

L'ÉNERGIE : CONVERSIONS ET TRANSFERTS ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES

Contexte commun des activités

Lors d'une randonnée, l'utilisation d'une batterie nomade rechargée à l'aide d'une cellule photovoltaïque permet-elle d'alimenter une lampe et de se faire chauffer une tasse de thé ?

Séquence 1 : Évaluation diagnostique

Objectifs



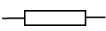
Connaître les acquis des élèves sur les programmes de cycle 4 et de seconde générale en physique-chimie dans la partie « Signaux et capteurs ».

Partie 1

1. Les grandeurs électriques. Compléter le tableau suivant :

Grandeur électrique	Symbole	Unité	Appareil de mesure
intensité d'un courant électrique			
	U		
			ohmmètre
		W	-----
Énergie			-----

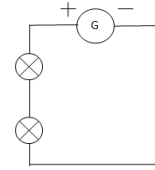
2. Les composants électriques utilisés en électricité. Compléter le tableau suivant.

Composants électriques	fil électrique	pile		interrupteur fermé		lampe	
Symbole							

3. Les circuits électriques

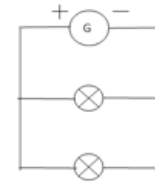
a. Ce montage est un montage :

- en série
- en dérivation



b. Ce montage est un montage :

- en série
- en dérivation



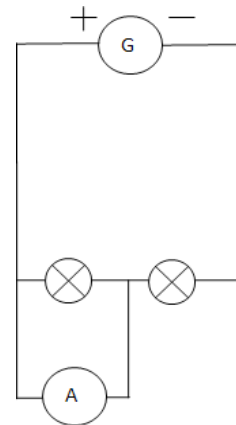
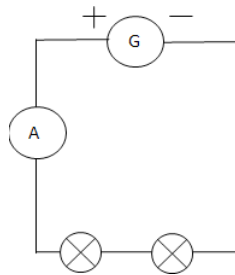
c. s du courant sur les circuits des questions a) et b).

4. Les appareils de mesure

a. L'appareil de mesure de l'intensité d'un courant électrique se branche :

- en série
- en dérivation

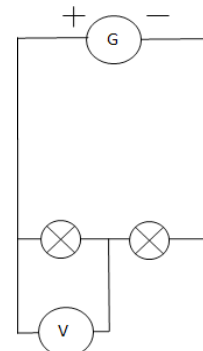
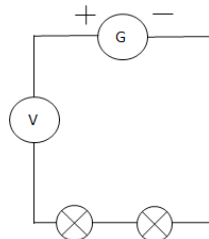
b. On désire mesurer la valeur de l'intensité du courant électrique qui circule dans la lampe. Indiquer le schéma correct correspondant au bon branchement de l'appareil de mesure. Indiquer la polarité (borne A et borne COM) sur le schéma choisi comme correct.



c. L'appareil pour mesurer une tension électrique se branche :

- en série
- en dérivation

d. On désire mesurer la valeur de la tension électrique aux bornes d'une lampe. Indiquer le schéma correct correspondant au bon branchement de l'appareil de mesure. Indiquer la polarité (borne V et borne COM) sur le schéma choisi comme correct.



Partie 2

5. Loi d'additivité des tensions ou relation entre tensions électriques

Dans le montage suivant, quelle relation peut-on écrire entre les tensions électriques, sachant que les deux dipôles électriques sont identiques ?

- $U_1 = U_2 = U$
- $U_1 = U_2 = U/2$
- $U_1 + U_2 = U$

6. Loi des nœuds

a. D'après le schéma suivant, quelle relation peut-on écrire pour le nœud A ?

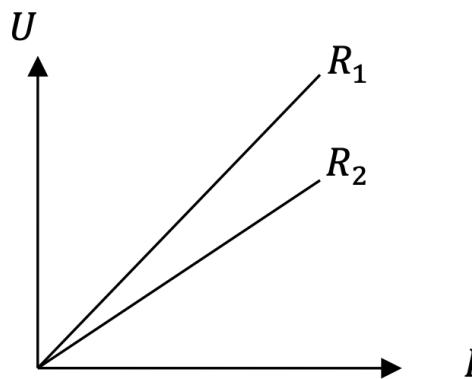
- $I = I_1 + I_2$
- $I = I_1 = I_2$

b. La phrase traduisant la loi des nœuds est :

- la somme des valeurs des intensités des courants qui entrent par un nœud est égale à la valeur de l'intensité du courant dans chaque branche
- la somme des valeurs des intensités des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des valeurs des intensités des courants qui en repartent

7. La loi d'ohm

Répondre aux questions a) et b) en s'appuyant sur la représentation graphique ci-dessous :



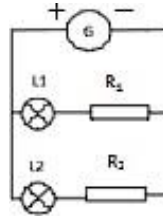
a. Quelle relation lie les grandeurs U et I ?

- $U = R \cdot I + b$
- $U = R \cdot I$

b. Que peut-on dire de R_1 par rapport à R_2 ?

- $R_1 = R_2$
- $R_1 > R_2$
- $R_1 < R_2$

c. Sur le schéma ci-dessous, les deux lampes sont identiques, mais les deux résistances électriques différentes. On suppose que $R_1 > R_2$.



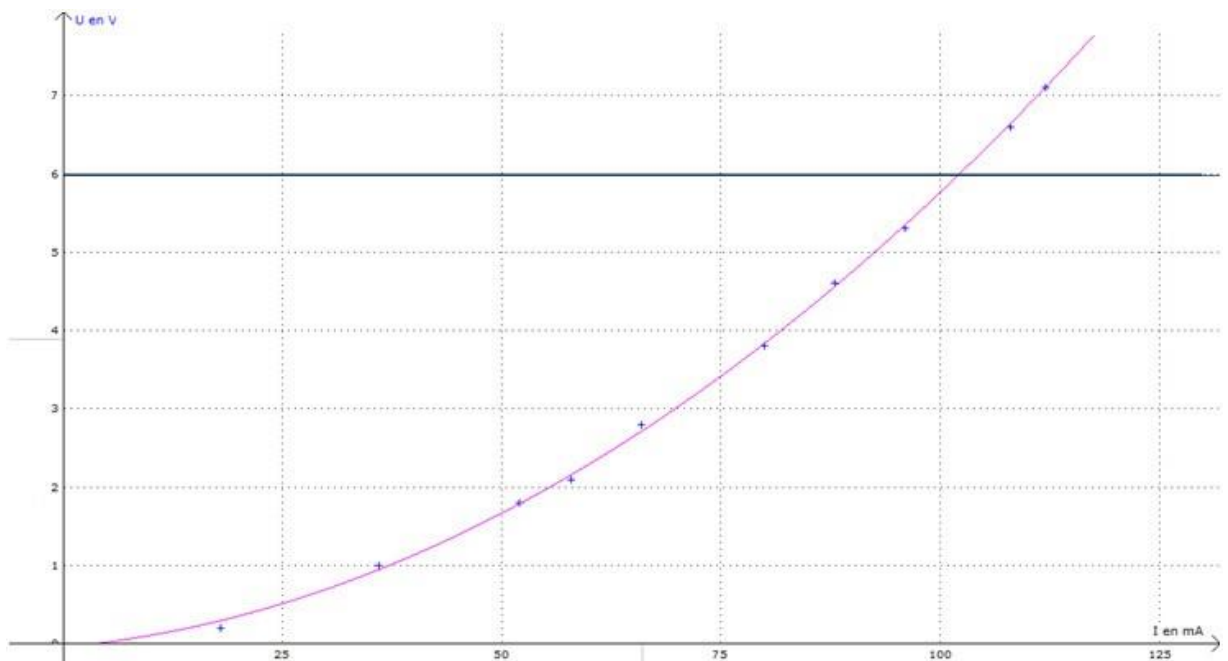
Cocher l'affirmation juste.

