Etude d'une harpe électrique au service des abeilles domestiques

Bac 2026 Centres étrangers 1 Jour 1 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

Q.1 Nommer le phénomène physique observé sur l'écran.

Le faisceau laser rencontre un obstacle très fin (le fil) et s'étale en une série de taches sur l'écran.

Il s'agit du phénomène de **diffraction**.

PIÈGE
Ne pas confondre avec les interférences : ici il n'y a qu'un seul obstacle, et la tache centrale est deux fois plus large que les autres.

Q.2 Exprimer l'angle caractéristique θ en fonction de la largeur L de la tache centrale et de la distance D, avec l'approximation des petits angles.

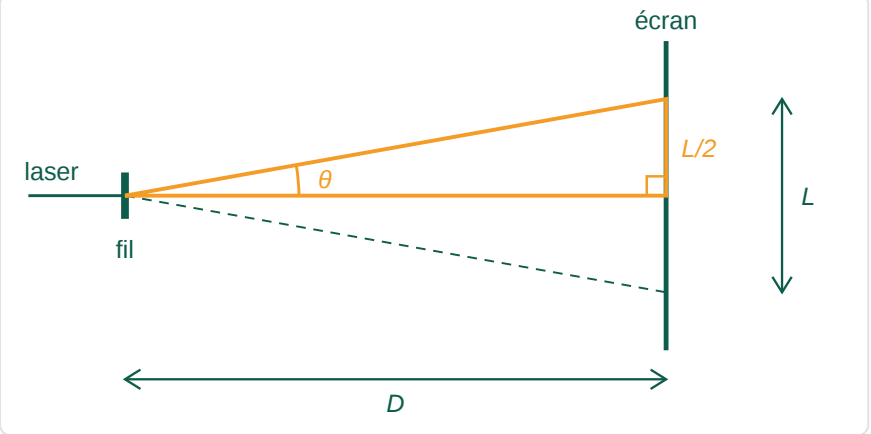
Dans le triangle rectangle formé par le fil, le centre de la tache centrale et l'une de ses extrémités, le côté opposé à θ mesure $\frac{L}{2}$ et le côté adjacent mesure D :

$$\tan\theta = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D}$$

L'angle est petit, donc $\tan\theta = \theta$ (en radians).

$$\theta = \frac{L}{2D}$$

PIÈGE
Écrire $\theta = \frac{L}{D}$: l'angle θ repère une extrémité de la tache depuis l'axe du faisceau, il ne voit donc que la demi-largeur $\frac{L}{2}$.



Q.2 · Vue de dessus : le triangle rectangle utilisé

Q.3 En déduire la relation donnant L en fonction de λ, a et D. Montrer qu'il y a proportionnalité entre L et $\frac{1}{a}$.

On égale les deux expressions de l'angle : $\theta = \frac{\lambda}{a}$ (donnée) et $\theta = \frac{L}{2D}$ (Q.2).

$$\frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a} \quad \text{donc} \quad L = \frac{2\lambda D}{a} = 2\lambda D \times \frac{1}{a}$$

Pour un laser et une distance fixés, $2\lambda D$ est une constante : L est bien proportionnelle à $\frac{1}{a}$.

$$L = \frac{2\lambda D}{a} = k \times \frac{1}{a} \text{ avec } k = 2\lambda D$$

COMPRENDRE
Plus le fil est fin, plus la tache centrale est large. La constante $k = 2\lambda D$ est le produit de deux longueurs : elle s'exprime en m^2.

Q.4 Justifier que les résultats expérimentaux de la figure 3 sont compatibles avec la modélisation $L = k \times \dfrac{1}{a}$.

Sur la figure 3, les six points sont pratiquement alignés et la droite qui passe au plus près de ces points passe par l'origine du repère.

Une droite passant par l'origine traduit une situation de proportionnalité.

L est proportionnelle à $\dfrac{1}{a}$: les mesures sont compatibles avec $L = k \times \dfrac{1}{a}$.

