

## Chapitre 11

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

Dr. Jean-François ADAM

# Objectifs pédagogiques du cours

- Connaître le principe de fonctionnement des deux principaux types de détecteurs solides
  - Détecteurs à scintillation
  - Détecteurs à semiconducteurs
- D'autres modes de détection à lecture différée
  - Détecteurs thermoluminescents
  - Détecteurs chimiques

# Détecteurs solides

Les principales raisons de vouloir utiliser un détecteur solide

- Sensibilité:  $Z$  et masse volumique plus élevés = probabilité d'interaction plus grande.
- Pour les photons:  $Z$  élevé = absorption photoélectrique +++
- Miniaturisation = détecteurs pixelisés: imagerie médicale

Deux manières de récupérer le signal lié aux ionisations:

- Direct : création d'électrons, collection des charges, mesure de courant = semi-conducteurs
- Indirect: création de particules intermédiaires (photons lumineux), amplification du signal, conversion en charges, amplification et détection des charges = détecteurs à scintillation

# Détecteurs solides

Les principales raisons de vouloir utiliser un détecteur solide

- Sensibilité:  $Z$  et masse volumique plus élevés = probabilité d'interaction plus grande.
- Pour les photons:  $Z$  élevé = absorption photoélectrique +++
- Miniaturisation = détecteurs pixelisés: imagerie médicale

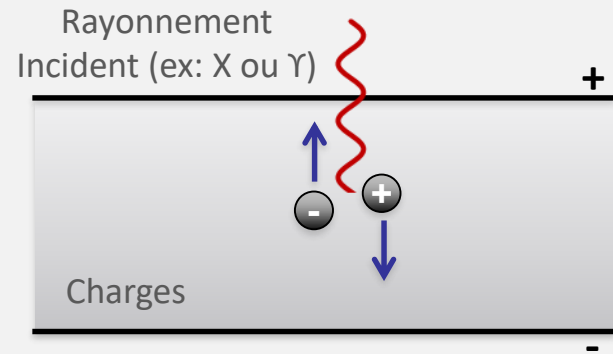
Deux manières différentes de récupérer le signal lié aux ionisations:

- Conversion directe : création d'électrons, collection des charges, mesure de courant = semi-conducteurs
- Conversion indirecte: création de particules intermédiaires (photons lumineux), amplification du signal, conversion en charges, amplification et détection des charges = détecteurs à scintillation

# Les détecteurs solides

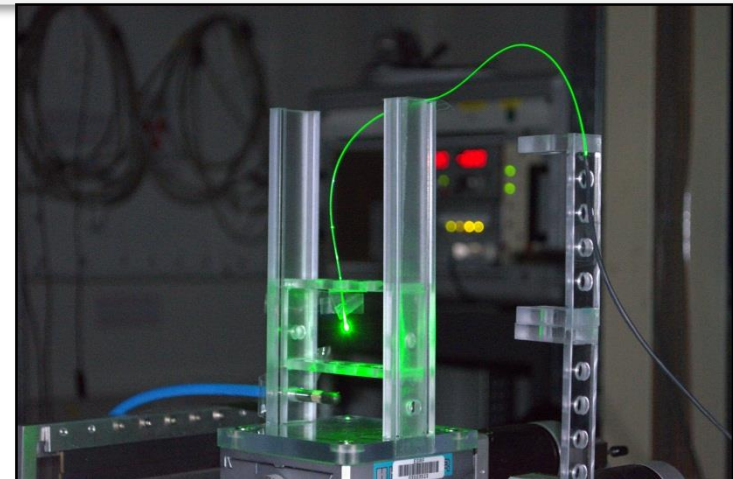
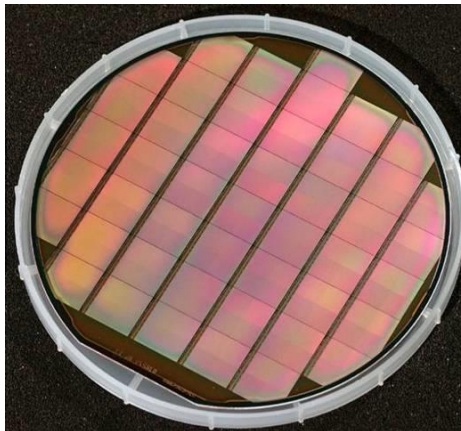
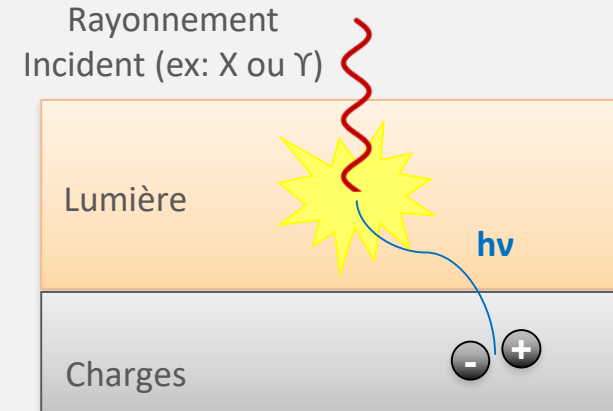
## Conversion DIRECTE

