

Cours de Physique-Biophysique

2023/2024

1^{er} semestre

Pr. Youssef Mir

Université Privée de la Santé et des Sciences d'Agadir
UPSSA

Plan

II.6. DÉTECTION DES RAYONNEMENTS IONISANTS

II.6.1. Caractéristiques générales des compteurs

II.6.2. Les appareils mettant en jeu l'ionisation des gaz

II.6.3. Les détecteurs à scintillation

II.6.4. Méthodes de détection photographiques

II.6.5. Détecteurs à semi-conducteurs

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Généralité et mode de fonctionnement du détecteur

- ☐ Il est utilisé en diagnostic
- ☐ Il est à la fois un détecteur et un appareil de mesure
- ☐ Il permet la localisation des sources radioactives.

Tous les types de détecteurs sont constitués par les mêmes éléments:

- ☐ **Un capteur:** interaction rayonnement avec la matière;
- ☐ **Amplificateur:** formation et amplification du signal;
- ☐ **Traitement des signaux;**
- ☐ **Affichage:** selon le type de détecteurs, il peut donner:
 - flux de photons ou de particules
 - énergie des particules (sous forme de spectre)
 - dose absorbée, débit de dose

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Caractéristiques générales des compteurs

Efficacité de détection

L'efficacité de détection dépend de la nature et de l'énergie du rayonnement.

$$\text{Efficacité de détection} = \frac{\text{nombre de particules ou photons détectés}}{\text{nombre de particules ou photons reçus par le détecteur}}$$

Temps mort

Ce temps est le plus petit intervalle de temps entre deux signaux pris en compte par le système.

Résolution en énergie

Caractérise la qualité du détecteur à séparer deux énergies proches.

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Caractéristiques générales des compteurs

Mouvement propre

Il correspond au temps de comptage enregistré en absence de toute source de radiation.

Il est dû:

- ✓ au bruit de fond naturel:
 - ❖ Radioactivité ambiante
 - ❖ Rayonnement cosmique
- ✓ à la radioactivité propre des matériaux et le bruit de l'électronique associée.

Caractéristiques géométriques

- ✓ La forme du détecteur
- ✓ L'importance de sa surface sensible

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Types de détecteurs

- ☐ **Détecteurs mettant en jeu l'ionisation des gaz;**
- ☐ **Détecteurs à scintillations;**
- ☐ **Détecteurs basés sur le noircissement des films photographiques;**
- ☐ **Détecteurs à semi-conducteurs;**

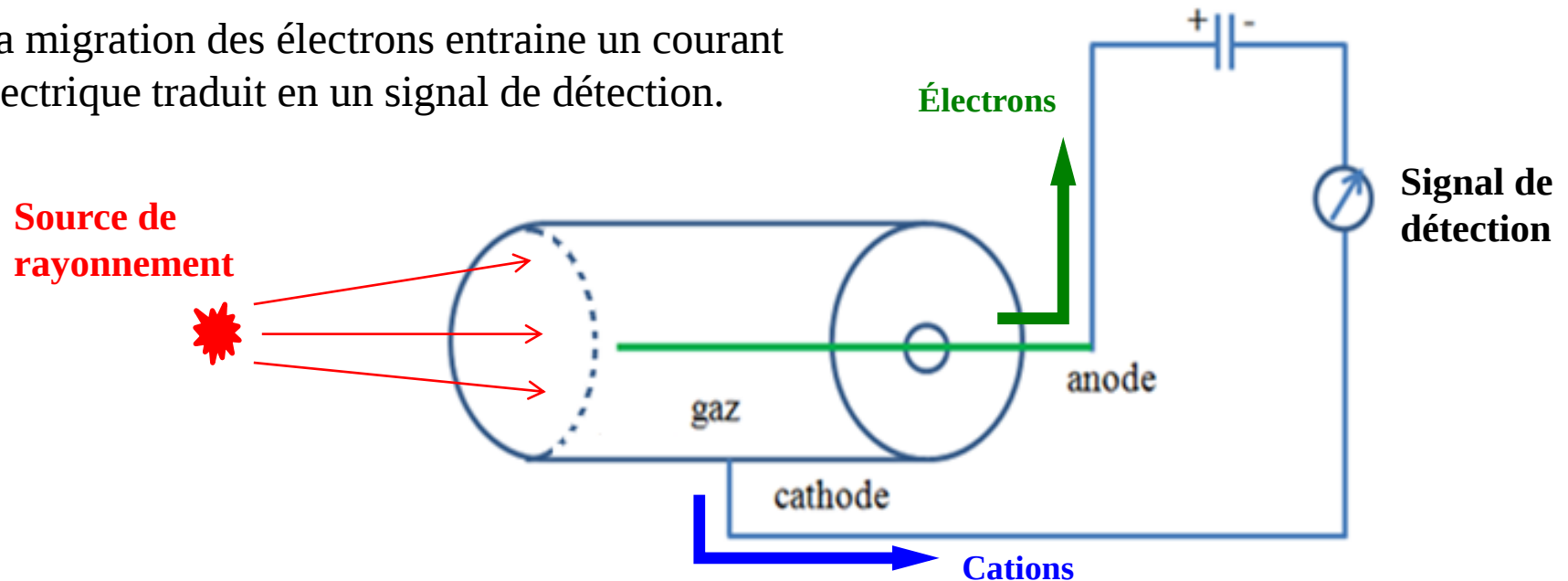
Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Les appareils mettant en jeu l'ionisation des gaz

