

Chapitre 5

Production et détection des rayonnements ionisants

1. Production des rayonnements ionisants

1.1 Production des particules

1.2 Production des rayonnements EM

2. Détection des rayonnements ionisants

2.1 Généralités

2.2 Phénomènes de base

2.3 Performances et objectifs

1 - Production des RI

1.1 production des particules

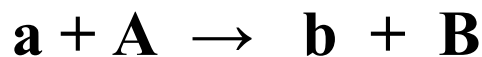
✦ **production naturelle** : désintégration de vieux radioéléments naturels

- il en existe une cinquantaine
- radioactivité très faible

✦ **production artificielle** : **nucléides** (200 nouveaux)

Utilisés en : biologie, géologie, archéologie, médecine, métallurgie, physique, électronique, informatique

Pour les produire on utilise des réactions du type:



B est l'élément désiré

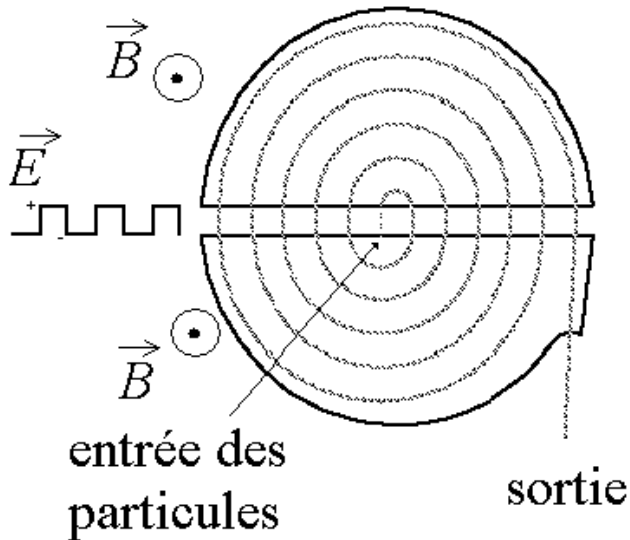
a et **b** sont des particules nucléaires chargées ou neutres

S'il s'agit de **particules chargées** → accélérateurs

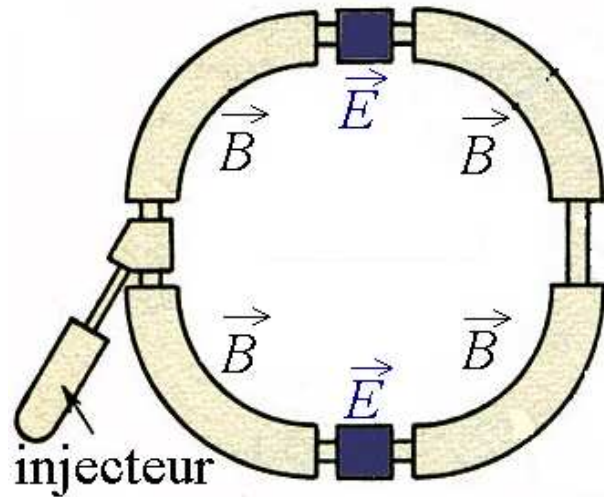
accélération → champ électrique

déviatation → champ magnétique

cyclotron



synchrotron



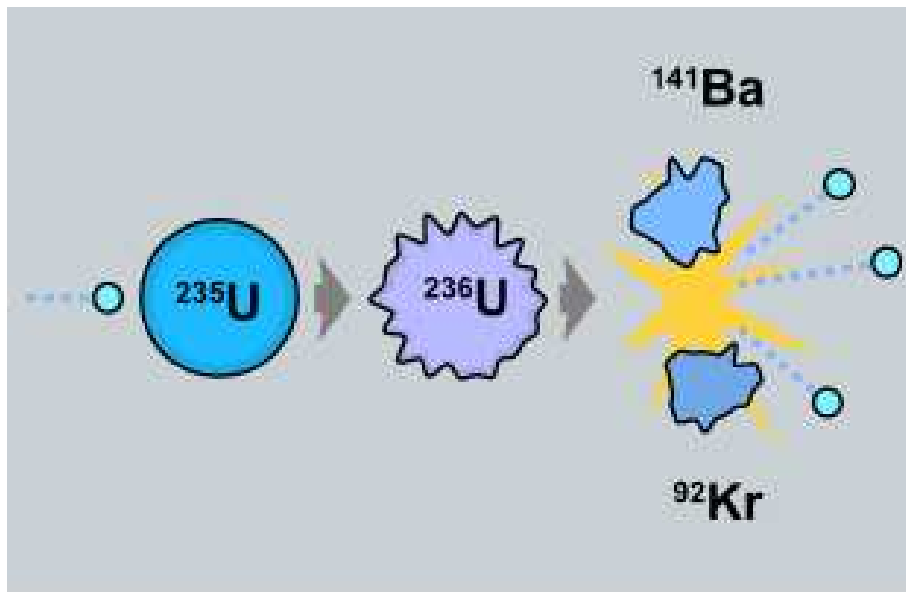
Exemples de bombardements :

protons → ${}^{11}_6\text{C}, {}^{13}_7\text{N}, {}^{18}_9\text{F}$ → radionucléide β^+

deuton → ${}^{15}_8\text{O}$ → radionucléide β^+

autres → ${}^{67}_{31}\text{Ga}, {}^{111}_{49}\text{In}, {}^{123}_{53}\text{I}, {}^{201}_{81}\text{Tl}$ → radionucléide γ

