

# Détection des rayonnements ionisants

***Pr. Malika ÇAOUI***

***Service de Médecine Nucléaire CHU  
International Cheikh Zaid***

***Faculté de Médecine et de Pharmacie - Rabat-***

# Plan du cours

- **La détection des RI**
- **Introduction sur l'utilisation des RI en imagerie médicale et en thérapeutique**
- **Les bases physiques de l'imagerie radiologique**
- **Les bases physiques de l'imagerie scintigraphique**
- **Les utilisations thérapeutiques des RI**
- **Principes fondamentaux de la radioprotection**

# Détection des RI

- **La détection c'est quoi?**
- **A quoi sert un détecteur?**
- **Comment est-il constitué?**
- **Comment fonctionne-t-il en général?**
- **Quels types de détecteurs utilise-t-on en médecine?**
- **Que doit retenir un étudiant en 1<sup>ère</sup> année médecine du cours de détection?**

# Objectifs du cours sur la détection

- Définir le principe général de la détection
- Décrire la Constitution générale d'un détecteur
- Définir les paramètres caractéristiques d'un détecteur
- Savoir expliquer le principe de fonctionnement :
  - des détecteurs mettant en jeu l'ionisation des gaz et du GM
  - des détecteurs à scintillations et surtout de la gamma caméra
  - des émulsions photographiques

# ***Généralités sur la détection***

- **Aucun de nos sens n'est sensible aux RI émis par une source\*.**
  - **Mais on peut déceler une irradiation en **exploitant** le résultat des interactions des RI avec la matière: ionisations et excitations**
  - **Effet est produit par perte de l'énergie: E**
  - **L'apparition et l'observation de cet effet : **principe de la détection****
  - **La détection se base donc sur :**
    - **Particules chargées**
    - **Rayts EM (X et  $\gamma$ )**
    - **Neutrons**
- |   |            |   |                                 |
|---|------------|---|---------------------------------|
| } | Ionisation | } | libération d'énergie détectable |
| } | Excitation |   |                                 |

# ***Principe de la détection***

- Détecteur est un capteur de RI où a lieu ***les interactions*** RI avec la matière. On obtient un signal d'information renseignant sur :
  - l'énergie, la date, la durée,
  - la position ou l'intensité
  - nature ou la vitesse de la particule
- RI: Interagit et cède une partie ou toute l'énergie: E
- ***Détecteurs*** : convertit E " invisible" de RI en signal mesurable


# Mode de fonctionnement

*Constitution générale d'un détecteur:* le principe sur lequel s'appuie la détection des RI, est toujours constitué des mêmes éléments pour tout type de détecteur.



**Affichage :**

- flux de particules : compteur ;
- énergie des particules : spectromètre ;
- dose absorbée (D), débit de dose absorbée: dosimètre ou débitmètre.



# Différencier détecter et mesurer

Il y a une distinction entre:

- *Détecter la présence de RI: simple*

- *Effectuer la mesure d'une grandeur de ces RI: Complexe*

- **Dénombrement**
- **Energie du RI**
- **Dose absorbé: D ou Débit de Dose absorbée...**
- **Actuellement la plupart des dispositifs sont à la fois des détecteurs et des appareils de mesure.**



# ***Classification des détecteurs***

- **Détecteurs mettant en jeu l'ionisation des gaz**
- **Détecteurs à scintillations: gamma caméra**
- **Détecteurs utilisant le noircissement des films photographiques**
- **Détecteurs à semi- conducteurs**
- **Détecteurs thermoluminescents**
- **Détecteurs photoluminescents**
- **Autres:**
  - **Dosimètres par résonance paramagnétique électronique**
  - **Dosimètres chimiques**
  - **Appareils mettant en jeu les méthodes calorimétriques...**

# ***Caractéristiques d'un détecteur***

***Les Paramètres générales qui caractérisent un détecteur sont:***

- ***Efficacité de détection***
- ***Temps mort***
- ***Mouvement propre:***
- ***Résolution en énergie***
- ***Caractéristiques géométriques:***

### ***a. Efficacité de détection E.D:***

Elle dépend de la nature et de l'énergie RI

$$E.D = \frac{\text{Nombre particules détectées}}{\text{Nombre particules reçues par détecteur}}$$

***2. Le temps mort :  $\tau$***  Plus petit intervalle de temps qui sépare deux informations pour être comptées individuellement par le système.

Si  $\tau$  court  $\rightarrow$  taux de comptage (TC)  $\nearrow \nearrow$

### ***3. Résolution en énergie :***

Caractérise la qualité du détecteur à séparer 2 énergies proches.

