QUANTIQUE
INTERACTION LUMIERE MATIERE

4 Décrire l'effet photoélectrique

| Effectuer des calculs.

Le tableau ci-dessous recense les fréquences minimales des radiations à partir desquelles on observe l'effet photoélectrique pour quelques métaux.

Métal	Fréquence (Hz)
Plomb Pb	$1{,}02 \times 10^{15}$
Potassium K	$5{,}52 \times 10^{14}$
Magnésium Mg	$8{,}82 \times 10^{14}$

1. Calculer les longueurs d'onde correspondant à ces fréquences.

2. Quel type de radiation (UV, visible, IR) permet d'observer l'effet photoélectrique quel que soit le métal du tableau ci-dessus ?

4 Décrire l'effet photoélectrique

1.

Métal	Fréquence (Hz)	Longueur d'onde (nm)
Plomb Pb	$1{,}02 \times 10^{15}$	294
Potassium K	$5{,}52 \times 10^{14}$	543
Magnésium Mg	$8{,}82 \times 10^{14}$	340

2. Pour que l'effet photoélectrique se produise quel que soit le métal, il faut utiliser des radiations de longueur d'onde suffisamment petite, donc des UV ($\lambda \leqslant 294$ nm).

5 Interpréter l'effet photoélectrique

CORRIGÉ

| Interpréter des observations.

En 1888, Wilhelm HALLWACHS observe qu'une radiation de longueur d'onde $\lambda_1 = 330$ nm est capable de charger positivement une plaque de zinc, ce que ne permet pas une radiation de longueur d'onde $\lambda_2 = 400$ nm.

1. Expliquer pourquoi la plaque de zinc se charge positivement.

2. Calculer l'énergie des photons associés à chacune des radiations évoquées.

3. Proposer une explication à la constatation de W. HALLWACHS selon laquelle la radiation de longueur d'onde $\lambda_2 = 400$ nm ne permet pas à la plaque de zinc de se charger positivement.

Donnée

Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s.

5 Interpréter l'effet photoélectrique

1. Des électrons sont arrachés au zinc métallique, ce qui entraîne un déficit de charges négatives et donc un excès de charges positives.

2. L'énergie d'un photon est donnée par :

$$\mathscr{E}_{photon}\ (\text{en J}) = \frac{h\ (\text{en J}\cdot\text{s}) \times c\ (\text{en m}\cdot\text{s}^{-1})}{\lambda\ (\text{en m})}$$

Cela conduit à :

λ (nm)	$\mathscr{E}_{photon}$ (J)
330	$6{,}03 \times 10^{-19}$
400	$4{,}97 \times 10^{-19}$

3. La radiation de longueur d'onde $\lambda_2 = 400$ nm ne permet pas à la plaque de zinc de se charger positivement car aucun photon ne possède une énergie suffisante pour arracher un électron à la surface du métal.

7 Réaliser un bilan d'énergie

CORRIGÉ

| Effectuer des calculs.

Un photon d'énergie $\mathscr{E}_{photon} = 5{,}03$ eV extrait, par effet photoélectrique, des électrons à un morceau de fer métallique.

1. Écrire la relation entre l'énergie du photon incident $\mathscr{E}_{photon}$, le travail d'extraction $W_{extraction}$ et l'énergie cinétique maximale $\mathscr{E}_{c\,max}$ d'un électron extrait.

2. Calculer, en joule, l'énergie cinétique maximale de l'électron arraché. Utiliser le réflexe 1

Données

- $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J.
- Pour le fer : $W_{extraction} = 4{,}67$ eV.

7 Réaliser un bilan d'énergie

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

2. $\mathscr{E}_{c\,max} = \mathscr{E}_{photon} - W_{extraction}$

$\mathscr{E}_{c\,max} = (5{,}03\ \text{eV} - 4{,}67\ \text{eV}) \times 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{J}\cdot\text{eV}^{-1}$

d'où $\mathscr{E}_{c\,max} = 5{,}76 \times 10^{-20}$ J.

8 Calculer l'énergie d'un photon

| Utiliser un modèle pour prévoir.

Sous l'effet d'une radiation, des électrons sont extraits d'un morceau de titane avec une vitesse maximale de valeur $v_{max} = 7{,}60 \times 10^5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1. Donner la relation entre l'énergie du photon incident $\mathscr{E}_{photon}$, le travail d'extraction $W_{extraction}$ et l'énergie cinétique maximale $\mathscr{E}_{c\,max}$ d'un électron extrait.