- L_1 brille de la même façon que L_2
- L_1 brille plus que L_2
- L_1 brille moins que L_2

8. Point de fonctionnement

Une lampe de tension nominale 6 V est branchée aux bornes d'une pile.

Placer sur le graphique suivant le point de fonctionnement P et relever ses coordonnées :



9. Relation puissance-énergie

Cocher la relation entre les grandeurs puissance et énergie.

- $E = P/\Delta t$
- $P = E.\Delta t$
- $E = P.\Delta t$
- $P = E/\Delta t$

10. Les conversions d'énergies

Compléter les phrases avec les expressions suivantes : énergie chimique, énergie électrique, énergie lumineuse, énergie thermique.

Un même terme peut être utilisé plusieurs fois.

- a. Une pile convertit de l'..... en
- b. Un radiateur convertit de l'..... en
- c. Une résistance électrique convertit de l'..... en
- d. Une lampe convertit de l'..... en

11. Les capteurs électriques

Associer le dipôle électrique à la grandeur responsable de la variation de sa résistance électrique.

Dipôles		Variation de la résistance en fonction de la
Photodiode	• •	Température
Thermistance	• •	Luminosité

Séquence 2 : Étude d'une cellule photovoltaïque

Partie 1 : la cellule photovoltaïque, un générateur de courant électrique

Prérequis

- Bilan énergétique d'un convertisseur
- Loi d'additivité des tensions électriques (et loi des nœuds)
- Savoir brancher un ampèremètre et un voltmètre pour effectuer des mesures électriques

Références au programme

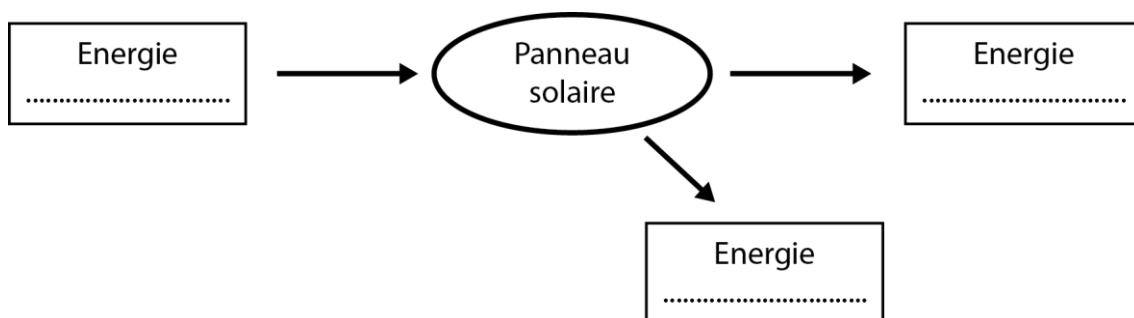
Notions et contenus	Capacités exigibles
Porteur de charge électrique. Lien entre intensité d'un courant continu et débit de charges.	Relier intensité d'un courant continu et débit de charges.

Contexte

Utiliser l'énergie émise par le Soleil pour produire de l'électricité c'est possible et cela se développe de manière considérable ces dernières années. Le nombre de panneaux photovoltaïques ne fait que croître en France et dans le monde, et les entreprises innovent pour les rendre de plus en plus efficaces. Cette conversion se fait par l'intermédiaire de cellules photovoltaïques regroupées en panneaux solaires. La conversion d'énergie en tant que telle n'est pas polluante, mais l'impact environnemental de ces panneaux ne peut pas être considéré comme négligeable.

Partie théorique

1. Bilan énergétique du convertisseur « panneau solaire ». Compléter le schéma ci-dessous avec les expressions suivantes : « énergie électrique », « énergie lumineuse » et « énergie thermique ».



Le panneau solaire une solution pour le développement durable ?

« Le panneau solaire photovoltaïque capte l'énergie émise par le Soleil et la convertit en énergie électrique. La conversion d'énergie n'est pas productrice de dioxyde de carbone : il est communément admis qu'il s'agit d'une production d'énergie électrique « non polluante ».

La plupart des productions industrielles ont un impact sur l'environnement et sur le réchauffement de la planète, la fabrication des panneaux solaires n'y échappe pas.

Fabrication, transport, installation consomment toutes sortes d'énergies et sont générateurs de dioxyde de carbone. Toutefois, sur 20 ans de durée de vie, les émissions de dioxyde de carbone par kilowattheure électrique produit par un panneau photovoltaïque, représentent de 7 à 37 % des émissions par kilowattheure produit par une centrale thermique classique.

On peut donc considérer que l'énergie produite par les panneaux solaires sera quatre fois moins polluante que celle produite par une centrale thermique ou une chaudière individuelle. »

D'après <http://www.eco-conduite-attitude.com/panneau-solaire-solution-developpement-durable/>

2. Préparer une intervention orale argumentée d'une minute sur thème de l'impact environnemental (positif, comme négatif) de l'utilisation de panneaux solaires pour produire de l'énergie électrique.

Énergie solaire photovoltaïque

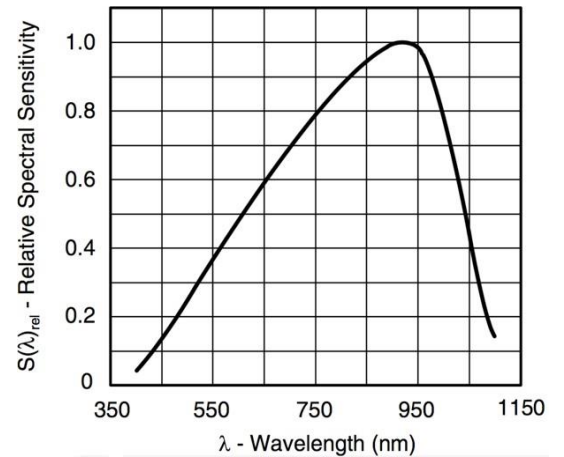
« Le terme « photovoltaïque » peut désigner le phénomène physique (l'effet photovoltaïque découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839) ou la technologie associée. L'énergie solaire photovoltaïque est l'énergie produite par la transformation d'une partie du rayonnement solaire au moyen d'une cellule photovoltaïque. Schématiquement, un photon dans des conditions énergétiques favorables peut mettre en mouvement un électron, produisant ainsi un courant électrique.

