

Detecteurs de traces

Er

Identification de Particul



Ça va pas être facile

Introduction

Détecteurs à Traces vs Compteurs

- Longtemps la physique des particules fut divisé en 2 groupes de physiciens
 - **Bullistes**
 - Exploratoire : on enregistre tout ce qui vient
 - Photos : compréhension de la topologie des événements
 - Développement des premiers logiciels de reconstruction de traces
 - Origine de la cernlib (mathématique/physique)
 - **Électroniciens**
 - Comptaient les particules, premières études statistiques
 - Compteurs à Scintillation, chambres à fils
 - Mise en place d'un déclenchement (« trigger ») pour ne conserver que les événements intéressants
- **Aujourd'hui on fait des photos (électroniques) et on compte les particules**



Introduction

Types de détecteurs (à traces ?)

- Plaque photographique
 - historique
- Gaz
 - compteur Geiger, chambre à fils, TPC, TRT, MSGC, micromegas
- Liquide
 - Chambre à bulles (courant faible neutre cern)
- Solide
 - Silicum, Scintillateur

Principe

- Ionisation du milieu:
 - Détecter le passage d'une particule chargée en mesurant la charge totale (e^- +ions) produite par l'ionisation du milieu

1896 - 1897. Sulfate d'uranyle d'oxygène et de potassium.
Papier noir - Couche de laiton mince -
Exposé au soleil le 27. et à la lumière diffuse le 28. -
Résultat le 29. -

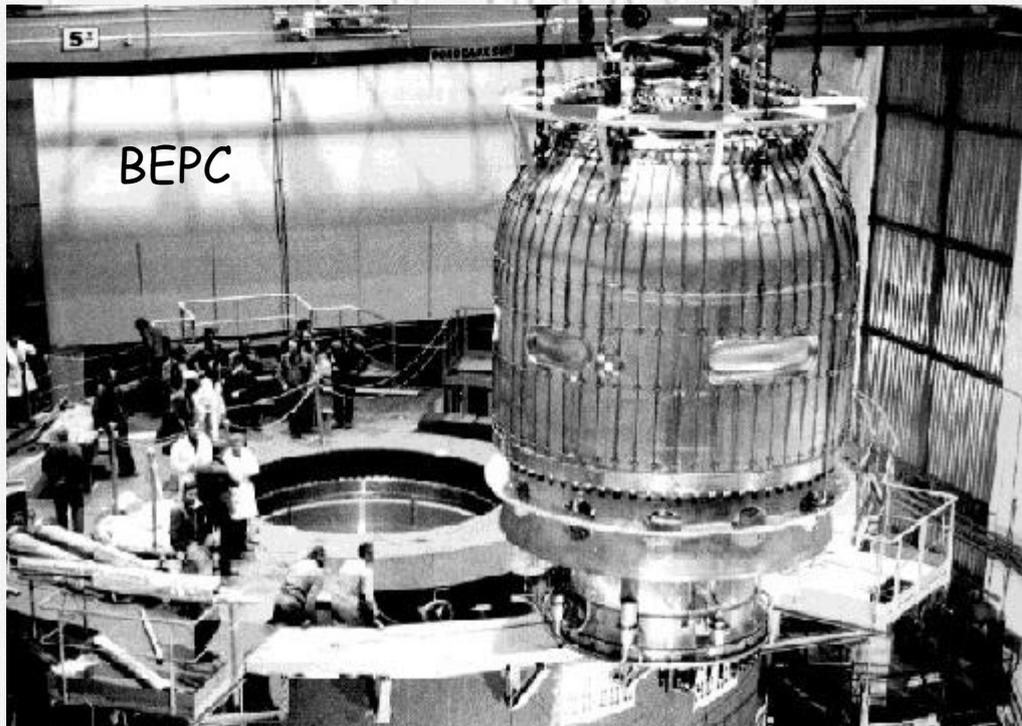
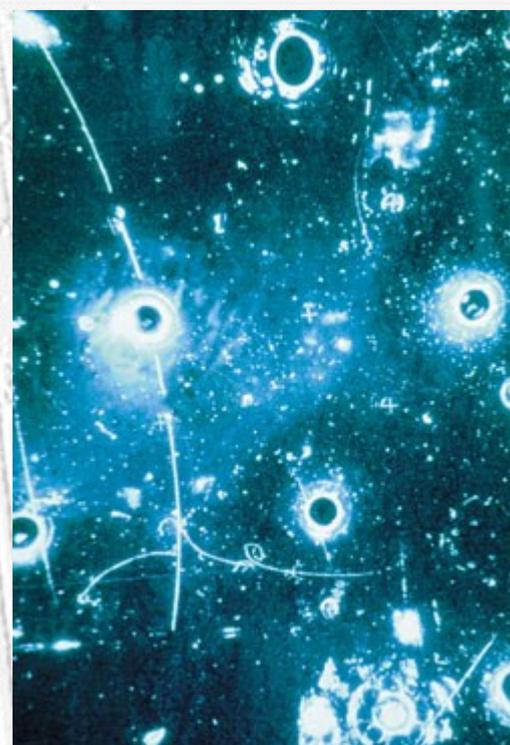


Antoine Henri Becquerel

Détecteur de traces : **Liquide**

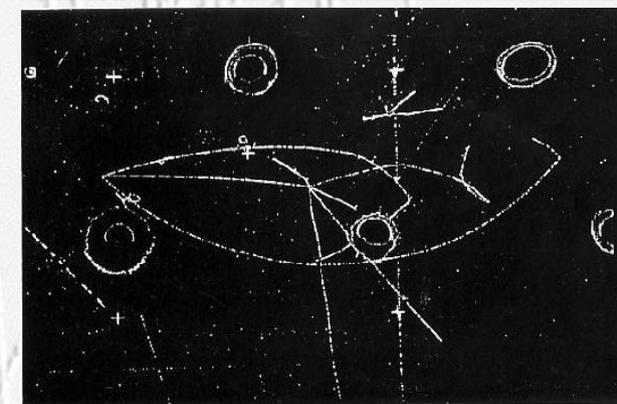
Chambre à bulles

- C.Glaser 1952
- Gargamelle: 1973 découverte des courants faibles neutres
 - Phase liquide, proche phase gazeuse
 - Pression de 1.3 à 4 atm (temp. $\sim 24\text{K}$) : détente
 - Au passage des particules des bulles se forment: photo
 - 4 m de long, diamètre de 2 m, 1000 tonnes, 18 tonnes de fréon liquide

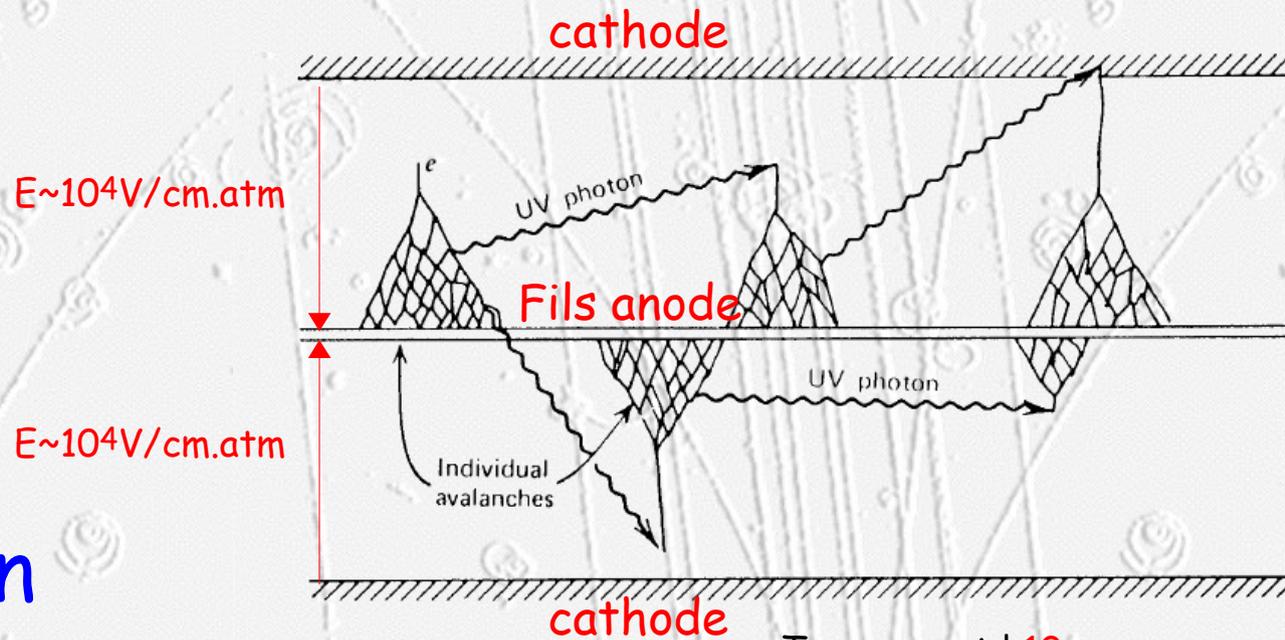


reconstruction:3D !

