❶ QUELQUES « RAPPELS » DE PREMIERE

➢ *Caractéristiques*

Tout rayonnement électromagnétique peut être décrit comme un flux de « grains d'énergie » appelés **photons** dont l'énergie dépend de la fréquence du rayonnement. Un photon est une particule possédant les caractéristiques ci-contre :

1 Le photon

Masse (kg)	0
Charge (C)	0
Vitesse ($m \cdot s^{-1}$)	Celle de la lumière dans le milieu considéré

➢ *Energie du photon*

L'énergie d'un photon s'exprime en fonction de sa fréquence ou de sa longueur d'onde :

$$E_{photon} = h \times \nu$$

Énergie en joules (J) ; Constante de Planck ($h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ J \cdot s$) ; Fréquence en hertz (Hz)

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

Célérité de la lumière dans le vide ; Longueur d'onde dans le vide en mètre (m)

L'**électronvolt** est une unité de mesure de l'énergie plus adaptée aux petites valeurs d'énergie. $1\ eV = 1{,}6 \times 10^{-19}\ J$

Remarque :

Un photon de lumière bleue à une énergie supérieure à un photon de lumière verte :

$$\lambda_{bleu} < \lambda_{vert} \Rightarrow E_{bleu} > E_{vert}$$

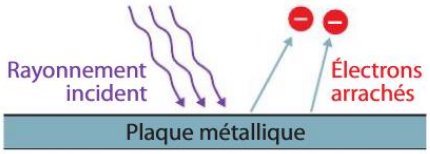
❷ QU'EST-CE QUE L'EFFET PHOTOELECTRIQUE ?

➢ *Historique de l'effet photoélectrique*

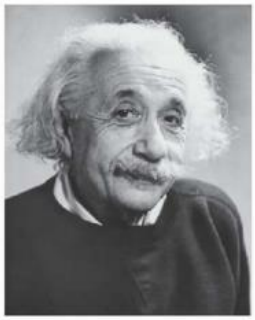
Les travaux successifs des grands physiciens de la fin du XIX^{e} siècle et du début du XX^{e} siècle ont permis de donner une définition précise de l'effet photoélectrique.

L'effet photoélectrique consiste en l'émission d'électrons par un métal soumis à un rayonnement électromagnétique. Il a été décrit et observé par Heinrich Hertz en 1887.

A Heinrich Hertz



La théorie ondulatoire ne permet pas d'expliquer cet effet mais le modèle corpusculaire, développé par Einstein.



Ce n'est pas pour la théorie de la relativité qu'Albert Einstein (1879-1955) a obtenu le prix Nobel de physique en 1921, mais pour ses travaux sur l'effet photoélectrique.

➢ ***Quand l'effet photoélectrique est-il observé ?***

Deux paramètres importants caractérisent le rayonnement électromagnétique à l'origine de l'effet photoélectrique :

- **Sa fréquence ν**
- Son éclairement $E_{éclair}$ exprimé en $W.m^{-2}$.

L'effet photoélectrique ne se produit que si la fréquence ν du rayonnement incident est **supérieure** à une fréquence caractéristique du métal appelée fréquence **seuil** ν_S, exprimée en Hertz (Hz).

ou

L'effet photoélectrique ne se produit que si la longueur d'onde λ du rayonnement incident est **inférieure** à une longueur d'onde caractéristique du métal appelée longueur seuil λ_S, exprimée en mètres (m).

➔ L'augmentation de l'éclairement permet uniquement un accroissement du nombre de photons émis par la source.

➔ En dessous de cette fréquence seuil ν_S, l'effet photoélectrique n'est pas observé.

