

|  |                          |                               |  |
|--|--------------------------|-------------------------------|--|
| Terminale Spécialité Physique-Chimie                       | Thème : Ondes et signaux | M.KUNST-MEDICA<br>MAJ 07/2024 |  |
| <b><u>Chapitre 19 : La lumière, un flux de photons</u></b> |                          | Cours livre p 409 à 412       |  |

## Objectifs et trame du chapitre (6 séances)

### I. L'effet photoélectrique

#### Activité documentaire n°19.1 : Une expérience historique. (2 séances)

*Capacités visées :*

- Décrire l'effet photoélectrique, ses caractéristiques et son importance historique.
- Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulaire de la matière.
- Établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence.
- Expliquer qualitativement le fonctionnement d'une cellule photoélectrique.

### II. Absorption, émission de photons.

#### Activité expérimentale n°19.2 : Rendement d'un panneau photovoltaïque (2 séances)

*Capacités visées :*

- Citer quelques applications actuelles mettant en jeu l'interaction photon-matière (capteurs de lumière, cellules photovoltaïques, diodes électroluminescentes, spectroscopies UV-visible et IR, etc.).
- Déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque.

### Synthèse des activités :

#### Vidéo cours « Profoques » : L'effet photoélectrique

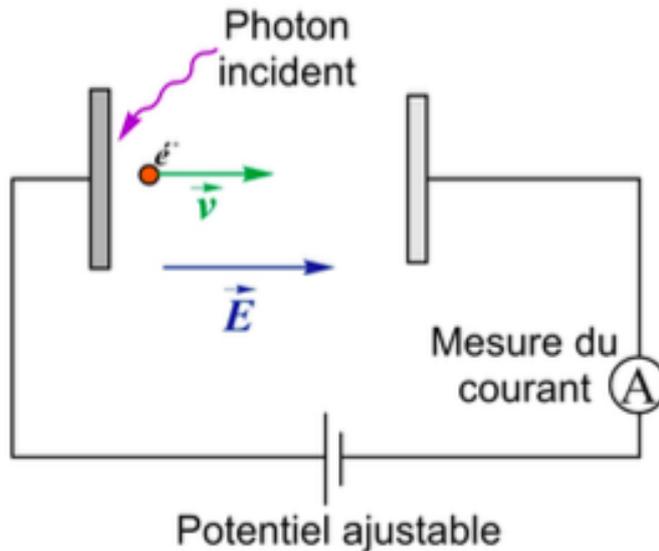
<https://www.youtube.com/watch?v=V9Er7Lp93nY>



# I. L'effet photoélectrique

## 1 Description et interprétation

Albert Einstein interprète l'effet photoélectrique en 1905 grâce à la notion de quantification de l'énergie lumineuse.



### Définition

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par une plaque métallique soumise à un rayonnement électromagnétique.

Deux paramètres importants caractérisent ce rayonnement :

- sa fréquence  $\nu$  (associée à la couleur pour la lumière visible);
- son éclairement  $E$ , exprimé en watts par mètre carré.

### Propriété

L'effet photoélectrique ne se produit que si la fréquence  $\nu$  du rayonnement incident est supérieure à une fréquence caractéristique du métal appelé fréquence seuil  $\nu_0$  exprimé en hertz (Hz)

En dessous de cette fréquence  $\nu_0$ , l'effet photoélectrique n'est pas observé, quel que soit l'éclairement  $E$ . Ce fait expérimental est contradictoire avec le modèle ondulatoire de la lumière.

### Propriété

Le modèle particulaire de la lumière explique l'effet photoélectrique : lorsqu'un photon de fréquence supérieure à la fréquence seuil  $\nu_0$  frappe un atome du métal, il lui transfère une énergie suffisante pour provoquer l'arrachement d'un électron de cet atome.

## 2 Travail d'extraction

Lorsque l'on arrache à un électron d'un atome, cet atome devient un ion de charge électrique positive, qui exerce donc une force d'interaction électrostatique attractive sur l'électron. Pour arracher définitivement l'électron, il faut donc exercer une force opposée à cette force attractive, afin de déplacer l'électron loin de l'ion. Cette force et le déplacement de l'ion étant dans le même sens, le travail d'extraction est positif.

### Définition

Le travail d'extraction  $W_S$  est le travail qu'il faut fournir à un électron pour l'arracher du métal, il est exprimé en joules (J).