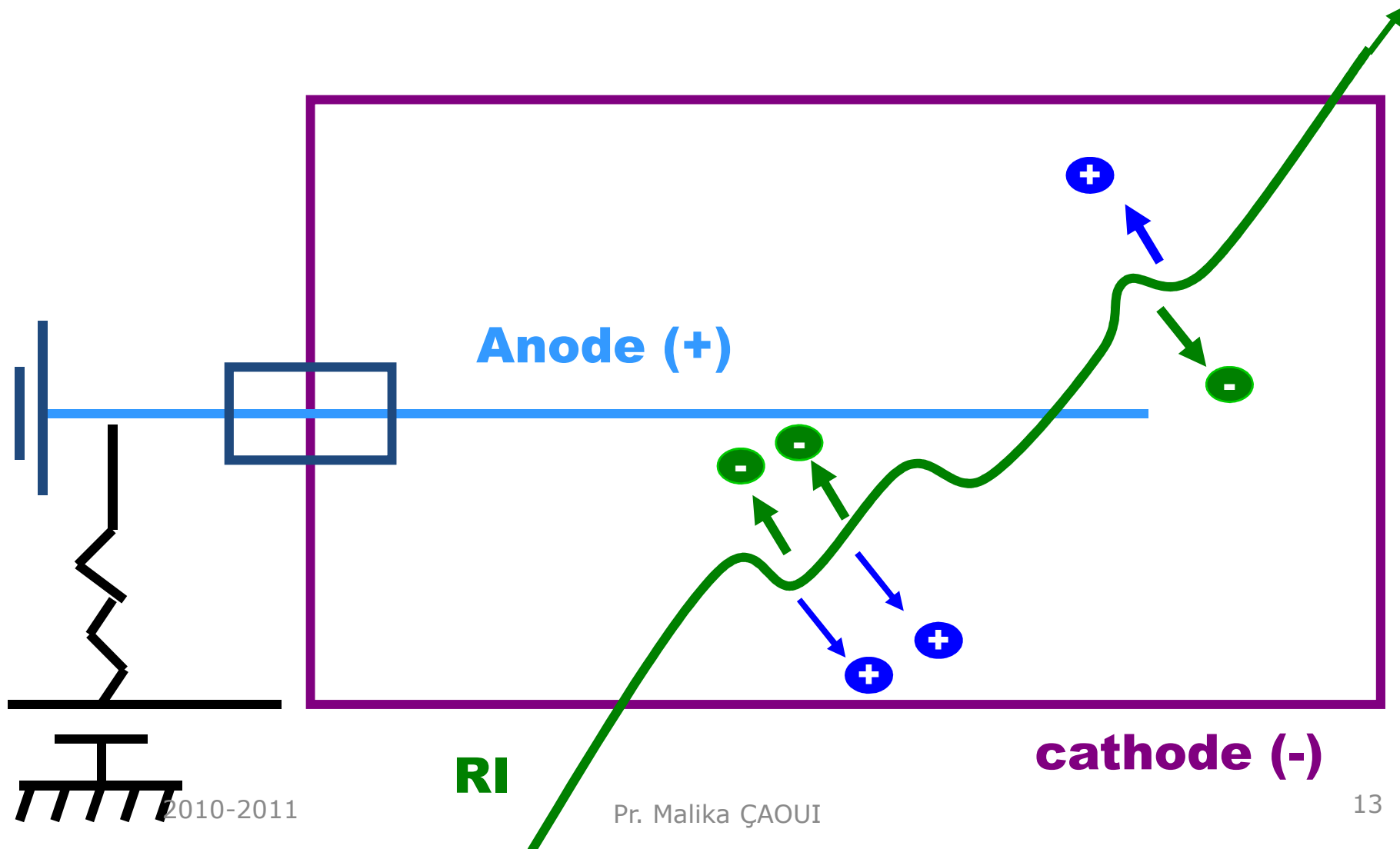
#### **4. Mouvement propre (M.P) :**

- 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

#### **5. Caractéristiques géométriques:** elles définissent :

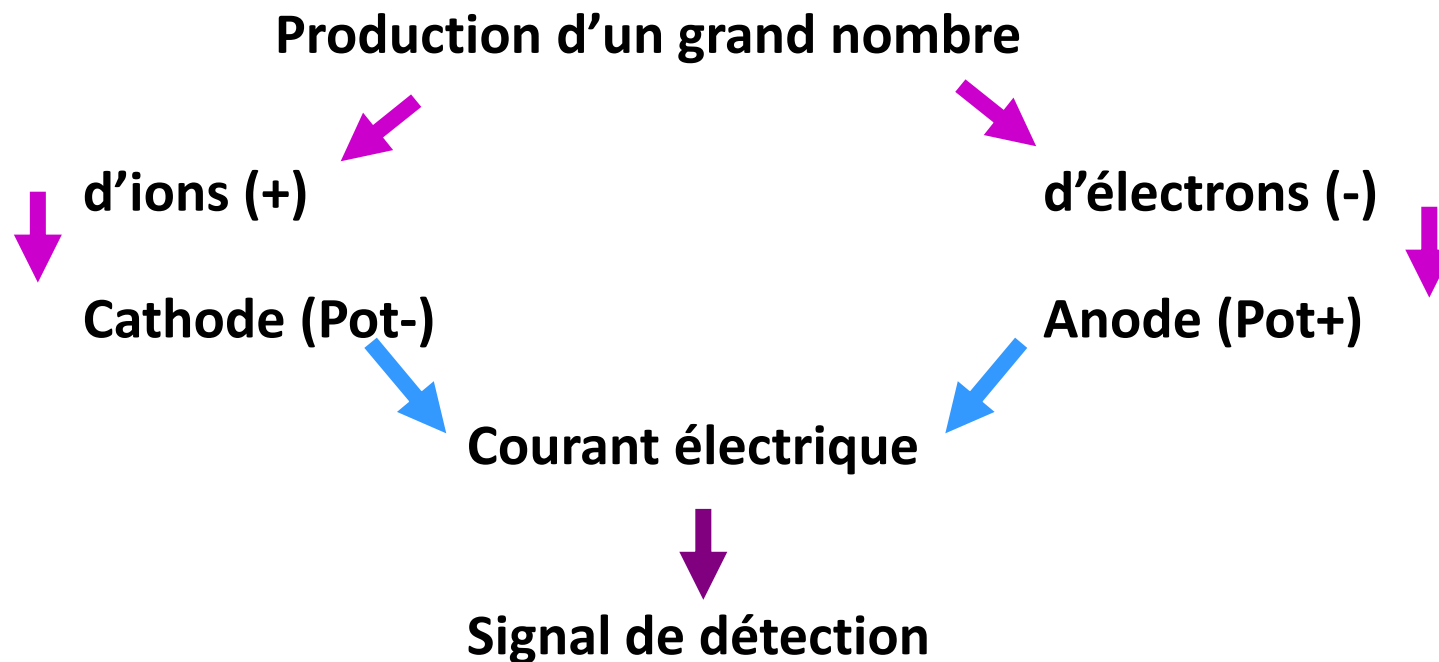
- la forme du détecteur,
- l'importance de sa surface sensible et sa directivité.

