

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>



Jean.Peyre@csnsm.in2p3.fr

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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



Jean Peyré

P.2

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

I - Caractéristiques générales des détecteurs gazeux

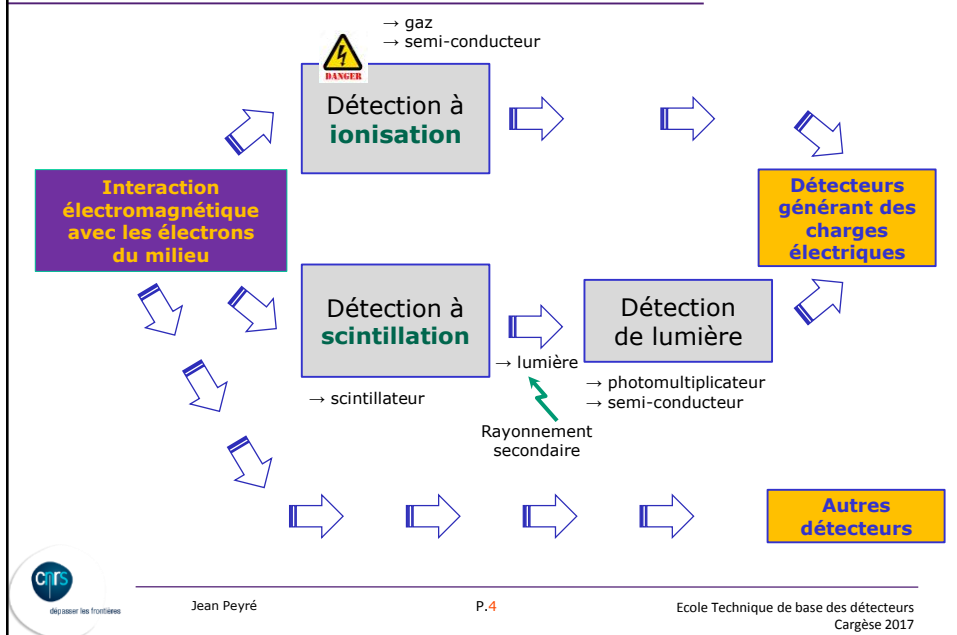


Jean Peyré

P.3

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Ionisation & scintillation



Jean Peyré

P.4

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

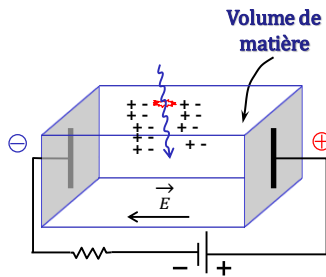
Fonctionnement de la détection à ionisation



Détection à ionisation



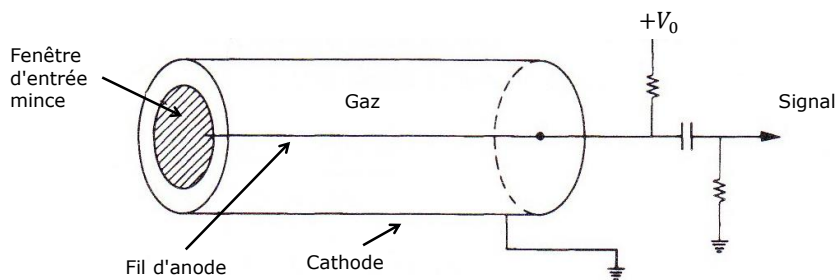
Détecteurs générant des charges électriques



Fonctionnement

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

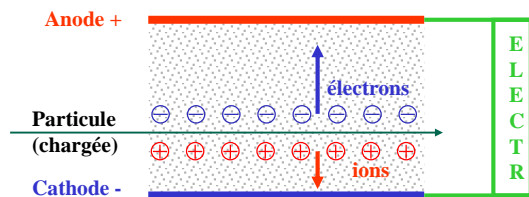
Principe des détecteurs gazeux à ionisation



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
→ Avalanche dans le gaz (si champ fort)

4. Influence sur les électrodes
→ Création du signal

5. Electronique de lecture
→ Traitement du signal

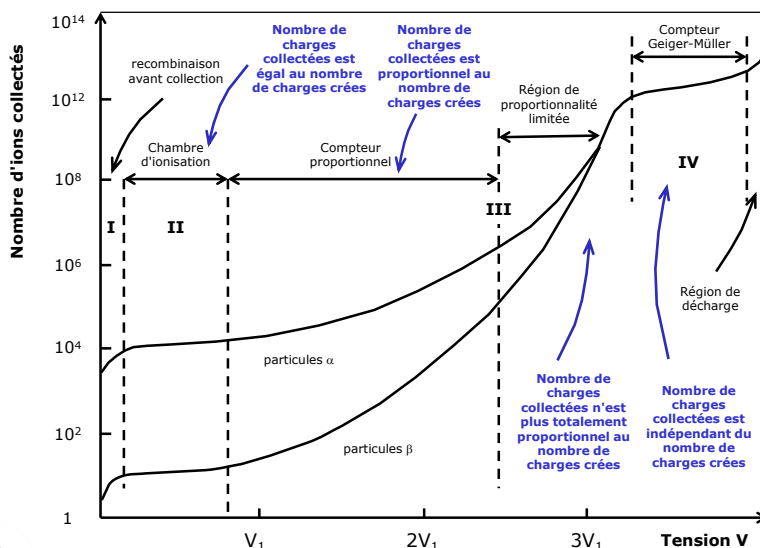


Jean Peyré

P.7

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Nbre ions collectés / champ électrique



Jean Peyré

P.8

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

I_a - Ionisation primaire



Jean Peyré

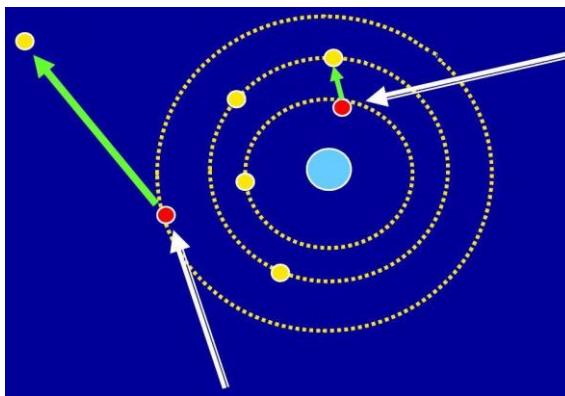
P.9

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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.



Jean Peyré

P.10

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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.



Jean Peyré

P.11

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

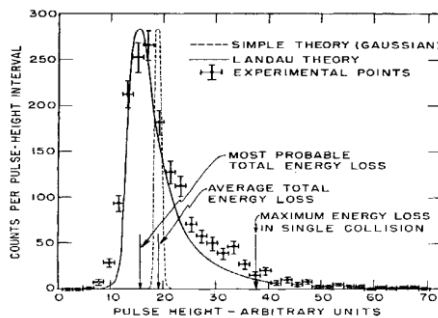
Nb moyen de paires e⁻/ions créées

Mais...

pour des "particules au minimum d'ionisation(m.i.p.)" et des "Détecteurs minces"

Fluctuations

(Distribution de Landau)



Jean Peyré

P.12

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

I_b - Mouvement des électrons et des ions



Jean Peyré

P.13

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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 $p=1atm$ \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.



