18. Interaction lumière-matière

Activités p. 510 à 513

① À la découverte de l'effet photoélectrique

1. (OE1) Les tiges se rapprochent, la charge tend vers 0 : on enlève des électrons.
(OE2) Les plaquent s'écartent : des électrons sont arrachés à la plaque, la rendant encore plus positive.
2. Dans le modèle ondulatoire, une énergie proportionnelle à ε est transmise, et devrait finir par arracher des électrons. Ce n'est pas le cas ici.
3. $\nu_s = \dfrac{W_{ext}}{h}$
4. $E_c = h(\nu - \nu_s)$: si ν augmente, E_c augmente.

Bilan

- Si on considère la lumière comme une onde, en augmentant l'intensité et en attendant assez longtemps, on devrait fournir assez d'énergie au matériau pour arracher des électrons. Or le phénomène dépend aussi de la fréquence, qui impose l'énergie des photons. Le phénomène de l'effet photoélectrique n'est observable que si la fréquence des photons incidents est supérieure à une fréquence seuil.
- ν est en hertz (Hz), E_c et W_{ext} en joules (J) et h en J·s.

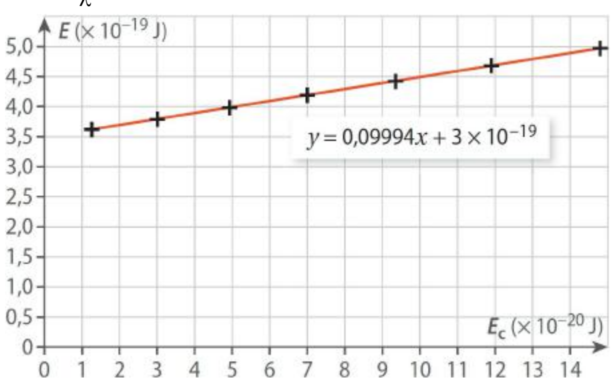
② Modèle particulaire et travail d'extraction

1. $E_{photon} > W_{ext}$
« mesure impossible » : l'énergie apportée n'est pas suffisante pour arracher un électron.
2. L'énergie du photon, hν, sert à arracher un électron au métal (W_{ext}). Le surplus d'énergie est transféré sous forme d'énergie cinétique à l'électron émis.
3. $h\nu = W_{ext} + E_c$ $\quad E_c = \dfrac{1}{2}mv^2$ $\quad E_{photon} = \dfrac{hc}{\lambda}$

λ (en nm)	400	425	450	475
v (en m·s⁻¹)	$5{,}71 \times 10^5$	$5{,}12 \times 10^5$	$4{,}53 \times 10^5$	$3{,}92 \times 10^5$
E_{photon} (en J)	$4{,}97 \times 10^{-19}$	$4{,}68 \times 10^{-19}$	$4{,}42 \times 10^{-19}$	$4{,}19 \times 10^{-19}$
E_c (en J)	$1{,}48 \times 10^{-19}$	$1{,}19 \times 10^{-19}$	$9{,}35 \times 10^{-20}$	$7{,}0 \times 10^{-20}$

λ (en nm)	500	525	550	575
v (en m·s⁻¹)	$3{,}29 \times 10^5$	$2{,}57 \times 10^5$	$1{,}66 \times 10^5$	mesure impossible
E_{photon} (en J)	$3{,}98 \times 10^{-19}$	$3{,}79 \times 10^{-19}$	$3{,}62 \times 10^{-19}$	$3{,}46 \times 10^{-19}$
E_c (en J)	$4{,}93 \times 10^{-20}$	$3{,}01 \times 10^{-20}$	$1{,}26 \times 10^{-20}$	

4. $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$



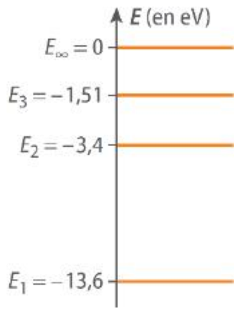
L'alignement des points prouve que la loi est vérifiée et $W_{ext} = 3{,}0 \times 10^{-19}$ J.

5. On a $\nu_s = \dfrac{W_{ext}}{h} = \dfrac{3 \times 10^{-19}}{6{,}63 \times 10^{-34}} = 4{,}52 \times 10^{14}$ Hz.

Bilan

- $v = \sqrt{\dfrac{2}{m}(h\nu - W_{ext})}$
- La racine n'est définie que si $\nu - \nu_s > 0$.