# Détecteurs mettant en jeu l'ionisation des gaz



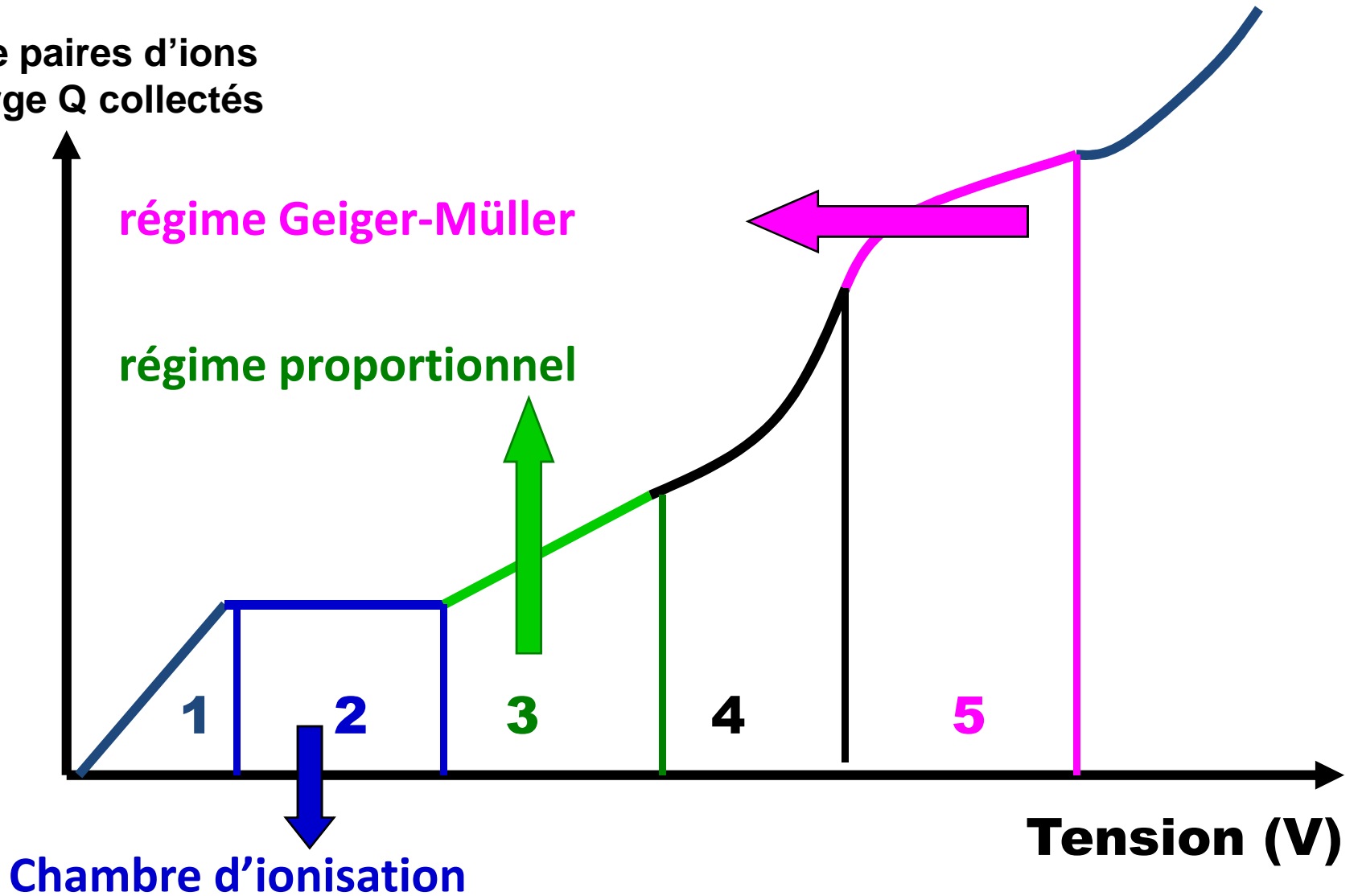
# Détecteurs mettant en jeu l'ionisation des gaz (suite)

