

Chapitre 10

Interactions des rayonnements avec la matière: détecter les rayonnements (1/2).

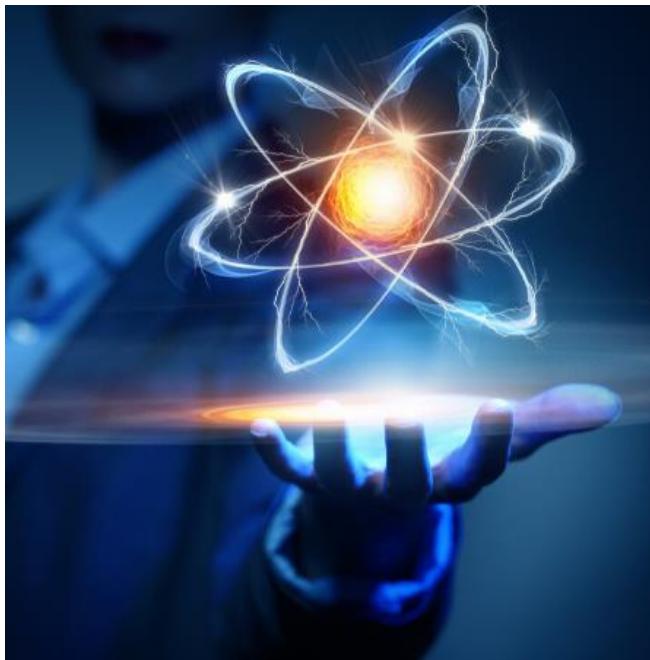
Dr. Jean-François ADAM

Objectifs pédagogiques du cours

- Avoir une vision globale de l'utilité des détecteurs
 - « Voir » les rayonnements ionisants
 - Pourquoi?
 - Comment?
 - Adapter son détecteur à ce que l'on veut mesurer
- Connaître les principaux modes de fonctionnement d'un détecteur à ionisation

« Voir » les rayonnements ionisants

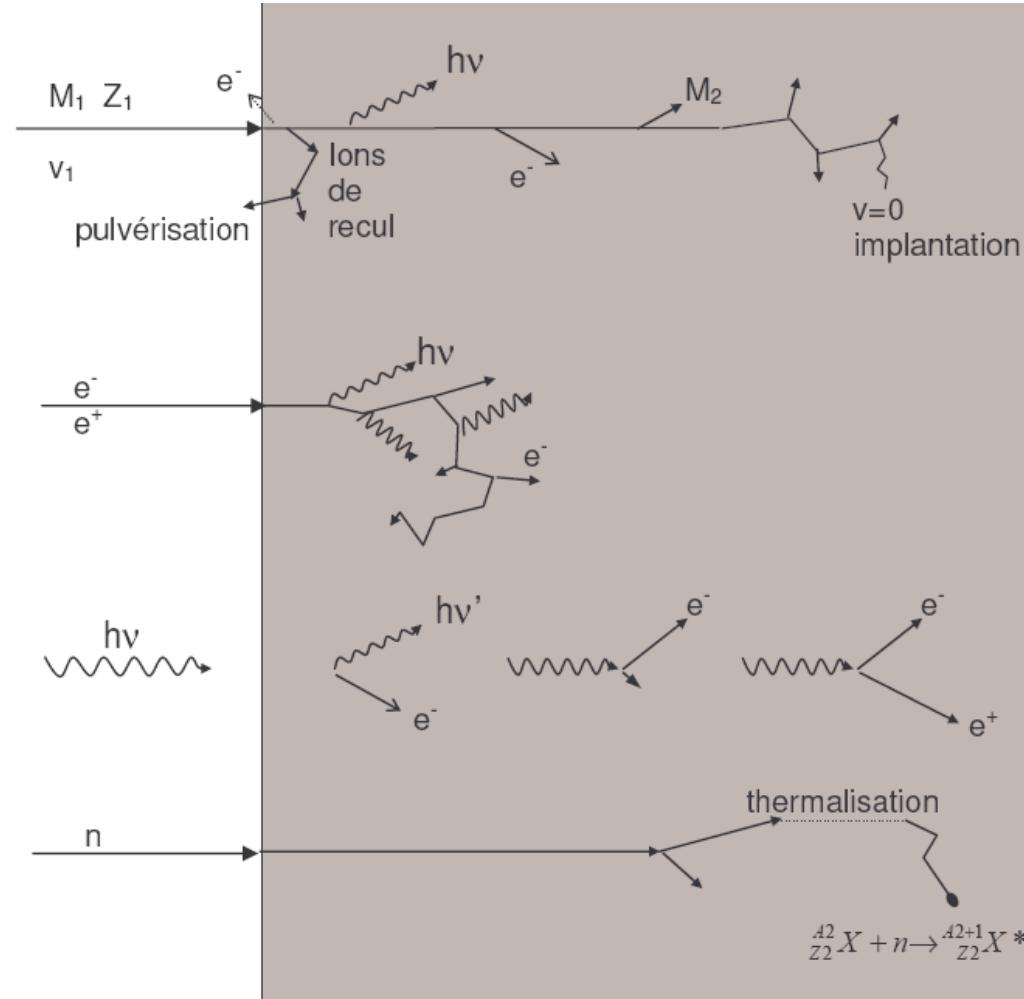
- On ne peut pas voir les rayonnements ionisants à proprement parler.