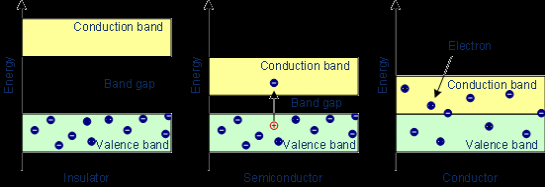
*Semi-conducteur*



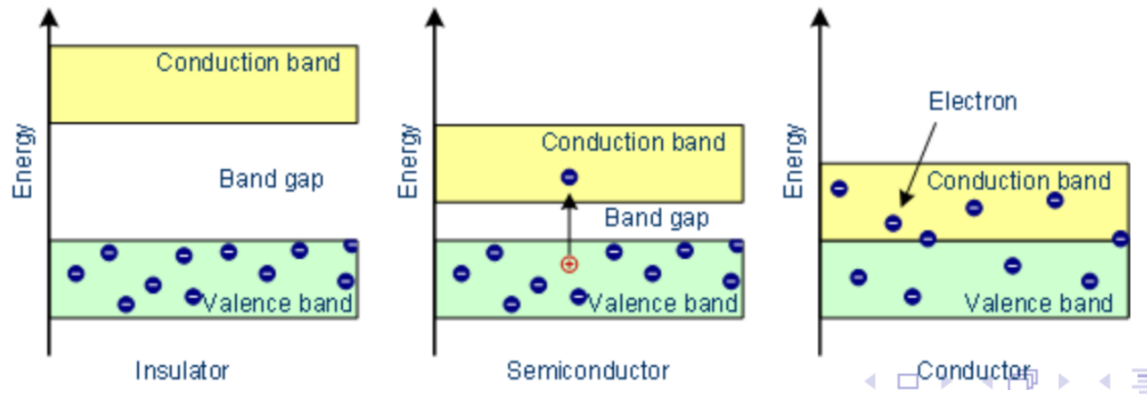
## Conversion INDIRECTE

*Scintillateur - Photodétecteur*



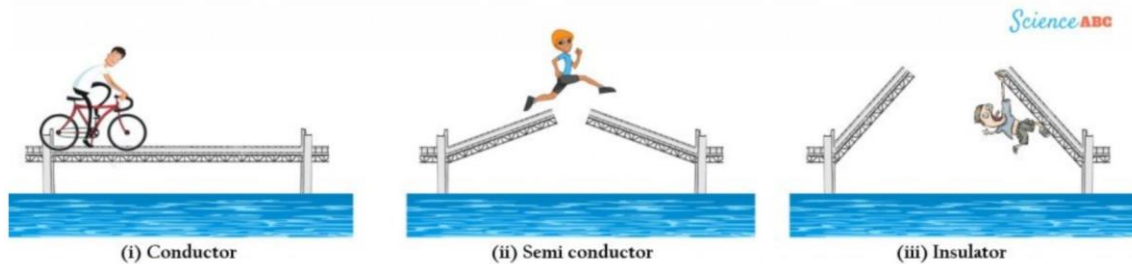


# Les semi-conducteurs: principe de fonctionnement



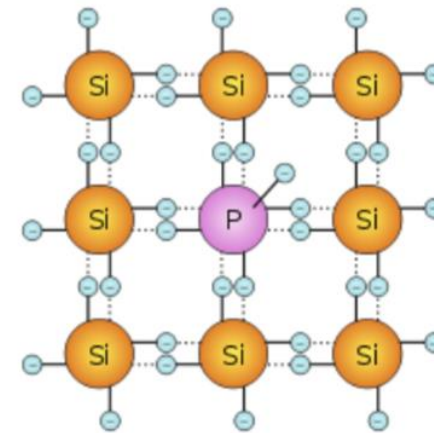
Peu d'énergie est nécessaire pour faire passer un e- de la BV à la BC pour les semi- conducteurs: seulement 3 eV pour créer une paire électron/ trou

Il existe des semi-conducteurs dopés N et dopés P

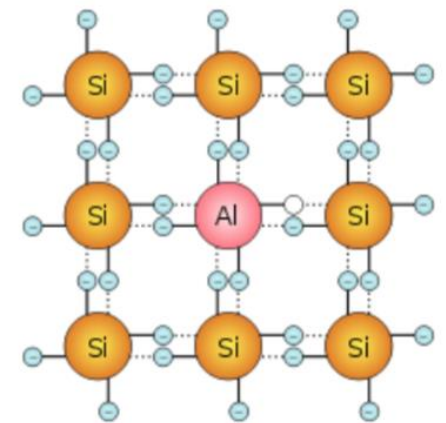


En physique des solides, la théorie des bandes nous donne les valeurs d'énergie que peuvent prendre les électrons d'un solide. Selon la façon dont ces bandes sont réparties, nous allons distinguer les isolants, les semi-conducteurs et les conducteurs.

Credits J Livingstone

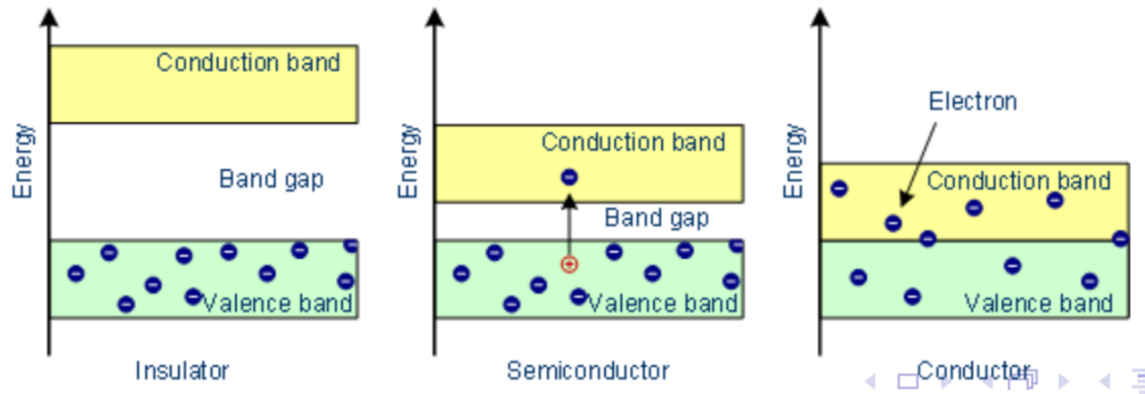


Type N



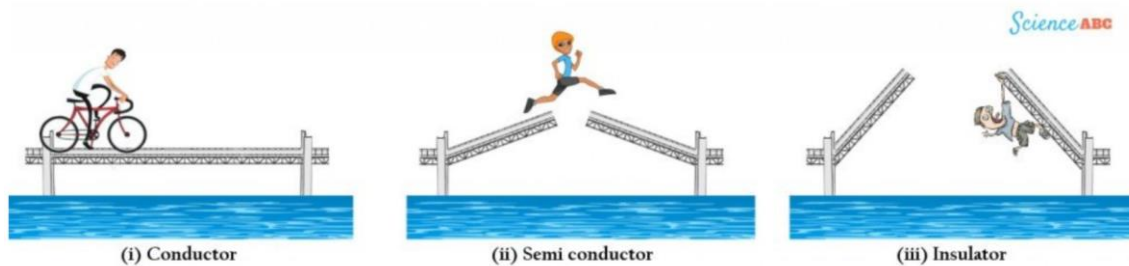
Type P

# La semiconducteurs: principe de fonctionnement

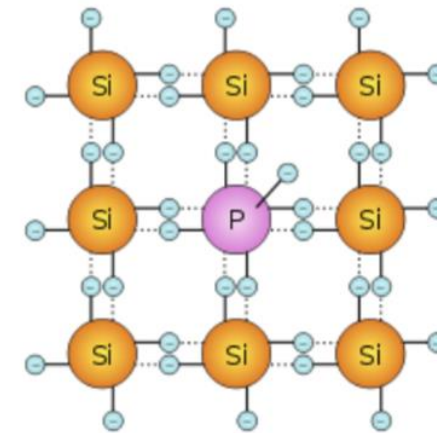


Peu d'énergie est nécessaire pour faire passer un e- de la BV à la BC pour les semi- conducteurs: seulement 3 eV pour créer une paire électron/ trou

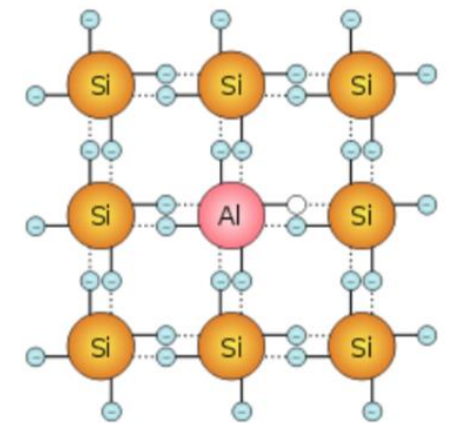
Il existe des semi-conducteurs dopés N et dopés P



En physique des solides, la théorie des bandes nous donne les valeurs d'énergie que peuvent prendre les électrons d'un solide. Selon la façon dont ces bandes sont réparties, nous allons distinguer les isolants, les semi-conducteurs et les conducteurs.