- ❖ Normalement , en l'absence de tout RI ,  $\forall$  la différence de potentiel (ddp) appliquée, aucun courant ne traverse la chambre
- ❖ Mais si une particule ionisante pénètre dans l'enceinte :



***On distingue 5 régions:***

Nombre paires d'ions  
ou charge Q collectés



# Les 5 régions des détecteurs à gaz

## 1/ Régime de recombinaison :

- V petite ddp < 100V, champ électrique faible:
- e- et ions se recombinent tous avant d'atteindre électrodes

## 2/ Régime d'ionisation primaire :

- ddp  $\geq 100-200V$ : recombinaison ions nulle car ils tous collectés,



- l'amplitude de l'impulsion dépend E particule

- Les appareils fonctionnant dans cette région:

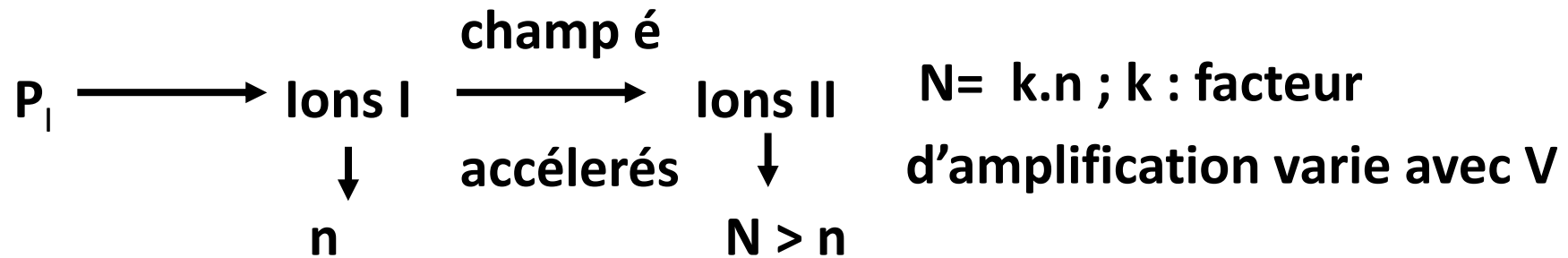
- chambres d'ionisation type «Babyline»; rôle:

dénombrer les particules et mesurent leur énergie.



# Les 5 régions des détecteurs à gaz

**3/ régime proportionnel :** Entre 300 et 1000 V: particule incidente  $P_i$ :



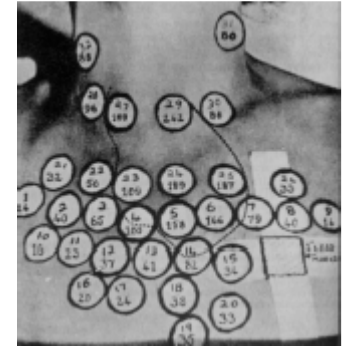
Le compteur proportionnel détecte :

- des RX et  $R\gamma$  de faible énergie
- des particules :  $\alpha$  et  $\beta$  en cas de contamination

**4/ Régime de proportionnalité limité**

- $> 1000 \text{ V} ; k : f(n)$  dépend de V et des ions I
- Zone de semi-proportionnalité: aucun détecteur dans cette zone

