

Détecteurs de traces

ECOLE IN2P3

"DU DETECTEUR A LA MESURE"

Oléron 17 - 25 juin 2009

P.Siegrist CERN-PH

Plan

- Rappel Interaction particules/matière
- Historique des détecteurs de traces
- Les détecteurs de traces modernes
- Scintillateurs (pour tracking)
- Détecteurs de traces gazeux
- Détecteurs de traces à semi-conducteurs
- Applications & problèmes
- Problématique « gros détecteurs »

Interaction des particules avec la matière

- Tous les phénomènes observés finalement dans les détecteurs de traces sont dus à des interactions de particules chargées
- Généralement on distingue cependant 3 types:
 - particules lourdes chargées ($m \sim$ masse du noyau)
 - électrons
 - rayonnement électromagnétique (X, γ)
- Les interactions à considérer sont électromagnétiques.

Les particules détectées par leurs traces

En général on peut en faire des faisceaux

- électron e^- e^+ $m = 0.511$ MeV
- muon μ^- μ^+ 105.66
- pions π^- π^+ 139.58
- kaon k^- k^+ 493.84
- proton p^- p 938.26 ~ 1 GeV
- (γ ν π^0 k^0 n) ??? !!!

Parcours et atténuation

- Seules les particules lourdes chargées ont un parcours R (range)
- Les électrons subissent de grands changements de direction dus à leur forte perte d'énergie par rayonnement électromagnétique (grande valeur de e/m)
- Pour le rayonnement électromagnétique (faisceau γ) l'absorption est exponentielle

$$N=N_0 e^{-\lambda x} \text{ avec } \lambda = \text{prob d'interaction/cm}$$

Interaction avec électrons atomiques

Perte d'énergie par ionisation

Collision de la particule lourde chargée avec les électrons atomiques du milieu traversé.

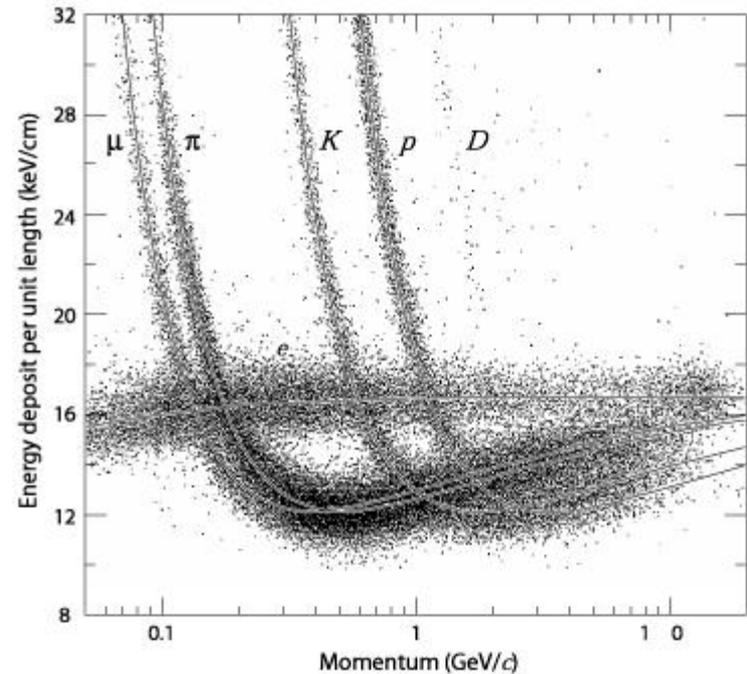
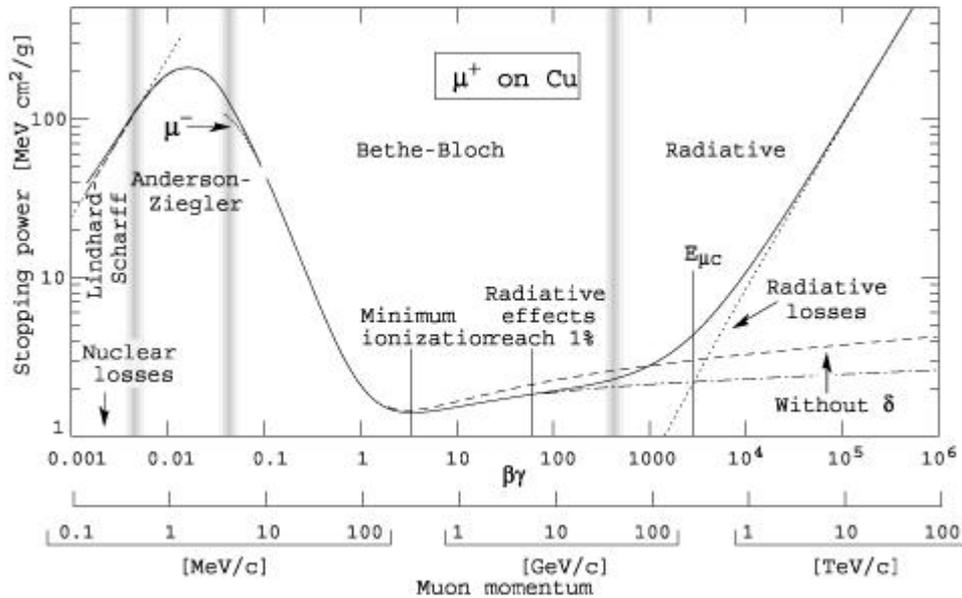
La plus grande perte d'énergie se produit lors de ces collisions

énergie cinétique part. incidente → atome excité ou ionisé

Notations

- M : masse de la particule incidente
- m : masse de l'électron
- Z : Numéro atomique
- e : charge de l'électron
- N : densité de centres diffuseurs (atomes/cm³)
- $\beta = v/c$: vitesse
- γ : Facteur de Lorentz, $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$
- z : charge de la particule incidente (en unités de e)
- η : Energie de transition séparant petits et grands transferts
- ΔE_{\max} : Energie cinétique maximale transférable par la particule incidente sur un e- au repos.

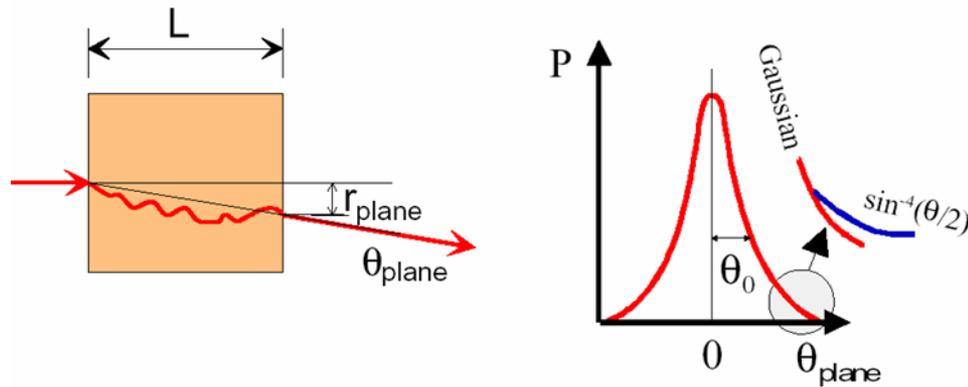
Bethe-Bloch



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

Diffusion multiple

- Diffusion coulombienne sur un noyau = répulsion électrostatique par le noyau = diffusion de Rutherford = collision nucléaire élastique → $d\sigma/d\Omega \sim 1/\sin^4(\theta/2)$
Grand changement de la direction de la particule mais pas grande variation d'énergie en moyenne
- Effet cumulé de plusieurs collisions = diffusion multiple → dist Gaussienne



$$\theta_0 = \theta_{\text{plane}}^{\text{RMS}} = \sqrt{\langle \theta_{\text{plane}}^2 \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2}} \theta_{\text{space}}^{\text{RMS}}$$

$$\theta_0 = \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta c p} z \sqrt{\frac{L}{X_0}} \left\{ 1 + 0.038 \ln \left(\frac{L}{X_0} \right) \right\} \quad X_0 = \frac{716.4 \text{ g.cm}^{-2} A}{Z(Z+1) \ln(287/\sqrt{Z})}$$

Caractère semi empirique affiné suivant les progrès expérimentaux et moyens de calcul.

“Vieille formule”:

$$\sqrt{\langle \theta^2 \rangle} = \frac{15Z}{p\beta} \sqrt{\frac{L}{L_{\text{rad}}}}$$

La préhistoire

- Emulsions photos
- Chambre à brouillard (vapeur sursaturée, traces provoquent ionisation et apparition de gouttes le long des traces)

Premières utilisations dans les exp. de rayons cosmiques

- Les compteurs Geiger

Un peu plus tard

- Chambres à bulles 1952 (Glaser)

- 1965 ch. 2m du CERN
- 1970 - 80 Mirabelle Gargamelle BEBC

Principe: H₂ ou liquide lourds (propane) en phase liquide proche de la phase gazeuse (P_c, T_c) Détente → état surcritique et apparition de bulles le long des trajectoires

Si champ magnétique → traces courbées

$R = P/0.3H$ R en cm, P en Mev/c , H en KGauss

Synchro du faisceau et de la détente.

1 seule photo donc nombre limité de particules à envoyer

Détente P de 4 atm à 1.3 atm @ T 24 à 27 K

Durée: détente 10 ms, faisceau 5ms, photo 7 ms, re-compression 10 ms

Total ~ 30 ms

Et en même temps

- Compteurs à étincelles (compteur proportionnel)
- Chambres à étincelles (1965-1975)
 - Gaz entre 2 plaques avec $\Delta V = 2-3 \text{ KV}$
 - Temps de mémoire de 10 à 100 μs
 - Détection de l'étincelle optique, sonore, fil magnétostrictif...
 - Si pulse HT < 20ns l'étincelle suit la trace
 - Si pulse HT < 10ns chaque électron donne une avalanche. Pour champ $\sim 15 \text{ KV/cm}$ avalanche lumineuse. Si on coupe la HT rapidement (avant passage du courant \rightarrow chambre à dards (streamer))

1968...

- **G.Charpak**:Chambre proportionnelle CPMM, ou MWPC. « Mise à plat » du compteur proportionnel cylindrique

- Plan de fils de lecture entre 2 plans (grilles) HT

Bonne résolution en temps (faible temps de mémoire, sépare 2 traces à moins de 200 ns)

Pas de déclenchement HT

Premiers spectromètres ~ 1970

Rapidement chambres de grandes dimensions

60x60 cm² → 1.3x1.3 m² (1973) → 4x4 m² (1978)

Améliorations et variantes

- Travail sur le gaz (gaz “magique”)
- Lecture 2 coordonnées
- Lecture sur cathodes (signal induit)
- Chambres à dérive
- Cathode segmentées

Chambres damiers LAL exp NA3 1978

- Géométries cylindriques pour les collisionneurs
- Enormes progrès en permanence sur l'électronique

Les chambres à dérive

- Concept post MWPC: Chambres à dérive planes (F.Sauli)
- Plan de fil = alternance fils de champ-fils sensible.
- On ne mesure que 1 fil sur 2 (moins d'électronique ou plus de surface pour le même prix)
- On mesure le temps d'arrivée sur le fil sensible

Un Point d'Histoire... La TPC LBL PEP-4

PROPOSAL FOR A PEP FACILITY

BASED ON THE TIME PROJECTION CHAMBER

A. R. Clark, O. Dahl, P. Eberhard, D. Fancher, L. Galtieri, M. Garnjost,
R. W. Kenney, S. C. Loken, L. T. Kerth, R. Madaras, D. R. Nygren,
P. Oddone, M. Pripstein, P. Robrish, M. Ronan, G. Shapiro, M. L. Stevenson,
M. Strovink, H. Wenzel, and M. Urban[†]

Lawrence Berkeley Laboratory
University of California
Berkeley, California 94720

C. D. Buchanan, J. M. Hauptman, W. E. Slater, D. H. Stork, and H. K. Ticho

Department of Physics
University of California
Los Angeles, California 90024

J. N. Marx^{**}, P. Némethy, and M. E. Zeller

Department of Physics
Yale University
New Haven, Connecticut 06520

W. Gorn, A. Kernan, J. Layter, and B. Shen

Department of Physics
University of California
Riverside, California 92502

B. A. Barnett, C-Y. Chien, L. Madansky, J. A. J. Matthews, and A. Pevsner

Department of Physics
Johns-Hopkins University
Baltimore, Maryland 21218

* Scientific Spokesman.

† Visitor from Ecole Polytechnique, 1974-1976.

** Deputy Scientific Spokesman, Visitor LBL, 1976-1977.



Idée Originale

D. R. Nygren: "Proposal to investigate the Feasibility of a Novel Concept in Particle Detection", LBL internal report, Feb. 1974

Aux nouveaux accélérateurs e^+e^- (PEP, PETRA), il faudra mesurer des jets d'environ 15 particules (12 chargées), sur une acceptation de 4π stéradians avec une très haute efficacité, pouvoir mesurer précisément les impulsions, identifier les particules, mesurer les énergies et les directions de tous les photons émis et être insensible au bruit de fond supérieur de plusieurs ordres de grandeur.

Approche conventionnelle: gros solénoïde + détecteur très segmenté (EXB) + identification (dE/dx sur au moins 100 échantillons) difficile!

→ Nouveau concept $E // B$ et longue dérive pour la coordonnée z

Concept de longue dérivation

- Si B et E // une longue dérivation est possible, limitée par HT max. \rightarrow 1m ou plus. (150 KV max!)
- Vitesse de dérivation
- Diffusion transverse «réduite » par $B \rightarrow B=1.5$ T
- Choix judicieux du gaz, exemple Ar-CH₄
- $V_d \sim$ qq cm/ μ sec \rightarrow résolution en z de 1mm sur 1m

Diffusion transverse

Elargissement de la trace au cours de la (longue) dérive L

$$\sigma \sim (D \cdot L)^{1/2}$$

D = coefficient de diffusion

$D = V \lambda / 3$, V vitesse des électrons,

λ = parcours moyen dans le gaz

Si B champ // et E champ de dérive

$$V \sim [\mu / (1 + (\omega \tau)^2)] \cdot E$$

Avec $\mu = (e\tau / m_e)$ mobilité des électrons,

τ temps moyen des électrons entre 2 collisions

et $\omega = eB / m_e$ fréquence cyclotron de l'électron

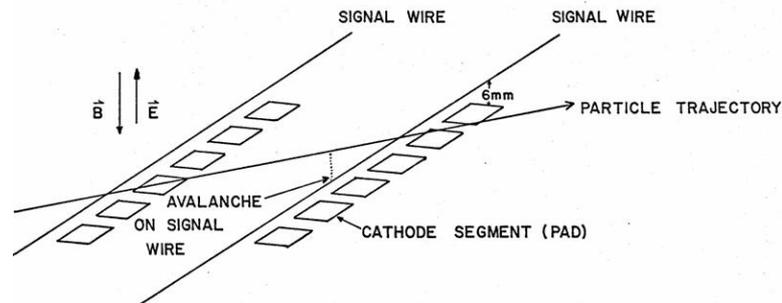
$\omega \tau$ peut varier de 1 à 10...!

Résolution spatiale

Mesurer sur des pads les signaux positifs issus du mouvement des ions positifs générés près de l'avalanche sur le fil proportionnel (Charpak et al.)

Etendre la charge sur 2 ou 3 pads → mesure du centre de gravité

→ Amplificateurs de bas bruit sur cathode segmentée



Résultat

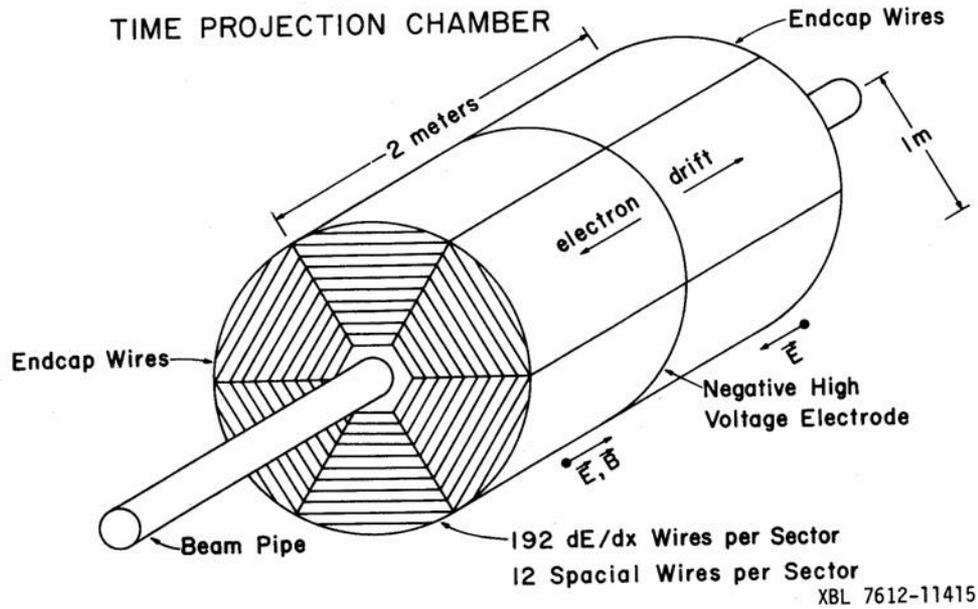
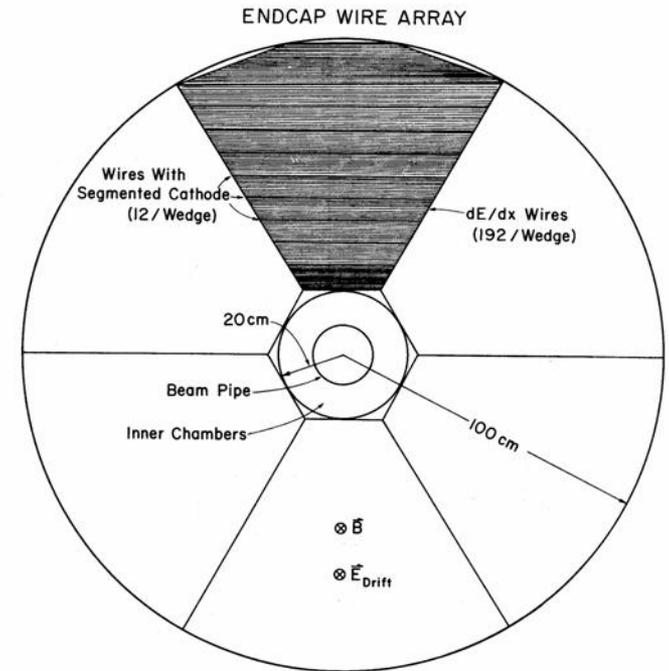


Fig. IIIA.2



XBL 7612-11328

Fig. IIIA.6

Table IIIA.1

TPC Operating Conditions

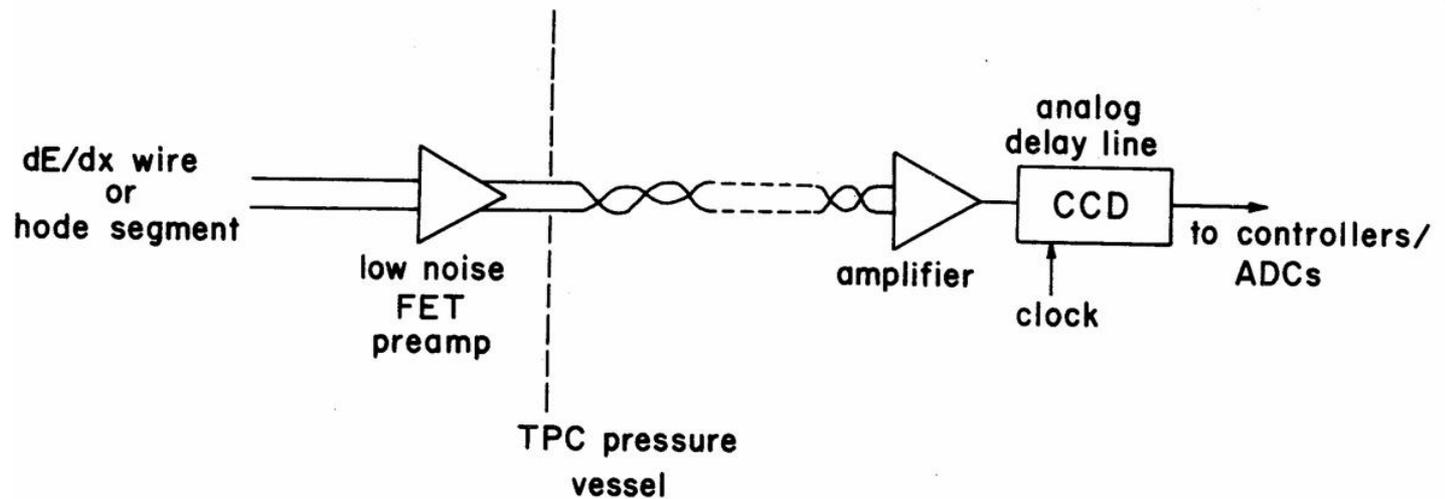
\vec{B}	= 15 KG
Gas:	80% Argon + 20% CH ₄
E/P:	0.2(V/cm/Torr)
E:	150 KV/m
Pressure:	10 atmospheres
Drift distance:	1 m
Momentum resolution:	$\approx 0.6\% \times P(\text{GeV}/c)$
Drift velocity:	$\sim 7 \text{ cm}/\mu\text{s}$
Spatial resolution:	$\Delta z: 2 \text{ mm}$
	$\Delta\phi: \frac{150 (\mu\text{m})}{R}$
# readout elements:	9600
# wedges/endcap:	6
# dE/dx wires/wedge:	192
# spatial wires/wedge:	12

Electronique

- Préampli faible bruit (1000 e RMS) FET à l'intérieur du volume (à qq cm du pad ou du fil) (Preamp ~ 110mW). Refroidissement
- Ampli-shaper distant (salle de comptage) → shaping pour résolution en temps et en amplitude
- Stockage analogique de l'information en temps et amplitude → registres à décalage analogique: CCD Fairchild, vitesse avec horloge externe. 15 MHz, 240 échantillons (tous les 4mm). Vidange a 20-50 KHz.
- Opération à température de 10 degrés C !
- Courant noir, piédestal dépends du bucket

Electronique TPC PEP4

TPC READOUT ELECTRONICS (ONE CHANNEL)



Preamp ~ 110mW

XBL 7612-11414

Fig. IIIA.10

Secteurs TPC+ Cables



dE/dx

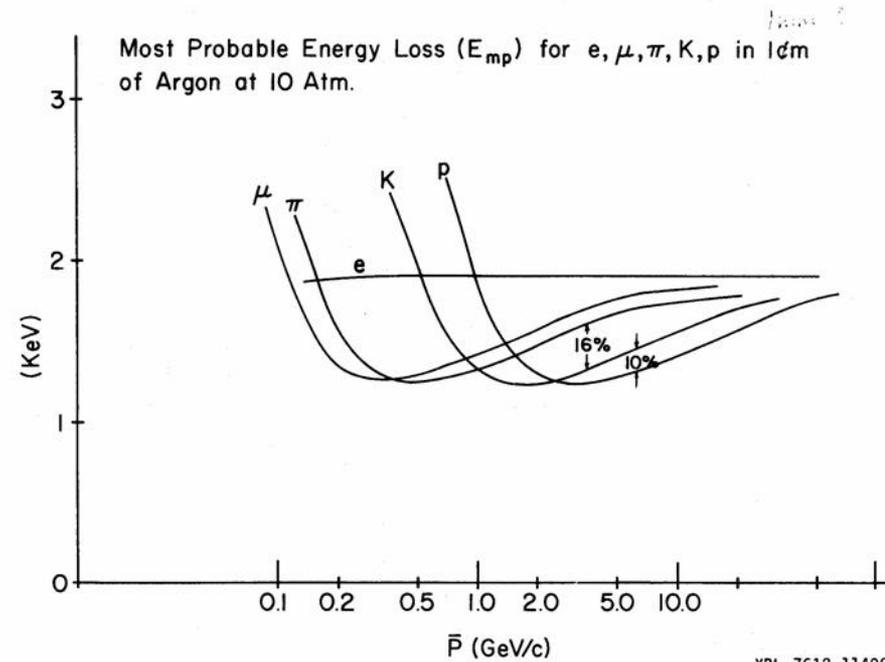


Fig. IIIA.4

Lecture TPC

Stockage info analog. Dans CCD

Relecture à 20KHz (50 msec)

r = numéro du fil (12)

ϕ = numéro du pad

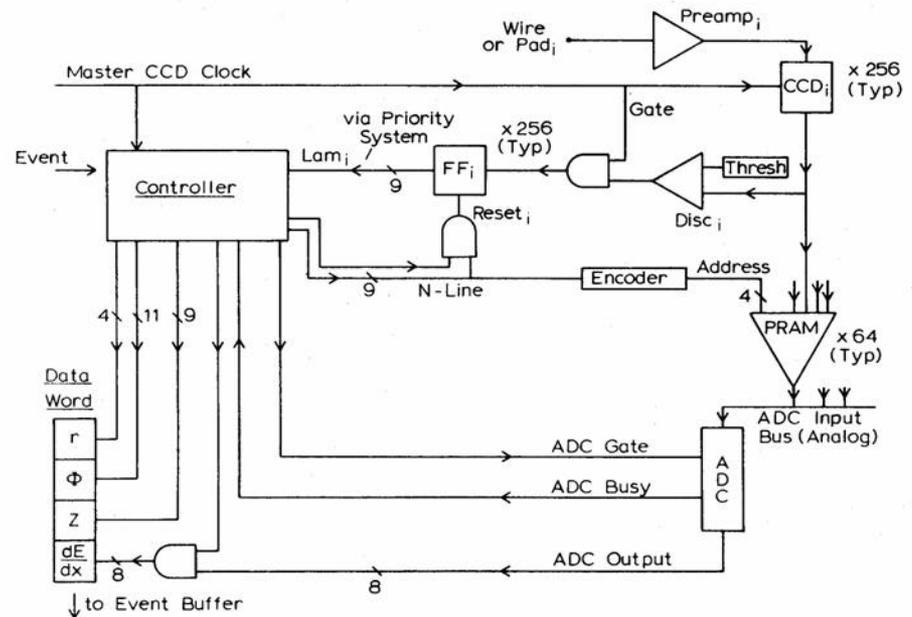
z = ccd bucket

Zéro suppression

par priorités sur ADC

Pads 8 bits

Fils 9bits



XBL 7612-11319

Fig. A10.2

Complications

Forte amplification sur les fils → charge d'espace du nuage d'ions lents → distorsions

→ opération en "gating grid". Perturbation sur électronique, moins de gain sur la chambre et plus de gain demandé aux amplis.

Effets $E \times B$ au voisinage des fils (gradient de champ) et discontinuités de champ bords de cages et secteurs

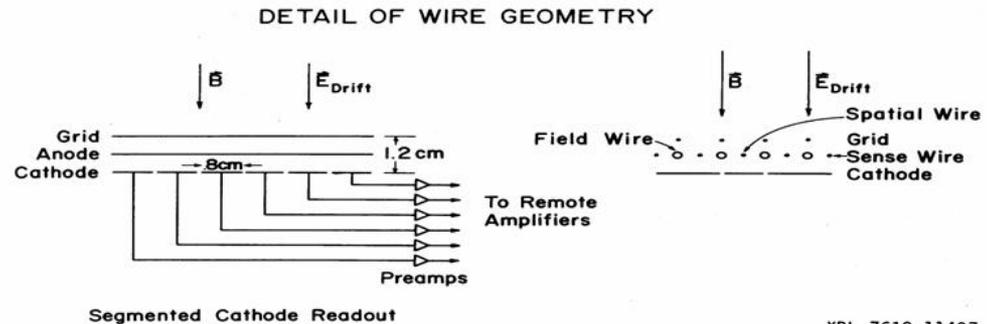


Fig. IIIA.9

XBL 7612-11407

“gating grid”

Appliquer $V_g \pm \Delta V$ sur grille de gate

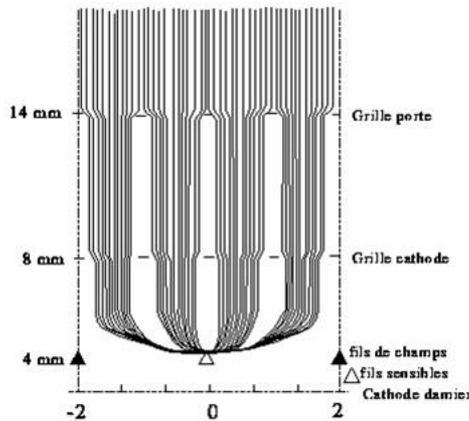
$\Delta V_g = 100V$ dynamique ou 30 V statique

- TPC gate fermée + ouverture après trigger L1 OK

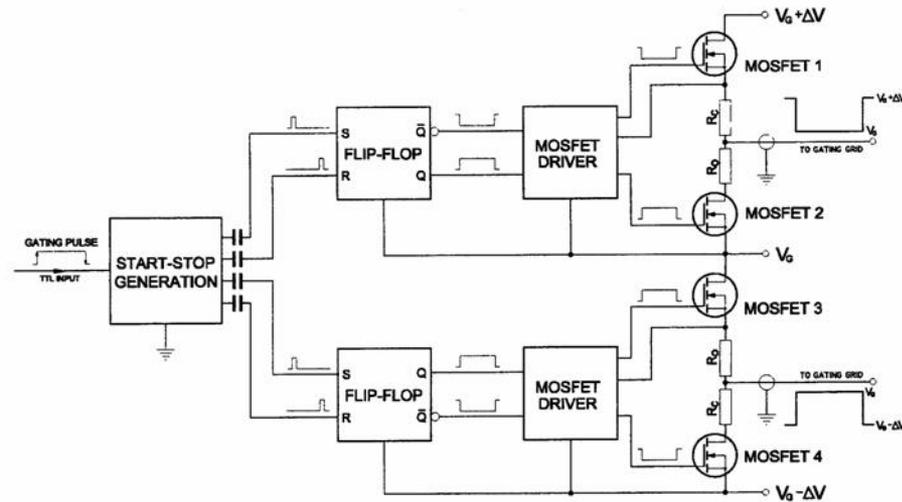
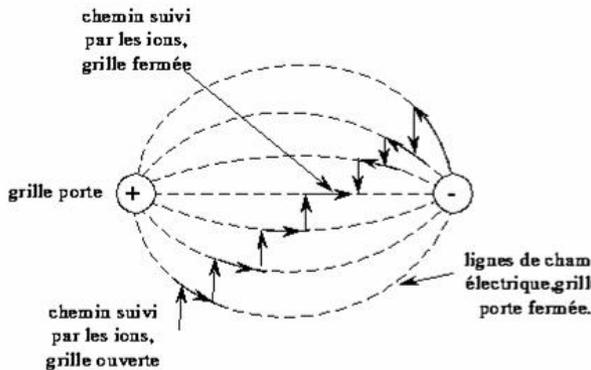
Perte début trace + perturbation électronique

- Ouverture permanente + fermeture après L1 NO

- Générateur pulse + et - très symétriques !



Géométrie des grilles des secteurs et lignes du champ électrique



(ALICE)

Figure 4.39: Block diagram of the gating pulser.

TPC PEP4 Conclusions

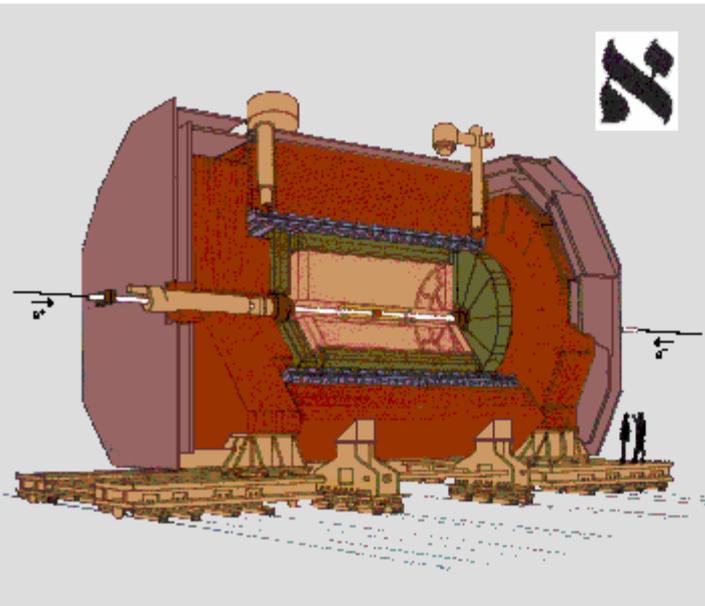
- A établi l'idée et les principes de base + validation

LA TPC C'EST POSSIBLE!

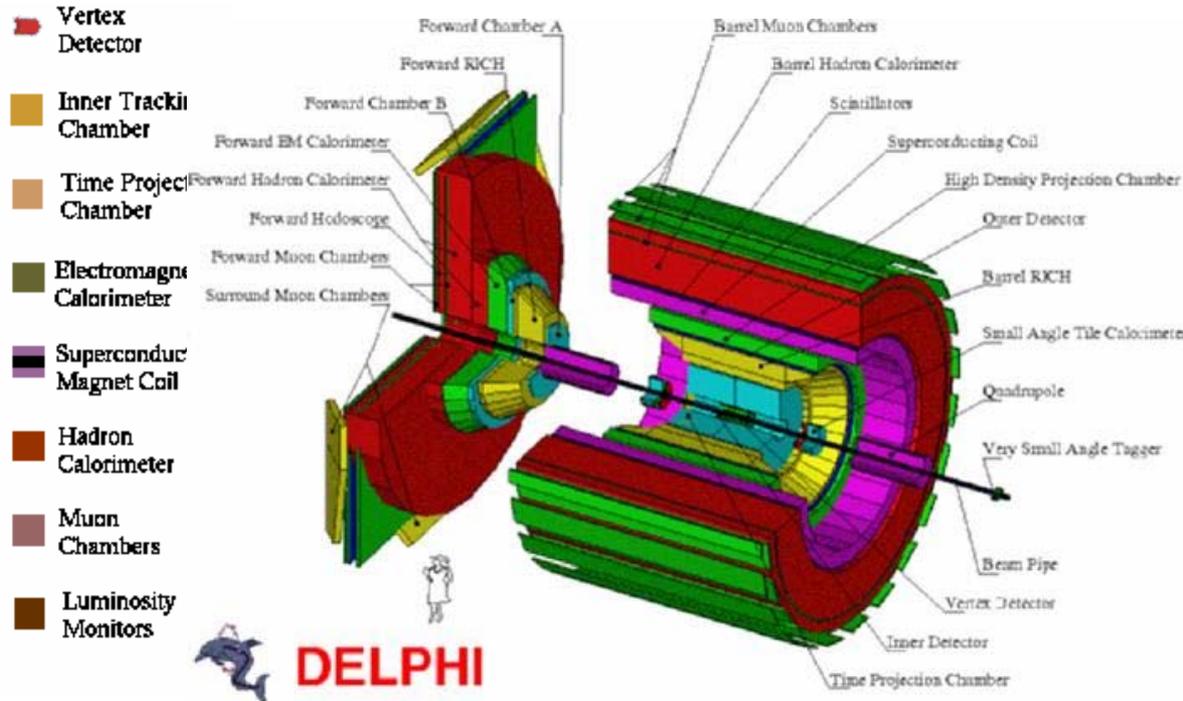
- Sera l'inspiratrice des TPC de LEP
- A montré la possibilité d'utiliser un chaîne de préamplis-amplis à haut gain et faible bruit.
- Devant les difficultés d'utilisation a poussé la recherche sur les FADC
- dE/dx optimiste

Les TPC à LEP

Aleph (1983-1989-2000)Delphi

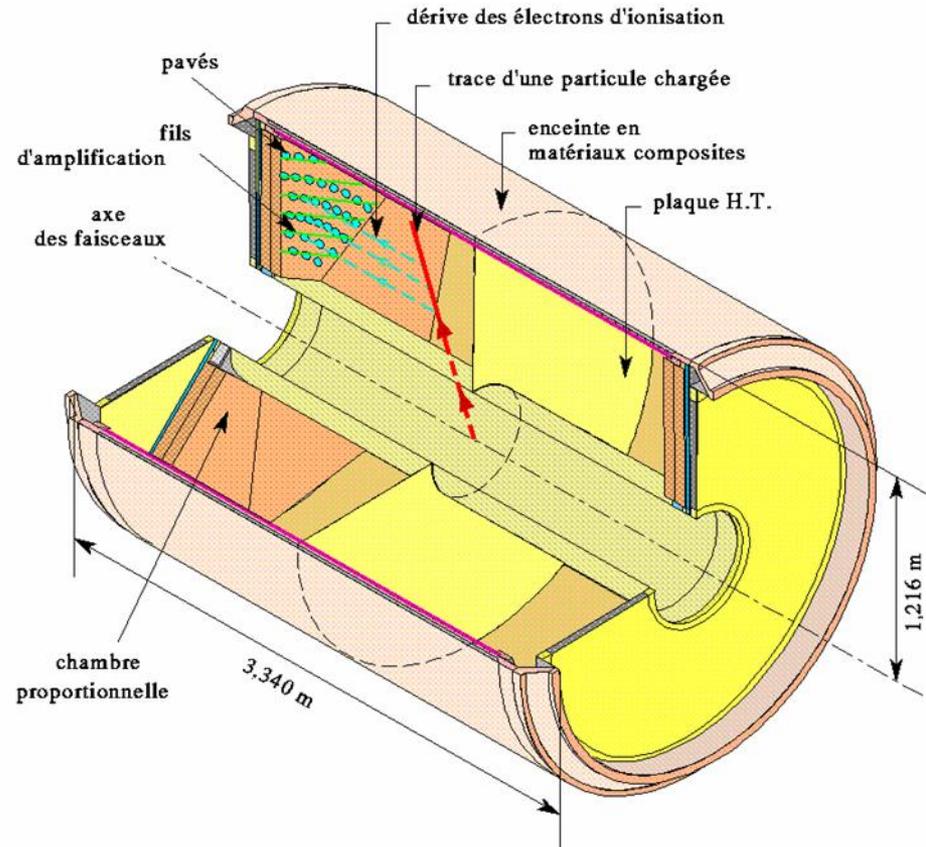
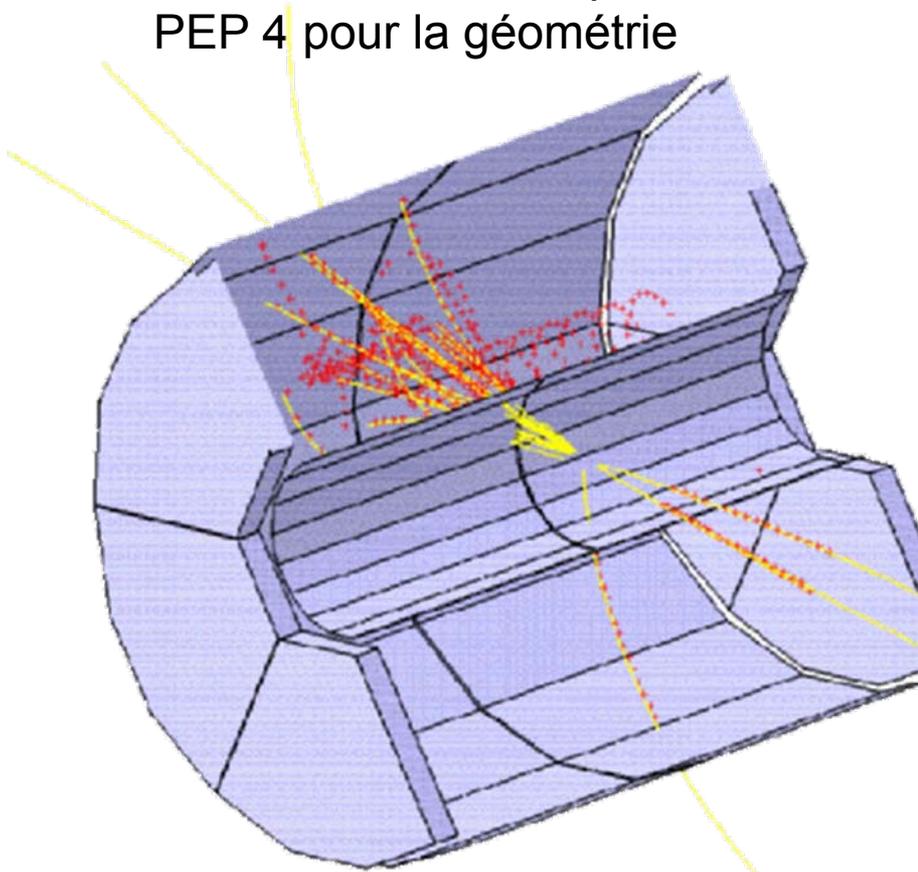


The ALEPH Detector



TPC Delphi

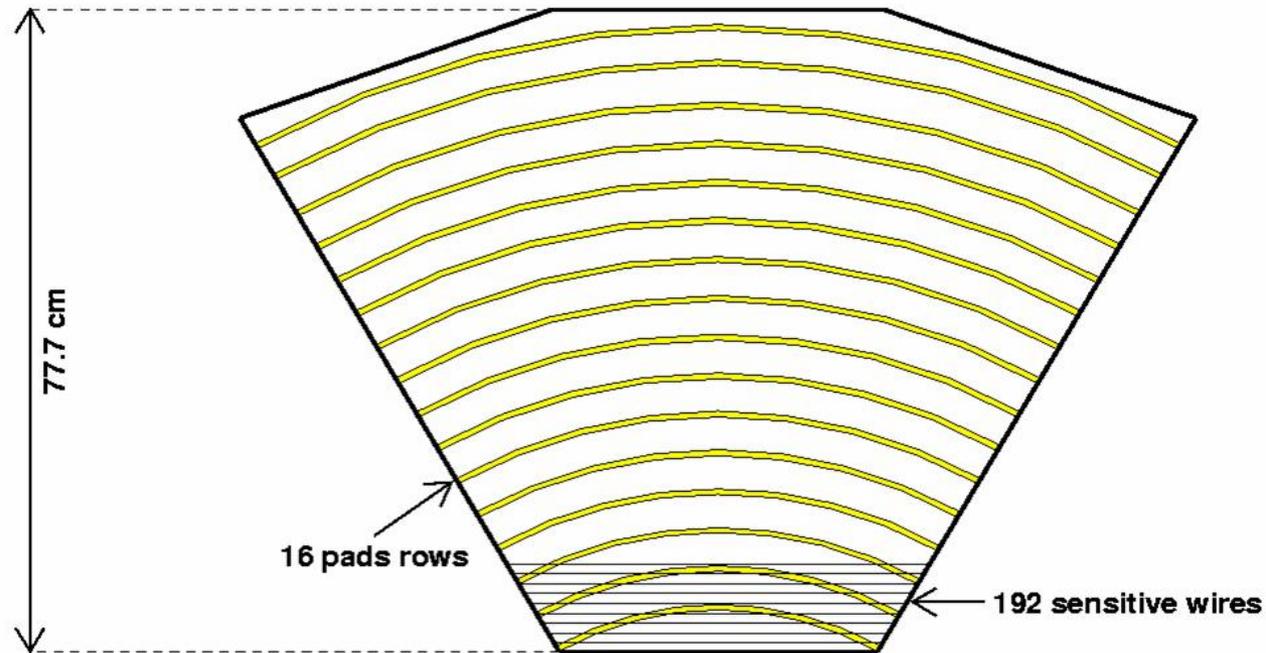
Très directement inspirée de PEP 4 pour la géométrie



