

Détecteurs gazeux

Jean Peyré



*CSNSM (Centre de Sciences Nucléaires et de Sciences de la Matière)
CNRS-IN2P3-Université Paris Sud (Paris-Saclay)*

91405 Orsay, France
Tél. : +33 1 69 15 52 43
Fax : +33 1 69 15 50 08
<http://www.csnsm.in2p3.fr>



Détecteurs gazeux

Sommaire

I - Caractéristiques générales des détecteurs gazeux

I_a - Ionisation primaire

I_b - Mouvement des électrons et des ions

I_c - Multiplication par avalanche

I_d - Création du signal

II - Chambres à ionisation

II_a - Mode courant moyen

II_b - Mode impulsionnel

III - Compteur proportionnel

III_a - Compteur cylindrique

III_b - Choix du gaz

III_c - Différentes configurations de détecteurs

III_c_1 - Chambres multi-fils proportionnelles

III_c_2 - Chambres à dérives

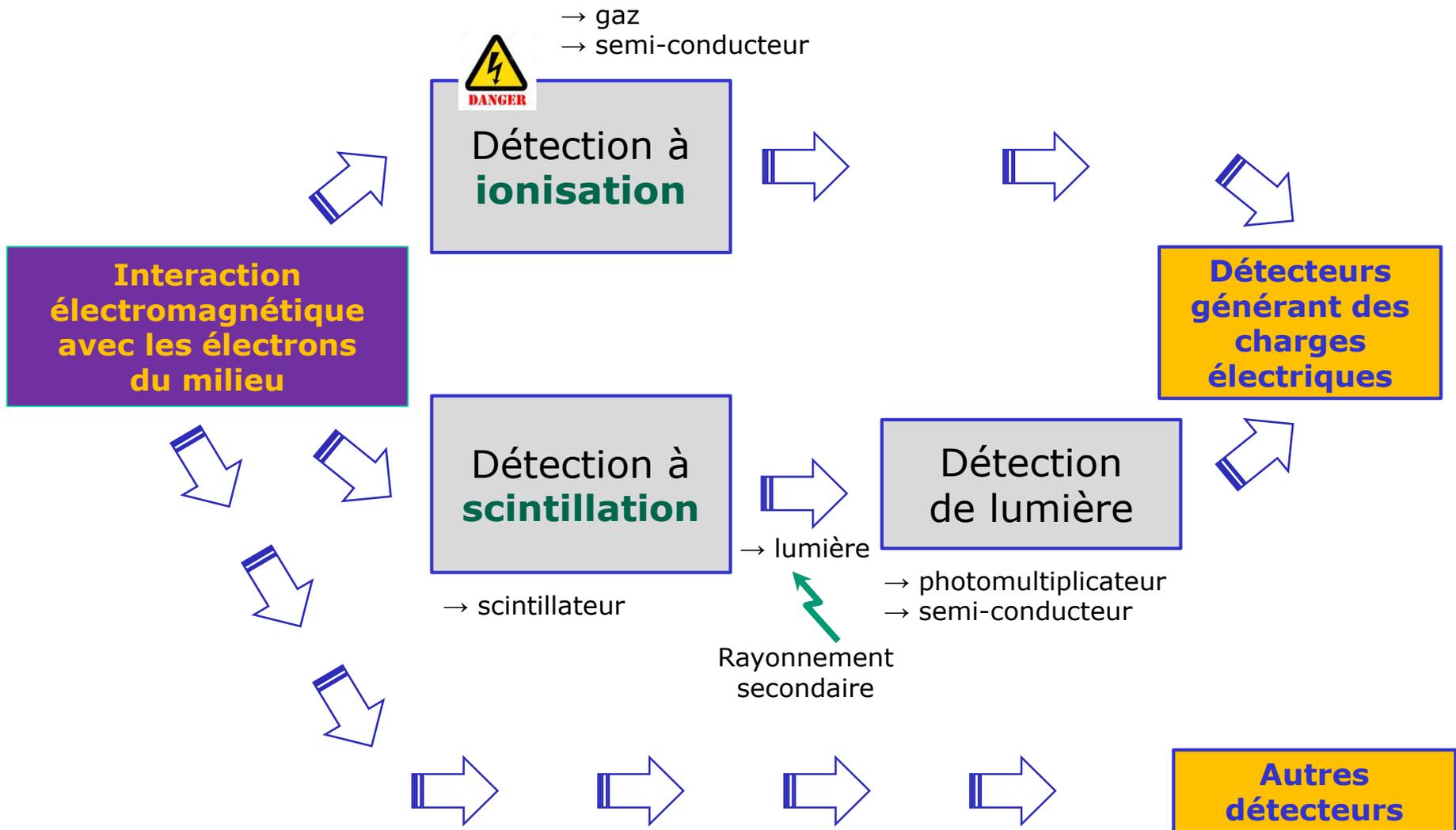
III_c_3 - TPC (Time Projection Chamber)

III_c_4 - MPGD (Micro Pattern Gaseous Detector)

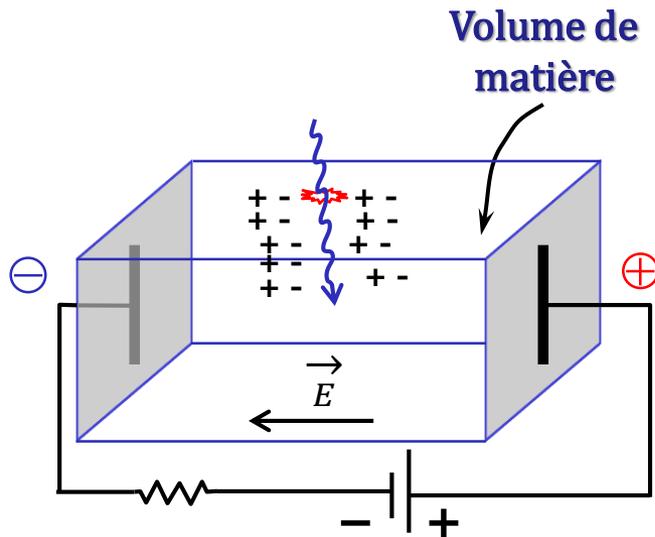
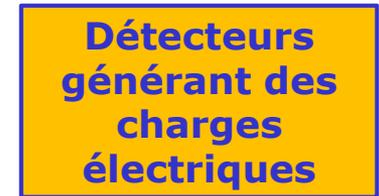
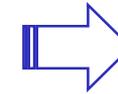
IV - Compteur Geiger-Müller

I - Caractéristiques générales des détecteurs gazeux

Ionisation & scintillation



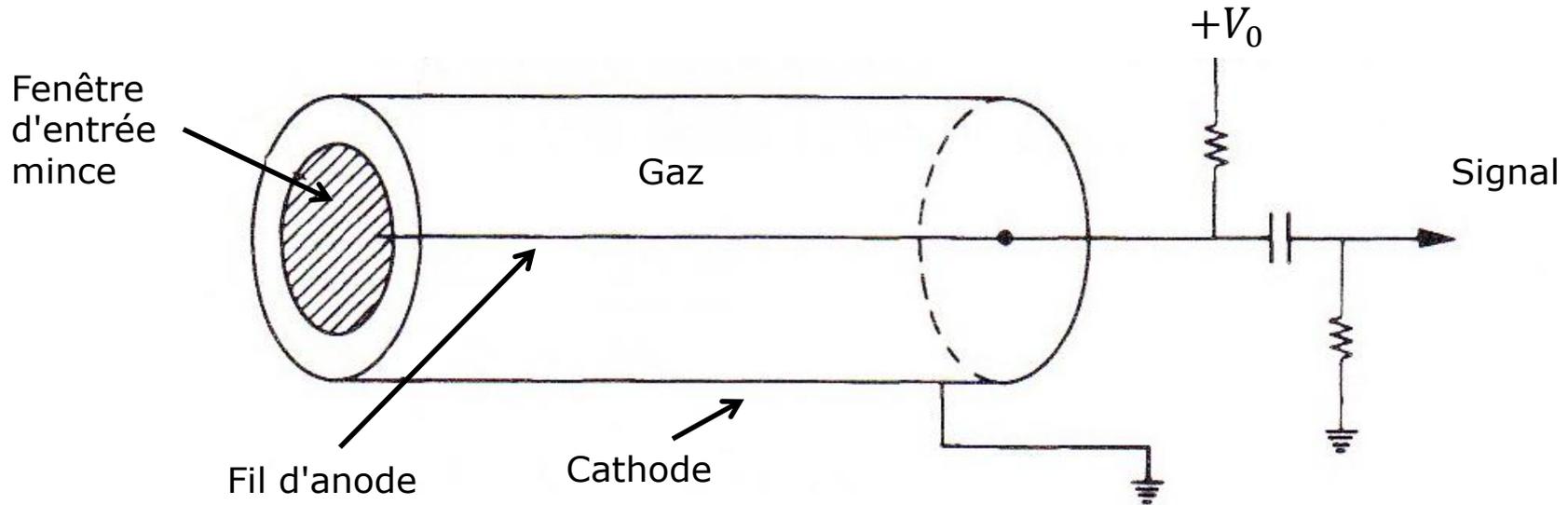
Fonctionnement de la détection à ionisation



Fonctionnement

- 1-Absorption du rayonnement
- 2-Conversion en charges par ionisation
- 3-Mouvement des charges grâce à la présence d'un champ électrique

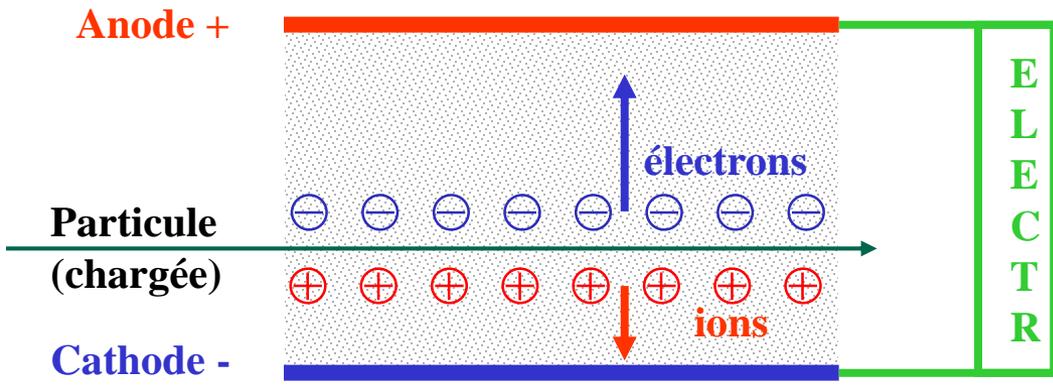
Principe des détecteurs gazeux à ionisation



Si des rayonnements ionisants pénètrent dans le cylindre:

- créations de paires électrons/ions proportionnellement à l'énergie incidente
- Sous l'action du champ électrique, les électrons vont vers l'anode et les ions vers la cathode où ils seront collectés.
- Un signal est généré et peut être interprété.

Principe des détecteurs gazeux à ionisation



1. Ionisation primaire
→ Création de paires électrons / ions

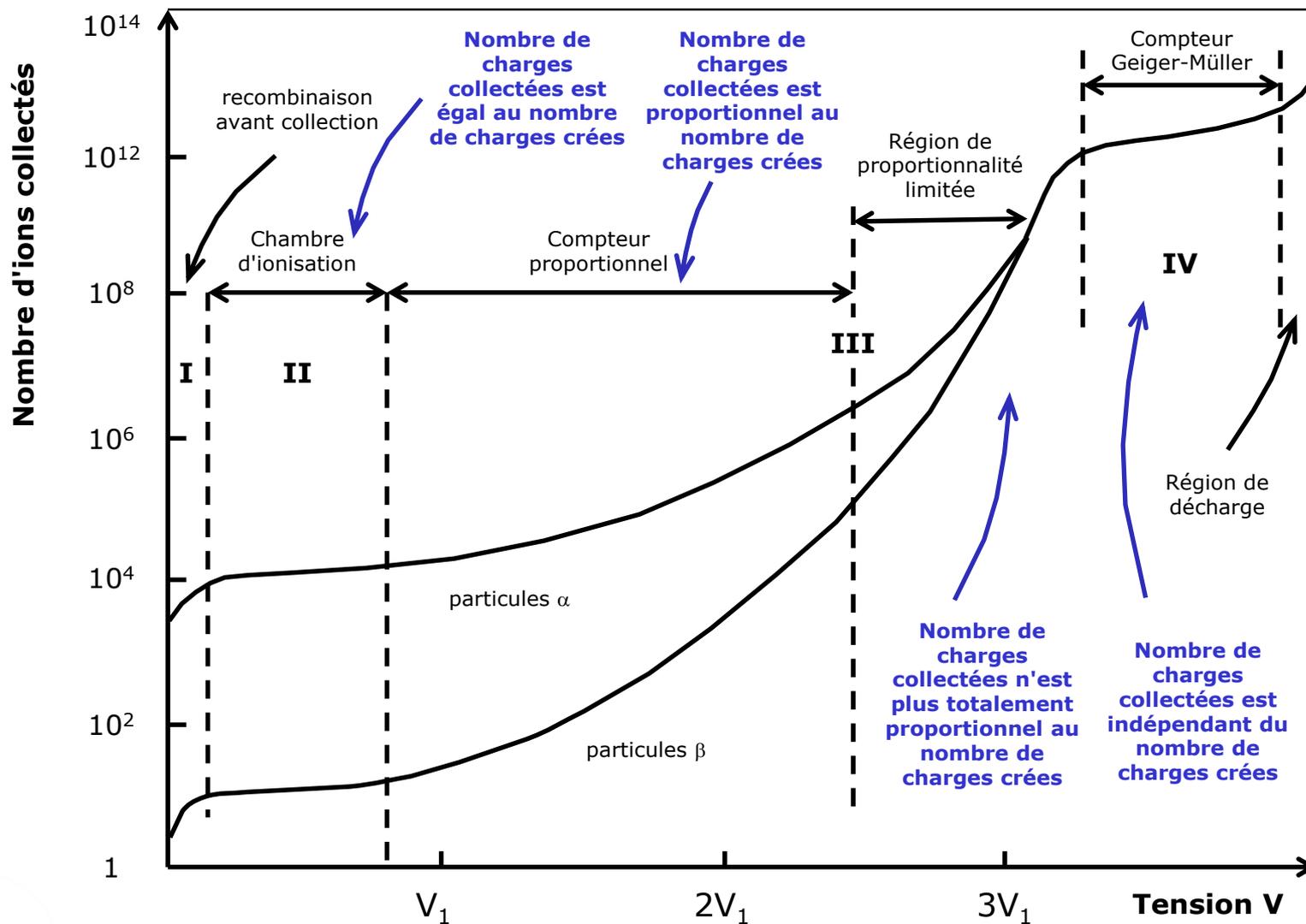
2. Mouvement des électrons et des ions
→ Déplacement dans le champ électrique

3. Multiplication éventuelle (si champ fort)
→ Avalanche dans le gaz

4. Influence sur les électrodes
→ Création du signal

5. Electronique de lecture
→ Traitement du signal

Nbre ions collectés / champ électrique

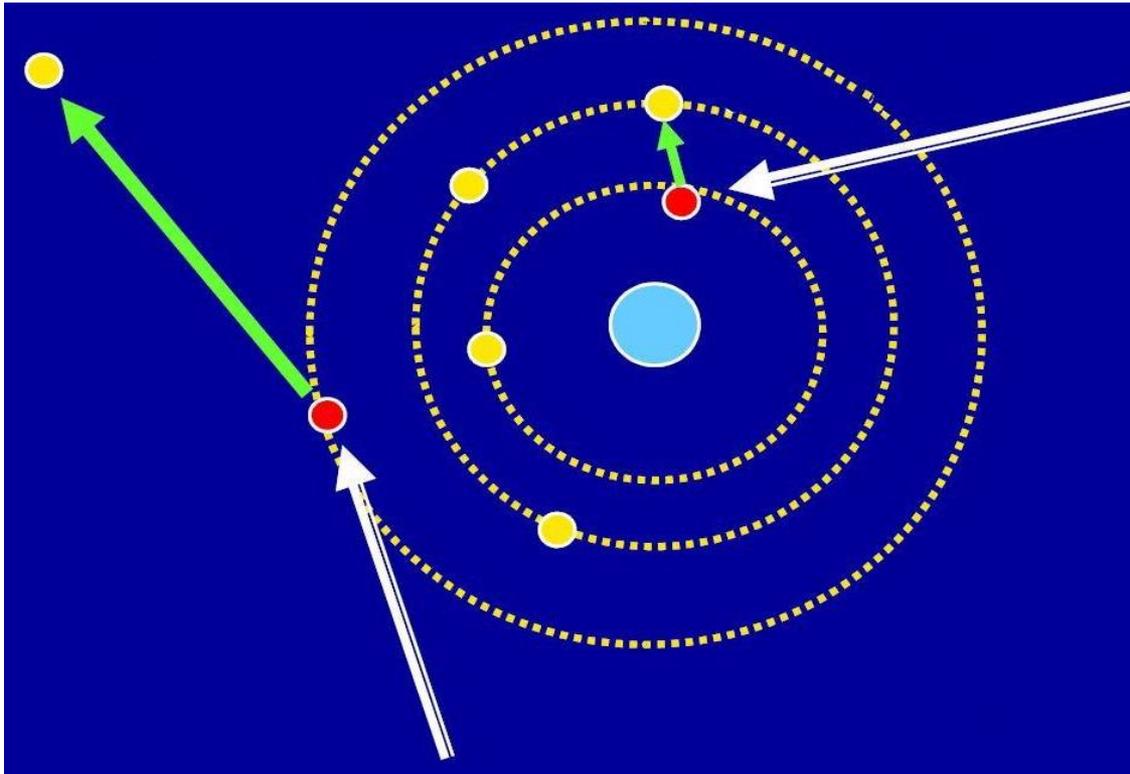


I_a - Ionisation primaire

Processus d'ionisation et d'excitation

ionisation

excitation



Excitation : L'énergie est insuffisante pour ioniser le milieu, mais capable de déplacer un électron vers un état situé à un niveau d'énergie plus élevé.

Ionisation : si l'énergie est suffisante pour arracher un e- aux atomes du milieu.

Nb moyen de paires e⁻/ions créées

Gaz	Potentiel d'ionisation (eV)	w: Energie moyenne pour création d'1 paire e ⁻ -ion (eV/paire)
Ar	15,7	26
He	24,5	41
H ₂	15,6	36
Ne	21,6	36
Kr	14,0	24
Xe	12,1	22
N ₂	15,5	35
Air		34
O ₂	12,5	31
CH ₄	14,5	28

$$n_0 = \frac{E}{w}$$

n_0 : nombre de paires primaires créées
 E : énergie moyenne déposée par évènement (eV)
 w : Energie moyenne pour produire une paire chargée (eV/paire)

nature statistique du phénomène
Il s'agit d'une valeur moyenne

Dans le phénomène de création de paires, il y a souvent également perte d'énergie par excitation ce qui explique que l'énergie nécessaire pour créer une paire n'est pas égale au potentiel d'ionisation.

Il n'y a pas de grandes variations et il faut retenir une valeur typique de 30-35 eV/paire e⁻/ion.

I_b - Mouvement des électrons et des ions

Déplacement des e⁻ et des ions dans les gaz

- **IONS:**

$$v = \mu \frac{E}{p}$$

v = vitesse de dérive des charges (m/s)

μ = mobilité ($m^2.atm.V^{-1}.s^{-1}$)

E = champ électrique ($V.m^{-1}$)

p = pression (atm)

Valeurs typiques pour μ de 1×10^{-4} à $1.5 \times 10^{-4} m^2.atm.V^{-1}.s^{-1}$ pour un gaz typique comme l'Ar.

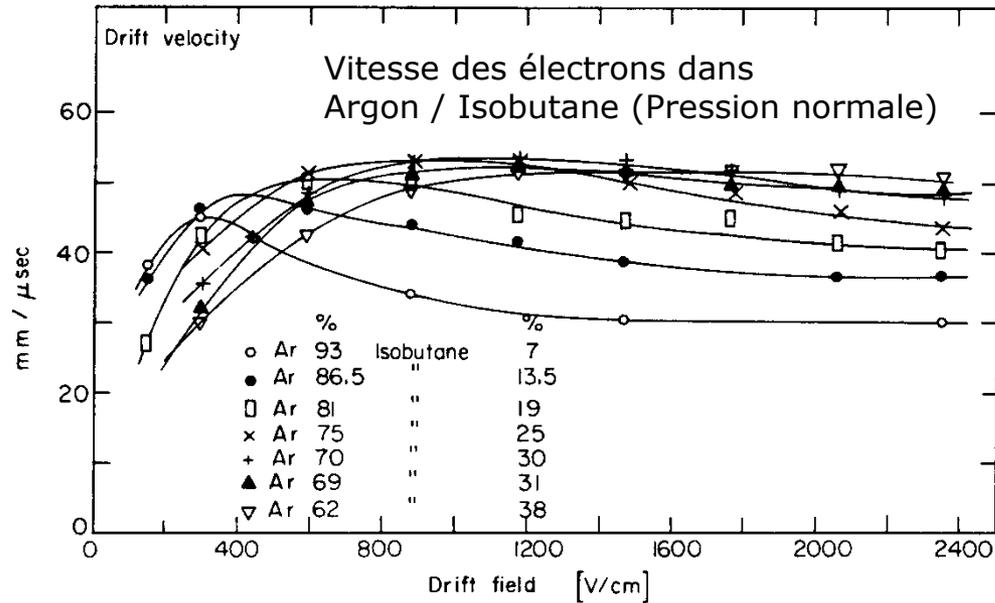
$E = 10^4 V/m$ et $p = 1 atm$ \Rightarrow vitesse des ions de 1 m/s.

On aura des temps de déplacement typiques de 10 ms (pour 10 mm par exemple). Ces vitesses sont faibles.

Déplacement des e^- et des ions dans les gaz

- ELECTRONS:**

μ dépend du champ électrique



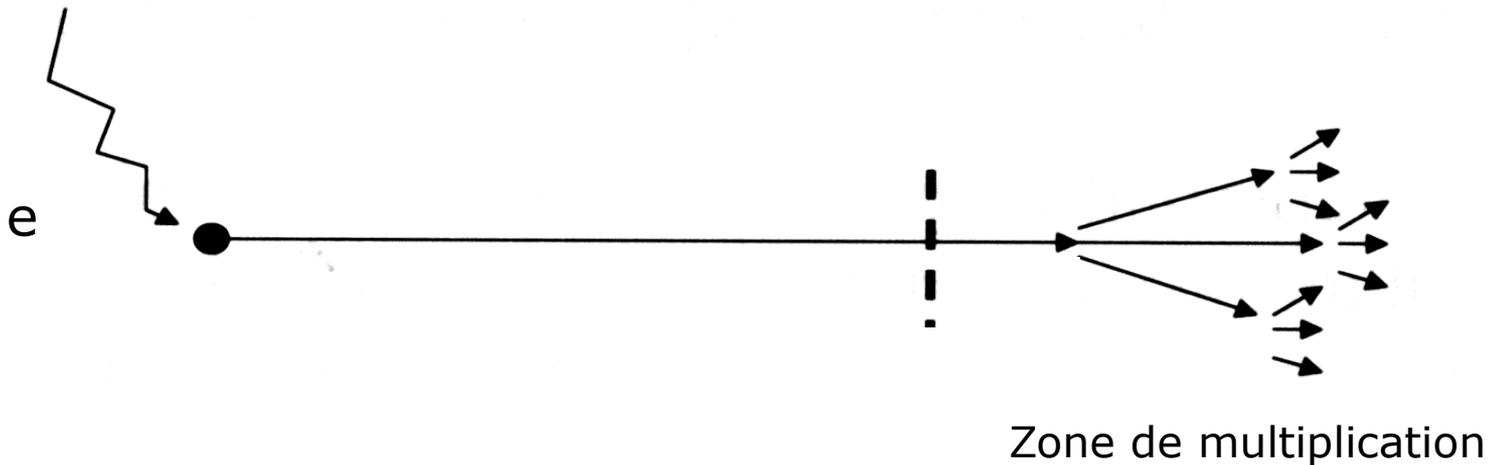
Leur masse beaucoup plus légère leur confère des vitesses environ 1000 fois plus rapides (collection des électrons de l'ordre de quelques μs).

La mobilité des électrons n'est pas constante et varie en fonction du champ électrique et de la pression.

I_c - Multiplication par avalanche ou ionisation secondaire

Mécanismes d'ionisation

- les paires électrons-ions créées par la radiation initiale sont dits issus de l'ionisation primaire.
- Si certains électrons ont une énergie suffisante, ils peuvent à leur tour créer de nouvelles paires électrons-ions. On parle alors d'ionisation secondaire.



Multiplication par avalanche

$$M = \frac{n}{n_0} = e^{\alpha x}$$

rappel: $n_0 = \frac{E}{w}$

$$M_{max}: 10^4 \text{ à } 10^6$$

Pour n_0 paires créées on collecte la charge Q :

$$Q = n_0 q_e M$$

M : coefficient multiplicatif

n : nbre d'électrons après multiplication

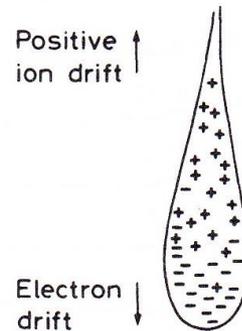
n_0 : nbre d'électrons primaires

α : probabilité d'ionisation par unité de longueur; connu sous le nom de coefficient de Townsend

$1/\alpha$: libre parcours moyen des électrons dans le gaz

x : distance parcourue dans la zone où la multiplication est possible

q_e : charge élémentaire $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$



Anode Wire

A $p=1$ atm, le champ électrique minimum pour qu'il y ait multiplication est 10^6 V/m

I_d - Création du signal

Influence sur les électrodes

et non pas "collection des charges"

Théorème de Shockley-Ramo

Le théorème de Shockley-Ramo permet de calculer facilement le courant instantané induit par une charge en mouvement entre 2 électrodes. Il est basé sur la notion suivante:

- Le **courant induit** sur l'électrode est dû au **mouvement des charges**,
- Il n'est pas dû à la quantité de charge reçue par l'électrode par seconde.

Ce théorème établit que le courant instantané i induit sur une électrode dû au mouvement d'une charge est donné par:

$$dQ_L = Q \frac{dx_0}{L}$$

ou

$$I(t) = \frac{Q}{L} v$$

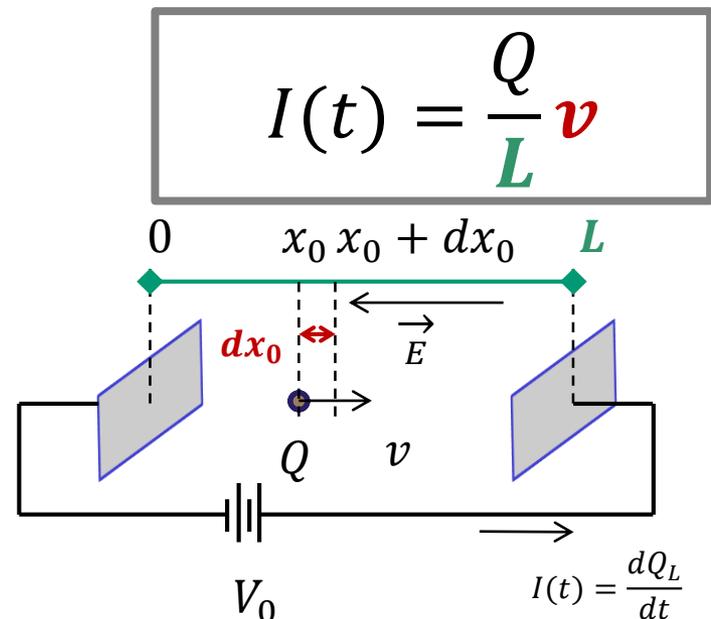
I et Q_L : courant et charge induits dans le circuit extérieur ($I(t) = \frac{dQ_L}{dt}$)

Q : charge en mouvement

L : distance entre les électrodes

dx_0 : distance parcourue par la charge

v : vitesse de la charge ($v = \frac{dx_0}{dt}$)



Influence sur les électrodes

et non pas "collection des charges"

Théorème de Shockley-Ramo

Dans une chambre à ionisation:

Charge totale induite due aux ions:

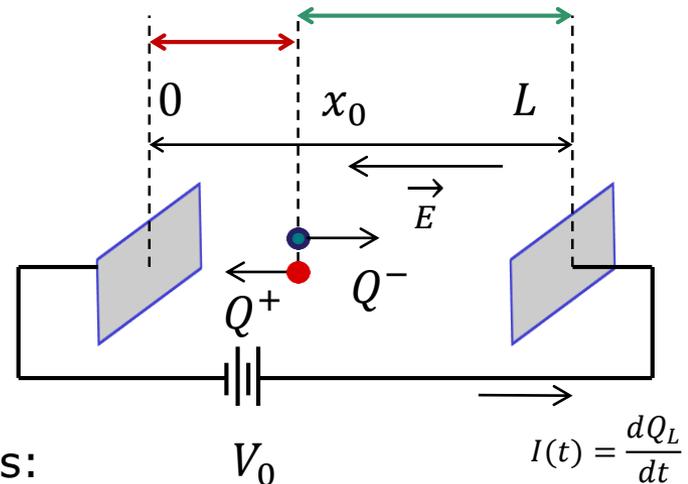
$$Q_{ions} = Q \frac{x_0}{L}$$

Charge totale induite due aux électrons:

$$Q_{e^-} = Q \frac{(L - x_0)}{L}$$

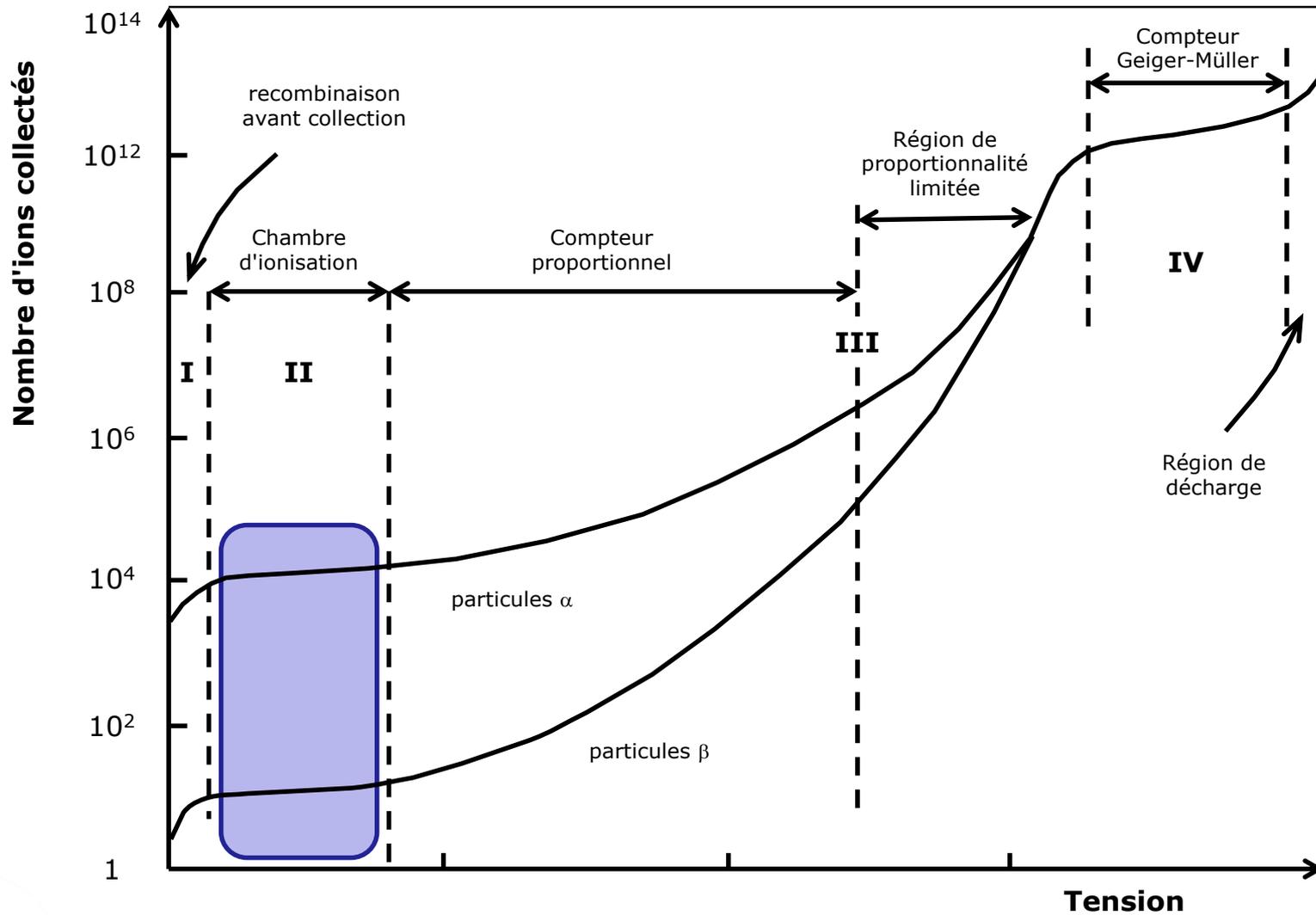
Charge induite totale:

$$Q_{ions} + Q_{e^-} = Q$$



II - Chambres à ionisation

Chambre d'ionisation



II_a - Mode courant moyen

Réponse des détecteurs

Quand un détecteur à ionisation interagit avec une particule, il y a:

1. irradiation du détecteur (durée d'interaction quelques ns - \sim instantané)
 2. apparition d'une charge électrique Q dans le détecteur à $t = 0$
 3. collection de la charge par application d'un champ électrique
(charges + & - se déplacent en sens inverse)
 4. Le durée pour collecter toute la charge varie beaucoup d'un détecteur à l'autre.
 - Chambres ionisation: quelques ms
 - Semi-conducteurs de type diodes: quelques ns
- Ce temps est l'image de la mobilité des charges ainsi que de la distance à parcourir pour atteindre les électrodes.