## 5- Régime Geiger-Müller: GM



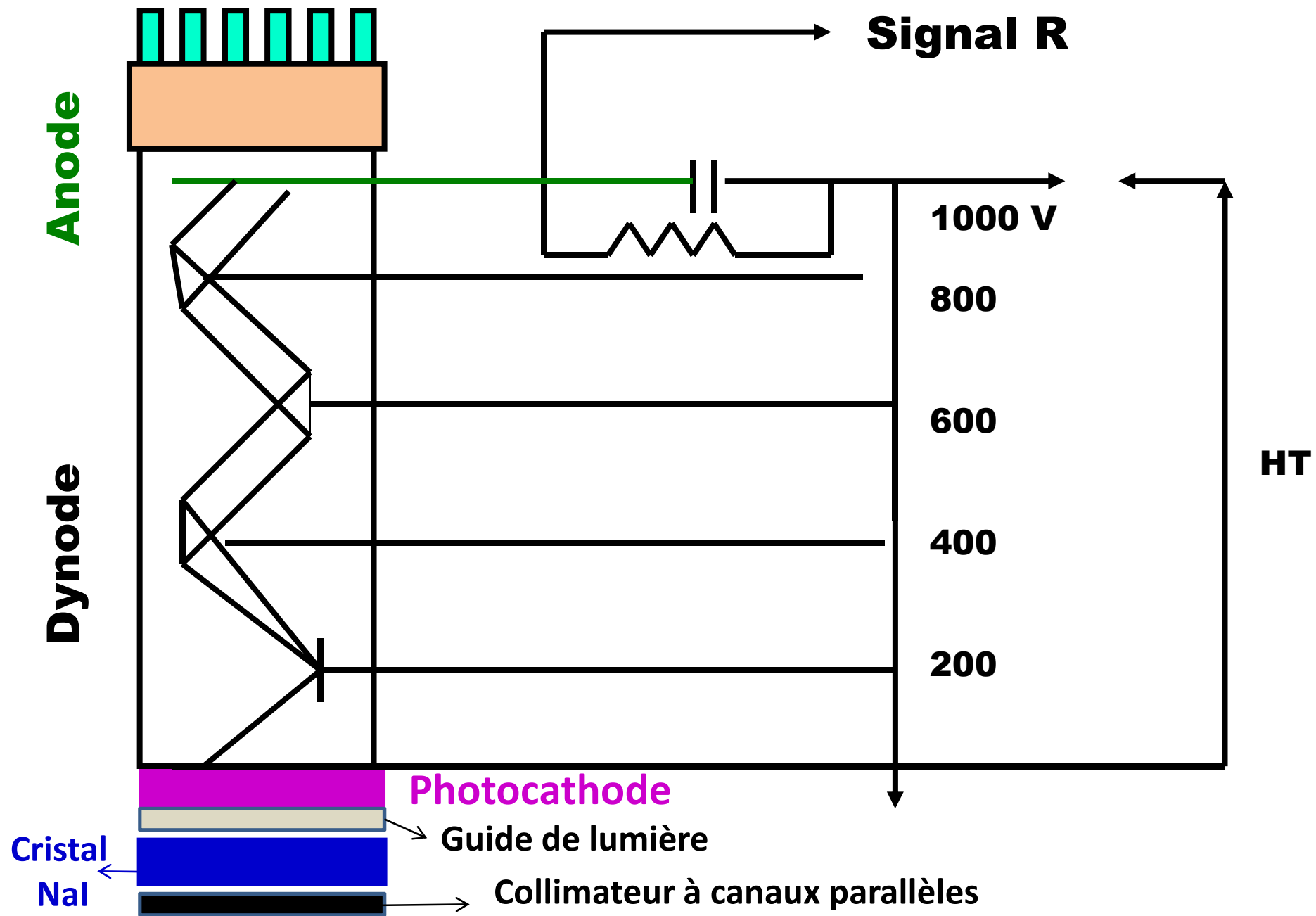
- $P_1 \longrightarrow$  ions I  $\longrightarrow$  ions II  $\longrightarrow$  ions III
- Avalanche d'ions multipliés en chaîne ,
- Charge Q: indépendante l'ionisation primaire
- Le compteur GM:
  - ne peut *discriminer* les particules selon leur énergie,
  - il ne permet que leur dénombrement
- Le temps de collection des charges: élevé
- Le temps mort également
- GM utilisé vers 1948: comptage du  $R\gamma$  point par point
- Détecte l'activité en chaque point de l'image de l'émission de  $R\gamma$ .

## ***Principales caractéristiques des détecteurs à ionisation***

Détecteurs	Particules détectées	t.m : $\mu\text{s}$	t.c : i/s
<b>Chambre d'ionisation</b>	$\alpha - \beta - X - \gamma$	<b>1-10</b>	<b><math>10^4 - 10^5</math></b>
<b>Compteur proportionnel</b>	$\alpha - \beta - X -$	<b>1-10</b>	<b><math>10^4 - 10^5</math></b>
<b>Compteur GM</b>	$\beta - X - \gamma$	<b>100</b>	<b><math>10^3</math></b>

# ***Compteurs à scintillations***

- **Utilisent les propriétés de certaines substances d'émettre de la lumière visible sous l'action des R.I**
- **Cette émission correspond *à la désexcitation* des molécules du scintillateur consécutives aux ionisations et excitations provoquées par le passage d'un rayonnement ionisant**
- **Détecteur à scintillation composé:**
  - **Collimateur**
  - **Scintillateur**
  - **Photomultiplicateur couplé au scintillateur**
  - **Électronique associée**



# ***Constitution d'un détecteur à scintillation***

***Le collimateur: (Plomb ou Tungstène) :***

- ***localise la distribution du radiotracteur dans l'organisme***
- **ne laisse passer que les photons arrivant  $\perp$  la surface de la caméra**

***Le Scintillateur :*** Cristal scintillateur: rôle est :

- **d'arrêter les  $R\gamma$  incidents et de convertir l'énergie déposée par ces photons  $\gamma$  en scintillations lumineuses (photons visibles ou UV),**
- **d'où: terme de scintigraphie, qui désigne un examen réalisé avec une gamma caméra à scintillations.**
- **Le cristal utilisé NaI(Tl) présentant un bon rendement lumineux**

## ***Les tubes de photomultiplicateur : un TPM***

- ❖ **Rôle: Convertit signal lumineux issu du cristal en signal électrique mesurable. Les TPM : facteur d'amplification  $\rightarrow 10^6$  comprennent:**
  - **Photocathode (-): transforme les photons lumineux en électrons.**
  - **multiplicateur d'électrons: dynodes:**
  - **Anode (+): recueille les  $e^-$  et les transforme en impulsions.**