- Il faut tirer profit de leurs interactions (ionisations) pour les détecter

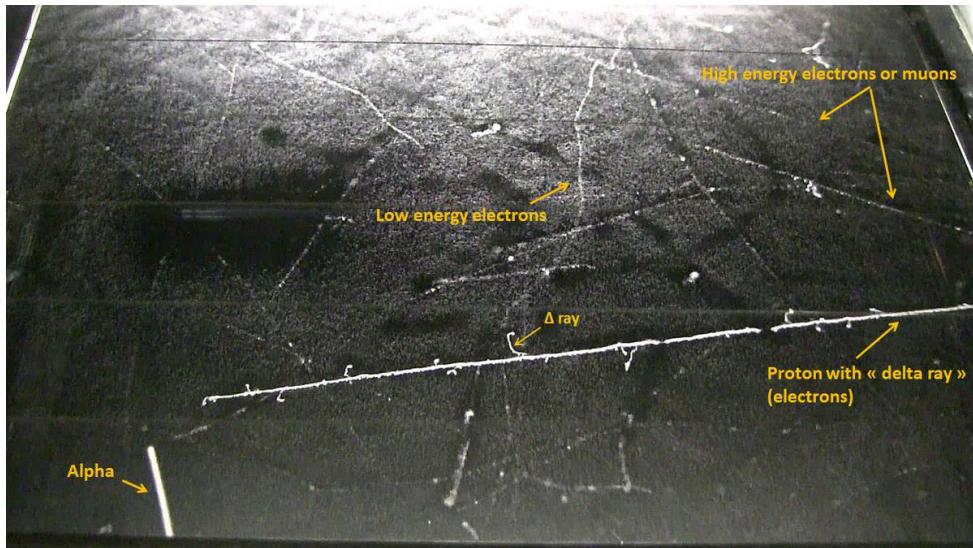
« Voir » les rayonnements ionisants

- Il faut tirer profit de leurs interactions (ionisations) pour les détecter
- Point commun à de nombreuses interactions: mise en mouvements d'électrons
- Comment détecter ces électrons?



« Voir » les rayonnements ionisants

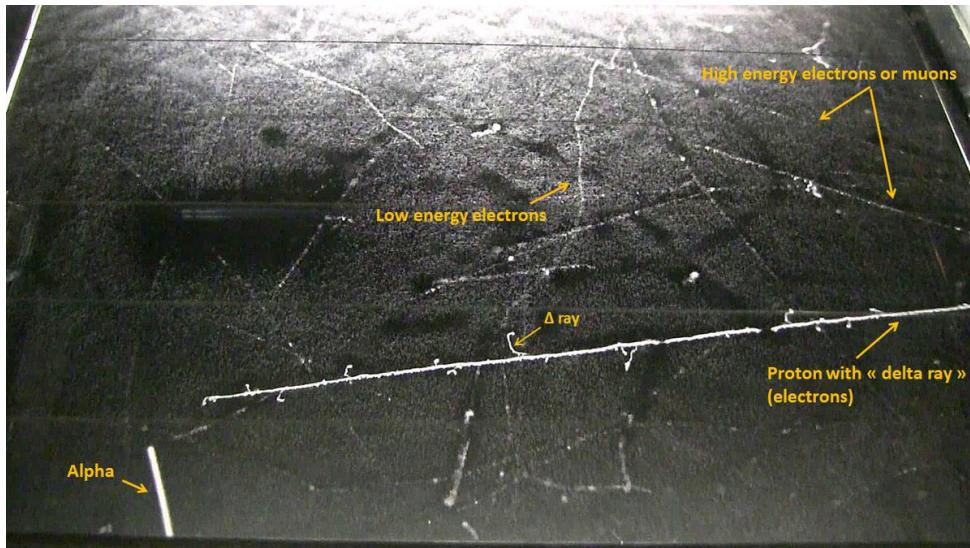
- Quelques types de détecteurs, en image



- « Pontuels » (0D), 1D, 2D, 3D
- A Gaz, Liquides, Solides.
- Chambres d'ionisation, Semi-conducteurs, à scintillation, Chimiques

« Voir » les rayonnements ionisants

- Quelques types de détecteurs, en image



- « Pontuels » (0D), 1D, 2D, 3D
- A Gaz, Liquides, Solides.
- Chambres d'ionisation, Semi-conducteurs, à scintillation, Chimiques

« Voir » les rayonnements ionisants

Les détecteurs

- Doivent être adaptés au type de particules ($\gamma, \beta, \alpha\dots$), leur énergie, la taille du faisceau, le flux de particules (sensibilité).
- Il faut savoir si l'on souhaite détecter chaque particule (compteur), mesurer son énergie (spectrométrie), ou mesurer le signal lié à un grand nombre de particules (intégration).
- Doivent être adaptés selon que l'on souhaite être qualitatif ou quantitatif....
- Vont utiliser l'interaction du rayonnement avec la matière pour produire un signal mesurable (électrique, visuel, thermique etc).
- Peuvent produire une mesure directe ou doivent être « lus » de manière différée

Le but de ce cours n'est pas d'être exhaustif mais d'avoir une sensibilité au monde des détecteurs.

« Voir » les rayonnements ionisants

Les détecteurs

- Doivent être adaptés au type de particules ($\gamma, \beta, \alpha\dots$), leur énergie, la taille du faisceau, le flux de particules (sensibilité).
- Il faut savoir si l'on souhaite détecter chaque particule (compteur), mesurer son énergie (spectrométrie), ou mesurer le signal lié à un grand nombre de particules (intégration).
- Doivent être adaptés selon que l'on souhaite être qualitatif ou quantitatif....
- Vont utiliser l'interaction du rayonnement avec la matière pour produire un signal mesurable (électrique, visuel, thermique etc).
- Peuvent produire une mesure directe ou doivent être « lus » de manière différée

Le but de ce cours n'est pas d'être exhaustif mais d'avoir une sensibilité au monde des détecteurs.

