

# Decteurs 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'uranyle et de potassium  
Papier noir - Cuvette de laiton mince -  
Exposé au soleil le 27. et à la lumière diffuse le 28. -  
Résultat le 29. -



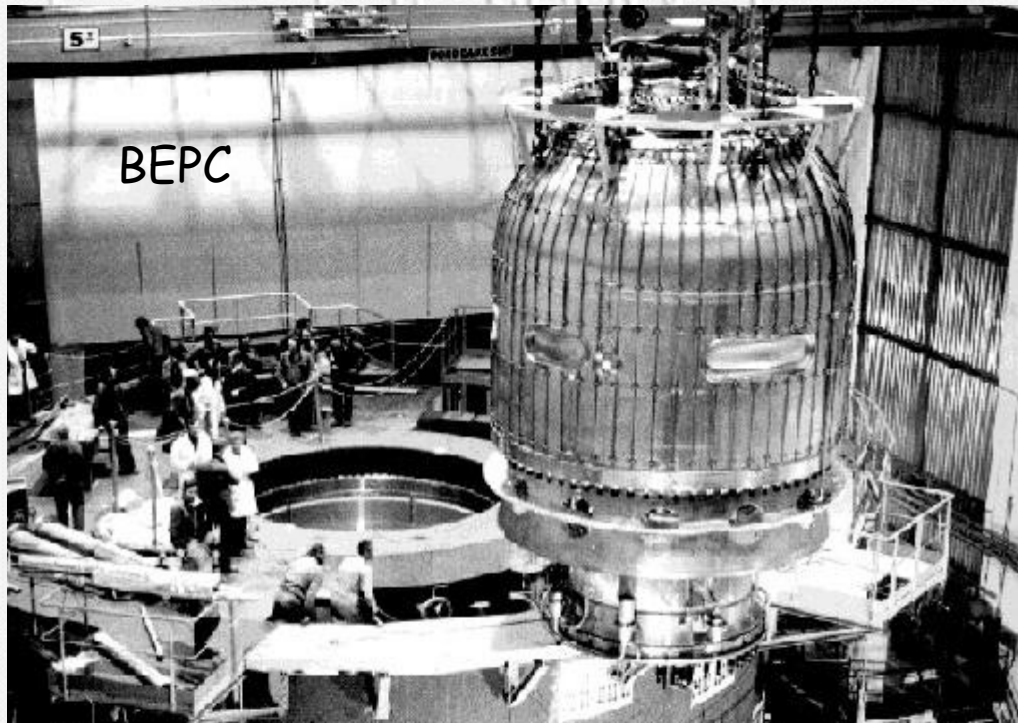
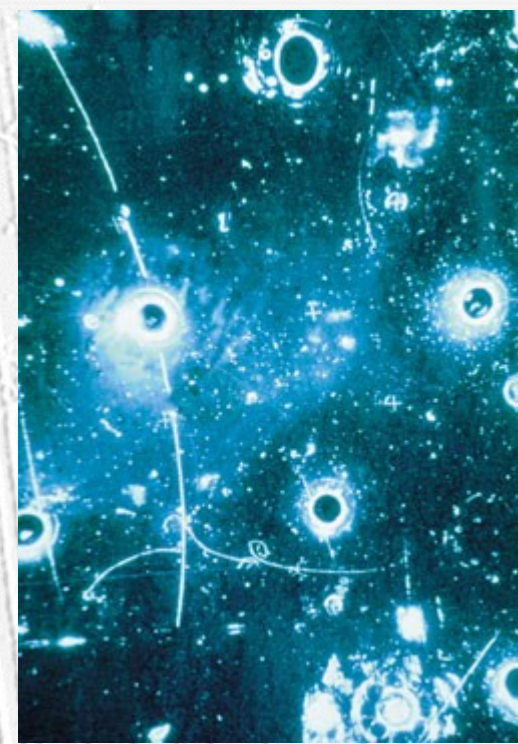
Antoine Henri Becquerel



# Détecteur de traces : **Liquide**

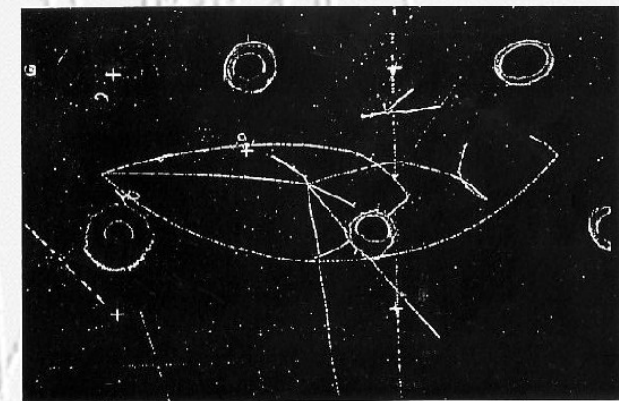
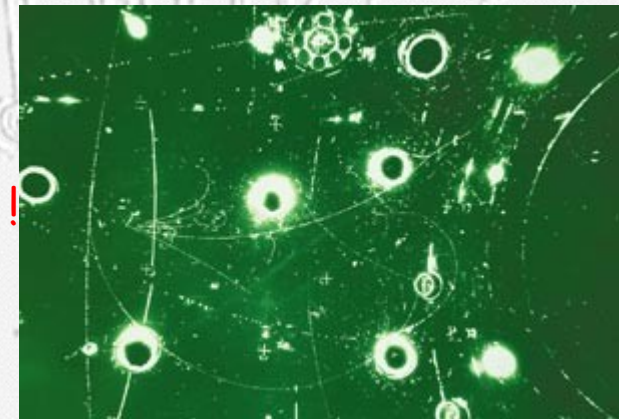
## Chambre à bulles

- 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



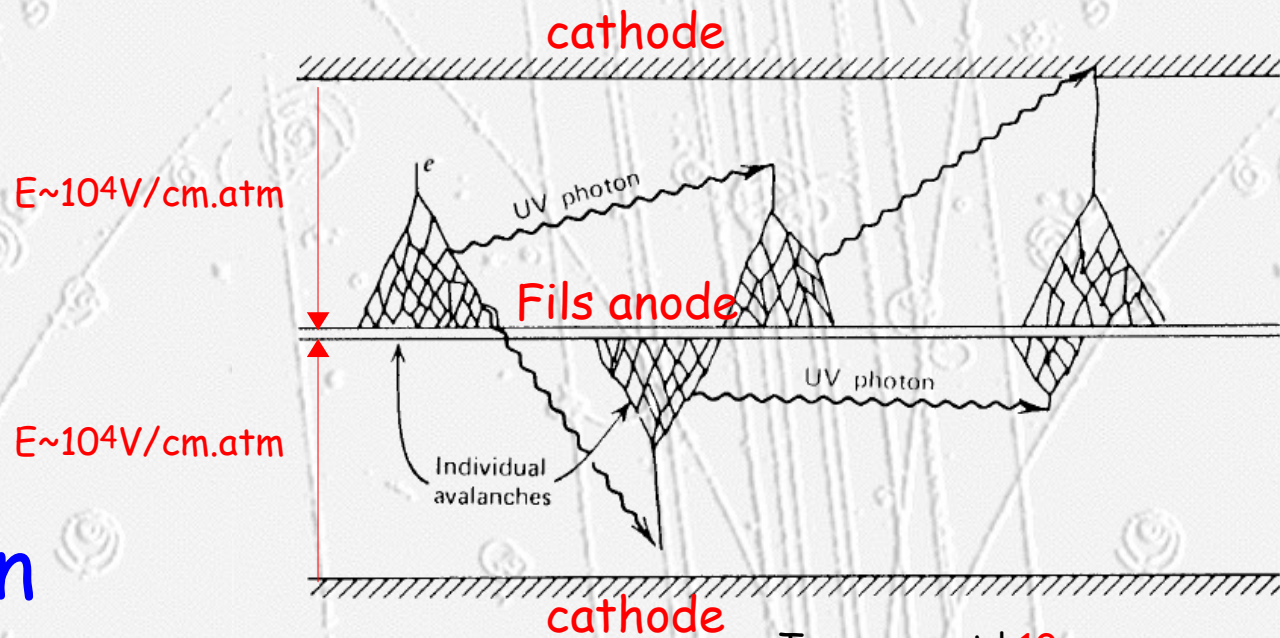
reconstruction:3D !

