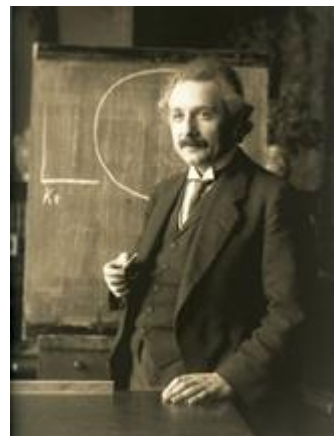


## L'effet photoélectrique

### Contexte

En 1900, Max Planck établit une hypothèse originale : l'énergie n'est pas continue mais discontinue. Comme les atomes, l'énergie se présente sous forme de petits paquets. L'énergie est reliée à la fréquence de l'onde électromagnétique  $\nu$  :  $E = h\nu$ , avec  $h$  coefficient de proportionnalité appelé constante de Planck. A l'époque, personne ne croit à l'hypothèse de Planck. En 1905, Einstein utilise pourtant ce résultat pour expliquer un phénomène entre lumière et matière découvert plus tôt : l'effet photoélectrique. Einstein interprète la lumière comme un phénomène corpusculaire et non plus ondulatoire comme on le pensait alors.

L'objectif de cette activité est de se familiariser avec l'un des premiers travaux d'Einstein, qui lui vaudra le prix Nobel de physique 1921.



### Problématique

Comment mettre en évidence que la lumière est constituée de photons ?

### Consigne

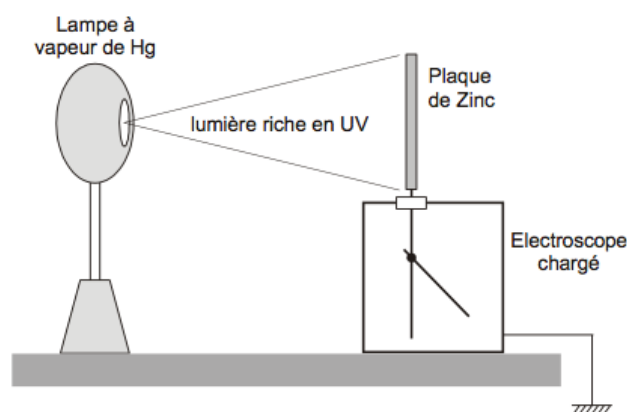
A partir des documents proposés, répondre sur une feuille à part.

Préparer une fiche de synthèse afin d'exposer à l'oral (5 minutes maximum) l'activité documentaire.

### 1. L'expérience de Hertz (1886)

En 1886, Heinrich Hertz réalise l'expérience intitulée « effet photoélectrique » : une plaque de zinc, décapée, montée sur un électroscope est chargée, puis éclairée par la lumière émise par une lampe à vapeur de mercure (émettant un rayonnement riche en UV, visible et IR) ou par une lampe à UV.

L'expérience comporte trois étapes :



Etape	Protocole	Observation	Interprétation <sup>1</sup>
1	Initialement la plaque de zinc et l'électroscope sont chargés négativement.	L'aiguille de l'électroscope dévie.	A compléter
	Puis la plaque de zinc est éclairée.	On observe une décharge de l'électroscope.	
2	La plaque de zinc est rechargée négativement et une plaque de verre est interposée entre la lampe et le zinc. On allume la lampe.	Il n'y a pas de décharge de l'électroscope.	La lumière ayant traversé le verre n'avait plus l'énergie nécessaire (le rayonnement ultraviolet a été absorbé par le verre) pour extraire des électrons du zinc.
	La plaque de verre est retirée	L'électroscope se décharge.	
3	La plaque de zinc est chargée positivement puis éclairée	Il n'y a pas de décharge de l'électroscope.	La plaque de zinc, chargée positivement, attire les électrons émis : la décharge n'est pas observée.

Heinrich Hertz a alors découvert que la lumière ultraviolette provoque l'émission d'électricité (et donc d'électrons) à partir d'une surface métallique comme le zinc.