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées avec des matériaux principalement produits à partir de silicium. Ces matériaux semi-conducteurs émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à l'action de la lumière. Ceux-ci sont éjectés du matériau et ils circulent dans un circuit fermé, produisant ainsi de l'électricité. »

D'après <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique>

La photodiode PW34 en silicium

Ci-dessous, une photographie d'une photodiode ainsi qu'un graphe représentant sa sensibilité spectrale.



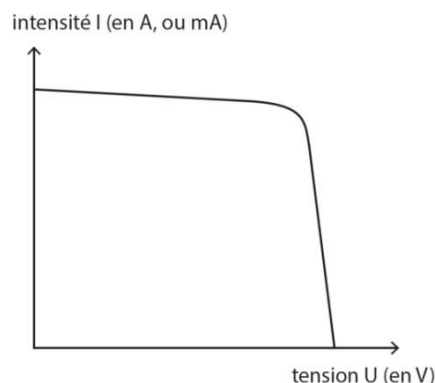
Plus la sensibilité de la photodiode est élevée, plus la conversion d'énergie est efficace.

3. Rappeler les valeurs des longueurs d'onde limites du spectre de la lumière visible.
4. Quelle est la longueur d'onde approximative pour laquelle cette photodiode possède une efficacité maximale ? Dans quel domaine des ondes électromagnétiques se situe cette longueur d'onde ?

Partie expérimentale

La tension électrique U aux bornes d'un panneau photovoltaïque et le courant continu délivré par ce panneau sont adaptés à la recharge d'une batterie. Il est toutefois nécessaire, pour cela, que la tension électrique U (aux bornes du panneau photovoltaïque) soit supérieure à la tension électrique nominale aux bornes de la batterie (de l'ordre de 3,8 V pour une batterie de téléphone portable, par exemple).

Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque



On peut repérer deux points particuliers sur cette caractéristique : le premier permet de connaître l'intensité du courant électrique de court-circuit du panneau (I_{CC} ; lorsque la tension électrique est nulle), le second la tension électrique de circuit ouvert (U_{C0} ; lorsque l'intensité du courant électrique est nulle).

Matériel disponible

- Un panneau solaire ;
- Une lampe de bureau inclinable ;
- Un mètre ruban ;
- Des fils électriques ;
- Un multimètre.

5. Repérer les deux points particuliers de la caractéristique cités dans le document relatif à la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque. Proposer deux schémas électriques qui permettent de mesurer I_{CC} et U_{CO} du panneau.
6. Appeler le professeur pour valider les montages, puis réaliser les mesures et noter les résultats.

Remarque : le panneau sera placé à environ 40 cm de la lampe et perpendiculairement aux rayons lumineux.

Matériel supplémentaire disponible :

- morceaux de carton opaque représentant $1/3$, $1/2$, $2/3$ de la surface utile du panneau ;
- ruban adhésif.

Efficacité de la conversion

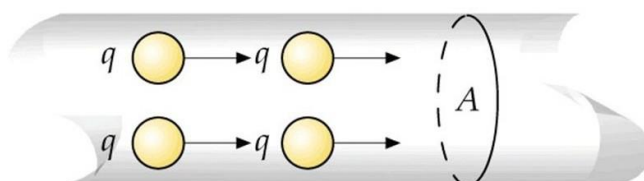
Chaque photon dans des conditions d'énergie favorable produit un électron participant au courant électrique. Mais tous les photons, énergétiquement favorables, ne sont pas absorbés pour autant, certains sont réfléchis par la surface du panneau par exemple.

Toutefois, on peut considérer que dans des conditions d'éclairage données (même source lumineuse, même distance, même inclinaison du panneau) le nombre d'électrons participant au courant électrique est proportionnel au nombre de photons énergétiquement favorables qui atteignent le panneau.

7. Fixer les conditions d'éclairage comme précédemment, ajuster le montage dans les conditions pour mesurer I_{CC} . Placer tour à tour les caches en carton de sorte à masquer une partie de la surface active du panneau. Mesurer le courant de court-circuit à chaque fois.
 - option 1 : consigner les résultats dans un tableau ;
 - option 2 : placer les mesures sur un graphique.

La nature du courant électrique et son intensité

Le courant électrique correspond à un mouvement d'ensemble de porteurs de charges électriques, comme le montre le schéma ci-dessous.



Chaque porteur possède une « charge électrique » notée q et exprimée en coulomb (C). Lorsqu'un courant électrique est établi dans un conducteur (un fil de cuivre par exemple), à chaque seconde un certain nombre de porteurs de charge traversent une section donnée du conducteur (ici, elle est notée « A »).

Ainsi, plus le nombre de porteurs de charge électrique traversant A en 1 seconde est important, plus la charge électrique ayant traversé A sera grande aussi, et finalement plus l'intensité du courant sera élevée.

L'intensité du courant électrique se calcule avec la relation :

$$I = \frac{\text{charge électrique ayant traversé } A}{\text{durée d'observation}} = \frac{Q}{\Delta t}$$

Unités : I s'exprime en « ampère » (A) ; Q s'exprime en « coulomb » (C) ; Δt s'exprime en « seconde » (s).

8. Les mesures confirment-elles la définition de l'intensité du courant électrique, présentée dans le document ci-dessus ?

Complément

9. En l'état, le panneau solaire est-il apte à recharger une batterie de téléphone portable ? Sinon, proposer une solution (schéma + manipulation) qui pourrait permettre de résoudre le problème.
10. Appeler le professeur pour valider la solution. Réaliser la mesure, noter le résultat, conclure.

Partie 2 : activité expérimentale - mesure du rendement d'une cellule photovoltaïque

Prérequis

- Notion de puissance électrique
- Savoir brancher un ampèremètre et un voltmètre pour effectuer des mesures

Références au programme

Notions et contenus	Capacités exigibles
Puissance et énergie. Bilan de puissance dans un circuit. Rendement d'un convertisseur.	Définir le rendement d'un convertisseur. Évaluer le rendement d'un dispositif.

Contexte

De nombreuses solutions existent désormais pour accompagner les randonneurs, prêts à partir pour plusieurs jours d'expédition. Pour gagner un peu en confort, l'énergie électrique est indispensable, que ce soit pour s'éclairer la nuit, recharger son portable, ou encore pour se chauffer un plat.

Ainsi, des kits contiennent une batterie et un panneau solaire qui permet de la recharger. Un exemple de kit est présenté dans le document ci-dessous.

Exemple de kit panneau solaire et batterie

Un kit comprend un panneau solaire (5 W) et une batterie nomade (12000 mAh).