➢ ***Travail d'extraction***

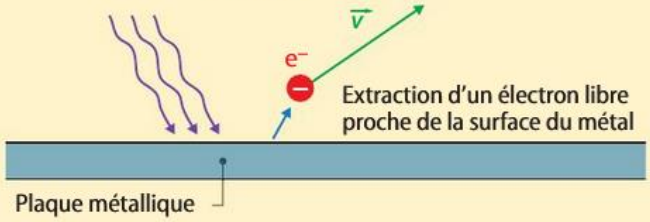
Le travail d'extraction $W_{extraction}$ est le travail qu'il faut fournir à un électron pour l'arracher du métal. Il est exprimé en Joules (J).

$$W_{extraction} = h \times \nu_S$$

Lors de **l'effet photoélectrique**, l'énergie $\mathscr{E}_{photon}$ 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 :

$$\mathscr{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathscr{E}_{c\,max}$$



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

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

Capsule

➢ ***Energie cinétique de l'électron extrait***

Après son extraction, l'énergie du photon hν a été diminuée du travail d'extraction.
L'électron reçoit alors une énergie convertie en énergie cinétique.

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

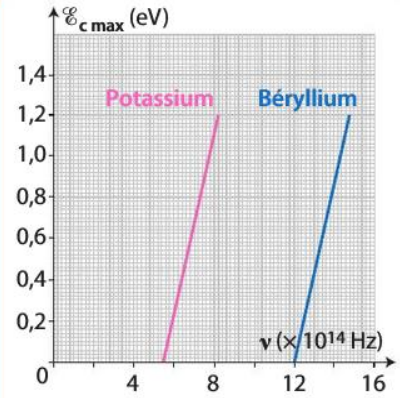
L'énergie cinétique Ec de l'électron est donc une fonction affine de la fréquence ν.

Exemple :

Une source ultraviolette de fréquence $\nu = 1{,}2 \times 10^{15}$ Hz est braquée vers une plaque de zinc de fréquence seuil $\nu_s = 8{,}0 \times 10^{14}$ Hz.
Les électrons émis ont une énergie cinétique :

$$E_c = h(\nu - \nu_s) = 6{,}63 \times 10^{-34} \times (1{,}2 \times 10^{15} - 8{,}0 \times 10^{14}) = 2{,}7 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

E Énergie cinétique maximale des électrons



Lors de l'effet photoélectrique, l'énergie cinétique maximale $\mathscr{E}_{c\,max}$ des électrons arrachés augmente avec la fréquence ν des photons incidents. Le coefficient directeur de chaque droite permet de retrouver la constante de Planck h.

❸ APPLICATIONS DE L'INTERACTION LUMIERE - MATIERE

L'interaction lumière-matière est exploitée dans de nombreux dispositifs :

A diode électroluminescente

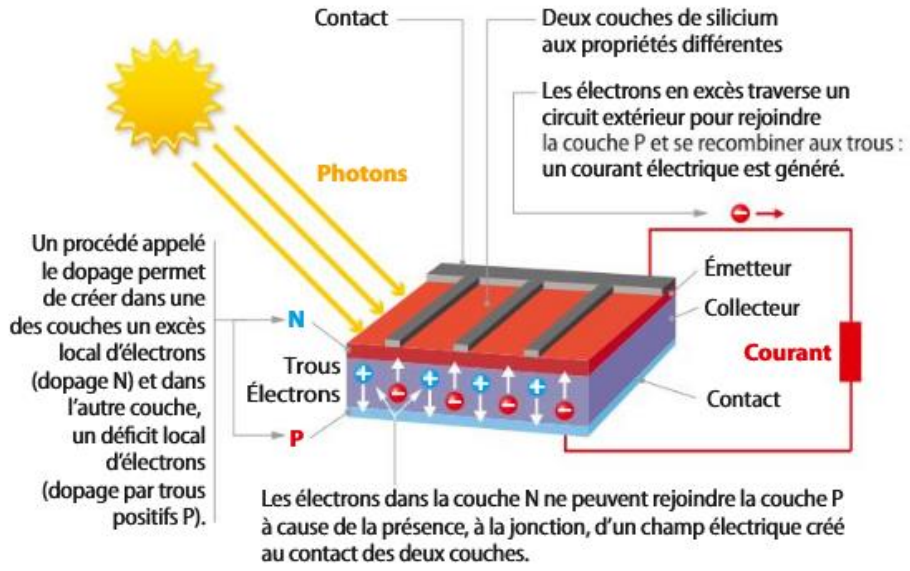
B spectromètre et spectrophotomètre

C détecteur de présence

D panneau photovoltaïque

➢ ***Les cellules photovoltaïques***

Une cellule photovoltaïque est souvent constituée de silicium qui reçoit l'énergie lumineuse permettant l'excitation des électrons.