Principe de base

La migration des électrons entraîne un courant électrique traduit en un signal de détection.



- ☐ Le gaz dans le cylindre est soumis à une différence de potentiel;
- ☐ L'armature extérieure est reliée à la borne négative d'un générateur (cathode);
- ☐ Le fil métallique traversant le milieu gazeux est relié à la borne positive du générateur (anode);
- ☐ Le rayonnement ionise le milieu gazeux qu'il traverse et crée des cations et des électrons;
- ☐ Les électrons sont collectés sur l'anode et produisent une impulsion électrique.

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

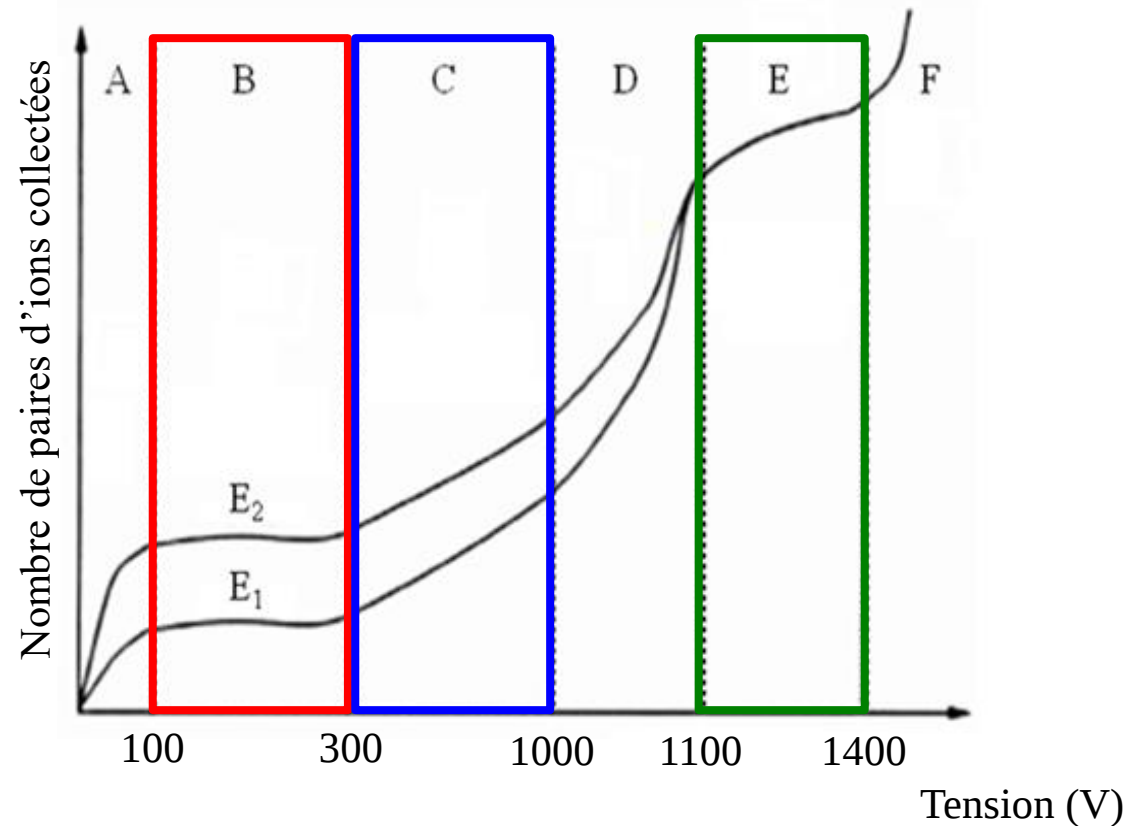
Les appareils mettant en jeu l'ionisation des gaz