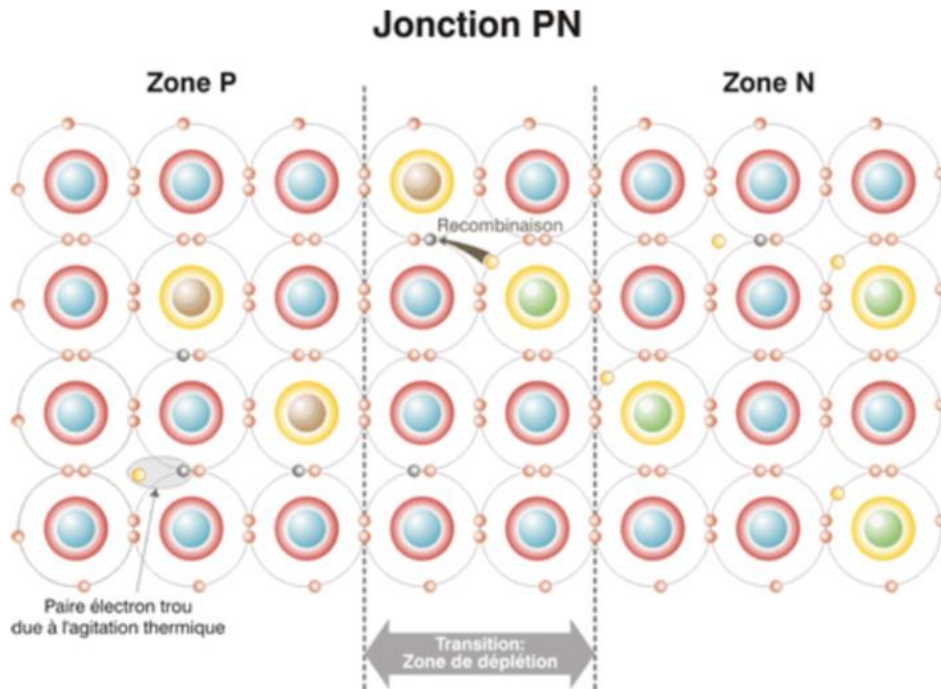
Type N



Type P



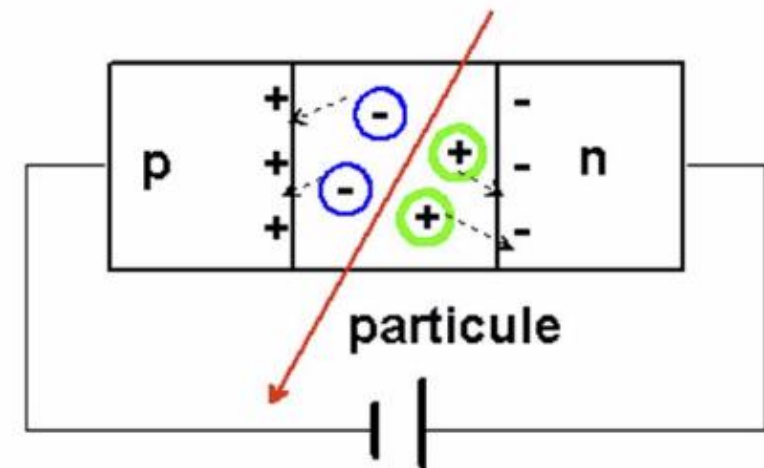
# La semiconducteurs: principe de fonctionnement



Jonction PN = existence d'une zone de déplétion

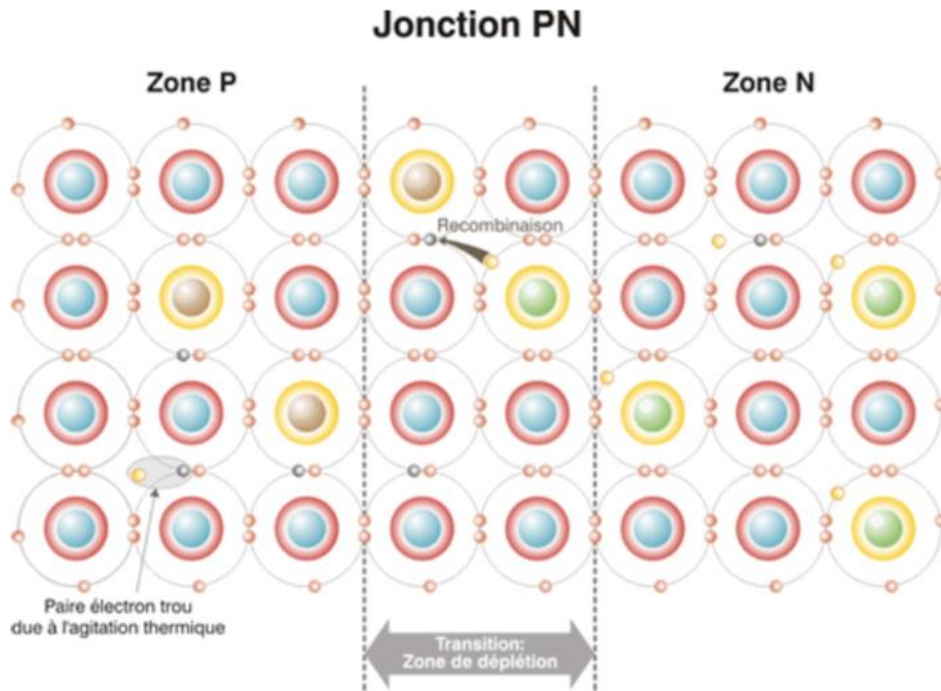
On peut polariser pour augmenter la zone de déplétion

Le passage d'une particule ionise la matière dans la zone de déplétion. Les électrons vont combler les trous côté P et cela va créer un courant





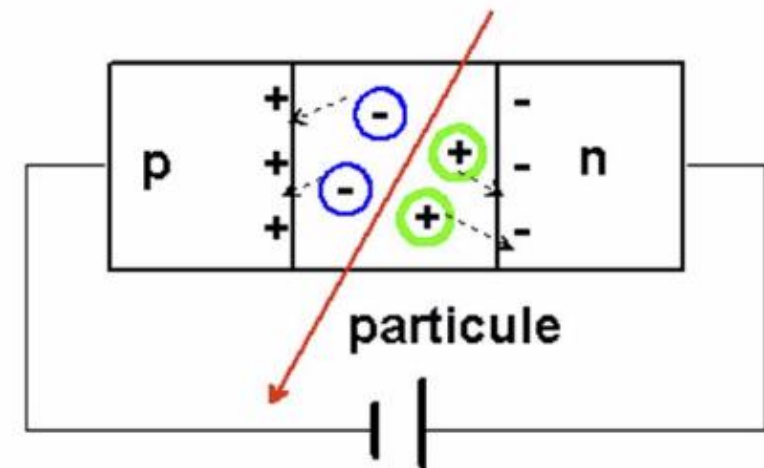
# La semiconducteurs: principe de fonctionnement



Jonction PN = existence d'une zone de déplétion

On peut polariser pour augmenter la zone de déplétion

Le passage d'une particule va ioniser la matière dans la zone de déplétion. Les électrons vont combler les trous côté P et cela va créer un courant

