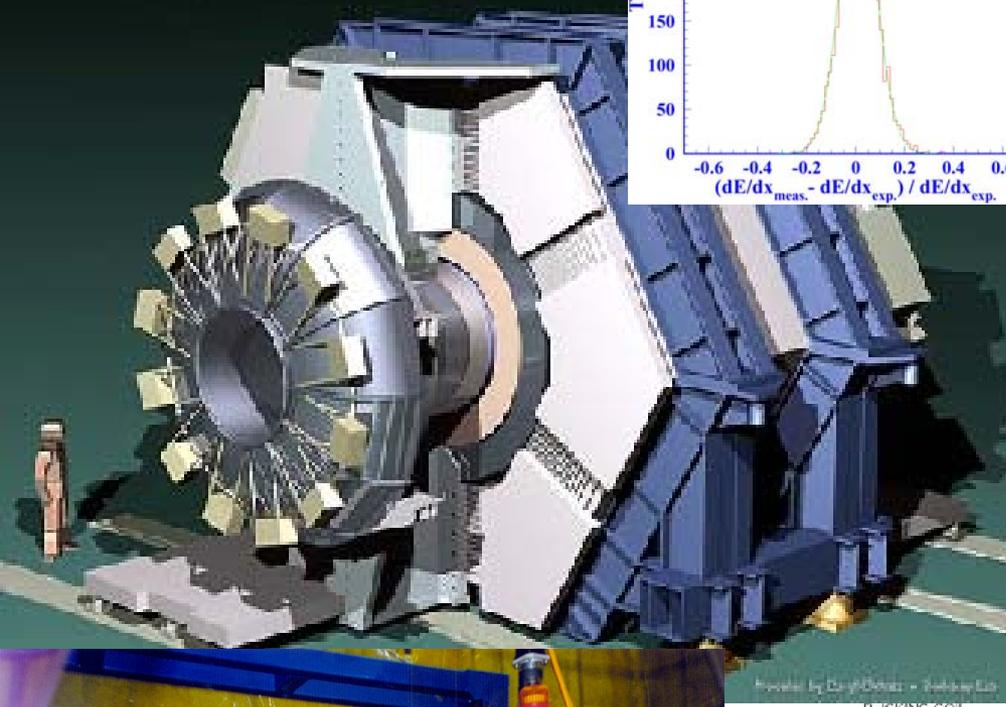
Séparation e -  $\pi$

Séparation 2.7 ns ( $\sigma = 2$  ns) en dessous de 4 GeV/c. Décroit avec p

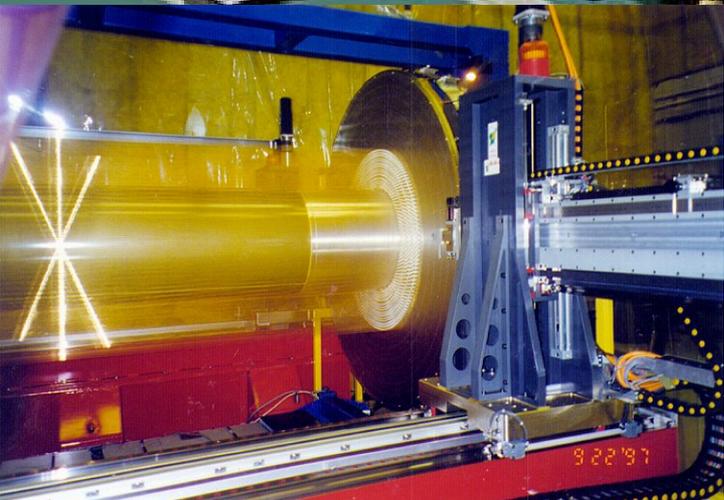
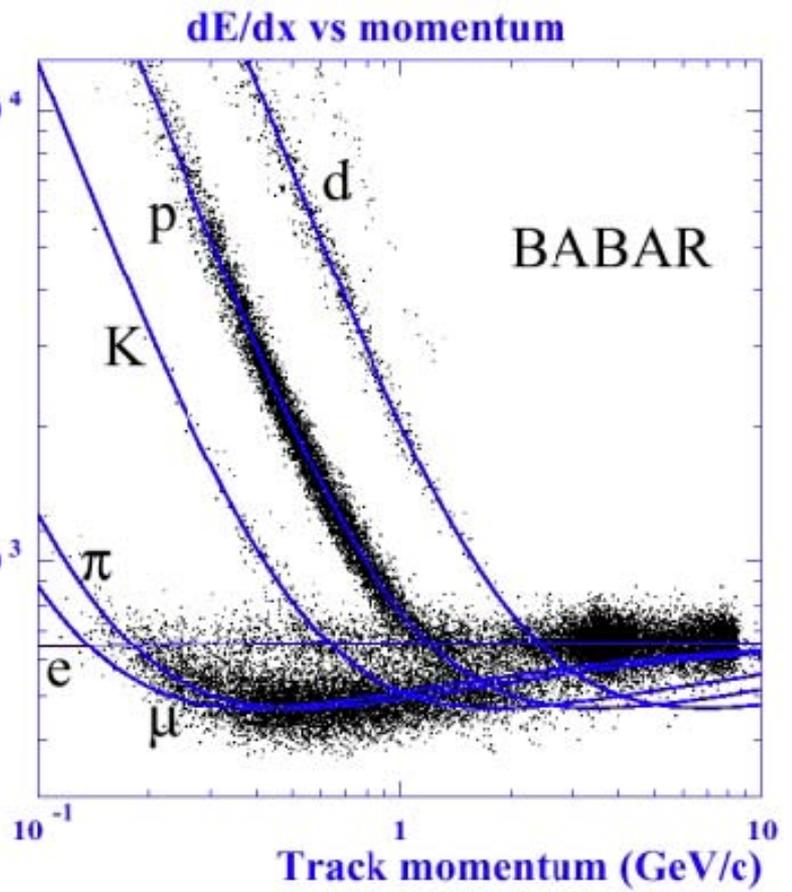


# BaBar $dE/dx$

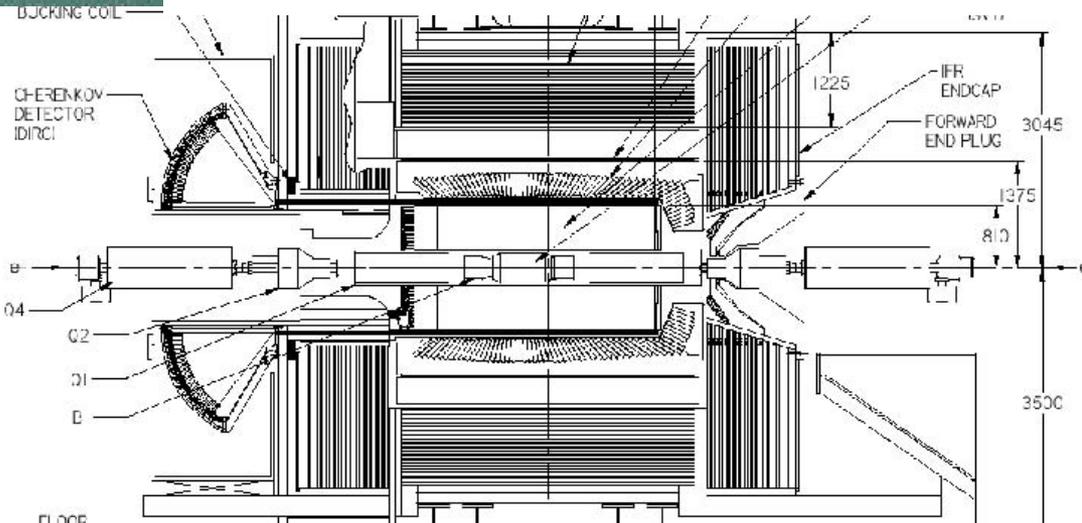
BABAR DETECTOR FOR THE PEP-II



80% truncated mean (arbitrary units)

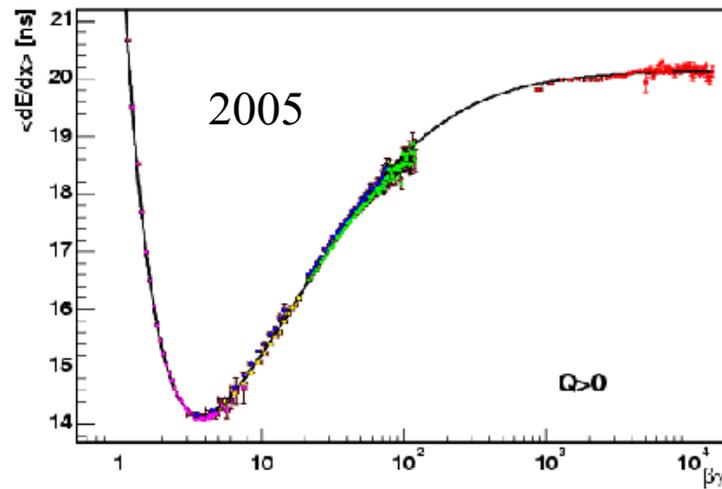
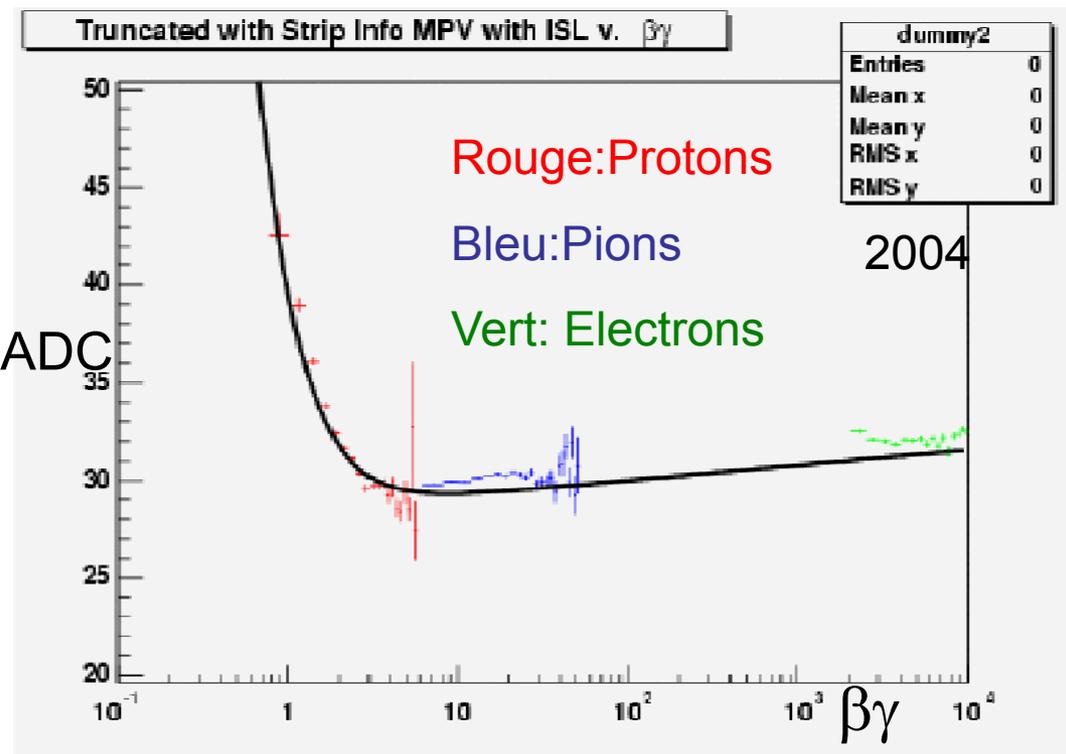


Provided by Dr. J. D. Dowd - Babbar Lab

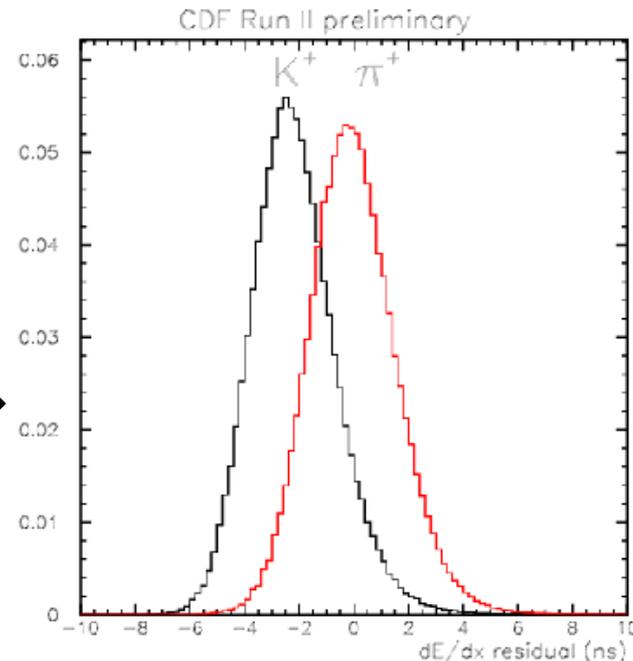


P. 1

# CDF Si $dE/dx$



$e, \mu, K, \pi, p$



P- $\pi$  séparation jusqu' à 1.36 GeV (à  $1 \sigma$ )  
K-p séparation jusqu' à 0.71 GeV (à  $1 \sigma$ )

**Combinaison  $dE/dx$  chambre à dérive +  $dE/dx$  Si  $\rightarrow$   
Séparation K-  $\pi$   $1.4 \sigma$**

# Temps de vol CDF

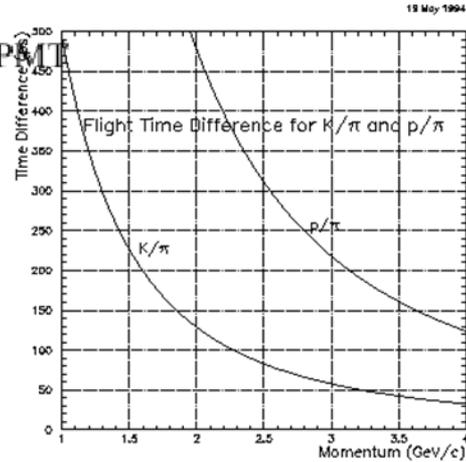
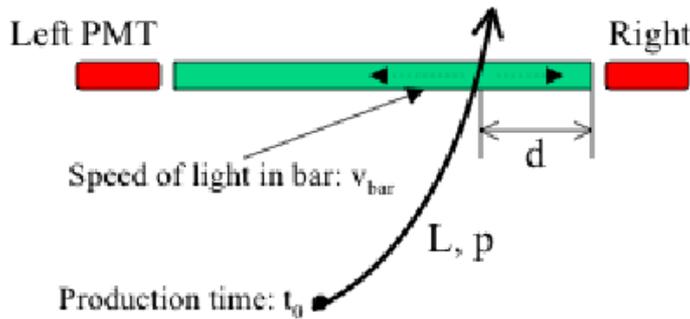
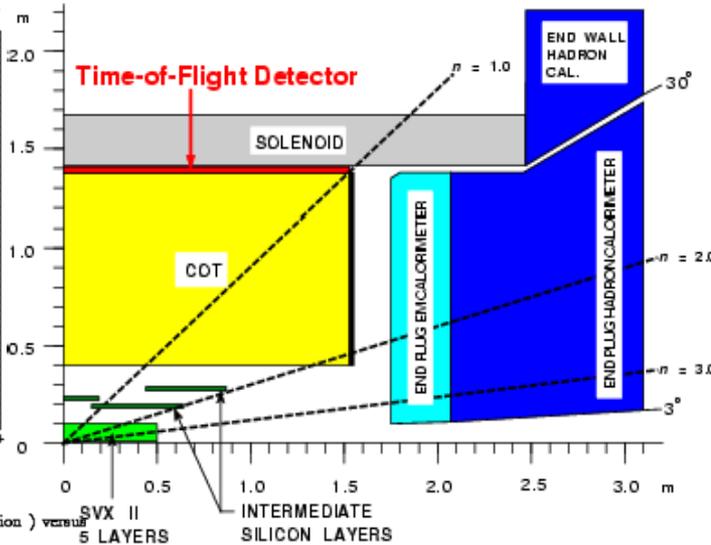


Figure 1: Flight time difference at a radius of 1.4 m (CDT location) versus momentum for  $K/\pi$  and  $p/\pi$ .



$$T = T_{\text{hit}} - d/v_{\text{bar}} - T_0$$

Résolution typique  $\sim 100$  ps

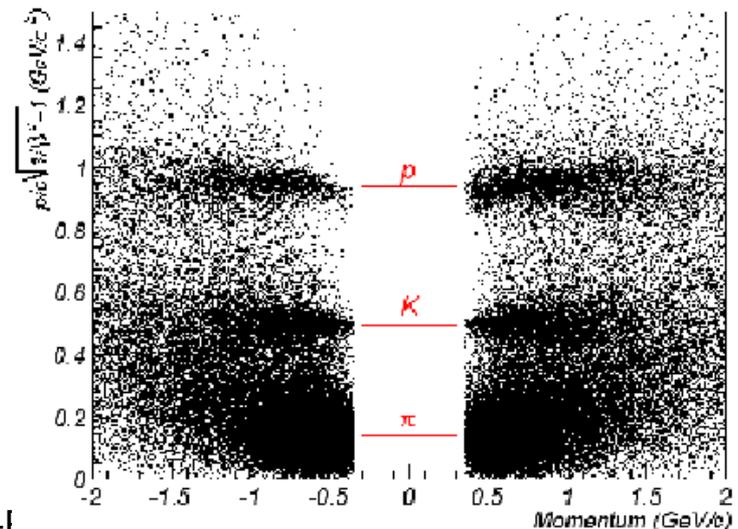
Si on connaît  $p$  (ch. à dérive + Si)

Alors

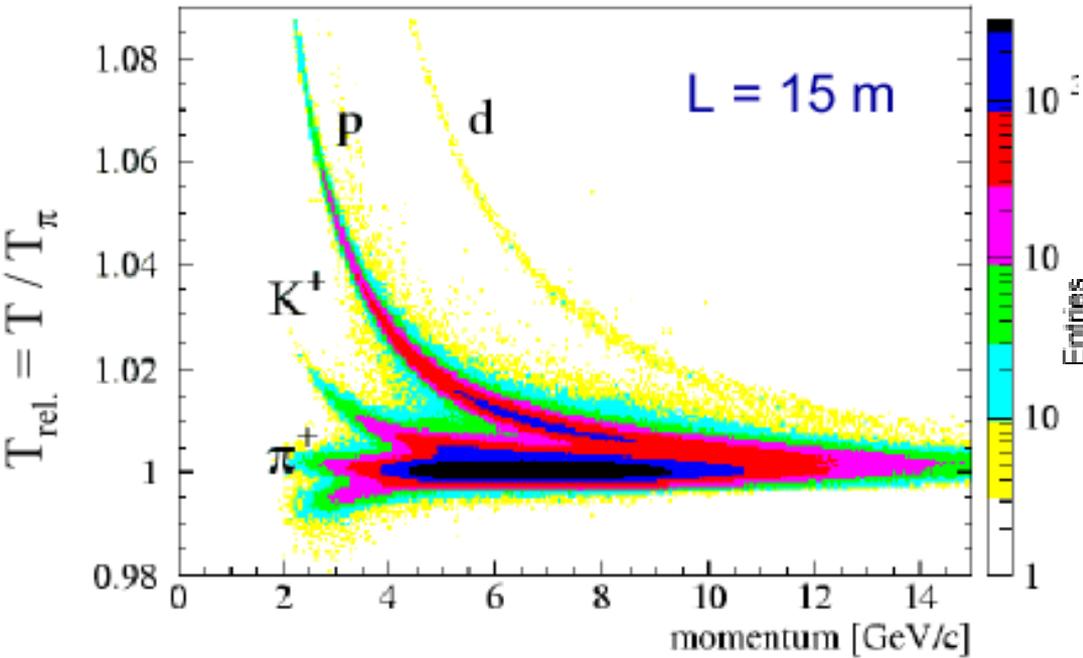
$$m = p/c (c^2 T^2/L^2 - 1)^{1/2} \rightarrow$$

En général TOF toujours associée à une autre identification,  $dE/dx$ , Č

CDF Time-of-Flight : Tevatron store 860 - 12/23/2001

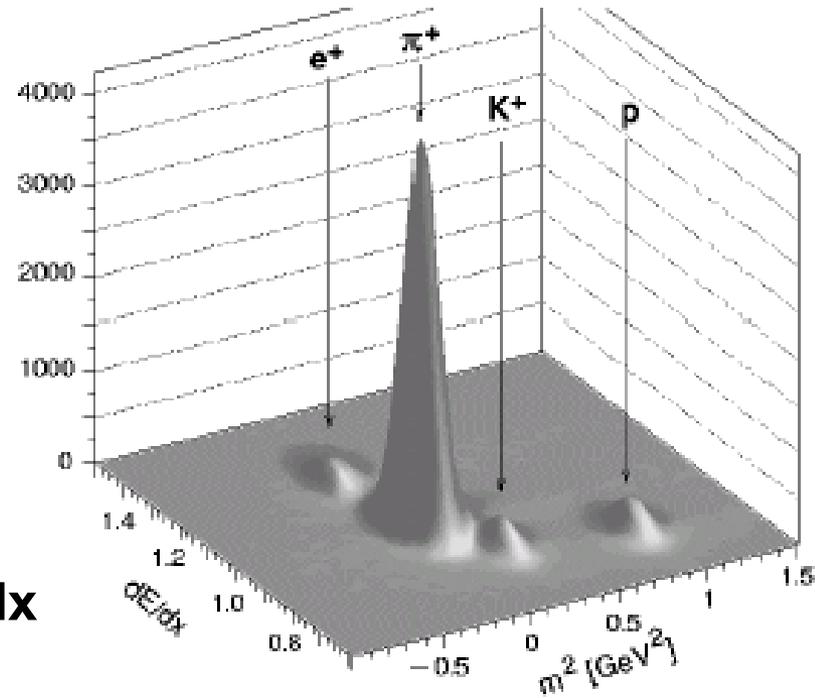


# Temps de vol NA49

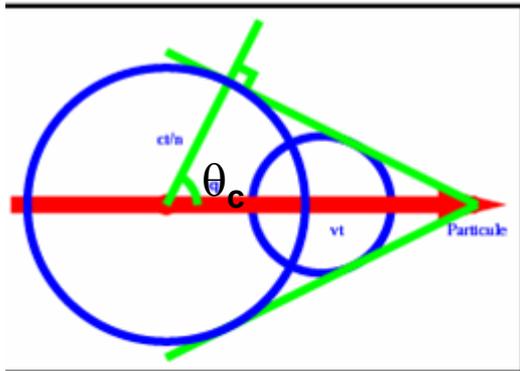


**TOF**

**+ dE/dx**



# Effet Cerenkov Ć



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

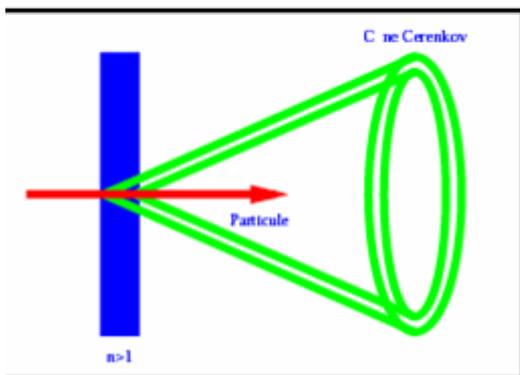
Emission à partir d'une vitesse limite minimum  $v_{\text{lim}} = c/n$

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

→ Ć à seuil

Avec des optiques sélectionnant les  $\theta_c$  (cône) on mesure directement la vitesse:

→ Ć différentiel



# Photons Č

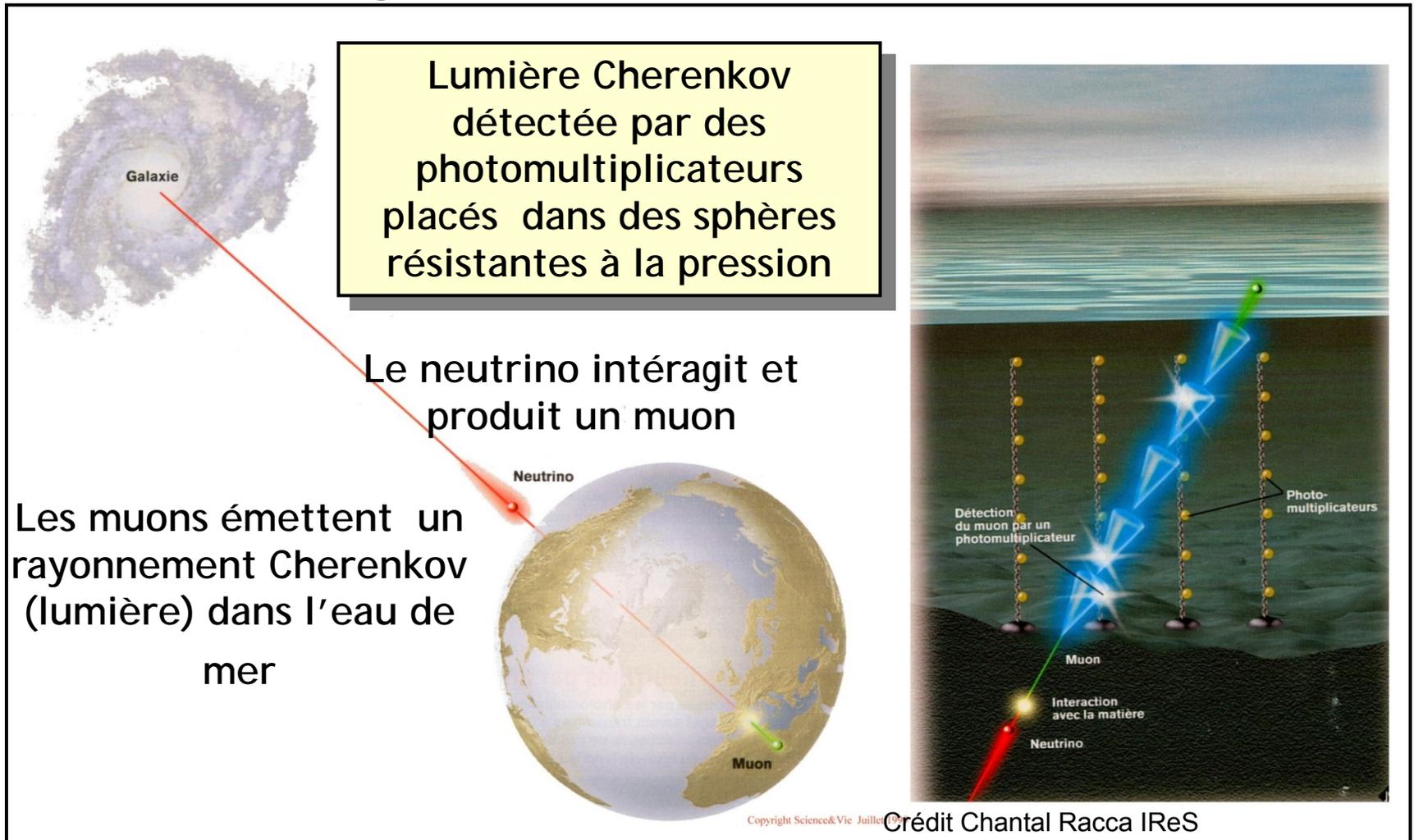
$$\left. \frac{dN}{dx} \right|_{\text{Cerenkov}} = 2\pi \alpha Z^2 (\sin^2 \theta) \times \left( \frac{1}{\lambda_{\min}} - \frac{1}{\lambda_{\max}} \right)$$

$$\beta \approx 1, n = 1.5, Z=1, \rightarrow \left. \frac{dN}{dx} \right|_{\text{Cerenkov}} \approx 330 \text{ photons / cm avec } \lambda \text{ pour photo-tubes standards}$$