2. Calculer l'énergie du photon associé à la radiation.

3. En déduire la longueur d'onde de la radiation.

Données

- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s.
- Masse d'un électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.
- Pour le titane : $W_{extraction} = 6{,}93 \times 10^{-19}$ J.

8 Calculer l'énergie d'un photon

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

2. $\mathscr{E}_{photon} = 6{,}93 \times 10^{-19}\ \text{J} + \frac{1}{2} \times 9{,}11 \times 10^{-31}\ \text{kg} \times (7{,}60 \times 10^5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1})^2$

$\mathscr{E}_{photon} = 9{,}56 \times 10^{-19}$ J.

3. $$\lambda\ (\text{en m}) = \frac{h\ (\text{en J}\cdot\text{s}) \times c\ (\text{en m}\cdot\text{s}^{-1})}{\varepsilon_{photon}\ (\text{en J})}.$$

D'où $$\lambda = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s} \times 3{,}00 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}}{9{,}56 \times 10^{-19}\ \text{J}}.$$

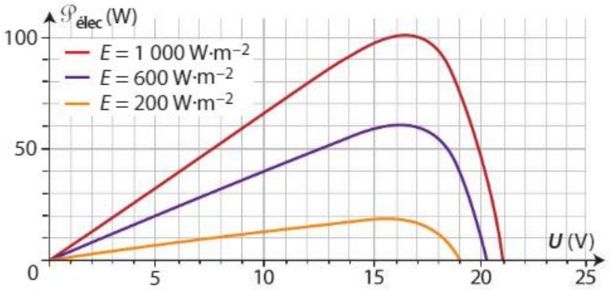
$\lambda = 2{,}08 \times 10^{-7}\ \text{m} = 208$ nm

Cela correspond à une radiation UV.

9 Calculer des rendements

| Extraire et organiser l'information.

Le graphique ci-dessous représente la puissance électrique disponible d'un panneau de cellules photovoltaïques de 1,1 m² pour différents éclairements E.



1. Comment la puissance électrique disponible évolue-t-elle lorsque l'éclairement E diminue ?

2. Rappeler l'expression du rendement η pour un panneau de cellules photovoltaïques.

3. Calculer le rendement maximal pour les différents éclairements, puis conclure. Utiliser le réflexe 2

9 Calculer des rendements

1. La puissance électrique disponible diminue lorsque l'éclairement E diminue.

2. $\eta = \dfrac{\mathcal{P}_{élec} \text{ (en W)}}{\mathcal{P}_{lum} \text{ (en W)}}$

avec $\mathcal{P}_{lum}$ (en W) $= E$ (en W·m^{-2}) $\times S$ (en m^2).

3. La surface du panneau est $S = 1{,}1$ m^2.
D'après le graphique, on a donc :

$\mathcal{P}_{lum}$ (W)	$\mathcal{P}_{élec}$ (W)
1 100	100
660	60
220	20

Dans tous ces cas, $\eta_{max} = 0{,}09$ soit 9 %. Ce rendement ne dépend pas de l'éclairement.

13 Connaître les critères de réussite

Conservation de l'énergie

| Extraire et organiser l'information.

Le graphique ci-dessous représente l'énergie cinétique maximale des électrons émis d'une plaque de zinc par effet photoélectrique, en fonction de la fréquence ν de la radiation incidente.

1. a. Calculer la longueur d'onde seuil λ_s permettant d'obtenir l'effet photoélectrique avec le zinc.

b. λ_s correspond-elle à une longueur d'onde minimale ou maximale d'obtention de l'effet photoélectrique ?

2. Pour une radiation de fréquence $\nu = 1{,}1 \times 10^{15}$ Hz, calculer, à l'aide d'un bilan d'énergie, l'énergie cinétique maximale des électrons émis.

3. Vérifier graphiquement le calcul précédent.

Données
- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J.