③ Effet photovoltaïque



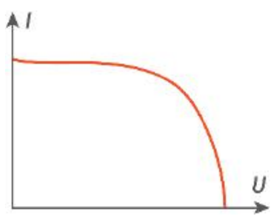
1. Voir schéma ci-contre.
2. $E = E_2 - E_1 = 10{,}2$ eV
3. $\nu_{12} = \dfrac{E}{h} = \dfrac{10{,}2 \times 1{,}6 \times 10^{-19}}{6{,}63 \times 10^{-34}}$
$\nu_{12} = 2{,}43 \times 10^{15}$ Hz
Si $\nu < \nu_{12}$, il n'y a aucun effet sur l'atome, qui reste dans son état fondamental.
4. $E_{gap} = h\nu_{gap}$
donc $\nu_{gap} = \dfrac{E}{h} = \dfrac{0{,}6 \times 1{,}6 \times 10^{-19}}{6{,}63 \times 10^{-34}}$
$\nu_{gap} = 1{,}45 \times 10^{15}$ Hz
5. Si $\nu < \nu_{gap}$, il n'y a aucun effet sur l'électron, qui reste dans la bande de valence, le semi-conducteur reste isolant.

Bilan

- L'électron est porté dans la bande de conduction, le semi-conducteur devient conducteur de l'électricité, d'où son nom.
-

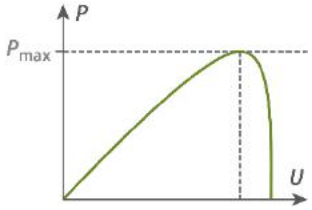
Transition énergétique	de l'atome	de l'électron (semi-conducteur)
Niveau bas	E_1, état fondamental	BV, isolant
Niveau haut	E_2, état excité	BC, conducteur
Absorption d'un photon	excitation	franchissement du gap
Énergie du photon	$E = h\nu$	

④ Rendement d'une cellule photovoltaïque



1. Il faut concentrer le maximum de lumière sur la cellule et l'éclairer sous incidence normale.
2. On doit obtenir une courbe proche de la courbe rouge ci-contre.
3. C'est un récepteur de lumière et un générateur électrique.
4. On calcule $P = UI$ pour les différentes valeurs du tableau.

5. On obtient une courbe proche de la courbe verte ci-contre. On lit au sommet de la courbe la puissance maximale en ordonnées.



6. On relève dans les notices les valeurs de ΔU et ΔI.
7. On en déduit celle de ΔP et on en déduit l'encadrement $[P_{max} - \Delta P \,;\, P_{max} + \Delta P]$.

Bilan

- Le panneau convertit l'énergie lumineuse en énergie électrique.
- On calcule le rendement en utilisant l'expression donnée au doc. 2, en prenant la valeur maximale (P_{max}) de $P_{él}$ (question 5), en mesurant l'éclairement ε grâce au luxmètre et en estimant l'aire S grâce à un double décimètre. Il est en général de l'ordre de 20 %.

Exercices

*Exercices **1** à **22** corrigés à la fin du manuel de l'élève.*

*Exercices **23** et **24** corrigés dans le manuel de l'élève.*

25 a. On lit sur le graphique I = 2,25 A.
b. $P = UI$ = 22,5 W
c. $\eta = \dfrac{P}{\varepsilon S} = \dfrac{22{,}5}{1\,000 \times 1\,900 \times 10^{-4}} = 0{,}118$

*Exercices **26** et **27** corrigés dans le manuel de l'élève.*

*Exercice **28** corrigé à la fin du manuel de l'élève.*

29 a. $\nu = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3{,}00 \times 10^{8}}{400 \times 10^{-9}} = 7{,}5 \times 10^{14}$ Hz

$\nu_s = \dfrac{W_{ext}(\mathrm{Na})}{h} = \dfrac{3{,}78 \times 10^{-19}}{6{,}63 \times 10^{-34}} = 5{,}7 \times 10^{14}$ Hz

On a $\nu > \nu_s$: l'effet photoélectrique est observable.

b. $v = \sqrt{\dfrac{2h \times (\nu - \nu_s)}{m}}$

$v = \sqrt{\dfrac{2 \times 6{,}63 \times 10^{-34} \times (7{,}5 \times 10^{14} - 5{,}7 \times 10^{14})}{9{,}11 \times 10^{-31}}}$