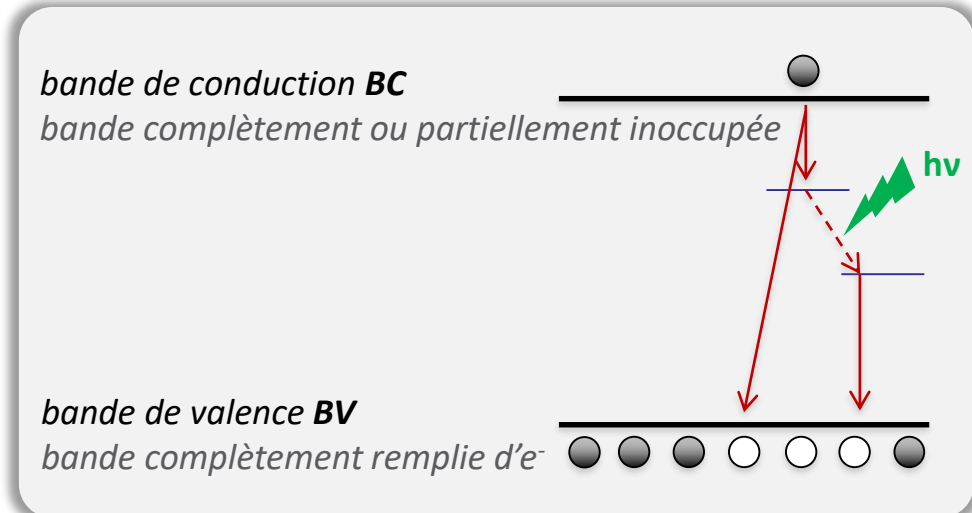
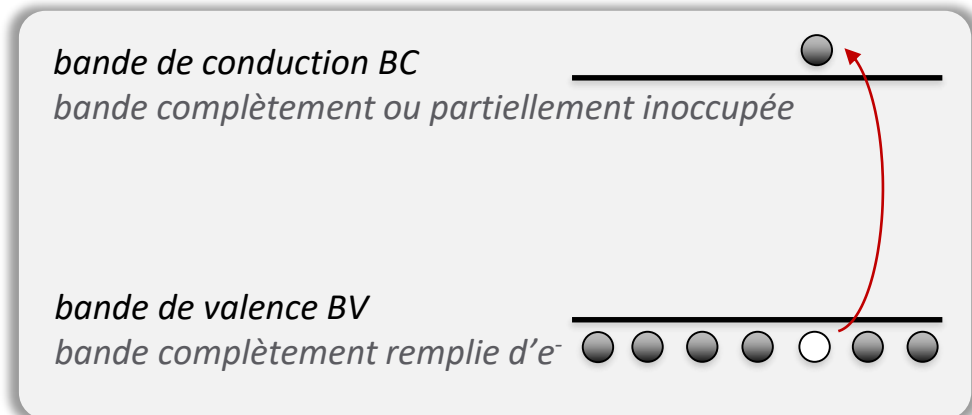


# La détecteurs à scintillation: principe de fonctionnement

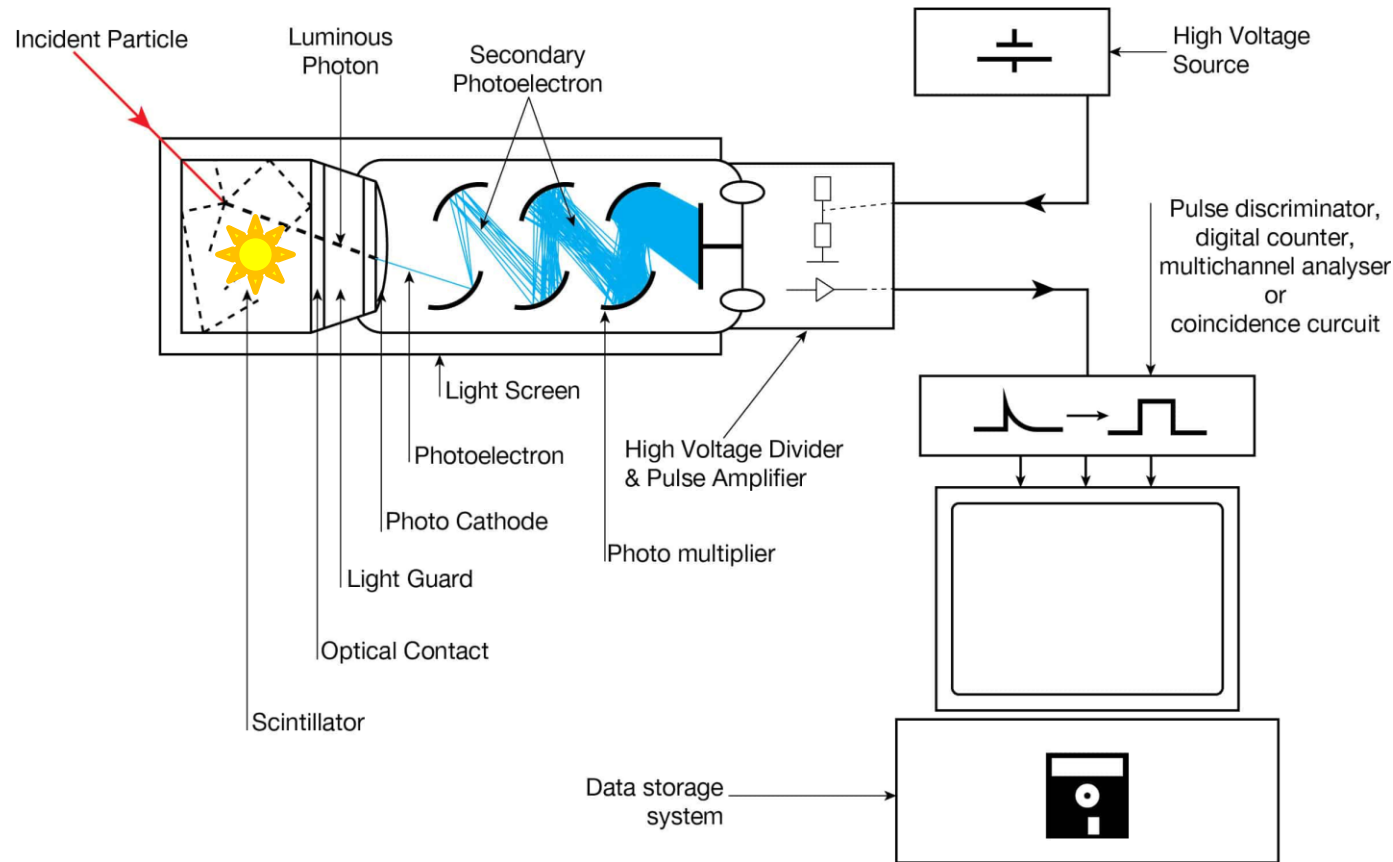
Les ionisations ont pour conséquences des excitations (changement de niveau d'énergie) sur les molécules des cristaux scintillateurs.