Pourquoi « Voir » les rayonnements ionisants

Les objectifs sont variés en santé

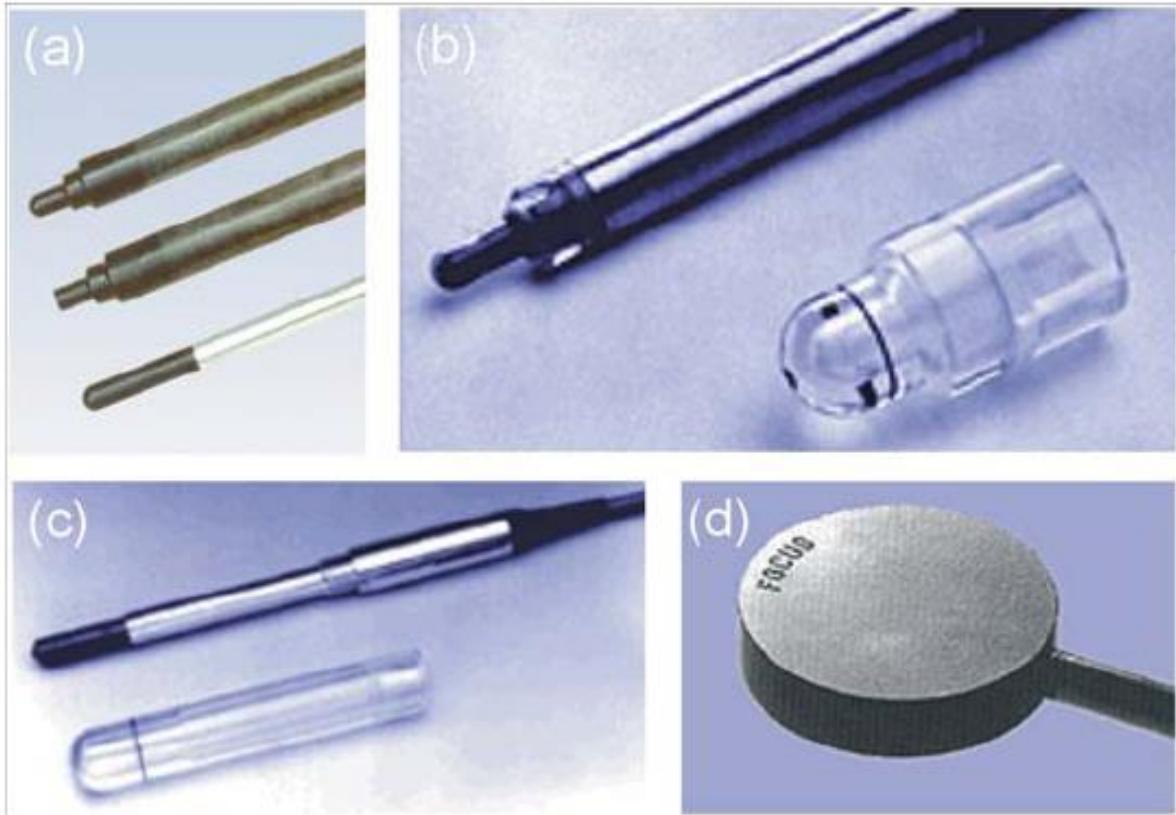
- Imagerie: radiologie, médecine nucléaire.
- Dosimétrie: pouvoir prédire les effets toxiques (ou thérapeutiques) des rayonnements
- Radioprotection: alerter, études de sols, suivi des travailleurs et du public
- Quantification: radioactivité, fixation (traceur)

Le modes de fonctionnement des détecteurs à ionisation



Détecteur	Rayonnements détectés	Rendement de détection sur 4π (%)	Bruit de fond	Observations
Compteur Geiger -Müller à fenêtre mince ($1,5 \text{ mg/cm}^2$)	α toutes énergies β d'énergie $> 30 \text{ keV}$	15% 5 à 20%	1 c/s	Sensible également aux X et γ avec un faible rendement
Compteur Geiger -Müller à fenêtre épaisse (56 mg/cm^2)	β d'énergie $> 250 \text{ keV}$ γ d'énergie $> 10 \text{ keV}$	3 à 5% < 1%	1 c/s	A réservé aux β d'énergie élevée (^{32}P par exemple)
Compteur proportionnel scellé	α ou (selon modèle) $\beta X, \gamma$	10% 10 à 40%	Pour 200cm^2 0,1 c/s 20 c/s	Possibilité de disposer de compteurs de grande surface
Compteur proportionnel à circulation de gaz	α et $\beta X, \gamma$	10% 10 à 40%	Pour 200cm^2 0,1 c/s 20 c/s	Possibilité de disposer de compteurs de grande surface

Les détecteurs d'ionisation



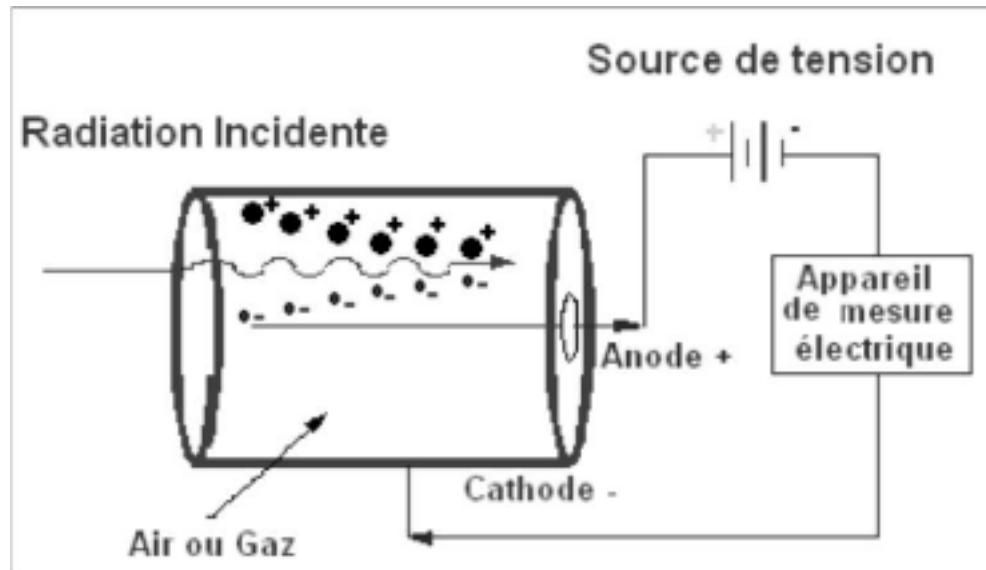
Ces détecteurs détectent le passage d'une ou plusieurs particules chargées en mesurant la charge totale des électrons et des ions produits lors de l'ionisation du milieu par la particule.

Le milieu peut être **un gaz (le plus courant)**, un liquide ou solide, chacun a ses avantages et ses applications.

Pour récupérer les électrons et les ions avant qu'ils ne se recombinent en atomes, il faut la présence d'un champ électrique qui les font dériver séparément vers les électrodes.

Les charges (électrons et ions) collectées induisent des courants sur les électrodes. Ces courants sont amplifiés et mesurés.

La chambre d'ionisation: principe de fonctionnement



Les interactions subies par les particules traversant le volume actif de la chambre d'ionisation (air ou gaz) vont engendrer des ionisations et donc la création de paires électrons ions.

