

DÉTECTION DES RAYONNEMENTS IONISANTS



Première année médecine 23/24

Docteur TAHRAOUI. Z
Médecine nucléaire
Faculté de médecine TALEB. M SBA

Activer
Accédez à

PLAN DU COURS

- INTRODUCTION
- RAPPELS SUR LES INTERACTIONS
- GÉNÉRALITÉS SUR LES DÉTECTEURS
- DÉTECTEURS À GAZ
- DÉTECTEURS À SCINTILLATION
- DÉTECTEURS À SEMI-CONDUCTEUR
- COMPARATIF SUR LES DÉTECTEURS DE RAYONNEMENTS
- DOSIMÈTRES ET APPLICATIONS
- GAMMA CAMERA ANGER
- BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

- On peut déceler une irradiation en **exploitant** le résultat des interactions des ri avec la matière: **ionisations et excitations**
 - Effet produit par perte de l'énergie: e
 - L'apparition et l'observation de cet effet : **principe de la détection**
 - Détection de la **distribution spatiale** et temporelle dans l'organisme d'un radiopharmaceutiques
 - la détection se base donc sur
 - ✓ particules chargées
 - ✓ ryts em (x et γ)
 - ✓ neutrons
-
- IONISATION
- EXCITATION
- LIBÉRATION D'ÉNERGIE DÉTECTABLE

INTERACTIONS RAYONNEMENTS-MATIERE

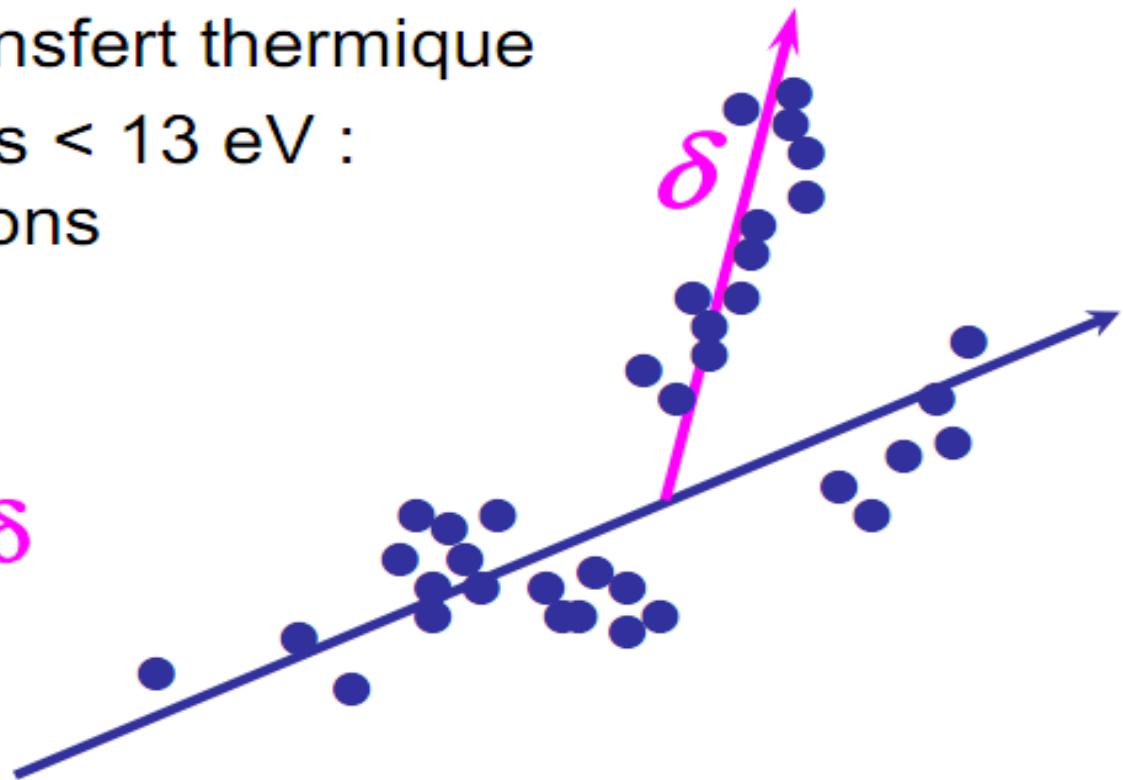
Les différents rayonnements

- Les particules
 - Les électrons et positons
 - Les particules "lourdes"
 - Les rayonnements électromagnétiques
 - Les photons : $\lambda < 0,1\mu\text{m}$
 - Rayonnements x
 - Rayonnements γ
 - de freinage, d'annihilation...
 - Ondes radio, électriques, UV, visible, IR, μ -ondes : $\lambda > 0,1\mu\text{m}$
-
- The diagram illustrates the classification of different types of radiation. It is organized into three main groups, each enclosed in a bracket on the right side of the list:
 - Directement ionisants**: Brackets the first two items under "Les particules".
 - Indirectement ionisants**: Brackets the first item under "Les rayonnements électromagnétiques".
 - Non ionisants**: Brackets the second item under "Les rayonnements électromagnétiques".

INTERACTIONS PARTICULES CHARGEES-MATIERE

Chaque interaction entraîne dans le milieu un effet qui dépend de la valeur Q de l'énergie transférée par la particule :

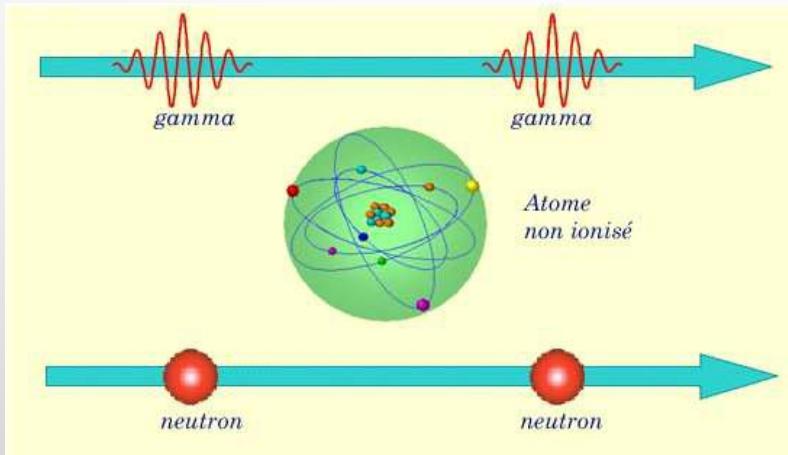
- Q très faible : transfert thermique
- Q plus élevé mais < 13 eV : excitations
- Q élevé :
 - Ionisations
 - **Électrons δ**



INTERACTION RAYONNEMENT/MATIÈRE

En une seule interaction le photon peut disparaître !

Le photon peut traverser de grandes épaisseurs de milieu sans interagir !



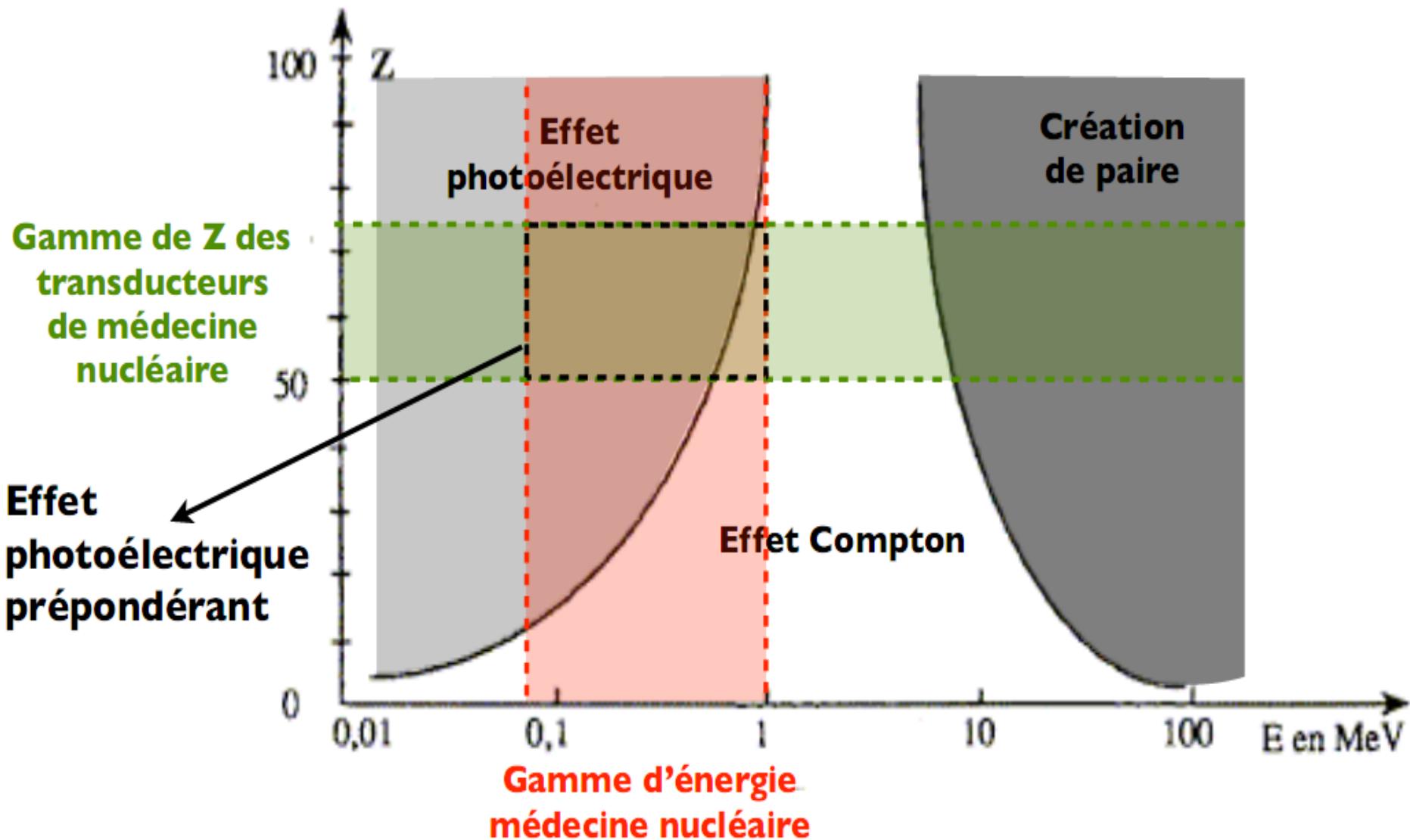
3 types d' interaction

- Effet photoélectrique
- Diffusion Compton
- Production de paires



Mise en
mouvement
d'électrons

INTERACTIONS PHOTONS-MATIERE



GÉNÉRALITÉS SUR LES DÉTECTEURS

- LA CHAINE DE MESURE
- PARAMÈTRES DES DÉTECTEURS
- MODE DE FONCTIONNEMENT

GÉNÉRALITÉS SUR LES DÉTECTEURS

LA CHAINE DE MESURE

Capteur

RI interagit avec la matière : perte d'énergie E

Amplificateur

Système qui amplifie le signal

Traitemen

Discriminateur d'amplitude

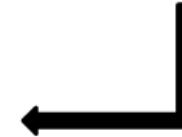
Affichage

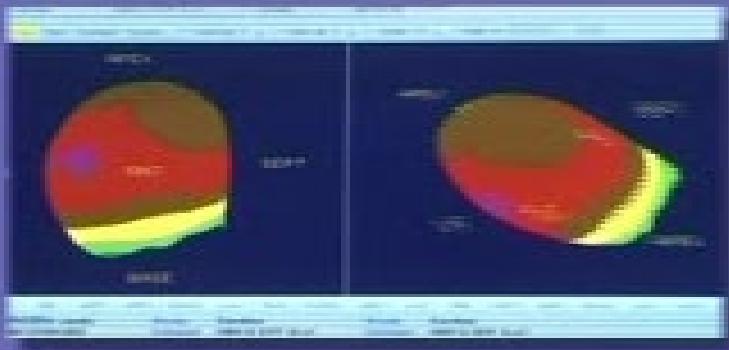
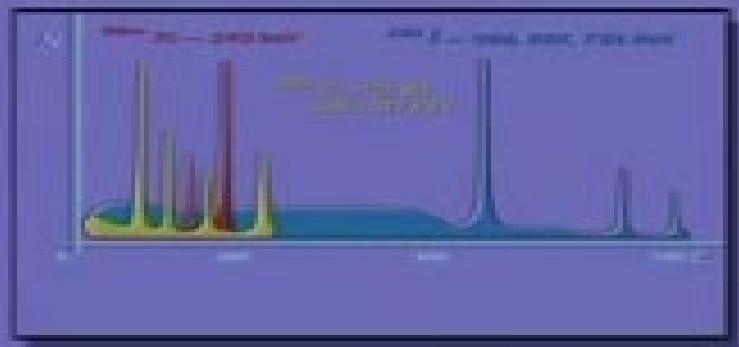
Selon le type de détecteurs

Affichage : - flux de particules : compteur ;

- énergie des particules : spectromètre ;

- dose absorbée (D), débit de dose absorbée: dosimètre ou débitmètre.





GÉNÉRALITÉS SUR LES DÉTECTEURS

PARAMÈTRES DES DÉTECTEURS

- TEMPS MORTS
- RÉSOLUTION
- EFFICACITÉ
- LINÉARITÉ
- STABILITÉ
- EQUIVALENCE AU MILIEU
- TRANSPARENCE A SON PROPRE SIGNAL

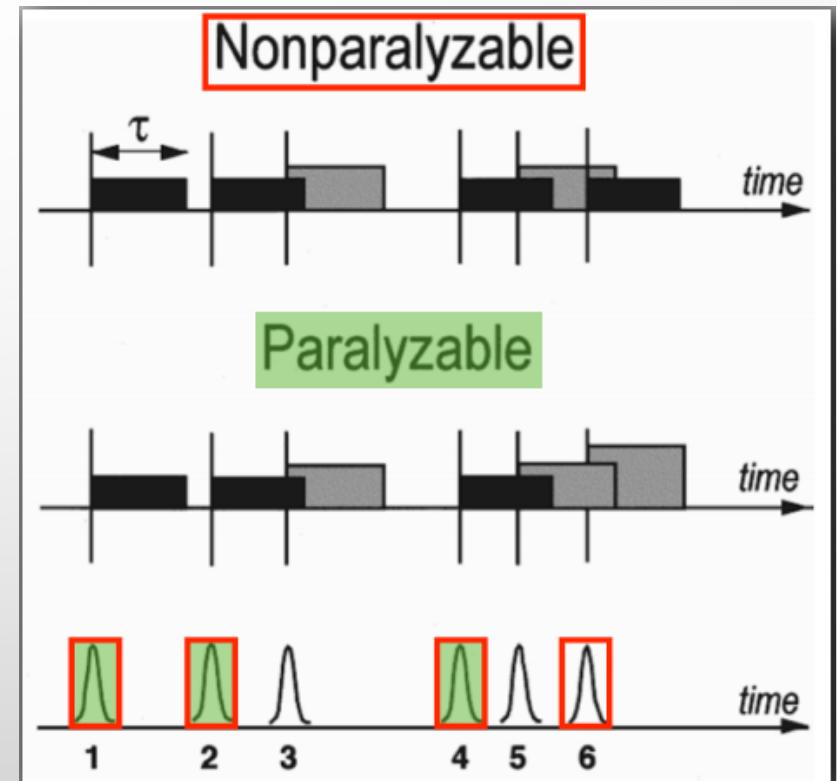
GÉNÉRALITÉS SUR LES DÉTECTEURS

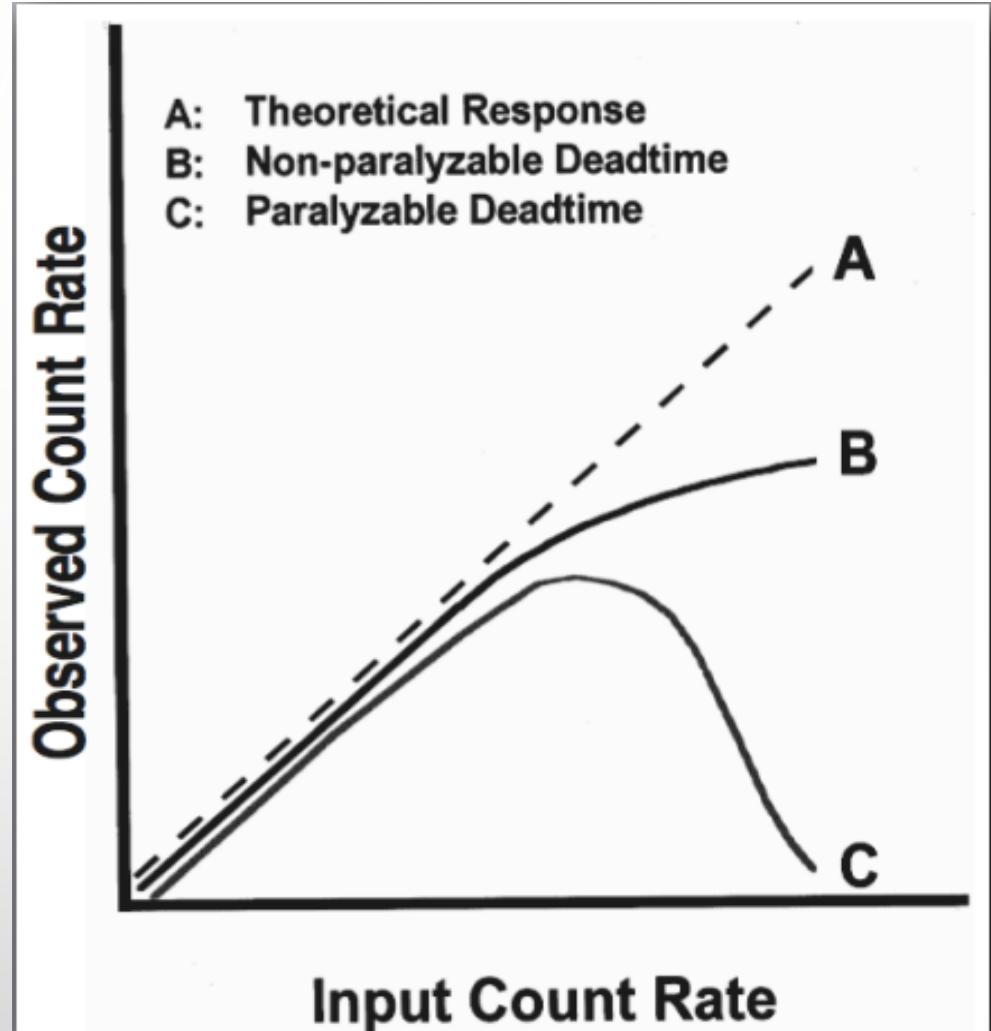
PARAMÈTRES DES DÉTECTEURS

- Temps mort minimal : compter un flux de rayonnement élevé
- Résolution en énergie optimale : discerner l'énergie des rayons détectés
- Efficacité de détection optimale : détecter un flux de rayons