Jean Peyré

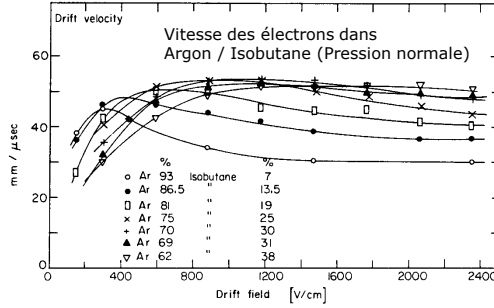
P.14

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Déplacement des e⁻ et des ions dans les gaz

- ELECTRONS:**

μ dépend du
champ électrique



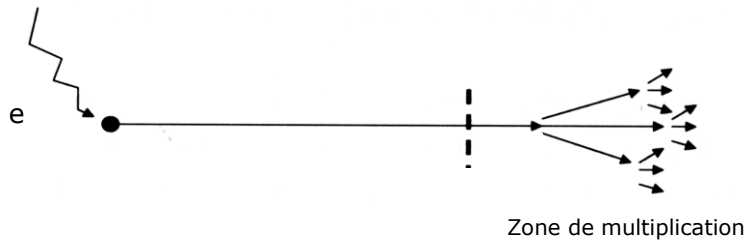
Leur masse beaucoup plus légère leur confère des vitesses environ 1000 fois plus rapides (collection des électrons de l'ordre de quelques μs).

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.



Jean Peyré

P.17

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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 :

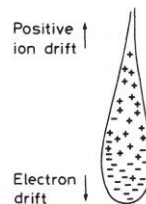
$$Q = n_0 q_e M$$

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



Jean Peyré

P.18

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Multiplication par avalanche

Calcul de M

$$M = e^{\alpha x}$$

- Le coefficient moyen de multiplication peut être calculé en intégrant α (dépend du champ lorsque celui-ci n'est pas uniforme) sur le trajet de multiplication:

$$\ln M = \int_a^{r_c} \alpha(r) dr$$

- De nombreuses expressions analytiques sont utilisées pour exprimer le coefficient α .

Model de "Rose et Korff" $\frac{\alpha}{p} = Ae^{-\frac{B}{E/p}}$ A et B constantes dépendantes du gaz
p pression du gaz et E/p champ électrique réduit

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

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

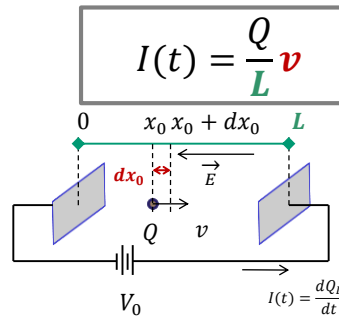
I et Q_L : courant et charge induits dans le circuit extérieur ($I(t) = \frac{dQ_L}{dt}$)

Q : charge en mouvement

L : distance entre les électrodes

dx_0 : distance parcourue par la charge

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



Jean Peyré

P.23

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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:

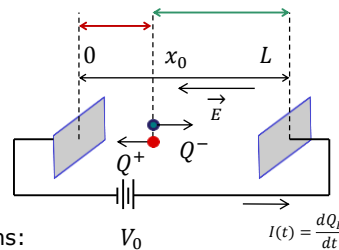
$$Q_{ions} = Q \frac{x_0}{L}$$

Charge totale induite due aux électrons:

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

Charge induite totale:

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



Jean Peyré

P.24

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

II - Chambres à ionisation

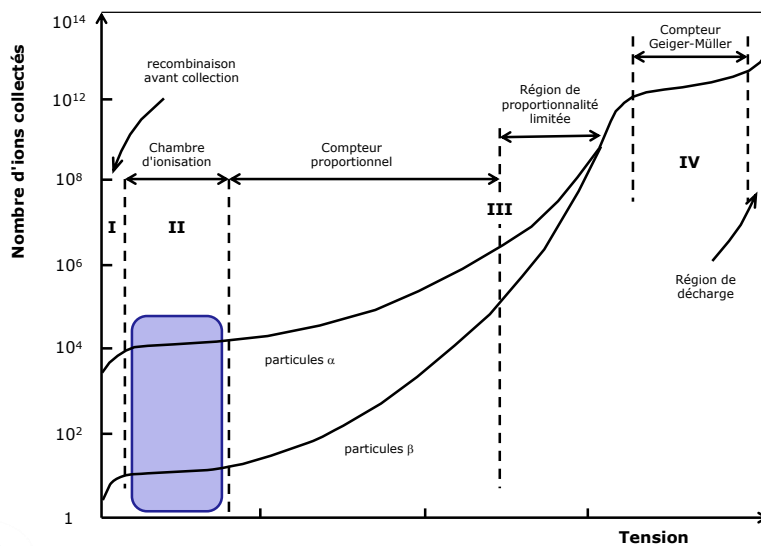


Jean Peyré

P.25

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Chambre d'ionisation



Jean Peyré

P.26

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

II_a - Mode courant moyen



Jean Peyré

P.27

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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

Mode courant moyen



Jean Peyré

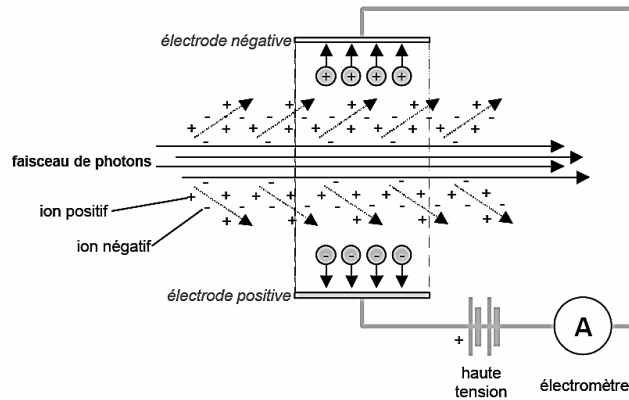
P.28

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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.



Jean Peyré

P.29

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Chambre d'ionisation

Mode courant moyen

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

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).



Jean Peyré

P.30

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

II_b - Mode impulsionnel



Jean Peyré

P.31

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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...)