- scanneuses
- programmes





# Détecteur de traces : **Gaz**



## Principe : Ionisation

- H.Geiger-Muller 1928
- Électrons supplémentaires :
  - $n = n_0 e^{\alpha(E)x}$
  - $\alpha$  coeff. Townsend dépend de E ou de r (inversement prop. à  $\lambda$ )
- 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**

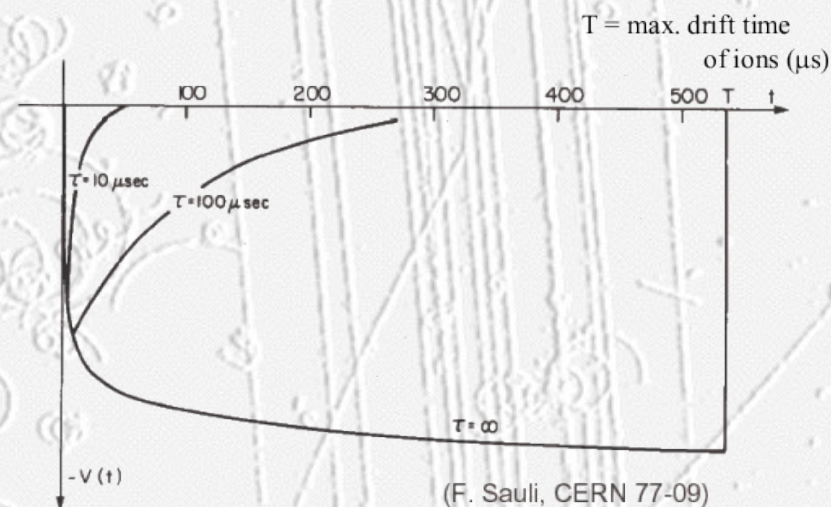
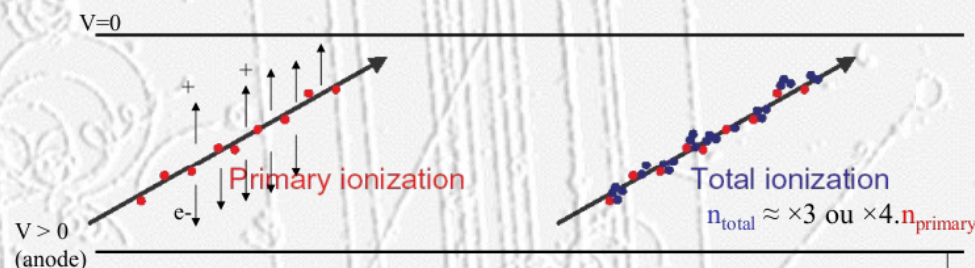
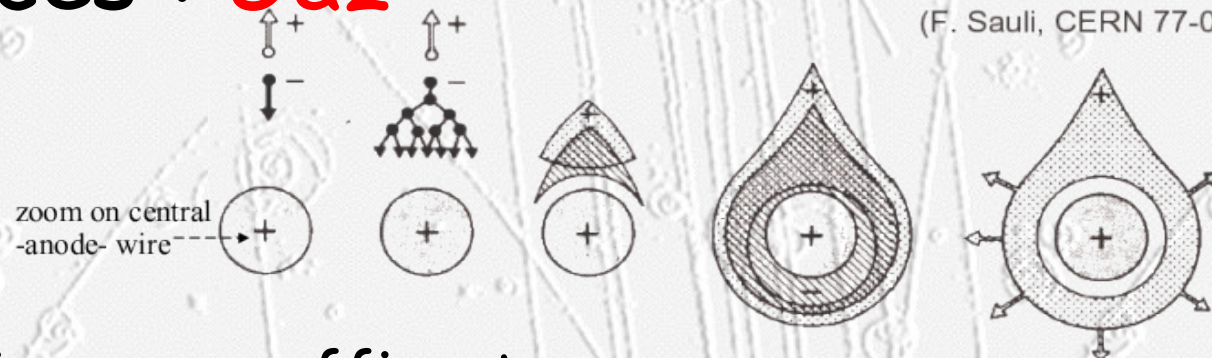
(F. Sauli, CERN 77-09)

## 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



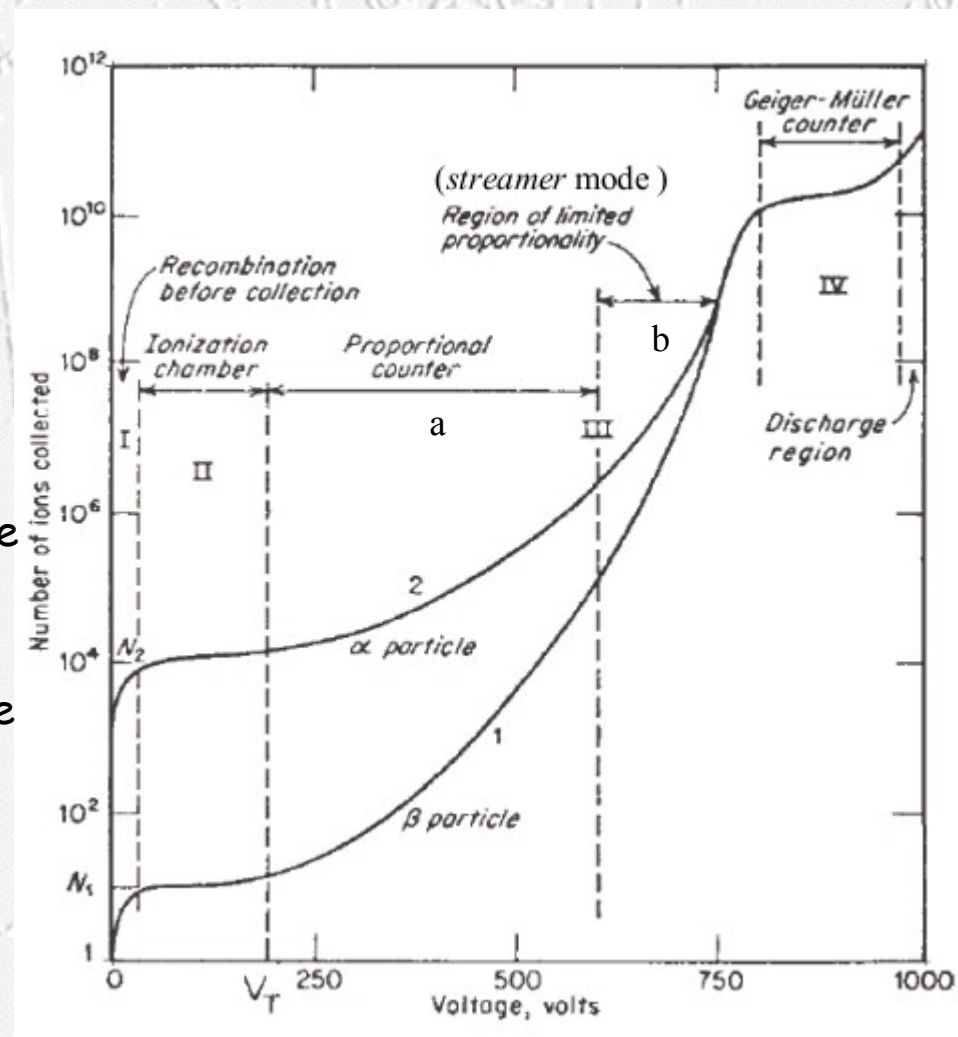
(F. Sauli, CERN 77-09)



# 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**

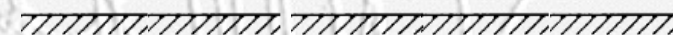
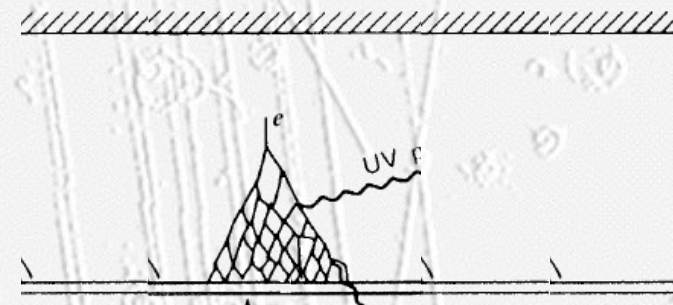
## Précision spatiale

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

## Gaz « quencher »

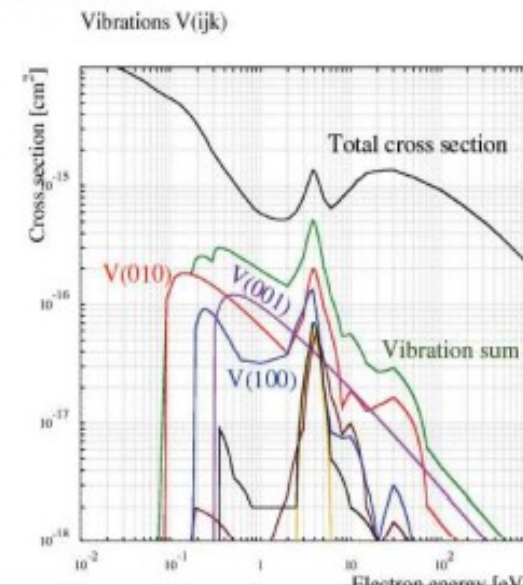
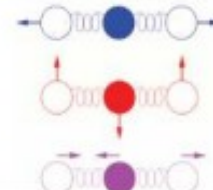
- Gaz Polyatomique (les photons sont absorbés et leur énergie est dispersée par des modes par vibration ou par rotation de la molécule)
  - exemple: méthane  $\text{CH}_4$ , isobutane  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , éthanol,  $\text{CO}_2$
- Pas de solution miracle:
  - Calcul complexe...
  - Doit être testé :
    - F.Sauli, 1977 cern yellow report
- ex : 70% Ar, isobutane 29.6%, Fréon 0.4%