A comparer avec un scintillateur où

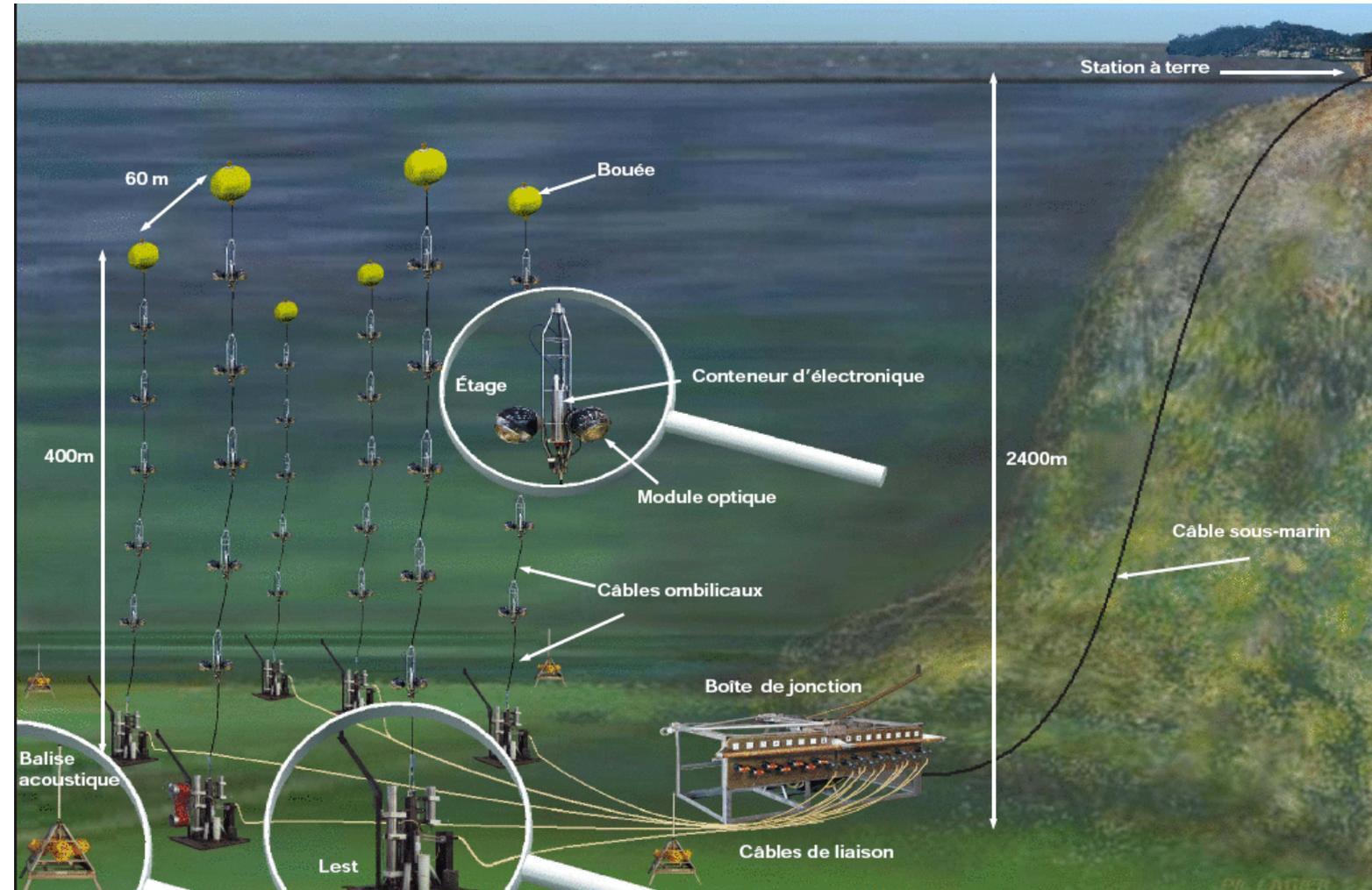
$$\left. \frac{dN}{dx} \right|_{\text{total}} \approx 17\,000 \text{ photons / cm} \rightarrow \sim \times 50$$

# Exemple immédiat d'un "gros Cerenkov": ANTARES



# ANTARES :

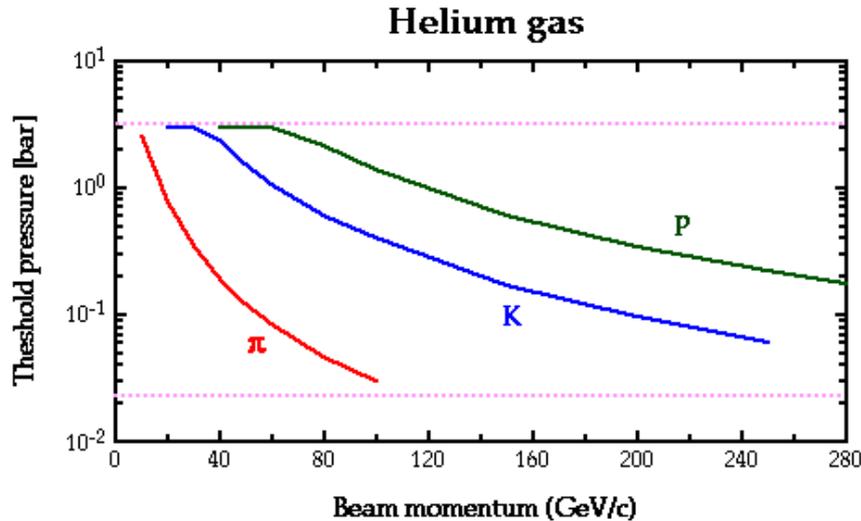
12 lignes de 25 étages à 3 PMs



Crédit Chantal Racca IReS

# Č à seuil

L. Gatignon

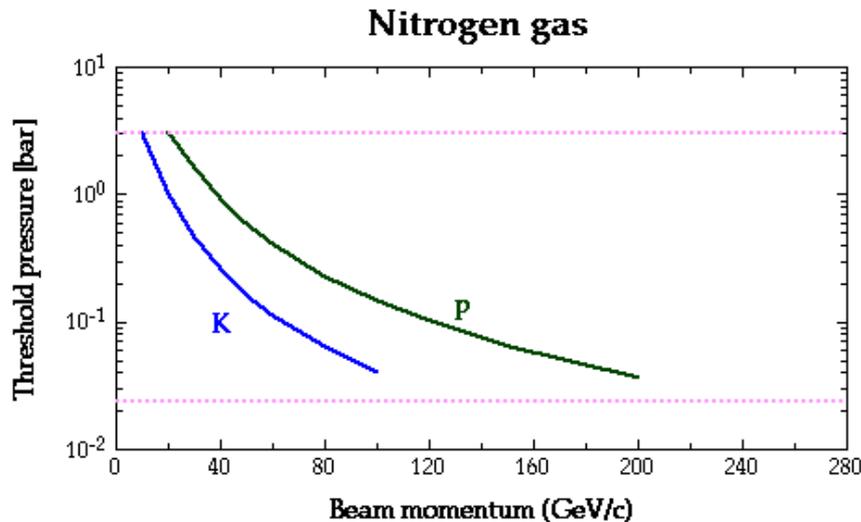


$$\beta = v/c = p/E \sim 1 - M^2/(2p^2)$$

$$V=c/n, \quad p/E = c/n(P_{th}).$$

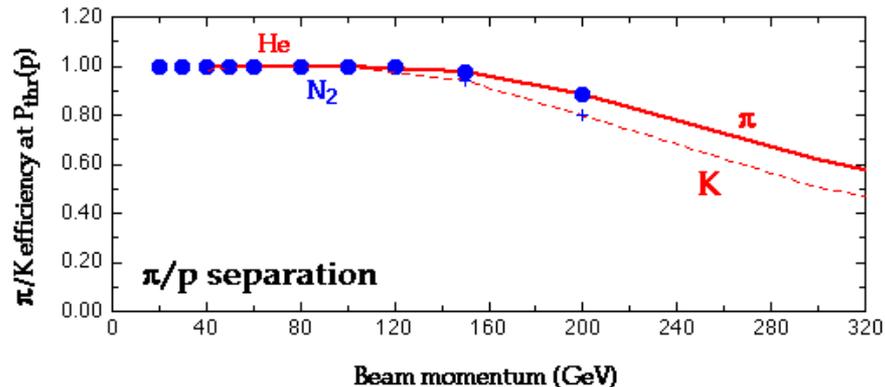
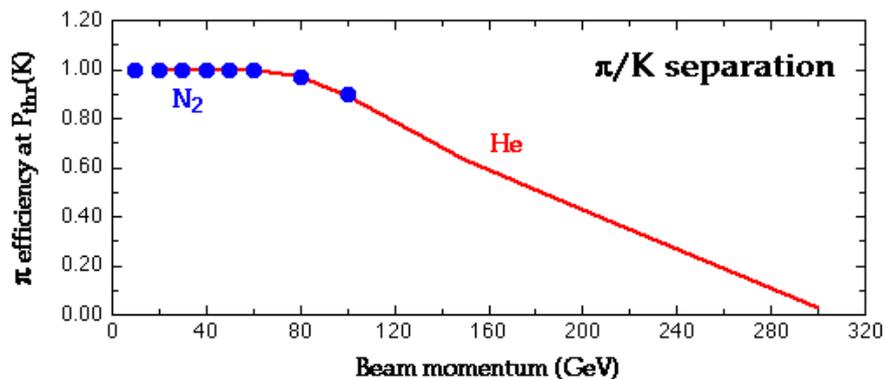
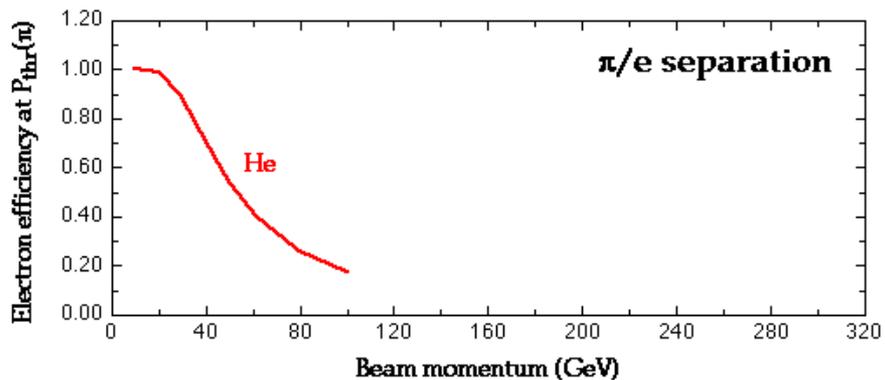
$$P_{th} = (1/2k) \times M^2/p^2$$

k= constante, dépend du gaz



$$k = 3.22 \cdot 10^{-5} \text{ pour l' Helium}$$

$$k = 2.99 \cdot 10^{-4} \text{ pour l' Azote}$$



Si  $P > P_{th}$

Photoélectrons émis sous un angle  $\emptyset$  tel que

$$\emptyset^2 = 2kP - M^2/p^2$$

N photoélectrons émis sur une longueur L en cm:  $N = A L \emptyset^2$

Avec A cte efficacité quantique, optique, etc.  
A typique  $\sim 100$

$$N \sim 100 L ( 2kP - M^2/p^2 )$$

Efficacité:  $Eff = 1 - e^{-N}$

**Efficacité théorique pour L = 10 m et A = 100**

**Particules Helium**  
 pi / e sep  $\rightarrow$  50 GeV  
 pi / K sep  $\rightarrow$  180 GeV  
 pi / p sep  $\rightarrow$  250 GeV

**Azote**  
 impossible  
 sep  $\rightarrow$  100 GeV  
 sep  $\rightarrow$  200 GeV

# Applications Č à seuil

- Identification de particules sur faisceaux

Machines à cibles fixes

Exemple : faisceau de 10 Gev (PS du CERN) produit par des p primaires sur cible externe → faisceau secondaire, mélange de  $\pi$ , K, p

Faisceau séparé: électrostatique (trop haut en énergie) ou RF (trop cher...)

→ 4 Č de faisceau à seuil:

2 avec seuil entre  $\pi$  et K (ne “voient” que les  $\pi$ ), Č1 et Č2 (hydrogène à 7.5 atm., L=3m)

2 avec seuil entre K et p (“voient”  $\pi$  et K), Č3 et Č4 (isobutane à 6,5 atm., L=2m)

$\pi = \check{C}1 \cdot \check{C}2 \cdot \check{C}3 \cdot \check{C}4$      $K = \underline{\check{C}1} \cdot \underline{\check{C}2} \cdot \check{C}3 \cdot \check{C}4$     et     $p = \underline{\check{C}1} \cdot \underline{\check{C}2} \cdot \underline{\check{C}3} \cdot \underline{\check{C}4}$

3% de  $K^-$  et  $p^-$  bien identifiés. Impulsion P fixe! Inefficacité de chaque Č <1%

- Mesures des particules produites sur cible fixes (spectro multi particules état final) 1 (grand- multi PM) Č par seuil → bandes de sensibilité (p variable)

# Č différentiel

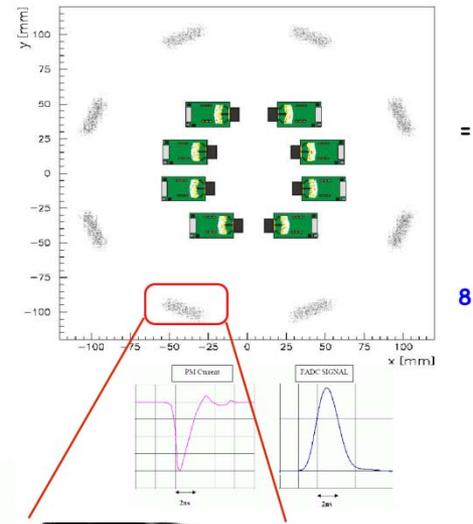
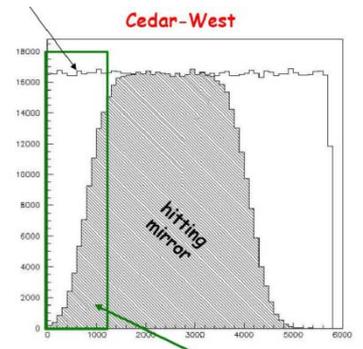
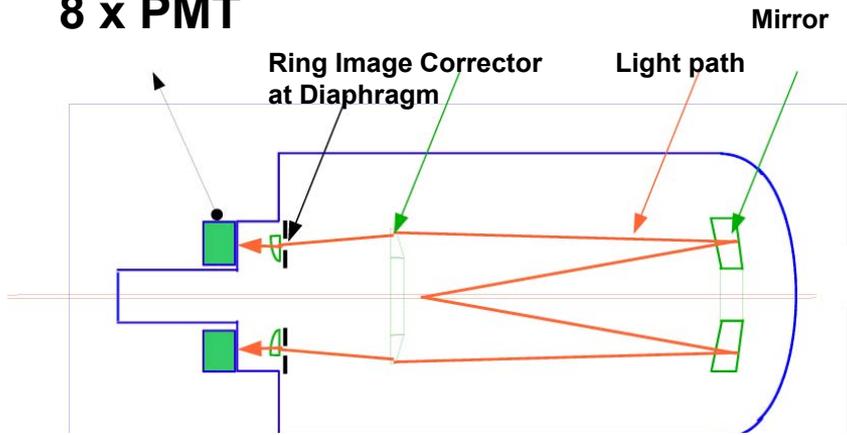
- 1970-1975 Č différentiel sur faisceaux hypérons (R. Meunier et al.)
- 1978 CEDAR (C. Bovet et al.) Rapport jaune CERN 82-13
  - K et  $\pi$  jusqu'à 300 (150) GeV/c
  - P 60 (12) GeV/c

Modifications proposées pour NA48 III. (L. Gatignon et al)

1 GHz total, 50 MHz/PM, 50 MHz de K<sup>-</sup>

PM multi anodes (32) → 3 MHz/canal + préamplis bas bruit rapide → FADC 1 GHz 8 bit

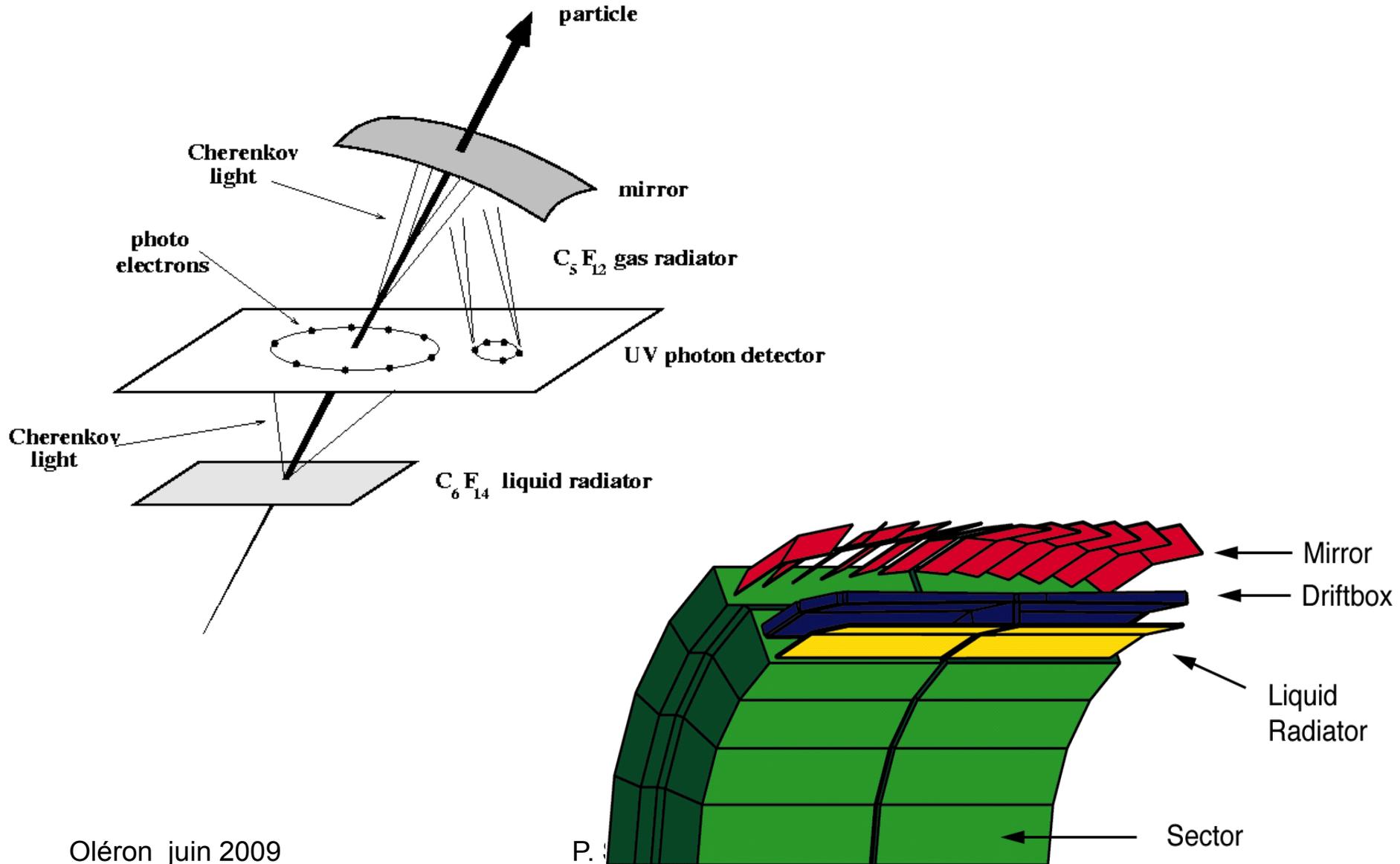
# 8 x PMT



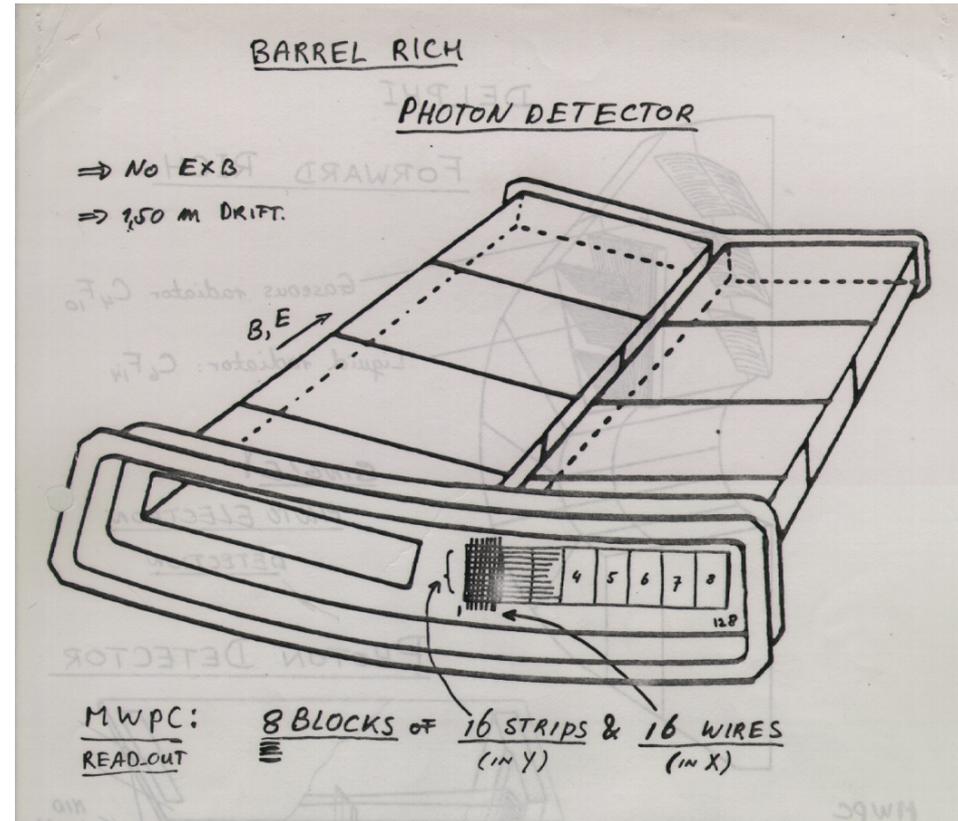
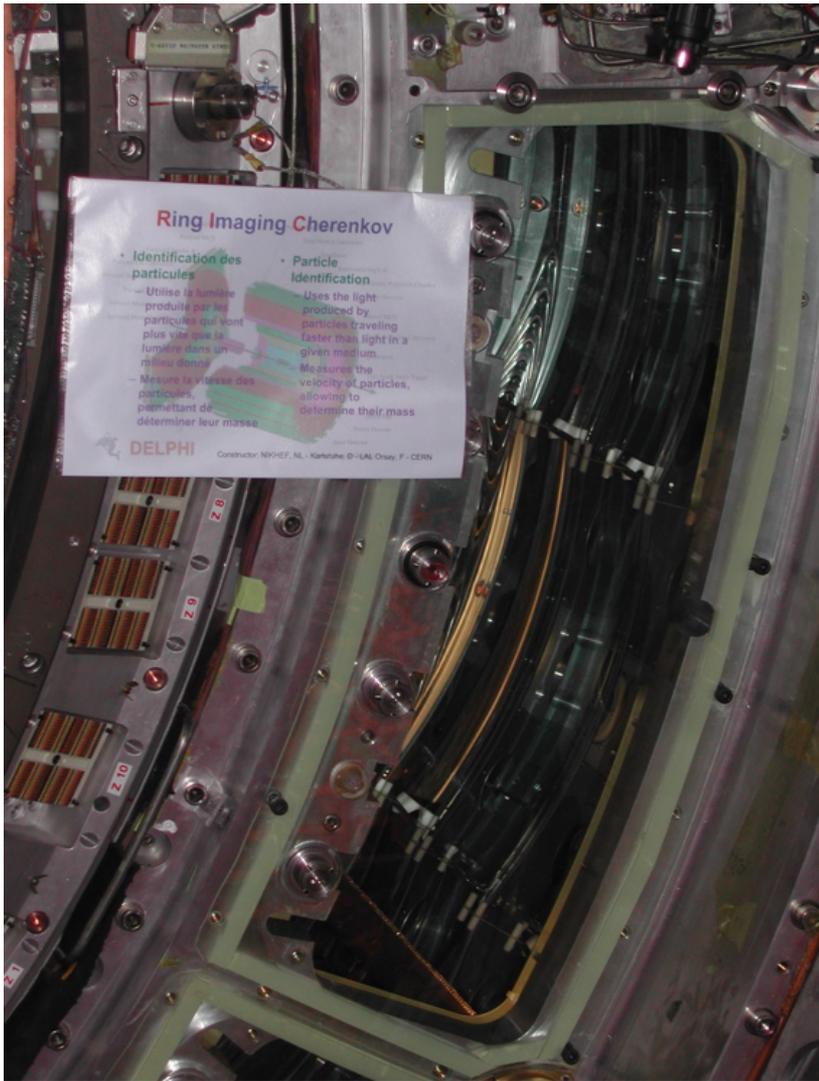
# RICH

- Ring Imaging Cerenkov
- Propose par J Seguinot & T. Ypsilantis fin des années 70
- Construit dans Delphi à partir des années 80
- Exploite le principe du Cerenkov différentiel pour reconstruire des projections coniques
  - → anneaux de lumière
  - → anneaux d'électrons !

