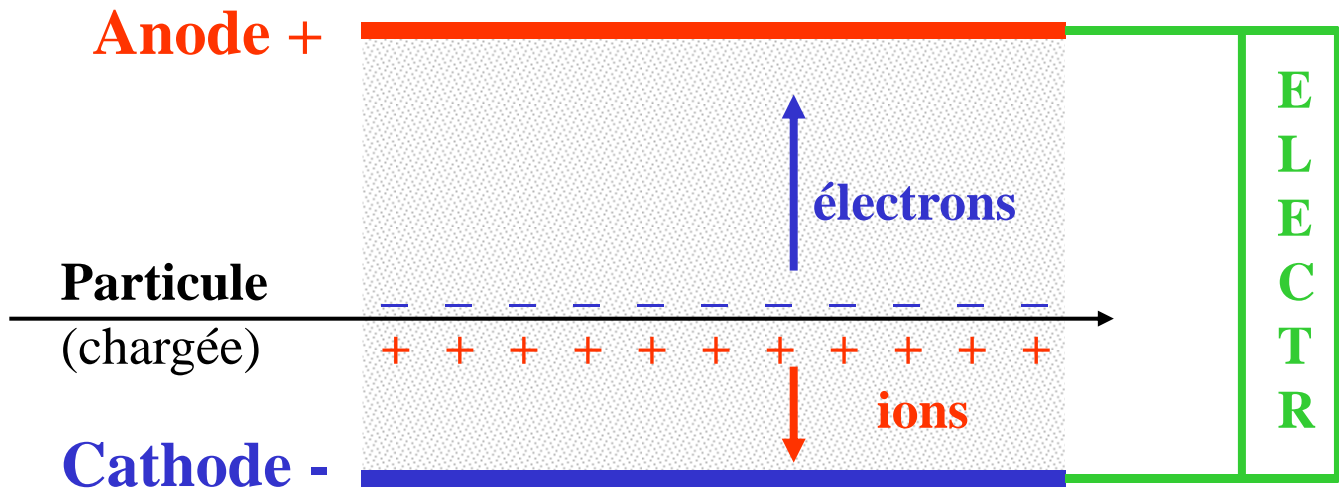


Principes des détecteurs gazeux à ionisation



1. Ionisation

Création de paires électrons / ions

2. Mouvement des électrons et des ions

Déplacement dans le champ électrique

3. Multiplication

Avalanche dans le gaz (si champ fort)

4. Influence sur les électrodes

Création du signal

5. Electronique de lecture

Traitement du signal

1. Ionisation

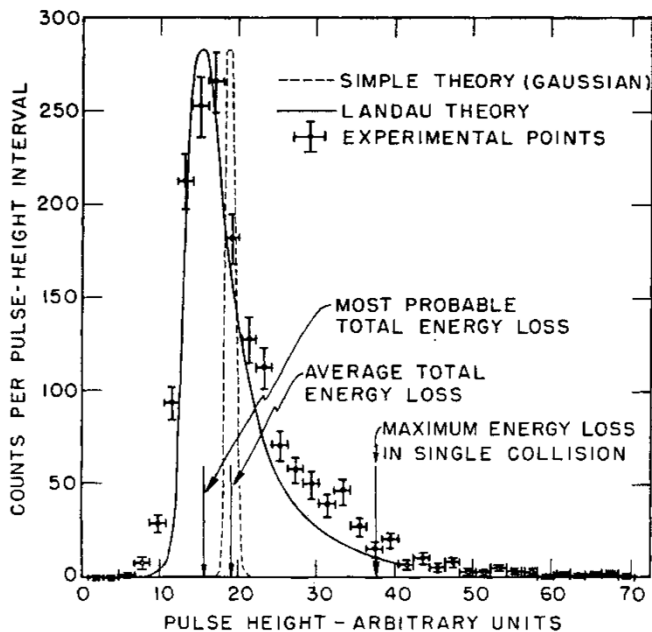
Création d'une paire électron / ion

	Excitation potential [eV]	Ionization potential [eV]	Mean energy for ion-electron pair creation [eV]
H ₂	10.8	15.4	37
He	19.8	24.6	41
N ₂	8.1	15.5	35
O ₂	7.9	12.2	31
Ne	16.6	21.6	36
Ar	11.6	15.8	26
Kr	10.0	14.0	24
Xe	8.4	12.1	22
CO ₂	10.0	13.7	33
CH ₄		13.1	28
C ₄ H ₁₀		10.8	23

Energie moyenne : $\cong 30$ eV

Mais...

pour des "m.i.p." et des "DéTECTEURS minces"



Fluctuations

(Distribution de Landau)

et "Clusters"

2. Mouvement des électrons et des ions

Ions

$$\text{Vitesse : } V = \mu \cdot E / p$$

p : pression du gaz

μ , mobilité dans le gaz

A pression normale :

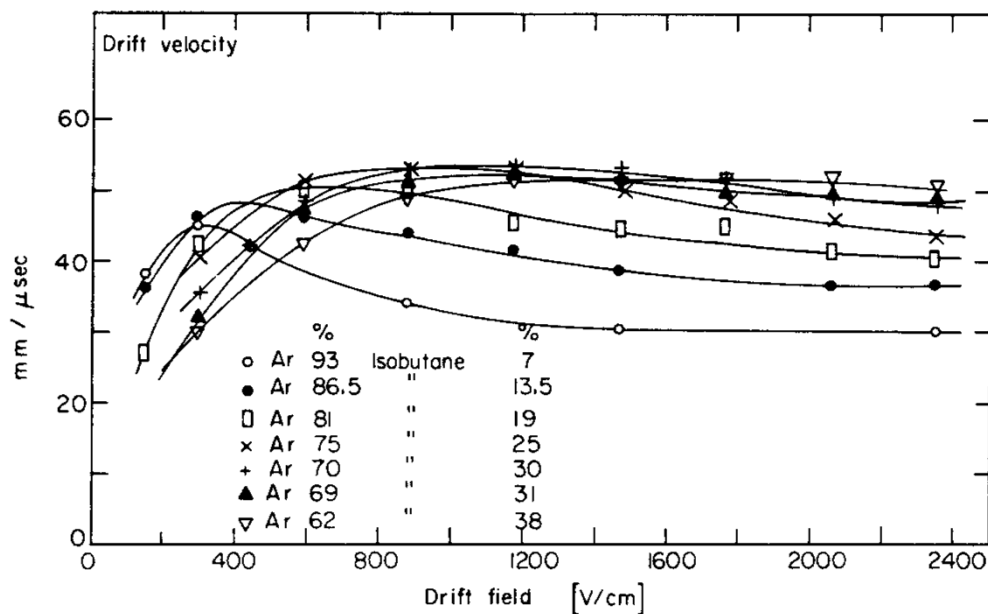
μ : environ $1 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$

V faible : 10 mm/ms ($E = 1 \text{ kV/cm}$)

Electrons

μ dépend du champ électrique E

Vitesse : qqs mille fois celle des ions



Vitesse des électrons dans Argon / Isobutane (Pression normale)

3. Multiplication

Multiplication du nombre des électrons sur une distance d

Changement du nombre d'électrons N entre x et $x + dx$
 $dN = \alpha \cdot N \cdot dx$ où α est le premier coefficient de Townsend
($1/\alpha$ libre parcours moyen d'ionisation)

$$M = N / N_0 = \exp(\alpha \cdot d)$$

α de la forme $\alpha / p = A \cdot \exp(-B \cdot p / E)$
avec p pression et E champ électrique
 A et B paramètres dépendant du gaz

Pour un champ non uniforme, intégrer α sur le parcours

Multiplication limitée par
les phénomènes de décharge (étincelle)

Différents régimes

en fonction de

Mélange gazeux

Champ

Pression

Le signal est créé par

4. Influence sur les électrodes

et non par « collection des charges »

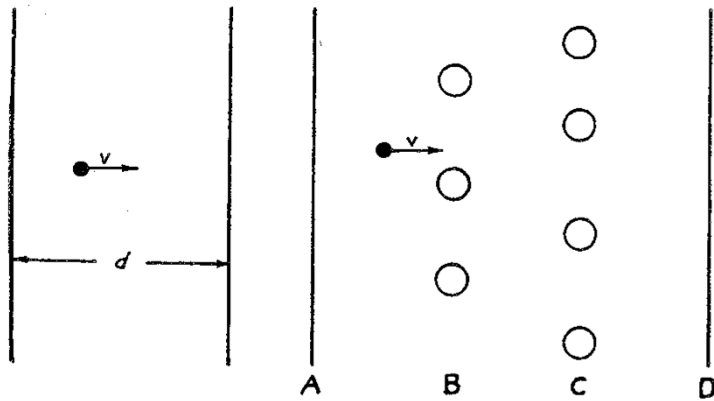


Fig. 1

Fig. 2

RAMO (1939)

Currents Induced
by Electron Motion

$$i_a = e \cdot v \cdot E_v$$

Théorème de Ramo

Dans un système à n électrodes,
la charge q_a induite sur l'électrode a
par une charge ponctuelle q en mouvement

est donnée par :

$$q_a = - q \cdot \varphi'_a(\mathbf{r})$$

et sa variation (dq_a/dt) ou courant induit i_a par :

$$i_a = q \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{E}'_a(\mathbf{r})$$

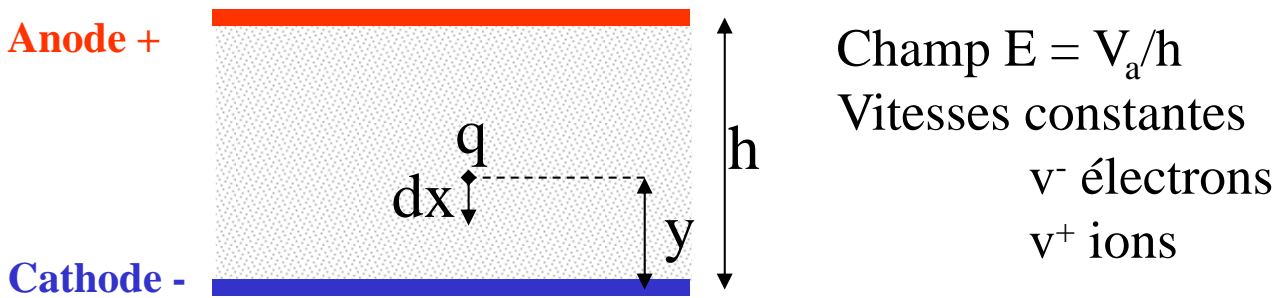
où \mathbf{v} est la vitesse instantanée de q

$\varphi'_a(\mathbf{r})$ et $\mathbf{E}'_a(\mathbf{r})$ sont les potentiels et les champs électriques qui
existeraient avec la charge q en \mathbf{r} , l'électrode a mise à un potentiel 1
et toutes les autres électrodes à un potentiel nul.

(Les caractères **en gras** sont des vecteurs).