S'il s'agit de **particules neutres** → réacteurs nucléaires



→ ou bombardement de noyaux par des particules α

➤ **produits de la fission de l'Uranium** → réacteurs

${}_{42}^{99}\text{Mo}$ → radionucléide β^-

${}_{37}^{82}\text{Rb}$ → radionucléide β^+

${}_{83}^{212}\text{Bi}$ → radionucléide α

${}_{36}^{81}\text{Kr}, {}_{54}^{133}\text{Xe}$ → radionucléide γ

➤ **production d'électrons par effet thermoélectrique**

1 - chauffage par effet Joule d'un métal

2 - accélération par ddp

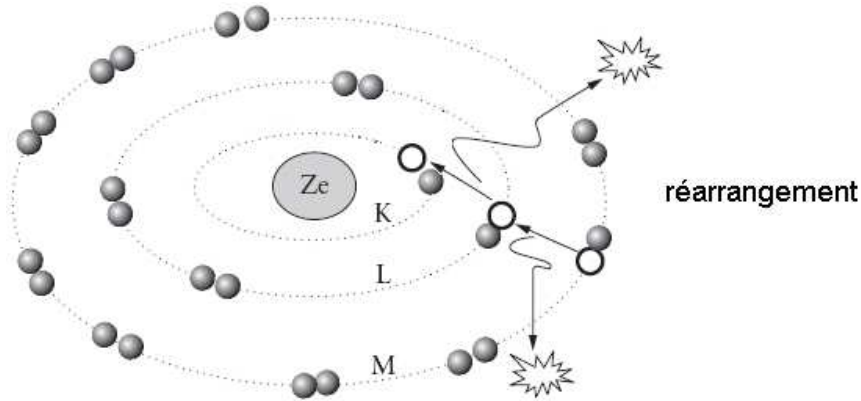
- 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 -

1.2 production des rayonnements EM (RX et γ)

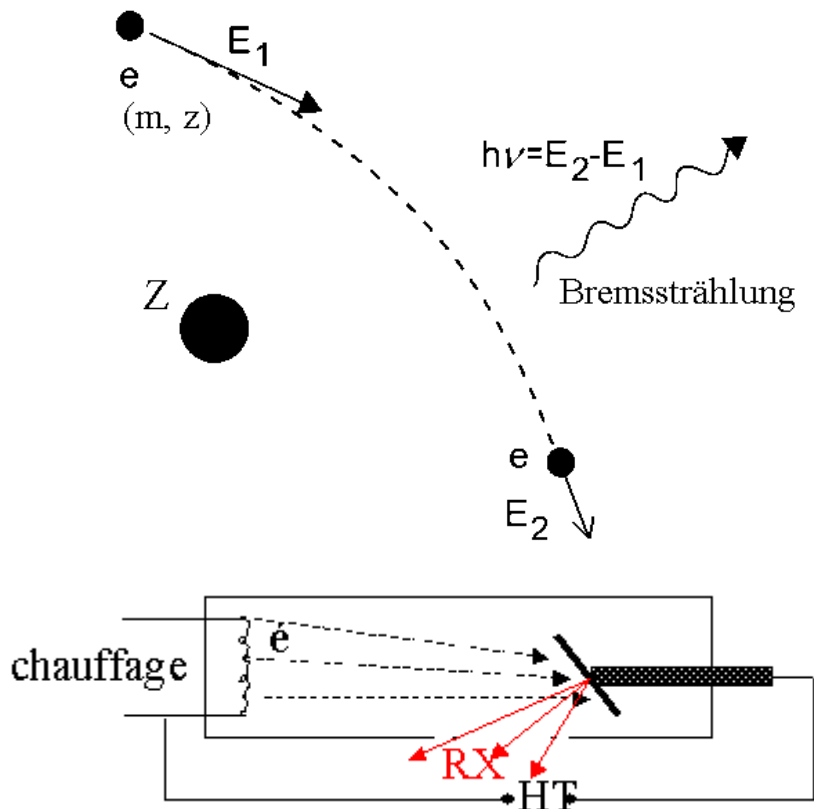
(aspect corpusculaire plus adapté)

➤ Les photons X sont produits :