# RICH Principe







# Quelques détails...

## **Le radiateur liquide du Barrel RICH**

- Le radiateur liquide est rempli avec du perfluorhexane liquide ( $C_6F_{14}$ )
- 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...

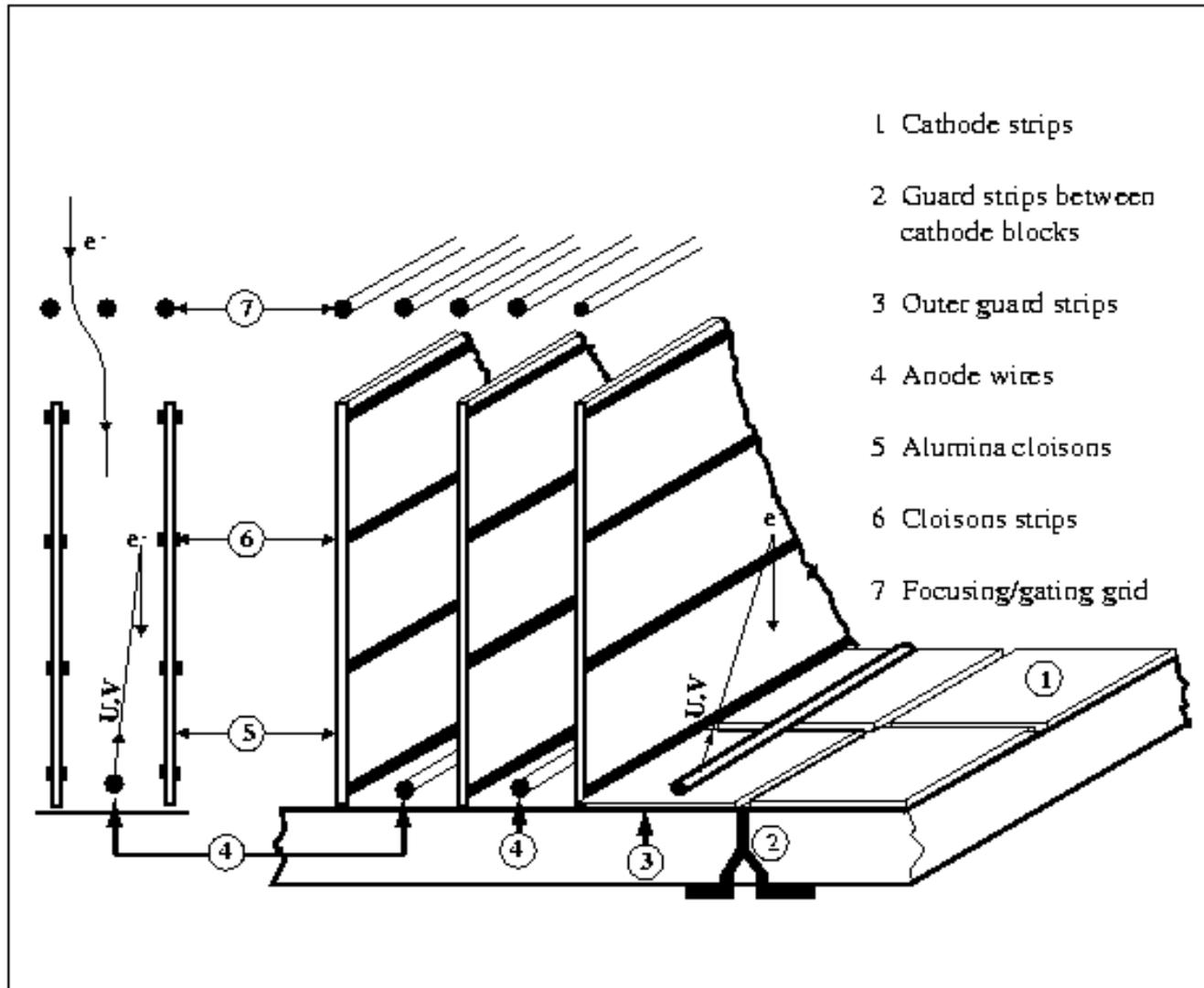
## **Le détecteur de photons du Barrel RICH**

- Le gaz de dérive est un mélange de 80% Argon (Ar) et 20% Méthane ( $CH_4$ ) 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**

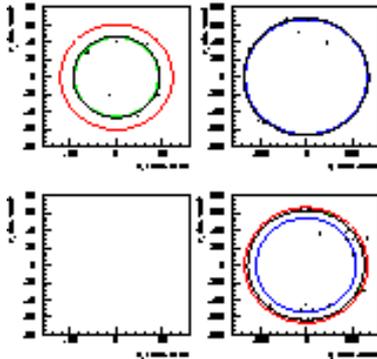
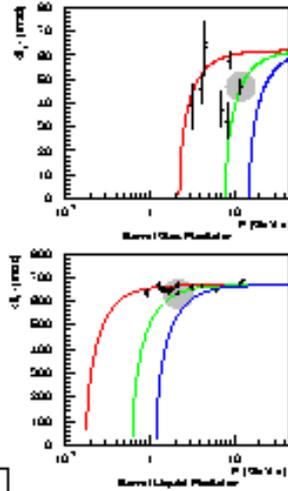
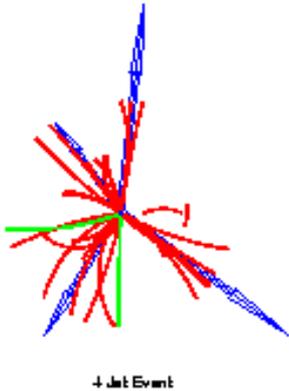
- 128 fil d'anode par chambre, total de 48 chambres, 8\*16 strips par chambre
  - Distance entre fils d'anode 2.62 mm. Diamètre du fil 20 micron.
  - Multiplicité moyenne de l'avalanche d'électrons induite par 1 photoélectron =  $10^{**5}$

# Chambre Proportionnelle BRICH

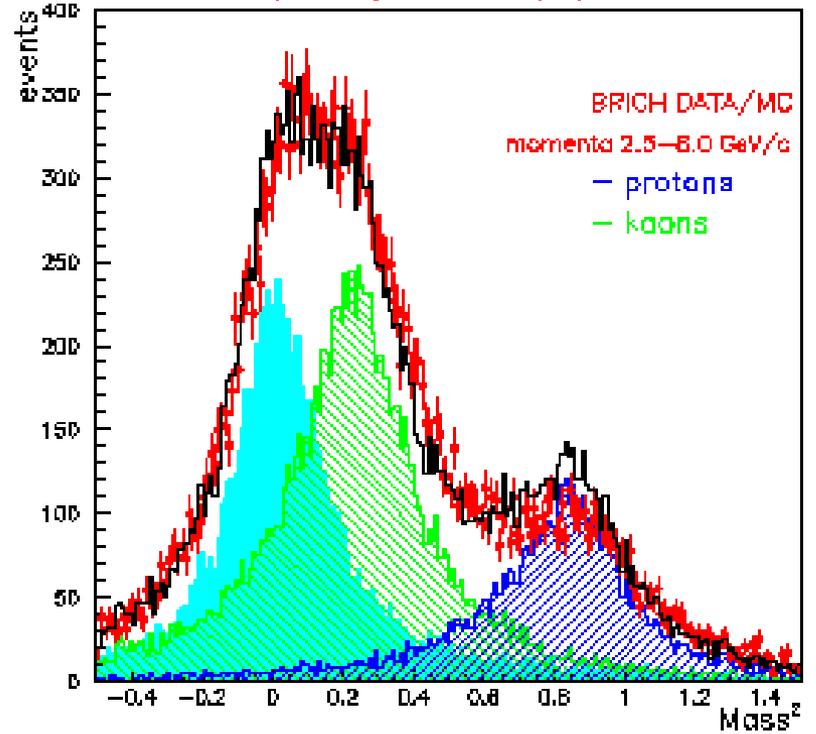


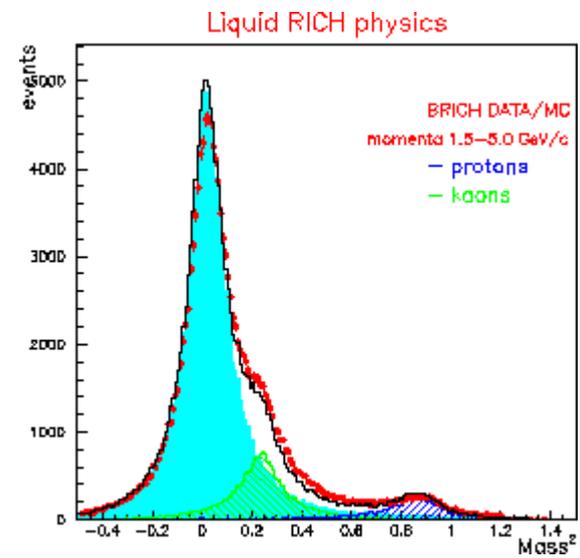
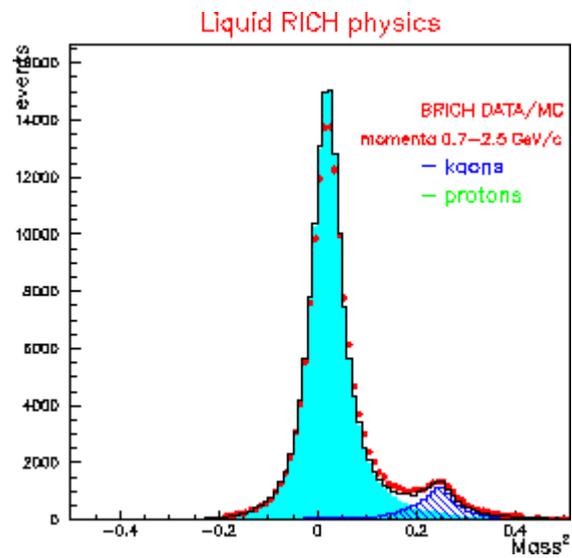
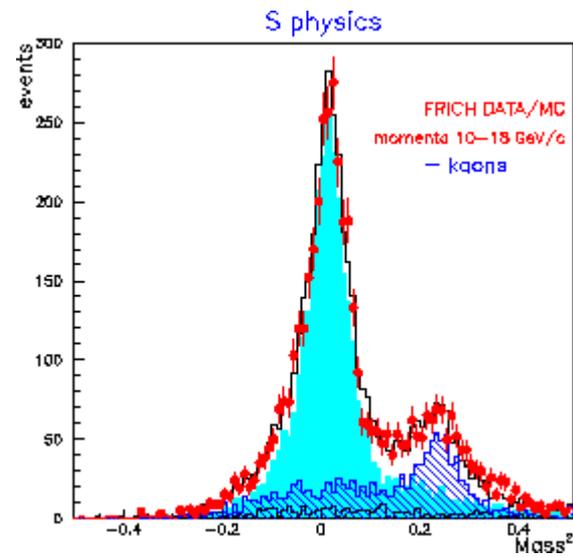
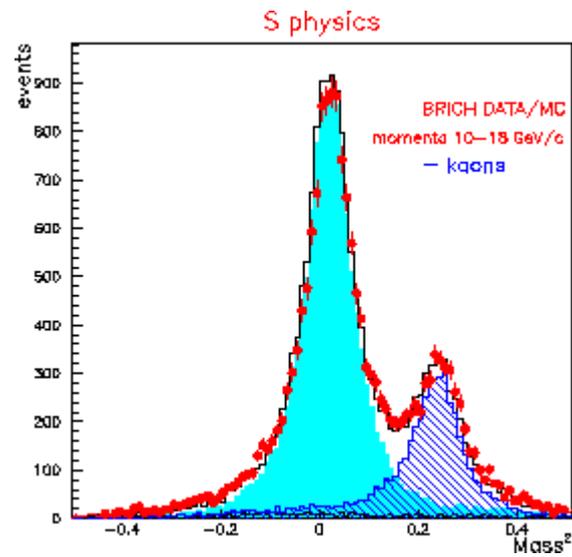
# Paramètres Delphi B-RICH

- 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

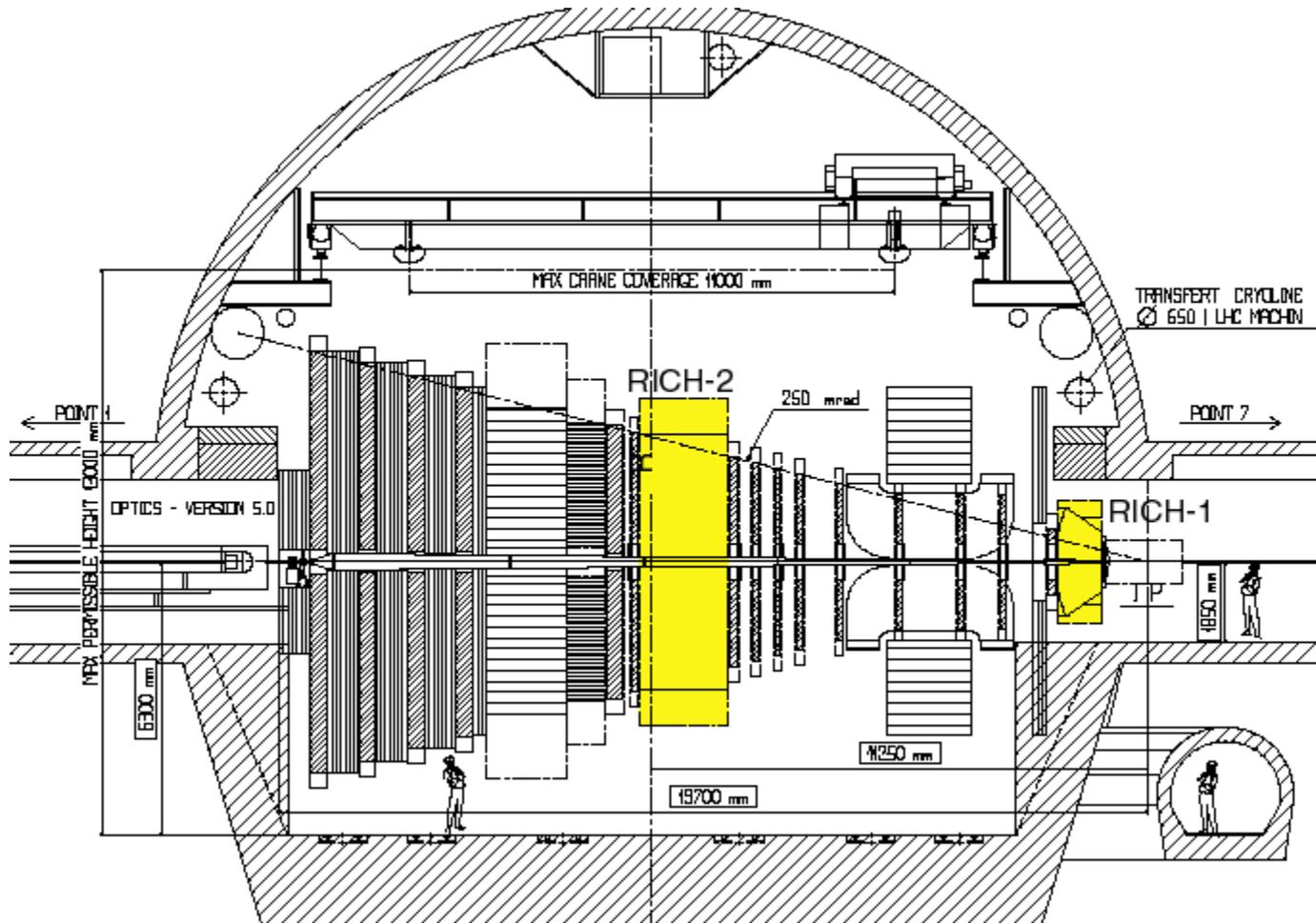


Liquid-gas RICH physics





# RICH à LHCb



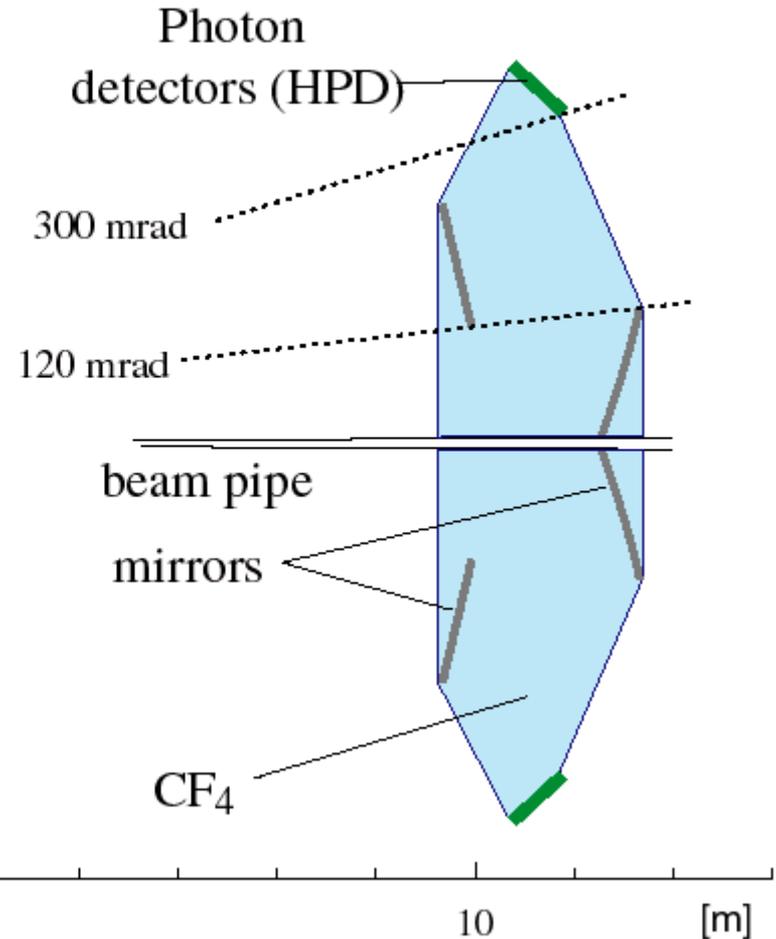
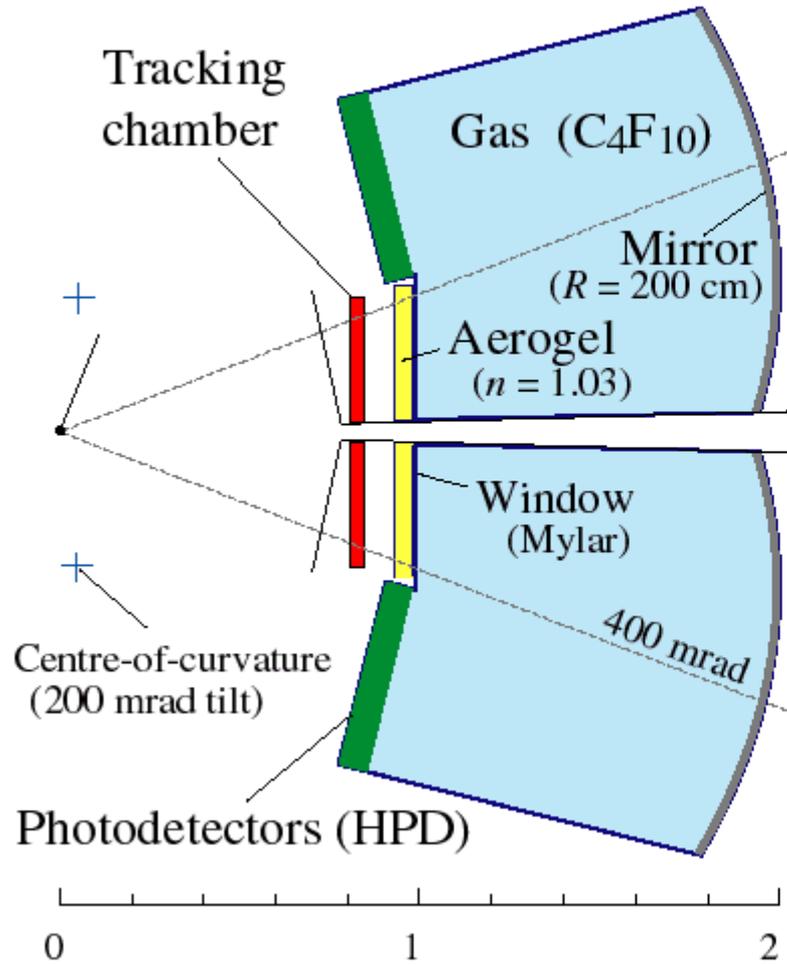
Gamme p 1 - 150 Gev

10 – 30 mrad

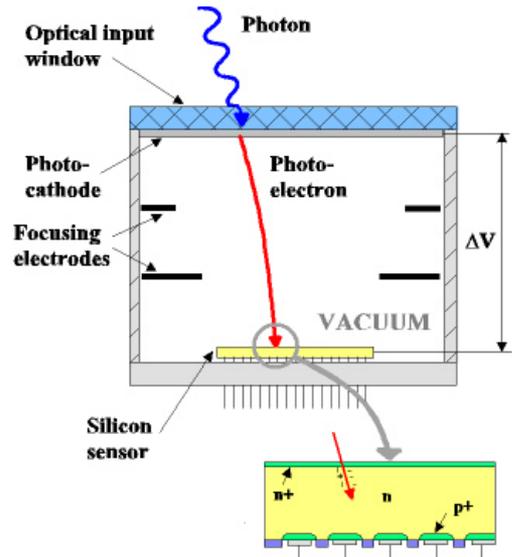
# RICH-1

# Top View

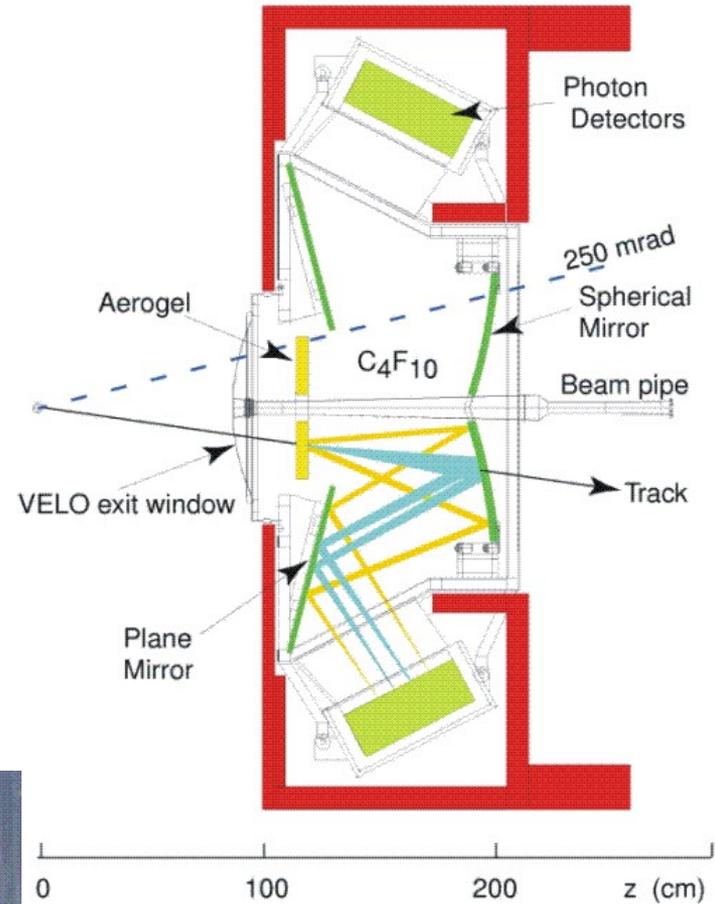
# RICH-2



# LHCb RICH 1



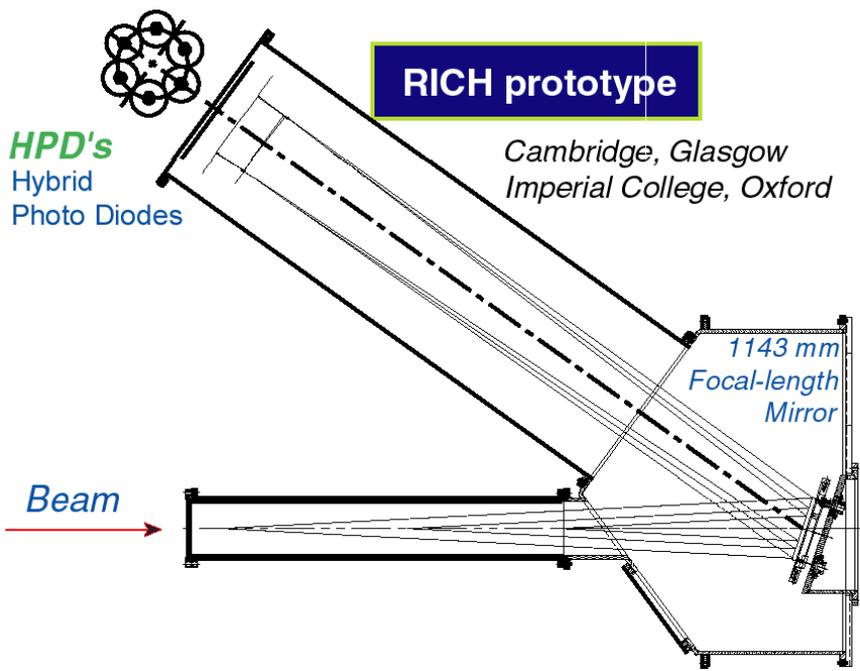
The photodetector planes will cover a total area of  $2.6\text{m}^2$  with a granularity of about  $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ .



