

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL — SESSION 2026
Physique-Chimie — Enseignement de spécialité
CENTRES ÉTRANGERS — JOUR 1 (SUJET 26-PYCJ1G11)

CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Rédaction conforme à une copie notée 20/20

Comment utiliser ce corrigé. Le texte contenu dans les **cadres bleus** correspond à ce qu'il faut *effectivement écrire sur la copie* : phrase d'introduction, formule littérale, application numérique, résultat avec unité et bon nombre de chiffres significatifs, puis conclusion. Les encadrés orange « Note du professeur » ne font pas partie de la copie : ce sont des conseils de méthode et des pièges à éviter.

Répartition des points : Exercice 1 — 11 points • Exercice 2 — 5 points • Exercice 3 — 4 points.
Durée : 3 h 30.

Corrigé non officiel, proposé par Génies des Sciences. Il ne s'agit pas du barème du jury.

**Exercice 1 — Étude d'une harpe électrique au service des abeilles domestiques
(11 points)**

1. Taille du fil en inox présent sur la harpe

Q1 Nommer le phénomène physique observé sur l'écran.

Le fil, placé sur le trajet du faisceau laser, ne projette pas une simple ombre géométrique : on observe sur l'écran une **tache centrale lumineuse large**, encadrée de taches secondaires moins intenses. La lumière s'est donc étalée au-delà des limites de l'ombre du fil.

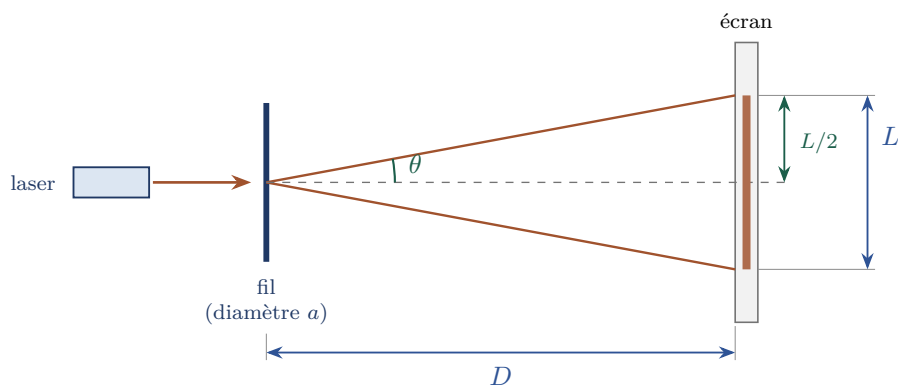
Il s'agit du phénomène de diffraction de la lumière par le fil.

Ce phénomène est d'autant plus marqué que l'obstacle est *fin* : c'est exactement ce que traduit la relation fournie $\theta = \frac{\lambda}{a}$, où l'angle caractéristique augmente quand le diamètre a diminue.

Q2 Exprimer l'angle caractéristique θ en fonction de la largeur L de la tache centrale et de la distance D , à l'aide de la figure 2 et en utilisant l'approximation des petits angles.

D'après la figure 2, l'angle θ est repéré entre la direction du faisceau incident (l'axe) et la direction du faisceau émergent qui atteint **une extrémité** de la tache centrale. Le triangle rectangle correspondant a donc pour côtés la distance D et la **demi-largeur** $\frac{L}{2}$:





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

L'énoncé précise que pour des angles très petits exprimés en radians, $\tan \theta = \theta$:

$$\theta = \frac{L}{2D} \quad (\theta \text{ en radians})$$

Q3 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 dispose de deux expressions du même angle θ : celle établie à la question Q2 et celle fournie par l'énoncé. On les égale :

$$\frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a} \quad \Rightarrow \quad \boxed{L = \frac{2\lambda D}{a}}$$

Pour une expérience donnée, la longueur d'onde λ du laser et la distance D fil-écran sont **fixées** : le produit $2\lambda D$ est une constante, que l'on note k :

$$L = \underbrace{2\lambda D}_{k = \text{constante}} \times \frac{1}{a}$$

$$L = k \times \frac{1}{a} \text{ avec } k = 2\lambda D : L \text{ est bien proportionnelle à } \frac{1}{a}.$$

Note du professeur

Le piège classique de cette question est le **facteur 2**. L'angle θ est un *demi-angle* : il est repéré entre l'axe et le bord de la tache, pas d'un bord à l'autre. Écrire $\tan \theta = L/D$ conduit à $L = \lambda D/a$, donc à une expression fautive de la constante ($k = \lambda D$ au lieu de $k = 2\lambda D$) : sans effet sur le calcul numérique de Q6, puisque l'énoncé y fournit directement la valeur de k , mais faux sur le fond. Le réflexe : sur le schéma, repérer le triangle rectangle et vérifier quel côté vaut L et lequel vaut $L/2$.



Q4 Justifier que les résultats expérimentaux de la figure 3 sont compatibles avec la modélisation $L = k \times \frac{1}{a}$.

Deux grandeurs sont proportionnelles si la représentation graphique de l'une en fonction de l'autre est une **droite passant par l'origine**. Or sur la figure 3 :

- les six points expérimentaux sont **alignés** ;
- la droite qui les ajuste au mieux **passé par l'origine** du repère (le point (0 ; 0) est d'ailleurs cohérent avec le modèle : un fil de diamètre infini ne diffracterait pas).

On peut le confirmer numériquement : si $L = k/a$, alors le produit $L \times a$ doit être constant.

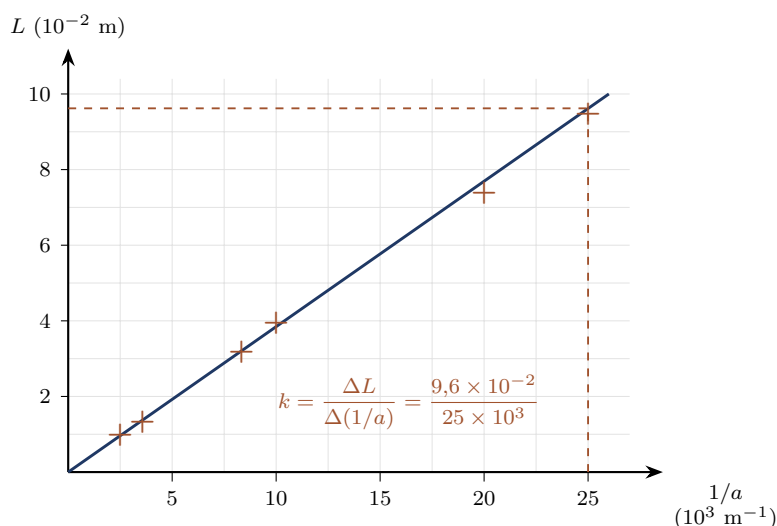
a (μm)	40	50	100	120	280	400
L (cm)	9,50	7,40	3,95	3,20	1,35	1,00
$L \times a$ (10^{-6} m^2)	3,80	3,70	3,95	3,84	3,78	4,00

Les six produits sont constants à environ 4 % près, ce qui est compatible avec la précision des mesures.