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



### $\text{CO}_2$ – vibration modes

- ▶  $\text{CO}_2$  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

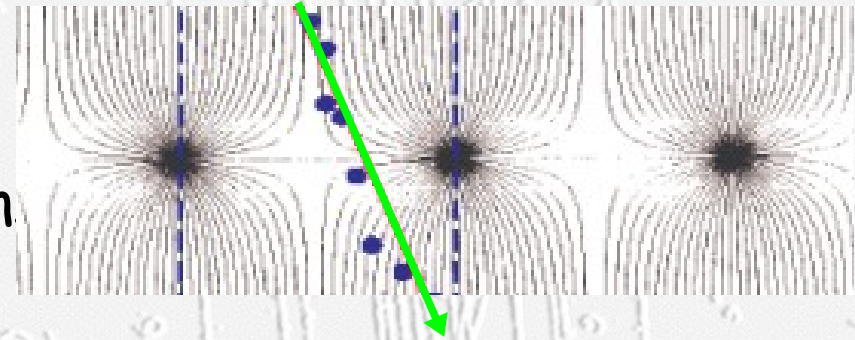
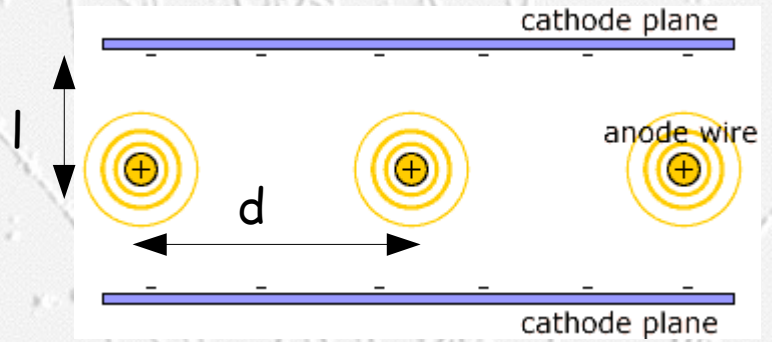
9/24



# 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

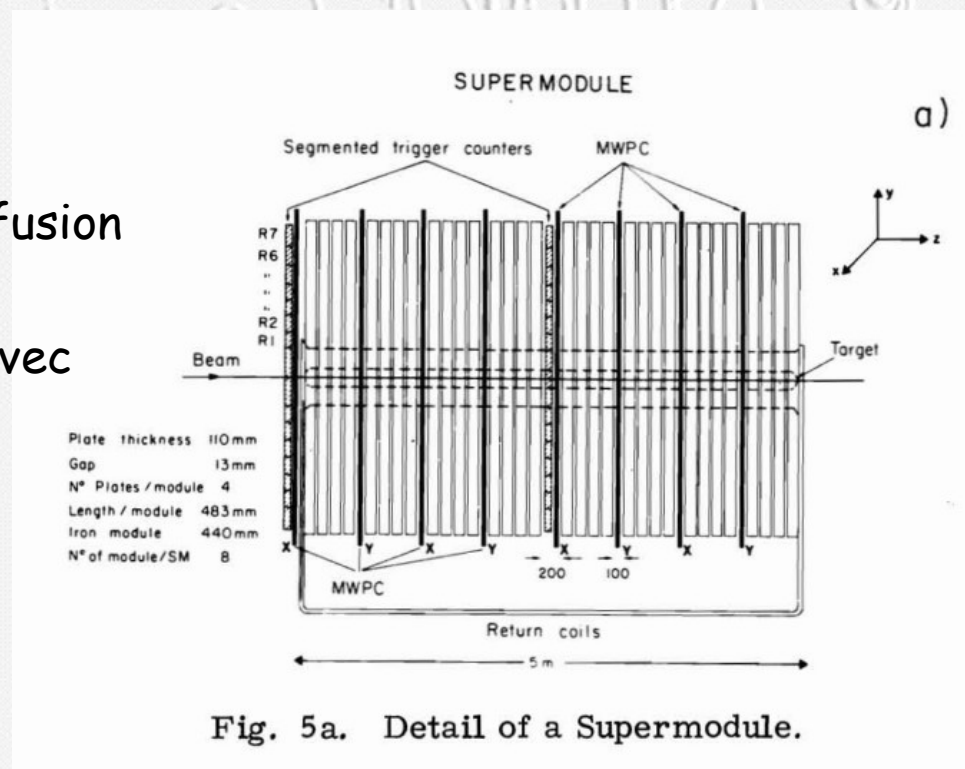


# Détecteur de traces : **Gaz**

## Chambres à fils

## Na4 : mesure de $\alpha_s$ (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

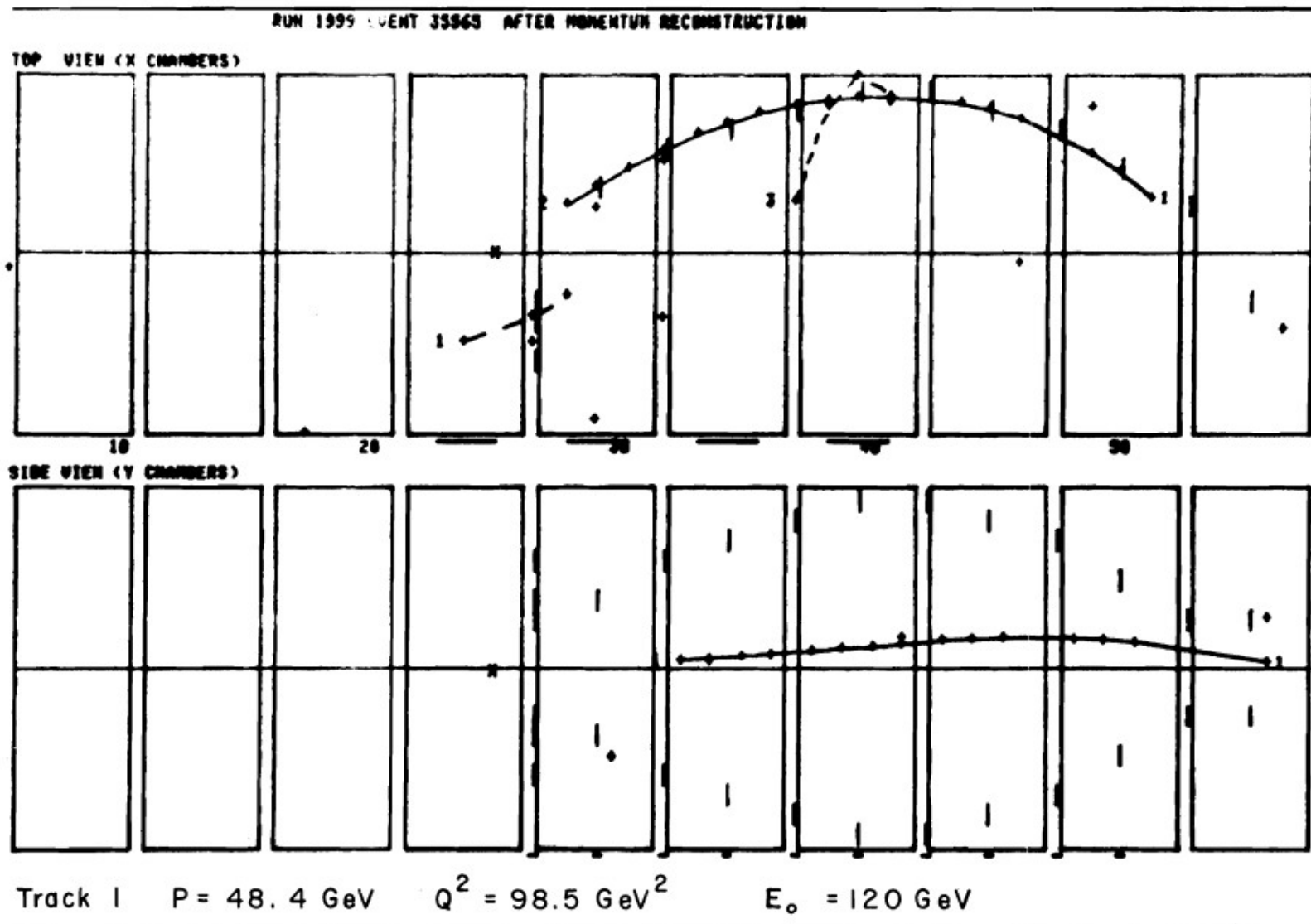
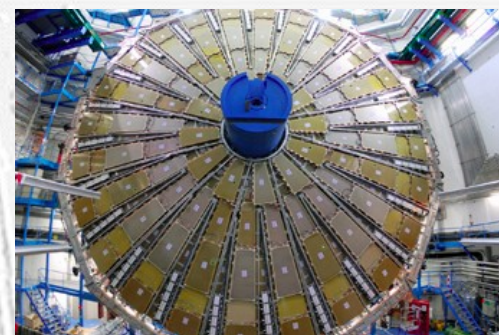


Fig. 14. Example of a deep inelastic muon scattering event at 120 GeV in the NA4 apparatus.