Oléron juin 2009

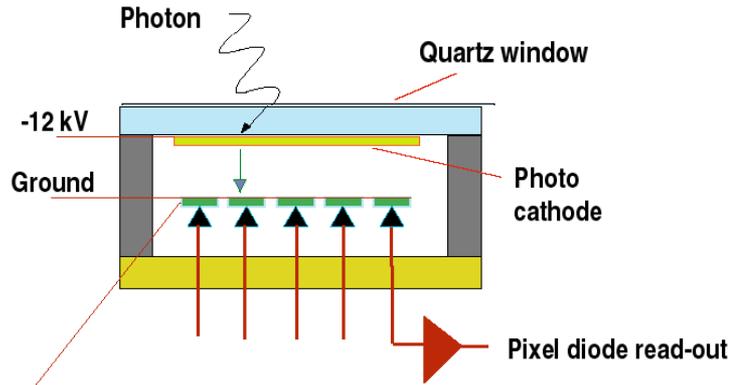


P. Siegrist CERN-PH



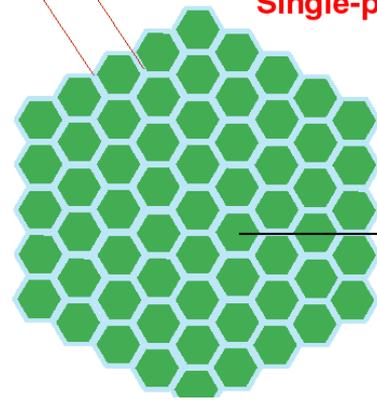
**Hybrid Photo Diode:**

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

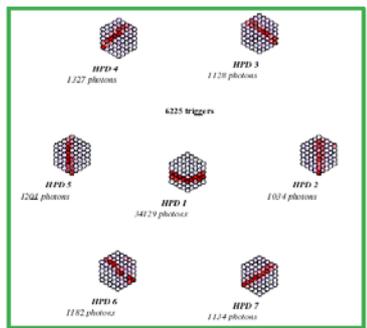
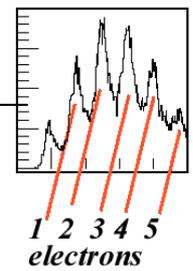


silicon  
one pixel 2mm

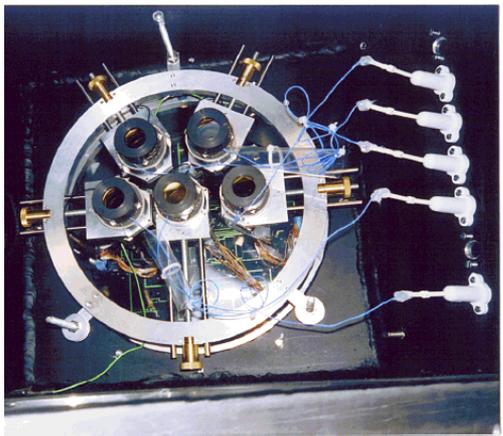
**Single-photon sensitivity**



Spectra taken with pulsed weak light (green) source



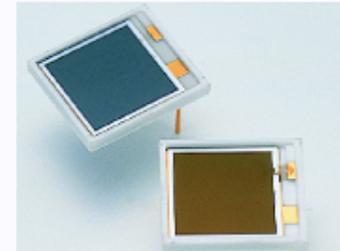
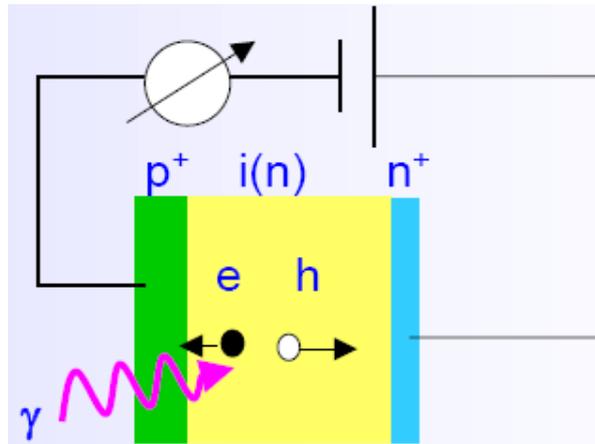
Display of the hits in a run taken with a pion beam, showing the rings from aerogel and C<sub>4</sub>F<sub>10</sub> radiators.



# Photodétecteurs

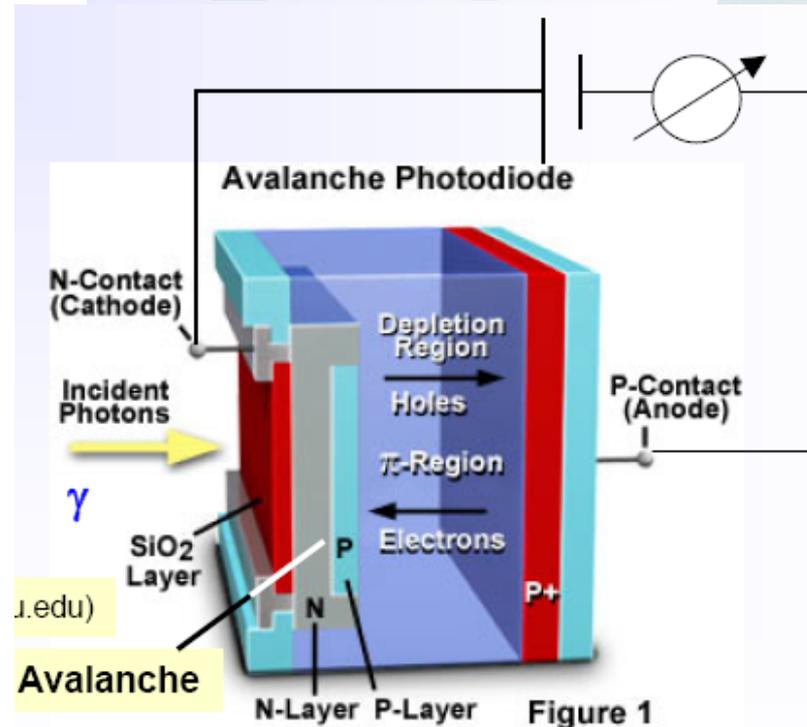
## Photodiodes

Pas de gain → inutilisable pour détection photon unique



## Photodiode à avalanche APD

- polarisation inverse forte  
100-200 V
- Grand gain 100-1000
- → CMS ECAL



# Photodétecteurs

## Photomultiplicateur silicium

réseau d' APD en mode Geiger

## HPD Hybride photon detector

Mélange de détecteur de photons à tube et techno état solide

Entrée: fenêtre optique + photo cathode

Gain: 1 étage dans détecteur état solide

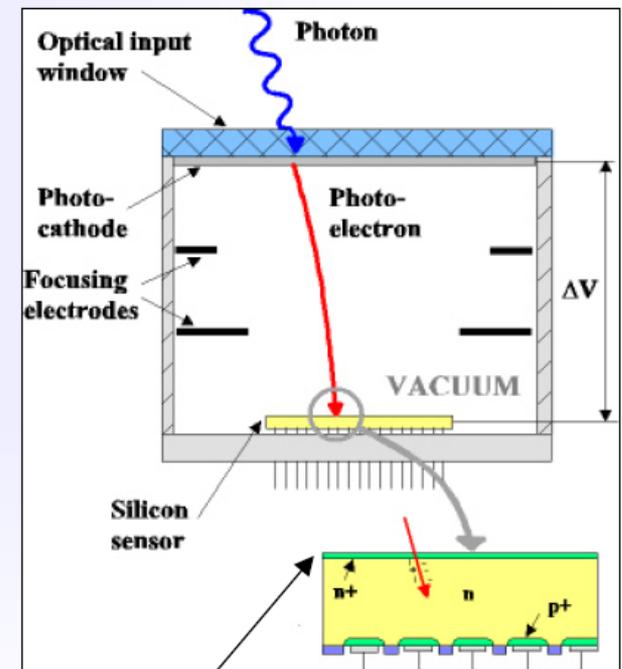
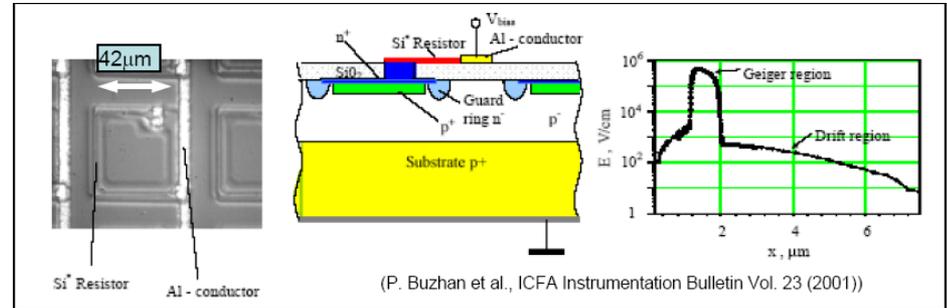
→ faibles fluctuations

Sortie: directement signal électronique

Encapsulation: → tenue au vide, connectivité interne ou externe pour lecture, dissipation de chaleur.

DV 10-20 kV Gain~ 5000

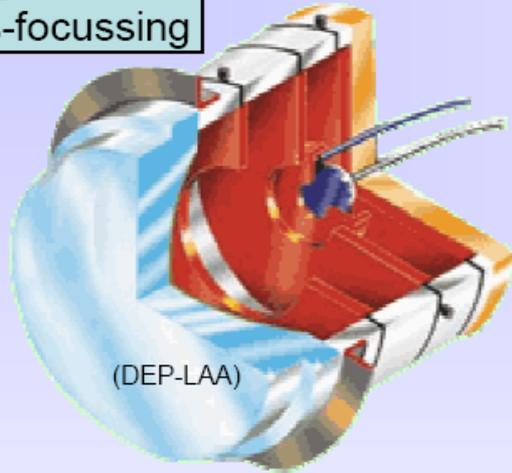
Parfait pour détection single photon avec haute résolution (lumière Č)



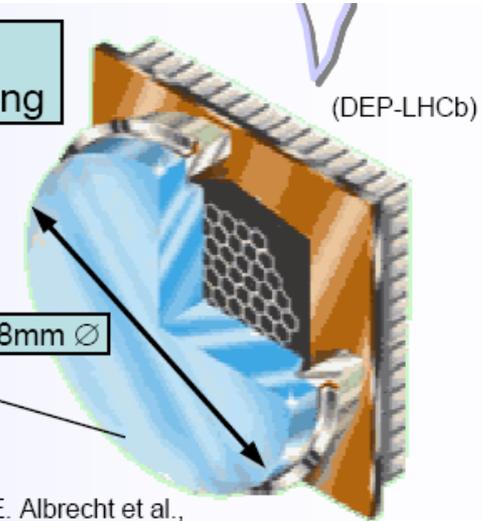
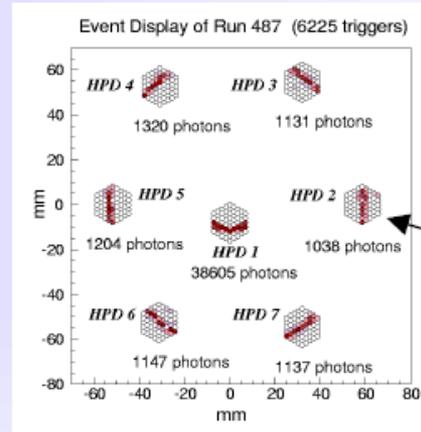
CERN Academic Training Programme 2004/2005

# HPD exemples

Single-diode cross-focussing

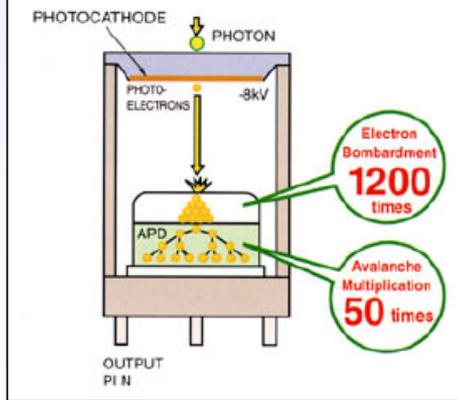


Multi-pixel proximity-focussing



(E. Albrecht et al., NIMA A 411 (1998) 249-264)

Single avalanche diode HPD



(Hamamatsu)

## DEP-LHCb development:

- Multi-alkali photo-cathode;
- Commercial anode with 61 2mm-pixels; vacuum feed-throughs to external analog (VA2) readout electronics;
- Proximity-focussing electron optics;
- Poor intrinsic active area coverage (~50%);

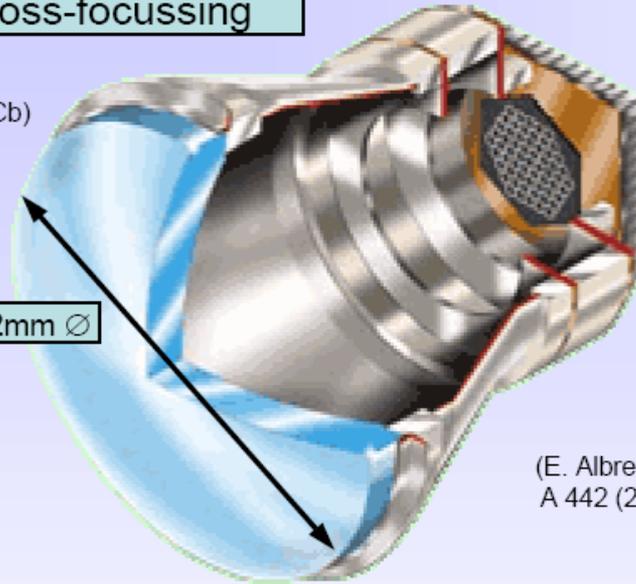
# HPD exemples



Multi-pixel,  
cross-focussing

(DEP-LHCb)

72mm  $\varnothing$



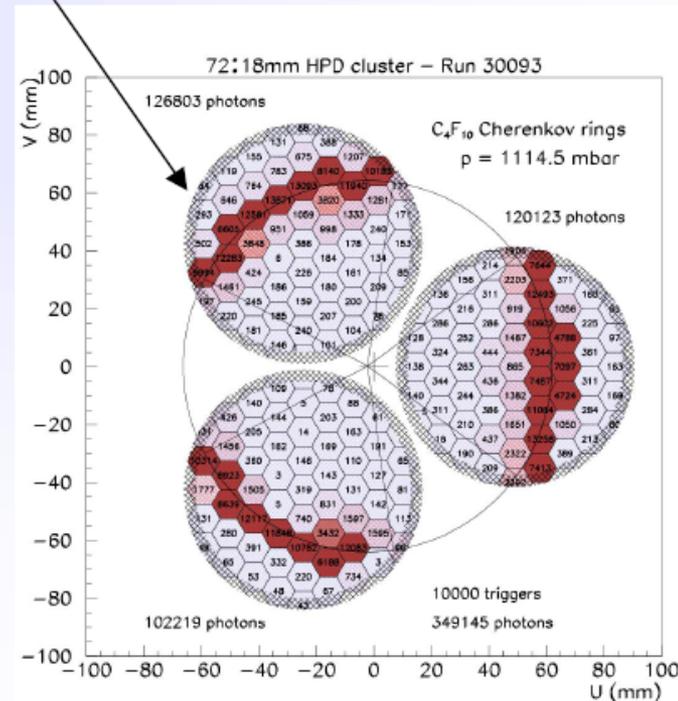
(E. Albrecht et al., NIMA  
A 442 (2000) 164-170)



(DEP-LHCb)

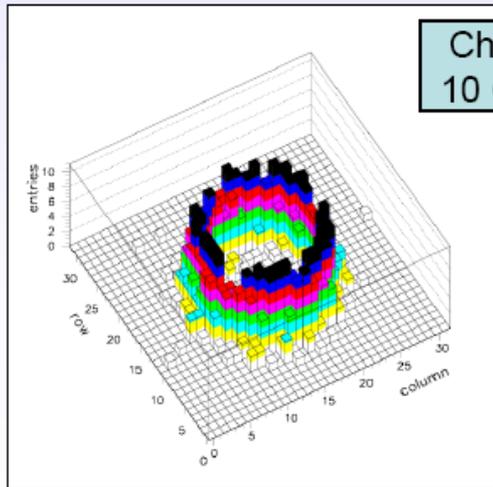
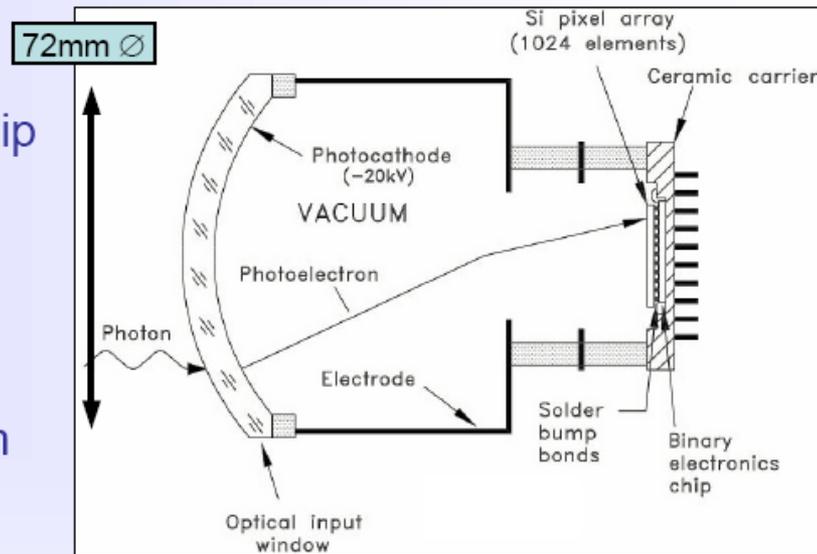
## DEP-LHCb development:

- Commercial anode;
- Cross-focussing electron optics (de-magnification by  $\sim 5$ );
- High intrinsic active area coverage (83%);



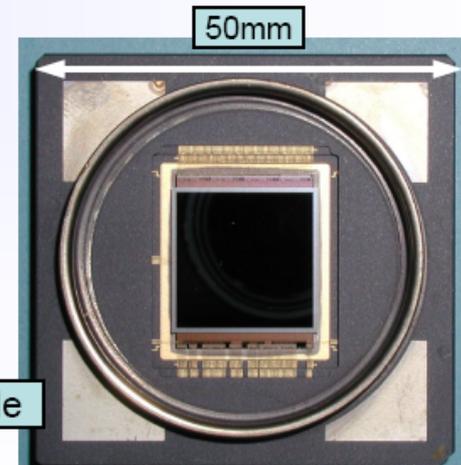
# Pixel HPD pour détecteur RICH

- LHCb-dedicated pixel array sensor bump-bonded to binary electronic chip (in coll. w. ALICE-ITS), specially developed high  $T^\circ$  bump-bonding;
- Flip-chip assembly encapsulated inside vacuum tube using full-custom ceramic carrier;



(M. Moritz et al., IEEE TNS Vol. 51, No. 3,, June 2004, 1060-1066)

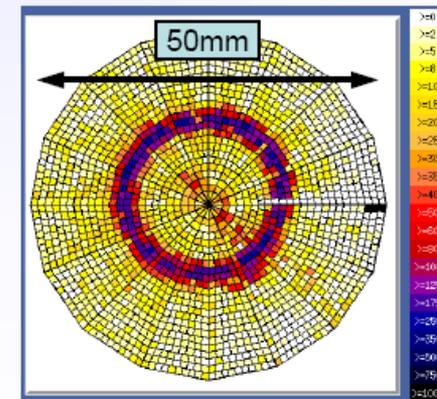
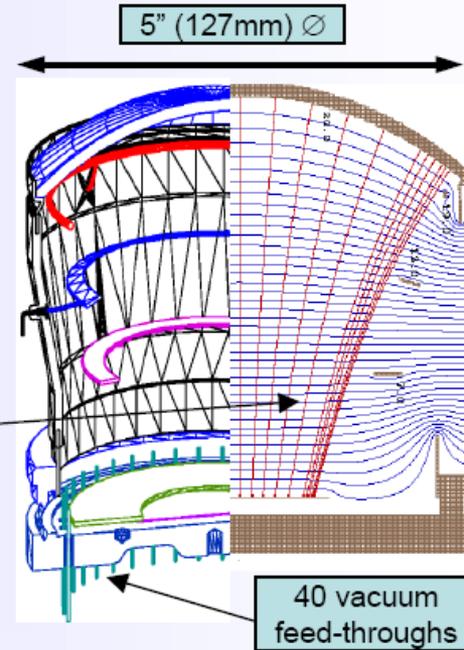
Pixel-HPD anode



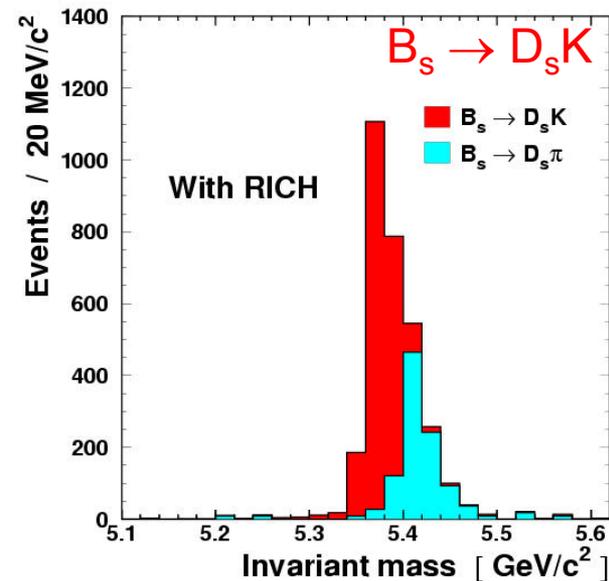
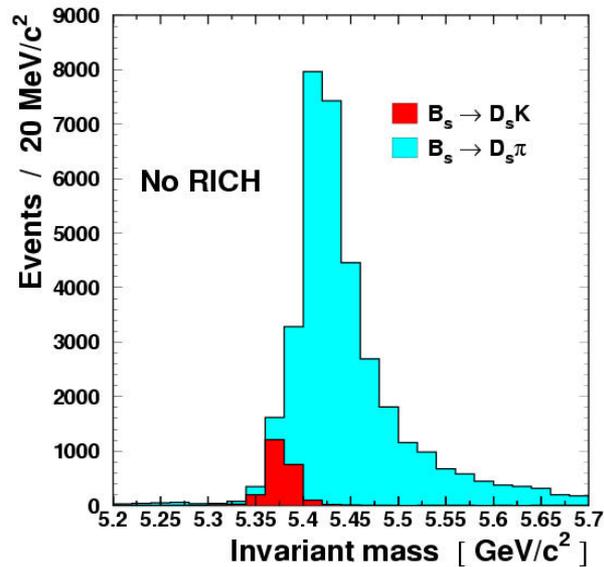
# Pad HPD pour détecteur RICH

Full in-house (LHCb, CERN, Bologna, CdF) development:

- Aim for active area > 80%; (LHCb 98-007, RICH)
- Bi-alkali photo-cathode;
- “Fountain” focussing electron optics (de-magnification ~2.4);
- Si detector:  $16 \times 128 = 2048$  pads ( $\sim 1 \times 1 \text{ mm}^2$  each);
- Analogue electronics (16 VA3 chips) encapsulated inside vacuum tube;
- Standard Al wedge bonding;



# RICH LHCb: exemple d'utilisation



2400 événements attendus par an à

Luminosité nominale

signal improvement with RICH:

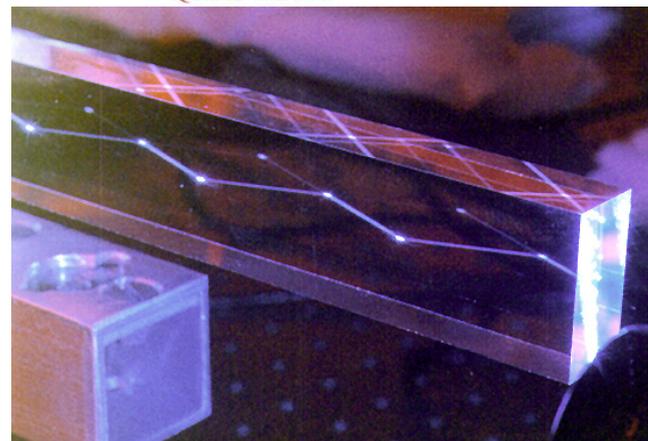
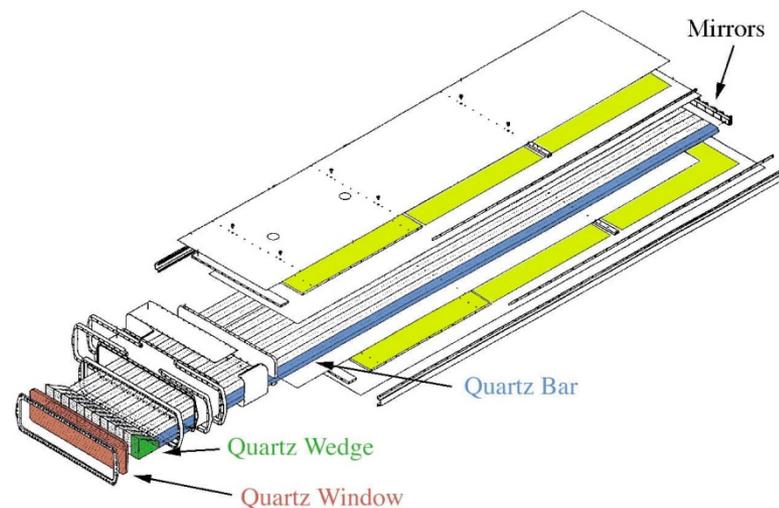
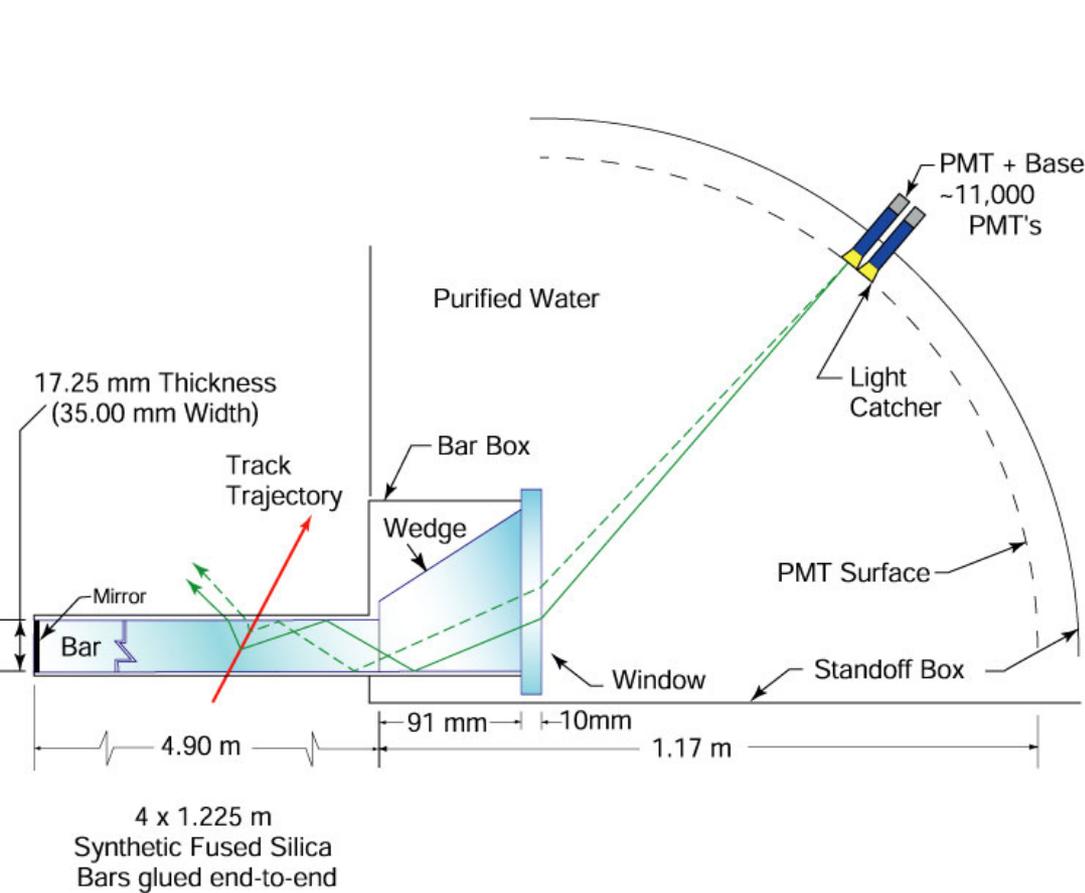
- purity: 7% → 66%