4. Influence sur les électrodes

Exemple de la chambre d'ionisation



Variation de charge (dQ) pour un déplacement dx :

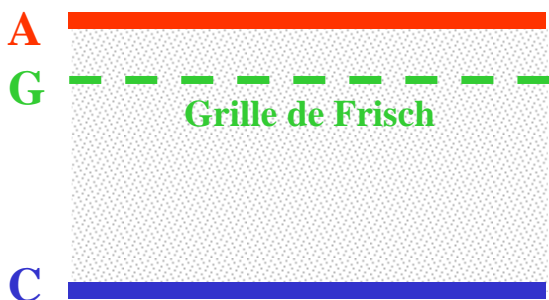
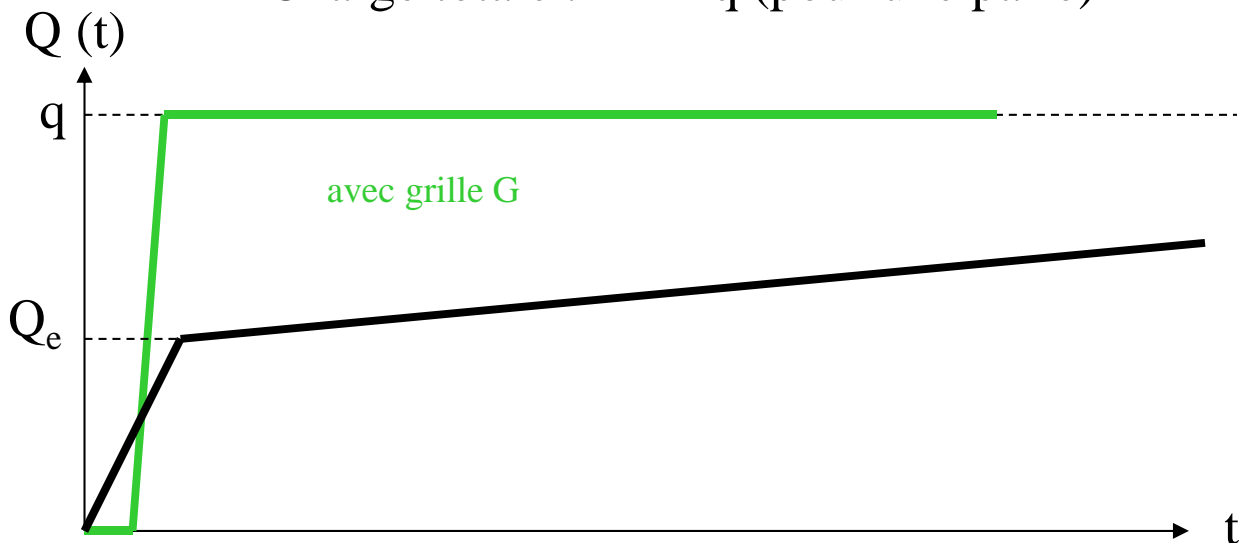
$$i = dQ/dt = q \cdot v \cdot E_{(\text{pour } V_a = 1)} = q \cdot (dx/dt) \cdot (1/h)$$

$$\text{et } dQ = q \cdot (1/h) \cdot dx$$

Charge due aux ions : $Q_i = q \cdot y/h$

Charge due aux électrons : $Q_e = q \cdot (h-y)/h$

Charge totale : q (pour une paire)



Avec la grille, le signal en A est créé par le déplacement des électrons entre G et A

5. Electronique de lecture

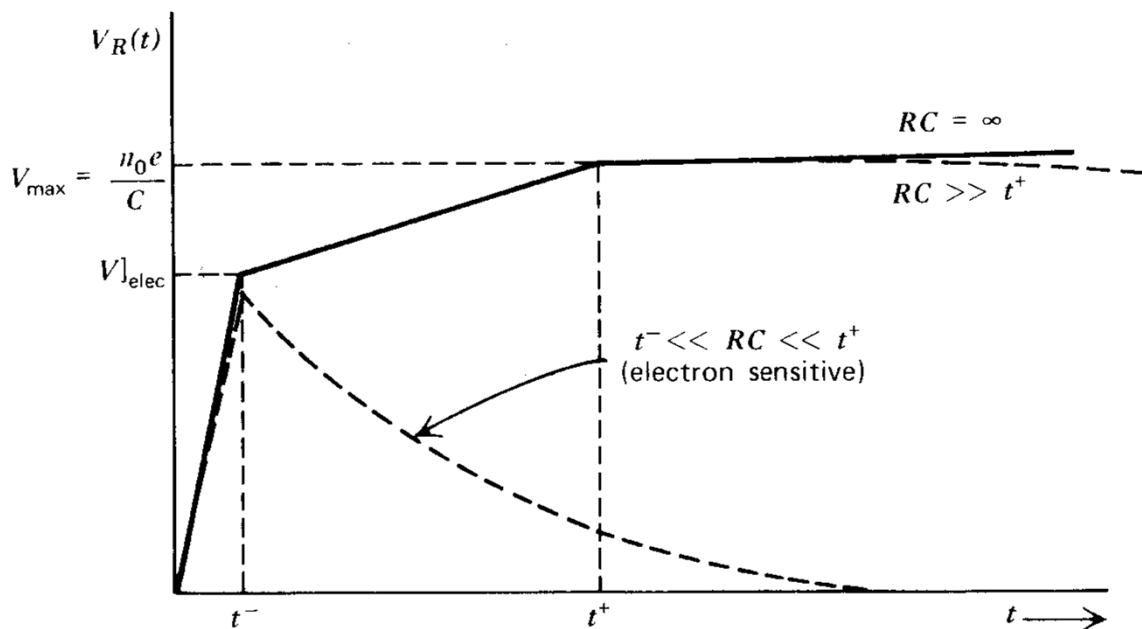
L'électronique permet de « voir » le signal,
mais aussi de le filtrer

Liaison au détecteur : en charge, en courant ou en tension

Filtrage : intégrations, différenciations

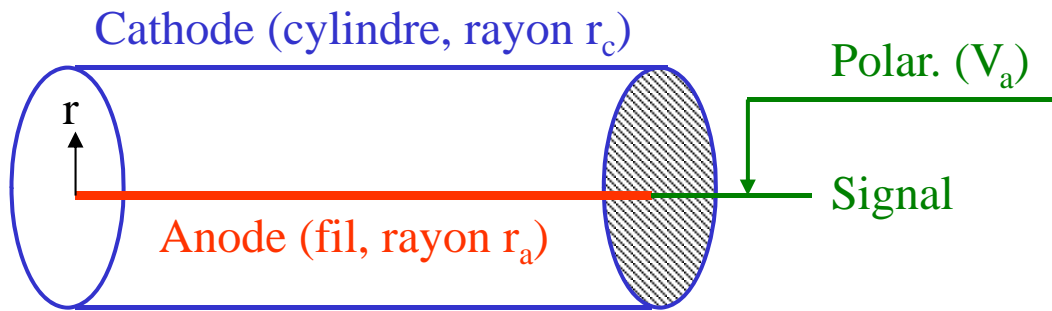
Plus généralement : fonction de transfert : $H(s)$

Exemple de la chambre d'ionisation

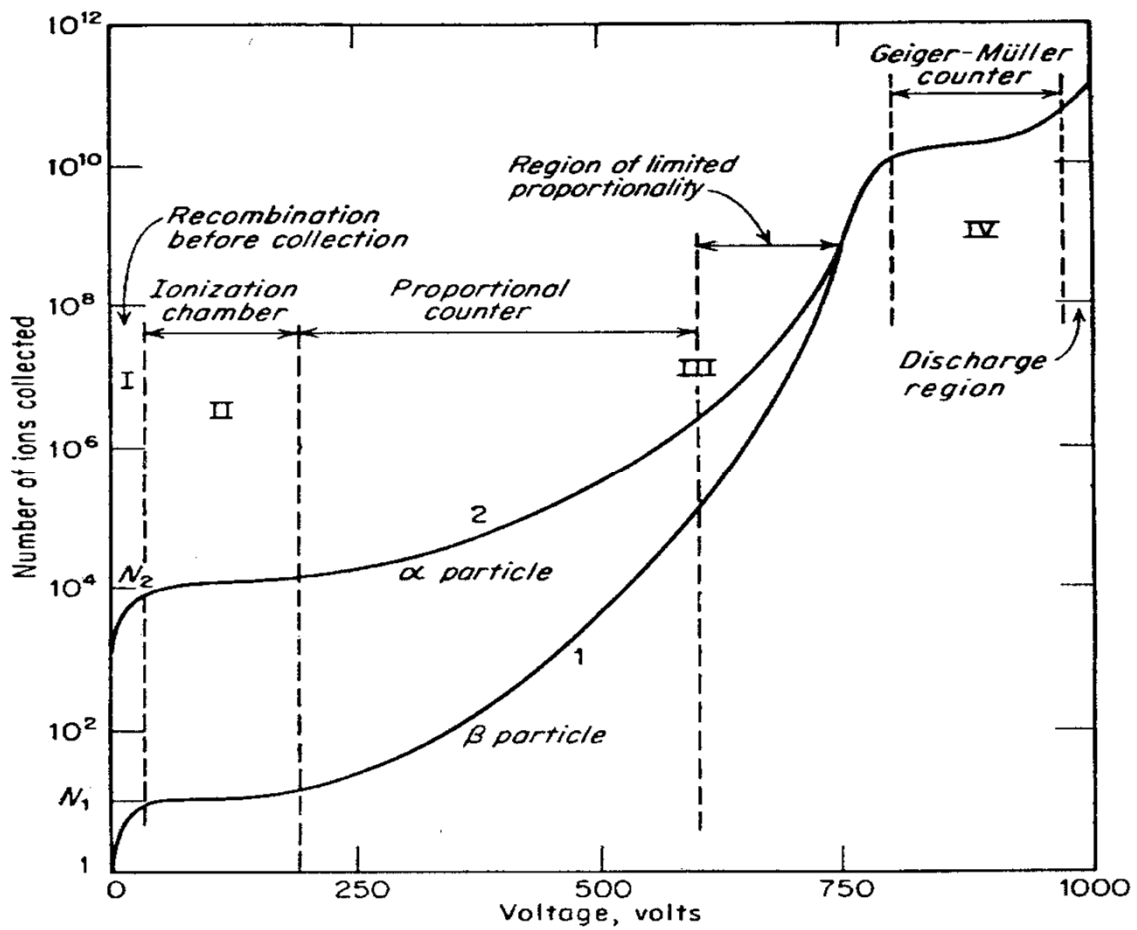


Lecture par un préamplificateur de charge :
Intégration des charges sur une capacité C
Différenciation de constante RC

Compteur proportionnel



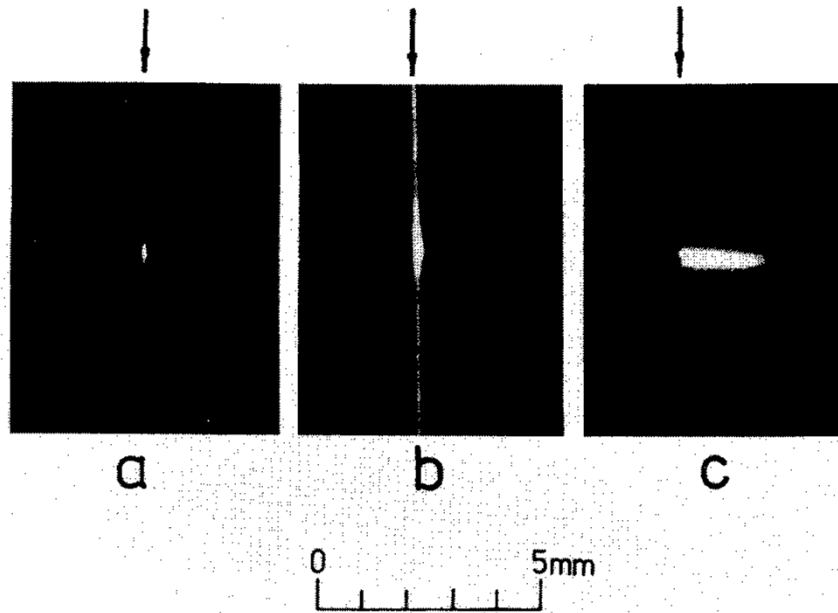
Champ électrique : $E (r) = V_a / r \cdot \log r_c / r_a$



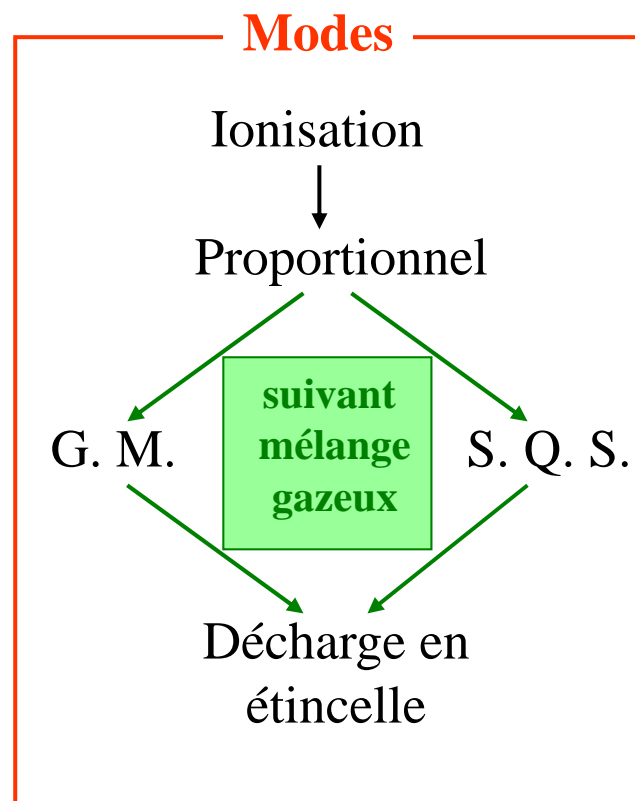
Les différents régimes de fonctionnement d'un compteur à gaz

Mode S. Q.S. (Self-Quenching Streamer)