- Désexcitation au niveau du nuage électronique

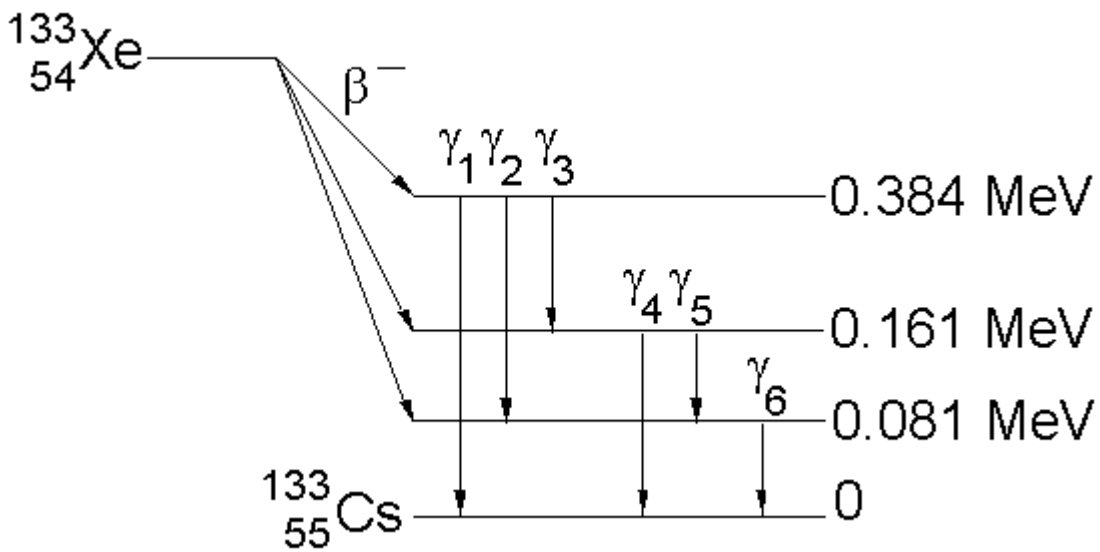


- par rayonnement de freinage

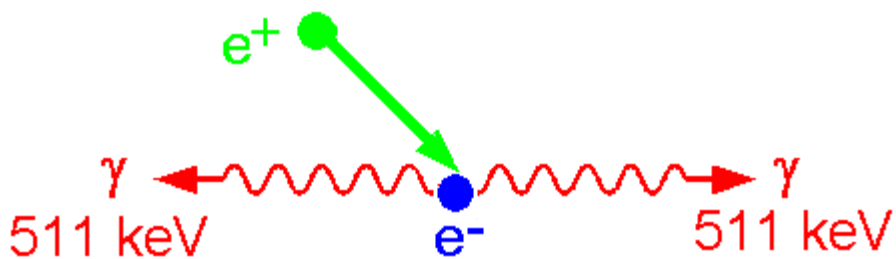


✚ Les photons γ sont produits :

- au niveau du noyau



- par annihilation d'un couple particule/antiparticule



2 - Détection des RI

2.1 Généralités

➤ la détection des particules nucléaires est obtenue par :

- visualisation
- détection de signaux électriques (courants)
- détection de photons peu énergétiques (visible)

➤ visualisation

- chambre de Wilson (gaz comprimé)
- chambre à bulles (liquide détendu)

➤ enregistrement d'un signal électrique

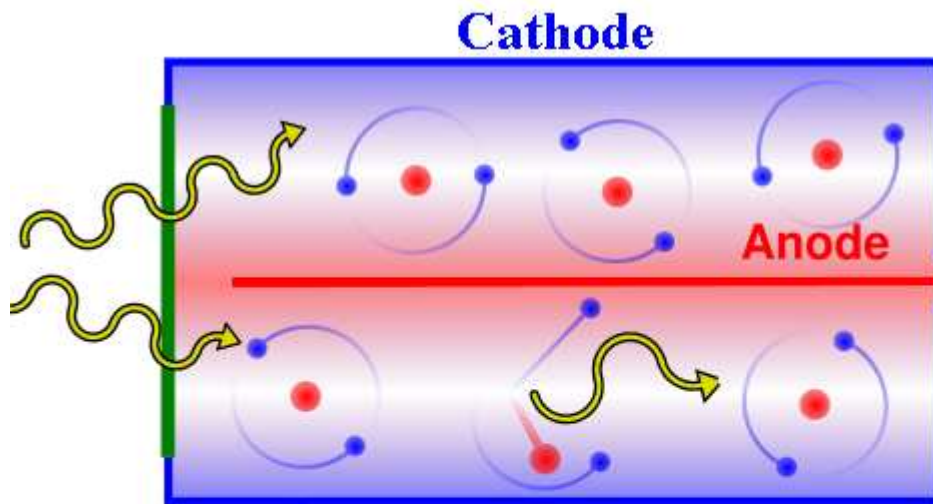
- compteur Geiger (ionisation gaz / liquide)
- compteurs proportionnels (ionisation gaz / liquide)
- chambre à fils (particules chargées en mvt)
- photomultiplicateur : photons \rightarrow électrons
- semi-conducteurs : photons X et γ \rightarrow courant
- thermoluminescence (fluorescence retardée)

➤ enregistrement d'un signal EM

- scintillateurs : particules chargées \rightarrow photons
photons X et γ \rightarrow photons lumineux