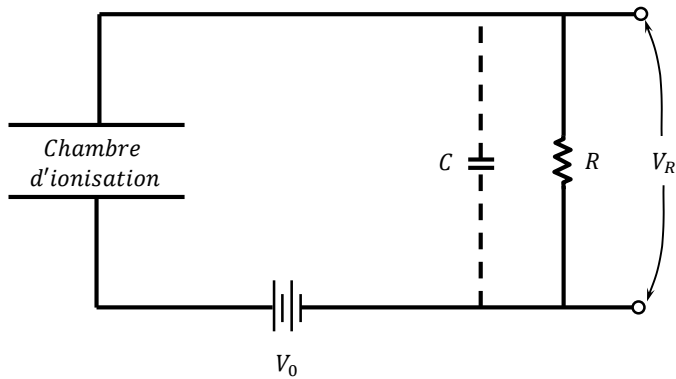
Jean Peyré

P.32

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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



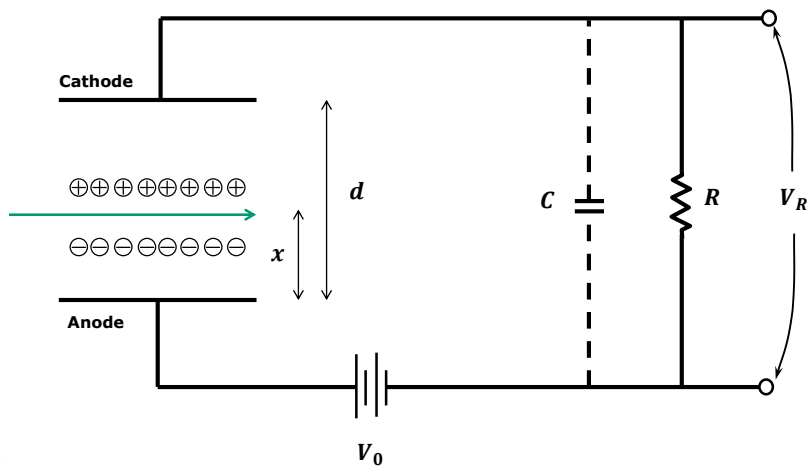
Jean Peyré

P.33

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Chambre d'ionisation

Mode impulsion



Jean Peyré

P.34

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Chambre d'ionisation

Mode impulsion

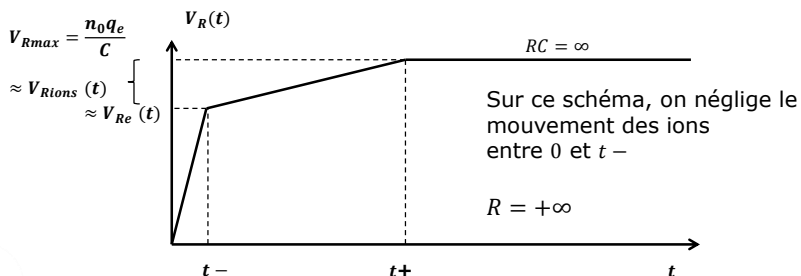
- Soit t^- le temps de collecte des électrons et t^+ le temps de collecte des ions. (t^- est environ 1000 fois plus faible que t^+)

Théorème de Shockley-Ramo:

les électrons vont parcourir une distance x $v = \frac{Q}{C}$
 les ions vont parcourir une distance $d-x$

$Q_{e^-} = \frac{n_0 q_e}{d} x$ et $V_{Re^-} = \frac{n_0 q_e}{d.C} x$ après le temps t^- pour les électrons

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



Jean Peyré

P.35

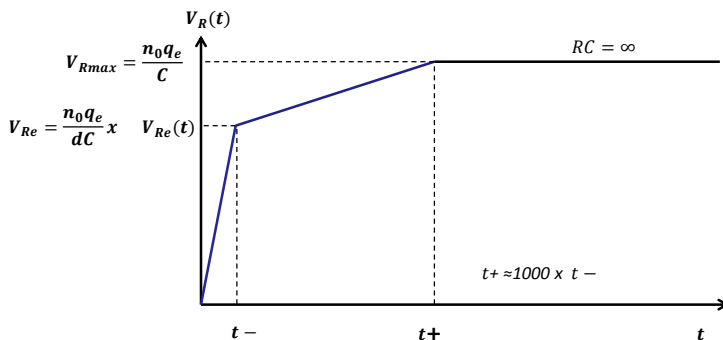
Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Chambre d'ionisation

Mode impulsion

Théorème de Shockley-Ramo:

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



Jean Peyré

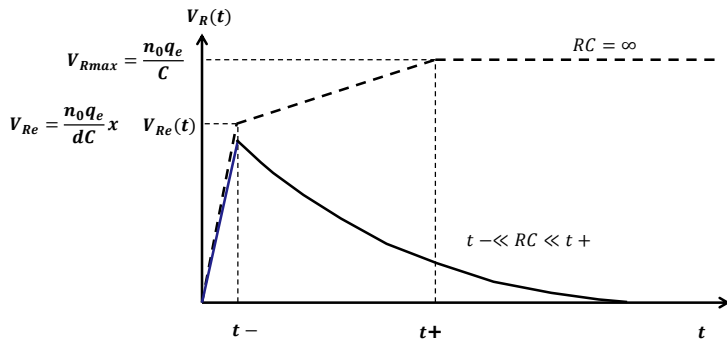
P.36

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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



Jean Peyré

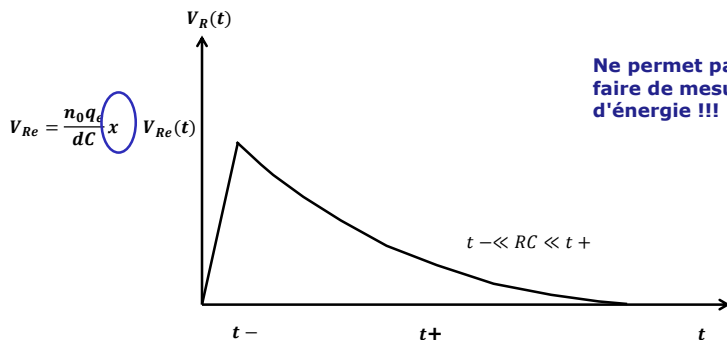
P.37

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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



Jean Peyré

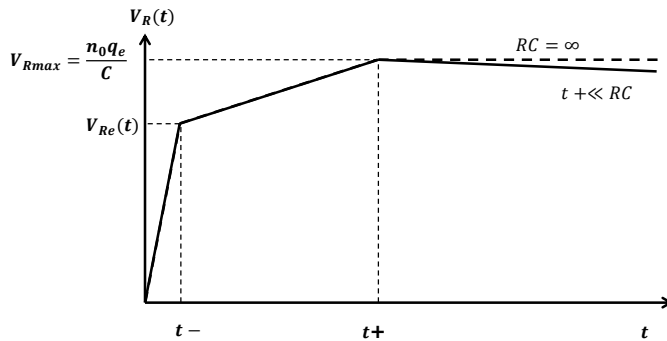
P.38

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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



Jean Peyré

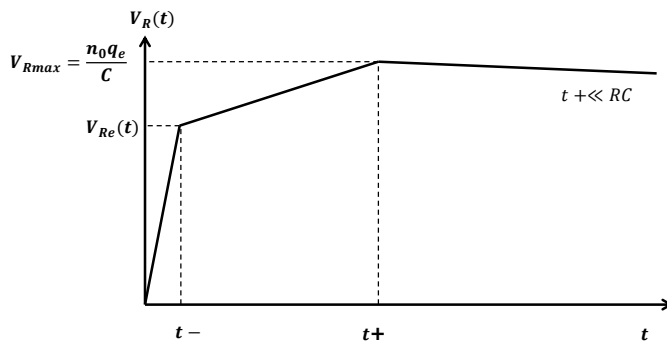
P.39

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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.