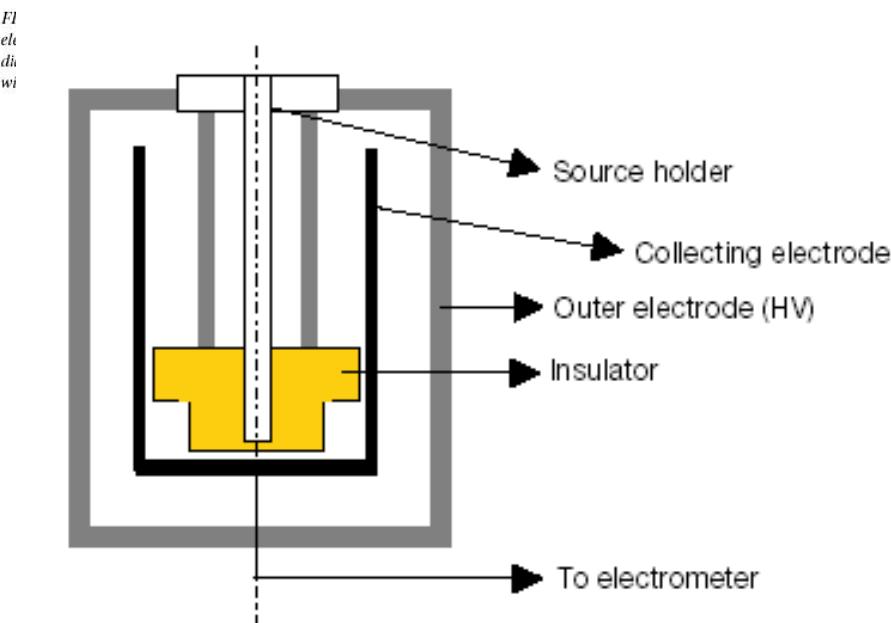
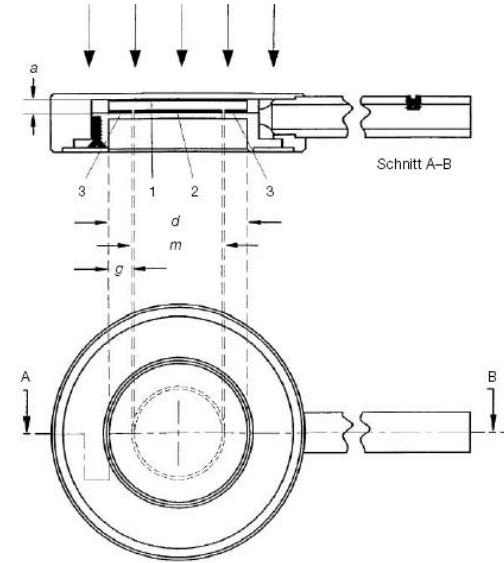
Ces chambres d'ionisation ont des électrodes aux bornes desquelles un champ électrique va être appliqué.

Sous l'action de ce champ électrique, les électrons vont dériver vers l'anode, alors que les ions vont dériver vers la cathode.

Un courant est créé et va être amplifié et mesuré par un électromètre.

Le courant est le signal qui permet de « voir » les rayonnements ionisants

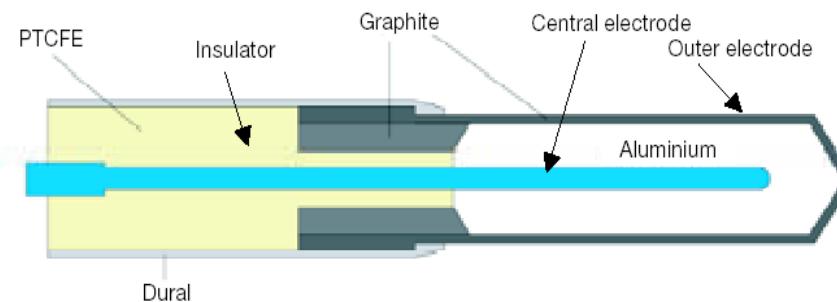
La chambre d'ionisation: principe de fonctionnement



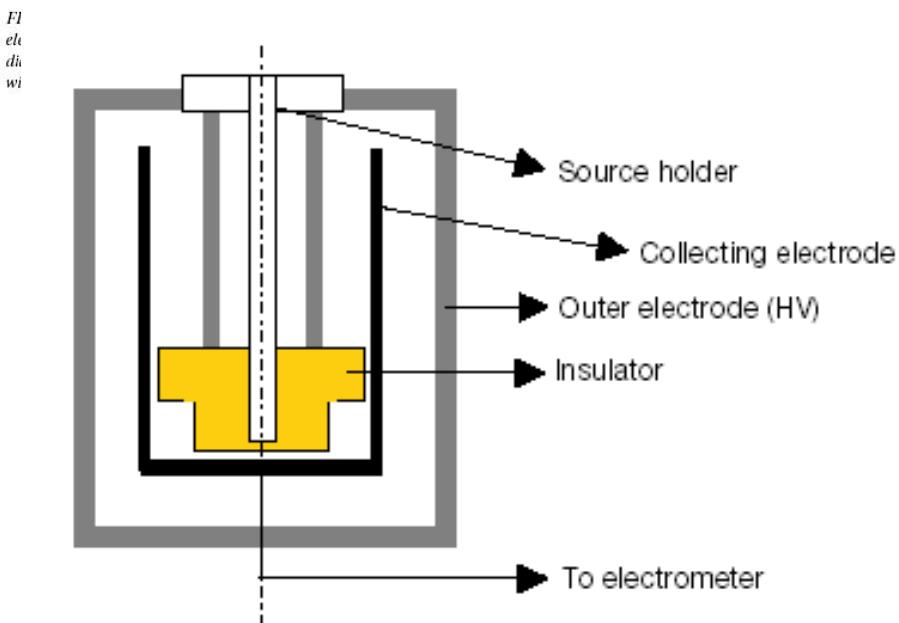
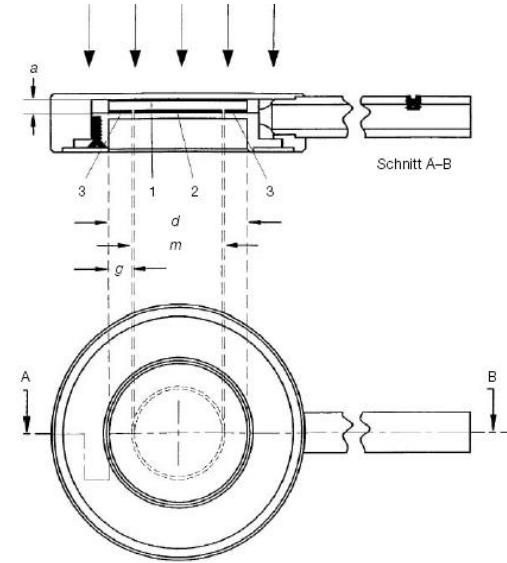
Volume actif : air (chambres non scellées), gaz rares (chambres scellées, Argon sous pression par exemple). Sensibilité. Z plus élevé. Energie moyenne pour créer une paire électron ion: environ 30 eV pour les gaz rares et 65 eV pour l'air. Pression

Il existe différentes géométries selon les applications: cylindriques, planes parallèles, chambres à puits.