Les résultats expérimentaux sont bien compatibles avec le modèle $L = k \times \frac{1}{a}$.

Q5 Déterminer la valeur de k en précisant la méthode utilisée.

Méthode. D'après la question Q3, k est le **coefficient directeur** de la droite moyenne $L = f\left(\frac{1}{a}\right)$ passant par l'origine. On trace cette droite, puis on calcule sa pente à l'aide de **deux points très éloignés** de la droite (et non de deux points expérimentaux) : l'origine et un point situé à l'extrémité droite.



Calcul de la pente.



Attention aux unités : L doit être en mètres et $\frac{1}{a}$ en m^{-1} .

$$k = \frac{\Delta L}{\Delta\left(\frac{1}{a}\right)} = \frac{9,6 \times 10^{-2} - 0}{25 \times 10^3 - 0} = 3,8 \times 10^{-6}$$

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

Cette valeur est cohérente avec la moyenne des produits $L \times a$ calculés à la question Q4 ($3,85 \times 10^{-6} \text{ m}^2$) et avec la modélisation fournie ensuite par l'énoncé ($k = 3,85 \times 10^{-6} \text{ m}^2$).

Note du professeur

Trois réflexes sur ce type de question. **(1)** On calcule la pente sur la *droite tracée*, pas sur deux points expérimentaux : un point de mesure peut être légèrement au-dessus ou au-dessous de la droite moyenne. **(2)** On choisit deux points *très éloignés* l'un de l'autre pour minimiser l'erreur de lecture. **(3)** On convertit *avant* de diviser : ici, L est donné en cm sur le tableau et en 10^{-2} m sur le graphe, a en μm . L'unité de k se lit sur la formule $k = L \times a$: des mètres $\times$ des mètres, donc des m^2 .

Q6 Calculer la valeur du diamètre a de ce fil à partir de la modélisation ($k = 3,85 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, $L = 8,0 \text{ mm}$).

On isole a dans la relation de modélisation $L = k \times \frac{1}{a}$:

$$a = \frac{k}{L}$$

Avec $L = 8,0 \text{ mm} = 8,0 \times 10^{-3} \text{ m}$:

$$a = \frac{3,85 \times 10^{-6}}{8,0 \times 10^{-3}} = 4,8125 \times 10^{-4} \text{ m}$$

La donnée la moins précise (L) comporte 2 chiffres significatifs :

$$a = 4,8 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,48 \text{ mm}$$

L'ordre de grandeur est cohérent avec la valeur annoncée sur la bobine (0,45 mm).

Q7 Calculer la valeur de l'incertitude-type $u(a)$ associée à la valeur expérimentale de a .

On applique la relation fournie. On calcule d'abord les deux **incertitudes relatives**, qui sont des nombres sans unité :

$$\frac{u(k)}{k} = \frac{0,05 \times 10^{-6}}{3,85 \times 10^{-6}} = 1,30 \times 10^{-2} \quad \text{et} \quad \frac{u(L)}{L} = \frac{0,5}{8,0} = 6,25 \times 10^{-2}$$

$$u(a) = a \times \sqrt{\left(\frac{u(k)}{k}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2} = 4,8125 \times 10^{-4} \times \sqrt{(1,30 \times 10^{-2})^2 + (6,25 \times 10^{-2})^2}$$



$$u(a) = 4,8125 \times 10^{-4} \times 6,38 \times 10^{-2}$$

$$u(a) = 3,1 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,031 \text{ mm}$$

On remarque que $\frac{u(L)}{L}$ est près de cinq fois plus grande que $\frac{u(k)}{k}$: c'est la mesure de la largeur de la tache qui limite la précision, et non la modélisation. Le résultat de la mesure s'écrit donc $a = (0,481 \pm 0,031) \text{ mm}$.

Q8 Vérifier que le résultat de la mesure est compatible avec la valeur de référence affichée sur la bobine ($a_{\text{ref}} = 0,45 \text{ mm}$). Conclure quant à l'usage de ce fil pour construire une harpe électrique.

Étape 1 — test de compatibilité.

On calcule le quotient proposé par l'énoncé, en conservant la valeur non arrondie de a :

$$z = \frac{|a - a_{\text{ref}}|}{u(a)} = \frac{|0,481 - 0,450|}{0,031} = \frac{0,031}{0,031}$$

$$z = 1,0 < 2$$

Le quotient étant inférieur à 2, l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de référence s'explique entièrement par les incertitudes de mesure.

La mesure est compatible avec la valeur affichée sur la bobine.

Étape 2 — conclusion pour la harpe.

Le cahier des charges impose un diamètre « de l'ordre de grandeur de 0,5 mm » au maximum, pour que les fils ne soient pas vus par les frelons. Or la valeur mesurée vaut $a = 0,48 \text{ mm}$, et même la borne haute de l'intervalle, $a + u(a) = 0,51 \text{ mm}$, reste de cet ordre de grandeur.

Ce fil convient pour fabriquer la harpe électrique.

Note du professeur

Deux points de vigilance. **(1)** Le critère $z < 2$ n'est pas un critère d'égalité : il dit seulement que les deux valeurs sont *compatibles compte tenu de la dispersion des mesures*. Avec $z = 1,0$, on est ici deux fois en dessous de la limite : la compatibilité est nette. **(2)** Ne jamais utiliser la valeur arrondie (0,48 mm) dans le calcul de z : on obtiendrait $z = 0,98$, ce qui ne change pas la conclusion ici, mais l'arrondi prématuré peut faire basculer un résultat proche de la limite.



2. Alimentation électrique de la harpe : le panneau solaire

Q9 Nommer le phénomène qui intervient dans la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique et le décrire en une ou deux phrases.

Le panneau convertit l'énergie transportée par la lumière du Soleil en énergie électrique. Le phénomène responsable de cette conversion, qui se produit au cœur de chaque cellule, porte un nom précis :

Il s'agit de l'effet photovoltaïque.

Lorsqu'un photon d'énergie suffisante est absorbé par le matériau semi-conducteur de la cellule, il cède son énergie à un électron, qui est arraché à son atome : il devient mobile. Le champ électrique interne de la cellule (au niveau de la jonction) sépare alors les charges positives et négatives ainsi libérées, ce qui fait apparaître une **tension** entre les deux faces du panneau : un courant électrique peut circuler dans le circuit extérieur.

