

Cours n°3

La Cellule Photoémissive (L'Effet Photoélectrique Externe)

Introduction

La cellule photoémissive est un transducteur qui permet de transformer un signal lumineux en un signal électrique. Elle repose sur l'effet photoélectrique externe, découvert expérimentalement par Hertz en 1887 et expliqué théoriquement par Albert Einstein en 1905.

À la différence des cellules photovoltaïques (qui créent une tension au sein d'un solide), la cellule photoémissive libère des électrons dans le vide, ce qui permet des mesures de très haute précision et une vitesse de réponse extrêmement rapide.

2. Le Phénomène Physique : L'Effet Photoélectrique

Lorsqu'une onde électromagnétique (lumière) frappe la surface d'un métal, elle peut céder son énergie aux électrons de ce métal.

2.1. L'équation d'Einstein

Un photon d'énergie $E_p = h\nu$ (ou h est la constante de Planck et ν la fréquence) interagit avec un électron. Pour que l'électron soit expulsé du métal, l'énergie du photon doit être supérieure au **travail de sortie** (ϕ) du matériau.

$$h\nu = \Phi + E_c$$

- ϕ : (Travail de sortie) : Énergie minimale pour arracher l'électron au métal.
- E_c : (Énergie cinétique) : Énergie restante qui permet à l'électron de se déplacer après sa sortie.

2.2. Le Seuil Photoélectrique

Il existe une fréquence minimale ν_0 (ou une longueur d'onde maximale λ_0) en dessous de laquelle aucun électron ne sort, quelle que soit l'intensité de la lumière :

$$\nu_0 = \frac{\Phi}{h} \quad \text{ou} \quad \lambda_0 = \frac{hc}{\Phi}$$

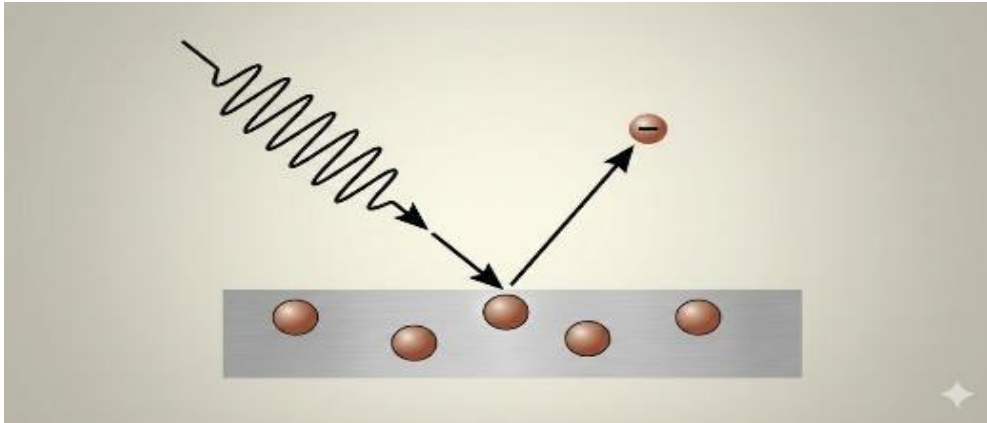


Figure 1 : Interaction Photon-Électron à la surface d'une photocathode.

3. Constitution et Fonctionnement

La cellule se présente sous la forme d'une ampoule en verre où règne un **vide poussé** (environ 10^{-6} mm de Hg) pour éviter que les électrons ne collisionnent avec des molécules d'air.

- **La Photocathode :** Une électrode de grande surface, souvent recouverte d'un métal alcalin (Césium, Antimoine), qui émet les électrons lorsqu'elle est éclairée.
- **L'Anode :** Une électrode positive (souvent un fil fin) qui collecte les électrons émis.
- **Le Circuit extérieur :** Comprend une source de tension (pile) pour polariser l'anode positivement et un ampèremètre pour mesurer le photocourant.