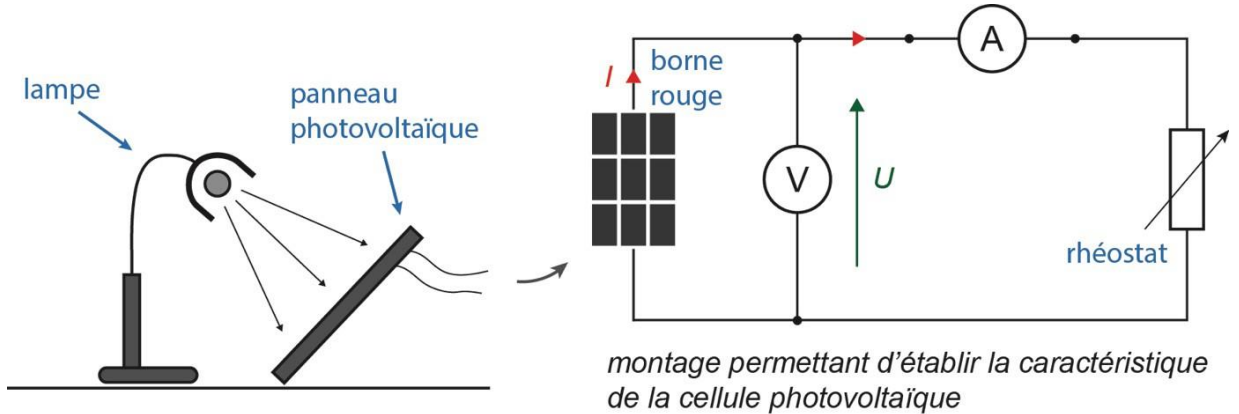
Le tout forme un chargeur solaire assez compact et capable de charger par USB ou allume-cigare : téléphone, tablette et autres appareils de 5 V à 12 V.

Poids : 563 g. Batterie : 136 x 72 x 20 mm. Panneau solaire : 201 x 114 x 16 cm.

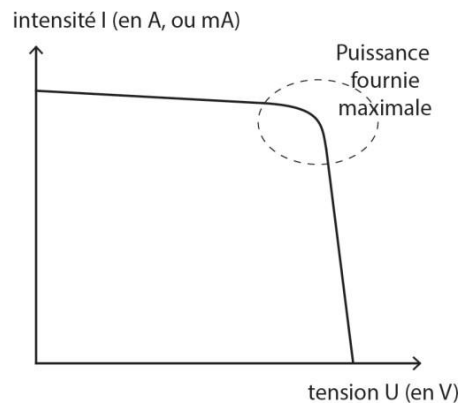
Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque

En électronique, lorsqu'on veut connaître le comportement d'un dipôle, on peut tracer sa caractéristique électrique. Il s'agit de la courbe représentant l'évolution de l'intensité du courant électrique I en fonction de la tension électrique U qui existe entre ses bornes.

Pour tracer la caractéristique d'une cellule photovoltaïque, on réalise le montage ci-dessous.



On éclaire la cellule par une lampe de bureau placée à environ 40 cm. Il ne faut plus déplacer la lampe ni la cellule par la suite. On fait varier la valeur de la résistance R (du rhéostat) dans le circuit, les valeurs de la tension électrique aux bornes de la cellule et de l'intensité du courant électrique varient alors aussi. On relève des couples (U, I) et on peut tracer la caractéristique $I = f(U)$.



La puissance crête P_c (en W) est la puissance maximale délivrée par le panneau solaire photovoltaïque sous un ensoleillement optimal de 1000 W.m^{-2} à 25°C . Sur la caractéristique, elle se situe dans la partie courbe, identifiée par des pointillés.

Pour la mesurer plus facilement, et avec les mesures obtenues précédemment, on peut également tracer la courbe donnant la puissance électrique P_{el} délivrée en fonction de la tension de la cellule, soit $P_{el} = f(U)$.

Rendement de la conversion d'énergie de la cellule

Le rendement r d'une cellule photovoltaïque est défini comme le rapport de la puissance électrique maximale $P_{el,max}$ qu'elle peut fournir sur la puissance lumineuse reçue P_{lum} .

Formule du rendement :

$$r = \frac{P_{el,max}}{P_{lum}}$$

On peut accéder à P_{lum} à l'aide d'un luxmètre qui doit être placé au même endroit que le panneau éclairé par la lampe (même distance, même inclinaison).

On admettra pour simplifier que, dans les conditions de l'expérience, un éclairage de 100 lux, correspond à une puissance lumineuse reçue par unité de surface de $2,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (watt par mètre carré de surface active du panneau)¹.

Matériel disponible

- Une cellule photovoltaïque
- Une lampe de bureau
- Un rhéostat de $10 \text{ k}\Omega$ (ou une boîte de résistances de 0 à $10 \text{ k}\Omega$)
- Deux multimètres
- Des fils électriques
- Un ordinateur muni d'un tableur-grapheur
- Un luxmètre pour le groupe de TP

Approche n°1 (non guidée)

Proposer une démarche qui permet d'évaluer le rendement de la cellule photovoltaïque.

Approche n°2 (guidée)

1. Réaliser le montage décrit ci-dessus. Relever une dizaine de couples de valeurs (U, I) .
2. Entrer les valeurs dans un tableur-grapheur, tracer la courbe $I = f(U)$.
3. Utiliser le logiciel pour calculer les valeurs de la puissance fournie par la cellule lors de chaque relevé. Tracer la courbe $P_{el} = f(U)$. Déterminer $P_{el,max}$.
4. Déterminer la surface active S de la cellule.
5. Calculer le rendement de la cellule, dans les conditions de l'expérience.

Question d'analyse

Une telle cellule peut-elle remplacer un chargeur de téléphone portable dont la puissance est de 5 W (tension nominale de 5 V) ?

1. Cette dernière valeur « ad hoc » n'a pas fait l'objet d'une mesure ; c'est une difficulté liée à l'utilisation d'appareil de mesure d'éclairement (grandeur lumineuse en lux relevant du domaine de la photométrie visuelle).

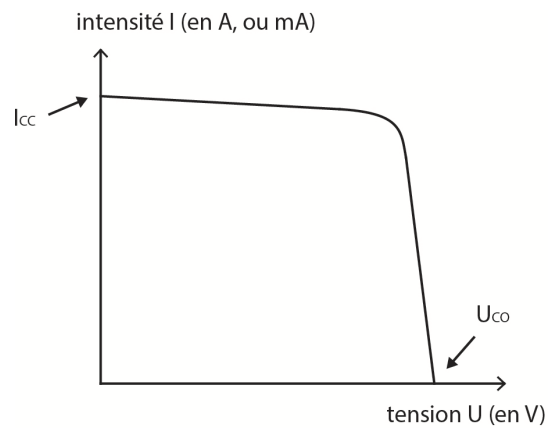
Indications relatives à la mise en œuvre de cette ressource

Partie 1 : la cellule photovoltaïque, un générateur de courant électrique

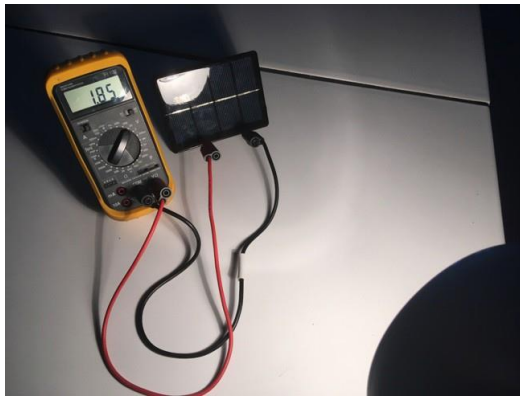
Partie expérimentale

1. Repérer les deux points particuliers de la caractéristique cités dans le document relatif à la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque. Proposer deux schémas électriques qui permettent de mesurer I_{CC} et U_{CO} du panneau.