Mode de fonctionnement des détecteurs à gaz

Deux rayonnements
d'énergie initiale E_1 et E_2
sont utilisés
($E_2 > E_1$).

On distingue 6 régions: A, B,
C, D, E et F

(B) Chambre d'ionisation
(C) Compteur proportionnel
(E) Détecteur Geiger-Müller



Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Les appareils mettant en jeu l'ionisation des gaz

Principales caractéristiques des détecteurs à ionisation

Détecteurs	Particules détectées	Temps mort (μ s)	Taux de comptage (ions/s)
Chambre d'ionisation	α - β - X- γ	1 - 10	$10^4 - 10^5$
Compteur proportionnel	α - β - X	1 - 10	$10^4 - 10^5$
Compteur GM	β - X- γ	100	10^3

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

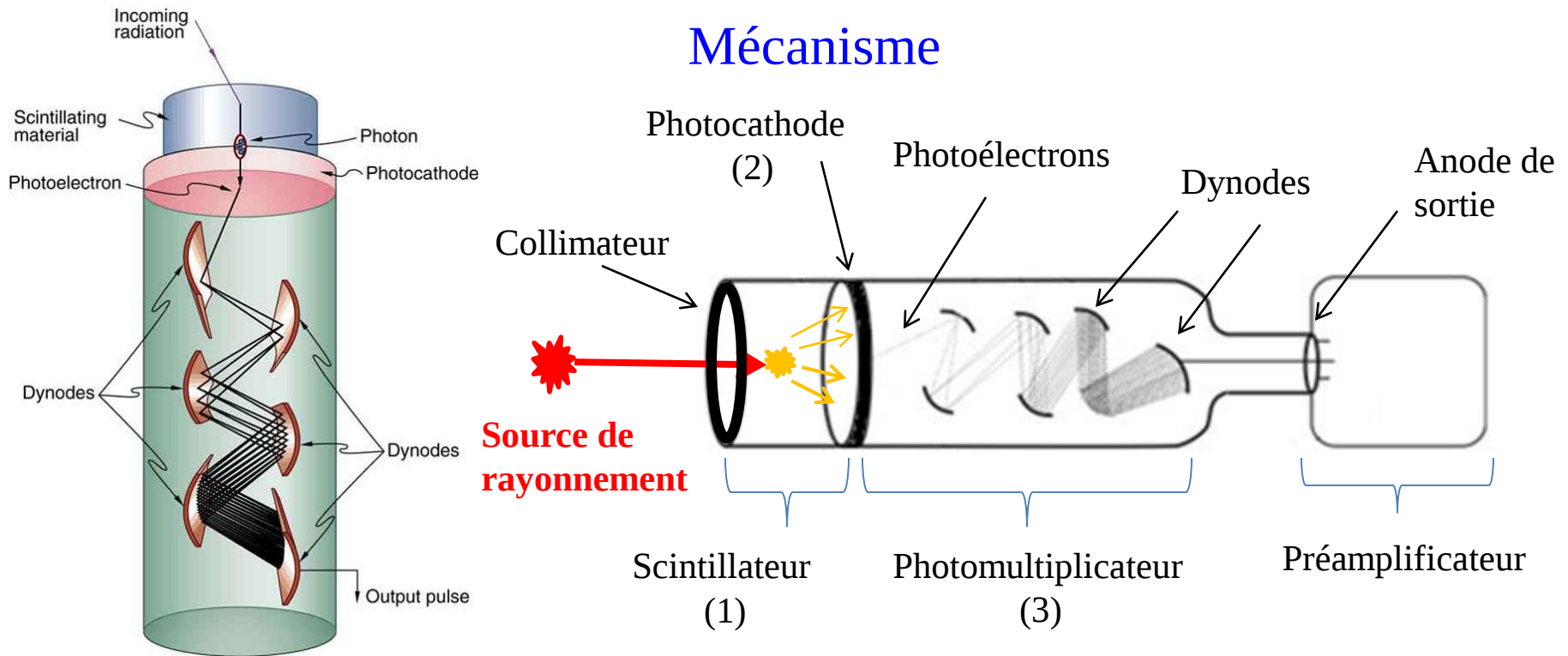
Un compteur capable de fonctionner indifféremment dans les trois régimes n'existe pas.

