



## Prérequis

### Dualité onde particule

#### Onde électromagnétique :

- Célérité dans le vide et dans l'air :  
 $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- Sa fréquence et sa longueur d'onde sont liées par :

$$\lambda \text{ en m} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \quad c \text{ en m.s}^{-1} \quad f \text{ en Hz}$$

#### Photon :

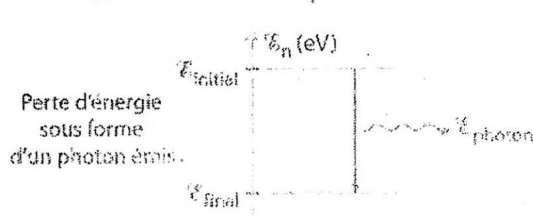
Quantum d'énergie de chaque photon :

$$\mathcal{E}_{\text{photon}} \text{ en J} \quad \mathcal{E}_{\text{photon}} = h \times \nu \quad h \text{ en J.s} \quad \nu \text{ en Hz}$$

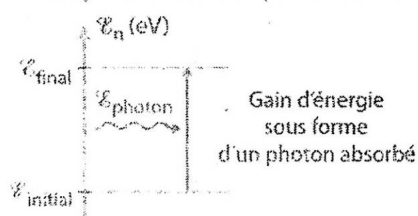
Le photon se déplace dans le vide à la célérité  $c$ .

### Interaction lumière-matière :

Emission de lumière par un atome



Absorption de lumière par un atome



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

## Test éclair

Indiquer la bonne réponse

	A	B	C
1. L'énergie d'un photon peut s'exprimer en :	joule par seconde.	joule.	électronvolt.
2. La célérité de la lumière dans vaut :	$3,0 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$	$3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$	$3,0 \times 10^5 \text{ km.h}^{-1}$
3. Lors de l'absorption d'un photon, l'énergie d'un atome :	augmente toujours.	diminue toujours.	peut augmenter ou diminuer.

Réponses : 1. B et C ; 2. B ; 3. A

## Éléments de programme à maîtriser

### Savoirs :

- Décrire l'effet photoélectrique.
  - o Qu'est-ce que le phénomène photoélectrique ?
  - o Comment est défini le photon et quelles sont ses caractéristiques ?
- Connaître l'importance historique de l'effet photoélectrique.
  - o Quelle est l'histoire de l'effet photoélectrique ?
- Connaître la relation entre l'énergie cinétique et la fréquence.
  - o Quelle est la relation entre l'énergie cinétique et la fréquence ? Préciser les unités.
- Connaître la relation permettant de déterminer le travail d'extraction.
  - o Quelle est la relation permettant de déterminer le travail d'extraction ? Préciser les unités.

### Savoir-faire

- Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulaire de la lumière.
- Expliquer qualitativement le fonctionnement d'une cellule photoélectrique.
- Citer quelques applications actuelles mettant en jeu l'interaction photon-matière (capteur de lumière, cellules photovoltaïques...)

### Capacité expérimentale pour ECE

- Déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque.

## I) L'effet photoélectrique

### 1. Description

La nature de la lumière fut l'objet d'un intense débat historique. Aujourd'hui, on s'accorde à dire que la lumière est à la fois une onde et un flux de photons.

En 1887, Heinrich HERTZ réalise des expériences sur les ondes électromagnétiques de grande longueur d'onde, appelées depuis ondes hertziennes. Il remarque qu'un rayonnement ultraviolet favorise des décharges électriques, sous forme d'étincelles, au niveau des électrodes métalliques de son détecteur d'ondes hertziennes. S'il identifie la cause du phénomène observé, il ne sait pas l'interpréter. Par la suite, d'autres scientifiques étudient ces phénomènes :

– En 1888, Wilhem HALLWACHS constate qu'une plaque de zinc éclairée par de la lumière ultraviolette se charge positivement.

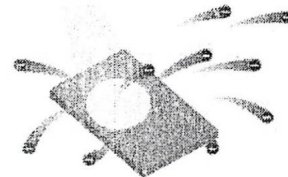
– Entre 1889 et 1895, Julius ELSTER et Hans GEITEL établissent un classement des métaux vis-à-vis de ce phénomène. Ils montrent notamment que pour les métaux alcalins, les lumières visible et ultraviolette permettent d'observer cet effet. Pour les autres métaux, l'effet n'est visible qu'avec de la lumière ultraviolette.