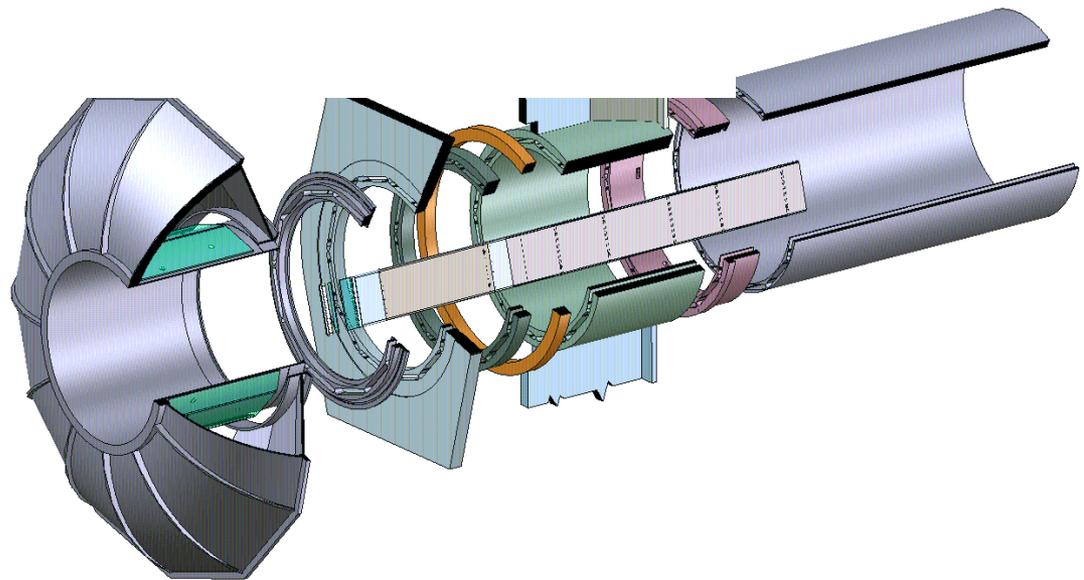
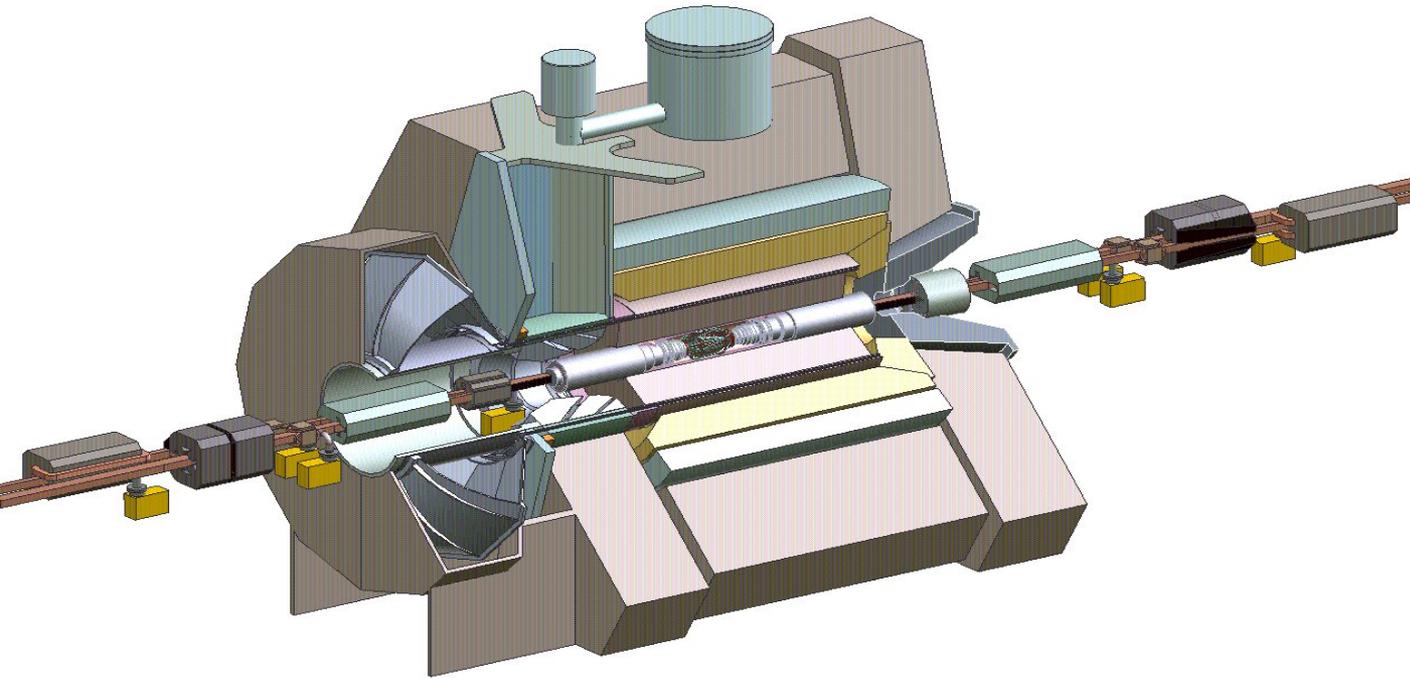
- efficiency: → 88%

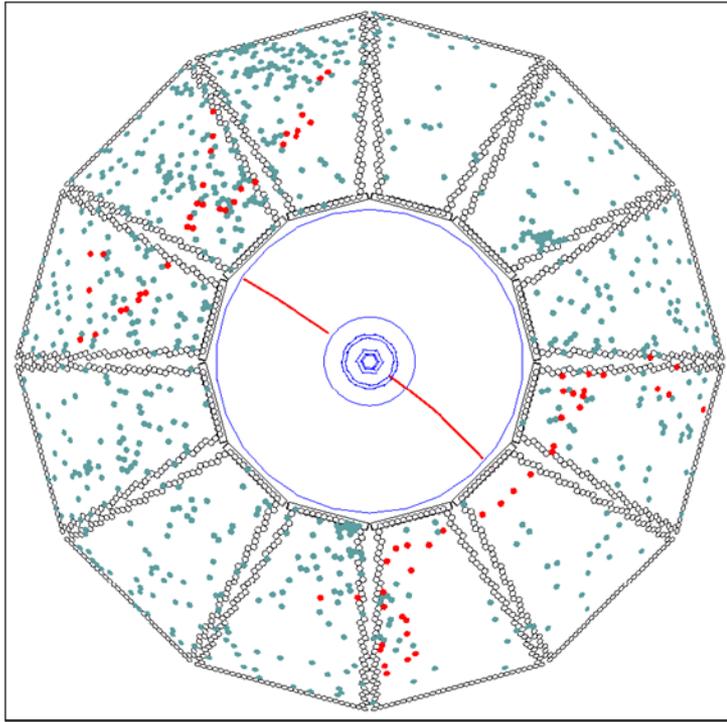
Crédit Stephan Eisenhardt  
Prerow, 22.09.2003

# Dirc BaBar

## Detection of Internally Reflected Cherenkov light

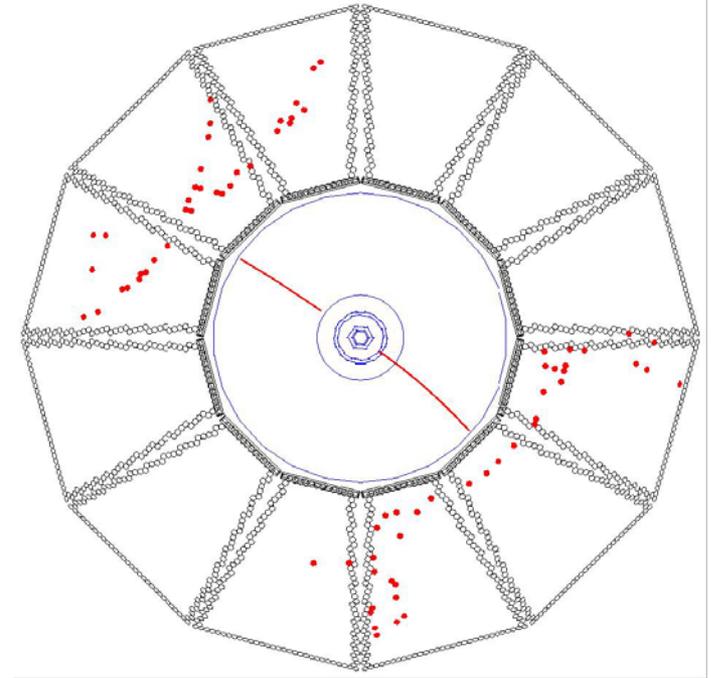






Anneaux

Track  
TOF →

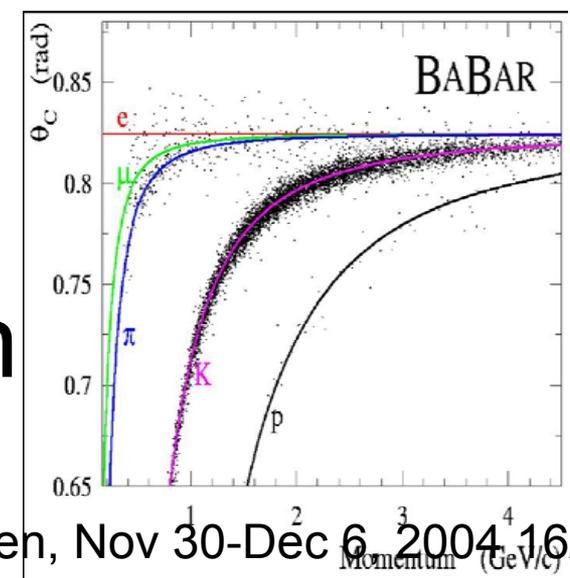
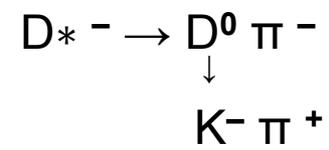
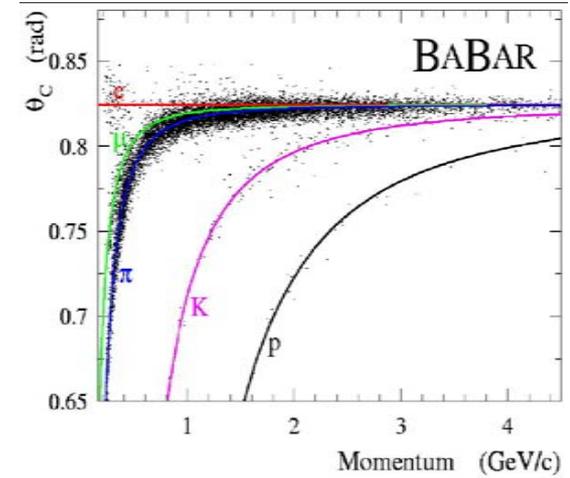
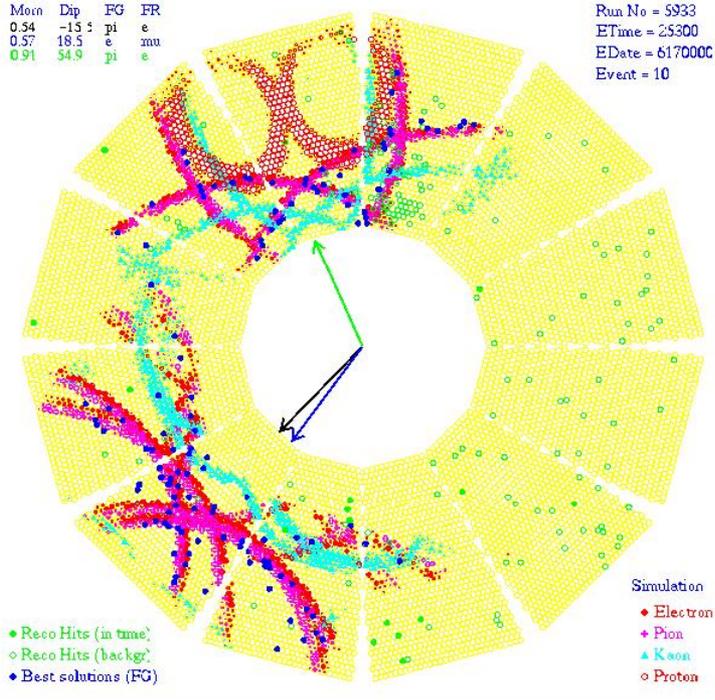


Problèmes



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

# Simulation



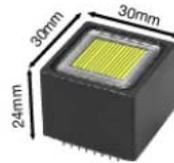
Ca marche !  
 Probabilite d'identification

Evts  
 reconnus

# Futur?

PMT

HPK R5900-U-L16

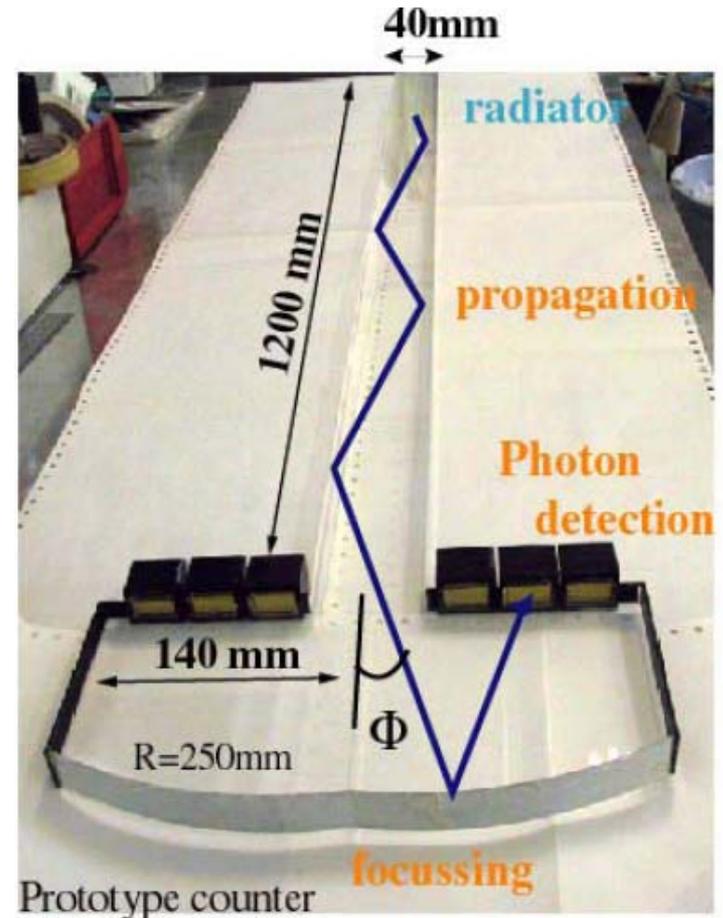
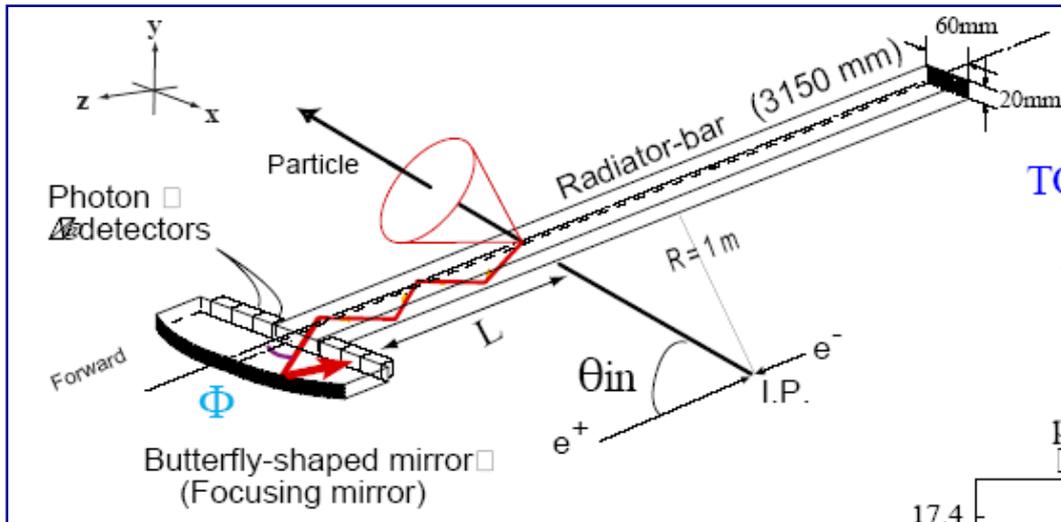


$\sigma_{T.L.S} = 75\text{ps}$

Linear array 16 anode (1 mm pitch)

effective area = 40%

collection efficiency = 50%



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

# 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

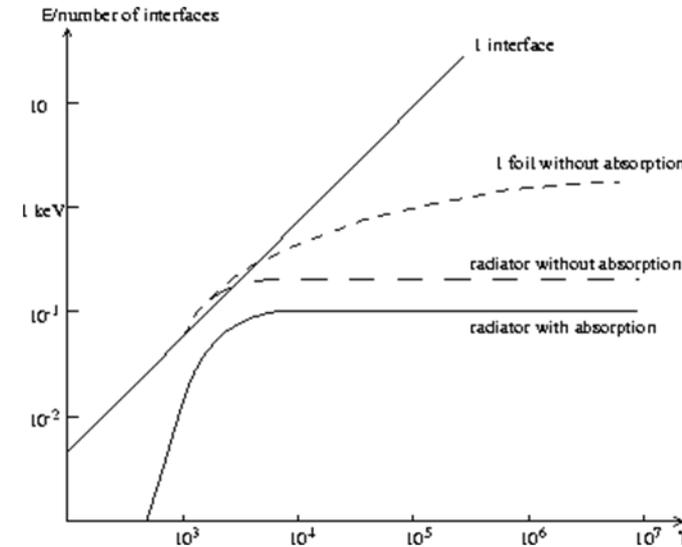
$\rightarrow$  absorption et interférences  $\rightarrow$  limite

$\rightarrow$  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)

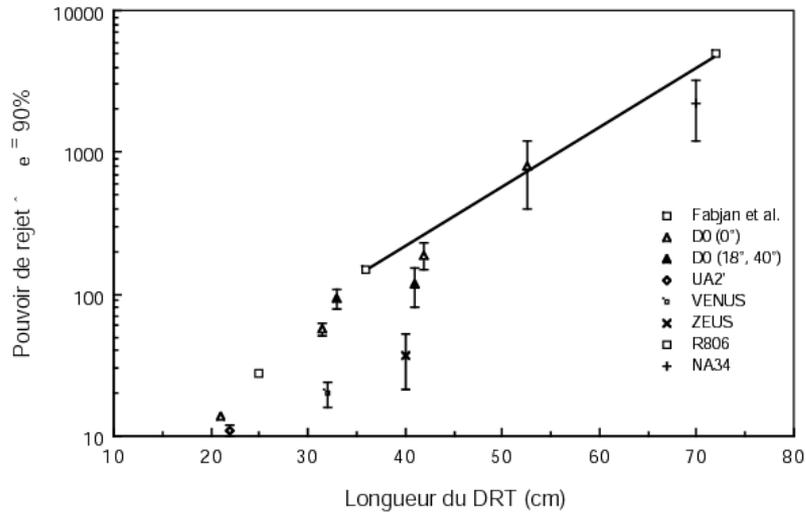


*Ulrik Egede*

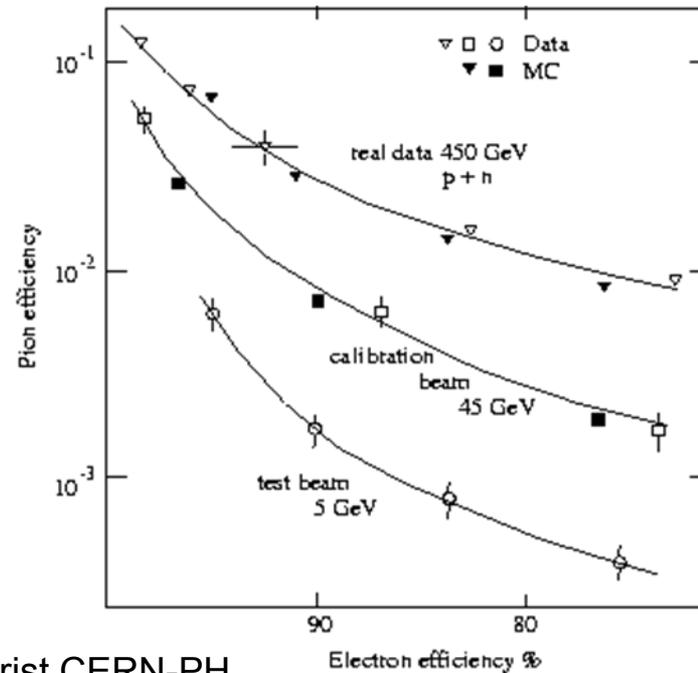
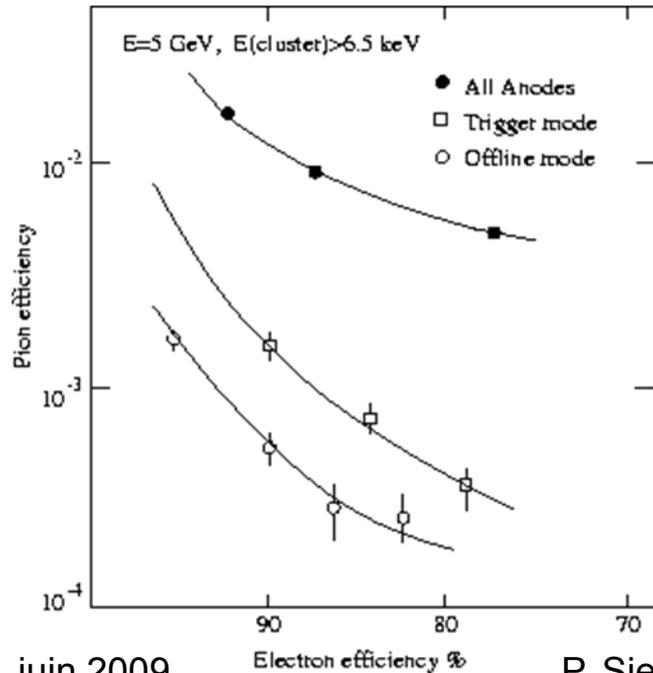
Détection photons dans gaz: Xénon (Z élevé) Effet de seuil en  $\gamma$ : électron de 0.5 GeV/c  $\rightarrow \gamma$

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

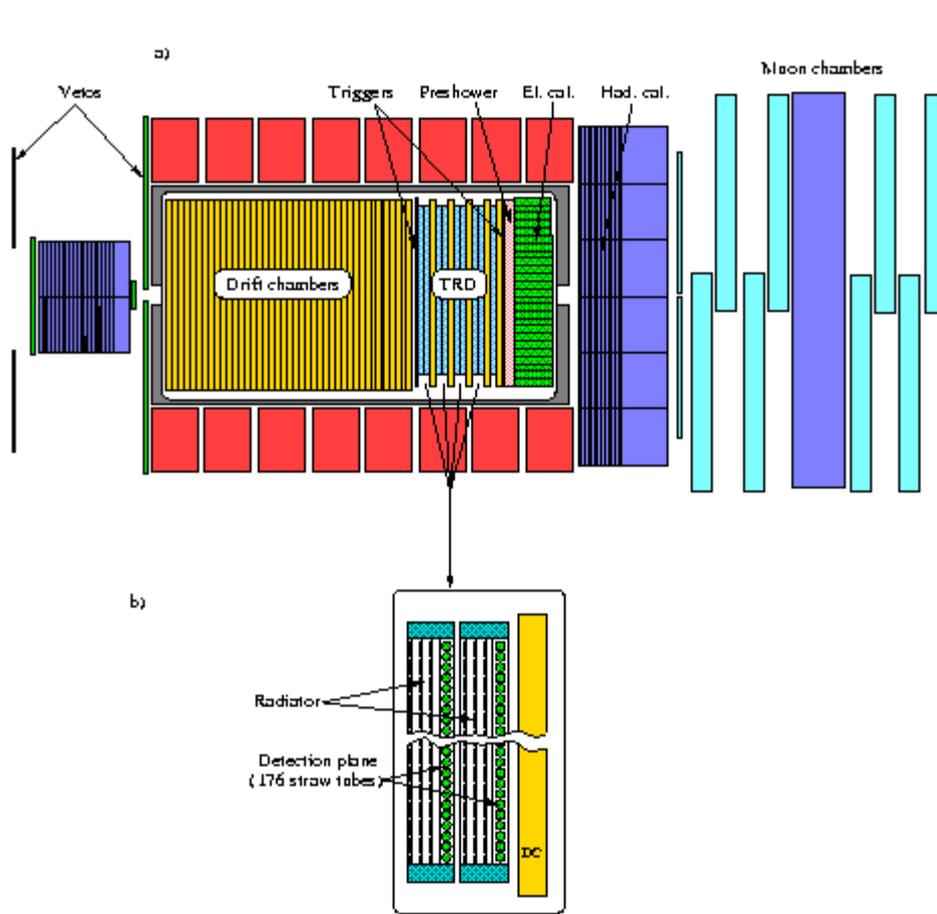
# Performances TRD



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 π	5	0.06	0.05	10	8	2	10	0.5
efficiency e (%)	90	99	90	90	80	87	98.7	80