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Les détecteurs à scintillation

Mécanisme



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

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Les détecteurs à scintillation

Constitution d'un détecteur à scintillation

1- Le collimateur: (Plomb ou Tungstène) :

- ✓ Il localise la distribution du radiotraceur dans l'organisme
- ✓ Il ne laisse passer que les photons qui arrivent perpendiculairement à la surface de la caméra

2- Le Scintillateur:

- ✓ Il convertit l'énergie des radiations ionisantes en scintillations lumineuses (photons visibles ou UV);
- ✓ Le cristal utilisé NaI(Tl) (Iodure de Sodium activé (dopé) avec du Thalium) a un bon rendement lumineux

La scintigraphie désigne un examen réalisé avec un gamma caméra à scintillations.

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Les détecteurs à scintillation

Constitution d'un détecteur à scintillation

3- Le tube de photomultiplicateur :

Son rôle est de convertir les photons issus du cristal en un signal électrique mesurable en amplifiant le signal d'un facteur de 10^6 . Il est constitué d'un:

- ✓ photocathode qui transforme les photons lumineux en électrons;
- ✓ multiplicateur d'électrons (dynodes);
- ✓ anode qui recueille les électrons issus et les transforme en impulsions.

4- Circuit électronique:

- ✓ alimentation haute tension - préamplificateur;
- ✓ analyseur multicanal - dispositif de comptage.