$v = 5{,}12 \times 10^{5}$ m·s^{-1}

*Exercice **30** corrigé à la fin du manuel de l'élève.*

31 $\nu_s = \dfrac{W_{ext}(\mathrm{Sm})}{h} = \dfrac{2{,}71 \times 1{,}6 \times 10^{-19}}{6{,}63 \times 10^{-34}} = 6{,}54 \times 10^{14}$ Hz

32 a. $W_{ext}(\mathrm{Zn}) = h \times \nu_s = \dfrac{h \times c}{\lambda_s} = \dfrac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{0{,}37 \times 10^{-6}}$

$W_{ext}(\mathrm{Zn}) = 5{,}38 \times 10^{-19}$ J = 3,36 eV

b. $\nu_s = \dfrac{c}{\lambda_s} = 8{,}11 \times 10^{14}$ Hz et $\nu = \dfrac{c}{\lambda} = 1{,}5 \times 10^{15}$ Hz.

On a $\nu > \nu_s$ donc l'effet photoélectrique est observable.

c. $E_c = h \times (\nu - \nu_s)$

AN : $E_c = 6{,}63 \times 10^{-34} \times (1{,}5 \times 10^{15} - 8{,}11 \times 10^{14})$

$E_c = 4{,}57 \times 10^{-19}$ J

*Exercice **33** corrigé à la fin du manuel de l'élève.*

34 a. $P = U \times I = 500 \times 10^{-3} \times 0{,}050 = 0{,}025$ W

b. $\varepsilon = \dfrac{2\,300}{100} = 23$ W·m^{-2}

c. $\eta = \dfrac{P}{\varepsilon \times S} = \dfrac{0{,}025}{23 \times 5{,}4 \times 10^{-2} \times 10 \times 10^{-2}} = 20$ %

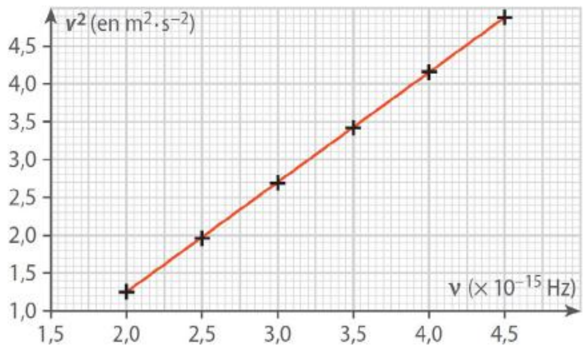
35 a. $P_s = \dfrac{P_{él}}{\eta} = \dfrac{60}{0{,}12} = 500$ W

b. $S = \dfrac{\varepsilon}{P_S} = \dfrac{1\,000}{500} = 2$ m^2

36 a. $\nu_s = \dfrac{W_{ext}(\mathrm{Cu})}{h} = \dfrac{4{,}71 \times 1{,}6 \times 10^{-19}}{6{,}63 \times 10^{-34}} = 1{,}14 \times 10^{15}$ Hz

b. En procédant au bilan d'énergie du cours, on obtient : $v^2 = \dfrac{2h \times (\nu - \nu_s)}{m}$

c. On trace $v^2 = f(\nu)$.



d. C'est une droite de coefficient directeur :

$1{,}45 \times 10^{-3}$ m^2·s^{-1} $= \dfrac{2h}{m}$

On en déduit $m = 9{,}1 \times 10^{-31}$ kg.

37 a. Le travail d'extraction est le travail, l'énergie, nécessaire pour arracher un électron au métal. L'énergie de première ionisation est l'énergie nécessaire pour arracher un électron à l'atome. Les deux sont donc équivalentes.

b. $W_{ext}(\mathrm{Zn})$ = 9,394 eV = $1{,}505 \times 10^{-18}$ J

On en déduit :

$\nu_s = \dfrac{W_{ext}(\mathrm{Zn})}{h} = \dfrac{1{,}505 \times 10^{-18}}{6{,}63 \times 10^{-34}} = 2{,}27 \times 10^{15}$ Hz

c. C'est le domaine des UV.

d. Dans le domaine visible, $\lambda > \lambda_{UV}$, ce qui correspond donc à une énergie inférieure. L'énergie apportée n'est pas suffisante pour arracher un électron au métal, on ne peut donc pas observer l'effet photoélectrique.

e. Il faut que le zinc soit dans son état atomique. En ponçant la plaque, on la débarrasse des ions et oxydes qui se forment à sa surface à cause de l'oxydation par le dioxygène de l'air.