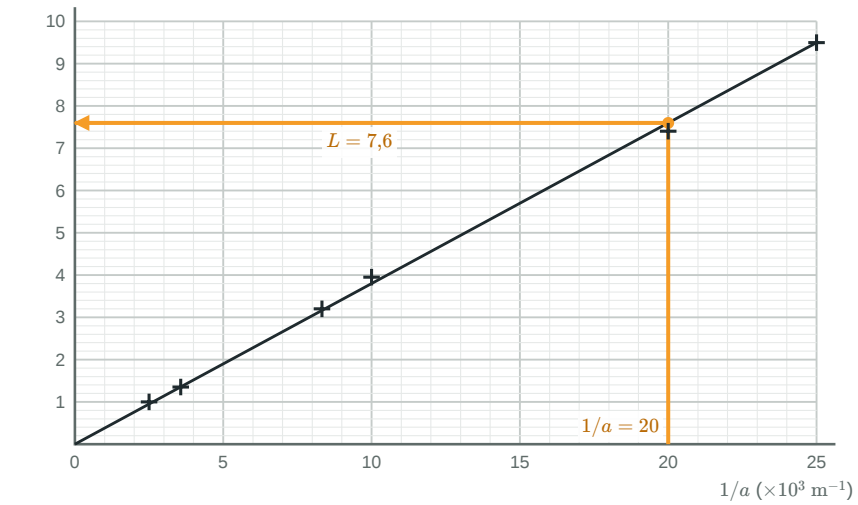
PIÈGE
« Les points sont alignés » ne suffit pas : une droite qui ne passe pas par l'origine correspond à une fonction affine, pas à une proportionnalité. Les deux arguments sont attendus.

Q.5 Déterminer la valeur de k en précisant la méthode utilisée.

k est le coefficient directeur de la droite modèle. On trace la droite passant par l'origine et au plus près des points, puis on lit les coordonnées d'un point de cette droite, choisi loin de l'origine : $\dfrac{1}{a} = 20 \times 10^{3}\ \text{m}^{-1}$ et $L = 7{,}6 \times 10^{-2}\ \text{m}$.

$$k = \frac{L}{1/a} = \frac{7{,}6 \times 10^{-2}}{20 \times 10^{3}}$$

$k = 3{,}8 \times 10^{-6}\ \text{m}^2$

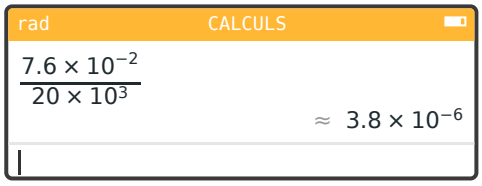


Q.5 · Figure 3 du sujet, avec la droite modèle et le point de lecture

PIÈGE
Oublier les puissances de dix des axes : l'abscisse est en $10^{3}\ \text{m}^{-1}$ et l'ordonnée en 10^{-2} m. Sans elles, on trouve $0{,}38$ au lieu de $3{,}8 \times 10^{-6}$.

MÉTHODE
On lit un point de la droite tracée, et non un point de mesure, car la droite moyenne compense les écarts de chaque mesure. Une lecture graphique donne deux chiffres significatifs.

À LA CALCULATRICE



Q.6 Calculer la valeur du diamètre a du fil à partir de la modélisation.

Données utiles $k = 3{,}85 \times 10^{-6}\ \text{m}^2$; $L = 8{,}0\ \text{mm} = 8{,}0 \times 10^{-3}\ \text{m}$

$L = k \times \dfrac{1}{a}$ donc $a = \dfrac{k}{L}$.

$$a = \frac{3{,}85 \times 10^{-6}}{8{,}0 \times 10^{-3}} = 4{,}8 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

$a = 0{,}48\ \text{mm}$

PIÈGE
Laisser L en millimètres alors que k est en m^2 : le diamètre obtenu serait mille fois trop petit.

COMPRENDRE
$L = 8{,}0$ mm n'a que deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux. On conserve la valeur non arrondie $4{,}81 \times 10^{-4}$ m pour le calcul d'incertitude qui suit.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{3.85 \times 10^{-6}}{8.0 \times 10^{-3}} \approx 4.8125 \times 10^{-4}$$

Q.7 Calculer la valeur de l'incertitude-type $u(a)$ associée à la valeur expérimentale de a.