Jean Peyré

P.40

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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**

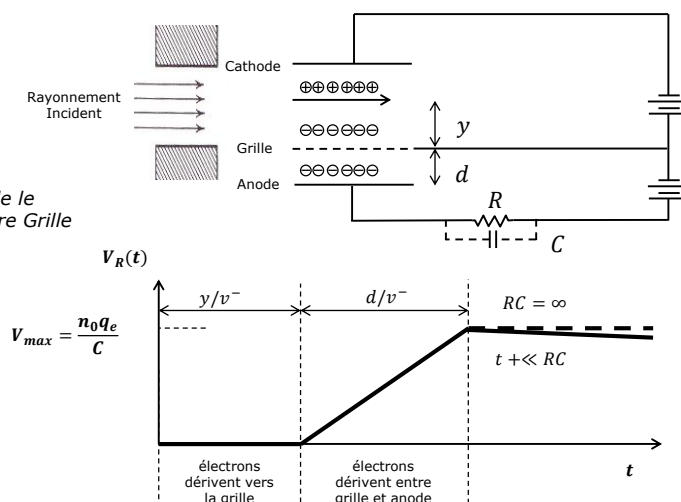


Chambre d'ionisation

Mode impulsion

Chambre à grille de Frisch

On regarde le signal entre Grille & Anode

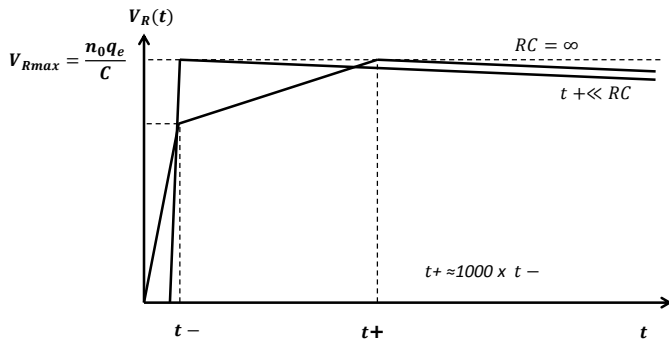


Chambre d'ionisation

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.



Jean Peyré

P.43

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

III - Compteur proportionnel

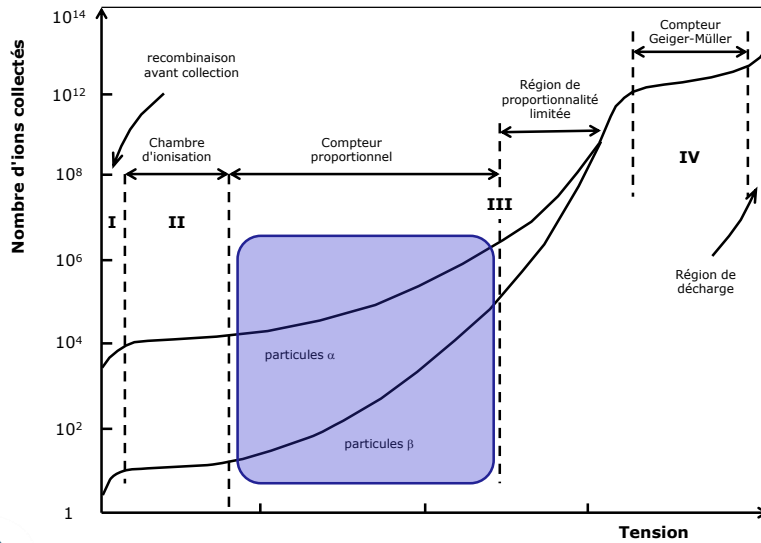


Jean Peyré

P.44

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Compteur proportionnel



Jean Peyré

P.45

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

III_a - compteur cylindrique



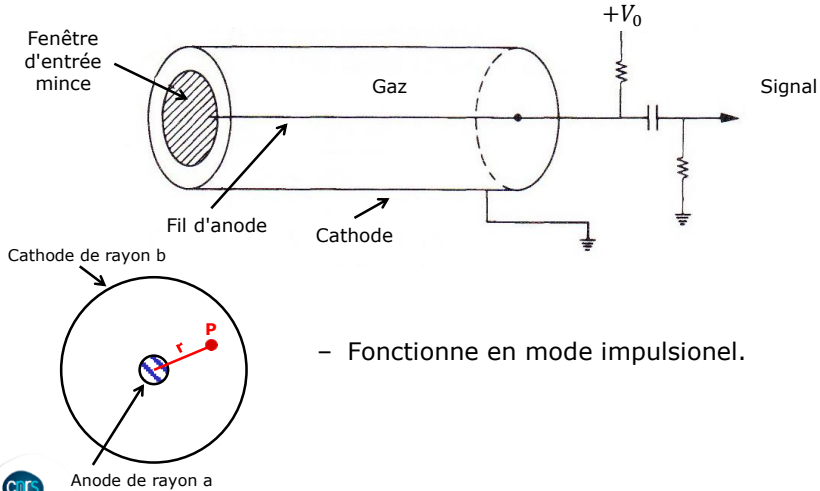
Jean Peyré

P.46

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Compteur proportionnel

La multiplication par avalanche nécessite des champs électriques très élevés.

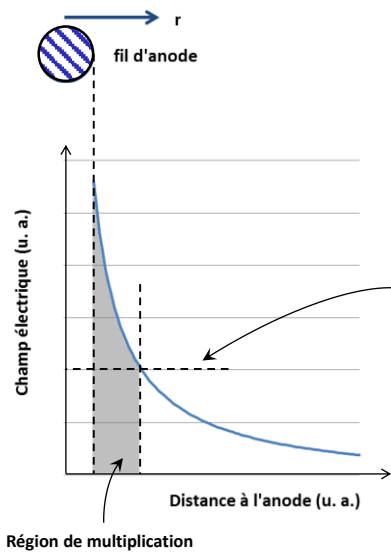


Jean Peyré

P.47

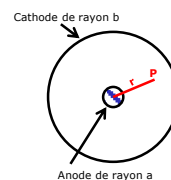
Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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

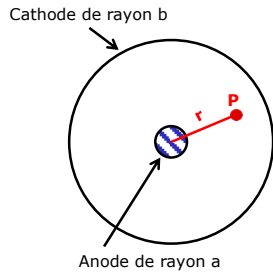


Jean Peyré

P.48

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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 (a 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)



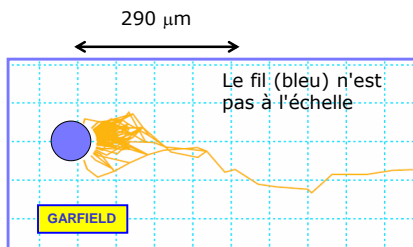
Jean Peyré

P.49

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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 10^6V/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 $29 \times 10^6 \text{V/m}$.
- Pour une géométrie en plaques // ep 2,5mm, il faudrait l'équivalent de 72500 V pour avoir un champ de $29 \times 10^6 \text{V/m}$.