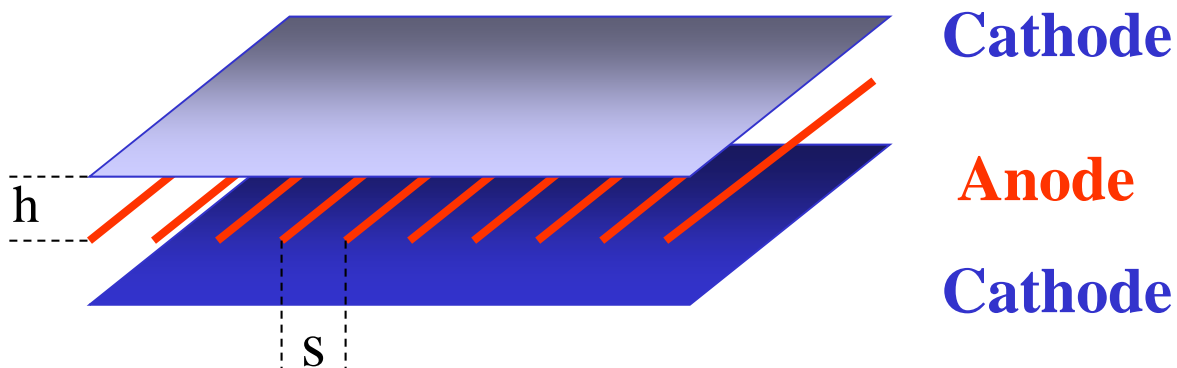
Différents modes de fonctionnement



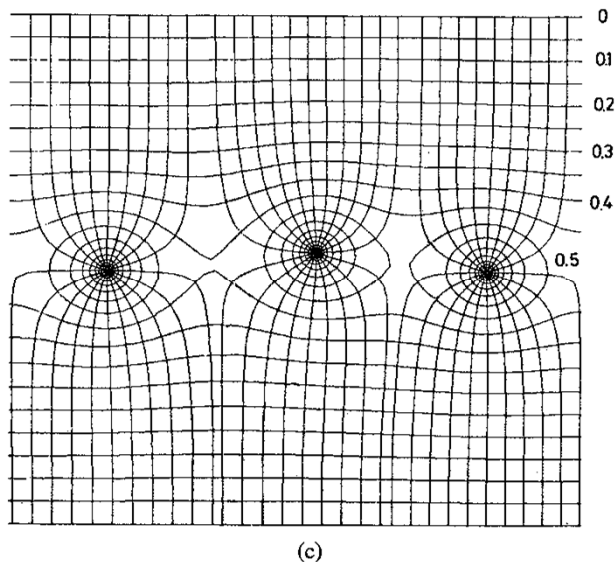
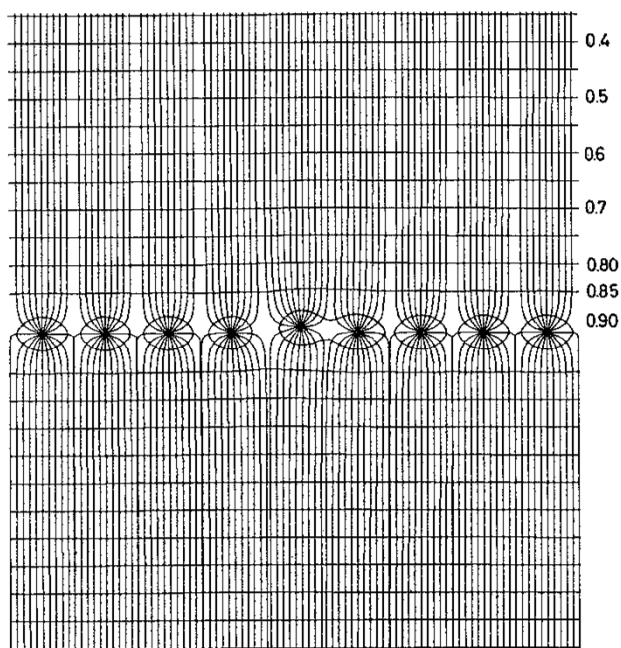
a) Compteur proportionnel ; b) Compteur Geiger ; c) Tube en mode SQS



Chambre multi-fils proportionnelle (MWPC)



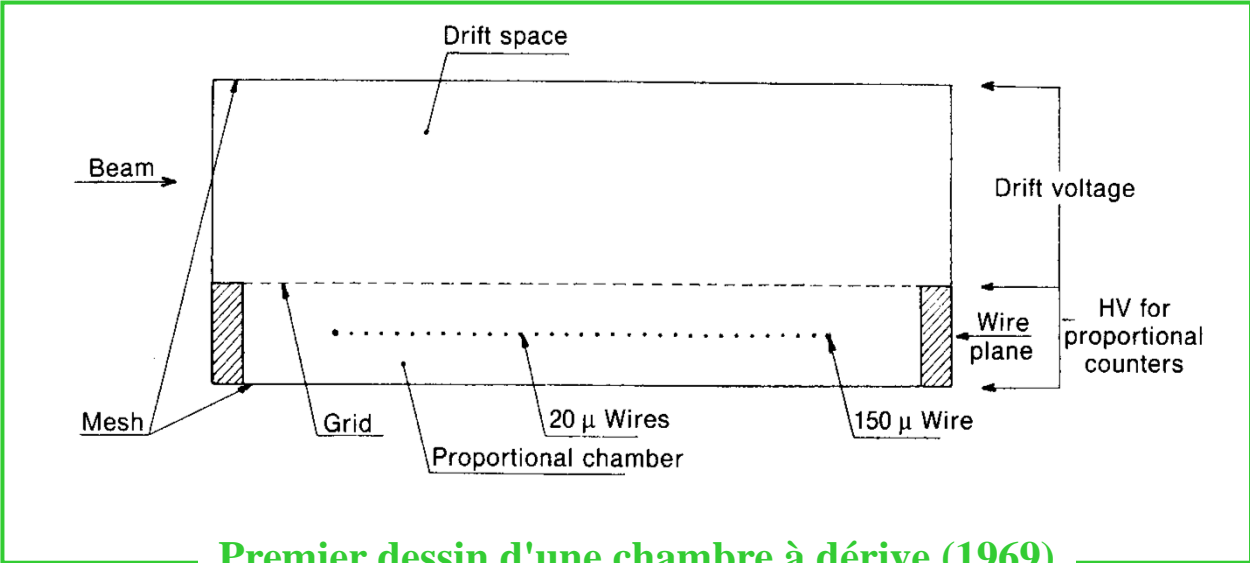
Au voisinage du fil
Champ électrique fort \Rightarrow Multiplication



Fils de $40 \mu\text{m}$ de diamètre
 $S = 1 \text{ mm}$ $h = 8 \text{ mm}$ $s = 3 \text{ mm}$ $h = 4 \text{ mm}$

Equipotentielles et lignes de champ

Drift Chamber (Chambre à dérive)



Premier dessin d'une chambre à dérive (1969)

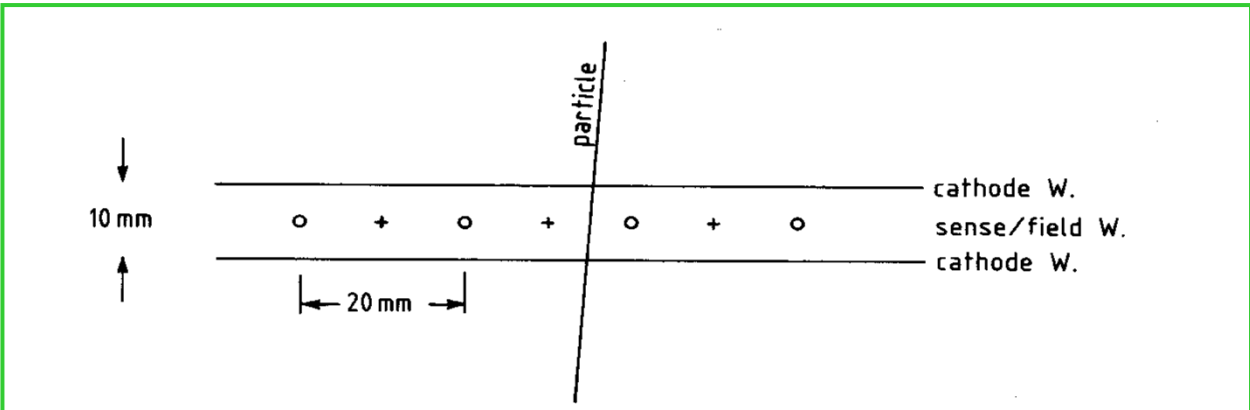


Fig. 10.2. Disposition of the electrodes in the chamber built by Walenta et al.

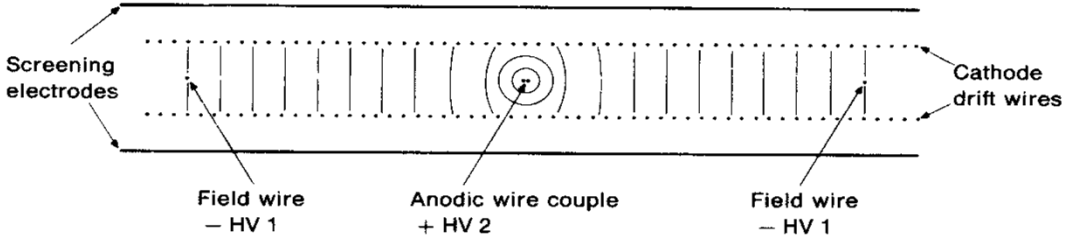
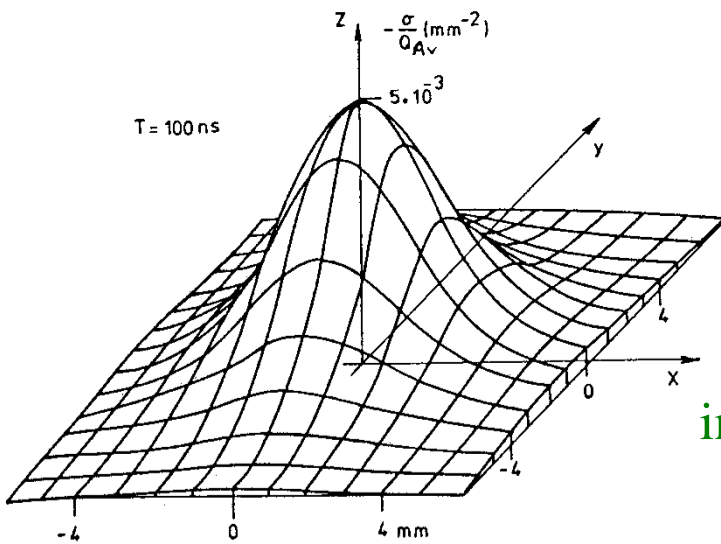
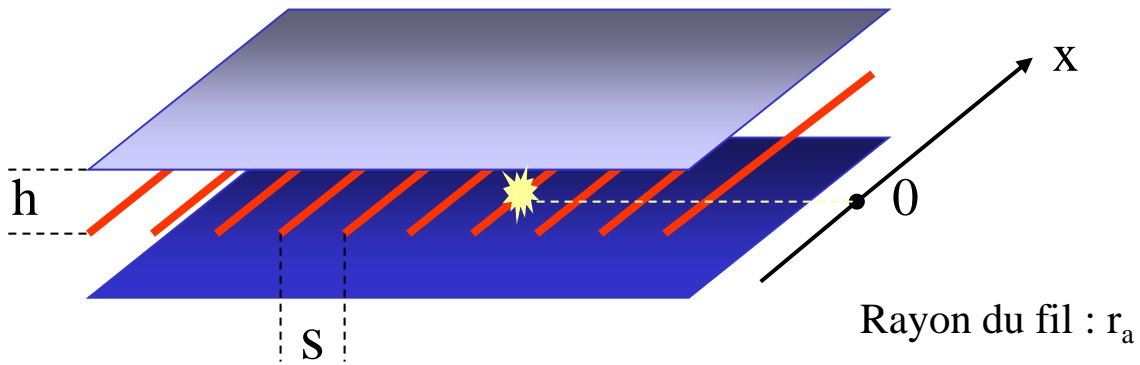