1. Faire un schéma de la situation initiale puis finale lors de la 1<sup>ère</sup> étape.
2. Justifier que les observations de l'étape 1 permettent de conclure que des électrons sont responsables de la déviation observée.

## 2. Expériences complémentaires de Lenard et Mileva Maric<sup>2</sup> (19 ??)

Des études complémentaires de l'expérience de H. Hertz ont permis de mettre en évidence l'influence de la fréquence lumineuse et de l'éclairement  $\varepsilon$  exprimé en joule par seconde et par mètre carré ( $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ) :

- Il n'y a d'émission d'électrons que si  $\nu$  est suffisamment élevée et dépasse une valeur limite  $\nu_0$  appelée fréquence seuil.
- Lorsque  $\nu < \nu_0$ , aucun électron n'est émis, et cela quelle que soit la valeur de  $\varepsilon$ .
- Lorsque  $\nu > \nu_0$ , l'énergie cinétique des électrons émis croît lorsque  $\nu$  croît et ne dépend pas de l'éclairement  $\varepsilon$ .

3. Pourquoi ces observations contredisent-elles le modèle ondulatoire de la lumière ?

<sup>1</sup> L'interprétation donnée ici est l'interprétation moderne. Les électrons ne seront découverts qu'en 1897 avec les travaux de Thomson. Heinrich Hertz ne pouvait donc pas raisonner en termes d'électrons.

<sup>2</sup> Qui deviendra la femme d'Albert Einstein

### 3. L'interprétation d'Einstein (1905)

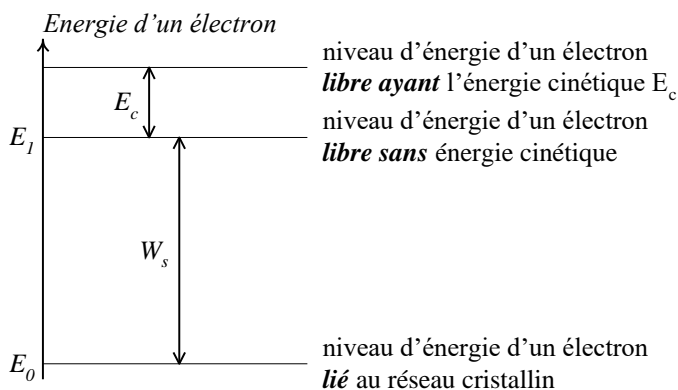
En 1905, Albert Einstein publie *Sur un point de vue heuristique concernant la production et la transformation de la lumière*. Il se demande comment on peut extraire un électron d'un métal.

Un métal est constitué par un réseau cristallin d'ions positifs entre lesquels circulent des électrons liés au réseau, mais libres de se déplacer à l'intérieur de ce réseau.

Pour extraire un électron, il faut lui fournir une énergie  $W_s$ , appelée travail de sortie ou travail d'extraction ( $W_s$  représente l'énergie de liaison de l'électron au réseau métallique).

Le diagramme énergétique illustre que :

- c'est à l'intérieur du métal que l'électron a le moins d'énergie, car il est lié au réseau ;
- lorsque l'électron a capté l'énergie  $E = W_s$ , il est sorti du métal, mais il est au repos ( $E_c = 0$ ) ;
- lorsque l'électron a capté une énergie  $E > W_s$ , il est sorti du métal et a une énergie cinétique  $E_c = E - W_s$ .
- Quelle énergie minimale doit recevoir un électron pour être libéré ?



On pourrait s'attendre à ce qu'un faisceau de forte puissance apporte l'énergie suffisante pour extraire des électrons. Mais l'expérience montre qu'il existe une valeur minimale d'énergie caractéristique de la surface métallique, en dessous de laquelle aucun électron n'est éjecté, quelle que soit l'intensité de la radiation.