Ces détecteurs sont des générateurs de courant



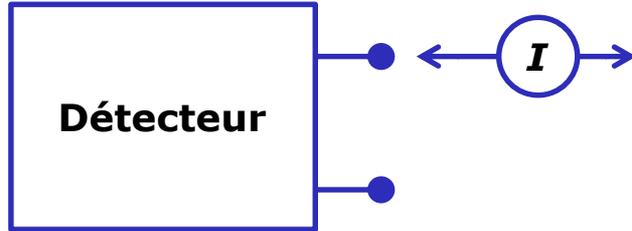
Il y a 2 modes principaux de fonctionnement de ces détecteurs:

a/ en mode courant moyen

b/ en mode impulsif

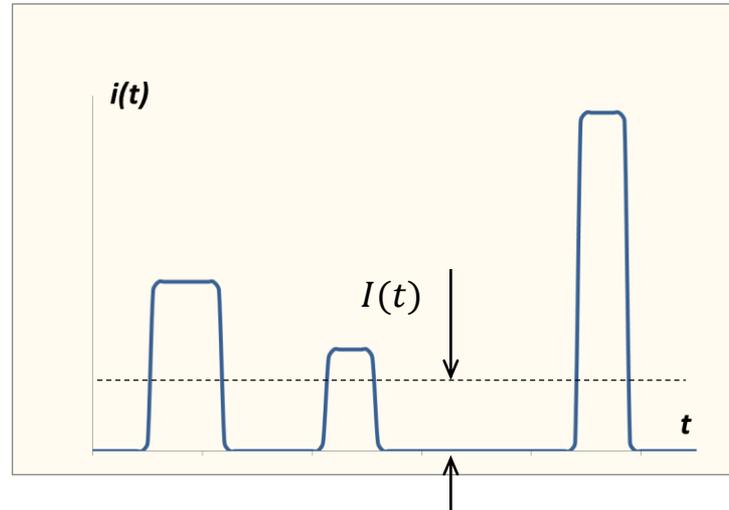
Réponse des détecteurs

a/ en mode courant moyen



Le courant moyen est donné par l'intégrale des impulsions:

$$I(t) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i(t') dt'$$



Le courant moyen pour T suffisamment grand est:

$$I_0 = rQ = r \frac{E}{w} q_e$$

r : taux de comptage

$Q = \frac{E}{w} q_e$: charge produite pour un événement

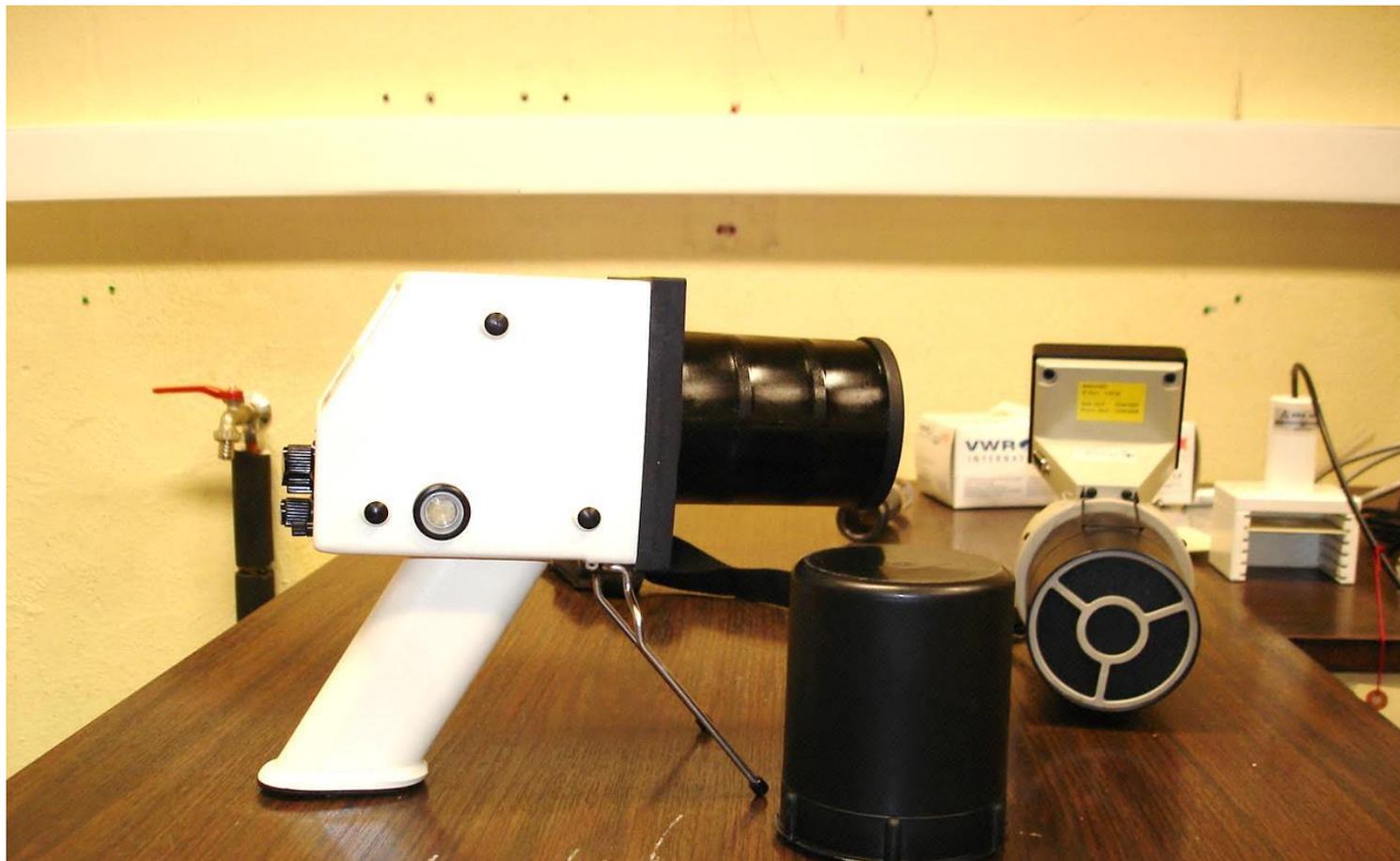
E : Energie moyenne déposée par événement

w : Energie moyenne nécessaire pour produire une paire chargée

q_e : $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$

Attention aux fluctuations du courant dans ce mode

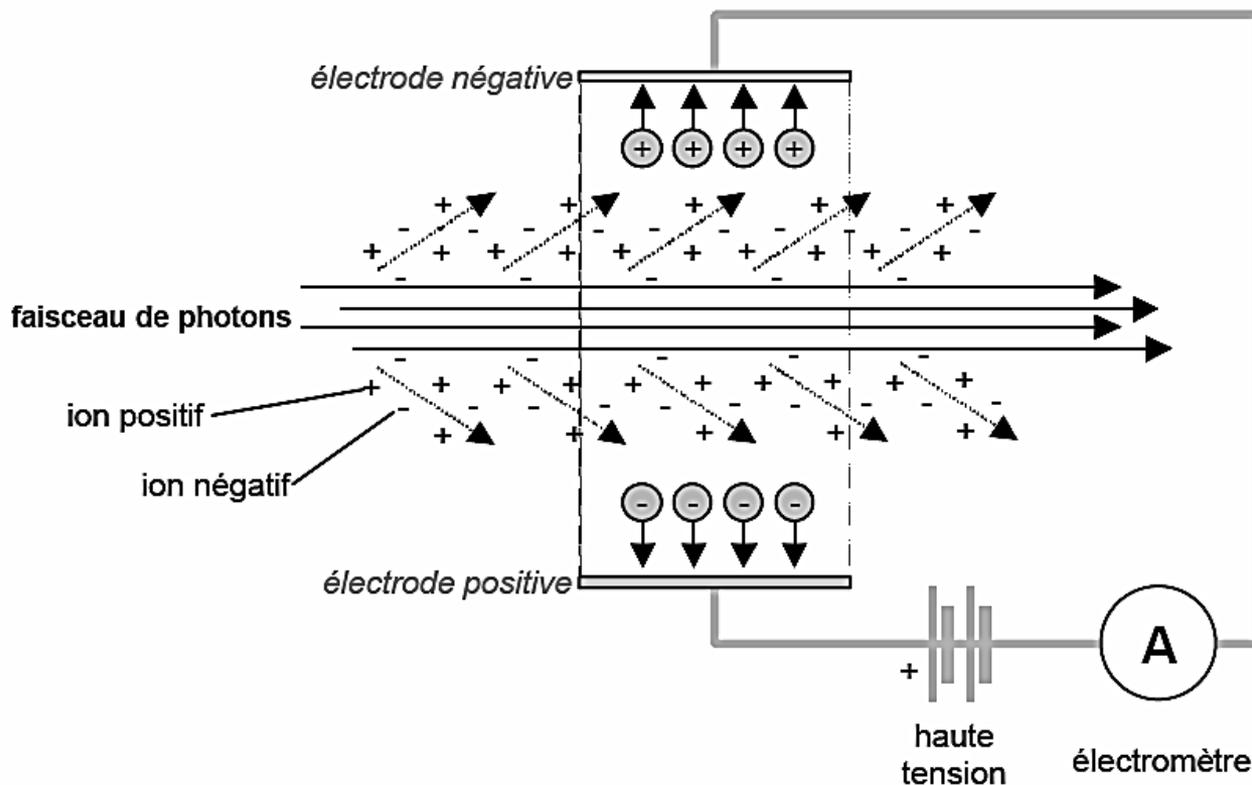
Mode courant moyen



Mesure d' $X - \gamma$ Chambre d'ionisation

Mode courant moyen

Une chambre d'ionisation va produire un signal électrique proportionnel à la dose déposée par le rayonnement qui aura traversé le volume sensible.



Chambre d'ionisation

Mode courant moyen

$$I = r \frac{E}{w} q_e$$

I : courant moyen (A)

r : taux de comptage (coups/s)

$Q = \frac{E}{w} q_e$: charge produite pour un évènement (C)

E : Energie moyenne déposée par évènement (eV)

w : Energie moyenne nécessaire pour produire une paire chargée (eV/paire)

q_e : $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$

Exemple :

Pour 1000 particules par seconde de 200 keV avec $w=30 \text{ eV/paire}$

$$I = 1000 \frac{200.000}{30} 1,6 \times 10^{-19} \cong 10^{-12} \text{A}$$



mesure de faibles courants

- Permet de mesurer les caractéristiques des faisceaux γ intenses (on mesure un courant).

II_b - Mode impulsionnel

Réponse des détecteurs

Quand un détecteur à ionisation interagit avec une particule, il y a:

1. irradiation du détecteur (durée d'interaction quelques ns - \sim instantané)
 2. apparition d'une charge électrique Q dans le détecteur à $t = 0$
 3. collection de la charge par application d'un champ électrique
(charges + & - se déplacent en sens inverse)
 4. Le durée pour collecter toute la charge varie beaucoup d'un détecteur à l'autre.
 - Chambres ionisation: quelques ms
 - Semi-conducteurs de type diodes: quelques ns
- Ce temps est l'image de la mobilité des charges ainsi que de la distance à parcourir pour atteindre les électrodes.



Ces détecteurs sont des générateurs de courant



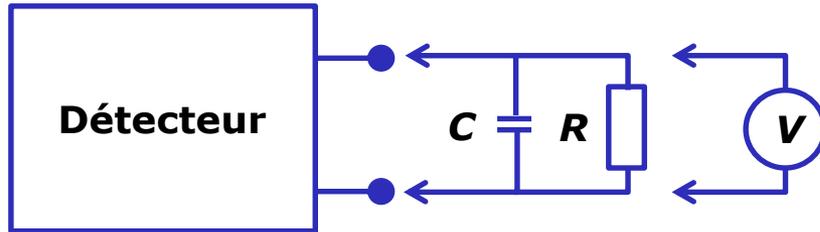
Il y a 2 modes principaux de fonctionnement de ces détecteurs:

a/ en mode courant moyen

b/ en mode impulsif

Réponse des détecteurs

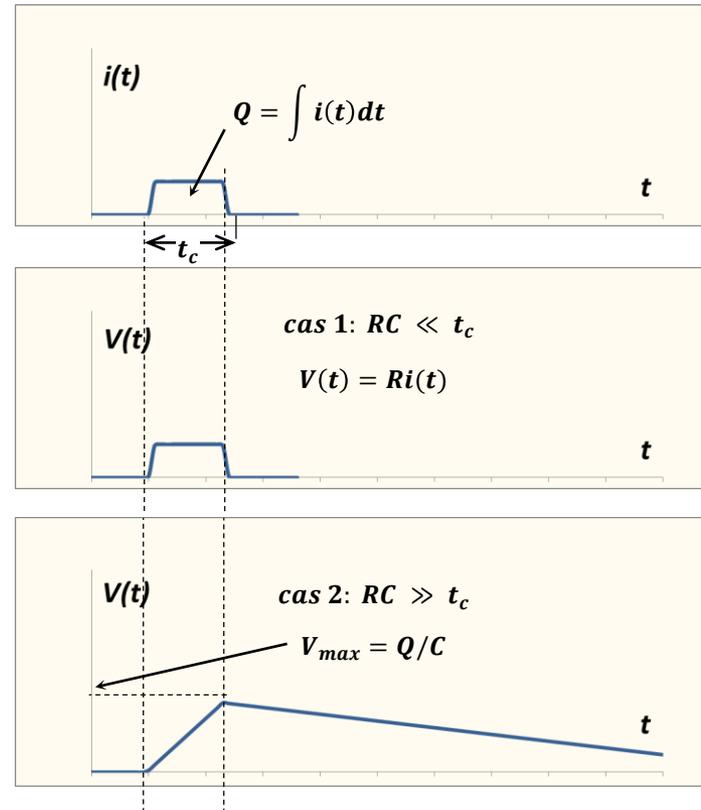
b/ en mode impulsionnel



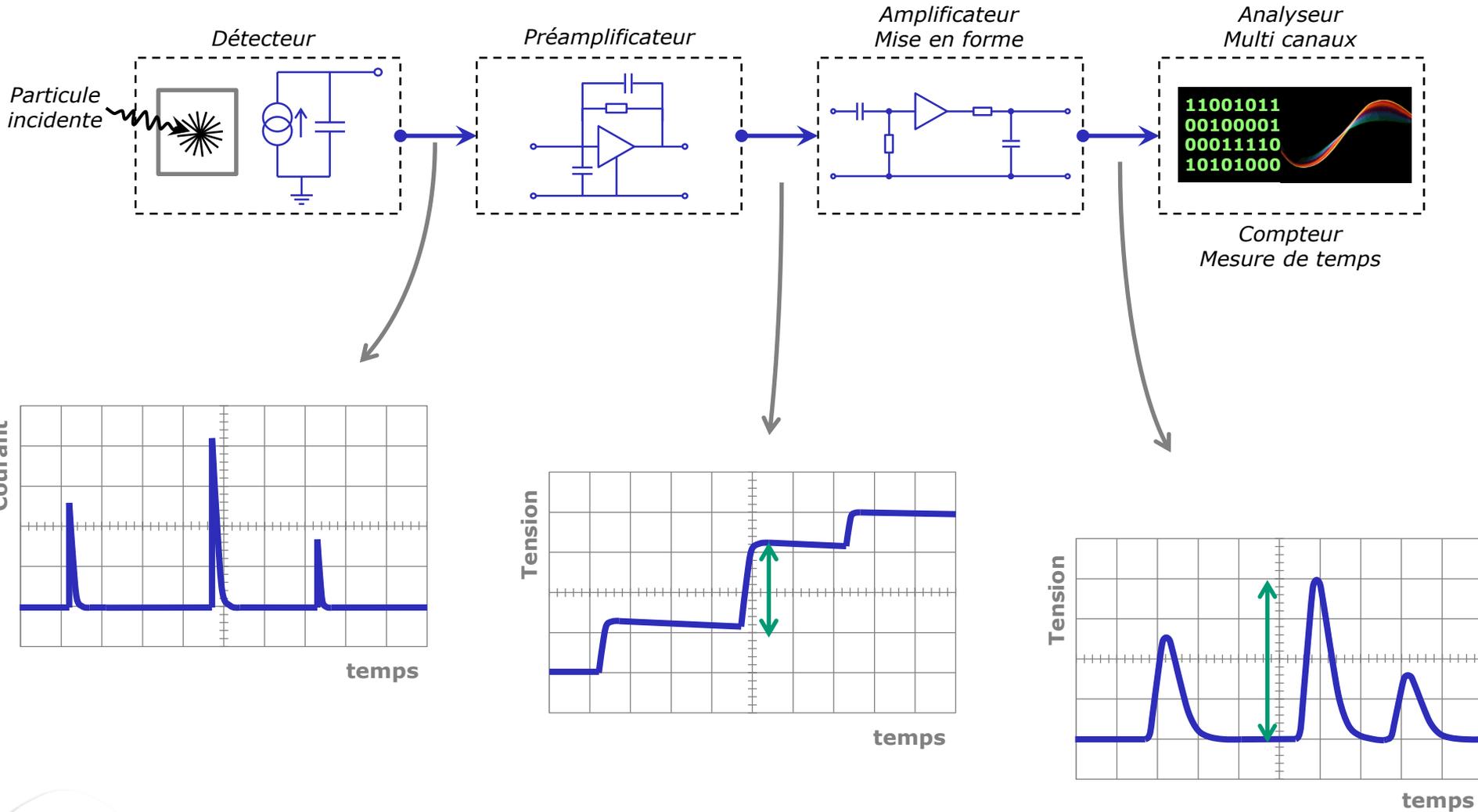
Cas 1: $RC \ll t_c$
 $V(t)$ à la même forme que $i(t)$

Cas 2: $RC \gg t_c$
Le courant charge la capacité qui se décharge ensuite avec la constante de temps RC . Dans ce mode, V_{max} est proportionnel à Q .

$$V_{max} = \frac{Q}{C}$$



La chaîne de détection



Chambre d'ionisation

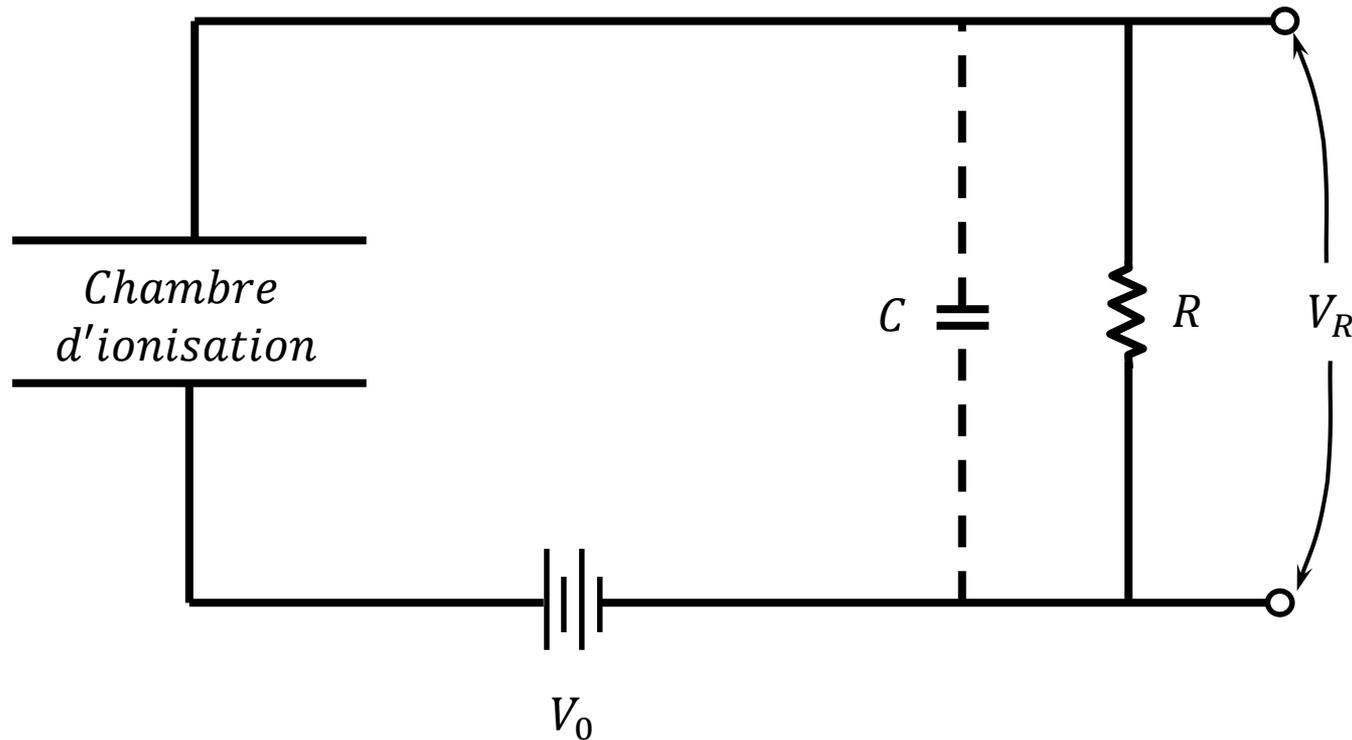
Mode impulsion

- En mode courant moyen, on mesure un courant qui intègre l'énergie de toutes les particules qui interagissent dans le détecteur.
 - Comment faire un **comptage** ?
 - Comment faire de la **spectrométrie** ?
- **mode impulsion**
 - on mesure la **tension instantanée** aux bornes
 1. d'une **résistance de charge R**
 2. et d'une **capacité C**

qui caractérise l'ensemble du circuit (chambre d'ionisation, câbles, circuit de mesure...)

Chambre d'ionisation

Mode impulsion

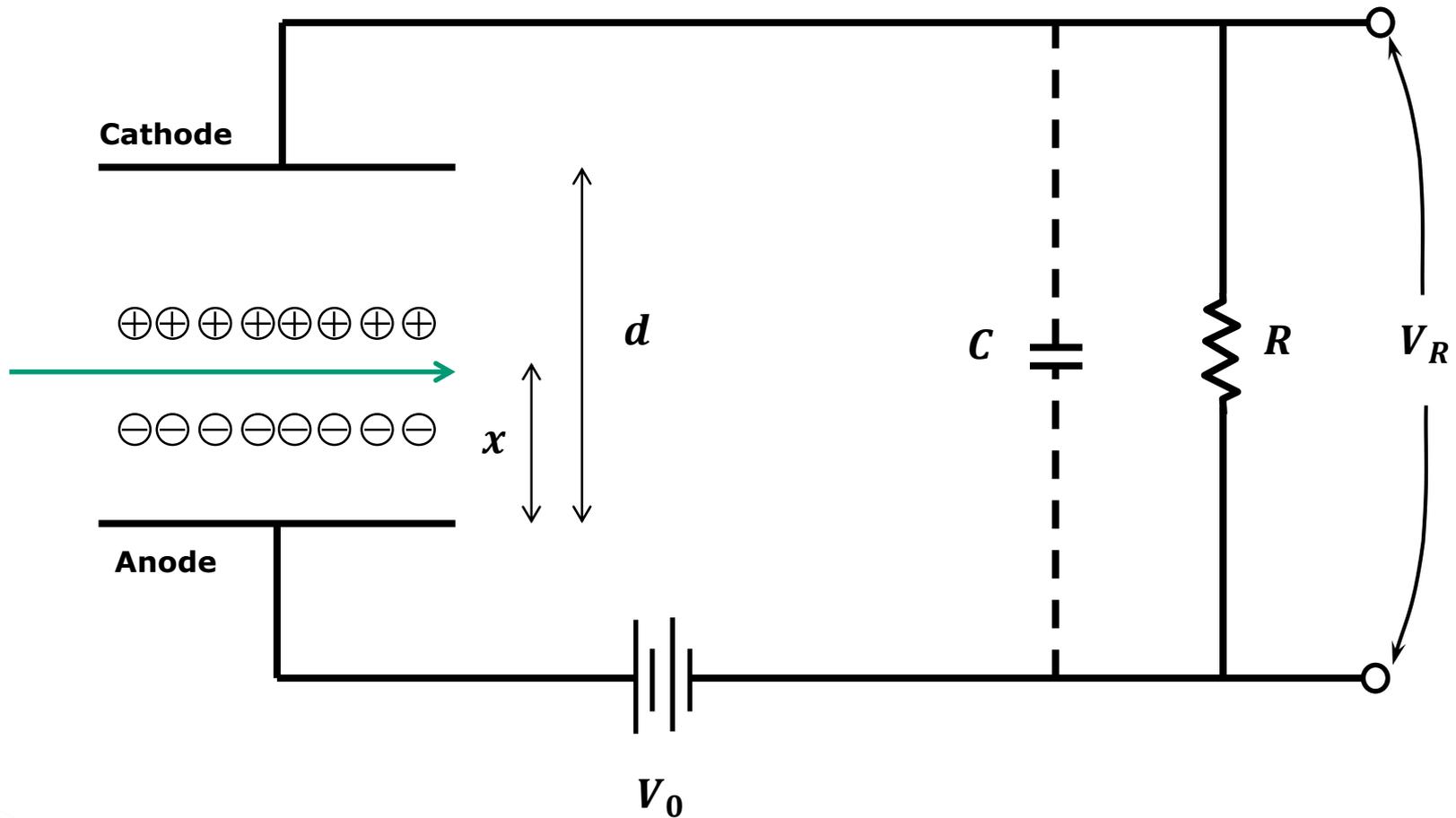


R : résistance de charge

C : capacité de la chambre + toutes les autres capacités en //; capacité équivalente de tout le circuit

Chambre d'ionisation

Mode impulsion



Chambre d'ionisation

Mode impulsion

- Soit t^- le temps de collecte des électrons et t^+ le temps de collecte des ions. (t^- est environ 1000 fois plus faible que t^+)

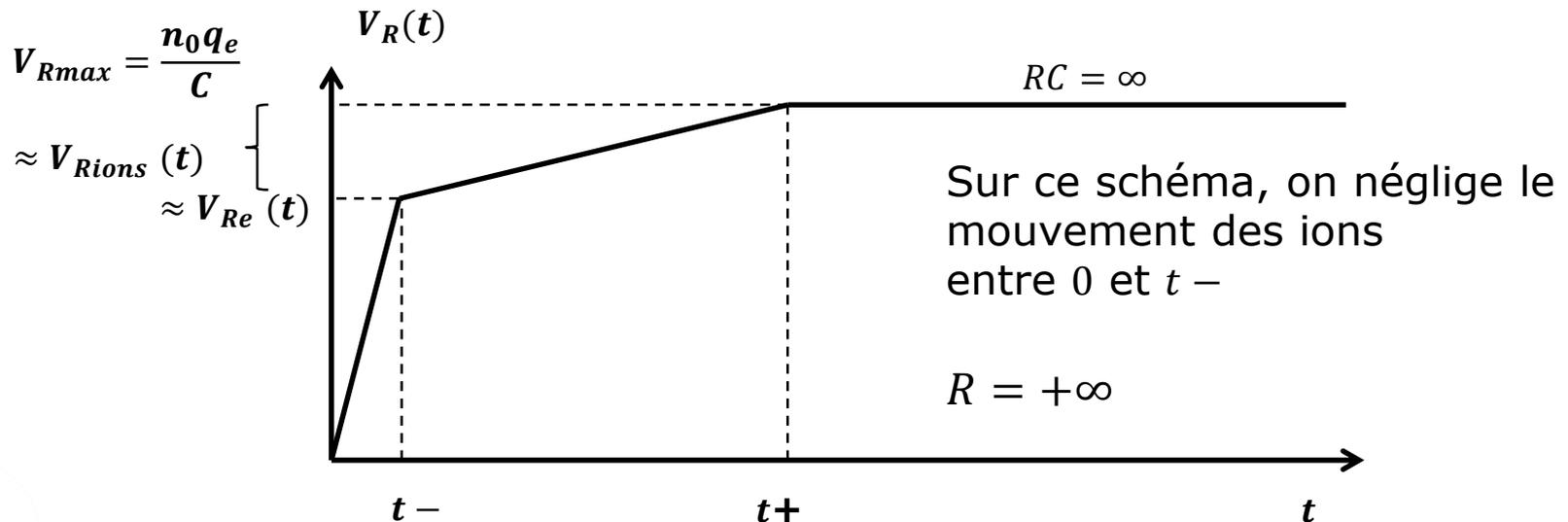
Théorème de Shockley-Ramo:

$$Q_{e^-} = \frac{n_0 q_e}{d} x \text{ et } V_{Re^-} = \frac{n_0 q_e}{d.C} x$$

après le temps t^- pour les électrons

$$Q_{ions} = \frac{n_0 q_e}{d} (d - x) \text{ et } V_{Rions} = \frac{n_0 q_e}{d.C} (d - x) \text{ après le temps } t^+ \text{ pour les ions}$$

$$\begin{array}{l} \text{les électrons vont parcourir une distance } x \\ \text{les ions vont parcourir une distance } d-x \end{array} \quad V = \frac{Q}{C}$$

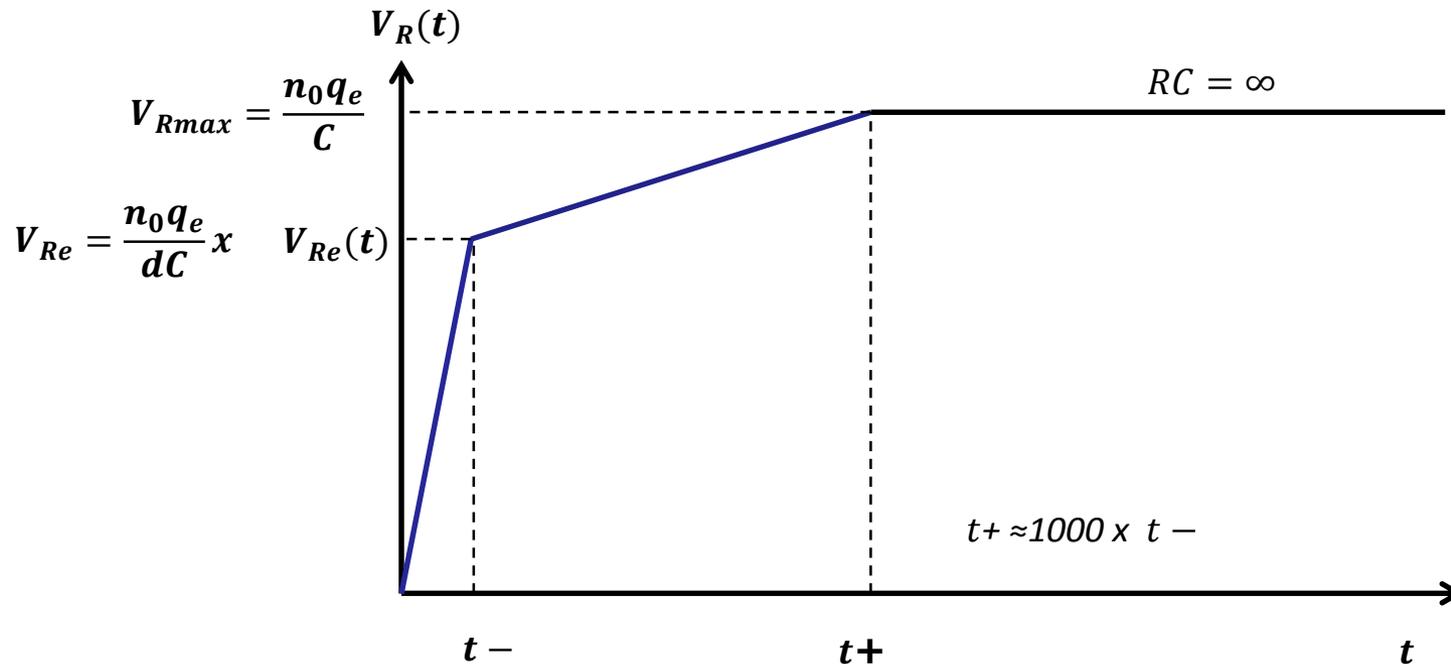


Chambre d'ionisation

Mode impulsion

Théorème de Shockley-Ramo:

si $RC = \infty$,
Mouvement de électrons
Mouvement des ions

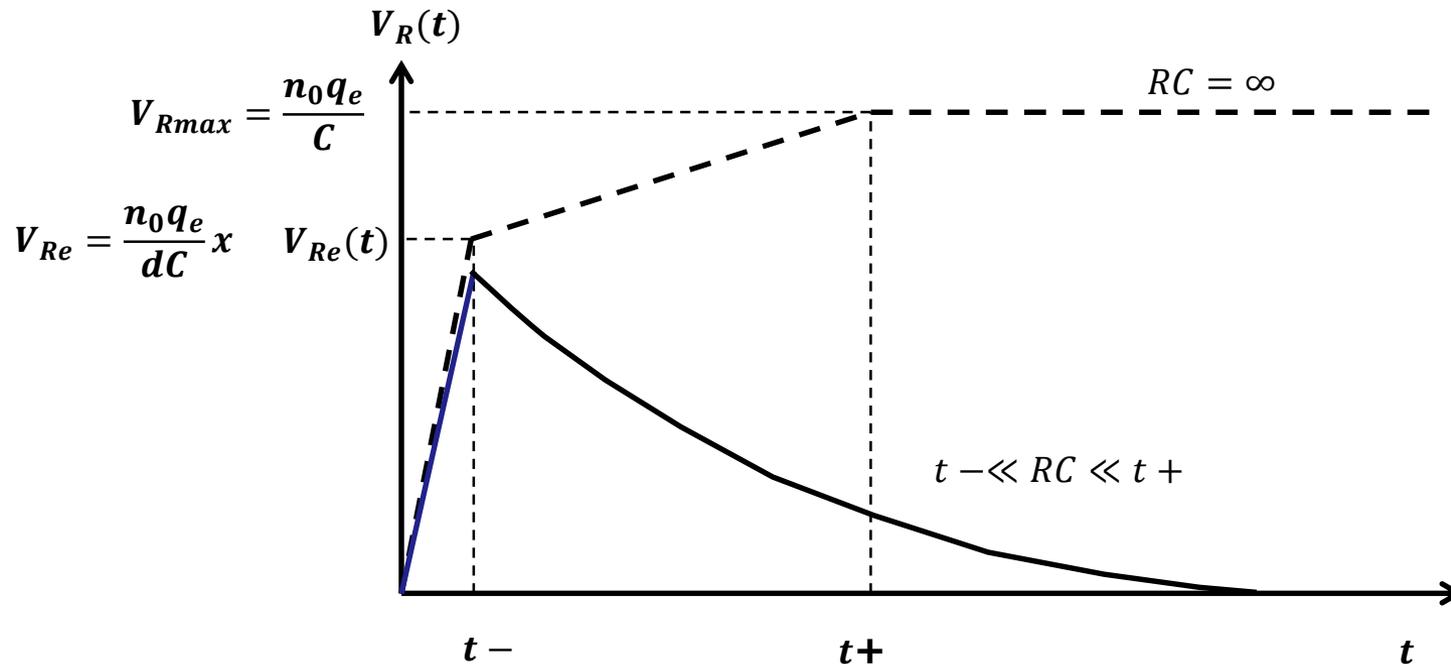


Sur ce schéma, on néglige le mouvement des ions entre 0 et $t -$

Chambre d'ionisation

Mode impulsion

si $t^- \ll RC \ll t^+$, alors la réponse est rapide mais la tension maximale fluctue en fonction de x pour des particules d'énergie identique => comptage