*Exercice **38** corrigé à la fin du manuel de l'élève.*

39 Le travail d'extraction de l'électron vaut :

$W_{ext} = h\nu - E_c = \frac{hc}{\lambda} - \frac{1}{2}m_e v^2$

$W_{ext} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{355 \times 10^{-9}} - \frac{1}{2} \times 9{,}1 \times 10^{-31} \times (6{,}25 \times 10^{5})^2$

$W_{ext} = 3{,}83 \times 10^{-19}$ J = 2,39 eV

Le métal est le lithium.

40 a. Schéma du cours.

Cours 3a p. 516 (manuel de l'élève)

b. $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{910 \times 10^{-9}} = 3{,}30 \times 10^{14}$ Hz

c. $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{5{,}36 \times 10^{14}} = 560$ nm : c'est donc le semi-conducteur GaP (Gallium Phosphore).

d. $\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{590 \times 10^{-9}} = 3{,}37 \times 10^{-19}$ J

e. C'est l'effet photoélectrique. Il est utilisé pour convertir une impulsion lumineuse en impulsion électrique dans une cellule photoélectrique.

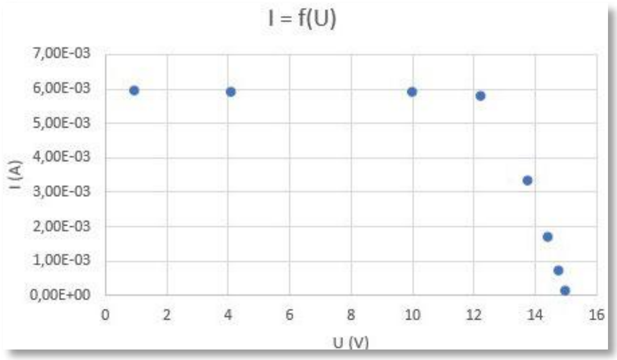
*Exercice **41** corrigé à la fin du manuel de l'élève.*

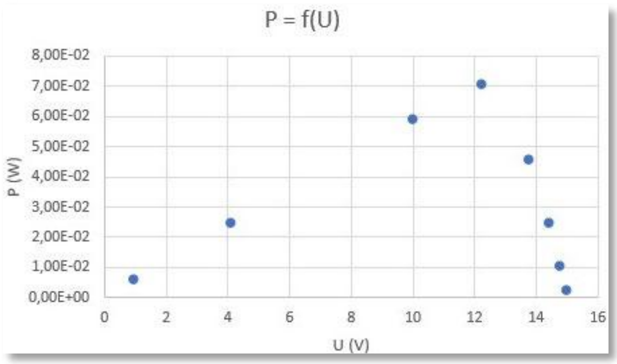
42 1. a. $P = 7$ W

b. $P = U \times I = 6 \times 1{,}17 = 7{,}02$ W : c'est cohérent.

2. $\Delta t = \frac{E}{P} = \frac{20 \times 10^{3}}{7} = 2{,}9 \times 10^{3}$ s

43 1. a. et b. On calcule $P = UI$ et on trace les courbes.





c. On relève $P_{max} = 7{,}2 \times 10^{-2}$ W.

d. $\eta = \frac{P_{max}}{\varepsilon S} = \frac{7{,}2 \times 10^{-2}}{21{,}5 \times 205 \times 10^{-3} \times 352 \times 10^{-3}} = 4{,}5$ %

2. $\eta = \frac{P'_{max}}{\varepsilon S} = \frac{50{,}25 \times 10^{-3}}{21{,}5 \times 300 \times 10^{-3} \times 150 \times 10^{-3}} = 5{,}2$ %

3. Il faut choisir le panneau avec le meilleur rendement, soit le panneau au silicium amorphe.

44 On peut tracer point par point la courbe donnant la puissance à partir d'un échantillon de points (U ; I) en calculant à chaque fois $P = UI$ et en déduire que le point où la puissance est maximale est (35 V ; 4,3 mA).

On en déduit $\eta = \frac{P_{max}}{\varepsilon S} = \frac{UI}{\varepsilon S} = \frac{35 \times 4{,}3}{700 \times 0{,}92} = 23$ %.

45 1. Sur le schéma, le sens du courant est celui imposé par le générateur et le sens des électrons est le sens opposé.