13 Connaître les critères de réussite

Conservation de l'énergie

1.a. On relève graphiquement la fréquence seuil à partir de laquelle un électron est arraché : $\nu_S \approx 8{,}8 \times 10^{14}$ Hz

On en déduit la longueur d'onde seuil : λ_S (en m) $= \dfrac{c \text{ (en m}\cdot\text{s}^{-1})}{\nu_S \text{ (en Hz)}}$

Donc $\lambda_S = \dfrac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{8{,}8 \times 10^{14} \text{ Hz}} = 3{,}4 \times 10^{-7}$ m.

b. λ_S est la longueur d'onde qui correspond à l'énergie minimale permettant d'arracher un électron à la surface du zinc. C'est donc la longueur d'onde maximale au-delà de laquelle il ne sera plus possible d'arracher un électron à ce métal.

2. On a : $\mathcal{E}_{photon}$ (en J) $= h$ (en J·s) $\times \nu$ (en Hz = s^{-1})

De plus, $\mathcal{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathcal{E}_{c\,max}$ et $W_{extraction} = h \times \nu_S$

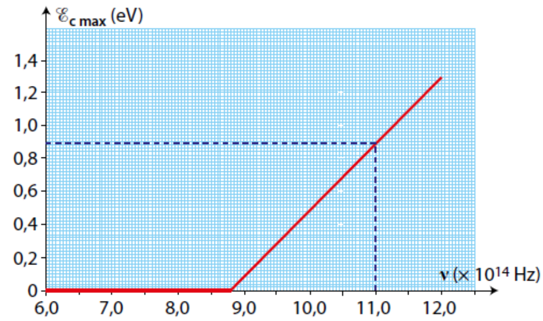
Donc $\mathcal{E}_{c\,max} = \mathcal{E}_{photon} - h \times \nu_S = h \times \nu - h \times \nu_S = h \times (\nu - \nu_S)$

$\mathcal{E}_{c\,max} = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s $\times (1{,}1 \times 10^{15}$ s$^{-1} - 8{,}8 \times 10^{14}$ s$^{-1})$

$\mathcal{E}_{c\,max} = 1{,}5 \times 10^{-19}$ J

soit $\mathcal{E}_{c\,max} = 0{,}91$ eV.

3. Graphiquement, on recherche l'énergie correspondant à une fréquence égale à $1{,}1 \times 10^{15}$ Hz.



On relève : $\mathcal{E}_{c\,max} = 0{,}9$ eV.
Cette valeur est en accord avec la précédente.

14 À chacun son rythme

Une histoire de rendement

| Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Un fabricant de panneaux photovoltaïques fournit les indications suivantes :

Caractéristiques
Puissance électrique* :
$\mathcal{P} = 305$ W
Nombre de cellules :
60
Dimensions d'une cellule :
160 mm × 160 mm

* Puissance maximale pour un éclairement $E = 1\,000$ W·m^{-2}.

Énoncé compact

Calculer le rendement maximal de ce panneau photovoltaïque.

14 À chacun son rythme

Une histoire de rendement

1. Les différentes puissances mises en jeu s'écrivent :

$\mathcal{P}_{élec} = 305$ W ;

$\mathcal{P}_{lum}$ (en W) $= E$ (en W·m^{-2}) $\times S$ (en m^2) où S est la surface totale de toutes les cellules :

$\mathcal{P}_{lum} = 1000$ W·m$^{-2} \times (160 \times 10^{-3}$ m$)^2 \times 60 = 1{,}54 \times 10^3$ W.

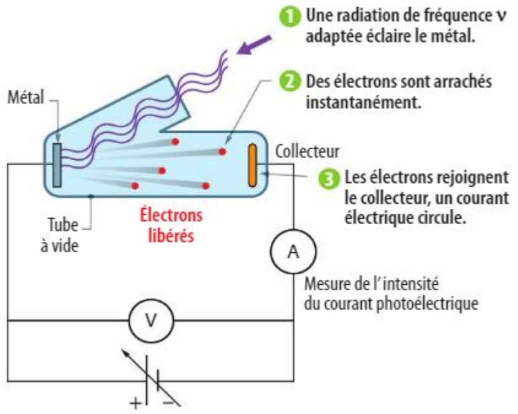
2. $\eta = \dfrac{\mathcal{P}_{\text{élec}}}{\mathcal{P}_{\text{lum}}}$.

3. $\eta_{max} = \dfrac{305\ \text{W}}{1{,}54 \times 10^3\ \text{W}} = 0{,}200$ soit 20,0 %.