2.2 Les phénomènes de base

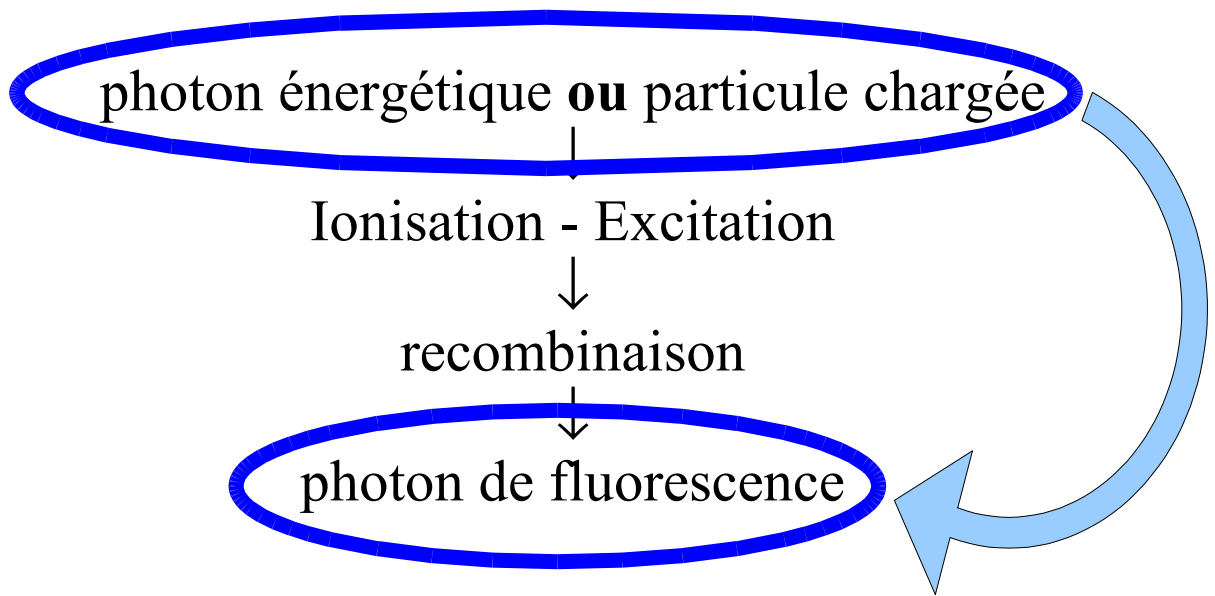
➤ Ionisation des gaz ou des liquides



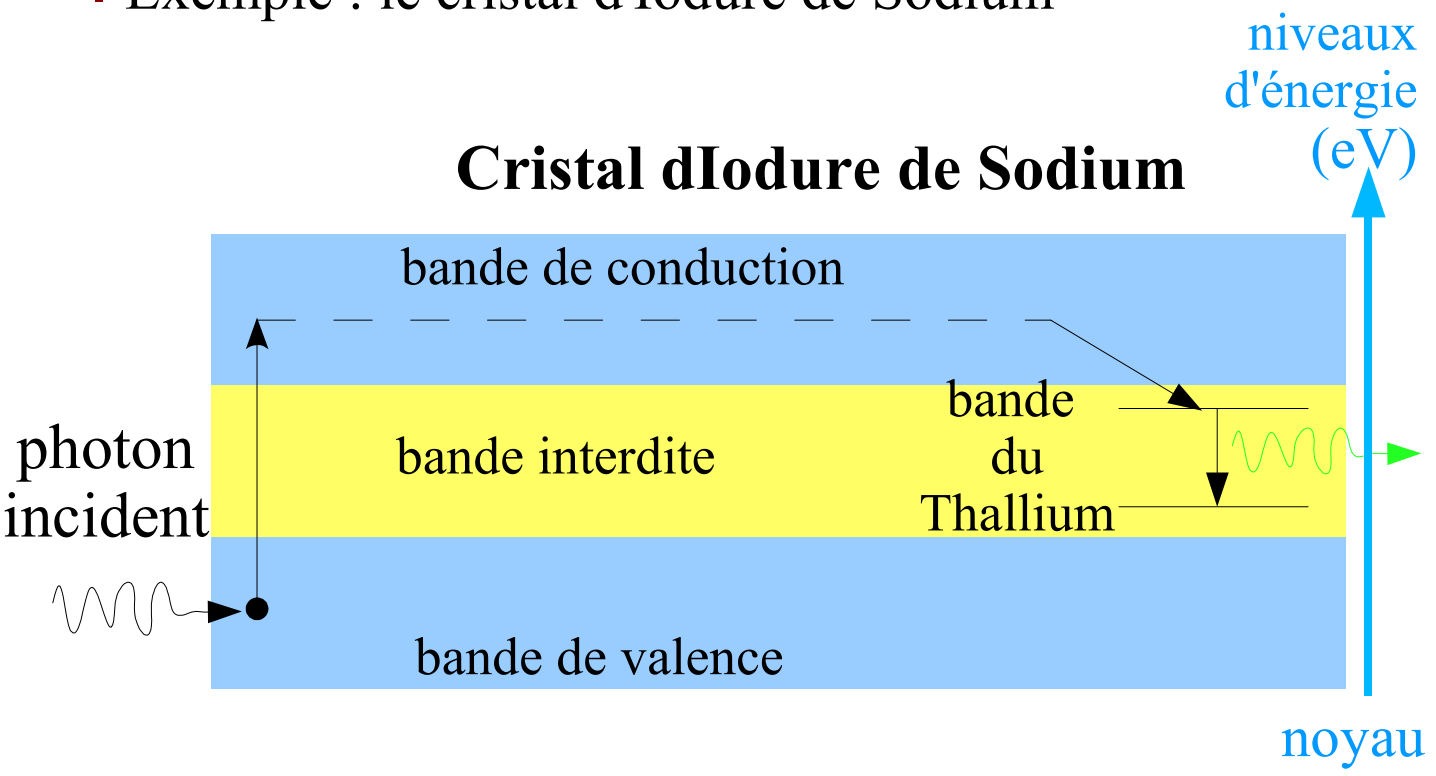
- $0 < \text{d.d.p.} < 100 \text{ V} \rightarrow$ pas d'intérêt
- $100 < \text{d.d.p.} < 300 \text{ V} \rightarrow$ Chambre d'ionisation
1 ionisation primaire \rightarrow 1 comptage
- $300 < \text{d.d.p.} < 1000 \text{ V} \rightarrow$ Compteur proportionnel
 n électrons primaires $\rightarrow N$ électrons secondaires $\rightarrow N = k \cdot n$
- $1100 < \text{d.d.p.} < 1400 \text{ V} \rightarrow$ Compteur Geiger-Müller
 n électrons primaires \rightarrow saturation \rightarrow comptage