PARAMÈTRES DES DÉTECTEURS TEMPS MORT

- Limitation du détecteur à compter (ou à intégrer) un flux de photons incidents élevé
- Paramètres d'influence:
 - ✓ électronique
 - ✓ rapidité du transducteur

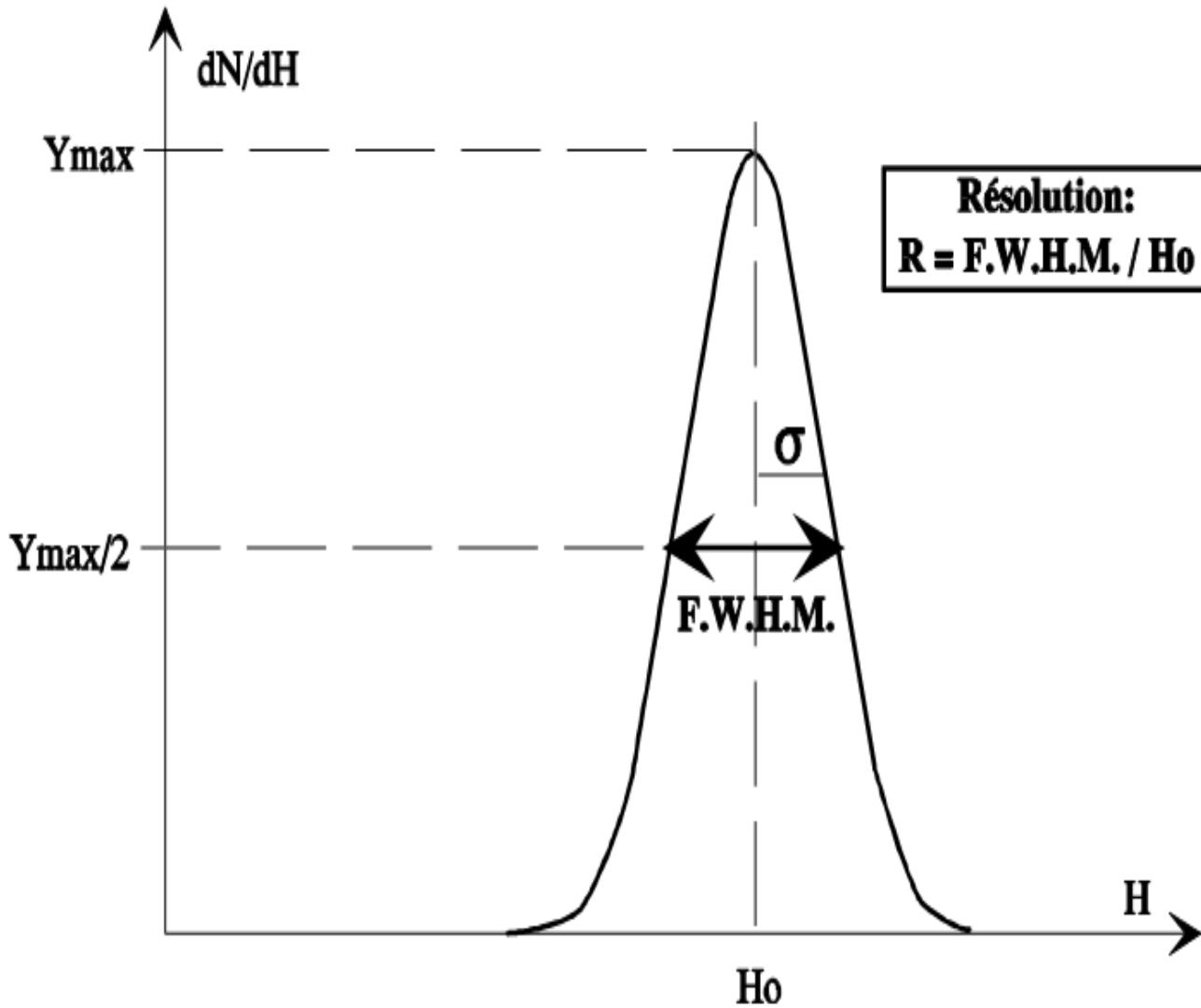




Les systèmes réels sont intermédiaires

PARAMÈTRES DES DÉTECTEURS RÉSOLUTION EN ÉNERGIE

- Capacité du détecteur à discriminer les photons détectés en énergie proche
- Caractérisée par la largeur à mi hauteur du spectre en énergie (source ponctuelle mono énergétique)
- Paramètres d'influence:
 - ❖ type/design du transducteur
 - ❖ énergie des rayons ionisants
 - ❖ électronique de détection

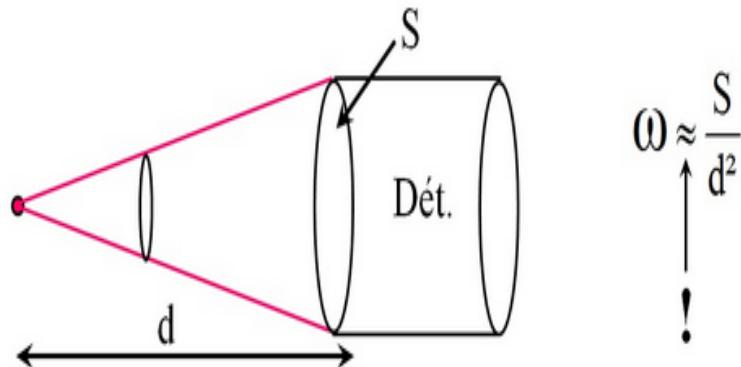


PARAMÈTRES DES DÉTECTEURS EFFICACITÉ (EF)

- Rapport du nombre d'événements comptés par le détecteur au nombre de rayonnements émis par la source
- ef absolue(\sum_{abs}), ef géométrique($\sum_{\text{géom}}$), ef intrinsèque(\sum_{intrin})

$$\epsilon_{\text{abs}} = \epsilon_{\text{intrin}} \times \epsilon_{\text{geom}},$$

PARAMÈTRES DES DÉTECTEURS EF GÉOMÉTRIQUE



$$N_d = \frac{\omega}{4\pi} N_0$$

Un DéTECTeur parfait doit être
aussi isotrope que possible

PARAMÈTRES DES DÉTECTEURS EF INTRINSÈQUE

- Rapport du nombre d'événements comptés par le détecteur au nombre de ré incidents
- Efficacité intrinsèque = pouvoir d'arrêt du transducteur
- Povoir d'arrêt = probabilité d'interaction dépend du coefficient d'atténuation (μ) et de l'épaisseur du matériau
- μ fonction de la densité et du numéro atomique (z_{eff}) du matériau

AUTRES PARAMÈTRES.....

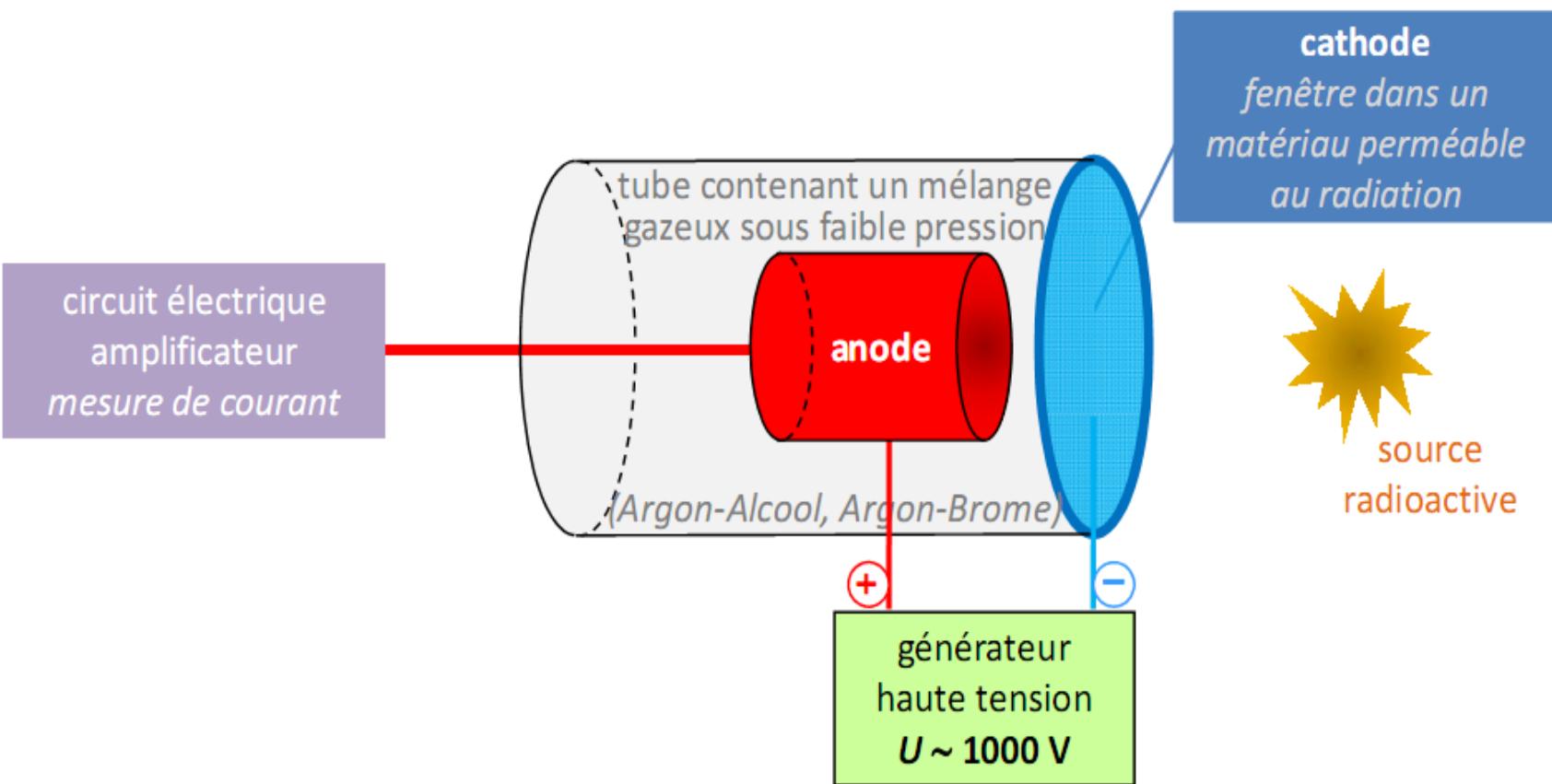
- Linéarité: détecteur linéaire si comptage proportionnel au flux incident
- Stabilité de la réponse et de l'information dans le temps
- Equivalence au milieu dans lequel on fait la mesure
- Transparence à son propre signal
- **Mouvement propre (m.p)** : il correspond au t.c enregistré en l'absence de toute source de ri. L'origine du mp est:
 - le bruit de fond naturel:
 - radioactivité ambiante
 - rayonnements cosmiques
 - la radioactivité propre des matériaux et le bruit de l'électronique associée.

DÉTECTEURS À GAZ

- SCHÉMA DE PRINCIPE
- IONISATION DES GAZ
- RÉGIMES DE FONCTIONNEMENT D'UN DÉTECTEUR À GAZ

DÉTECTEURS À GAZ

SCHÉMA DE PRINCIPE

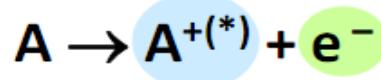


DÉTECTEURS À GAZ

IONISATION DES GAZ

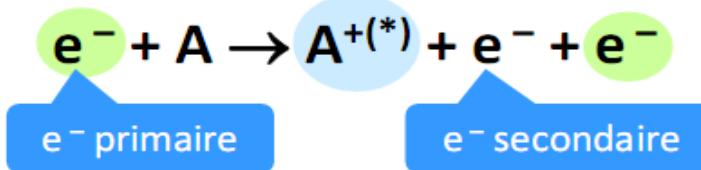
1. MÉCANISME :

- **ionisations primaires**

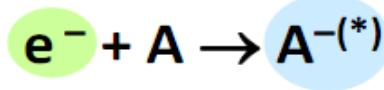


- **ionisations secondaires**

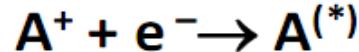
- Gaz rares ou de faible affinité pour les électrons



- Gaz de forte affinité pour les électrons



- **recombinaisons**



- **désexcitations des espèces formées ($A^{(*)}$, $A^{+(*)}$, $A^{-(*)}$)**

DÉTECTEURS À GAZ IONISATION DES GAZ

2. ACTION D'UN CHAMPS ÉLECTRIQUE

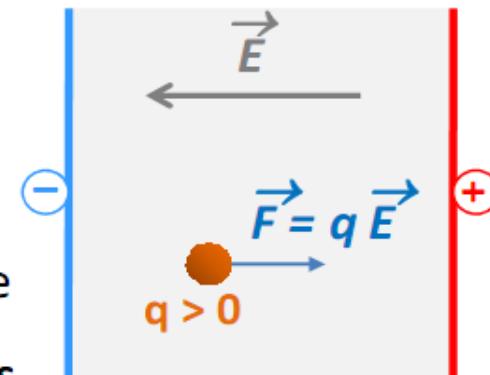
- application champ électrique → accélération particules chargées

- creation courant électrique

- accélération particule

$$a = \frac{qE}{m}$$

- particules lourdes → accélération plus faible
- difficile récupérer ions lourds sur électrodes



- récupération des e^- (légers) sur électrodes

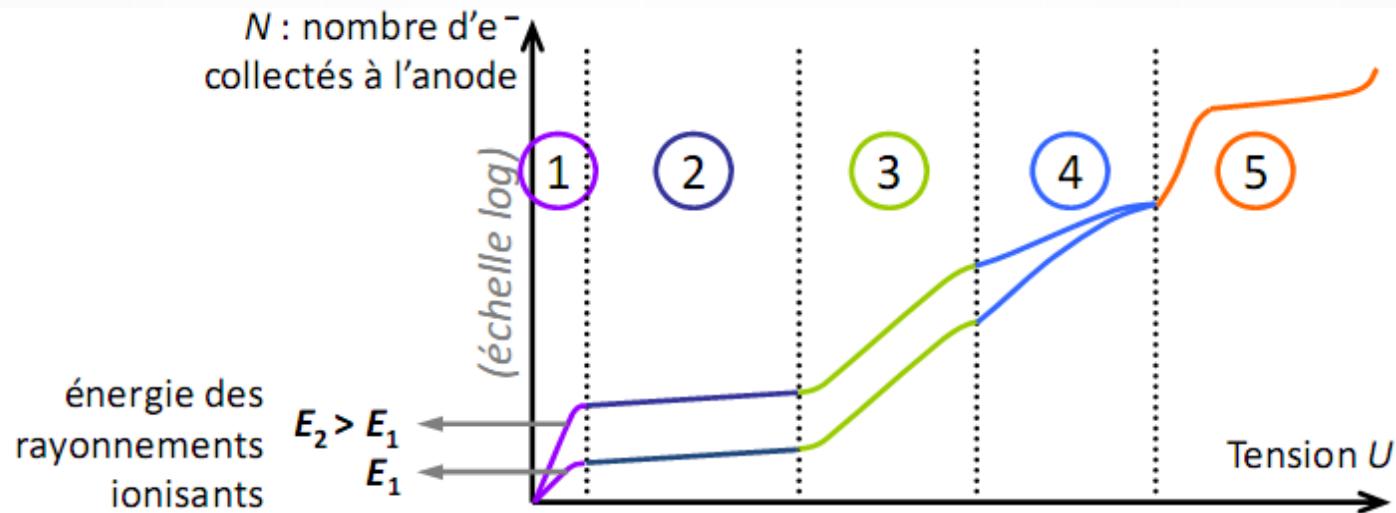
- mesure du courant électrique correspondant