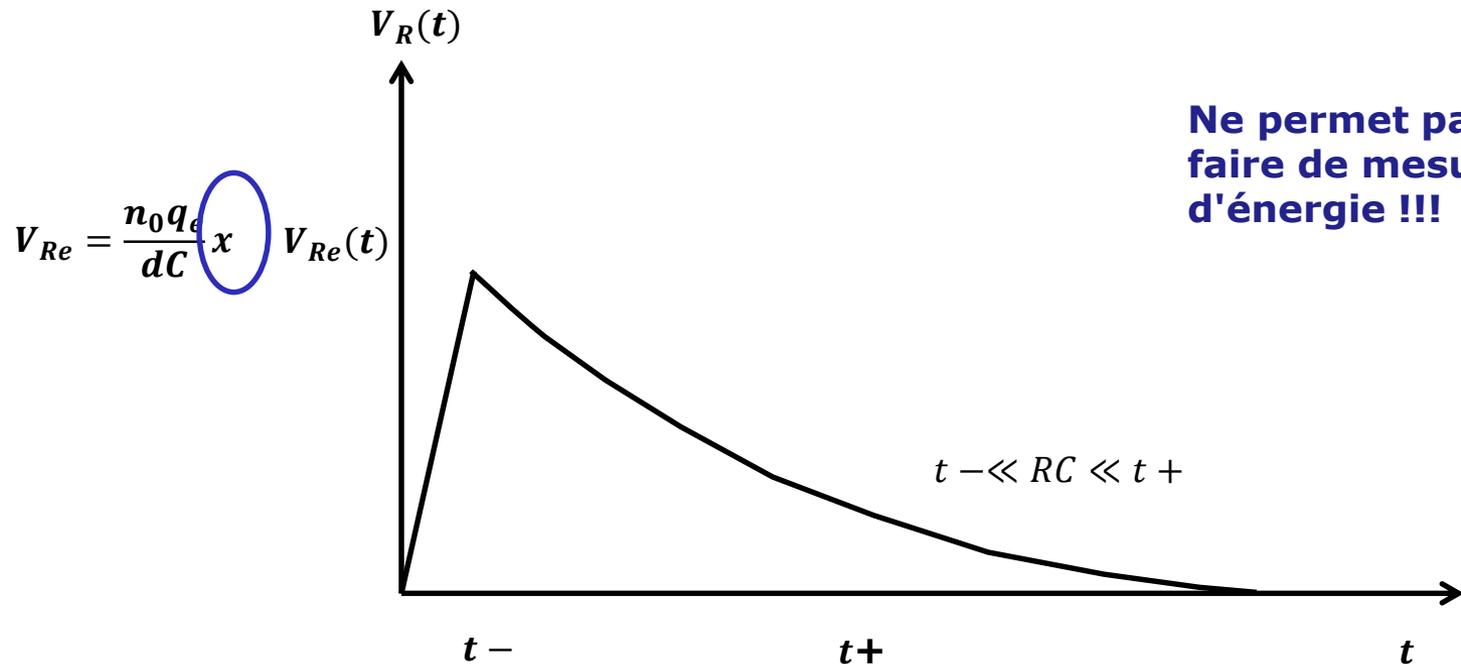


Mouvement de électrons
Mouvement des ions

Chambre d'ionisation

Mode impulsion

si $t^- \ll RC \ll t^+$, alors la réponse est rapide mais la tension maximale fluctue en fonction de x pour des particules d'énergie identique => comptage

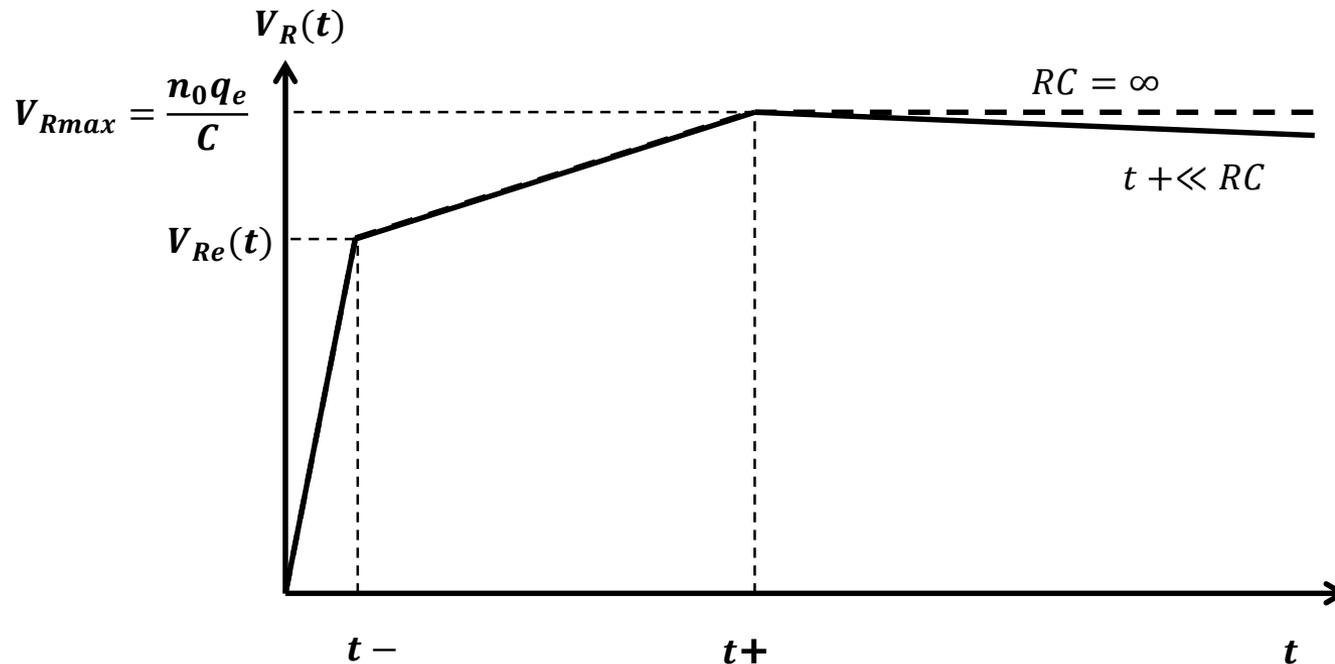


Ne permet pas de faire de mesure d'énergie !!!

Chambre d'ionisation

Mode impulsion

si $t+ \ll RC$, alors la tension maximale sera proportionnelle à la charge collectée et donc à l'énergie déposée par la particule ionisante dans le détecteur => spectrométrie.

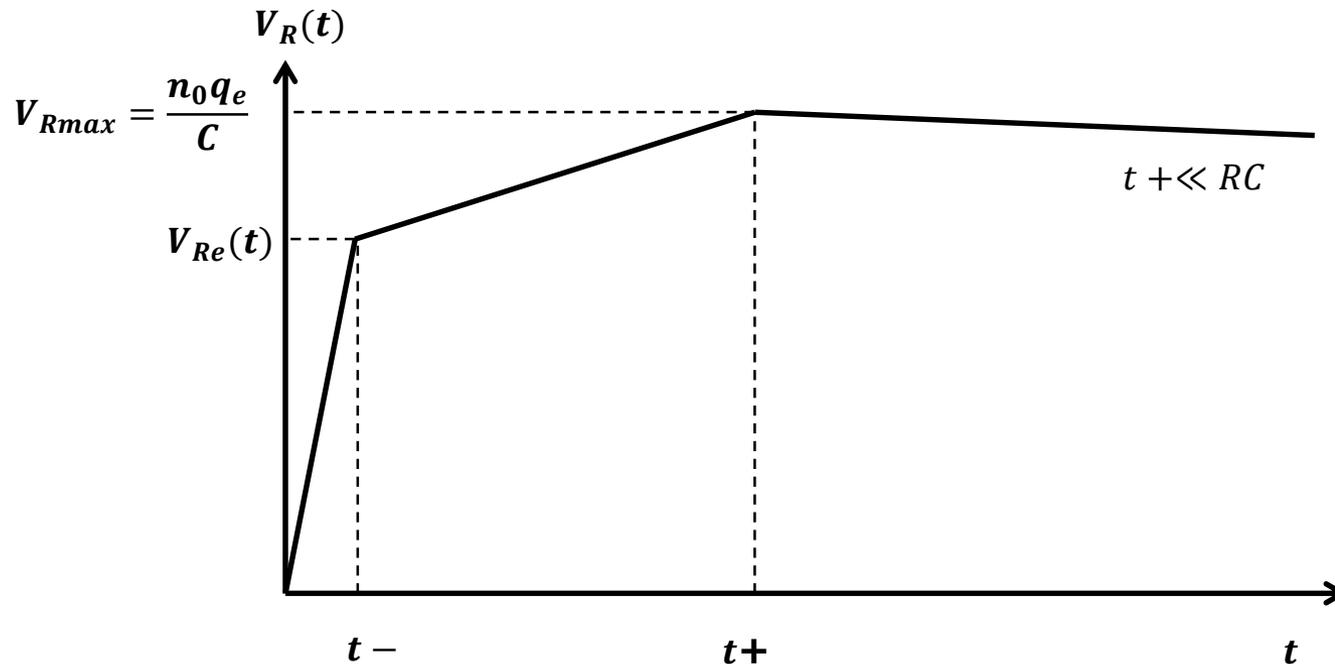


Mouvement de électrons
Mouvement des ions

Chambre d'ionisation

Mode impulsion

si $t+ \ll RC$, alors la tension maximale sera proportionnelle à la charge collectée et donc à l'énergie déposée par la particule ionisante dans le détecteur => spectrométrie.



Chambre d'ionisation

Mode impulsion

Pour la spectrométrie, collecte des électrons et des ions

⇒ **lent !!**

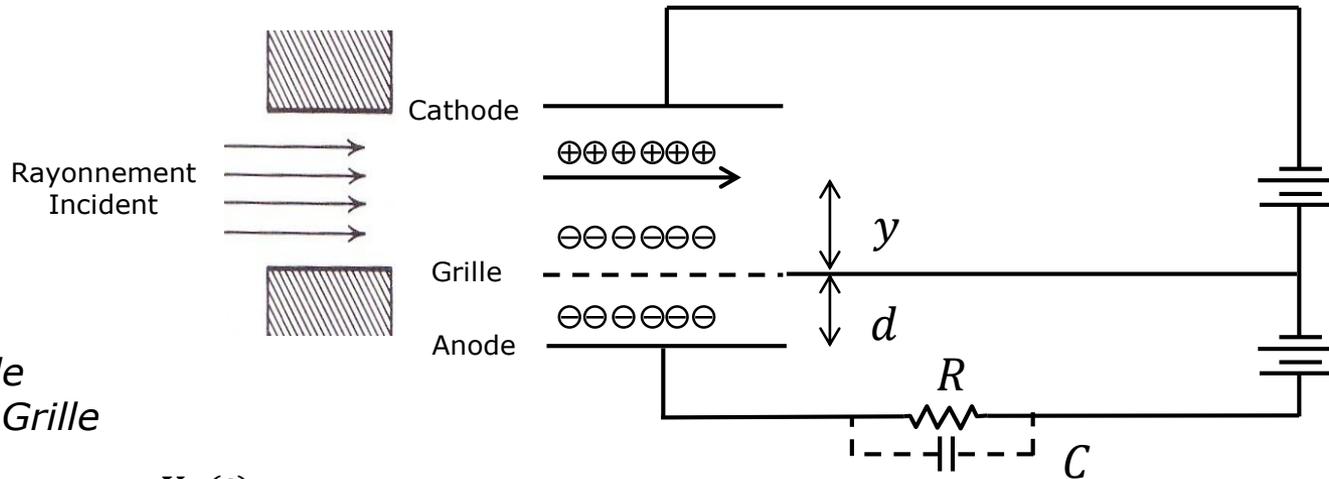
Si on arrive à n'utiliser que les électrons pour le signal alors, la réponse sera bien plus rapide

⇒ **Chambre à grille de Frisch**

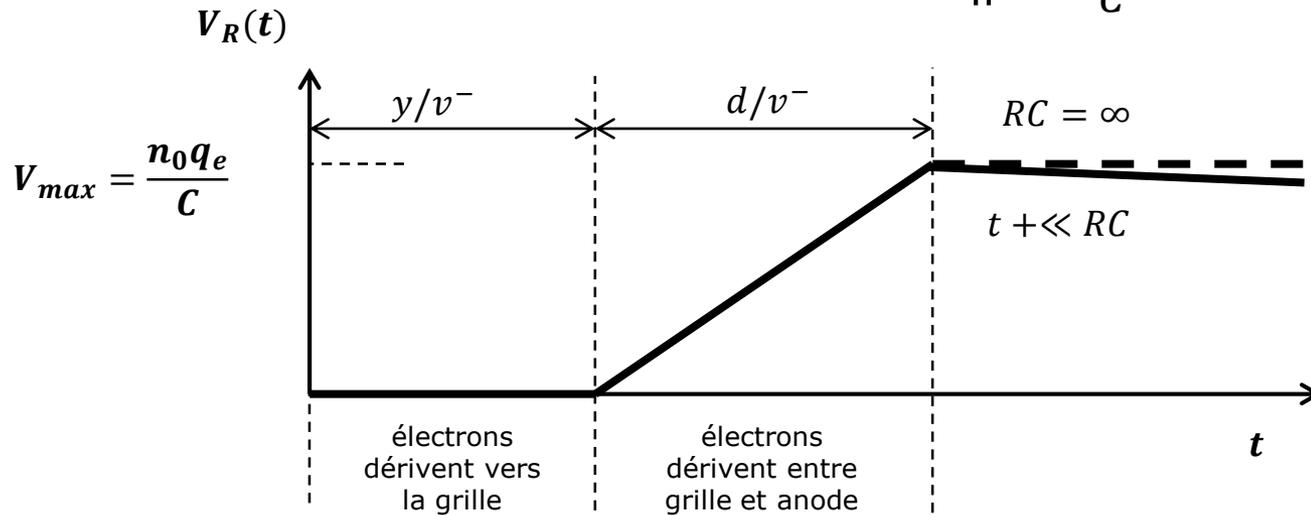
Chambre d'ionisation

Mode impulsion

Chambre à grille de Frisch



On regarde le signal entre Grille & Anode

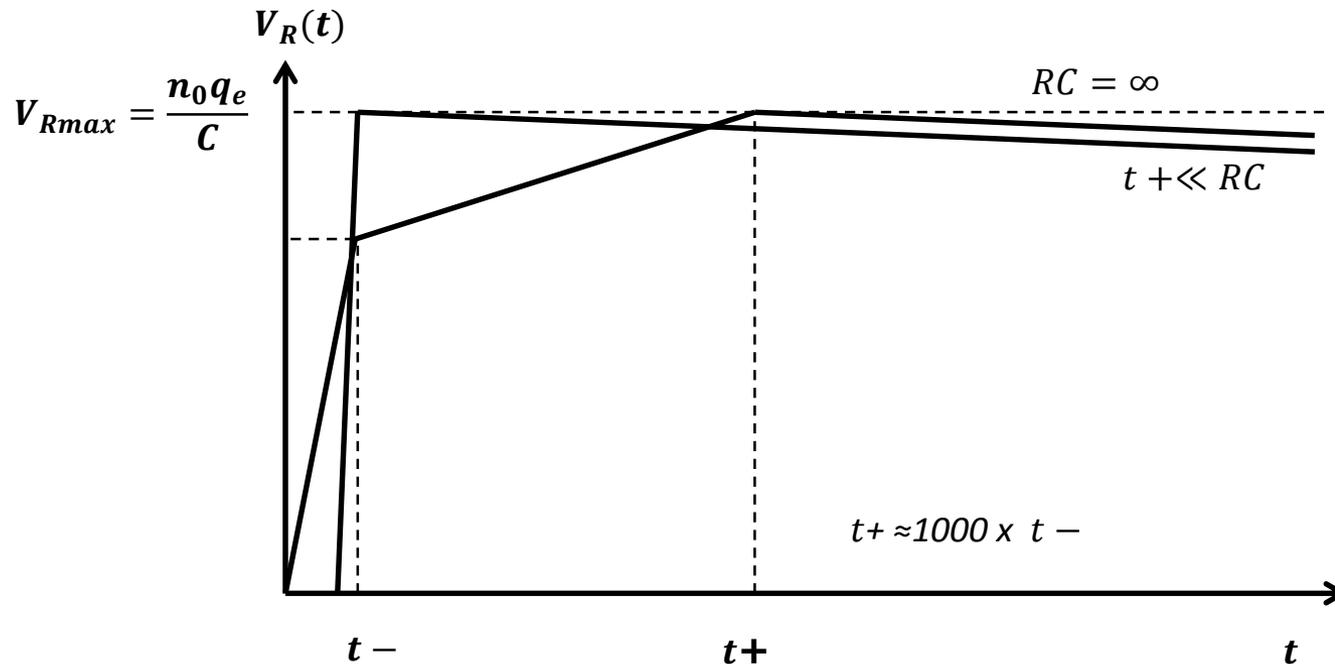


Chambre d'ionisation

Mode impulsion

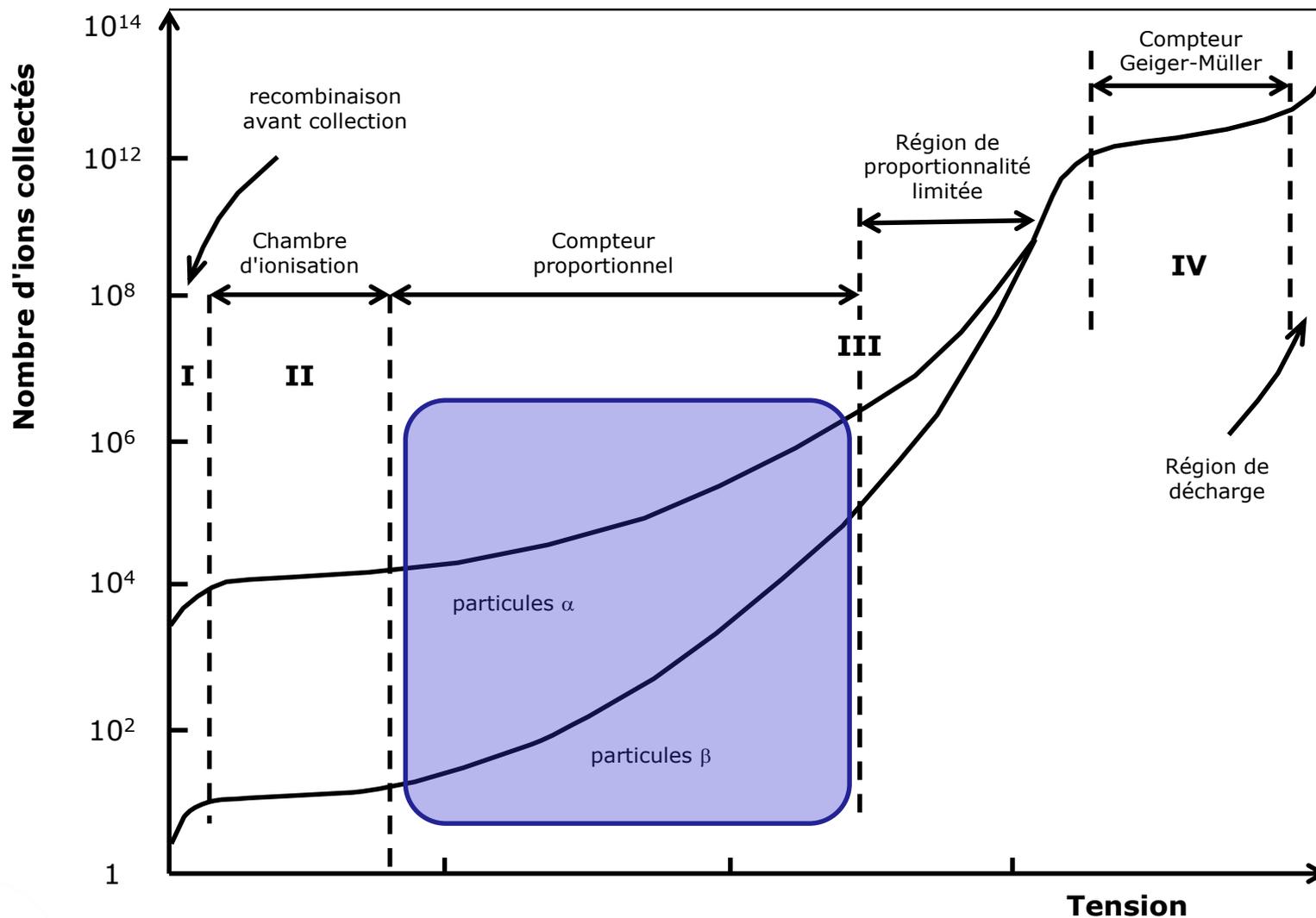
Chambre à grille de Frisch

si $t_+ \ll RC$, alors la tension maximale sera proportionnelle à la charge collectée et donc à l'énergie déposée par la particule ionisante dans le détecteur => spectrométrie.



III - Compteur proportionnel

Compteur proportionnel



Le phénomène d'ionisation

Exemples:

arrêt d'une particule α de 3 MeV :

Valeur de w : gaz: ~ 30 eV.

Gaz : $n = 3 \cdot 10^6 / 30 \approx 10^5$ paires électrons-ions créées par ionisation



Signaux faible amplitude

- 10^5 électrons $\rightarrow 1,6 \cdot 10^{-14}$ Coulomb
 - Dans une capacité de 1 pF ($V=Q/C$) $\rightarrow 16$ mV
- (1 électron = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C)

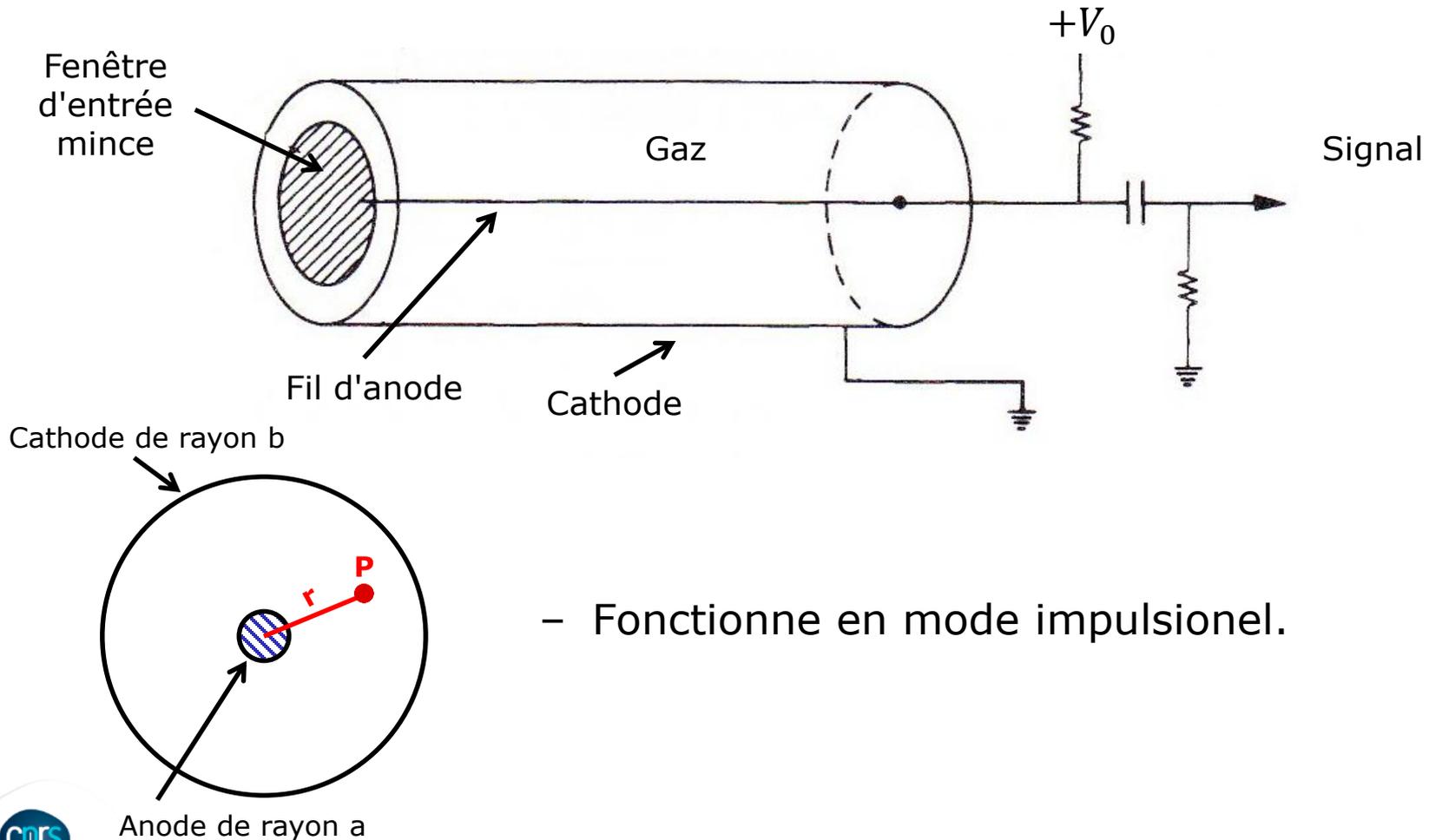
ALICE muons au minimum d'ionisation dans 5 mm de gaz

- ~ 200 électrons $\rightarrow 3,2 \cdot 10^{-17}$ Coulomb
- Dans une capacité de 1 pF ($V=Q/C$) $\rightarrow 0,032$ mV

III_a - compteur cylindrique

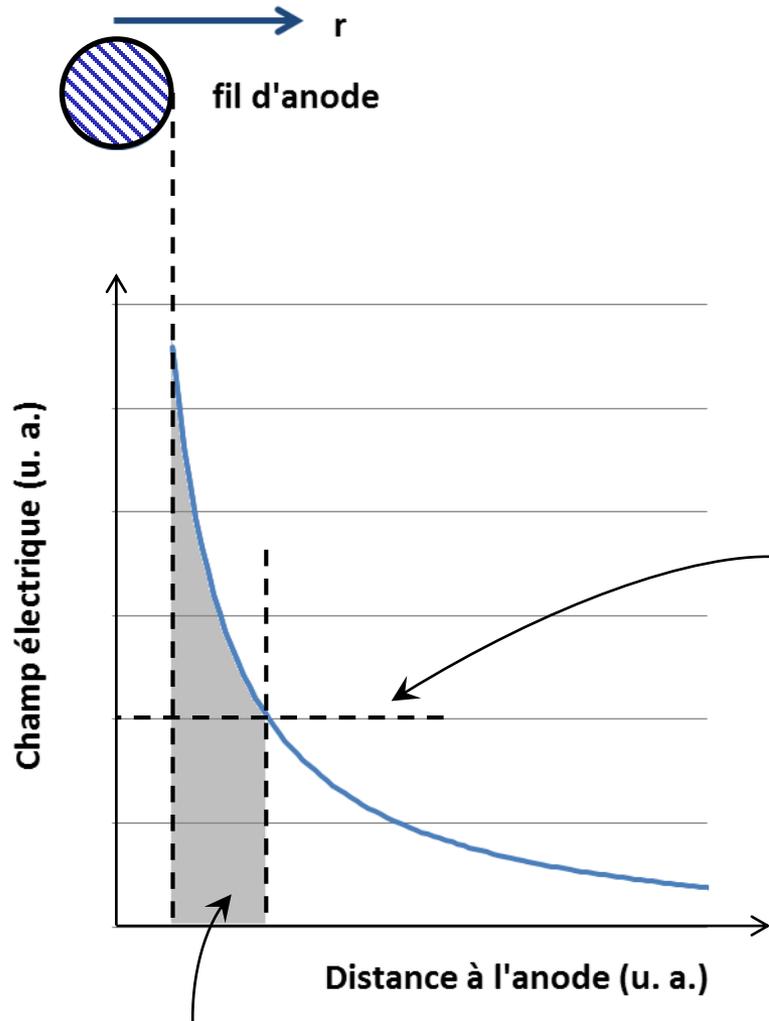
Compteur proportionnel

La multiplication par avalanche nécessite des champs électriques très élevés.



- Fonctionne en mode impulsional.

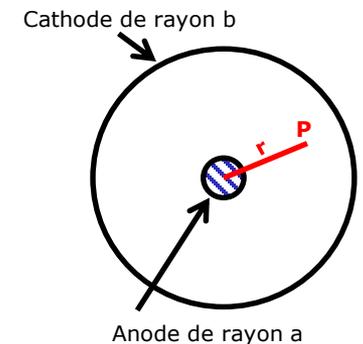
Compteur proportionnel



$$E = \frac{1}{r} \frac{V_0}{\ln(b/a)}$$

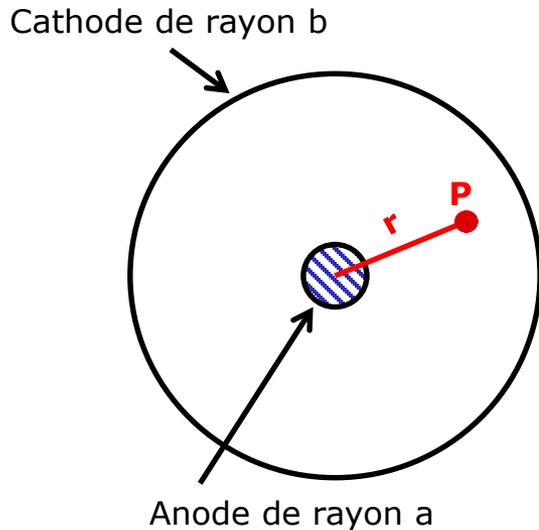
E : Champ électrique radial
 r : distance radiale de l'axe du cylindre
 a : rayon du fil central
 b : rayon du cylindre

Champ électrique minimum pour formation d'avalanche



Région de multiplication

Compteur proportionnel



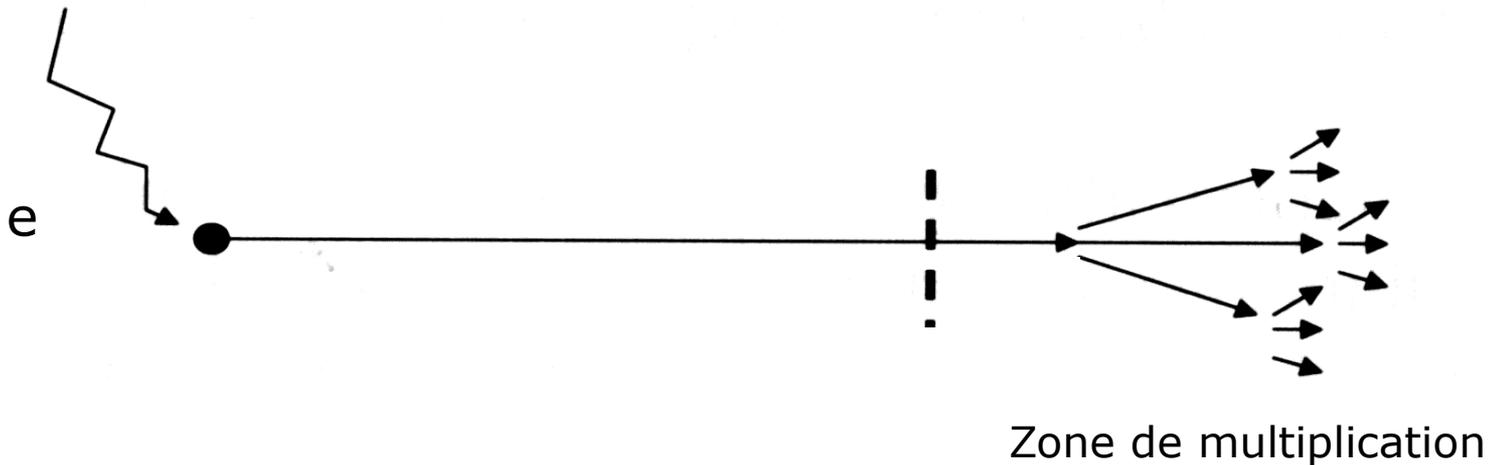
$$E = \frac{1}{r} \frac{V_0}{\ln(b/a)}$$

E : Champ électrique radial
 r : distance radiale de l'axe du cylindre
 a : rayon du fil central
 b : rayon du cylindre

- Les électrons sont accélérés dans le champ électrique
- Le champ est important au voisinage de l'anode (à petit de l'ordre de 10 à 30 μm)
- Ils peuvent acquérir une énergie cinétique suffisante pour ioniser des atomes du milieu à 1 atm ($E > 10^6 \text{V/m}$) \Rightarrow avalanche au voisinage de l'anode (avalanche de Townsend)

Mécanismes d'ionisation

- les paires électrons-ions créées par la radiation initiale sont dits issus de l'ionisation primaire.
- Si certains électrons ont une énergie suffisante, ils peuvent à leur tour créer de nouvelles paires électrons-ions. On parle alors d'ionisation secondaire.