Jean Peyré

P.50

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

III_b - Choix du gaz



Jean Peyré

P.51

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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



Jean Peyré

P.52

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

III_c - Différentes configurations de détecteurs



Jean Peyré

P.53

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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)



Jean Peyré

P.54

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

III_c_1 - Chambres multi-fils proportionnelles



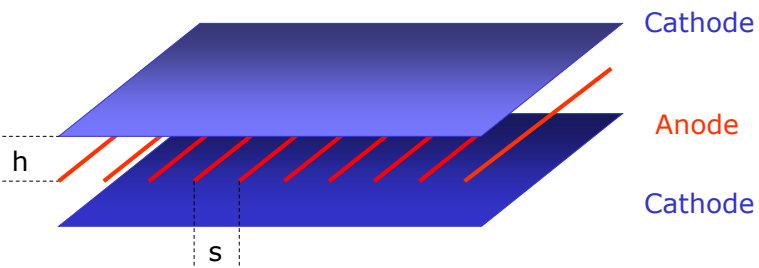
Jean Peyré

P.55

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Compteur proportionnel

Chambre multi-fils proportionnelle (MWPC)



Au voisinage du fil
Champ électrique fort => Multiplication



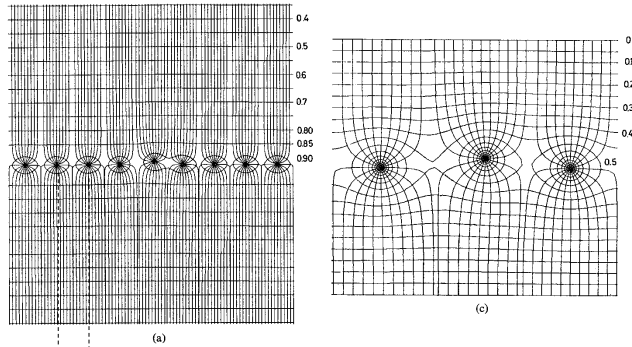
Jean Peyré

P.56

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Compteur proportionnel

Chambre multi-fils proportionnelle (MWPC)



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

Equipotentielles et lignes de champ



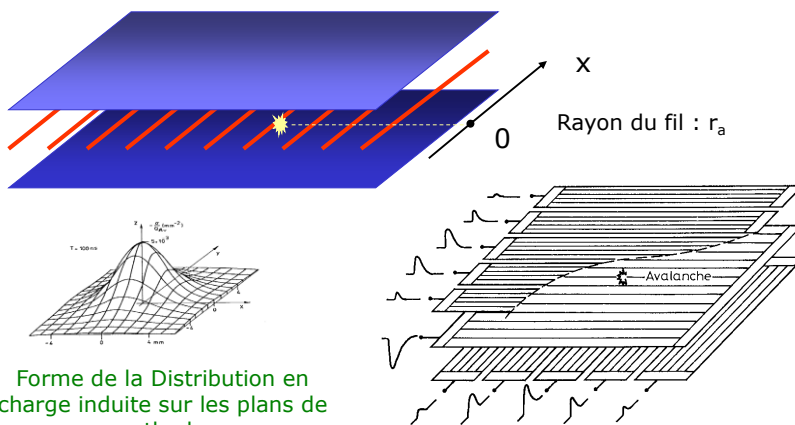
Jean Peyré

P.57

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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



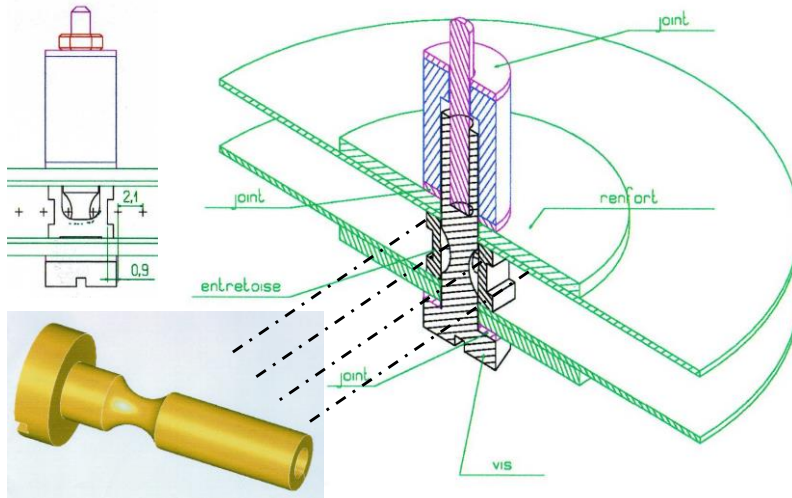
Jean Peyré

P.58

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Visualisation de l'excitation/ionisation

Principe de la fixation du point central



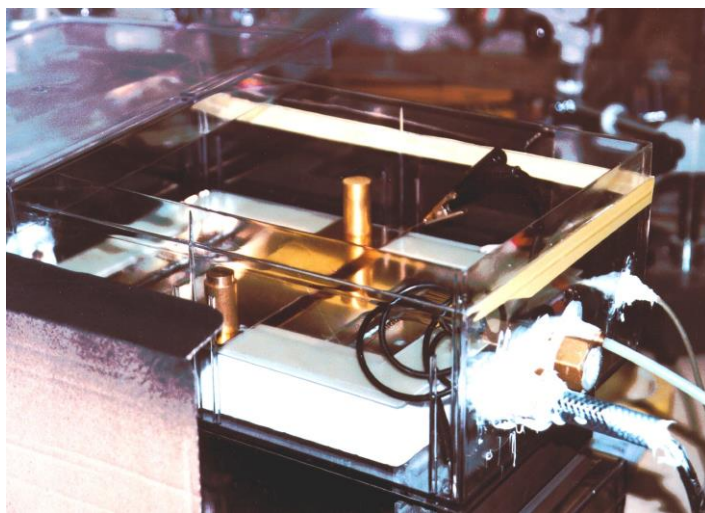
Jean Peyré

P.59

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Visualisation de l'excitation/ionisation

tests



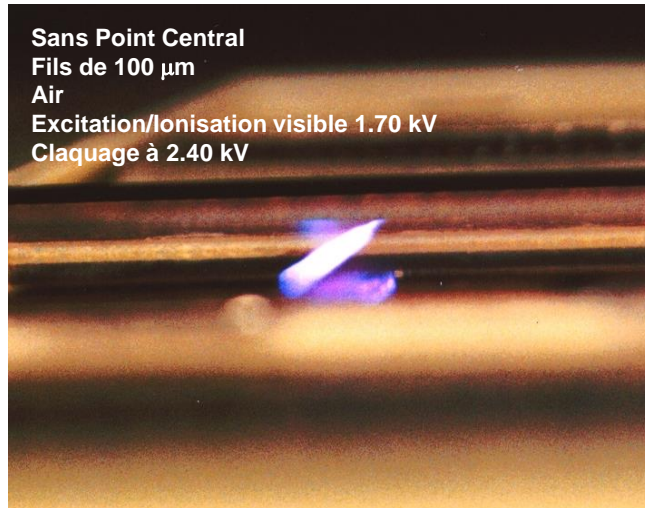
Jean Peyré

P.60

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Visualisation de l'excitation/ionisation