### ❖ ***Circuit électronique de positionnement : comprend***

- **Alimentation H.T - Préamplificateur, - Amplificateur d'amplitude monocanal; - analyseur multicanaux - dispositif de comptage.**

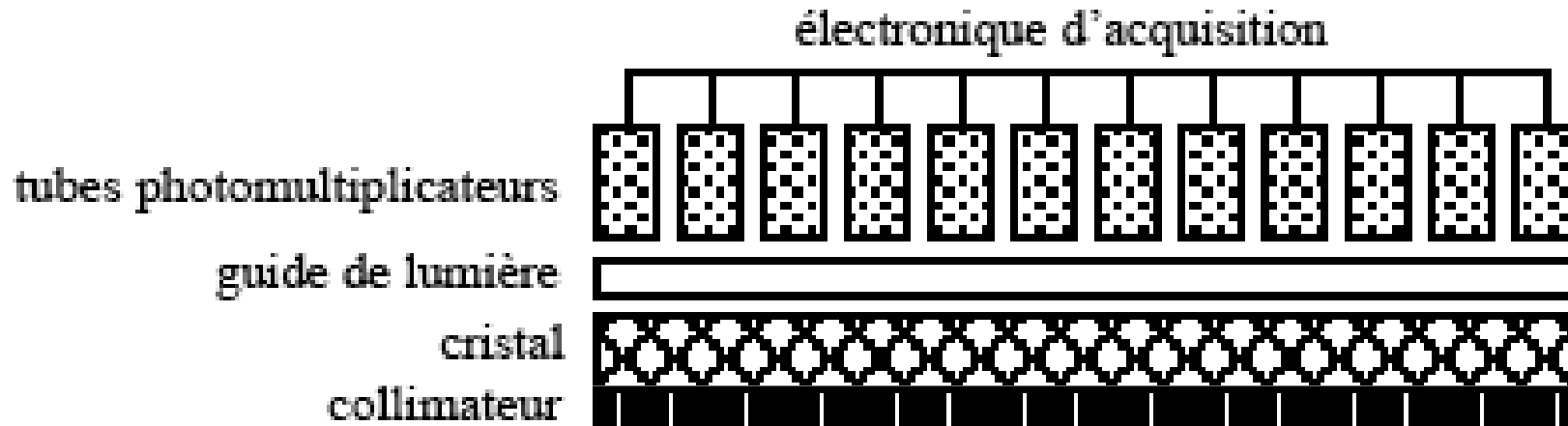
**Rôle: Signaux électriques issus des TPM sont traités par un circuit de positionnement, ce qui permet de déterminer la position de la scintillation lumineuse, et de l'interaction entre le  $R\gamma$  et le cristal.**

# Principe de détection des RI par la gamma caméra

- L'interaction des RI (photons) avec le cristal scintillant (NaI dopé au thallium) du détecteur , il cède principalement son énergie sous forme d'ionisations ou d'excitations.
- Ce cristal est capable d'émettre un rayonnement de fluorescence
- Le photon incident peut être :
  - partiellement absorbé : la perte d'énergie s'accompagne d'une déviation du photon (diffusion Compton)
  - totalement absorbé (effet photo-électrique).

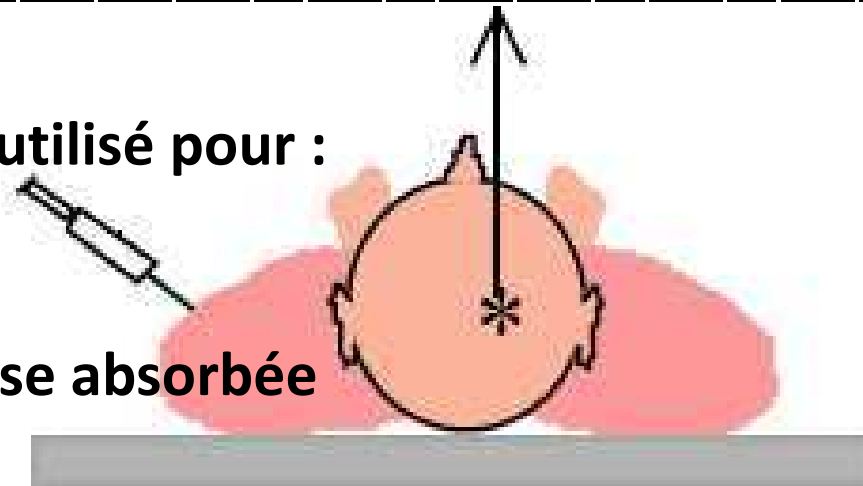


# Principe de fonctionnement d'une gamma caméra



ce type de détecteur est utilisé pour :

- le dénombrement
  - la spectrométrie
- la mesure de débit de dose absorbée



*Imagerie fonctionnelle en médecine nucléaire :*

# ***Les détecteurs à scintillations***

**Appareils anciens:**

- **Compteur corps entier et Scintigraphe à balayage**
- **Gamma-Caméra simple à une tête réalisant des images planaires**