- utilisation de gaz rares (ou à faible affinité électronique)

- limitation formation d'ions lourds négatifs

DÉTECTEURS À GAZ

RÉGIMES DE FONCTIONNEMENT



- | | |
|---|---|
| 1 | zone de recombinaisons (N augmente avec U) : de moins en moins de recombinaisons, de plus en plus de particules collectées aux électrodes |
| 2 | toutes les particules (ions et électrons) formées par ionisation primaire sont collectées : chambre d'ionisation |
| 3 | ionisations secondaires deviennent possibles : compteur proportionnel |
| 4 | ions formés \Rightarrow écran autour de l'anode : compteur semi-proportionnel |
| 5 | chaque ionisation initiale déclenche ionisations secondaires en avalanche : compteur Geiger-Müller |

RÉGIMES DE FONCTIONNEMENT IONISATIONS SECONDAIRES

- à partir de la zone 3

- avalanche de Townsend

e⁻ primaire
(produit par le rayonnement ionisant)

choc avec un atome ou une molécule de gaz

ion, généralement dans un état excité

collisions avec les électrodes

e⁻ qui peut à son tour faire des ionisations

e⁻ secondaires

désexcitation avec émission d'un photon

effet photoélectrique

photoélectron qui peut à son tour faire des ionisations

U croissant



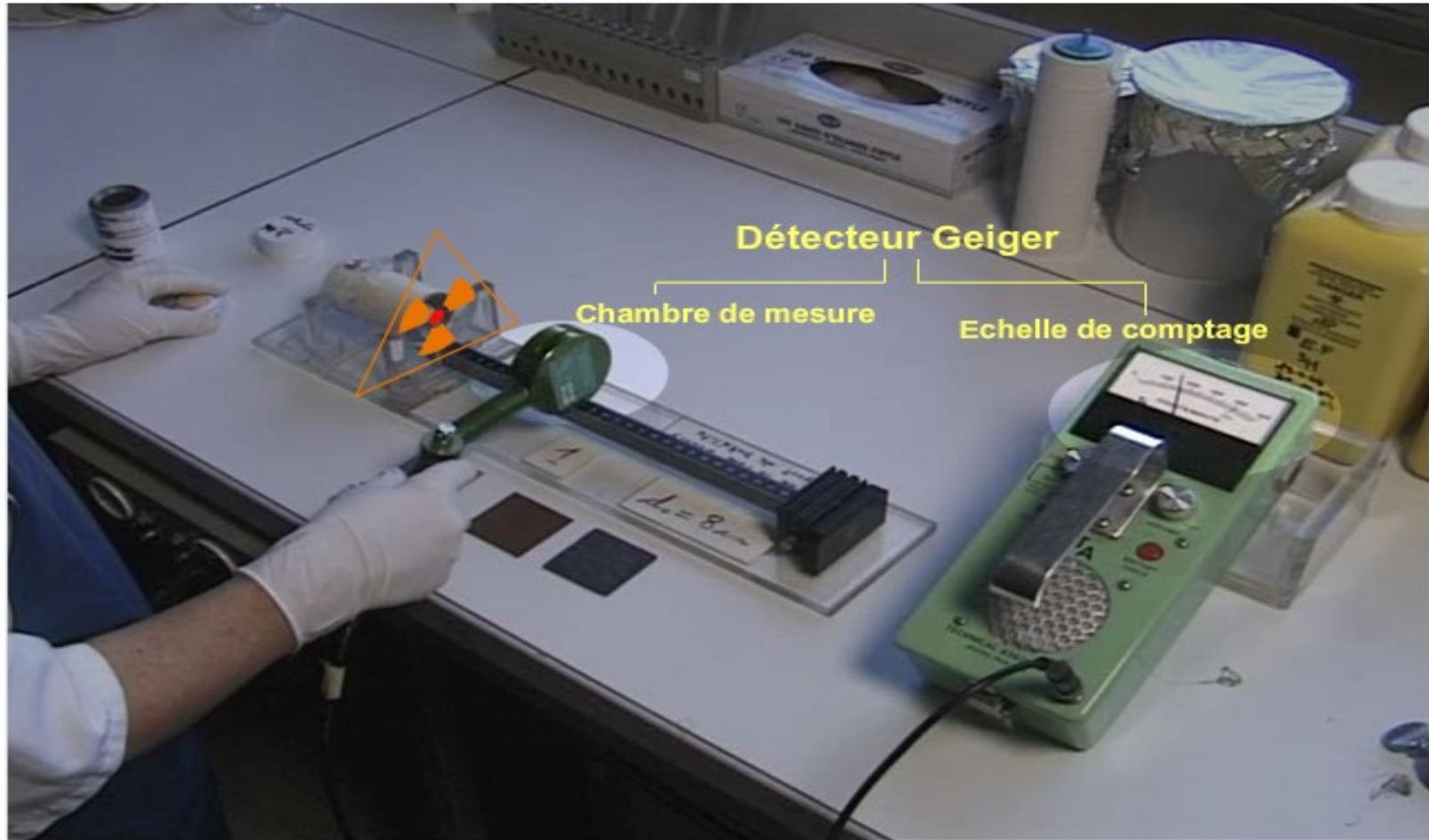
ACTIVIMÈTRE

DIFFÉRENTES GÉNÉRATIONS



DÉTECTEUR GEIGER

Compteur Geiger-Müller / Comptage



DÉTECTEURS MESURANT L'ÉNERGIE DES RAYONNEMENTS

- DÉTECTEUR À SCINTILLATION
- DÉTECTEUR À SEMI-CONDUCTEUR
- SPECTROMÉTRIE Γ

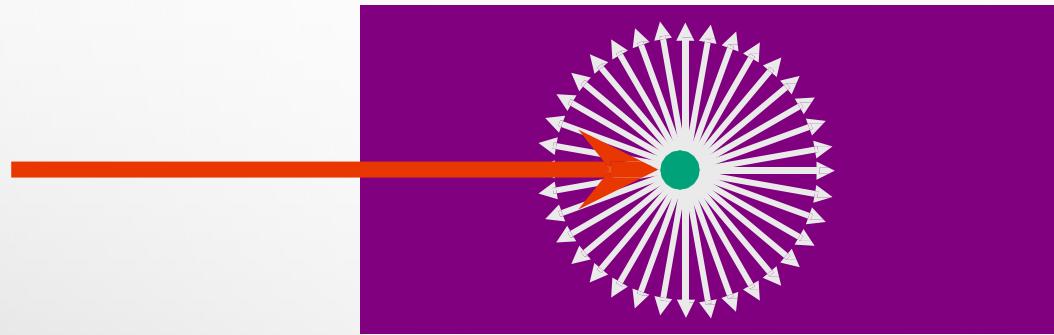
Détecteurs à scintillation:

Scintillateur : Milieu transparent émettant une petite quantité de lumière (**scintillation**) en désexcitation après avoir été excités par une particule ou photon gamma.

Ces photons de lumière (généralement dans l'UV) peuvent être détectés par un dispositif photosensible, si le milieu est transparent .

Les scintillateurs sont couplés à des photomultiplicateurs (PM) qui transforment la lumière émise par le scintillateur en électrons qui viendront former le signal utile (courant).

Détecteurs à scintillation:



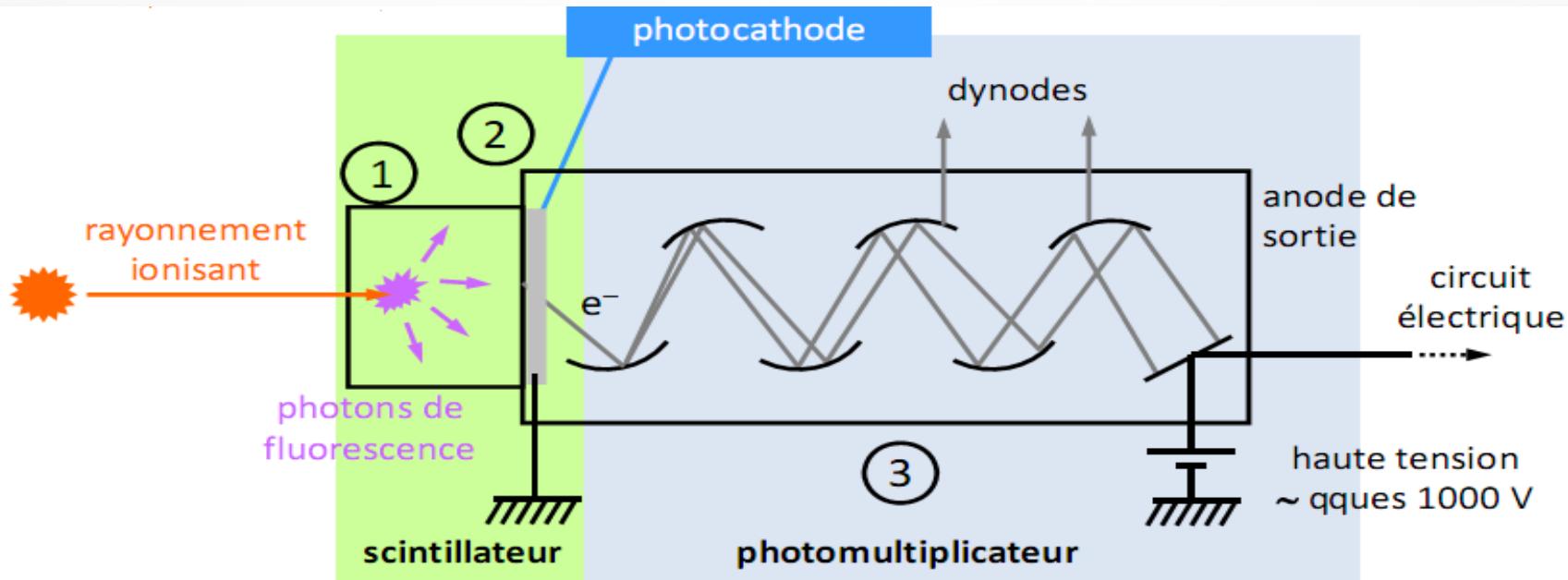
- Convertir des photons de forte énergie en photons proche UV
- 1 photon gamma donne X photons proche UV
- Photon gamma doit céder toute son énergie au scintillateur
- Effet Photoélectrique

Proba d'être détecté

DÉTECTEURS MESURANT L'ÉNERGIE DES RAYONNEMENTS

DÉTECTEUR À SCINTILLATION

SCHÉMA DE PRINCIPE

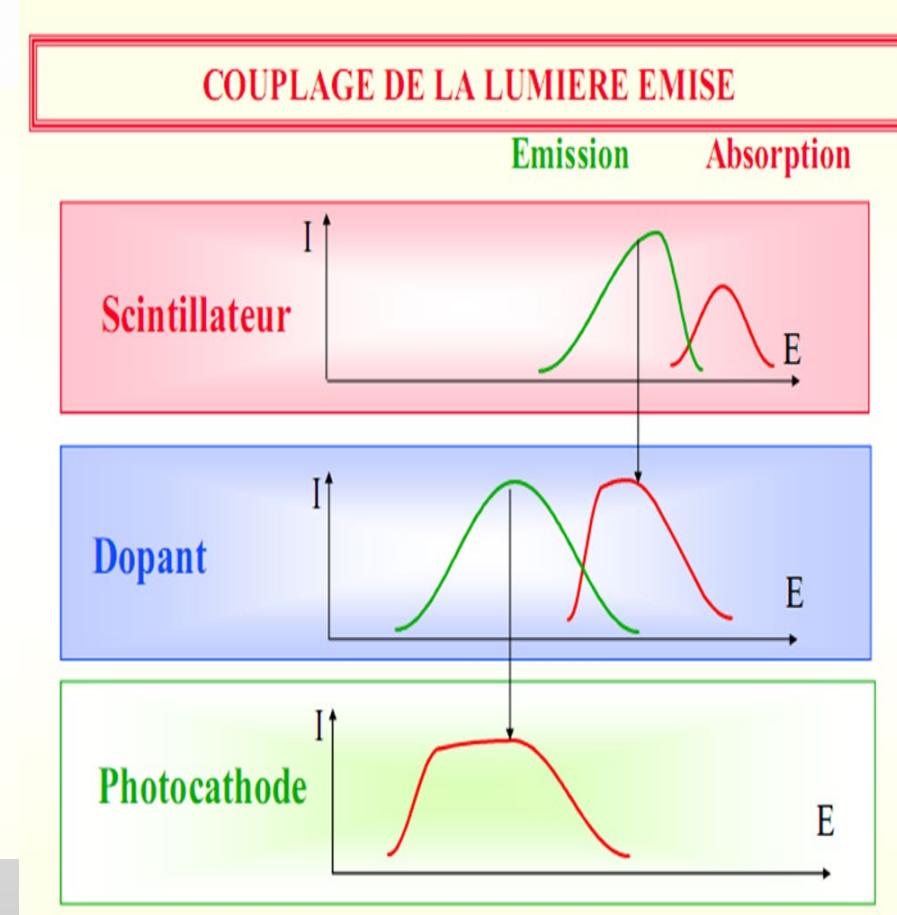
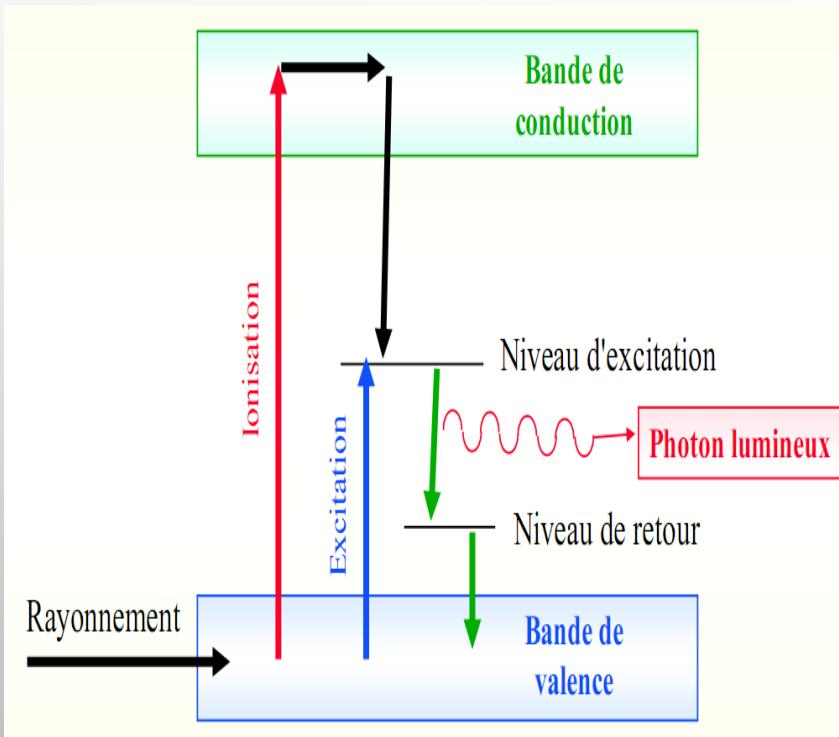


- ① scintillation : les rayonnements ionisants excitent les atomes du matériau qui se désexcitent en émettant des photons
- ② effet photoélectrique : un photon arrache un e^- de la photocathode
- ③ multiplication des électrons puis recueil du signal électrique

DÉTECTEURS MESURANT L'ÉNERGIE DES RAYONNEMENTS

DÉTECTEUR À SCINTILLATION

MÉCANISME DE SCINTILLATION



DÉTECTEUR À SCINTILLATION

PROPRIÉTÉS DU SCINTILLATEUR IDÉAL

- Grande efficacité de la conversion de l'énergie cinétique des particules chargées en photon. Cette conversion doit être linéaire dans une gamme étendue d'énergie,
- Transparence du milieu à la longueur d'onde des photons émis pour une bonne collection de la lumière.
- Temps de vie moyenne de la luminescence induite bref pour détecter des signaux rapides.
- Le matériau doit être réalisable en grande dimension et de bonne qualité optique.
- Son indice de réfraction doit être le plus proche possible de celui du verre [1,5] pour faciliter le couplage avec le photomultiplicateur.
- Un τ approprié.