TPC Delphi: caractéristiques

P = 1 atm Ar-CH₄ 80/20
2 x 1.34 m, r 0.325-1.16m
2 x 12 sectors

Résolutions:
R- ϕ = 180-280 μ m
Z \sim 0.9 mm
Sep. 2 traces = 1.5 cm



12 x 1680 pads, 12 x 192 fils \rightarrow 22464 canaux

TPC Delphi:secteurs et cage HT



Cage externe

Plaque HT

Secteur(pads)

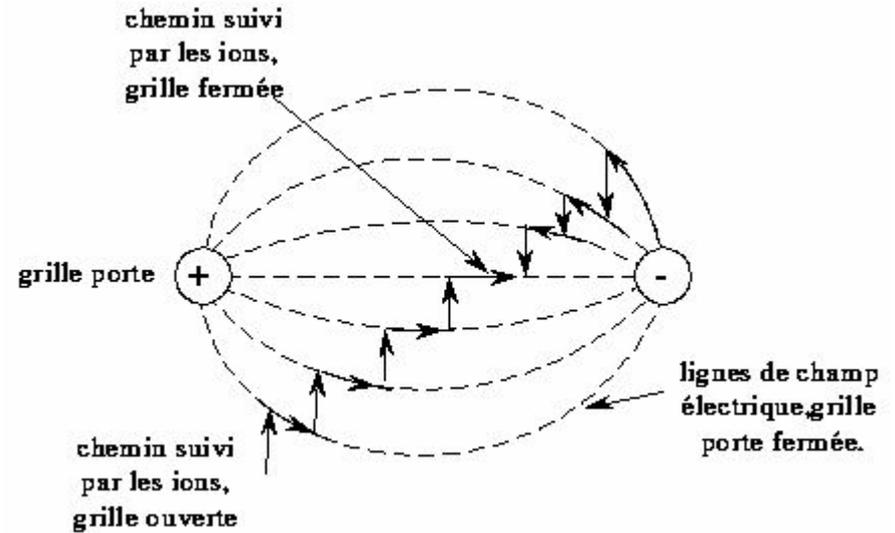
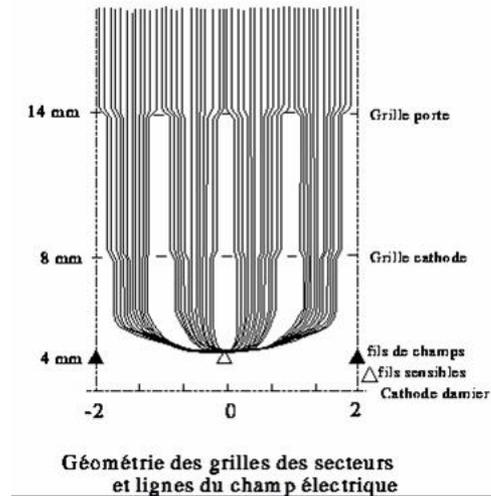
Resistances HT

Cage interne



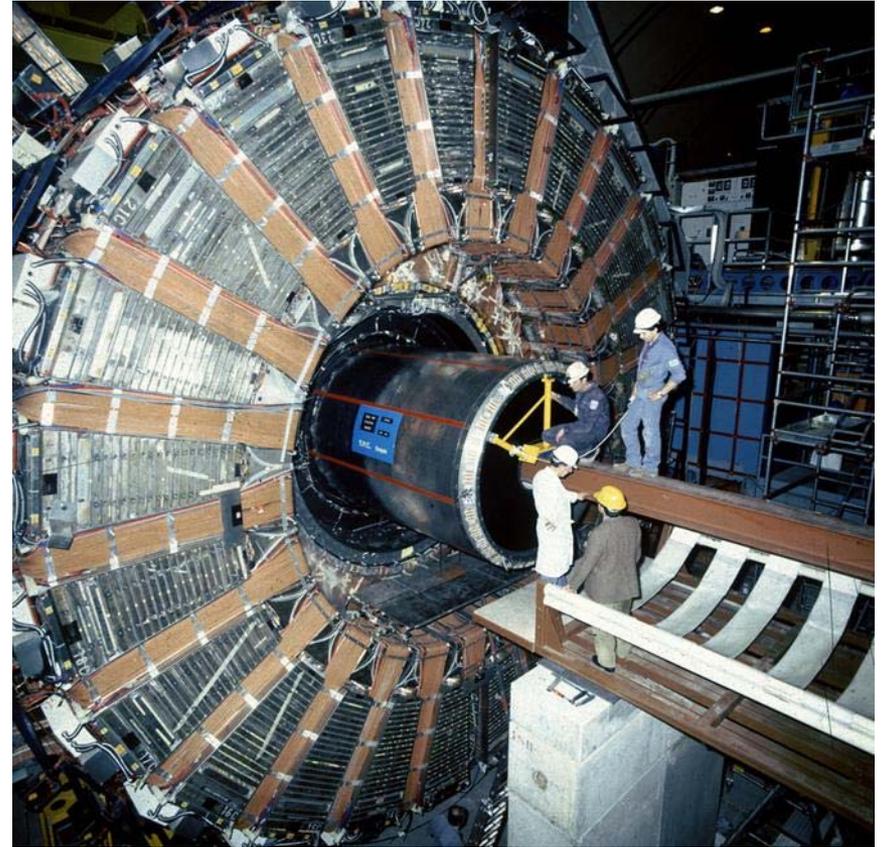
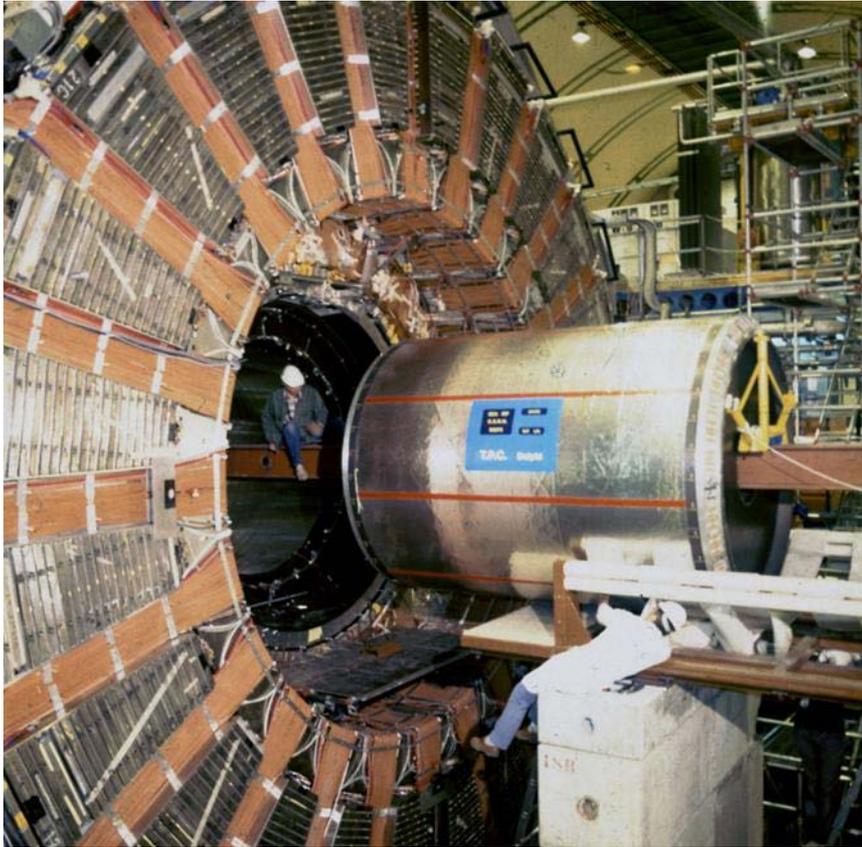
TPC Delphi: champs électriques et grilles

$E = 150 \text{ V/cm}$, $HT \sim 20 \text{ KV}$



Gate pulsée ou statique

TPC Delphi



TPC Delphi: chaîne électronique

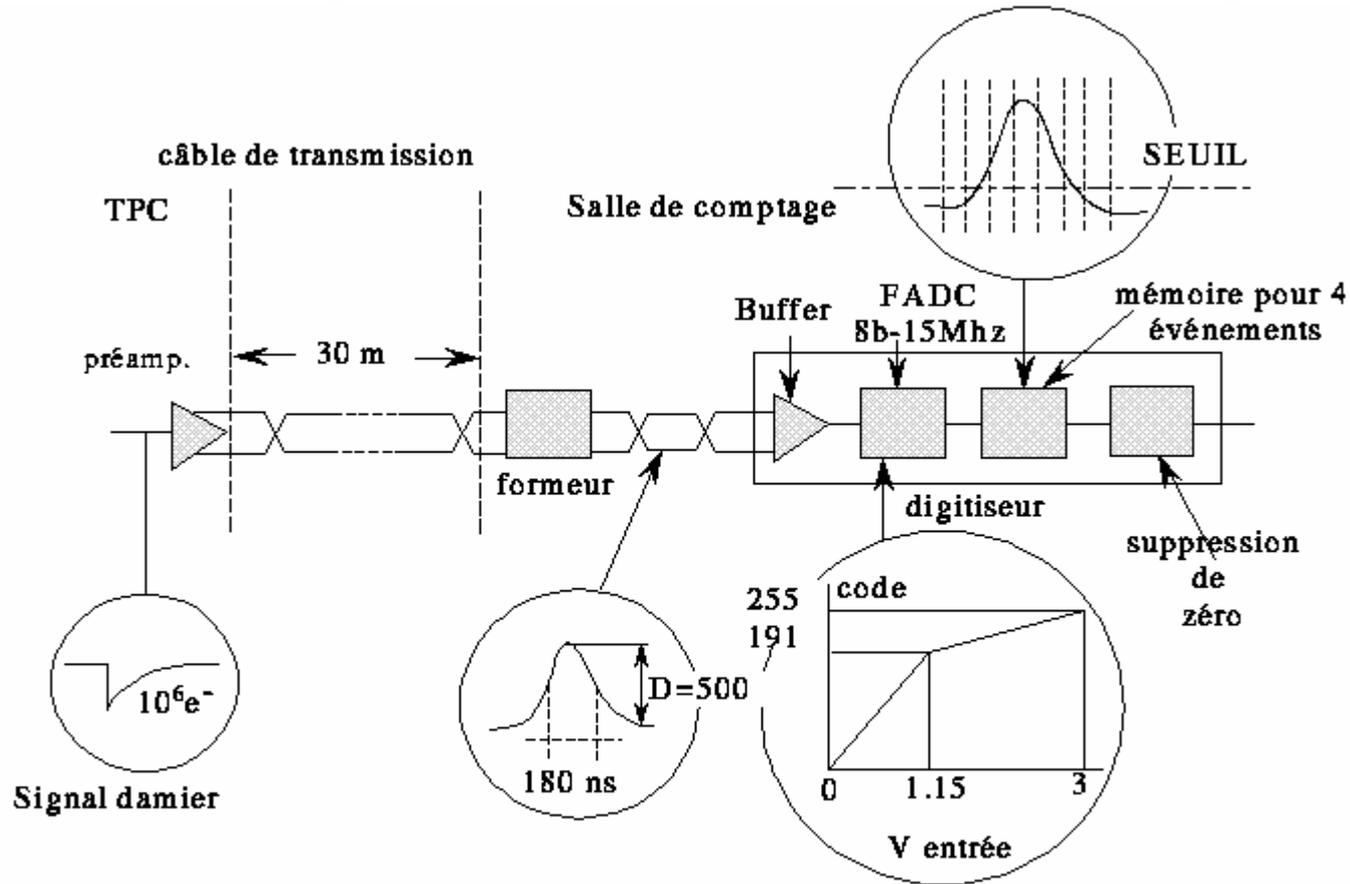
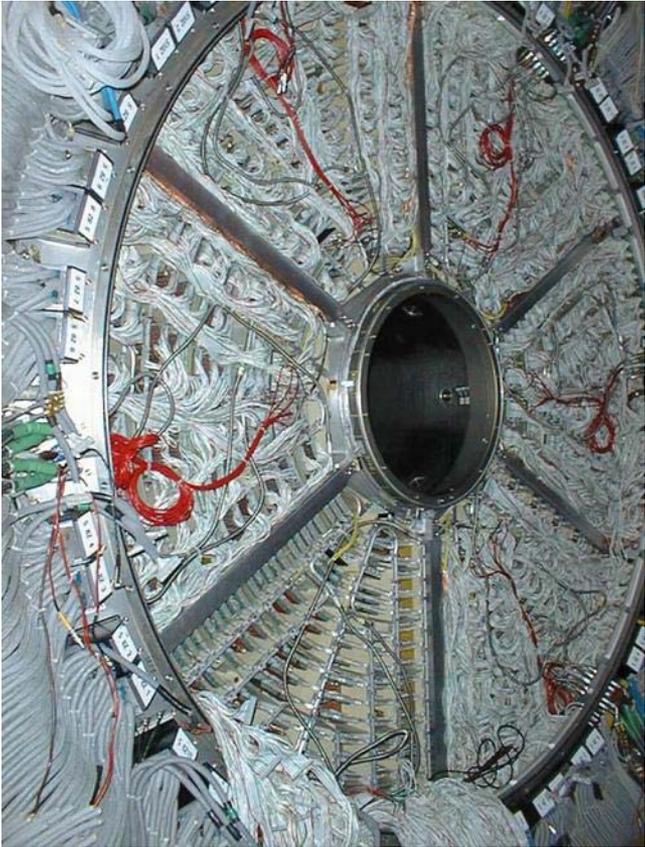


Schéma de la chaîne électronique

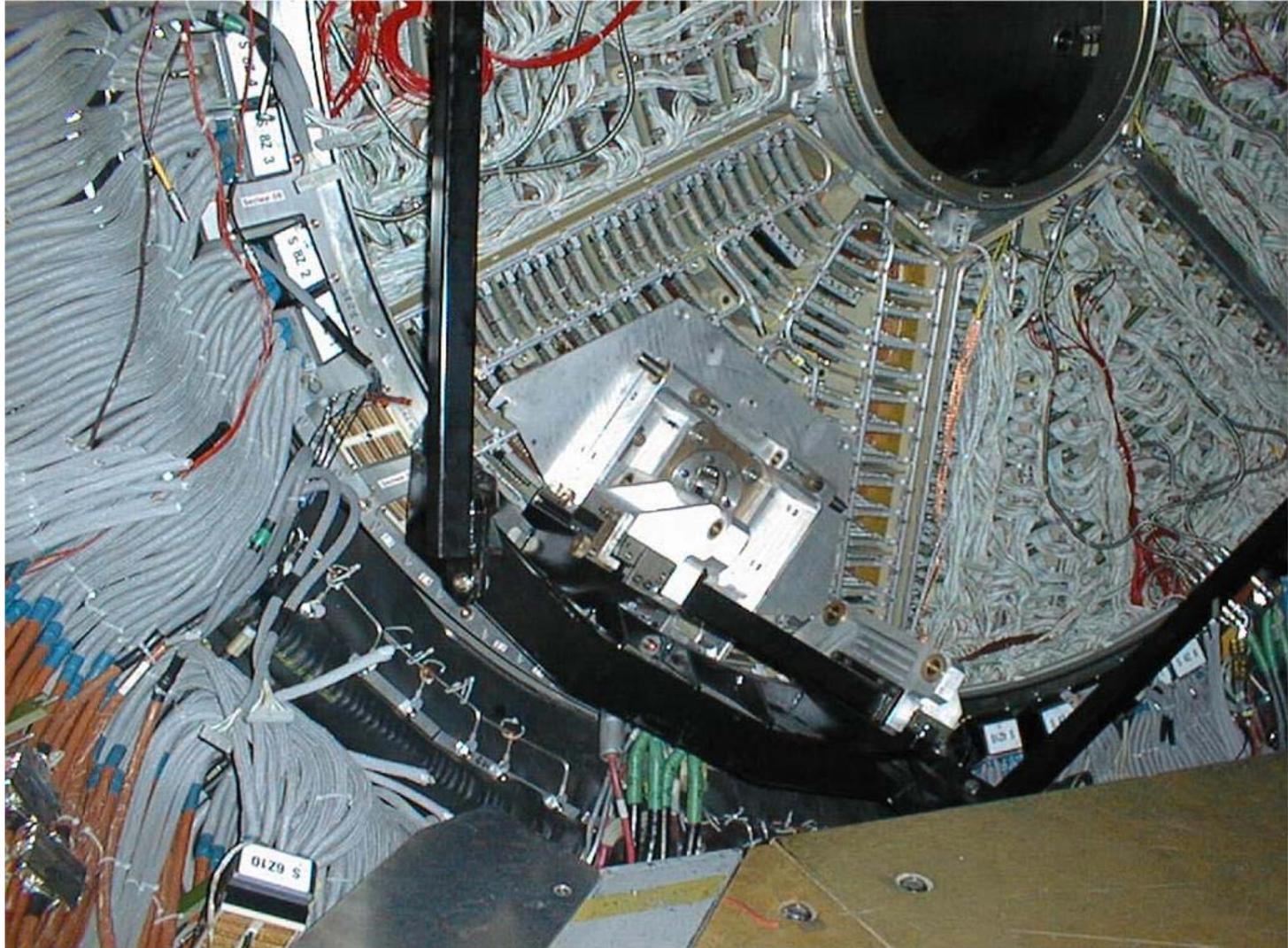
TPC Delphi



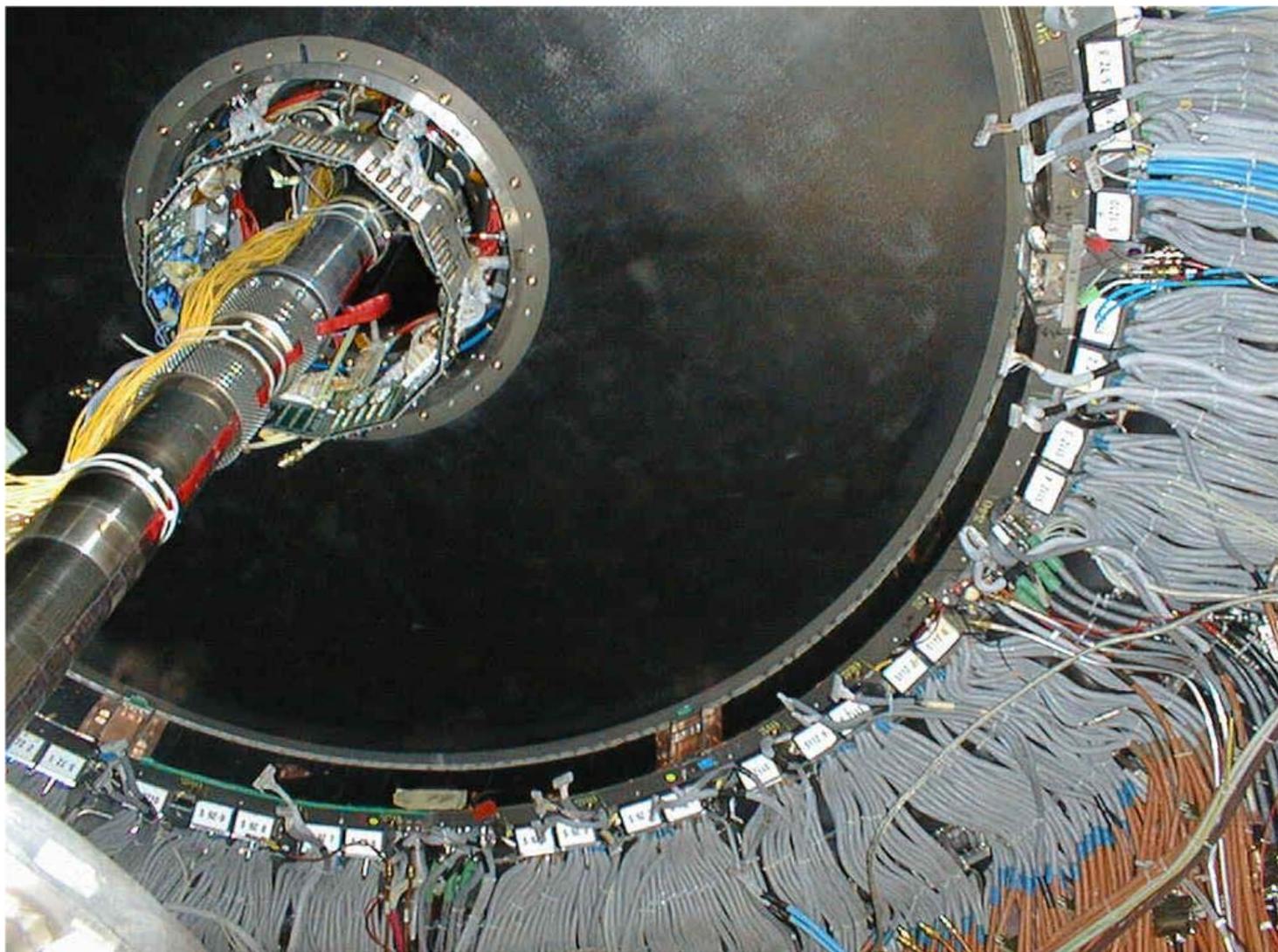
TPC Delphi



TPC Delphi



TPC Delphi



TPC Delphi:préamplis et amplis

Préampli: BF 992 MOS-FET

Hybride: pole zéro + émetteur de ligne

Dissipation 42 mW

16 hybrides/carte (alu + refroid. tuyau eau)

Ampli-Shaper: 2 sections ampli-filtre actif

Shaping 170 ns FWHM

Receveur de ligne sym. 2 x 60 W

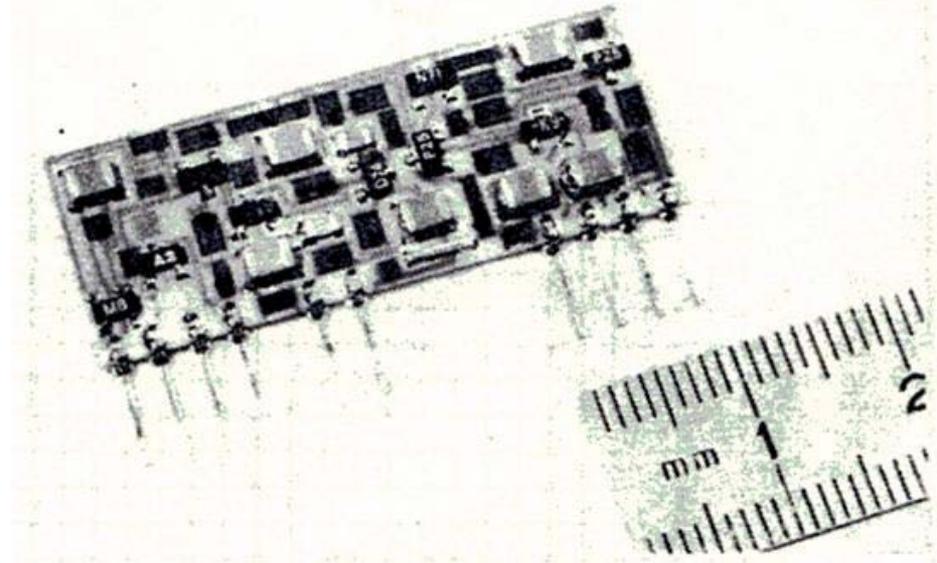
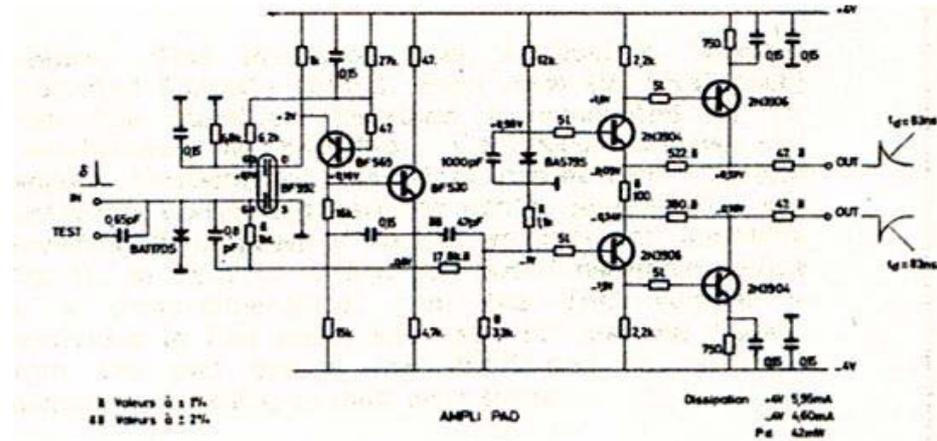
Controle de gain (sw) steps < 1%

32 hybrides/carte FB

Discris pour trigger (fils)

Bruit pads 500 e- sur 5 pF, fils ~1000 e-

à 20 pF



TPC Delphi:digitiseurs

Buffer d'entrée dif. Thomson LM318

8-bit FADC Thomson EF 8308 15 MHz

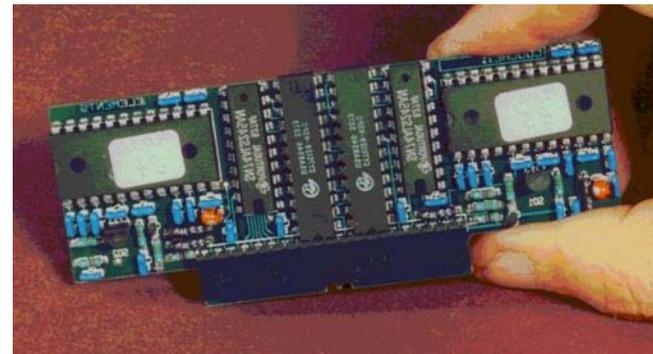
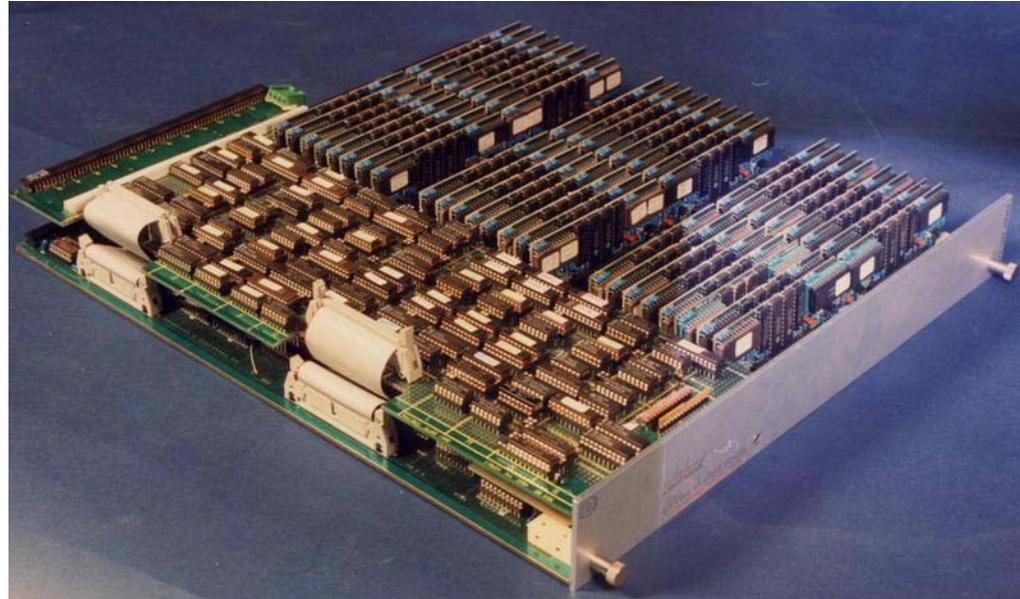
Caract. Bilinéaire, pas de 6.0 mV de 0 à 191 et 29.7 mV de 192 à 255.

Input max 3V, dynamique 500.

+/- 1 LSB intégrale et 0.7 LSB dif.

Mémoire en 4 pages de 512 bytes pour 4 événements de 511 tranches de temps (70 ns)

48 x 2 canaux par 3 U FB + carte ZS



TPC Delphi: digitisation & relecture

Digitisation: le FADC tourne en permanence. A chaque BCO (50KHz) le résultat est écrit dans une page mémoire au moins durant $2\mu\text{s}$ (attente trigger niveau I), puis soit l'événement est rejeté la plupart du temps et le pointeur mémoire est remis à 0, soit est gardé (1 KHz max) et l'écriture se poursuit pendant toute la durée de la dérive, 511 tranches de temps = $35\mu\text{s}$ pour une horloge à 14.67MHz. Ecriture en // dans toutes les 96 voies d'un digitiseur.

Zéro suppression et formatage: c'est le processus concurrent permis si le FADC n'écrit pas dans sa mémoire. Relecture de la mémoire, « clustering » en temps (tranches de temps adjacentes qui dépassent un seuil), fabrication d'une table de pointeurs (fixe) et formatage des clusters. Relecture en série des 96 voies, 1 seul ZS (automate HW) pour 96 voies de digitiseur. Info ZS dans mémoire de 2Kbyte/digitiseur.

Les digitiseurs de plusieurs châssis FB (FB clusters) sont lus par des processeurs de châssis (Fastbus Intersegment Processor FIP, MC68020). Taches principales: démarrage ZS si place mémoire, relecture mémoire de ZS et formatage, monitoring, calibration, clusterisation pour trigger niveau III (soft).

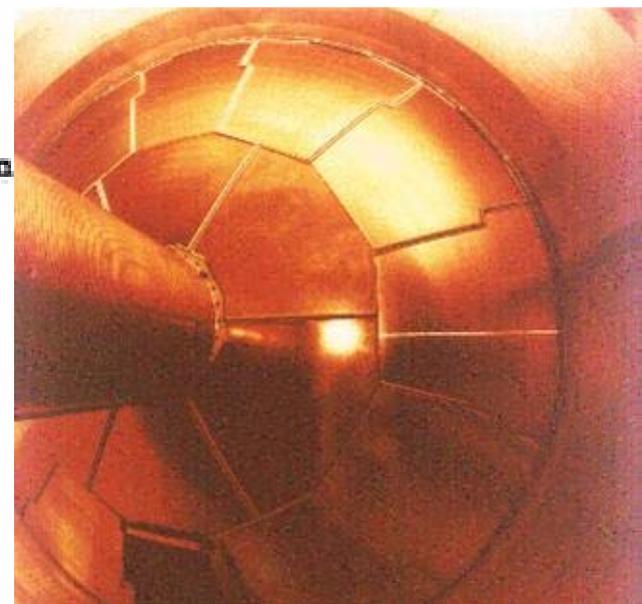
TPC Aleph

1 The Time Projection Chamber (TPC)

Description: Cylindrical drift volume with central electrode and planar wire chambers at the two ends. Electrons from ionization drift to the endplates along the electric field of 11 kV/m. Their charge is recorded by a system of proportional wires which are capacitively coupled to cathode readout pads. Each endcap has 6 inner sectors (type K) and 12 outer sectors (types M and W). Sectors have concentric rows of pads for 3 dimensional coordinate measurement ($r\phi$ from pad position, z from drift time). Wires across the sectors are used for dE/dx measurements. Each sector is equipped with special trigger padrows.

Gas: $ArCH_4$ (91 % : 9%) at atmospheric pressure.

Dimension:	Radius:	$R_{outer} = 1.8 \text{ m}$	$R_{inner} = 0.31 \text{ m}$
	Overall length	4.7 m	
	Drift length	2 x 2.2 m	
	Weight	3.6 t (with cables)	
	Gas volume	43m ³	
	Radiation length:	inner fieldcage	0.023 X_0
		outer fieldcage	0.048 X_0
		endplate	0.35 X_0



TPC Aleph

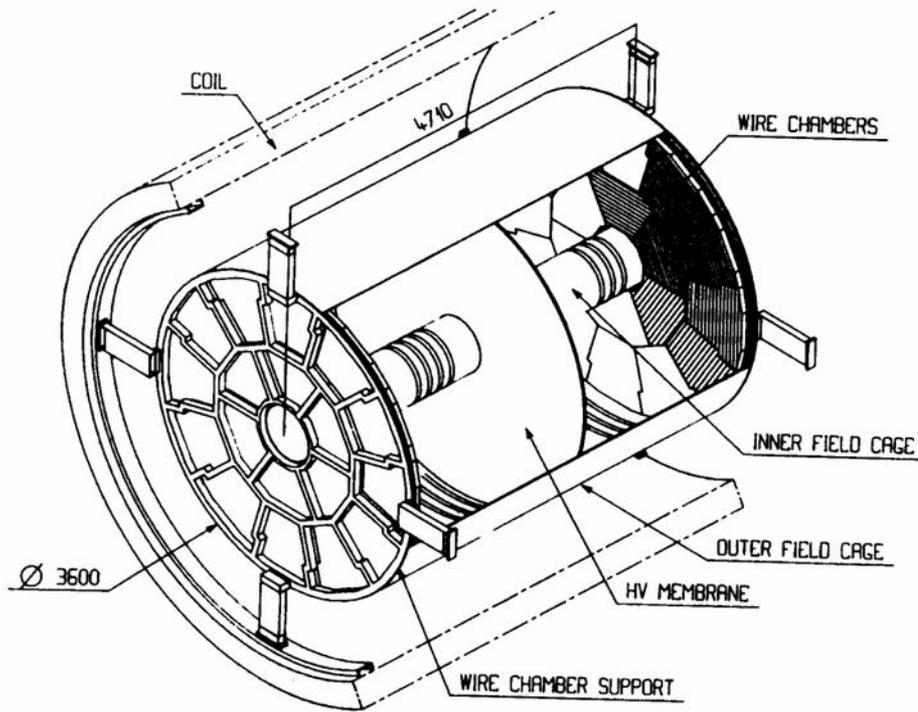


Fig. V.1 TPC overall view.

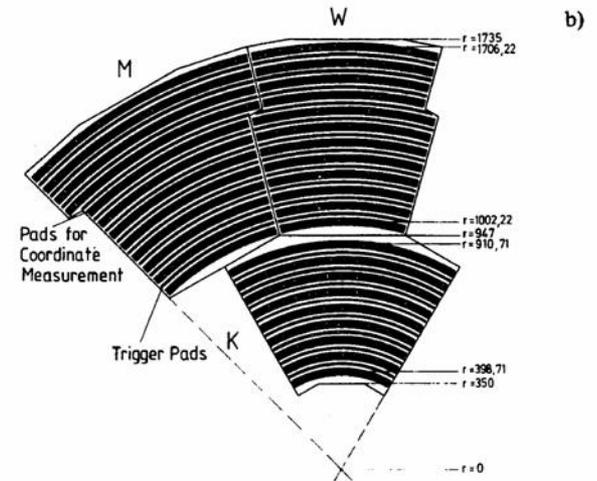
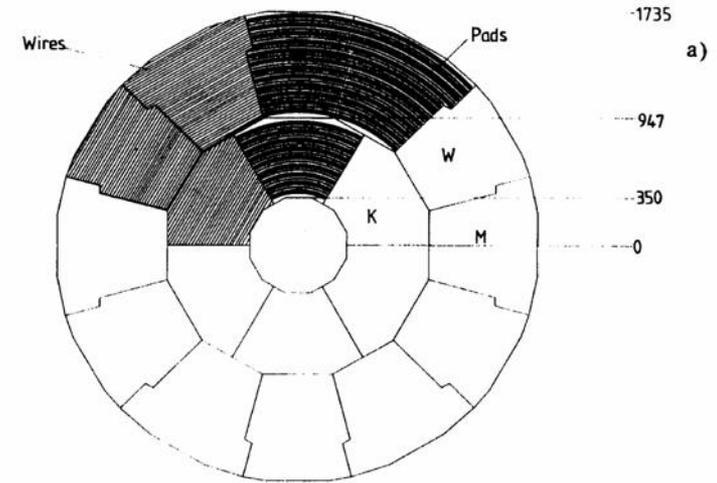


Fig. V.14 a) Overall geometry of the TPC end-plate.
b) A more detailed view of M, W, and K sectors.

TPC Aleph

Sectors:	R_{min}	R_{max}	No. padrows	No. trig. padrows	No. wires
Type K	38 cm	91cm	9	8	148
Type W,M	100 cm	170cm	12	11	196

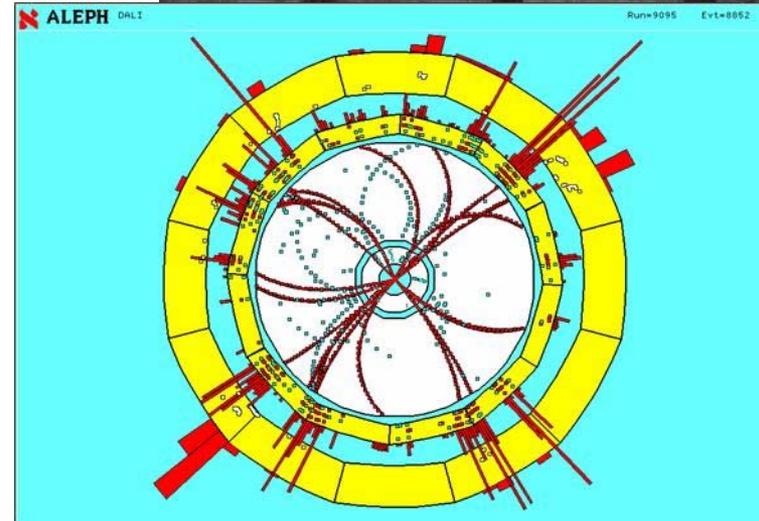
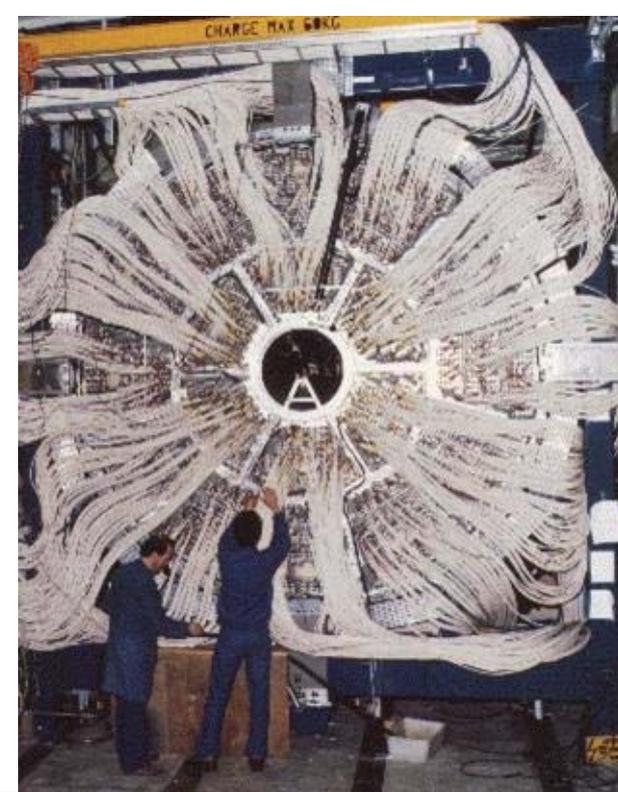
Pad size	$6.2 \times 30 \text{ mm}^2$
Pitch in r- ϕ	6.7 mm
Triggerpad size	$6.8 \text{ mm} \times 15^\circ$
Sense wire spacing	4 mm
Sense wire diameter	20 μm
Field wire diameter	127 μm
Diameter of other wires	76 μm
Central electrode thickness	25 μm

Gas Properties:	Drift velocity	5.2cm/ μs
	Longitudinal diffusion	4mm/ $\sqrt{\text{m}}$ per single electron.
	Transverse diffusion (B=15kG)	0.8mm/ $\sqrt{\text{m}}$ per single electron.
	Specific ionization for min. i. p. (incau)	90 electrons/cm

Readout:

	pads	wires	total
Channels	2 x 20502	2 x 3168	47340
TPDs	660	108	768
TPPs	36	36	72

Performance:	r ϕ spatial resolution	180 μm at 0° pad crossing angle
	z spatial resolution	1.2 mm (wires) with "small" z dependence 0.8 mm (pads) at $\theta = 90^\circ$
	Momentum resolution	$\Delta p/p^2 =$ TPC only: $1.2 \times 10^{-3} (\text{GeV}/c)^{-1}$ at 45 GeV ITC + TPC: $0.8 \times 10^{-3} (\text{GeV}/c)^{-1}$ at 45 GeV
	dE/dx resolution	4.5% for Bhabha electrons



TPC Aleph: électronique

Préampli intégration de charge

25 e- primaires = 1MIP \rightarrow 15 mV

= $\frac{1}{4}$ du range dynamique FADC

Bruit 600 e-. 50 000 preamp

Shaper: receveur diff + pole zero

+ 2 filtres 1 MIP \rightarrow 0.5 V peak sortie

shaper

Largeur pulse 230 ns FWHM

Ampli & shapers hybrides

FADC: Thomson 8 bit

(comme Delphi)

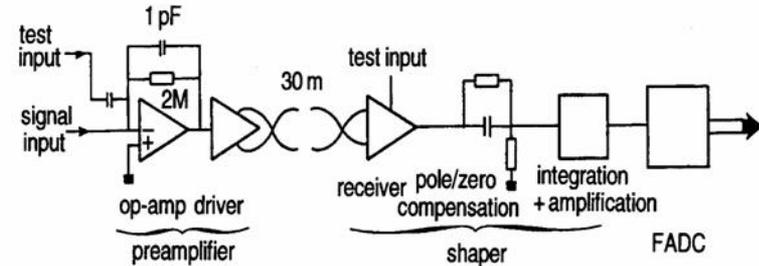


Fig. V.22 Functional diagram of the analog electronics chain.

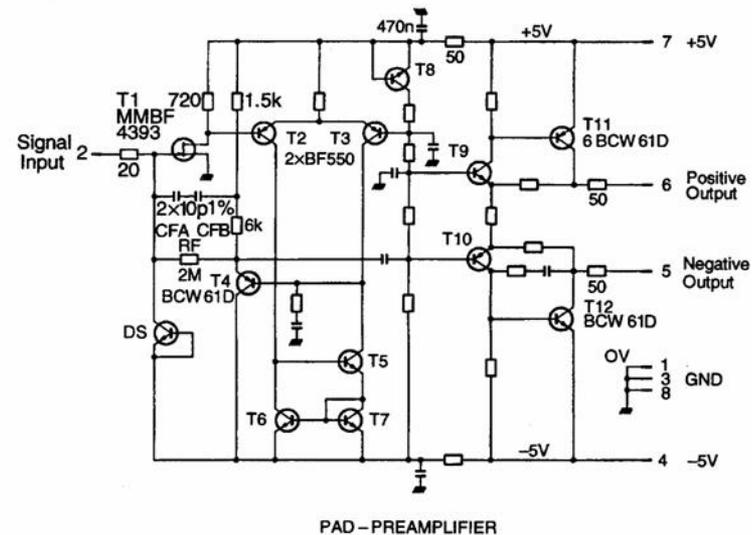


Fig. V.23 Circuit diagram of the pad amplifier.