- scanneuses
- programmes



Détecteur de traces : **Gaz**



Principe : Ionisation

- H.Geiger-Muller 1928
- Électrons supplémentaires :
 - $n = n_0 e^{\alpha(E)x}$
 - α coeff. Townsend dépend de E ou de r (inversement prop. à λ)
- Au delà de 10^8 électrons il y a étincelle
- On peut compter les particules (pas de mesure : position, énergie,...)
- Dans la suite ce principe est conservé et amélioré

Temps mort ! **10ms**,
Aucun signal ne peut être
détecté pendant ce temps

Détecteur de traces : **Gaz**

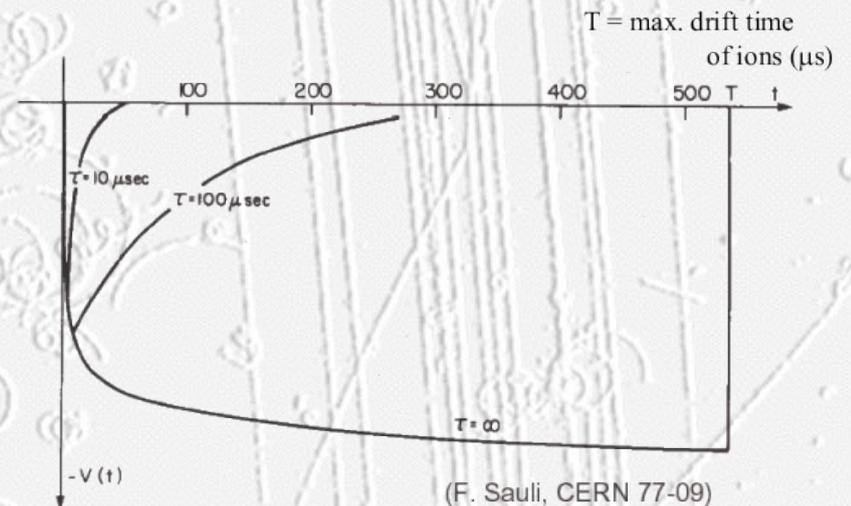
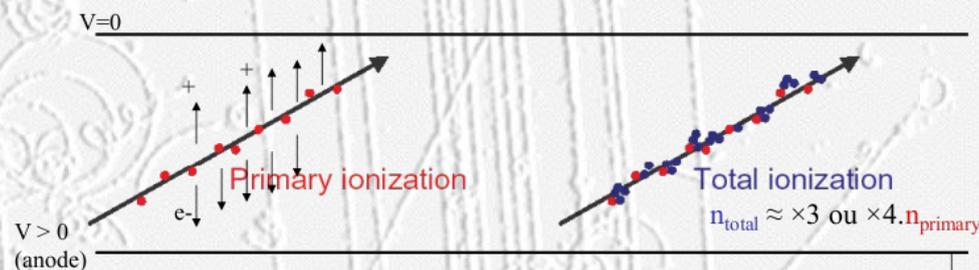
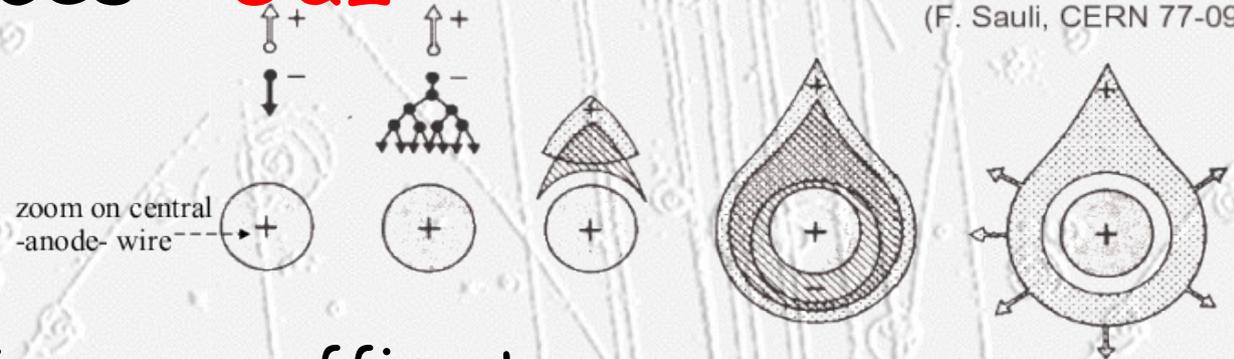
(F. Sauli, CERN 77-09)

Ionisation

- Primaire, puis secondaire : pas suffisante pour une mesure
- Champ électrique => Avalanche

Avalanche

- Le champ électrique accroît le nombre d'e- arrachés au milieu
- On mesure la variation de potentiel induite par la dérive des ions

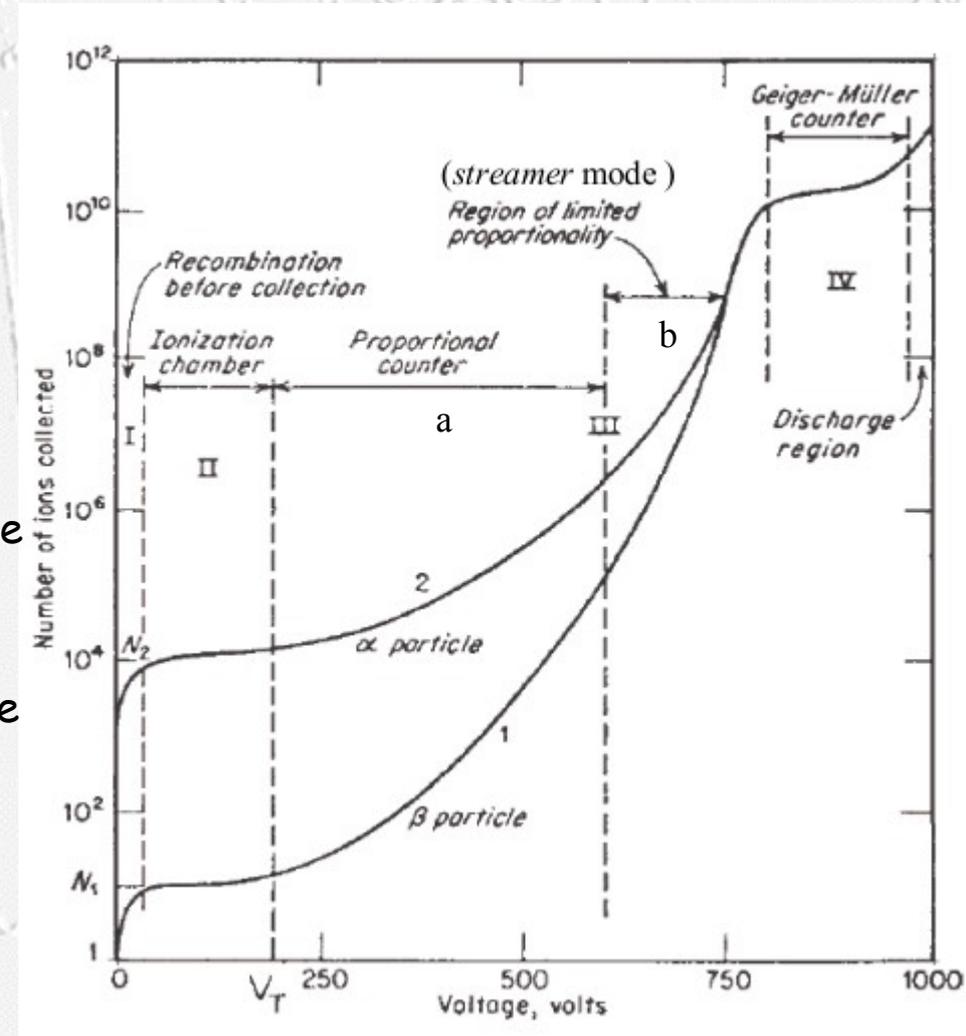


(F. Sauli, CERN 77-09)

Détecteur de traces : Gaz

Gain vs Champ Électrique

- I: Tension trop faible: ré-combinaison des paires.
- II: Chambre à ionisation . Collection des charges sans amplification.
- IIIa: mode proportionnel Signal est amplifié et proportionnel à l'ionisation. Le gain va de 10^4 à 10^5
- IIIb: mode « streamer ». Avalanches secondaires induite par l'avalanche principal besoin d'un mélange de gaz avec « Quencher » ou une tension pulsée. Gain $\sim 10^{10}$.
- IV: mode Geiger-Müller . Avalanche dans l'ensemble du détecteur.



Remarque : Pas de champ Électrique, pas d'accélération des e^- \Rightarrow recombinaison

Détecteur de traces : **Gaz**

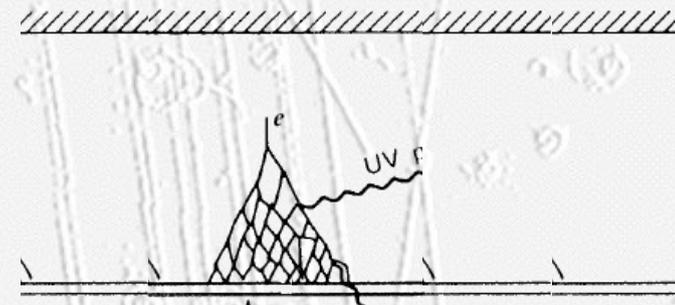
Précision spatiale

- Éviter les avalanches secondaires
- Absorption des photons
- Gaz noble : ionisation MAIS production de UV

Gaz « quencher »

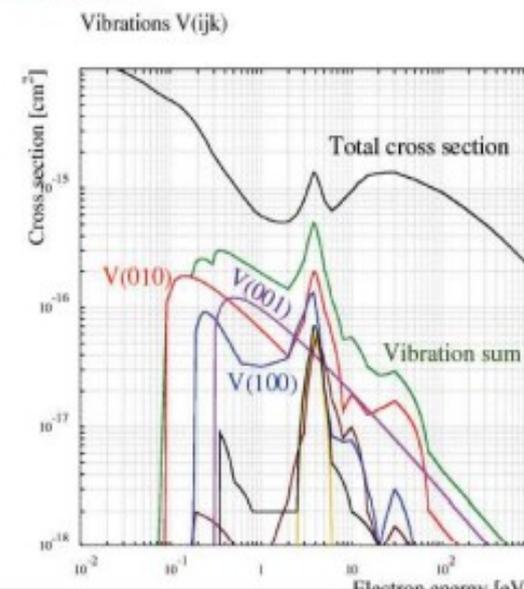
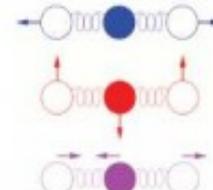
- Gaz Polyatomique (les photons sont absorbés et leur énergie est dispersée par des modes par vibration ou par rotation de la molécule)
 - exemple: méthane CH₄, isobutane C₄H₁₀, éthanol, CO₂
- Pas de solution miracle:
 - Calcul complexe...
 - Doit être testé :
 - F.Sauli, 1977 cern yellow report
- ex : 70% Ar, isobutane 29.6%, Fréon 0.4%

R.Veenhof (Garfield) <http://cern.ch/garfieldpp>



CO₂ – vibration modes

- ▶ CO₂ is linear:
 - ▶ O – C – O
- ▶ Vibration modes are numbered V(ijk)
 - ▶ i: symmetric,
 - ▶ j: bending,
 - ▶ k: anti-symmetric.