L'électron est arraché si et seulement si l'énergie du photon est supérieure ou égale au travail d'extraction, c'est-à-dire

$$h\nu \geq W_{ext}$$

La fréquence seuil vaut donc

$$\nu_0 = \frac{W_{ext}}{h}$$

### Propriété

Le travail d'extraction  $W_0$  est lié à la fréquence seuil  $\nu_0$  :  $W_{ext} = h\nu_0$

## 3 Energie cinétique de l'électron extrait

Après son extraction, l'énergie du photon  $h\nu$  a été diminué du travail d'extraction. L'électron extrait reçoit donc un travail

$$W_{restant} = h\nu - W_{ext} = h\nu - h\nu_0$$

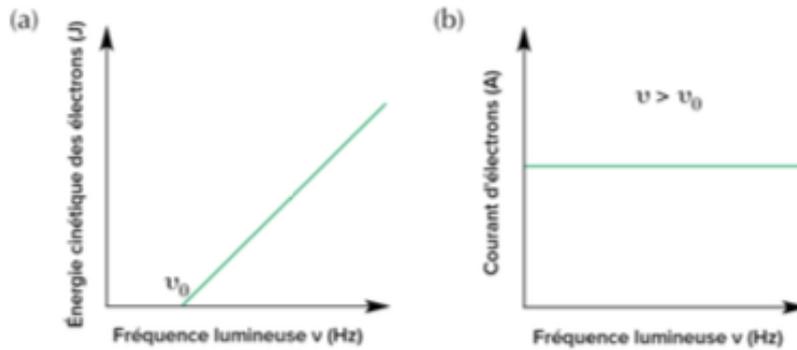
L'électron, de masse  $m$ , est initialement au repos, et on note  $v$  sa vitesse d'émission. Le théorème de l'énergie cinétique appliquée à l'électron extrait dans le référentiel galiléen du laboratoire s'écrit :

$$\Delta E_c = E_c - 0 = \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu_0$$

L'énergie cinétique  $E_c$  d'un électron extrait par effet photoélectrique est liée à la fréquence  $\nu$  du rayonnement électromagnétique :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = h(\nu - \nu_0)$$

L'énergie cinétique  $E_c$  de l'électron est donc une fonction affine de la fréquence  $\nu$  (figure a.).



Au delà de  $\nu_0$ , l'intensité du courant délivrée est constante (figure b.).

#### 4 Cellule photoélectrique

##### Définition

Une cellule photoélectrique convertit une impulsion lumineuse en impulsion électrique.

## II. Absorption, émission de photons.

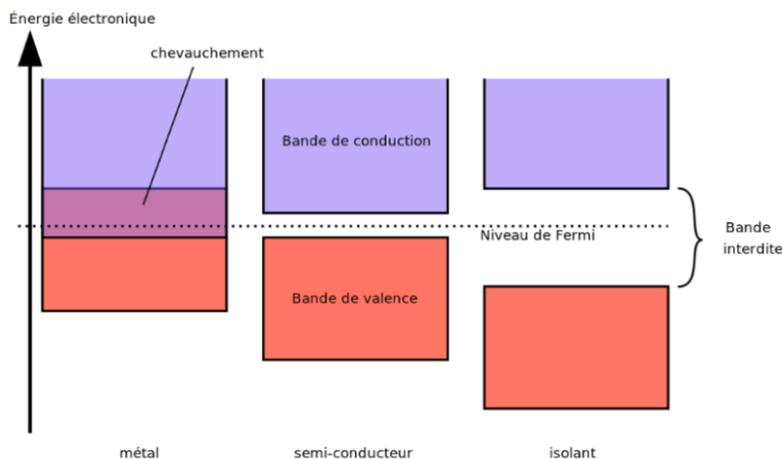
### 1 Cellules photovoltaïques

L'effet photovoltaïque, découvert par le physicien français Becquerel, est un effet voisin de l'effet photoélectrique.

##### Définition

L'effet photovoltaïque est la production d'un courant électrique au sein d'un matériau soumis à un rayonnement électromagnétique.

Dans un solide, l'énergie des électrons est quantifiée, tout comme dans un atome. Les niveaux d'énergie autorisés pour les électrons se regroupent en paquets, appelés "bandes", et sont séparées des "bandes interdites".



- Lorsque le matériau est à son énergie minimale, les électrons sont dans la bande de valence.

- Le courant électrique ne peut circuler dans un matériau que si un ou plusieurs électrons sont mobiles, et peuvent ainsi se déplacer dans le matériau. Pour cela, ils doivent se trouver dans la bande de conduction.

Si les deux bandes se chevauchent, le matériau est conducteur.

Si elles ne se chevauchent pas, l'écart énergétique  $\Delta E$  entre les deux bandes appelés gap : cela correspond à une bande d'énergies interdites.