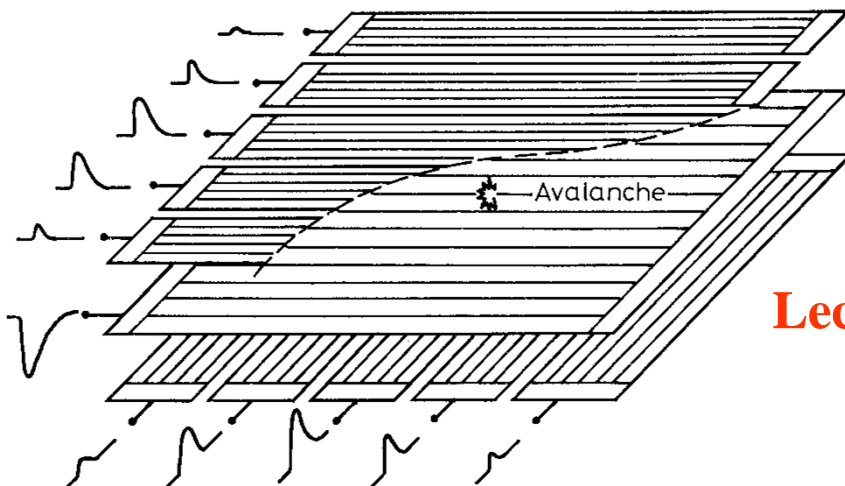
Fig. 10.3. Disposition of the electrodes in the chamber built by Breskin et al. [BKE 75], cathode wires at uniformly decreasing potentials produce a long and homogeneous drift field

Développement des chambres à dérive

C S C (Cathode Strip Chamber)



Forme de la
Distribution en charge
induite sur les plans de cathode

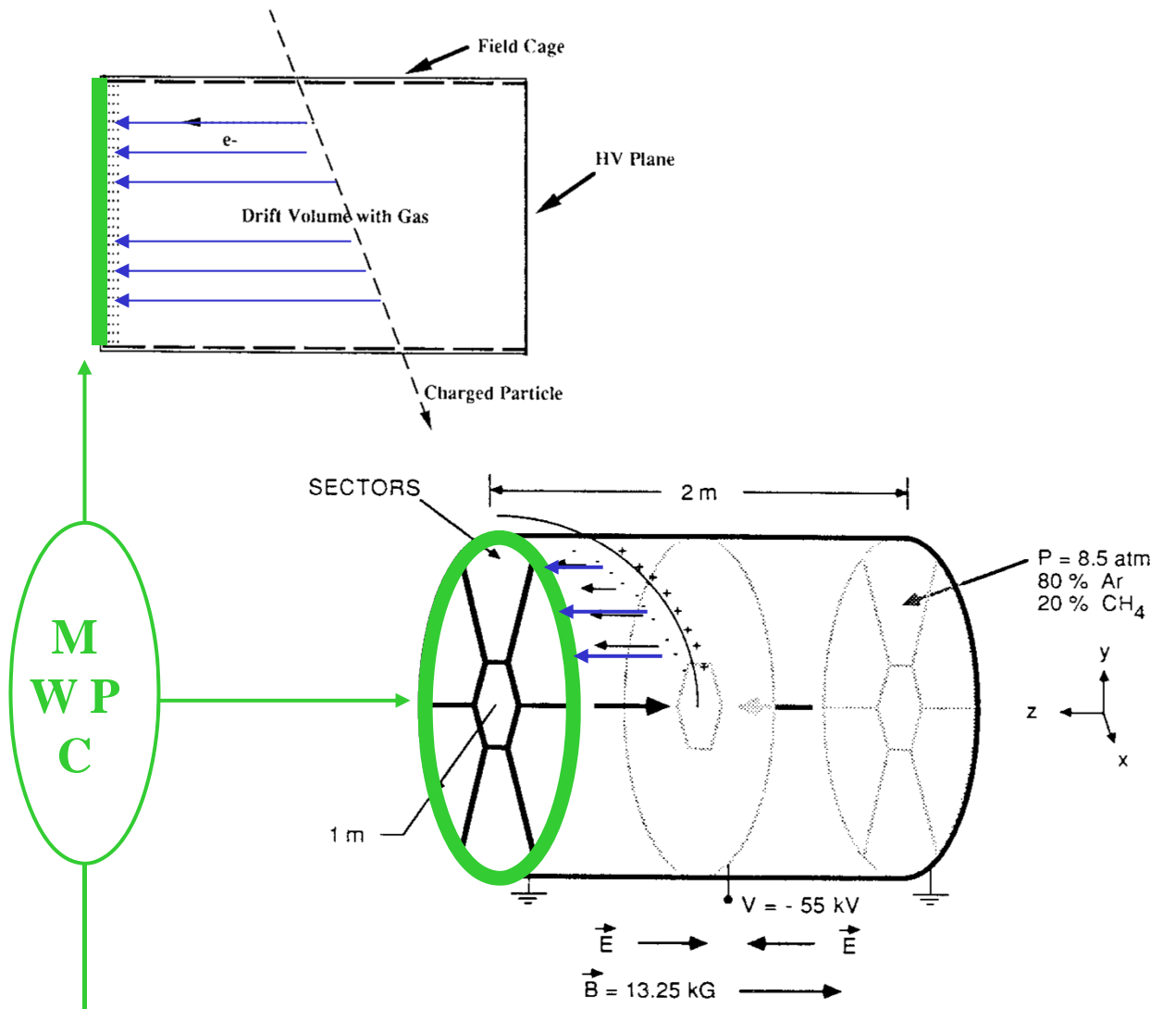


Possibilité de
Lecture bidimensionnelle

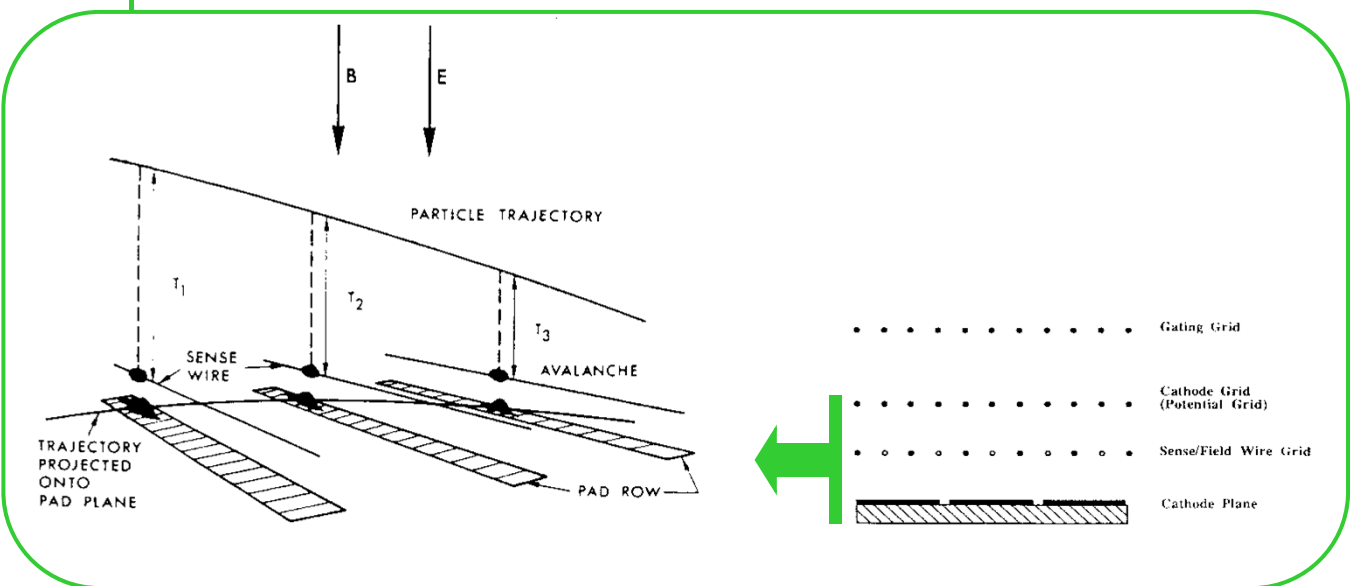
Mais...

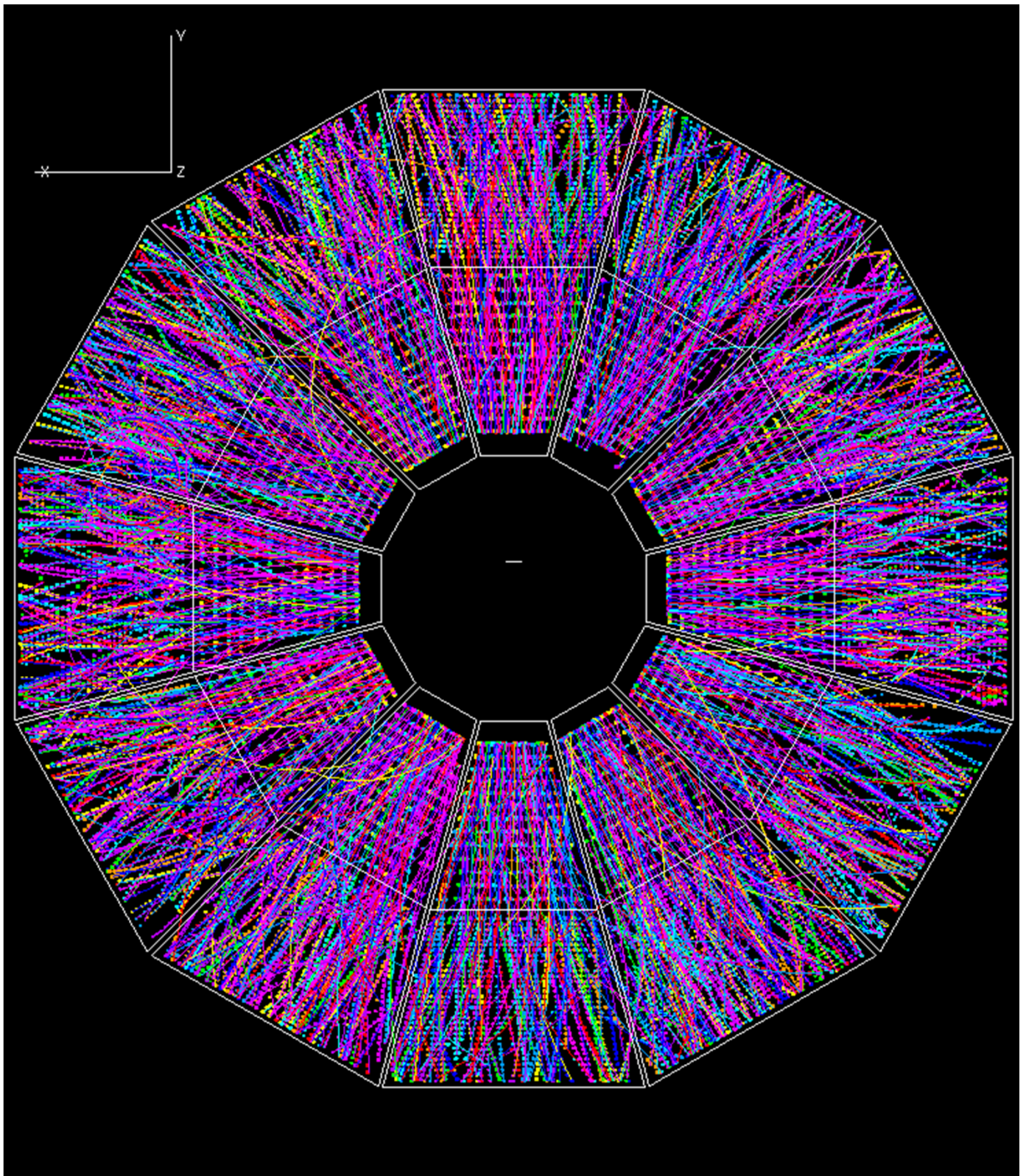
Bonne précision uniquement dans le sens du fil

T P C (Time Projection Chamber)



M
W
P
C





TPC de STAR à RHIC

Détecteurs à plaques parallèles



Multiplication du nombre d' électrons :
 $M = N / N_0 = \exp(\alpha \cdot x)$ sur une longueur x
où α est le premier coefficient de Townsend

α de la forme $\alpha / p = A \cdot \exp\{-B / (E/p)\}$
avec p pression et E/p champ électrique réduit
(A et B paramètres dépendant du gaz)

Champ fort : détecteur mince (100 μm à qqs mm)

Physique nucléaire (ions lourds)