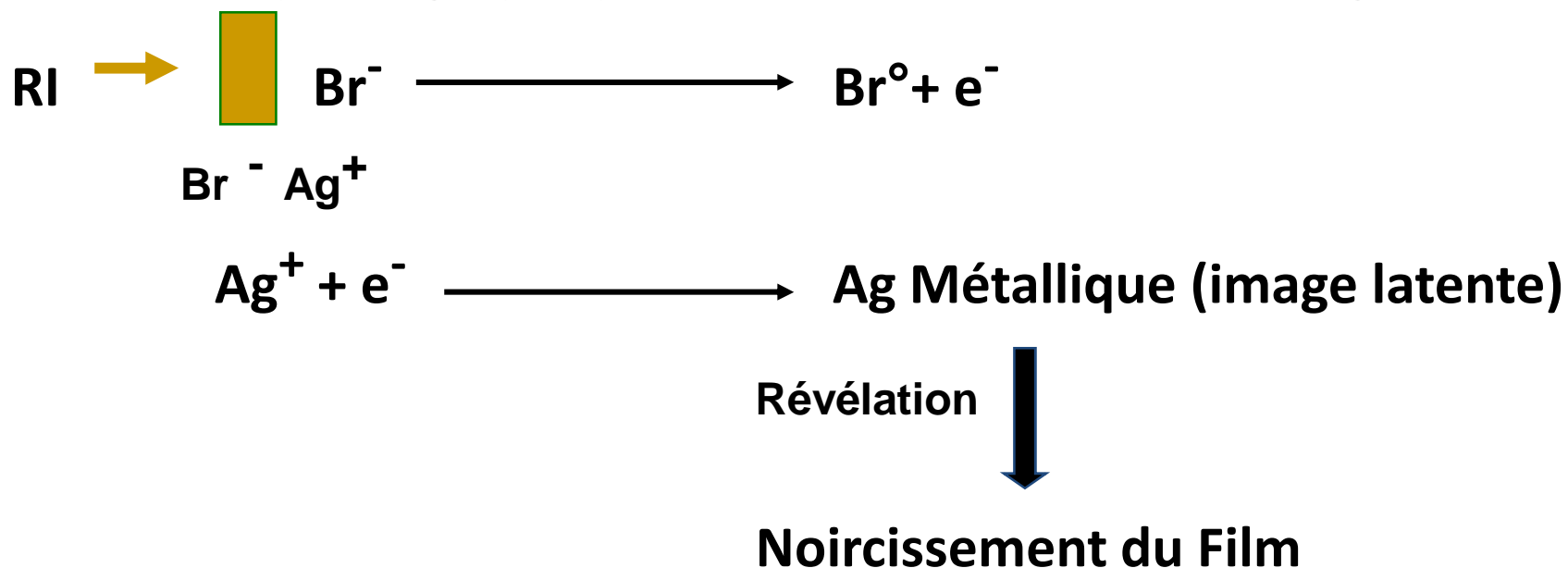
**Actuellement:**

- **Tomo-Gamma-Caméra : SPECT: à une tête, 2 +++ ou 3 têtes**
- **Tomo-Gamma-Caméra couplée au scanner: SPECT-CT**
- **Tomo-Gamma-Caméra à positons couplée au scanner: TEP-CT ou**