Conversion : énergie lumineuse (rayonnante) → énergie électrique.

Q10 Calculer la valeur du rendement η du panneau photovoltaïque. Commenter.

Étape 1 — puissance lumineuse reçue.

La surface utile du panneau est celle du rectangle de dimensions 640 mm $\times$ 550 mm, converties en mètres :

$$S = 0,640 \times 0,550 = 0,352 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{lum}} = E \times S = 1\,000 \times 0,352 = 352 \text{ W} = 3,52 \times 10^2 \text{ W}$$

Étape 2 — rendement.

Le rendement est le quotient de la puissance électrique *utile* par la puissance *reçue* :

$$\eta = \frac{P_{\text{m}}}{P_{\text{lum}}} = \frac{50}{3,52 \times 10^2} = 0,142$$

$$\eta = 0,14, \text{ soit } 14 \%$$

Étape 3 — commentaire.

La valeur mesurée est **égale au rendement annoncé** par le constructeur (14 %) : le panneau est conforme à sa notice. Ce rendement, faible en apparence, est tout à fait ordinaire pour un panneau photovoltaïque courant : les 86 % restants sont perdus, essentiellement sous forme de transfert thermique (échauffement du panneau) et parce que les photons de trop faible énergie ne sont pas convertis.



Q11 Estimer la valeur de la durée de charge Δt_{charge} de la batterie si toute l'intensité provenant du panneau lui est fournie. Commenter.

La relation fournie relie directement la capacité, l'intensité et la durée :

$$Q = I \times \Delta t \quad \Rightarrow \quad \Delta t_{\text{charge}} = \frac{Q_{\text{batterie}}}{I} = \frac{18,0}{2,8}$$

$$\Delta t_{\text{charge}} = 6,4 \text{ h, soit environ 6 h 26 min}$$

Commentaire. Cette durée est bien inférieure à la durée du jour en période estivale (14 h 17 min) : la batterie peut donc être entièrement rechargée dans la journée, ce qui garantit le fonctionnement de la harpe la nuit. La valeur obtenue est cependant une **estimation optimiste** : en pratique l'ensoleillement n'est maximal que quelques heures par jour, et une partie du courant produit alimente directement la harpe au lieu de charger la batterie.

Note du professeur

Ici, aucune conversion n'est nécessaire — et c'est justement le piège. La capacité est en ampère-heures ($A \cdot h$), l'énoncé précise « Δt (en h) » : en divisant des $A \cdot h$ par des A on obtient directement des **heures**. Convertir la capacité en coulombs ($18,0 \times 3600 = 6,48 \times 10^4 \text{ C}$) fonctionne aussi, mais donne alors des secondes ($2,3 \times 10^4 \text{ s}$) qu'il faudra reconvertir. Le $A \cdot h$ n'est pas une unité du système international, mais c'est celle qu'utilisent tous les fabricants de batteries.

3. Module électronique

Q12 Montrer que l'équation différentielle vérifiée par $u_c(t)$ lors de la charge s'écrit $\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{\tau} u_c = \frac{E}{\tau}$, avec $\tau = R \cdot C$.

Loi des mailles appliquée au circuit de la figure 5, après fermeture de l'interrupteur :

$$E = u_R + u_c$$

Lois de comportement des dipôles (les deux sont fléchés en convention récepteur) :

$$u_R = R \cdot i \quad \text{et} \quad i = C \cdot \frac{du_c}{dt}$$

En reportant l'expression de i dans celle de u_R , puis dans la loi des mailles :

$$E = RC \frac{du_c}{dt} + u_c$$

On divise membre à membre par RC :

$$\frac{E}{RC} = \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{RC} u_c$$

En posant $\tau = R \cdot C$:

$$\boxed{\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{\tau} u_c = \frac{E}{\tau}}$$

Contrôle d'homogénéité : RC s'exprime en $\Omega \cdot F$; or $\Omega = V \cdot A^{-1}$ et $F = C \cdot V^{-1} = A \cdot s \cdot V^{-1}$, donc RC est bien en **secondes**. ✓



Q13 La solution est de la forme $u_c(t) = A e^{-t/\tau} + E$. Déterminer la valeur de A .

La constante A se détermine par la **condition initiale**. L'énoncé précise que le condensateur est *initialement déchargé* : à $t = 0$ s, la tension à ses bornes est nulle.

$$u_c(0) = A e^0 + E = A + E = 0$$

$$A = -E = -5,0$$

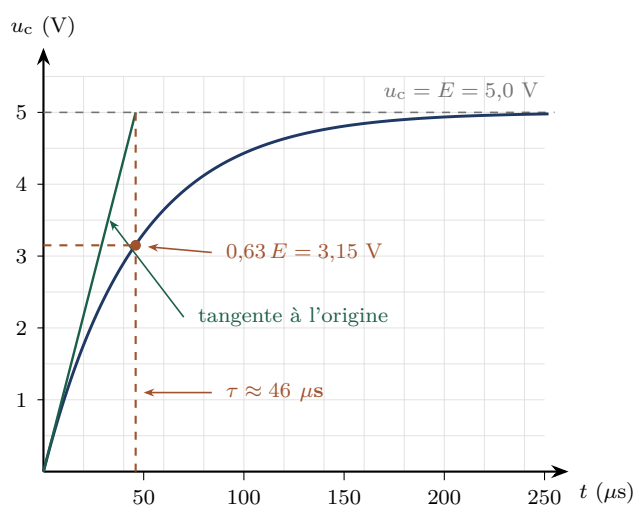
$$A = -5,0 \text{ V}$$

La solution s'écrit donc $u_c(t) = E (1 - e^{-t/\tau})$, fonction croissante partant de 0 et tendant vers $E = 5,0 \text{ V}$: c'est bien l'allure de la courbe de la figure 6. ✓

Q14 Déterminer la valeur de la constante de temps τ en expliquant la méthode graphique employée.

Méthode. Deux constructions graphiques équivalentes permettent de lire τ sur la figure 6 :

- **méthode des 63 %** : à la date $t = \tau$, $u_c(\tau) = E (1 - e^{-1}) = 0,63 E$. On repère l'ordonnée $0,63 \times 5,0 = 3,15 \text{ V}$ (soit environ 3,2 V), on projette sur la courbe, puis sur l'axe des temps ;
- **méthode de la tangente à l'origine** : la tangente à la courbe en $t = 0$ coupe l'asymptote horizontale $u_c = E$ à la date $t = \tau$.