Données utiles $a = 4{,}81 \times 10^{-4}$ m (Q.6) ; $u(k) = 0{,}05 \times 10^{-6}$ m^2 ; $u(L) = 0{,}5$ mm

$$u(a) = a \times \sqrt{\left(\frac{u(k)}{k}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2}$$

$$u(a) = 4{,}81 \times 10^{-4} \times \sqrt{\left(\frac{0{,}05 \times 10^{-6}}{3{,}85 \times 10^{-6}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}5}{8{,}0}\right)^2} = 3{,}1 \times 10^{-5} \text{ m}$$

L'incertitude-type est arrondie à un seul chiffre significatif.

$u(a) = 0{,}03$ mm, soit $a = (0{,}48 \pm 0{,}03)$ mm

COMPRENDRE
L'incertitude relative sur L (6 %) domine largement celle sur k (1,3 %) : pour améliorer la mesure, il faudrait d'abord mesurer la tache plus finement.

MÉTHODE
Dans chaque rapport, numérateur et dénominateur sont dans la même unité : inutile de convertir. La valeur mesurée s'écrit ensuite avec la même précision que son incertitude, ici le centième de millimètre.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$4.8125 \times 10^{-4} \times \sqrt{\left(\frac{0.05}{3.85}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{8.0}\right)^2} \approx 3.072061 \times 10^{-5}$$

Q.8 Vérifier que le résultat de la mesure est compatible avec la valeur de référence ($a_{\text{réf}} = 0{,}45$ mm). Conclure sur l'usage de ce fil pour construire une harpe électrique.

Données utiles $a = 0{,}48$ mm (Q.6) ; $u(a) = 0{,}03$ mm (Q.7)

$$\frac{|a - a_{\text{réf}}|}{u(a)} = \frac{|0{,}48 - 0{,}45|}{0{,}03} = 1{,}0$$

Le quotient est inférieur à 2 : la valeur mesurée s'écarte de la référence d'une seule incertitude-type, la mesure est compatible avec l'indication de la bobine.

Le diamètre du fil est donc bien de l'ordre de 0,5 mm, limite au-delà de laquelle les frelons le verraient.

Quotient $= 1{,}0 < 2$: mesure compatible avec $0{,}45$ mm ; le fil convient pour fabriquer la harpe.

MÉTHODE
Critère usuel : quotient inférieur ou égal à 2, résultat compatible avec la référence ; au-delà, il ne l'est pas. Toujours écrire la comparaison avec 2 avant de conclure.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.48 - 0.45}{0.03} \approx 1$$

Q.9 Nommer le phénomène qui intervient dans la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique dans le panneau photovoltaïque et le décrire en une ou deux phrases.

Le matériau semi-conducteur de la cellule absorbe des photons. Si l'énergie d'un photon est suffisante, elle est transférée à un électron du matériau, qui est alors libéré ; la mise en mouvement de ces électrons dans le circuit constitue le courant électrique.

Il s'agit de l'**effet photoélectrique** (appelé effet photovoltaïque dans une cellule).

COMPRENDRE
Un photon libère au plus un électron et son énergie $h\nu$ doit dépasser un seuil propre au matériau : augmenter l'éclairement ne remplace pas une fréquence trop faible.

Q.10 Calculer la valeur du rendement η du panneau photovoltaïque. Commenter.

Données utiles $P_m = 50\ \text{W}$; $E = 1\,000\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; dimensions : $640\ \text{mm} \times 550\ \text{mm}$; rendement annoncé : 14 %

Le rendement est le rapport de la puissance électrique fournie à la puissance lumineuse reçue :

$$\eta = \frac{P_m}{P_{\text{lum}}} = \frac{P_m}{E \times S}$$

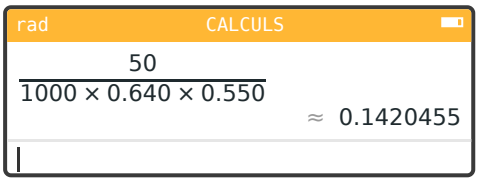
$$\eta = \frac{50}{1\,000 \times 0{,}640 \times 0{,}550} = \frac{50}{352} = 0{,}14$$

$\eta = 14\ \%$: la valeur mesurée est conforme au rendement annoncé par le fabricant.

PIÈGE
Calculer la surface en mm^2 : l'éclairement est en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, les dimensions doivent être converties en mètres ($S = 0{,}352\ \text{m}^2$).

COMPRENDRE
Un rendement est sans unité et toujours inférieur à 1. Ici, 86 % de la puissance lumineuse reçue n'est pas convertie en puissance électrique.