pratique, efficace, mesure des β et γ et parfois des α

+ La scintillation



- + C'est une propriété de certains cristaux
- + Le cristal est "dopé" d'impuretés
- + Exemple : le cristal d'Iodure de Sodium



➤ La scintillation (suite)

➤ Différents types de scintillateurs

- Scintillateurs liquides
- Scintillateurs organiques
- Scintillateurs inorganiques → très prisés en médecine
- Scintillateurs à gaz (gaz rares) → très bon rendement

➤ Efficacité bien meilleure que le compteur Geiger

➤ Mesure des taux très faibles de radioactivité

➤ La détection des photons est faite par :

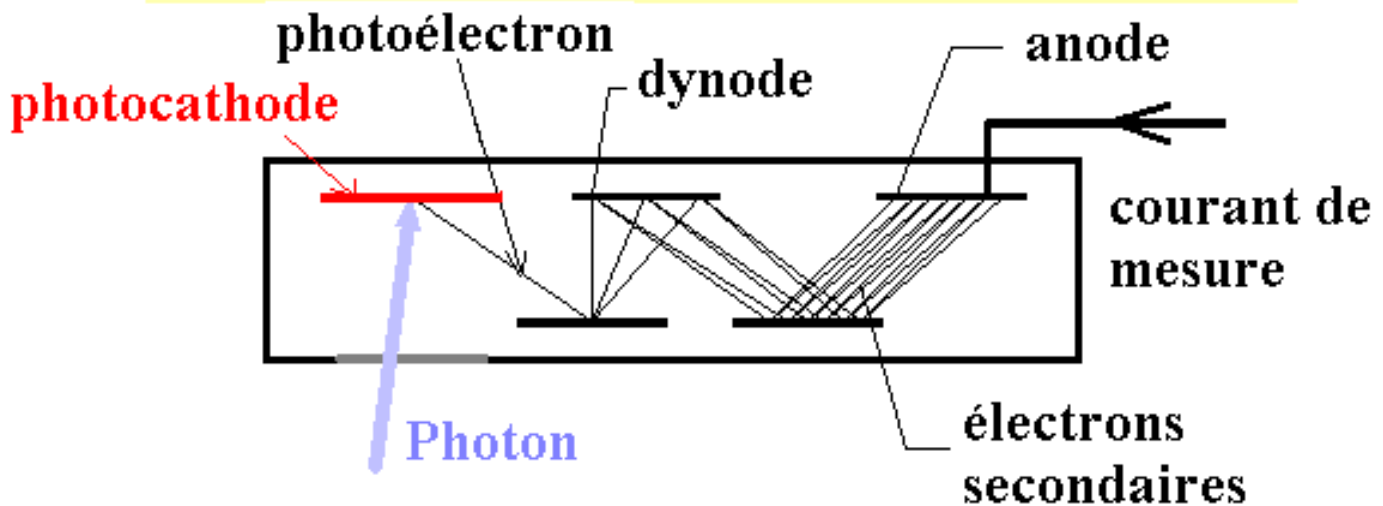
Photomultiplicateur (PM)

Caméra CCD

- 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 -

➤ Le Photomultiplicateur

Transforme par effet photoélectrique ou Compton des photons en électrons → photélectron



- 1 – Le photon arrache un **é** de la photocathode
- 2 - l'**é** accéléré arrache plusieurs **é** sur la dynode 1
- 3 – ces **é** sont accélérés par les d.d.p. entre dynodes
- 4 – l'anode collecte l'ensemble des **é** → courant de mesure