TPC Aleph

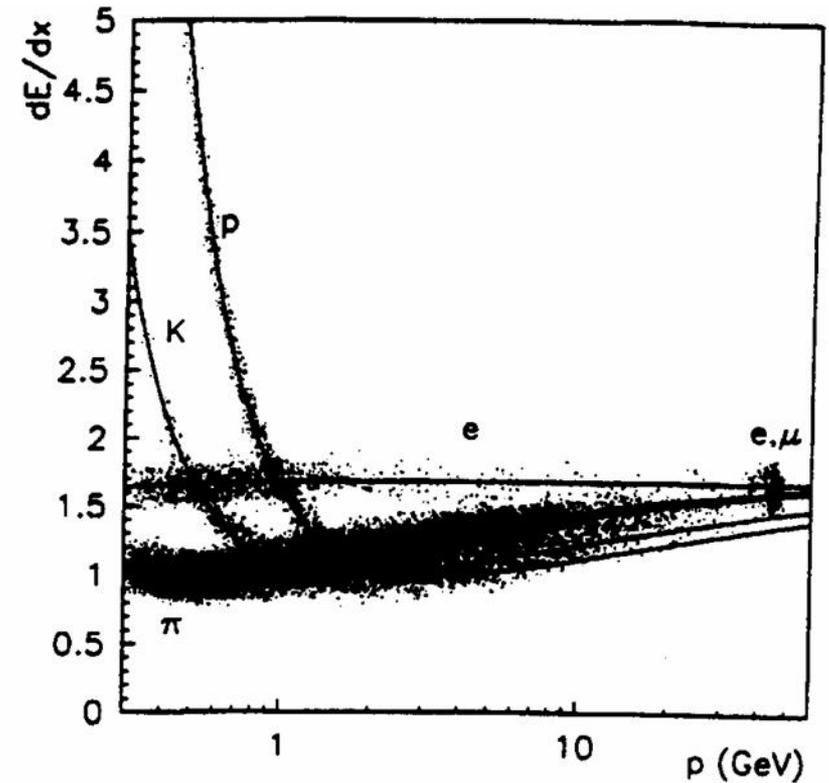
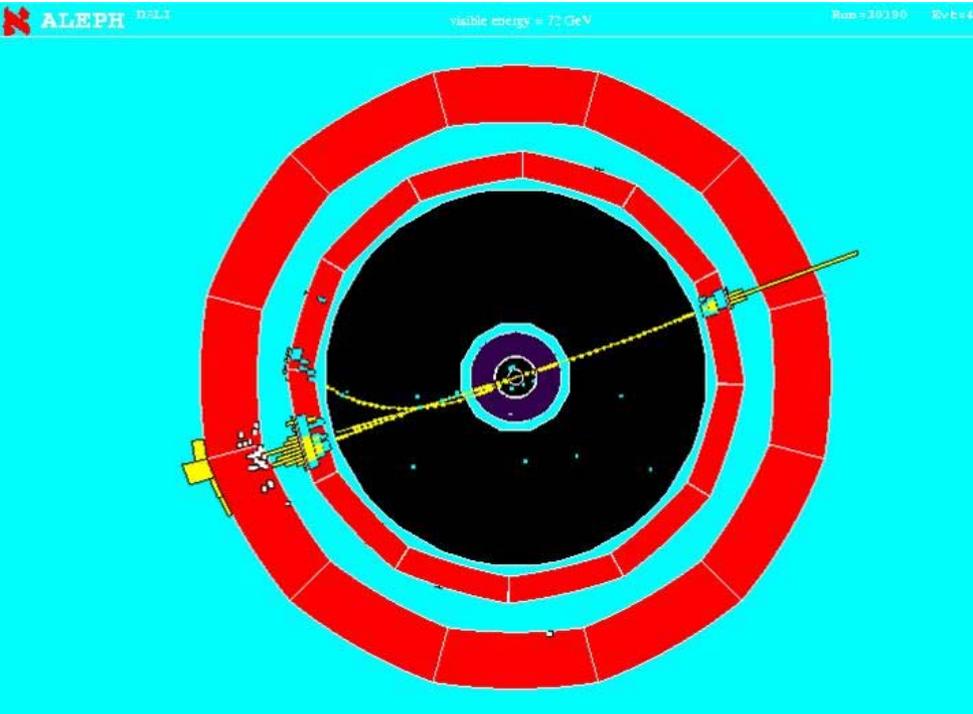


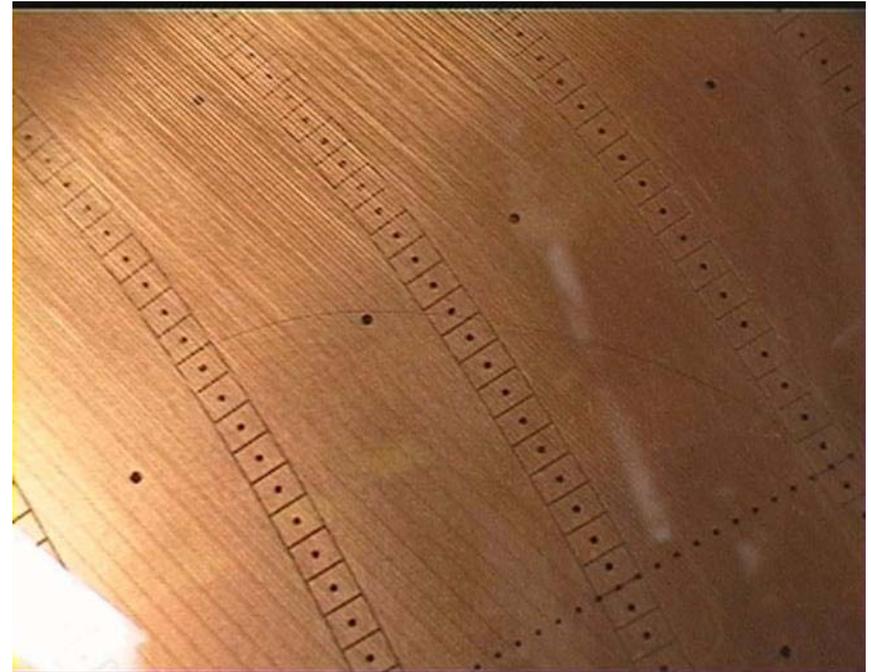
Fig. V.73 The measured dE/dx versus particle momentum for a sample of about 40,000 tracks. Each track was required to have at least 150 dE/dx measurements. The fitted parametrization is overplotted for electrons, muons, pions, kaons, and protons.

Les TPC à LEP: conclusion

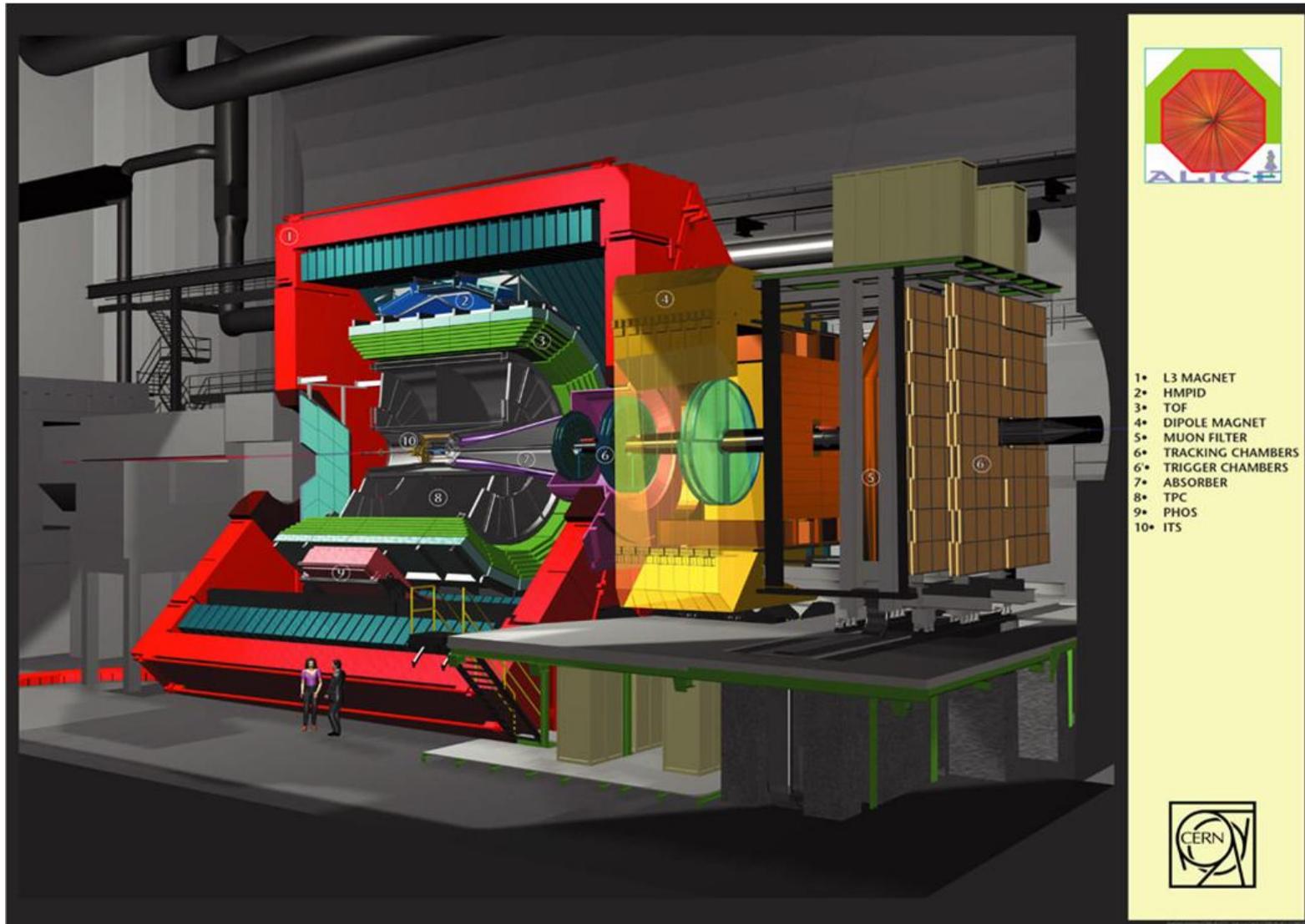
Lep a été la machine idéale pour exploiter tout le potentiel des TPC:

- Utilisation optimale des “longues dérives”. BC @ 50KHz
- Peu de bruit de fond...
- Evénements physiques!
- Electronique/taille optimale
- Electronique « solide »
- Investissement rentabilisé (89→2000)

1 fil casse apres 10
ans...



Les TPC après le LEP



Expériences ions lourds cible fixe

Ions lourds CERN Hall Nord SPS:

- NA35 (1990):, TPC 125 x 240 x 112 cm³, hors champ magnétique... Comptage de traces droites

- NA45 CERES

- NA49 (1995)

BEVALAC Berkeley: EOS (1992-93)

PS CERN: HARP expérience programme neutrino (2001-2002)

Expériences ions lourds collisionneurs

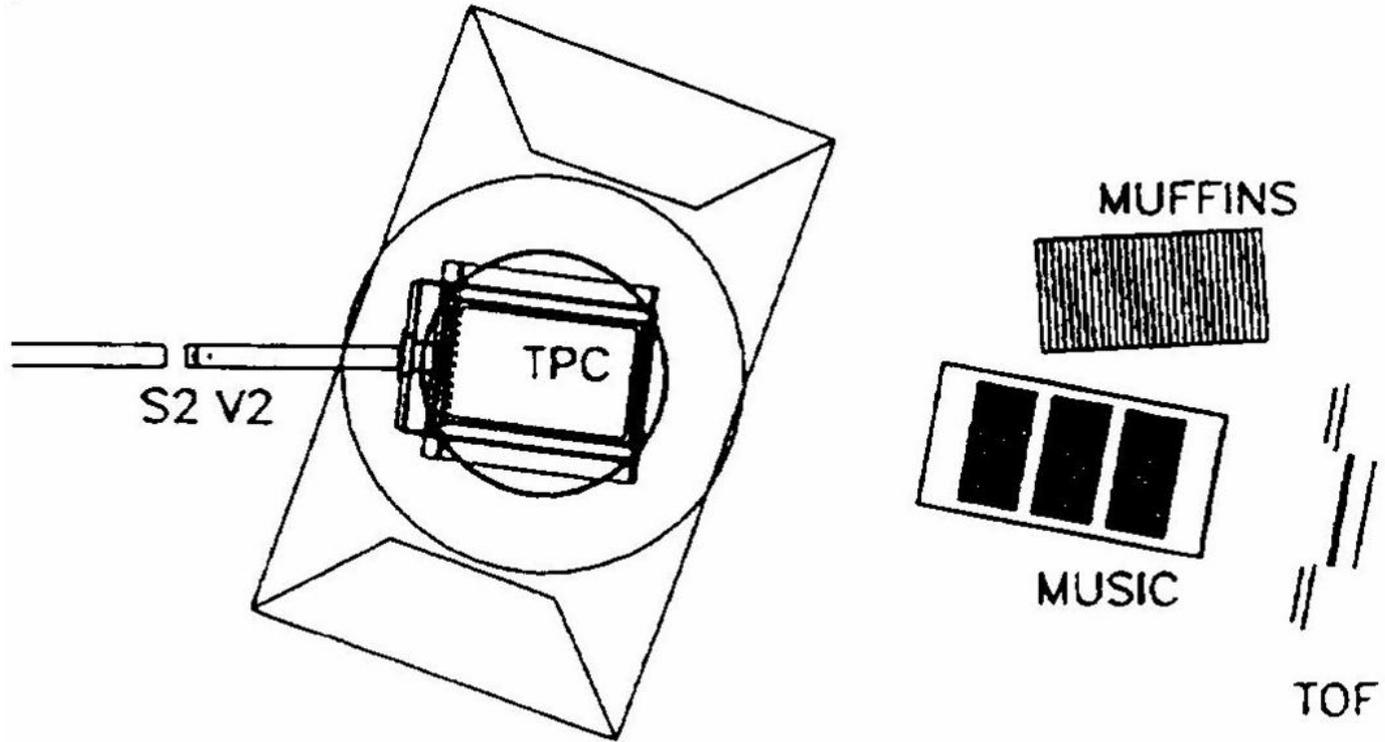
STAR à RHIC (Brookhaven-USA) (2001)

Alice au LHC CERN

Electronique:Filière LBL

EOS → NA49 → STAR

TPC EOS



TPC EOS

HISS TPC Characteristics	
Pad Plane Area	1.5m × 1.0m
Number of Pads	15360 (120 × 128)
Pad Size	12mm × 8mm
Drift Distance	75 cm
Time Sampling Freq.	10 MHz
Signal Shaping Time	250 ns
Electronic Noise	700 e
Gas Gain	3000
Gas Composition	90%Ar + 10%CH ₄
Pressure	1 Atmosphere
B Field	13 kG
E Field	120 V/cm
Drift Velocity	5cm/μs
Event Rate	10-80 events/ 1 sec spill
dE/dx range	Z = 1-8, Λ, π, p, d, t, He, Li - O
Two Track Resolution	2.5cm
Multiplicity Limit	≈ 200

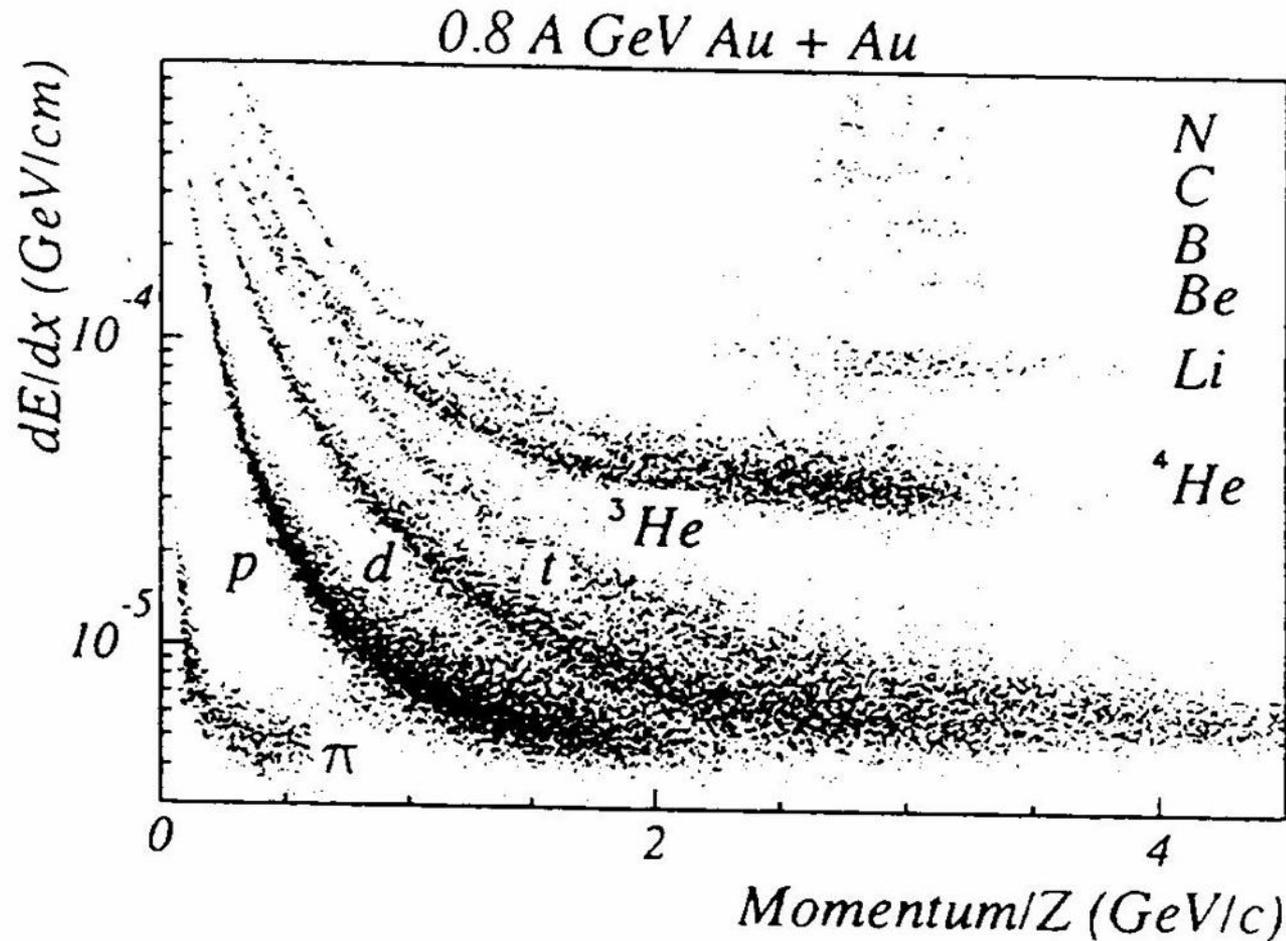
TPC EOS:Electronique

15360 pads à lire

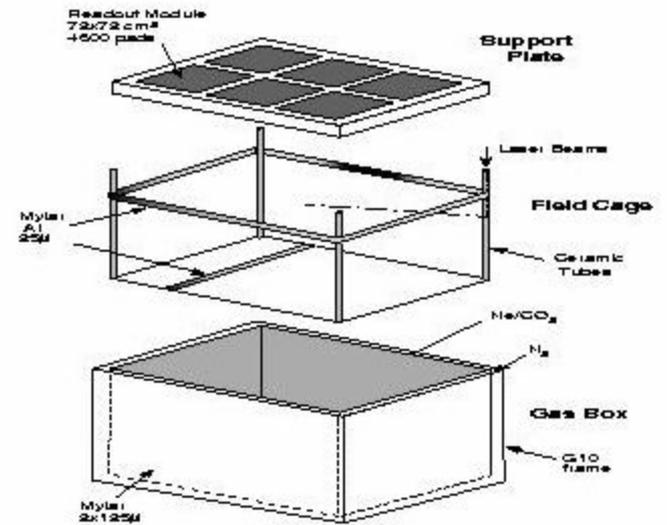
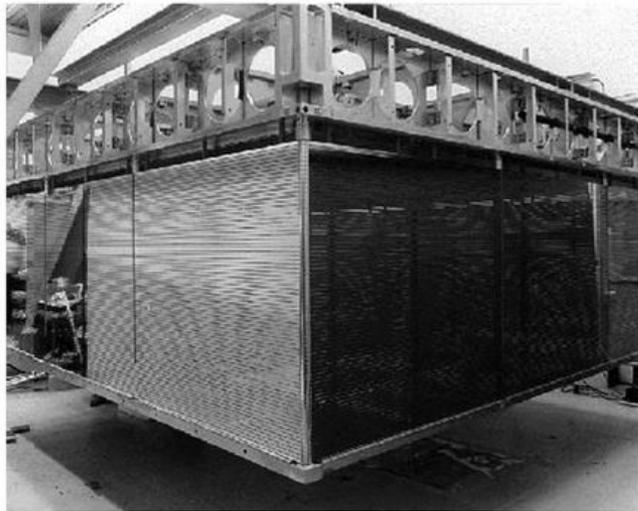
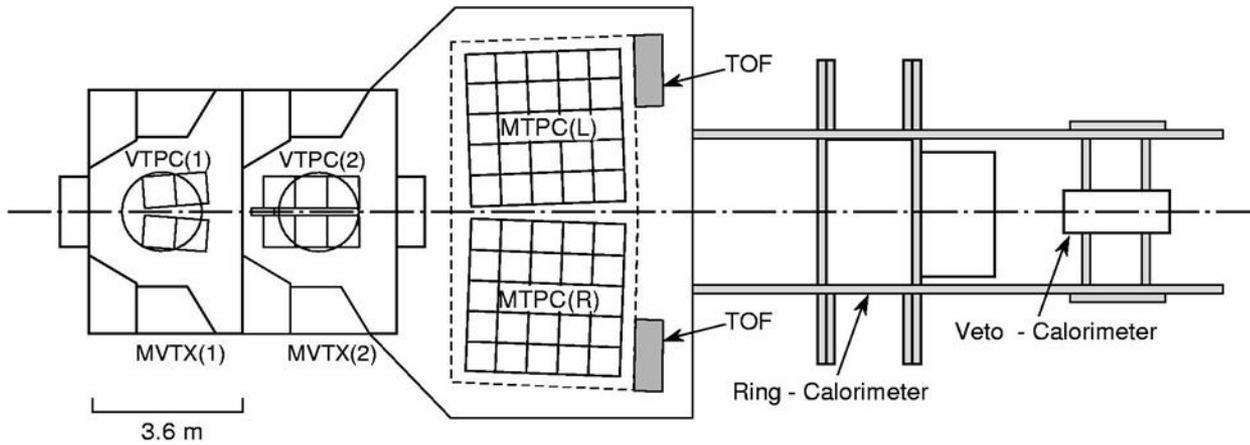
Electronique à 700 e-

- grande gamme dynamique, haute densité, bas prix
- 4 canaux préamp. CMOS intégré
- Ampli shaper « surface mount » techno
- 16 canaux SCA (switched capacitor array) 10 MHz input
- ADC commercial

TPC EOS: dE/dx pads



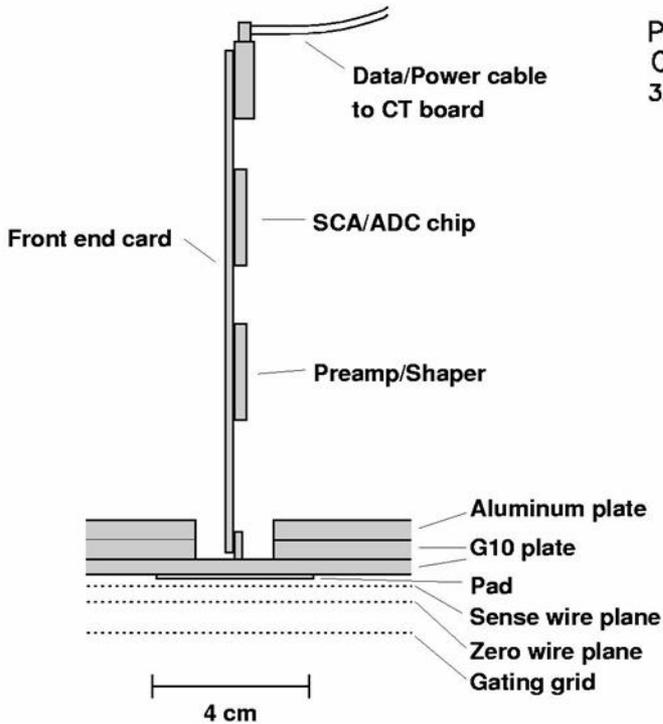
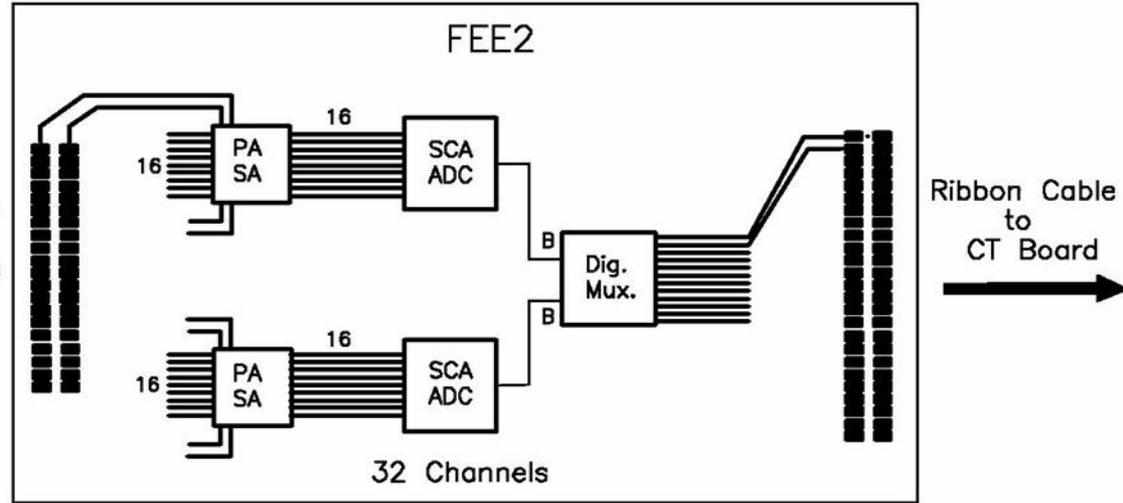
TPC NA 49



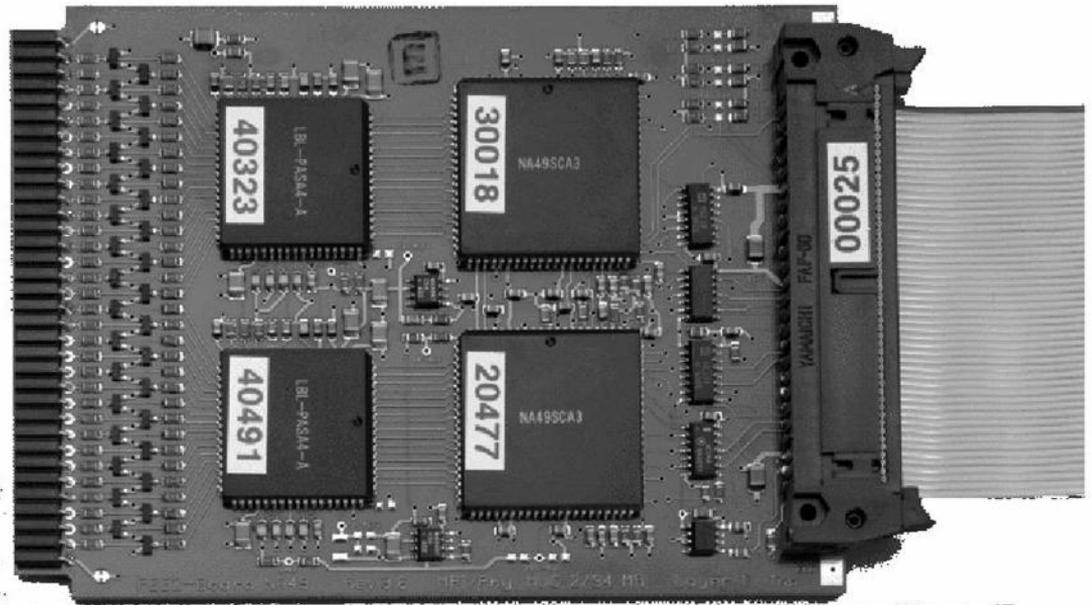
TPC NA 49:taille et nombres de canaux

TPC:	VTPCs		MTPCs	
Length:	260 cm		384 cm	
Width:	200 cm		384 cm	
Height:	72 cm		129 cm	
Drift distance:	69 cm		115 cm	
Drift voltage:	13 kV		16.5 kV	
Gas mixture:	Ne/CO ₂		Ar/CH ₄ /CO ₂	
Gas composition:	91/9		91/4.5/4.5	
	VTPC1:	VTPC2:	HR:	SR:
Sectors per TPC:	6	6	5	20
Pad-rows per sector:	24	24	18	18
Pads per pad-row:	192	192	192	128
Number of pads/sector:	4,608	4,608	3,456	2,304
Pad width:	3.0 mm	3.0 mm	3.13 mm	4.95 mm
Pad length	16 mm/28 mm	28 mm	39 mm	39 mm
Gap sense-wire/pad-plane:	3 mm	2 mm	2 mm	3 mm
Number of pads per TPC:	27,648		63,360	
Total number of pads:	182,016			

TPC NA49:Front End

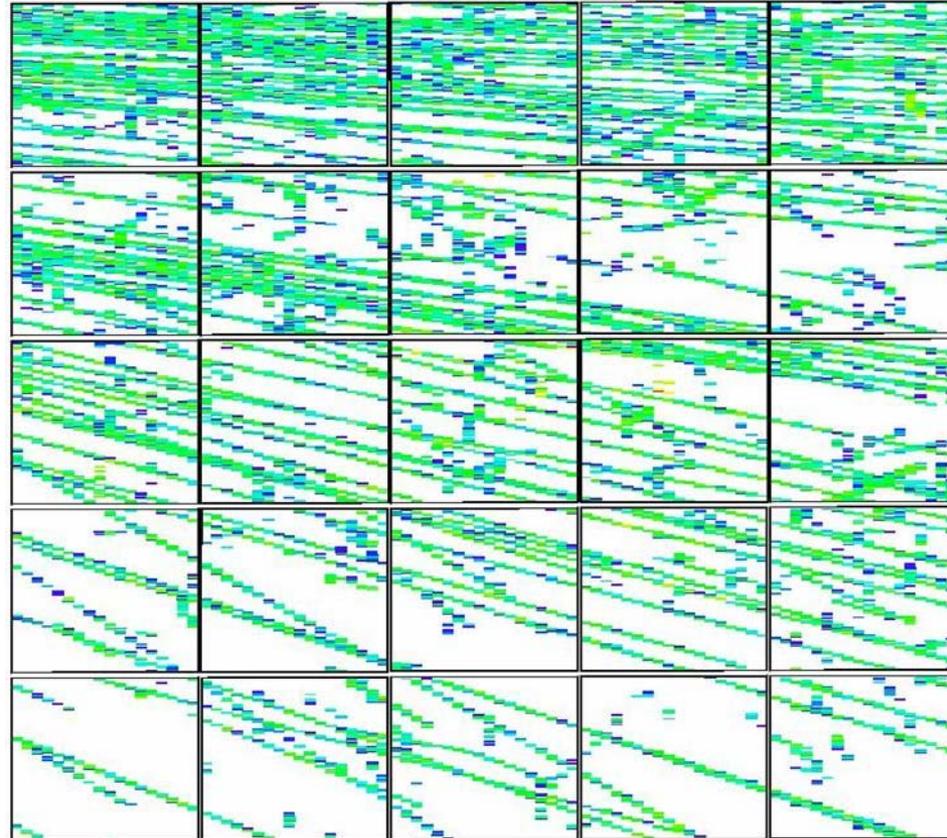


2 Watts / board



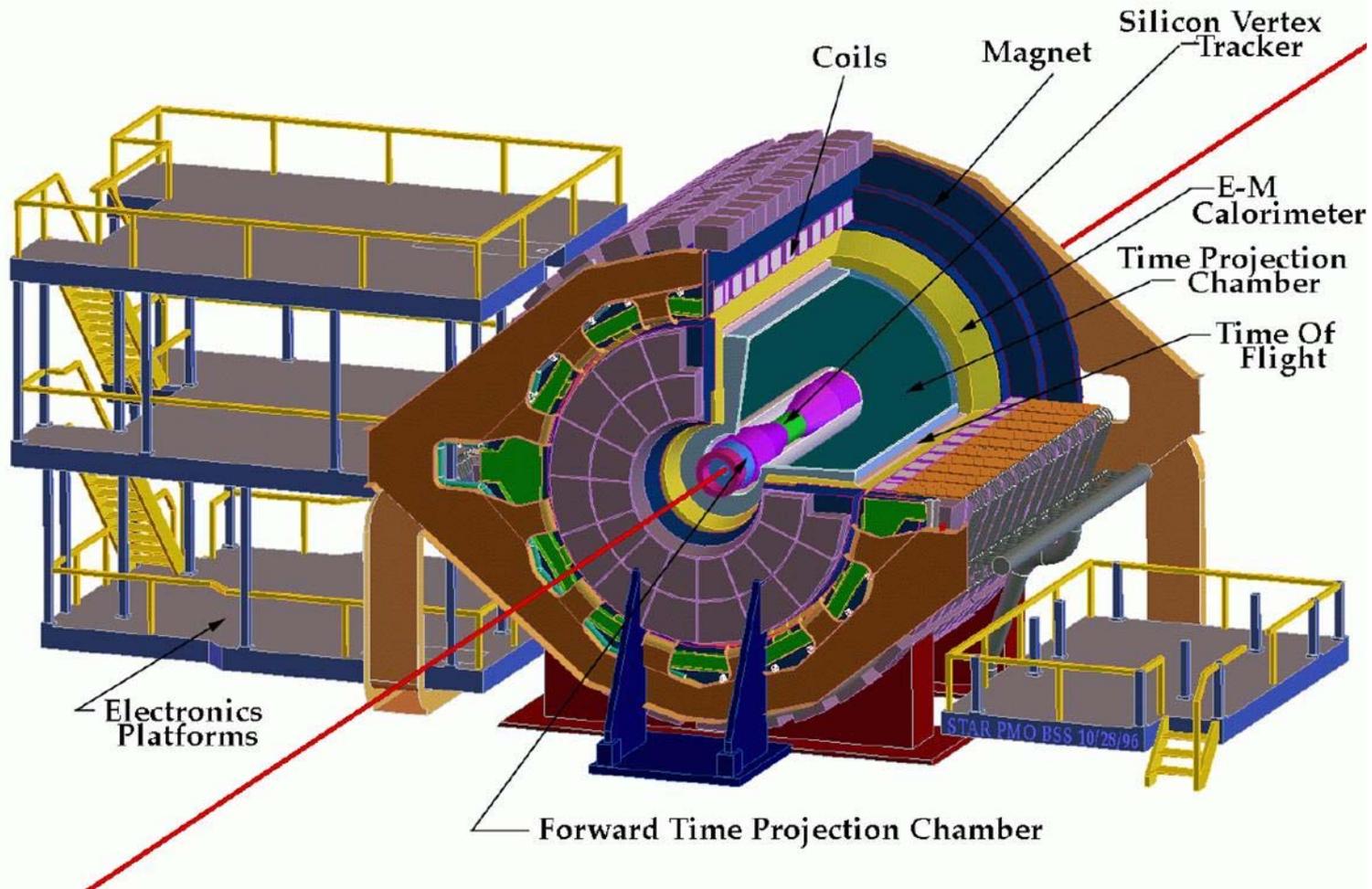
TPC NA49: Données brutes

Beam →



MTPCR

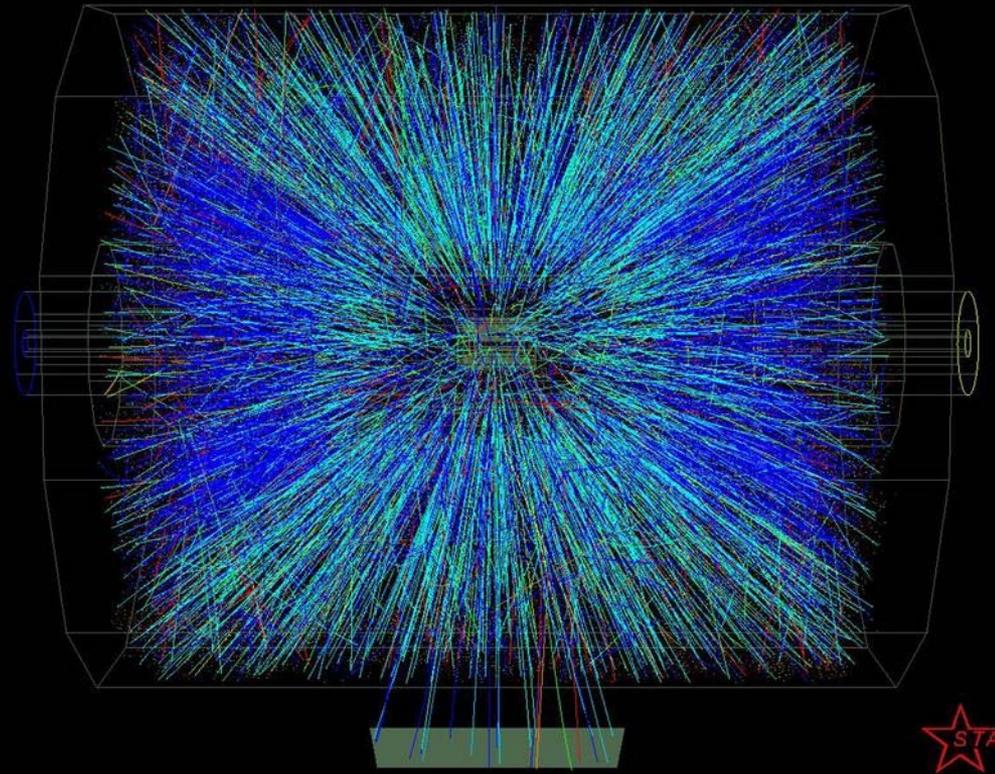
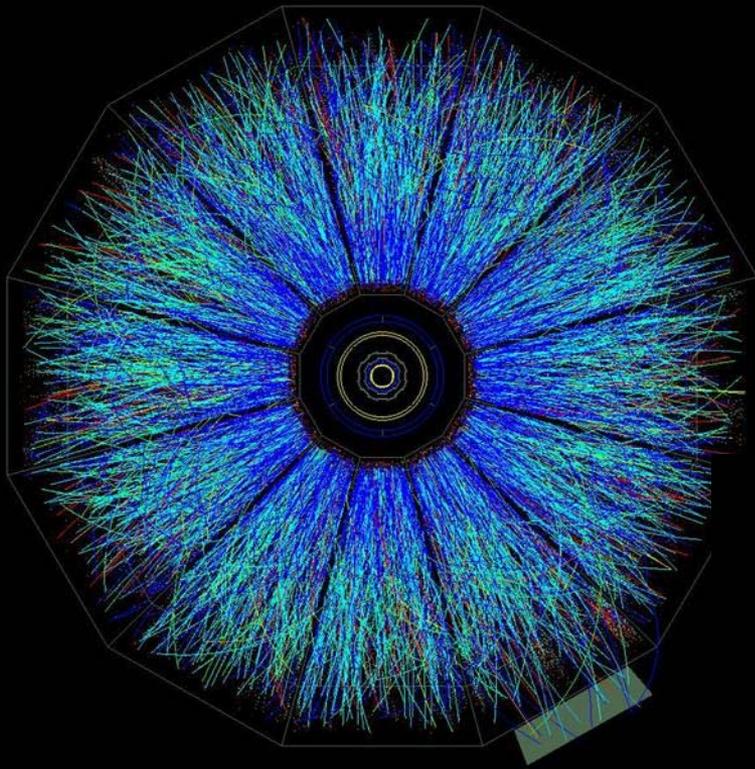
STAR Detector



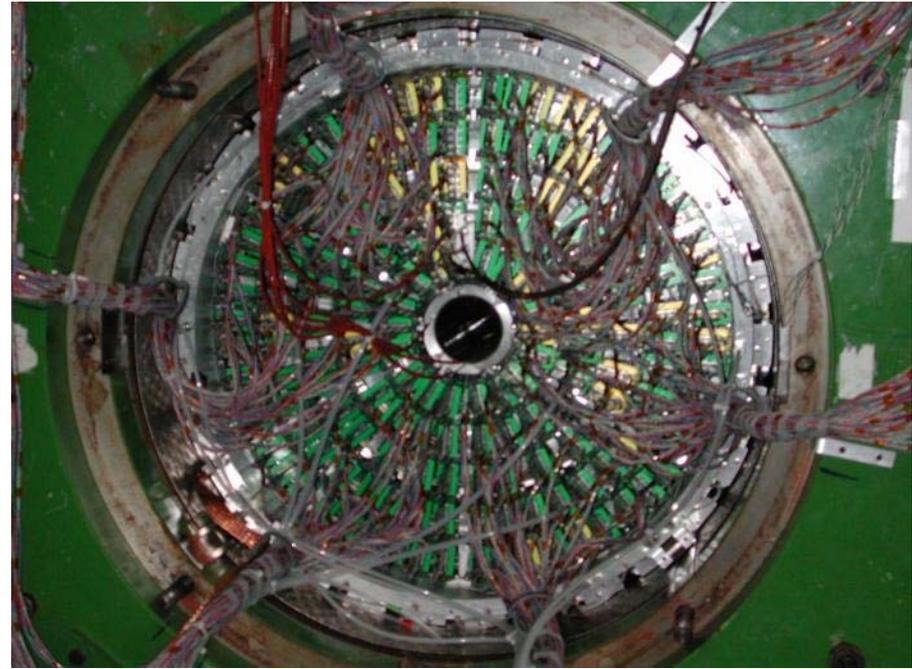
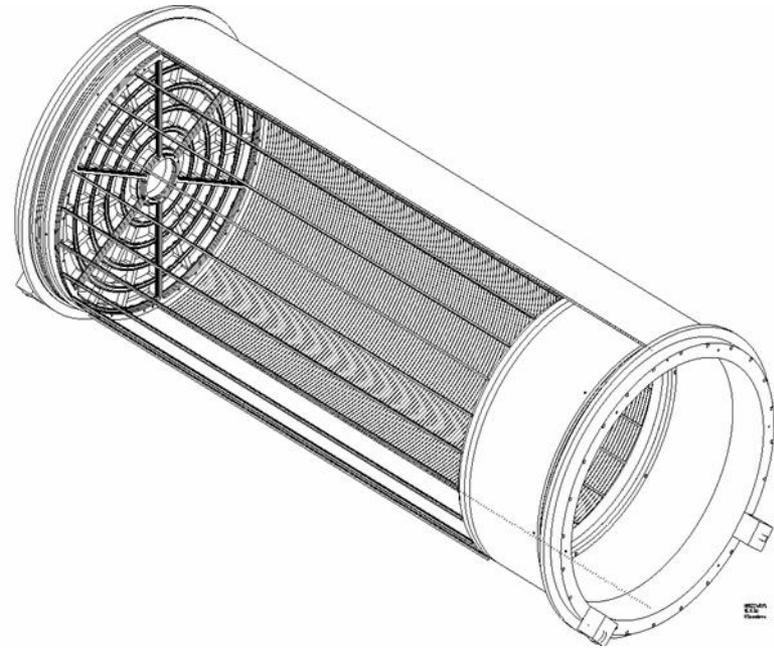
TPC STAR

- $L = 4\text{m}$, $0.5\text{m} < R < 2\text{m}$
- $B = 5\text{ kG}$
- 136 600 pads en 45 rangées /endcap
- Electronique similaire à NA49
- $S/N = 20:1$, range dynamique 10 bit, shaping 180 ns FWHM, digitization @6.3 ou 13.8 MHz

TPC STAR Golden Events



HARP



~ OK en juillet 2001

HARP:Electronique

Analog FE: preamp/shaper
CALICE3(SMB302A)Alcatel

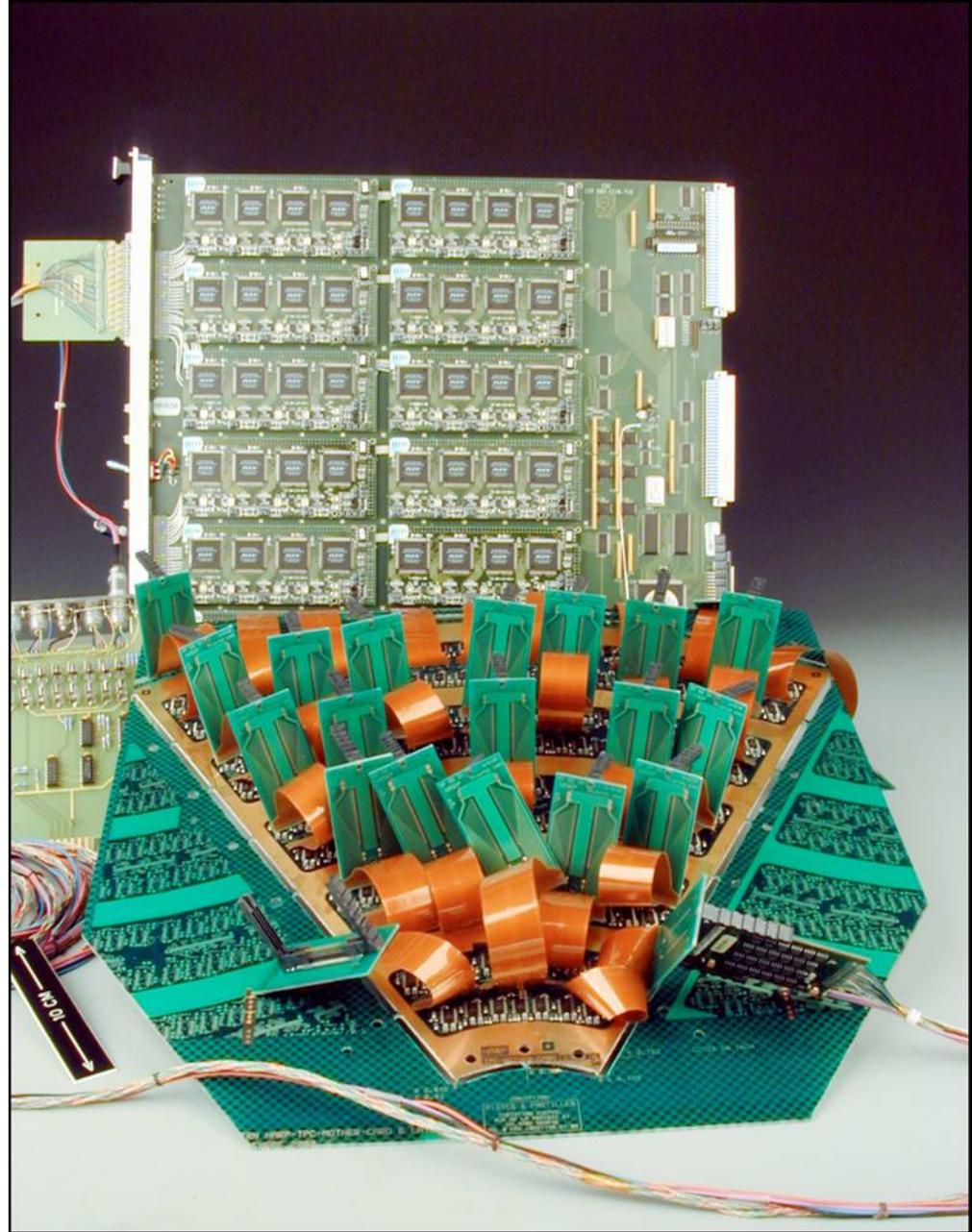
Low impedance current preamplifier /
shaper / baseline restorer.