Multiplication par avalanche

$$M = \frac{n}{n_0} = e^{\alpha x}$$

rappel: $n_0 = \frac{E}{w}$

$$M_{max}: 10^4 \text{ à } 10^6$$

Pour n_0 paires créées on collecte la charge Q :

$$Q = n_0 q_e M$$

M : coefficient multiplicatif

n : nbre d'électrons après multiplication

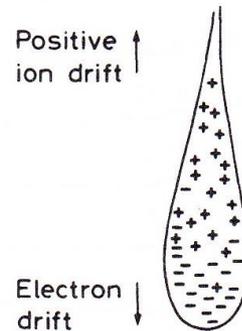
n_0 : nbre d'électrons primaires

α : probabilité d'ionisation par unité de longueur; connu sous le nom de coefficient de Townsend

$1/\alpha$: libre parcours moyen des électrons dans le gaz

x : distance parcourue dans la zone où la multiplication est possible

q_e : charge élémentaire $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

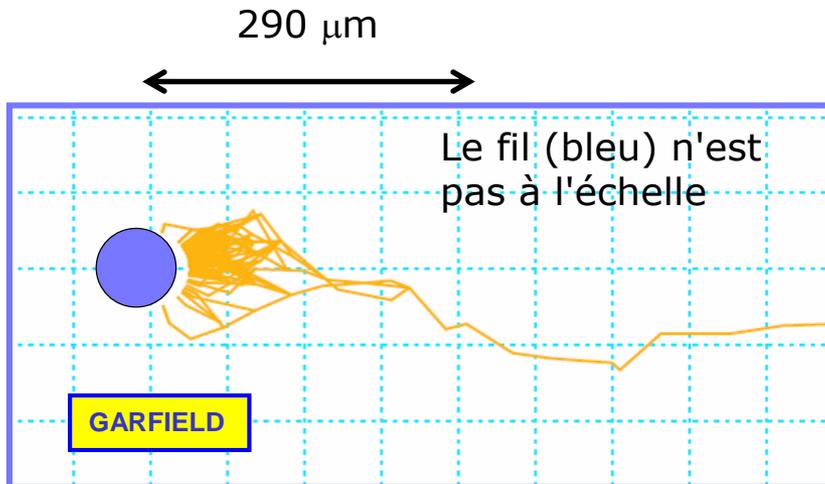


Anode Wire

A $p=1$ atm, le champ électrique minimum pour qu'il y ait multiplication est 10^6 V/m

Compteur proportionnel

$$E = \frac{1}{r} \frac{V_0}{\ln(b/a)}$$



E : champ électrique V/m
 r : distance radiale de l'axe du cylindre
 a : 10 μm
 b : 2,5 mm
 V_0 : 1600 V

- Si on suppose la multiplication possible au delà de 10^6 V/m, cela signifie que la multiplication aura lieu à moins de 290 μm . La multiplication a lieu dans un volume réduit. Au niveau du fil, le champ est de 29×10^6 V/m.
- Pour une géométrie en plaques // ep 2,5mm, il faudrait l'équivalent de 72500 V pour avoir un champ de 29×10^6 V/m.

III_b - Choix du gaz

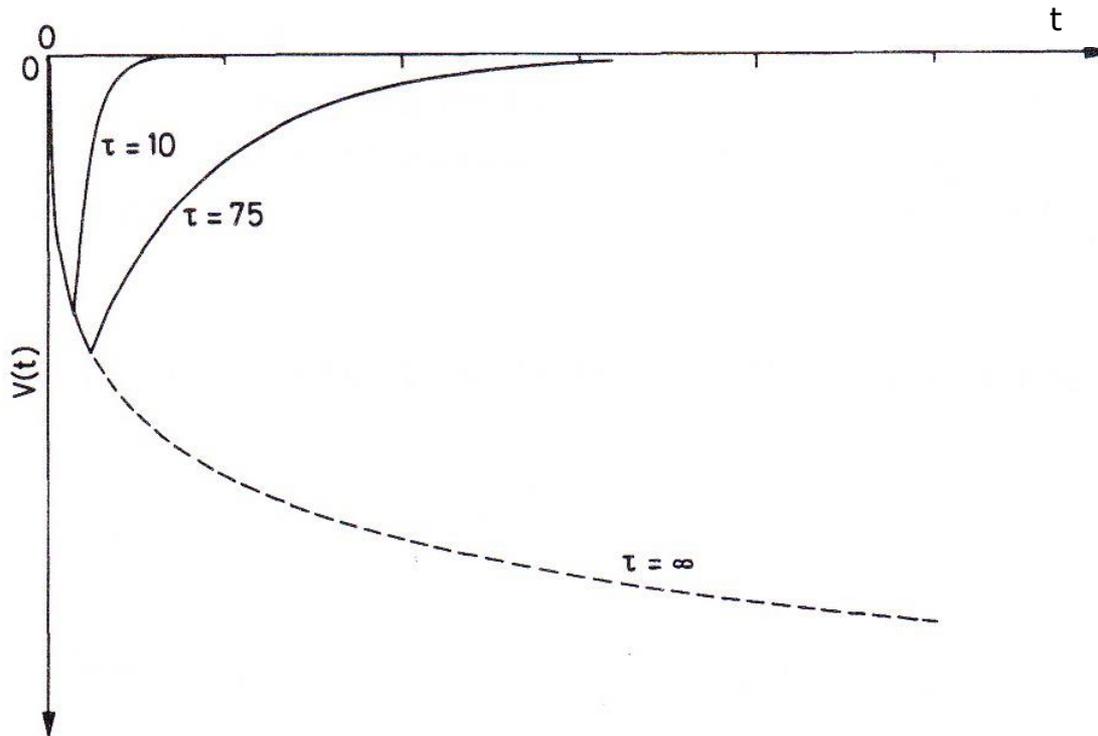
Choix du gaz

Le choix du gaz est dicté par plusieurs facteurs:

- travail à la tension la plus faible possible
 - utilisation de gaz noble (faible tension pour avalanche)
 - Argon souvent choisi pour ses hautes performances et son coût faible
- haut gain
 - Argon ne peut pas fournir seul des gains $> 10^3$ à 10^4 -Problème avec les gaz rares purs: certains atomes ne sont pas ionisés mais simplement excités. La désexcitation de ces atomes entraîne l'émission d'un **photon UV**.
 - Pour avoir des gains plus élevés et ne pas être dans ce cas, on utilise un **gaz d'appoint (gaz de modération ou de "quenching")** qui se dissocie quand il absorbe un photon UV.
 - par exemple ajout de CO_2 , CH_4 ou isoButane
 - Compteurs scellés \Rightarrow usure
 - Compteurs à flux gazeux
- bonne proportionnalité
- haut flux

Compteur proportionnel

Signal en temps



- Signal d'un compteur proportionnel cylindrique. L'impulsion est coupée par un circuit RC de constante τ
- Signal dû à quoi? aux électrons et/ou aux ions?

III_c - Différentes configurations de détecteurs

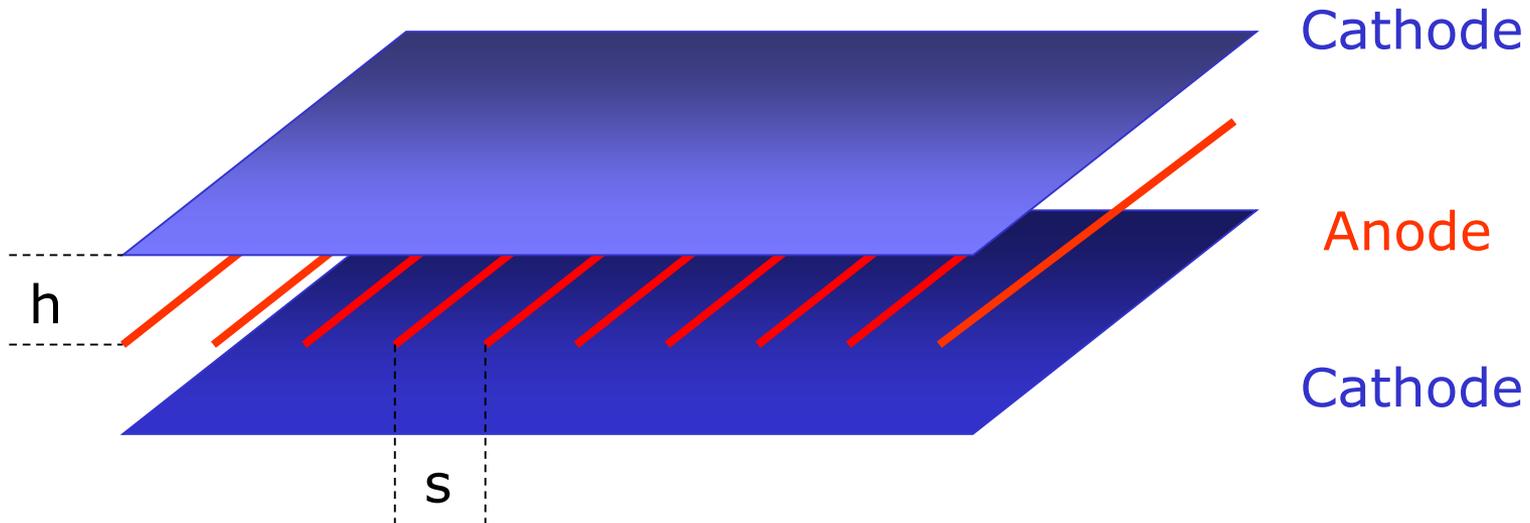
Compteur proportionnel

- Chambres multi-fils
(MWPC - Multi-Wire Proportionnel Chamber)
- Chambre à dérive (Drift Chamber)
- TPC (Time Projection Chamber)
- Détecteur à plaques parallèles
- MPGD (Micro-Pattern Gaseous Detector)

III_c_1 - Chambres multi-fils proportionnelles

Compteur proportionnel

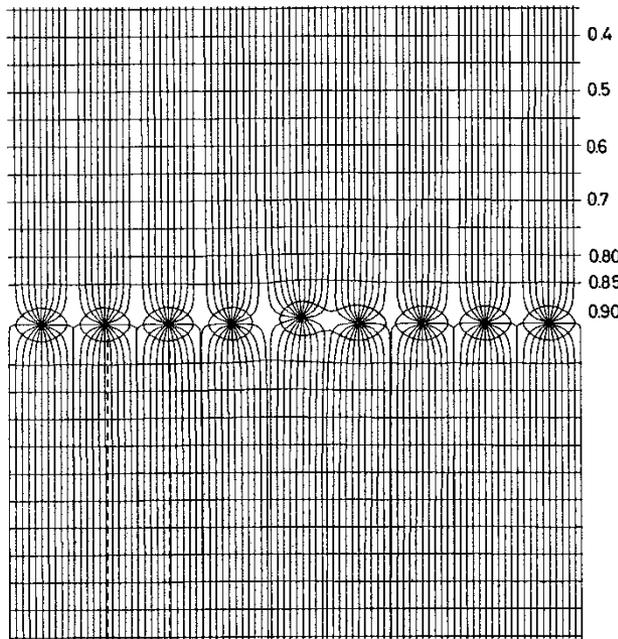
Chambre multi-fils proportionnelle (MWPC)



Au voisinage du fil
Champ électrique fort \Rightarrow Multiplication

Compteur proportionnel

Chambre multi-fils proportionnelle (MWPC)

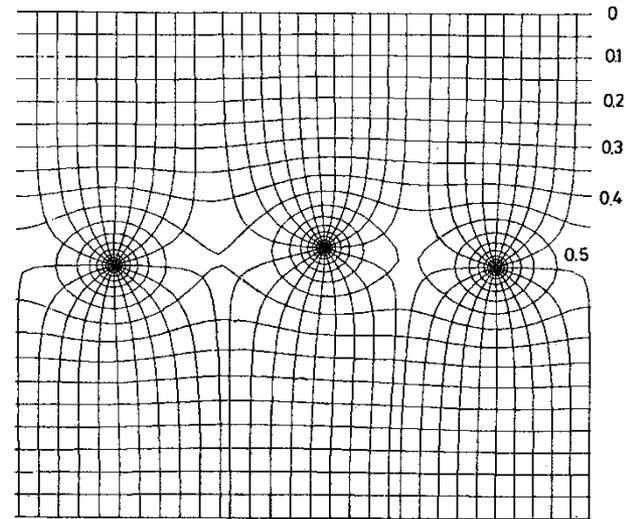


(a)

S

$s = 1 \text{ mm}$ $h = 8 \text{ mm}$

Fils de $40 \mu\text{m}$ de diamètre



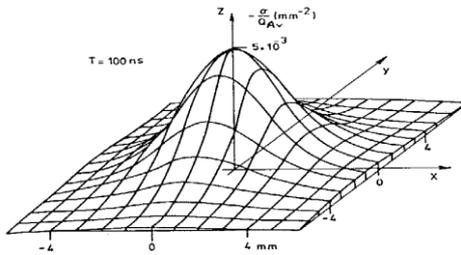
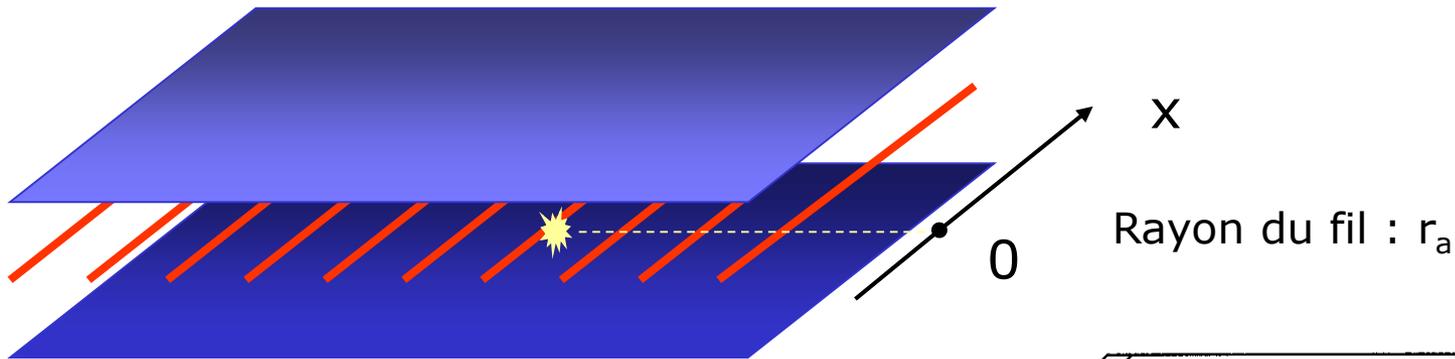
(c)

$s = 3 \text{ mm}$ $h = 4 \text{ mm}$

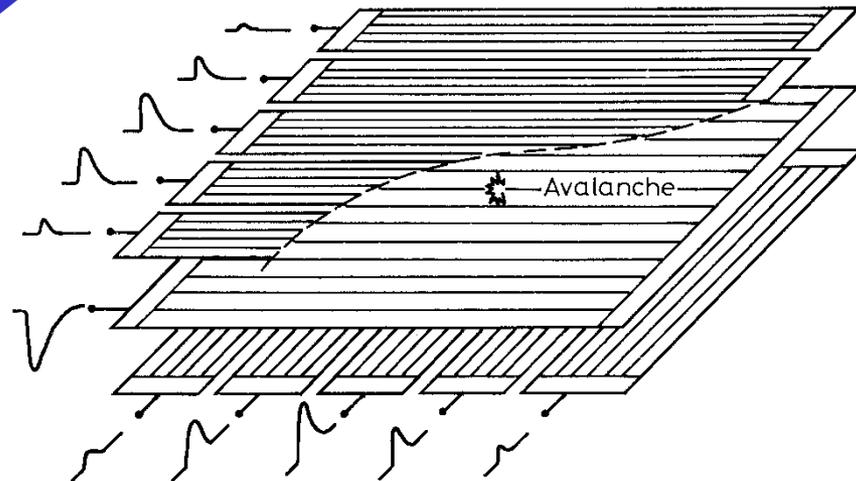
Equipotentielles et lignes de champ

Compteur proportionnel

Chambre multi-fils proportionnelle (MWPC)



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



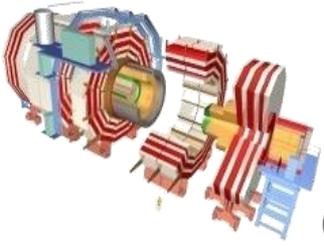
Possibilité de **Lecture bidimensionnelle** mais...
Bonne précision uniquement dans le sens du fil



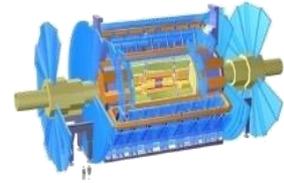
Alice



L'expérience ALICE au CERN



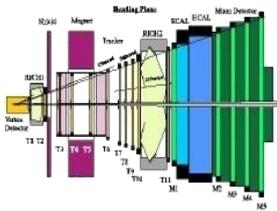
CMS



ATLAS



Large Hadron Collider



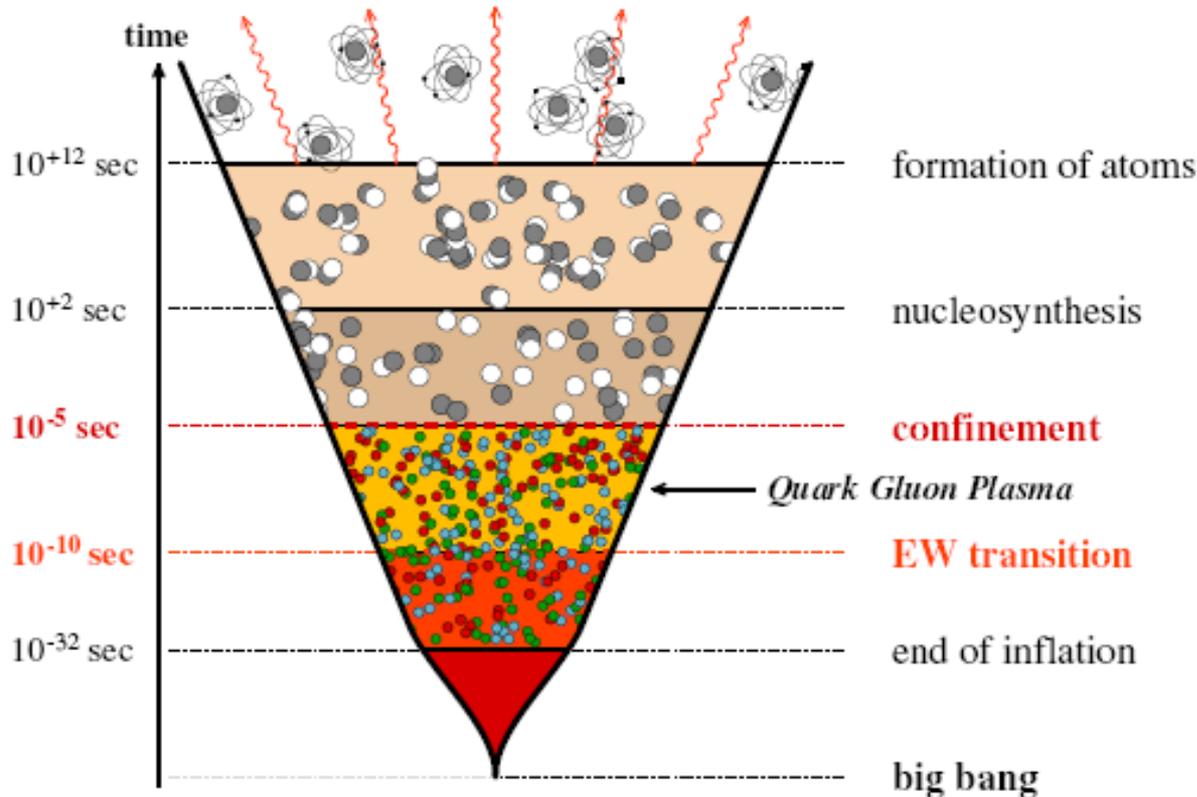
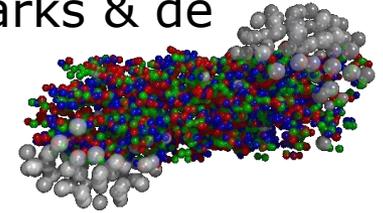
LHCb



ALICE

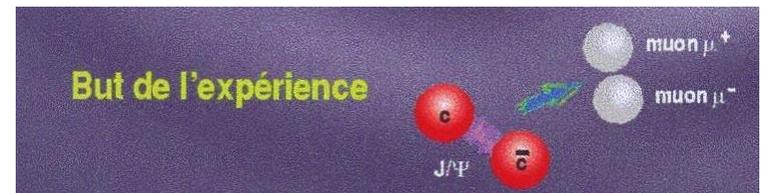
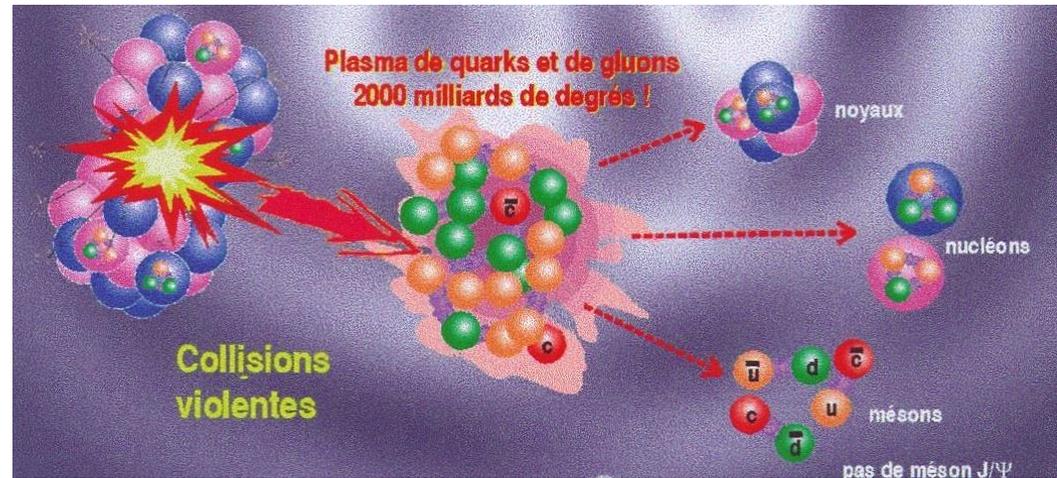
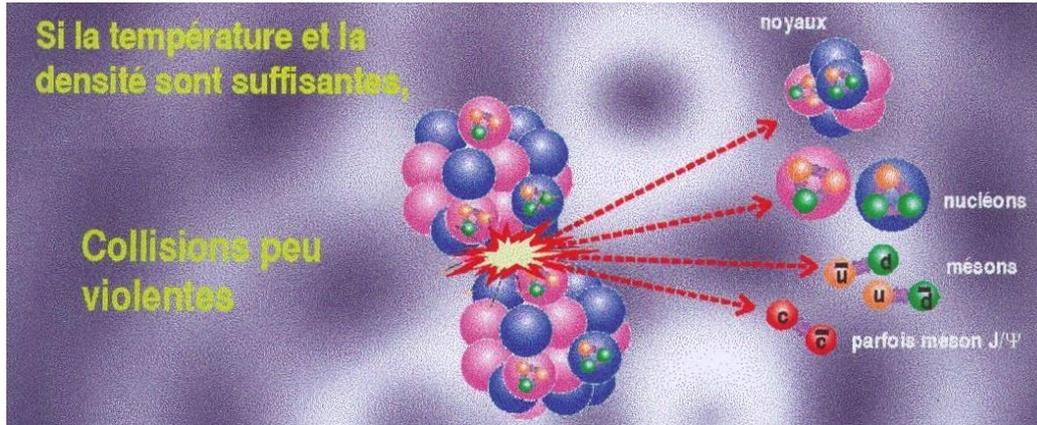
La Physique du Bras Dimuon:

- Mettre en évidence la formation du Plasma de Quarks & de Gluons (QGP)

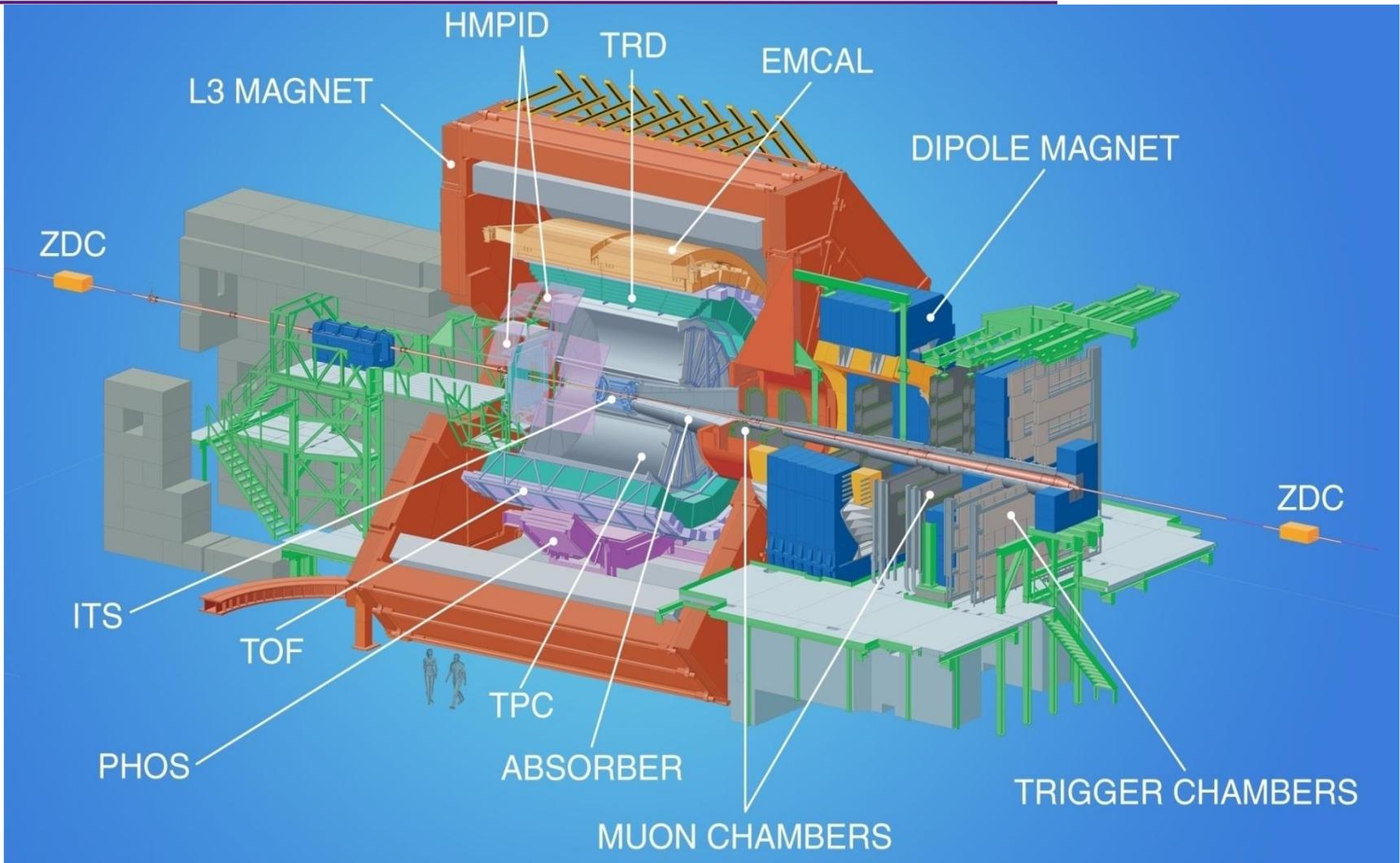


Le plasma de Quarks & de Gluons est attendu dans les collisions d'ions lourds ultra-relativistes aux énergies du LHC, comme cela est supposé s'être passé il y a bien longtemps...