Si  $\Delta E$  est grand, le matériau est isolant. Si  $\Delta E$  est petit, le matériau est semi-conducteur et l'absorption d'un photon d'énergie  $h\nu$  au moins égale à  $\Delta E$  permet à un électron de rejoindre la bande de conduction. Le matériau devient alors conducteur d'électricité. Si  $h\nu$  est strictement supérieure à  $\Delta E$ , l'énergie excédentaire est communiquée aux électrons et un courant électrique s'établit dans le matériau.

## 2 Rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement  $\eta$  est le quotient de la puissance électrique  $P_l$  délivrée par la cellule photovoltaïque par la puissance lumineuse incidente :

$$\eta = \frac{P_{\text{él}}}{I_r \cdot S}$$

où  $\eta$  est le rendement sans dimension,  $P_l$  la puissance électrique en watts (W),  $I_r$  l'irradiance en watts par mètre carré ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ),  $S$  la surface éclairée en mètres carrés ( $\text{m}^2$ ).

## 3 Diode électroluminescente (DEL)

Une diode électroluminescente (DEL) est un dispositif dans lequel l'énergie électrique est convertie en énergie lumineuse : le passage du courant électrique provoque l'émission de lumière par la diode.

On interprète l'émission d'un photon par un processus inverse de celui qui se produit dans la cellule photovoltaïque. Lorsqu'un électron participant au courant électrique passe de la bande de conduction à la bande de valence, sa diminution d'énergie s'accompagne de la libération d'un photon.

## 4 Spectroscopie UV-visible, spectroscopie IR

### Définition

La spectroscopie est l'étude des spectres d'absorption ou d'émission d'un échantillon soumis à un rayonnement électromagnétique. En déterminant les longueurs d'onde des photons absorbés ou émis, on détermine les atomes ou liaisons moléculaires qui figurent dans l'échantillon. C'est donc un procédé précieux d'analyse chimique.

# L'essentiel

## L'effet photoélectrique

décrit la lumière comme un flux de photons

Modèle particulaire de la lumière

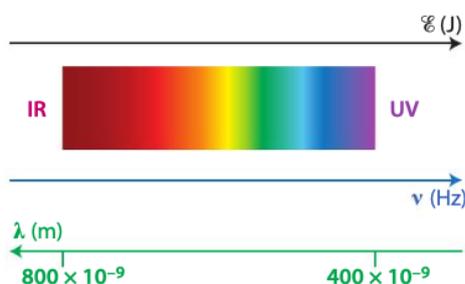
explique l'effet photoélectrique

### Le photon

- Particule de **masse nulle** qui se propage à la **célérité de la lumière** :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Énergie d'un photon associé à une **radiation de fréquence  $\nu$**  :

$$\mathcal{E}_{\text{photon}} = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda}$$

$\mathcal{E}$  en J       $h$  en  $\text{J} \cdot \text{s}$        $c$  en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$   
 $\nu$  en  $\text{Hz}$  ou  $\text{s}^{-1}$        $\lambda$  en  $\text{m}$



### L'effet photoélectrique

- **Éjection d'électrons d'un métal** sous l'effet d'une **radiation de fréquence suffisamment élevée** donc pour des photons d'énergie **suffisamment grande**.
- **Bilan énergétique de l'effet photoélectrique** pour un **électron libre proche de la surface du métal** :



$$h \times \nu_{\text{photon}} = W_{\text{extraction}} + \frac{1}{2} m_e \times v_{\text{max}}^2$$

$W_{\text{extraction}}$  en J       $h$  en  $\text{J} \cdot \text{s}$        $\nu_{\text{photon}}$  en  $\text{Hz}$  ou  $\text{s}^{-1}$        $m_e$  en  $\text{kg}$        $v_{\text{max}}$  en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$W_{\text{extraction}}$  est l'énergie nécessaire pour extraire un électron libre proche de la surface du métal.

## L'absorption ou l'émission de photons

Une **cellule photoélectrique** désigne tout dispositif dont une des propriétés électriques est modifiée à l'absorption de photons.

|                       | Photorésistance, photodiode, capteur d'appareil photographique  | Cellule photovoltaïque  | Spectroscopie   |
|-----------------------|---|---|---|
| Absorption de photons | <br>Absorption de photons pour détecter la lumière | <br>Absorption de photons pour convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique<br>Rendement : $\eta = \frac{\mathcal{P}_{\text{elec}}}{\mathcal{P}_{\text{lum}}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{elec}}}{\mathcal{E}_{\text{lum}}}$ | <br>Absorption de photons pour réaliser des analyses chimiques |

Dans tous ces dispositifs, il y a une **interaction photon-matière**.

| DEL (diode électroluminescente) |   |
|---------------------------------|---|
| Émission de photons             | Émission de photons lorsque la DEL est parcourue par un courant électrique, sans toutefois qu'elle soit portée à haute température. <div style="text-align: right;">  </div> |