Sans point de fixation central



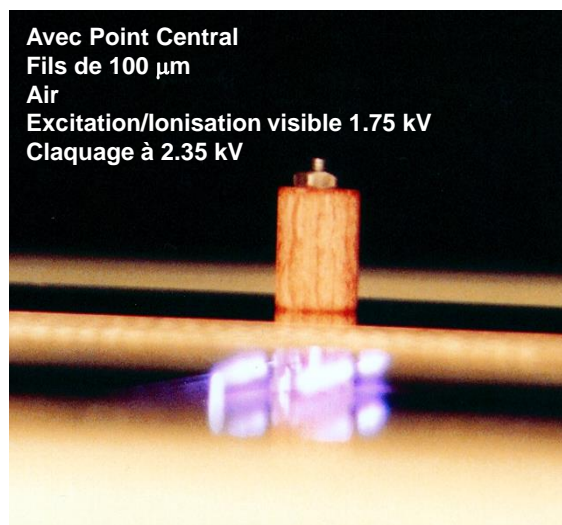
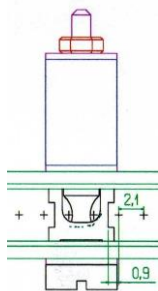
Jean Peyré

P.61

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Visualisation de l'excitation/ionisation

Avec point de fixation central

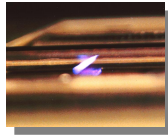


Jean Peyré

P.62

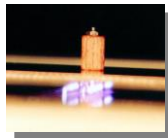
Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Visualisation de l'excitation/ionisation



Sans Point Central
Fils de 20 μm
Ar+CO₂ 90%-10%
Claquage à 1.09 kV

Sans Point Central
Fils de 100 μm
Air
Excitation visible 1.70 kV
Claquage à 2.40 kV



Avec Point Central
Fils de 20 μm
Ar+CO₂ 90%-10%
Claquage à 1.07 kV

Avec Point Central
Fils de 100 μm
Air
Excitation visible 1.75 kV
Claquage à 2.35 kV

Nota: La tension d'ionisation dépend fortement de la surface de masse vue par les fils



Jean Peyré

P.63

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

III_c_2 - Chambres à dérives



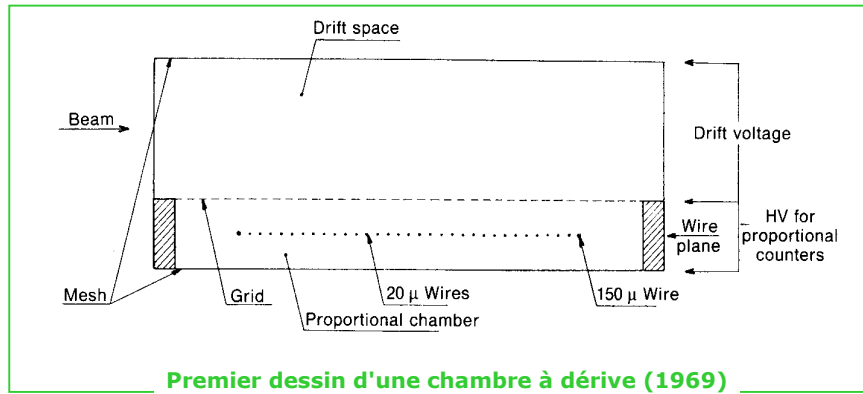
Jean Peyré

P.64

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Compteur proportionnel

Chambre à dérivation



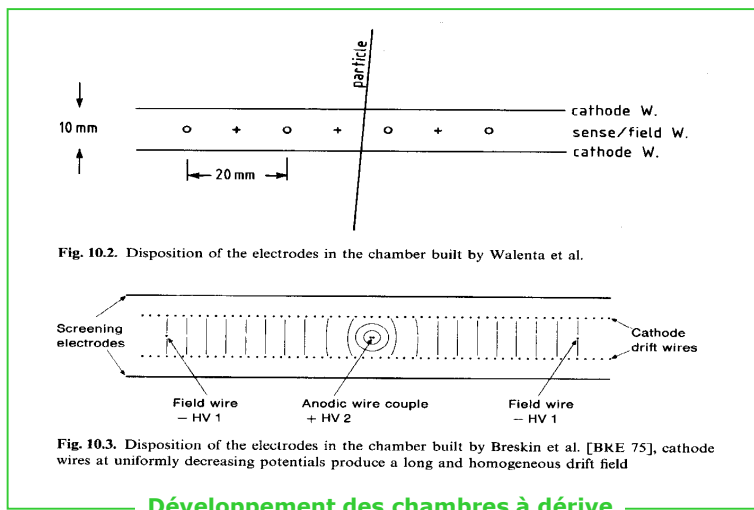
Jean Peyré

P.65

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Compteur proportionnel

Chambre à dérivation



Jean Peyré

P.66

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

III_c_3 - TPC (Time Projection Chamber)