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

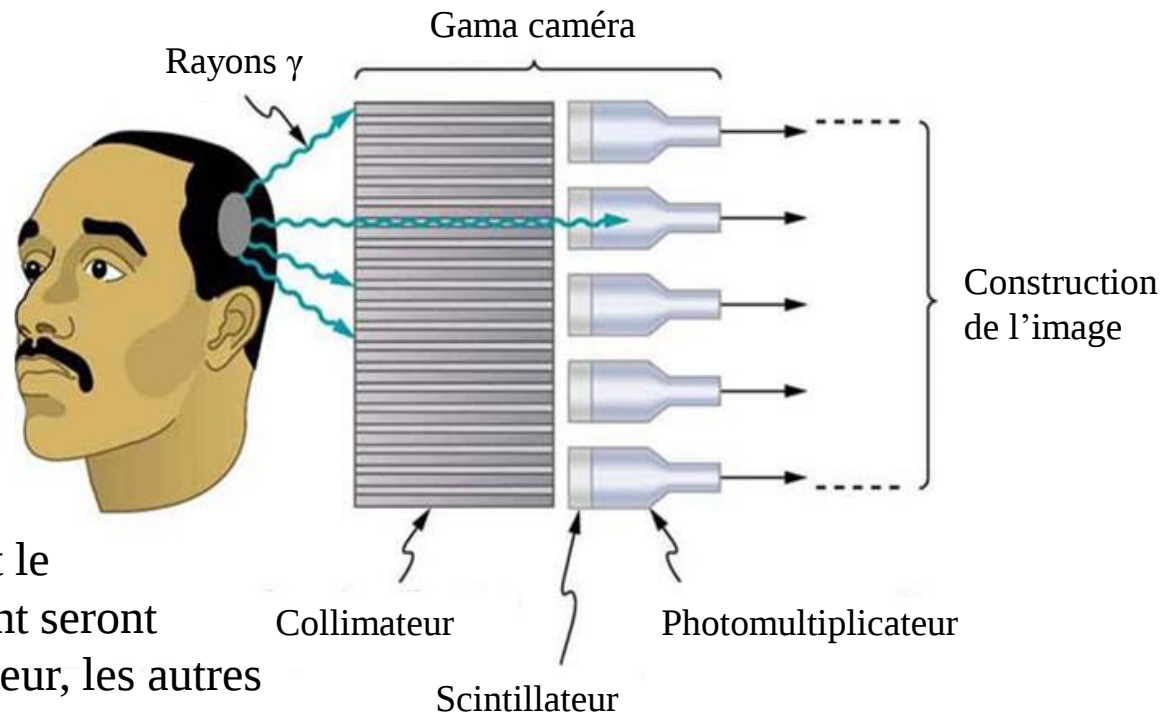
Détection des rayonnements ionisants

Les détecteurs à scintillation

Principe de détection de la Gamma caméra

Il faut connaître la position de l'impact des photons sur le détecteur et sa direction pour remonter au point d'origine.

Le collimateur est constitué de canaux en plomb dont le rôle est de sélectionner les photons ayant une direction donnée.



Seuls les photons qui atteignent le scintillateur perpendiculairement seront détectés par le photomultiplicateur, les autres photons seront absorbés par le plomb.

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

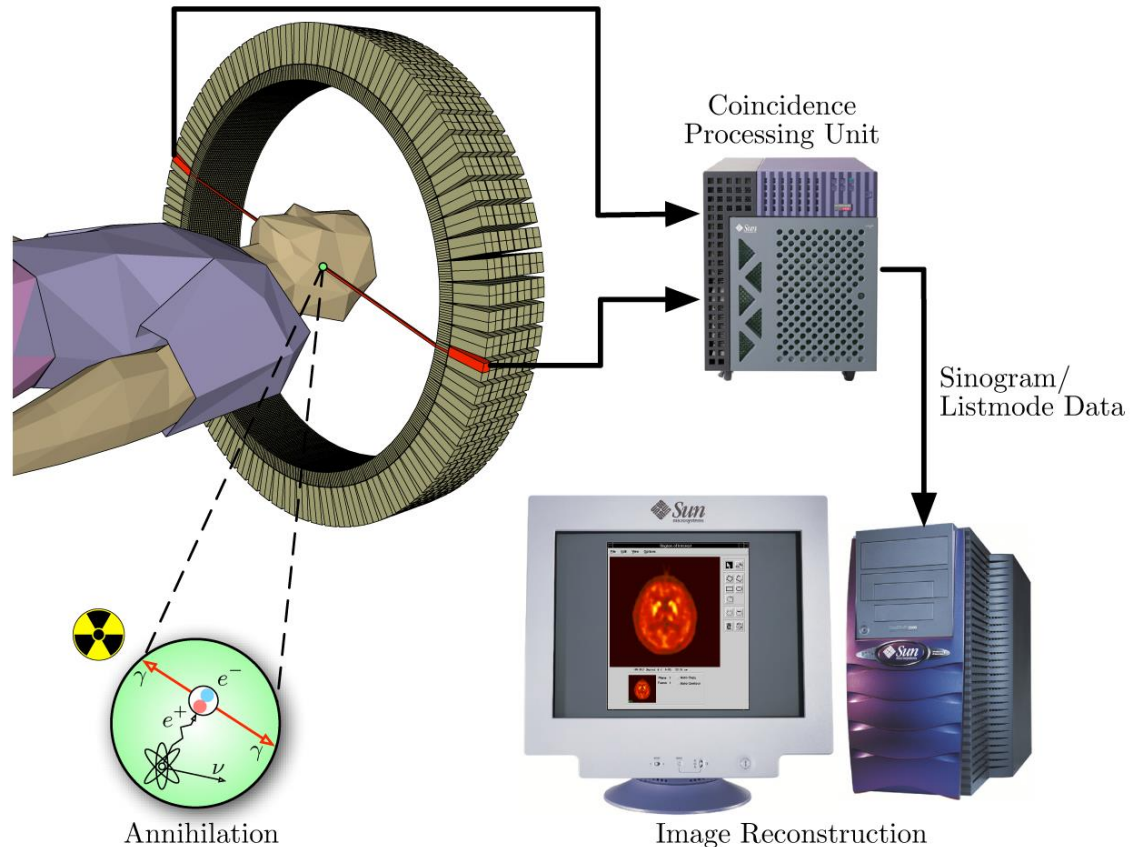
Détection des rayonnements ionisants

Les détecteurs à scintillation

Exemple: SPECT (TEMP) et TEP

✓ SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) ou Tomographie par Emission MonoPhotonique;