Les deux constructions donnent la même abscisse :

$$\tau \approx 46 \mu\text{s} = 4,6 \times 10^{-5} \text{ s} \quad (\text{lecture graphique à } \pm 4 \mu\text{s près})$$

Note du professeur

Sur la figure 6 du sujet, les graduations verticales sont espacées de $20 \mu\text{s}$: toute lecture comprise entre 44 et $50 \mu\text{s}$ est acceptable et conduit, à la question Q15, à une capacité comprise entre 22 et 25 nF . Attention à ne pas confondre $0,63 E$ (charge) et $0,37 E$ (décharge) : ici la courbe monte, on lit donc l'ordonnée $3,15 \text{ V}$ et non $1,85 \text{ V}$. Attention aussi à l'échelle : l'axe des temps



est gradué en microsecondes, il faut convertir avant tout calcul.

Q15 En déduire la valeur expérimentale de la capacité C du condensateur.

La question Q12 a établi que $\tau = R \cdot C$. On isole C , avec $R = 2,00 \text{ k}\Omega = 2,00 \times 10^3 \Omega$:

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{2,00 \times 10^3}$$

$$C = 2,3 \times 10^{-8} \text{ F} = 23 \text{ nF}$$

Cet ordre de grandeur (quelques dizaines de nanofarads) est tout à fait courant pour un condensateur de circuit électronique. *Contrôle* : $\text{s}/\Omega = \text{F}$. ✓

Q16 Calculer une valeur de l'énergie libérée par le condensateur lorsqu'un frelon touche la harpe électrique.

Le condensateur est chargé sous la tension $U_1 = 1\,500 \text{ V}$, puis il se décharge *intégralement* dans le frelon : l'énergie libérée est donc toute l'énergie qu'il avait emmagasinée.

$$E_{\text{cond}} = \frac{1}{2} \times C \times U_1^2 = \frac{1}{2} \times 2,3 \times 10^{-8} \times (1,5 \times 10^3)^2$$

$$E_{\text{cond}} = \frac{1}{2} \times 2,3 \times 10^{-8} \times 2,25 \times 10^6$$

$$E_{\text{cond}} = 2,6 \times 10^{-2} \text{ J} = 26 \text{ mJ}$$

Cette énergie, très faible à l'échelle humaine (elle correspond à la chute d'une masse de 100 g d'environ 2,6 cm), est cependant délivrée en un temps très bref et suffit à neutraliser un insecte.

Q17 Calculer l'énergie consommée par le module électronique sur une journée. Comparer cette énergie avec celle délivrée par le condensateur pour électrocuter un frelon.

Étape 1 — conversion des durées en minutes.

Les consommations sont données *par minute* : il faut donc exprimer les durées en minutes.

$$\Delta t_{\text{jour}} = 14 \text{ h } 17 \text{ min} = 14 \times 60 + 17 = 857 \text{ min}$$

$$\Delta t_{\text{nuit}} = 9 \text{ h } 43 \text{ min} = 9 \times 60 + 43 = 583 \text{ min}$$

Vérification : $857 + 583 = 1\,440 \text{ min} = 24 \text{ h}$. ✓

Étape 2 — énergies consommées.

$$E_{\text{jour}} = 857 \times 98,8 = 8,47 \times 10^4 \text{ J}$$

$$E_{\text{nuit}} = 583 \times 72,1 = 4,20 \times 10^4 \text{ J}$$



$$E_{\text{journée}} = E_{\text{jour}} + E_{\text{nuit}} = 8,47 \times 10^4 + 4,20 \times 10^4$$

$$E_{\text{journée}} = 1,27 \times 10^5 \text{ J}$$

Étape 3 — comparaison.

$$\frac{E_{\text{journée}}}{E_{\text{cond}}} = \frac{1,27 \times 10^5}{2,6 \times 10^{-2}} \approx 5 \times 10^6$$

L'énergie consommée en une journée par le module est environ 5 millions de fois plus grande que celle libérée pour électrocuter un frelon.

Autrement dit, c'est le *fonctionnement permanent* du module (surveillance, maintien de la charge du condensateur) qui consomme l'énergie, et non les décharges elles-mêmes.

Q18 Indiquer, en justifiant, si le nombre de frelons électrocutés influence beaucoup l'autonomie de la batterie.

Démarche suivie : (1) calculer l'énergie consommée en une journée par les seules électrocutions ; (2) la comparer à la consommation journalière du module ; (3) calculer l'énergie stockée dans la batterie et vérifier la cohérence avec l'autonomie annoncée ; (4) conclure.

Étape 1 — énergie consommée par les électrocutions.

Le dispositif piège au moins 1 000 frelons par jour, chacun consommant l'énergie E_{cond} calculée à la question Q16 :

$$E_{\text{frelons}} = 1\,000 \times E_{\text{cond}} = 1\,000 \times 2,6 \times 10^{-2} = 26 \text{ J par jour}$$

Étape 2 — comparaison avec la consommation du module.

$$\frac{E_{\text{frelons}}}{E_{\text{journée}}} = \frac{26}{1,27 \times 10^5} = 2,0 \times 10^{-4}$$

Les électrocutions représentent seulement 0,02 % de la consommation journalière.

Étape 3 — énergie stockée dans la batterie et autonomie.

La capacité de la batterie, convertie en coulombs, vaut $Q_{\text{batterie}} = 18,0 \times 3\,600 = 6,48 \times 10^4 \text{ C}$:

$$E_{\text{batterie}} = Q_{\text{batterie}} \times U_{\text{batterie}} = 6,48 \times 10^4 \times 12,0 = 7,78 \times 10^5 \text{ J}$$

$$\text{autonomie} = \frac{E_{\text{batterie}}}{E_{\text{journée}}} = \frac{7,78 \times 10^5}{1,27 \times 10^5} = 6,1 \text{ jours}$$

Ce résultat est en excellent accord avec l'autonomie annoncée par l'énoncé (« environ 6 jours ») : le modèle et les données sont cohérents. ✓

En ajoutant les 26 J quotidiens dus aux frelons, l'autonomie devient $\frac{7,78 \times 10^5}{1,27 \times 10^5 + 26} = 6,1 \text{ jours}$: la différence est de moins de deux minutes sur six jours.



Étape 4 — conclusion.

Non : le nombre de frelons électrocutés n'influence pratiquement pas l'autonomie de la batterie.

Celle-ci est fixée par la consommation permanente du module électronique (98,8 J par minute le jour, 72,1 J par minute la nuit). Piéger deux fois plus de frelons ne changerait rien ; en revanche, réduire la consommation de veille améliorerait nettement l'autonomie.

Note du professeur

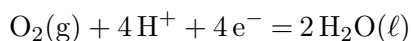
C'est une question à **prise d'initiative** : le barème valorise la démarche, même incomplète. Le minimum attendu est de comparer $1000 \times E_{\text{cond}}$ à $E_{\text{journée}}$; le calcul de l'énergie de la batterie (étape 3) est un bonus qui montre que l'on maîtrise la cohérence de l'ensemble. L'intuition trompeuse à combattre : « électrocuter des milliers de frelons doit vider la batterie ». Un ordre de grandeur suffit à la démentir — d'où l'intérêt de toujours comparer les énergies avant de conclure.