N_0 assez grand
Basse pression

Mode proportionnel
Gains typiques :
 10^4 avec $E/p = 500 \text{ V/cm.torr}$

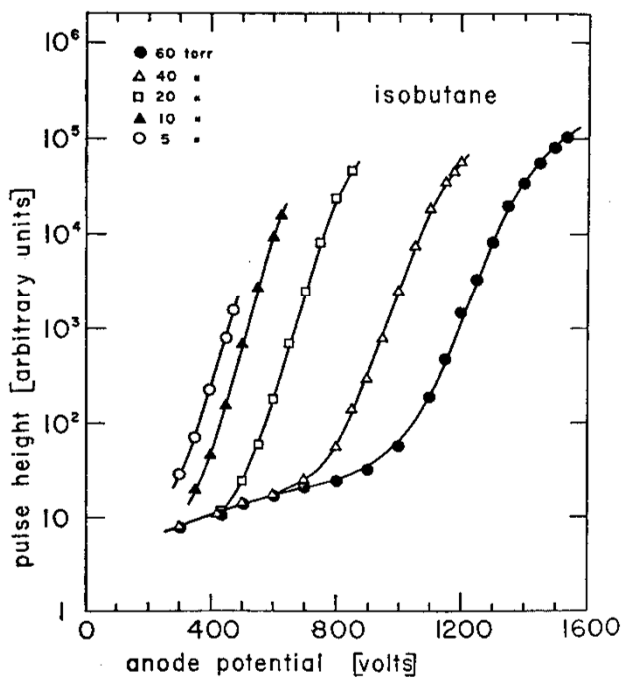
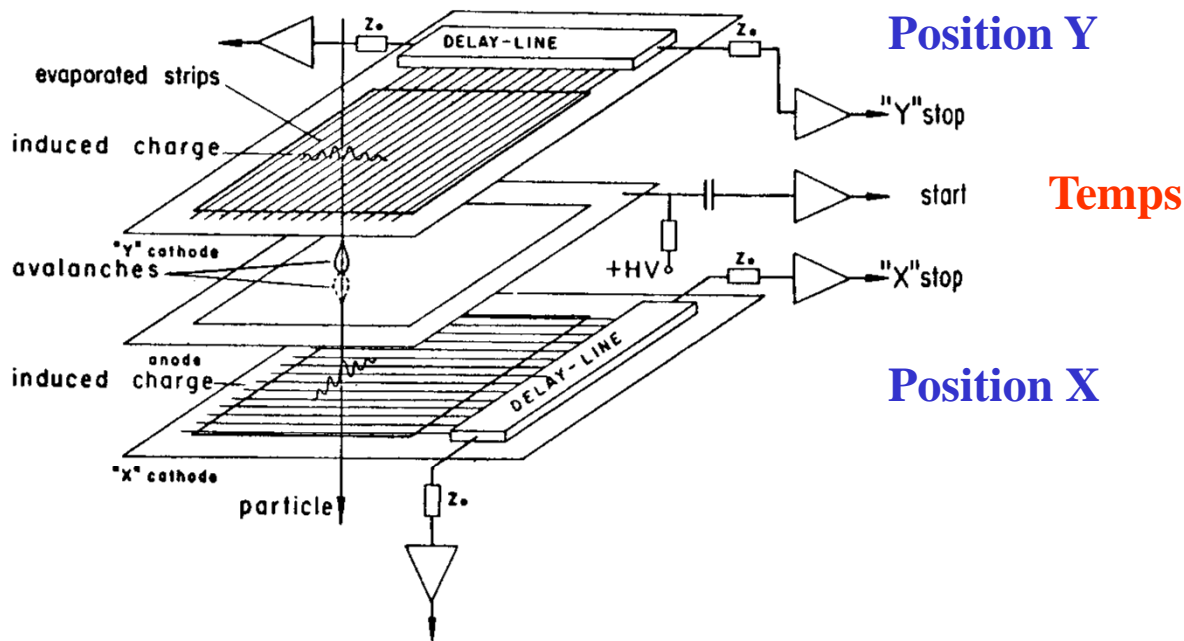
Physique particules (m. i. p.)

N_0 très petit
Pression 1 ou qqs atm.

Nécessité gain très élevé
Modes
Proportionnel ; SQS ; Décharge

PPAC à basse pression

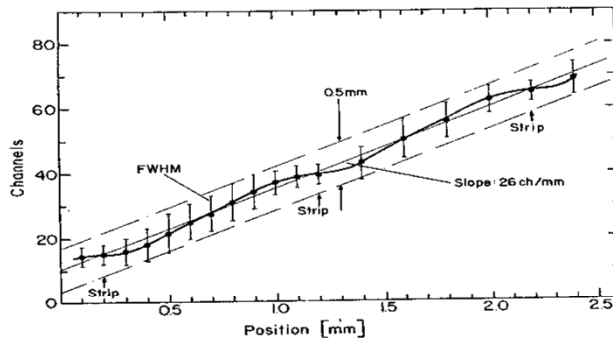
Ionisation primaire importante : Physique nucléaire (ions lourds , basse énergie)



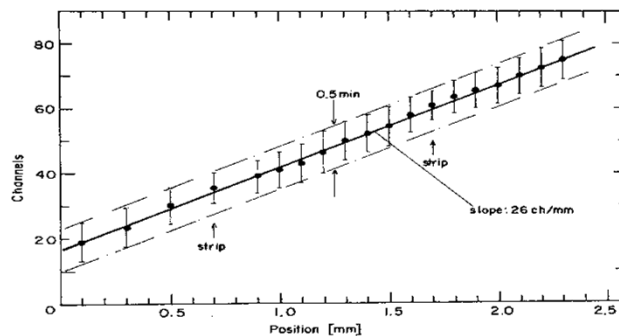
Gains relatifs

Temps

140 ps (FWHM) avec α de 5,5 MeV



Isobutane ; d = 1,6 mm ; p = 25 Torr



Isobutane ; d = 3,2 mm ; p = 25 Torr

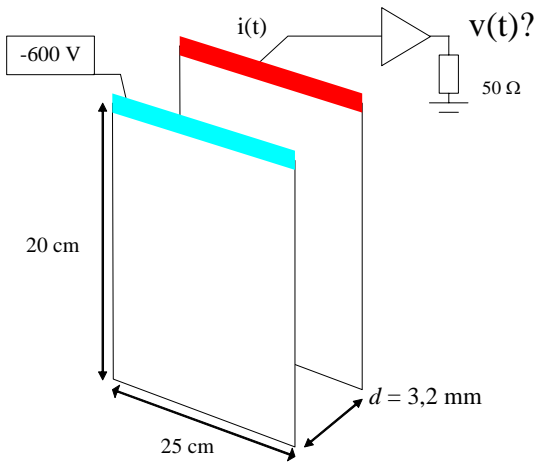
Position

Déplacement

Résolutions (FWHM)

(Pistes de 0,6 mm, période: 1mm)

PPAC à basse pression. Modélisation



Surface : 20 x 25 cm²
 Gap : 3,2 mm

Isobutane 5 Torr
 HT = 600 V

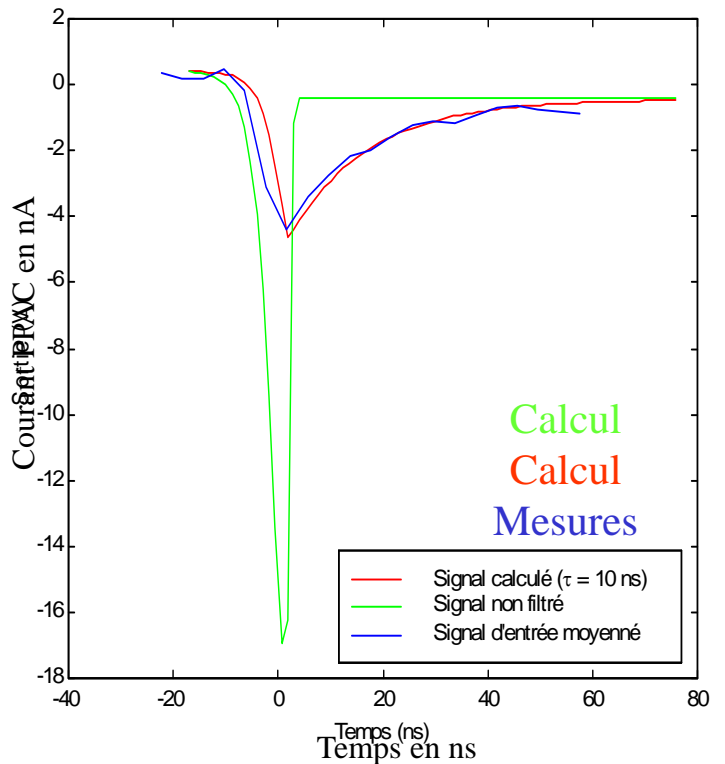
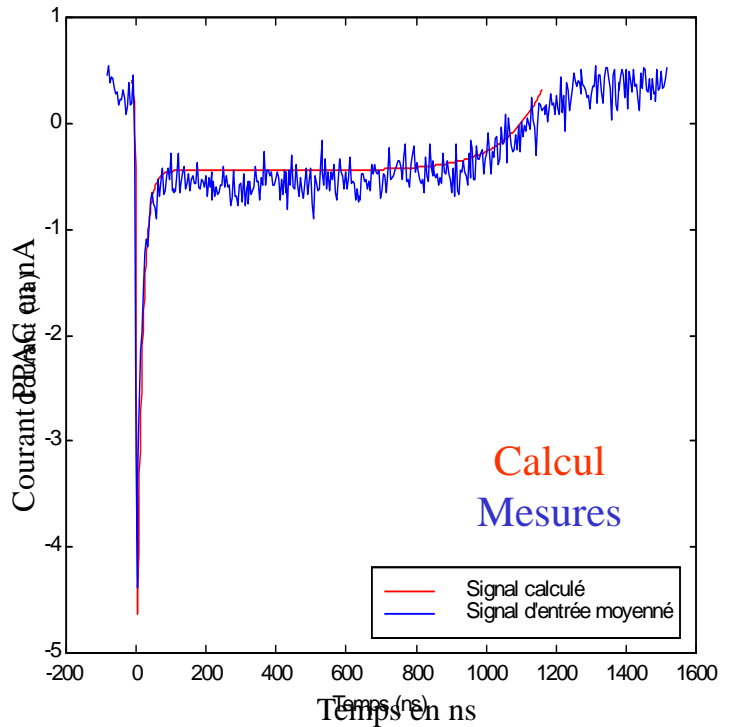
Coef. de Townsend : 41 cm⁻¹

Vitesses de dérive :
 électrons : 160 μm/ns
 ions : 2,3 μm/ns

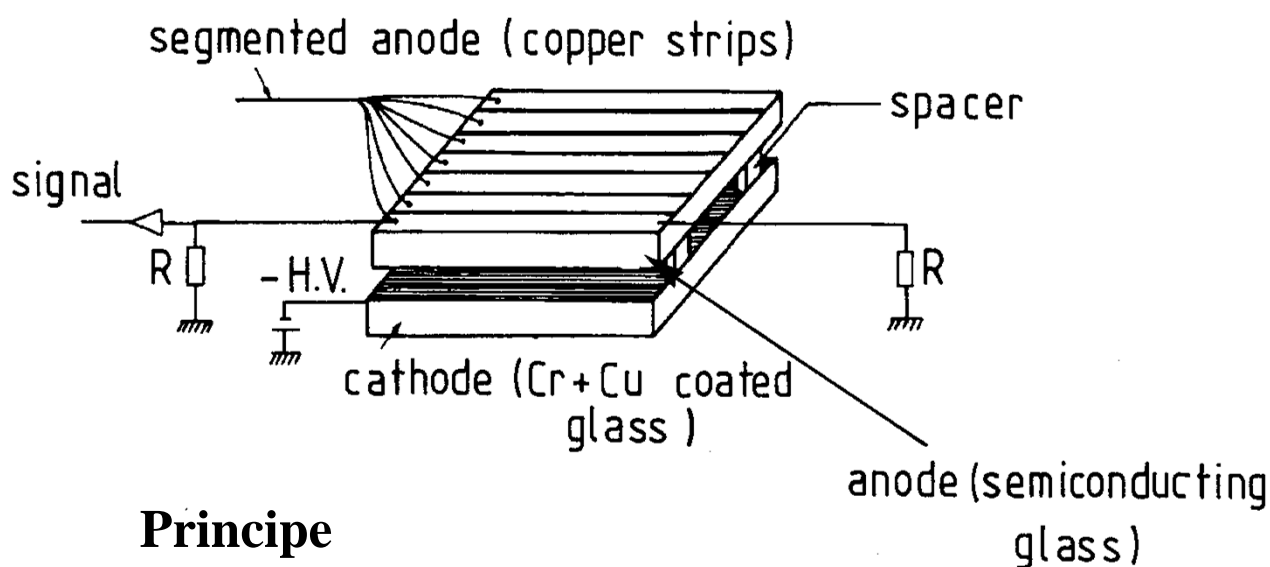
Capacité détecteur : 140 pF
 Impédance électronique : 70 Ω

Simulation
Détecteurs gazeux

Garfield
 Rob Veenhof
 CERN



Détecteur plan à étincelles



Compteur « Pestov »

Introduit en 1971

INP Novosibirsk et développé par Pestov

Gaz : 55% argon + 30% ether + 10 % air + 5% divinyl
 $d = 100 \mu\text{m}$, $p = 1 \text{ atm.}$, Résolution : 100 ps (FWHM)

Aujourd'hui (2000)

Gap : $100 \mu\text{m}$

Bonne résolution en temps

Pression : 12 bar

Bonne efficacité (96 %)

Gaz (en bar) : 9,23 Ar + 2,4 C₄H₁₀ + 0,3 C₂H₄ + 0,07 C₄H₆

Bonne absorption des photons

Résolution

Excellente 25 à 80 ps (en FWHM/2,35)

Mais...