Des impuretés ont été volontairement ajoutés aux cristaux (Ex: NaI:TI) pour créer des pièges intermédiaires

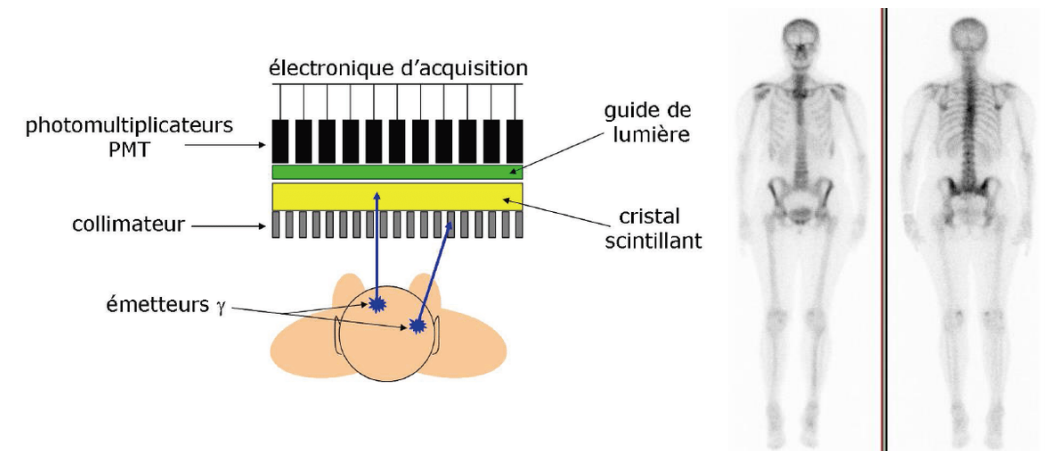
Lors de la désexcitation, les électrons sont piégés et quittent ces pièges en émettant des photons lumineux



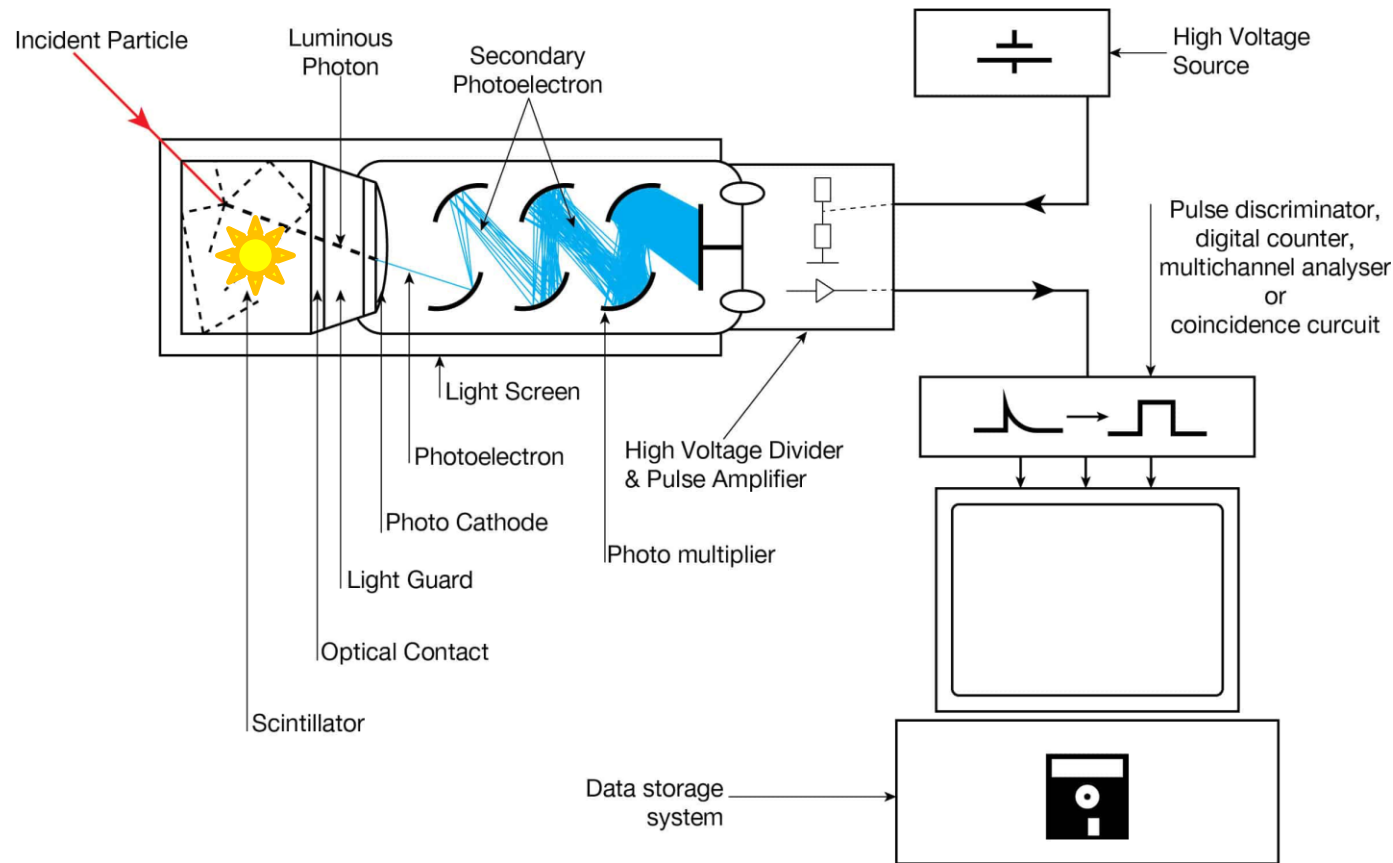
# La détecteurs à scintillation: principe de fonctionnement



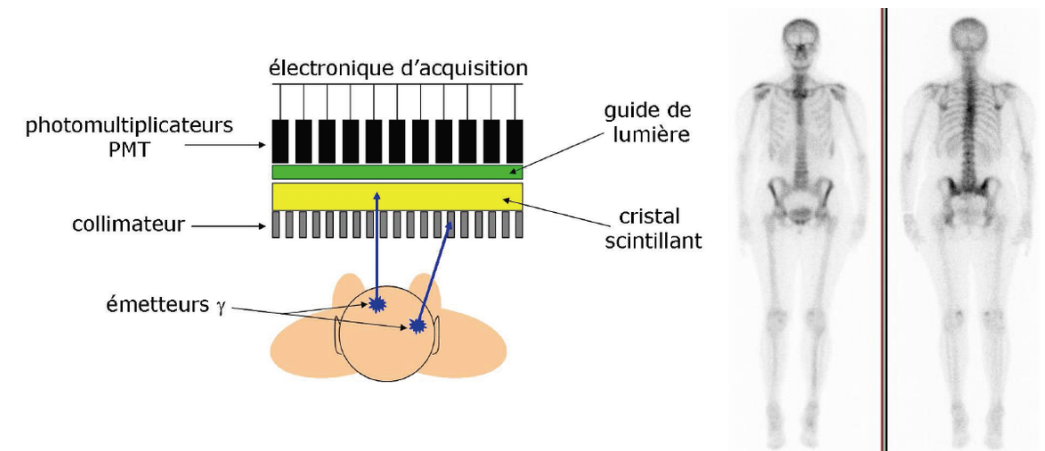
- Les photons lumineux sont convertis en électrons par une photocathode
- Les électrons sont accélérés et amplifiés par les dynodes
- Les charges sont collectées et le courant mesuré
- On peut mettre plusieurs photomultiplicateurs pour faire de la pixellisation et détecter la position de l'interaction de la particule en 2D