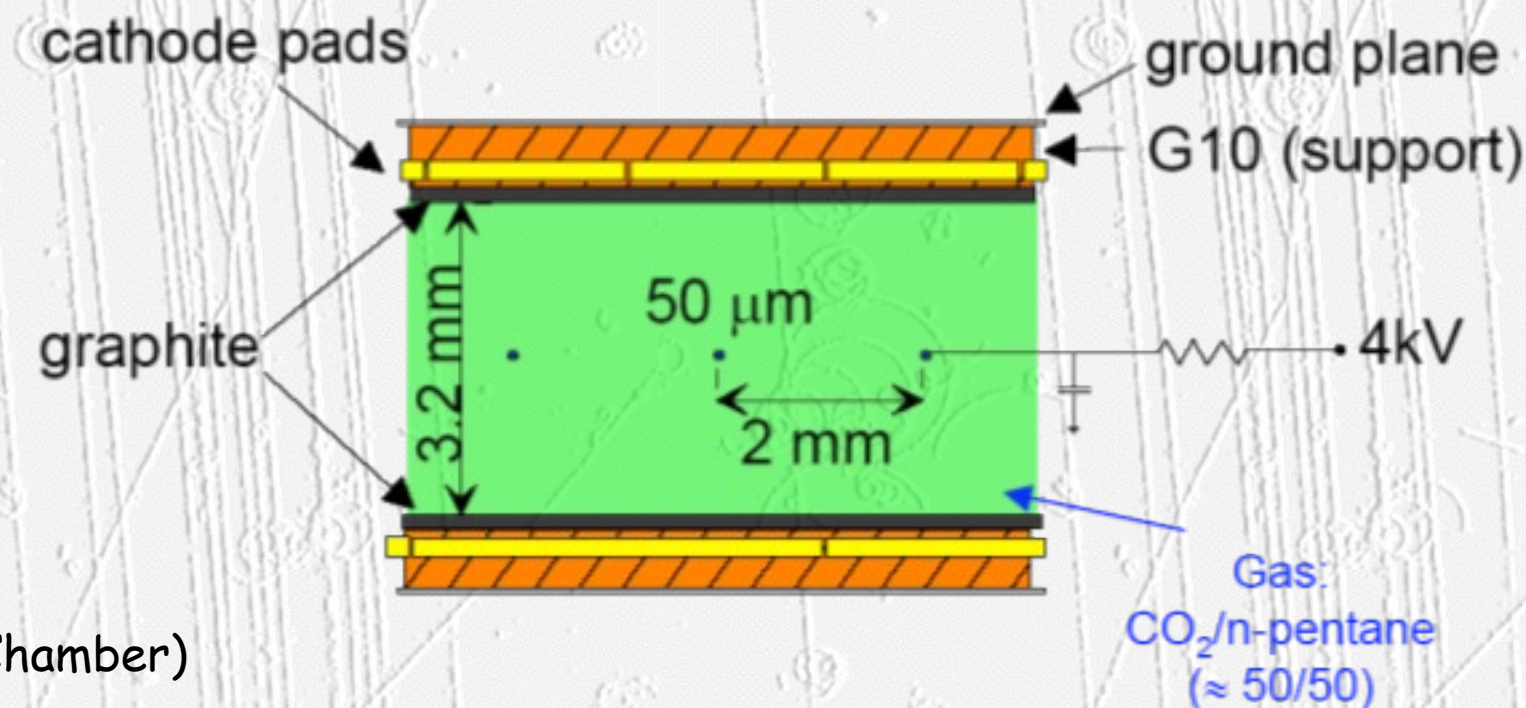
# Détecteur de traces : **Gaz**



## 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 10<sup>6</sup> Hz)



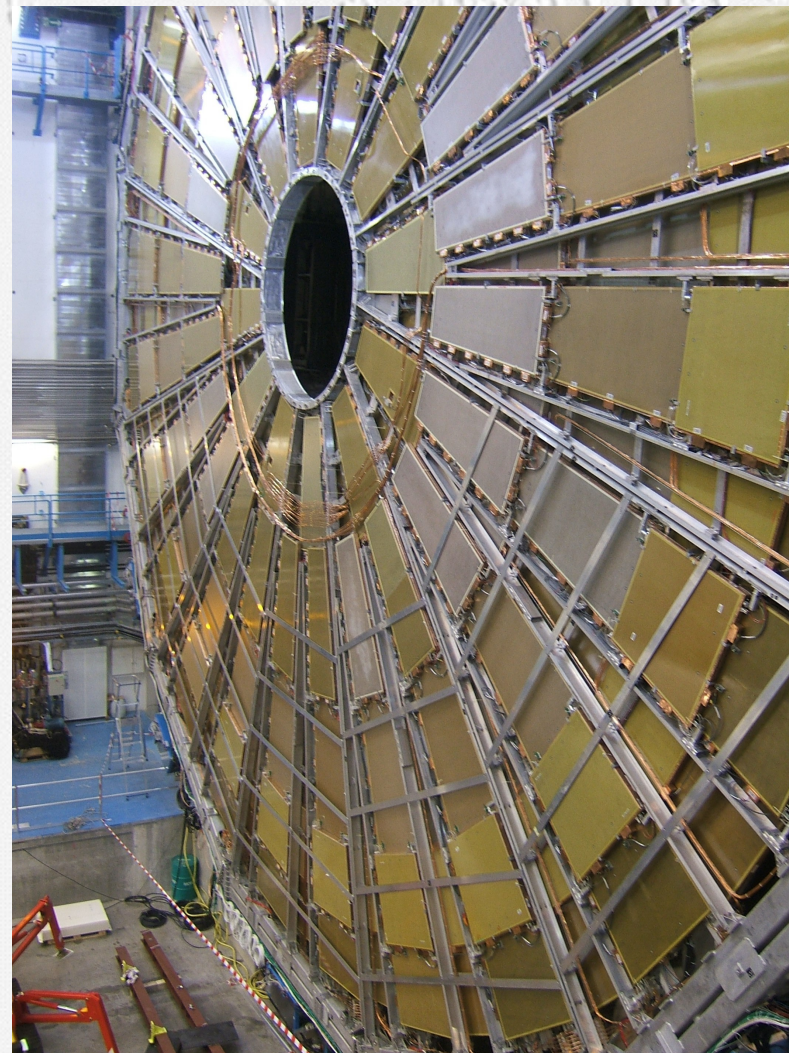
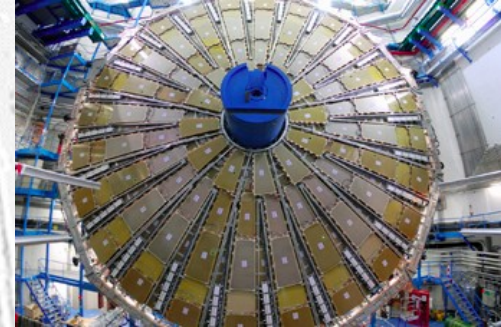
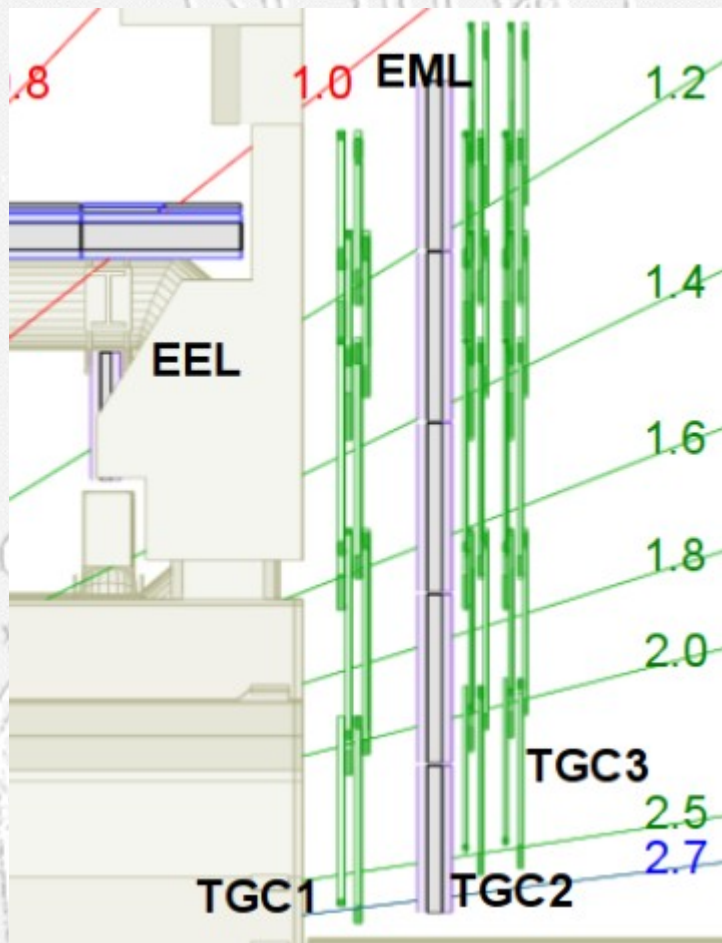
\*(Thin Gaz Chamber)