À LA CALCULATRICE



Q.11 Estimer la durée de charge Δt_{charge} de la batterie si tout le courant du panneau lui est fourni. Commenter la valeur obtenue.

Données utiles $Q_{\text{batterie}} = 18{,}0\ \text{A} \cdot \text{h}$; $I = 2{,}8\ \text{A}$

$Q = I \times \Delta t$ donc $\Delta t_{\text{charge}} = \dfrac{Q_{\text{batterie}}}{I}$.

$$\Delta t_{\text{charge}} = \frac{18{,}0}{2{,}8} = 6{,}4\ \text{h}$$

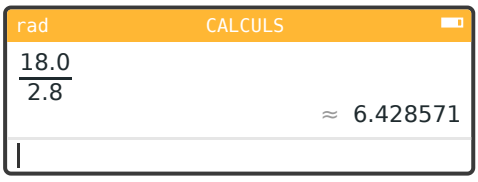
Cette durée, environ 6 h 30 min, est nettement inférieure à la durée d'une journée d'été : une seule journée bien ensoleillée suffit à recharger entièrement la batterie.

$\Delta t_{\text{charge}} = 6{,}4\ \text{h}$

PIÈGE
Convertir la capacité en coulombs sans convertir ensuite la durée : avec Q en $\text{A} \cdot \text{h}$ et I en A, le résultat est directement en heures.

COMPRENDRE
C'est une durée minimale : en réalité une partie du courant alimente la harpe et l'éclairement n'est pas maximal du matin au soir.

À LA CALCULATRICE



Q.12 Montrer que l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$ lors de la charge s'écrit $\dfrac{\text{d}u_C}{\text{d}t} + \dfrac{1}{\tau}u_C = \dfrac{E}{\tau}$ avec $\tau = R \cdot C$.

Loi des mailles (interrupteur fermé) : $E = u_R + u_C$.

Loi d'Ohm : $u_R = R\,i$.

Pour le condensateur : $i = \dfrac{\text{d}q}{\text{d}t}$ et $q = C\,u_C$, avec C constante, donc $i = C\,\dfrac{\text{d}u_C}{\text{d}t}$.

En remplaçant : $E = R\,C\,\dfrac{\text{d}u_C}{\text{d}t} + u_C$.

On divise chaque terme par $R\,C$ et on pose $\tau = R\,C$:

$$\frac{\text{d}u_C}{\text{d}t} + \frac{1}{\tau}u_C = \frac{E}{\tau} \text{ avec } \tau = R\,C$$

MÉTHODE
Toujours les quatre mêmes étapes pour un circuit RC : loi des mailles, loi d'Ohm, relation $i = C\,\dfrac{\text{d}u_C}{\text{d}t}$, puis mise en forme. Chaque loi doit être nommée.

Q.13 La solution est de la forme $u_C(t) = A\,\mathrm{e}^{-t/\tau} + E$. Déterminer la valeur de A.

Données utiles $E = 5{,}0$ V ; condensateur initialement déchargé

Condition initiale : le condensateur est déchargé à $t = 0$, donc $u_C(0) = 0$.

$u_C(0) = A\,\mathrm{e}^{0} + E = A + E = 0$, donc $A = -E$.

$$A = -5{,}0 \text{ V}$$

PIÈGE
Oublier le signe ou l'unité : A est une tension, négative. On vérifie avec la solution $u_C(t) = E\,(1 - \mathrm{e}^{-t/\tau})$, qui part de 0 et tend vers E.

Q.14 Déterminer la valeur de la constante de temps τ en expliquant la méthode graphique employée.