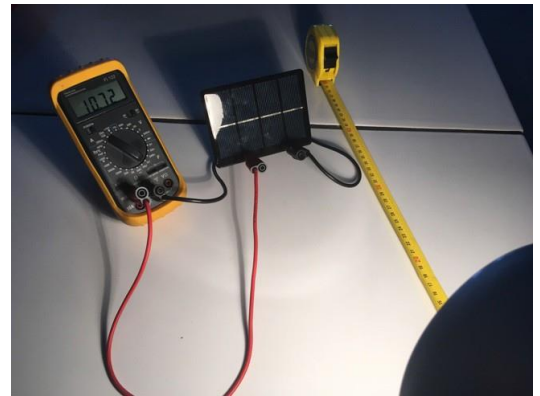
- Schéma pour I_{CC} : panneau connecté à l'ampèremètre en série, calibre 20 mA.
- Schéma pour U_{CO} : panneau connecté au voltmètre en série, calibre 20 V.



2. Appeler le professeur pour valider les montages, puis réaliser les mesures et noter les résultats.

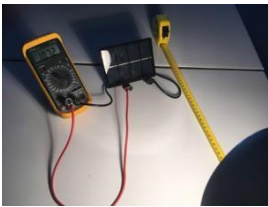

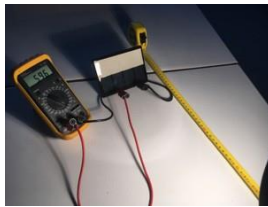



$$U_{CO} = 1,85 \text{ V}$$



$$I_{CC} = 10,72 \text{ mA}$$

3. Fixer les conditions d'éclairage comme précédemment, ajuster le montage dans les conditions pour mesurer I_{CC} . Placer tour à tour les caches en carton de sorte à masquer une partie de la surface active du panneau. Mesurer le courant de court-circuit à chaque fois.
- Option 1 : consigner les résultats dans un tableau.
 - Option 2 : placer les mesures sur un graphique.

1 panneau éclairé	2/3 de panneau éclairé	1/2 de panneau éclairé	1/3 de panneau éclairé
			
$I_{CC} = 10,72 \text{ mA}$	$I_{CC} = 7,57 \text{ mA}$	$I_{CC} = 5,96 \text{ mA}$	$I_{CC} = 4,73 \text{ mA}$
I_{CC_0}	$\frac{I_{CC_0}}{I_{CC}} = 0,71 \approx 2/3$	$\frac{I_{CC_0}}{I_{CC}} = 0,56 \approx 1/2$	$\frac{I_{CC_0}}{I_{CC}} = 0,44 \approx 1/3$

4. Les mesures confirment-elles la définition de l'intensité du courant électrique, présentée dans le document ci-dessus ?

On constate que la valeur de l'intensité du courant électrique augmente lorsque la surface exposée S_{expo} du panneau photovoltaïque augmente. Or, si S_{expo} augmente, le nombre de photons énergétiquement favorables qui atteignent le panneau augmente également, ce qui produit davantage de porteurs de charge.

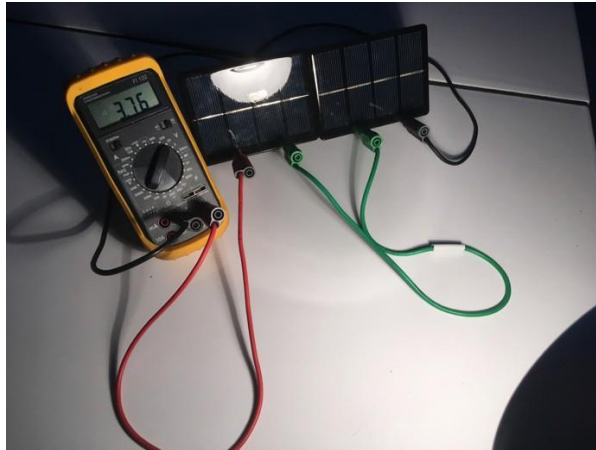
Ainsi, plus il y a de porteurs de charges en circulation plus l'intensité courant est élevé : on peut interpréter l'intensité du courant électrique comme un débit de charges. (Remarque : la question de la vitesse des porteurs de charge n'est pas abordée.)

Complément

5. En l'état, le panneau solaire est-il apte à recharger une batterie de téléphone portable ? Sinon, proposer une solution (schéma + manipulation) qui pourrait permettre de résoudre le problème.
- Non car la tension électrique est inférieure à 3,8 V (voir texte de mise en contexte). Il faut connecter plusieurs panneaux en série pour que leurs tensions électriques s'additionnent.

6. Appeler le professeur pour valider la solution. Réaliser la mesure, noter le résultat, conclure.

Effectivement cela fonctionne avec 2 panneaux. La tension électrique est $U_{C0} = 3,76 V$, soit environ le double de la tension électrique avec un seul panneau. Il faudrait donc au minimum 3 panneaux (même plutôt 4) connectés en série pour atteindre les 5 V nécessaire à la recharge de la batterie (c'est la tension électrique des « chargeurs » des téléphones portables).



Partie 2 : mesure du rendement d'une cellule photovoltaïque

Approche n°1 - Proposer une méthode qui permettrait de trouver le rendement de votre cellule photovoltaïque (ces réponses servent aussi à l'approche n°2).

Les étapes de la démarche sont les suivantes :

- Réaliser le montage décrit dans le document. Relever une dizaine de couples de valeurs (U, I) .
- Entrer les valeurs dans un tableur-grapheur. Se servir du logiciel pour calculer les valeurs de la puissance fournie par la cellule lors de chaque relevé. Tracer la courbe $P_{el} = f(U)$.
- Déterminer $P_{el,max}$.
- Mesurer l'éclairement au niveau de la cellule avec le luxmètre.
- Mesurer la surface active de la cellule.
- Calculer la puissance lumineuse en W :

$$P_{lum} = 2,5 \times S(\text{en } m^2) \times \frac{\text{Eclairement mesuré en lux}}{100}$$

- Calculer le rendement de la cellule avec :

$$r = \frac{P_{el,max}}{P_{lum}}$$

Mesures dans les conditions de l'expérience décrite ci-avant :

- $P_{el,max} = 14 \text{ mW}$ (avec en ce point de fonctionnement, $U \approx 1,5 V$ et $I \approx 9,2 \text{ mA}$).
- Éclairement = 670 lux.
- Surface active de la cellule $S = 7,8 \cdot 10^{-3} m^2$.

Exploitation

- $P_{lum} = 2,5 \times 7,8 \cdot 10^{-3} \times \frac{670}{100} = 1,3 \cdot 10^{-1} \text{ W}$.
- $r = \frac{P_{el,max}}{P_{lum}} = \frac{14 \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 10^{-1}} = 0,11$ soit 11 %.

Question d'analyse

Une telle cellule peut-elle remplacer un chargeur de téléphone portable dont la puissance est de 5 W (tension électrique nominale de 5 V).

Les caractéristiques du chargeur sont 5 V et 1 A, ni la tension de la cellule ni l'intensité du courant ne sont adaptés ($U \approx 1,5 \text{ V}$ et $I \approx 9,2 \text{ mA}$ au point de fonctionnement optimal) ;

Il faut donc connecter 4 cellules en série (on atteint 6 V) et plus de 100 de ces « blocs série » pour atteindre 1 A...