15 Énergie cinétique des électrons

| Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Afin de déterminer l'énergie cinétique des électrons arrachés d'un métal par effet photoélectrique, le physicien Philip LENARD utilisait un dispositif expérimental dont le principe est schématisé ci-dessous :



Une tension électrique est appliquée entre le métal et le collecteur. Il apparaît alors un champ électrique qui empêche les électrons de rejoindre le collecteur. La tension nécessaire pour que l'intensité du courant électrique soit nulle est appelée tension d'arrêt. Elle est notée U_a.
L'énergie cinétique maximale des électrons émis par effet photoélectrique se calcule alors à l'aide de la relation :

$$\mathcal{E}_{c\,max} = e \times U_a$$

avec $\mathcal{E}_{c\,max}$ en joule, e en coulomb et U_a en volt.

Une plaque métallique en cuivre est illuminée par une radiation de longueur d'onde λ. Dans le cas particulier d'une radiation ultraviolette telle que $\lambda = 171$ nm, on trouve une tension d'arrêt $U_a = 2{,}80$ V.

1. a. Calculer l'énergie cinétique maximale $\mathcal{E}_{c\,max}$ acquise par les électrons.
b. En déduire la valeur de la vitesse maximale v_{max} des électrons émis par effet photoélectrique.

2. Rappeler la relation traduisant la conservation d'énergie dans le cas de l'effet photoélectrique.

3. Calculer le travail d'extraction $W_{extraction}$ d'un électron pour le cuivre.

4. Observe-t-on l'effet photoélectrique pour le cuivre si on l'illumine avec une radiation de longueur d'onde $\lambda = 350$ nm ?

Données
- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- Charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C.
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

15 Énergie cinétique des électrons

1.a. D'après la formule indiquée dans l'énoncé :
$\mathcal{E}_{c\,max}$ (en J) = e (en C) × U_a (en V)
$\mathcal{E}_{c\,max} = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{C} \times 2{,}80\ \text{V} = 4{,}48 \times 10^{-19}$ J.

b. Par définition, $\mathcal{E}_{c\,max} = \dfrac{1}{2} \times m_e \times v^2_{max}$.

Il vient donc $v_{max} = \sqrt{\dfrac{2 \times \mathcal{E}_{c\,max}}{m_e}}$

soit $v_{max} = \sqrt{\dfrac{2 \times 4{,}48 \times 10^{-19}\ \text{J}}{9{,}11 \times 10^{-31}\ \text{kg}}} = 9{,}92 \times 10^5\ \text{m·s}^{-1}$.

2. Le bilan énergétique de l'effet photoélectrique s'écrit :
$\mathcal{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathcal{E}_{c\,max}$.

3. Il découle de ce bilan : $W_{extraction} = \mathcal{E}_{photon} - \mathcal{E}_{c\,max}$
L'énergie d'un photon est :

$$\mathcal{E}_{photon}\ (\text{en J}) = \frac{h\ (\text{en J·s}) \times c\ (\text{en m·s}^{-1})}{\lambda\ (\text{en m})}.$$

L'énergie cinétique maximale est $\mathcal{E}_{c\,max} = e \times U_a$.
On en tire : $W_{extraction} = \dfrac{h \times c}{\lambda} - e \times U_a$.
D'où :

$$W_{extraction} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J·s} \times 3{,}00 \times 10^8\ \text{m·s}^{-1}}{171 \times 10^{-9}\ \text{m}} - 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{C} \times 2{,}80\ \text{V}$$

$W_{extraction} = 7{,}15 \times 10^{-19}$ J.

4. L'énergie d'un photon associée à une radiation de 350 nm est :

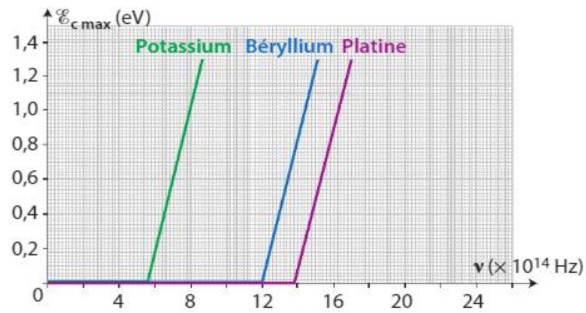
$$\mathcal{E}_{photon} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J·s} \times 3{,}00 \times 10^8\ \text{m·s}^{-1}}{350 \times 10^{-9}\ \text{m}}$$

$\mathcal{E}_{photon} = 5{,}68 \times 10^{-19}$ J.
Cette énergie est inférieure au travail d'extraction : l'effet photoélectrique ne peut donc pas se produire pour ce métal avec cette radiation.