2. $\nu_s = \frac{W_{ext}(Zn)}{h} = \frac{4{,}3 \times 1{,}60 \times 10^{-19}}{6{,}63 \times 10^{-34}} = 1{,}0 \times 10^{15}$ Hz

On en déduit $\lambda = \frac{c}{\nu_s} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}0 \times 10^{15}} = 300$ nm : domaine des UV.

3. a. $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{200 \times 10^{-9}} = 1{,}5 \times 10^{15}$ Hz

$\nu > \nu_s$: l'effet photoélectrique est observable et

$E_c = h(\nu - \nu_s) = 6{,}63 \times 10^{-34} \times (1{,}5 \times 10^{15} - 1{,}0 \times 10^{15})$

$E_c = 3{,}3 \times 10^{-19}$ J

b. Par application du théorème de l'énergie cinétique :

$\Delta E_c = E'_c - E_c = W_{él} = eU$

donc $E'_c = W_{él} + E_c = eU + E_c$

c. Si $U < 0$, E'_c étant nécessairement positive, il faut que $eU + E_c \geq 0$ donc $U \geq -\frac{E_c}{e}$

soit $U \geq -\frac{3{,}3 \times 10^{-19}}{1{,}6 \times 10^{-19}}$ soit $U \geq -2{,}1$ V.

On a donc $U_0 = 2{,}1$ V.

46 1. a. $E_b = m_b \times$ densité $= 633 \times 936 = 592{,}5$ MJ

b. $P = \frac{E_b}{\Delta t} = \frac{592{,}5 \times 10^{3}}{12 \times 3\,600} = 13{,}7$ kW

c. Cette valeur est 3,5 fois plus faible que la puissance maximale, on n'alimente donc pas le moteur à pleine puissance pendant toute la nuit, on se contente de faire une suite de vols planés séparés par des phases de relance.

2. a. $S = 0{,}125 \times 0{,}125 = 15{,}6 \times 10^{-3}$ m²

b. $P_1 = \varepsilon S = 7{,}81$ W

$P_{totale} = 17\,248 \times 7{,}81 = 135$ kW

c. $P_c = 0{,}227 \times P_{totale} = 30{,}6$ kW

d. $P_r = P_c - P = 16{,}9$ kW

e. $E_r = P_r \times 12 \times 3\,600 = 730$ MJ

On a $E_r > E_b$ donc les batteries sont rechargées à la fin de la journée, l'avion peut donc voler plusieurs jours et nuits de suite.

47 **Partie 1. Étude énergétique globale**

a. Non, l'énergie solaire doit être minorée de 20 % lorsqu'elle est reçue par une surface horizontale et non inclinée. De plus, l'éclairement reçu par la route est diminué par la présence du trafic routier.

b. $\lambda < \frac{hc}{E_g} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}12 \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 1{,}11 \times 10^{-6}$ m

C'est le domaine des IR.

c. $E_{France} = \frac{100 \times 6{,}7 \times 10^{9}}{1{,}4} = 4{,}8 \times 10^{11}$ kWh

d. Énergie solaire moyenne : 3,8 kWh·m⁻²·j⁻¹

Énergie lumineuse (minoration de 20 % pour l'inclinaison) : $E_{lum} = 0{,}8 \times 3{,}8 = 3{,}0$ kWh·m⁻²·j⁻¹

Énergie journalière (minoration de 10 % pour le trafic) : $E_j = 0{,}90 \times 3{,}0 = 2{,}7$ kWh·m^{-2}·j^{-1}

e. $E_{él,j} = \eta \times E_j = 0{,}15 \times 2{,}7 = 0{,}41$ kWh·m^{-2}·j^{-1}

$E_{él,an} = 0{,}15 \times 2{,}7 \times 365{,}25 = 1{,}5 \times 10^2$ kWh·m^{-2}·an^{-1}

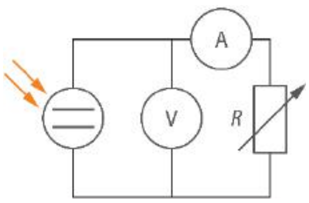
f. $S = \dfrac{E_{France}}{E_{él,an}} = \dfrac{4{,}8 \times 10^{11}}{1{,}5 \times 10^{2}} = 3{,}2 \times 10^9$ m^2

S est très inférieure à la surface des routes en France.