Les chambres ont différents modes (régimes) de fonctionnement selon la tension appliquée aux bornes des électrodes



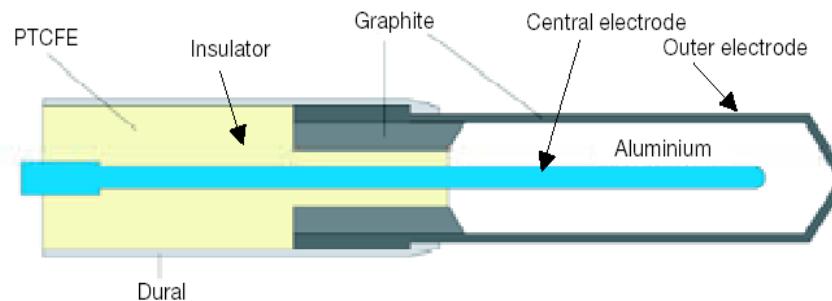
La chambre d'ionisation: principe de fonctionnement



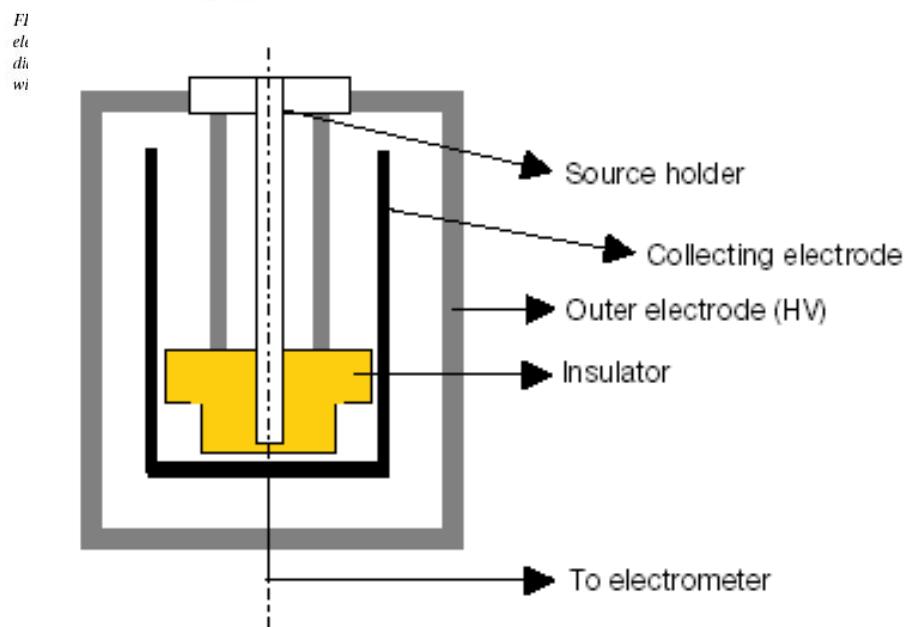
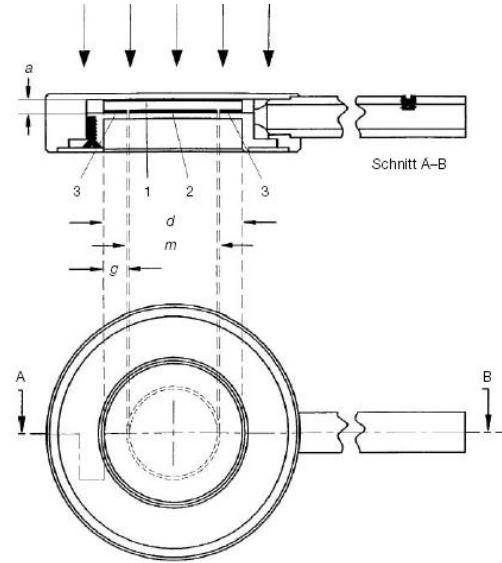
Volume actif : air (chambres non scellées), gaz rares (chambres scellées, Argon sous pression par exemple). Sensibilité. L'énergie moyenne pour créer une paire électron ion: environ 30 eV pour les gaz rares et 65 eV.

Il existe différentes géométries selon les applications: cylindriques, planes parallèles, chambres à puits.

Les chambres ont différents modes (régimes) de fonctionnement selon la tension appliquée aux bornes des électrodes



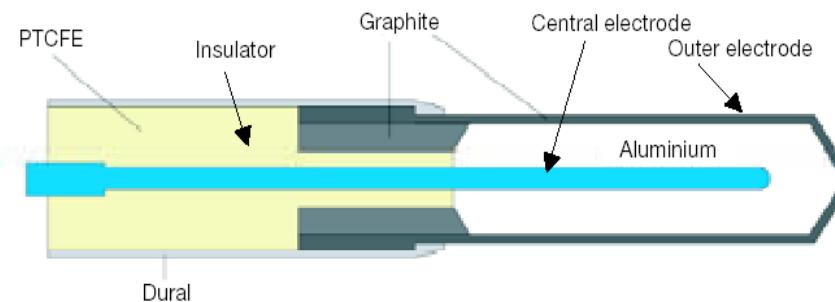
La chambre d'ionisation: principe de fonctionnement



Volume actif : air (chambres non scellées), gaz rares (chambres scellées, Argon sous pression par exemple). Sensibilité. L'énergie moyenne pour créer une paire électron ion: environ 30 eV pour les gaz rares et 65 eV.

Il existe différentes géométries selon les applications: cylindriques, planes parallèles, chambres à puits.