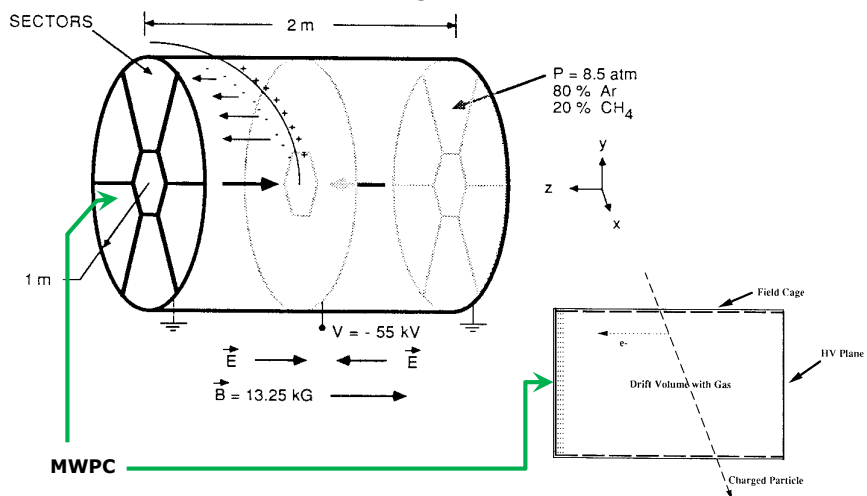
Jean Peyré

P.67

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Compteur proportionnel

TPC: Time Projection Chamber



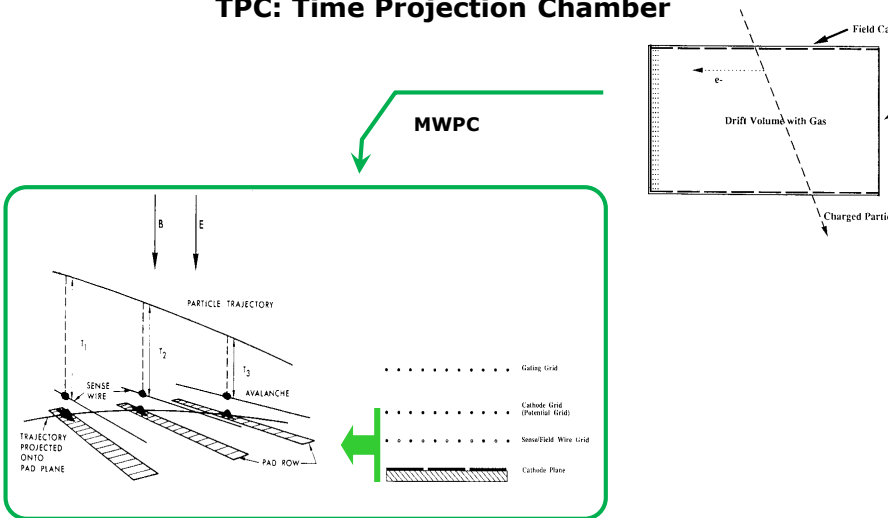
Jean Peyré

P.68

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Compteur proportionnel

TPC: Time Projection Chamber

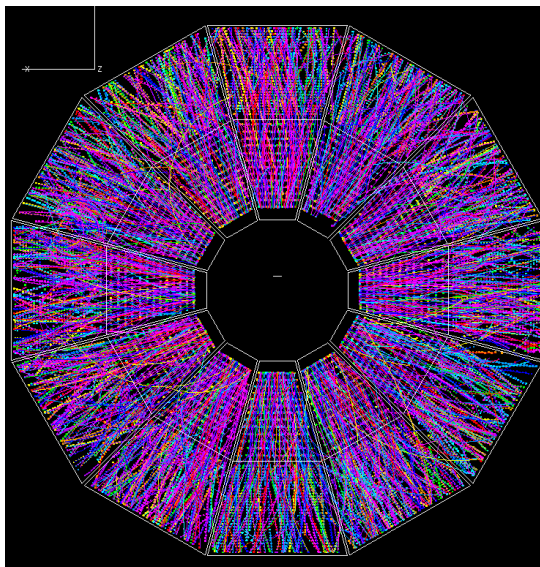


Jean Peyré

P.69

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

TPC de STAR à RHIC



Jean Peyré

P.70

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

III_c_4 - Détecteurs à plaques parallèles



Jean Peyré

P.71

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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 μ m à qq mm)
Gain typique: $M=10^4$



Jean Peyré

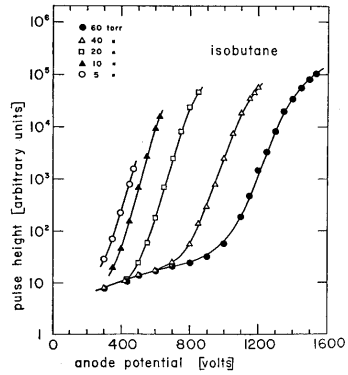
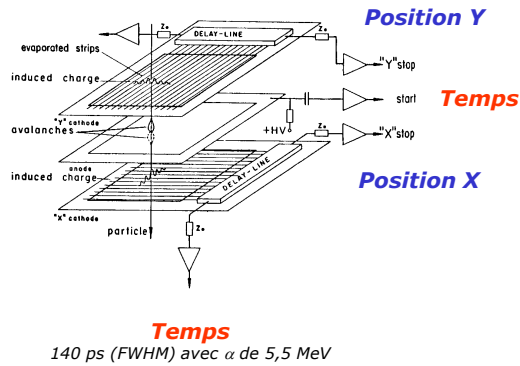
P.72

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

PPAC à basse pression

Ionisation primaire importante :

Physique nucléaire (ions lourds , basse énergie)



Gains relatifs

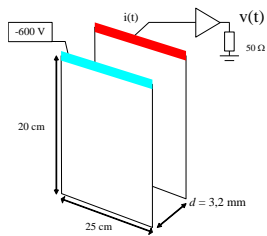


Jean Peyré

P.73

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

PPAC à basse pression - modélisation



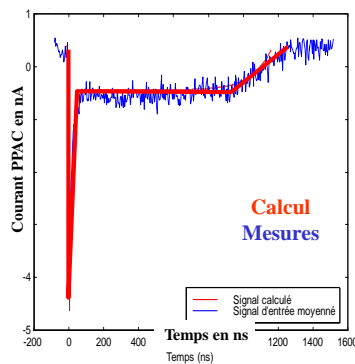
Surface : 20 x 25 cm²
Gap : 3,2 mm

Isobutane 5 Torr
HT = 600 V

Coef. de Townsend : 41 cm⁻¹

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

Capacité détecteur : 140 pF
Impédance électronique : 70 Ω



Simulation
Détecteurs gazeux

Garfield
Rob Veenhof
CERN

Calcul
Mesures



Jean Peyré

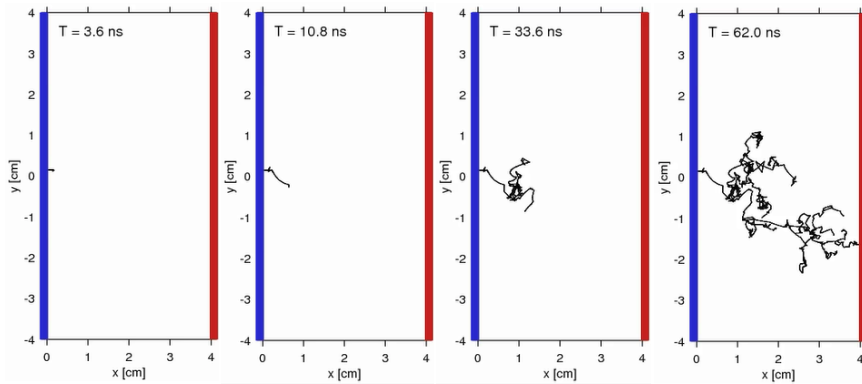
P.74

1 torr = 1,33 mbar = 133 Pa

Bernard Genolini

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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)

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



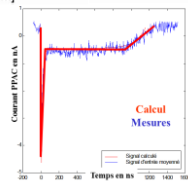
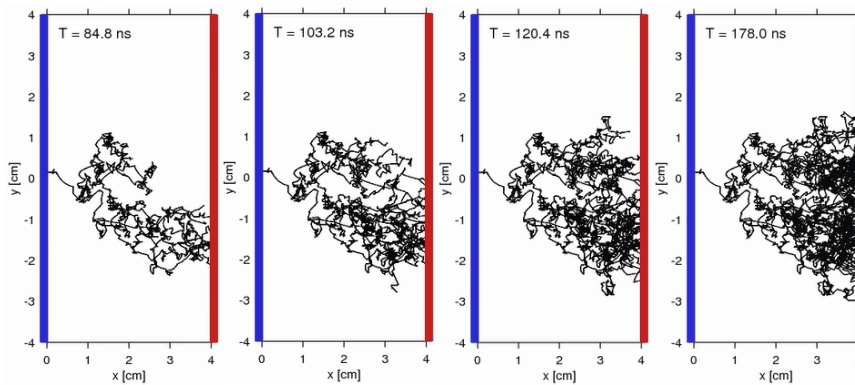
Jean Peyré

P.75

<http://plasma.szki.kfki.hu/~zoli/research/avalanche/>

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Multiplication par avalanche



avalanche.mov



Jean Peyré

P.76

<http://plasma.szki.kfki.hu/~zoli/research/avalanche/>

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

III_c_5 - MPGD (Micro Pattern Gaseous Detector)