DETECTEURS MESURANT L'ENERGIE DES RAYONNEMENTS

DÉTECTEUR À SCINTILLATION

EXEMPLES DE SCINTILLATEURS

Les systèmes de radio-détection per-opératoire

Sonde de comptage gamma



Sonde ou imageur beta



Imageur gamma

DETECTEURS MESURANT L'ENERGIE DES RAYONNEMENTS

DÉTECTEUR À SCINTILLATION

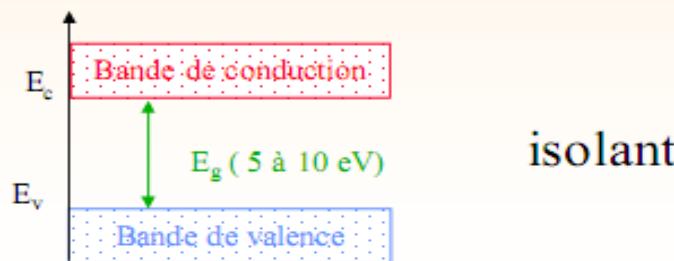
DIFFÉRENTS TYPES DE SCINTILLATEURS

Rayonnements	Scintillateur	Photomultiplicateur
Photons	NaI(Tl)	
Betas	Polystyrène	
Alphas	ZnS	
Photons Betas Alphas	Scintillation Liquide	

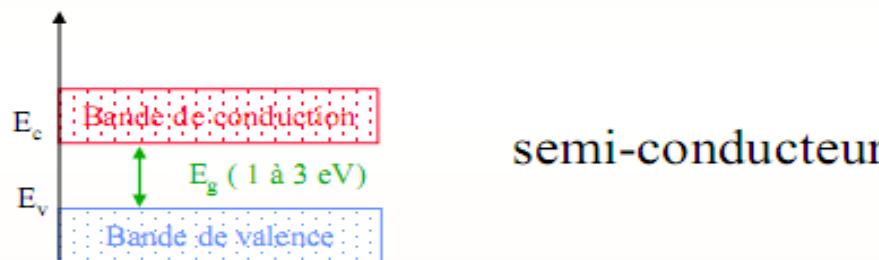
DÉTECTEURS MESURANT L'ÉNERGIE DES RAYONNEMENTS

DÉTECTEUR À SEMI-CONDUCTEUR

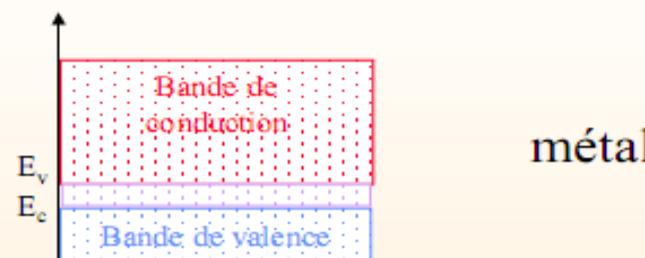
SCHEMA DE BANDES D'ENERGIE



isolant



semi-conducteur



métal

LES SEMI-CONDUCTEURS

- Les détecteurs de type anger sont proches de la limite physique de leurs performances :
 - résolution en énergie
 - taux de comptage
 - résolution spatiale
- Les atouts des détecteurs à semi-conducteur
 - amélioration du contraste des images
 - augmentation de la capacité de comptage
 - compacité & formes variables de détecteurs
 - diminution du poids et absence de zones mortes

DÉTECTEURS MESURANT L'ÉNERGIE DES RAYONNEMENTS

DÉTECTEUR À SEMI-CONDUCTEUR

- **semi-conducteurs:** matériau à conductivité électrique intermédiaire entre isolant et métal (conducteur)

- basse énergie: isolant
- haute énergie: conducteur

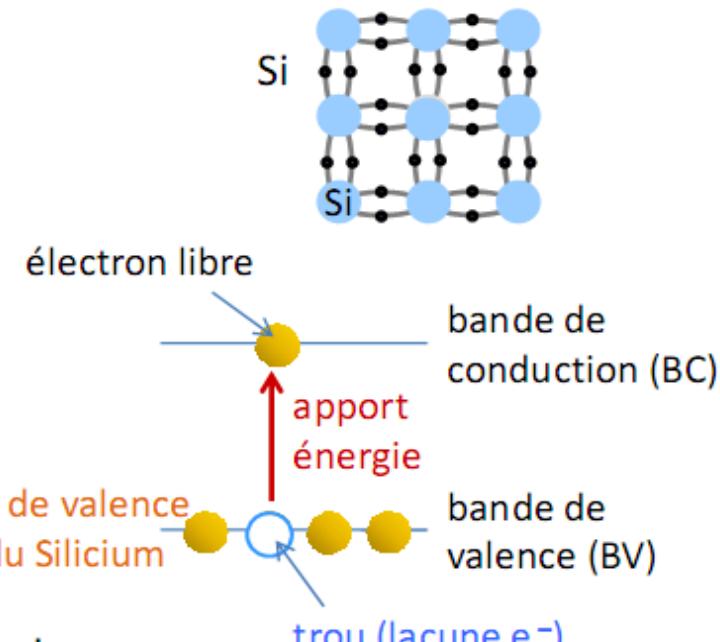
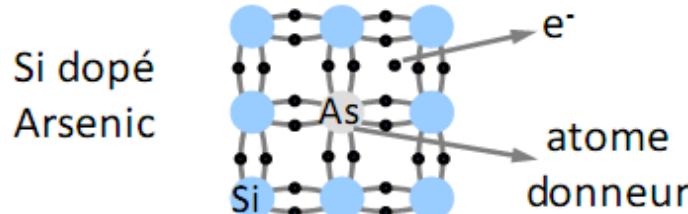
● semi-conducteur intrinsèque (silicium)

- 2 types de porteurs de courant:
électrons libres et **trous**

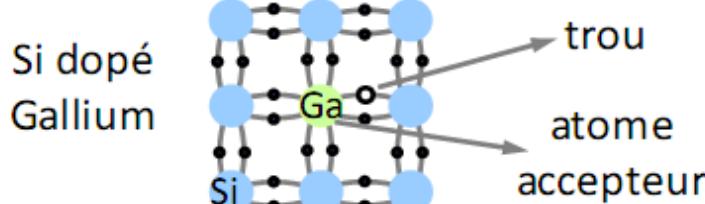
● semi-conducteur dopés

- impuretés qui modifient le nombre de porteurs

Dopage de type N (excès e^- - négatif)



Dopage de type P (excès trous - positif)

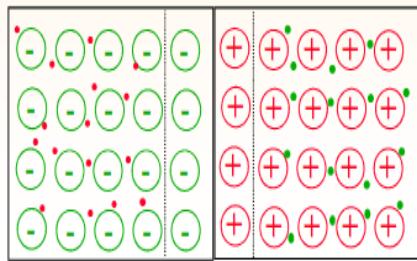


DÉTECTEURS MESURANT L'ÉNERGIE DES RAYONNEMENTS

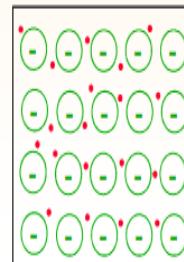
DÉTECTEUR À SEMI-CONDUCTEUR

JONCTION ABRUPTE

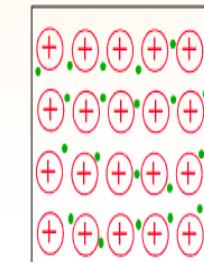
DIODE NON
POLARISÉE



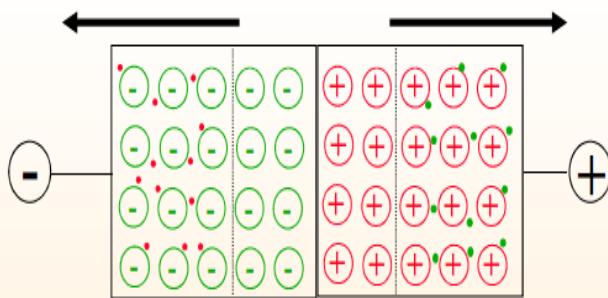
Type p



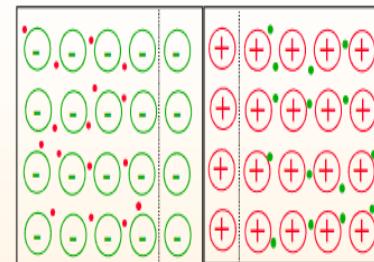
Type n



DIODE POLARISÉE EN INVERSE

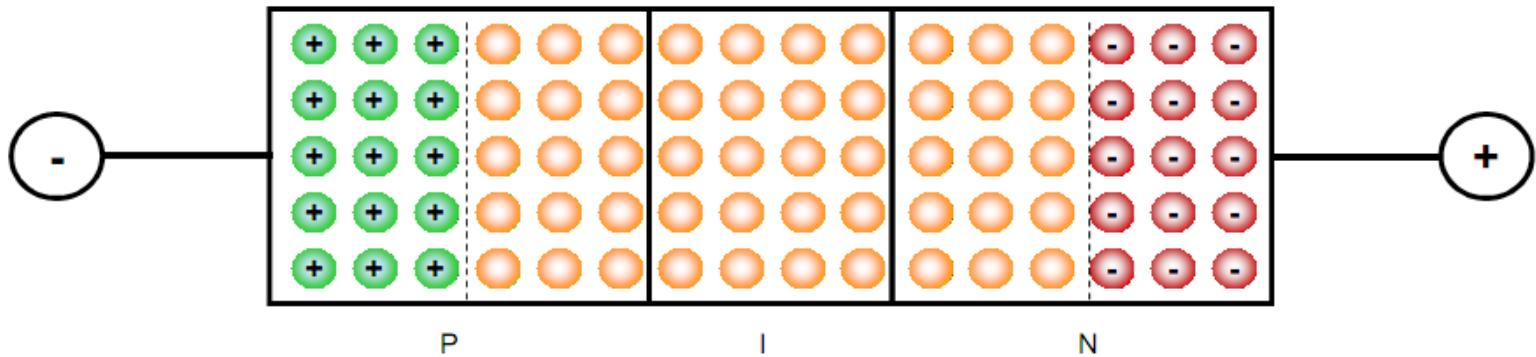


DIODE NON POLARISÉE



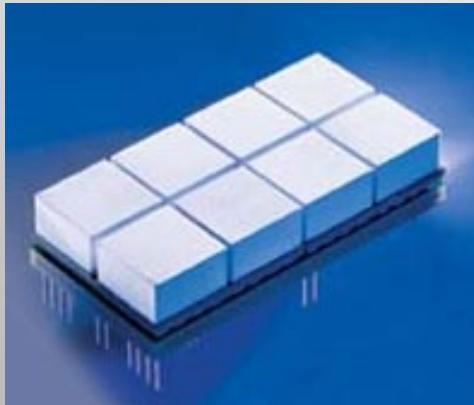
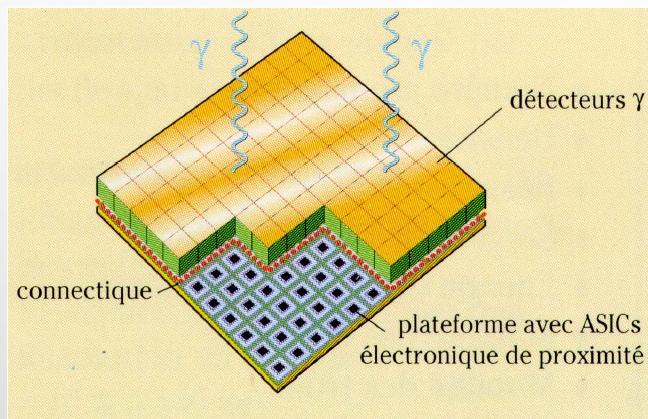
DÉTECTEURS MESURANT L'ENERGIE DES RAYONNEMENTS

DÉTECTEUR À SEMI-CONDUCTEUR JONCTION P-I-N (PIN)



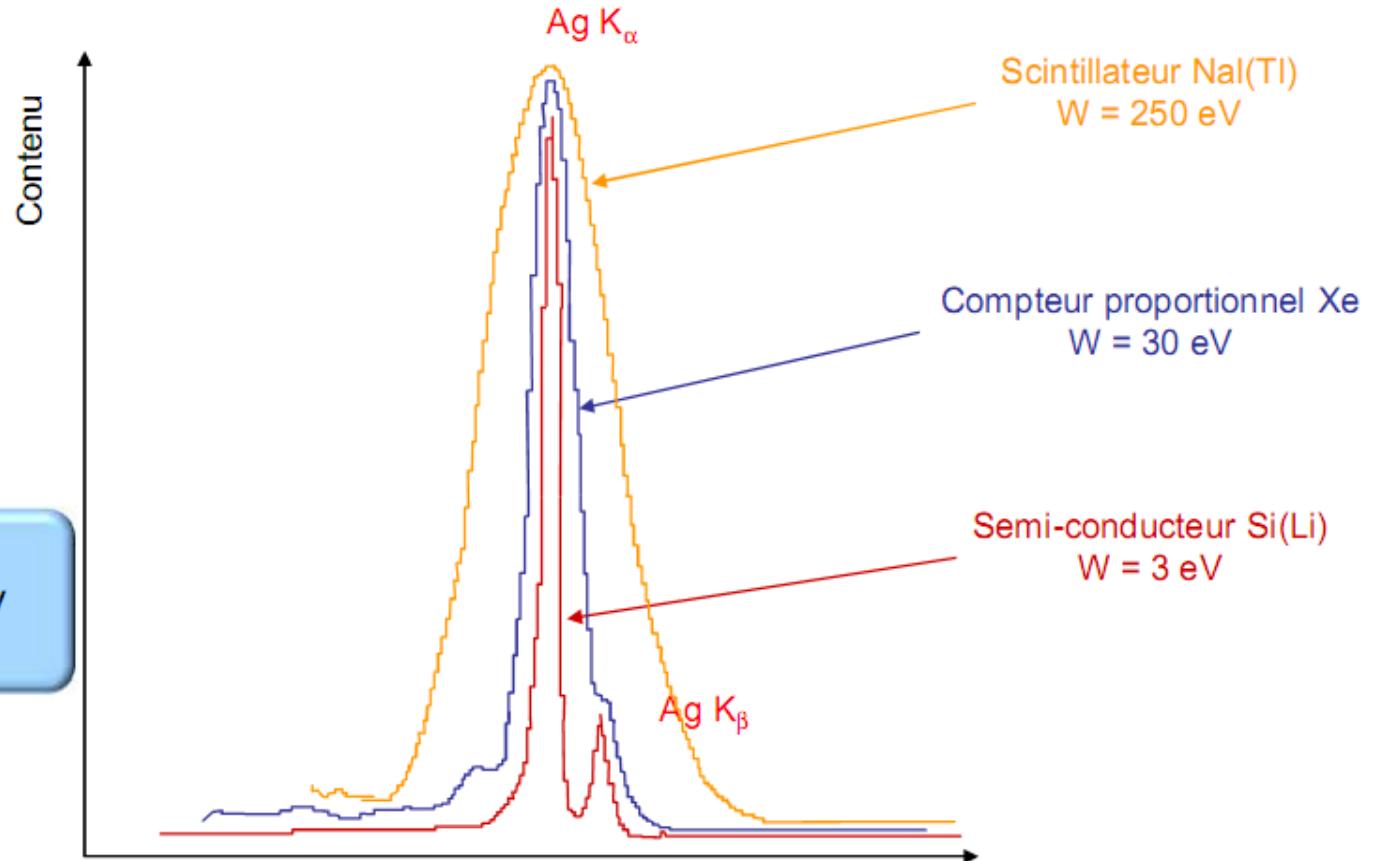
- Lithium :
 - Type donneur (n)
 - Très haut coefficient de diffusion
 - Formation de paires avec les impuretés de type p
- Si(Li), Ge(Li)

CAMÉRA À SEMI-CONDUCTEUR



COMPARATIF SUR LES DÉTECTEURS DE RAYONNEMENTS

Comparaison : résolution



COMPARATIF SUR LES DÉTECTEURS DE RAYONNEMENTS

Détecteur semi-conducteur refroidi

Ge HP, Ge(Li), Si(Li)

Avantages

- Bonne résolution
- Grande stabilité

Inconvénients

- Cryostat LN2
- Encombrement
- Prix

Sonde à scintillation

NaI(Tl), BGO, BaF₂, Cs(Tl)

Avantages

- Faible coût
- Grande efficacité
- Grandes dimensions

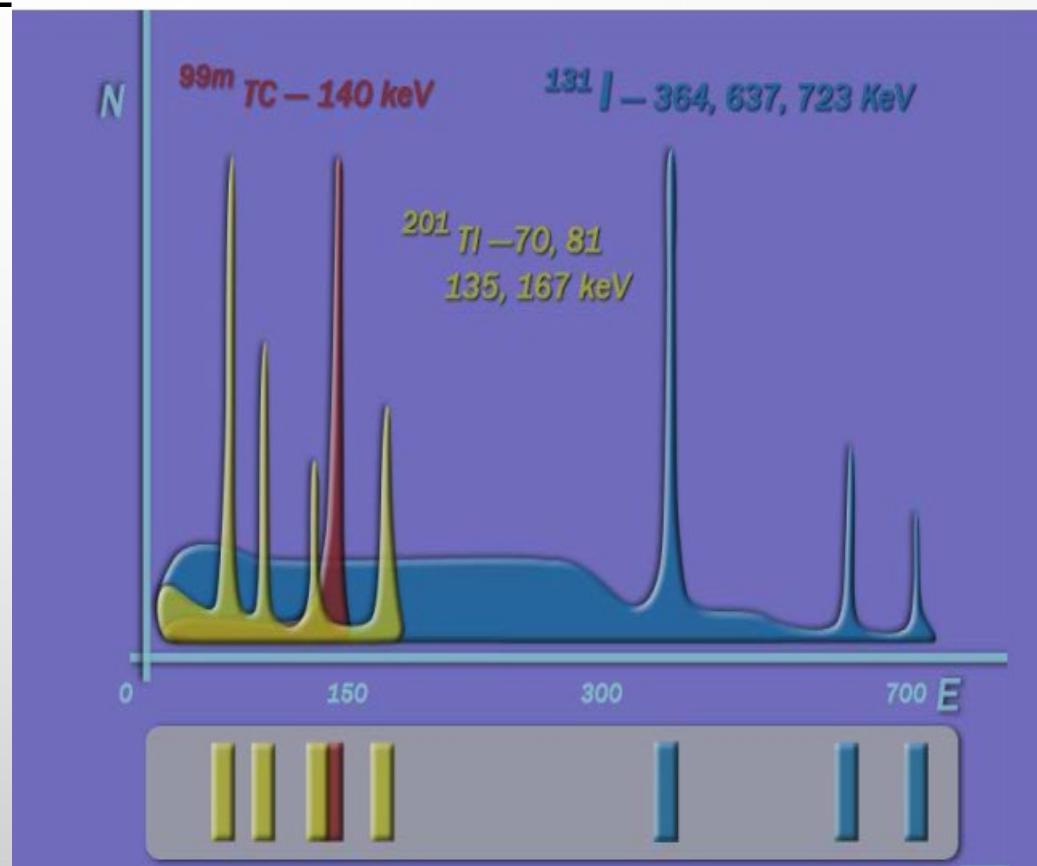
Inconvénients

- Mauvaise résolution
- Sensibilité (t°, H)
- Encombrement

DÉTECTEURS MESURANT L'ÉNERGIE DES RAYONNEMENTS

spectrométrie γ

- SPECTRE D'ÉNERGIE ABSORBÉ PAR LE DÉTECTEUR



LE SPECTROMETRE

- Il permet l'analyse de l'amplitude de l'impulsion de tension sortant du pm donc de connaître l'énergie du photon qui a atteint le détecteur.