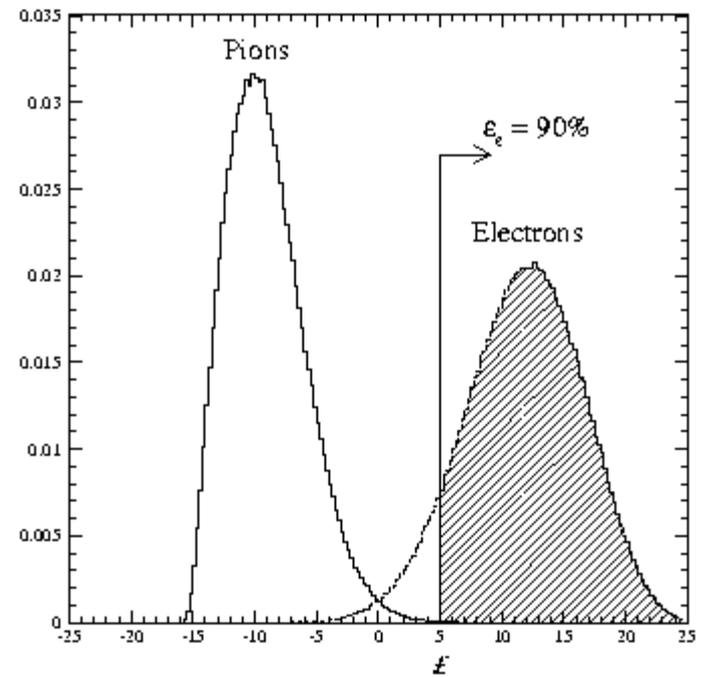


# Nomad

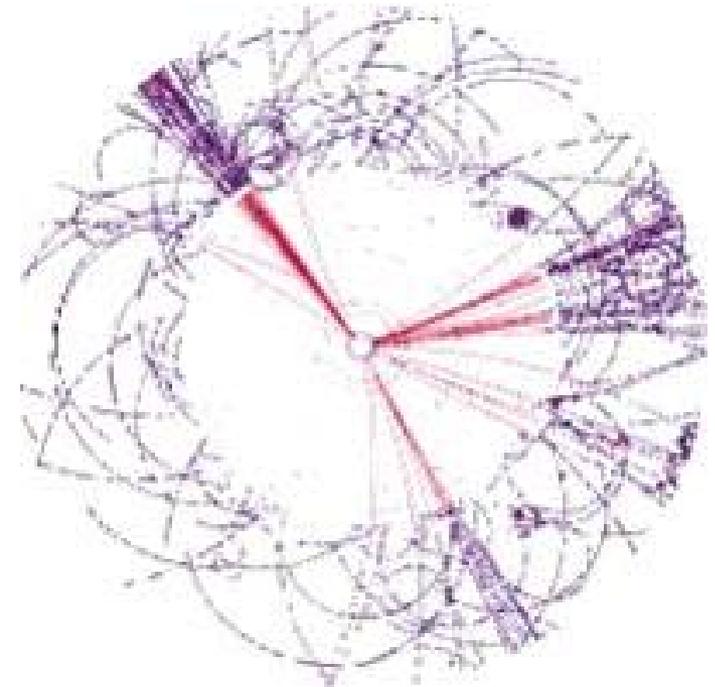
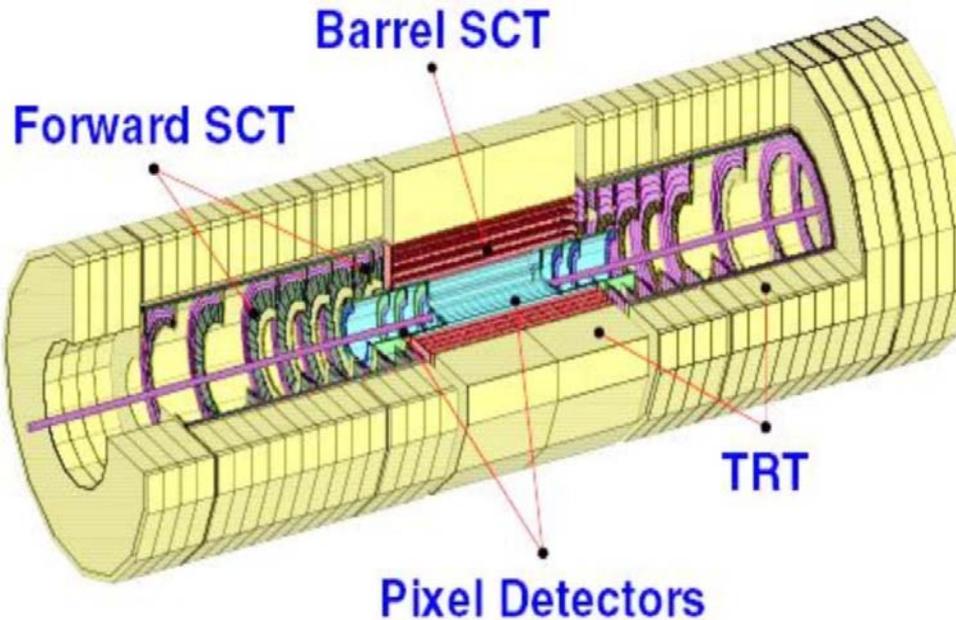


$\pi/e$  Réjection  $10^{-3}$

désintégration électronique du tau

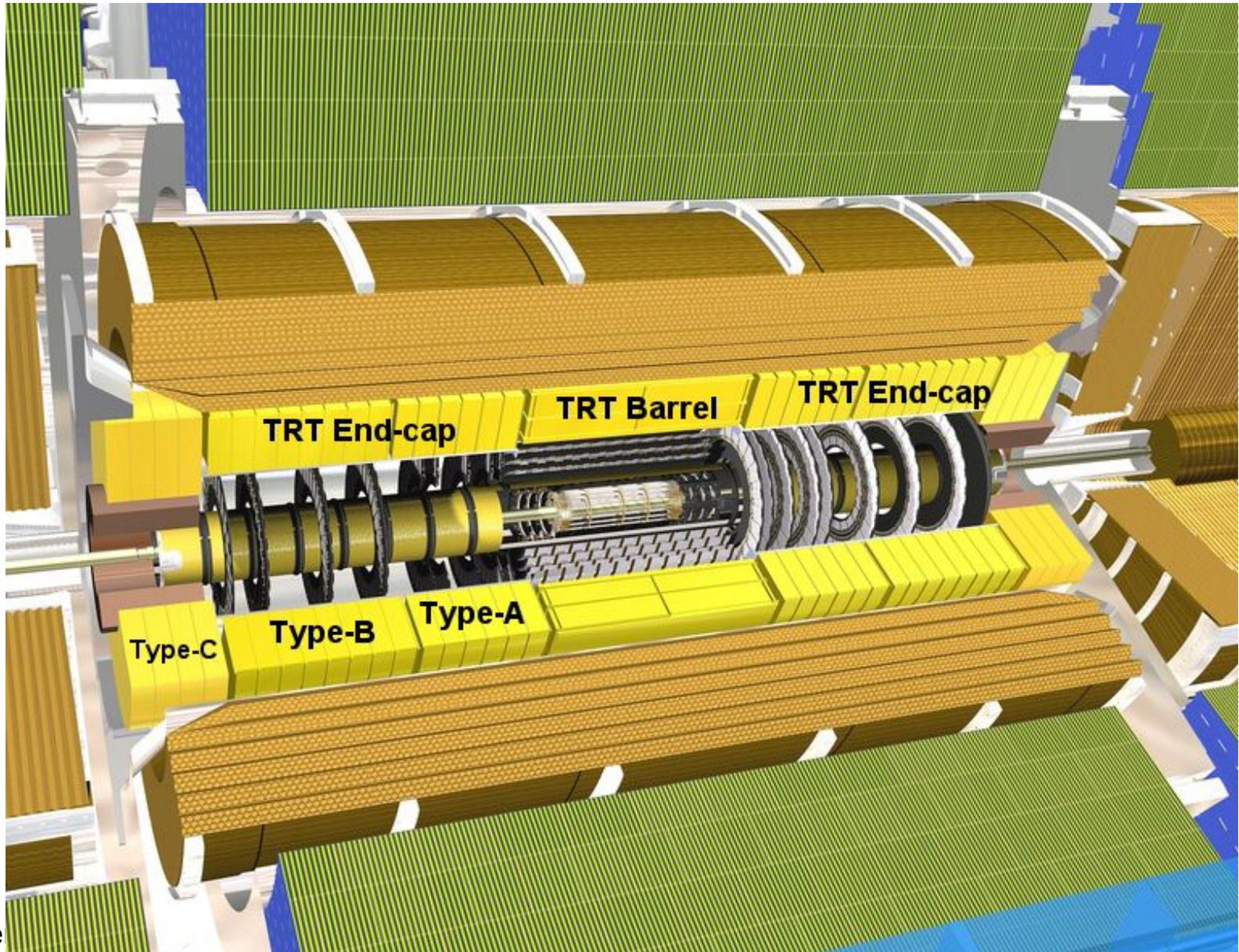


# Tracker ATLAS



- 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



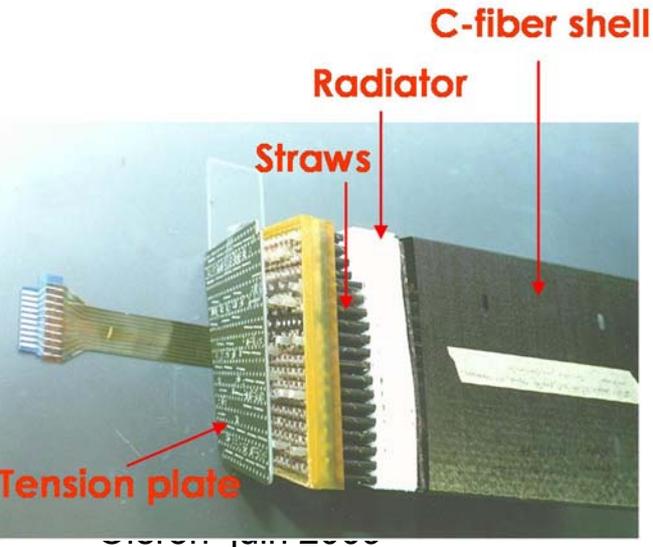
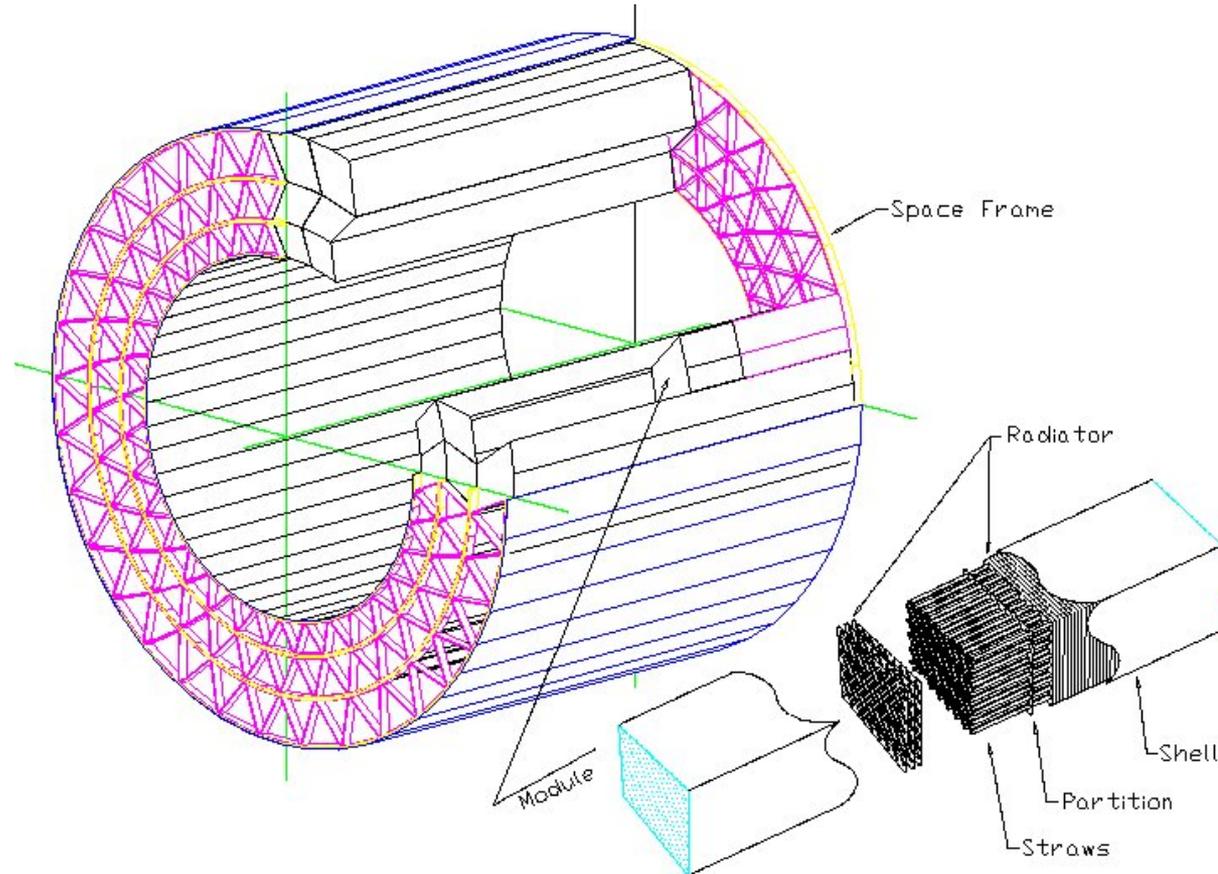
Longueur Module	1.5 m
Longueur Fil Sensible	2 x 0.75 m
Diamètre de la Paille	4 mm
Diamètre du fil	30 $\mu\text{m}$
Distance entre les pailles	6.8 mm
Groupage Haute Tension	8 pailles

# 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.

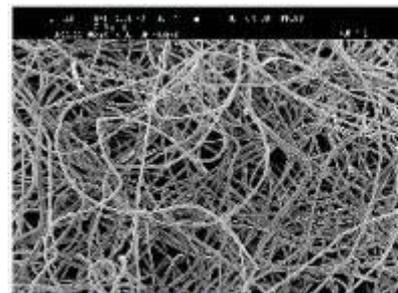
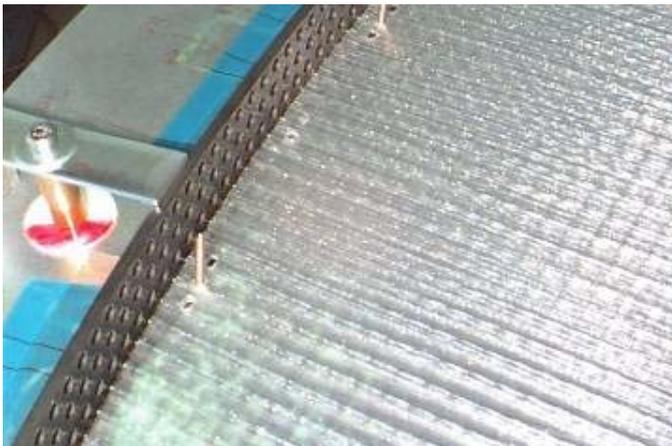
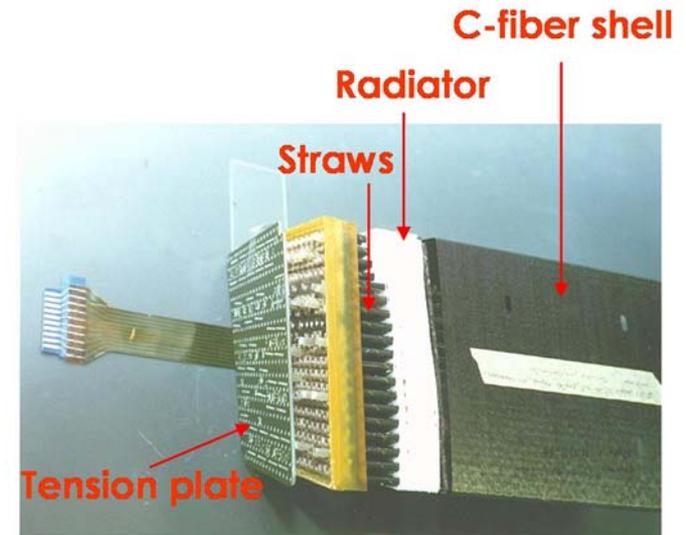
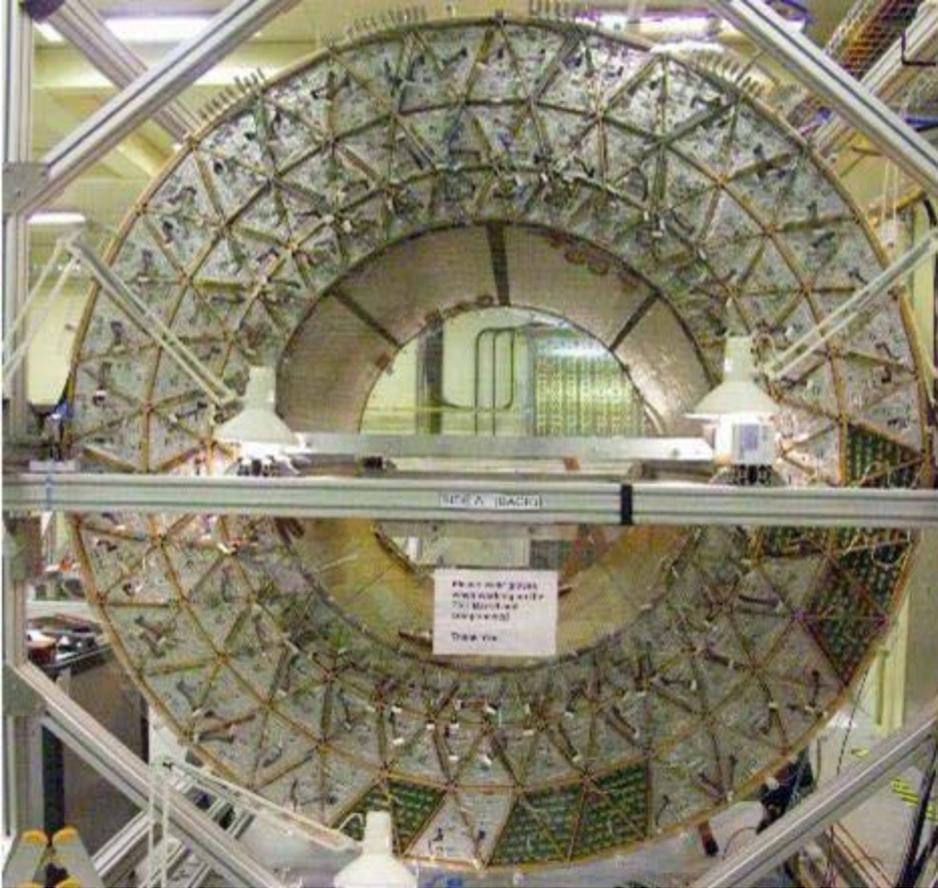
3 types de module, forment  
3 anneaux de 32 modules  
identiques  
52544 pailles au total



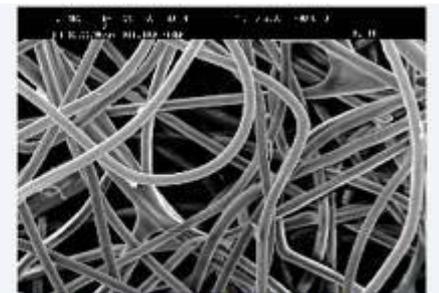
© 2008 ATLAS

# TRT ATLAS Barrel

Mélange de Gaz :  $\text{Xe}(70\%)/\text{CO}_2(27\%)/\text{O}_2(3\%)$   
Seuil TR 5.5 keV – électron/pion séparation  
MIP 0.2 keV – détermination tracking/drift time



500  $\mu\text{m}$



200  $\mu\text{m}$

P. Siec

# TRT ATLAS END-CAP

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

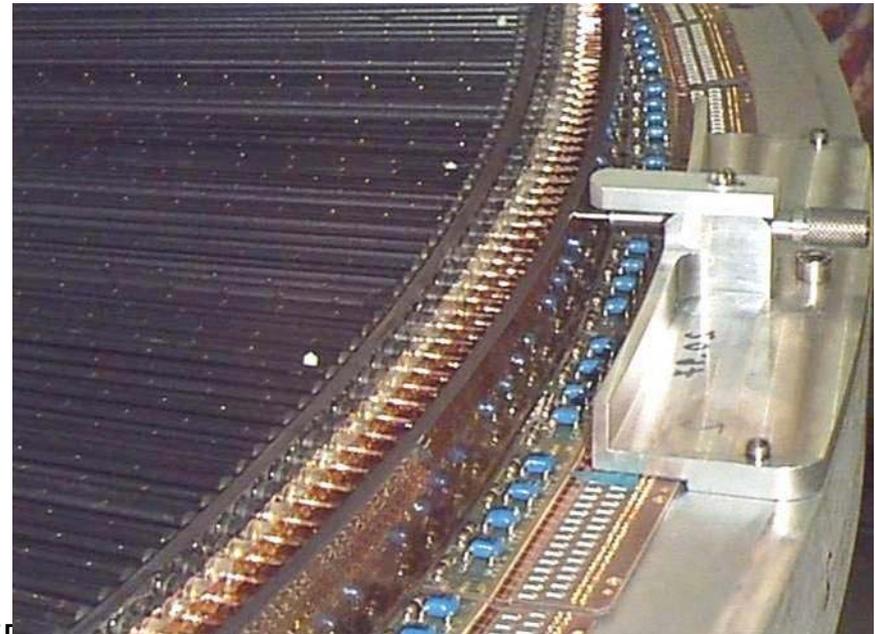
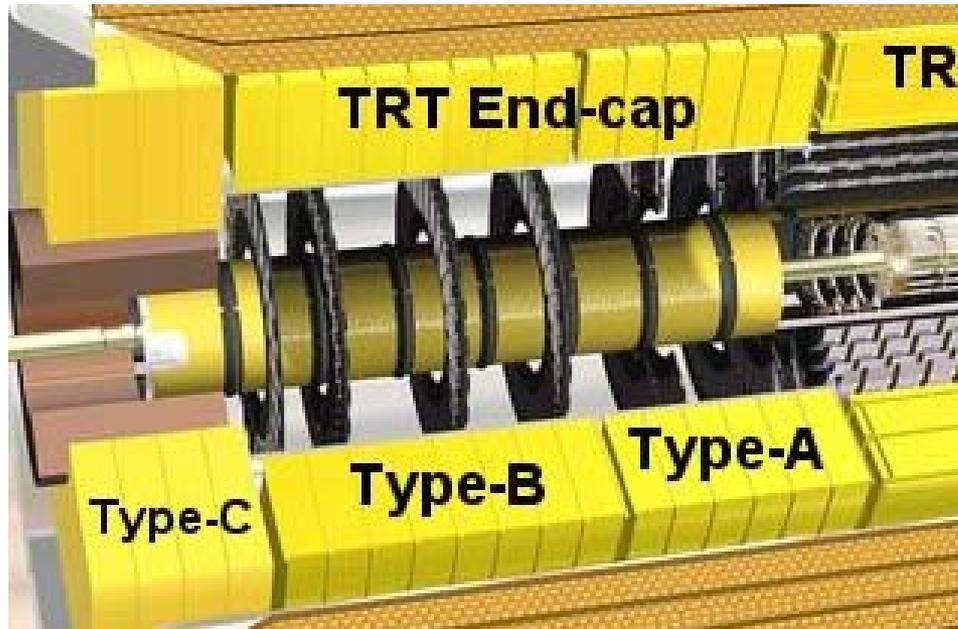
Seuil TR 5.5 keV – électron/pion séparation

MIP 0.2 keV – détermination tracking/drift time

**Un end-cap contient:**

24 roues de type A + 16 de type B

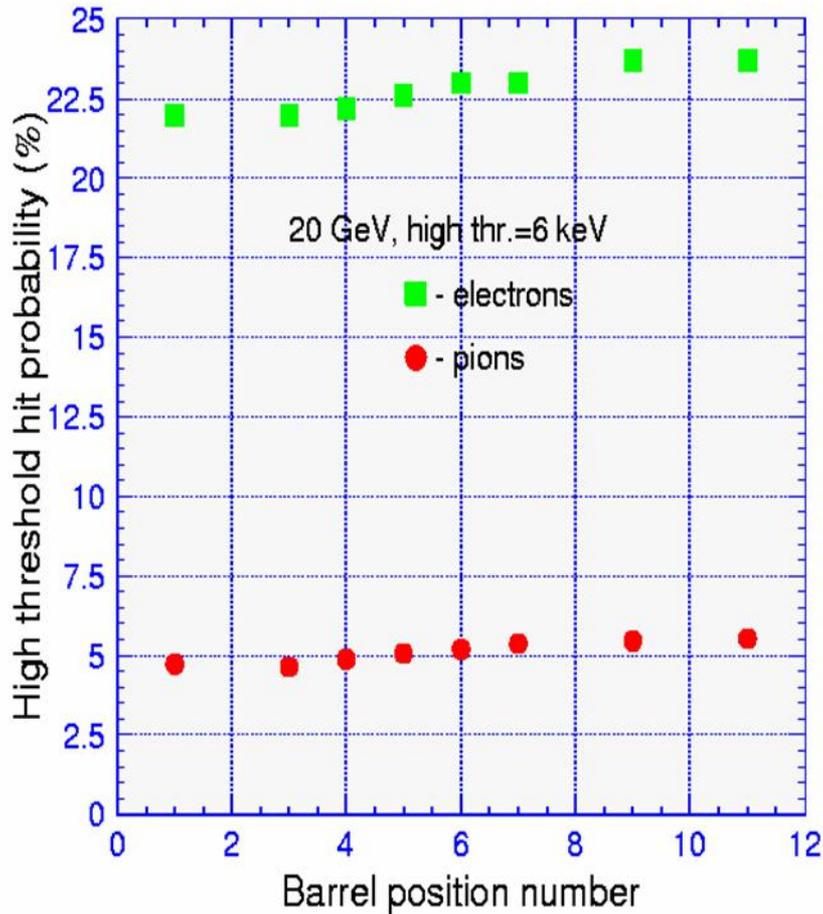
160 plans de 768 pailles radiales, empilées  
avec des feuilles radiateur  
(122'880 pailles au total)