15/06/2011

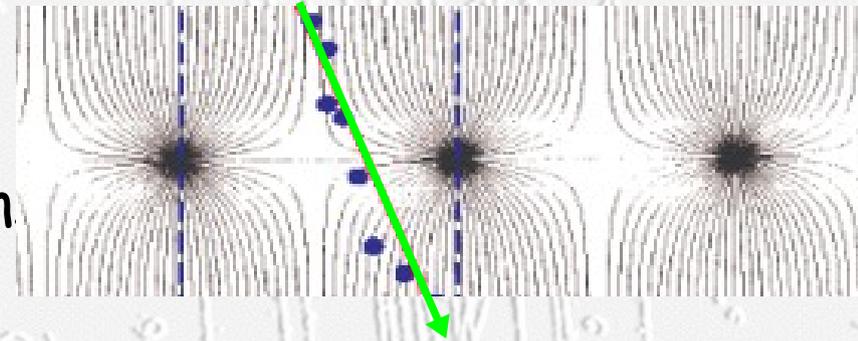
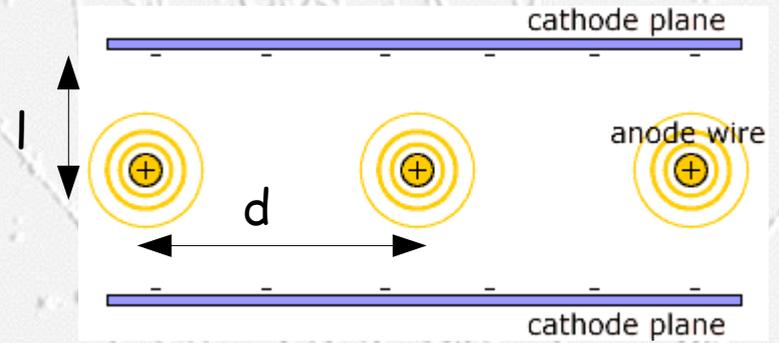
Détecteur de traces/Identification des partic

9/24

Détecteur de traces : **Gaz**

Chambres à fils (MWPC*)

- Charpak 1968
- Mise à plat du compteur proportionnel
- Résolution en temps : 200 ns
- Résolution spatiale $< \text{mm}$
- Mesure du signal sur le fil (rapide n)
- $l \sim 5 \text{mm}$, $d \sim 1 \text{mm}$, $E \sim 50 \text{ V/mm}$



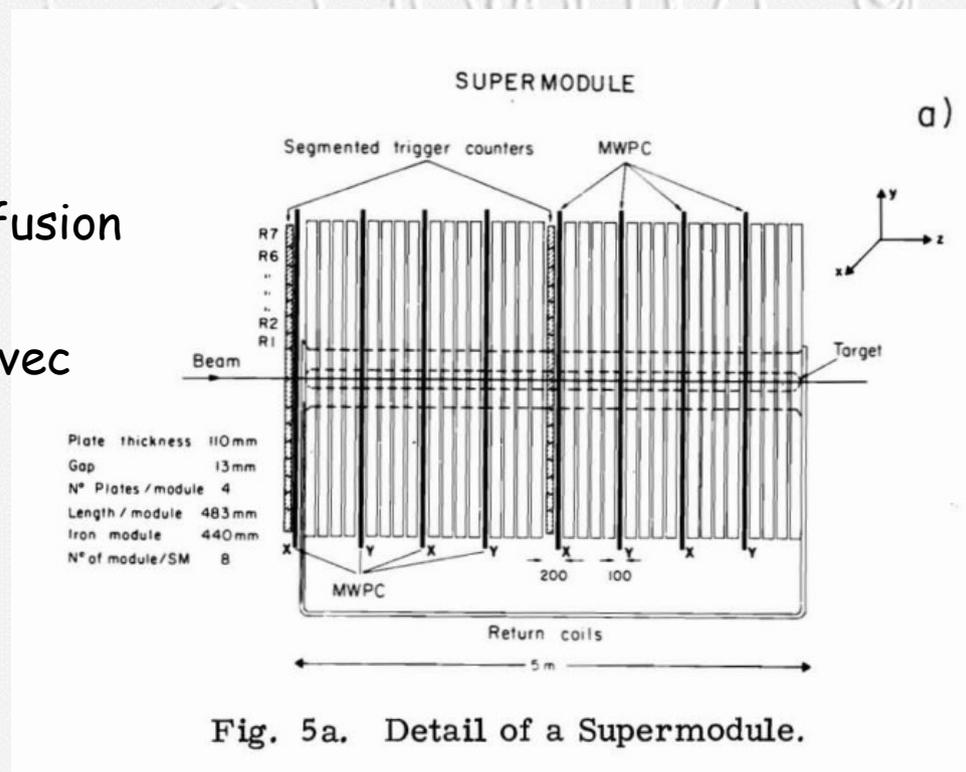
*Multi Wires Proportionnel Chamber

Détecteur de traces : **Gaz**

Chambres à fils

Na4 : mesure de α_s (constant de structure forte)

- Spectromètre à muons :
 - chambre à fils en sandwich dans un aimant à fer
- 10 super modules de 8 (10) chambres à fils
 - soit 80 chambres à fils
 - alternativement X et Y
- Résolution spatiale $< \text{mm}$
 - MAIS le fer de l'aimant induit une diffusion multiple qui délave cette résolution.
 - On s'approche des chambres à bulles avec représentation des traces en 3D



Détecteur de traces : Gaz

Chambres à fils

X

Y

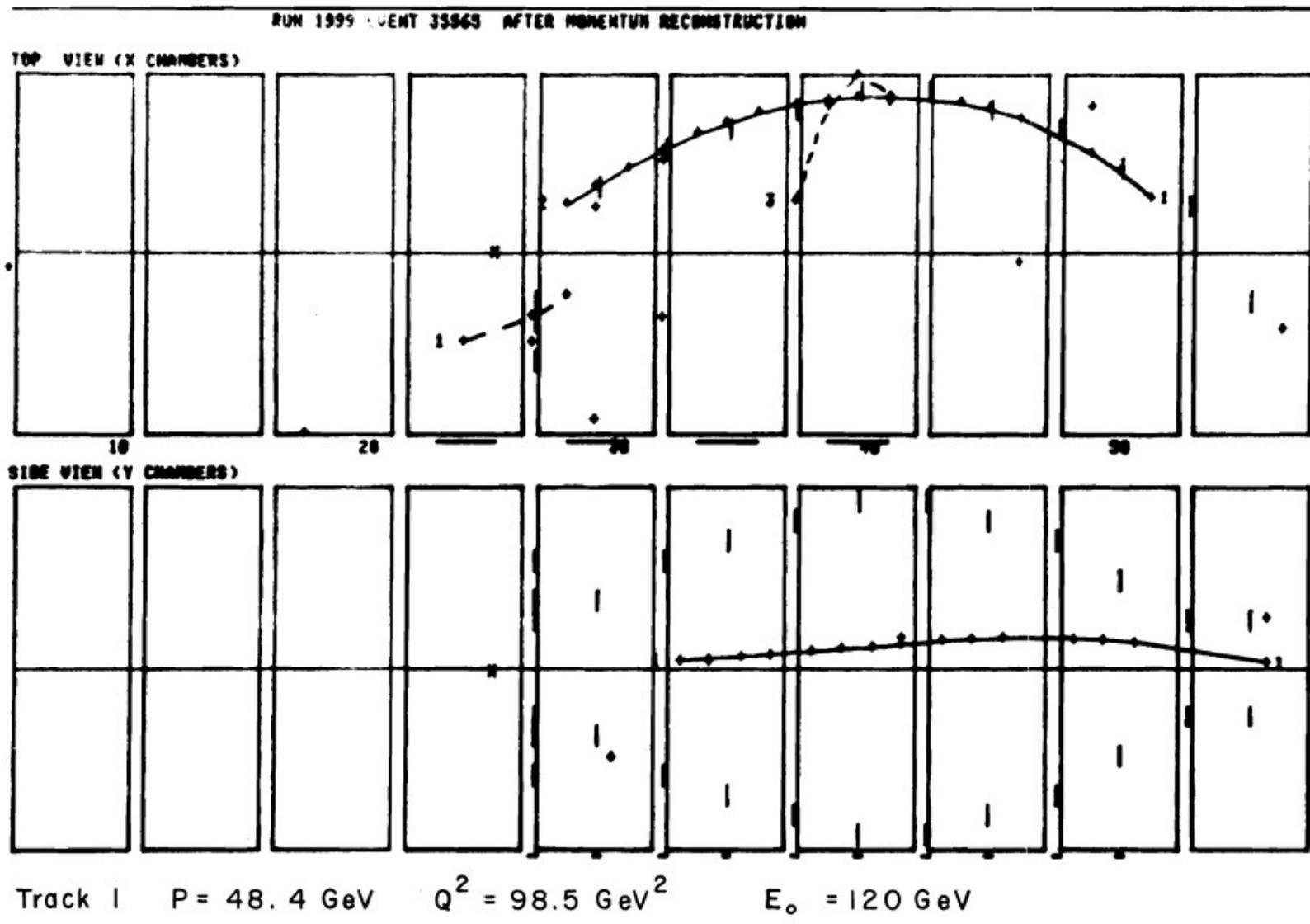
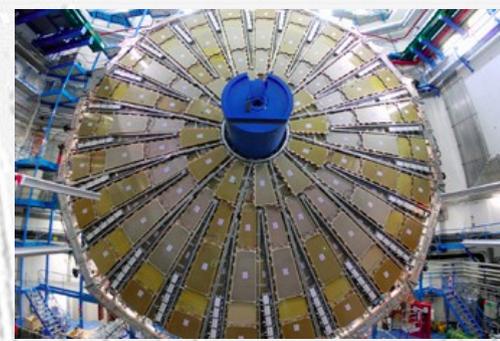