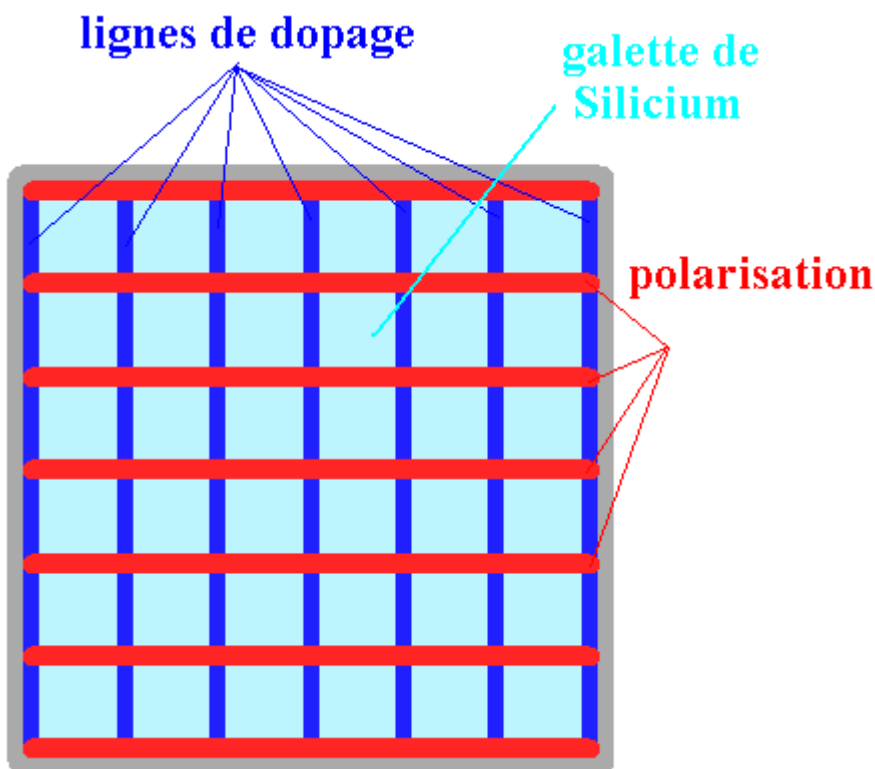
- 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 -

+ La caméra CCD (Charge Coupled Device)

● conversion d'un signal lumineux en un signal électrique.

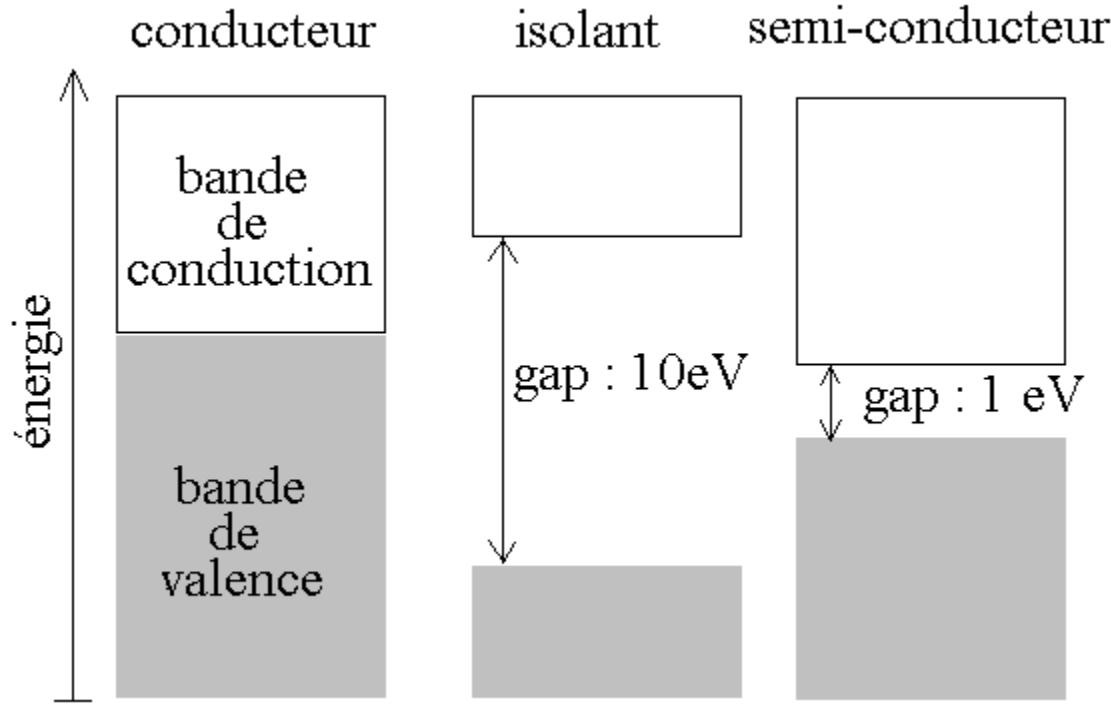
● Fonctionnement :

- La caméra est une matrice de pixels
- Chaque pixel = un semi-conducteur en sandwich dans un condensateur électrique.
- Un photon incident crée une paire é/trou
- Polarisation en inverse, le SC stocke les photo-électrons
- Polarisation en direct, le SC restitue l'information