17 Comparaison de l'effet photoélectrique

| Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Voici, pour divers métaux, l'énergie cinétique maximale $\mathcal{E}_{c\,max}$ d'électrons arrachés par effet photoélectrique en fonction de la fréquence ν de la radiation d'éclairement.



1. Pour quel(s) métal(métaux), l'effet photoélectrique se produit-il avec des radiations lumineuses du domaine du visible ?

2. a. Établir, par un bilan d'énergie, l'expression de l'énergie cinétique maximale des électrons en fonction de la fréquence de la radiation incidente.
b. Expliquer pourquoi les différentes courbes sont des droites qui ont le même coefficient directeur et des ordonnées à l'origine différentes.
c. Exploiter ces courbes pour déterminer la constante de Planck h et le travail d'extraction $W_{extraction}$ d'un électron pour chacun des métaux.

Données
- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.

17 Comparaison de l'effet photoélectrique

1. Les longueurs d'onde des radiations visibles sont comprises entre 400 nm et 800 nm.
Les fréquences correspondantes sont données par :

$$\nu\ (\text{en Hz}) = \frac{c\ (\text{en m}\cdot\text{s}^{-1})}{\lambda\ (\text{en m})}.$$

On en déduit les fréquences correspondantes :

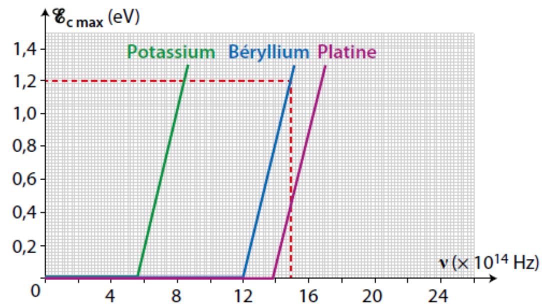
λ (en m)	ν (en Hz)
400	$7{,}50 \times 10^{14}$
800	$3{,}75 \times 10^{14}$

Par lecture graphique, on constate que le potassium est le seul des trois métaux cités pour lequel la fréquence seuil (environ $5{,}5 \times 10^{14}$ Hz) se situe entre les fréquences extrêmes des radiations visibles. Les deux autres métaux ont des fréquences seuils plus grandes.
Le potassium est donc le seul de ces trois métaux pour lequel l'effet photoélectrique est possible en utilisant des radiations lumineuses visibles.

2.a. Le bilan d'énergie s'écrit : $\mathscr{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathscr{E}_{c\,max}$
donc $\mathscr{E}_{c\,max} = \mathscr{E}_{photon} - W_{extraction}$
soit $\mathscr{E}_{c\,max} = h \times \nu - W_{extraction}$

b. L'équation précédente montre que $\mathscr{E}_{c\,max}$ est une fonction affine de la fréquence ν.
Le coefficient directeur est égal à la constante de Planck h. C'est le même pour toutes les courbes.
L'ordonnée à l'origine est l'opposée du travail d'extraction, elle dépend du métal.

c. Pour déterminer le coefficient directeur on prend deux points sur l'une des courbes.



Par exemple, sur la courbe du béryllium on a :
$\mathscr{E}_{c\,max} = 0$ eV pour $\nu = 12{,}0 \times 10^{14}$ Hz
et $\mathscr{E}_{c\,max} = 1{,}2$ eV pour $\nu = 14{,}9 \times 10^{14}$ Hz.
On en déduit :

$$h = \frac{1{,}2\ \text{eV} - 0\ \text{eV}}{14{,}9 \times 10^{14}\ \text{s}^{-1} - 12{,}0 \times 10^{14}\ \text{s}^{-1}} = 4{,}1 \times 10^{-15}\ \text{eV}\cdot\text{s}$$

Il faut multiplier par $1{,}6 \times 10^{-19}$ J·eV^{-1} pour convertir en J·s.
Il vient alors $h = 6{,}6 \times 10^{-34}$ J·s.

Remarque : on retrouve un résultat cohérent avec la valeur admise : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.

Pour déterminer le travail d'extraction on relève les fréquences seuils. Le travail d'extraction est égal à l'énergie d'un photon de fréquence égale à la fréquence seuil : $W_{extraction} = h \times \nu_S$.