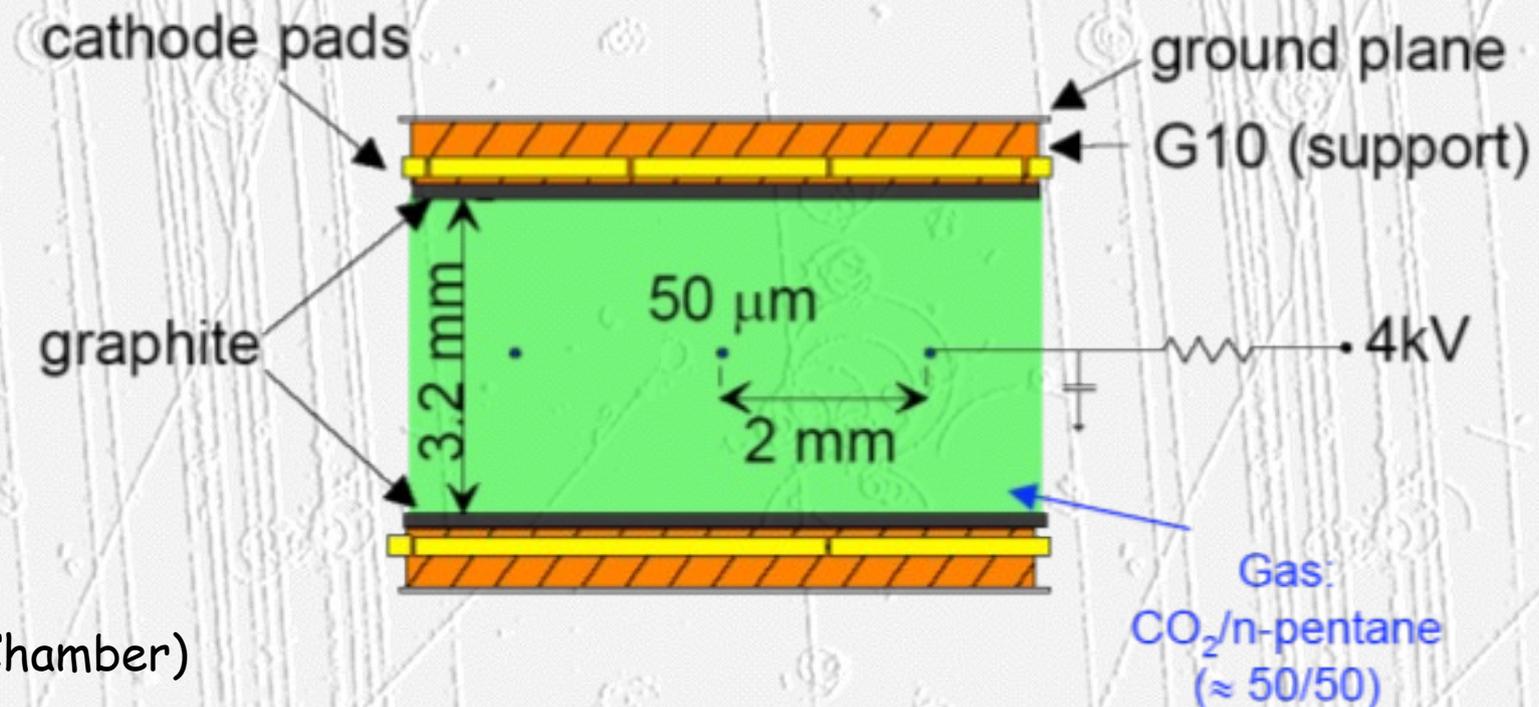
Fig. 14. Example of a deep inelastic muon scattering event at 120 GeV in the NA4 apparatus.

Détecteur de traces : **Gaz**



Chambres à fils

- **Atlas : TGC***
 - Opération en mode saturé (Geiger)
 - Temps de montée très bref (2 ns) : Déclenchement (« trigger »)
 - Accepte des taux de comptage élevés (jusqu'à 10⁶ Hz)

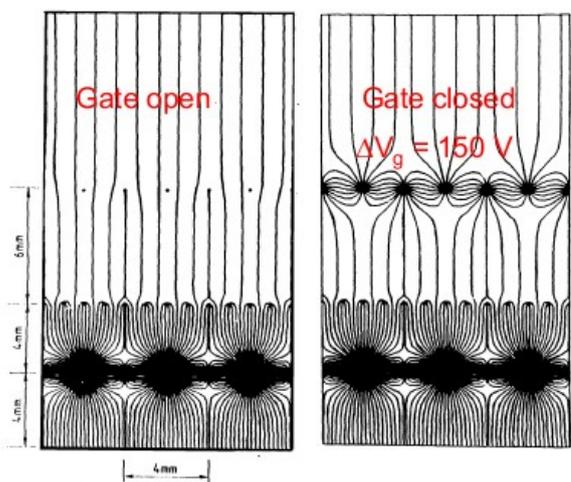


*(Thin Gaz Chamber)

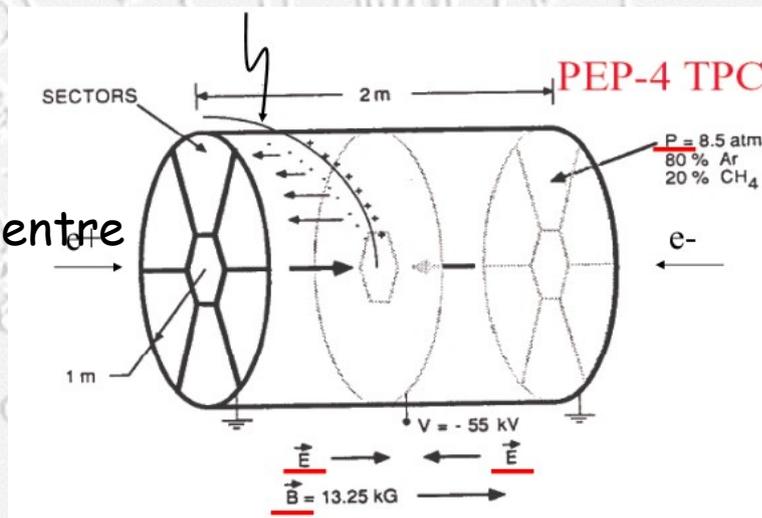
Détecteur de traces : **Gaz**

TPC (Time projection Chamber)

- 1974 LBNL **mesure en 3 dimensions** des Jets
- Mesure du signal sur le fil (donne une direction): 185 fils sur 80cm
- Mesure du signal induit sur la **cathode segmentée** (8mm) (donne une information le long du fil)
- Mesure du temps de dérive => coordonnée le long de l'axe de la TPC
- E//B :
 - Trace + champ magnétique: mesure de l'impulsion
- B=1.5 T, E=150KV/m, Ar-CH4 & P=8.5 Atm
- Contrôle de la vitesse de dérive des électrons d'ionisation ! $\sim 7\text{cm}/\mu\text{s}$
- Résolution spatiale en Z(direction des lignes de champs E & B) $\sim \text{mm}/\text{m}$
 - La dérive des électrons d'ionisation le long des lignes de champs s'élargit avec z
- **Découplage du champ électrique de dérive et du champ électrique d'avalanche**



Pour empêcher les ions de perturber la TPC :
« porte » (150V) fermée entre
2 collisions