Données utiles $E = 5{,}0$ V ; figure 6

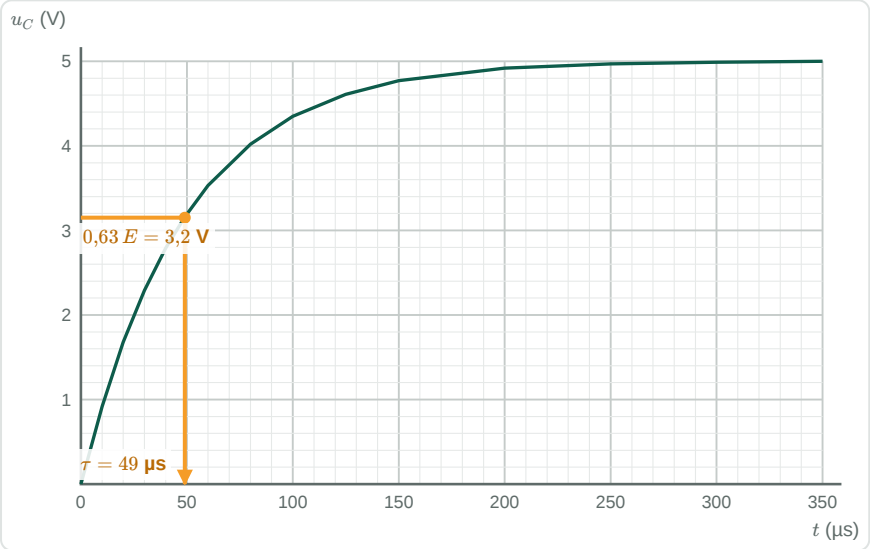
À la date $t = \tau$: $u_C(\tau) = E\,(1 - \mathrm{e}^{-1}) = 0{,}63 \times E = 0{,}63 \times 5{,}0 = 3{,}2$ V.

Sur la figure 6, on repère le point de la courbe d'ordonnée 3,2 V et on lit son abscisse.

$$\tau \approx 49\ \mu\text{s}$$

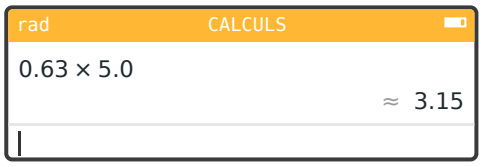
COMPRENDRE
Une lecture graphique donne deux chiffres significatifs ; toute valeur proche de 50 µs convient. Vérification : la charge est quasi terminée à $5\tau \approx 250$ µs, ce que montre la courbe.

MÉTHODE
Autre méthode acceptée : tracer la tangente à l'origine ; elle coupe l'asymptote $u_C = E$ à la date $t = \tau$. Elle est moins précise, car le tracé de la tangente est délicat.



Q.14 · Figure 6 du sujet, avec la lecture de la constante de temps

À LA CALCULATRICE



Q.15 En déduire la valeur expérimentale de la capacité C du condensateur.

Données utiles $\tau = 49\ \mu$s (Q.14) ; $R = 2{,}00$ kΩ

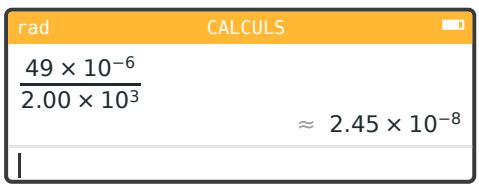
$\tau = RC$ donc $C = \dfrac{\tau}{R}$.

$$C = \frac{49 \times 10^{-6}}{2{,}00 \times 10^{3}} = 2{,}5 \times 10^{-8} \text{ F}$$

$$C = 2{,}5 \times 10^{-8} \text{ F} = 25 \text{ nF}$$

PIÈGE
Deux conversions à ne pas manquer : τ en secondes (10^{-6}) et R en ohms (10^{3}). Avec $R = 2{,}00$ on obtient une capacité mille fois trop grande.

À LA CALCULATRICE



Q.16 Calculer une valeur de l'énergie libérée par le condensateur lorsqu'un frelon touche la harpe électrique.

Données utiles $C = 2{,}5 \times 10^{-8}$ F (Q.15) ; $U_1 = 1\,500$ V

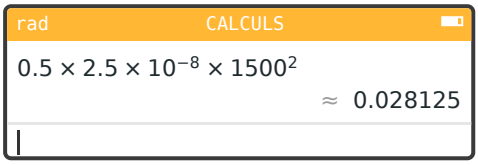
Dans la harpe, le condensateur est chargé sous la tension U_1 et se décharge entièrement dans le frelon : l'énergie libérée est l'énergie emmagasinée.

$$E_{\text{cond}} = \frac{1}{2} \times C \times U_1^2 = \frac{1}{2} \times 2{,}5 \times 10^{-8} \times 1\,500^2$$

$E_{\text{cond}} = 2{,}8 \times 10^{-2}$ J

PIÈGE
Utiliser $E = 5{,}0$ V : cette tension sert uniquement à mesurer C au laboratoire. Dans la harpe, la tension de charge est $U_1 = 1\,500$ V. Ne pas oublier le carré.

