

Thème 4 : Ondes et signaux

Partie 2B. Décrire la lumière par un flux de photons

CHAP 21-EXOS Effet photoélectrique

Exercices en autonomie: EC p509 n°1*-2*-6*-8*-10*/QCM p.519 n°12 à 22/ER p520 n°23-24/EC p537 n°28*-30*

Exercices p.524 et suiv: n°32-34-38*-40-43-44-46-47-54

32 La longueur d'onde seuil du zinc vaut $\lambda_s = 0,37 \mu\text{m}$.

a. Déterminer $W_{\text{ext}}(\text{Zn})$.

Convertir le résultat en électron-volts.

b. Une plaque de zinc est éclairée par un rayonnement de longueur d'onde $\lambda = 0,2 \mu\text{m}$.

L'effet photoélectrique est-il observable ?

c. Calculer l'énergie cinétique des électrons émis.

34 Des élèves de classe de Terminale doivent calculer le rendement de la cellule photovoltaïque dont ils disposent en TP. La cellule a pour dimension $5,4 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$.

Pour un éclairage de 2 300 lux, la tension délivrée vaut $U = 0,50 \text{ V}$ pour une intensité $I = 50 \text{ mA}$.

Donnée Un éclairage de 100 lux correspond approximativement à $1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

a. Déterminer la puissance électrique délivrée par la cellule photovoltaïque.

b. Calculer l'éclairage reçu par la cellule en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

c. En déduire le rendement de la cellule.

38 Qui suis-je ?

Effectuer un calcul

Un métal inconnu est éclairé avec une lumière de fréquence $\nu = 6,20 \times 10^{14} \text{ Hz}$. Un capteur mesure la vitesse des électrons éjectés : $v = 2,68 \times 10^5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Données

Travail d'extraction de différents métaux :

Métal	Ca	Sn	Na	Hf	Sm
$W_{\text{ext}} (\times 10^{-19} \text{ J})$	4,60	7,08	3,78	6,25	4,33

a. Quelle est la longueur d'onde du rayonnement incident ?

b. Quel phénomène physique est à l'origine de l'émission des électrons ?

c. Calculer l'énergie cinétique des électrons émis.

d. Déterminer la nature du métal.

40 DEL

Exploiter un énoncé

Une diode électroluminescente (DEL) est un dispositif optique convertissant l'énergie électrique en énergie lumineuse.



Dans le matériau semi-conducteur qui la constitue, un électron de la bande de conduction peut passer dans la bande de valence. Il y a alors émission d'un photon d'énergie égale à l'écart énergétique ΔE entre ces deux bandes.

Voici les longueurs d'onde des radiations émises par différents types de matériaux semi-conducteurs :

Composition des semi-conducteurs	Rayonnement	Longueur d'onde
Indium Arsenic (InAs)	UV	315 nm
Indium Phosphore (InP)	IR	910 nm
Gallium Arsenic Phosphore (GaAsP4)	Rouge	660 nm
Gallium Arsenic Phosphore (GaAsP82)	Jaune	590 nm
Gallium Phosphore (GaP)	Vert	560 nm

a. Schématiser la transition énergétique par une flèche sur un diagramme de niveaux d'énergie faisant apparaître les deux bandes.

b. Quelle est la fréquence d'émission de la diode émettant dans le domaine infrarouge ?

c. De quel matériau une DEL émettant avec une fréquence $\nu = 5,36 \times 10^{14}$ Hz est-elle constituée ?

Identifier les atomes qui le constituent grâce au tableau périodique. [Tableau périodique, rabat VI](#)

d. Calculer le « gap d'énergie », c'est-à-dire l'écart énergétique entre les bandes de conduction et de valence pour la DEL jaune.

e. Quel est le nom de l'effet, inverse de l'effet d'électroluminescence, où l'énergie lumineuse est convertie en énergie électrique ?

Quel est le nom du dispositif utilisant cet effet ?

43 Comparaison de panneaux solaires

Élaborer un protocole • Identifier des sources d'erreur

La propriétaire d'une maison souhaite installer des panneaux solaires sur son toit pour produire sa propre électricité. Son fournisseur lui propose deux types de panneaux différents : un panneau solaire au silicium amorphe et un panneau solaire au silicium polycristallin. Afin de faire son choix, la propriétaire souhaite déterminer celui dont le rendement énergétique est le plus grand.