La Physique du Bras Dimuon :

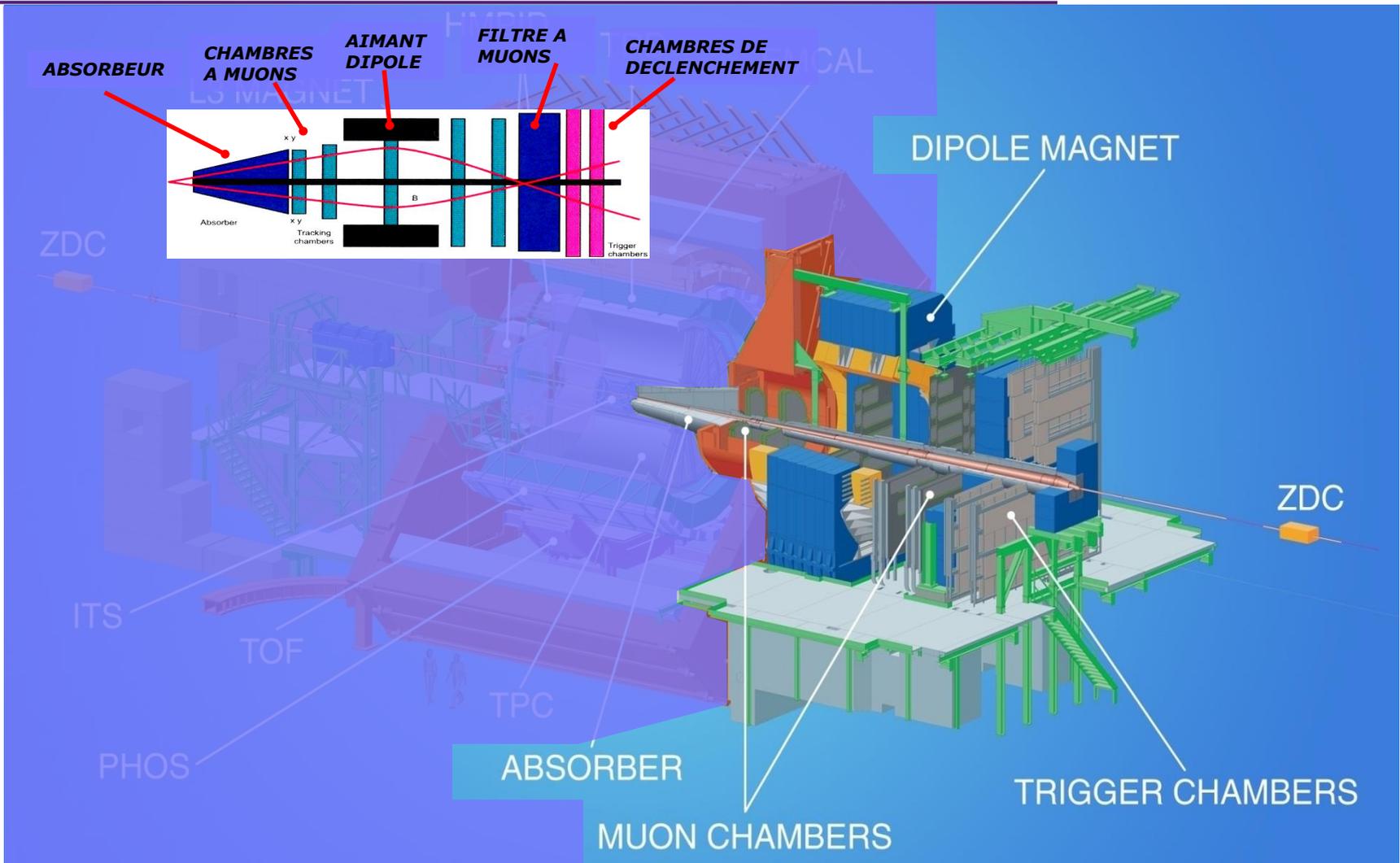


Le détecteur ALICE

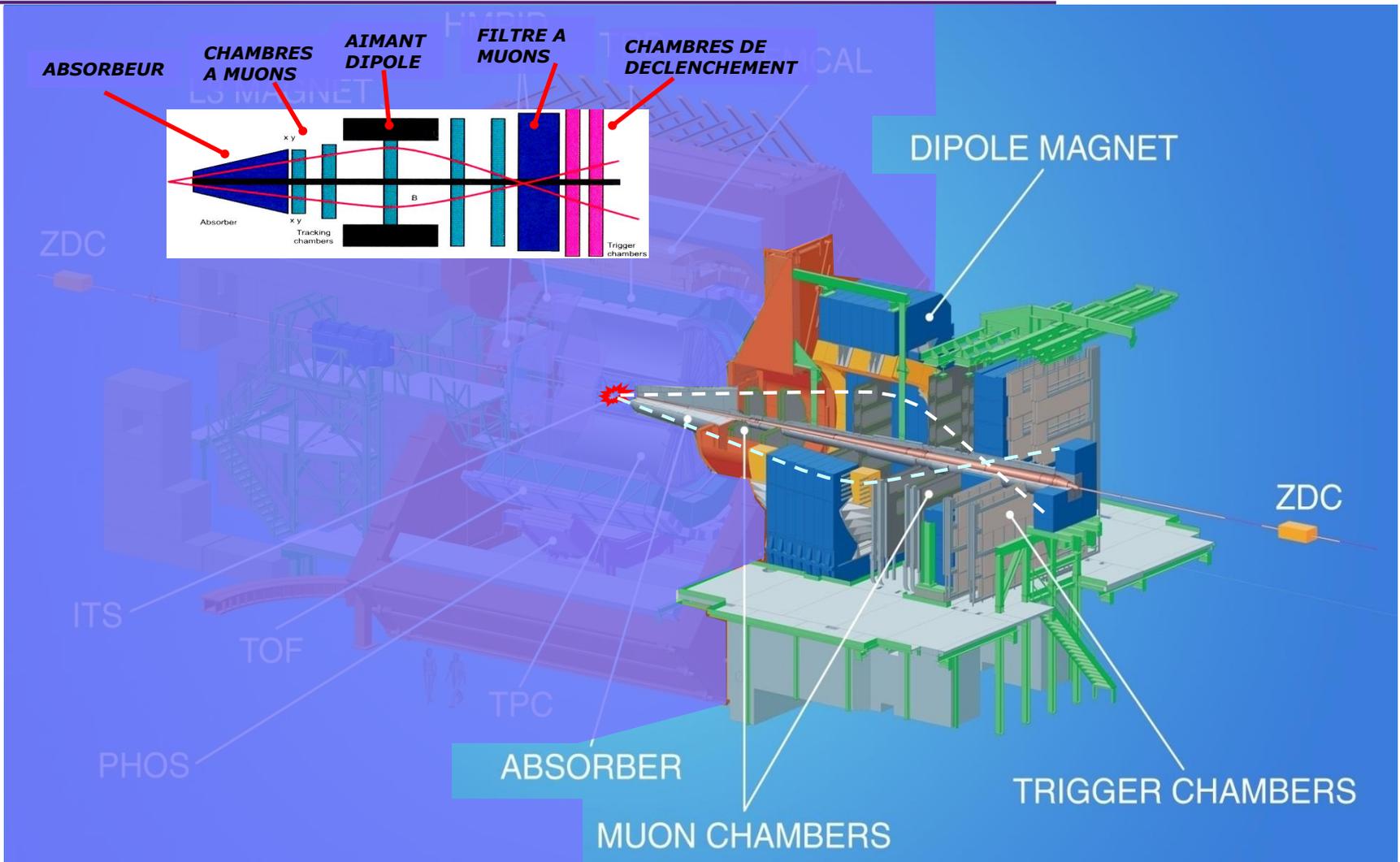


16m x 26m ; 10.000 tonnes

Le bras Dimuon d'ALICE

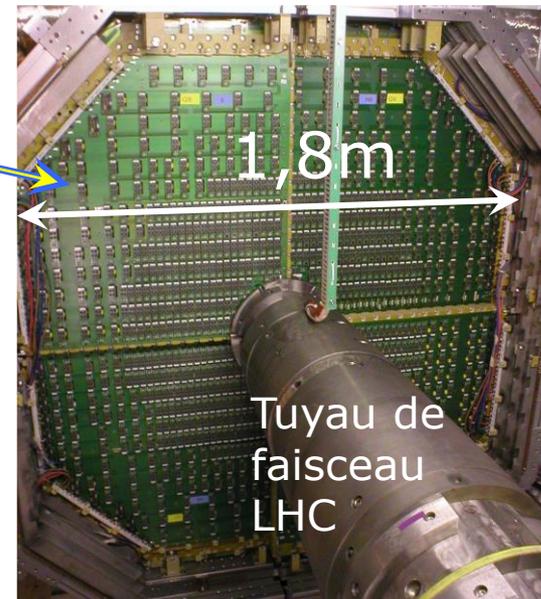
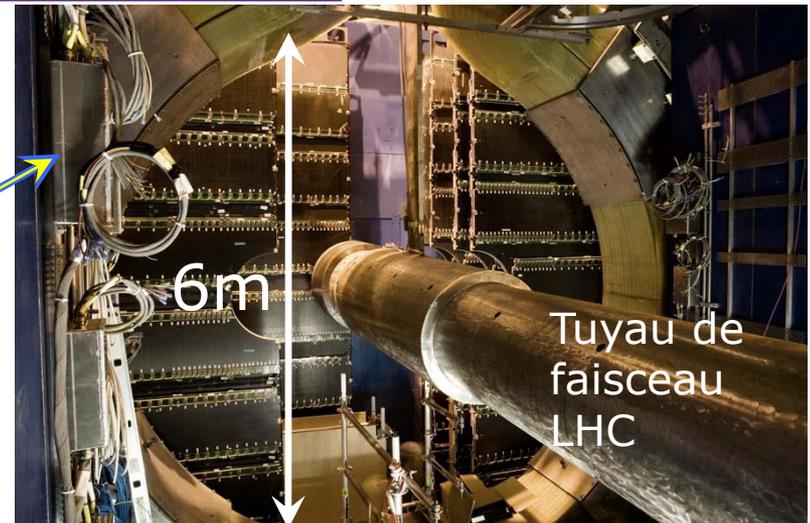
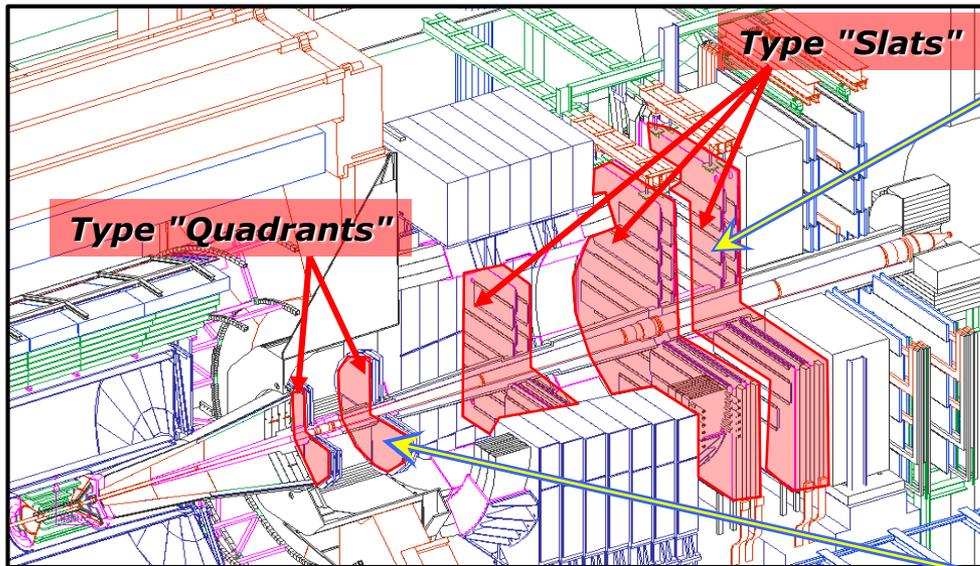


Le bras Dimuon d'ALICE



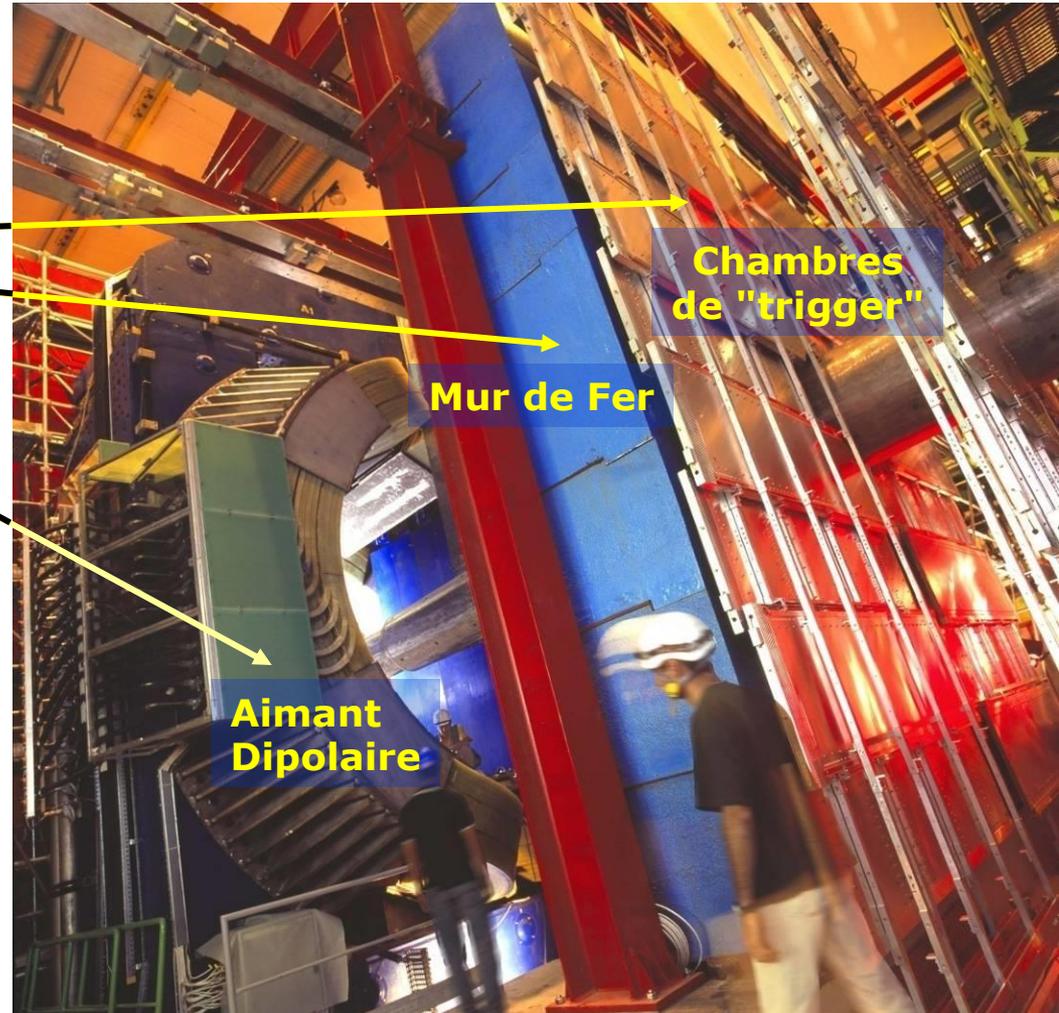
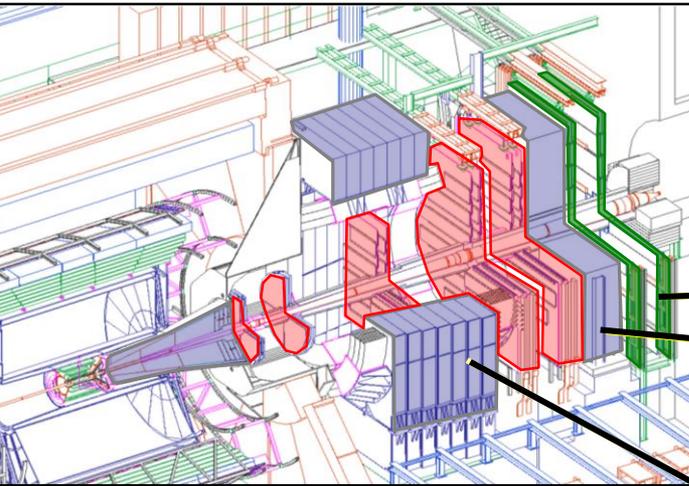
Architecture du Bras Dimuon

Chambres de trajectographie
Stations 1,2,3,4 & 5



- 5 stations \Rightarrow surface de détection de 100 m²
- 1.076.000 voies d'électronique
 - Résolution spatiale: 100 μ m
 - Temps lecture total: \sim 170 μ s

Architecture du Bras Dimuon



Chambres de "trigger"

- Décision "Trigger" < 700 ns
- Résolution en temps < 2 ns

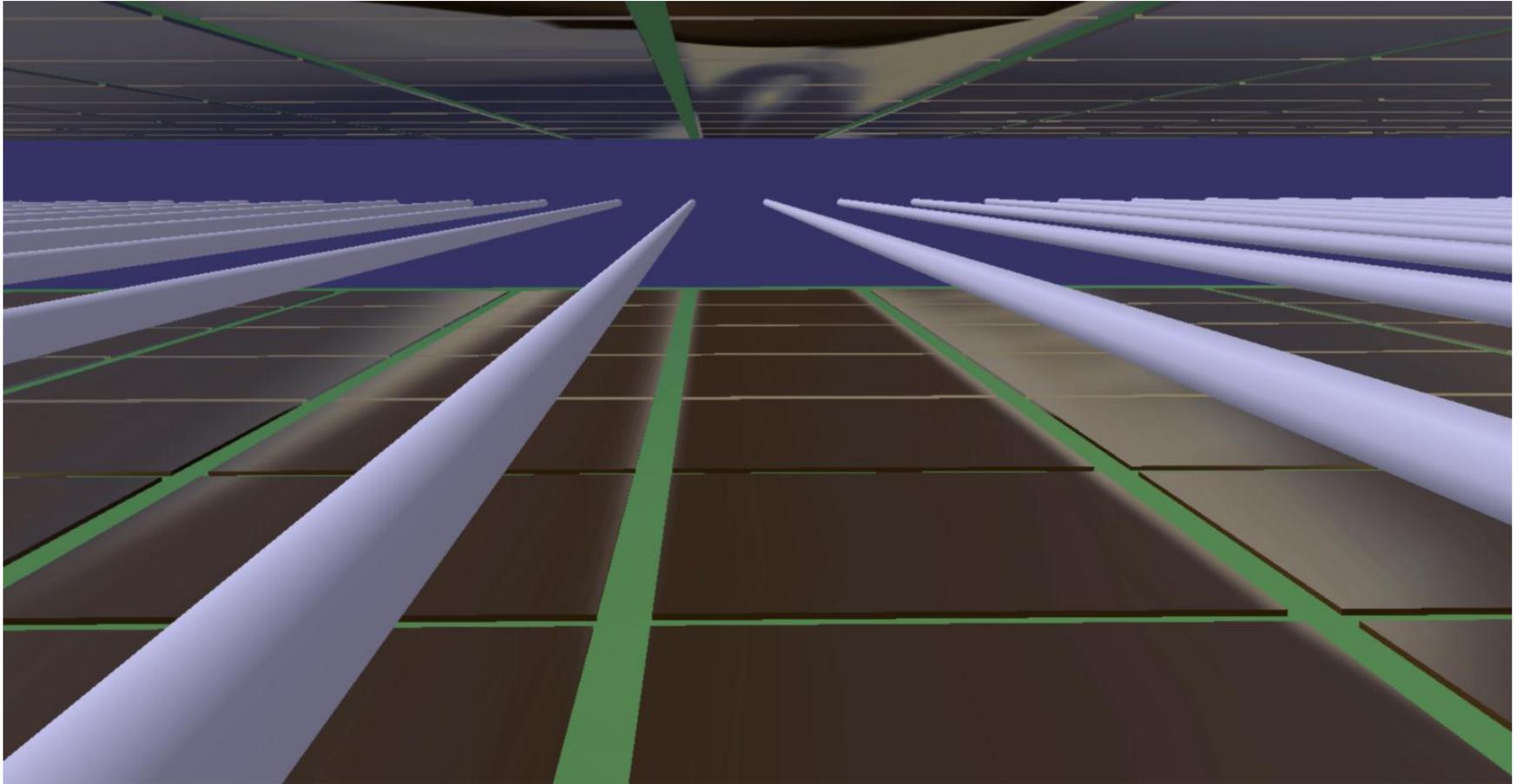
MWPC -ALICE -CERN-LHC

Chambre multi-fils proportionnelle (MWPC)

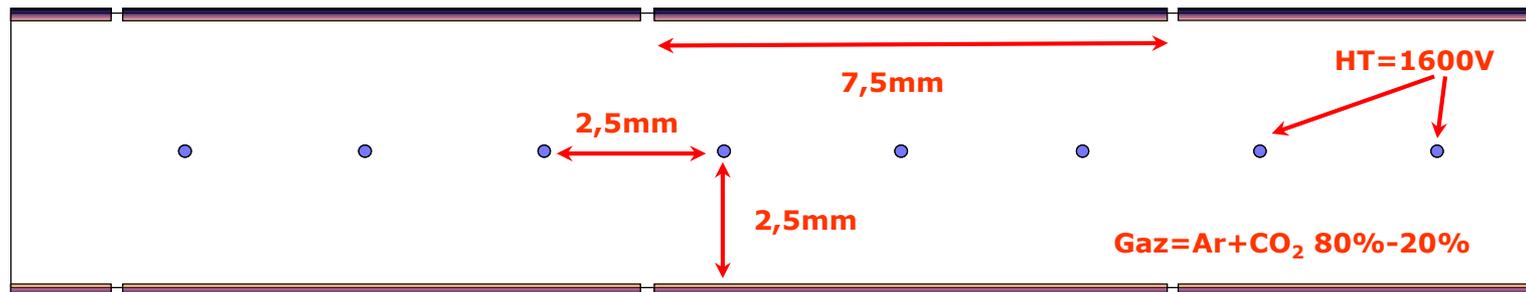
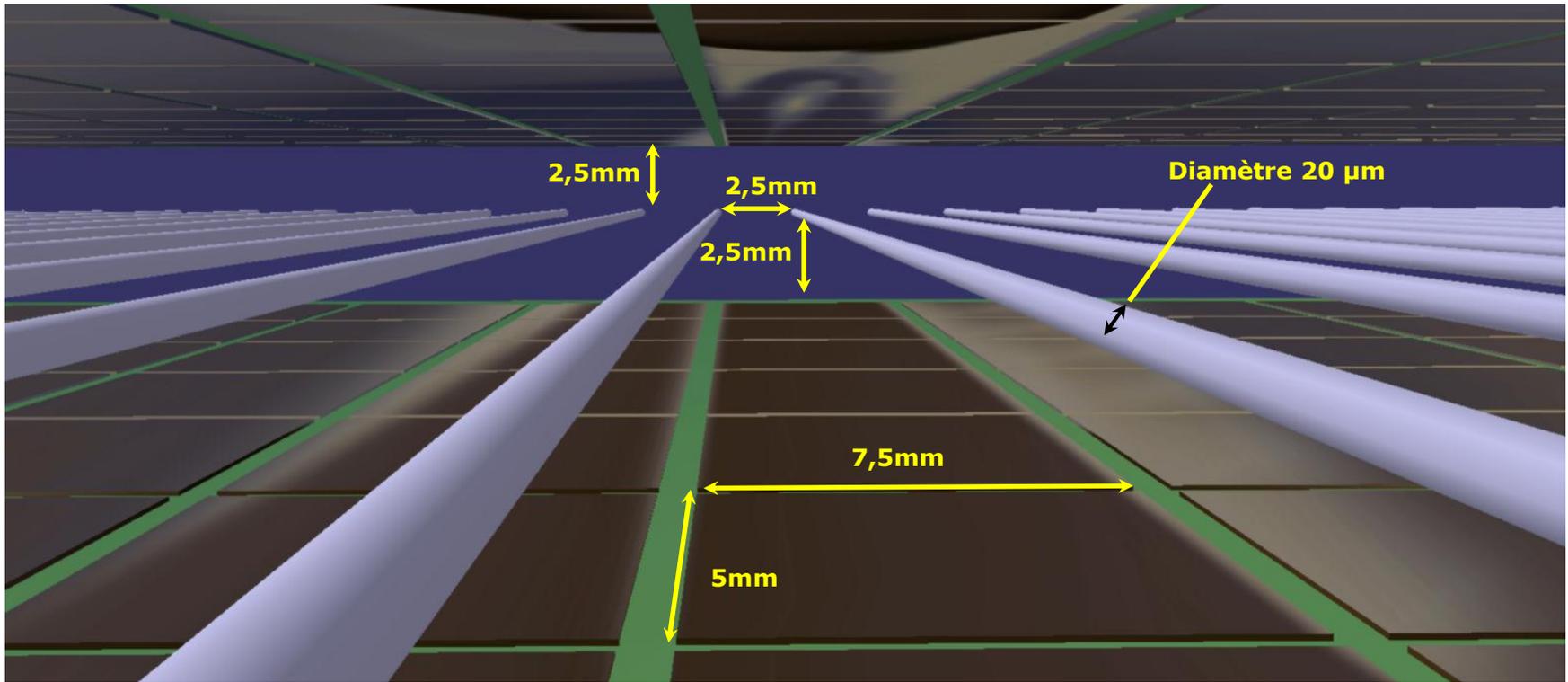


8 Détecteurs
200.000 voies de
détection

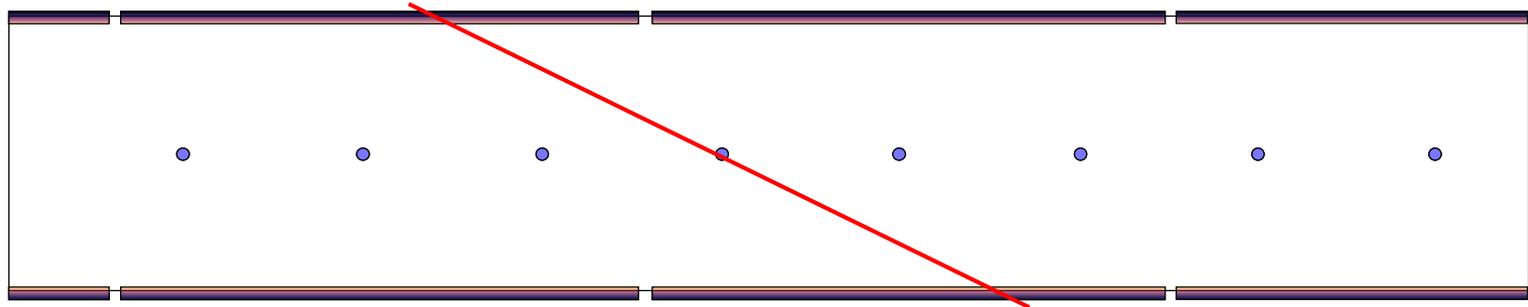
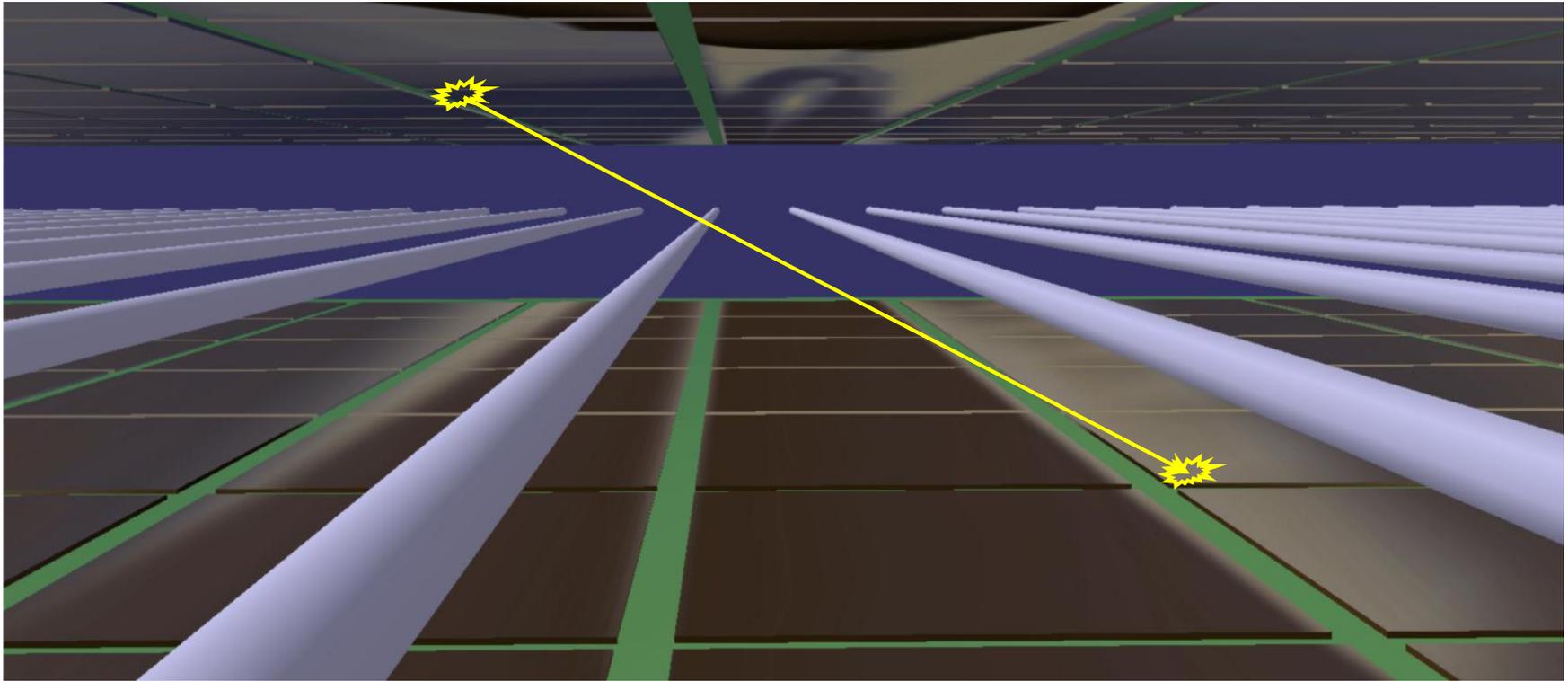
Au cœur d'une chambre à fils



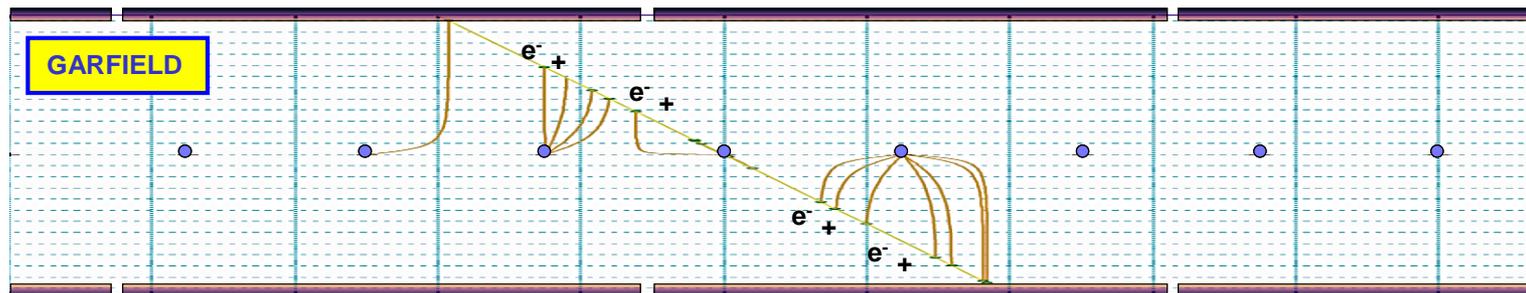
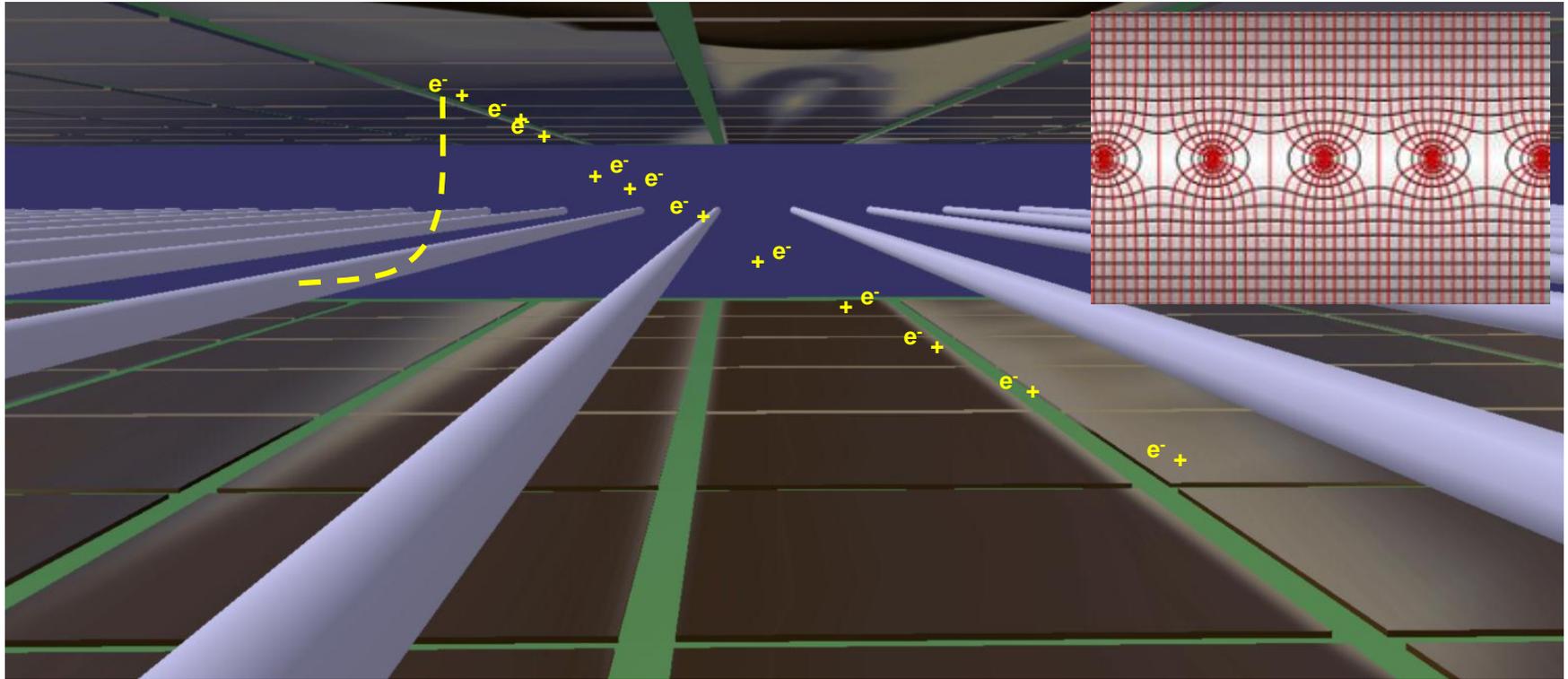
Au cœur d'une chambre à fils



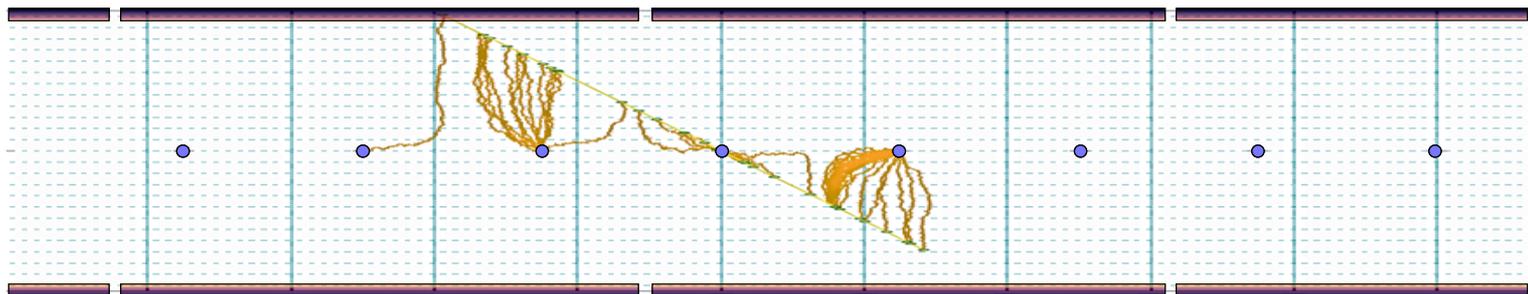
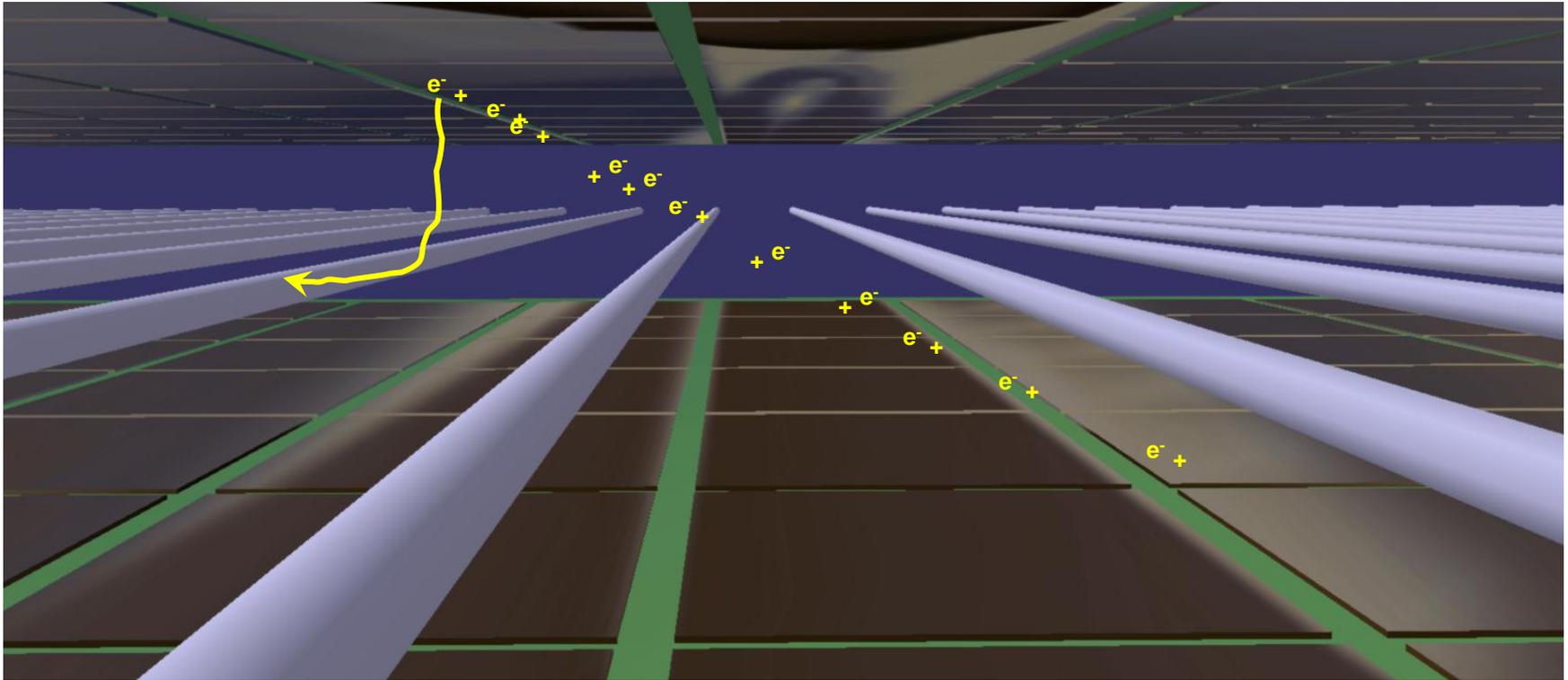
Au cœur d'une chambre à fils