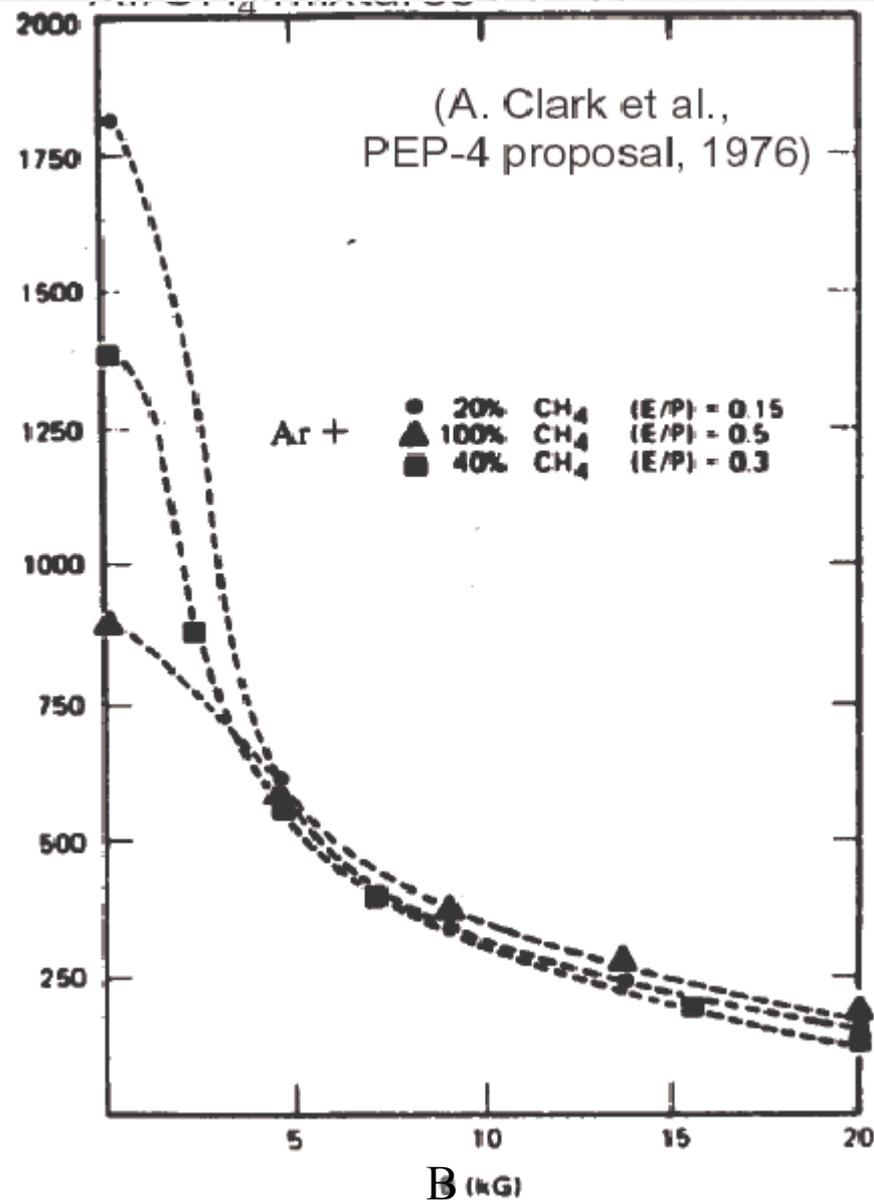


Détecteur de traces : Gaz

TPC

- $E//B$: diffusion transverse réduite facteur ~ 7
- Lorentz focalise les électrons
- le long des lignes de champ électrique/magnétique :
- diffusion transverse réduite

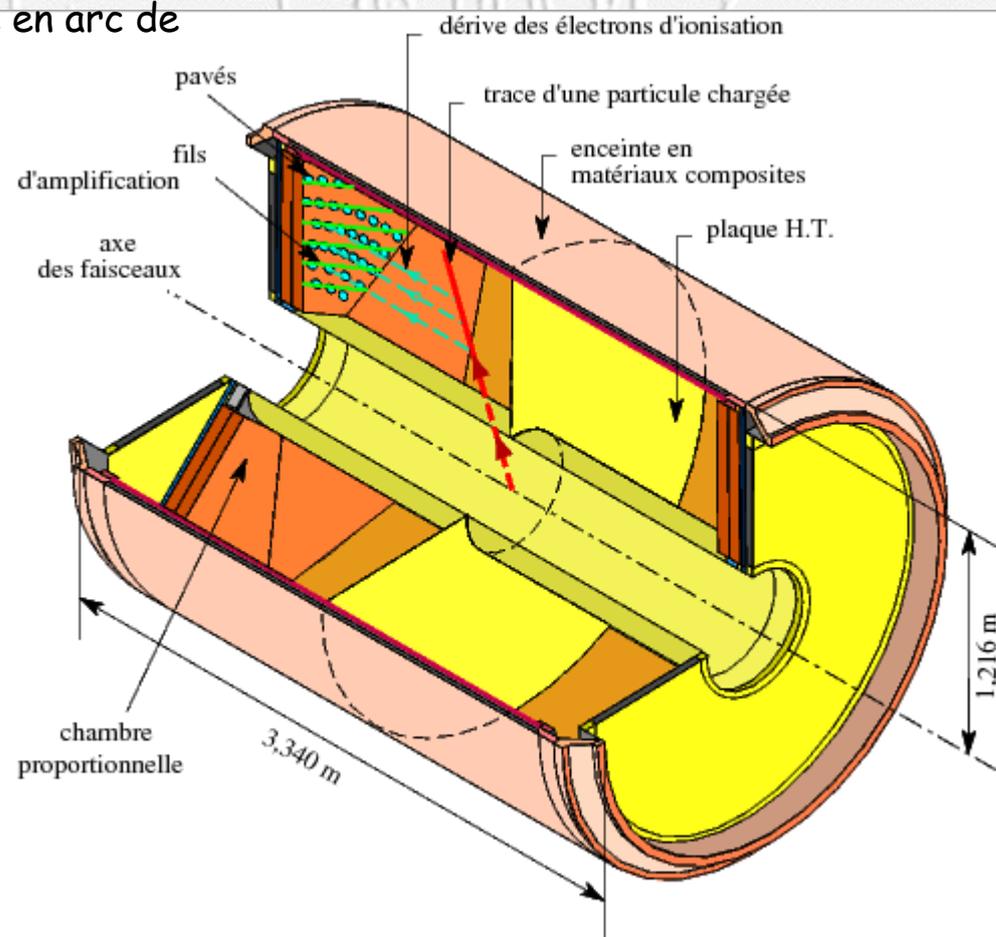
$\sigma(\mu\text{m})$



4. Détecteurs de Traces : TPC

TPC: Delphi, LEP 1992

- Évolution proche, meilleure résolution spatiale
- $B=1.2T, E= 150V/cm, Ar(80\%)-Ch_4(20\%)$ & $P=1atm$
- 27 électrons primaires & secondaires /cm
- $6.7 cm/\mu s$, diffusion transverse $\sim 100 \mu m/\sqrt{cm}$
- 2x 6 secteurs, 192 fils, 16 Pad (cathode segmentée en arc de cercle)
- 16 points tridimensionnels
- $2 \times 1.34 m, 0.325m < R < 1.16m$
- Résolution spatiale : $R_{\phi} \sim 250\mu m, Z \sim 1mm$



4. Détecteurs de Traces : TPC

TPC: Delphi vs Pep4

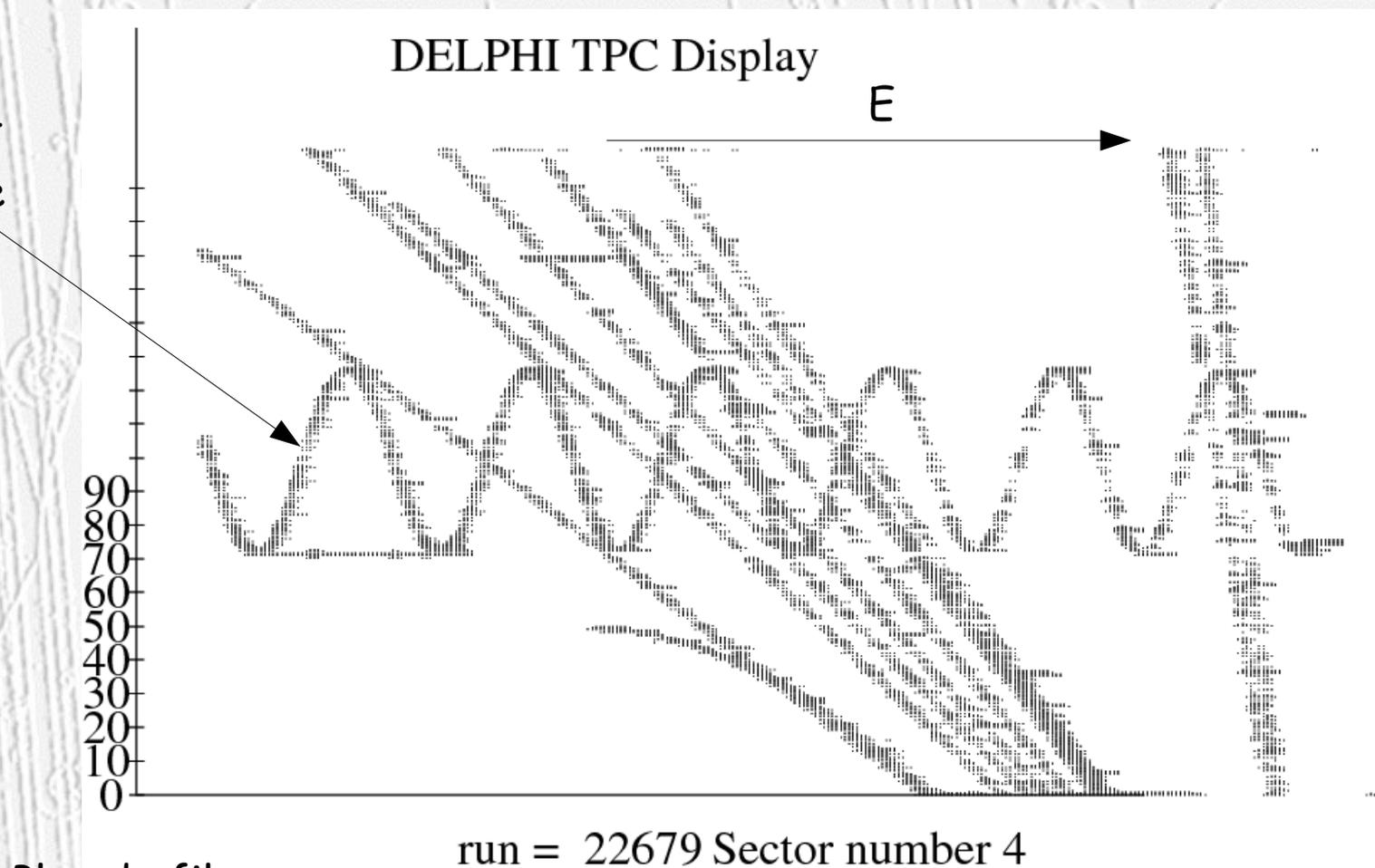
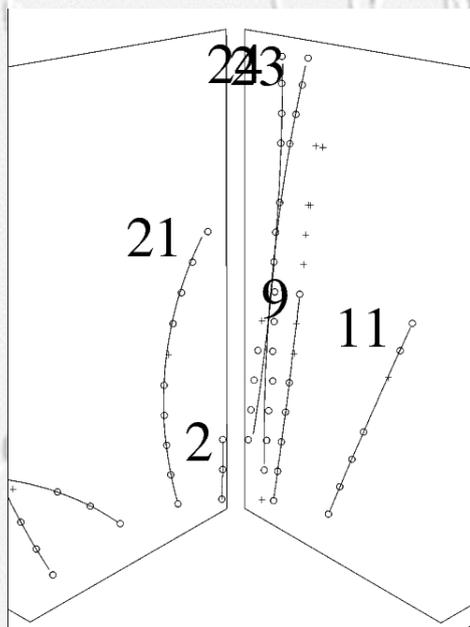
- Pas de différence conceptuelle
- Seul paramètre différent: Pression
 - 1 atm Delphi vs 8.5 atm Pep4
 - l'augmentation de pression a deux effets positifs:
 - plus d'ionisation
 - meilleure mesure de dE/dx
 - mais il y a deux contreparties négatives:
 - la séparation en dE/dx n'est qu'à peine améliorée parce que les courbes se rapprochent
 - Il faut épaissir les parois pour résister à la pression, sans augmenter le nombre de XO: impossible. Donc on ajoute de nombreuses conversions de photons et on perd de la précision sur les traces.