On mesure, pour plusieurs valeurs de la tension aux bornes du panneau, l'intensité du courant produit par le panneau polycristallin :

U (en V)	15,0	14,8	14,4	13,8
I (en mA)	0,15	0,71	1,7	3,3

U (en V)	12,2	10,0	4,12	0,970
I (en mA)	5,8	5,9	5,9	6,0

Données

- Éclairement : $\varepsilon = 21,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
- Dimensions des panneaux (longueur \times largeur \times épaisseur) :
 - Silicium amorphe : $300 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 3,2 \text{ mm}$
 - Silicium polycristallin : $205 \text{ mm} \times 352 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$

1. a. Tracer, sur papier millimétré ou à l'aide d'un tableur, la caractéristique donnant l'intensité en fonction de la tension pour le panneau polycristallin.

b. Calculer la puissance électrique $P_{\text{él}} = UI$ fournie par le panneau pour chaque colonne du tableau et tracer le graphique donnant $P_{\text{él}}$ en fonction de U .

c. En déduire la puissance électrique maximale P_{max} que le panneau peut fournir.

d. Déterminer le rendement maximal de ce panneau :

$$\eta = \frac{P_{\text{max}}}{\varepsilon S}$$

où S est l'aire du panneau.

2. Les mesures réalisées avec le panneau au silicium amorphe donnent une puissance électrique maximale $P'_{\text{max}} = 50,25 \text{ mW}$.

Déterminer le rendement de ce panneau.

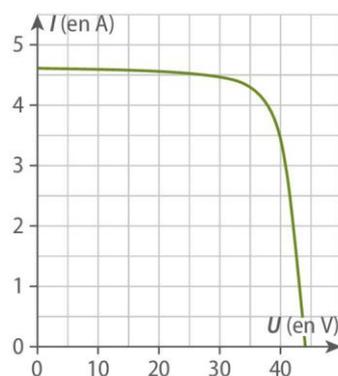
3. Quel panneau la propriétaire doit-elle choisir ?

44 Un document, une question

Exploiter un graphique

Un panneau photovoltaïque d'aire $S = 0,92 \text{ m}^2$ est soumis à un rayonnement solaire d'éclairement $\varepsilon = 700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. La caractéristique courant-tension du panneau est donnée ci-contre.

■ Quel est le rendement η du panneau à sa puissance maximale ?



46 Solar Impulse et le tour du monde

Actualité scientifique

BAC

Exploiter un énoncé • Faire preuve d'esprit critique

L'avion solaire Solar Impulse 2 a achevé, le 26 juillet 2016, le premier tour du monde aérien (un peu plus de 40 000 km), sans aucun carburant.



Doc. 1 Fiche technique de Solar Impulse

Envergure des ailes	72 m
Dimension d'une cellule photovoltaïque	12,5 cm × 12,5 cm
Nombre de cellules	17 248
Rendement des cellules	22,7 %
Puissance maximale du moteur	51,5 kW
Alimentation	4 batteries au lithium
Masse totale des batteries m_b	633 kg
Densité énergétique de stockage des batteries	936 kJ·kg ⁻¹

Données On considérera que :

- le jour dure 12 heures, pendant lesquelles l'éclairement solaire moyen vaut $\epsilon = 500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;
- la nuit dure 12 heures, pendant lesquelles l'éclairement est nul.

1. Vol de nuit

a. Les batteries sont complètement chargées au début de la nuit. Calculer l'énergie électrique E_b qui a été emmagasinée pendant la journée.

b. En déduire la puissance moyenne P fournie au moteur pendant la nuit, si on consomme la totalité de cette énergie.

c. Comparer cette puissance à la puissance maximale du moteur et expliquer pourquoi l'avion passe une partie importante de son vol à planer.