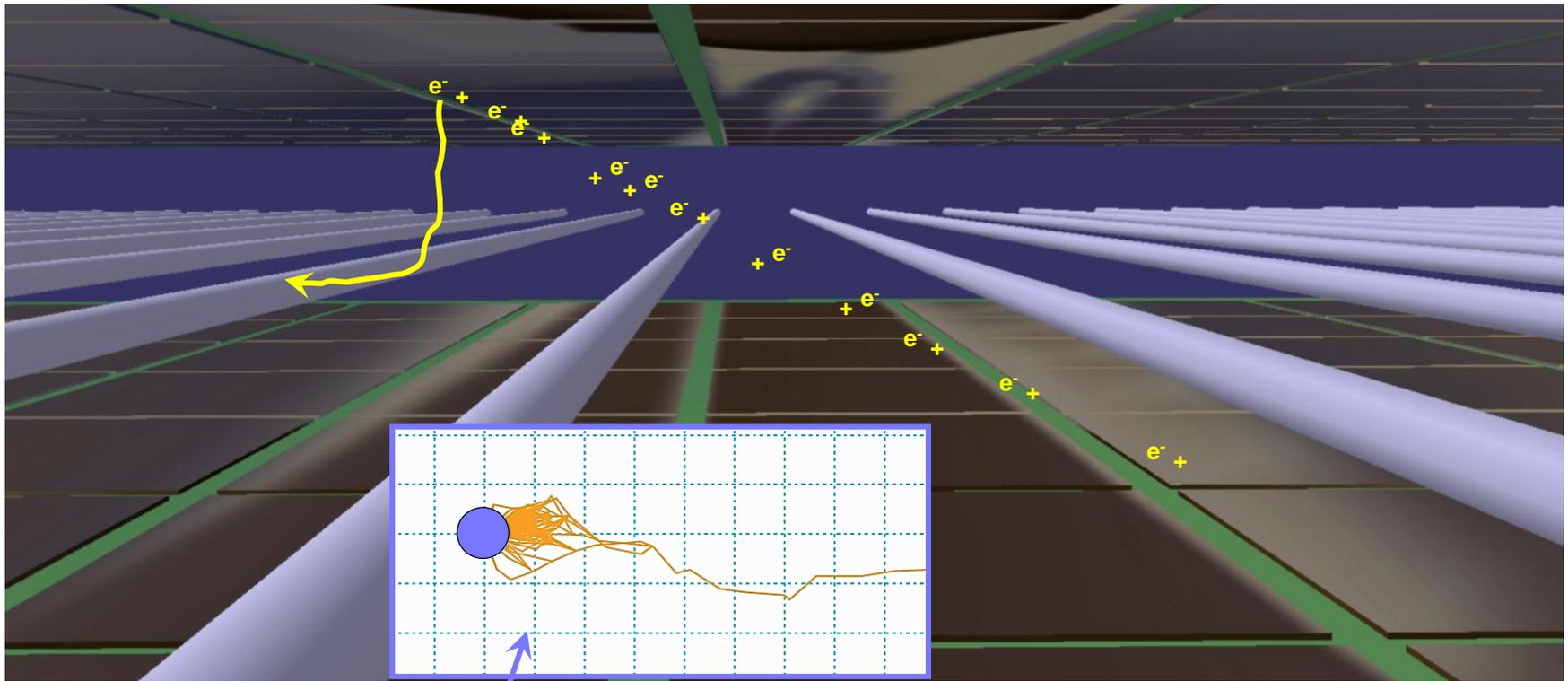
Au cœur d'une chambre à fils



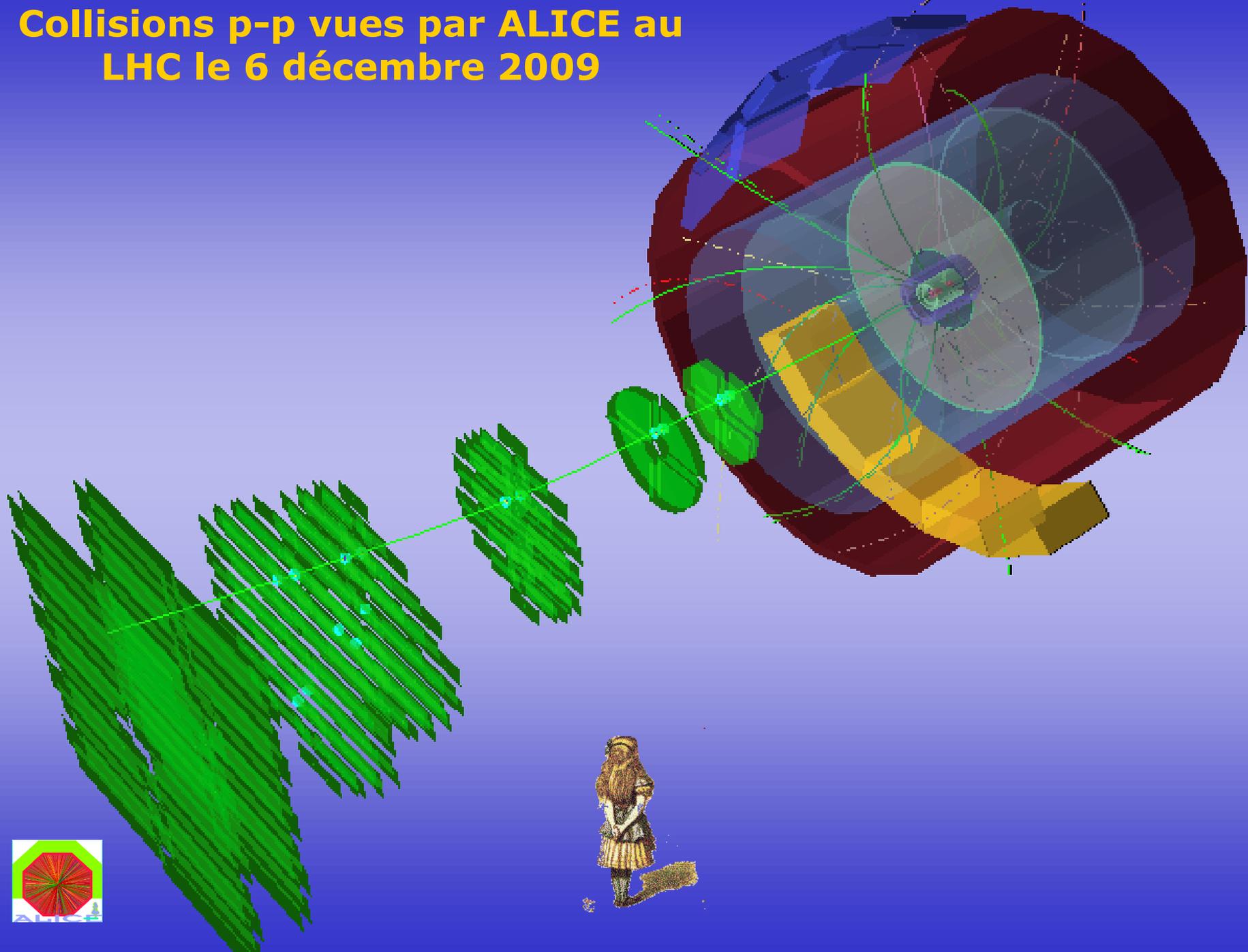
Au cœur d'une chambre à fils



Au cœur d'une chambre à fils



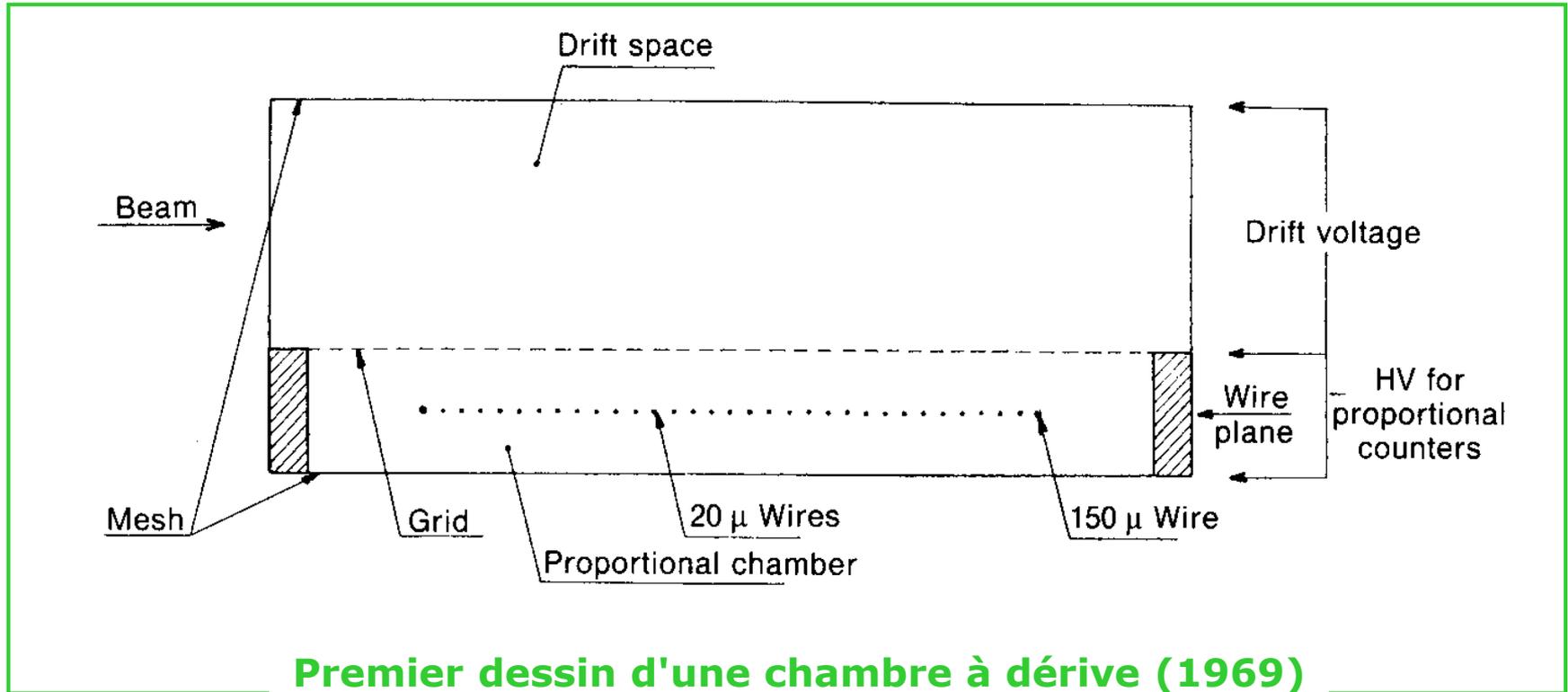
Collisions p-p vues par ALICE au LHC le 6 décembre 2009



III_c_2 - Chambres à dérives

Compteur proportionnel

Chambre à dérive



Compteur proportionnel

Chambre à dérive

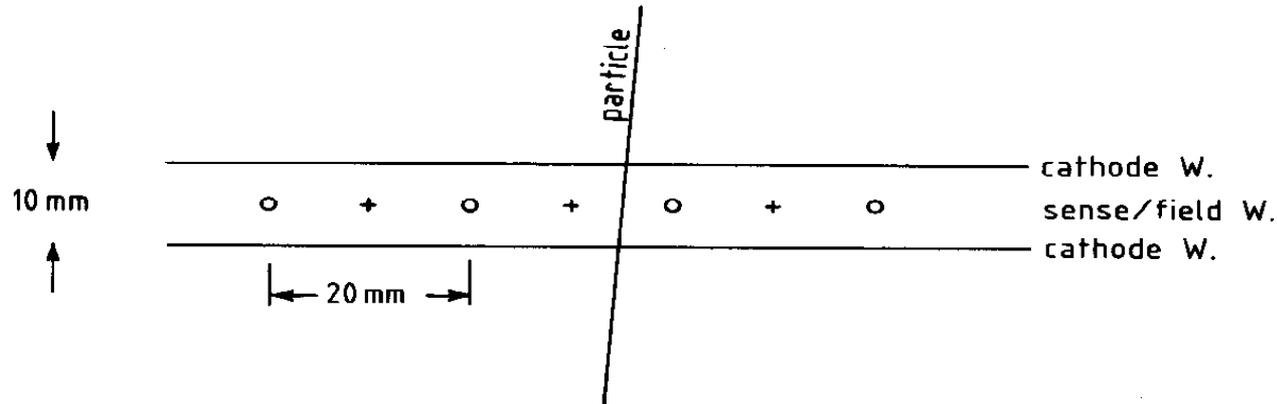


Fig. 10.2. Disposition of the electrodes in the chamber built by Walenta et al.

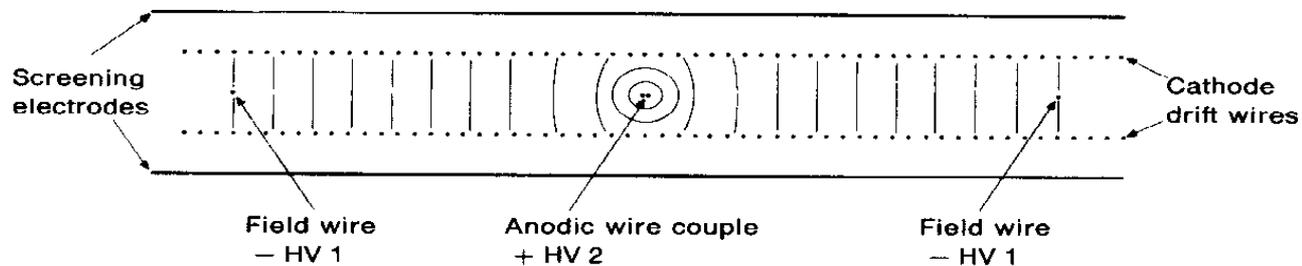


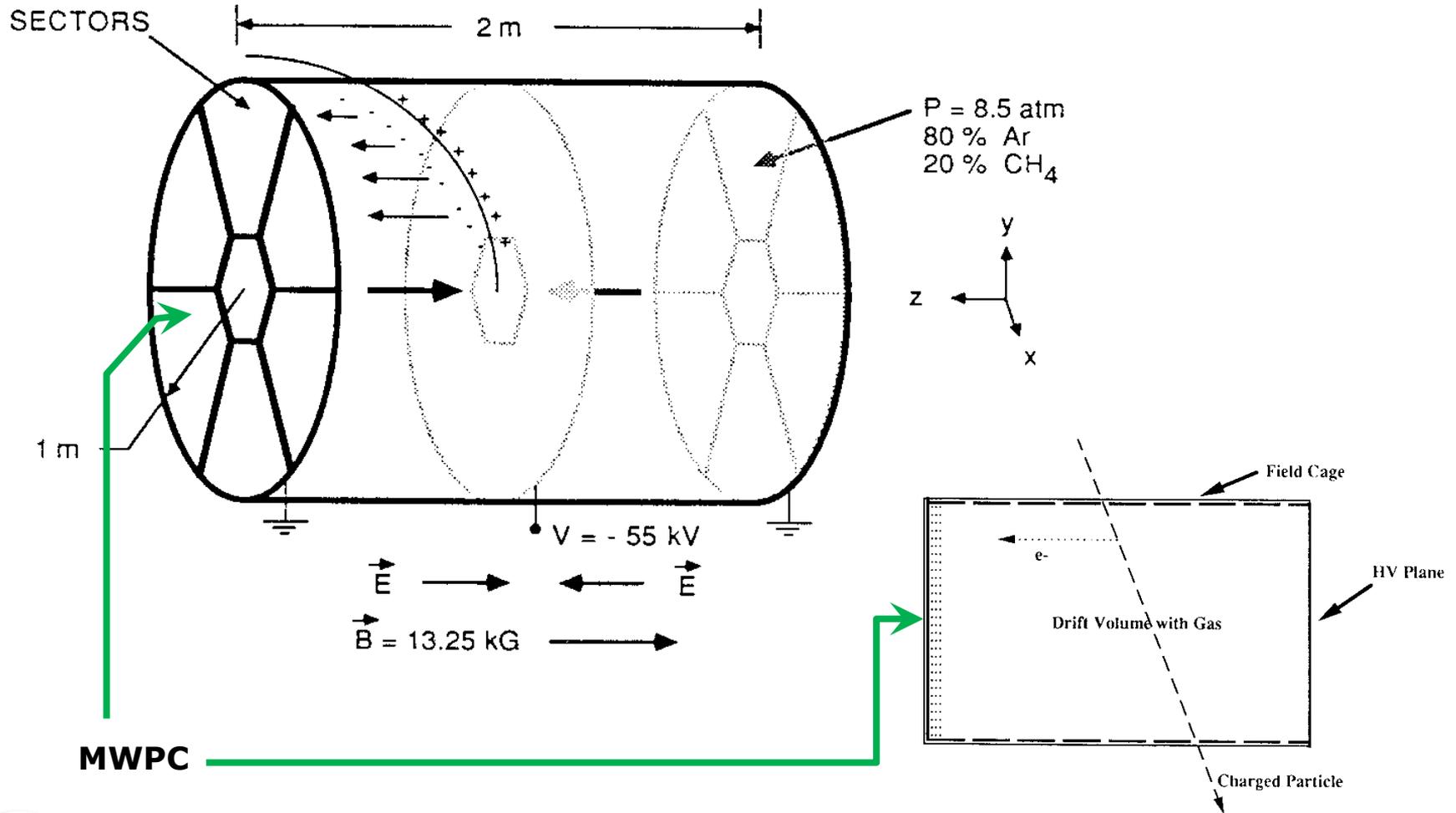
Fig. 10.3. Disposition of the electrodes in the chamber built by Breskin et al. [BKE 75], cathode wires at uniformly decreasing potentials produce a long and homogeneous drift field

Développement des chambres à dérive

III_c_3 - TPC (Time Projection Chamber)

Compteur proportionnel

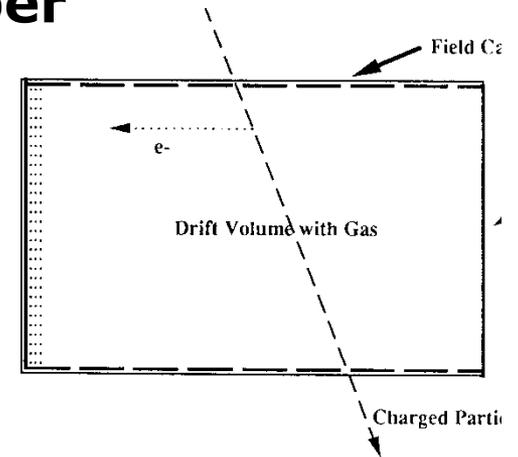
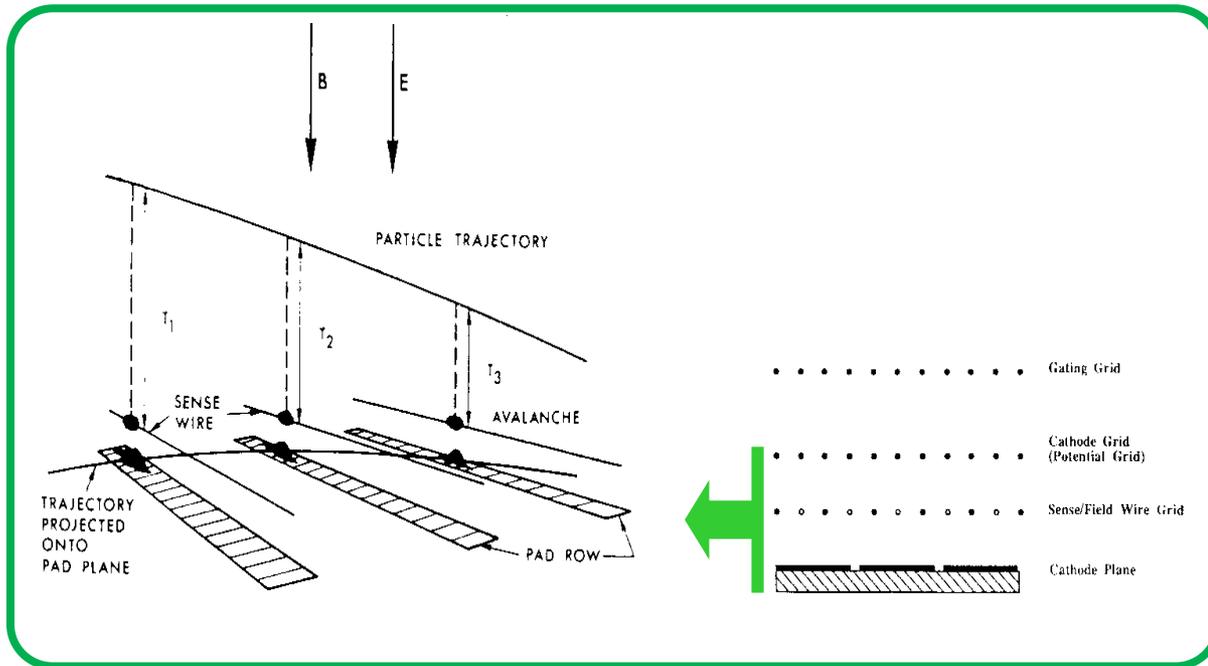
TPC: Time Projection Chamber



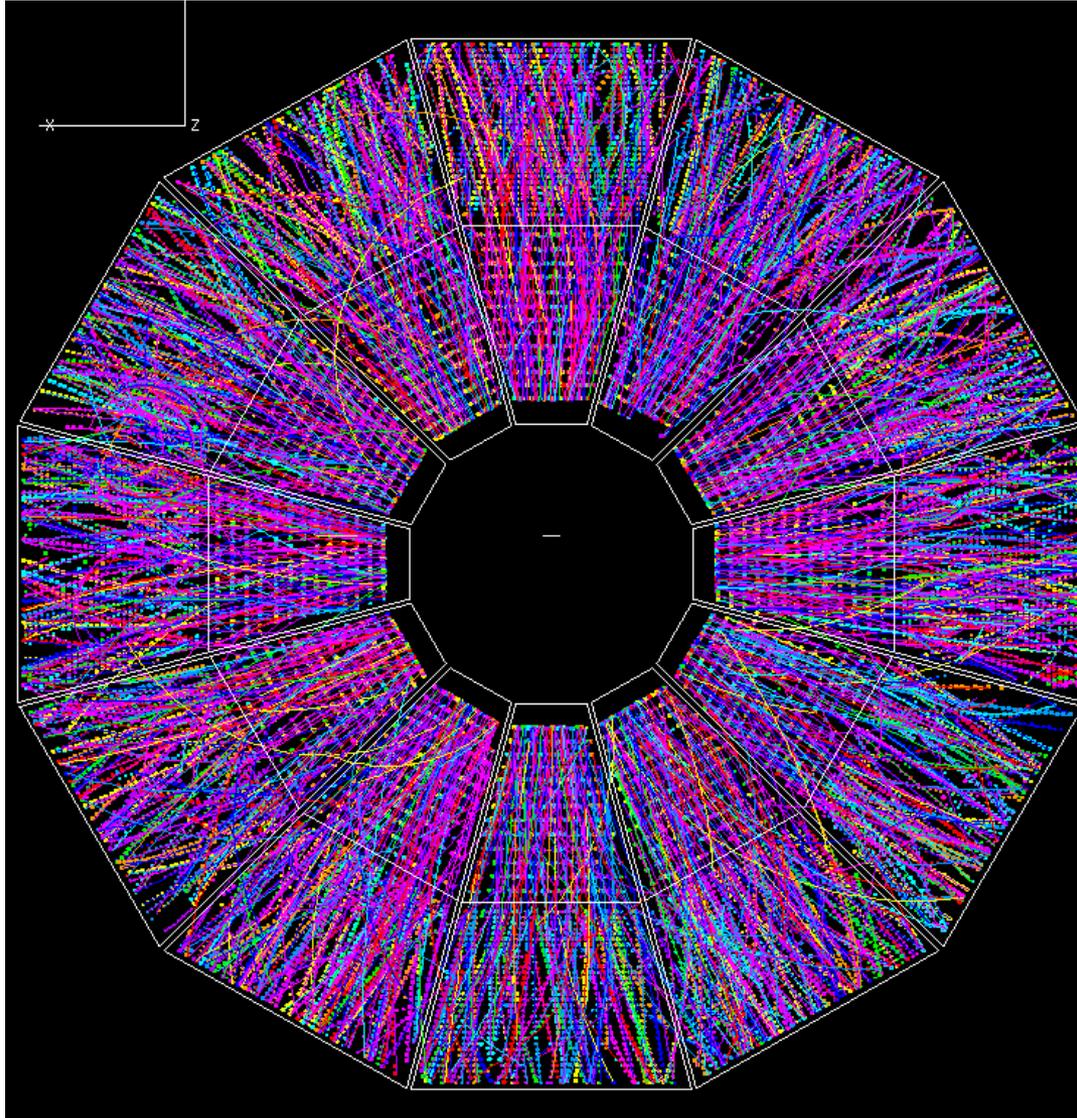
Compteur proportionnel

TPC: Time Projection Chamber

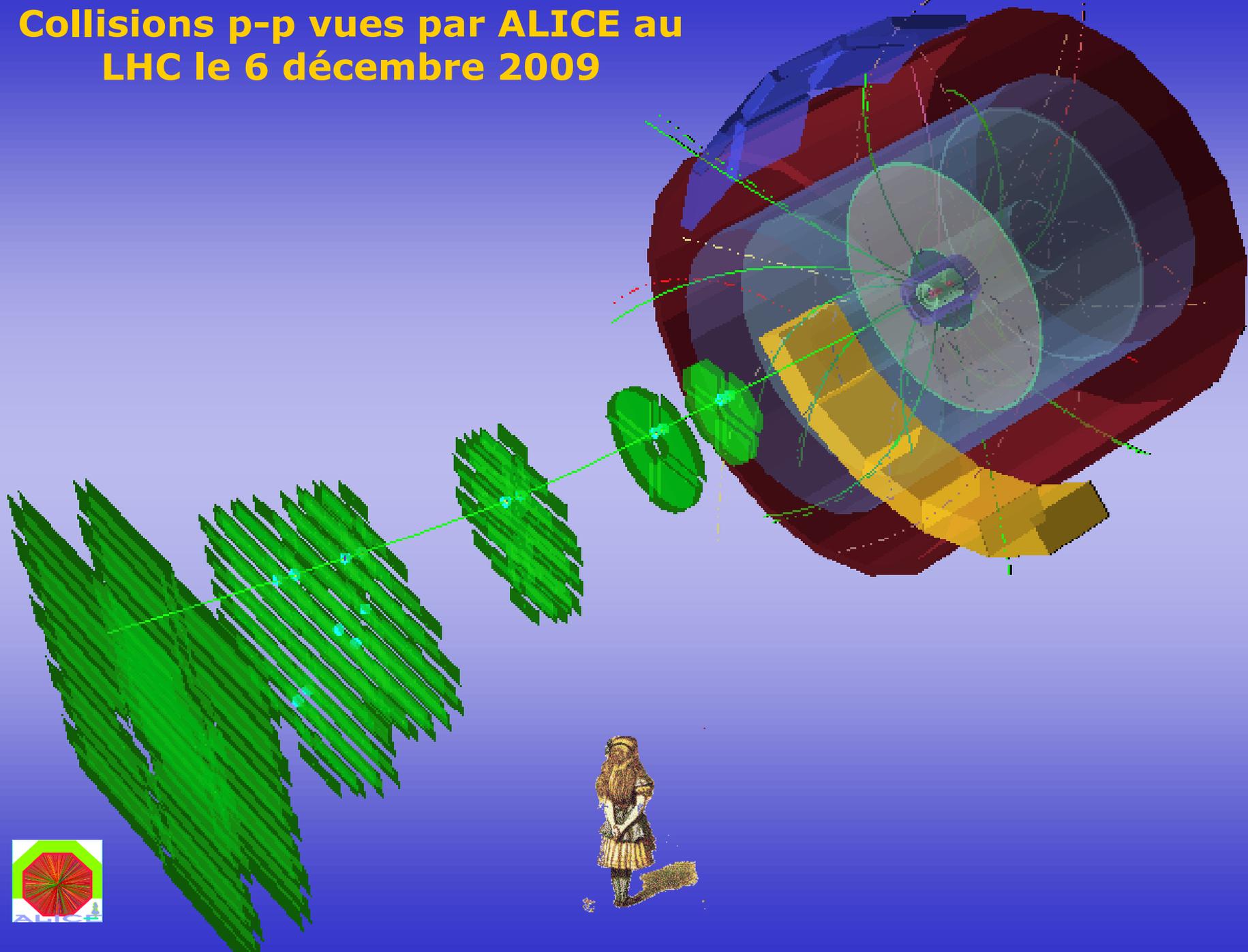
MWPC



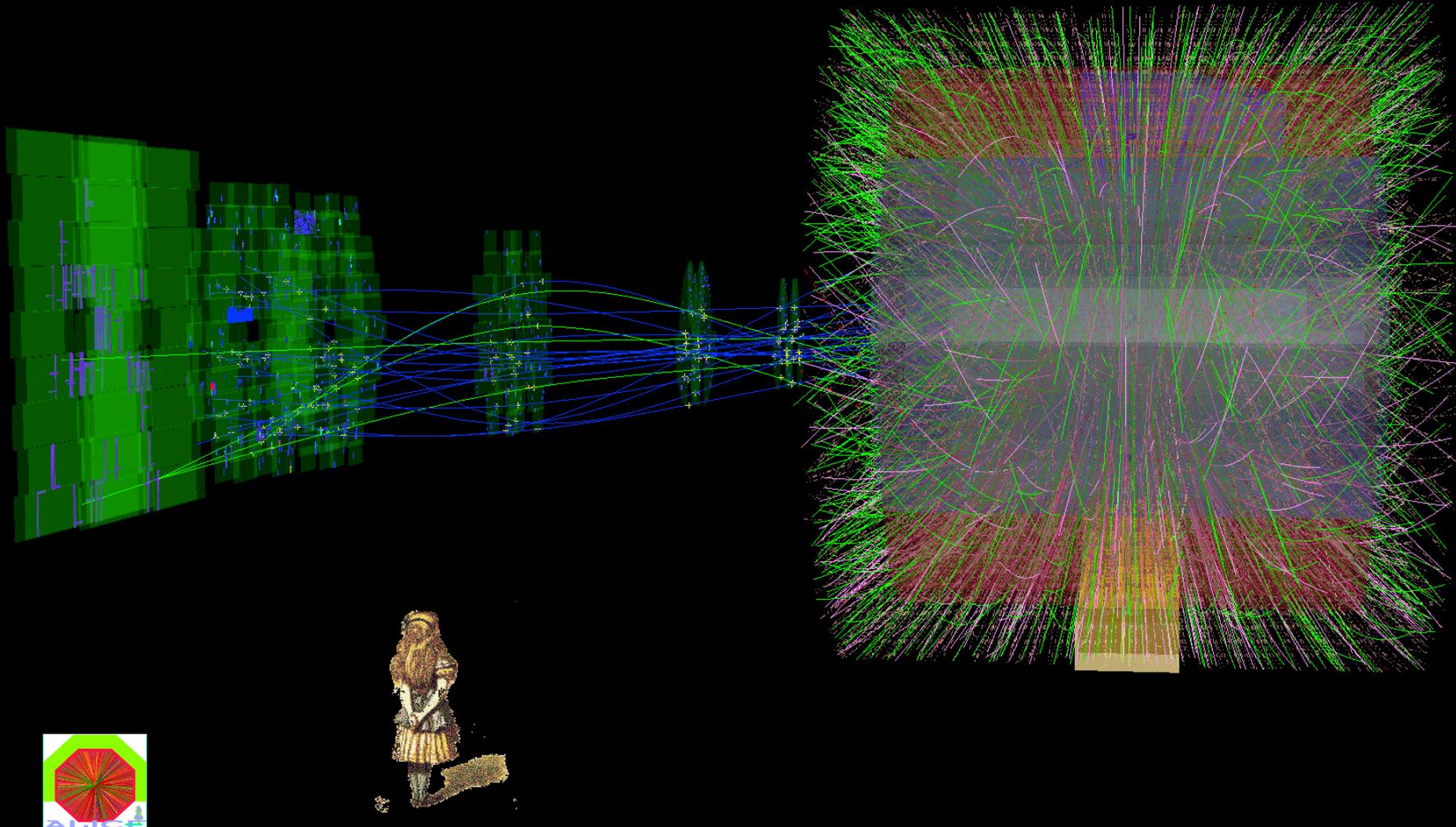
TPC de STAR à RHIC



Collisions p-p vues par ALICE au LHC le 6 décembre 2009



Premières collisions Pb-Pb vues par ALICE au LHC le 9 novembre 2010



III_c_4 - Détecteurs à plaques parallèles

Détecteurs à plaques parallèles



Champ électrique constant: $E = \frac{V_a}{d}$

Multiplication du nombre d'électrons :

$$M = \frac{n}{n_0} = e^{\alpha x} \text{ sur une longueur } x$$

M : coefficient multiplicatif

n : nbre d'électrons après multiplication

n_0 : nbre d'électrons primaires

$\alpha = \frac{1}{\lambda}$: probabilité d'ionisation par unité de longueur;

connu sous le nom de coefficient de Townsend

$$\frac{\alpha}{p} = A e^{-\frac{B}{E/p}}$$

A et B constantes dépendantes du gaz
 p pression du gaz et E/p champ électrique réduit