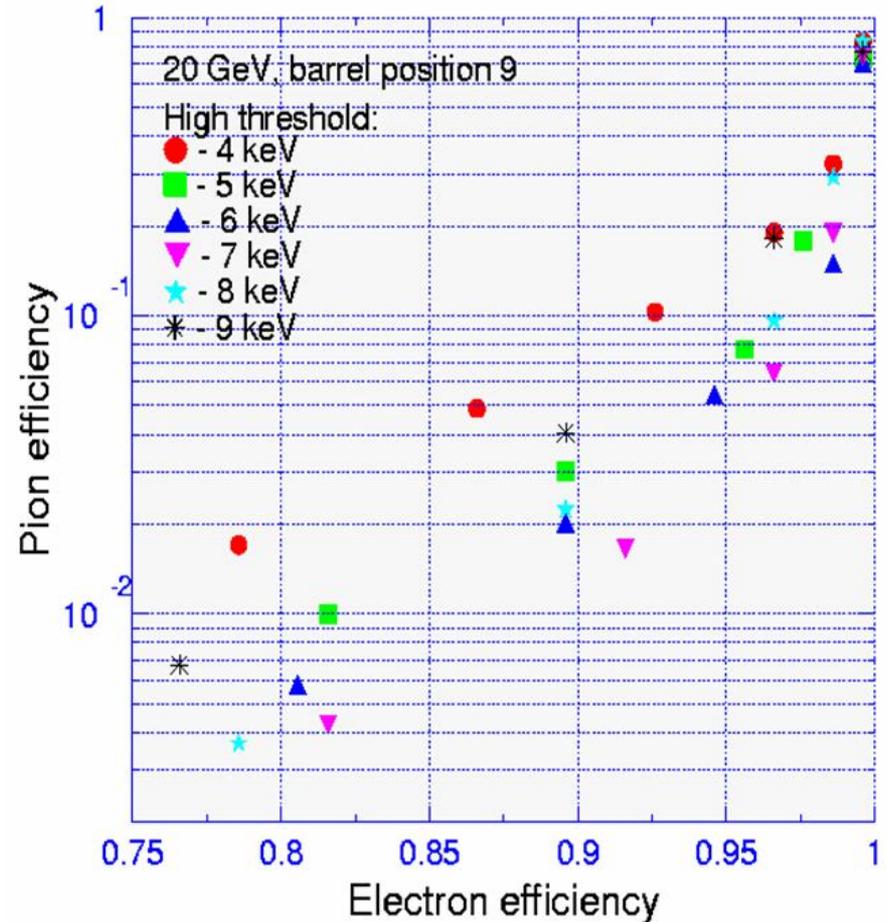
# TRT ATLAS en faisceau test

e – p separation à 20 GeV

Position scan: high threshold hit probability



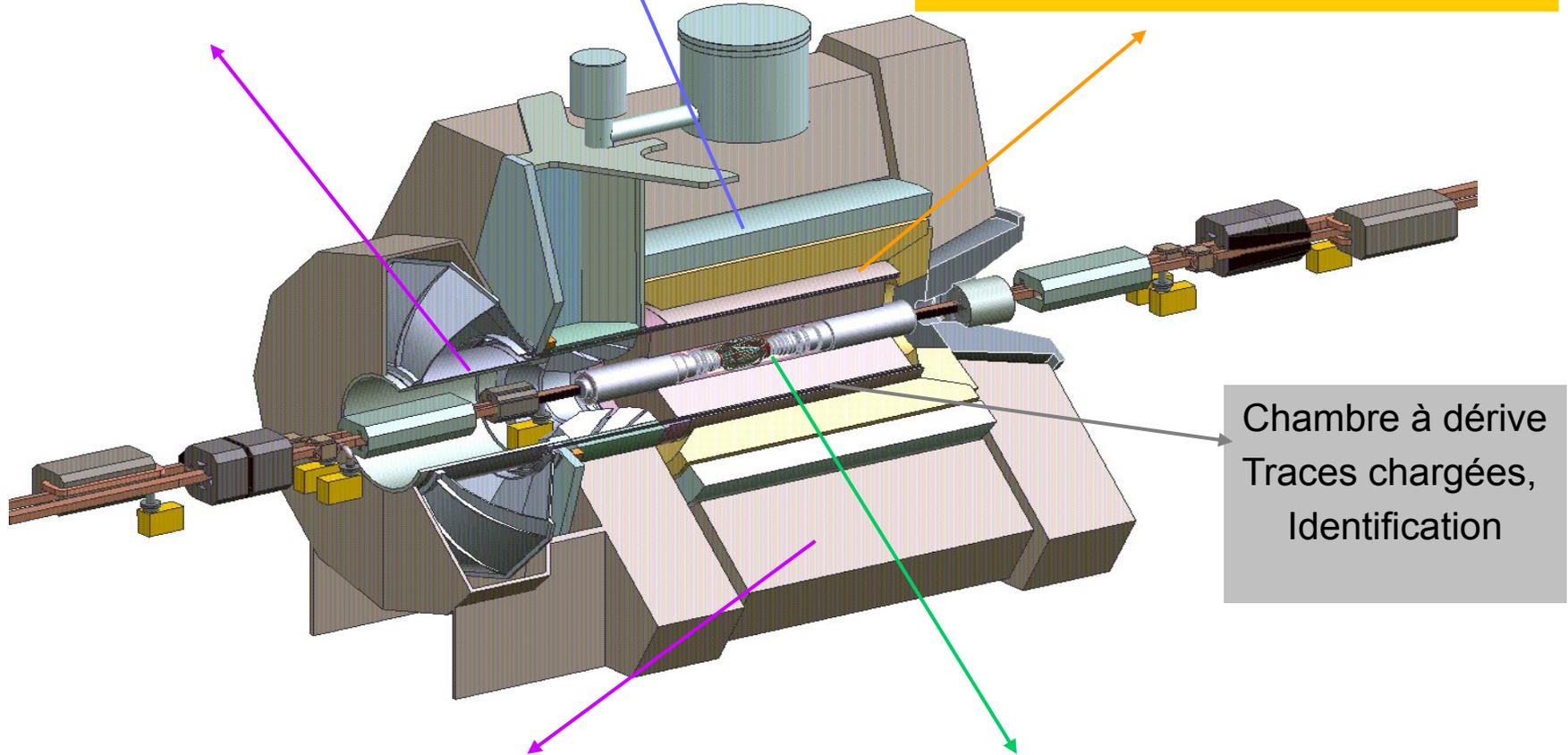
Pion vs electron efficiency



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

Solénoïde 1.5T  $\rightarrow$  P

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



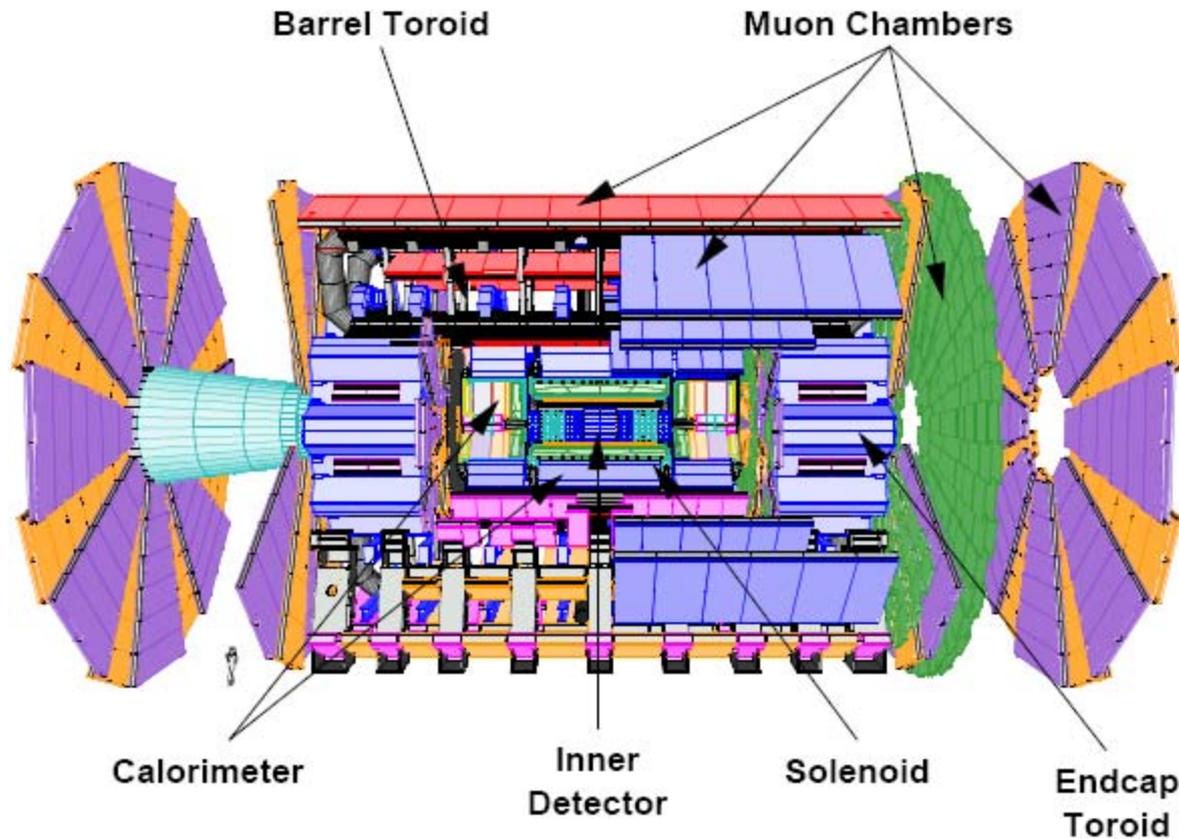
Chambre à dérive  
Traces chargées,  
Identification

IFR (retour de champ instrumenté)  
Identification  $\mu$ , hadrons neutres

Détecteur de vertex  
Mesure du temps de vol des B

# Futur très proche: Les muons à LHC

## Atlas: spectrometre à muons

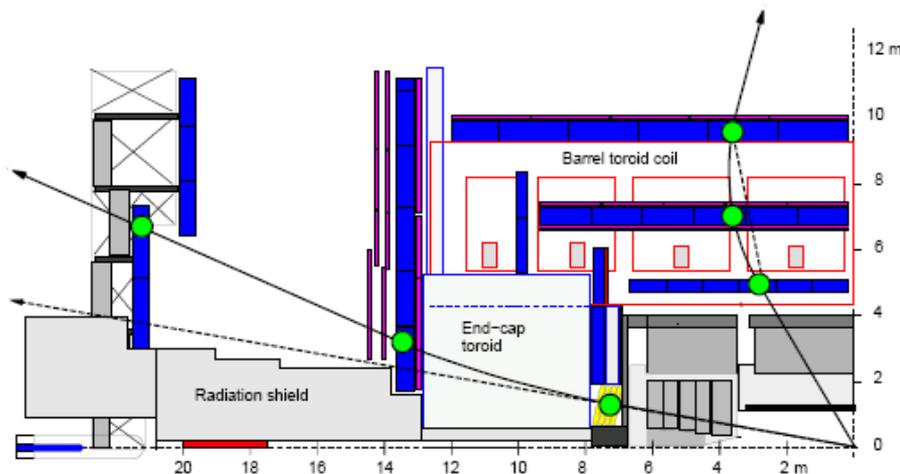


Surface:  $\sim 5500 \text{ m}^2$

2264 Chambres trigger  
1194 chambres de précision

Enveloppe totale  
44 m x 22 m

# Mesure d'impulsion

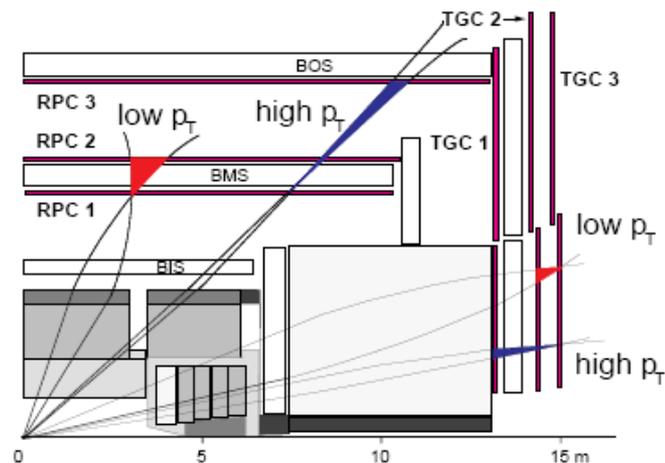


3 plans de chambres de précision:

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

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

# Trigger muon niveau 1

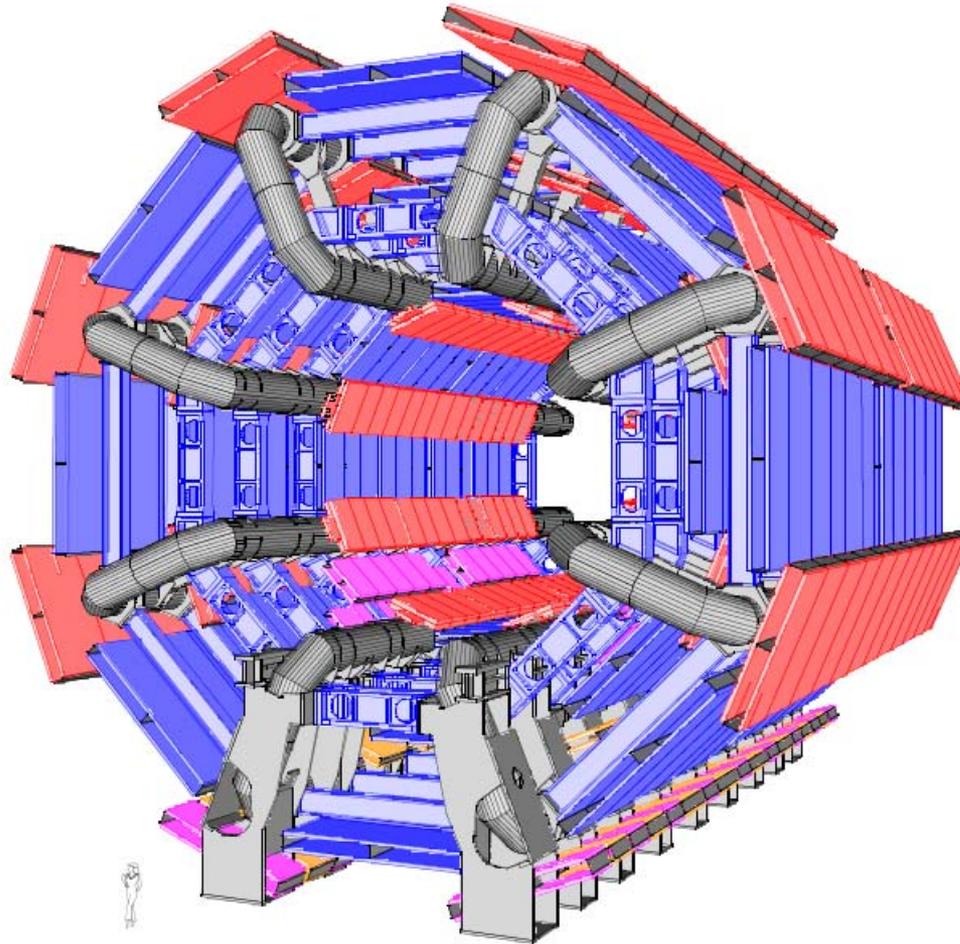


Identification du croisement 40 MHz- 25ns

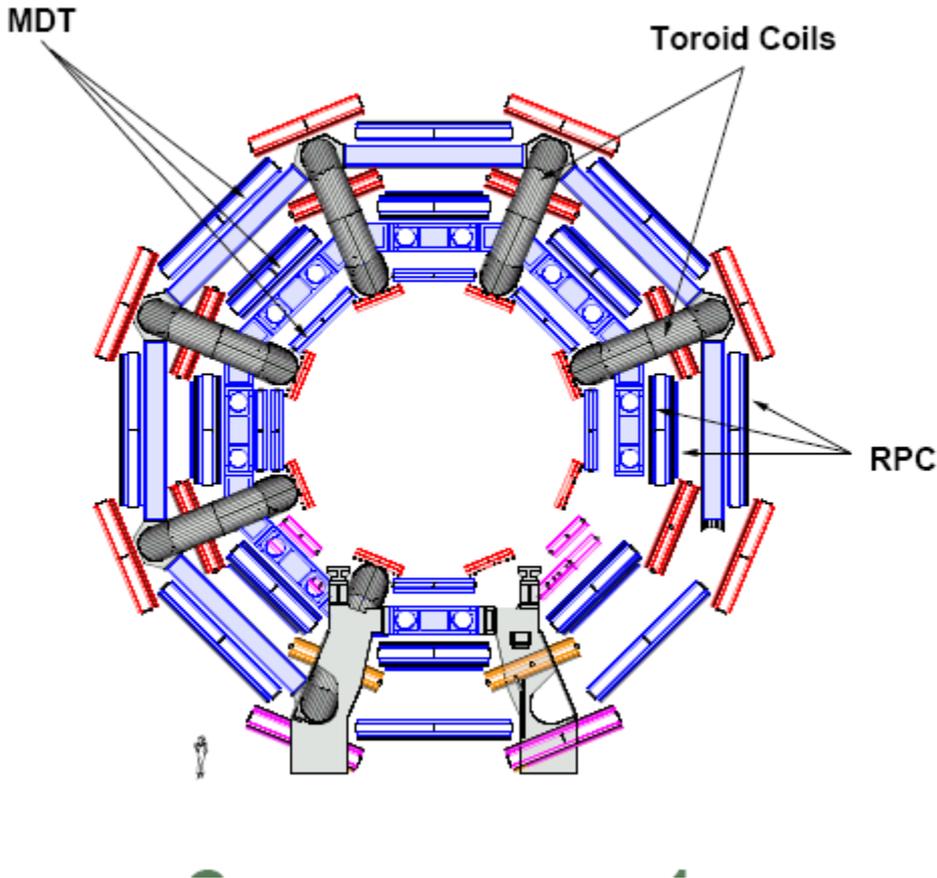
Low  $P_t$  2 plans voisins  
Haut  $P_t$  1 plan supplémentaire

Zone touchée → régions d'intérêt niveau 2

# ATLAS Barrel Muon



# ATLAS Barrel Muon



640 MDT monitored drift tubes  
(précision)

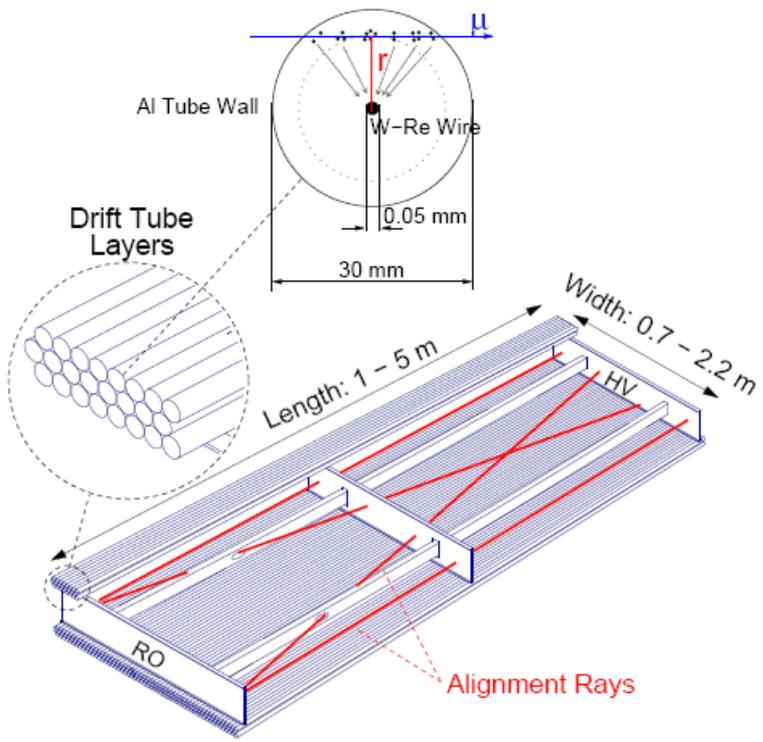
686 chambres trigger  
RPC resistive plate chamber

2 Plans milieux, 1 plan externe

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

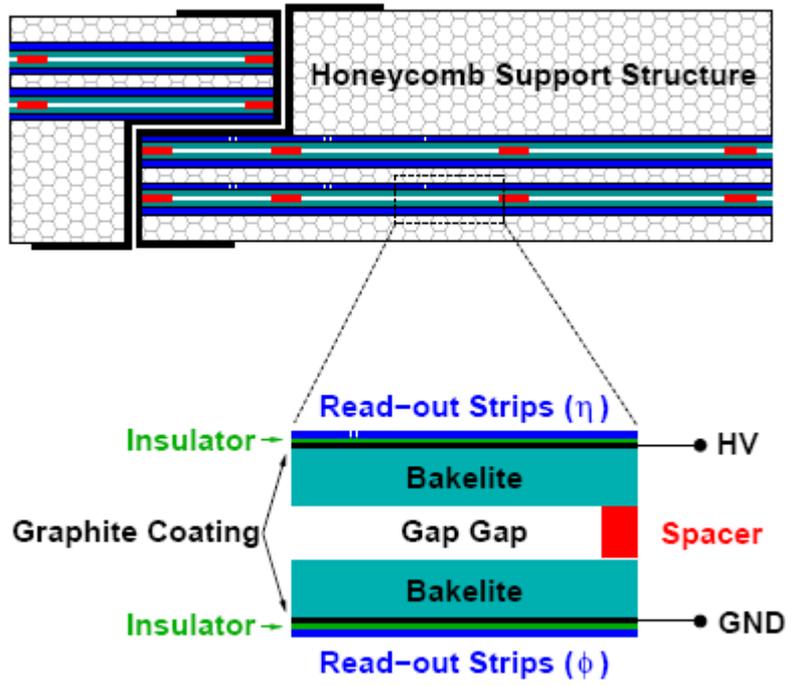
Champ intégré 2-6 Tm  
Energie stockée 1080 MJ

# MDT



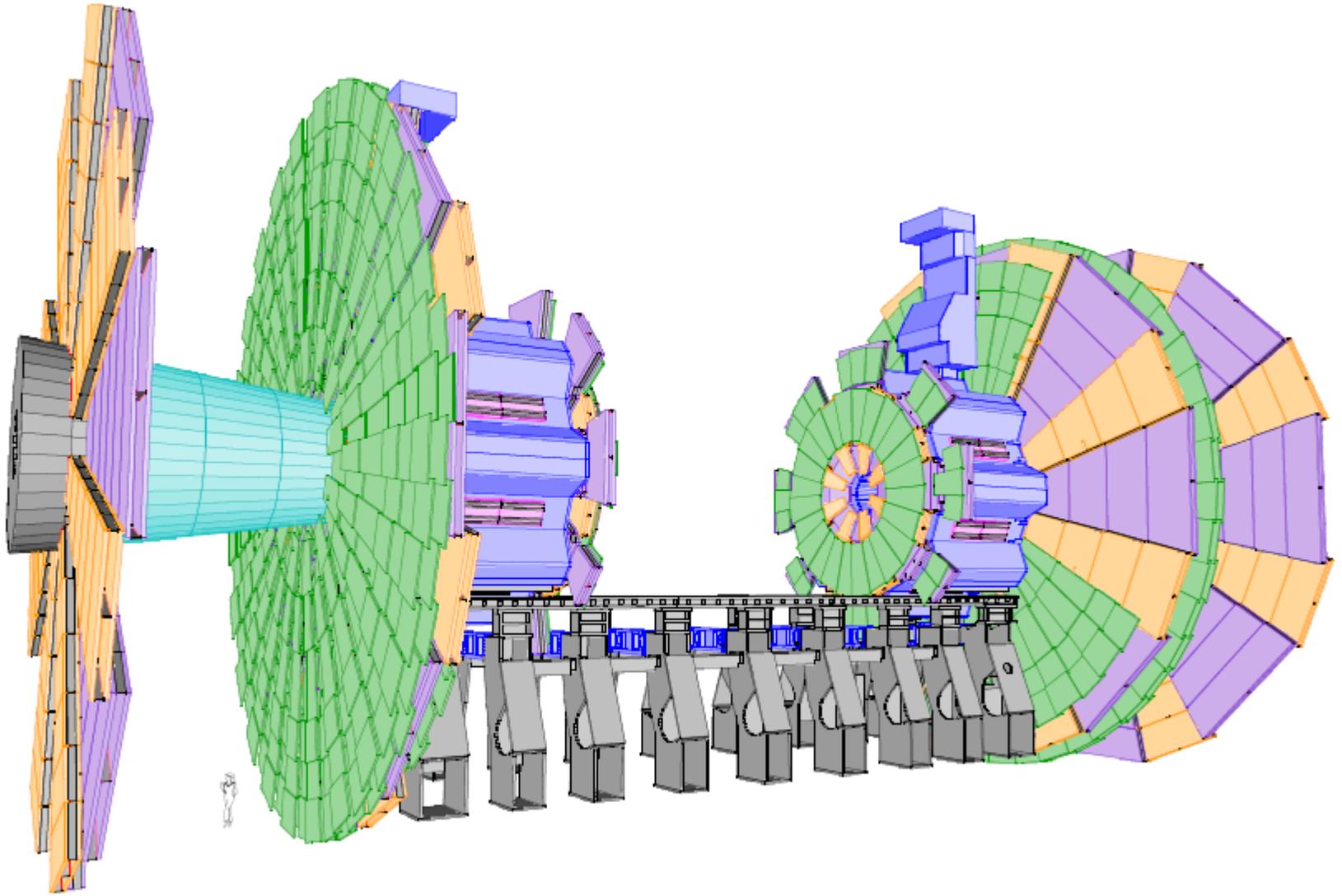
Taille 0.5- 11 m<sup>2</sup>  
 2 multi couches de 3 ou 4 couches  
 48 – 432 tubes à dérive  
 Temps de dérive 700 ns  
 Resolution 80 μm