# Détecteur de traces : **Gaz**

## Chambres à fils

- Atlas : TGC

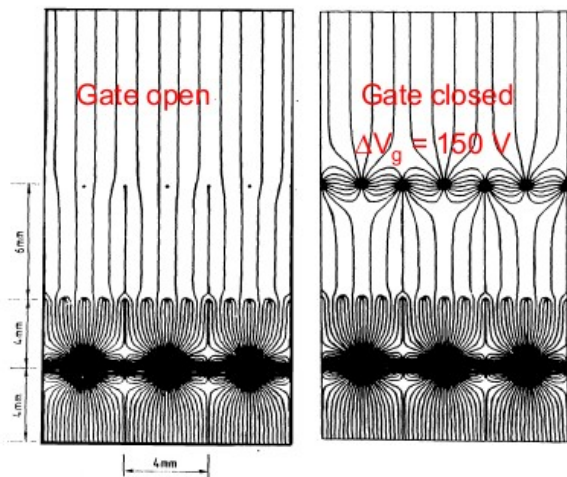




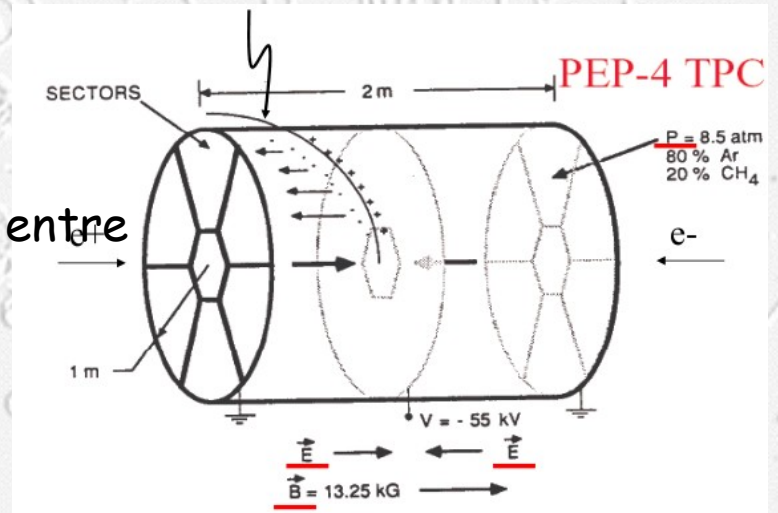
# Détecteur de traces : **Gaz**

## 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



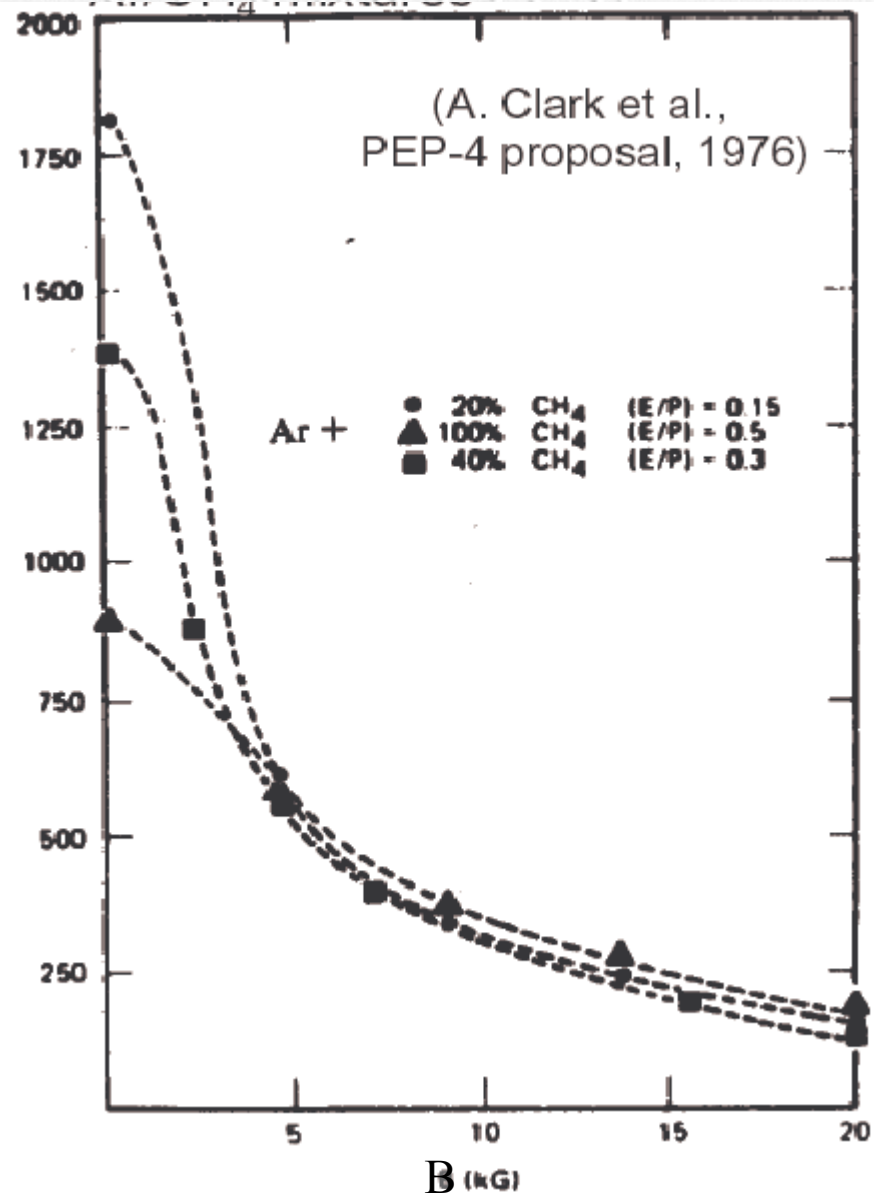


# Détecteur de traces : Gaz

## TPC

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

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

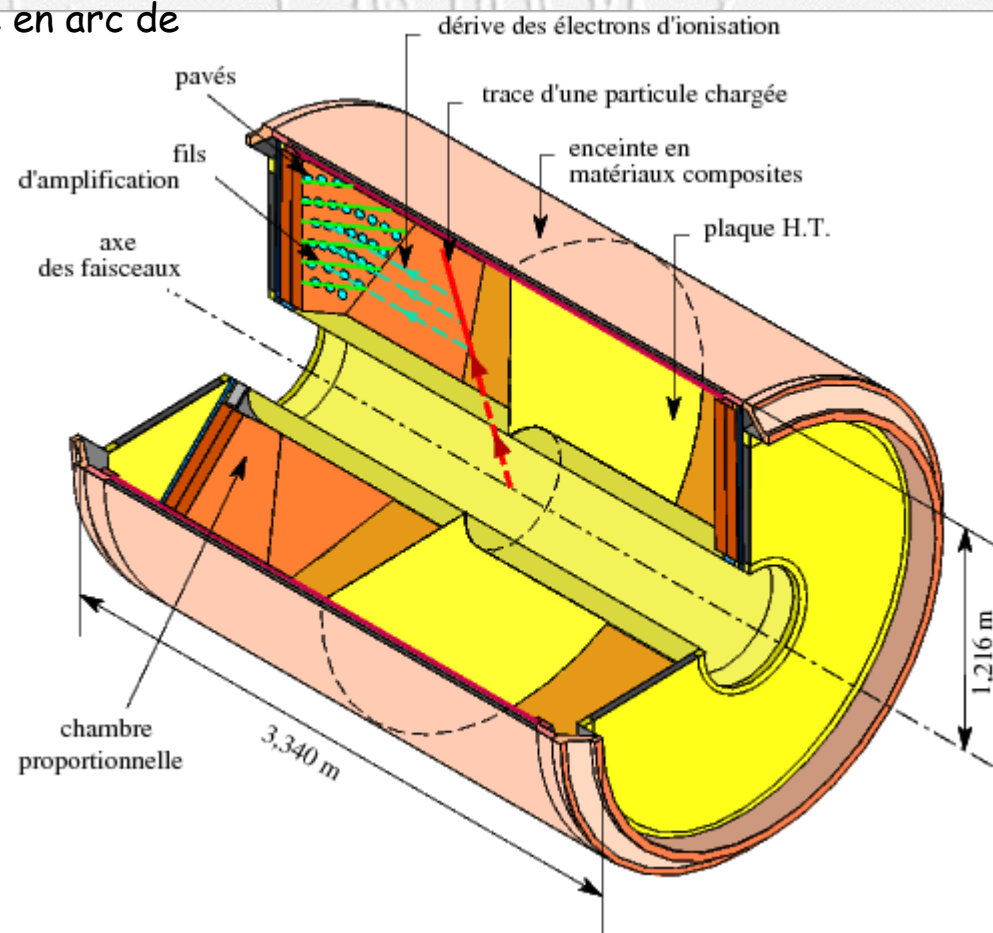
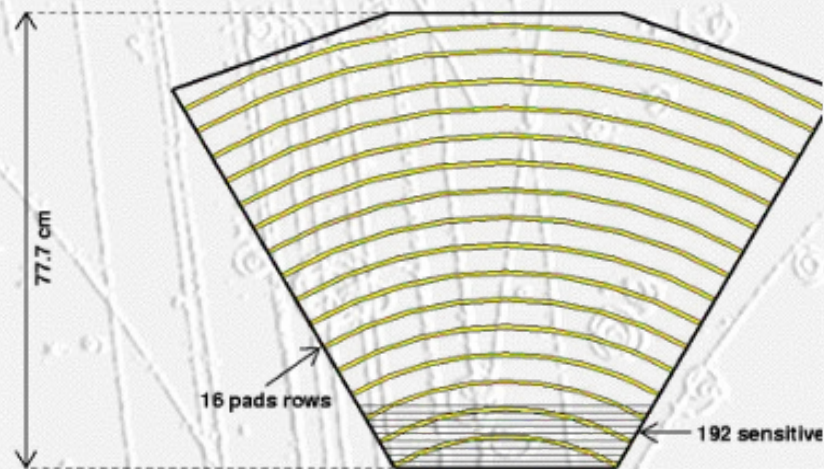