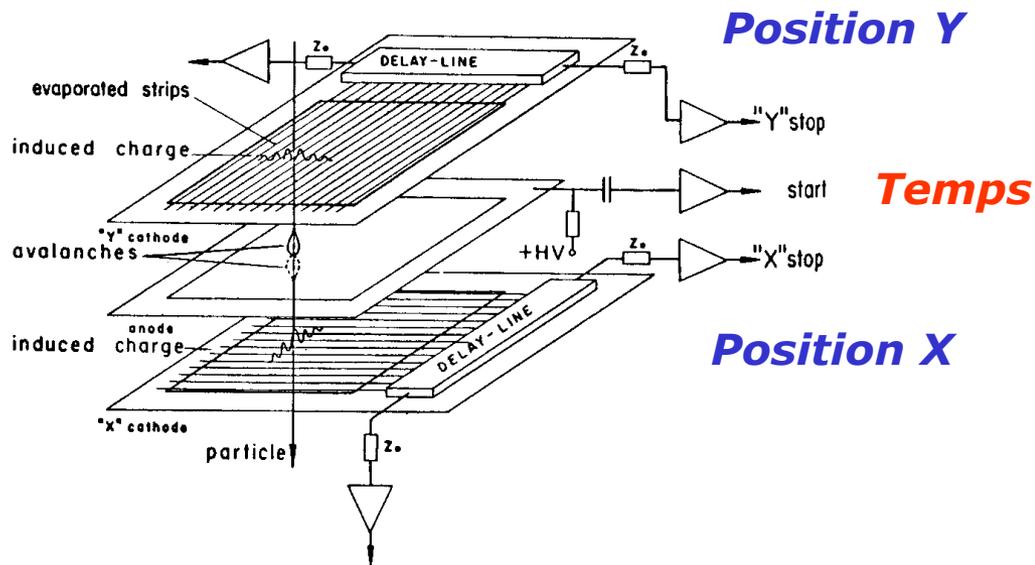
Champ fort jusqu'à 4×10^6 V/m.atm sous des conditions de très basse pression (qqes mbar): détecteur mince ($100 \mu\text{m}$ à qqes mm)

Gain typique: $M=10^4$

PPAC à basse pression

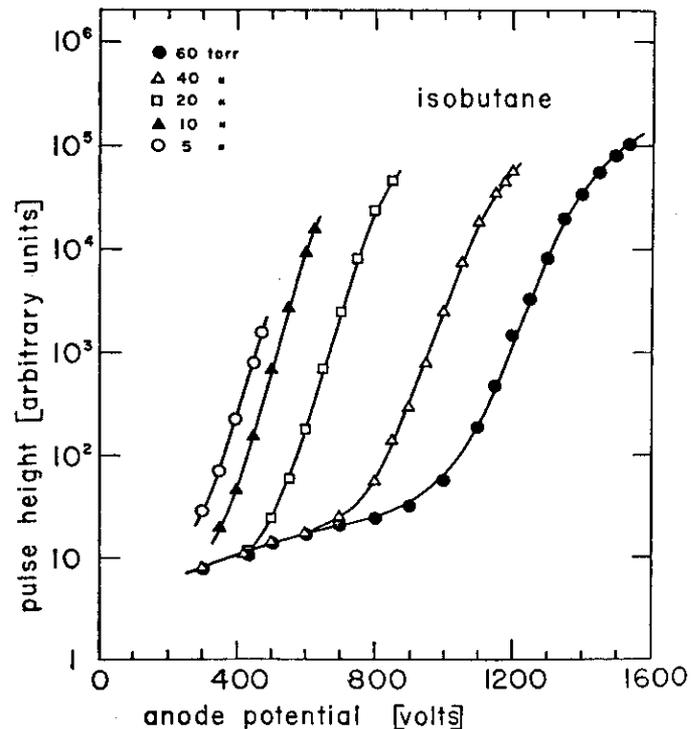
Ionisation primaire importante :

Physique nucléaire (ions lourds , basse énergie)



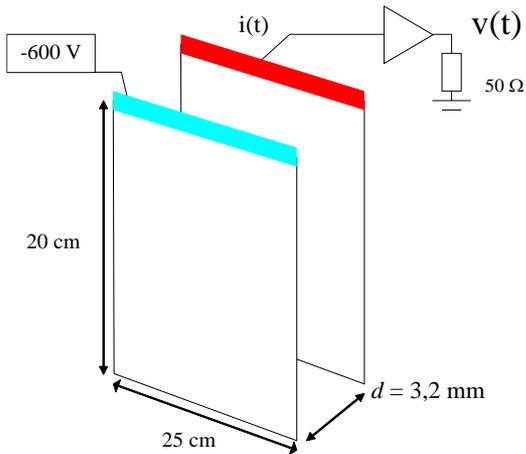
Temps

140 ps (FWHM) avec α de 5,5 MeV



Gains relatifs

PPAC à basse pression - modélisation



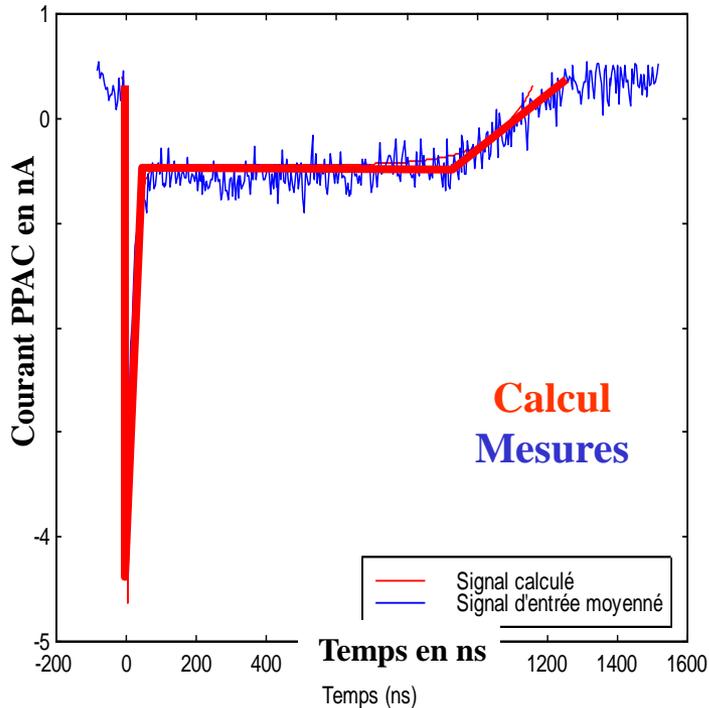
Surface : 20 x 25 cm²
 Gap : 3,2 mm

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

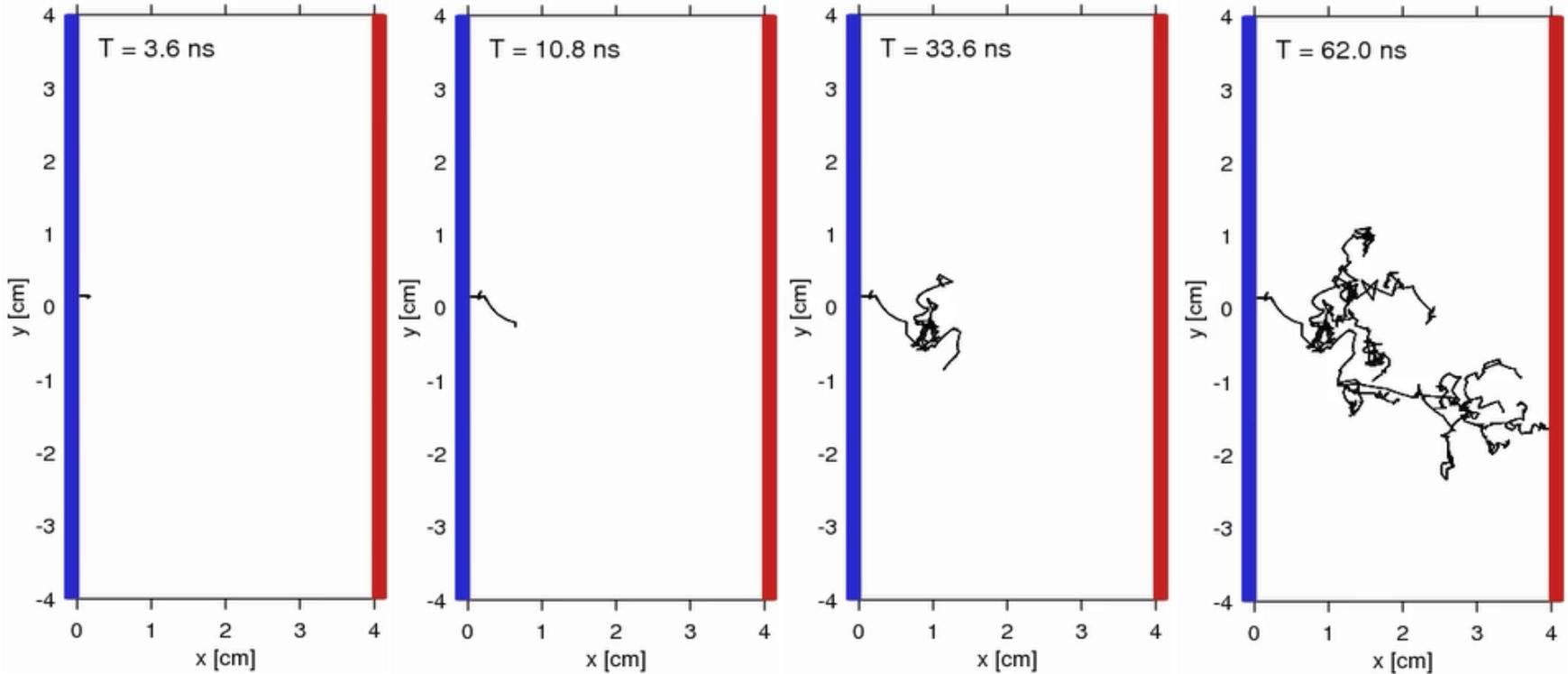
Garfield
 Rob Veenhof
 CERN

Calcul
 Mesures

1 torr = 1,33 mbar = 133 Pa

Bernard Genolini

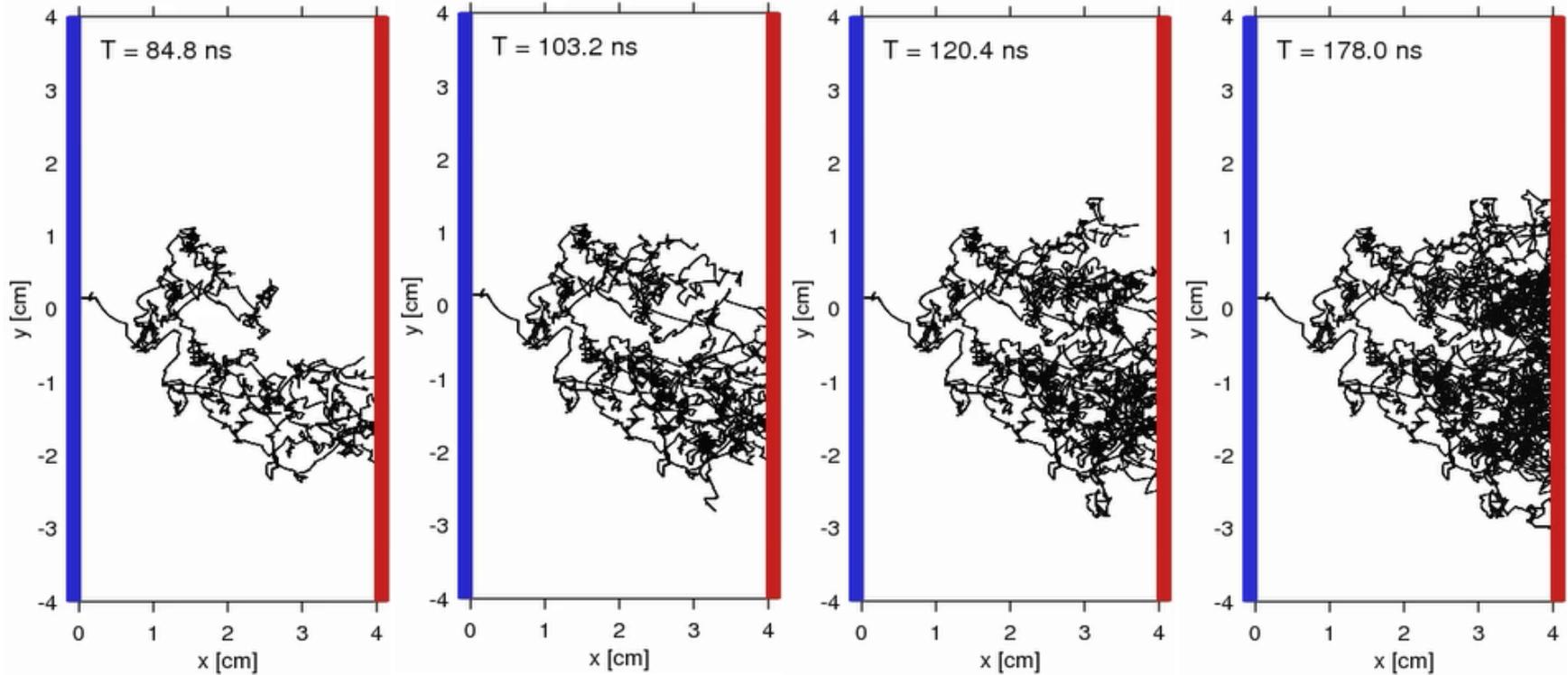
Multiplication par avalanche



mouvement des électrons dans un champ électrique homogène obtenu à partir d'une simulation de type "Monte Carlo" (méthode qui calcule une valeur numérique en utilisant des procédés aléatoires)

$V=500V$
 $p=40 Pa$

Multiplication par avalanche

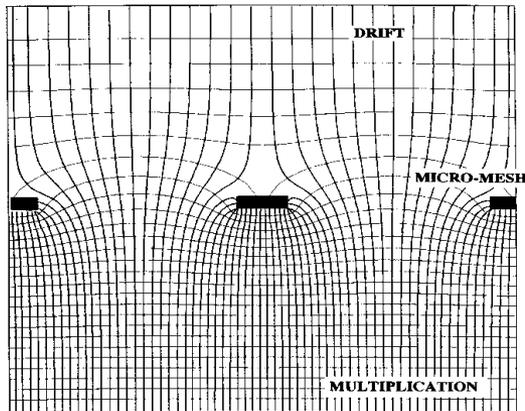
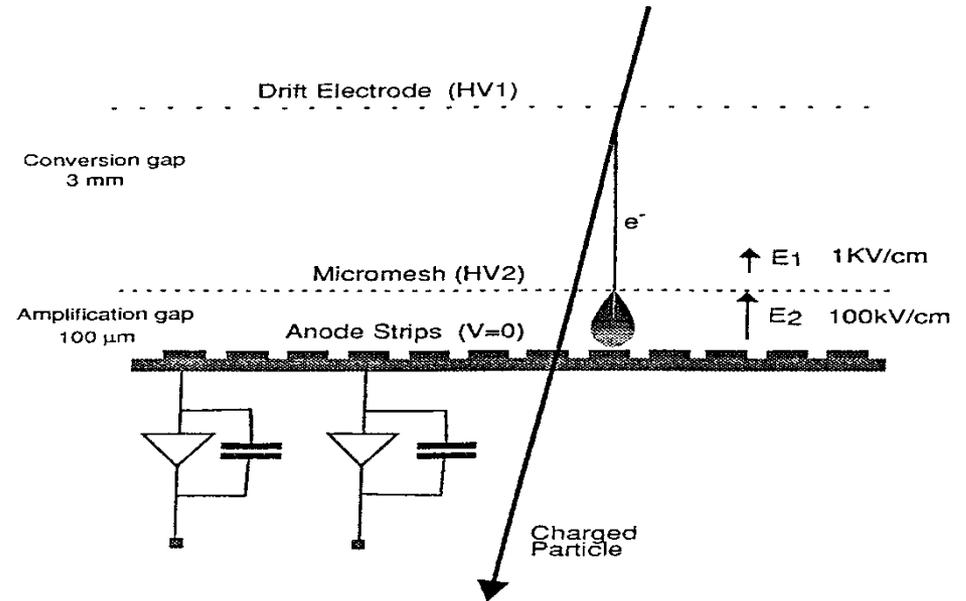
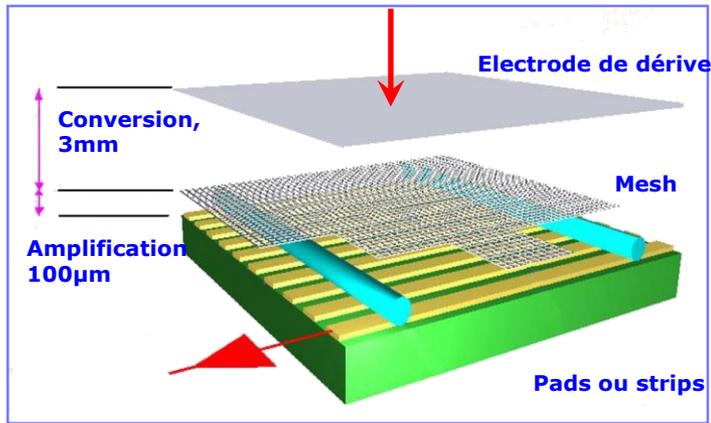


avalanche.mov

III_c_5 - MPGD (Micro Pattern Gaseous Detector)

MPGD

Un exemple MICROMEAS

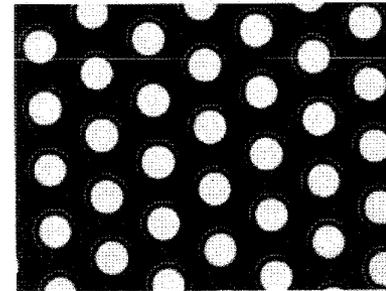
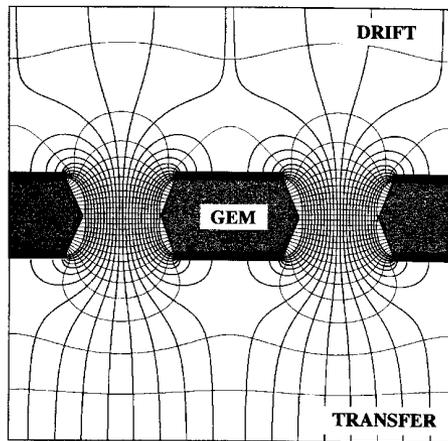
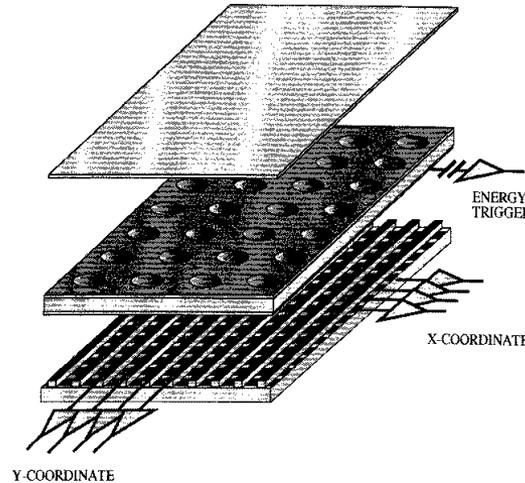
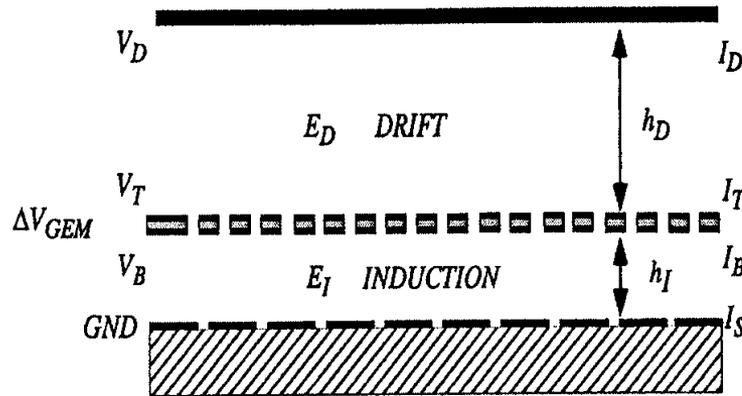


Introduit en 1996
par
Giomataris , Rebougeard
Robert et Charpak
(CEA, DAPNIA, Saclay)

MPGD

Un autre exemple GEM

Introduit en 1996 par Sauli (CERN)



GEM
Fabrication
CERN

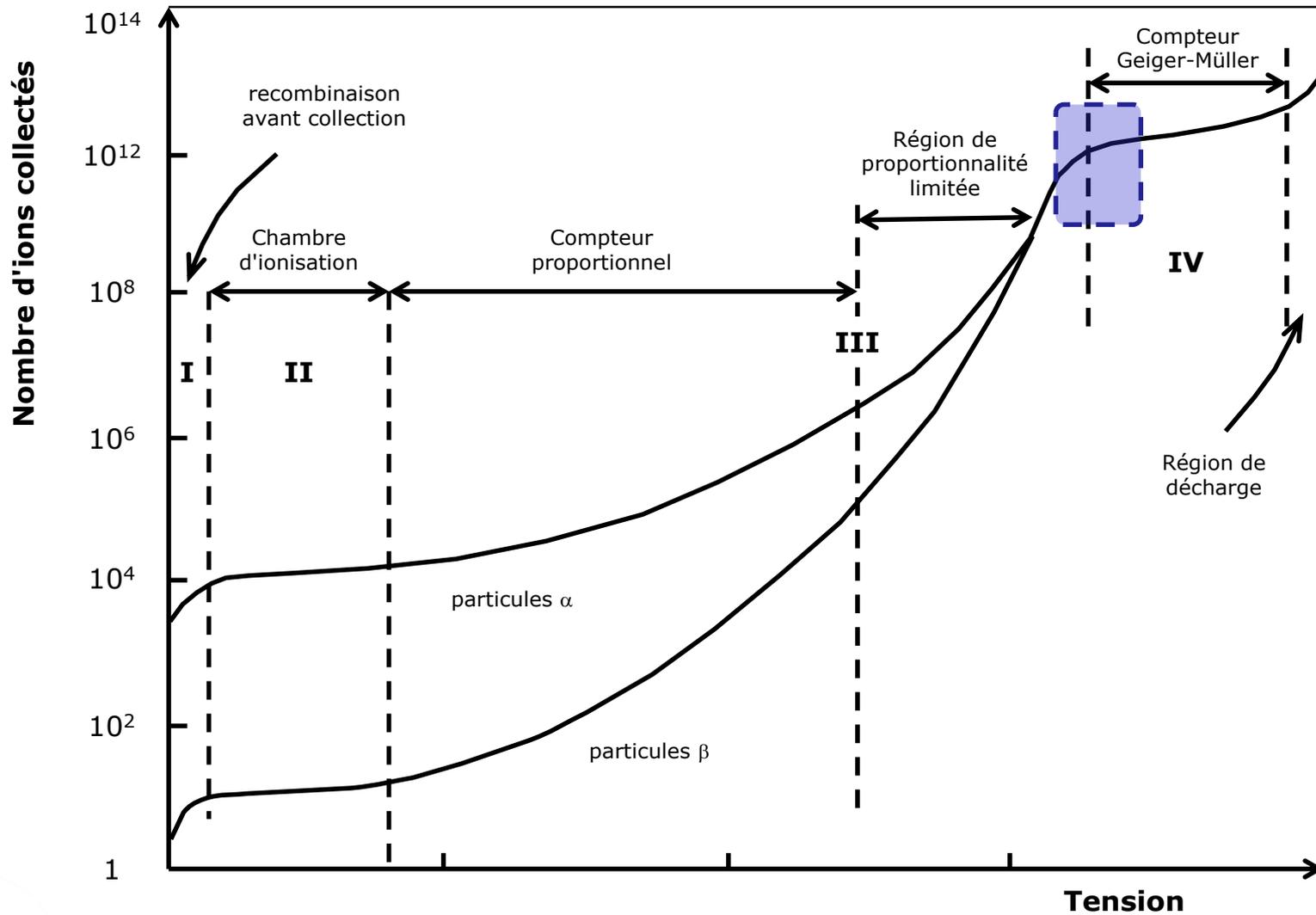
**Kapton 50 μm
(Cuivre 5 μm)**

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



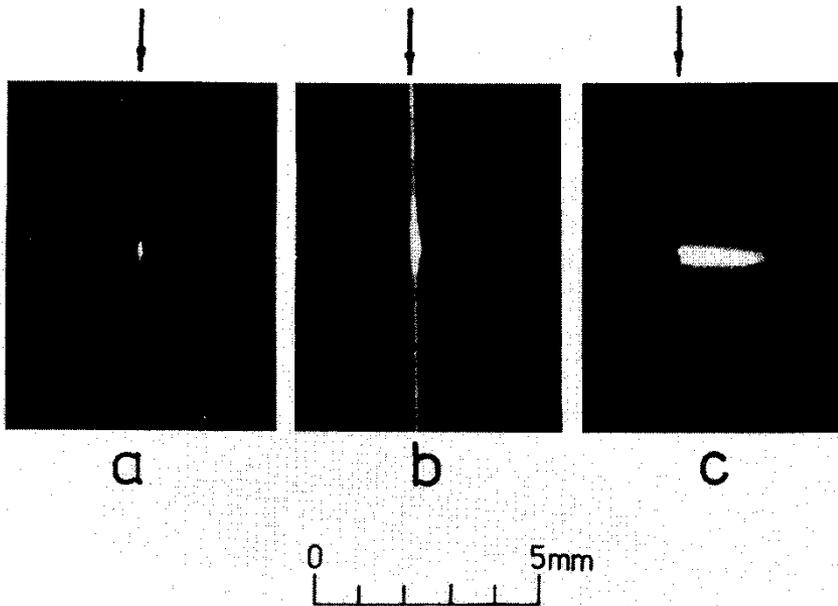
dépasser les frontières

Le mode SQS (Self-Quenched Streamer)

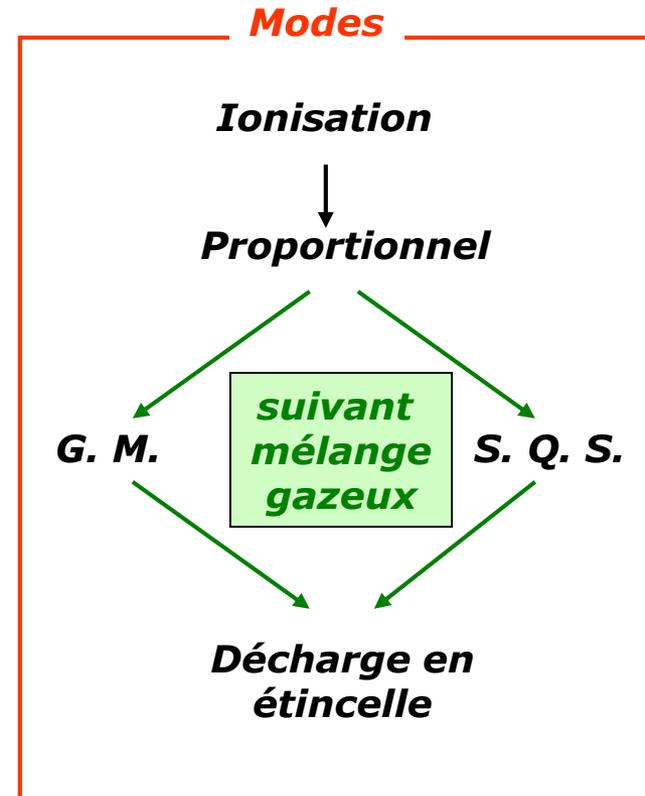


Le mode SQS (Self-Quenched Streamer)

Différents modes de fonctionnement Fil vertical



- a) *Compteur proportionnel (absorption des photons UV)*
- b) *Compteur Geiger (photons UV créent des avalanches tout le long du fil)*
- c) *Tube en mode SQS (absorption des photons UV mais contrôle de la propagation des avalanches)*



MPGD

Les RPC

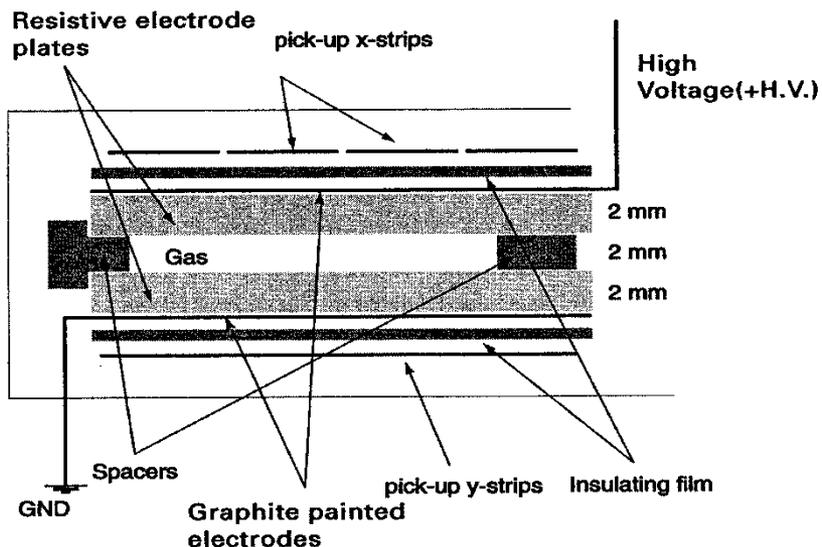
Introduit en 1981 par Santonico et Cardarelli
(INFN Roma)

Avantage quant à l'utilisation d'électrodes résistives plutôt que métalliques:

- Suppression de la tendance aux avalanches dû à la résistivité
- Protection de l'électronique de lecture contre les étincelles

- réponse temporelle très rapide (résolution temporelle meilleure que 100 ps)
- fabrication économique de grandes surfaces

RPC – Trigger du Bras dimuons de ALICE



Prototype
(50 x 50 cm²)