4. Détecteurs de Traces : TPC

TPC: Delphi, Exemple d'événement

- Temps de croisement des faisceaux $22 \mu\text{s}$

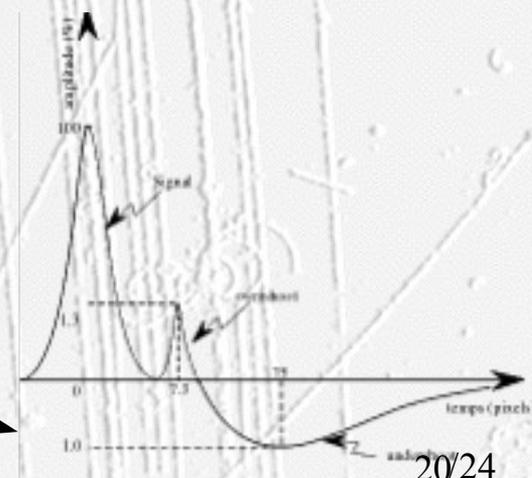
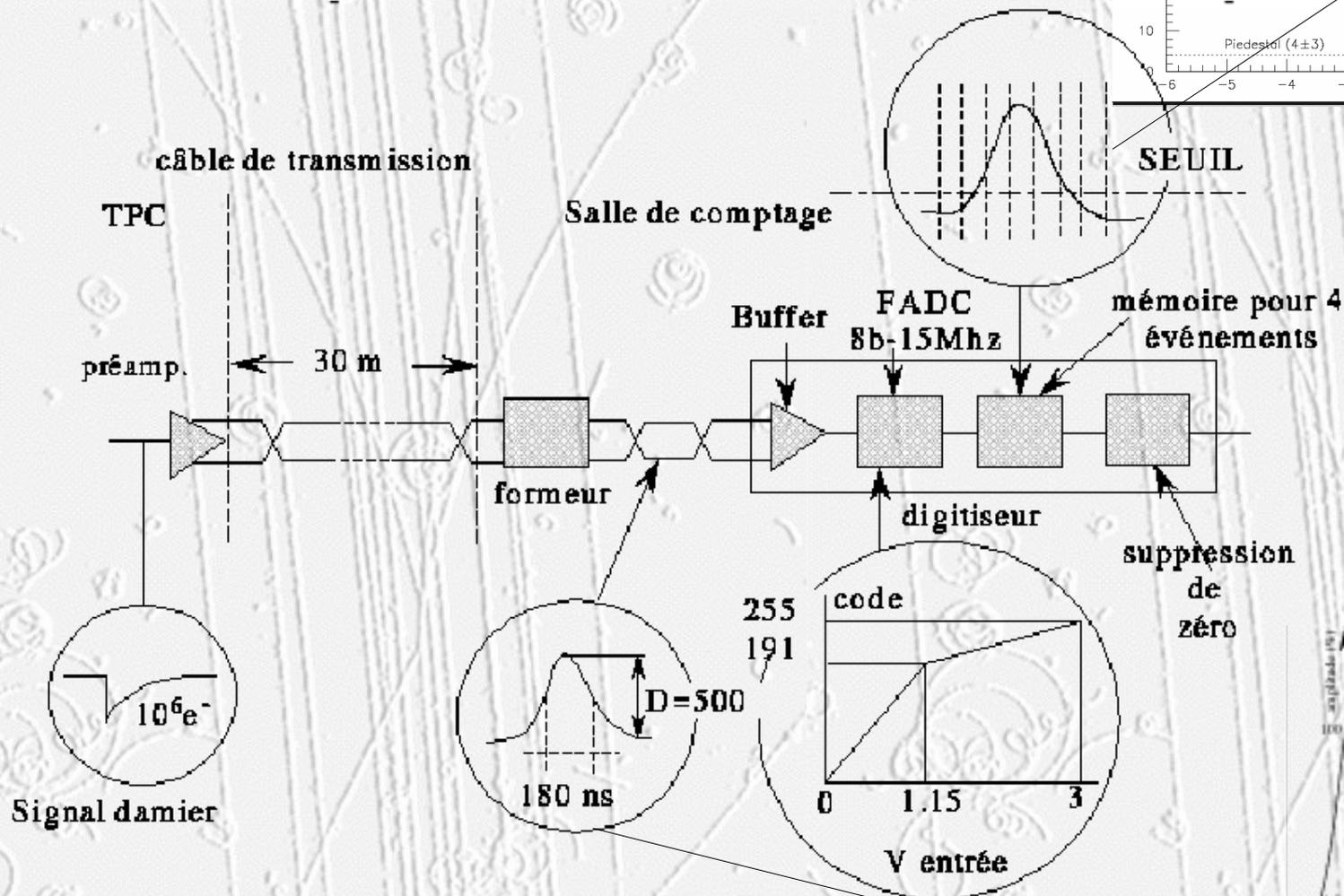
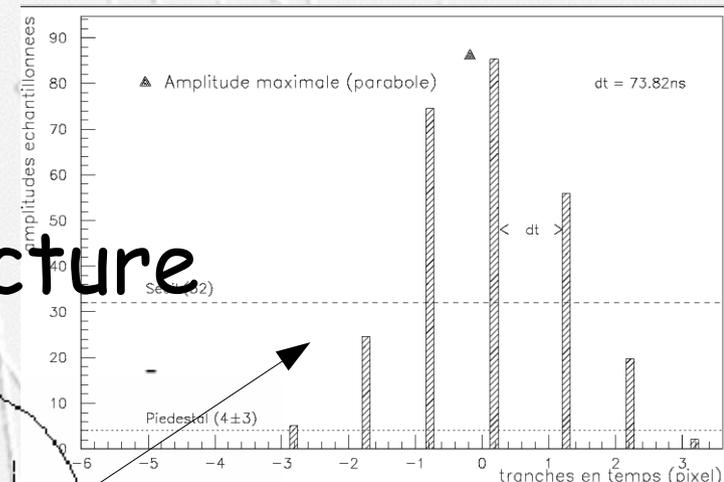
Électron sous l'effet
du champ magnétique