Métal	ν_S	$W_{extraction}$
Potassium	$5{,}5 \times 10^{14}$ Hz	$3{,}6 \times 10^{-19}$ J
Béryllium	$12{,}0 \times 10^{14}$ Hz	$7{,}96 \times 10^{-19}$ J
Platine	$13{,}8 \times 10^{14}$ Hz	$9{,}15 \times 10^{-19}$ J

19 Python

Programmons l'effet photoélectrique

| Utiliser un langage de programmation.

Un programme permet de déterminer si une radiation de longueur d'onde choisie génère l'effet photoélectrique. Si l'effet photoélectrique est observé, le programme indique alors l'énergie cinétique maximale et la valeur maximale de la vitesse des électrons arrachés.

PROGRAMME Python – QR Code p. 412

1. Quelle ligne du programme traduit la cons ion d'énergie lors de l'effet photoélectrique ?

2. Mettre en œuvre le programme.

a. Pour une longueur d'onde de radiation incidente $\lambda = 530$ nm, pour quels métaux l'effet photoélectrique est-il observé ?

b. Pour une radiation de fréquence $\nu = 1{,}30 \times 10^{15}$ Hz, déterminer pour quel élément chimique l'effet photoélectrique n'a pas lieu.

3. Pour le métal calcium et une radiation de longueur d'onde $\lambda = 280$ nm, vérifier que les valeurs affichées pendant l'exécution du programme respectent la conservation de l'énergie lors de l'effet photoélectrique.

Données
- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J.
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

19 Python

Programmons l'effet photoélectrique

1. La ligne du programme qui traduit la conservation d'énergie lors de l'effet photoélectrique est la ligne :

```
Ec=Ephoton-effet_photo[metal]
```

2.a. Pour une longueur d'onde de radiation incidente $\lambda = 530$ nm, l'effet photoélectrique est observé avec le potassium :
$W_{extraction} = 2{,}3$ eV $= 3{,}7 \times 10^{-19}$ J,
$\mathscr{E}_{c\,max} = 4{,}6 \times 10^{-2}$ eV $= 7{,}3 \times 10^{-21}$ J,
$v_{max} = 1{,}3 \times 10^{5}$ m·s^{-1}.

b. On a maintenant :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}}{1{,}30 \times 10^{15}\ \text{s}^{-1}} = 2{,}31 \times 10^{-7}\ \text{m} = 231\ \text{nm}.$$

Le platine et l'or sont les éléments cités qui ne peuvent pas conduire à un effet photoélectrique dans ces conditions.

Remarque : pour le platine $W_{extraction} = 5{,}8$ eV.
Et on a maintenant :
$\mathscr{E}_{photon} = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s $\times 1{,}30 \times 10^{15}$ s^{-1}
$\mathscr{E}_{photon} = 8{,}62 \times 10^{-19}$ J ou 5,39 eV.

Donc $\mathscr{E}_{photon} < W_{extraction}$, cela explique pourquoi l'extraction n'est pas possible avec le platine.
Pour l'or $W_{extraction} = 5{,}4$ eV et $\mathscr{E}_{photon} = 5{,}39$ eV.
Donc $\mathscr{E}_{photon} < W_{extraction}$, l'extraction n'est pas possible avec l'or.

3. Pour le métal calcium et une longueur d'onde $\lambda = 280$ nm, le programme affiche notamment :
$W_{extraction} = 2{,}9$ eV $= 4{,}6 \times 10^{-19}$ J,
$\mathscr{E}_{c\,max} = 1{,}5$ eV $= 2{,}5 \times 10^{-19}$ J.
L'énergie d'un photon peut être calculée à partir de la longueur d'onde :

$$\mathscr{E}_{photon} = \frac{h \times c}{\lambda} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s} \times 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}}{280 \times 10^{-9}\ \text{m}}$$

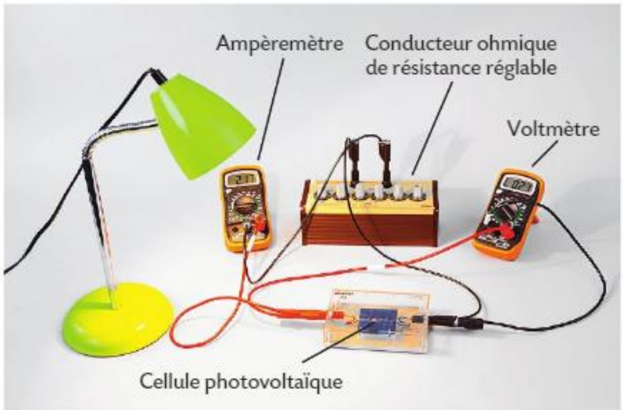
$\mathscr{E}_{photon} = 7{,}10 \times 10^{-19}$ J.
Cela vérifie la conservation de l'énergie :
$\mathscr{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathscr{E}_{c\,max}$.