# 4. Détecteurs de Traces : TPC

## 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
- $6.7\text{ cm}/\mu s$ , diffusion transverse  $\sim 100\ \mu m/\sqrt{cm}$
- 2x 6 secteurs, 192 fils, 16 Pad (cathode segmentée en arc de cercle)
- 16 points tridimensionnels
- $2 \times 1.34\text{ m}, 0.325\text{ m} < R < 1.16\text{ m}$
- Résolution spatiale :  $R_{\phi} \sim 250\ \mu m, Z \sim 1\text{ mm}$





## 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.

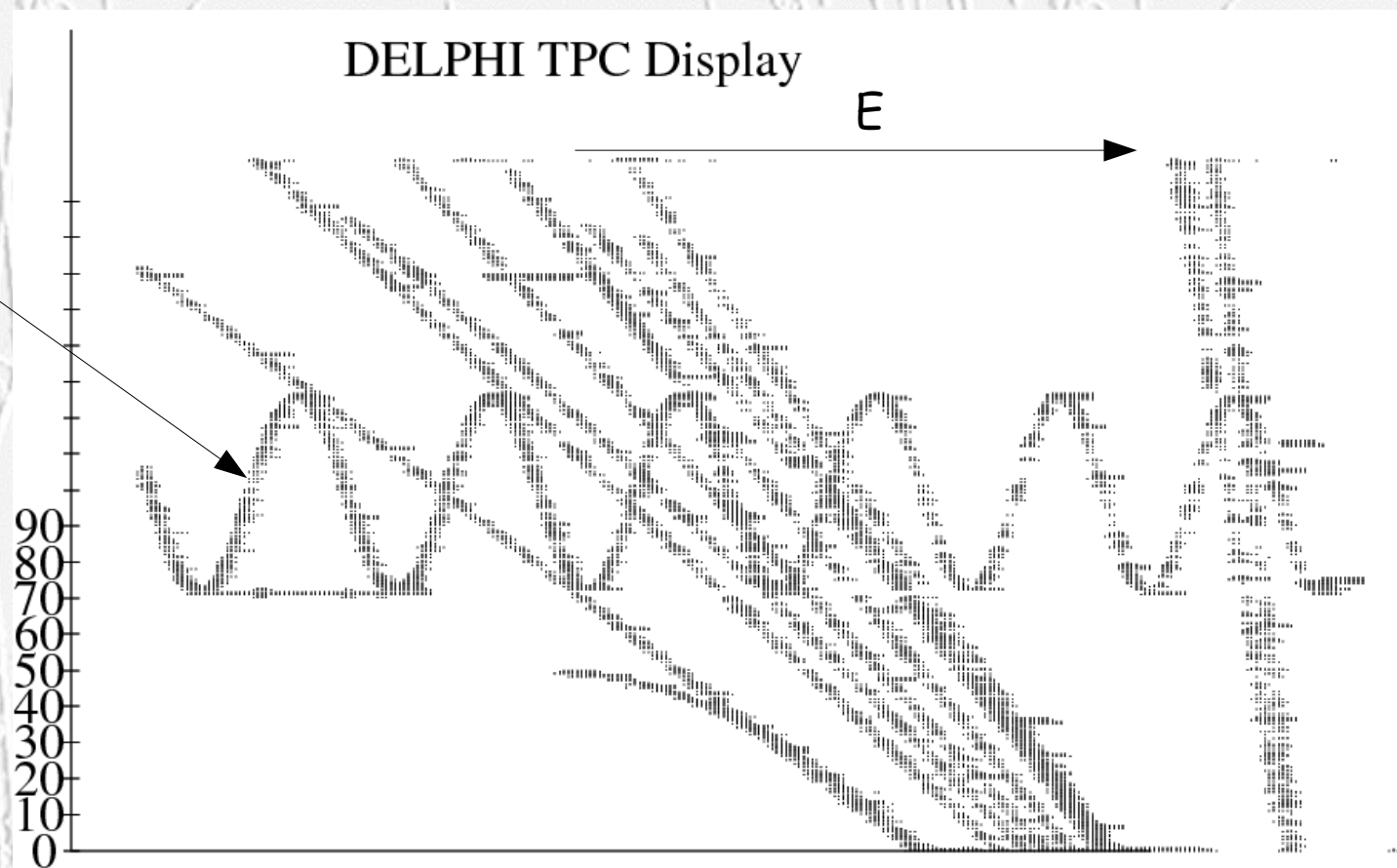
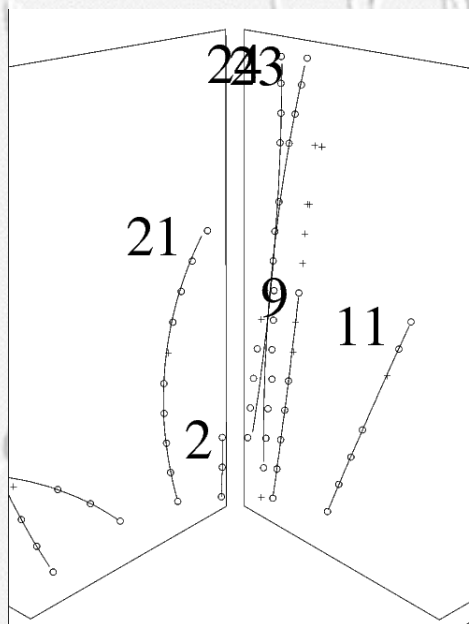