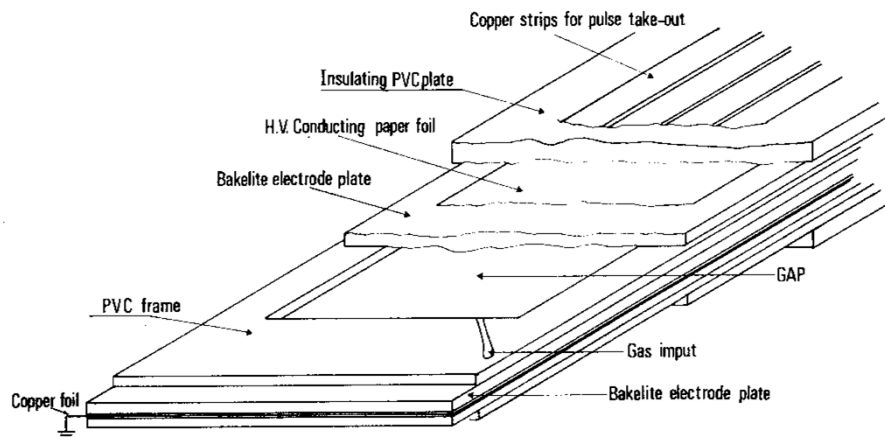
Queue de qqs % > 500 ps (non gauss.)

et surtout...

Construction délicate

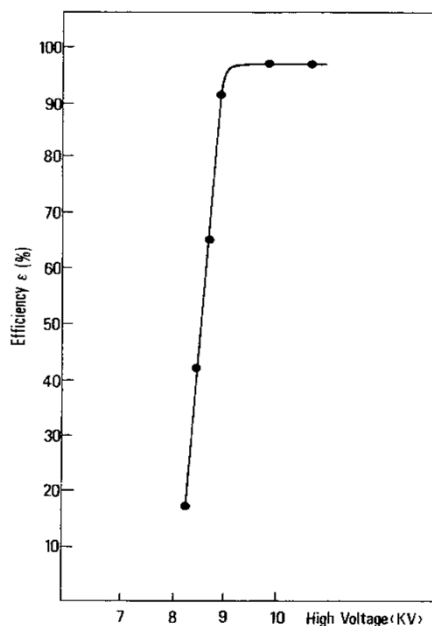
RPC : Resistive Plate Counter (ou Chamber)

Introduit en 1981 par Santonico et Cardarelli (INFN Roma)

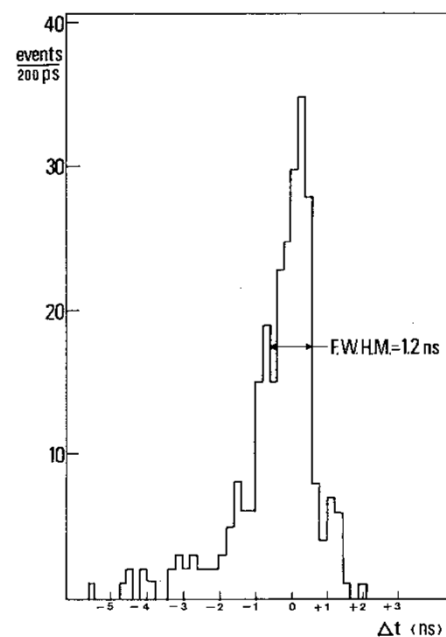


Prototype (85 x 13 cm²)

Electrodes en bakélite : résistivité de $10^{10} - 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$
Gap : 1,5 mm Gaz : argon (50 %) et butane
Pistes de 30 mm , séparées de 2 mm

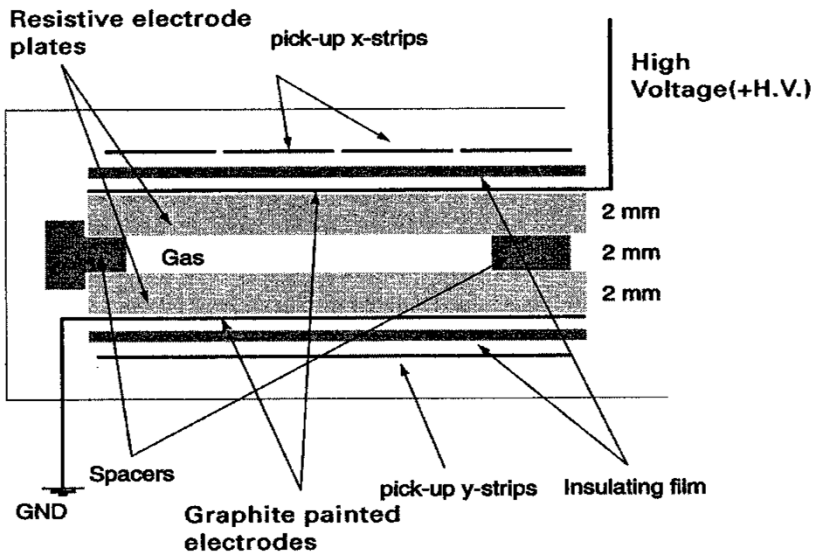


Efficacité (Seuil 30 mV) 97 %
Impulsions 200 – 400 mV



Résolution en temps

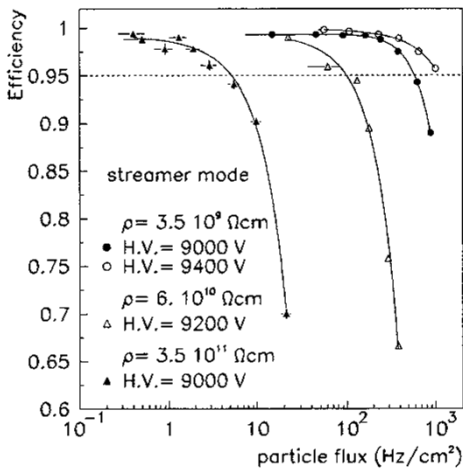
RPC – Trigger du Bras dimuons de ALICE



Prototype
(50 x 50 cm²)
 largeur pistes : 1 ou 2 cm

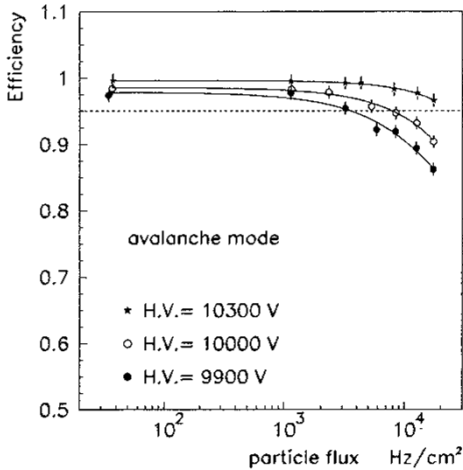
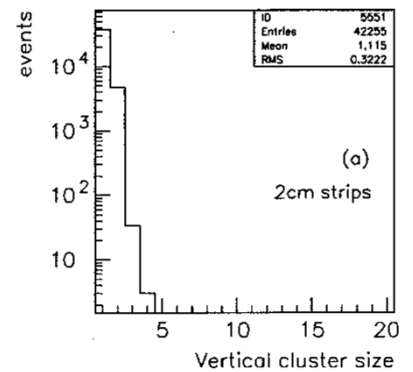
Gap : 2 mm

Electrodes en bakélite
 (avec huile de lin)
 Différentes résistivités
 (Standard : $3,5 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$)



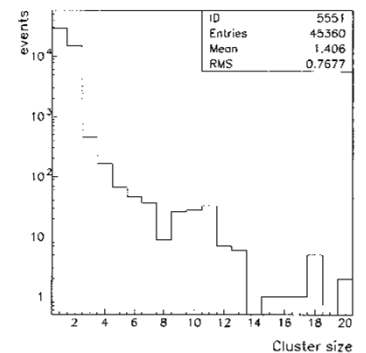
Mode « Streamer »

Ar (49%) + i-C₄H₁₀ (7%)
 + C₂H₂F₄ (40%) + SF₆ (4%)



Mode « Avalanche »

C₂H₂F₄ (95%)
 + i-C₄H₁₀ (3%) + SF₆ (2%)

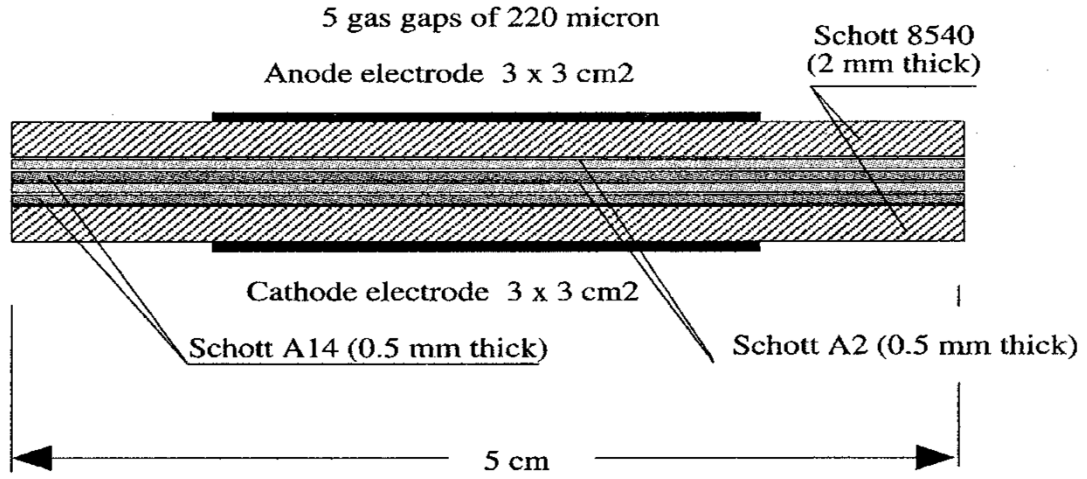


Efficacité en fonction du flux

Taille des « clusters »

RPC – Multigap (MRPC)

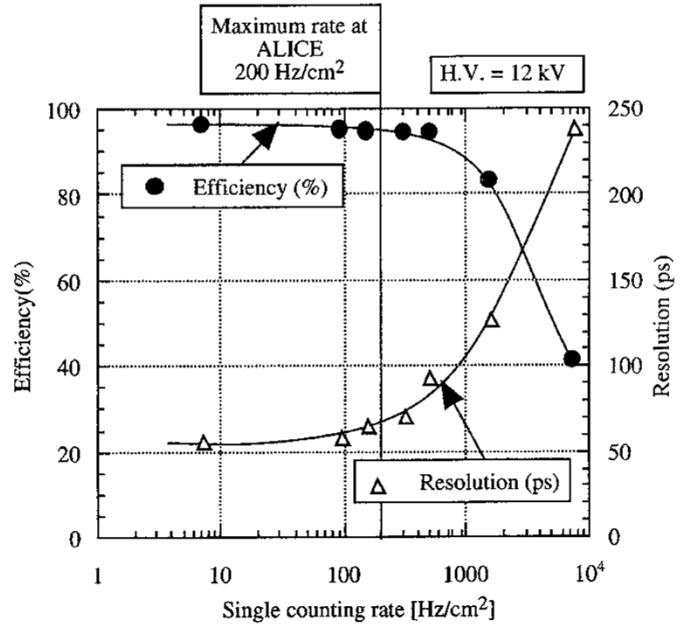
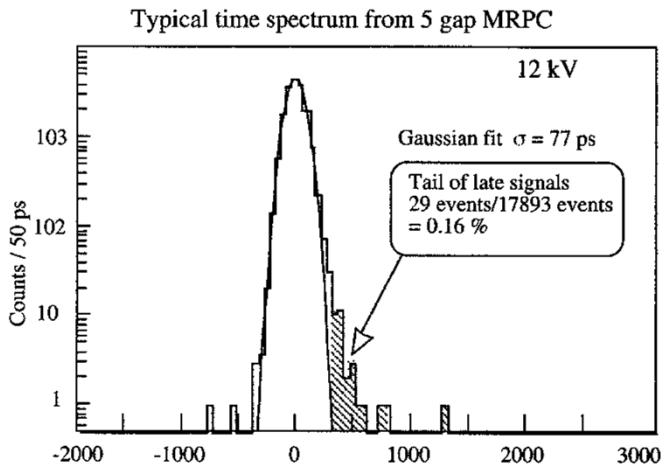
‘Single cell’ Multigap RPC