F Panneaux solaires

Les panneaux solaires sont constitués de cellules photovoltaïques.

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

$$\eta = \frac{\mathcal{P}_{élec}}{\mathcal{P}_{lum}} = \frac{\mathscr{E}_{élec}}{\mathscr{E}_{lum}}$$

($\mathcal{P}$ en W, $\mathscr{E}$ en J, sans unité)

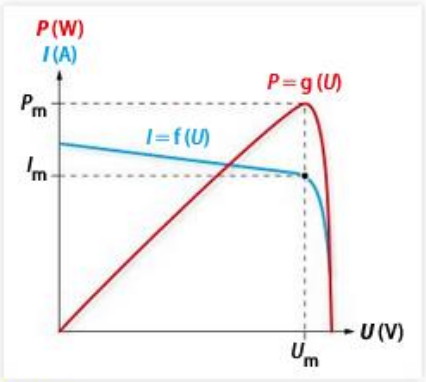


FIG. 8 Détermination de la puissance électrique maximale d'une cellule photovoltaïque.

➢ ***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-conducteur d'une DEL entraine l'émission de photons.

Un capteur CMOS, constitué de photodiodes, convertit un signal lumineux en signal électrique.

➢ ***La spectroscopie***

- La **spectroscopie** est une méthode d'analyse qui utilise des capteurs CCD ou CMOS. Le composé à analyser est éclairé par des radiations qui interagissent avec la matière. Les longueurs d'onde des radiations que le composé absorbe donnent des renseignements sur sa structure chimique

AS-TU BIEN COMPRIS ?

QCM p 413

Objectifs de l'activité	***Trop facile***	***Avec une petite aide***	***SOS …***
Décrire l'effet photoélectrique, ses caractéristiques et son importance historique.			
Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulaire de la lumière.			
Etablir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence.			
Expliquer qualitativement le fonctionnement d'une cellule photoélectrique.			
Citer quelques applications actuelles mettant en jeu l'interaction photon-matière (capteurs de lumière, DEL, spectroscopies UV, IR …)			
Déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque.			

L'ESSENTIEL

1 L'effet photoélectrique

Modèle particulaire de la lumière

décrit la lumière comme un flux de photons

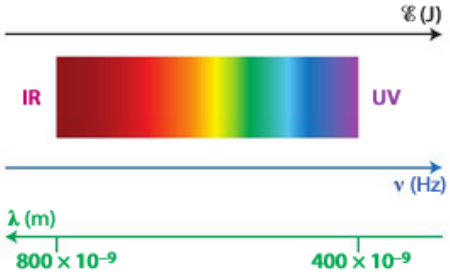
explique l'effet photoélectrique

Le photon

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

$\mathscr{E}$ en J ; h en J·s ; c en m·s^{-1} ; ν en Hz ou s^{-1} ; λ en m

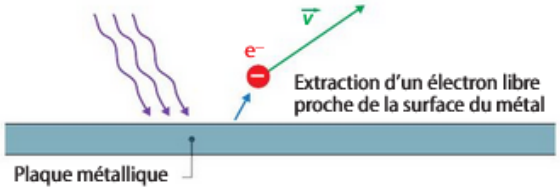
$$\mathscr{E}_{photon} = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda}$$



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 :**

$$\mathscr{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathscr{E}_{c\,max}$$



$W_{extraction}$ en J ; m_e en kg ; h en J·s ; ν_{photon} en Hz ou s^{-1} ; v_{max} en m·s^{-1}

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

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

2 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	Absorption de photons pour détecter la lumière	Absorption de photons pour convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique **Rendement :** $\eta = \frac{\mathscr{P}_{élec}}{\mathscr{P}_{lum}} = \frac{\mathscr{E}_{élec}}{\mathscr{E}_{lum}}$	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.