Définition de la spectrométrie

C'est la mesure des impulsions proportionnelles à l'énergie délivrée dans le cristal par les photons x ou γ .

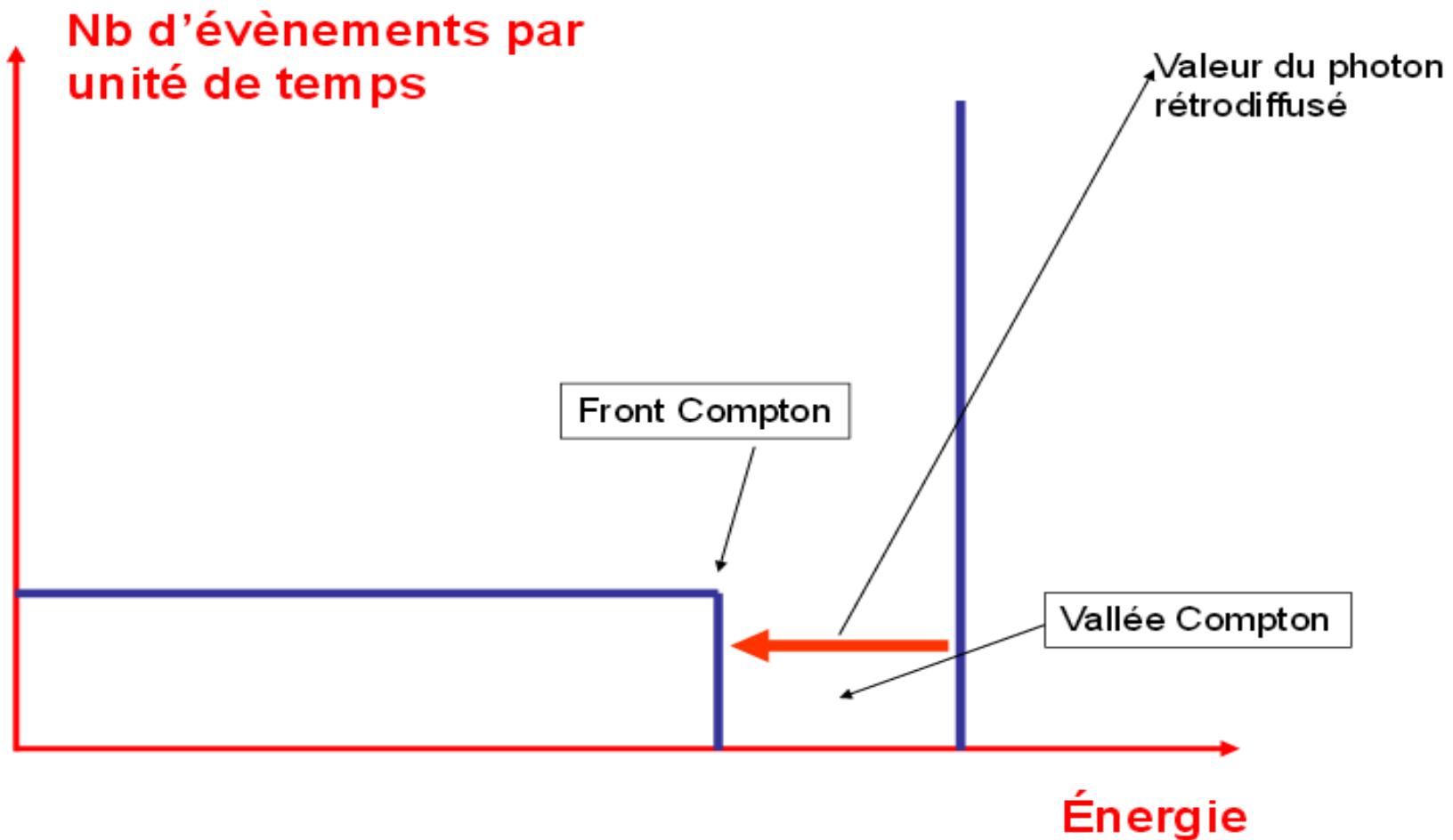
Les intérêts de la spectrométrie

Ils sont multiples :

- - éliminer le rayonnement diffusé.
- - améliorer le rapport signal sur bruit.
- - l'identification du radio-isotope car les pics d'absorption totale, de rétrodiffusion et d'échappement lui sont caractéristiques.
- - pouvoir acquérir pendant le même temps plusieurs images de radio-isotopes différents (détection multi pics).

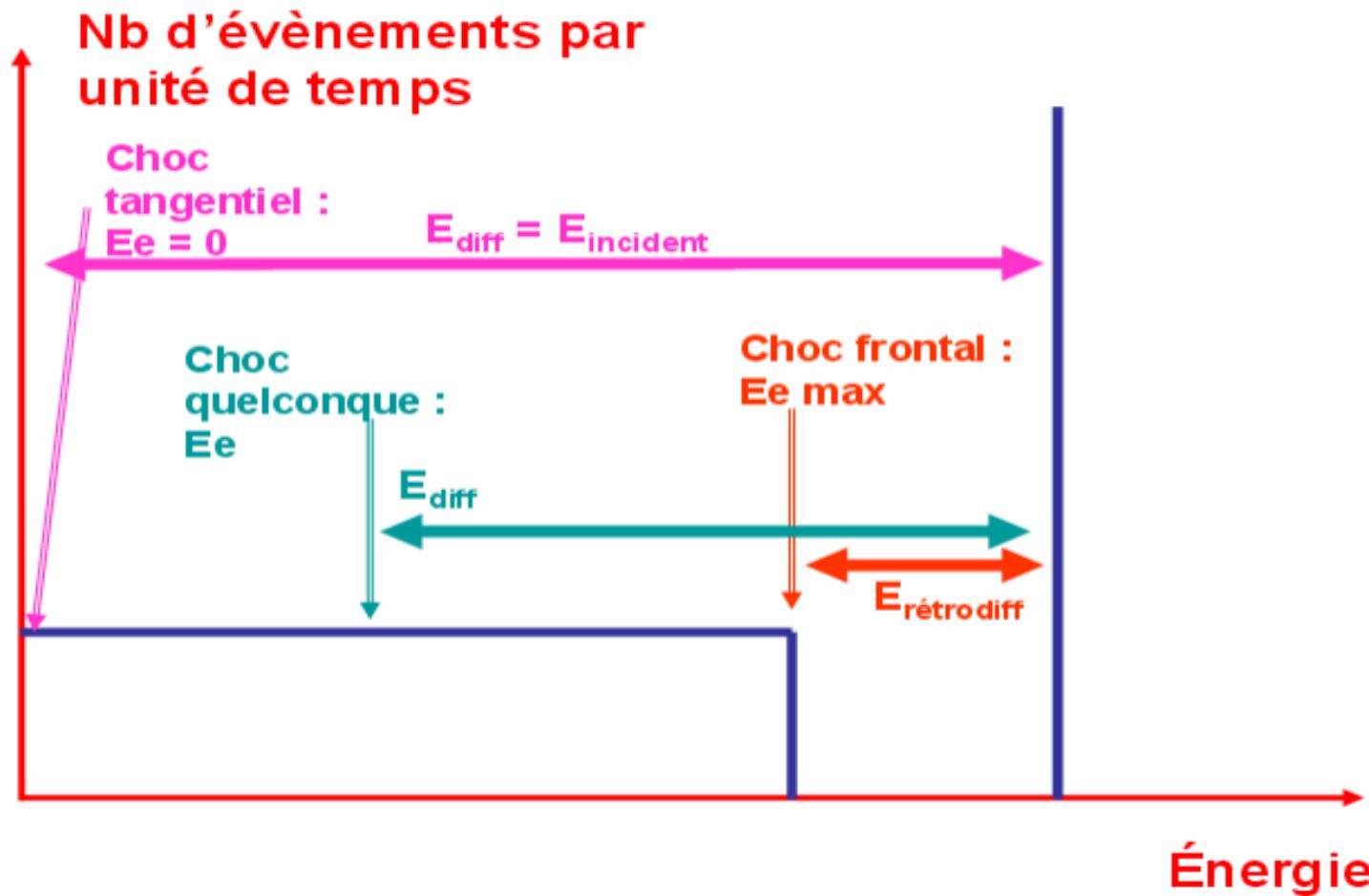
SPECTROMETRIE GAMMA

Spectre théorique



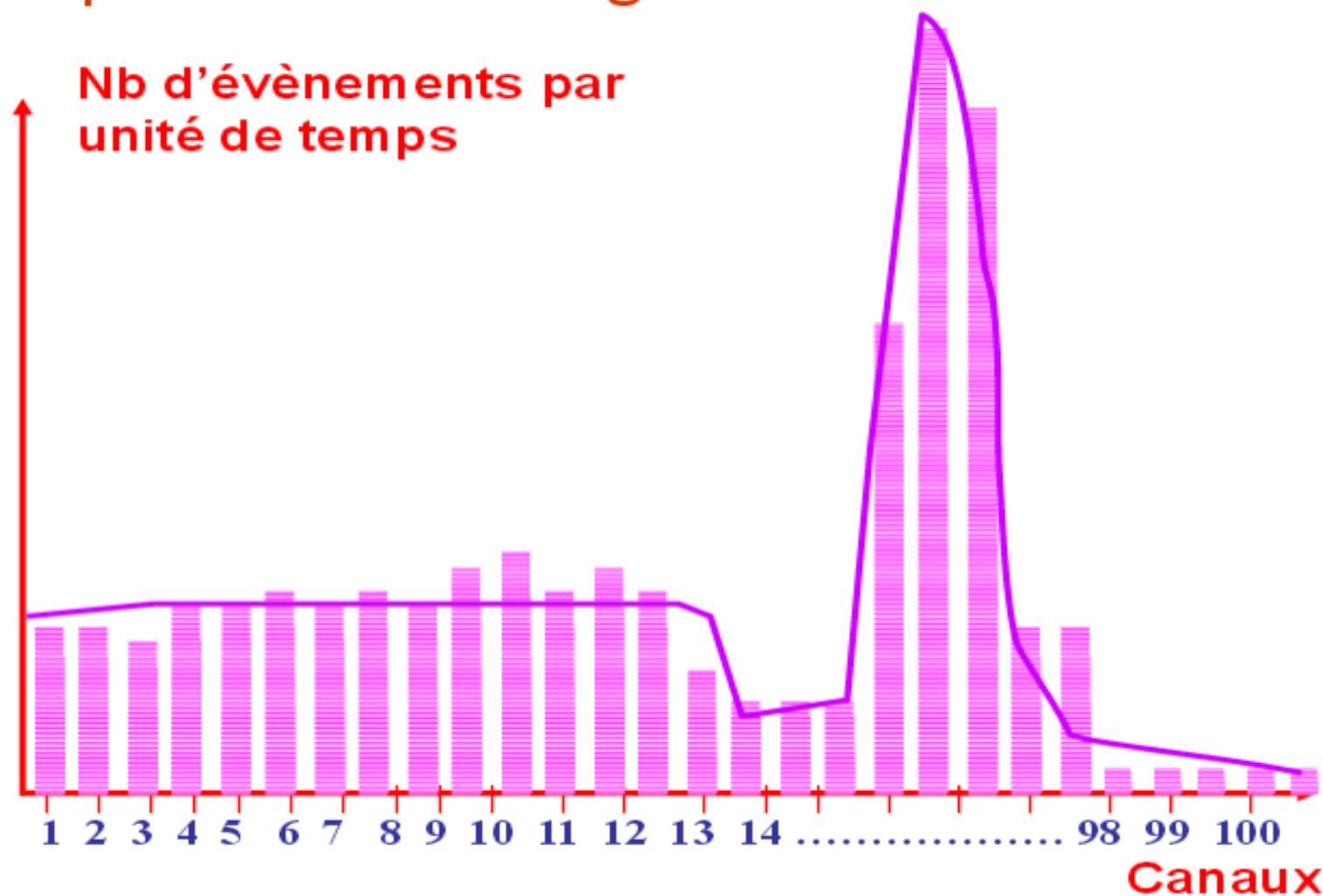
SPECTROMETRIE GAMMA

Spectre théorique



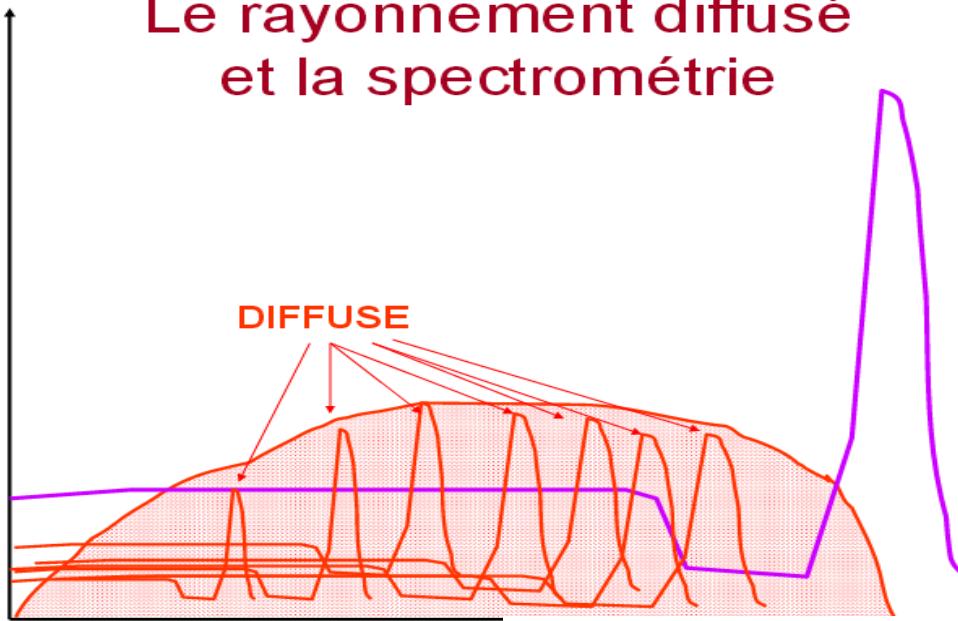
SPECTROMETRIE GAMMA

Spectre en énergie d'un détecteur



SPECTROMETRIE GAMMA

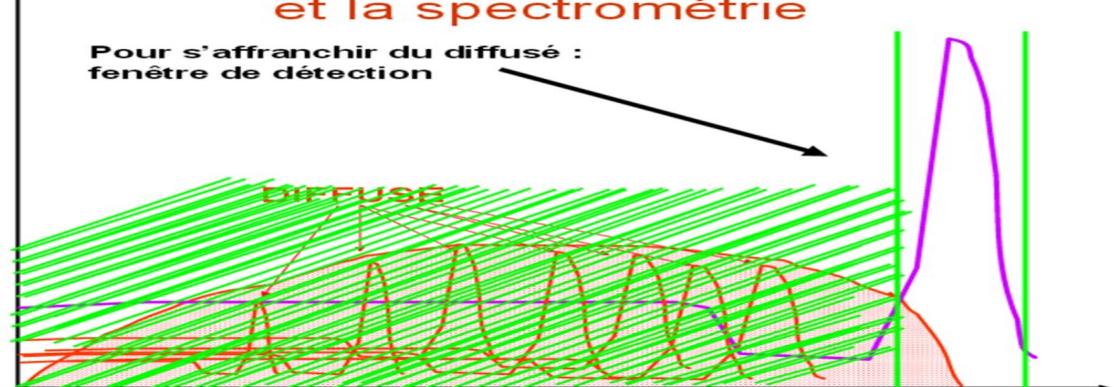
Le rayonnement diffusé et la spectrométrie



SPECTROMETRIE GAMMA

Le rayonnement diffusé et la spectrométrie

Pour s'affranchir du diffusé : fenêtre de détection



IDENTIFICATION D'UNE SOURCE RADIOACTIVE





FAMILLES DES DÉTECTEURS DE RAYONNEMENTS

Interaction :	Milieu détecteur	Information primaire recueillie :	Famille de détecteurs :
Ionisation des atomes et molécules	gaz solide (liquide)	Impulsion électrique ou courant	Compteurs gazeux Semi-conducteurs Détecteurs à étincelles
Excitation des atomes et molécules	liquide solide (gaz)	Flash de lumière	Scintillateurs organiques et inorganiques Ecrans fluorescents
Transformation chimique	liquide solide (gaz)	Nombre de molécules transformées Coloration	Dosimètres chimiques Dosimètres par coloration Emulsions photographiques
Piégeage des électrons dans des défauts	solide	Lumière ou particules émises après irradiation du milieu Coloration	Dosimètres radiothermoluminescents, radiophotoluminescents, par exoémission d'électrons ou par coloration
Création de défauts	solide	Nombre de traces	Détecteurs solides de traces Emulsions nucléaires
Dégénération de l'énergie sous forme calorifique	solide liquide	Elévation de température	Calorimètre - Bolomètre
Emission de lumière Cerenkov	liquide (solide)	Trace lumineuse	Détecteurs Cerenkov
Activation de noyaux	solide (liquide)	Rayonnements émis par les atomes activés	Détecteurs par activation
Changement de phase	gaz liquide solide	Lieu(x) d'interaction de particules	Détecteurs à bulles Chambres à brouillard

DETECTION à EMULSION :

C'est le principe de l'impression des films radiologiques. Les RI provoquent des oxydations et réductions dans les émulsions photographiques qui sont à base de chlorure d'argent (AgCl). Apres développement les zones d'irradiations apparaissent témoignant de la présence du rayonnement.