Exercice 2 — La dépollution par les plantes pour extraire du nickel (5 points)**1. Photosynthèse dans la plante**

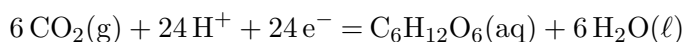
Q1 Écrire les demi-équations électroniques associées aux couples oxydant-réducteur mis en jeu lors de la photosynthèse.

On équilibre chaque demi-équation dans l'ordre : élément principal, puis O avec H_2O , puis H avec H^+ , puis les charges avec les électrons.

Couple $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\ell)$:



Couple $\text{CO}_2(\text{g})/\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{aq})$:



Vérification de la seconde : C : $6 = 6$; O : $12 = 6 + 6$; H : $24 = 12 + 12$; charges : $+24 - 24 = 0$.
✓

Q2 En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation ayant lieu lors de la photosynthèse.

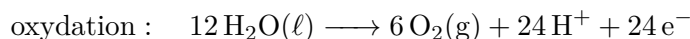
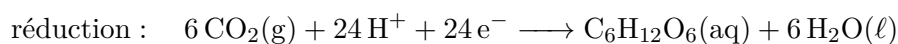
Lors de la photosynthèse, la plante *consomme* le dioxyde de carbone et l'eau, et *produit* du glucose et du dioxygène. Donc :

- le dioxyde de carbone est **réduit** en glucose (il gagne des électrons) ;
- l'eau est **oxydée** en dioxygène (elle cède des électrons).

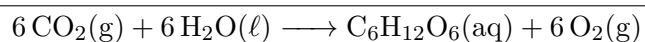
On écrit les deux demi-équations dans le bon sens et on multiplie la seconde par 6 afin



d'échanger le même nombre d'électrons :



On additionne membre à membre : les 24 e^- et les 24 H^+ se simplifient, et il reste $12 - 6 = 6$ molécules d'eau à gauche :



Vérification : C : $6 = 6$; H : $12 = 12$; O : $12 + 6 = 6 + 12$. ✓

Note du professeur

Le réflexe qui fait gagner du temps : les électrons ne doivent *jamaïs* apparaître dans l'équation finale. Si ce n'est pas le cas, c'est que les coefficients multiplicateurs sont faux. Second réflexe : ne pas oublier de simplifier les espèces qui figurent des deux côtés (ici les H^+ et une partie des H_2O). Enfin, on n'écrit pas la lumière dans l'équation de réaction : c'est un apport d'énergie, pas un réactif chimique.

Q3 Nommer la forme d'énergie produite lors de la photosynthèse.

La plante capte l'énergie lumineuse du Soleil et s'en sert pour synthétiser du glucose, molécule « riche en énergie » qu'elle pourra ensuite dégrader pour vivre.

L'énergie produite est de l'énergie chimique, stockée dans les liaisons des molécules organiques (le glucose).

La photosynthèse réalise donc la conversion : énergie lumineuse $\longrightarrow$ énergie chimique.

2. Extraction et purification du nickel Ni par électrolyse

Q4 Déterminer la masse maximale de nickel récupérée sur un terrain de 100 m^2 .

Sur 100 m^2 , on récolte au maximum $m_{\text{plante}} = 1,0 \text{ kg}$ de plante séchée, dont la teneur en masse de nickel atteint $12,7 \%$:

$$m(\text{Ni}) = \frac{12,7}{100} \times m_{\text{plante}} = 0,127 \times 1,0 = 0,127 \text{ kg}$$

La donnée la moins précise ($1,0 \text{ kg}$) comporte 2 chiffres significatifs :

$$m(\text{Ni}) = 0,13 \text{ kg} = 1,3 \times 10^2 \text{ g}$$



Q5 Indiquer s'il s'agit d'une réaction d'oxydation ou de réduction.

L'équation fournie est $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Ni}(\text{s})$: les électrons figurent parmi les **réactifs**, ils sont donc *consommés* par l'ion nickel.

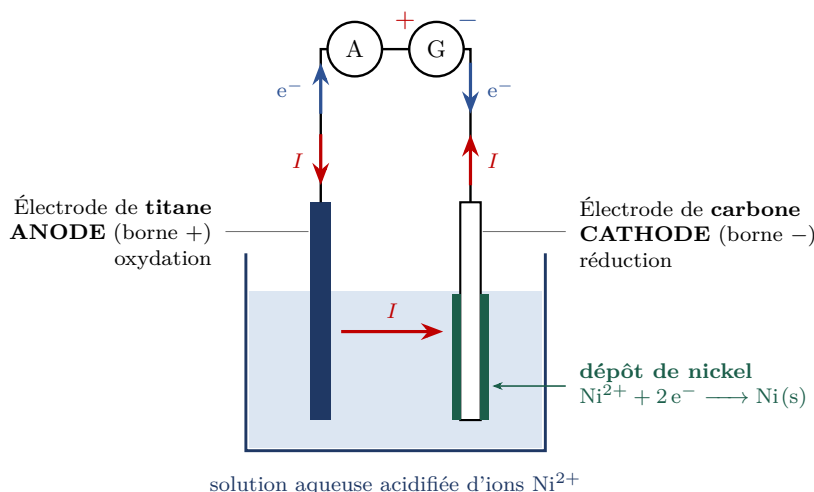
L'ion Ni^{2+} gagne des électrons : il s'agit d'une réduction.

Une réduction se produit toujours à la **cathode** : c'est là que se formera le dépôt de nickel métallique.

Q6 Reproduire un schéma simplifié du montage et y indiquer le sens de déplacement des électrons, le sens conventionnel du courant électrique et le dépôt de nickel.

Raisonnement préalable. Sur la figure 1 du sujet, la borne + du générateur est reliée, *via* l'ampèremètre, à l'électrode de **titane** ; la borne – est reliée à l'électrode de **carbone**. Donc :

- l'électrode de carbone, reliée à la borne –, est la **cathode** : c'est elle qui fournit les électrons à la solution, donc le siège de la *réduction* $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Ni}(\text{s})$, et donc le lieu du **dépôt de nickel** ;
- l'électrode de titane, reliée à la borne +, est l'**anode**, siège d'une oxydation.



**Dans les fils, les électrons circulent de la borne – vers la cathode (carbone) et de l'anode (titane) vers la borne + : ils vont en sens inverse du courant.
Le nickel se dépose sur l'électrode de carbone.**

Dans la solution, ce ne sont pas des électrons qui circulent mais des **ions** : les cations Ni^{2+} migrent vers la cathode, les anions vers l'anode.