Four channel per die.

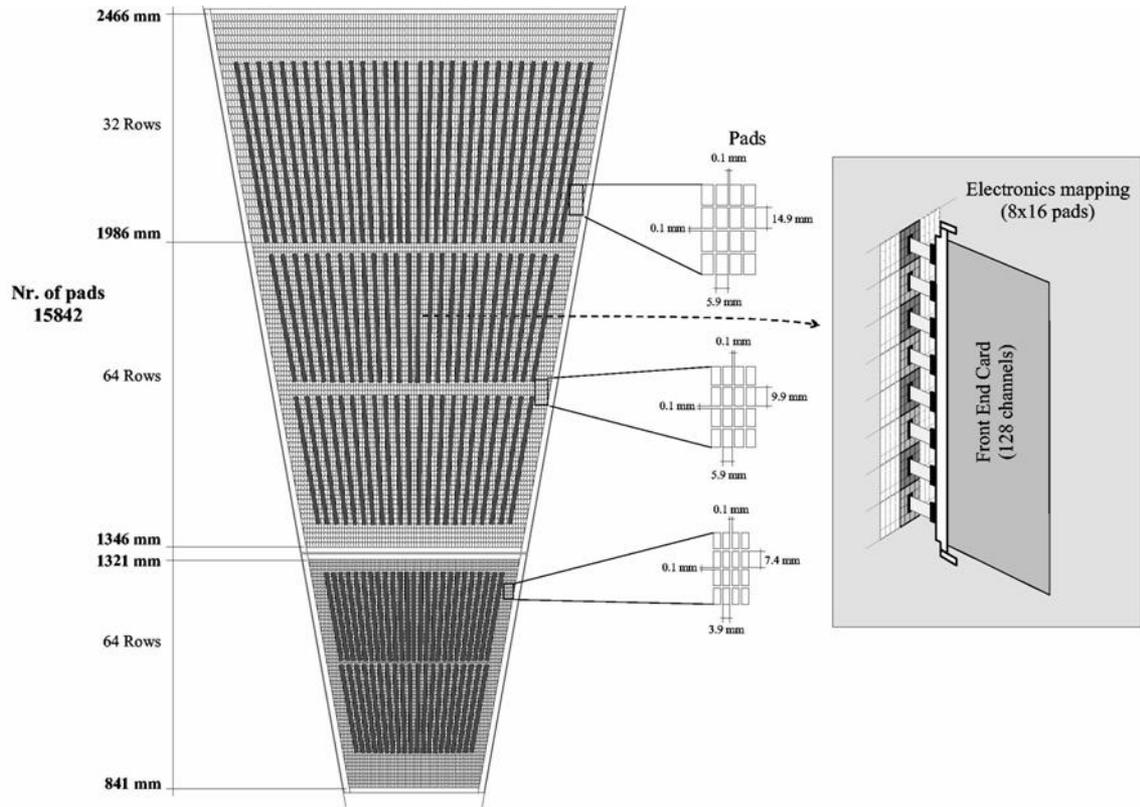
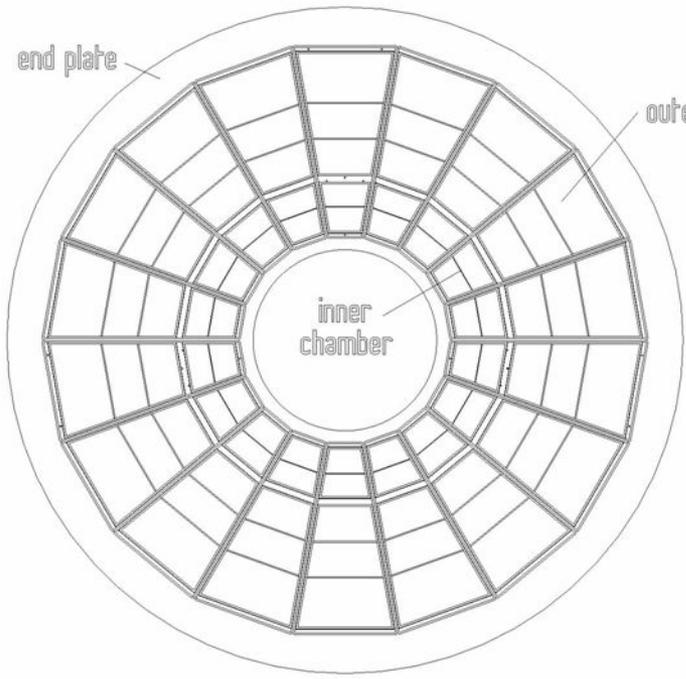
Design in a fast complementary bipolar
process form INTERSIL

Digital: CERES (modifie) FEDC

ALTRO



TPC ALICE



TPC ALICE

Table 5.1: Front-end electronics requirements.

Parameter	Value
Number of channels	570 132
Signal-to-noise ratio (MIP)	30 : 1
Dynamic range	900 : 1
Noise (ENC)	1000 e
Conversion gain	12 mV/fC
Crosstalk	< 0.3%
Shaping time	about 200 ns
Sampling rate	5.66(-7.69) MHz
Tail correction after 1 μ s	0.1%
Bandwidth to DAQ/Level-3	8.4 GByte/s
Maximum dead time	10%
Power consumption	< 100 mW/channel

Futur pour les TPC ?

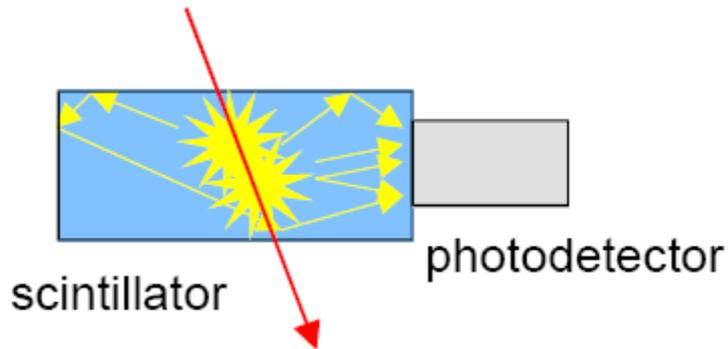
- NLC/ILC ??
- Autres Machines ?
- Ions lourds → OK
- Associer longue dérive + nouvelles techno ?
 - Silicium Micro-strips
 - Autres ?

Scintillateurs

- Scintillateurs organiques
- Lecture via guides de lumière par tubes photo multiplicateurs
- Géométries détection traces
- Fibres scintillantes + tubes multi anodes

References C. D'Ambrosio Particle Detectors Cern Academic training 2004/2005

Scintillation



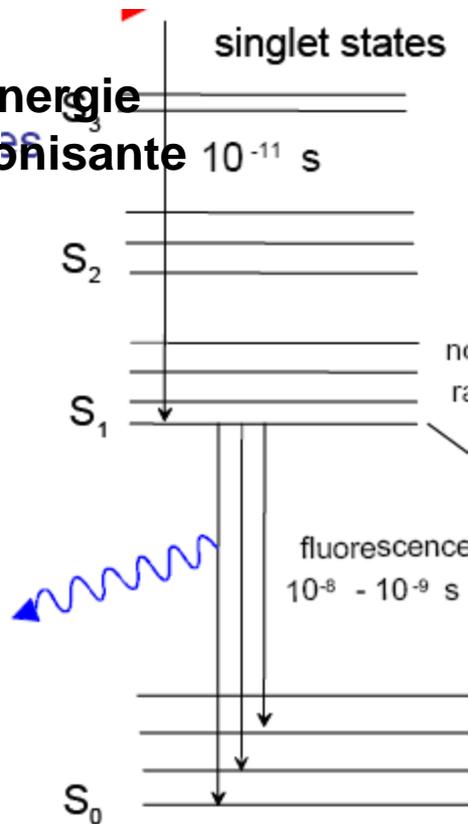
Dépôt d'énergie par une
particule ionisante:
-Génération
-Transmission
-Détection de la lumière
produite par scintillation

Scintillateur organique (plastique)

- $\sim 10\,000$ photons/MeV
- bas Z , $\rho \sim 1\text{g/cm}^3$ \rightarrow relativement léger
- dopage \Rightarrow choix longueur d'onde d'émission
 - temps de « decay » qq ns
- \rightarrow Tracking, TOF, Trigger, compteur veto
 - Moyennement tolérant aux radiations...
 - Lecture?

Mécanisme de scintillation organique

Dépôt d'énergie
Par particule ionisante

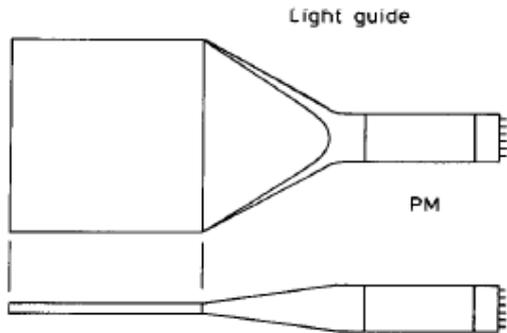


Etats moléculaires!

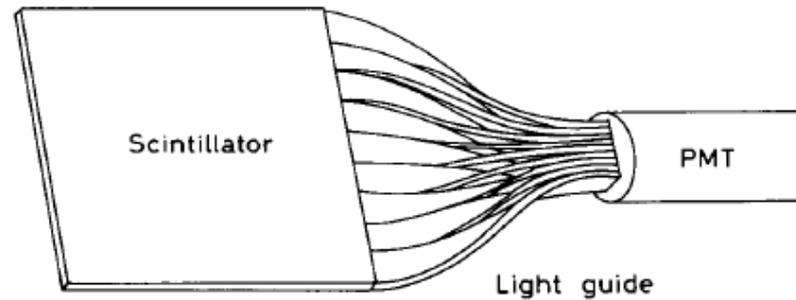
Quelques ns
→ Signal court!

Scintillateurs organiques pour traces

Guides de lumière: réflexion totale ou réflecteur externe

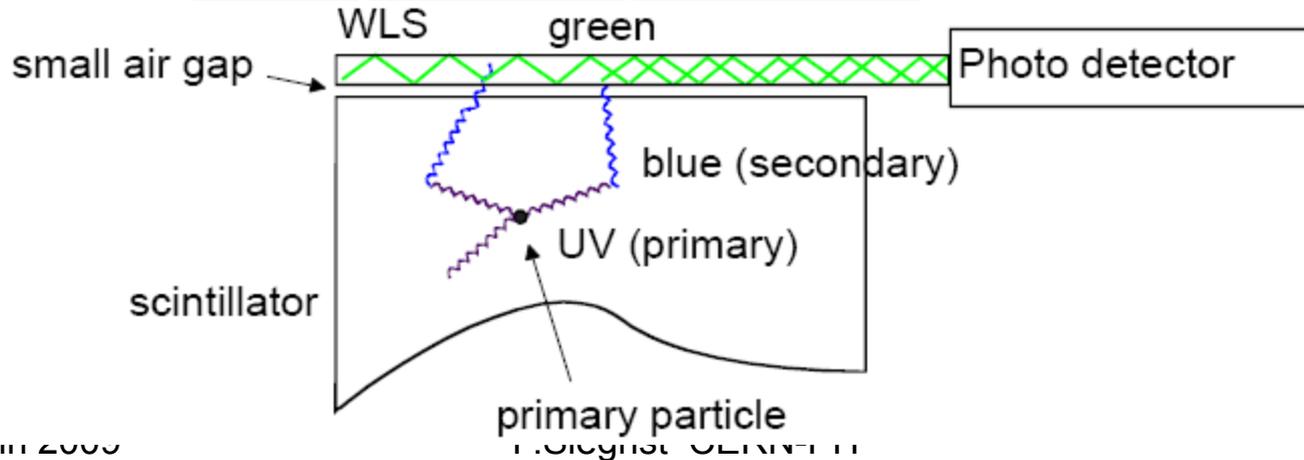


“fish tail”



adiabatic

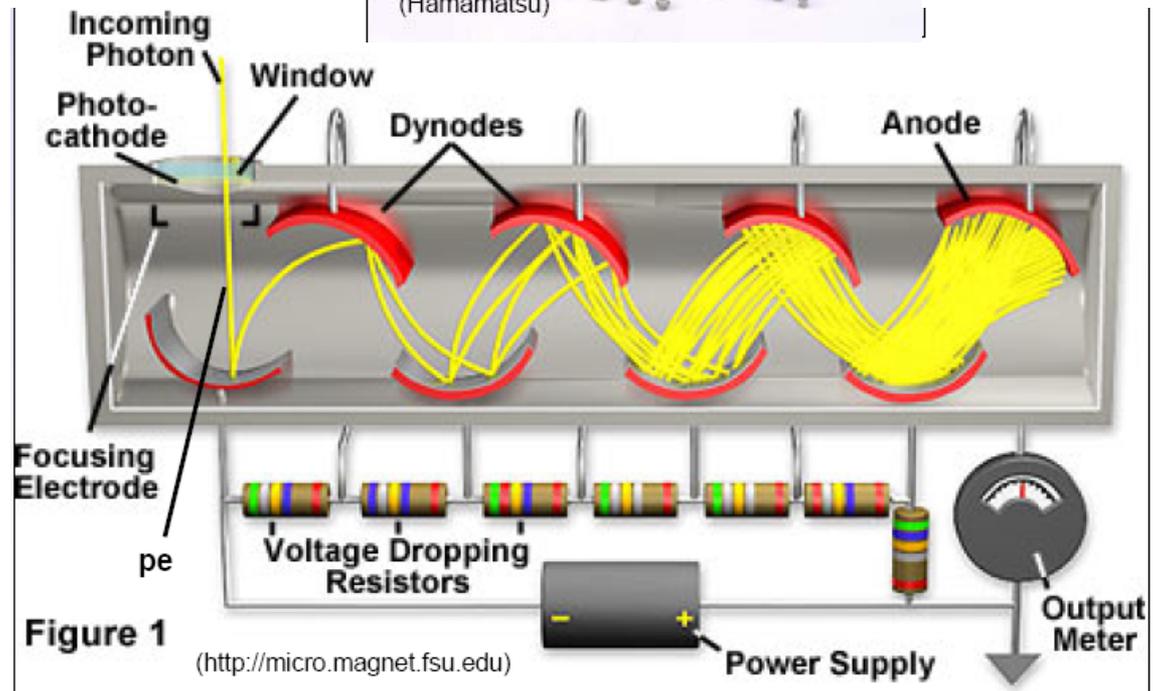
Décalage de la longueur d'onde



Scintillateurs organiques pour traces

Lecture par « PM classique »

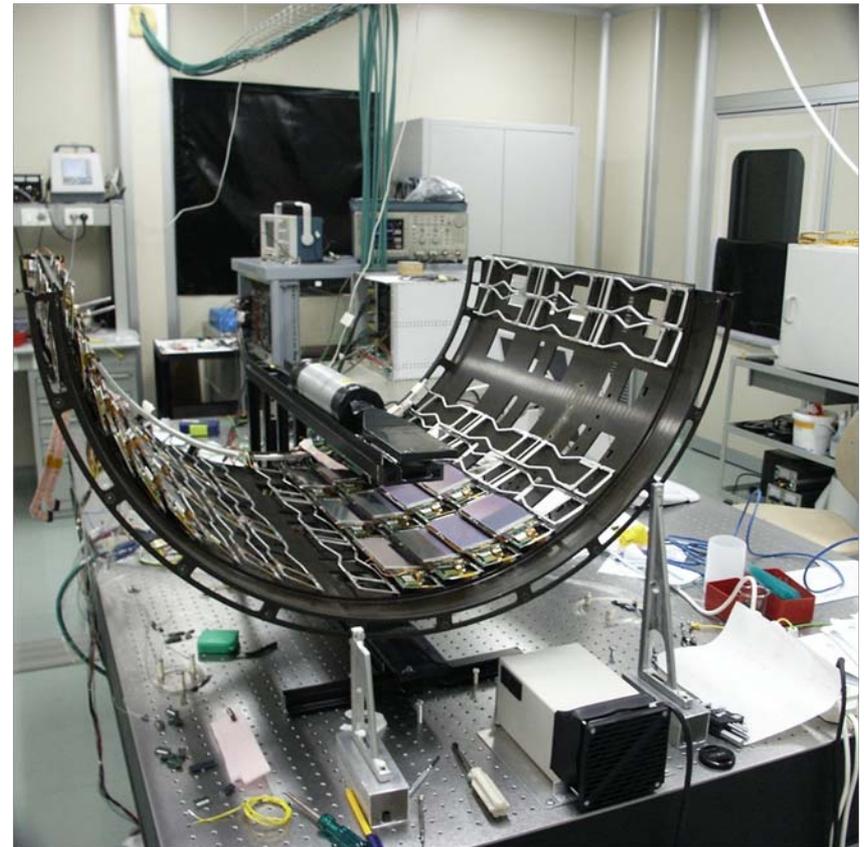
Gain $\sim 10^6$



Scintillateurs organiques pour traces

Lecture par « PM classique »

← Mécanique et électronique: qui saura encore faire ou vendre dans qq années???



Pourtant très utile!

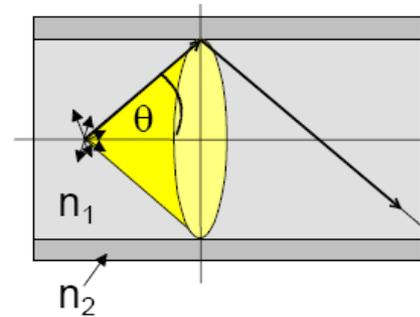
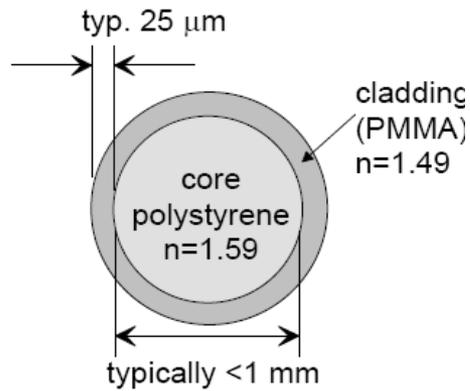
Test Tracker Si strips TIB →
en 2005

Scintillateurs

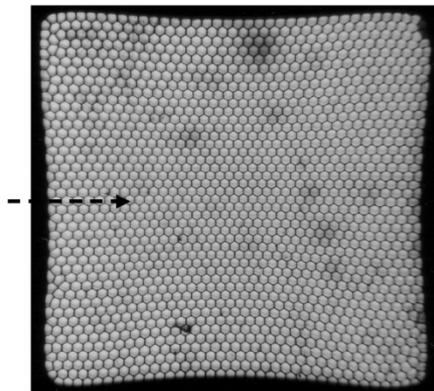
Géométrie et usage

- Déclenchement (Trigger) sur faisceau incident
 - Coïncidences multiples (signal 1 à 10 ns)
 - Compteurs veto (signal +large)
- Positionnement faisceau incident (mini hodoscope)
 - i. Scintillateur mince
 - ii. Guide à air
 - iii. Corrélation position vs p
 - iv. Scintillateurs « fingers »
- Temps de vol (TOF) + position
 - Fibres scintillantes

Fibres scintillantes



Réflexion totale



2.5mm



10 mm

60 μm diametre,

2.2% of X_0 and >20 hits,

Mais difficile de lecture, taille vs coût,
multi anodes?

Détecteurs de traces gazeux

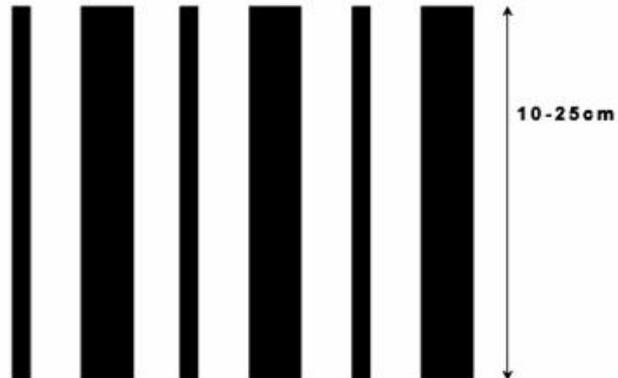
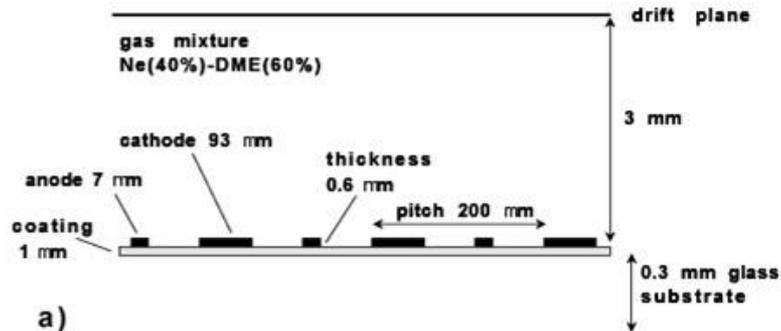
- Détecteurs pour hauts flux
 - MSGC
 - GEM
 - Micromegas
- Détecteurs muons LHC
 - CMS: DT, RPC, CSC
 - Atlas: TGC
 - LHCb: MWPC, GEM

MSGC

- Début des années 90
- Comment faire des détecteurs de trace supportant les très hauts flux? Tracker LHC
- Grande segmentation, petites chambres, petites cellules (200 μm), collection de charge rapide
- Silicium trop cher (et trop petit)
- Chambres classique \rightarrow 1 mm de pas de fil mini.
Précision & tolérances mécanique
- Adapter des techniques de micro électronique pour un compteur à gaz sur un substrat moins cher...
- \rightarrow MSGC sur substrat de verre (spécial) avec amplification gazeuse

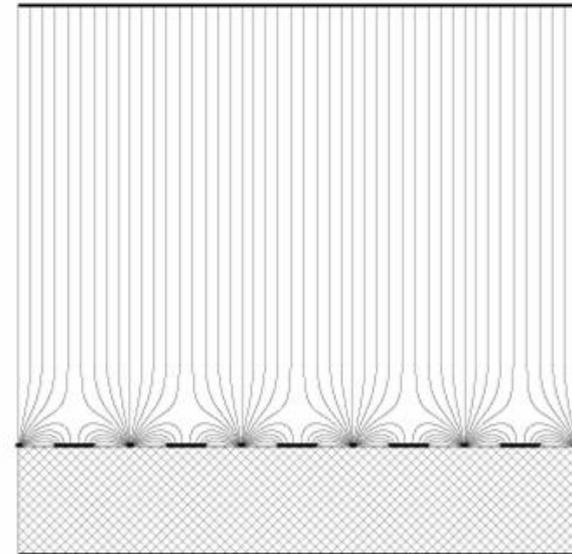
MSGC

Principe



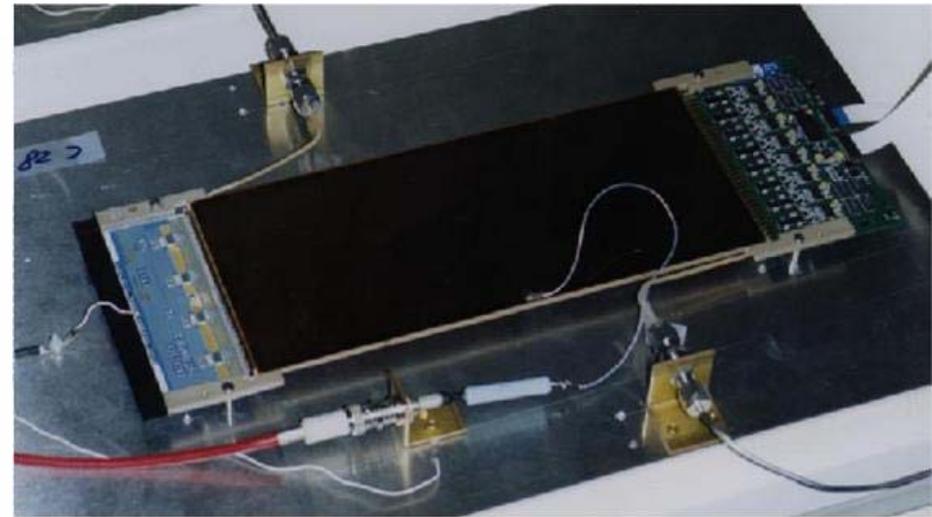
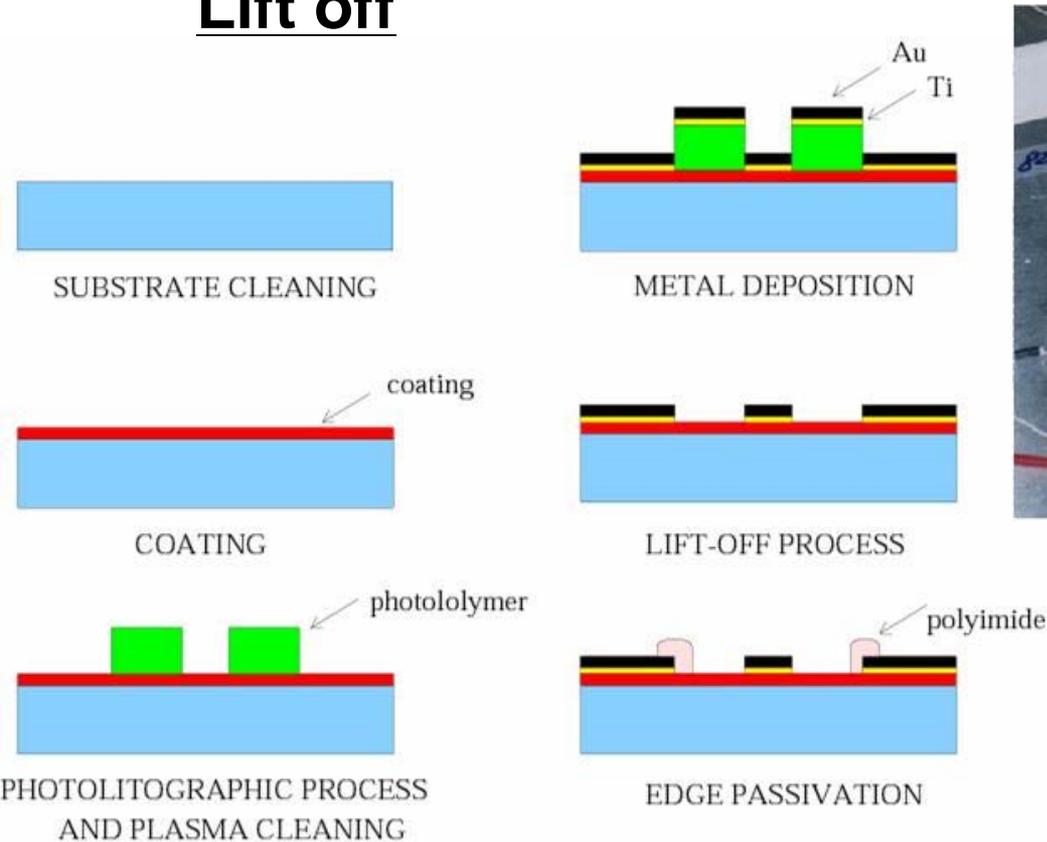
R. Bellazzini

Champ électrique

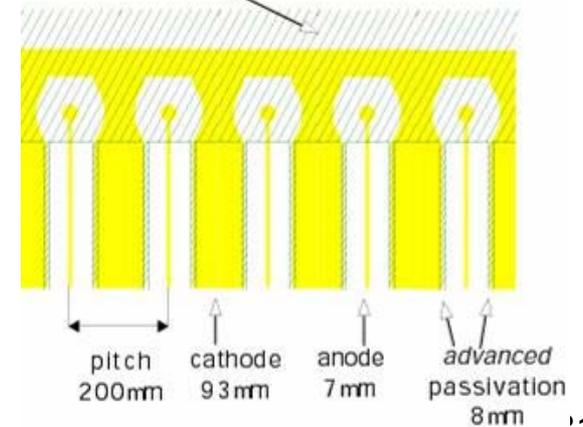


MSGC technique de fabrication

Lift off



standard polyimide passivation bar over the MSGC edge



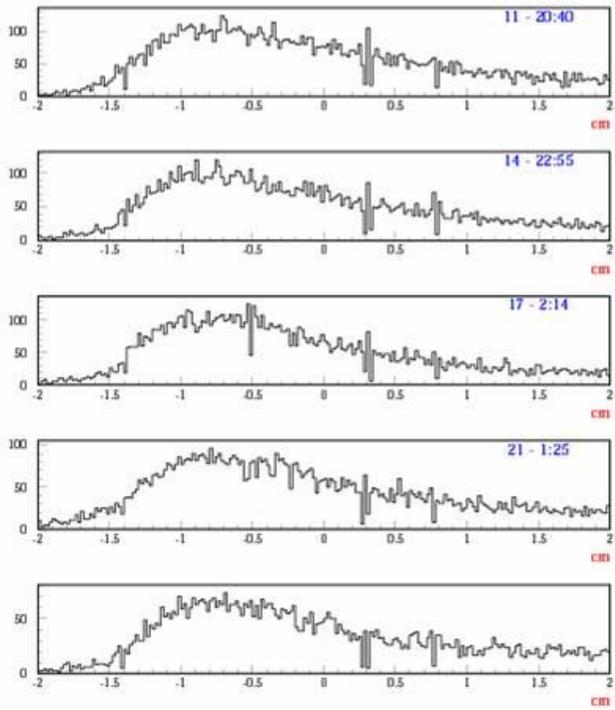
Passivation

MSGC

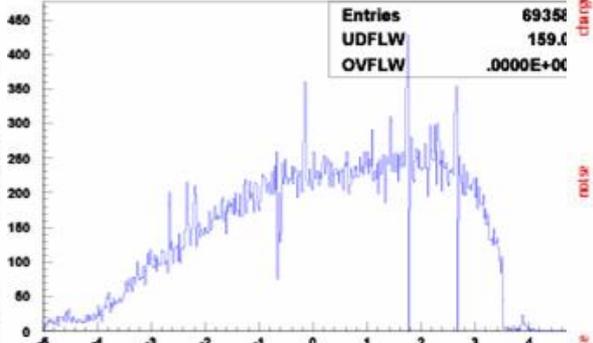
Etudes & tests extrêmement poussés sur

- Type de substrat (verres spéciaux)
 - Matériaux rad hard
 - Gaz
 - Vieillissement
 - Faisceaux intenses
- ➔ ~ OK

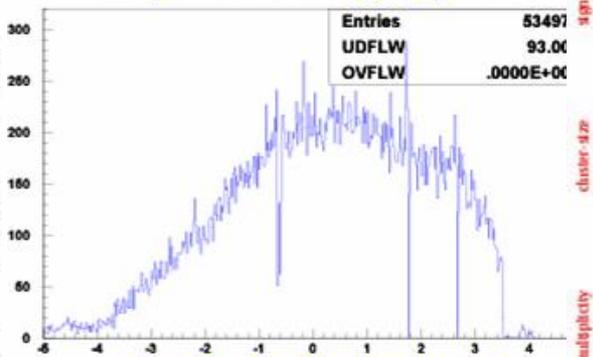
Mais finalement solution abandonnée...



PSI test beam

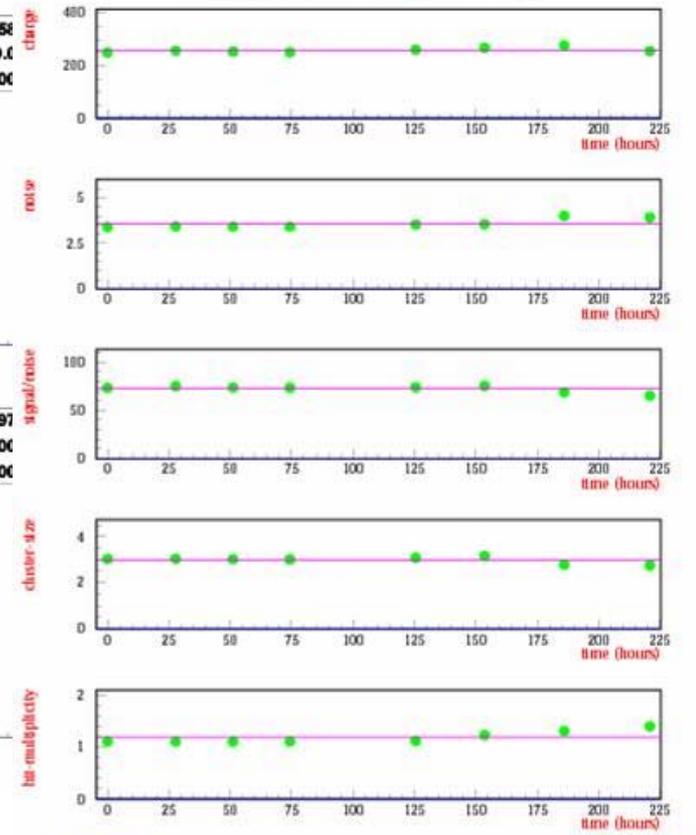


Beam profile in det. P10 - Beginning of the run



Beam profile in det. P10 - End of the run

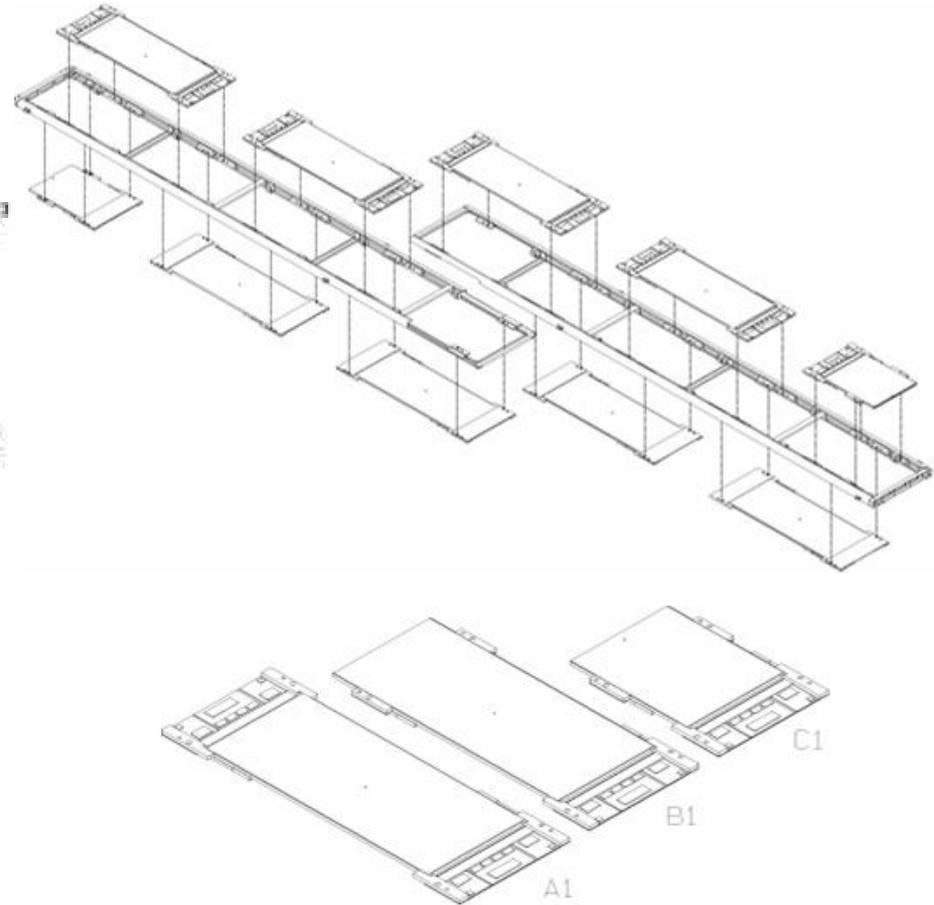
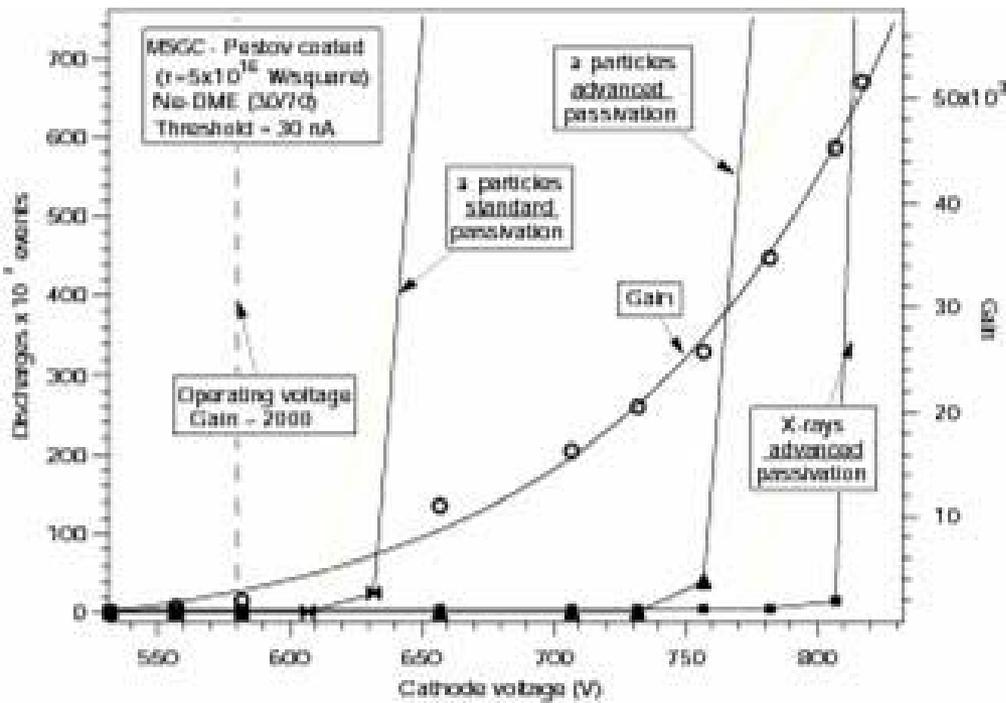
Stability for chamber Pisa1