Plan de fils

4. Détecteurs de Traces : TPC

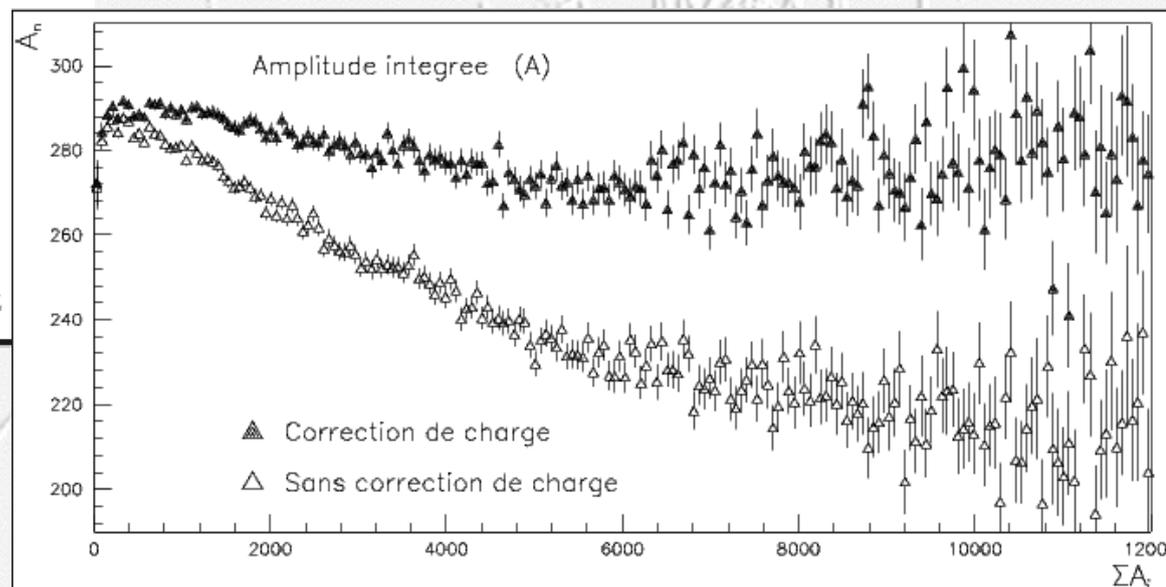
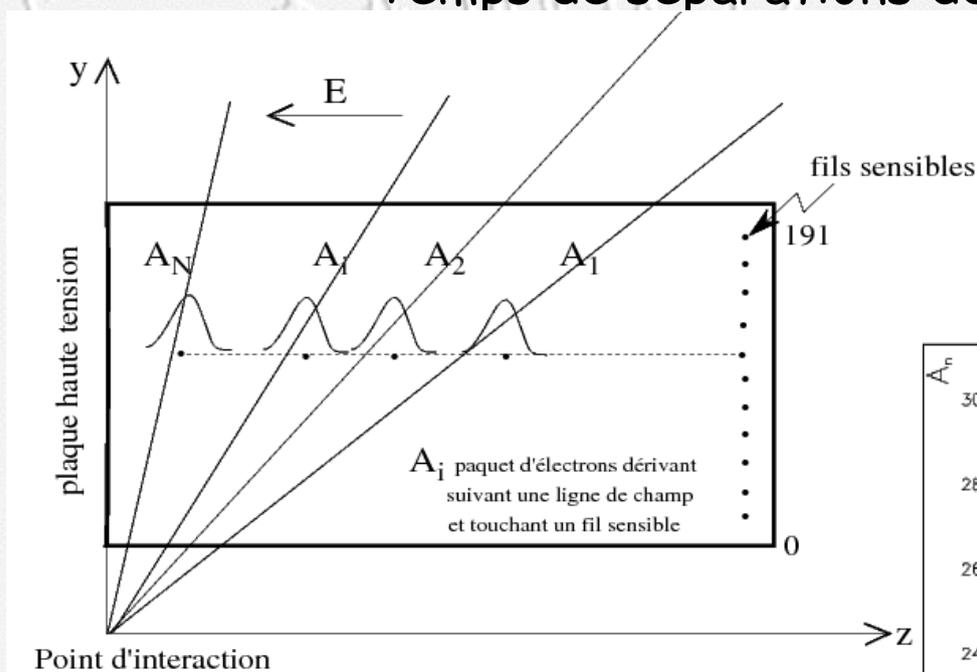
TPC: Delphi, électronique de lecture



4. Détecteurs de Traces : TPC

TPC: Delphi, électronique de lecture

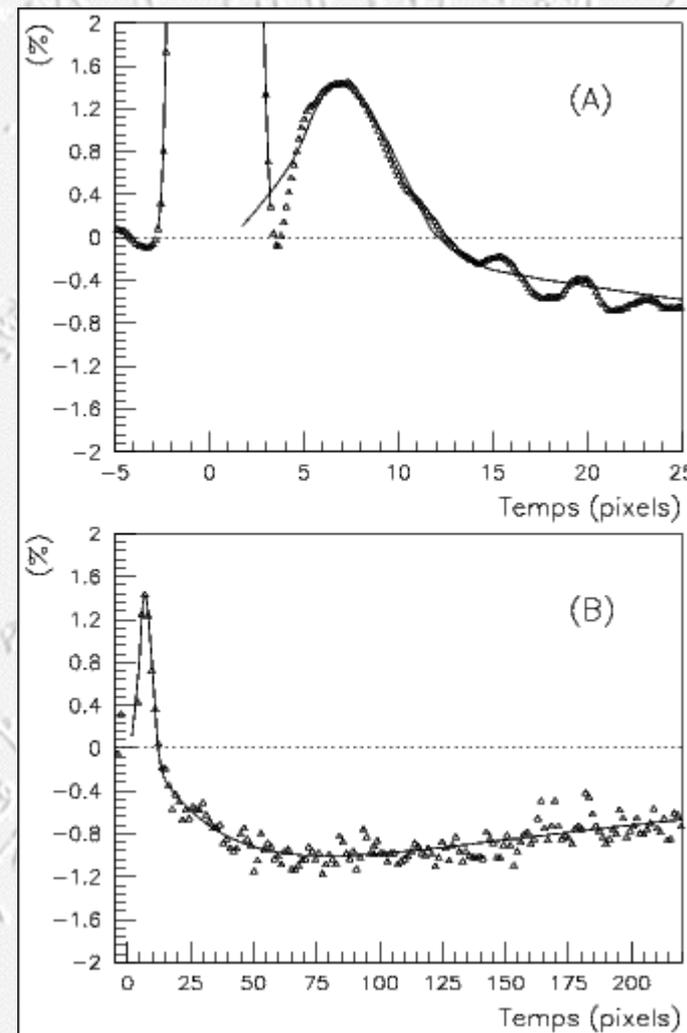
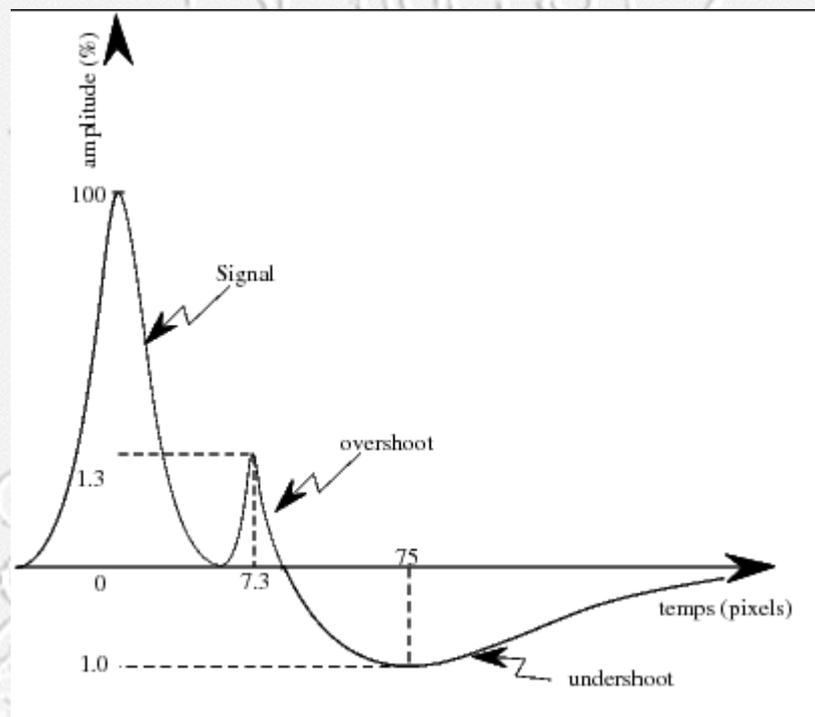
- Temps de croisement des faisceaux $22 \mu\text{s}$
- Temps de séparations des traces $\ll 22 \mu\text{s}$



4. Détecteurs de Traces : TPC

TPC: Delphi, électronique de lecture

- BUG!!!!



4. Détecteurs de Traces : TPC

TPC: Alice Pb-Pb (LHC)

- 5.1m de long (2x 2.5m), 18 secteurs (MWPC)
- diamètre = 5.6 m, volume = 88 m³
- Rayon interne = 0.9 m, rayon externe = 2.5 m
- Nombre de canaux : 577568 (Delphi : 20160)