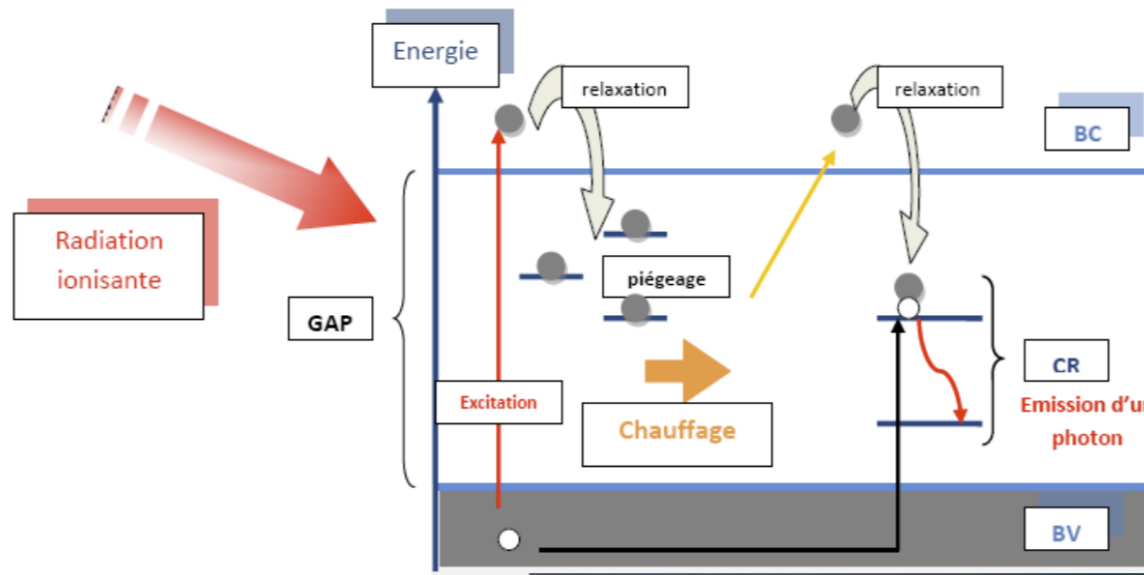
# La détecteurs à scintillation: principe de fonctionnement



- Les photons lumineux sont convertis en électrons par une photocathode
- Les électrons sont accélérés et amplifiés par les dynodes
- Les charges sont collectées et le courant mesuré
- On peut mettre plusieurs photomultiplicateurs pour faire de la pixellisation et détecter la position de l'interaction de la particule en 2D



# Les détecteurs à lecture différée: dosimètres thermoluminescents



Légende :

BC : Bande de Conduction  
BV : Bande de Valence  
CR : Centre de Recombinaison

Fonctionnement identique aux détecteurs à scintillation sauf que les pièges sont « permanents »  
Ex: LiF:Mg,Ti

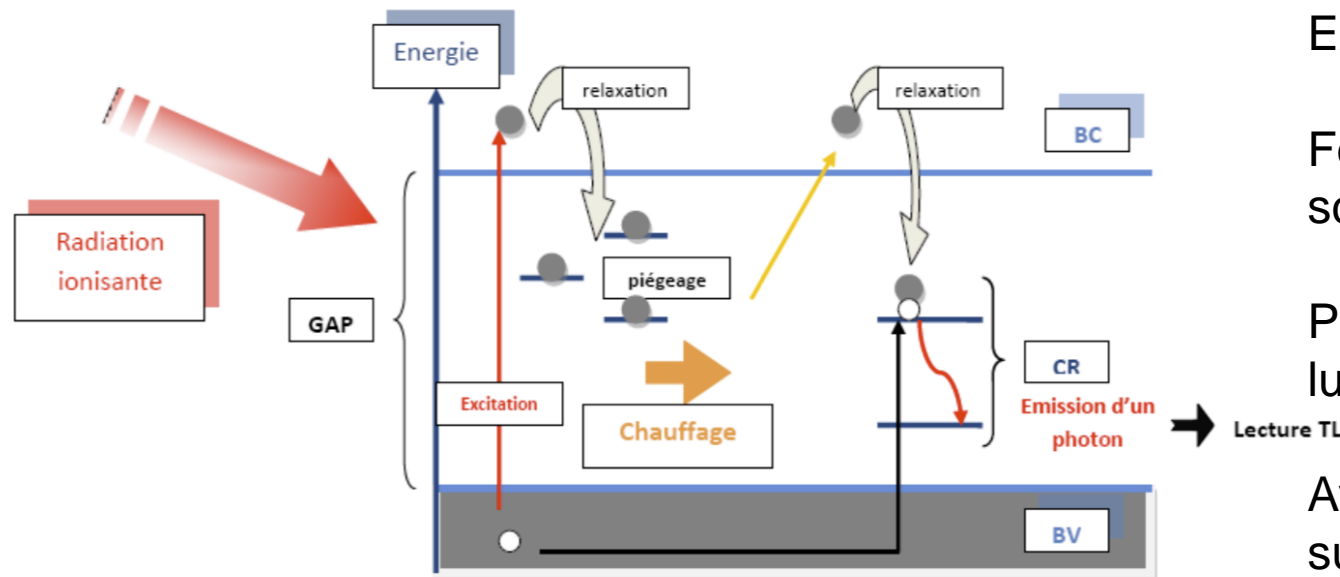
Pour dé-piéger il faut chauffer et récupérer le signal lumineux

Avantages: Sensibilité; cumul sur irradiation successives

Utilisation radioprotection des travailleurs



# Les détecteurs à lecture différée: dosimètres thermoluminescents



Légende :

BC : Bande de Conduction

BV : Bande de Valence

CR : Centre de Recombinaison

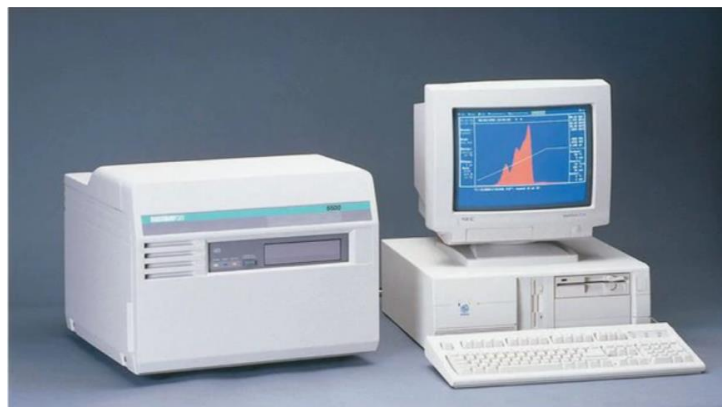
Ex: LiF:Mg,Ti

Fonctionnement identique aux détecteurs à scintillation sauf que les pièges sont « permanents »

Pour dé-piéger il faut chauffer et récupérer le signal lumineux

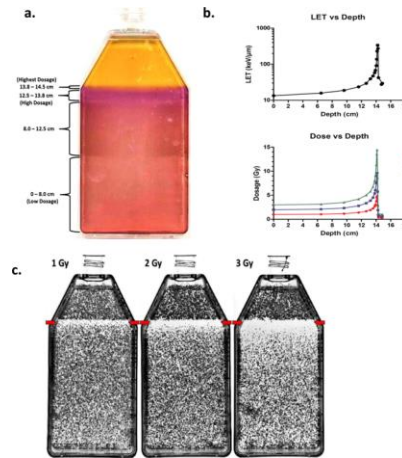
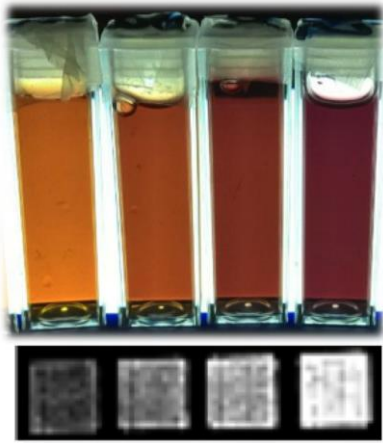
Avantages: Sensibilité; cumul sur irradiation successives