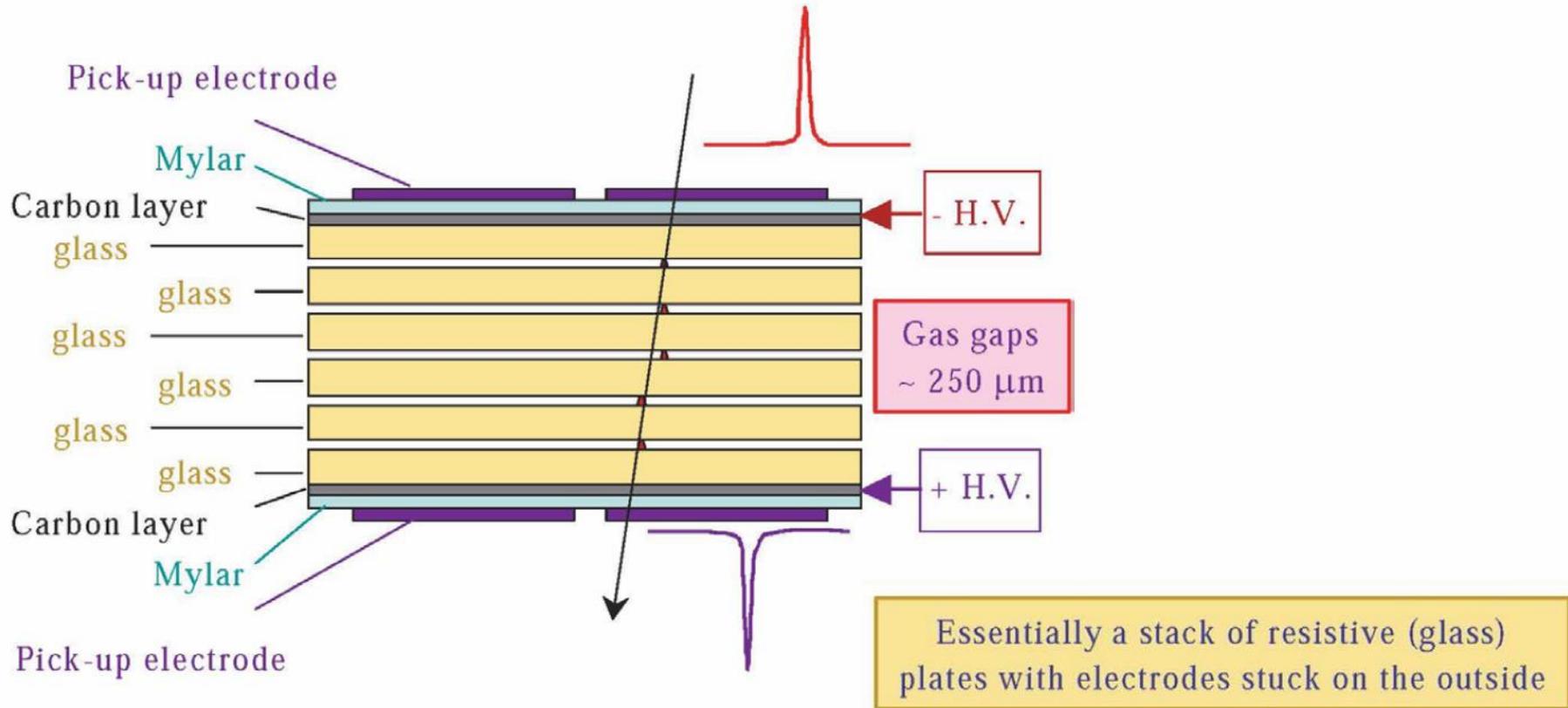
Largeur pistes : 1 ou 2 cm

Gap : 2 mm

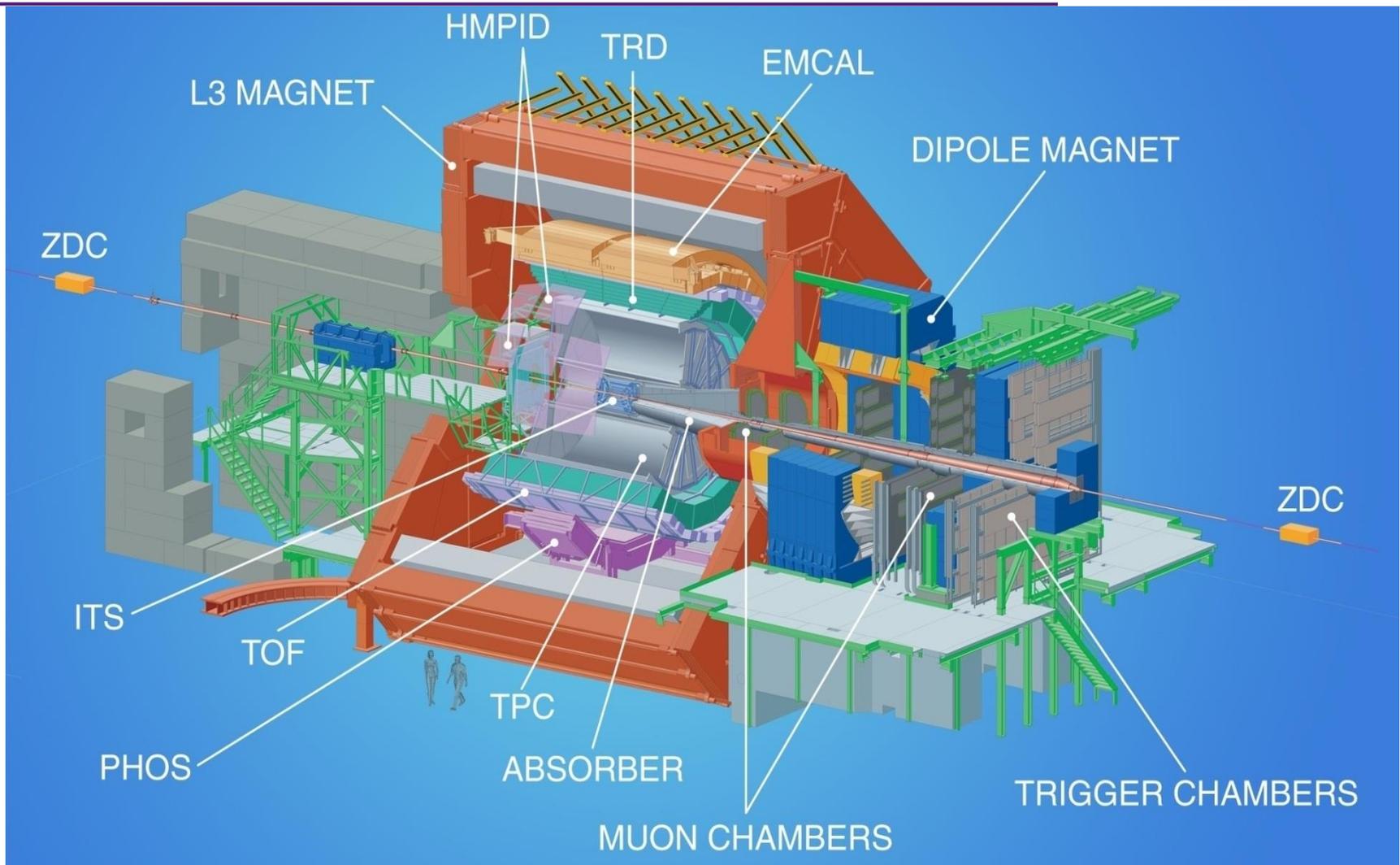
Electrodes en bakélite
(avec huile de lin)

Différentes résistivités
(Standard : $3,5 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$)

xgap RPC (multi-gap Resistive Plate Chambers)

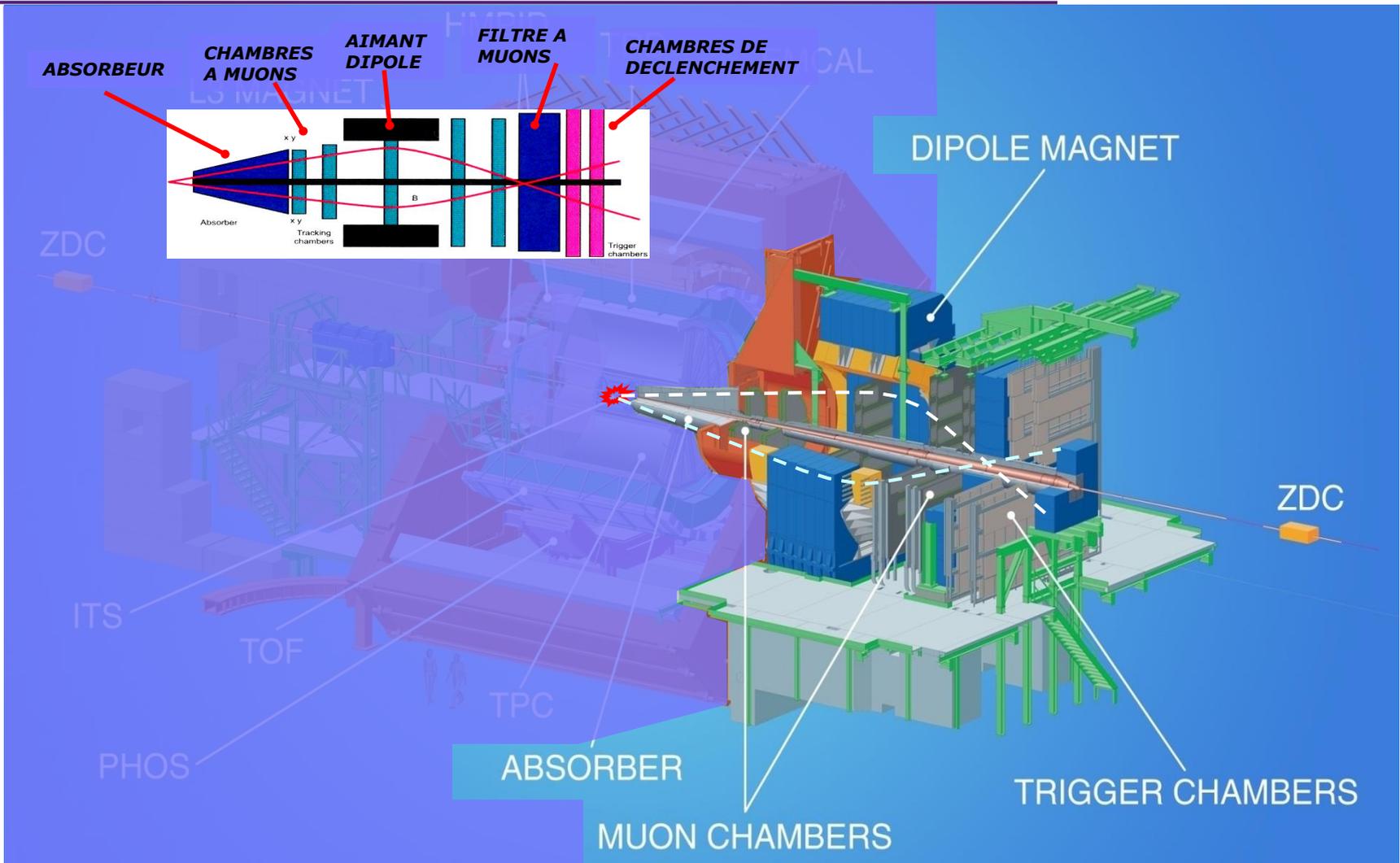


Le détecteur ALICE

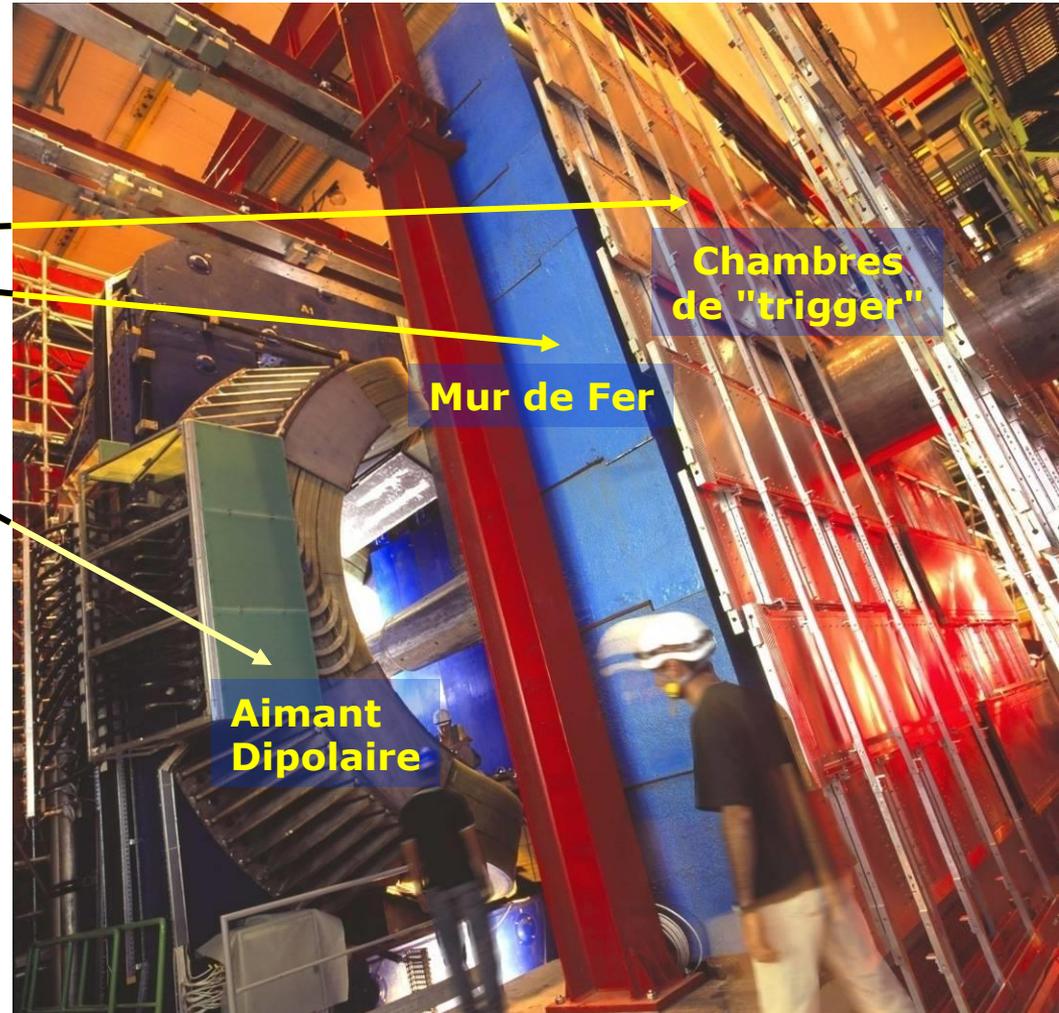
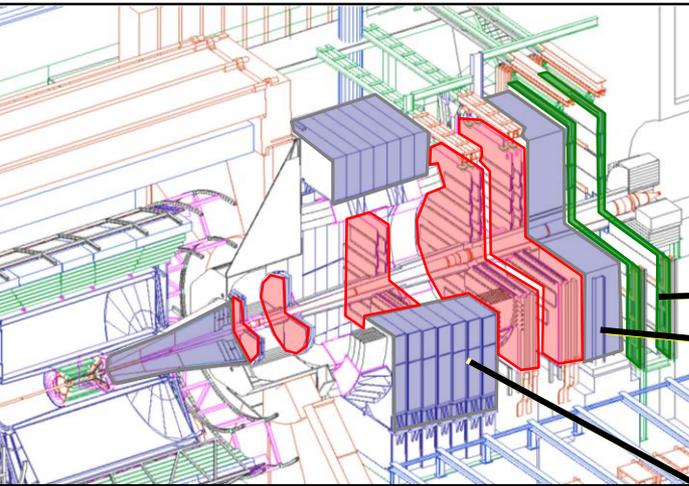


16m x 26m ; 10.000 tonnes

Le bras Dimuon d'ALICE



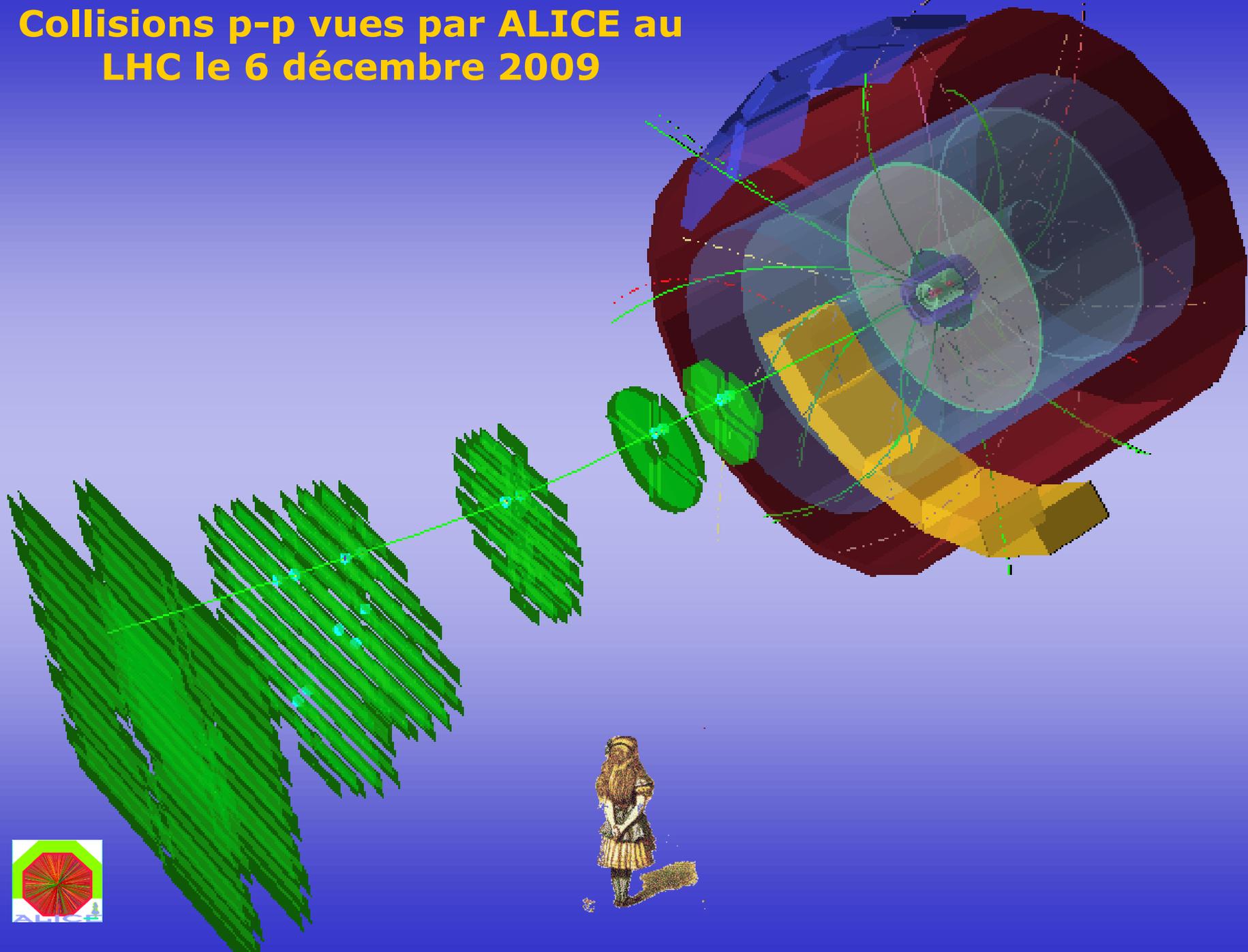
Architecture du Bras Dimuon



Chambres de "trigger"

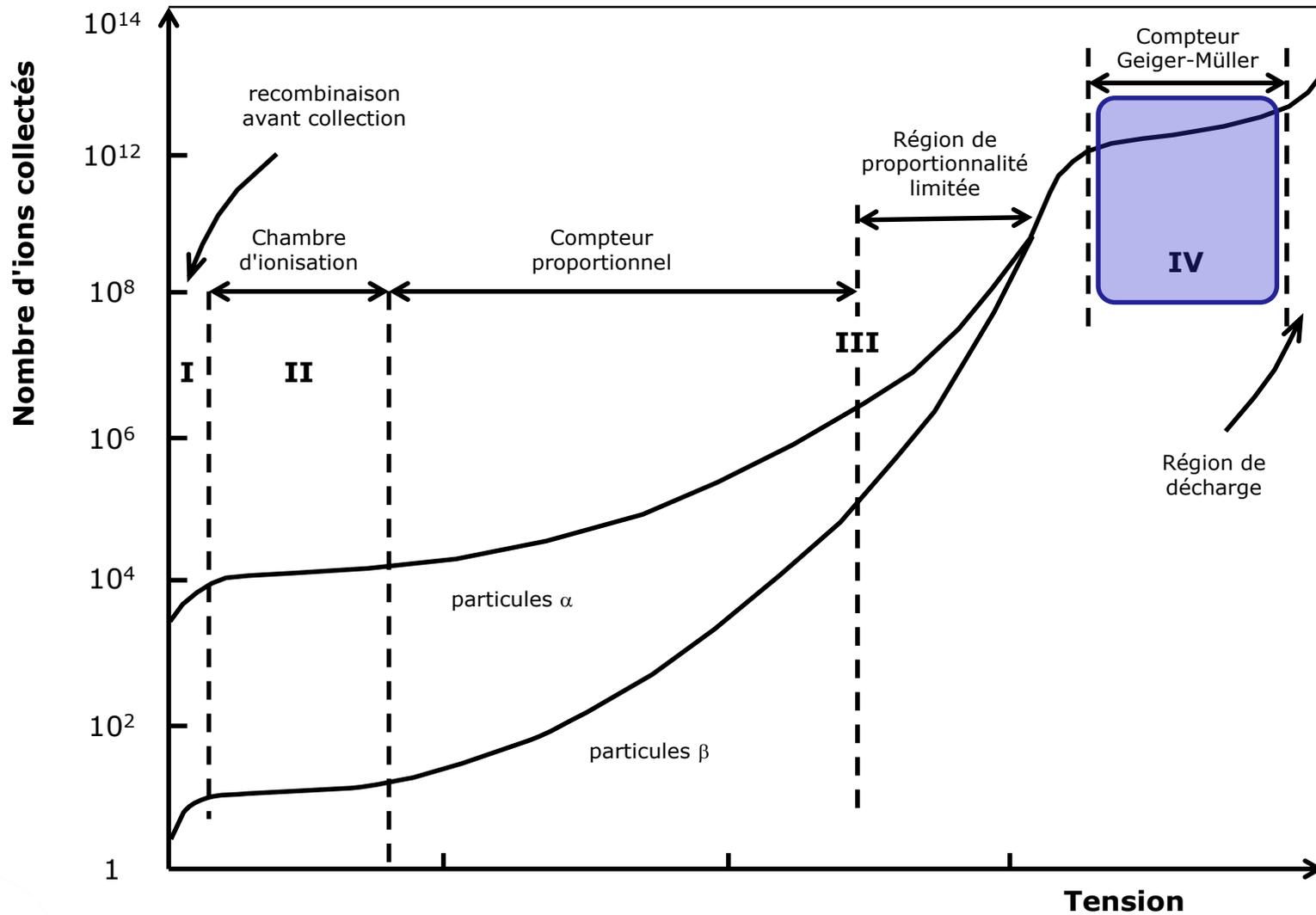
- Décision "Trigger" < 700 ns
- Résolution en temps < 2 ns

Collisions p-p vues par ALICE au LHC le 6 décembre 2009



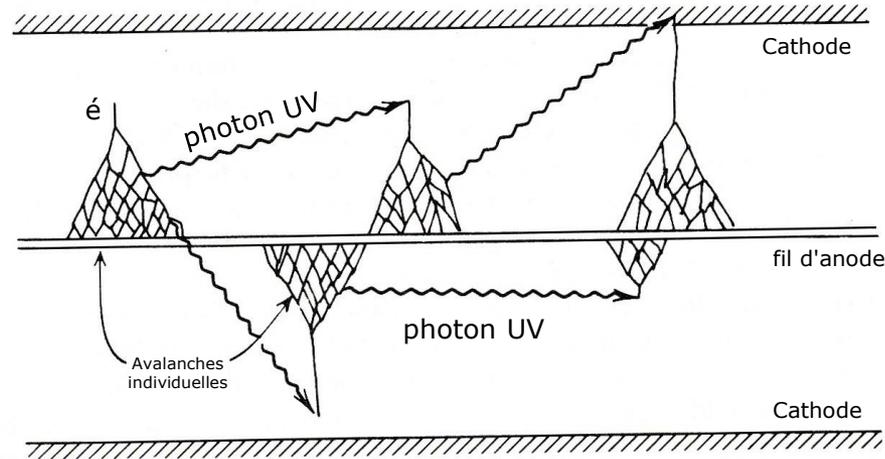
IV - Compteur Geiger-Müller

Compteur Geiger-Müller



Compteur Geiger-Müller

Principe de fonctionnement



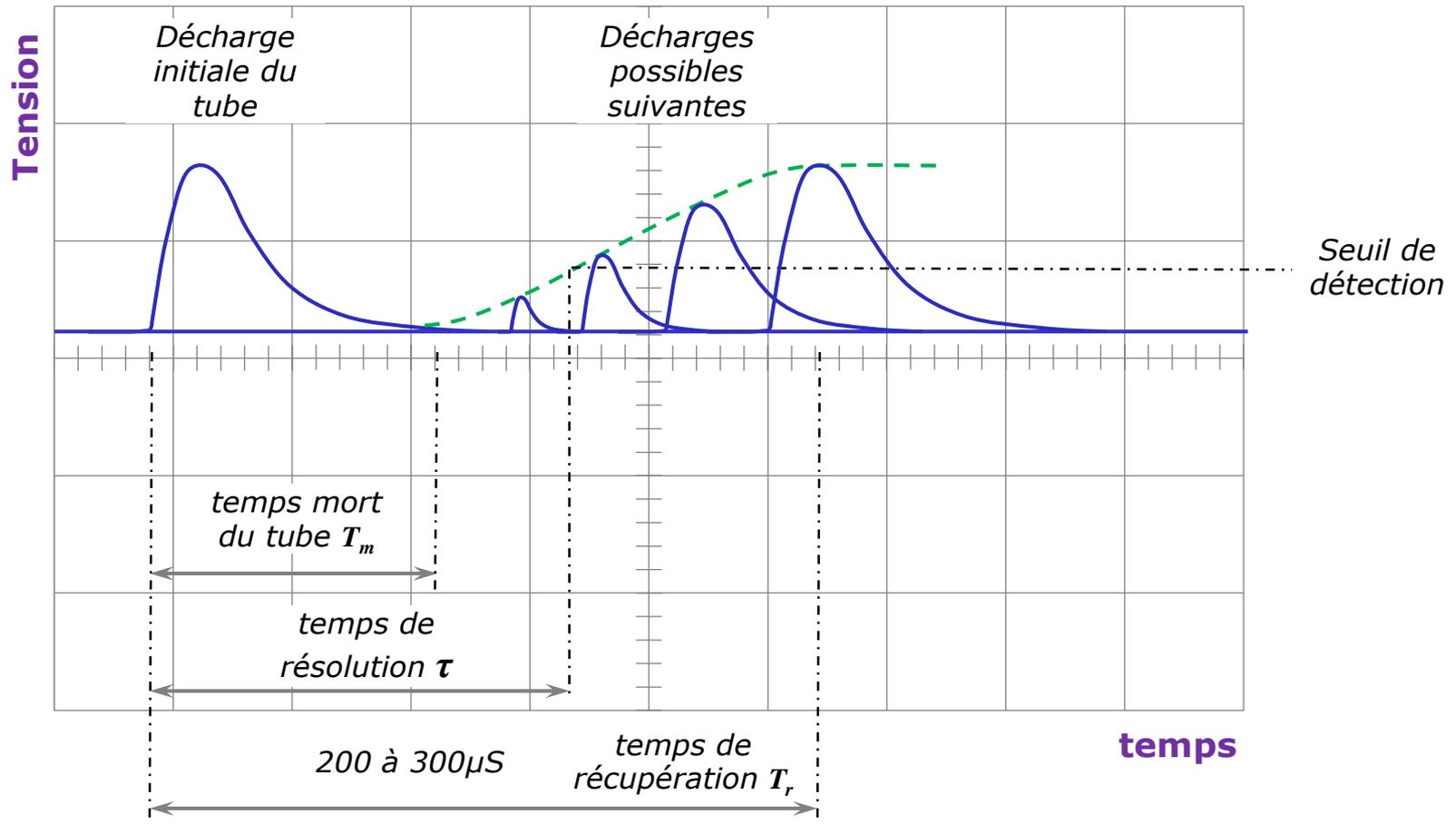
- 1: Avalanches en cascade en lien avec les photons UV
- 2: Création de suffisamment d'ions qui créent des charges d'espace et ainsi modifient le champ électrique local
- 3: Arrêt automatique de la décharge par changement du champ

le signal collecté a perdu toute proportionnalité par rapport au nombre de paires é-ions primaires



Compteur Geiger-Müller

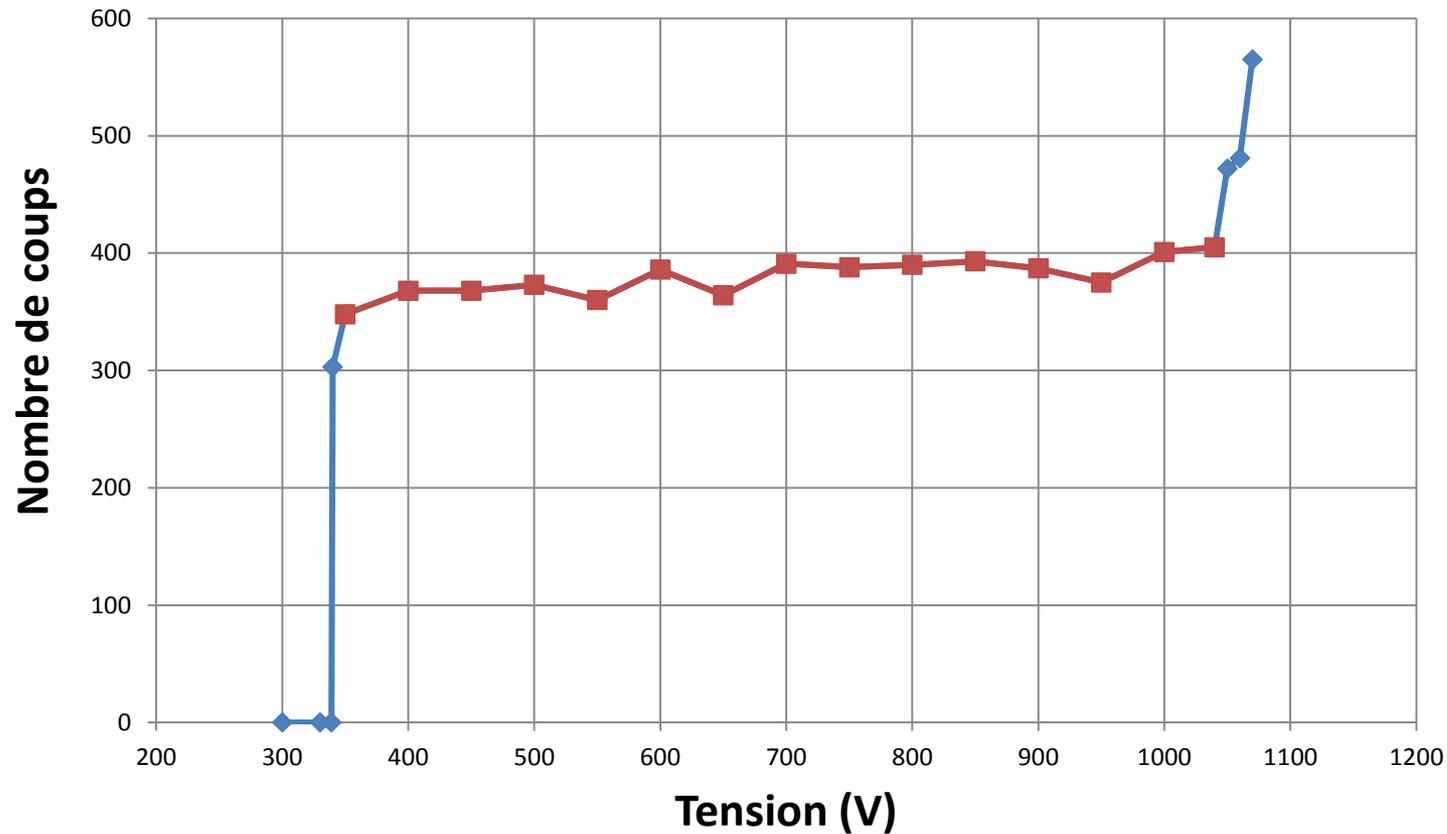
"Temps mort"



Compteur Geiger-Müller

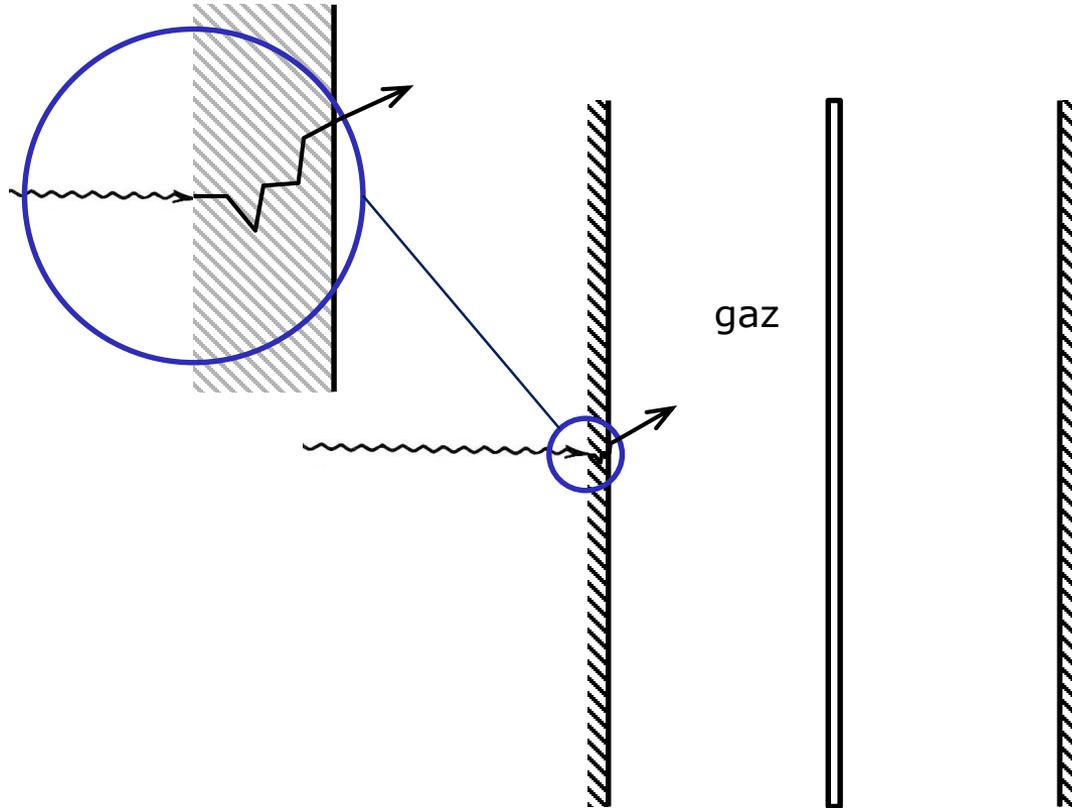
Plateau d'un compteur Geiger-Müller

Réponse d'un compteur Geiger-Müller placé devant une source de ^{137}Cs



Compteur Geiger-Müller

"Comptage des photons"



- Matériau Haut Z pour la cathode (1 à 2 mm d'épaisseur max car il faut que les électrons traversent la paroi)
- Seulement qqes % d'efficacité pour l'interaction avec les γ

Les parois du détecteur permettent de générer
1 électron pour ionisation du gaz

Nbre ions collectés / champ électrique