DETECTION THERMIQUE :

Certains cristaux soumis à des RI émettent de la lumière lorsqu'ils sont chauffés. Cette lumière est proportionnelle à la dose de Ri reçue par le cristal. C'est le principe des dosimètres thermoluminescent.

DOSIMÈTRES ET APPLICATIONS



RAPPORT DE CONTRÔLE INDIVIDUEL									
Destinataire des dosimètres			Destinataire des résultats						
Porteur n° 497560				Pour la période: Année 2007					
Nicole									
CHU BORDEAUX				Monsieur le Médecin du Tra					
MME SCE HED NUCLEAIRE				DÉP DU TRA					
Subdivision:				CHU BORDEAUX					
33076 BORDEAUX				HOPITAL PELLERIN					
FRANCE				PLACE AMELIE RADA LÉON					
F0010143				23076 BORDEAUX					
				FRANCE					
Periodique des dosimètres (1)									
Exposition									
36	h		Prototypé	Peau	Nuancier				
0307	0007	InLight	Polaris	M	M				
0407	0407	InLight	Polaris	M	M				
0507	0507	InLight	Polaris	M	M				
0607	0607	InLight	Polaris	H	H				
0707	0707	InLight	Polaris	H	H				
0807	0807	InLight	Polaris	H	H				
0907	0907	InLight	Polaris	H	H				
1007	1007	InLight	Polaris	H	H				
1107	1107	InLight	Polaris	H	H				
1207	1207	InLight	Polaris	H	H				
Cumul total sur la période :									

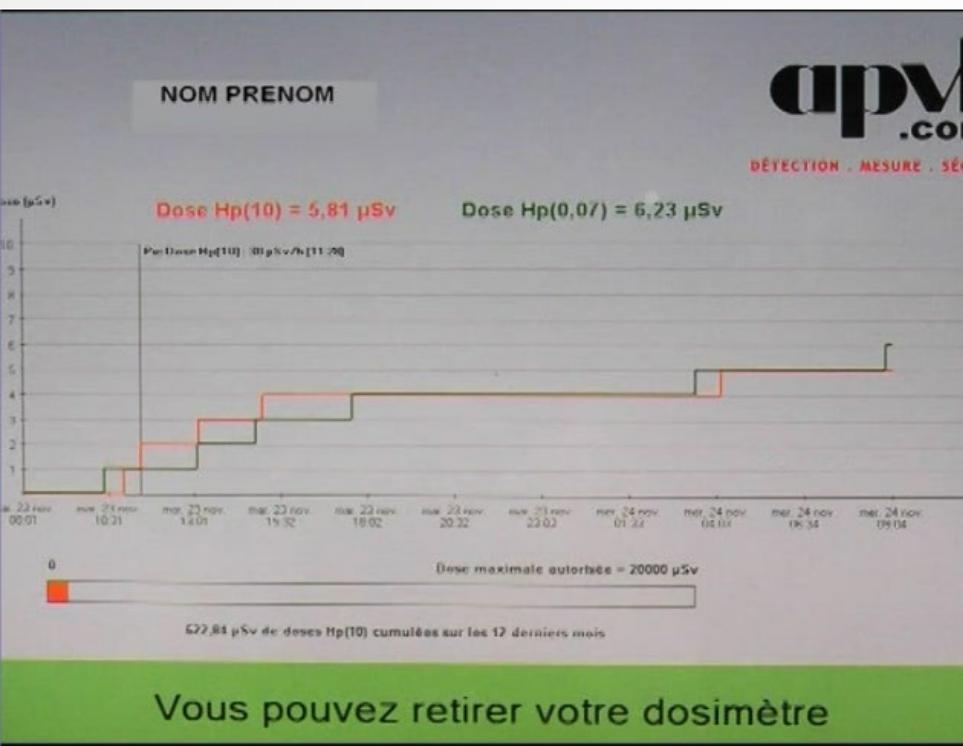
Réponse différée



Dosimètre RPL
(radio-photo-luminescent)

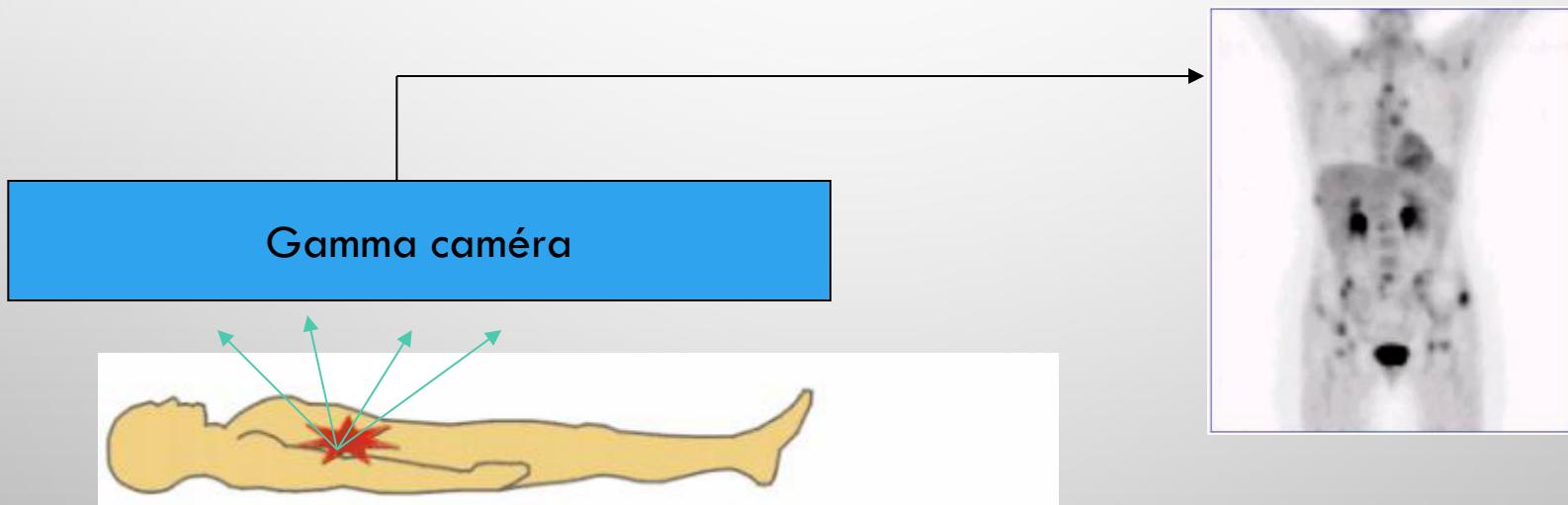


Dosimètre	Film	RPL
Sensibilité	0,2 mSv	0,05 mSv



LA GAMMA CAMÉRA

- Inventé par Anger en 1953
- Objectif : donner une image planaire représentant la projection de la concentration radioactive



CONSTITUTION DE LA TETE DE DETECTION

LA CHAÎNE DE DÉTECTION EN SCINTIGRAPHIE EST DANS L'ORDRE :

- une protection en plomb.
- un collimateur qui sélectionne la direction des photons gamma.
- un cristal I NA activé au thallium qui convertit les photons gamma en photons lumineux.

(SUITE)

- un guide de lumière permettant l'éclairage des photomultiplicateurs.
- un photomultiplicateur: détecte l'impulsion lumineuse et la transforme en impulsion électrique.
- un amplificateur.
- un circuit de positionnement

VUE D'ENSEMBLE

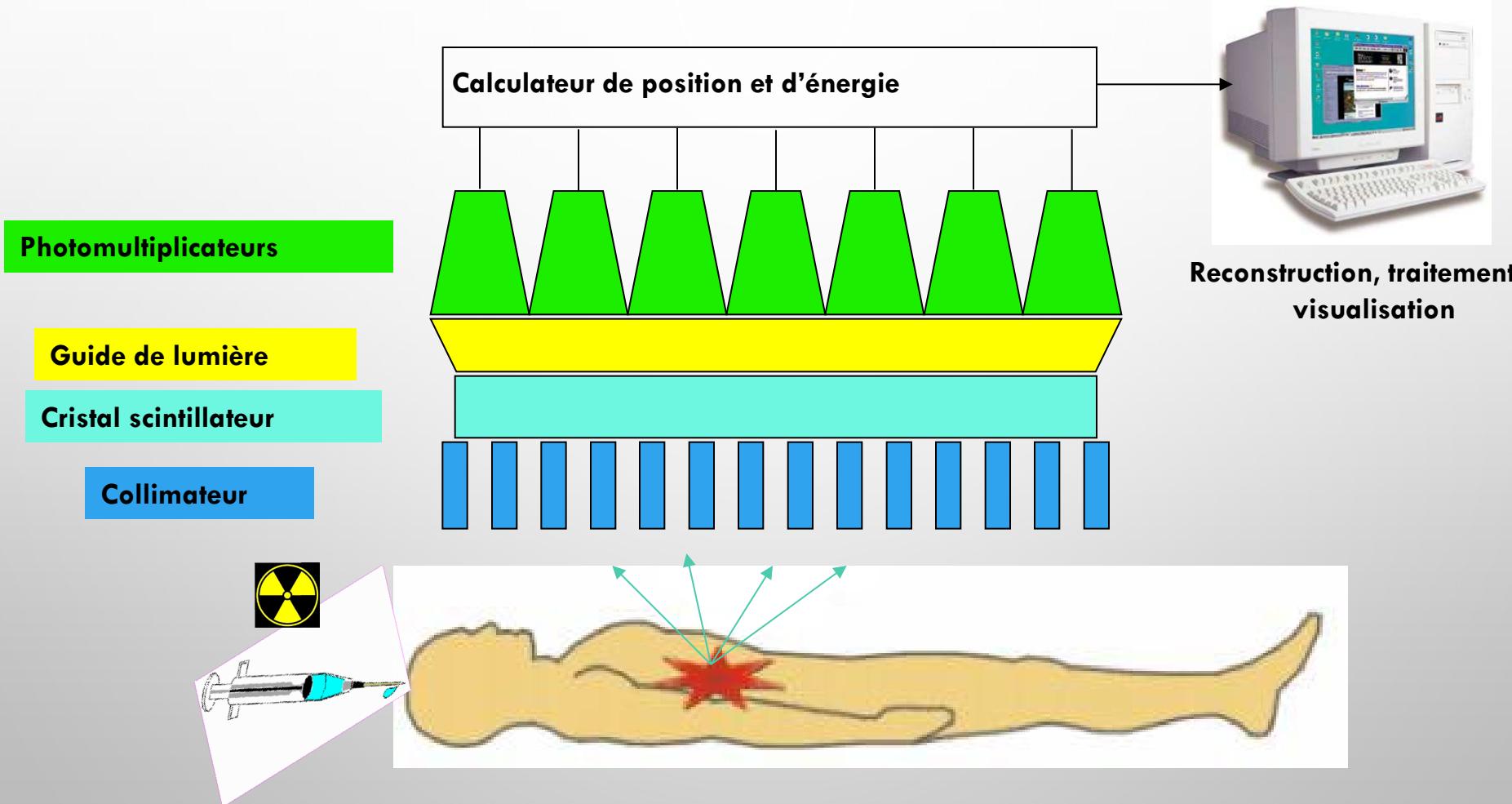
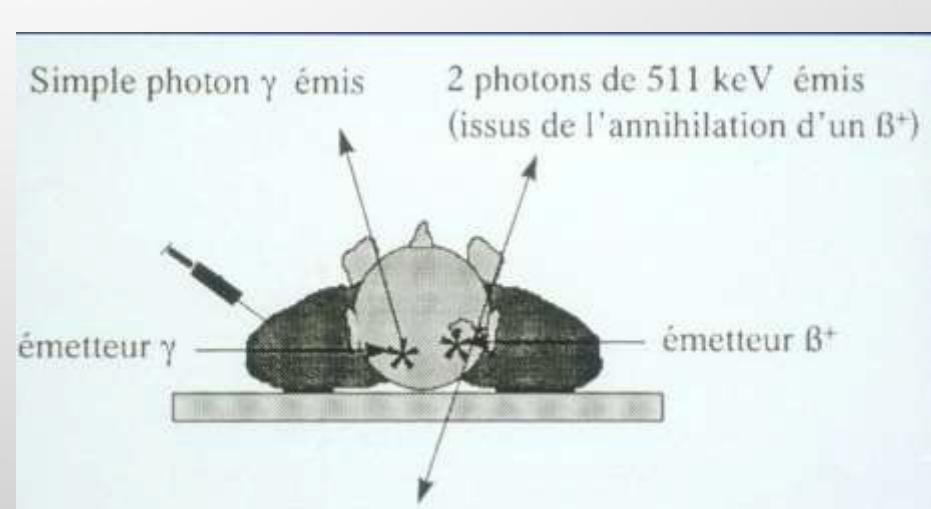
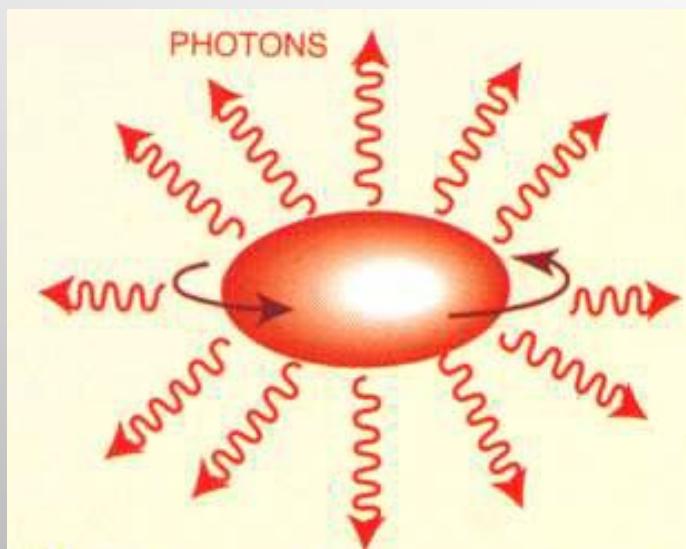


IMAGE scintigraphique =

reproduction dans une **matrice bidimensionnelle** (2D) d'une **distribution spatiale tridimensionnelle** (3D) de radioactivité.