Séquence 3 : Étude d'une batterie (un générateur de tension non idéal)

Prérequis

- Tension électrique ;
- Intensité du courant électrique ;
- Loi d'Ohm ;
- Utilisation d'un voltmètre ;
- Utilisation d'un ampèremètre ;
- Réaliser un graphique ;
- Réaliser une régression linéaire ;
- Puissance et énergie ;
- Puissance électrique ;
- Effet Joule.

Références au programme

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle d'une source réelle de tension continue comme association en série d'une source idéale de tension continue et d'une résistance.	Expliquer quelques conséquences pratiques de la présence d'une résistance dans le modèle d'une source réelle de tension continue. Déterminer la caractéristique d'une source réelle de tension et l'utiliser pour proposer une modélisation par une source idéale associée à une résistance.

Contexte

Pour préparer une randonnée, un randonneur envisage d'acheter une batterie solaire nomade. Toutefois il se demande si, quel que soit l'objet qu'il connecte à cette batterie, la tension électrique aux bornes de celle-ci restera la même.

Matériel à disposition

- Une batterie ou une pile
- Un ampèremètre
- Un voltmètre
- Un conducteur ohmique de résistance électrique variable (rhéostat 33 Ω ou boîte AOIP)
- Un conducteur ohmique de résistance électrique 15 Ω
- Un interrupteur électrique
- Des fils électriques

Questions

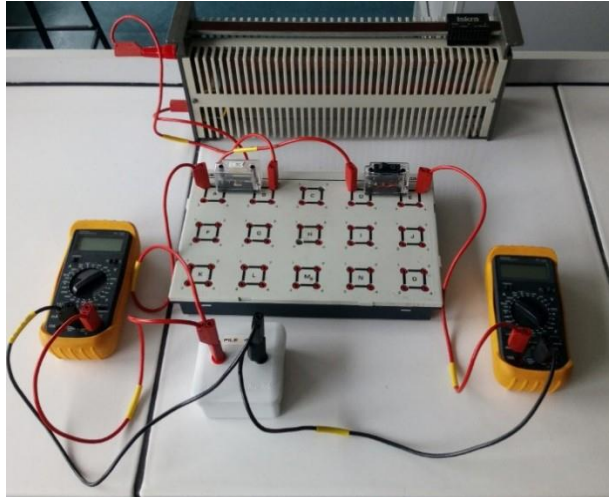
1. Hormis la tension électrique évoquée par le randonneur, quelle autre grandeur électrique peut être influencée par le branchement d'un objet sur la batterie nomade ?
2. À l'aide du matériel disponible, proposer un schéma du circuit électrique qui permet d'étudier l'influence d'un objet connecté sur les grandeurs électriques associées à la batterie nomade (tension électrique évoquée par le randonneur et grandeur électrique de la question précédente). Préciser quel composant électrique joue le rôle de l'objet connecté.

Appeler l'enseignant pour validation.

3. Réaliser différentes mesures des grandeurs électriques étudiées.
4. Les grandeurs électriques dépendent-elles de l'objet connecté à la batterie nomade ? Expliquer.
5. Afin de déterminer la relation qui lie les deux grandeurs électriques étudiées pour une batterie, représenter, sur un graphique, la tension électrique aux bornes de la batterie en fonction de la grandeur électrique de la première question.
6. De quel type est la relation entre les deux grandeurs électriques ? Justifier.
7. À l'aide d'un outil adapté, déterminer les paramètres de la relation précédente.
8. Établir la dimension ou l'unité de chacun de ces paramètres.
9. Lequel de ces paramètres est indiqué sur la batterie/pile ? À quoi correspond l'autre paramètre ?
10. Par quel(s) dipôle(s) électrique(s) peut être modélisée une batterie ?
11. Quel dipôle électrique évoqué dans la question précédente est à l'origine d'une perte énergétique ? Quelle est la conséquence pratique lors d'une utilisation prolongée de la batterie/pile pour une valeur élevée de l'intensité du courant électrique délivré ?

Éléments de correction

1. La valeur de l'intensité du courant électrique délivré par la batterie peut dépendre de l'objet qui est connecté à la batterie.
2. Le conducteur ohmique de résistance électrique variable (rhéostat ou boîte AOIP) joue le rôle des différents objets connectés.

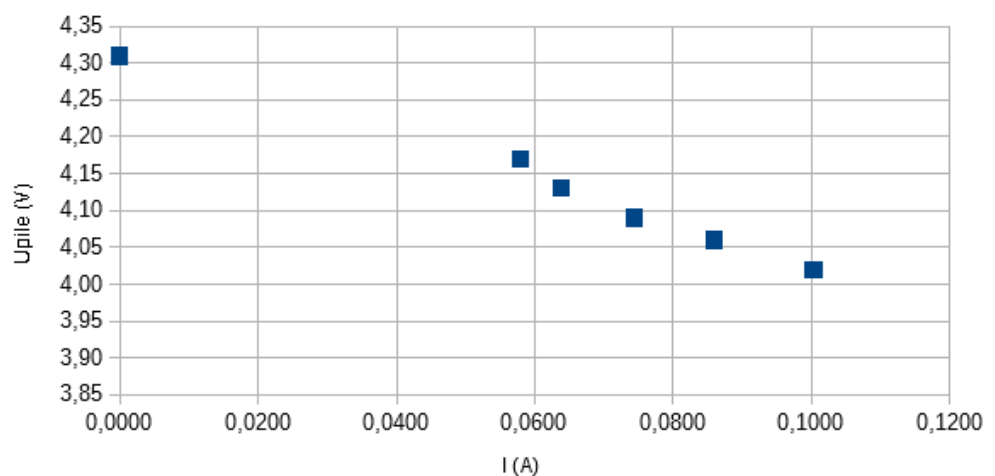


3. Le tableau suivant regroupe l'ensemble d'une série de mesure :

I (A)	0	0,0580	0,0639	0,0744	0,0859	0,1003
U _{pile} (V)	4,31	4,17	4,13	4,09	4,06	4,02

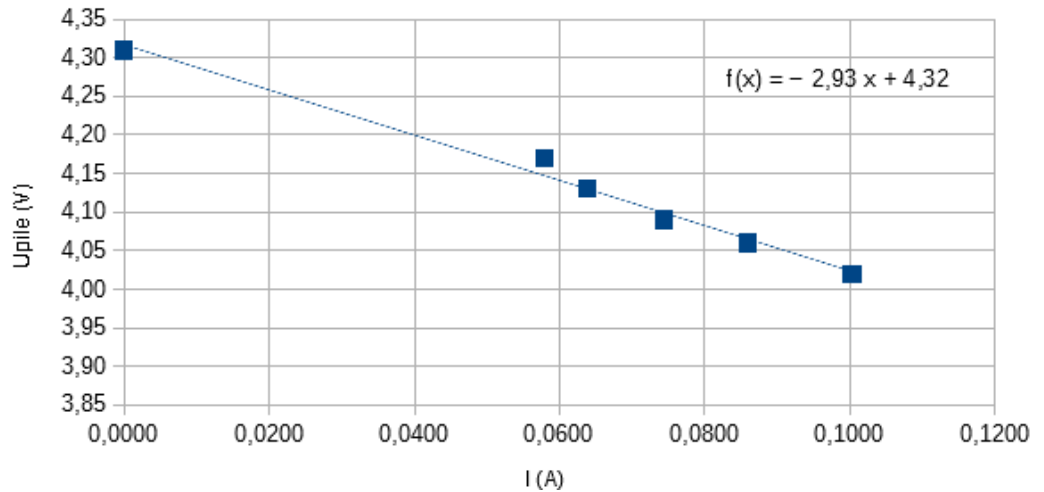
4. Pour différentes valeurs de résistance électrique (donc différents objets connectés), les valeurs de la tension électrique et de l'intensité du courant électrique ne sont pas les mêmes. L'objet connecté influence donc les grandeurs électriques mesurées pour la batterie (tension électrique à ses bornes et intensité du courant électrique délivré).
5. La représentation graphique obtenue est :