Note du professeur

Piège récurrent : « la cathode est la borne + ». C'est faux dans une électrolyse. Le raisonnement sûr, valable pour une pile comme pour un électrolyseur, part toujours de la *réaction* : réduction $\Rightarrow$ électrons consommés $\Rightarrow$ cathode. Dans une électrolyse, c'est le générateur qui impose le sens : la cathode est reliée à sa borne – (elle reçoit les électrons), l'anode à sa borne +. Retenir



aussi que le courant conventionnel sort toujours de la borne + du générateur. *Remarque hors barème* : l'oxydation qui a lieu à l'anode n'est pas précisée par l'énoncé ; en solution acidifiée avec des électrodes inattaquables, il s'agit de l'oxydation de l'eau en dioxygène.

Q7 Déterminer la durée de l'électrolyse permettant de purifier $1,3 \times 10^2$ g de nickel, l'intensité valant $I = 2,0$ A.

Démarche suivie : (1) calculer la quantité de matière de nickel à déposer ; (2) en déduire, par la demi-équation, la quantité d'électrons échangés ; (3) calculer la quantité d'électricité correspondante ; (4) en déduire la durée.

Étape 1 — quantité de nickel.

$$n(\text{Ni}) = \frac{m(\text{Ni})}{M(\text{Ni})} = \frac{1,3 \times 10^2}{58,7} = 2,21 \text{ mol}$$

Étape 2 — quantité d'électrons échangés.

D'après $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Ni}(\text{s})$, il faut **deux** moles d'électrons pour déposer **une** mole de nickel :

$$n(\text{e}^-) = 2 \times n(\text{Ni}) = 2 \times 2,2147 = 4,43 \text{ mol}$$

Étape 3 — quantité d'électricité.

La constante de Faraday F est la charge d'une mole d'électrons :

$$Q = n(\text{e}^-) \times F = 4,43 \times 96\,500 = 4,27 \times 10^5 \text{ C}$$

Étape 4 — durée.

$$Q = I \cdot \Delta t \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{Q}{I} = \frac{4,27 \times 10^5}{2,0} = 2,14 \times 10^5 \text{ s}$$

$$\Delta t = 2,1 \times 10^5 \text{ s, soit environ 59 heures (près de 2 jours et demi)}$$

Note du professeur

Deux erreurs coûtent très cher ici. **(1)** Oublier le facteur 2 : c'est $n(\text{e}^-) = 2n(\text{Ni})$, jamais l'inverse. Le contrôle de bon sens : il faut *plus* d'électrons que d'atomes de nickel, donc le nombre d'électrons est le plus grand des deux. **(2)** Confondre $F = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ et la charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$. On peut aussi calculer $Q = n(\text{e}^-) \times N_A \times e$: c'est strictement équivalent, puisque $F = N_A \times e$.

Q8 Commenter la durée de l'électrolyse. Proposer une solution pour réduire cette durée.

Commentaire. Près de 60 heures d'électrolyse continue pour seulement 130 g de nickel : à l'échelle industrielle, où l'on traite des tonnes de métal, cette durée est **réthibitoire**. Elle explique le coût énergétique élevé de la purification électrolytique.

Solution. La quantité d'électricité Q à faire circuler est imposée par la masse de nickel à dépo-



ser : elle ne peut pas être diminuée. En revanche, $\Delta t = \frac{Q}{I}$ est **inversement proportionnelle à l'intensité**.

Il faut augmenter l'intensité du courant : multiplier I par 10 (soit $I = 20$ A) diviserait la durée par 10, soit environ 6 heures.

En pratique, on y parvient en augmentant la **surface des électrodes** et en faisant fonctionner **plusieurs cuves en parallèle**. L'intensité ne peut cependant pas être augmentée indéfiniment : au-delà d'une certaine valeur apparaissent des réactions parasites (dégagement de dihydrogène) et le dépôt de nickel devient moins pur et moins adhérent.

3. Utilisation dans les batteries de trottinettes électriques

Q9 Calculer, en s'appuyant sur le résultat de la question Q4, le nombre de batteries qu'il serait possible de produire avec le nickel extrait à partir des plantes, pour une récolte sur 1 millier d'hectares. Commenter.

Démarche suivie : (1) convertir la surface récoltée et calculer la masse de nickel brut ; (2) retrancher les 45 % de pertes ; (3) calculer la masse de nickel contenue dans une batterie ; (4) en déduire le nombre de batteries.

Étape 1 — masse de nickel extraite du champ.

$$S = 1\,000 \text{ ha} = 1\,000 \times 1,0 \times 10^4 = 1,0 \times 10^7 \text{ m}^2$$

La question Q4 a établi que 100 m^2 fournissent $0,127 \text{ kg}$ de nickel :

$$m_{\text{brute}} = \frac{1,0 \times 10^7}{100} \times 0,127 = 1,0 \times 10^5 \times 0,127 = 1,27 \times 10^4 \text{ kg} (\approx 12,7 \text{ t})$$

Étape 2 — pertes lors de l'extraction et de la purification.

Les pertes s'élevant à 45 %, il reste $100 - 45 = 55$ % du nickel :

$$m_{\text{disponible}} = 0,55 \times 1,27 \times 10^4 = 6,99 \times 10^3 \text{ kg}$$

Étape 3 — masse de nickel par batterie.

L'électrode contenant le nickel a une masse de $0,53 \text{ kg}$, dont 60 % en masse de nickel :

$$m_{\text{batterie}}(\text{Ni}) = 0,60 \times 0,53 = 0,318 \text{ kg}$$

Étape 4 — nombre de batteries.

$$N = \frac{m_{\text{disponible}}}{m_{\text{batterie}}(\text{Ni})} = \frac{6,99 \times 10^3}{0,318} = 2,2 \times 10^4$$

$N \approx 2,2 \times 10^4$ batteries, soit environ 22 000 trottinettes

Commentaire. Le résultat est modeste : 1 000 hectares représentent 10 km^2 , soit la superficie d'une petite ville, mobilisés pendant toute une saison de culture pour équiper seulement 22 000



trotinettes. La production de nickel par les plantes ne peut donc pas remplacer l'extraction minière à grande échelle.

Son intérêt est ailleurs, et il est double : ces cultures se pratiquent sur d'**anciens sites industriels pollués**, qu'elles **dépolluent** en même temps qu'elles produisent du métal — deux services rendus par la même récolte, sans ouvrir de nouvelle mine.