2. Vol de jour

On suppose que le moteur fonctionne avec une puissance moyenne $P = 13,7 \text{ kW}$.

a. Calculer l'aire S d'une cellule photovoltaïque.

b. En déduire la puissance solaire moyenne reçue par une cellule, puis par l'ensemble des cellules.

c. En déduire la puissance électrique P_c fournie par les cellules.

d. Cette puissance se répartit entre l'alimentation du moteur et le rechargement des batteries.

Calculer la puissance électrique P_r fournie aux batteries.

e. En déduire l'énergie électrique E_r fournie aux batteries le jour. Comparer E_r et E_b et proposer une conclusion.

📌 Actualité scientifique p. 507

47 Route et électricité GÉO

Exploiter un énoncé • Tracer et exploiter un graphique

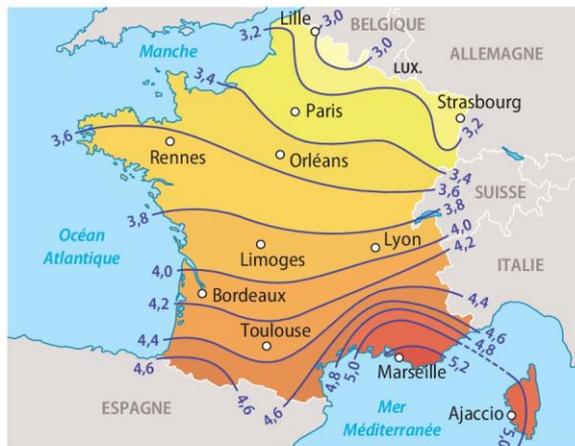
L'idée d'exploiter l'énergie solaire absorbée par le sol des routes fait son chemin.

Partie 1. Étude énergétique globale

BAC

Doc. 1 Ensoleillement en France

La carte ci-dessous indique les valeurs d'éclairement en $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}$ pour une surface orientée plein sud. Pour une surface horizontale, les valeurs sont à minorer de 20 %.



D'après Atlas européen du rayonnement solaire.

Données

- À trafic routier moyen, une route bénéficie de 90 % du temps d'ensoleillement.
- Gap énergétique du silicium : 1,12 eV
- Production électrique d'origine photovoltaïque en France, en 2015 : $6,7 \times 10^9$ kWh (1,4 % de la consommation électrique)
- Rendement de conversion énergie solaire/énergie électrique : 15 %
- Aire totale des routes et parking en France : 17 000 km^2

a. Les cellules photovoltaïques au sol recevront-elles le même éclairement que les panneaux solaires installés sur les toits des habitations ?

b. L'effet photovoltaïque n'apparaît dans le silicium que si l'énergie du photon incident est supérieure au gap énergétique. Calculer la valeur λ_{max} de la longueur d'onde au-delà de laquelle les photons absorbés ne génèrent plus d'électricité. À quel domaine des ondes électromagnétiques appartient-elle ?

c. Calculer l'énergie nécessaire pour satisfaire aux besoins de la France en électricité.

d. Déterminer l'énergie solaire reçue par mètre carré, chaque jour, sur une route horizontale en France.

e. Calculer l'énergie électrique fournie par mètre carré, chaque jour, sur une route horizontale.

Faire de même pour une durée d'un an.

f. Calculer l'aire de la surface à équiper pour couvrir la totalité des besoins du pays en électricité.

Commenter le résultat obtenu.

Adapté du sujet de Bac Asie, spécialité, 2017.

Partie 2. Étude d'une réalisation expérimentale

Une première portion de route solaire a été posée en Normandie en 2016 avec 2 800 m² de dalles. Le projet ne fut pas concluant. La production électrique en 2018 fut inférieure d'un tiers à celle de 2017, elle-même deux fois plus faible que prévu. De plus, il a fallu limiter la vitesse à 70 km·h⁻¹ sur la route solaire, pour des raisons de bruit et de sécurité.



On étudie ici une cellule photovoltaïque carrée de côté 6,5 cm, extraite de la route solaire.