Tension électrique en fonction de l'intensité du courant électrique pour une pile



6. Les points expérimentaux semblent alignés selon une droite qui ne passe pas par l'origine ; la relation entre les grandeurs U_{pile} et I est donc de type affine.
7. La modélisation conduit à la représentation graphique suivante :

Tension électrique en fonction de l'intensité du courant électrique pour une pile



8. L'ordonnée à l'origine b peut être lue sur l'axe des ordonnées ; elle a donc la même unité que la tension électrique ; elle s'exprime en volt (V).
Le produit du coefficient directeur a par l'intensité du courant électrique I a la même dimension que la tension électrique U ; par analogie avec la loi d'Ohm ($U = RI$), le coefficient directeur a joue le même rôle que la résistance électrique R et possède donc la même unité, à savoir l'ohm (Ω).
9. La grandeur indiquée sur la batterie/pile est l'ordonnée à l'origine b , elle peut être mise en perspective avec la valeur indiquée par le fabricant (4,5 V) ; il s'agit de la plus grande tension électrique que peut imposer la batterie/pile dans ces conditions d'utilisation. Le coefficient directeur, homogène à une résistance, s'interprète comme la résistance électrique « interne » de la batterie/pile.
10. Une batterie/pile peut être modélisée par l'association en série d'une source de tension idéale et d'un conducteur ohmique.
11. La présence du conducteur ohmique entraîne une perte énergétique par effet Joule (énergie thermique).

$$E_{\text{Joule}} = P_{\text{Joule}} \cdot \Delta t = r \cdot I^2 \cdot \Delta t$$

Une utilisation prolongée de la batterie/pile provoque un échauffement thermique de cette dernière. Plus la valeur de l'intensité du courant électrique délivré est grande, plus celle de l'énergie perdue par effet Joule est importante.

Séquence 4 : Résolution de problème

Prérequis

- Puissance et énergie
- Puissance électrique
- Rendement d'un système

Contexte

Après maintes recherches et études, le randonneur est décidé : il va s'équiper pour sa randonnée en s'achetant, en plus du matériel habituel, une batterie solaire nomade et une lampe frontale. Il emprunte aussi à l'un de ses amis une bouilloire électrique qui pourra, comme la lampe, se brancher à sa batterie.

Avant de partir, pour tester son matériel, il charge sa batterie et allume sa lampe pendant une heure. Ensuite, il envisage de faire bouillir de l'eau pour se préparer un thé.

Question

À l'aide des documents présentés ci-après, vous répondrez à la question ci-dessous, en explicitant votre démarche.

Le randonneur va-t-il pouvoir préparer son thé ?

Le matériel du randonneur

Bouilloire de voyage

Puissance : 150 W

Se branche sur une prise allume-cigare de 12 V

Capacité max. : 1 litre

Temps d'ébullition pour 1 L : environ 20 minutes

Lampe frontale

Puissance lumineuse : 300 lumens

Tension d'alimentation : 5 V

Alimentation par câble USB

Tasse

Contenance 330 mL

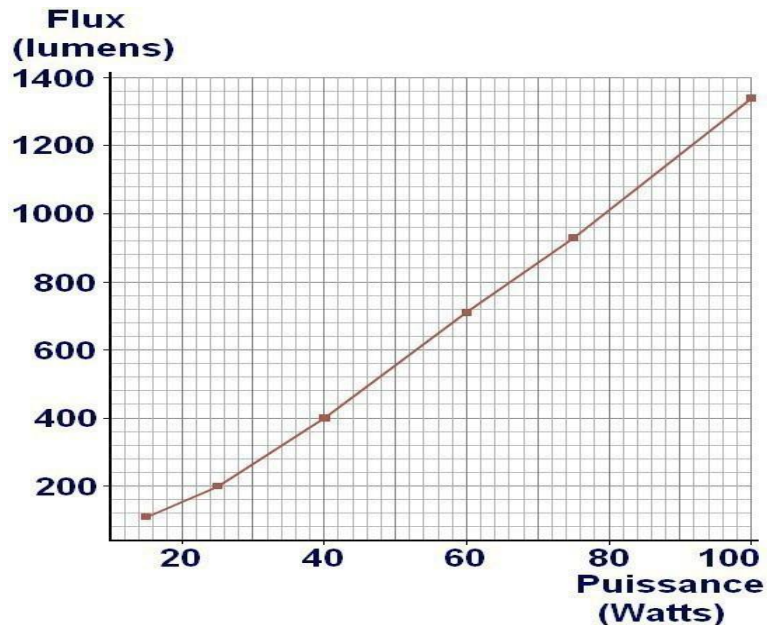
Chargeur solaire

Comprenant un panneau solaire (5 W) et une batterie nomade de charge maximale égale à 12000 mAh, ce chargeur solaire est capable de charger par USB ou allume-cigare : téléphone, tablette et autres appareils de 5 V à 12 V.

Capacité d'une batterie et décharge

La capacité Q_{max} d'une batterie représente la quantité de charge électrique qu'elle peut stocker. Elle s'exprime en coulomb (C) ou en ampère-heure (A.h).

Correspondance entre puissance (flux) lumineuse en lumen et puissance électrique en watt



D'après <https://www.astuces-pratiques.fr/maison/correspondance-equivalence-lumens-watts>

Énergie nécessaire pour chauffer de l'eau

Pour élever la température d'un système, il faut lui apporter de l'énergie. Cette énergie dépend de la masse du système, de sa nature et de l'élévation de température souhaitée. Elle vérifie la relation suivante :

$$E = m \cdot c \cdot \Delta T$$

avec E l'énergie à fournir pour élever la température du système (J) ;
 m la masse du système (kg) ;
 c la capacité thermique massique du système ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
 ΔT la variation de température ($^{\circ}C$ ou K).

Rendement de la bouilloire électrique

Lorsque l'ami du randonneur lui confie sa bouilloire, il l'informe d'une expérience qu'il a réalisée :

« J'ai fait chauffer 1 litre d'eau dans cette bouilloire de $10^{\circ}C$ à $100^{\circ}C$. J'ai mesuré la consommation électrique et j'ai trouvé $E_{el} = 115$ Wh. Or si mes calculs sont justes, l'énergie E nécessaire pour effectuer cette montée en température est de 105 Wh, le rendement de ma bouilloire électrique n'est donc pas de 100 % ! ... »

Données

- Température initiale de l'eau à chauffer : 20 °C
- Température conseillée pour faire infuser le thé : 100 °C
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1,0 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{eau} = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Différenciation

Niveau « expert »

La question telle quelle

Niveau « savant »

Quelle est l'énergie nécessaire pour élever la température du volume d'eau à chauffer de 20 à 100 °C ?