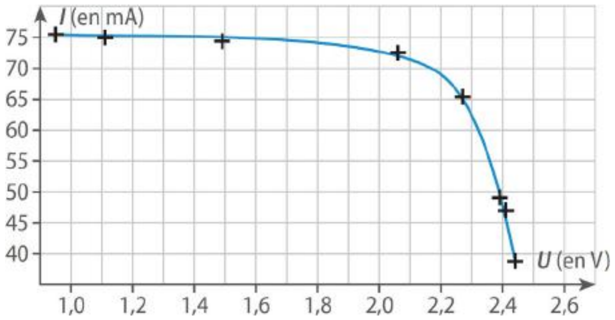
Partie 2. Étude d'une réalisation expérimentale

1. a. Réaliser un circuit série avec la cellule photovoltaïque, la résistance variable et l'ampèremètre. Brancher le voltmètre en dérivation aux bornes de la cellule photovoltaïque. Allumer la lampe de bureau et l'orienter de sorte que l'éclairement reçu par la cellule soit maximal.

b. Voir schéma ci-contre.

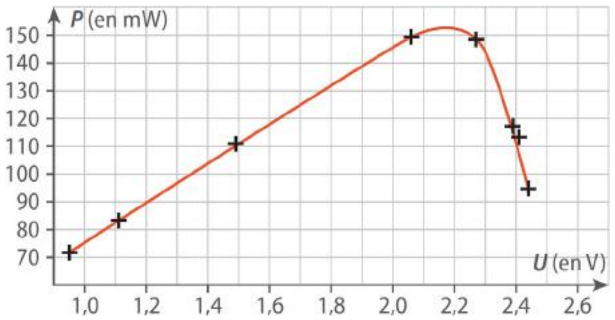


2. Caractéristique courant-tension : on trace la courbe de I en fonction de U.



3. a. $P = UI$

b. Caractéristique puissance-tension : on calcule les valeurs de P et on trace la courbe de P en fonction de U.



c. On identifie que le maximum est atteint pour (72,5 mA ; 2,06 V) qui donne $P_{max} = 0{,}15$ W.

4. a. $S = (6{,}5 \times 10^{-2})^2 = 4{,}2 \times 10^{-3}$ m^2

b. $P = \varepsilon \times S = \dfrac{8\,249 \times 4{,}2 \times 10^{-3}}{100} = 0{,}35$ W

5. $\eta = \dfrac{P_{max}}{P} = \dfrac{1{,}5 \times 10^{-1}}{0{,}35} = 43$ %

6. La valeur du rendement est élevée par rapport aux valeurs habituelles qu'on trouve, dans le reste de ce chapitre, pour un panneau photovoltaïque.

7. La production électrique n'a pas été à la hauteur des attentes car les panneaux ont subi de nombreuses détériorations : ils se sont encrassés avec les suies et résidus de caoutchouc déposés par les voitures, ils se sont rapidement abimés avec le trafic routier.

48 a. C'est une conversion énergie lumineuse – énergie électrique.

b. Couleur des lumières émises :

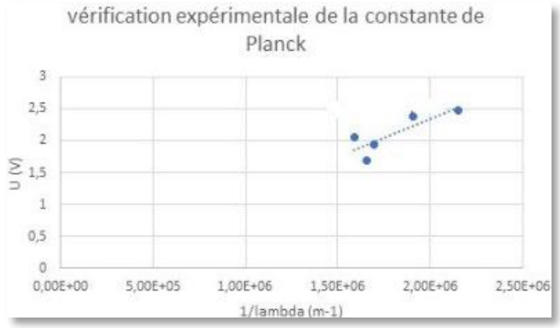
DEL	λ (en nm)	U_{seuil} (en V)	Couleur
ML50B23H	465	2,48	bleu
LTL2H3VFKNT	605	1,69	orange
LTL2R3TGK	524	2,39	vert
LTL2P3SYK	590	1,95	jaune
LTL2P3SEK	630	2,05	rouge

c. Cours 3a p. 516 (manuel de l'élève)

d. $E_{photon} = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$ et $E_{él} = eU$

Or l'énergie absorbée par le photon est transformée en énergie électrique, donc $E_{photon} = E_{él}$: $\dfrac{hc}{\lambda} = eU_{seuil}$

e.



La régression linéaire donne un coefficient directeur : $a = 1 \times 10^{-6}$ V·m

Or $U = \dfrac{hc}{e}\lambda$ donc $h = \dfrac{ea}{c} = 5 \times 10^{-34}$ J·s, valeur acceptable étant donnée le petit nombre de points et la mauvaise qualité de la régression.