– En 1900, Philipp LENARD montre que des particules négatives sont arrachées d'une plaque métallique sous l'effet de la lumière. Ces particules négatives sont en fait des électrons, découverts en 1897 par Joseph John THOMSON.

Le modèle ondulatoire de la lumière, qui était le modèle admis à l'époque, ne permet pas d'expliquer ces différentes observations.

En 1905, Albert EINSTEIN postule que la lumière est constituée d'un ensemble de quanta d'énergie. Sa théorie lui permet, entre autres, d'expliquer les observations de P. LENARD. En 1916, son interprétation est validée par les expériences de Robert Andrew MILLIKAN. En 1926, Gilbert Newton LEWIS nomme « photons » les particules de lumière porteuses de ces quanta d'énergie.

L'effet photoélectrique est le phénomène d'éjection d'électrons d'un métal sous l'effet de radiations lumineuses. Pour un métal donné, cet effet ne se manifeste que pour des photons d'énergie suffisamment grande.



### 2. Energie du photon

La lumière est donc à la fois une onde, et à la fois des particules ! C'est ce que l'on appelle la **dualité onde-corpuscule**.

Le photon est la particule élémentaire associée aux ondes électromagnétiques dont la lumière fait partie.

Ses caractéristiques sont :

– Masse nulle

– Se déplace à la vitesse de la lumière  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

– D'énergie proportionnelle à sa fréquence avec  $h$  la constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  :

$$E_{\text{photon}} \text{ en J} \quad h \text{ en J.s} \quad c \text{ en m.s}^{-1} \quad \lambda \text{ en m} \quad \nu \text{ en Hz ou s}^{-1}$$

$$E_{\text{photon}} = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda}$$

### 3. Bilan énergétique et interprétation à l'aide du modèle particulaire

L'énergie minimale permettant d'arracher un électron d'un métal est égale au travail à fournir pour extraire un électron libre proche de la surface du métal. Elle est appelée travail d'extraction,  $W_{\text{extraction}}$ . Elle diffère d'un métal à un autre. Si l'énergie du photon est supérieure au travail d'extraction, l'excédent d'énergie est emporté par cet électron sous la forme d'énergie cinétique.

Lors de l'effet photoélectrique, l'énergie  $E_{\text{photon}}$  du photon incident est transférée à un électron pour l'extraire du réseau cristallin métallique ; le surplus d'énergie est emporté par l'électron sous forme d'énergie cinétique.

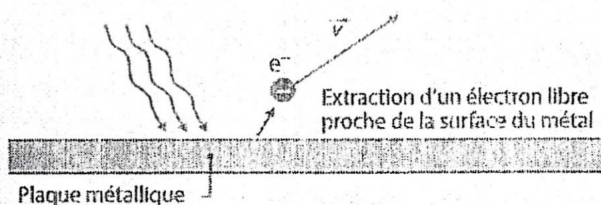
Si l'électron arraché est un électron libre proche de la surface du métal, la relation de conservation de l'énergie s'écrit

$$E_{\text{photon}} = W_{\text{extraction}} + E_{c \text{ max}}$$

$$E_c = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 \quad W_{\text{extraction}} = E_{\text{photon}} - E_c$$

$$= h \times \nu - \frac{1}{2} m_e \times v_{\text{max}}^2$$

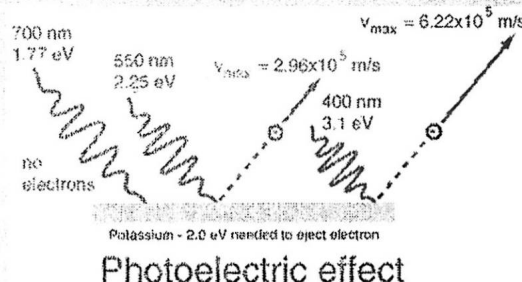
$$= h \times f - \frac{1}{2} m_e \times v_{\text{max}}^2$$



soit

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

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



Cette équation de conservation de l'énergie lors de l'effet photoélectrique est connue sous le nom d'« équation d'Einstein de l'effet photoélectrique »



Le modèle particulaire de la lumière la décrit comme un flux de photons. Il permet d'expliquer l'effet photoélectrique, contrairement au modèle ondulatoire.