Les chambres ont différents modes (régimes) de fonctionnement selon la tension appliquée aux bornes des électrodes



Les modes de fonctionnement des détecteurs à ionisation

- 1 Zone de recombinaison
- 2 Régime d'ionisation
- 3 Compteur proportionnel
- 4 Régime de proportionnalité limitée
- 5 Régime de Geiger-Müller
- 6 Régime de décharge continue

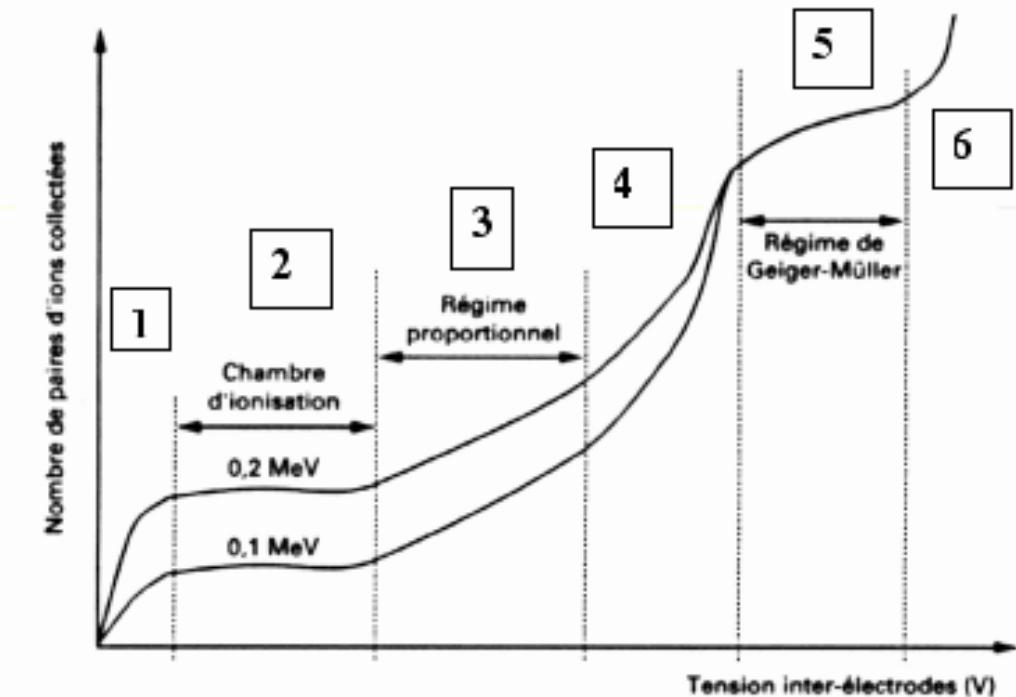


Figure 4 – Les différents modes de fonctionnement des détecteurs à gaz

Source : "Manuel pratique de radioprotection" D.J. Gambini & R. Granier (1997) - ed. TEC & DOC Lavoisier

Les modes de fonctionnement des chambres d'ionisation

- 1 Zone de recombinaison (<100V)
 - La tension n'est pas assez élevée,
 - Les ions se recombinent avec les électrons
 - On ne travaille pas dans ce régime
 - $A^+ + e^- \rightarrow A$

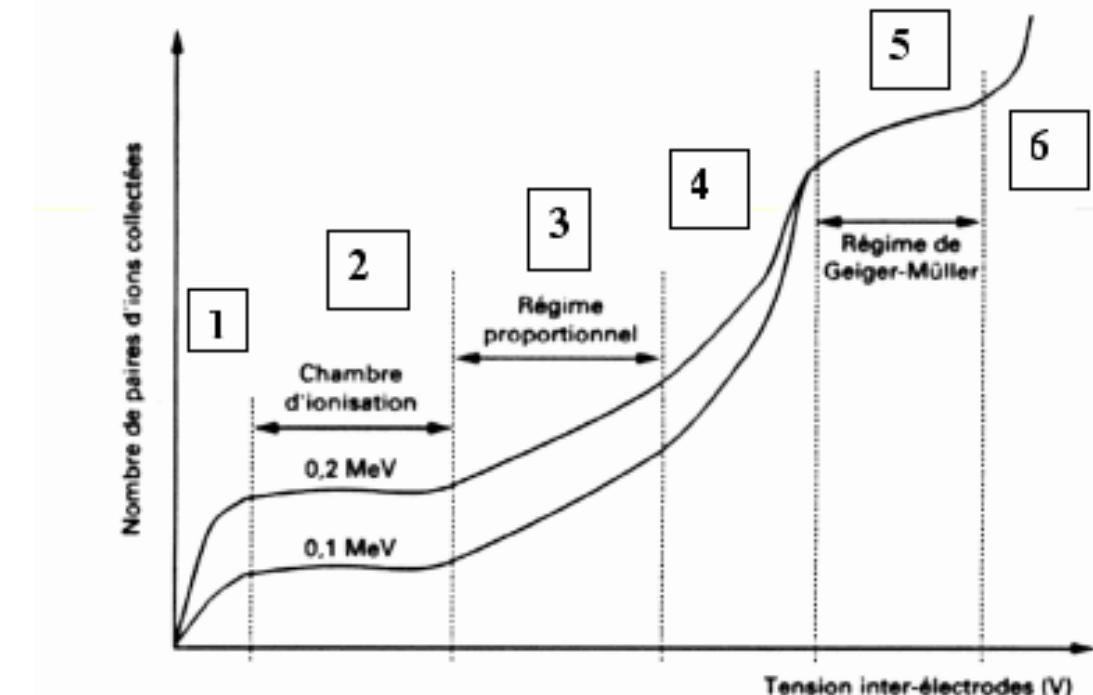


Figure 4 – Les différents modes de fonctionnement des détecteurs à gaz

Le modes de fonctionnement des détecteurs à ionisation

2 Régime d'ionisation

- Le signal ne varie pas avec la tension: stabilité (100-400V)
- Il faut un grand nombre de particules pour avoir un signal
- Le signal est proportionnel au flux de particules et donc à l'énergie déposée
- Application : dosimétrie, activimètre