Le cristal

Son rôle est essentiel : il est de **convertir l'énergie des photons γ en énergie lumineuse (c'est un scintillateur solide).**

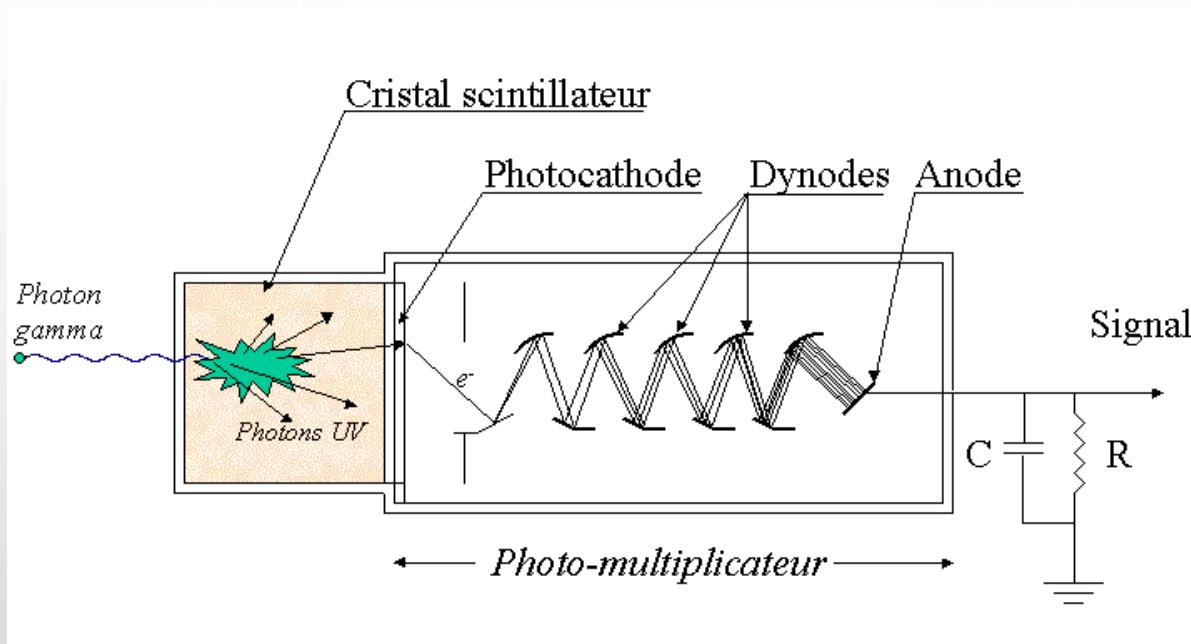
Il doit remplir plusieurs conditions : ...

le matériau qui réalise le meilleur compromis entre toutes ces conditions, est le iodure de sodium (NaI) "dopé" au thallium.

grâce au poids atomique de l'iode ($a=127$), le pouvoir absorbant est satisfaisant jusqu'à 300 keV ; la lumière réémise l'est sous forme de photons peu adaptés au rendement de la photocathode : c'est ce qui justifie la présence d'impuretés de thallium

en effet, le thallium吸orbe les photons émis par le NAI et réémet une fraction constante sous forme de photons ultraviolets de 3 eV (4150 Å) auxquels le cristal est transparent

PHOTO-MULTIPLICATEUR

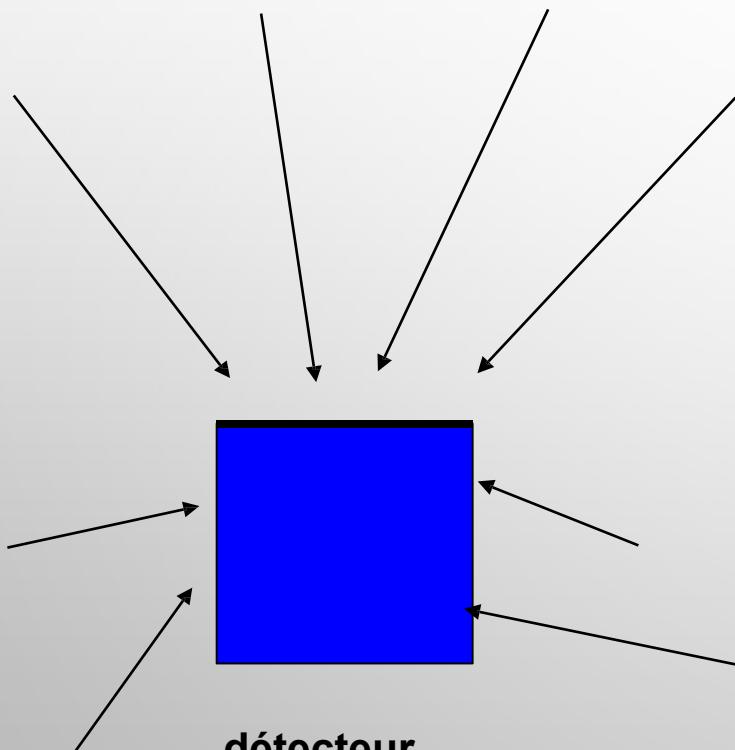


- 1 photon \rightarrow photocathode \rightarrow 1 électron (effet photoélectrique)
- 1 électron (accéléré par champ électrique) \rightarrow dynode \rightarrow N électrons
- Dizaine de dynodes \Rightarrow amplification de 10^7
- Courant total proportionnel à l'énergie du photon incident

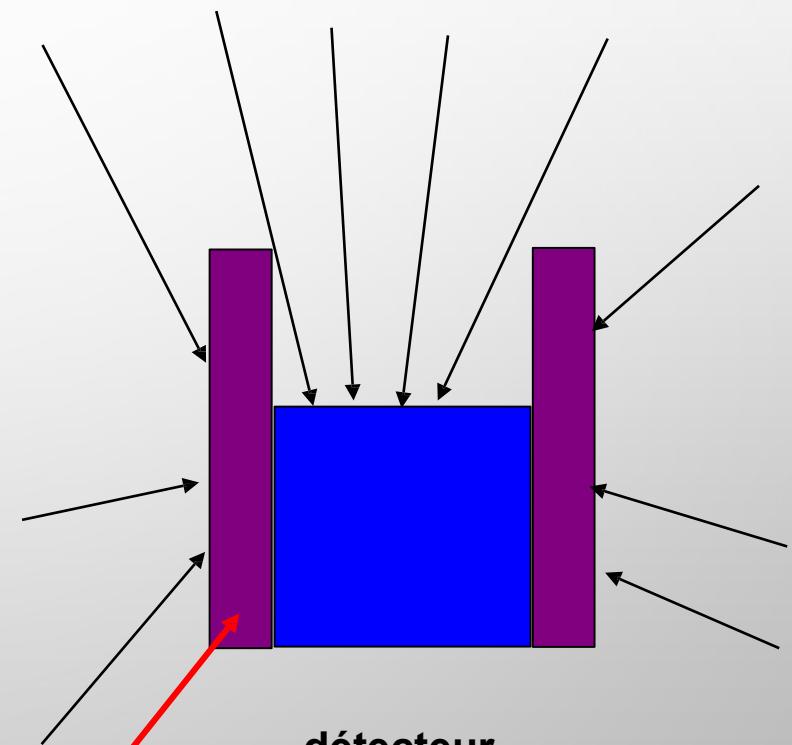
COLLIMATEUR

- Définir un champ de vue pour la localisation spatiale des sources radioactives
- Protéger le détecteur des irradiations parasites

sans collimateur



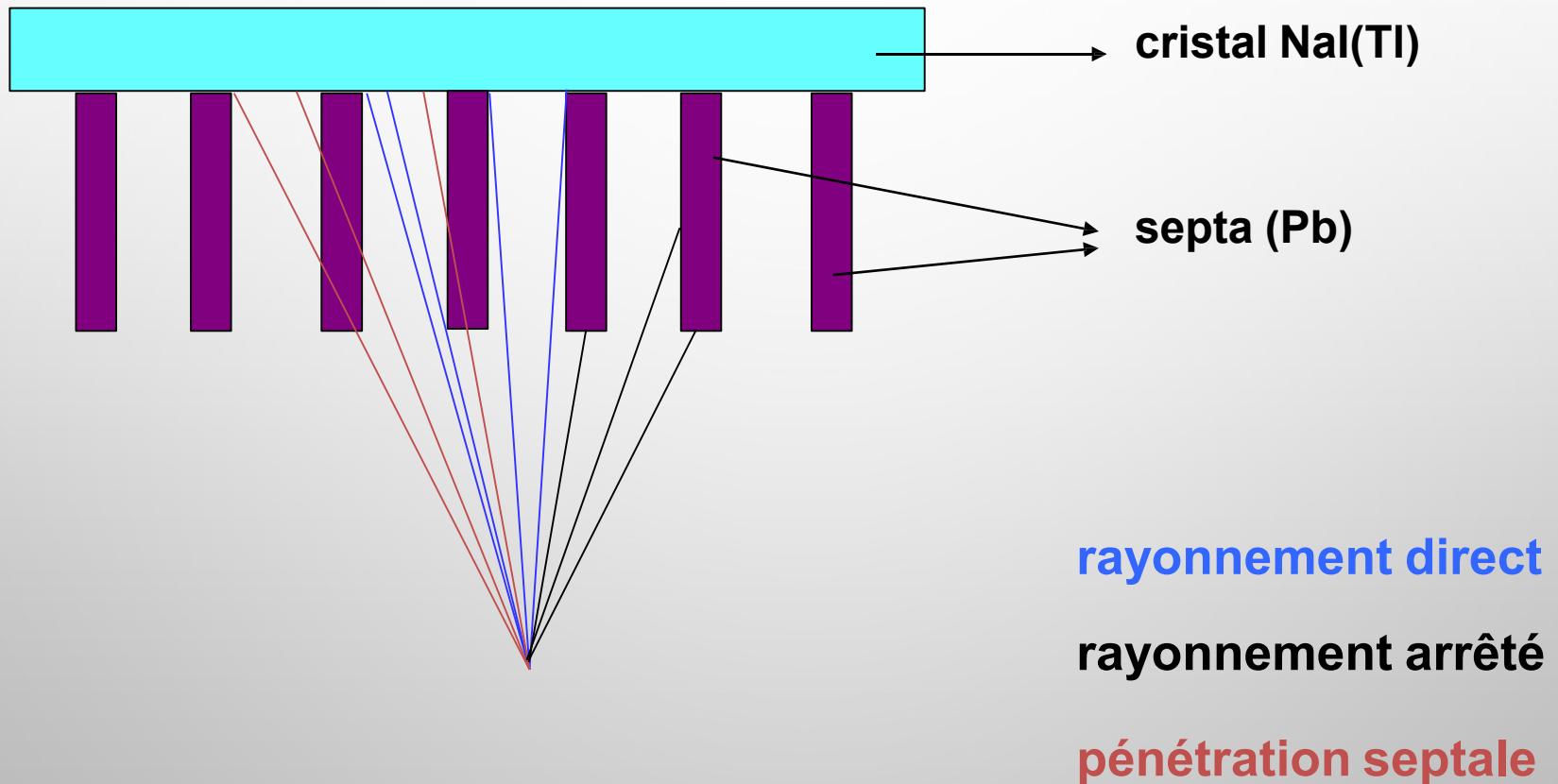
avec collimateur



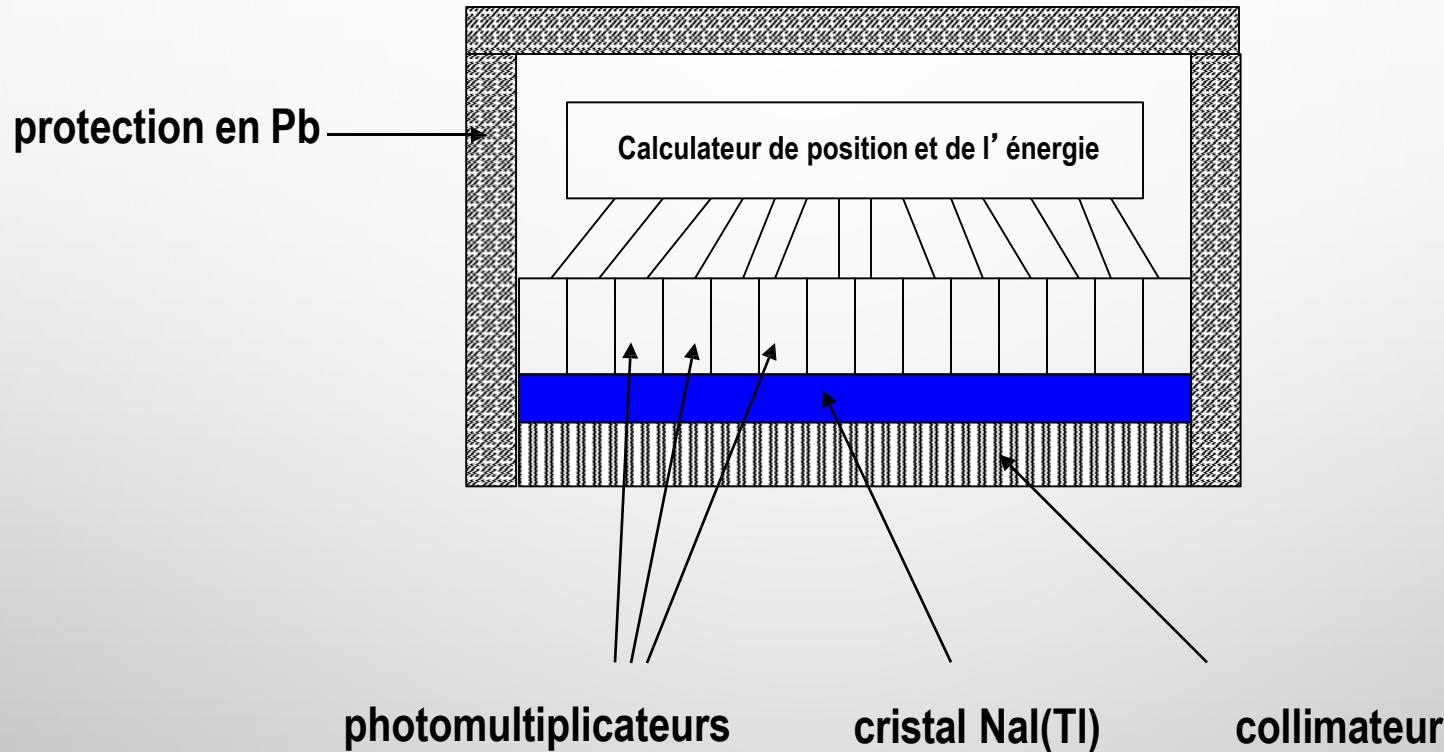
collimateur

COLLIMATEUR

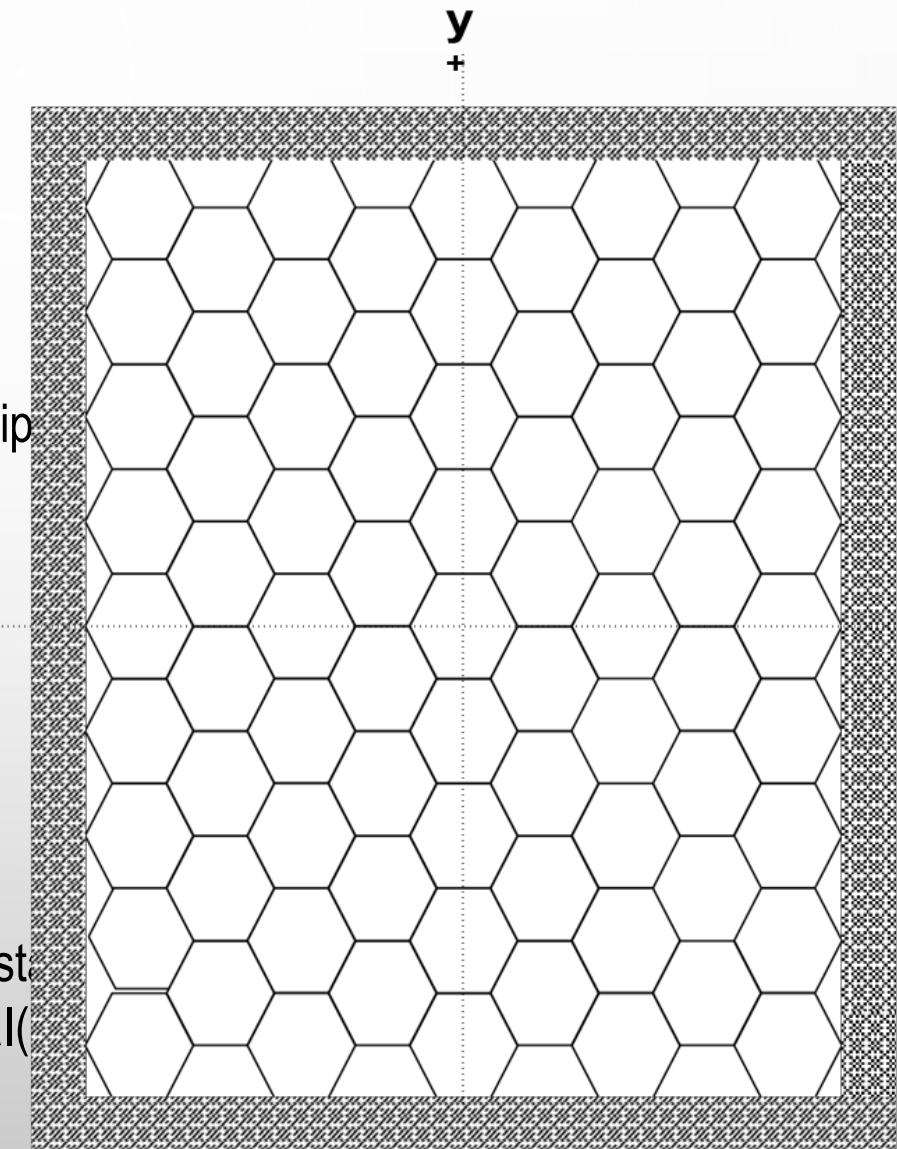
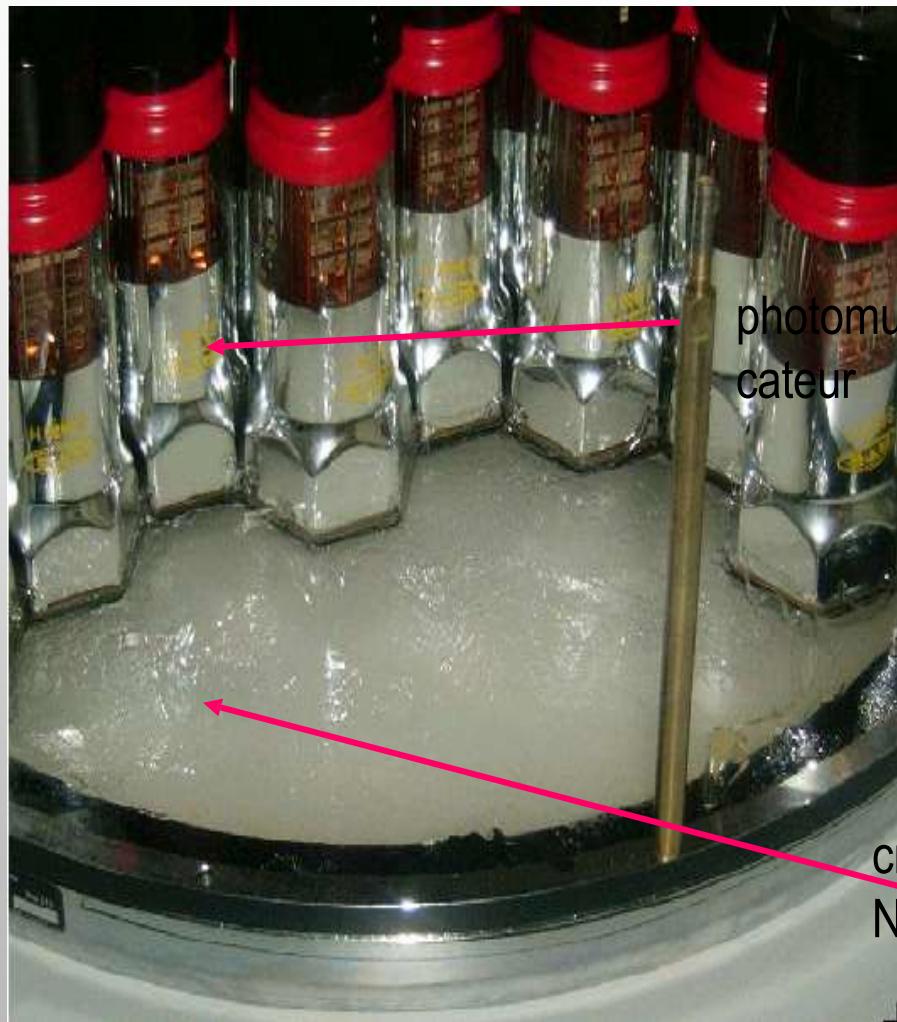
Principe de base du fonctionnement des collimateurs