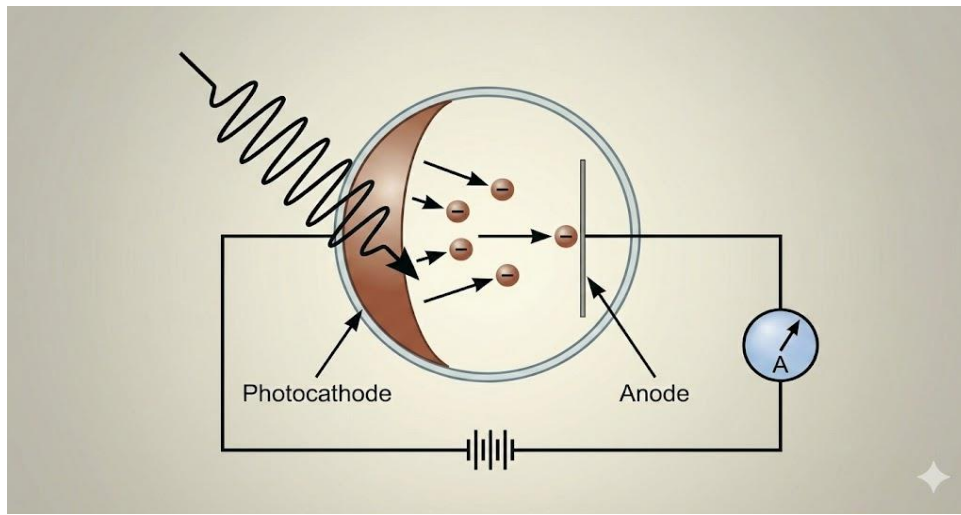


Figure 2 : Montage expérimental d'une cellule photoémissive sous vide.

4. Caractéristique Courant-Tension $I = f(V)$

Le comportement de la cellule dépend de la tension V appliquée entre l'anode et la cathode.

- **Zone de croissance** : Lorsque V augmente, de plus en plus d'électrons émis sont attirés vers l'anode.
- **Courant de Saturation (I_S)** : À partir d'une certaine tension, tous les électrons émis par la cathode sont collectés. Le courant ne peut plus augmenter, sauf si l'on augmente l'intensité lumineuse.
- **Potentiel d'Arrêt ($-V_0$)** : Si on inverse la tension (anode négative), les électrons sont repoussés. Le courant s'annule pour une tension V_0 qui correspond à l'énergie cinétique maximale des électrons ($eV_0 = E_{c,max}$).

5. Application Avancée : Le Photomultiplicateur

Dans la pratique, le courant d'une cellule simple est souvent trop faible (quelques nano-ampères). On utilise alors un photomultiplicateur.

Le principe est d'ajouter des électrodes intermédiaires appelées dynodes. Chaque électron frappant une dynode en libère plusieurs autres (émission secondaire), créant ainsi un effet de cascade. Le gain final peut atteindre 10^6 .

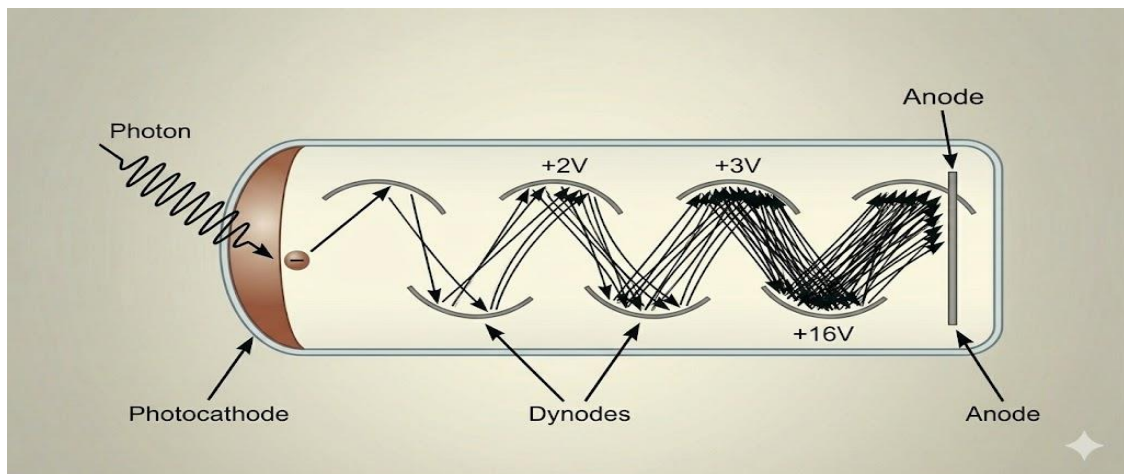


Figure 3 : Principe de multiplication des électrons par cascades sur les dynodes.

Résumé des points clés

- **Indépendance de l'énergie** : L'énergie des électrons dépend de la couleur (fréquence) de la lumière, et non de son intensité.
- **Proportionnalité du courant** : Le courant de saturation est proportionnel au flux lumineux (nombre de photons).
- **Instantanéité** : Le délai entre l'éclairement et l'émission est négligeable ($< 10^{-9}$ s).