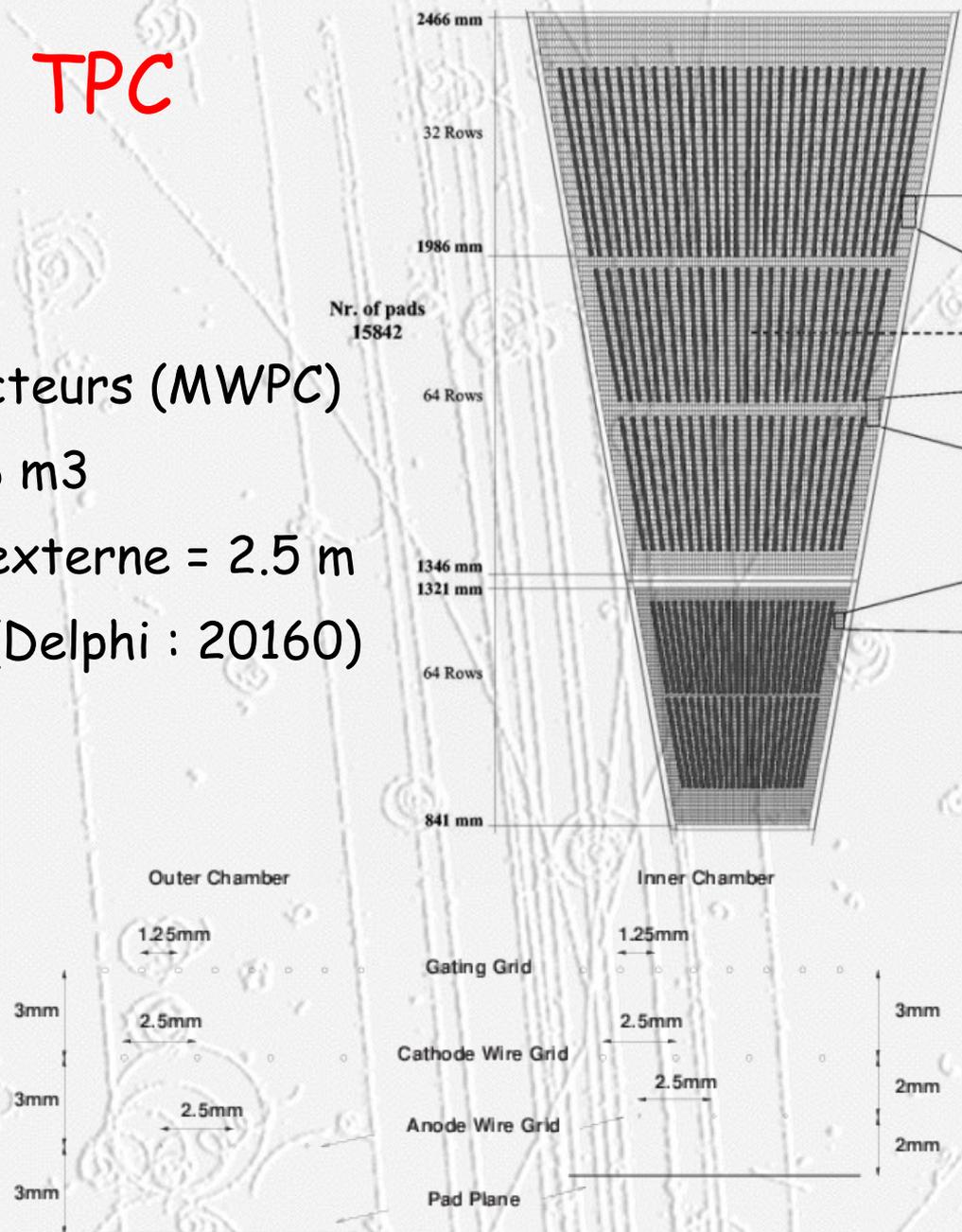
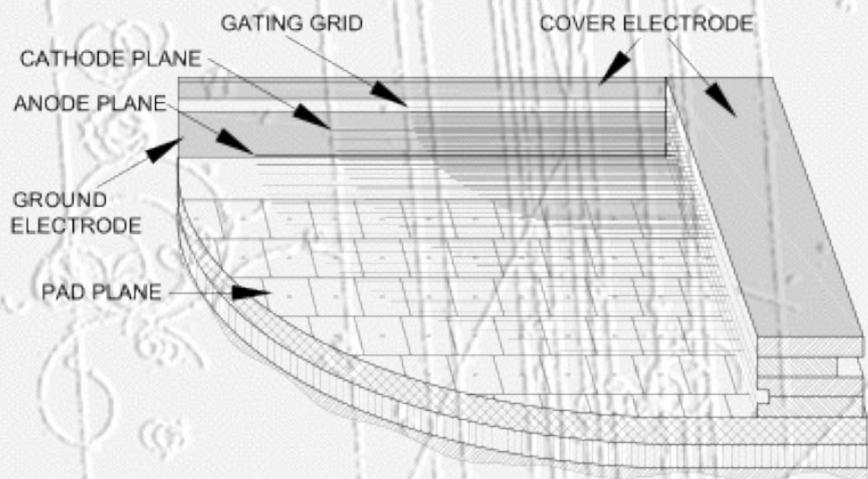
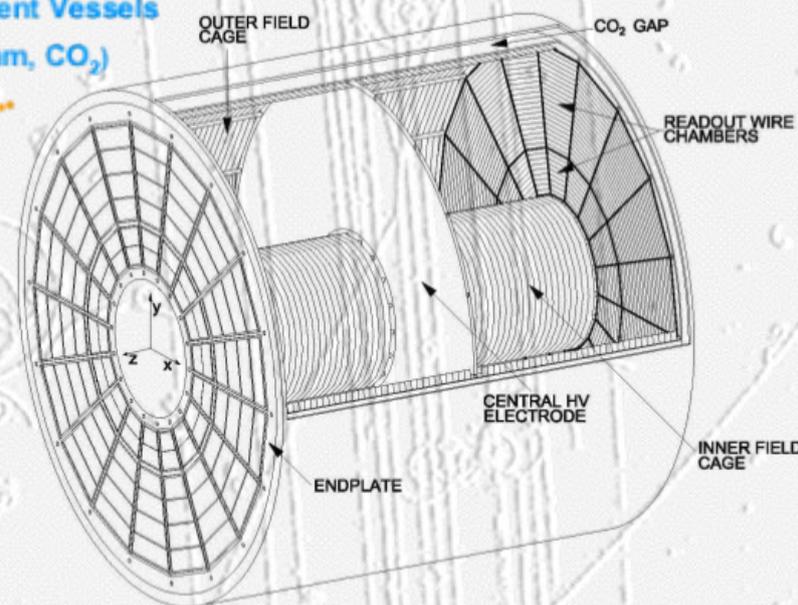
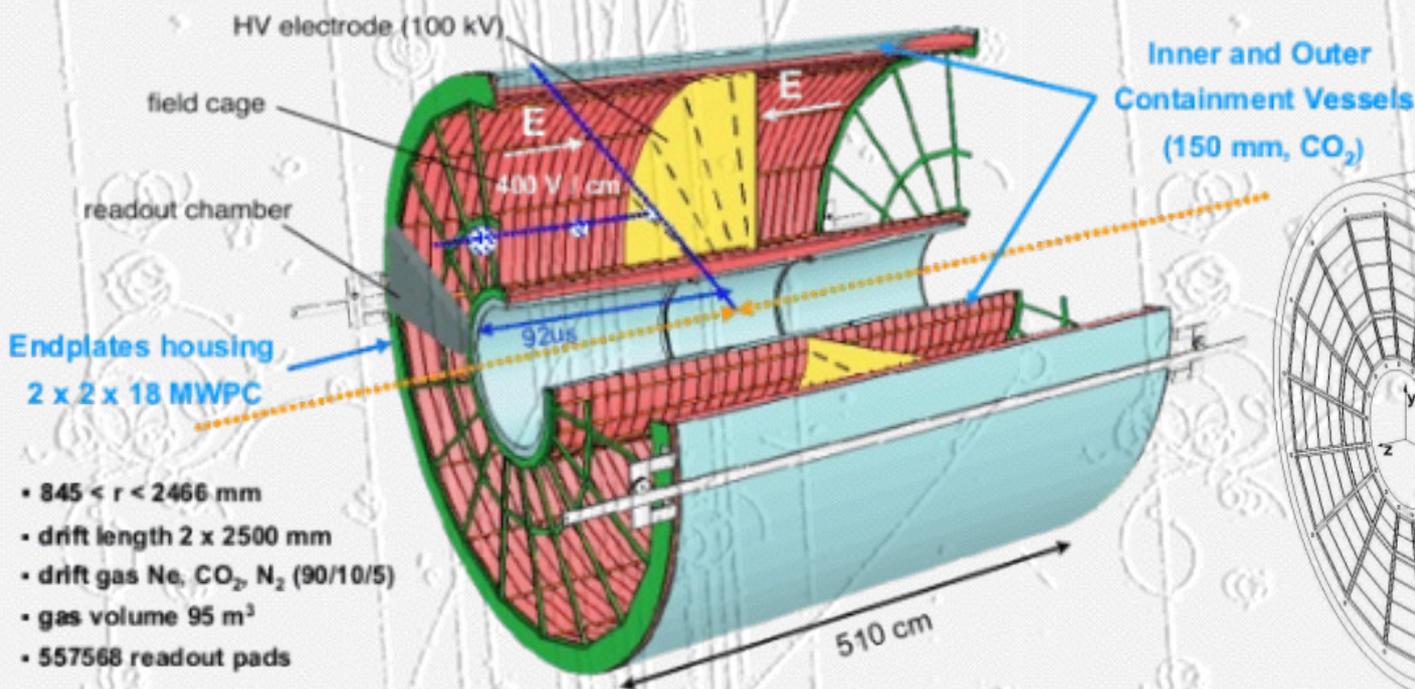
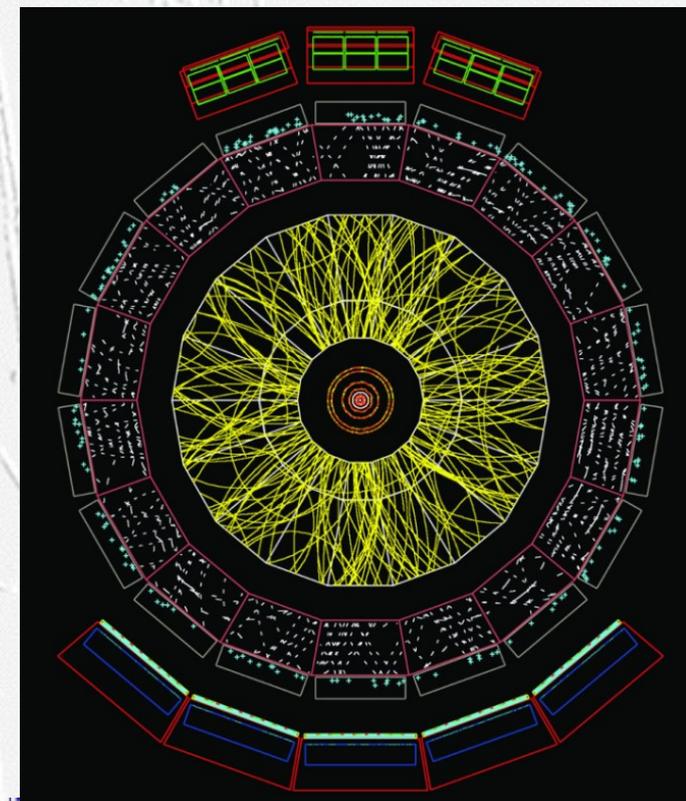


Figure 10: Wire geometries of the outer (left) and inner (right) readout chambers.

4. Détecteurs à Trace : TPC

TPC: Alice Pb-Pb (LHC)

- Plus grosse TPC jamais construite
- Principes identiques aux précédentes
 - Résolution spatiale : 500 μm , trace séparation 5mm
 - Résolution en impulsion : 1% à 1 GeV, 5% à 10 GeV



- 845 < r < 2466 mm
- drift length 2 x 2500 mm
- drift gas Ne, CO₂, N₂ (90/10/5)
- gas volume 95 m³
- 557568 readout pads