Utilisation radioprotection des travailleurs

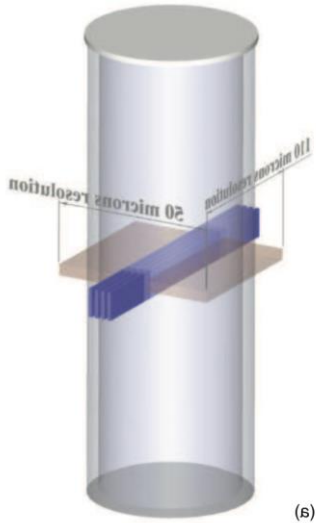




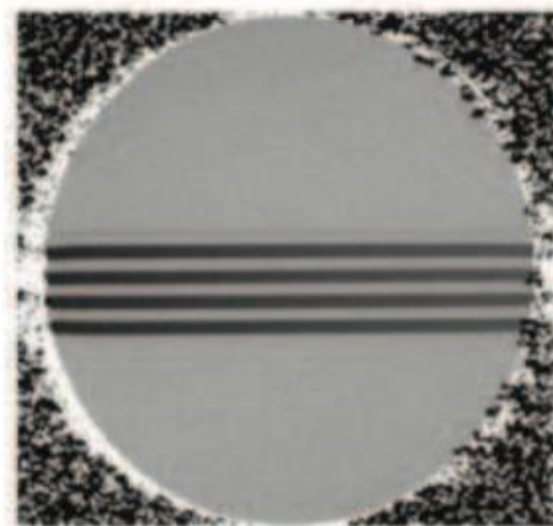
# Les détecteurs à lecture différée: dosimètres chimiques



Dylan J. Buglewicz et al.



(6)



Ex: dosimètre de Fricke: matrice de gel dopé Fe<sup>2+</sup>  
Ionisation de Fe<sup>2+</sup> en Fe<sup>3+</sup>

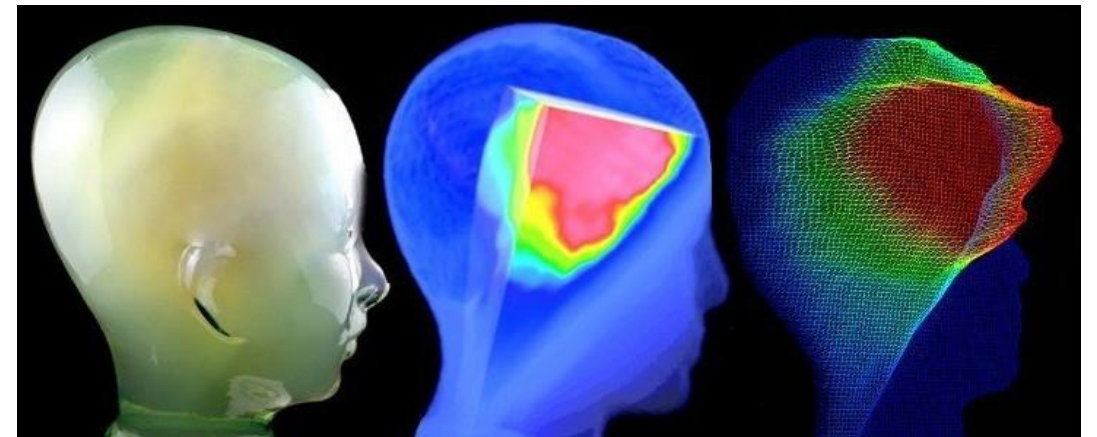
Changement de rapport de concentration en Fe<sup>2+</sup>  
Peut se détecter en IRM : faire de l'imagerie de l'irradiation

Gels Polymères: l'irradiation change le degré de polymérisation

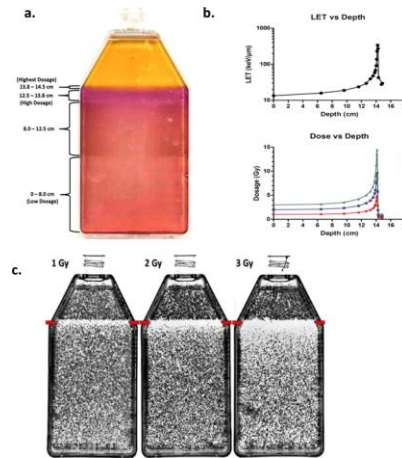
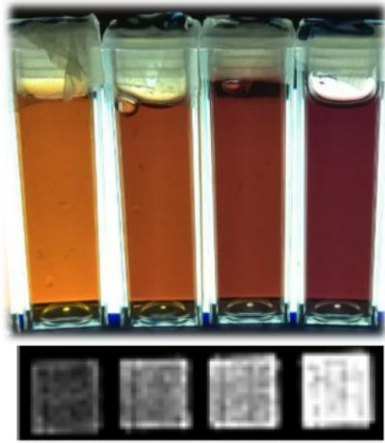
Peut se détecter en IRM

Peut se détecter en CT optique

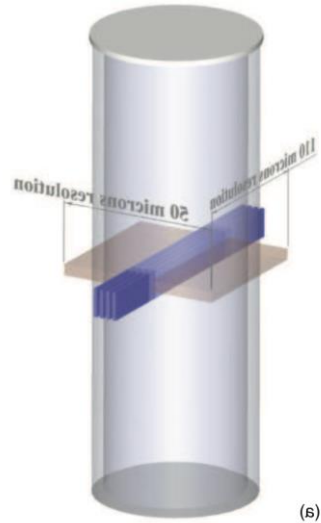
Avantage: détection 3D



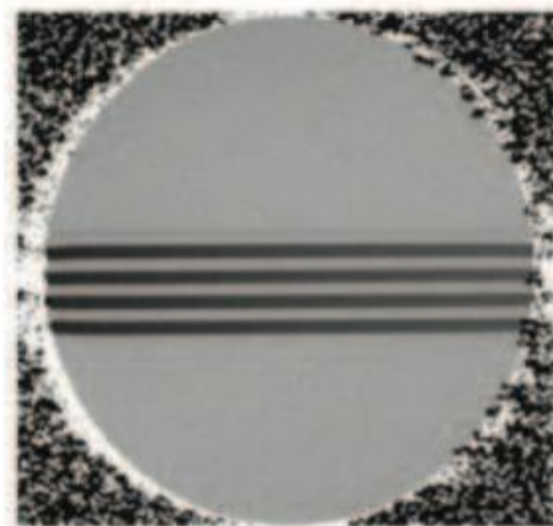
# Les détecteurs à lecture différée: dosimètres chimiques



Dylan J. Buglewicz et al.