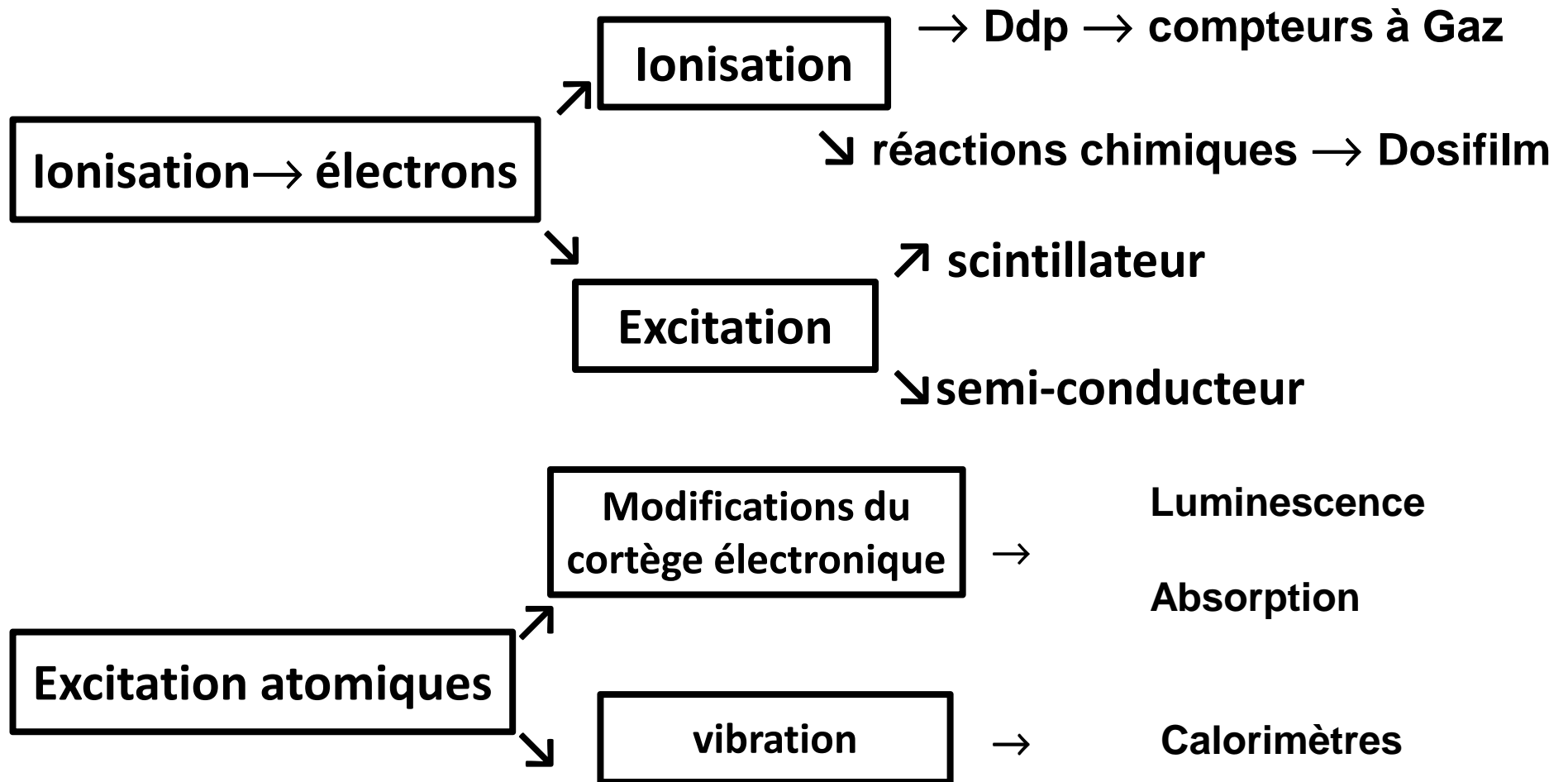
**PET-CT**

# Les émulsions photographiques

- C'est le plus simple et le plus ancien détecteur; comptabilise les doses équivalentes reçues par un travailleur au niveau de la peau et en profondeur. Les RI ont donc la propriété d'impressionner les émulsions photographiques formé de cristaux de Br<sup>-</sup> Ag<sup>+</sup>



# Principaux types de détecteurs



# Que retenir du cours sur la détection?

- **Savoir définir en 2 à 3 lignes le principe de la détection**
- **Savoir décrire la Constitution générale d'un détecteur**
- **Définir les différents paramètres caractéristiques d'un détecteur**
- **Savoir expliquer le principe de fonctionnement :**
  - **des détecteurs mettant en jeu l'ionisation des gaz et du GM**
  - **de la gamma caméra**
  - **des émulsions photographiques**

# Les fonctions d'un détecteur

- **Première fonction : Le dénombrement : consiste à compter le nombre d'impulsions  $N$ , pendant un temps  $t$  fixé et d'en déduire le t.c ,  $n$  en impulsions par seconde :  $n \text{ (i.s}^{-1}\text{)} = N/t$**
- **La seconde fonction : permet la conversion de mesures en grandeurs essentielles en radioprotection:**
- ***la dose absorbée dans les tissus* : grandeur quantifie l'exposition une fois que celle-ci a été subie. Elle est un constat *à posteriori***
- ***le débit de dose absorbée* : cette grandeur a un aspect prospectif car elle permet d'estimer les doses absorbées qui seront reçues dans telle ou telle condition de travail, et donc d'adopter les dispositions de protection pour les limiter**

# Les dispositifs de détection et de mesure

- ❑ Les détecteurs: à gaz, à scintillations et semi- conducteurs peuvent:
  - Dénombrer les rayonnements Incidents
  - Mesurer un débit de dose absorbée
  - Pour certains: effectuer une spectrométrie (= classer les impulsions recueillies selon leur tension et en tracer le spectre)
- ❑ Alors que d'autres détecteurs ne mesurent qu'une dose absorbée
  - ❑ L'information mémorisée n'est exploitée qu'à la fin de l'exposition à l'aide d'appareils de lecture adaptée.
  - ❑ Ces dosimètres sont dits « à effet latent » ou « à lecture différée »

# Quelques Références

- **Guide d'imagerie : Collège des Enseignants de Radiologie en France, en collaboration avec le Collège d'Enseignement de Biophysique, à la demande de la Direction Générale de la Santé du Ministère du Travail et des Affaires Sociales.**
- ***DESMN : Quantification en tomographie d'émission - Irène Buvat - Mars 2010 - Irène Buvat- IMNC - UMR 8165 CNRS- Orsay***
- ***Les différents traceurs et leur production - Les détecteurs g et b+ - Irène Buvat - octobre 2006***
- ***[www.sante.univ-nantes.fr](http://www.sante.univ-nantes.fr)***
- ***[udsmed.u-strasbg.fr/..](http://udsmed.u-strasbg.fr/)***
- ***[www.iaea.org](http://www.iaea.org)***