11/4 - 20:40

21/4 - 1:40

MSGC



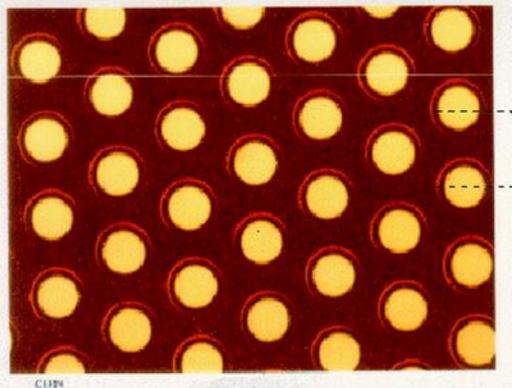
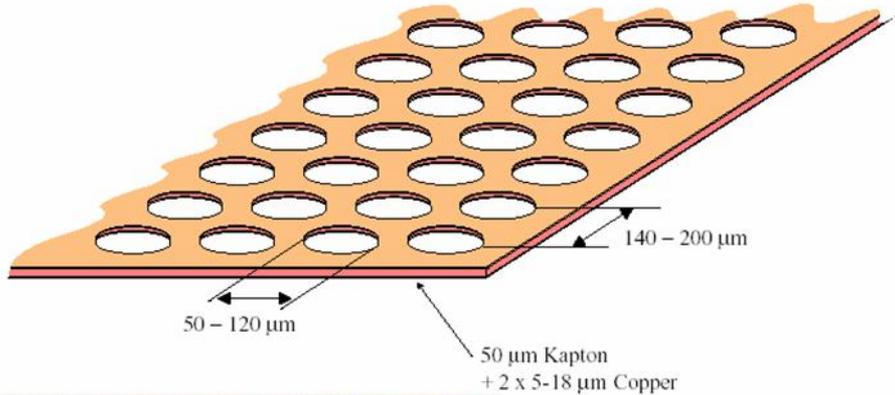
Variantes

- GEM (Sauli)

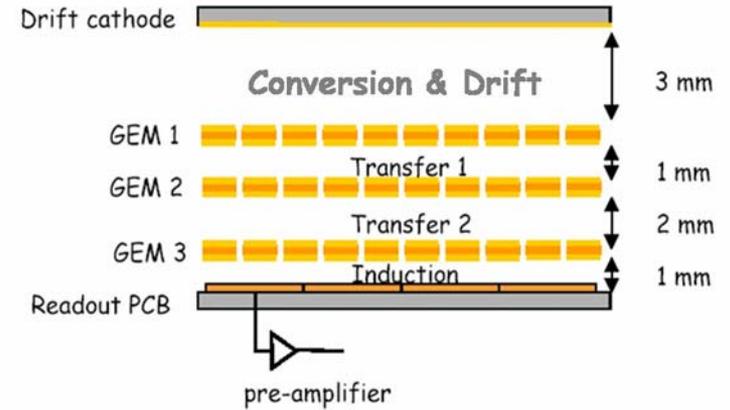
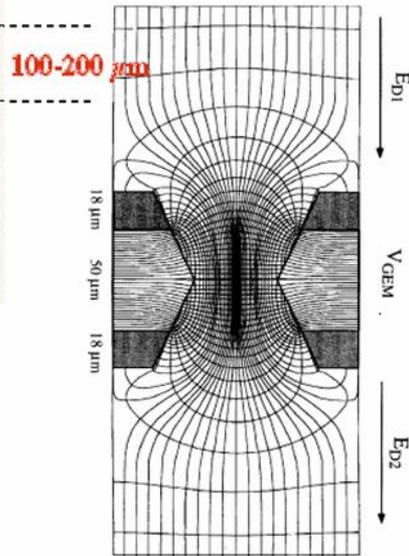
- Micromegas
(Charpak, Giomataris)

GEM 1997

(R. Bouclier et al., NIM A 396 (1997) 50)



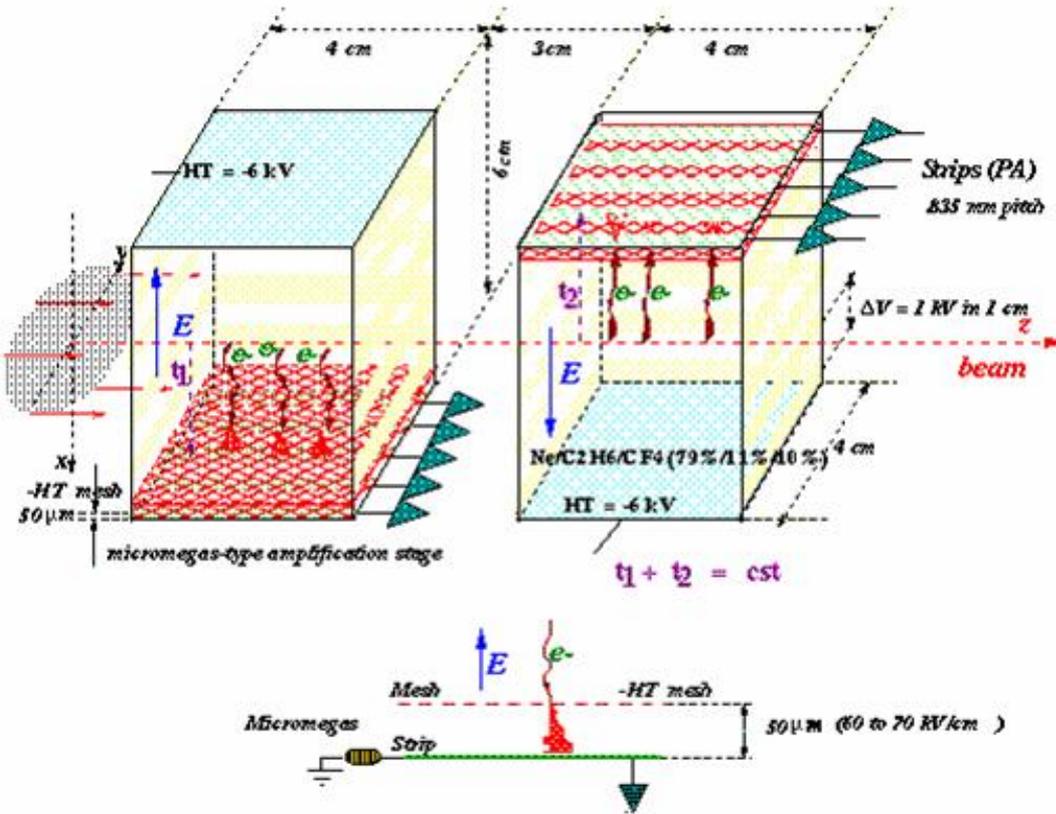
Micro photo of a GEM foil



Triple GEM
LHCb Muons

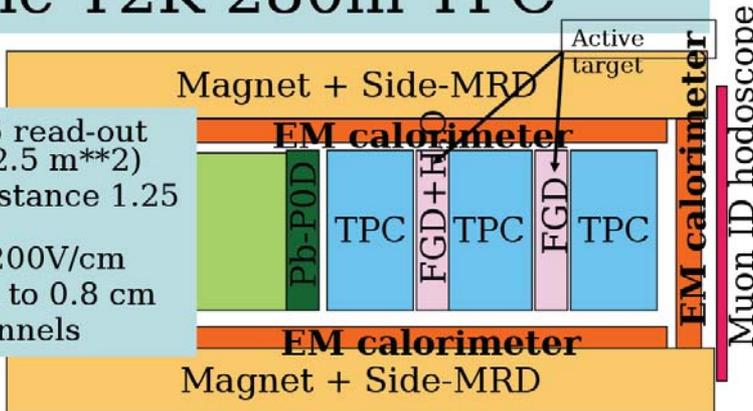
Micromegas NA48

Micromegas Time Projection Chambers



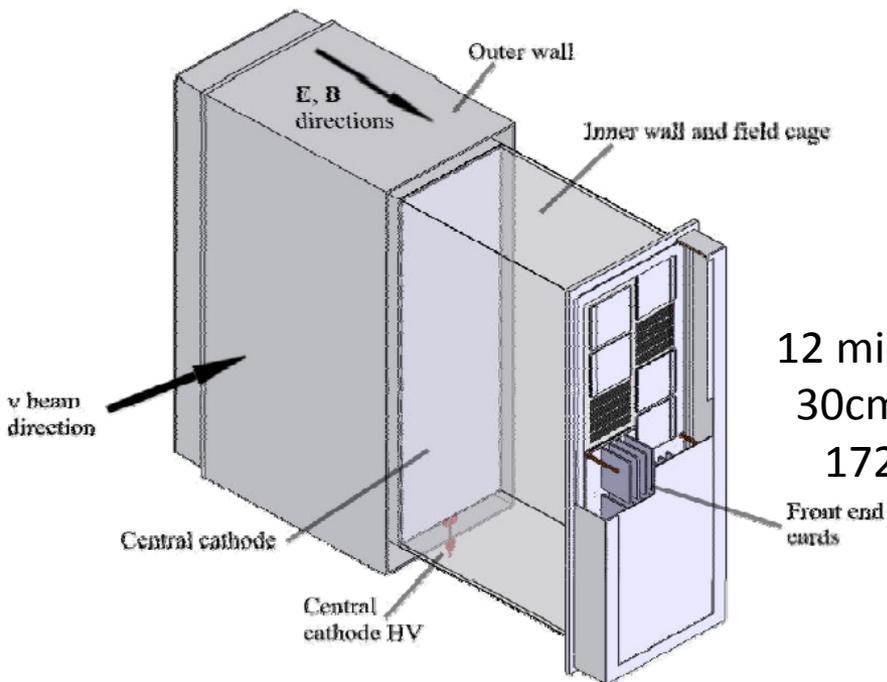
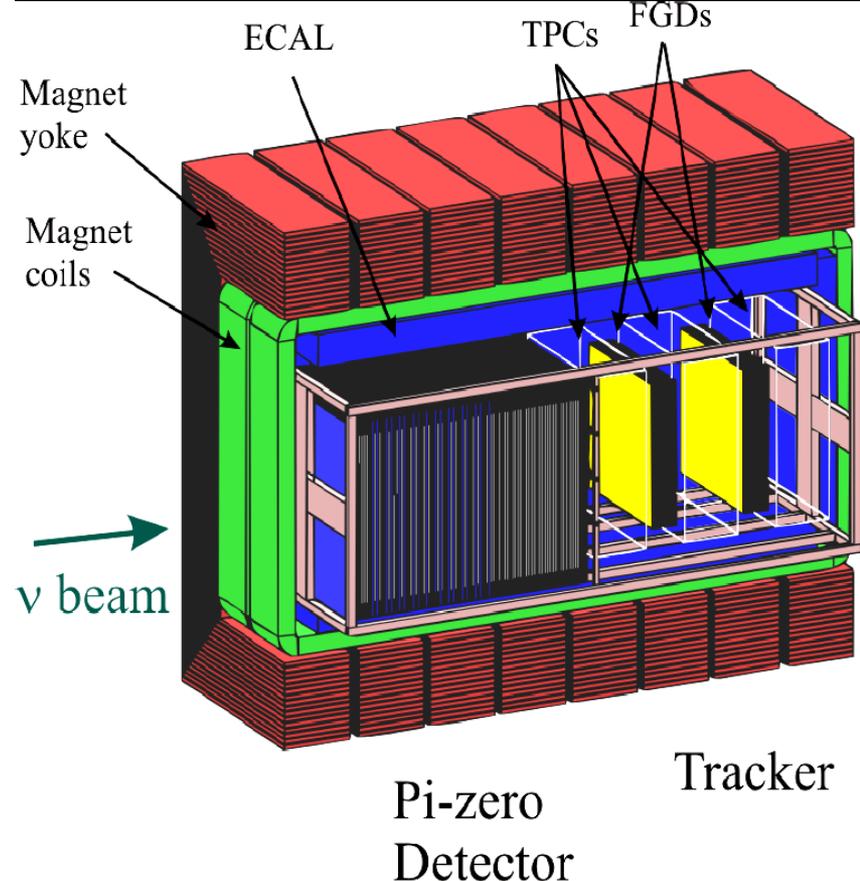
The T2K 280m TPC

- Instrument 6 read-out planes (0.6x2.5 m**2)
- Total drift distance 1.25 m
- B=0.2 T E=200V/cm
- Pad size: 0.6 to 0.8 cm
- O(100K) channels



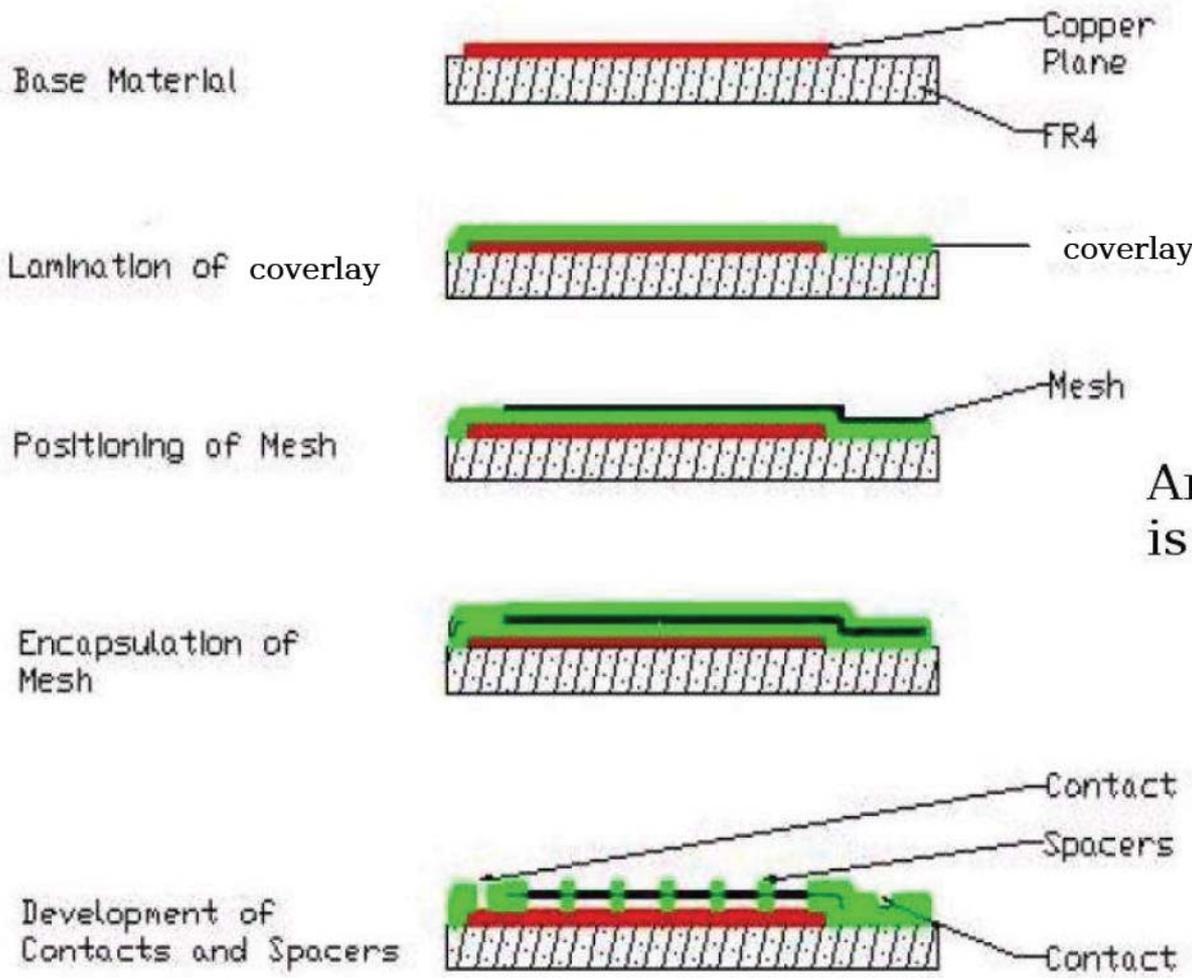
Requirements :

$\sigma(p)/p < 10\% @ 1 \text{ GeV}/c$
 dE/dx capability: separate e from μ

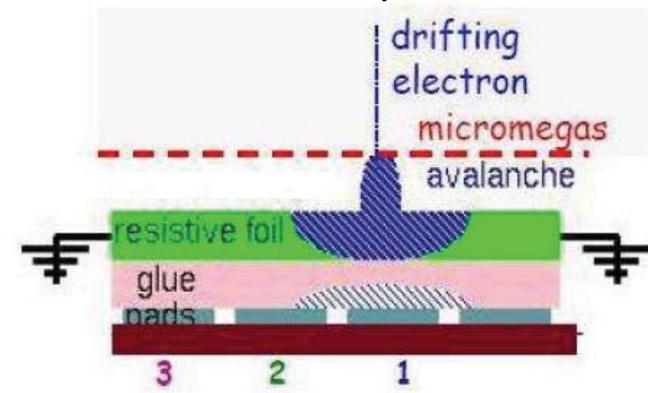


12 micromegas
 30cm x30 cm
 1728 pads

F. Pierre/DAPNIA-CEA



For ILC? Colas, Lepeltier et al



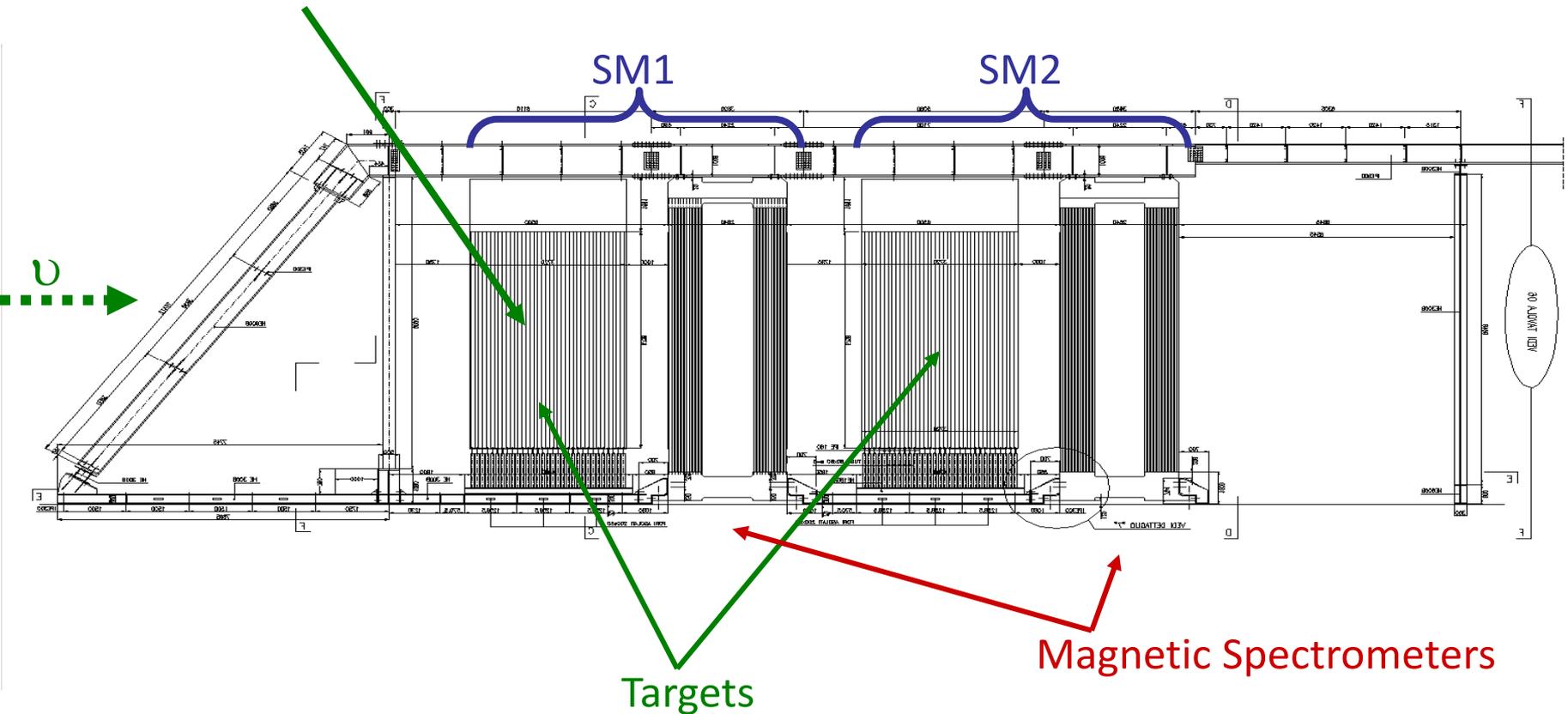
Amplification gap is 124 μm

F.Pierre Dapnia-CEA

PRODUCTION SEQUENCE OF A BULK MICROMEAS

OPERA

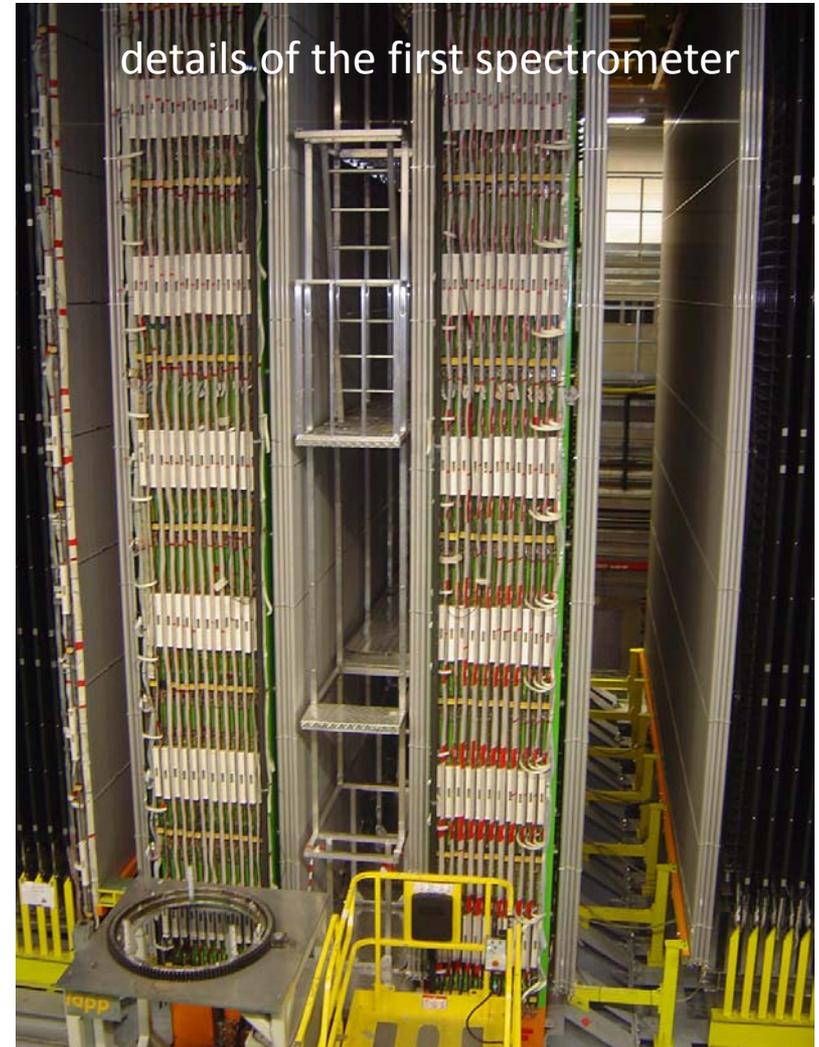
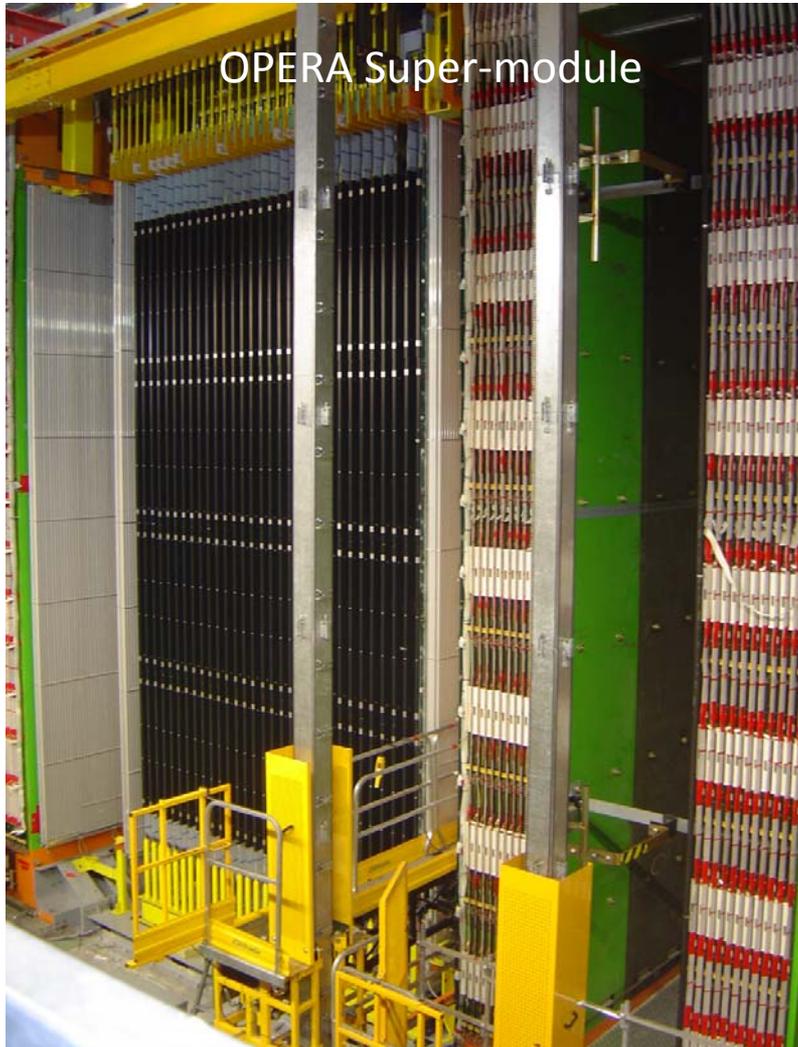
31 target planes / supermodule (in total: 206336 bricks, 1766 tons)



OPERA Trackers in pictures & numbers

September 11th, 2006

5900 m² scintillator detectors – 3050 m² Resistive Plate Chambers, LNGS and the Neutrinos
8064 7m long drift tubes - ~2000 tons of Fe from CERN



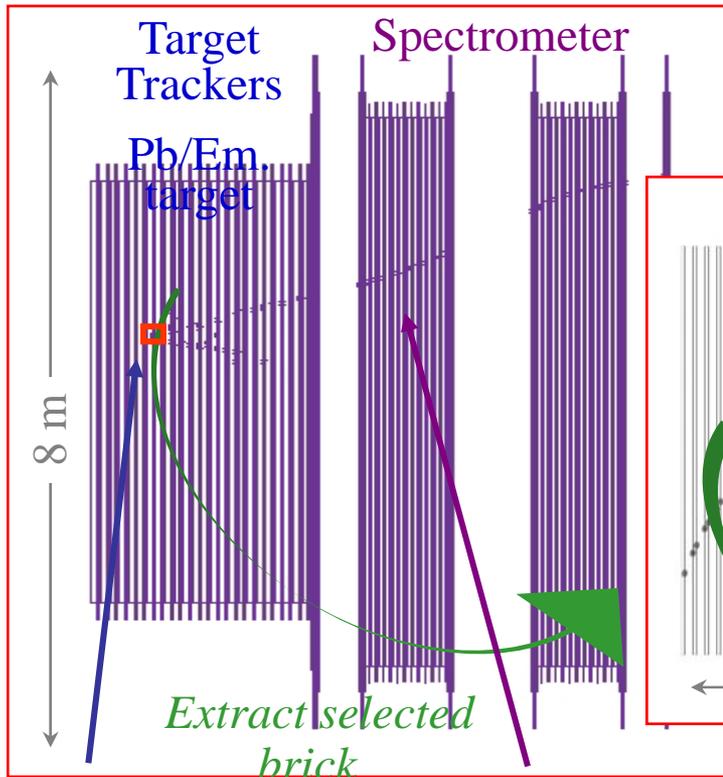
Oléron juin 2009

P.Siegrist CERN-PH

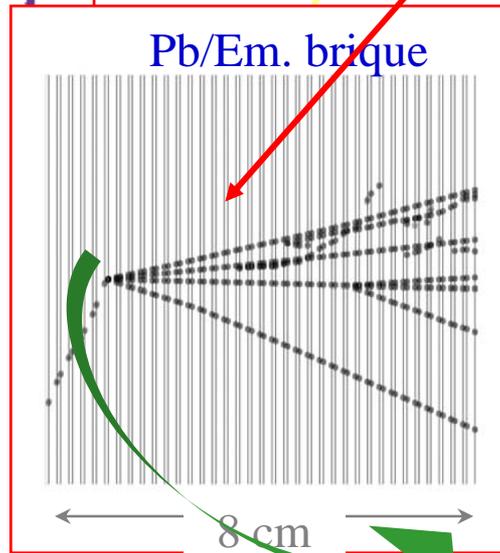
Decteur OPERA-CNGS

Decteur electronique:
trigger sur interaction neutrino
identification du muon et mesure charge et impulsion

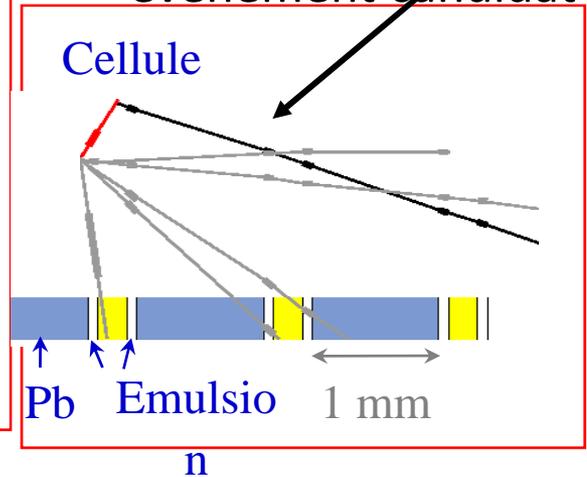
Decteur electronique:



Analyse Emulsion :
Vertex, kink e/ γ ID, diff multiple, cinematique



Connexion ID Mu et
evenement candidat

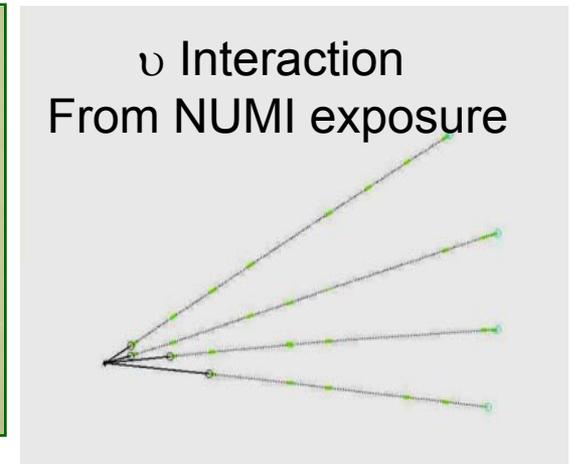
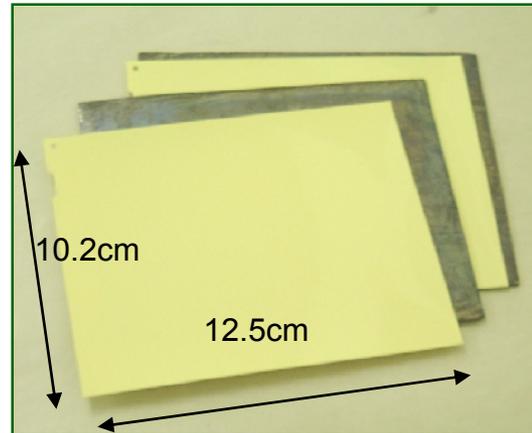
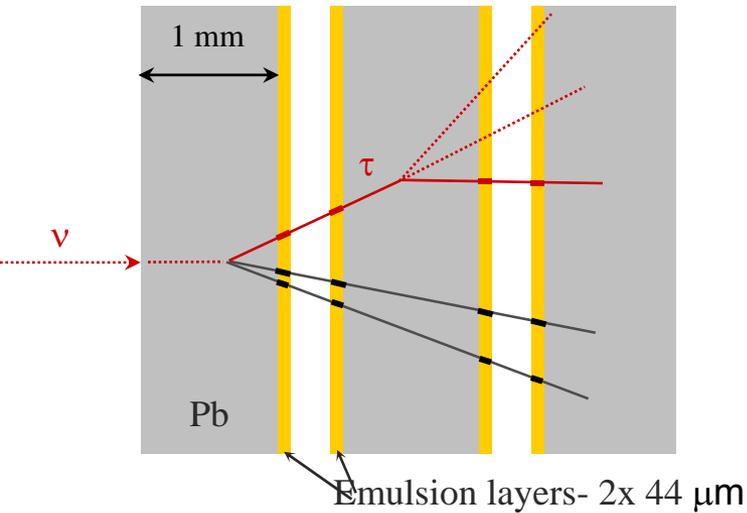
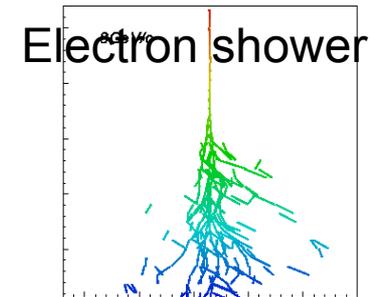
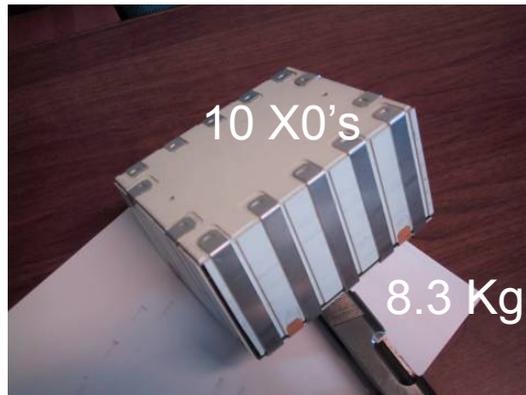


Recherche de brique muon ID, charge et p

OPERA

Briques: Cible active Pb + Em
31 plans,
206336 briques, 1766 tonnes

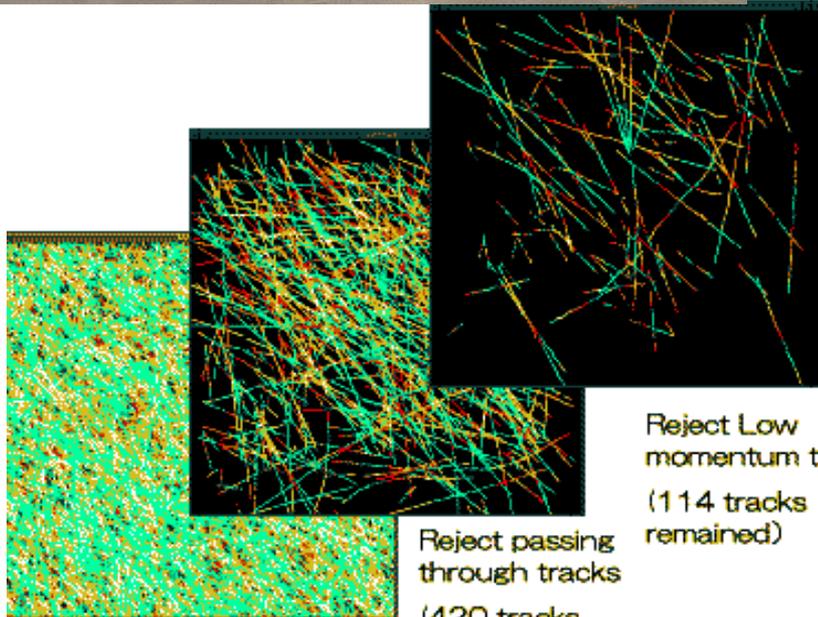
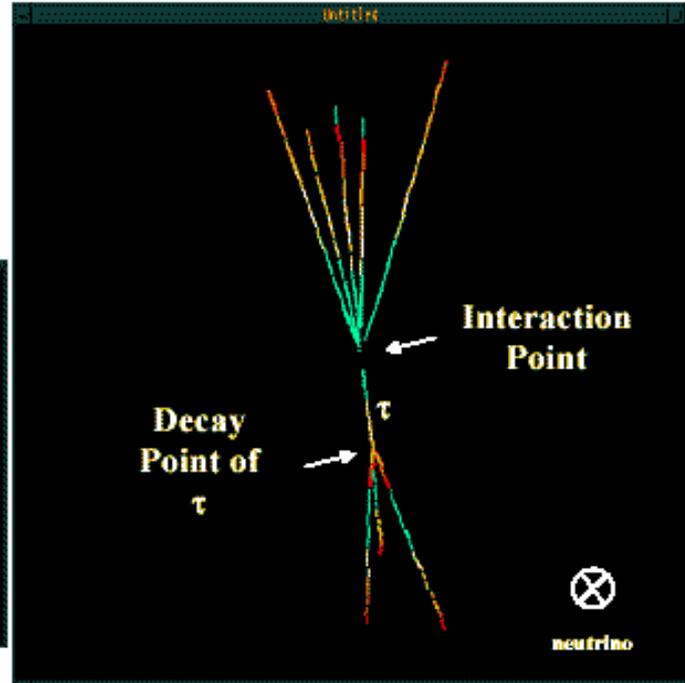
1 brique = 56 Pb + 57 Em



Reconstruction dans l'émulsion



OPERA



All tracks in the Scanning region (4179 tracks)

Reject passing through tracks (420 tracks remained)

Reject Low momentum tracks (114 tracks remained)

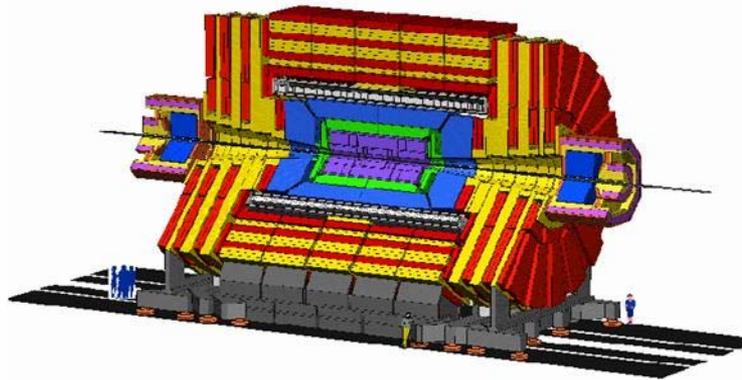
Vertex detection :