TETE DE DETECTION



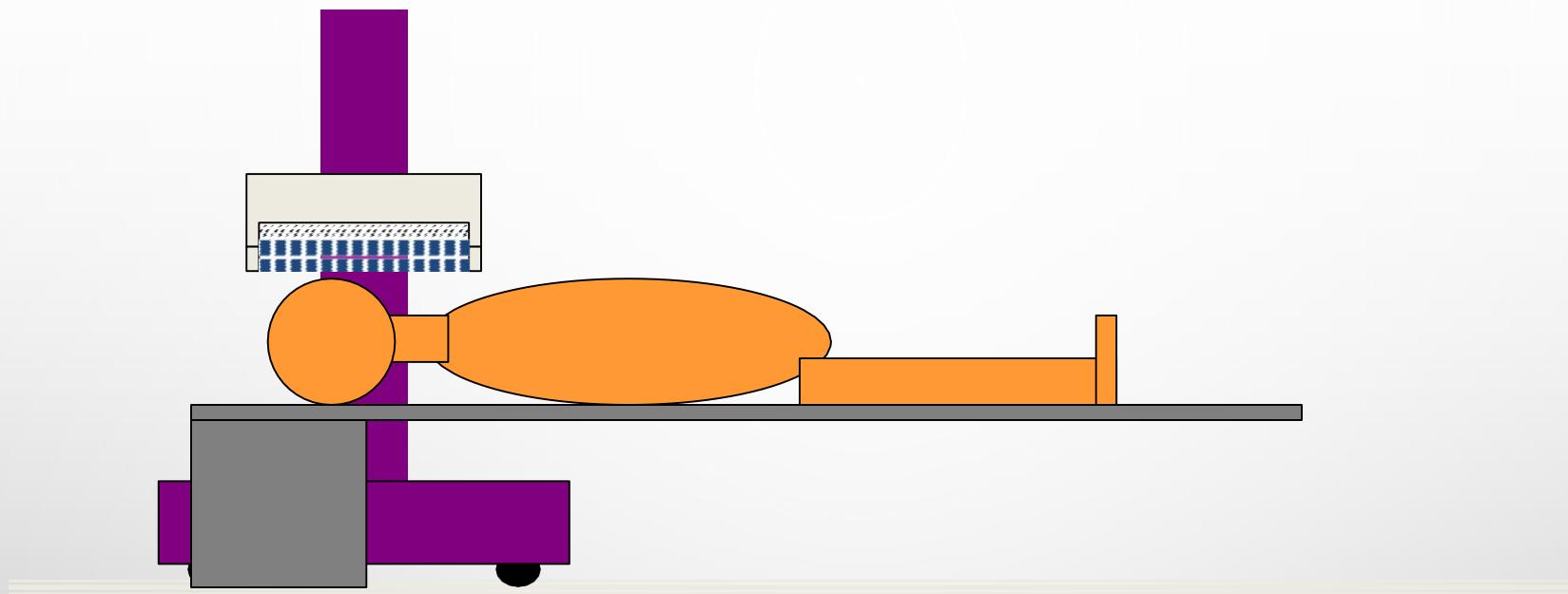
TETE DE DETECTION



Notion de proportionnalité

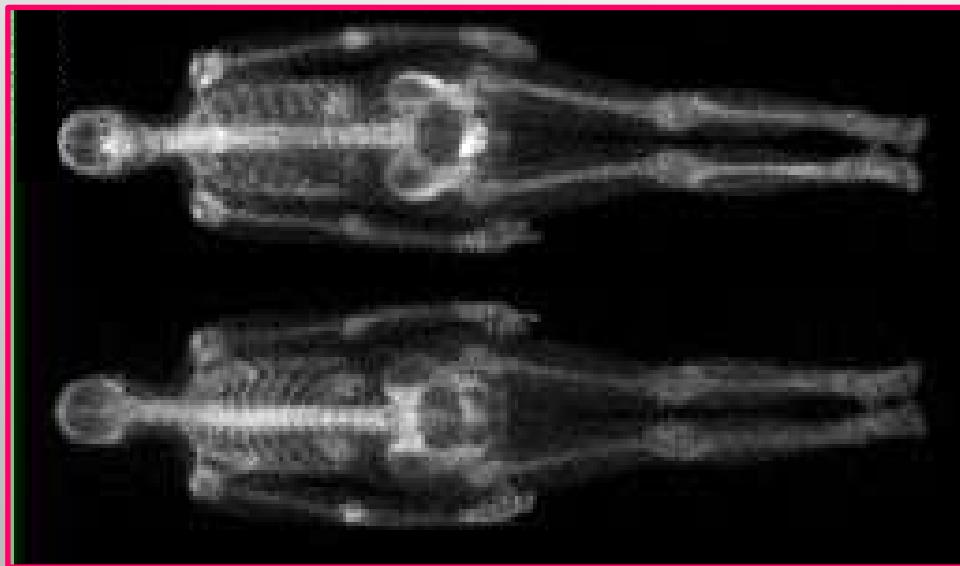
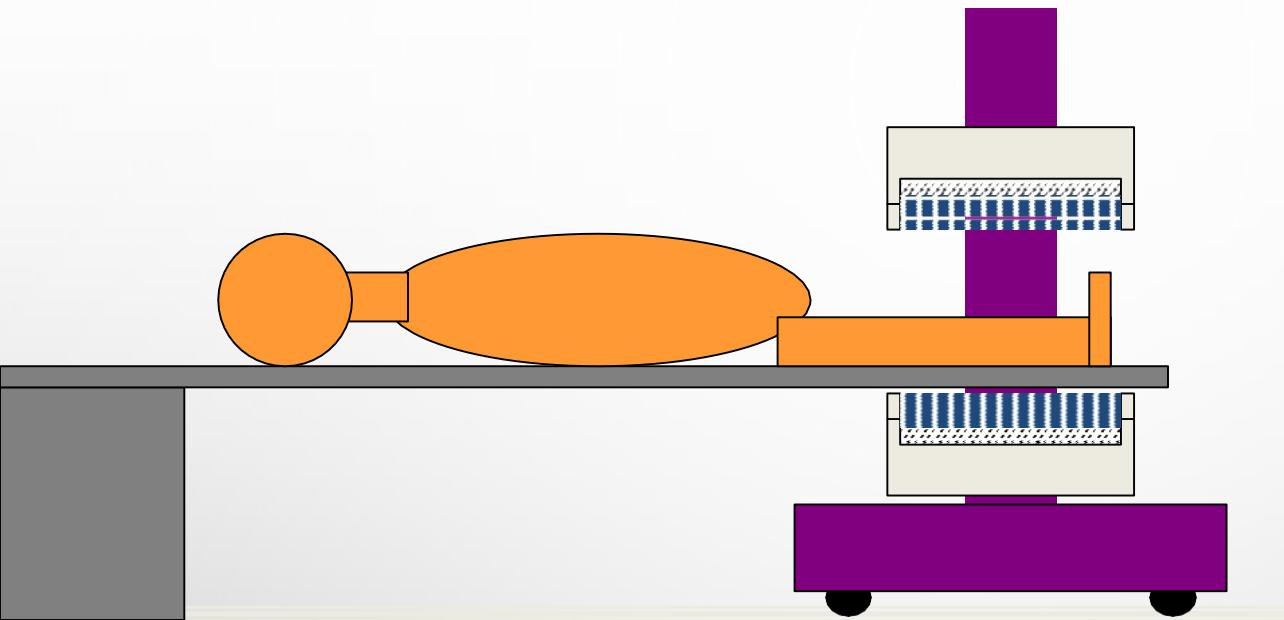
- Le nombre de photons lumineux générés dans le cristal est proportionnel à l'énergie déposée
- La fraction de photons qui atteignent la photocathode est constante
- La quantité d'électrons arrachés à la photocathode est proportionnelle à l'énergie lumineuse qui atteint celle-ci
- Cette proportionnalité est maintenue tout au long de la succession des dynodes de sorte que, finalement, l'amplitude de l'impulsion électrique à la sortie du pm est proportionnelle à l'énergie déposée par le photon γ incident

champs séparés

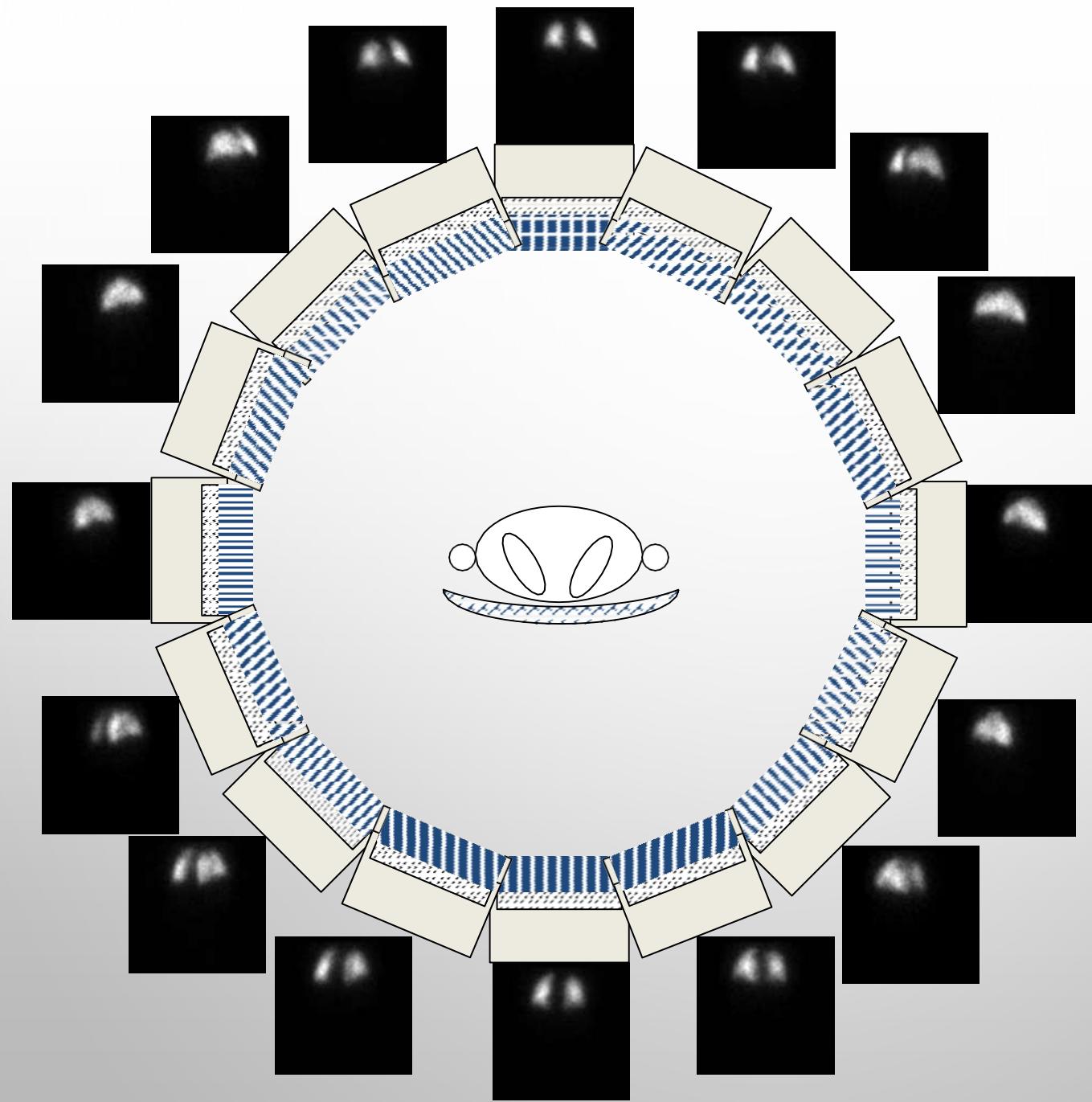


tête

GAMMA CAMERA



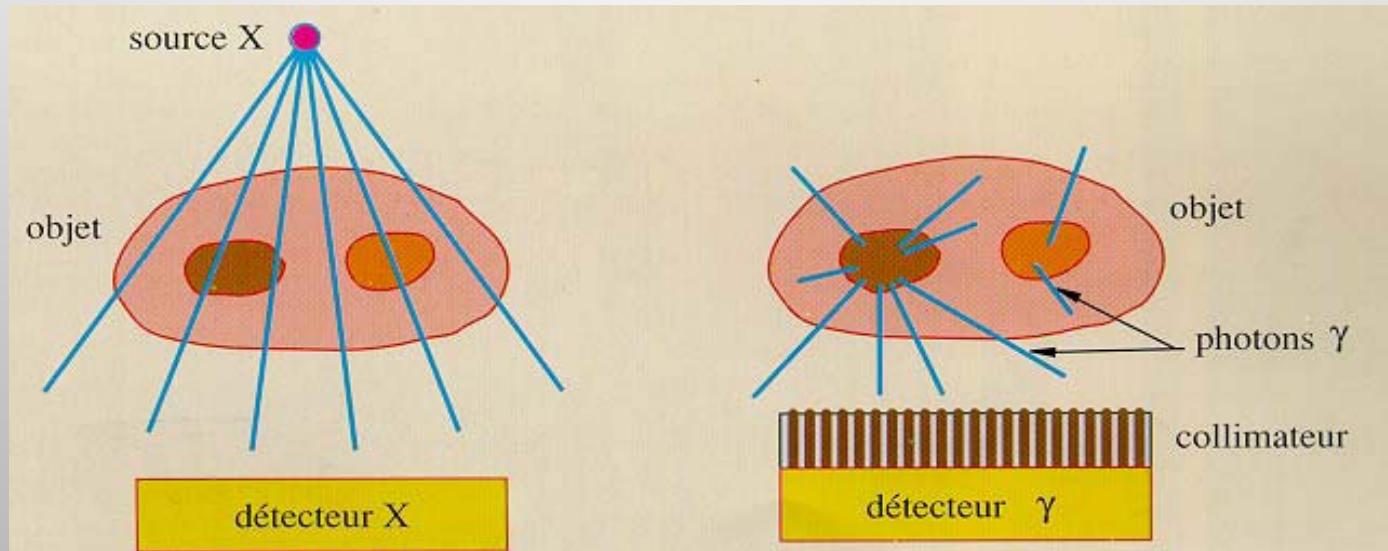
TEMP



DIFFÉRENCES AVEC LA RADIOGRAPHIE

	Radiographie	Scintigraphie
Débit de photons	Élevé ($>10^{12}$ / s)	Faible ($<10^5$ /s)
Durée d'examen	$\sim 1\text{s}$	10 à 20 min
Durée d'exposition	$\sim 1\text{s}$	10 à 72h
Irradiation	Comparable	
Dose / cliché	Proportionnelle	Indépendante
Renseignements	Anatomiques	Fonctionnels

Image de transmission vs image d'émission



BIBLIOGRAPHIE

Cours INSTRUMENTATION: Pr Pierre-Yves SALAUN Médecine Nucléaire et Biophysique CHRU Brest – UBO

Cours détection : Pelligrino INSTN, Saclay. paris

<http://spiral.univ-lyon1.fr/polycops/MedecineNucleaire/Imagerie/>

<http://www.univ-montp1.fr/biotech/MedecineNucleaire/>

RADIATION DETECTION AND MEASUREMENT

Glenn KNOLL

John WILEY & Sons 1989

RADIATION DETECTION

W.H. TAIT

BUTTERWORTHS 1980

LES MESURES DE RADIOACTIVITE A L'AIDE DES COMPTEURS A SCINTILLATION LIQUIDE

G. SIMONNET M.ORIA

EYROLLES 1986