# 4. Détecteurs de Traces : TPC

## TPC: Delphi, Exemple d'événement

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

Électron sous l'effet  
du champ magnétique



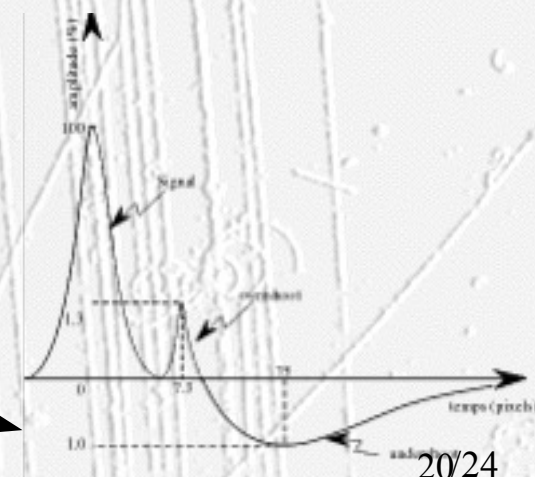
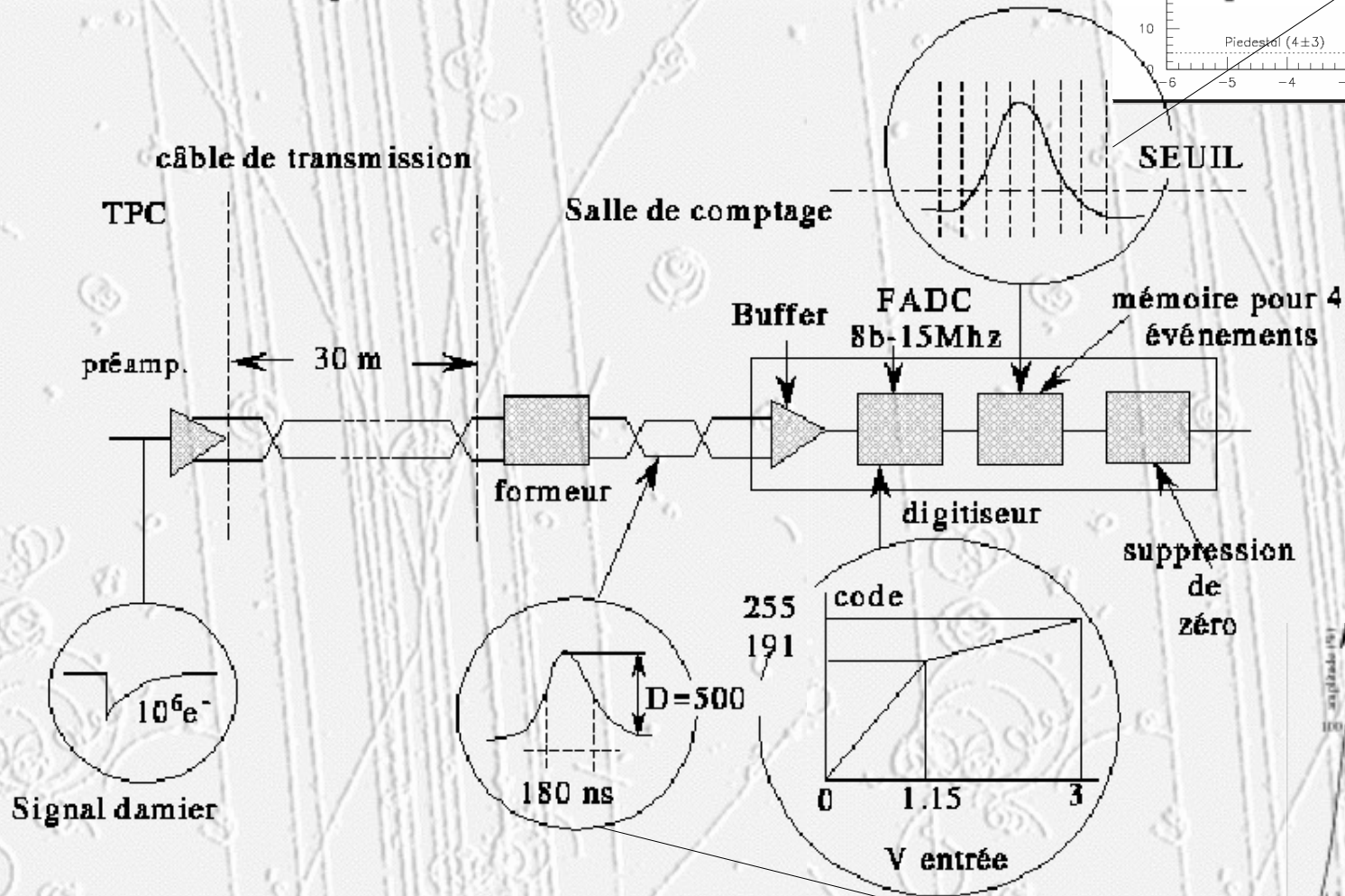
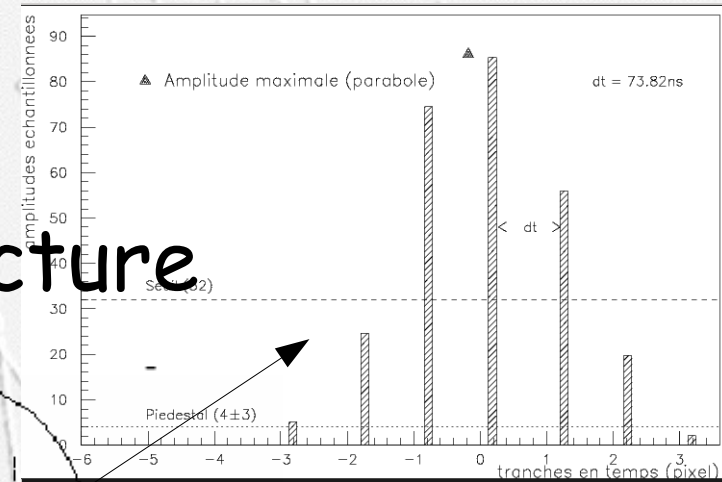
run = 22679 Sector number 4

Plan de fils



# 4. Détecteurs de Traces : TPC

## TPC: Delphi, électronique de lecture

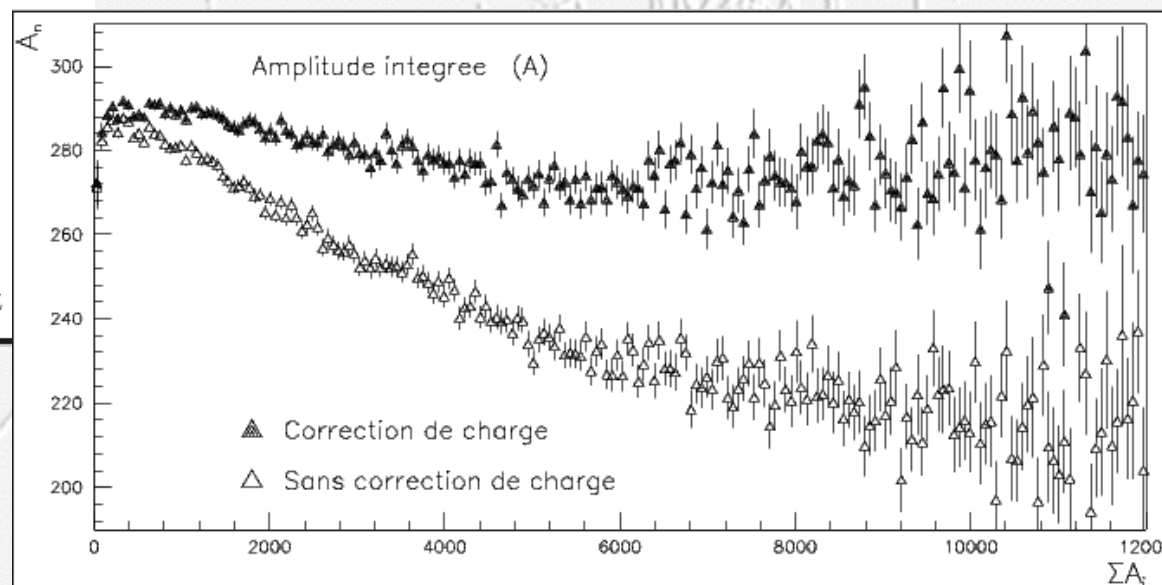
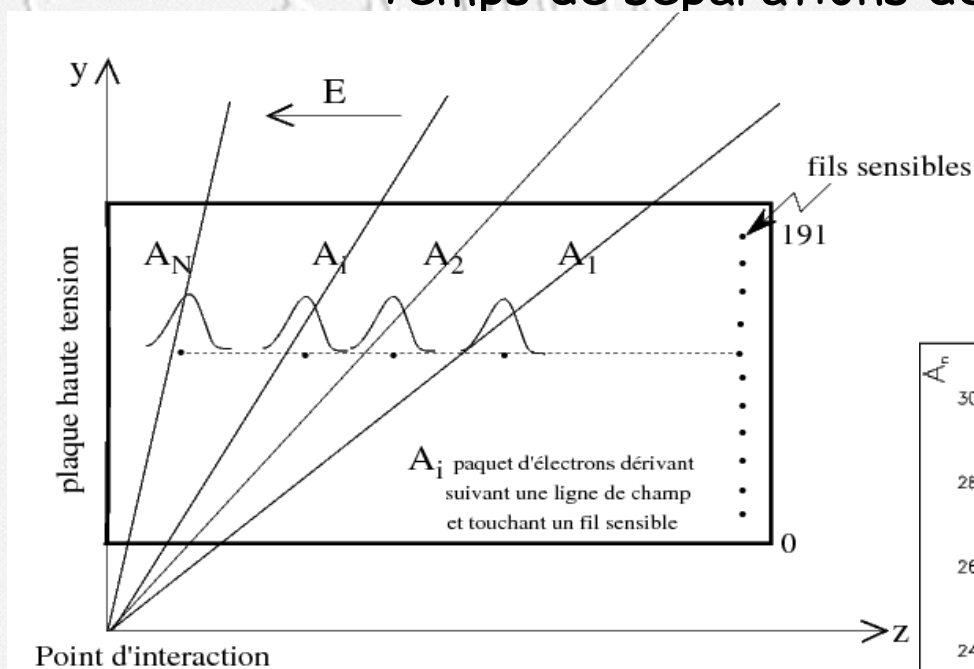