Trouver la relation entre l'énergie électrique E_{el} et la charge électrique Q transférée au niveau de la batterie lors de cette élévation de température.

Déterminer si la batterie possède encore une capacité (charge) Q_r suffisante pour chauffer l'eau, après avoir été utilisée pour alimenter la lampe pendant 1 heure.

Niveau « apprenti chercheur »

Quel est le volume d'eau que le randonneur va chauffer ?

Quelle est l'énergie nécessaire pour élever la température de ce volume d'eau entre 20 et 100 °C ?

Montrer que la relation entre l'énergie électrique E_{el} et la charge transférée Q lors de cette élévation de température s'écrit $E_{el} = U \times Q$; U représente la valeur de la tension électrique aux bornes de la batterie.

En déduire la valeur de la charge transférée au niveau de la batterie lors du chauffage de l'eau en tenant compte du rendement de la bouilloire.

Calculer la charge transférée lorsque la lampe fonctionne pendant 1 heure.

Conclure en évaluant, par exemple, la valeur de la charge électrique disponible de la batterie après avoir été utilisée pour allumer la lampe.

Prolongements possibles

Dans les conditions de l'expérience, quel volume maximal d'eau peut-on faire bouillir ?

Déterminer la durée nécessaire pour charger la batterie (sous 12 V) et le temps maximum d'éclairage si on utilise la lampe seule pour mettre en perspective charge/décharge.

Compétences travaillées

APP : Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée.

ANA/RAI : Organiser et exploiter les informations extraites, ses connaissances pour concevoir et justifier une démarche de résolution.

REA : Effectuer des calculs simples en prenant en compte les unités et les chiffres significatifs.

VAL : Faire preuve d'esprit critique.

COM : Présenter une démarche de manière cohérente et argumentée.

Éléments de correction

Avant de commencer, analyser la question : que cherche-t-on à déterminer ?

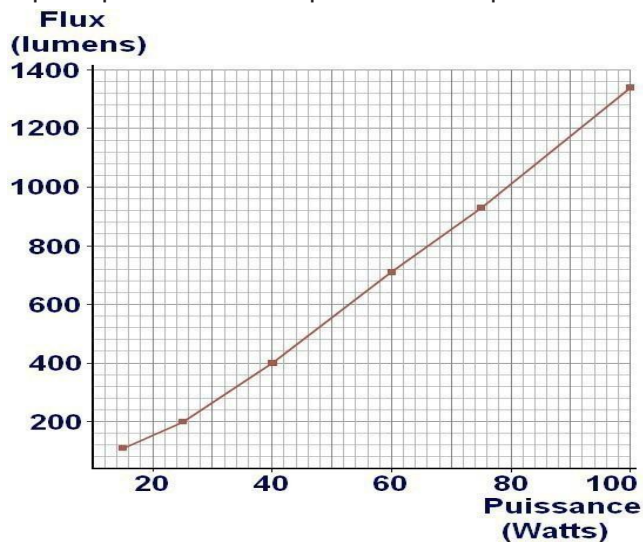
Réponse : on veut déterminer si la charge de la batterie est suffisante pour effectuer les deux opérations (allumer la lampe pendant une heure et faire bouillir de l'eau).

Le randonneur possède une batterie (charge électrique maximale $Q_{max} = 12,0$ A.h pouvant charger tous les appareils entre 5,0 et 12,0 V), ici une lampe (300 lumens ; 5,0 V) et une bouilloire électrique (150 W ; 12,0 V)

La démarche utilisée est la suivante :

1. On détermine la charge électrique de la batterie disponible après une durée d'éclairage d'une heure et on en déduit l'énergie électrique disponible (valeur 1) :

En utilisant les documents, la puissance lumineuse est égale à 300 lumens, donc par lecture graphique, on trouve que la puissance électrique P de la lampe vaut 32 W :



La charge électrique transférée Q_c si la lampe reste allumée 1,0 heure est alors :

$$Q_c = I \cdot \Delta t = \frac{P}{U} \cdot \Delta t = \frac{32 \text{ W}}{5,0 \text{ V}} \times 1 \text{ h} = 6,4 \text{ A} \cdot \text{h}$$

La charge électrique Q_r encore disponible est :

$$Q_r = Q - Q_c = 12,0 - 6,4 = 5,6 \text{ A} \cdot \text{h}$$

L'énergie électrique disponible est alors :

$$E_{el,dis} = P \cdot \Delta t = U \cdot I \cdot \Delta t = U \cdot Q_r$$
$$E_{el,dis} = 12,0 \text{ V} \times 5,6 \text{ A} \cdot \text{h} = 12,0 \text{ V} \times 5,6 \text{ A} \times 1 \text{ h} = 12,0 \text{ V} \times 5,6 \text{ A} \times 3600 \text{ s} = 2,4 \times 10^5 \text{ J}$$

2. On détermine l'énergie thermique nécessaire au chauffage du volume d'eau désiré. L'énergie nécessaire E pour faire passer un volume $V_{eau} = 30 \text{ cL}$ (choix de l'élève qui voit que la tasse du randonneur a une contenance de 33 cL et qui fait l'hypothèse de chauffer juste assez d'eau pour ne pas faire déborder la tasse) d'eau liquide de la température $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ à la température $T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ est (la capacité thermique de la bouilloire est considérée comme négligeable) :

$$E = m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot \Delta T = V_{eau} \cdot \rho_{eau} \cdot c_{eau} \cdot \Delta T$$

$$E = 0,30 \text{ L} \times 1 \text{ kg/L} \times 4180 \text{ J/K/kg} \times (100 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}) = 1,0 \times 10^5 \text{ J}$$

3. On en déduit l'énergie électrique nécessaire au chauffage de cette eau, en prenant en compte le rendement (valeur 2) :

Il est possible de calculer le rendement de la bouilloire électrique :

$$\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie apportée}} = \frac{105 \text{ Wh}}{115 \text{ Wh}} = 0,91$$

L'énergie électrique nécessaire au chauffage de l'eau est alors :

$$E_{el,nec} = \frac{E}{\eta} = \frac{1,0 \times 10^5 \text{ J}}{0,91} = 1,1 \times 10^5 \text{ J}$$

4. On compare les valeurs 1 et 2 et on conclut :

L'énergie disponible $E_{el,dis} = 2,4 \times 10^5 \text{ J}$ est supérieure à l'énergie nécessaire $E_{el,nec} = 1,1 \times 10^5 \text{ J}$, Le randonneur pourra se faire chauffer son thé.

Il est également possible de calculer les valeurs de la charge électrique transférée lors de l'utilisation de la lampe en 1 heure et de celle transférée lors du chauffage de l'eau. Il faut ensuite comparer la somme de ces deux valeurs à la charge électrique maximale de la batterie.