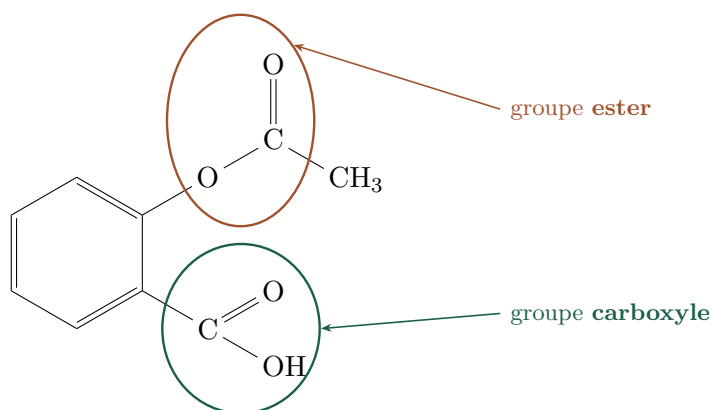
Note du professeur

Les deux pièges de cette question de synthèse. **(1)** Les pertes : « 45 % de pertes » signifie qu'il reste 55 % — multiplier par 0,45 est l'erreur la plus fréquente. **(2)** La masse de nickel par batterie n'est pas 0,53 kg : c'est la masse de l'*électrode* entière, dont seulement 60 % est du nickel (le reste étant du manganèse et du cobalt). Enfin, on conserve 2 chiffres significatifs, en accord avec la donnée 1,0 kg de la question Q4.

Exercice 3 — Analyse d'un comprimé (4 points)

1. Identification du principe actif

Q1 Recopier la formule topologique de l'aspirine, entourer ses groupes caractéristiques puis nommer la famille fonctionnelle associée à chaque groupe.



La molécule d'aspirine porte deux groupes caractéristiques :

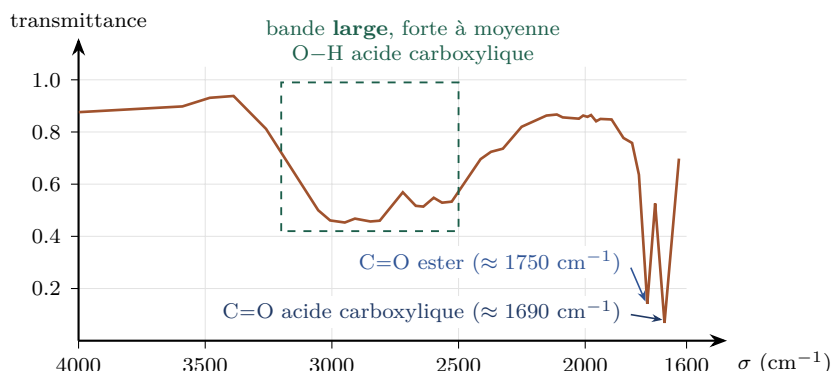
- le groupe **carboxyle** —COOH : un atome de carbone doublement lié à un atome d'oxygène et simplement lié à un groupe —OH → famille des **acides carboxyliques** ;
- le groupe **ester** —COO— : un atome de carbone doublement lié à un atome d'oxygène et simplement lié à un second atome d'oxygène, lui-même relié à un atome de carbone → famille des **esters**.

Le nom complet de l'aspirine, l'acide acétylsalicylique, reflète d'ailleurs ces deux fonctions.



Q2 Justifier que le spectre de l'échantillon analysé peut correspondre à celui de l'aspirine.

On confronte les bandes lues sur le spectre avec la table des bandes d'absorption et avec les deux groupes identifiés à la question Q1.

**Lecture 1 — la bande large entre 2500 et 3200 cm^{-1} .**

Le spectre présente une bande d'absorption **très large**, forte à moyenne, s'étendant d'environ 3400 à 2500 cm^{-1} (transmittance minimale $\approx 0,45$). D'après la table, cette bande large est caractéristique de la liaison O–H d'un **acide carboxylique** (2500–3200 cm^{-1}). Elle ne peut pas être attribuée à un O–H d'alcool, dont la bande, également large, est confinée entre 3200 et 3400 cm^{-1} et ne descendrait pas jusqu'à 2500 cm^{-1} .

Lecture 2 — les deux bandes fines et intenses entre 1650 et 1800 cm^{-1} .

On observe **deux** bandes fines et très intenses, à environ 1750 et 1690 cm^{-1} :

- celle voisine de 1750 cm^{-1} se situe légèrement *au-dessus* du domaine tabulé de la liaison C=O d'un **ester** (1700–1740 cm^{-1}) : ce décalage vers les grands nombres d'onde est caractéristique d'un **ester de phénol**, ce qu'est précisément l'aspirine. Parmi les liaisons C=O de la table, l'ester est la seule attribution compatible, l'aldéhyde et la cétone étant exclus par la formule topologique de la question Q1 ;
- celle voisine de 1690 cm^{-1} tombe en revanche en plein dans le domaine de la liaison C=O d'un **acide carboxylique** (1680–1710 cm^{-1}).

Conclusion.

Le spectre révèle simultanément un groupe carboxyle et un groupe ester : il est compatible avec la structure de l'aspirine identifiée à la question Q1.

Note du professeur

En spectroscopie IR, on raisonne autant sur les bandes *présentes* que sur celles qui sont *absentes* : ici, l'absence d'une bande forte et large limitée à 3200–3400 cm^{-1} exclut un alcool. Attention également à la formulation de la question : « peut correspondre ». Un spectre IR ne permet jamais d'*identifier* avec certitude une molécule à partir des seules bandes caractéristiques ; il permet de confirmer la présence de groupes fonctionnels. Seule la comparaison avec le spectre d'un échantillon de référence (zone des empreintes digitales, en dessous de 1500 cm^{-1}) apporte une identification certaine.



2. Titration avec suivi pH-métrique du principe actif

Q3 Sélectionner, parmi la verrerie disponible, celle utilisée pour effectuer la dilution de la solution titrante d'hydroxyde de sodium. Justifier.

Étape 1 — facteur de dilution.

$$F = \frac{C_0}{C_b} = \frac{5,00 \times 10^{-2}}{1,00 \times 10^{-2}} = 5,00$$

La solution mère doit donc être diluée **5 fois**.

Étape 2 — relation entre les volumes.

Lors d'une dilution, la quantité de matière de soluté prélevée se conserve :

$$n_{\text{prélevée}} = n_{\text{finale}} \quad \implies \quad C_0 \times V_{\text{pipette}} = C_b \times V_{\text{fiole}}$$

$$V_{\text{fiole}} = \frac{C_0}{C_b} \times V_{\text{pipette}} = 5,00 \times V_{\text{pipette}}$$

Étape 3 — choix dans la verrerie disponible.