Neutrino interaction and decay of short lived particles

Detection of ν_{τ}^{CC} in DONUT

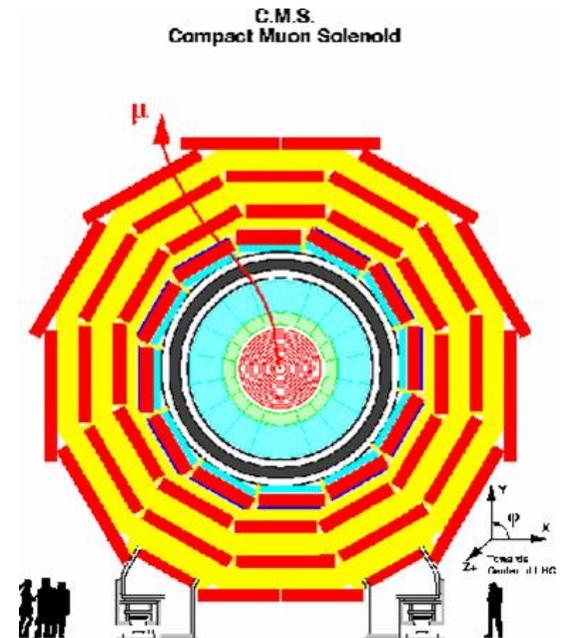
Détecteurs muons LHC

– CMS: DT, RPC, CSC

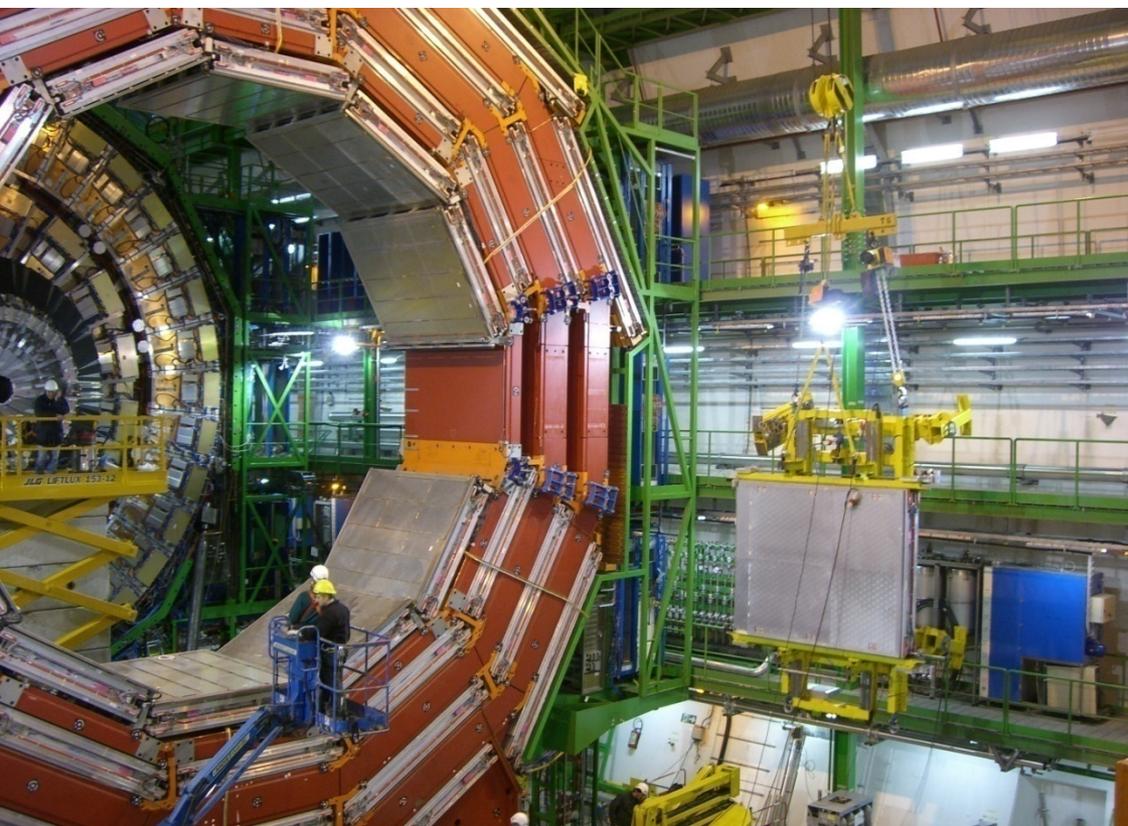


– Atlas:TGC

– LHCb: MWPC, GEM

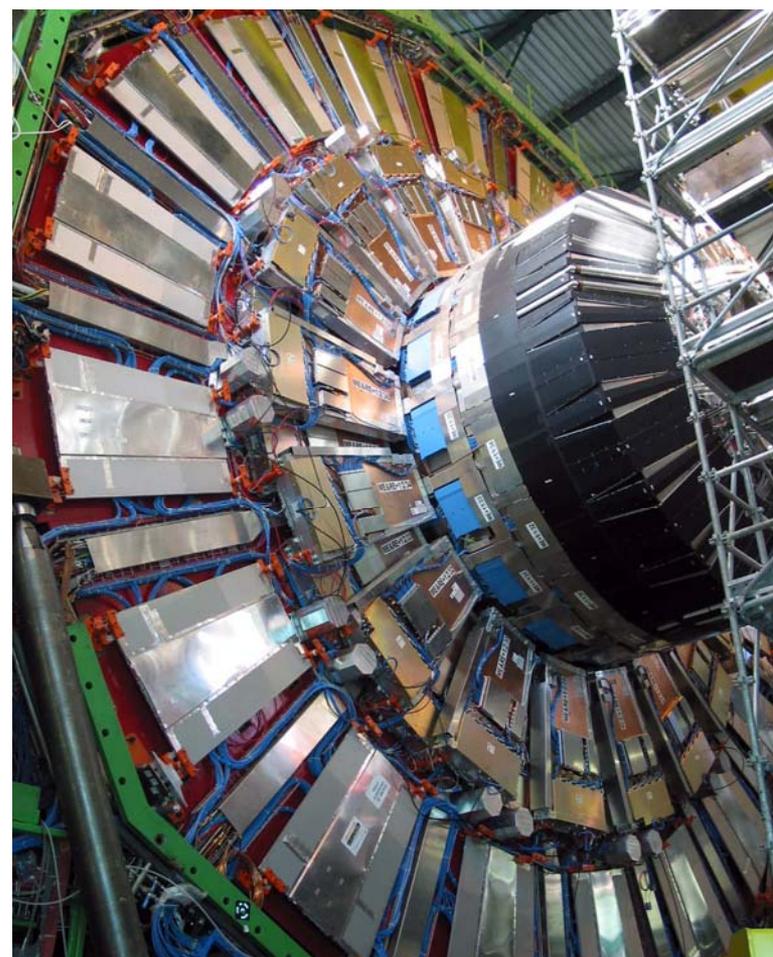


Muons CMS



Muon Barrel

Oléron juin 2009

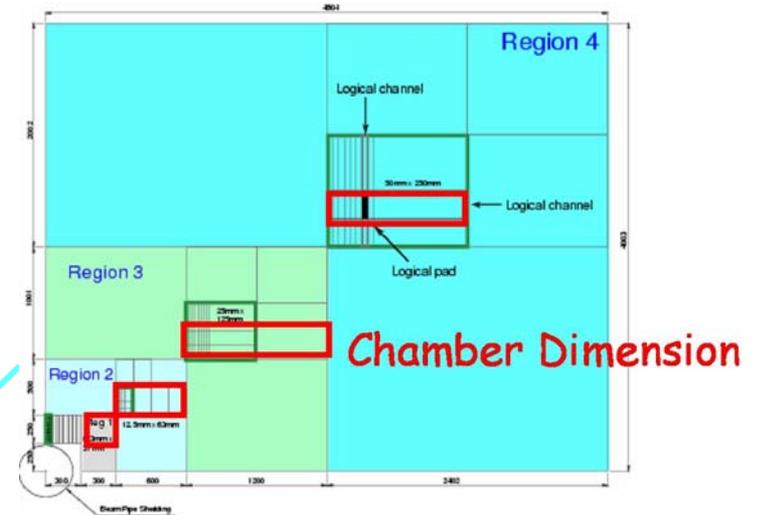
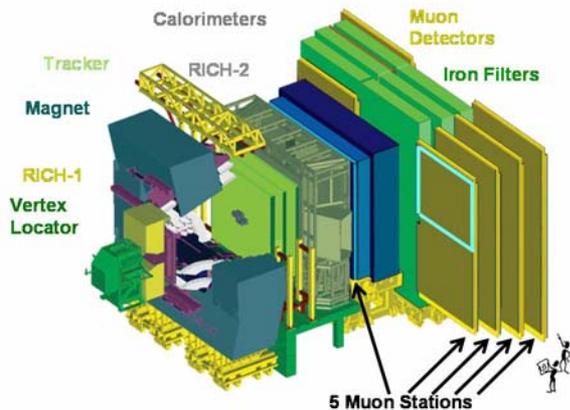


Muon End Cap

P.Siegrist CERN-PH

MWPCs in the LHCb Muon System

K. Mair IEEE 2005



- Multi Wire Proportional Chambers (MWPCs):
 - Fast muon triggering
 - Muon identification
- 5 Muon Stations, 4 Regions / Station
 - 20 different chamber sizes
 - 1368 chambers

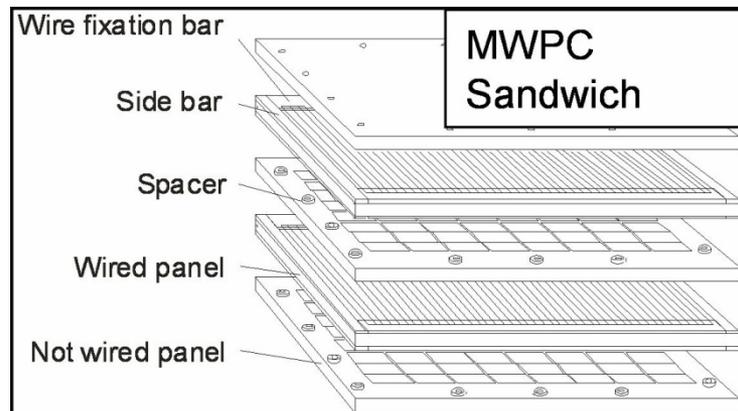
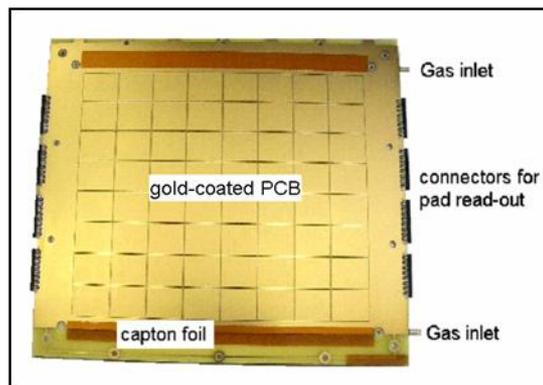
MWPC Design

K. Mair IEEE 2005

- 4-gap MWPC
- gap size: 5 mm (wire plane centered)
- gas mixture: Ar/CO₂/CF₄ (40:55:5)
- wire: Gold-plated Tungsten, 30 μm Ø, 250 to 310 mm wire length
- wire spacing: 2 mm, mechanical tension: 65 g
- HV = 2.650 kV
- field on wires: 262 kV/cm
- field on cathodes 6.2 kV/cm
- gas gain: $G \approx 50\,000$
- gain uniformity: $\leq 30\%$

panel production:

- PCB coated by 35 μm copper, 5 μm nickel, 0.2 μm gold
- foam injected between 2 PCBs in mould



Détecteurs Silicium

- Micro Strips
LEP → détecteurs de vertex
LHC détecteurs de traces Atlas, CMS
- Pixels
 - Débuts à LEP (P. Delpierre et al. Delphi)
 - LHC Alice, Atlas, CMS

SI Micro-strips CMS

3.1. Substrate

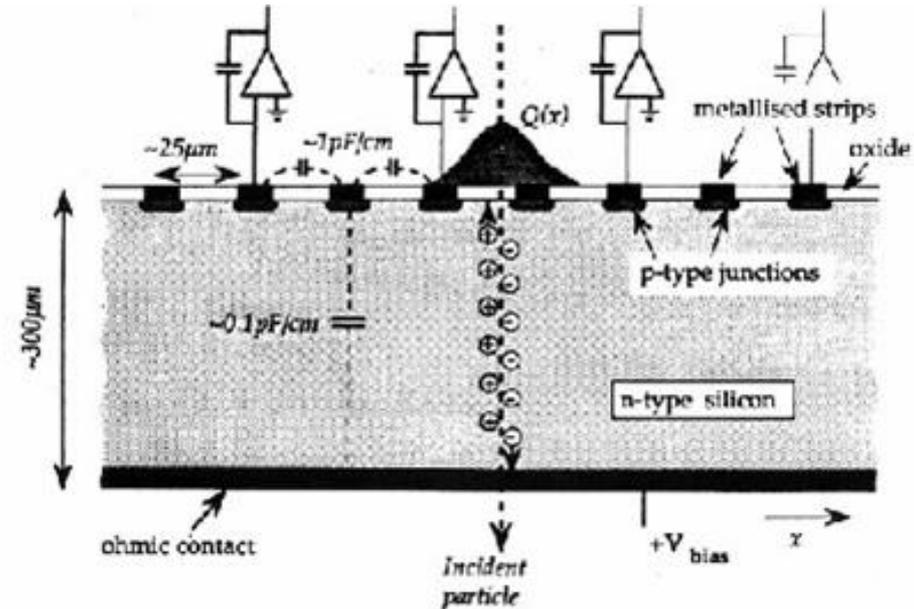
The supplier shall provide the silicon substrates. They have 6" diameter for thick sensors and thin wedge sensors, and either 6" or 4" for the thin inner barrel sensors. They are:

n-type, phosphorus doped, float-zone, <100> crystal orientation
 resistivity in the range of $\rho = 1.5 - 3.0 \text{ K } \Omega \cdot \text{cm}$ (thin sensors)
 resistivity in the range of $\rho = 3.5 - 7.5 \text{ K } \Omega \cdot \text{cm}$ (thick sensors)
 thickness: $320 \pm 20 \text{ } \mu\text{m}$ (thin), $500 \pm 20 \text{ } \mu\text{m}$ (thick)
 Both sides polished.

3.2. Dicing and Flatness

The sensors shall be diced by the supplier. The dicing tolerance is $\pm 20 \text{ } \mu\text{m}$. The quality of the cut edges shall be such that there are no chips greater than $40 \text{ } \mu\text{m}$ and no cracks. The sensors shall be clean, with no residual on the surface when delivered.

We require a sensor flatness (unstressed) $< 100 \text{ } \mu\text{m}$.



19100 détecteurs épais. $500 \text{ } \mu\text{m}$

512 strips pas $182 \text{ } \mu\text{m}$

$\sim 10 \times 10 \text{ cm}^2$

Formes \sim carrés ou trapèze $\rightarrow \sim 200 \text{ m}^2$ surface de détection

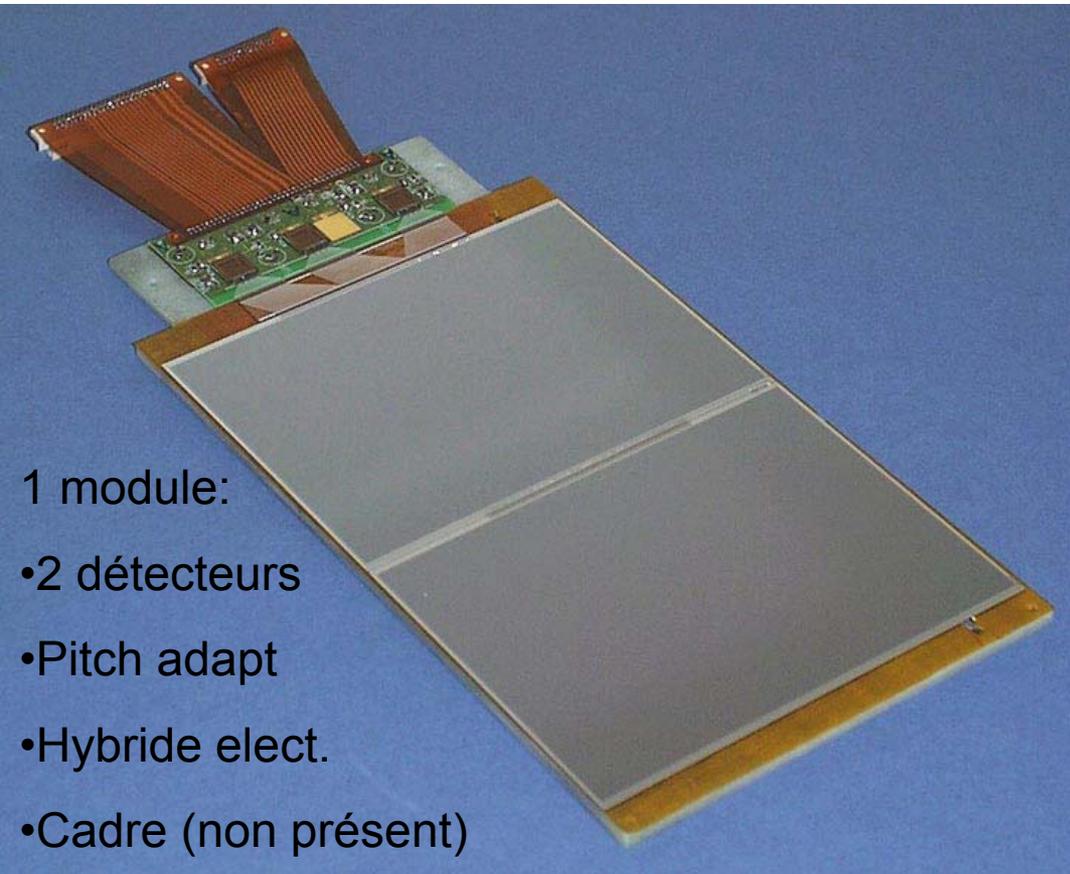
HV max 300 V HV break $> 500 \text{ V}$

6450 détecteurs épais. $320 \text{ } \mu\text{m}$

512 strips pas $120 \text{ } \mu\text{m}$

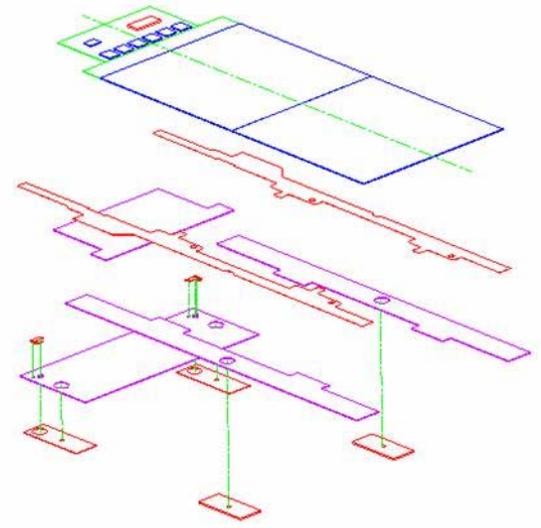
$\sim 6 \times 6 \text{ cm}^2$

Module

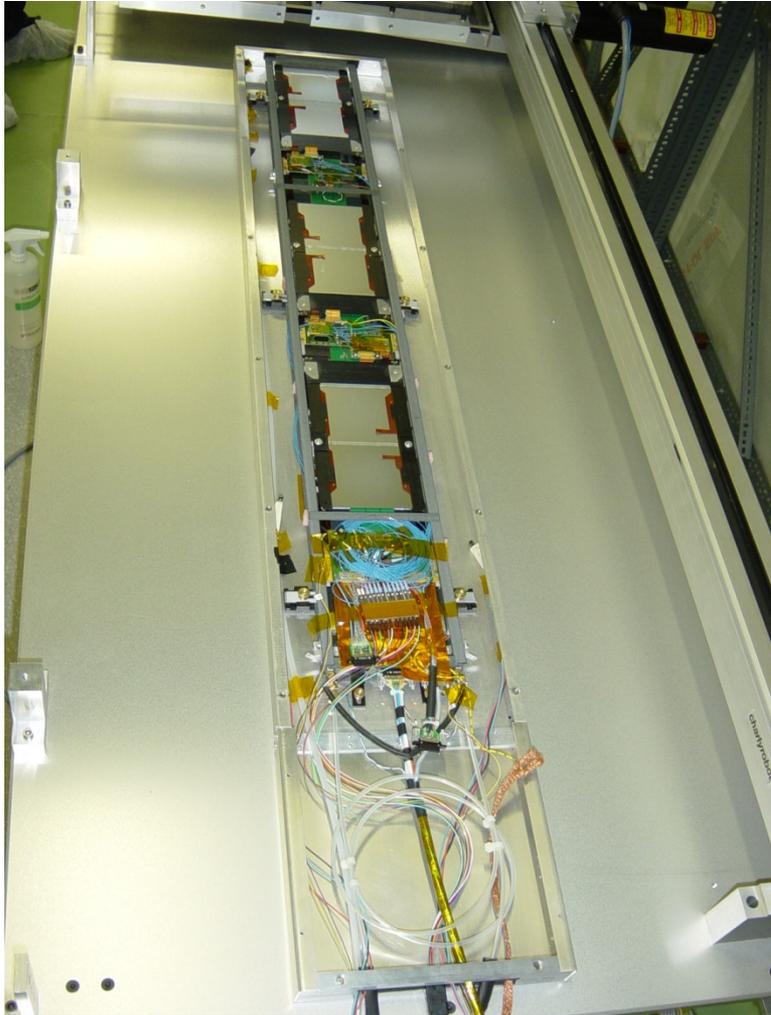


1 module:

- 2 détecteurs
- Pitch adapt
- Hybride elect.
- Cadre (non présent)



Assemblage en structures

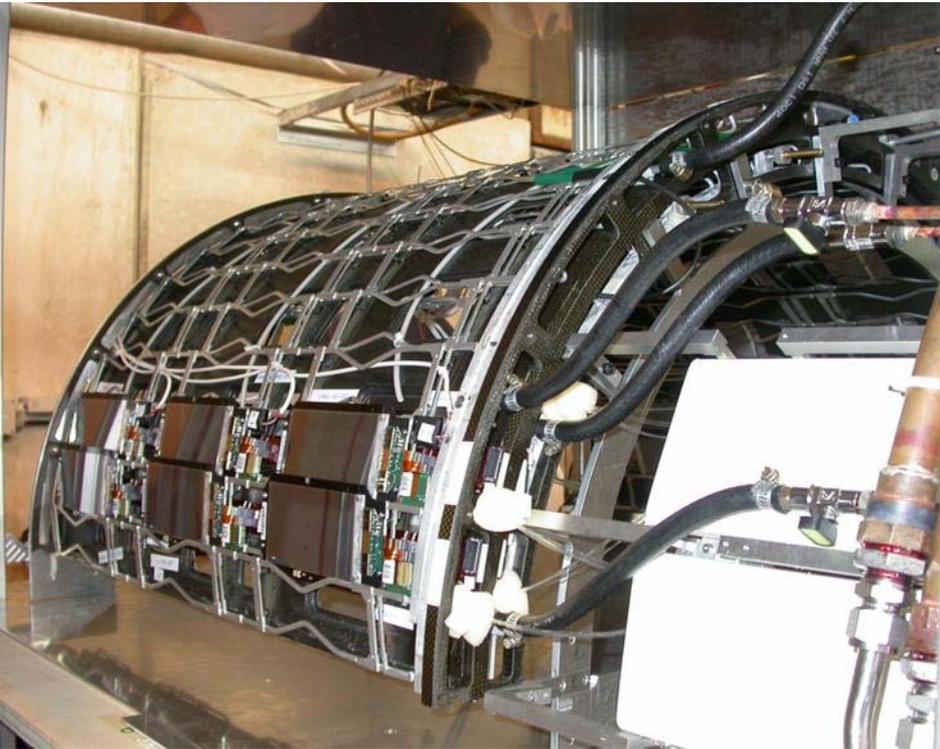


Outer Barrel



Rods → 6 couches Outer Barrel

INNER BARREL



Inner barrel 2 x 4 demi couches

FORWARD



Forward: Pétales
→ 2 x 11 disques à 6 anneaux

Si CMS

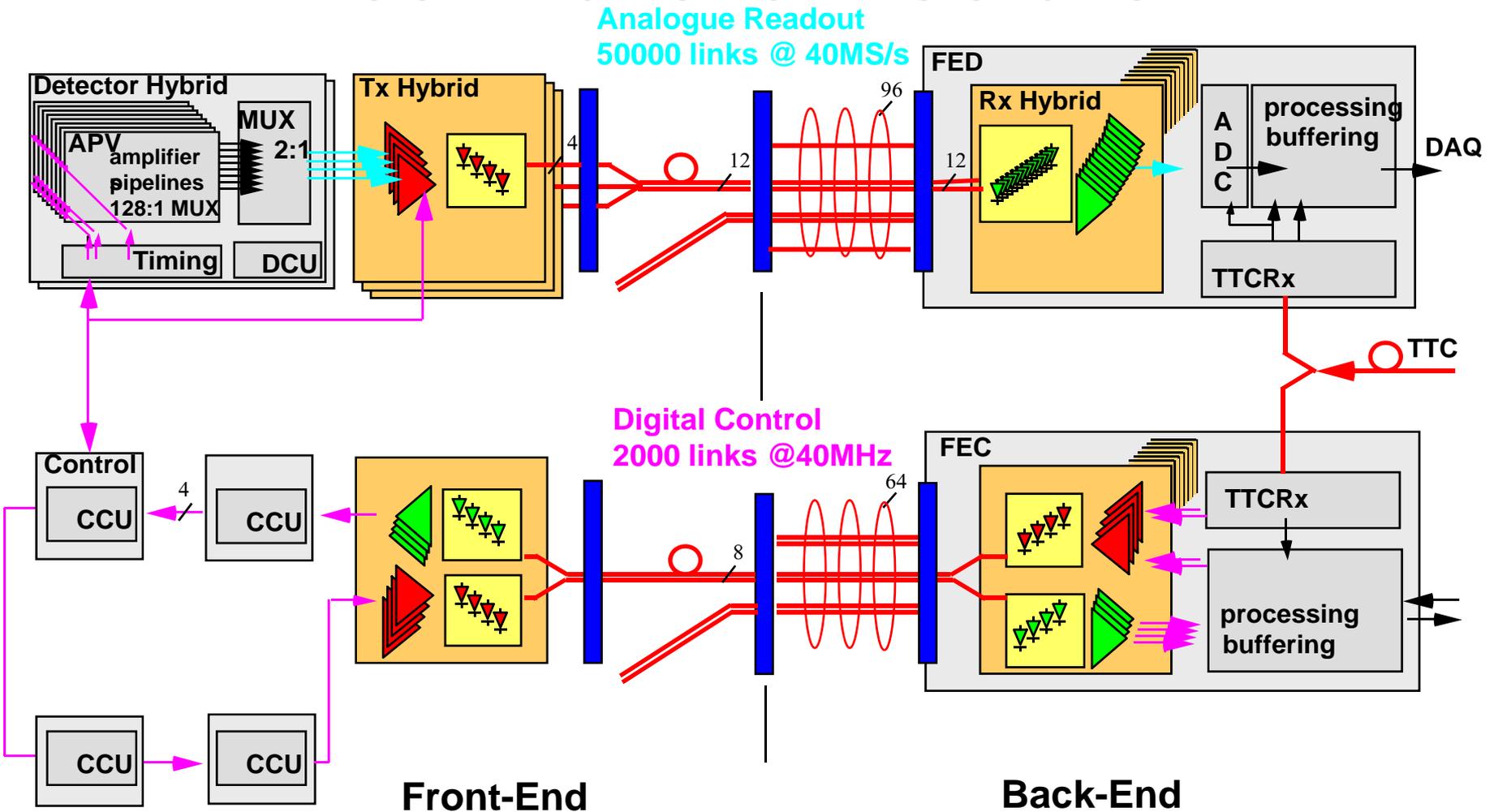
- Pas “trop” cher
- Robuste
- Bonnes performances ($S/N > 20$)
- Pas de gaz!

Mais

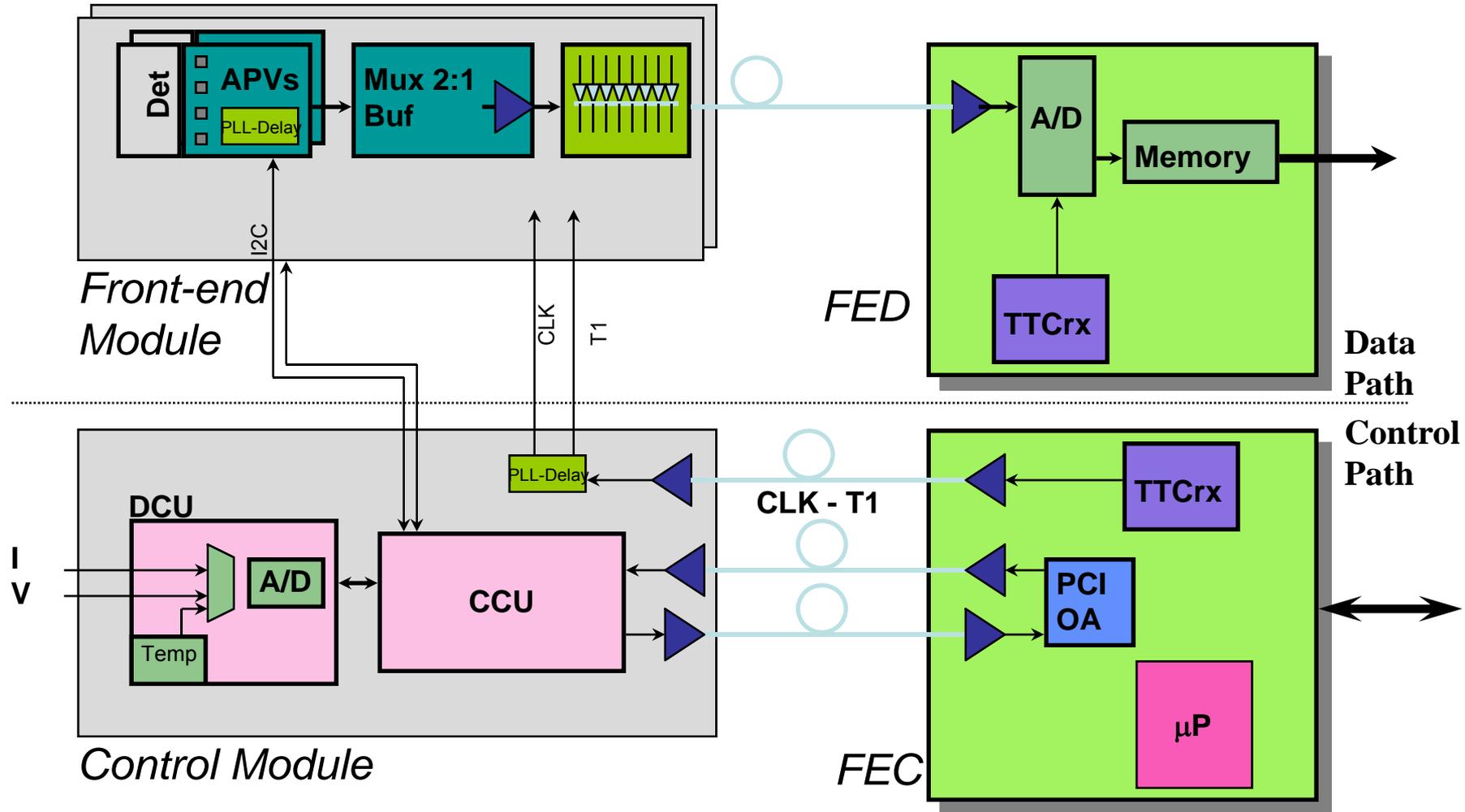
- Production “industrielle”
- Opération à -15°C
- Cooling! (C_6F_{14})
- Aspect “système” reste lourd...
(Alim LV et HV, plomberie, masses...)

- Lecture et Contrôle

CMS Tracker readout and control architecture



Read-out and control architecture



Signals

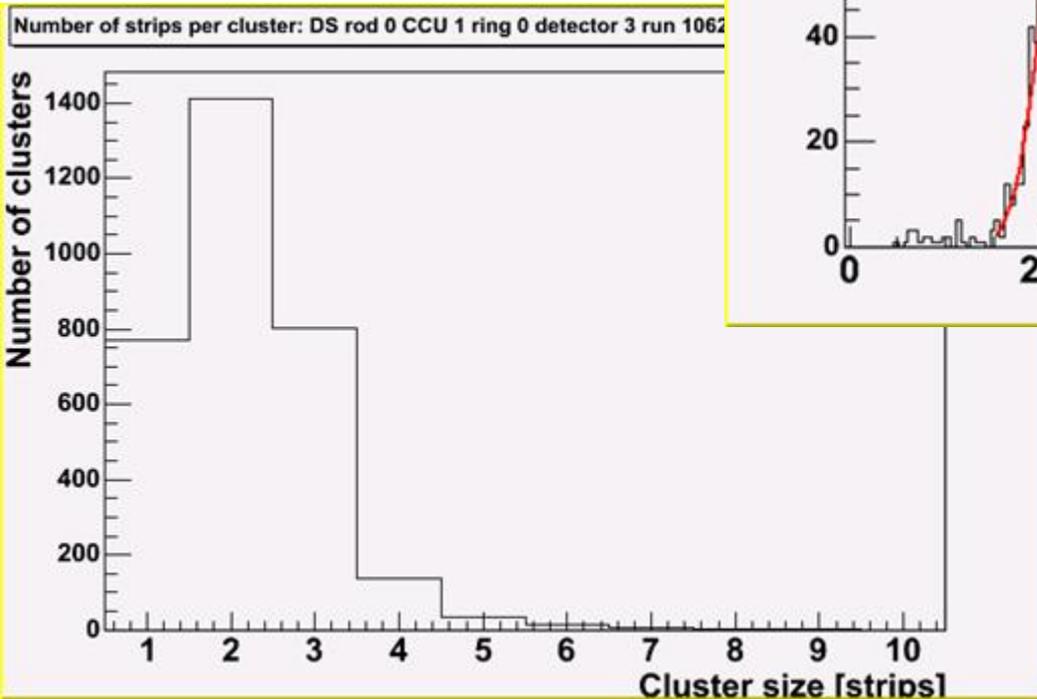
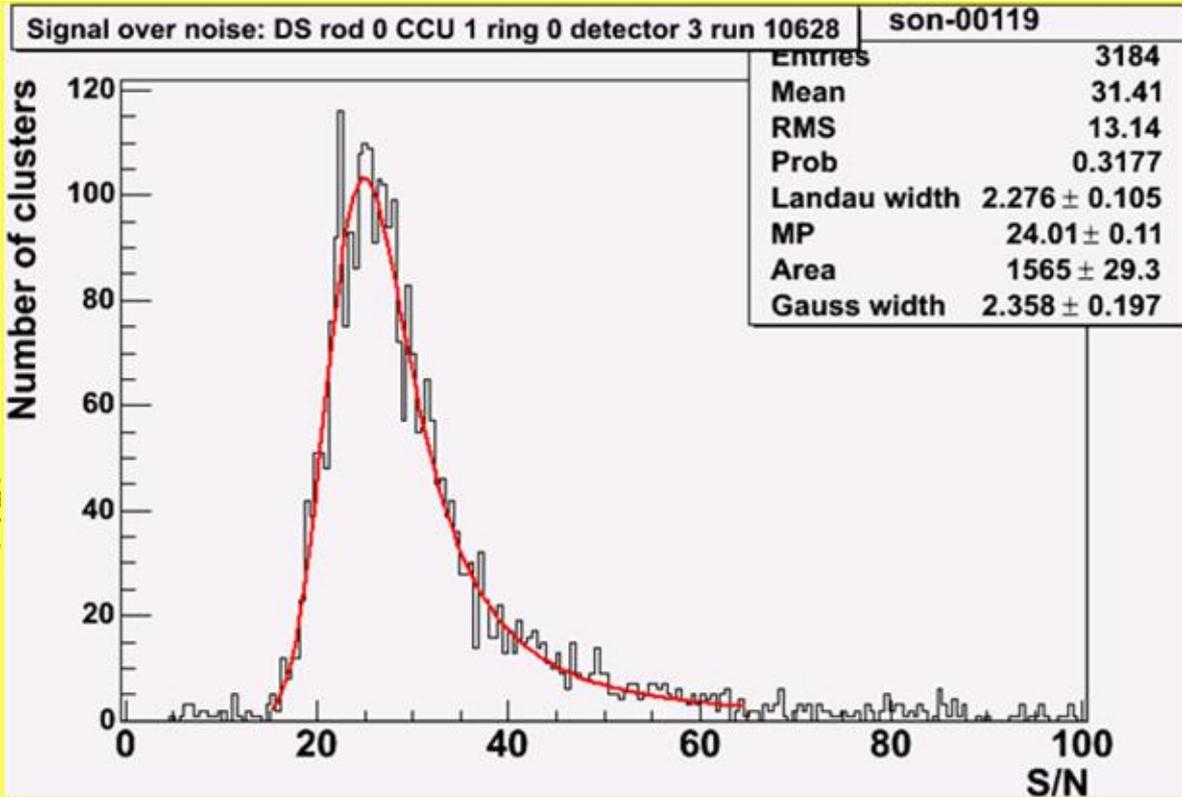
A.Dierlamm

Sepembre 2004

Deconv. mode

HV = 300V

T = -20°C



S/N ~ 24

Inclination of 6° !

Resolution

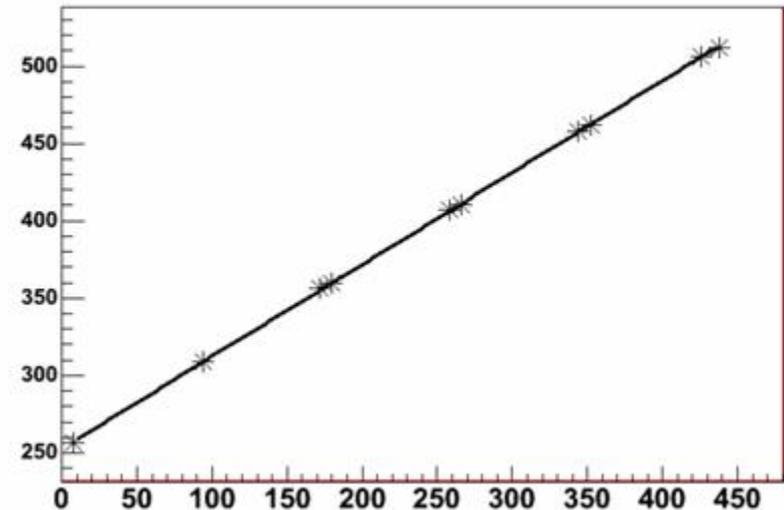
Sepembre 2004

- Analysis of the data done with AC1Analysis (written by R. Brauer). Output of cluster positions and heights further processed.
- Simple line fit to cluster positions
- Subtracting residuals gives first approximation of resolution
- We had straight tracks in May and inclined tracks (6°) this time => resolution improved for inclined tracks since in average 2 strips are in a cluster

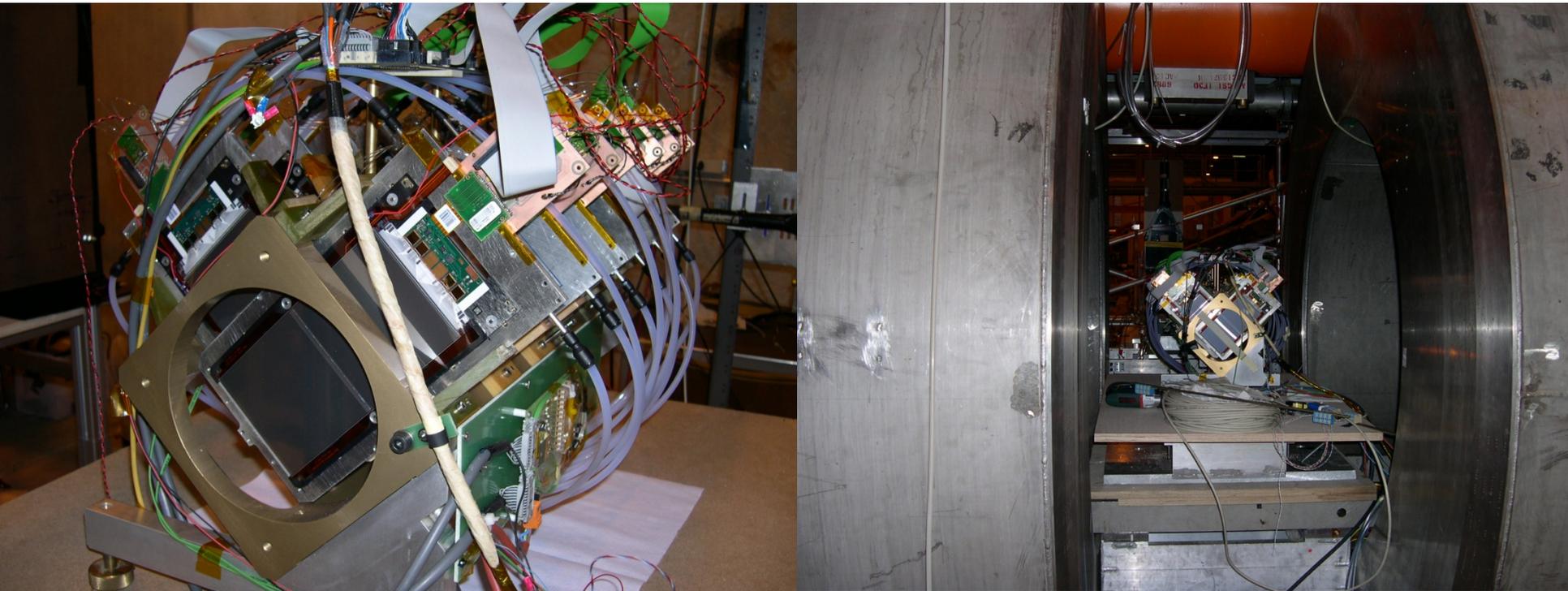
Rod ID	$\sigma_{\text{may}} (\mu\text{m})$	$\sigma_{\text{sept}} (\mu\text{m})$
	straight tracks	6° inclination
166 (DS)	45	29
154 (SS4)	45	34
112 (SS4)	42	38
124 (SS6)	35	28
13 (SS4)	54	33
153 (DS)	50	30

$$(\sigma_{\text{max}} = \text{pitch}(183\mu\text{m}) / \sqrt{12} = 53 \mu\text{m})$$