49 a. Sharp : $\eta = \dfrac{33}{1\,000 \times 8{,}9 \times 10^{-5}} = 37$ %

Microsol : $\eta = \dfrac{4{,}210}{1\,000 \times 2{,}43 \times 10^{-2}} = 17$ %

b. $E = \dfrac{hc}{\lambda}$ donc :

$E_1 = \dfrac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}0 \times 10^{8}}{1{,}2 \times 10^{-6}} = 2{,}0 \times 10^{-19}$ J $= 1{,}0$ eV

$E_2 = \dfrac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}0 \times 10^{8}}{1{,}0 \times 10^{-6}} = 2{,}0 \times 10^{-19}$ J $= 1{,}2$ eV

$E_3 = \dfrac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}0 \times 10^{8}}{0{,}65 \times 10^{-6}} = 3{,}1 \times 10^{-19}$ J $= 1{,}9$ eV

c. Le photon 1 a une énergie inférieure au gap, l'énergie récupérée est donc nulle.

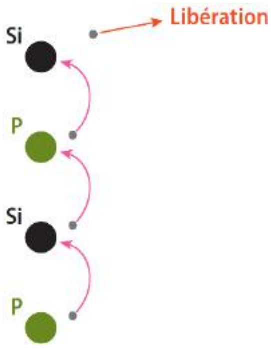
Pour les deux autres, l'énergie récupérée vaut 1,1 eV, elle vaut donc 2,2 eV au total.

d. Cette fois-ci, les trois photons trouvent une couche où ils sont absorbés : InGaAs pour les trois photons, InGaP et GaAs pour le troisième, l'énergie récupérée vaut donc : $E = 1{,}0 + 1{,}0 + 1{,}8 = 3{,}8$ eV

e. La tripe jonction permet de récupérer 3,8 eV contre 2,2 eV pour une jonction au silicium monocristallin : le rendement est meilleur en utilisant des couches adaptées aux photons de différentes longueurs d'onde.

*Exercice **50** corrigé à l'adresse* hatier-clic.fr/pct530

51 1. Dans le bloc dopé N, c'est un des atomes de phosphore proche de la surface qui cèdera son électron surnuméraire à l'atome de silicium. Il doit donc récupérer un électron de la part d'un atome de silicium en dessous de lui. Cet atome de silicium recevra à son tour un électron d'un atome de phosphore en dessous de lui, un atome de silicium devra donc récupérer l'électron qui lui manque : on verra comment à la fin de la question **2**.



2. L'électron surnuméraire est capté par un atome de silicium, qui cède un électron à un atome de bore proche de la surface, qui comble ainsi son trou. Pour rester neutre, cet atome de bore doit céder un électron à un atome de silicium qui est au-dessus de lui, qui le cède à son tour à un atome de bore au-dessus de lui, et ainsi de suite, de proche en proche. Notons que ce n'est pas le même électron qui se déplace. À la jonction entre les deux blocs, l'électron reçu par le dernier atome de silicium de la chaîne est justement cédé à l'atome de silicium auquel il manquait un électron à la fin de la question **1**.
Le courant circule donc bien au sein des deux blocs, dans le sens opposé au déplacement des électrons, donc dans le sens conforme à celui qui est donné sur le schéma.

52 1. $E = \dfrac{\text{hc}}{\lambda} = \dfrac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}0 \times 10^{8}}{1\,110 \times 10^{-9}} = 1{,}12$ eV
Les deux cellules, silicium amorphe ou silicium polycristallin, conviennent. On choisit celle dont le rendement est le plus élevé, donc la deuxième.
2. $W = mgH = \rho VgH = 1{,}0 \times 10^3 \times 1{,}0 \times 9{,}8 \times 50$
$W = 4{,}9 \times 10^5$ J
3. Au mois de janvier (courbe bleue), on prend une puissance surfacique moyenne $P = 845$ W·m^{-2}, la durée du jour est $\Delta t = 6$ heures $= 6 \times 3\,600 = 21{,}6 \times 10^3$ s et le rendement de la cellule vaut $\eta = 5{,}2$ %. Pour les 35 m^3, il faut un travail égal à $35 \times W$.
On en déduit l'énergie électrique nécessaire :
$\eta PS \times \Delta t = 35 \times W$
donc $S = \dfrac{35W}{\eta P \Delta t} = \dfrac{35 \times 4{,}9 \times 10^5}{0{,}052 \times 845 \times 21{,}6 \times 10^3} = 18$ m^2