Préparation à l'ECE

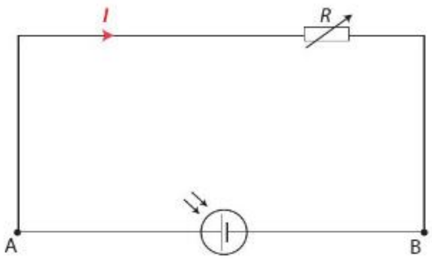
Le rendement d'une cellule photovoltaïque est un paramètre important à prendre en compte lors de la mise au point de dispositifs destinés à produire de l'électricité à partir de la lumière.

Partie I Rendement d'une cellule

Une cellule photovoltaïque est éclairée par une source fournissant un éclairement connu.



1. RÉA Le schéma électrique du montage est partiellement représenté ci-dessous. Le reproduire et le compléter en fléchant la tension U_{AB} aux bornes de la cellule photovoltaïque et en ajoutant les appareils de mesure nécessaires.



2. RÉA Pour deux éclairements différents, on obtient les résultats suivants.
Pour un éclairement de 700 W · m^{-2} :

U_{AB} (V)	0,71	0,66	0,58	0,54	0,46	0,26	0,12	0
I (mA)	0	20	40	52	70	77	78	80

Pour un éclairement de 1 200 W · m^{-2} :

U_{AB} (V)	0,78	0,72	0,66	0,59	0,50	0,35	0,25	0
I (mA)	0	40	80	120	150	155	158	160

Représenter sur un même graphique les caractéristiques $I = f(U_{AB})$ de cette cellule pour les deux éclairements.

3. a. RÉA Compléter ces tableaux en calculant la puissance électrique $\mathcal{P}_{élec}$ de cette cellule dans chacune des situations.

b. RÉA Représenter sur un même graphique la puissance électrique $\mathcal{P}_{élec} = f(U)$ pour les deux éclairements.

4. Pour chacun des éclairements :

a. RÉA Calculer le rendement maximal de la cellule.

b. APP Pour quelle tension aux bornes de la cellule le rendement maximal est-il obtenu ?

c. APP Quelle est alors l'intensité du courant électrique fourni par chaque cellule ?

Partie II Association de cellules

1. APP On associe en série 10 cellules identiques à celle étudiée ci-avant. Le montage est prévu pour fournir une puissance maximale.
Pour un éclairement de 1 200 W · m^{-2}, quelle sera :

a. la tension aux bornes de l'association ?

b. l'intensité du courant la traversant ?

c. la puissance électrique fournie ?

2. APP Répondre aux mêmes questions pour 10 cellules associées en dérivation.

3. ANA-RAIS Quelle association privilégier ?

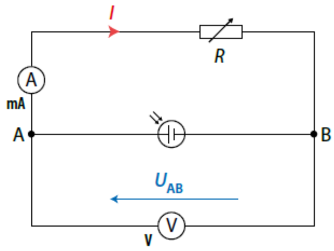
Données

Dimensions de la cellule : 4,2 cm × 4,2 cm.

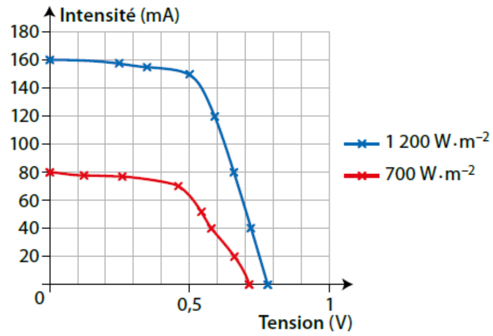
Préparation à l'ECE

Partie I

1.



2.



3.a. Calcul à effectuer : $\mathcal{P}_{élec}$ (en W) = U (en V) × I (en A).