- L'énergie cinétique de l'électron libéré dépend-elle de l'intensité de la lumière ?
- L'énergie cinétique des électrons éjectés ne dépend pas de l'intensité de la lumière uniquement de l'énergie captée.

Ce sont les deux observations de H. Hertz qui contrastent avec la théorie de la lumière généralement admise à l'époque : la lumière est une onde (c'est la théorie qui permet d'expliquer une grande partie des phénomènes dans lesquels la lumière intervient comme la diffraction, les interférences ...).

Pour expliquer l'effet photoélectrique, il faut renoncer au modèle ondulatoire de la Physique Classique et recourir au modèle corpusculaire de la lumière (hypothèse d'Einstein, 1905).

Modèle corpusculaire de la lumière (hypothèse d'Einstein) :

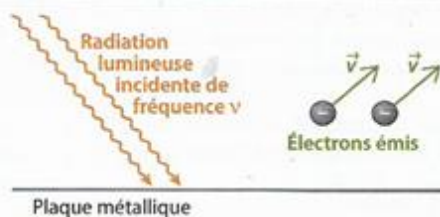
Un rayonnement électromagnétique de fréquence  $\nu$  peut être considéré comme un faisceau de particules : les photons. Chaque photon transporte l'énergie  $E = h \cdot \nu$  où  $h$  représente la constante de Planck.

**L'effet photoélectrique est une interaction entre un photon et un électron.**

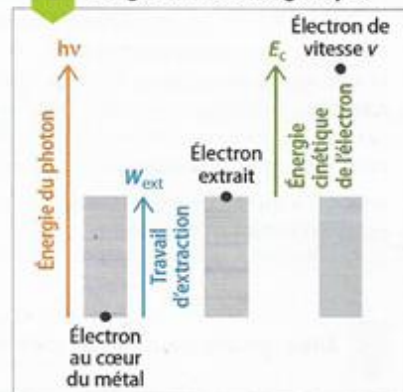
### 1 Le travail d'extraction

Pour arracher un électron d'une plaque métallique, il faut lui fournir une énergie minimale  $W_{\text{ext}}$  appelée travail d'extraction. Cette énergie est apportée par un photon lorsque le métal est éclairé par une radiation lumineuse.

Si le rayonnement électromagnétique apporte une énergie supérieure au travail d'extraction, le surplus est cédé à l'électron émis sous forme d'énergie cinétique :  $E_c = \frac{1}{2} m_e v^2$



### 2 Diagramme énergétique



### 3 Étude d'une plaque de sodium

On éclaire une plaque de sodium avec plusieurs radiations de longueur d'onde  $\lambda$  et on mesure la vitesse  $v$  des électrons émis. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

$\lambda$ (en nm)	400	425	450	475	500	525	550	575
$v$ ( $\times 10^5$ m·s <sup>-1</sup> )	5,71	5,12	4,53	3,92	3,29	2,57	1,66	mesure impossible

#### Données

- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J·s
- Masse d'un électron :  $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$  kg
- Électron-volt :  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$  J
- Vitesse (célérité) de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8$  m·s<sup>-1</sup>

- Quelle inégalité l'énergie du photon doit-elle vérifier pour arracher un électron ?
- Expliquer l'indication « mesure impossible » dans le tableau du doc 3.
- L'énergie du photon absorbé vaut  $h\nu$ . L'électron est initialement immobile dans le métal. On note  $E_c$  son énergie cinétique finale. En utilisant le diagramme énergétique du doc 2, établir la relation entre  $E_c$ ,  $h\nu$  et  $W_{\text{ext}}$ .
- Calculer l'énergie de chacun des photons du doc 3, ainsi que l'énergie cinétique des électrons arrachés.
- Tracer le graphique  $E = f(E_c)$ .
- A partir du graphique, montrer que la loi établie à la question 6 est bien vérifiée et déterminer la valeur de  $W_{\text{ext}}$  pour le sodium.
- Calculer la fréquence seuil  $\nu_s$  pour le sodium et justifier que la dernière mesure du tableau est impossible.