

## CH P10 – L'effet photoélectrique

### Thème 4 : Ondes et signaux

#### 2. Former des images, décrire la lumière par un flux de photons

##### B) Décrire la lumière par un flux de photons

Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
<p>Le photon : énergie, vitesse, masse. Effet photoélectrique. Travail d'extraction.</p> <p>Absorption et émission de photons. Enjeux énergétiques : rendement d'une cellule photovoltaïque.</p>	<p>Décrire l'effet photoélectrique, ses caractéristiques et son importance historique.</p> <p>Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulaire de la lumière.</p> <p>Établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence.</p> <p>Expliquer qualitativement le fonctionnement d'une cellule photoélectrique.</p> <p>Citer quelques applications actuelles mettant en jeu l'interaction photon-matière (capteurs de lumière, cellules photovoltaïques, diodes électroluminescentes, spectroscopies UV-visible et IR, etc.).</p> <p><i>Déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque.</i></p>

## CH P10 – L'effet photoélectrique

### 1. Le photon

#### 1.1. Rappels sur les ondes (1<sup>ère</sup>)

Rappelons ici les deux formules de base concernant les ondes :

$$T = \frac{1}{\nu}$$

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu}$$

Avec  $T$  : période en s ;  $\nu$  : fréquence en Hz ;  $\lambda$  : longueur d'onde en m ;  
 $c$  : célérité (vitesse) de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8$  m/s.

#### 1.2. Rappels sur les photons (1<sup>ère</sup>)

La théorie ondulatoire de la lumière permet d'expliquer facilement la dispersion de la lumière par un prisme, la réfraction, la diffraction, les interférences, ... mais n'explique pas l'interaction de la lumière avec la matière. Pour l'expliquer il faut faire appel à la théorie corpusculaire : le **photon**. On parle alors de **dualité onde-corpuscule** car la lumière se comporte comme une onde (dispersion) mais aussi comme une particule (échange d'énergie avec la matière).

Le photon est considéré comme une particule élémentaire qui n'a pas de masse, pas de charge, qui se déplace à la vitesse  $c$  et qui transporte une énergie  $\Delta E$  telle que :

$$\Delta E = h \cdot \nu$$

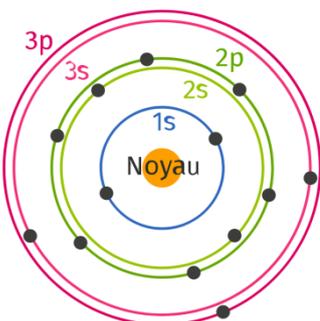
$$\Delta E = h \frac{c}{\lambda}$$

avec :  $h$  : constante de Planck :  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  J.s

**Remarque** : Il est d'usage d'utiliser l'électronvolt (eV) comme unité d'énergie.  
 **$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$** .

### 2. L'effet photoélectrique

#### 2.1. Rappels sur l'interaction lumière-matière (1<sup>ère</sup>)



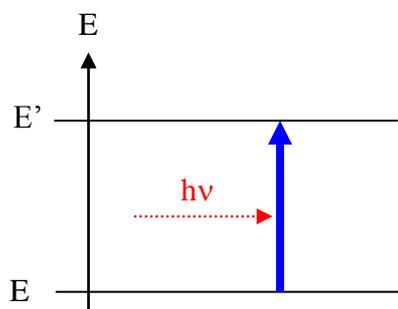
En 1913 Niels Bohr propose une représentation de l'atome qui va faire correspondre les théories quantiques et les spectres de raies. Dans son modèle, l'énergie d'un atome est également quantifiée car les électrons sont situées à des distances précises du noyau et correspondent donc à des énergies bien déterminées.

**Rappel de seconde** : les électrons d'un atome se répartissent en couches (1, 2, 3, ...) elles-mêmes divisées en sous-couches (s, p, d et f).

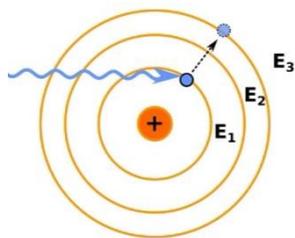
Le modèle de Bohr explique ainsi la correspondance entre les raies d'émission et d'absorption d'un atome par le fait qu'un électron peut absorber de l'énergie pour passer à une orbite plus éloignée puis peut libérer cette même quantité d'énergie pour revenir à son orbite de départ.

L'énergie d'un photon émis ou absorbé lors d'une transition entre deux niveaux d'énergie E et E' doit donc vérifier la relation :

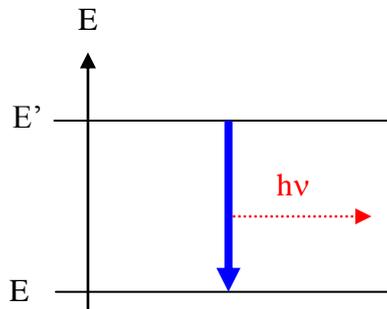
$$\Delta E = E' - E = h \cdot \nu$$



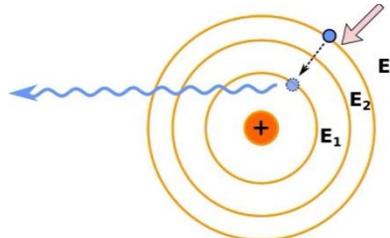
Absorption d'un photon



$$E_{\text{photon}} = \Delta E_{\text{electron}} = E_3 - E_1$$



Emission spontanée d'un photon



$$E_{\text{photon}} = \Delta E_{\text{electron}} = E_3 - E_1$$

Ce principe d'interaction entre les photons et la matière est utilisé dans de nombreuses applications comme dans les capteurs de lumière, les cellules photovoltaïques, les diodes électroluminescentes, la spectroscopie, ...