✓ Tomographie par Émission de Positrons (TEP)



Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Méthodes de détection photographiques

Principe de base

- ❑ Il est le plus simple et le plus ancien;
- ❑ Il comptabilise les doses équivalentes reçues par les travailleurs;
- ❑ Le principe est basé sur l'impression des émulsions photographiques (film photographique) formées de cristaux de bromure d'argent (AgBr). Suite à l'exposition aux radiations ionisantes les ions Ag^+ se transforment en argent métallique.
- ❑ L'intensité du noircissement est proportionnel aux flux des radiations ionisantes reçus.



Exemple : dosimètre badge

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Détecteurs à semi-conducteurs

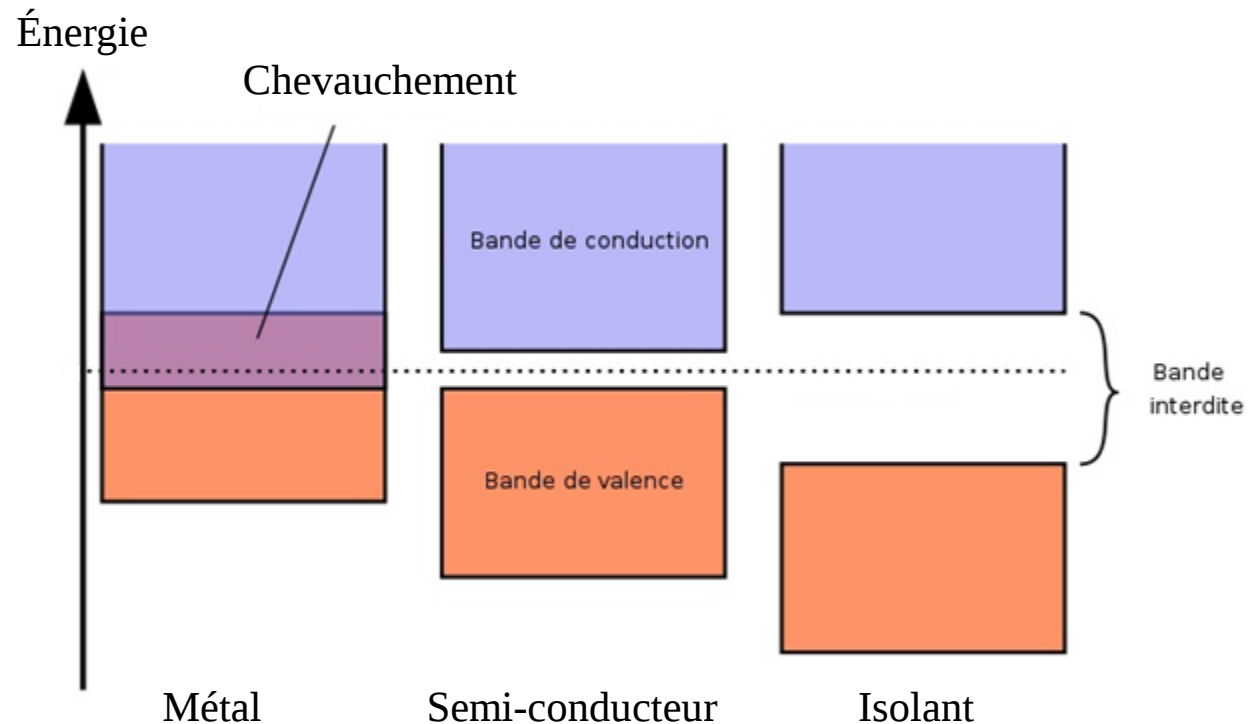
Propriétés des semi-conducteurs

Les électrons dans un matériau (isolants, semi-conducteurs, métaux) peuvent se situer sur deux niveaux d'énergie.

La bande de conduction → électrons périphériques libres de se déplacer

La bande de valence → électrons responsables des liaisons covalentes ;

Dans les isolants tous les électrons se situent dans la bande de valence.



Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Détection des rayonnements ionisants

Détecteurs à semi-conducteurs

Propriétés des semi-conducteurs

Semi-conducteur dopé: ajout d'impuretés qui modifient le nombre de porteurs de charge