Graph

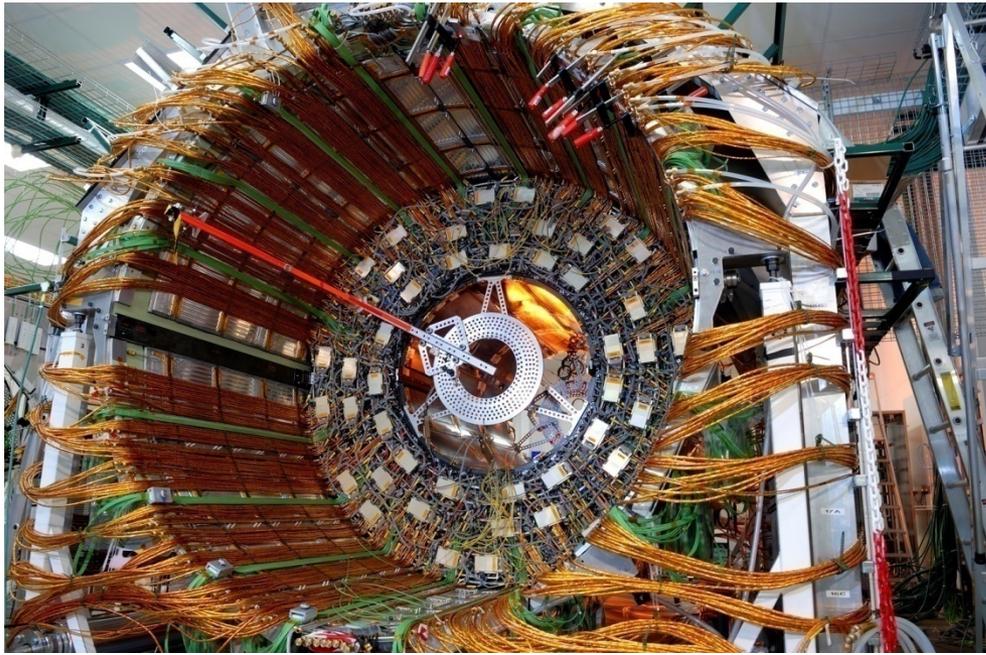


Télescope de faisceau



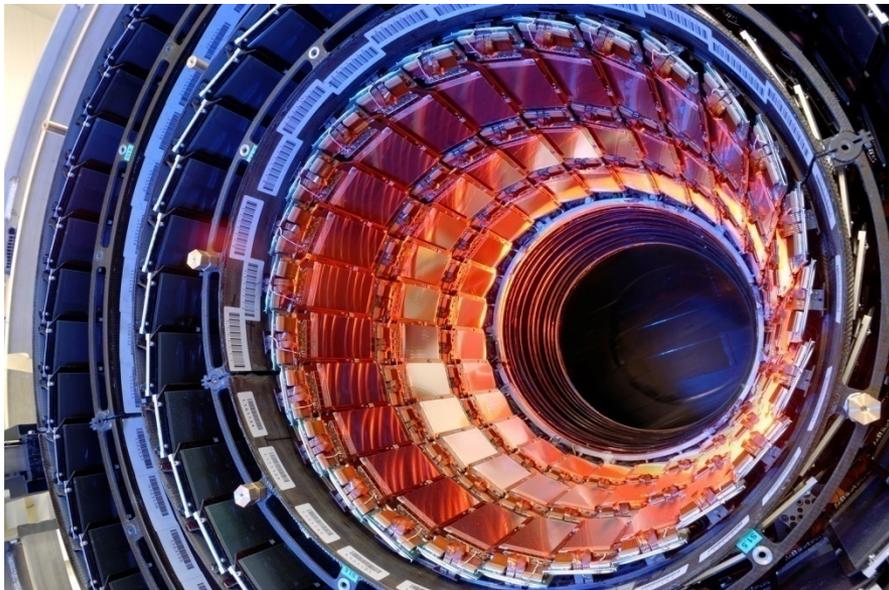
12 Modules TOB

Test en Champ Magnétique Novembre 2004

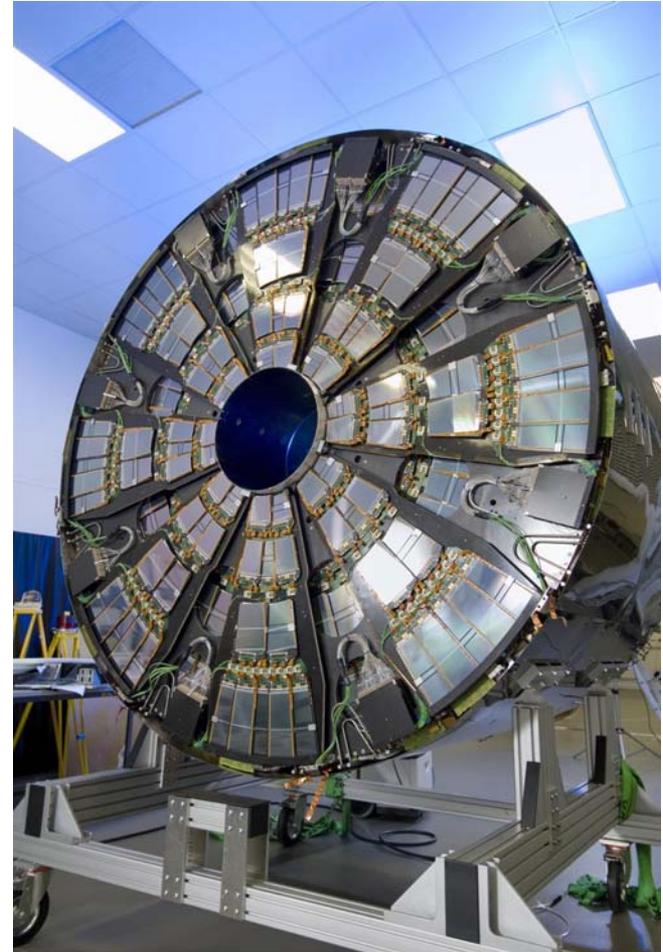


T
O
B

Fin 2006



T
I
B



T
E
C

Oléron juin 2009

P.Siegrist CERN-PH

110

Tracker CMS

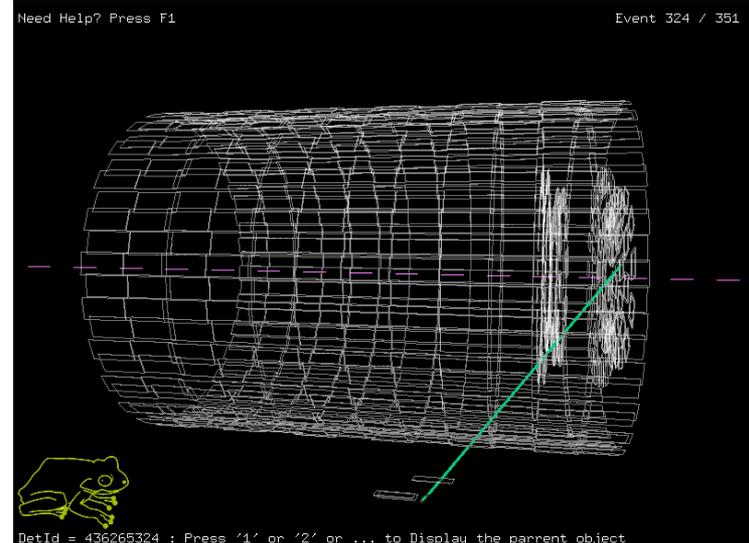
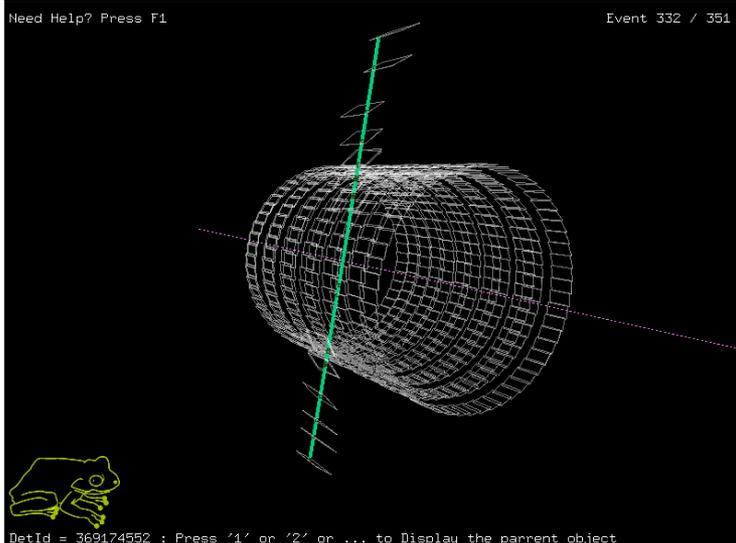
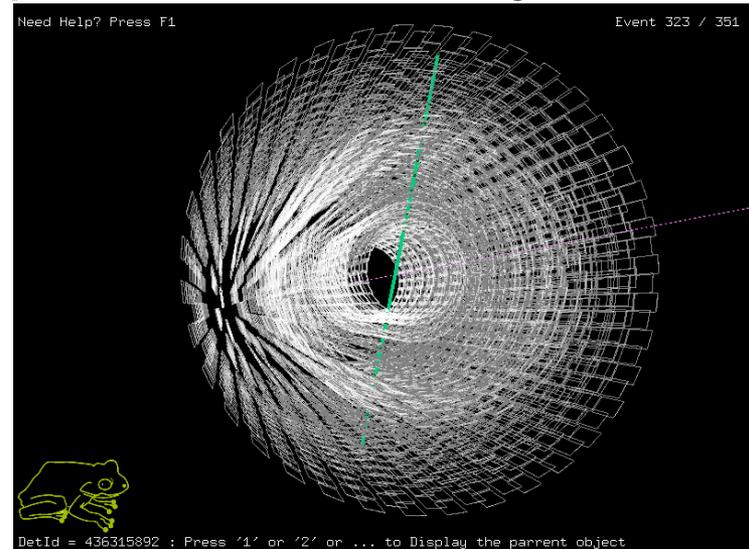
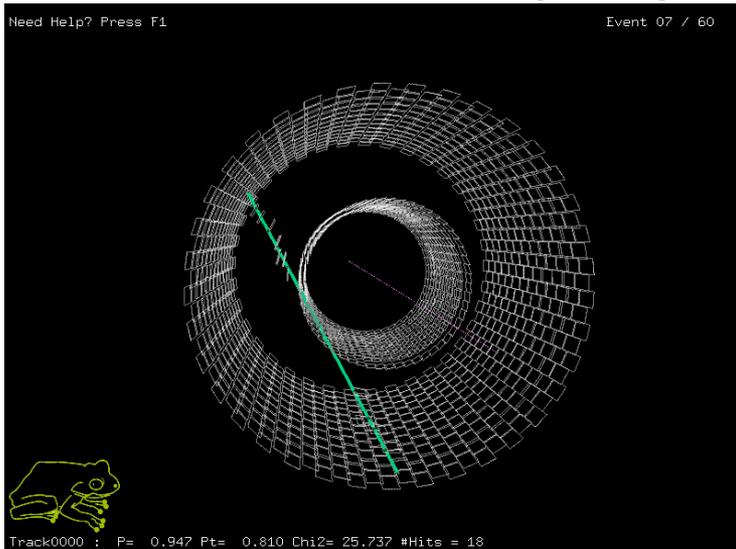
Installation et tests finaux

- Installation dans le détecteur début 2008
 - Tests OK
- Problèmes sur infrastructure de refroidissement (depuis 2007)

Echangeurs saumure-C6F14 HS → opération tout C6F14

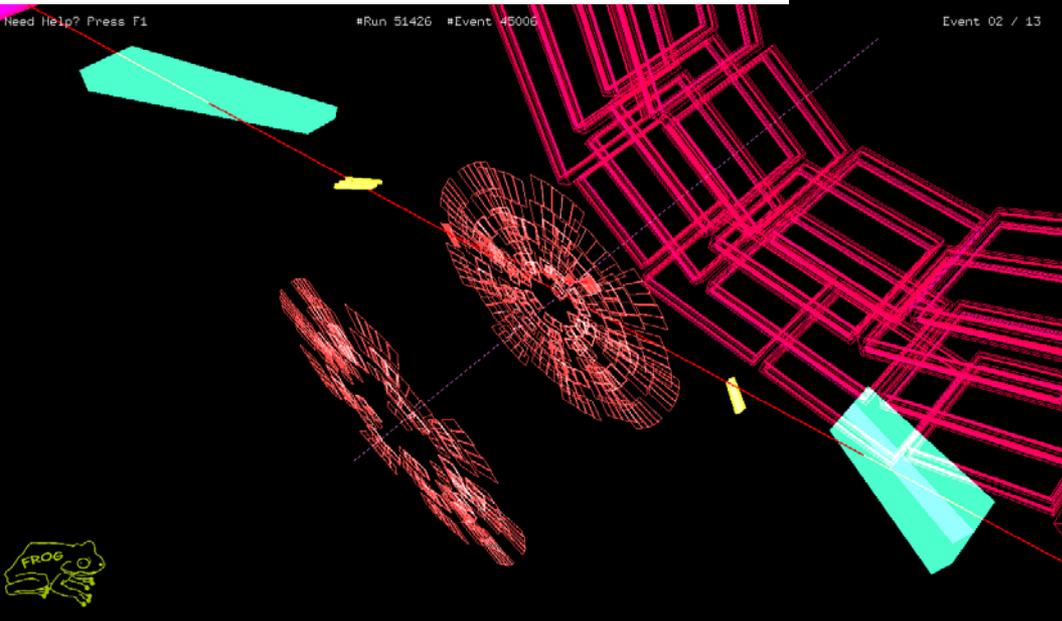
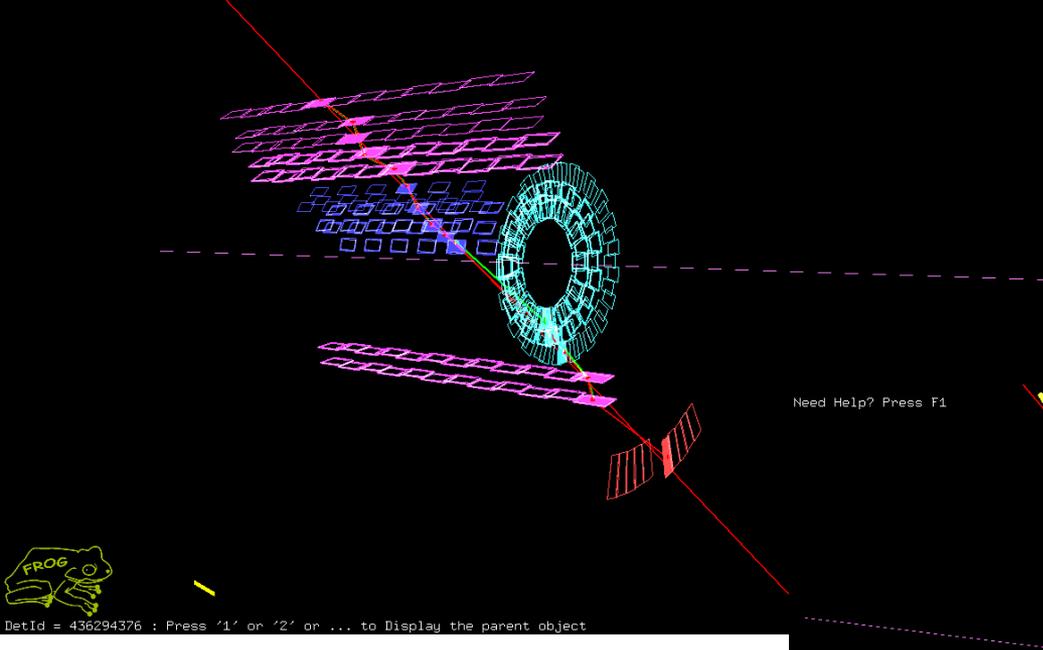
- Test finaux sur cosmiques juillet 2008
- Test sur 3 millions de « triggers cosmiques » octobre 2008

Tracker CMS : quelques exemples de traces en juillet 2008



Tracker CMS : d'autres exemples de traces en juillet 2008

Barrel +end cap



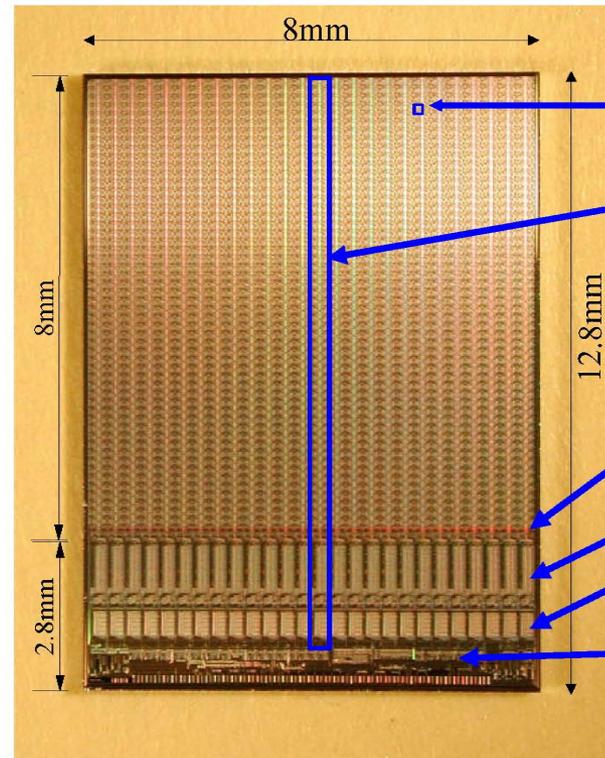
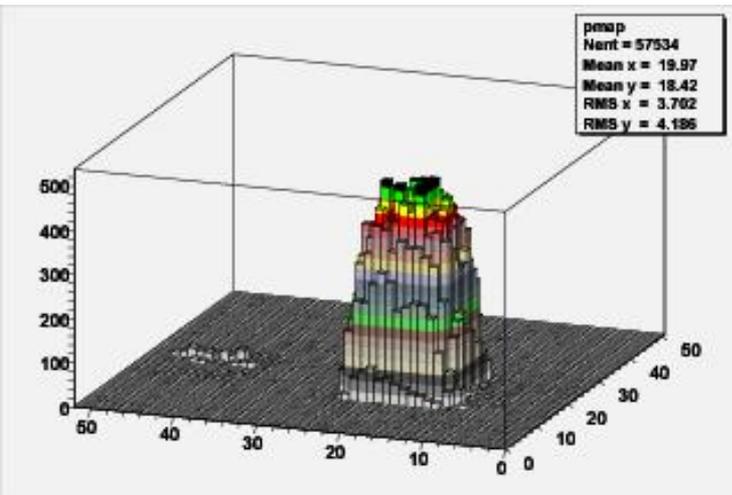
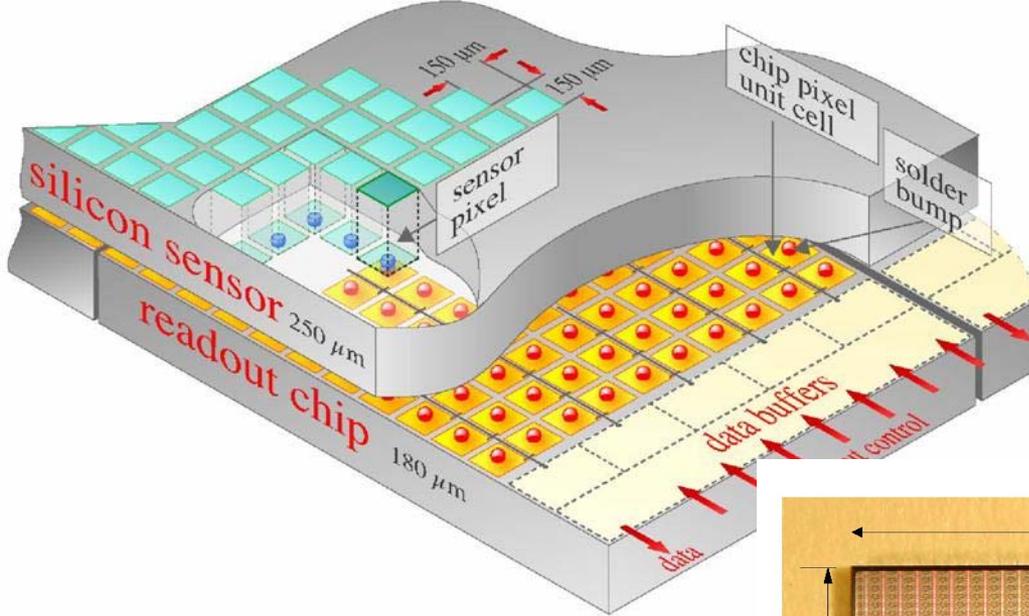
← End cap seul !

Pixels

- Pixels LHC
 - Alice
 - Atlas
 - CMS
- Développements « futurs »
 - CMOS
 - Si Amorphe

Pixels CMS

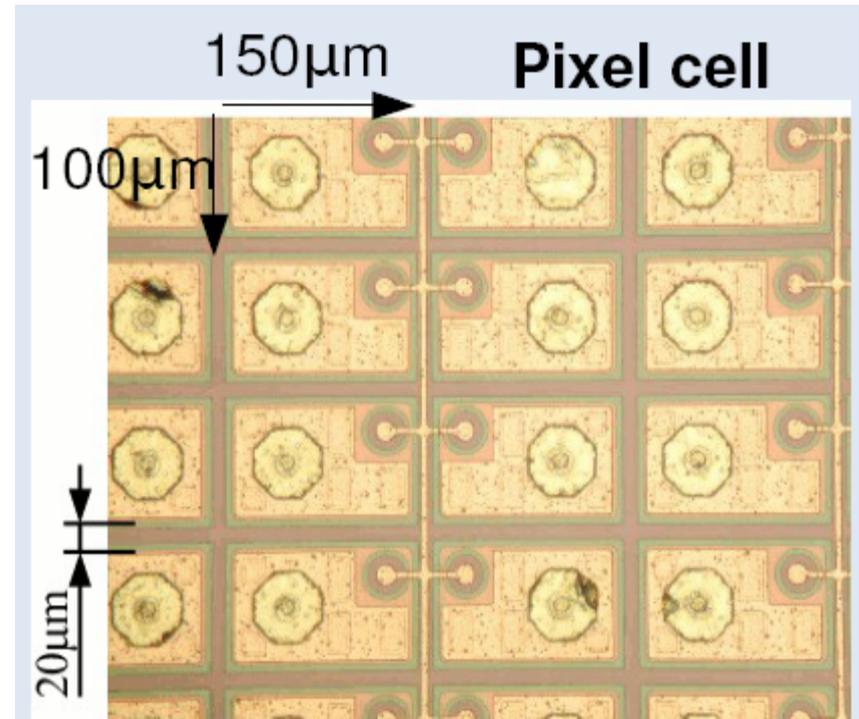
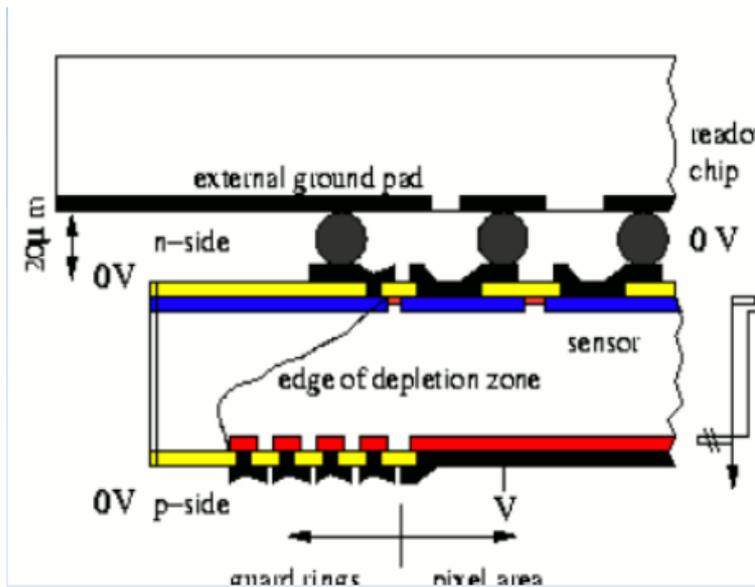
R. Horisberger et al.



PSI43

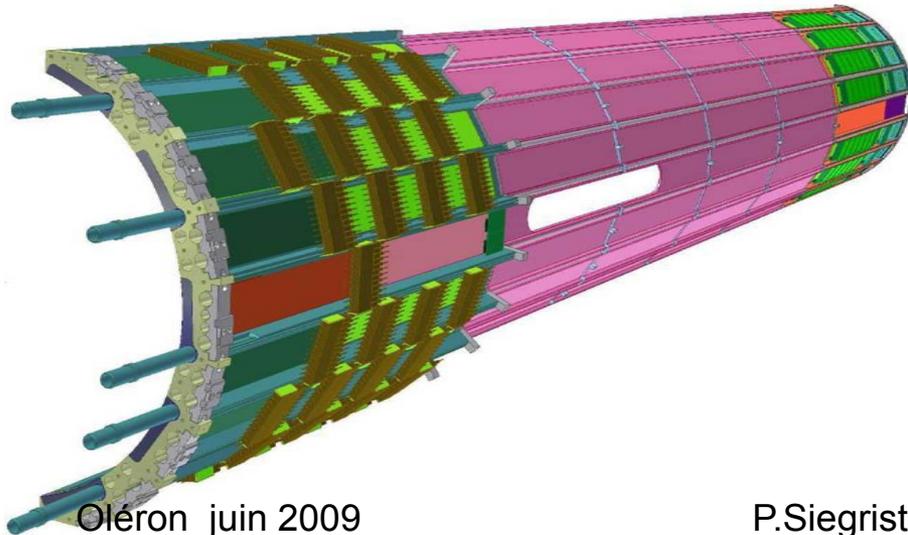
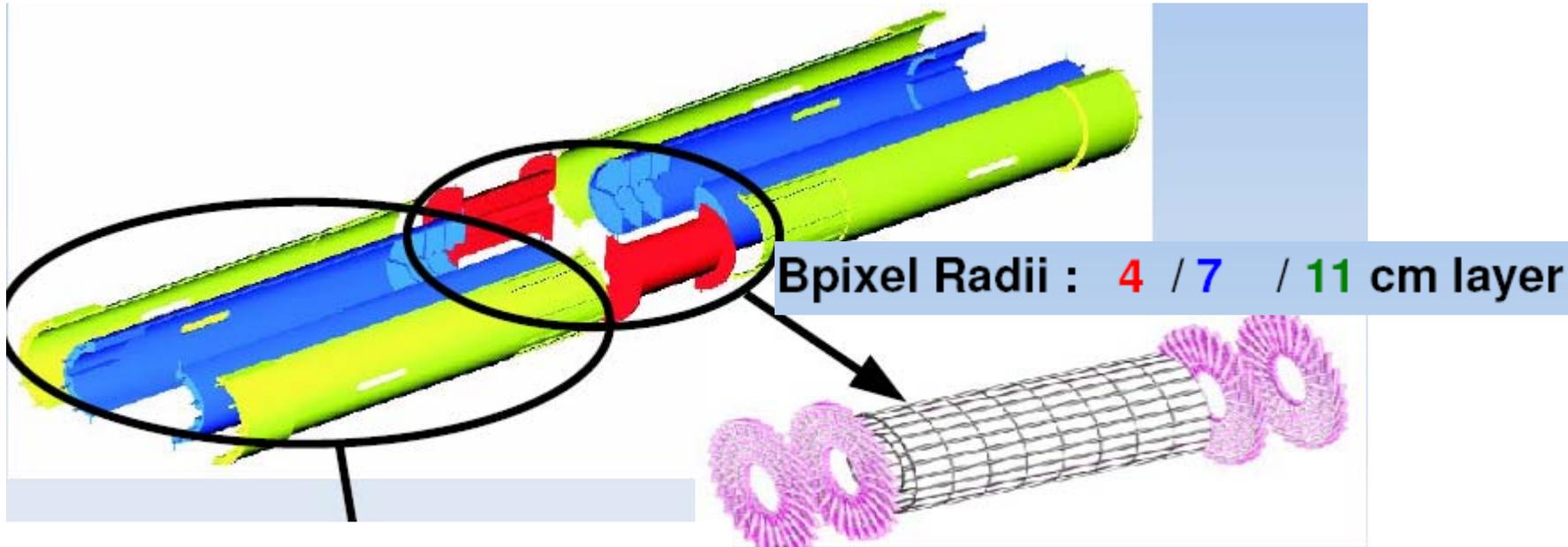
- 150 μm x 150 μm pixel
- 52x53 pixels in 26 double columns
345 k transistors
- Periphery:
78 k transistors
- Pixel-column interface
- Data buffers (4x24 capacitors)
- Timestamp buffers (8x8 bits)
- I2C, DACs, regulators, counters, readout, wirebonds
6 k transistors

Pixels CMS détecteur final



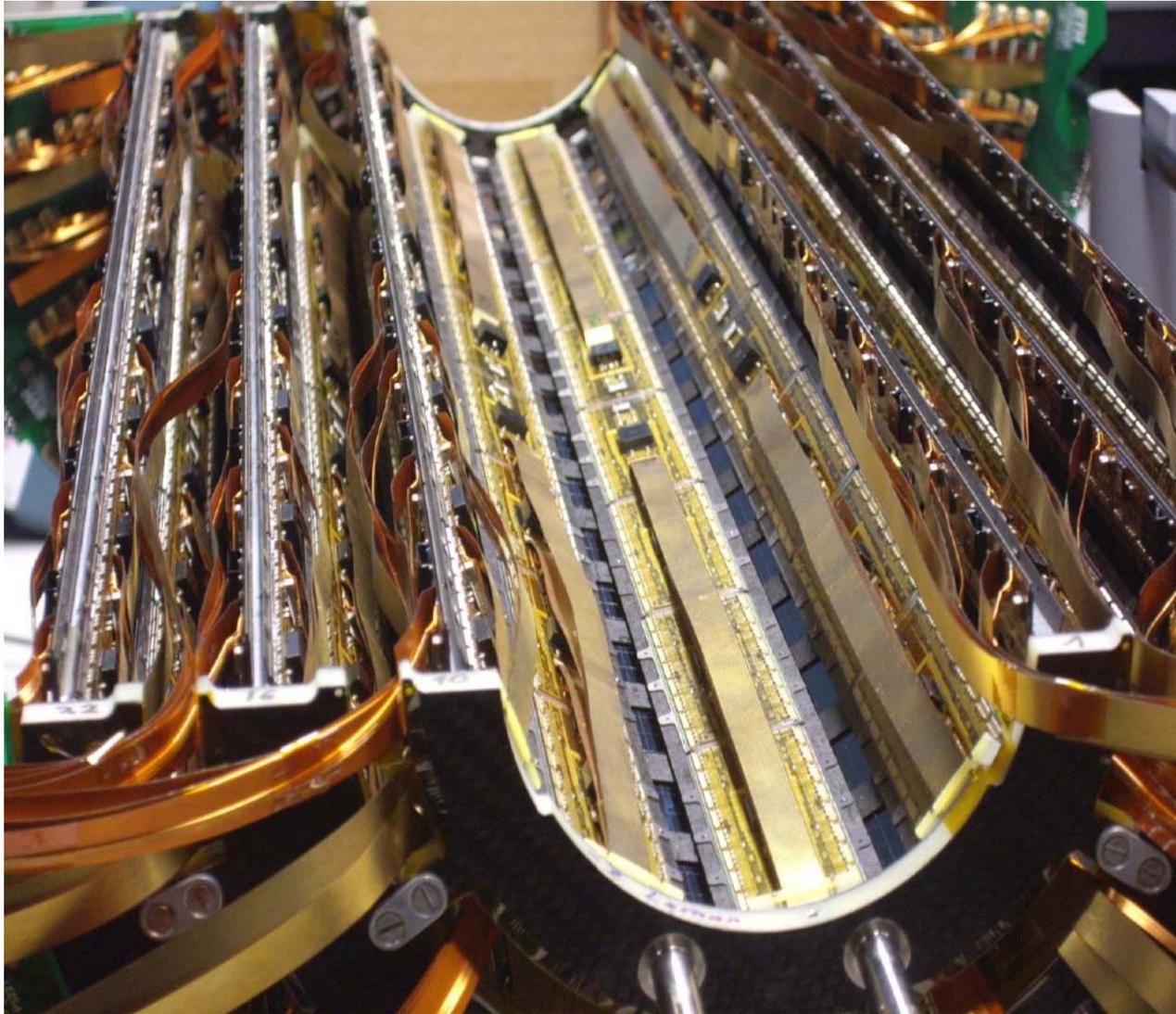
n+ on n substrate
150x100 μm pixel
distance between pixel implants 20 μm (Gap)
DOFZ (standard FZ material enriched with oxygen)
inter-pixel isolation moderated p spray

Eléments des pixels CMS

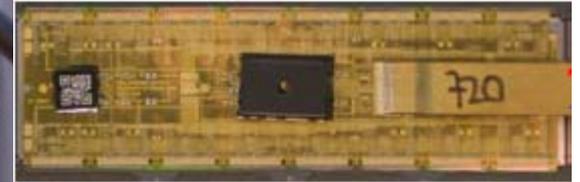


Fwd	Detecteurs	Fwd
2 disques	3 couches B	2 disques
	L = 56 cm	z = 35, 48 cm

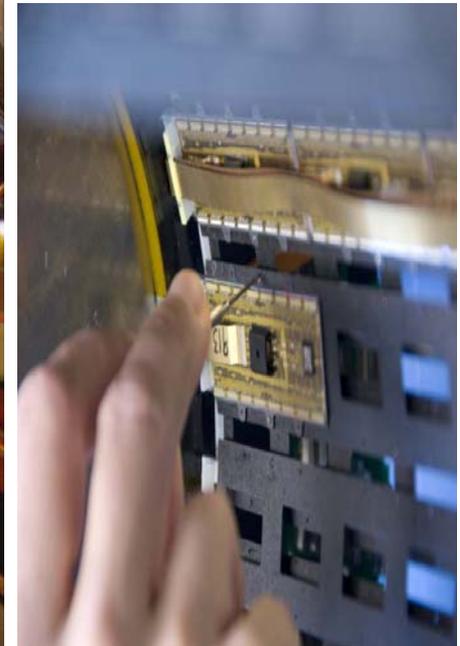
B Pixels CMS_R. Horisberger et al.



Module pixel B

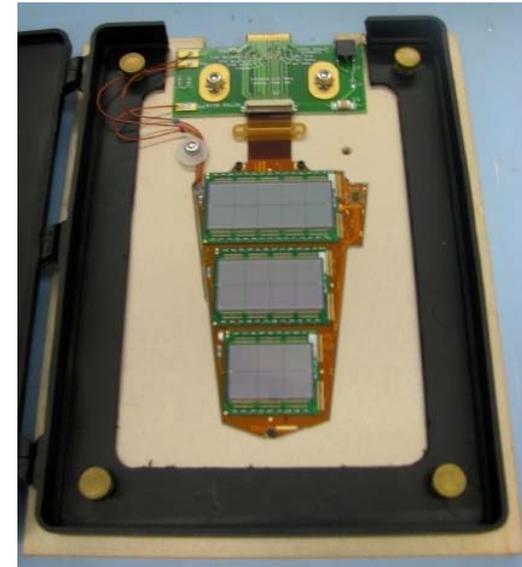
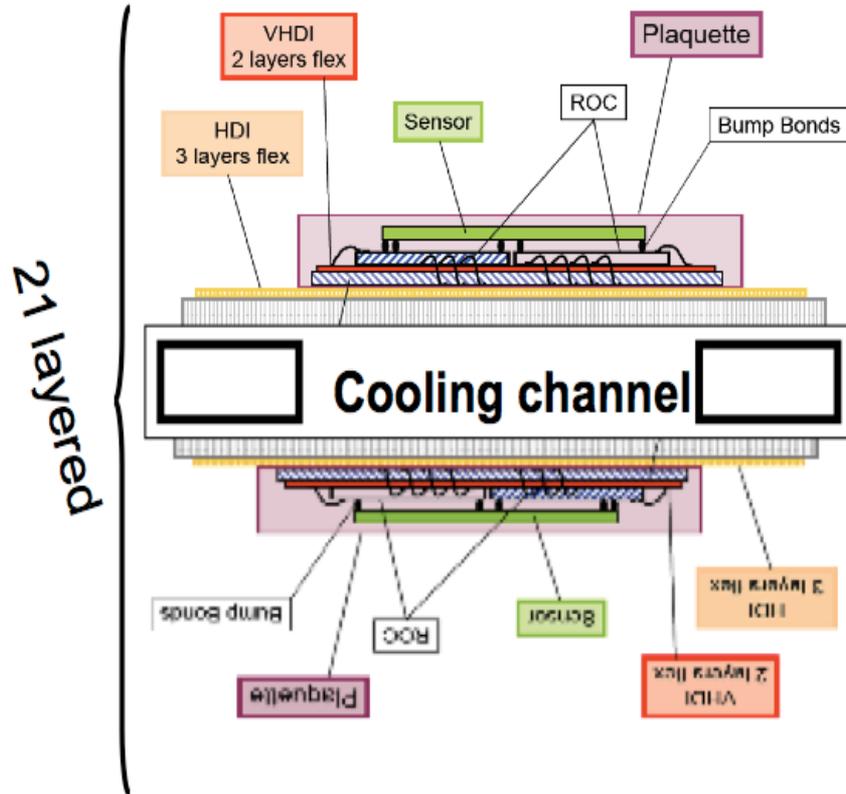


3 couches Barrel



CMS F Pixels

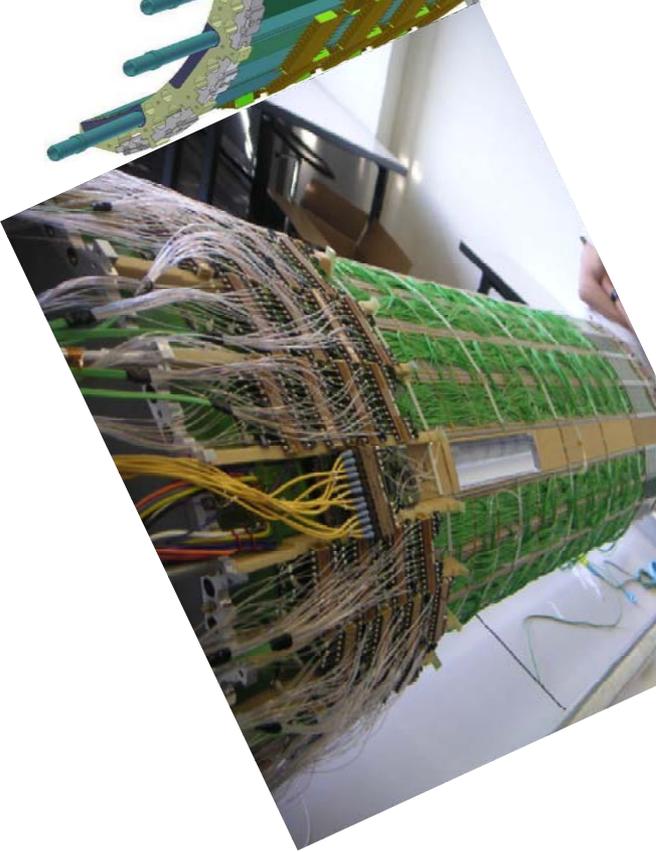
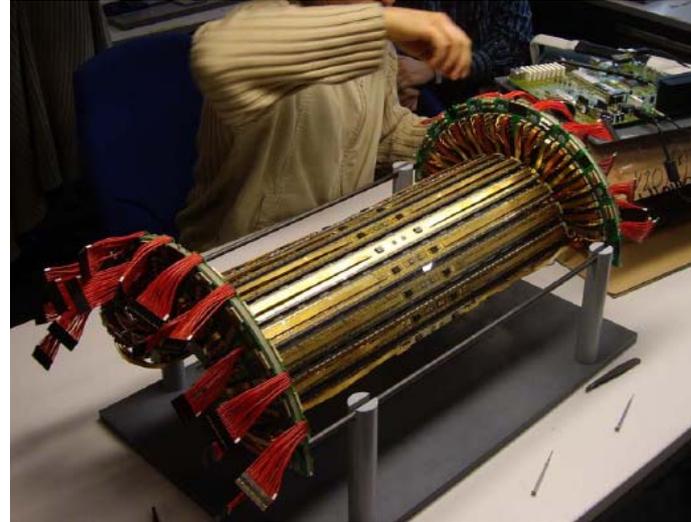
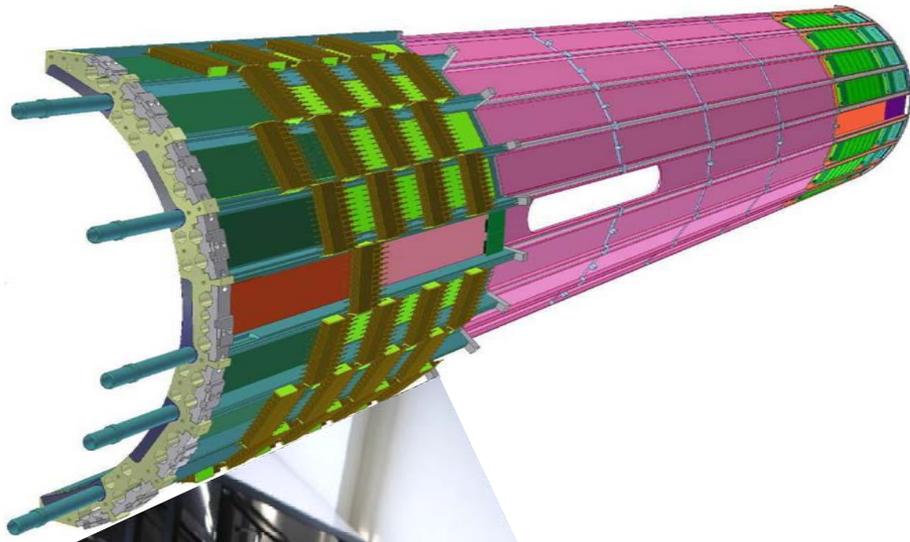
S. Kwan (Fermilab)



Experiment needs 672 plaquettes (7 types and 5 types of sensor module) assembled on 192 panels (4 types). Two panels placed back-to-back on Al cooling channel to form a blade



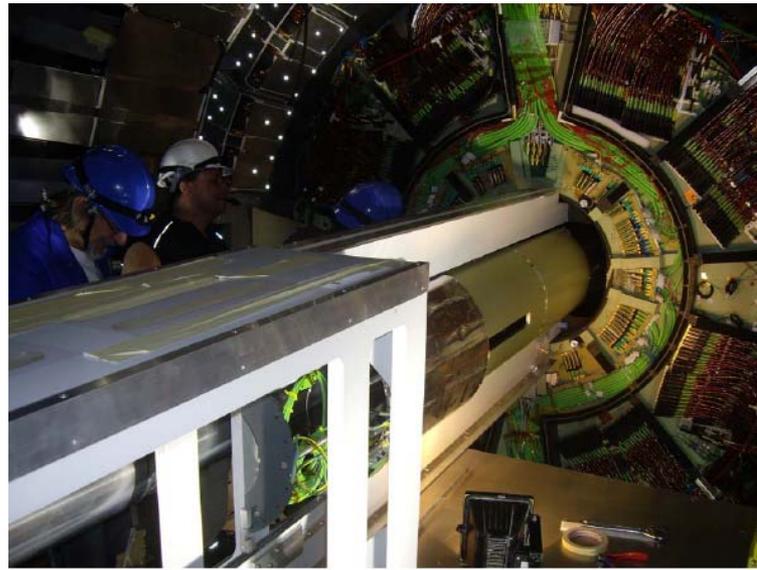
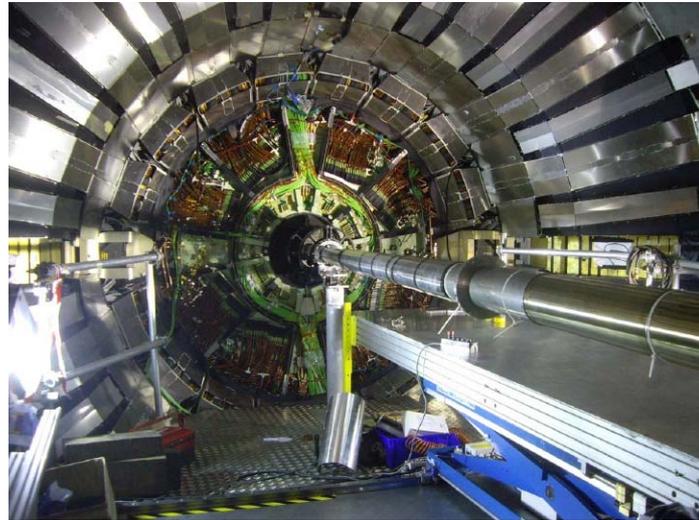
CMS pixel Structures



Oléron juin 2009

P. Siegrist CERN-PH

120



Pixels CMS

Insertion juillet 2008

B pixels OK

Réparations F pixels

Janvier 2009

(contacts & cooling)

Le Tracker de CMS

D. Abbaneo CERN-PH

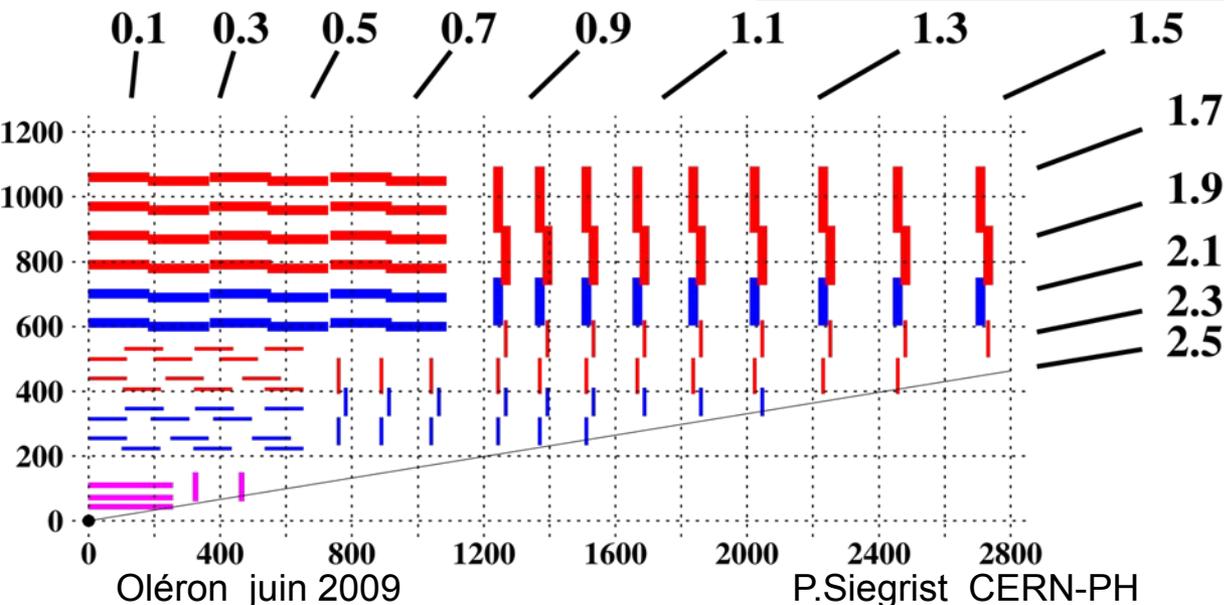
3 couches de pixels

“Facilement” démontables ou remplaçables

10 couches micro-strips

4 double face
6 simple face
End-caps idem

μ -Strip tracker	Pixels
~210 m ² de silicium 9.3M canaux	~1 m ² de silicium 66M canaux
73k APV25s 38k links optiques 440 FEDs	16k ROCs 2k links optiques 40 FEDs
16 types de modules 300-500 μ m	8 types de modules 300 μ m
15 K détecteurs ~33kW	1440 détecteurs ~3.6kW