## 2.2. L'effet photoélectrique

L'**effet photoélectrique** correspond à l'émission d'un électron par un matériau quand celui-ci est exposé à la lumière ou plus généralement à un rayonnement électromagnétique.

Cependant, les électrons ne sont émis que si la fréquence de la lumière est assez élevée (donc une longueur d'onde petite) et non si la lumière est plus intense : voir exemple ci-contre. La fréquence minimale est appelée **fréquence seuil**.

Il faut donc déjà un minimum d'énergie pour pouvoir extraire un électron du matériau, on l'appelle le **travail d'extraction  $W_e$**  ou énergie de liaison.

L'excès éventuel d'énergie donné est alors transmis à l'électron sous forme d'**énergie cinétique  $E_c$** .

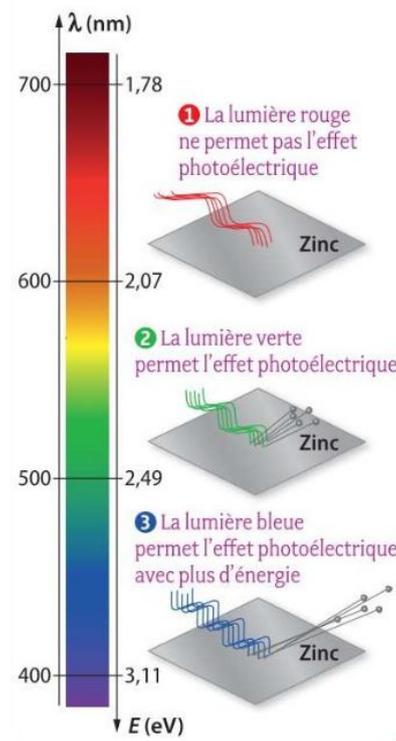
En considérant une énergie incidente  $E_i$  on a donc :

$$E_i = W_e + E_c$$

$$E_i = h \times \nu_i$$

$$W_e = h \times \nu_s$$

$$E_c = \frac{1}{2} \times m_e \times v^2$$



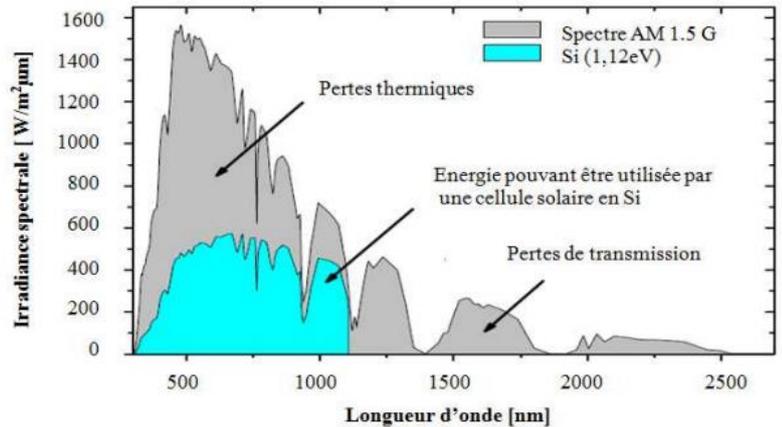
### 3. La cellule photovoltaïque

#### 3.1. Rappels sur l'utilisation des semi-conducteurs (Terminale enseignement scientifique)

Comme nous l'avons vu en enseignement scientifique de terminale on utilise des semi-conducteurs, éléments capables de produire l'effet photoélectrique. L'élément le plus utilisé est le **silicium** car il est très abondant sur Terre et facilement exploitable, mais il en existe d'autres.

#### 3.2. La cellule photovoltaïque

De-même, nous avons vu qu'une cellule photovoltaïque doit réussir à absorber l'énergie lumineuse pour la convertir en énergie électrique. Ce qui n'est possible qu'à condition que le spectre d'absorption du matériau corresponde au spectre solaire. C'est le cas du silicium comme le montre les courbes ci-contre :



*D'après le mémoire de Magister de Lasladj Meriem 21-12-2014*

Pour évaluer l'efficacité d'une cellule on en calcule son **rendement** c'est-à-dire le rapport entre la puissance produite et la puissance lumineuse reçue :

$$\eta = \frac{P_{\text{produite}}}{P_{\text{reçue}}}$$

Remarque : La limite théorique d'une cellule simple de type silicium-phosphore-bore n'est que de 33%. Cependant les recherches évoluent du fait de la demande croissante pour répondre aux enjeux climatiques par la production d'énergies renouvelables. On voit alors apparaître des cellules en couches minces, des cellules organiques et d'autres combinaisons comme les bifaces ...

A savoir : Les panneaux solaires sont présentés avec une puissance en kilowatt-crête (kWc). Le kWc correspond à la puissance électrique délivrée dans les conditions optimales c'est-à-dire avec un ensoleillement de 1 000 W/m<sup>2</sup>, une température de 25°C, un ciel dégagé, ... Bien sûr, en fonction de l'orientation du panneau (vers le sud ou pas), de son inclinaison (au sol ou sur un toit), de la météo, ... la production sera forcément plus faible et donc le rendement également.