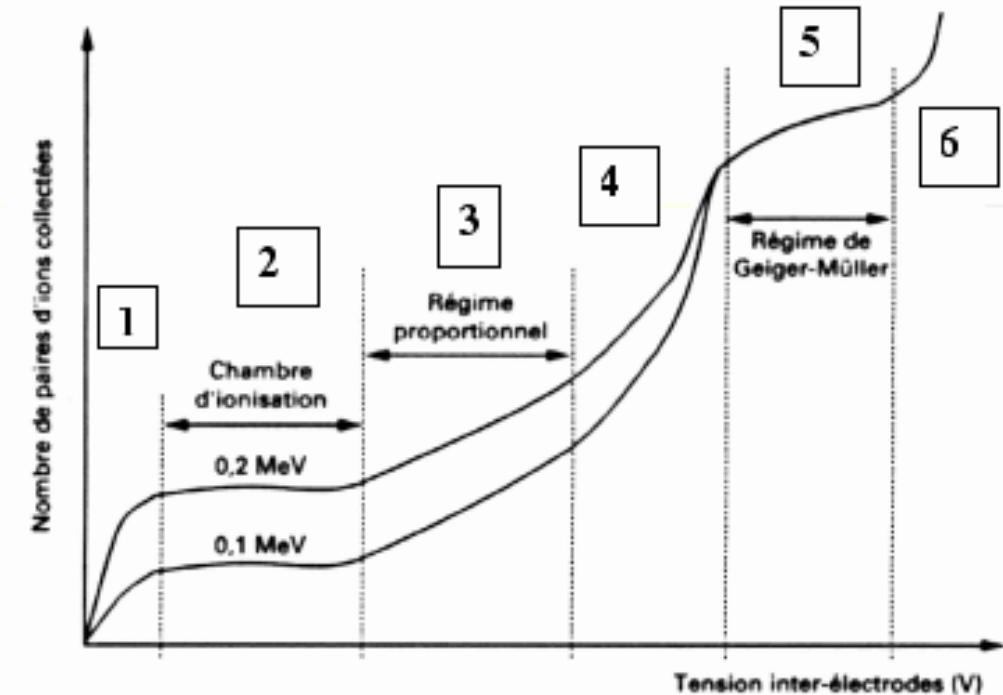
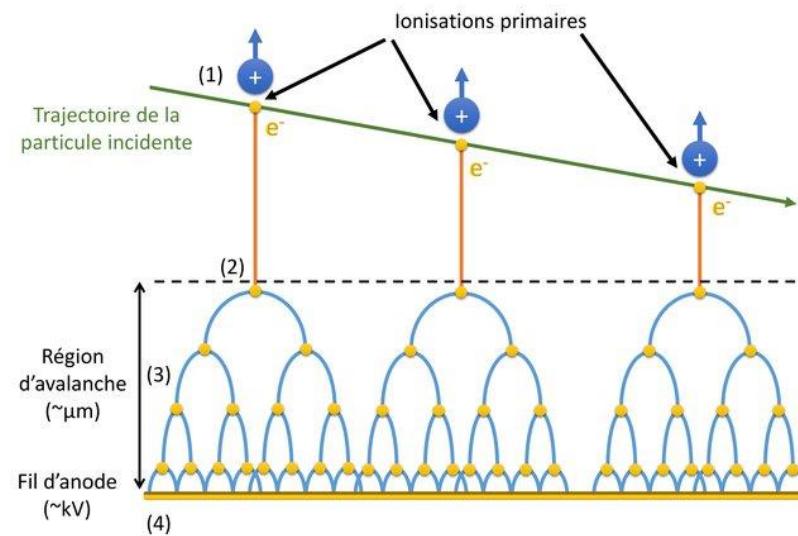


Figure 4 – Les différents modes de fonctionnement des détecteurs à gaz

Le modes de fonctionnement des détecteurs à ionisation

3 Zone proportionnelle



Tension environ 1000V

Un signal par particule

L'amplitude est proportionnelle à l'énergie déposée pour chaque particule

Application : compteur, spectromètre

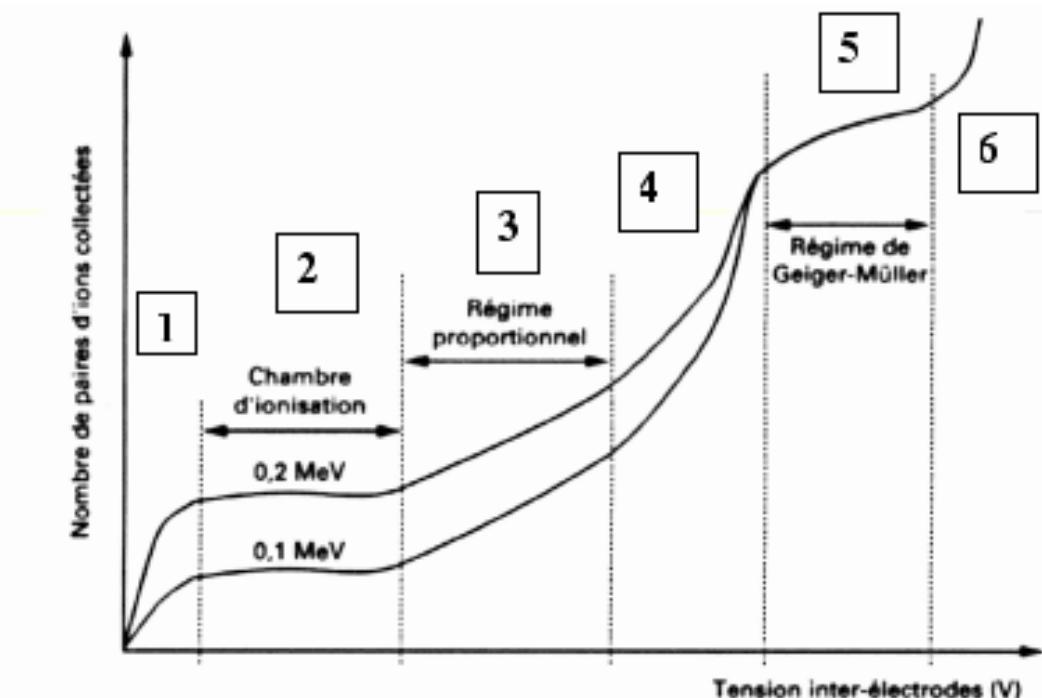


Figure 4 – Les différents modes de fonctionnement des détecteurs à gaz

Le modes de fonctionnement des détecteurs à ionisation

5 Zone de Geiger-Müller (3000V)

- Les avalanches secondaires saturent l'électrode
- Signal tout ou rien
- Signal indépendant du nombre ou de l'énergie des particules
- Temps mort
- Application : recherche de contamination, faibles activités