Matériel

- Cellule photovoltaïque
- Résistance variable
- Ampèremètre
- Voltmètre
- Lampe de bureau
- Luxmètre et sa notice
- Fils électriques

Doc. 2 Résultats expérimentaux

Pour un éclairement mesuré $\epsilon = 8\,429$ lux, voici les valeurs de la tension U aux bornes de la cellule et de l'intensité I qu'elle fournit :

I (en mA)	75,5	75,0	74,4	72,5
U (en V)	0,950	1,11	1,49	2,06
I (en mA)	65,4	49,1	47,0	38,8
U (en V)	2,27	2,39	2,41	2,44

Donnée Selon la notice du luxmètre : $100 \text{ lux} = 1,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

- 1. a.** Rédiger le protocole permettant de déterminer le rendement de la cellule photovoltaïque.
- b.** Schématiser le circuit électrique réalisé.
- 2.** Tracer la caractéristique courant-tension.
- 3. a.** Établir l'expression de la puissance électrique P .
- b.** Tracer la caractéristique puissance-tension.
- c.** Quelle est la puissance maximale P_{max} délivrée ?
- 4. a.** Calculer l'aire S de la cellule photovoltaïque.
- b.** Déterminer la puissance lumineuse reçue par la cellule photovoltaïque.
- 5.** Calculer le rendement de la cellule photovoltaïque.
- 6.** **À l'oral** Quel commentaire peut-on faire sur la valeur du rendement ?
- 7.** **À l'oral** Comment expliquer que la production d'électricité par la route solaire ne fut pas à la hauteur des attentes ?
On pourra envisager diverses raisons : technologiques, météorologiques, etc.

1. L'atome d'hydrogène possède des niveaux d'énergie quantifiés par un entier naturel n non nul.

L'énergie d'un atome au niveau d'énergie n , exprimée en électron-volts, vaut $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$.

1.1. Construire un diagramme de niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène, pour $n \in \{1 ; 2 ; 3 ; 4\}$.

1.2. Quelle est la longueur d'onde du photon émis lors de la transition $E_4 \rightarrow E_2$?

Grâce au simulateur Spectres, disponible à l'adresse hatier-clic.fr/pct532, vérifier le résultat et préciser la couleur correspondante.

1.3. L'énergie $E_\infty = \lim_{n \rightarrow +\infty} E_n$ correspond à un atome ionisé, ayant libéré un électron.

En déduire la valeur du travail d'extraction.

2. Lorsque l'hydrogène est soumis à une très forte pression, il adopte un état physique (qui reste hypothétique) appelé « hydrogène métallique ».

Ce serait le cas à l'intérieur de Jupiter.

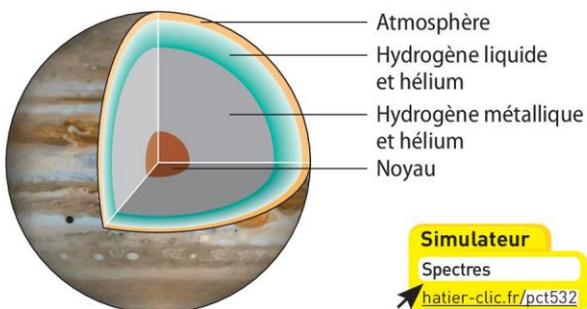
En janvier 2020, les trois chercheurs français Florent Occelli, Paul Loubeyre et Paul Dumas ont vraisemblablement produit de l'hydrogène métallique, pour la première fois en laboratoire, grâce au synchrotron Soleil du commissariat à l'énergie atomique (CÉA).

En comprimant un échantillon d'hydrogène entre deux pointes de diamant, ils ont observé l'effet de cet échantillon sur un faisceau infrarouge. Au fur et à mesure de l'augmentation de la pression, ils ont estimé que l'hydrogène avait un comportement isolant, puis semi-conducteur, et enfin métallique.

2.1. À faible pression, on admet que les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont ceux de la question 1. Justifier qu'un atome d'hydrogène à l'état fondamental ne peut pas être excité par le rayonnement infrarouge. Comment peut-on le prouver expérimentalement ?

2.2. À moyenne pression, quel effet prouve le comportement de l'hydrogène comme un semi-conducteur ?

2.3. À très forte pression, quelle barrière énergétique disparaît au sein de l'hydrogène s'il est devenu métallique ?



Simulateur

Spectres

hatier-clic.fr/pct532