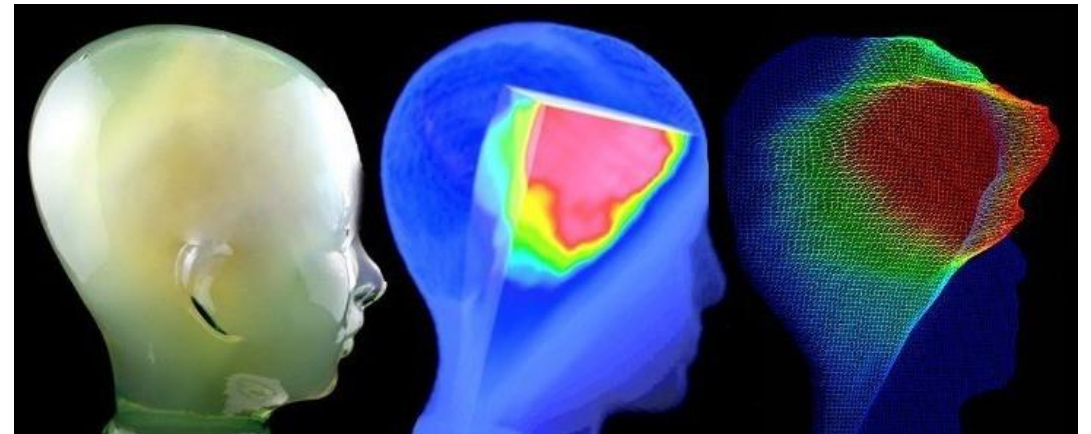
(6)



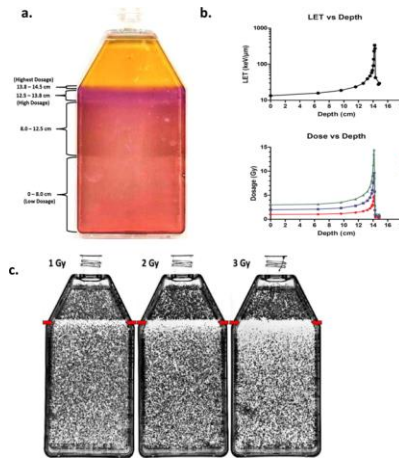
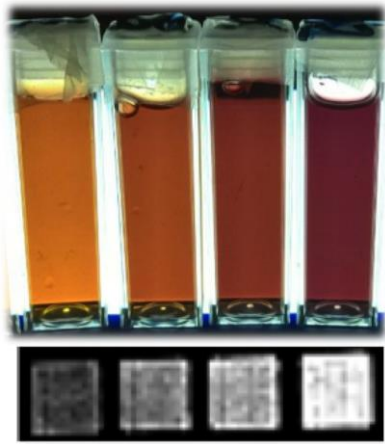
Ex: dosimètre de Fricke: matrice de gel dopé Fe<sup>2+</sup>  
Ionisation de Fe<sup>2+</sup> en Fe<sup>3+</sup>  
Changement de rapport de concentration en Fe<sup>2+</sup>  
Peut se détecter en IRM

Gels Polymères: l'irradiation change le degré de polymérisation  
Peut se détecter en IRM  
Peut se détecter en CT optique

Avantage: détection 3D



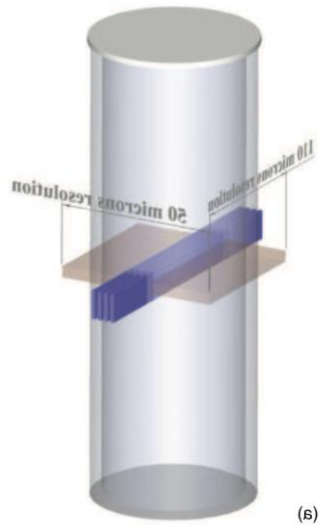
# Les détecteurs à lecture différée: dosimètres chimiques



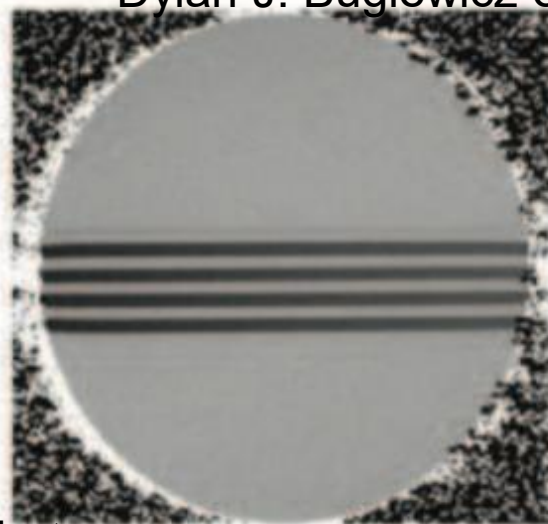
Ex: dosimètre de Fricke: matrice de gel dopé  $\text{Fe}^{2+}$   
Ionisation de  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{3+}$   
Changement de rapport de concentration en  $\text{Fe}^{2+}$   
Peut se détecter en IRM

Gels Polymères: l'irradiation change le degré de polymérisation  
Peut se détecter en IRM  
Peut se détecter en CT optique

Dylan J. Buglewicz et al.

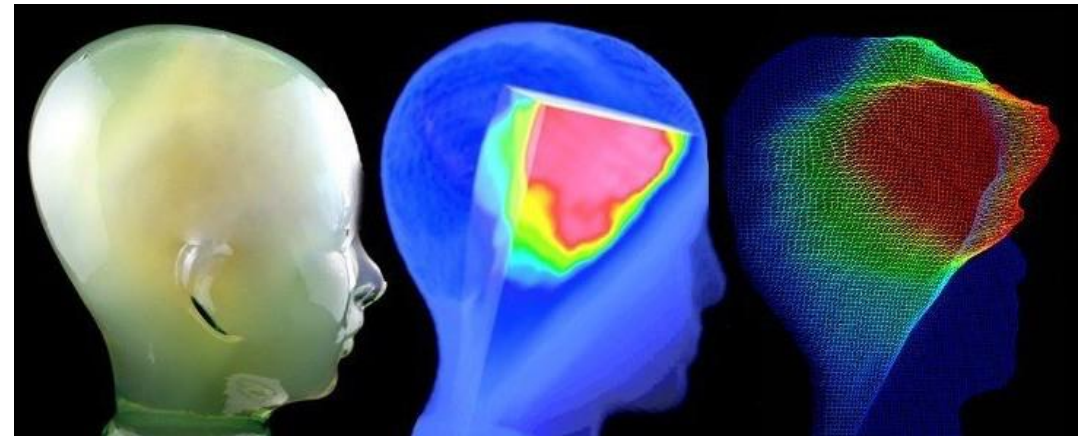


Microfaisceaux de photons



Deman P et al. et al.

Avantage: détection 3D



Radiothérapie d'une tumeur cérébrale (photons de RX)



# Messages essentiels du cours

- Certains détecteurs sont à lecture différée. Les dosimètres thermo-luminescents et les dosimètres chimiques en sont des exemples.
- Les scintillateurs sont des détecteurs solides à détection indirecte. Les particules interagissent, les ionisations engendrent la création de photons lumineux qui vont être convertis en électrons amplifiés et détectés sous forme de courant.
- Les semi-conducteurs sont des détecteurs solides à détection directe. Les particules ionisent la matière, les charges sont collectées et un courant est mesuré

## Et aux prochains cours ...

BPH(3): Professeur Jean-Philippe VUILLEZ

Chef de Service de Médecine Nucléaire (Pôle d'Imagerie) au  
CHU Grenoble-Alpes

- Dosimétrie
- Radiobiologie
- Radioprotection

# 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.