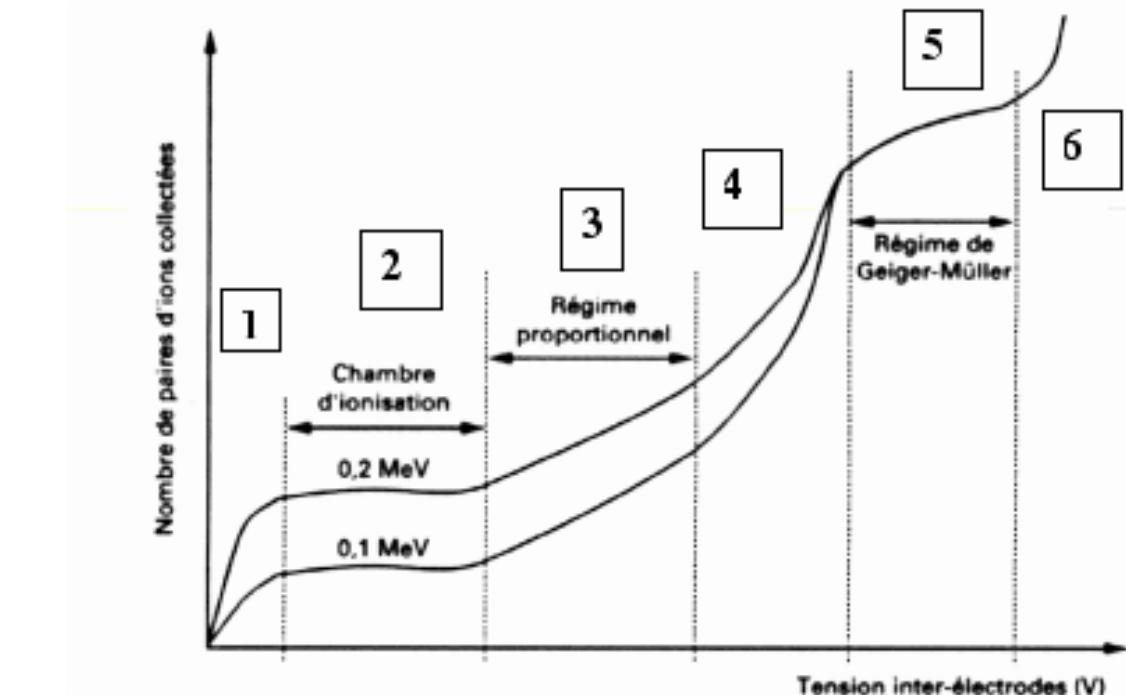


Figure 4 – Les différents modes de fonctionnement des détecteurs à gaz

Le modes de fonctionnement des détecteurs à ionisation



Détecteur	Rayonnements détectés	Rendement de détection sur 4π (%)	Bruit de fond	Observations
Compteur Geiger -Müller à fenêtre mince ($1,5 \text{ mg/cm}^2$)	α toutes énergies β d'énergie $> 30 \text{ keV}$	15% 5 à 20%	1 c/s	Sensible également aux X et γ avec un faible rendement
Compteur Geiger -Müller à fenêtre épaisse (56 mg/cm^2)	β d'énergie $> 250 \text{ keV}$ γ d'énergie $> 10 \text{ keV}$	3 à 5% < 1%	1 c/s	A réservé aux β d'énergie élevée (^{32}P par exemple)
Compteur proportionnel scellé	α ou (selon modèle) $\beta X, \gamma$	10% 10 à 40%	Pour 200cm^2 0,1 c/s 20 c/s	Possibilité de disposer de compteurs de grande surface
Compteur proportionnel à circulation de gaz	α et $\beta X, \gamma$	10% 10 à 40%	Pour 200cm^2 0,1 c/s 20 c/s	Possibilité de disposer de compteurs de grande surface

Le modes de fonctionnement des détecteurs à ionisation



Détecteur	Rayonnements détectés	Rendement de détection sur 4π (%)	Bruit de fond	Observations
Compteur Geiger -Müller à fenêtre mince ($1,5 \text{ mg/cm}^2$)	α toutes énergies β d'énergie $> 30 \text{ keV}$	15% 5 à 20%	1 c/s	Sensible également aux X et γ avec un faible rendement
Compteur Geiger -Müller à fenêtre épaisse (56 mg/cm^2)	β d'énergie $> 250 \text{ keV}$ γ d'énergie $> 10 \text{ keV}$	3 à 5% < 1%	1 c/s	A réservé aux β d'énergie élevée (^{32}P par exemple)
Compteur proportionnel scellé	α ou (selon modèle) $\beta X, \gamma$	10% 10 à 40%	Pour 200cm^2 0,1 c/s 20 c/s	Possibilité de disposer de compteurs de grande surface
Compteur proportionnel à circulation de gaz	α et $\beta X, \gamma$	10% 10 à 40%	Pour 200cm^2 0,1 c/s 20 c/s	Possibilité de disposer de compteurs de grande surface

Messages essentiels du cours

- On ne peut pas voir les particules mais on peut les détecter grâce à leurs interactions avec la matière.
- Les types de détecteurs doivent être choisis selon ce que l'on veut mesurer. Ils reposent sur différents modes de fonctionnement. Tous transforment les ionisations consécutives aux interactions rayonnement matière en signal mesurable.
- Les détecteurs à ionisation (chambres d'ionisation) permettent de mesurer un courant produit par la collection des électrons générés lors des ionisations dues aux interactions rayonnement matière
- Les détecteurs d'ionisation peuvent être utilisés dans différents modes de fonctionnement: régime d'ionisation, régime proportionnel, régime de Geiger-Müller

Et au prochain cours ...

- Quelques autres détecteurs de rayonnements
 - Détecteurs à semi-conducteurs
 - Détecteurs à scintillation
 - Détecteurs à lecture différée (DTL, détecteurs chimiques)
- Conclusion sur les interactions rayonnements-matière

Mentions légales

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'Université Grenoble Alpes (UGA).

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits à l'Université Grenoble Alpes (UGA), et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.