# 4. Détecteurs de Traces : TPC

## TPC: Delphi, électronique de lecture

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

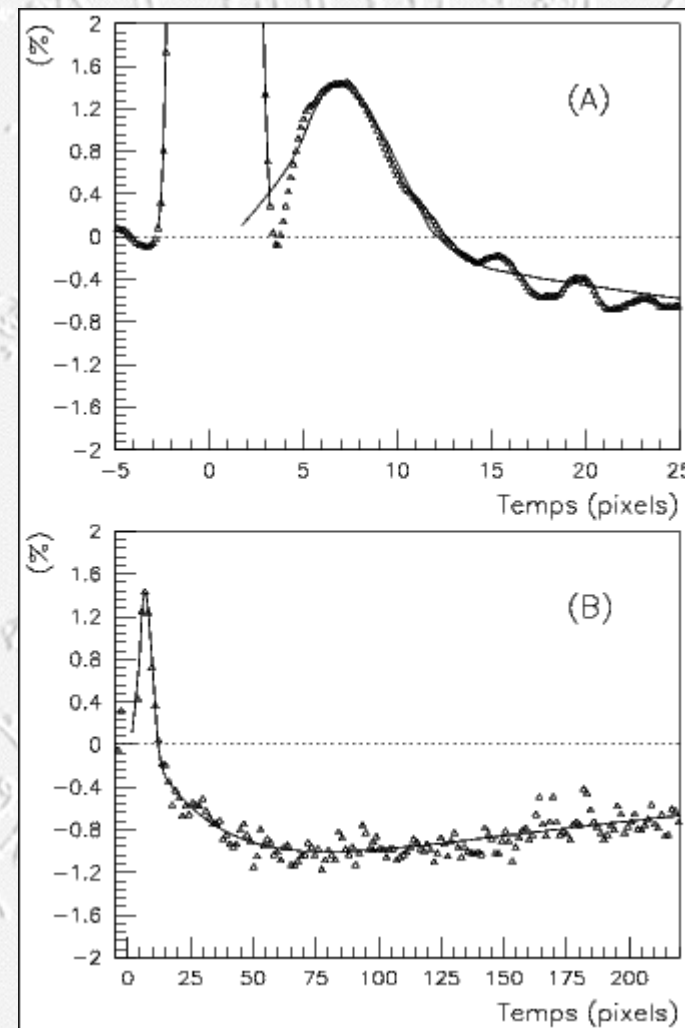
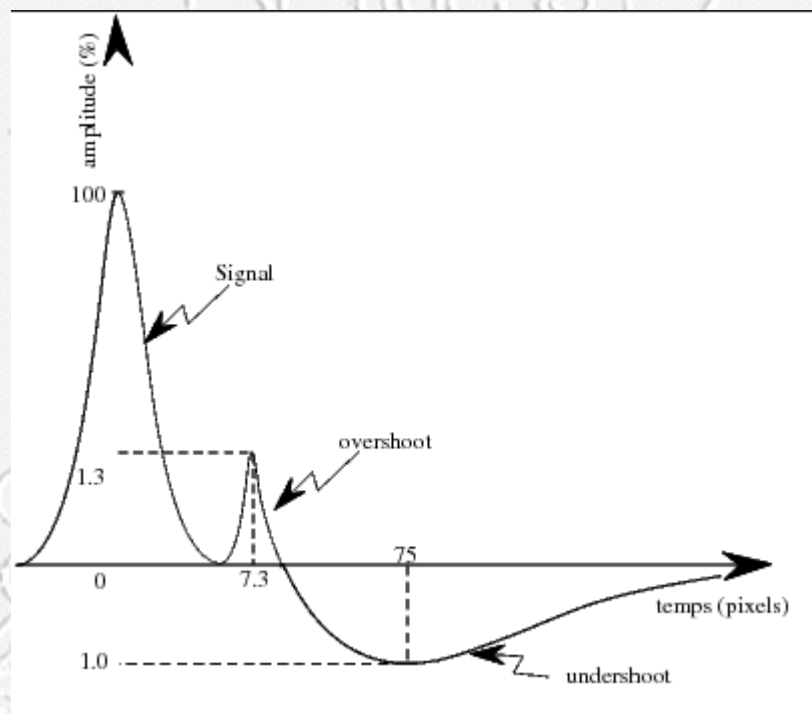




# 4. Détecteurs de Traces : TPC

## 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 m<sup>3</sup>
- Rayon interne = 0.9 m, rayon externe = 2.5 m
- Nombre de canaux : 577568 (Delphi : 20160)

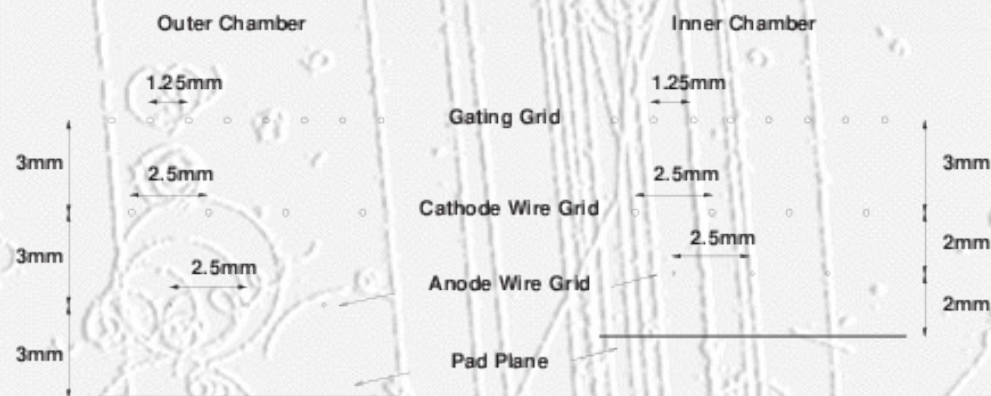
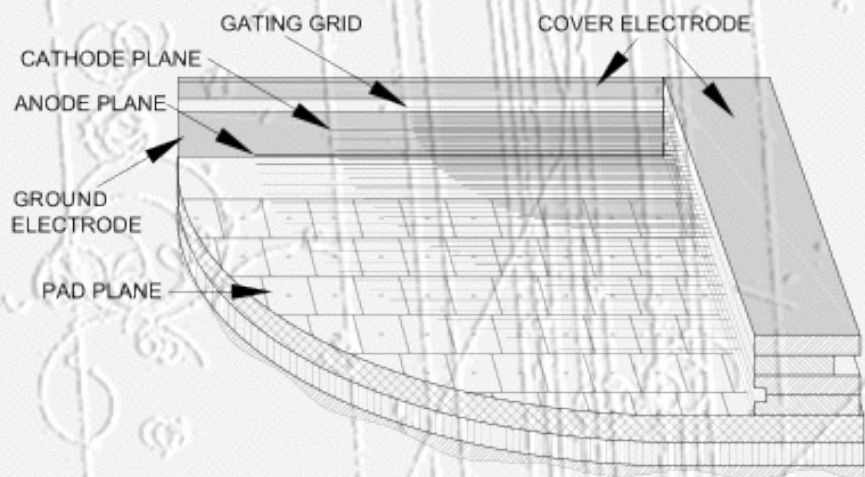
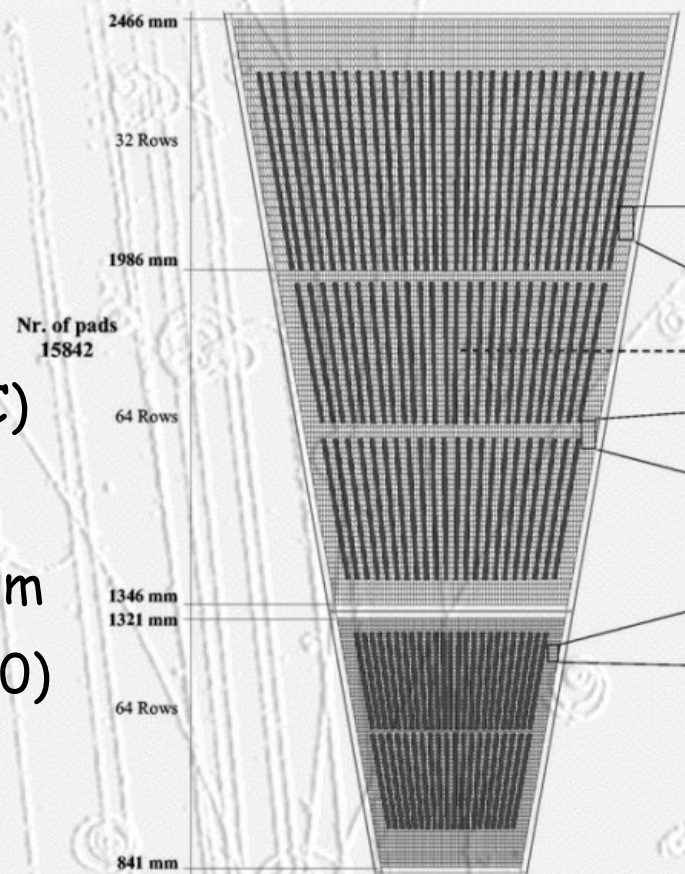


Figure 10: Wire geometries of the outer (left) and inner (right) readout chambers.





# 4. Détecteurs à Trace : TPC

## TPC: Alice Pb-Pb (LHC)

- Plus grosse TPC jamais construite
- Principes identiques aux précédentes
  - Résolution spatiale : 500  $\mu\text{m}$ , trace séparation 5mm
  - Résolution en impulsion : 1% à 1 GeV, 5% à 10 GeV