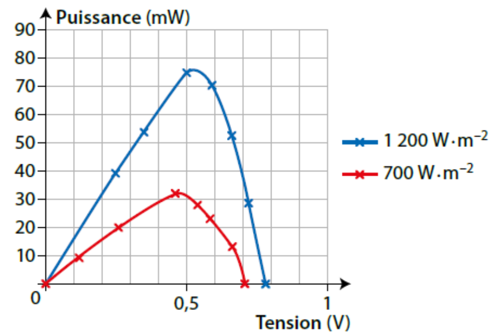
• Cas 1 : éclairement de 700 W · m^{-2}

U_{AB} (V)	0,71	0,66	0,58	0,54	0,46	0,26	0,12	0
I (mA)	0	20	40	52	70	77	78	80
$\mathcal{P}_{élec}$ (mW)	0	13,2	23,2	28,1	32,2	20,0	9,4	0

• Cas 2 : éclairement de 1 200 W · m^{-2}

U_{AB} (V)	0,78	0,72	0,66	0,59	0,5	0,35	0,25	0
I (mA)	0	40	80	120	150	155	158	160
$\mathcal{P}_{élec}$ (mW)	0	28,8	52,8	70,8	75,0	54,3	39,5	0

b.



4.a. Le rendement est $\eta = \frac{\mathcal{P}_{\text{élec}}}{\mathcal{P}_{\text{lum}}}$.

La puissance lumineuse est $\mathcal{P}_{\text{lum}} = E \times S$ où E est l'éclairement et S la surface du capteur.
Ici $S = 0{,}042 \text{ m} \times 0{,}042 \text{ m} = 1{,}76 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

- Pour $E = 700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$:
$\mathcal{P}_{\text{lum}} = 1{,}23$ W, et d'après le graphique $\mathcal{P}_{\text{élec max}} = 33$ mW,
donc $\eta = \frac{0{,}033 \text{ W}}{1{,}23 \text{ W}} = 0{,}027$ soit 2,7 %.

- Pour $E = 1\,200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$:
$\mathcal{P}_{\text{lum}} = 2{,}12$ W, et d'après le graphique $\mathcal{P}_{\text{élec max}} = 76$ mW,
donc $\eta = \frac{0{,}076 \text{ W}}{2{,}12 \text{ W}} = 0{,}036$ soit 3,6 %.

b. La tension correspondant au rendement maximal est obtenue par lecture graphique :
- pour $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$: $U = 0{,}48$ V ;
- pour $1\,200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$: $U = 0{,}53$ V.

c. On calcule l'intensité par $I = \frac{\mathcal{P}_{\text{élec max}}}{U}$:
- pour $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$: $I = 68{,}8$ mA ;
- pour $1\,200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$: $I = 143$ mA.

Partie II

1.a. Dans une association série, la tension aux bornes de l'association est égale à la somme des tensions aux bornes de chaque dipôle. Donc $U = 10 \times U_{\text{cellule max}}$, soit $U = 10 \times 0{,}53 \text{ V} = 5{,}3$ V.
b. Dans une association série, l'intensité du courant qui traverse chaque dipôle est identique, soit ici $I = 143$ mA.
c. $\mathcal{P}_{\text{élec}} = U \times I$
$\mathcal{P}_{\text{élec}} = 5{,}3 \text{ V} \times 0{,}143 \text{ A} = 0{,}76$ W.
La puissance sera 10 fois plus grande que la puissance obtenue pour une seule cellule.
2. Dans une association dérivation, chaque module est soumis à la même tension $U = 0{,}53$ V.
Dans une association dérivation l'intensité du courant est la somme des intensités des courants délivrés par chaque module :
$I = 10 \times I_{\text{cellule max}}$, soit $I = 1{,}43$ A.
$\mathcal{P}_{\text{élec}}$ (en W) $= U$ (en V) $\times I$ (en A)
$\mathcal{P}_{\text{élec}} = 0{,}53 \text{ V} \times 1{,}43 \text{ A} = 0{,}76$ W.
La puissance sera ici aussi 10 fois plus grande que la puissance obtenue pour une seule cellule.
3. À partir du calcul du rendement, il n'y a aucune association à privilégier.
Remarque : les pertes par effet Joule ne seront pas les mêmes et dépendent notamment des caractéristiques (intensité, tension) de l'appareil disposé en aval (un régulateur en général).