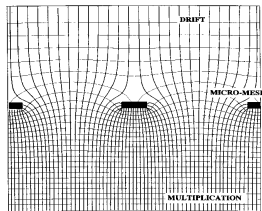
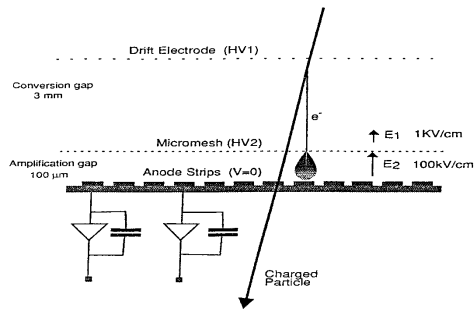
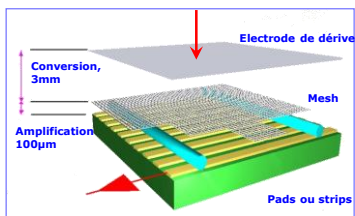
Jean Peyré

P.77

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

MPGD

Un exemple MICROMEGAS



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



Jean Peyré

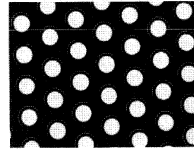
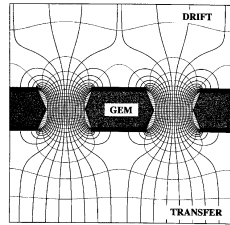
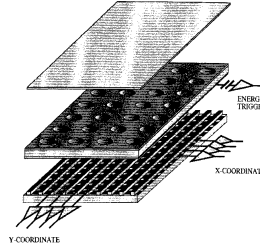
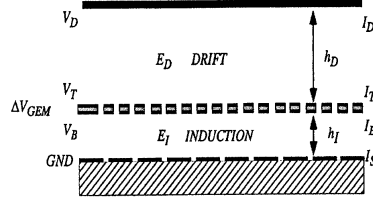
P.78

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

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)

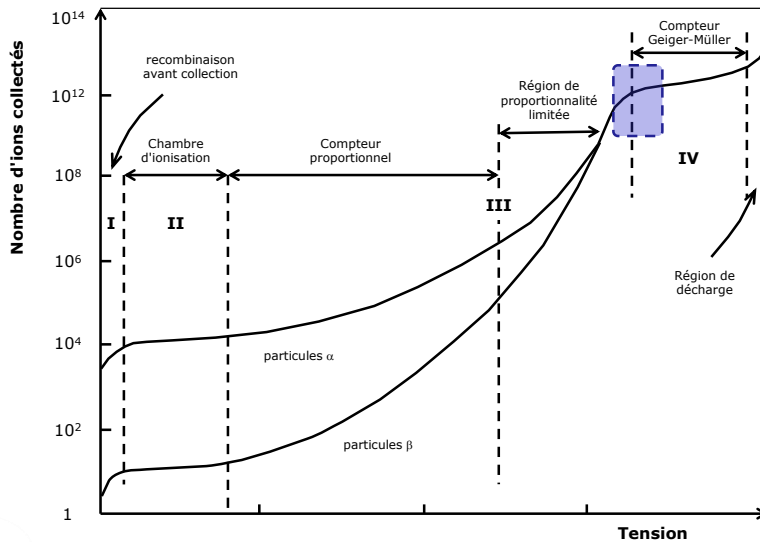


Jean Peyré

P.79

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

Le mode SQS (Self-Quenched Streamer)



Jean Peyré

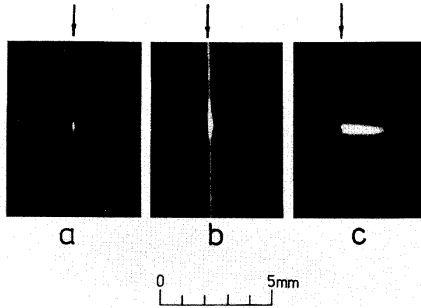
P.80

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

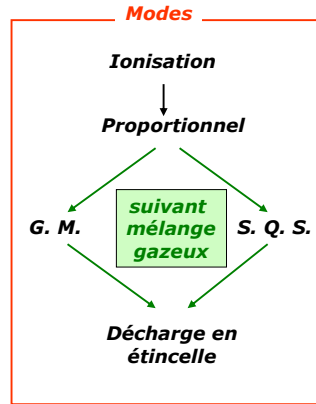
Le mode SQS (Self-Quenched Streamer)

Différents modes de fonctionnement

Fil vertical



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



Jean Peyré

P.81

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

MPGD

Introduit en 1981 par Santonico et Cardarelli
(INFN Roma)

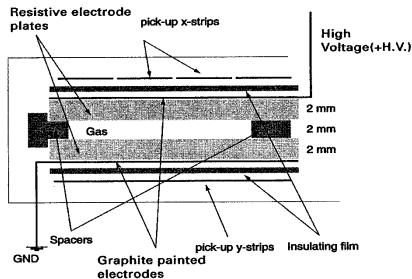
Les RPC

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



Jean Peyré

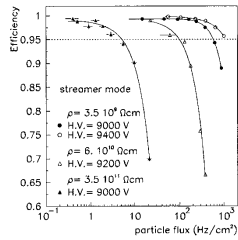
P.82

Ecole Technique de base des détecteurs
Cargèse 2017

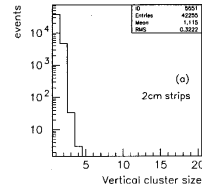
MPGD

Les RPC

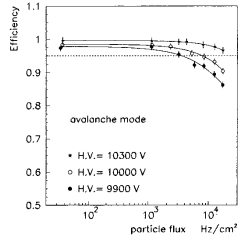
RPC – Trigger du Bras dimuons de ALICE



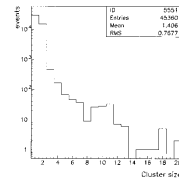
Mode « Streamer »
 Ar (49%) + i-C₄H₁₀ (7%)
 + C₂H₂F₄ (40%) + SF₆ (4%)



C₂H₂F₄
 tétrafluoroéthane
 fluide réfrigérant
 R-134a



Mode « Avalanche »
 C₂H₂F₄ (95%)
 + i-C₄H₁₀ (3%) + SF₆ (2%)



Taille des « clusters »



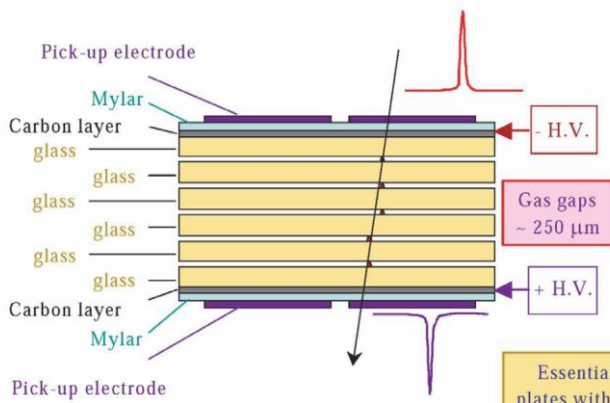
Jean Peyré

P.83

Ecole Technique de base des détecteurs
 Cargèse 2017

MPGD

xgap RPC (multi-gap Resistive Plate Chambers)



Essentially a stack of resistive (glass) plates with electrodes stuck on the outside



Jean Peyré

P.84

Ecole Technique de base des détecteurs
 Cargèse 2017