## II) Applications

### 1. Absorption de photons et cellule photoélectrique

Une cellule photoélectrique, ou photorécepteur, désigne tout dispositif dont une des propriétés électriques est modifiée lors de l'absorption de photons.

Parmi les cellules photoélectriques, on peut citer les cellules photovoltaïques. Sous l'effet de la lumière, une tension électrique apparaît entre leurs faces : ce sont des générateurs. Elles convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique.

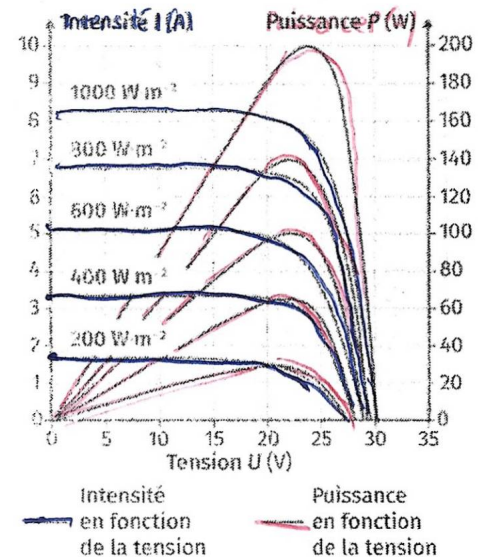
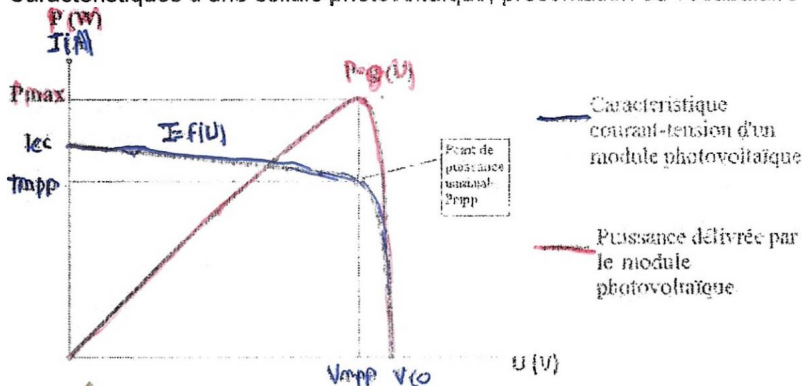
Le rendement  $\eta$  d'une cellule photovoltaïque est le rapport, sans unité, de la puissance ou l'énergie exploitable sur la puissance ou l'énergie en entrée :

$$\eta = \frac{P_{\text{elec}}}{P_{\text{lum}}} = \frac{E_{\text{elec}}}{E_{\text{lum}}}$$

sans unité

Annotations:  $P$  en W,  $E$  en J

Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque, présentation du vocabulaire et en fonction de l'éclairement :



Certains composants électriques sont aussi des cellules photoélectriques.

Par exemple, une **photorésistance** est un dipôle dont la résistance diminue d'autant plus que la lumière qu'elle reçoit est intense. Elle est donc sensible à toute variation de l'éclairement reçu.

Une **photodiode** est un dipôle qui est traversé par un courant électrique d'intensité d'autant plus grande que la lumière qu'il reçoit est intense. Les photodiodes sont utilisées dans les capteurs CCD ou CMOS contenus dans les appareils photographiques ou les caméras. L'analyse des charges électriques accumulées dans les diverses zones du capteur permet de reconstruire l'image de l'objet photographié.

### 2. Émission de photons et diodes électroluminescentes (DEL)

Une diode électroluminescente (DEL) est un dipôle dans lequel s'opère une conversion inverse de celle qui a lieu dans une photodiode. Le passage d'un courant électrique dans la structure semi-conductrice d'une DEL entraîne l'émission de photons. La fréquence de la lumière émise, et de ce fait la couleur de cette lumière, dépend de la nature du semi-conducteur.

Une diode laser a la particularité d'émettre une radiation que l'on peut rendre plus directive que celle d'une DEL : l'énergie est alors concentrée dans une direction.