Prototype « une cellule »

Gaz : 5% SF₆ + 5% isobutane + 90% C₂F₄ H₂

Résistivités	Schott 8540 : 10 ¹⁰ Ω.cm
Schott A2 : 8 x 10 ¹² Ω.cm	Schott A14 : 1,5 x 10 ¹² Ω

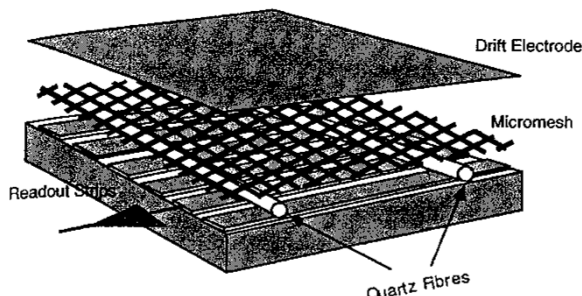


Résolution en temps

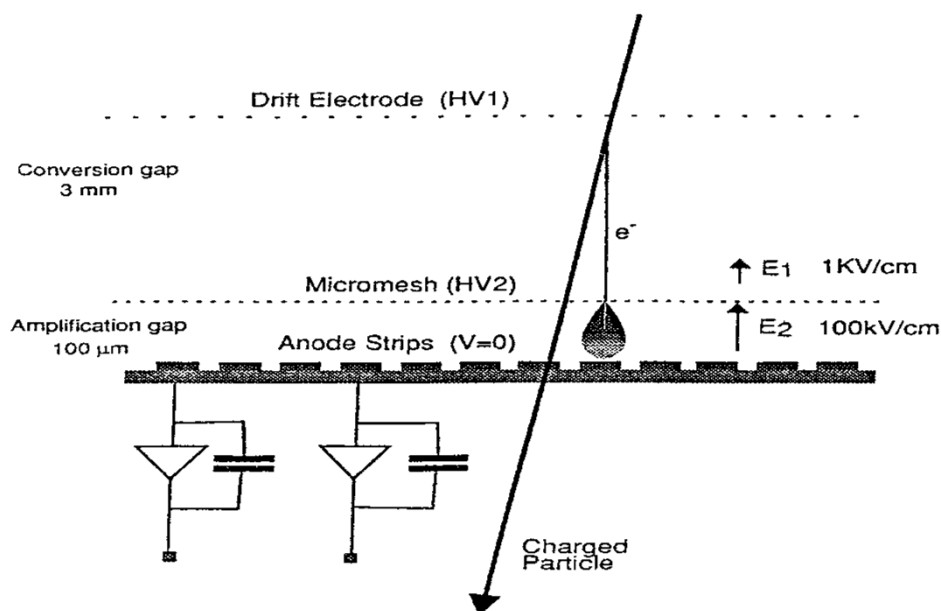
Efficacité et résolution

En fonction du taux de comptage
GIF @ CERN (Source de ¹³⁷Cs)

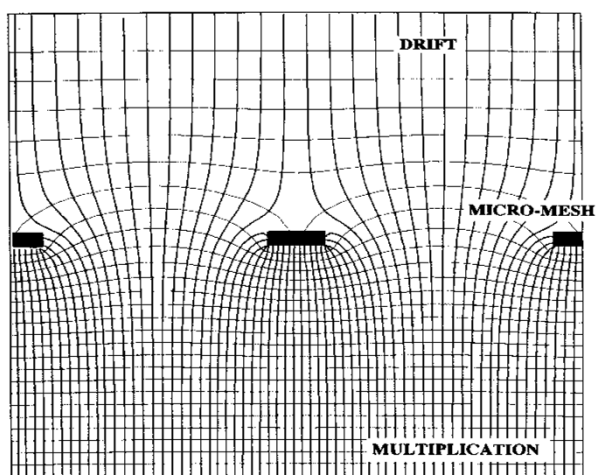
MICROME GAS (MICRO – MESH – Gaseous Structure)



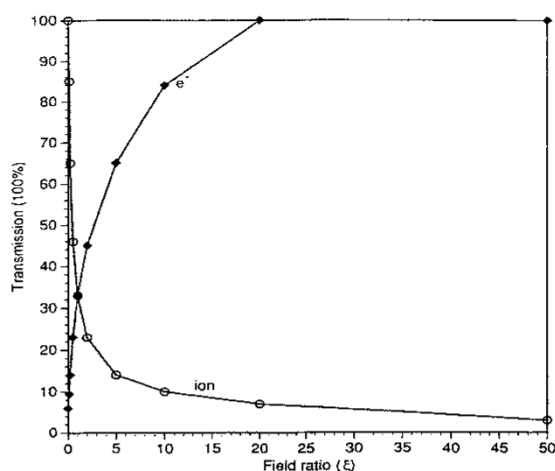
Introduit en 1996
par
Giomataris , Rebougeard
Robert et Charpak
(CEA, DAPNIA, Saclay)



Grille
Nickel
Carrés
Pas : 25 μm
Epais. : 3 μm
Transp. : 45 %



Forme du
champ électrique



Transparence de la grille (Calcul)
 $\xi = E(\text{multipl.}) / E(\text{dérive})$

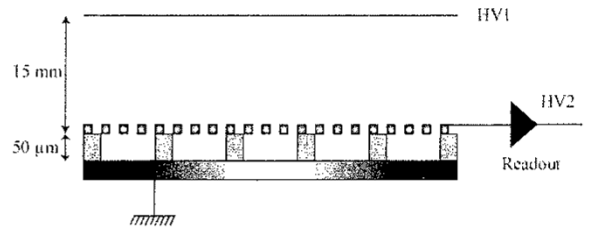
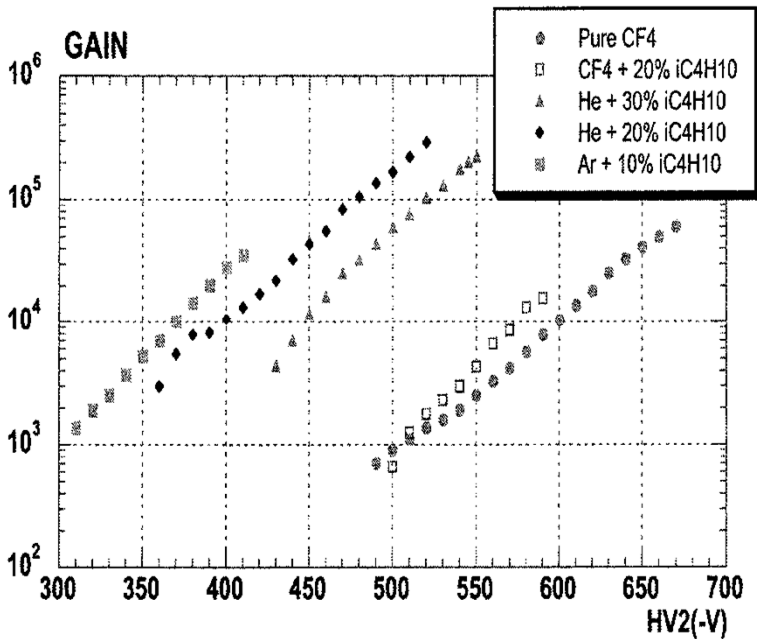
MICROME GAS

Multiplication dans un champ très fort

Saturation du Coefficient de Townsend
Faible variation du gain en fonction du gap

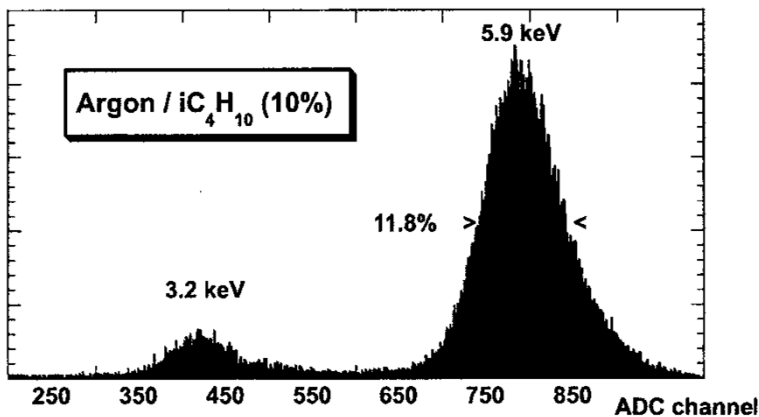
Faible gap

Signaux rapides



Grille / Supports
Cuivre 5μm / Kapton 50μm

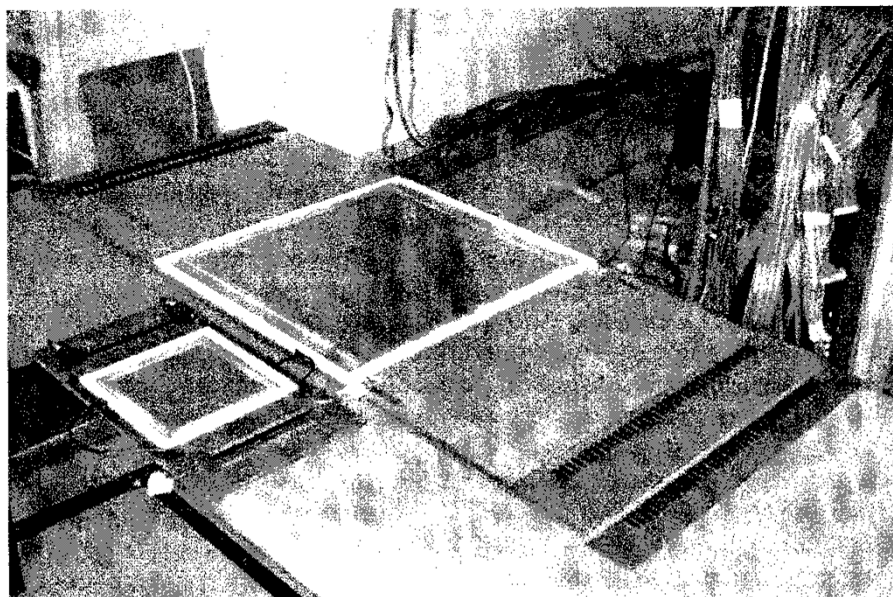
Gain



Résolution en énergie

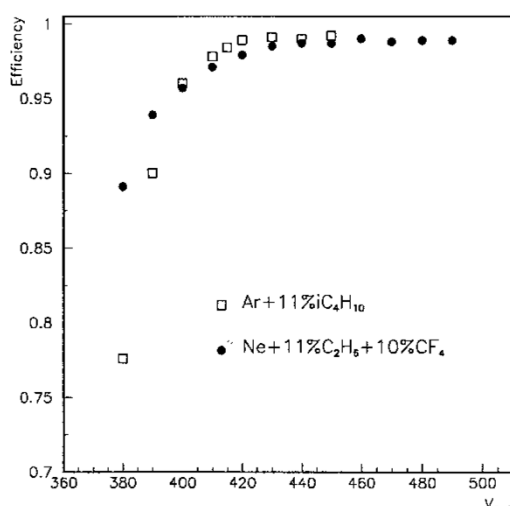
Avec l'ancienne grille en nickel
 $R = 14\%$

MICROMEGAS pour Compass



MICROMEGAS . Surface active 40 x 40 cm² . Electronique déportée

Etudes sur un prototype



Efficacité : 99% à 425V (440V)
Gain 3700 (6400) avec argon (xénon)
Résolutions : 50 μm et 8,5 ns