À LA CALCULATRICE



Q.17 Calculer l'énergie consommée par le module électronique sur une journée. Comparer cette énergie avec celle délivrée par le condensateur pour électrocuter un frelon.

Données utiles jour : 98,8 J par minute pendant 14 h 17 min ; nuit : 72,1 J par minute pendant 9 h 43 min ; $E_{\text{cond}} = 2{,}8 \times 10^{-2}$ J (Q.16)

Durée du jour : $14 \times 60 + 17 = 857$ min.

Durée de la nuit : $9 \times 60 + 43 = 583$ min.

Le jour : $98{,}8 \times 857 = 8{,}47 \times 10^4$ J. La nuit : $72{,}1 \times 583 = 4{,}20 \times 10^4$ J.

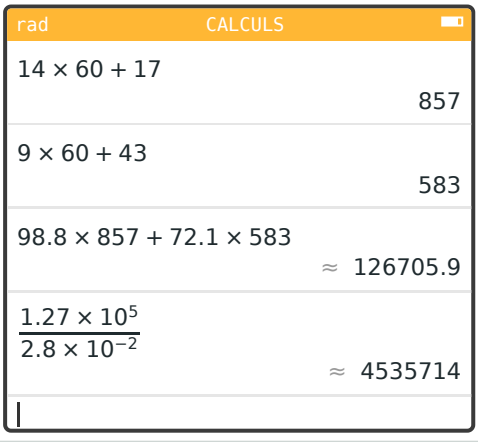
$$E_{\text{module}} = 8{,}47 \times 10^4 + 4{,}20 \times 10^4 = 1{,}27 \times 10^5 \text{ J}$$

Comparaison : $\dfrac{E_{\text{module}}}{E_{\text{cond}}} = \dfrac{1{,}27 \times 10^5}{2{,}8 \times 10^{-2}} \approx 4{,}5 \times 10^6$.

$E_{\text{module}} = 1{,}27 \times 10^5$ J par jour, soit environ 4,5 millions de fois l'énergie d'une décharge.

MÉTHODE
« Comparer » deux grandeurs, c'est calculer leur rapport et conclure par une phrase chiffrée. On vérifie aussi que les deux durées font bien 24 h : $857 + 583 = 1\,440$ min.

À LA CALCULATRICE



Q.18 Indiquer, en justifiant la réponse, si le nombre de frelons électrocutés influence beaucoup l'autonomie de la batterie.

Données utiles $U_{\text{batterie}} = 12{,}0$ V ; $Q_{\text{batterie}} = 18{,}0$ A · h ; 1 A · h $= 3\,600$ C ; 1 000 frelons par jour ; E_{cond} (Q.16) ; E_{module} (Q.17)

Énergie stockée dans la batterie : $E_{\text{batterie}} = Q \times U = 18{,}0 \times 3\,600 \times 12{,}0 = 7{,}78 \times 10^5$ J.

Sans frelon, l'autonomie vaut $\dfrac{E_{\text{batterie}}}{E_{\text{module}}} = \dfrac{7{,}78 \times 10^5}{1{,}27 \times 10^5} = 6{,}1$ jours : on retrouve les 6 jours annoncés.

Énergie des décharges pour 1 000 frelons par jour : $E_{\text{frelons}} = 1\,000 \times 2{,}8 \times 10^{-2} = 28$ J par jour.

Cette énergie ne représente que $\dfrac{28}{1{,}27 \times 10^5} = 0{,}02\ \%$ de la consommation quotidienne du module : sur 6 jours, environ $1{,}7 \times 10^2$ J sur les $7{,}78 \times 10^5$ J disponibles.

Le nombre de frelons électrocutés n'a pratiquement aucune influence sur l'autonomie : elle reste d'environ 6 jours, fixée par la consommation du module.

PIÈGE
Laisser la capacité en A · h dans $E = Q \times U$: il faut des coulombs pour obtenir des joules, d'où le facteur 3 600.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche (énergie disponible, consommation du module, consommation des décharges), calculer, puis conclure par une comparaison chiffrée. Une démarche cohérente rapporte des points même inachevée.

À LA CALCULATRICE