53 **1. Caractérisation tension-courant**
1.1. L'énergie du photon est inférieure à celle du gap énergétique.
1.2. L'éclairement étant multiplié par 2, le nombre de photons incidents par unité de temps est multiplié par 2, donc le nombre d'électrons portés dans la bande de valence est multiplié par 2, donc l'intensité est multipliée par 2.
1.3. *E* est l'ordonnée à l'origine, exprimée en volts.
r est la résistance interne de la cellule, exprimée en ohms, c'est l'opposé du coefficient directeur de la droite.

2. Optimisation de la puissance délivrée par la cellule
2.1. La puissance vaut $P = UI = RI^2$ et la loi des mailles appliquée au circuit s'écrit $E - rI = RI$ donc
$E = (R + r)I$ et $I = \dfrac{E}{R+r}$ donc $P(R) = \dfrac{E^2R}{(R+r)^2}$.
P est une fonction de *R* continue et dérivable.
En posant $P(R) = \dfrac{u(R)}{v(R)}$ avec $u(R) = E^2R$ et
$v(R) = (R + r)^2 = R^2 + 2rR + r^2$, on peut écrire :
$u'(R) = E^2$ $\quad v'(R) = 2R + 2r$
et $P'(R) = \dfrac{u'(R)v(R) - u(R)v'(R)}{v^2(R)}$
$$P'(R) = \frac{E^2(R^2 + 2rR + r^2) - E^2R(2R + 2r)}{(R+r)^4}$$
soit : $\quad P'(R) = \dfrac{E^2(-R^2 + r^2)}{(R+r)^4}$
P est maximale quand sa dérivée est nulle :
$P'(R) = 0$ si $R = r$.
2.2. On en déduit la valeur maximale : $P(r) = \dfrac{E^2r}{(2r)^2} = \dfrac{E^2}{4r}$

54 1.1. Voici les niveaux d'énergie à faire figurer sur le diagramme. Doc. 10 p. 517 (manuel de l'élève)

n	1	2	3	4
E_n (en eV)	–13,6	–3,4	–1,51	–0,85
E_n (en J)	$-2{,}18 \times 10^{-18}$	$-5{,}44 \times 10^{-19}$	$-2{,}42 \times 10^{-19}$	$-1{,}36 \times 10^{-19}$

1.2. On calcule $\lambda = \dfrac{\text{hc}}{E_4 - E_2} = 4{,}88 \times 10^{-7}$ m $= 488$ nm.
C'est une raie bleue.
1.3. Quand on extrait l'unique électron d'un atome d'hydrogène à son état fondamental, on le fait passer du niveau d'énergie E_1 au niveau E_∞ donc :
$W_{ext} = E_\infty - E_1 = 0 - (-13{,}6) = 13{,}6$ eV $= 2{,}18 \times 10^{-18}$ J
2.1. L'énergie d'excitation minimale doit faire passer l'atome d'hydrogène dans son état fondamental E_1 au niveau E_2, ce qui nécessite un photon d'énergie $E = E_2 - E_1 = 1{,}64 \times 10^{-18}$ J, donc de longueur d'onde $\lambda = \dfrac{\text{hc}}{E} = 122$ nm. Cette valeur, inférieure à 400 nm, correspond à l'ultraviolet. Un photon infrarouge n'a donc pas une énergie suffisante pour exciter l'atome. L'atome n'étant pas excité, il ne se désexcite pas, il n'y a donc aucune raie d'émission visible.
2.2. Le comportement semi-conducteur est caractérisé par l'apparition d'un effet photovoltaïque : lorsque les photons qui éclairent l'échantillon ont une énergie inférieure au gap énergétique séparant la bande de valence (BV) et la bande de conduction (BC), le matériau reste isolant. Aucun courant électrique ne peut le traverser, et si leur énergie est supérieure au gap, il devient conducteur de l'électricité. On peut tester ce changement en mesurant l'intensité du courant circulant entre les deux pointes de diamant, qu'on utilise comme électrodes (comme dans un conductimètre).
2.3. Les bandes de valence et de conduction se chevauchent, le gap est nul, le matériau est conducteur, même si on éteint la source de lumière qui l'éclaire.