Surface active : 26 x 36 cm² .
Dérive : 2,5 mm
1kV/cm

Amplification : 100 μm
40 à 50 kV/cm
Pistes : pas 317 μm

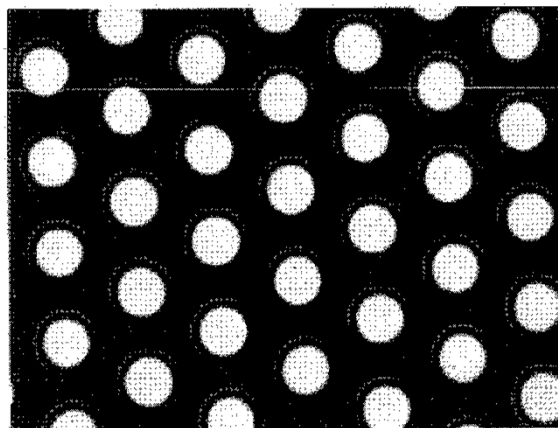
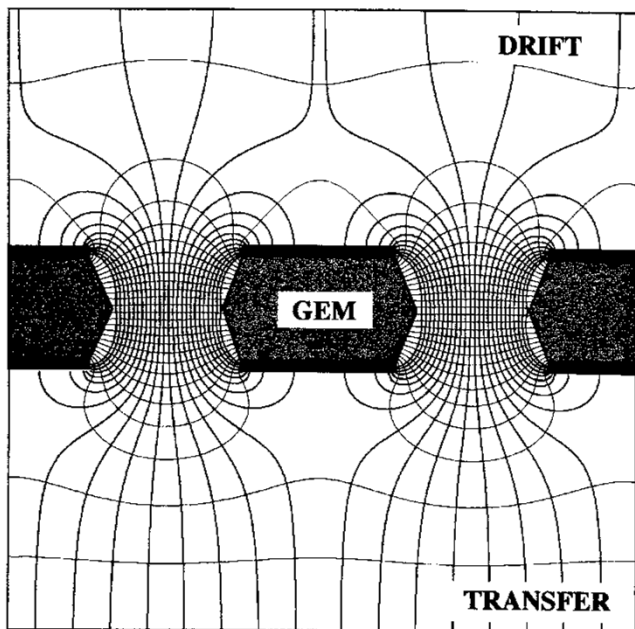
Electronique (SFE16)
Time over Threshold
(2 sorties logiques)
Peaking time : 85ns
Bruit : 825 e

Taux de décharge pendant 2s

(Conditions Compass : zone centrale, flux intégré 3 x 10⁷ particules / s)
0,2 avec neon ; 2,5 avec argon - Temps mort 3ms

GEM (Gas Electron Multiplier)

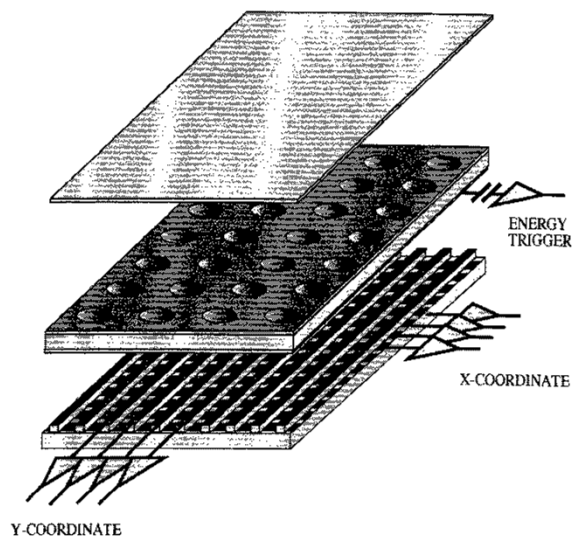
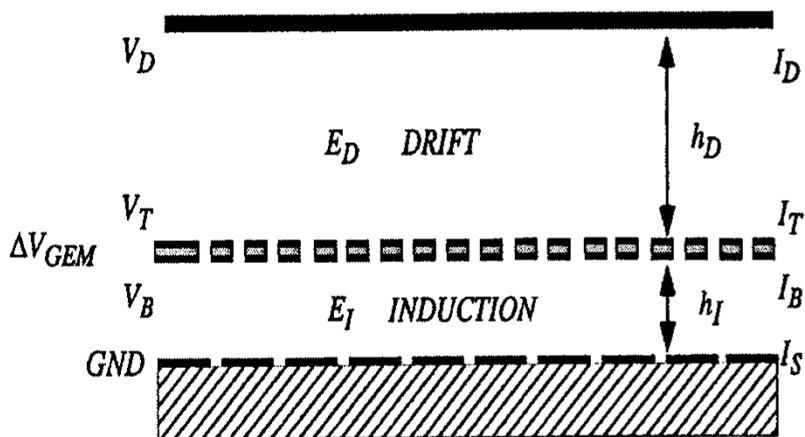
Introduit en 1996 par Sauli (CERN)



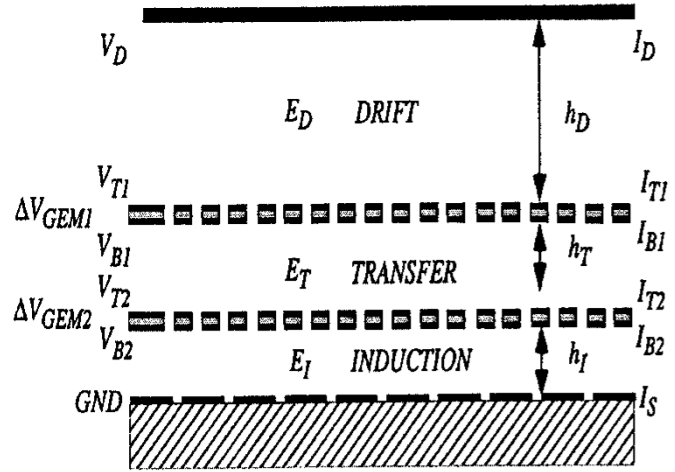
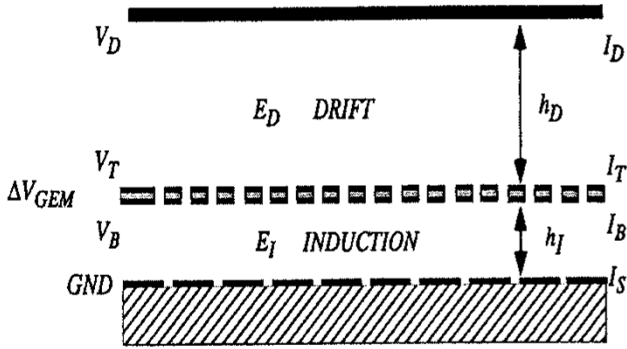
GEM
Fabrication CERN

Kapton 50 μm
(Cuivre 5 μm)

Trous : 40 à 140 μm
Pas : 90 à 200 μm
(Standard : 70/140 μm)



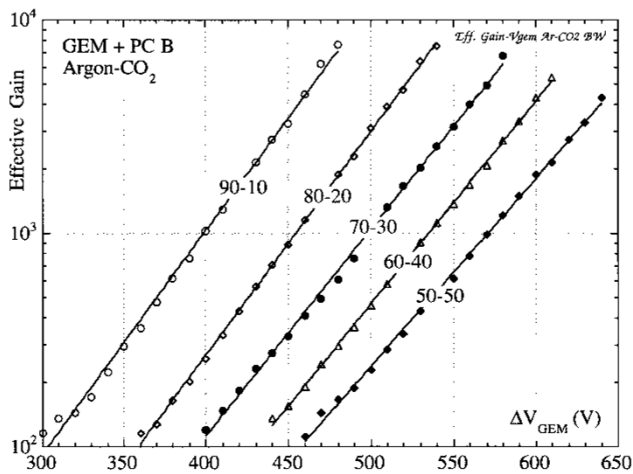
GEM Gains



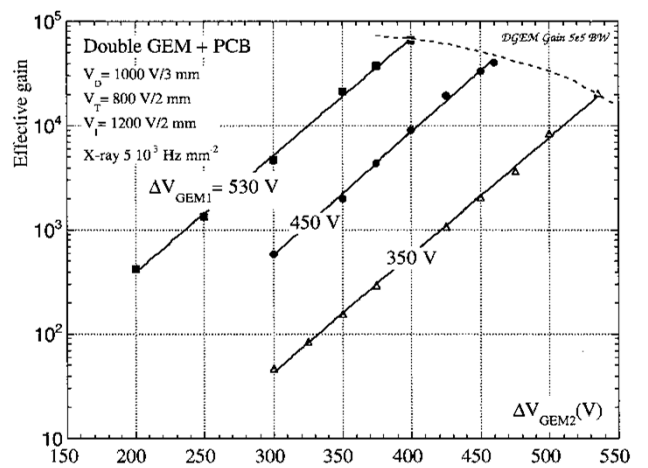
Simple GEM



Double GEM

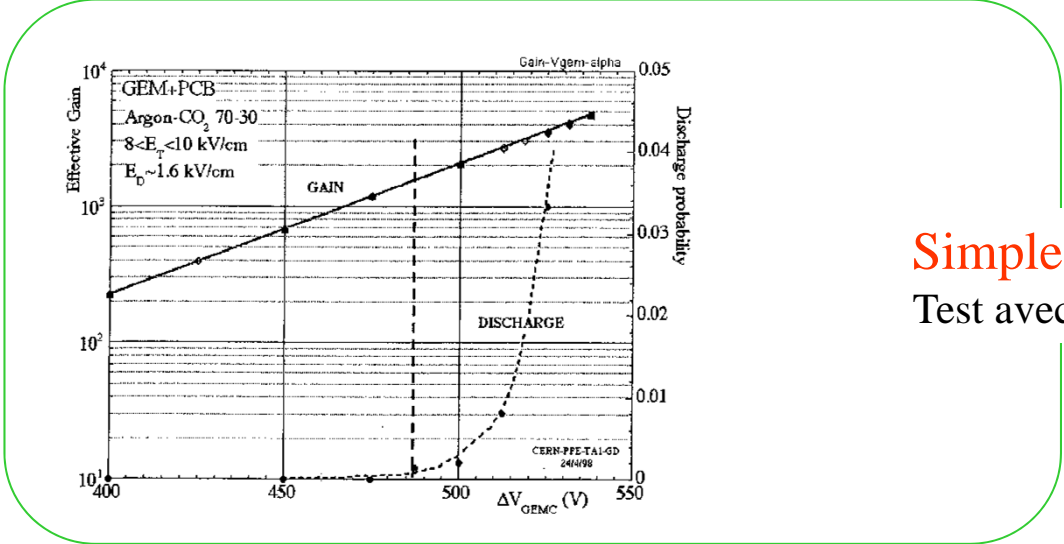


Gaz : x % Ar + y % CO₂

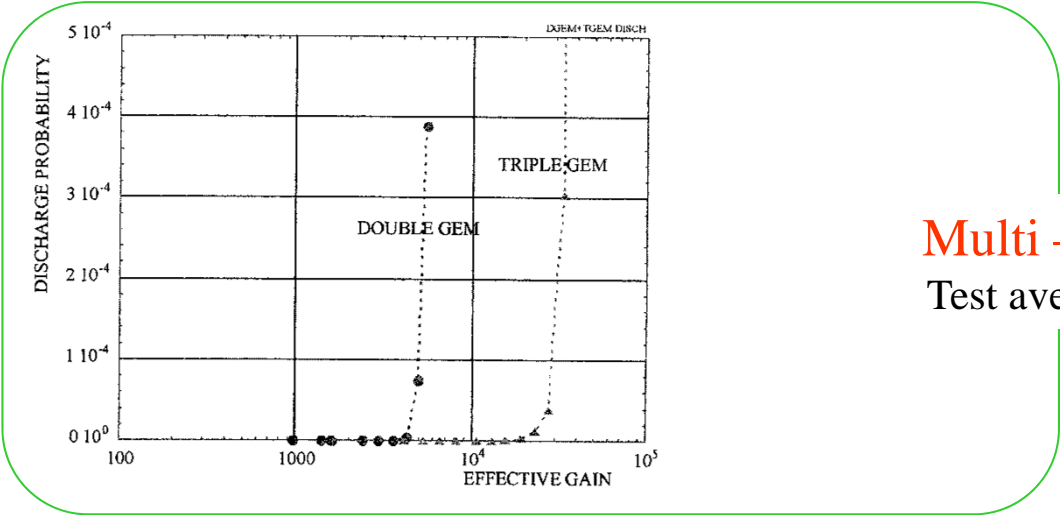


Gaz standard : 70% Ar + 30% CO₂

GEM Décharges



Simple GEM
Test avec alphas



Multi – GEM
Test avec alphas