Taux d'occupation @ 10^{34}

Pixels: 10^{-4}
Inner Strips: 3×10^{-2}
Outer Strips: 10^{-2}

Détecteurs CMOS

Det Vertex: Linear Colliders-ILC

STAR, CBM

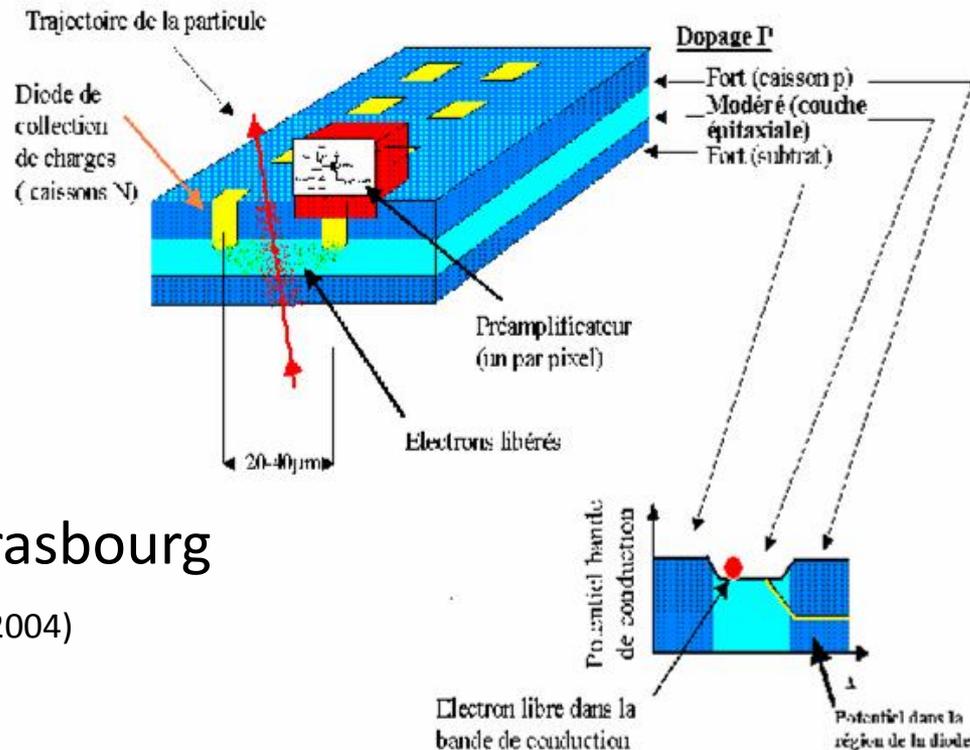
Appl médicales - Imageurs

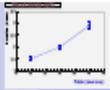
Développés depuis 1999 pour le
détecteur de vertex de l'ILC
IPHC/CNRS, Strasbourg,
DAPNIA/CEA, Saclay,
IPN, Lyon,
LPSC, Grenoble,
LPC, Clermont-Ferrand,
DESY & Univ. Hamburg

M. Winter et al.

MimosaS IReS Strasbourg

(These Arnaud Gay 2004)

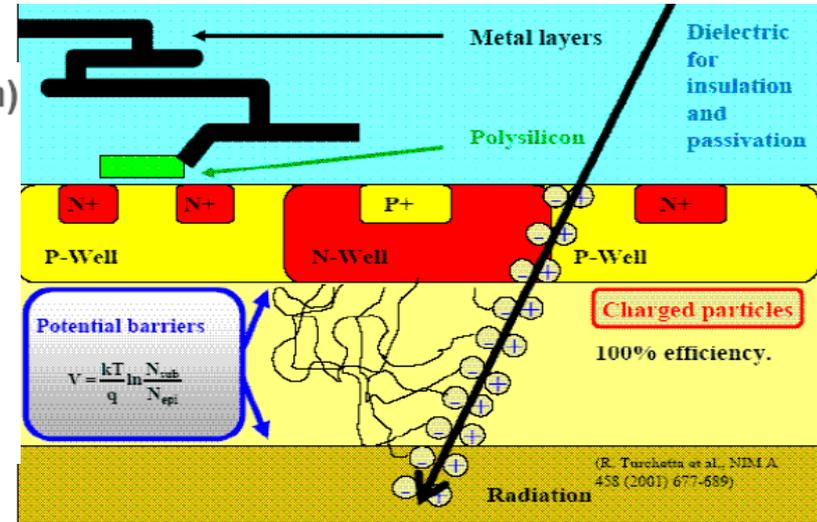




M. Winter et al.

■ Si basse résistivité (type p) avec puits de coll. (type n)

- Signal créé dans couche épitaxiée (dopage faible):
 $Q \sim 80 \text{ e-h} / \mu\text{m} \mapsto \text{signal} \lesssim 1000 \text{ e}^-$
- Collection de charge par jonctions n-well/p-epi
 \mapsto les porteurs de charge diffusent thermiquement vers les jonctions, aidés par les réflexions sur les interfaces avec les puits p et le substrat (dopage élevé)

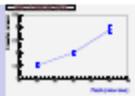


■ Avantages spécifiques des capteurs CMOS:

- ◇ μ circuits de conditionnement du signal intégrés dans substrat du capteur (System-on-Chip) \mapsto compact, flexible
- ◇ Epaisseur du volume sensible (\sim couche épitaxiée) $\sim 10\text{--}15 \mu\text{m}$ \longrightarrow amincissement à $\sim 30\text{--}40 \mu\text{m}$ permis
- ◇ Technologie de production standard de masse \longrightarrow runs (multi-projets) fréquents, coûts de R&D réduits
- ◇ Fonctionnement à température ambiante

▷ **Compromis attrayant entre granularité, budget de matière, radio-tolérance, vitesse et consommation**

- ✗ **Mais :** $\hat{=}$ volume sensible mince \Rightarrow signal de faible amplitude (mV !)
- $\hat{=}$ volume sensible \sim non déplété \Rightarrow impact sur la radio-tolérance & la vitesse
- $\hat{=}$ paramètres de fab. dictés par impératifs commerciaux \Rightarrow impact sur les performances & la radio-tolérance



M. Winter et al.

■ ~ 30 capteurs ou μ circuits fabriqués depuis 1999 :

- exploration des technologies de fabrication : épaisseur épitaxiée, profil de dopage, I_{fuite} , ...
- design du pixel : collection de charge, atténuation du I_{fuite} , radio-tolérance, ...
- μ circuits de conditionnement du signal : CDS/pixel, discri. & ADC en périphérie, \emptyset , ...
- petits proto. \rightarrow capteurs taille réelle: uniformité des perfo., rendement de fab., amincissement, etc.
- optimisation du design générique pour chacune des ≥ 6 applications aux spécifications différentes

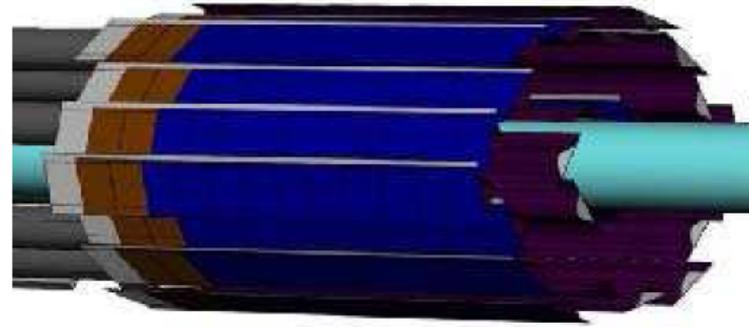
■ Résultats des études (labo avec source ^{55}Fe – faisceau CERN et DESY avec télescope à micro-rubans) :

- $B \sim 10\text{--}15 e^- \text{ENC}$; $S/B \sim 20\text{--}30 \rightarrow \epsilon \gtrsim 99.9\%$ ($T \leq 40^\circ \text{C}$); $O(10^{-4}/-5)$ hits fantômes
- $\sigma_{sp} \lesssim 1 / 1.5 / 2 / 3 \mu\text{m}$ pour pixels de $10 / 20 / 30 / 40 \mu\text{m}$ de côté
- Tolérance aux rayonnements intenses:
 - ⚡ ionisants : 1 MRad (design "rad. tol." des pixels, $T < 0$)
 - ⚡ non-ionisants : $10^{12} - 10^{13} n_{eq}/\text{cm}^2$ (varie avec pitch, volume sensible, T , etc.)

M. Winter et al.

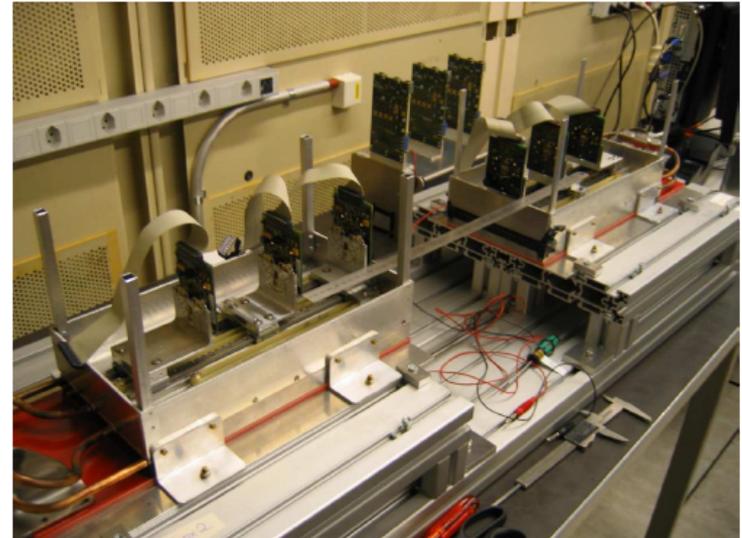
Extension du détecteur de vertex de l'exp. STAR (RHIC/BNL)

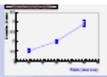
- 2 couches cylindriques : $\sim 1600 \text{ cm}^2$
- $\gtrsim 160$ millions de pixels (pitch $\leq 30 \mu\text{m}$)
- 3 étapes :
 - ◇ 2007: télescope (3 capteurs) installé dans l'exp.
 - ↳ taux de comptage mesuré, pas de pick-up !
 - ◇ 2008: 2 ou 3 secteurs (8 ou 12 échelles) avec capteurs à signaux numérisés sans \emptyset ($\leq 640 \mu\text{s}$)
 - ◇ 2010: tout le détecteur avec capteurs à \emptyset intégrée ($\leq 200 \mu\text{s}$)



Télescope de faisceau (projet EUDET/FP6)

- 2 bras de 3 plans (plus 1 plan de haute résolution)
- $\sigma_{extrapol.} \lesssim 1 \mu\text{m}$ avec e^- (3 GeV, DESY)
- 2 étapes :
 - ◇ 2007: capteurs à signaux analogiques
 - ↳ télescope mis en service \rightarrow déjà exploité
 - ◇ 2008: capteurs à signaux numérisés avec \emptyset intégrée
 - ↳ temps de lecture $\sim 100 \mu\text{s}$

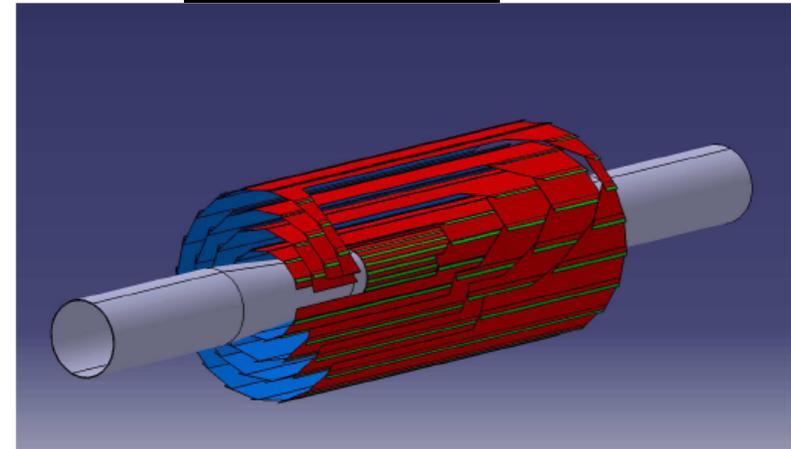




M. Winter et al.

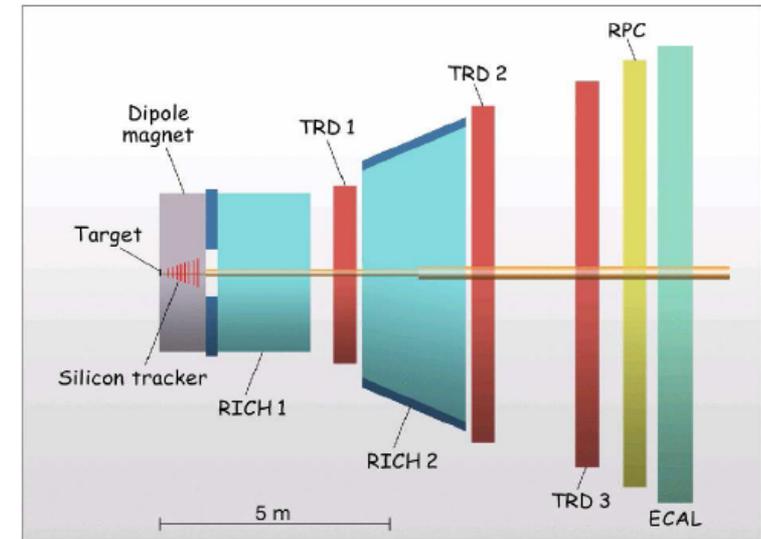
■ Détecteur de Vertex pour l'ILC

- 5–6 couches cylindriques (+ disques ?) : $\gtrsim 3000 \text{ cm}^2$
- 300–500 millions de pixels (20–35 μm pitch)
- temps de lecture ~ 25 (L0), 50 (L1) & 100 (L2-4) μs
- 1er prototype d'échelle complète $\gtrsim 2010$



■ Détecteur de Vertex pour l'exp. CBM (FAIR/GSI)

- 2 plans rectangulaires : $\sim 500 \text{ cm}^2$
- 150 millions de pixels (pitch $\sim 20 \mu\text{m}$)
- temps de lecture $\sim 10 \mu\text{s}$

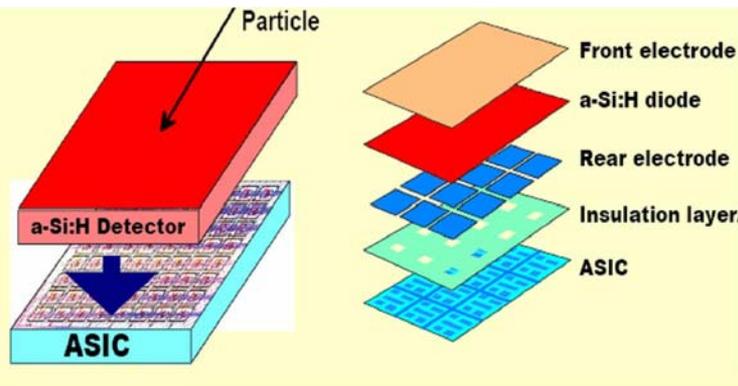


Thin Film on ASIC (TFA) technology

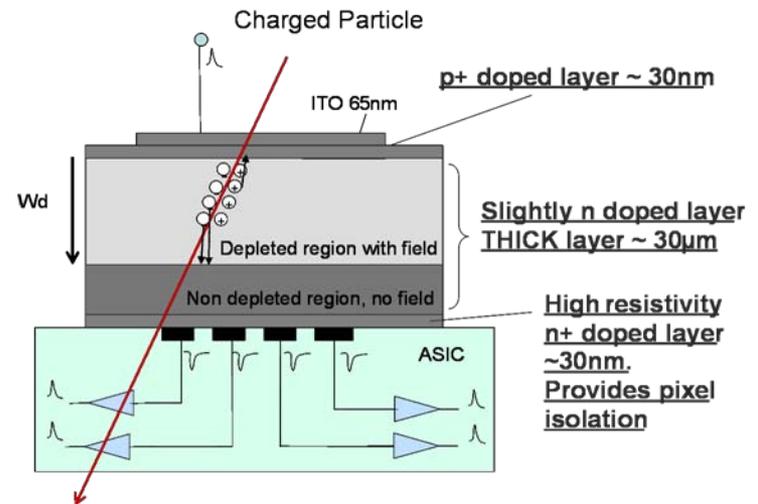
P. Jarron, M. Depeisse et al. CERN

Novel solid state detector technology :

- Deposition of n-i-p a-Si:H films on top of the integrated circuit



TFA Concept



“Thick” TFA sensor cross section

LHC-SLHC Upgrades: quelques exemples

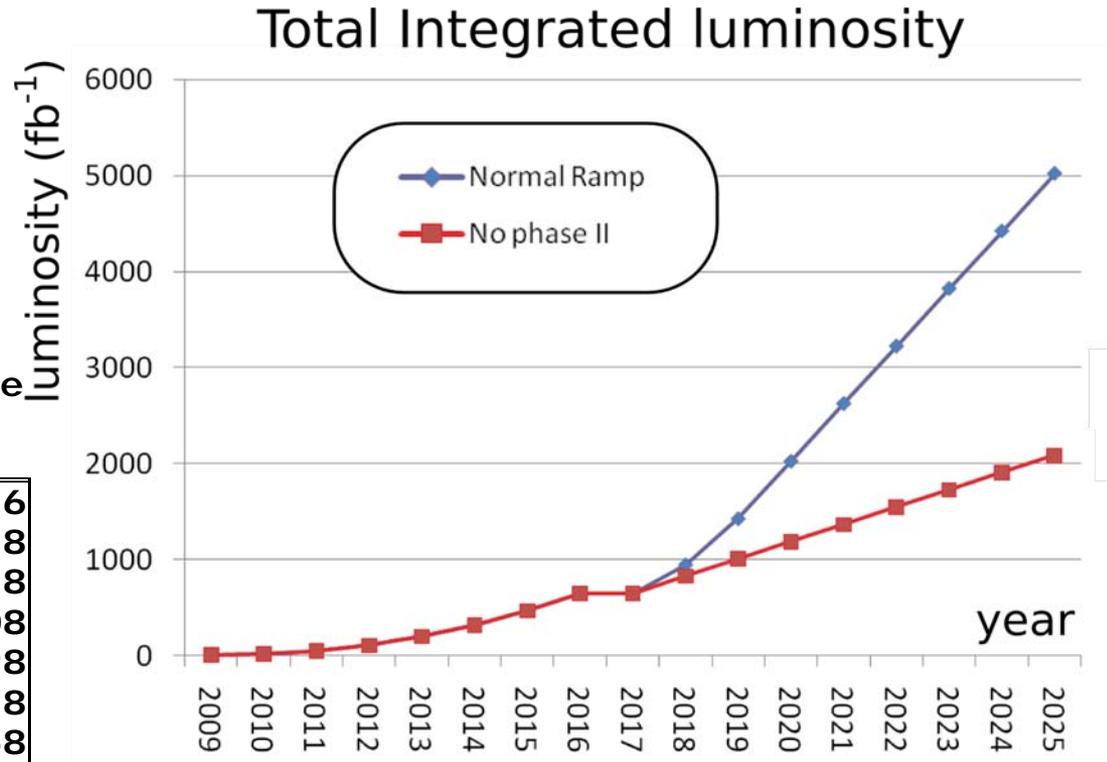
Tracker CMS

- **Si strips**
- **Pixels**

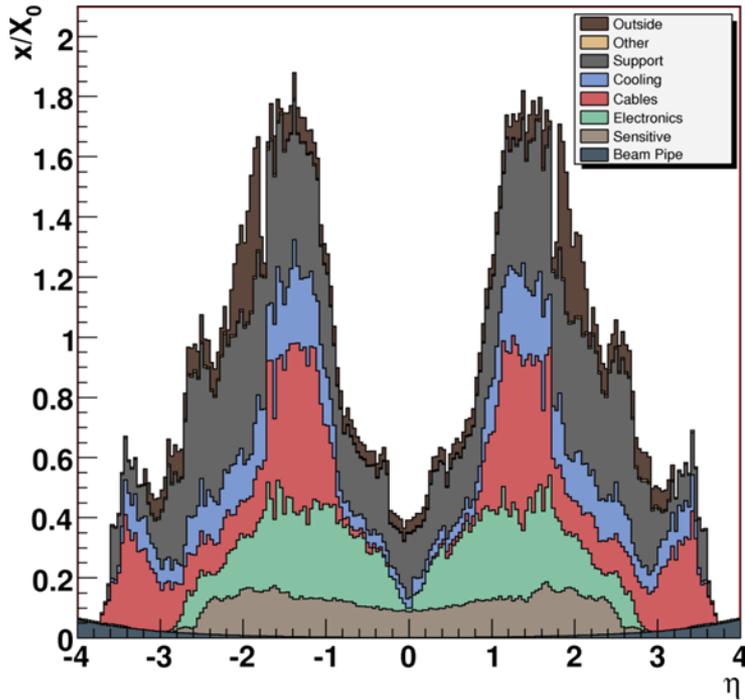
Augmentation de Luminosite @ LHC-SLHC

Pixels morts après 3 ans ?
 Si Strips après 10-12 ans
 Si 10 x L en ~2018-2020
 → Upgrades phase I
 et phase II

Year	Peak Lumi (x 10 ³⁴)	Annual Integrated (fb ⁻¹)	Total Integrate d (fb ⁻¹)
2009	0.1	6	6
2010	0.2	12	18
2011	0.5	30	48
2012	1	60	108
2013	1.5	90	198
2014	2	120	318
2015	2.5	150	468
2016	3	180	648
2017	3	0	648
2018	5	300	948
2019	8	420	1428
2020	10	540	2028
2021	10	600	2628
2022	"	"	"



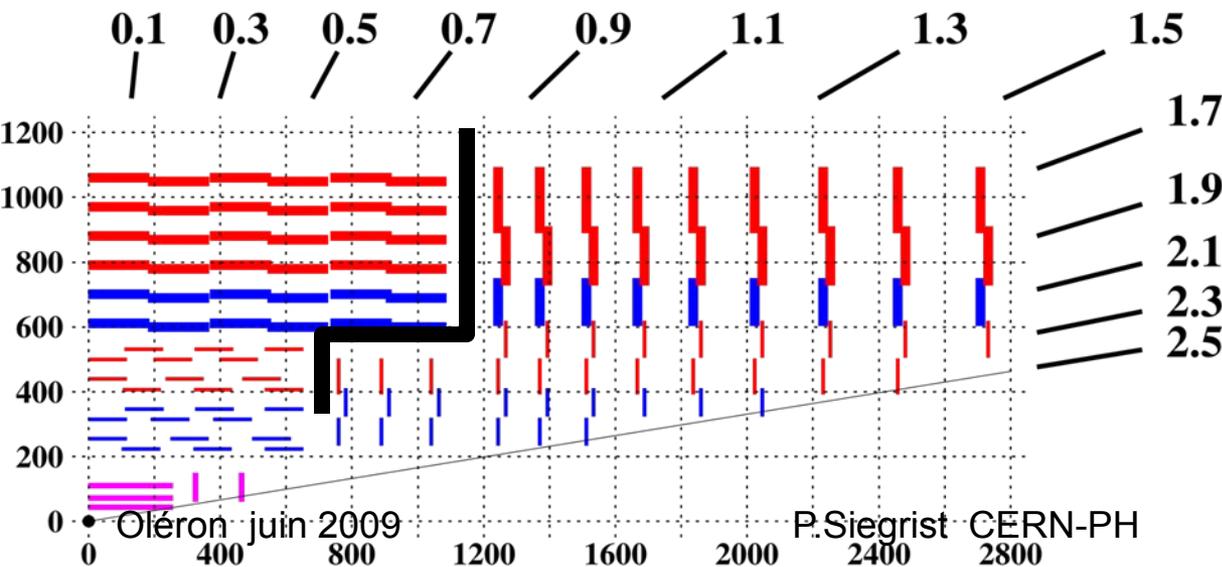
Garoby LHCC July 1, 2008



Trop de matériel dans le Tracker Si de CMS ?

D. Abbaneo CERN-PH

Le pic à $\eta=1.5$ est dû principalement aux câbles (alim. électronique FE) et tuyaux (cooling).
 + les câbles Cu(courant) que les tuyaux (cooling et puissance)



Ce problème va augmenter si on garde les mêmes câbles et on double le courant $\rightarrow P_{\text{câbles}} \times 4$

Solutions Possibles...

1. Amener le courant à + haute tension
 - Alim série (compliqué si différentes tensions, fiabilité,...)
 - Convertisseur DC-DC, radiations?

2. Refroidissement au CO₂ (Evaporative cooling)
 - Nouveaux modules Si + résistants aux radiations
 - Nouveaux modules Si + segmentés (strips + courts)
 - Nouveaux modules Si avec pads pour trigger

Horizon 2018-2020 ?
Encore beaucoup de travail en vue...

Upgrade CMS pixels

Pourquoi?

- Dommages dus aux radiations sur pixels n-on-n

Design pour survivre $\sim 300 \text{ fb}^{-1}$ (5 ou 6 ans après t_0 ou 3 ans @ pleine Lumi)

- Système de lecture prévu à l'origine pour $r = 7 \text{ cm}$ @ 10^{34}

→ Déjà marginal à 4cm

Pour Luminosité: $1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$

Rayon = 11 cm / 7 cm / 4 cm layer

Temps mort @ L1A = 100kHz

0.8%

1.2%

3.8%

→ Le temps mort peut augmenter jusqu'à 16% @ 2×10^{34}

BPIX Options for 2013 replacement/upgrade

Slide from

Jan 2009, R Horisberger

Proposal for

- **4 layer pixel system 4, 7, 11, 16 cm → 1216 full modules**
 - **CO2 cooling based**
 - **Ultra Light Mechanics**
- **BPIX modules with long 1.2m long microtwisted pair cables**
- **Shift material budget from PCB & plugs out of tracking eta - region**
 - **ROC buffers for 1.5×10^{34} and serial binary readout @160 MHz**
- **Serialized binary optical readout at 320 MHz to old, modified px-FED**
- **Recycle & use current AOH lasers → 320MHz binary transmission**
 - **Same FEC's , identical TTC & ROC programming**
- **Keep LV-power supply & push more current through cables**

Upgrade CMS pixels

Solutions proposées

- **Dommages dus aux radiations:**

Sensors with p-type bulk, more rad-hard
Submission with HPK, expected delivery early
next year (2009)

- **Temps mort de lecture**

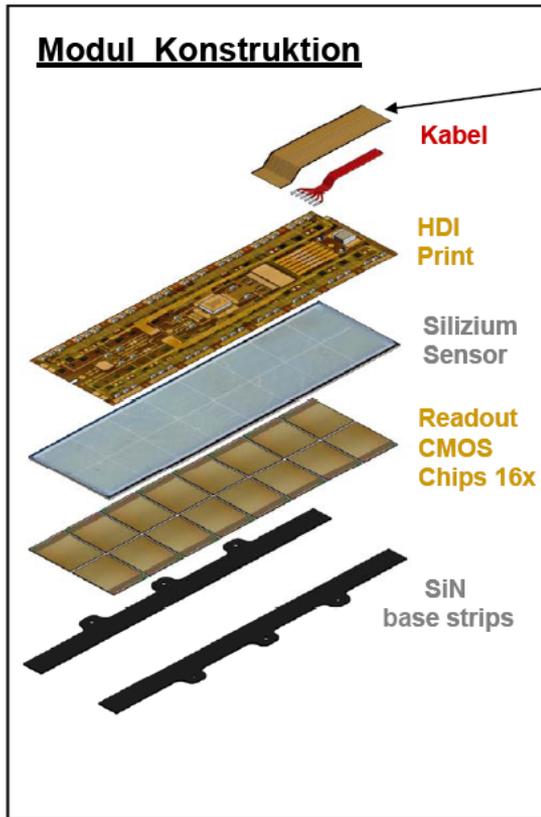
OLD

0-suppressed analog
coded data readout at
40MHz

NEW

0-suppressed serial
binary data readout at
320MHz, same data
structure

Weight of BPIX module



2008 BPIX

Incl. TBM & HV cap	0.34 g
thick= 280 μ m	0.86 g
thick=175 μ	0.52 g
	0.48 g
Total :	2.20g

2013 BPIX

replace with 1.2m long μ -twisted pairs

	0.28 g	without HV cap
	0.86 g	
	0.23 g	t=75 μ m
	0.0 g	no strips
Total :	1.36g	

BPIX modules with 75 μ thinned down ROC's successfully fabricated !

B Pix Total

3921g

1267 g

factor 3.1 down

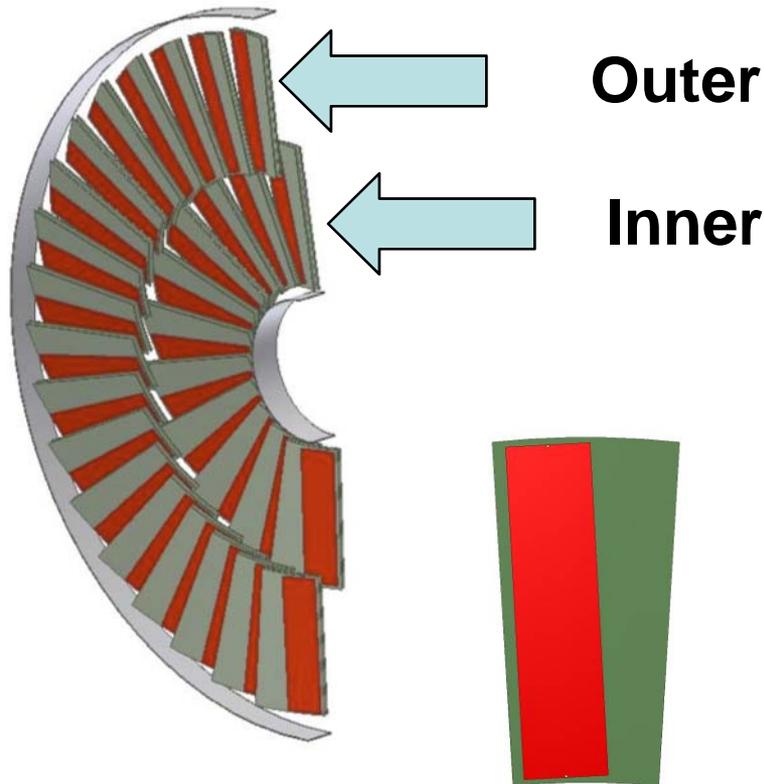
FPix Phase 1 Upgrade Plans

- Baseline: 3 disks in each endcap
 - Layout:
 - Current detector has 7 module types and panels placed between $r=59.7\text{mm}$ to 144.6mm (total 84 modules per half disk or 540 ROCs)
 - Upgrade detector: arranged modules radially; one module type (2x8) placed between $r=45\text{mm}$ to 161mm (total 56 to 60 modules per half disk or 896 to 960 ROCs)
 - Modules divided into an outer ring of 34-36 modules and inner ring of 22-24 modules
 - Both outer and inner assemblies contains identical blades with 2 plaquettes (1 plaquette placed on each side of a substrate).
- CO_2 cooling ; use thin-walled SS tubing 316 L and the size is tentatively chosen (1.638 mm OD, 1.435 mm ID) based on getting a continuous loop providing enough cooling power for each blade assembly.
- ultra light weight mechanical support and with cooling tube (aim at material reduction of about a factor of 2)

Simon Kwan – Fermilab June 2009

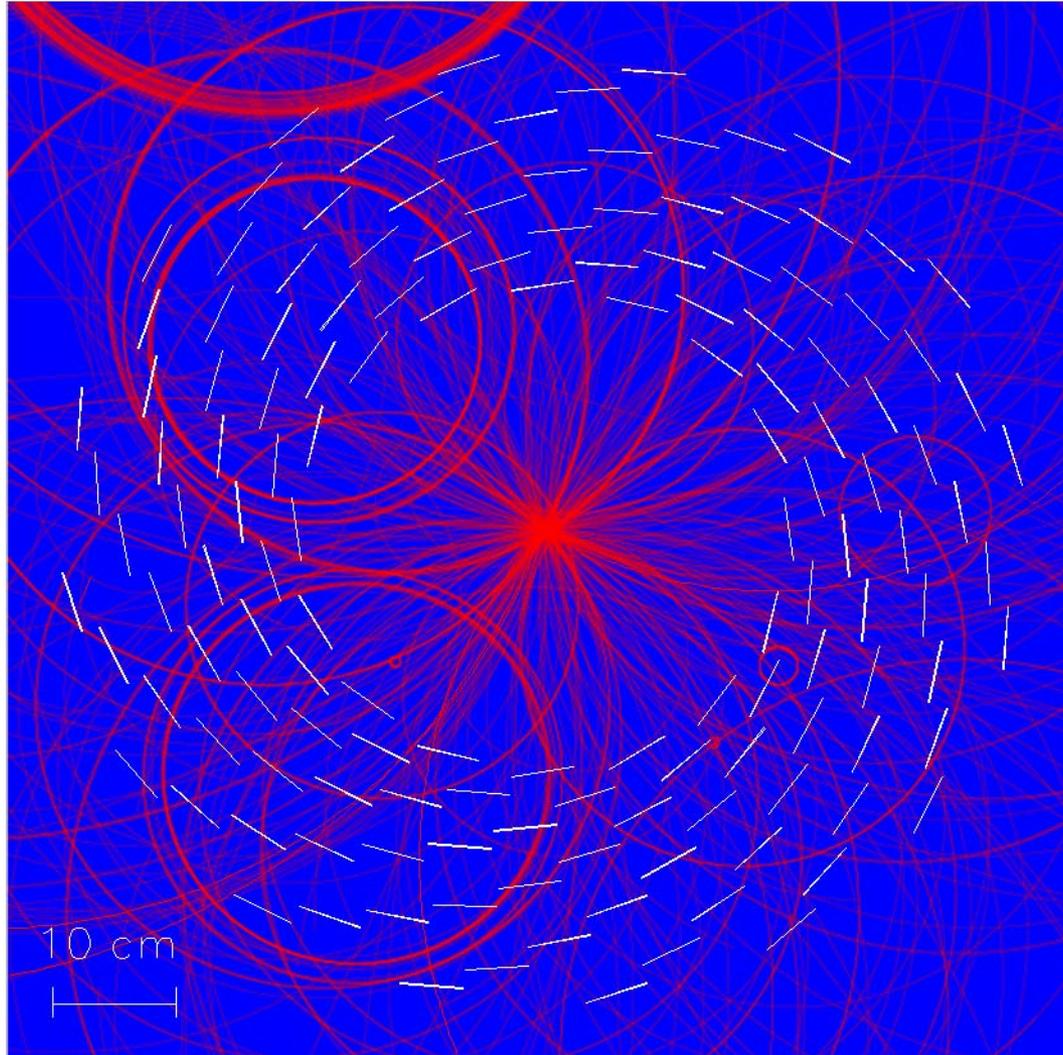
Upgrade Design for FPIX

MODULE LAYOUT



- 12 identical half-disks
- only 2x8 modules
- One 2x8 module placed on each side of a substrate for all outer and inner radius blades
- Substrate uses Thermal Pyrolytic Graphite – material with excellent in-plane thermal conductivity

Puzzle

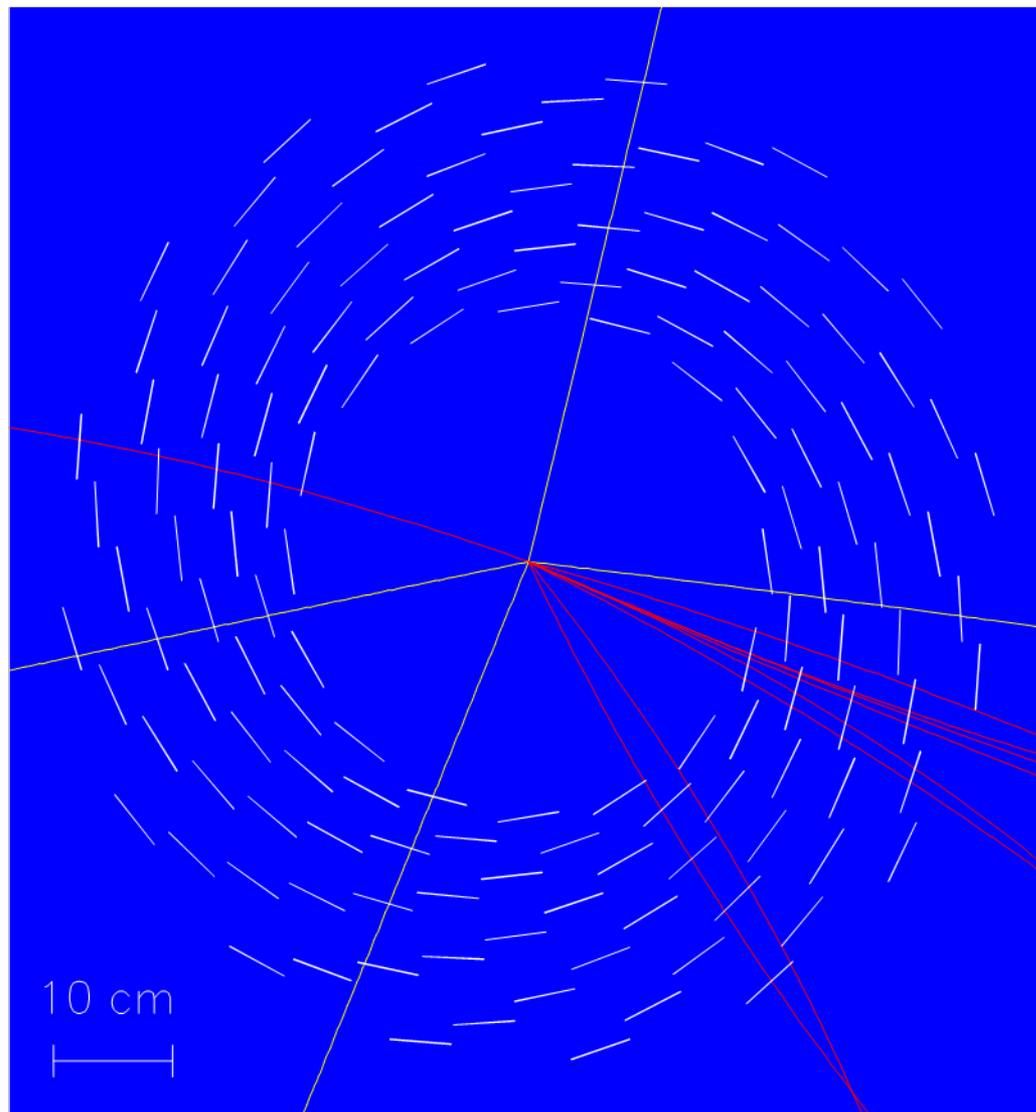


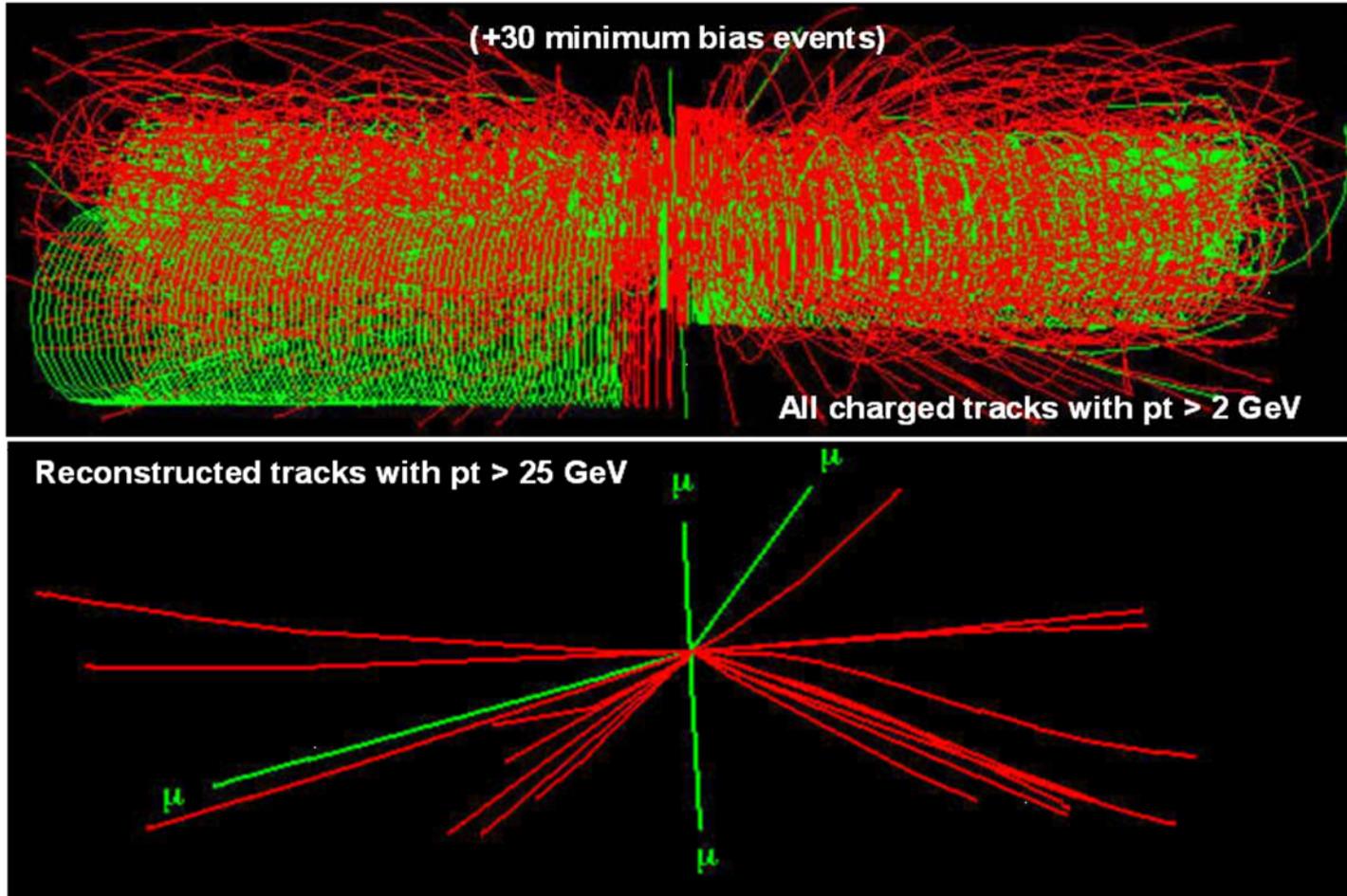
D. Barney

Find 4 straight tracks.

Answer

Make a “cut” on the
Transverse momentum
Of the tracks: $p_T > 2 \text{ GeV}$





Conclusion

- Les Détecteurs de trace ont considérablement évolué en performances et en... complexité!
- A l'avenir vu le type de machines à démarrer ou annoncées, les détecteurs de traces (et ceux qui les exploitent) n'auront pas la vie facile...