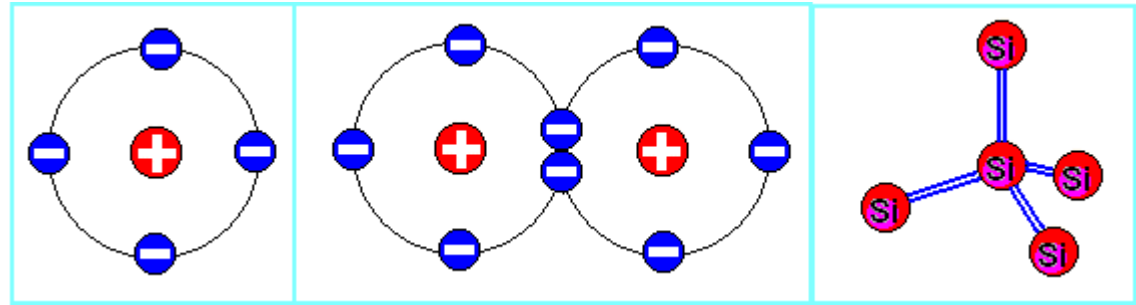


+ Les semi-conducteurs

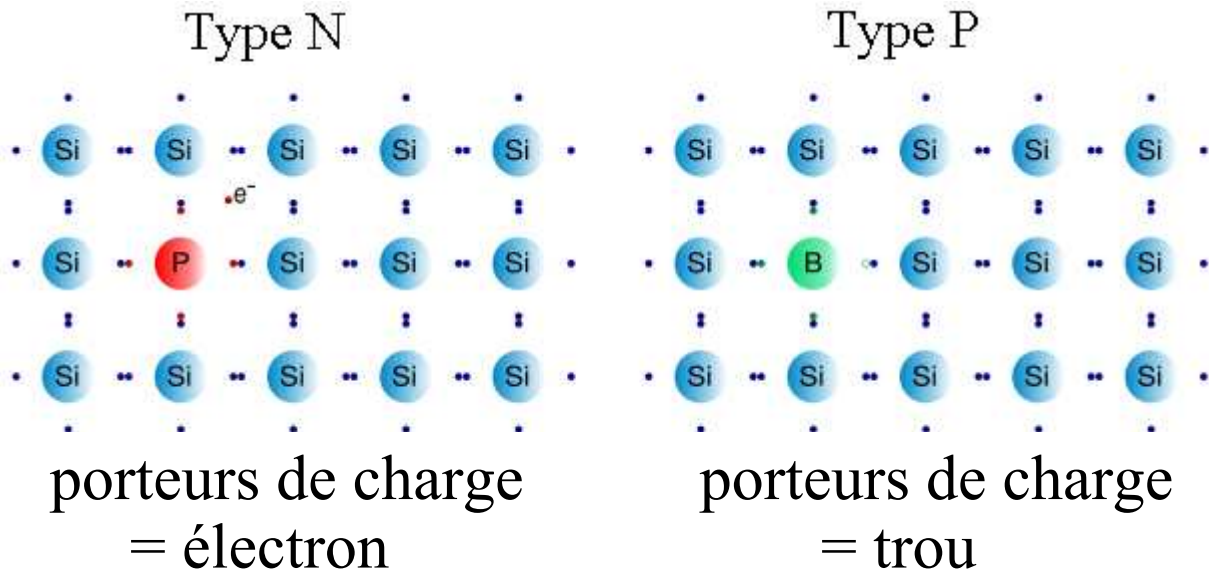
+ Classification des conducteurs



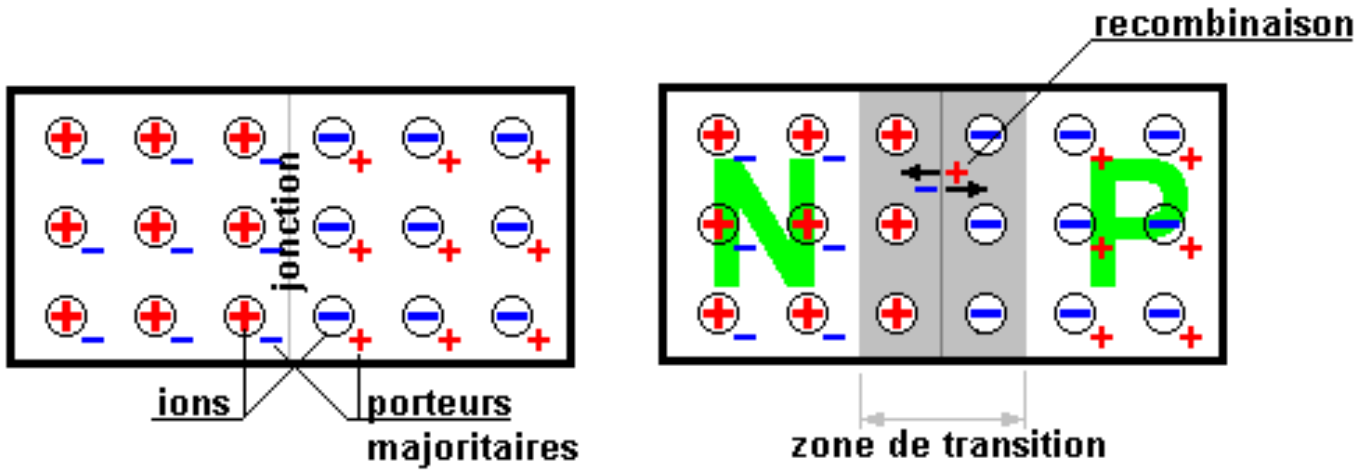
+ Un semi-conducteur : le silicium



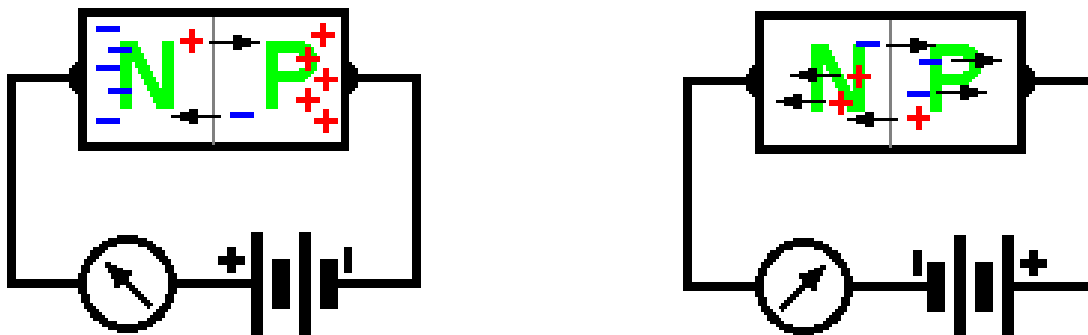
➤ Dopage d'un semi-conducteur



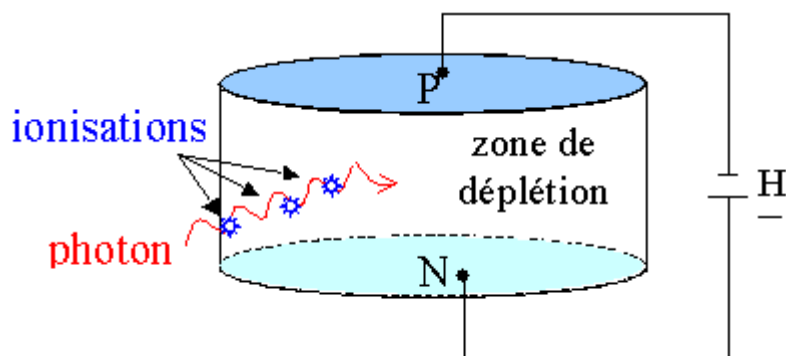
➤ Jonction PN



➤ Polarisation de la jonction



✚ Détecteur GeHP (Germanium Hyper Pur)

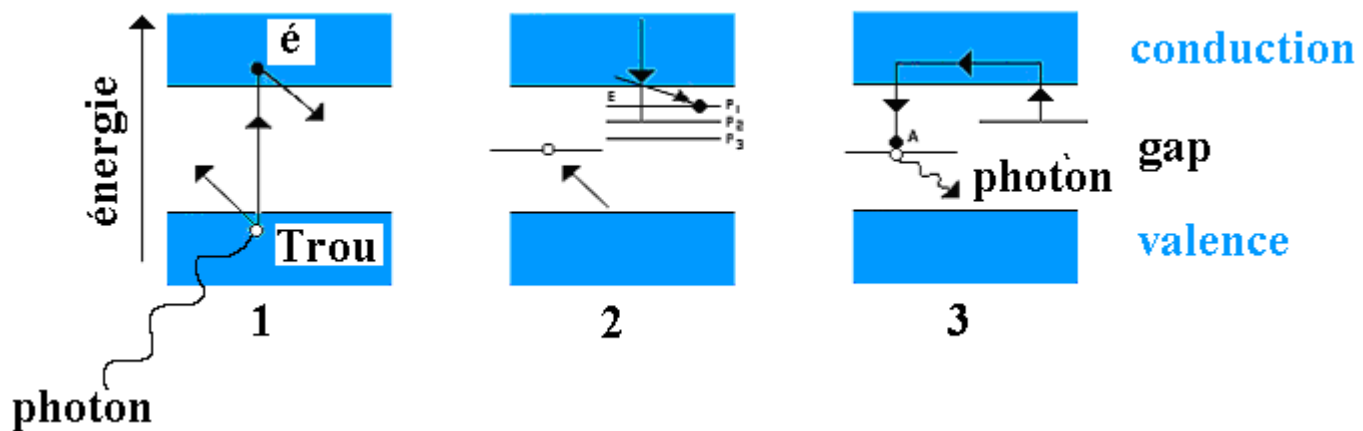


Énergie moyenne pour créer une paire é/trou :
 3 eV

\Rightarrow 1 photon de 3 MeV peut créer 1.10^6 é/trou

- 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 -

+ La thermoluminescence



- 1 - l'ionisation par rayonnement libère un trou et un é
trou → dans le gap
électron → bande de conduction
- 2 - l'électron et le trou sont capturés par des impuretés
(pièges) du minéral
- 3 - le minéral chauffé libère l'électron ; ce dernier se
recombine au trou en A, ce qui entraîne l'émission
d'un photon

3 Performances et Objectifs des détecteurs

➤ 3.1 Performances des détecteurs

- Géométrie de comptage → angle de détection
- Sensibilité au bruit de fond → sensibilité aux parasites
- Sensibilité de détection → seuil de détection
- Temps mort → intervalle de temps entre 2 détections
- La linéarité → comptage proportionnel aux événements

➤ 3.2 Objectifs de la détection

- Détection et mesure d'une source
 - compteur Geiger
 - scintillateurs
- Mesure de l'activité d'une source :
 - activimètre (chambre d'ionisation + traitement du signal)
(étalonné par un étalon)
- Mesure de l'énergie des photons d'une source
 - compteur à scintillation → proportionnalité entre énergie
cédée et amplitude du signal
 - semi-conducteurs → relation entre le nbre d'é/trou créés et
l'énergie du photon
- Identification du radionucléide
 - spectrométrie γ