# RPC

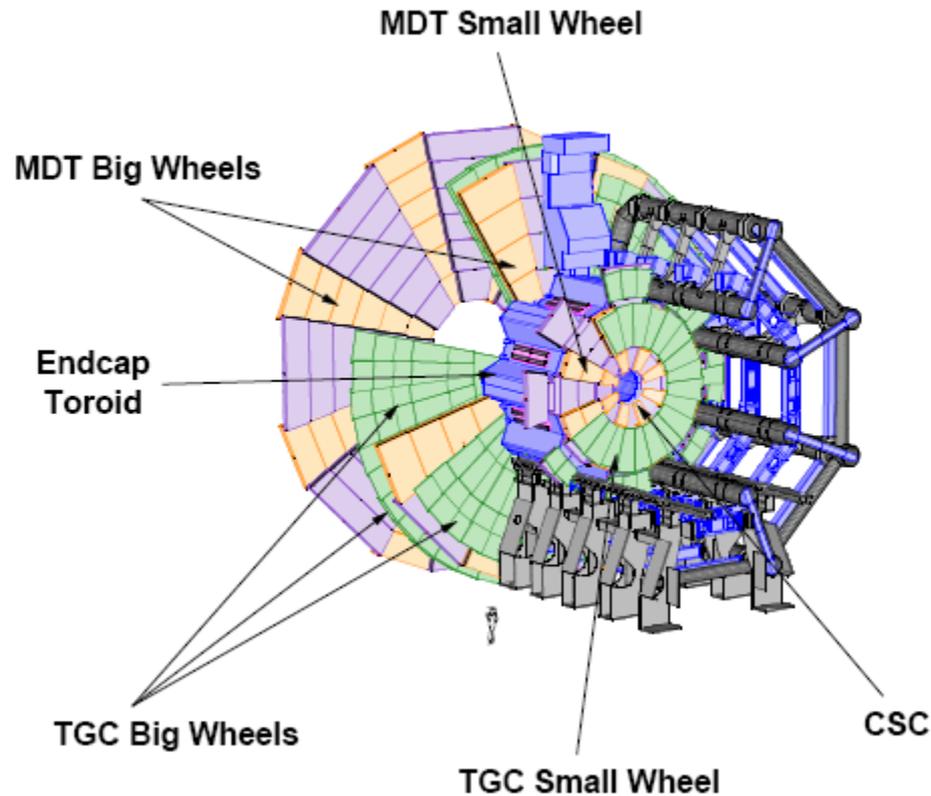


2 Gaps/chambre  
 Gap 2 mm  
 HV 9600 V  
 Mode avalanche  
 Resol temps qq ns  
 espace ~ 1 cm

# 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

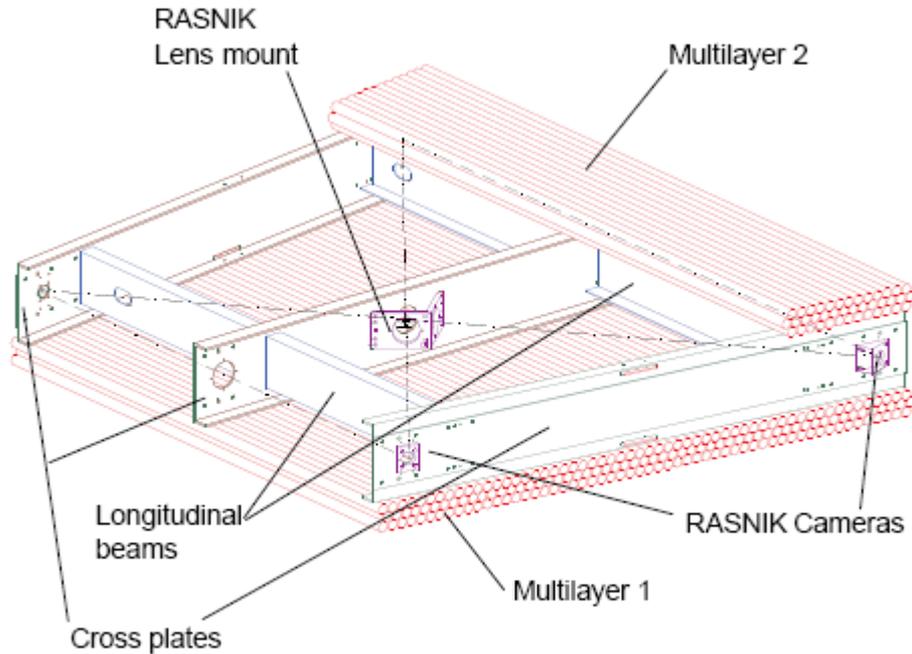
Champ intégré 4-8 Tm

2 x 250 MJ

# ATLAS End Cap Muons: Détecteurs de précision

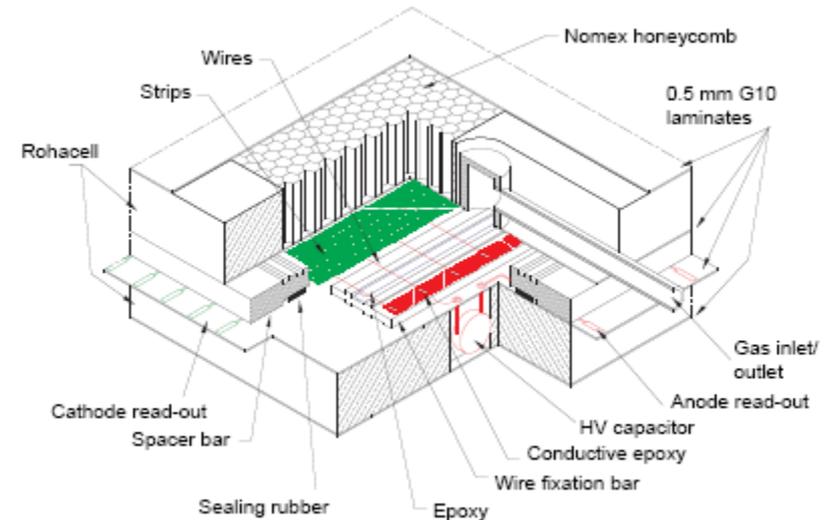
## MDT

## CSC



Comme Barrel mais forme trapézoidale

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



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

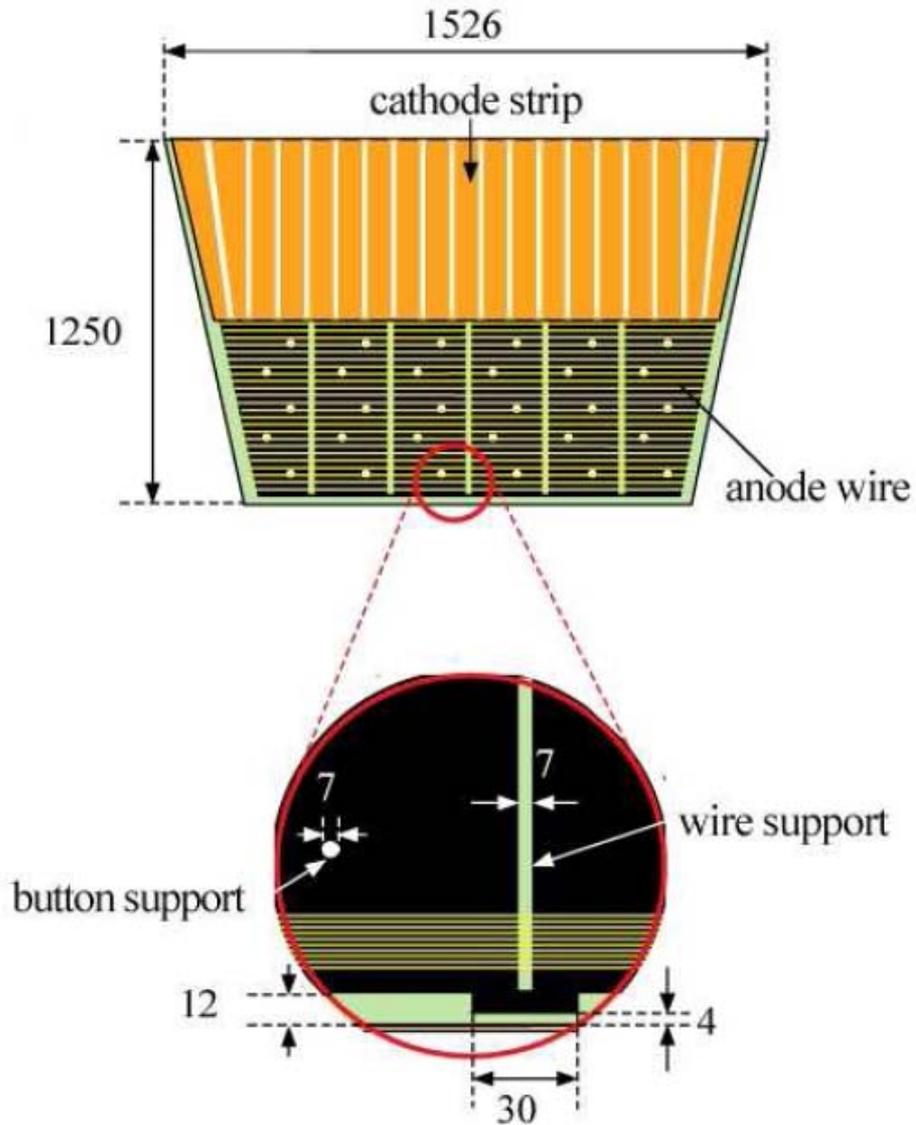
Unités de 2 x 4 couches

Gap et ws 2.54 mm

Lecture cathode 2-D avec interpol. de charge

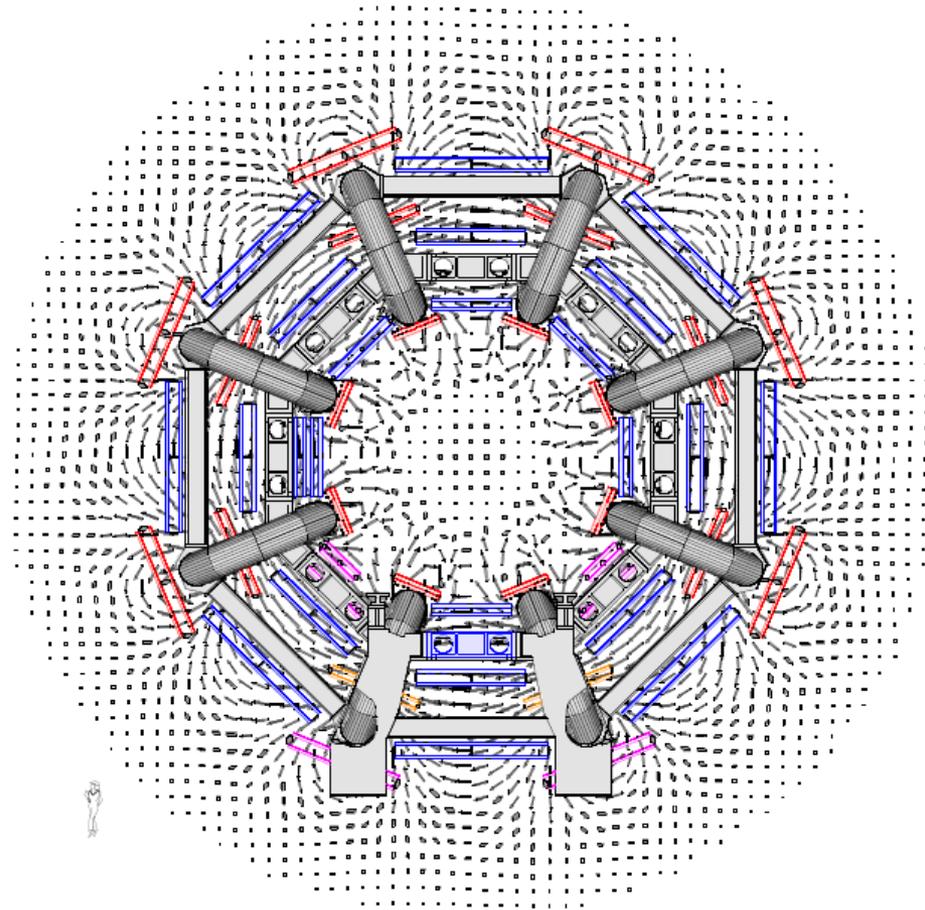
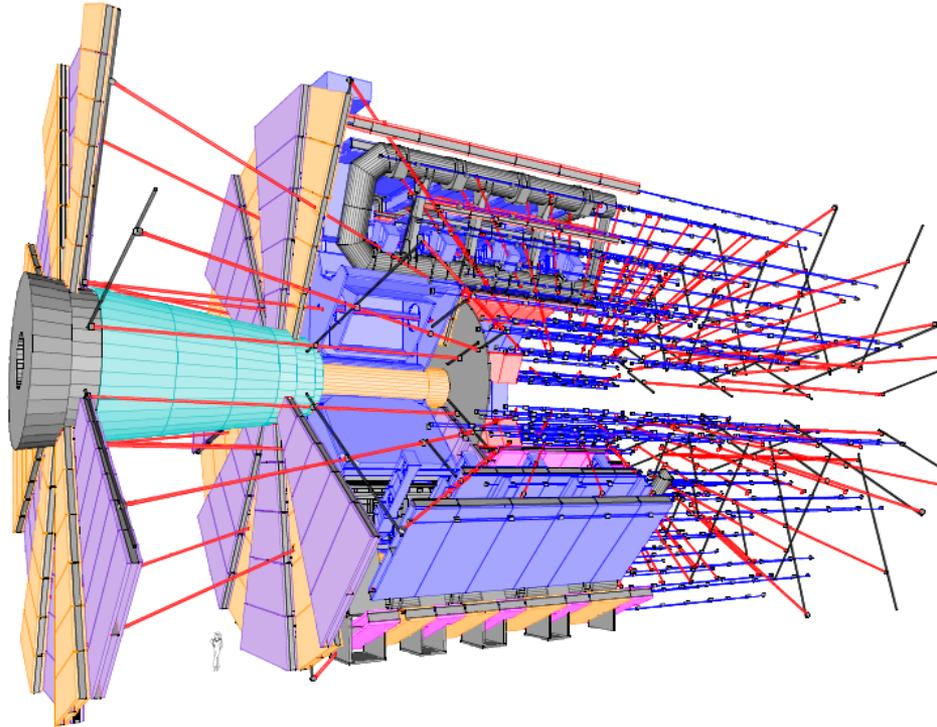
Résolution 60 μm

# TGC :Thin Gap Trigger Chambers

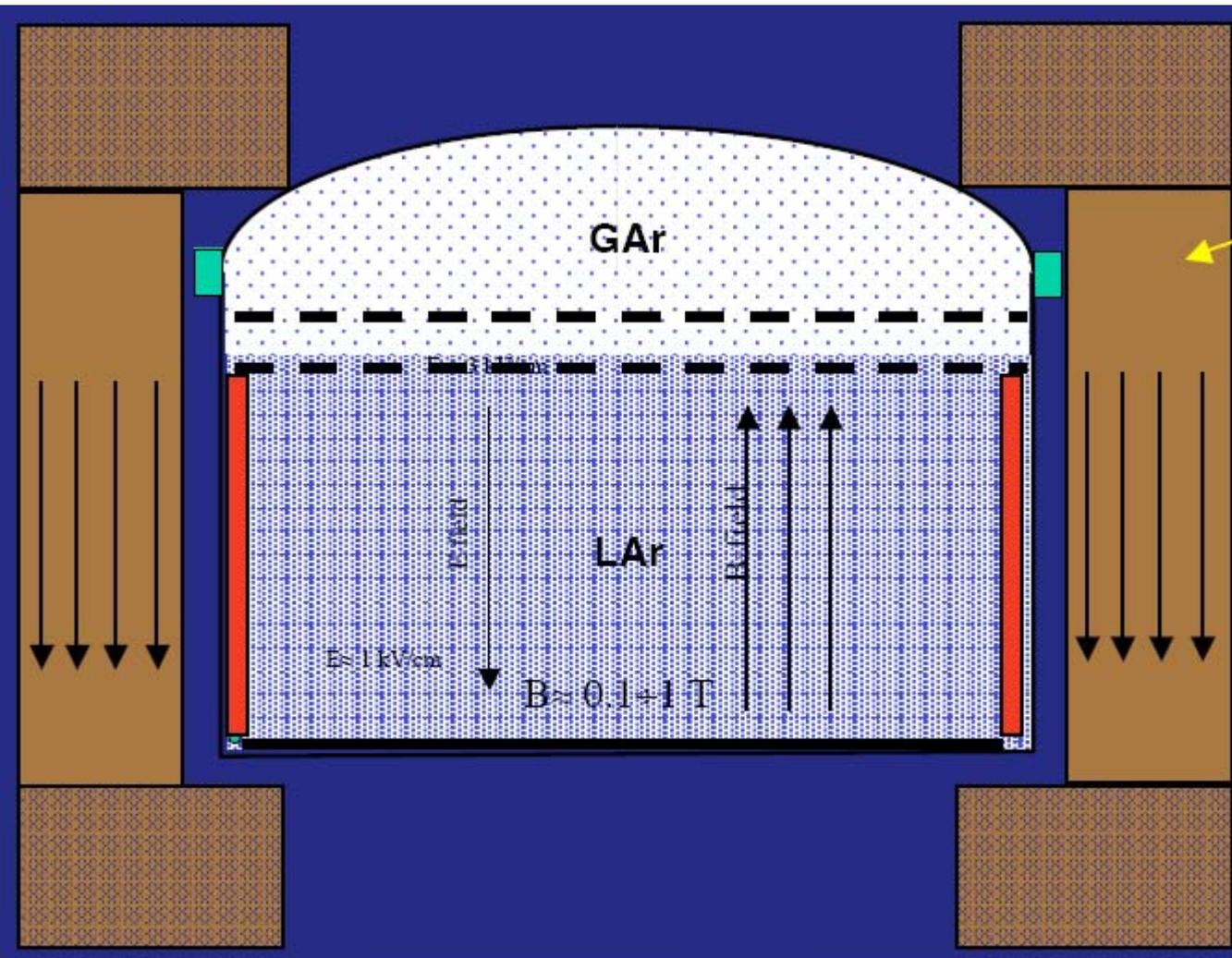


- Chambres proportionnelles multifils
- 1 – 3 m<sup>2</sup>
- Doublets ou triplets
- Support nida
- Ws 1.8 mm, gap 1.4 mm
- Fils anode 50 mm
- Lecture 2D fils et strips
  
- Fils groupés

# Alignement et champ magnétique



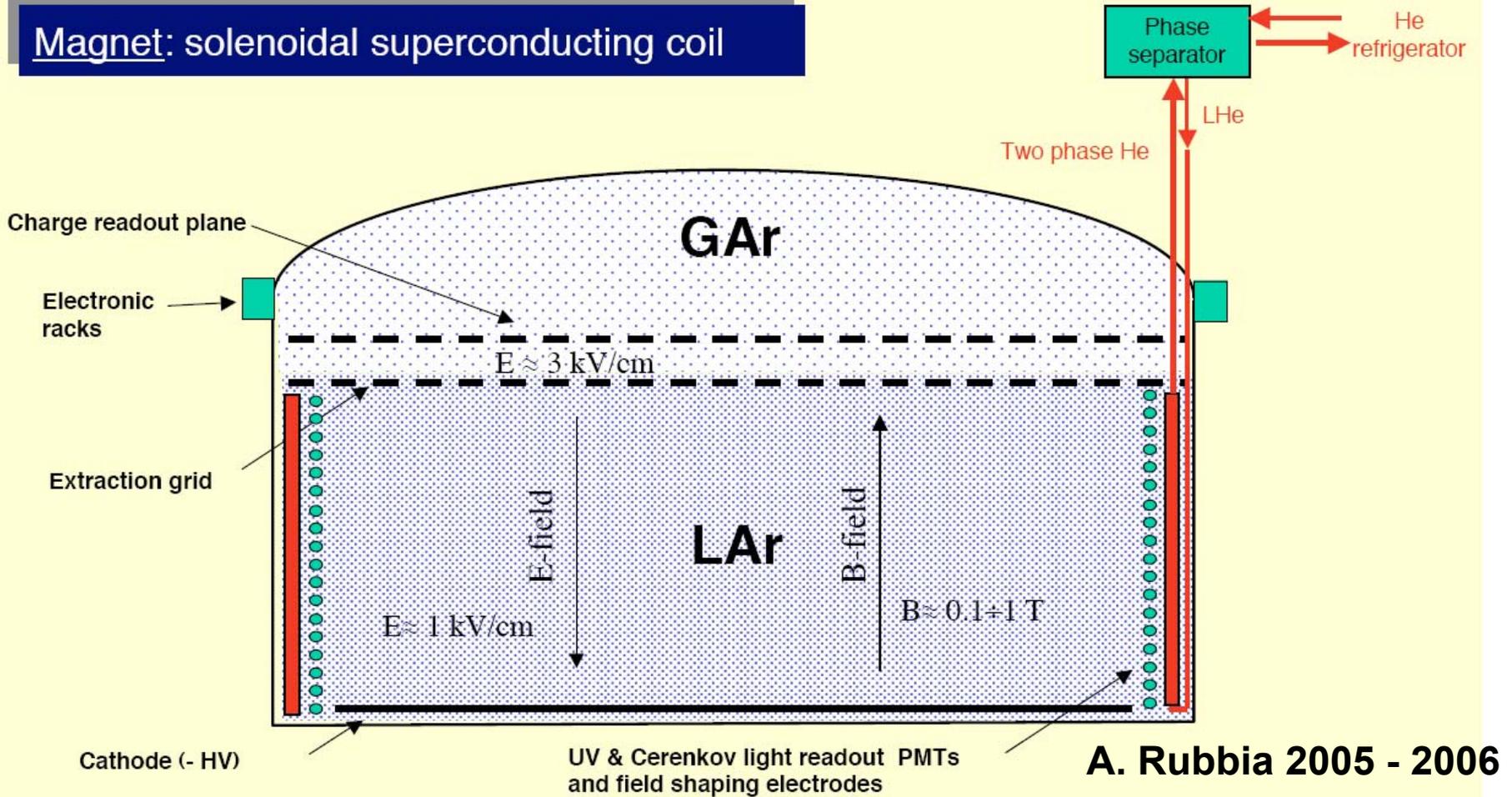
# TPC ARGON LIQUIDE



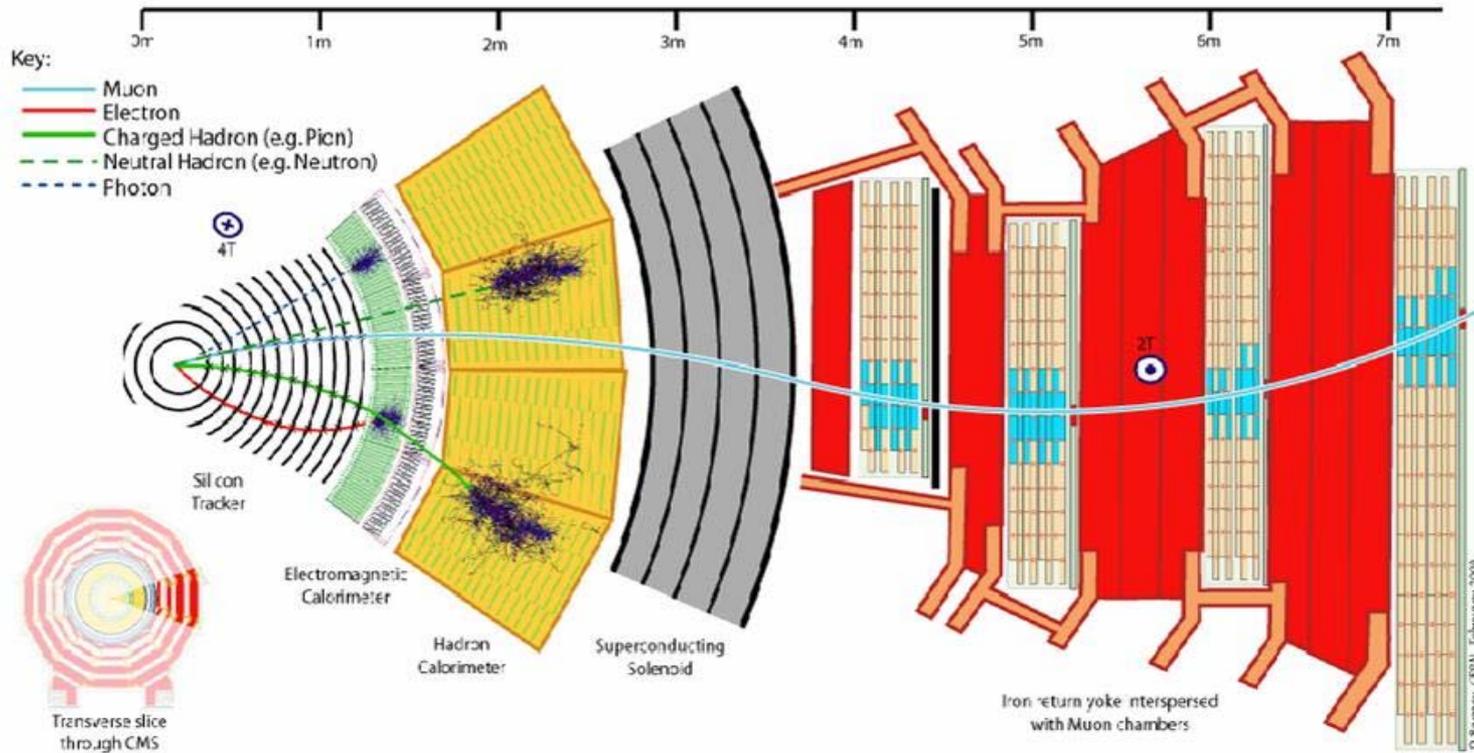
A. Rubbia 2005 - 2006

# 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....

# LHCb RICH HPD