On cherche donc un couple (pipette ; fiole) dans un rapport exactement égal à 5 :

Pipette jaugée disponible	Fiole nécessaire ($\times 5$)	Conclusion
1,0 mL	5 mL	fiole indisponible
2,0 mL	10 mL	fiole indisponible
10,0 mL	50,0 mL	couple retenu ✓
25,0 mL	125 mL	fiole indisponible

Une pipette jaugée de 10,0 mL et une fiole jaugée de 50,0 mL

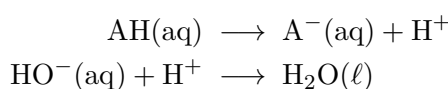
On prélève 10,0 mL de solution mère à la pipette jaugée, on les verse dans la fiole jaugée de 50,0 mL, puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et on homogénéise.

Note du professeur

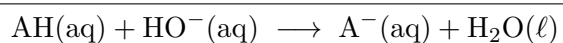
Toujours utiliser de la verrerie **jaugée** (pipette jaugée et fiole jaugée) pour une dilution destinée à un titrage : elle seule est assez précise. Une éprouvette graduée ou un bécher gradué introduiraient une incertitude de plusieurs pour cent sur la concentration titrante, donc sur le résultat final. Et l'on n'oublie pas de préciser le protocole : le trait de jauge, puis l'homogénéisation.

Q4 Écrire l'équation de la réaction support du titrage entre l'ion hydroxyde et l'aspirine (notée AH).

L'aspirine est un **acide** (groupe carboxyle) : elle cède un proton H^+ à l'ion hydroxyde, qui est une base. La réaction met en jeu les deux couples AH/A^- et $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$:



En additionnant membre à membre, les protons H^+ se simplifient :



Cette réaction est **totale** et **rapide** : ce sont les deux conditions nécessaires pour qu'une réaction puisse servir de support à un titrage.

Q5 Définir l'équivalence d'un titrage.

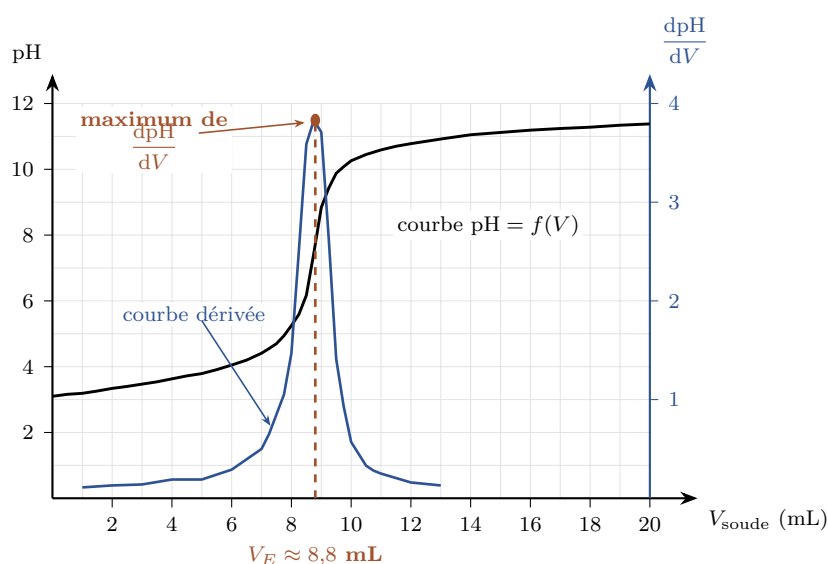
L'équivalence est l'instant du titrage où les réactifs (le réactif titré et le réactif titrant) ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation de la réaction support du titrage.

On peut la caractériser par le changement de réactif limitant :

- **avant** l'équivalence, le réactif titrant (ici HO^-) est limitant : il est entièrement consommé au fur et à mesure qu'on le verse ;
 - **à** l'équivalence, les deux réactifs sont totalement consommés ;
 - **après** l'équivalence, le réactif titrant est en excès et s'accumule dans le bécher.
- C'est ce changement brutal qui provoque le **saut de pH** observé sur la courbe.

Q6 Déterminer la valeur du volume à l'équivalence en précisant la méthode utilisée.

Méthode. La courbe dérivée $\frac{\text{dpH}}{\text{dV}}$ est fournie : le volume équivalent est l'abscisse de son **maximum**, c'est-à-dire le point où le pH varie le plus vite (point d'inflexion de la courbe $\text{pH} = f(V)$). On projette le sommet du pic sur l'axe des volumes.



$V_E \approx 8,8 \text{ mL}$ (lecture graphique à $\pm 0,2 \text{ mL}$ près)



Vérification par une seconde méthode. La courbe $\text{pH} = f(V)$ présente son saut de pH le plus raide au voisinage de $V = 8,8 \text{ mL}$: la méthode des tangentes parallèles conduirait à la même valeur. ✓

Q7 Vérifier, à l'aide du résultat du dosage pH-métrique, si les comprimés d'aspirine interceptés par les douanes sont commercialisables.

Démarche suivie : (1) exploiter l'équivalence pour obtenir la quantité d'aspirine dans la prise d'essai ; (2) remonter à la quantité contenue dans la solution S, donc dans le comprimé ; (3) convertir en masse ; (4) comparer à la masse annoncée à l'aide de la tolérance de $\pm 15 \%$.

Étape 1 — quantité d'aspirine dans la prise d'essai.

Les nombres stœchiométriques de AH et de HO^- valent tous deux 1 dans l'équation de la question Q4. À l'équivalence :

$$n_{\text{prélevé}}(\text{AH}) = n_{\text{versé}}(\text{HO}^-) = C_b \times V_E = 1,00 \times 10^{-2} \times 8,8 \times 10^{-3} = 8,8 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

Étape 2 — quantité contenue dans le comprimé.

Cette quantité n'est contenue que dans les $V_a = 20,0 \text{ mL}$ prélevés ; la solution S, qui contient tout le comprimé, a un volume $V = 500,0 \text{ mL}$, soit 25 fois plus :

$$n_{\text{comprimé}} = n_{\text{prélevé}} \times \frac{V}{V_a} = 8,8 \times 10^{-5} \times \frac{500,0}{20,0} = 8,8 \times 10^{-5} \times 25 = 2,20 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Étape 3 — masse d'aspirine du comprimé.

$$m = n_{\text{comprimé}} \times M(\text{aspirine}) = 2,20 \times 10^{-3} \times 180,2 = 0,396 \text{ g}$$

$$m = 4,0 \times 10^2 \text{ mg (soit 396 mg)}$$

Étape 4 — comparaison avec la tolérance de la pharmacopée.

Le comprimé est annoncé à $m_{\text{ref}} = 500 \text{ mg}$. La pharmacopée admet un écart de $\pm 15 \%$, soit un intervalle d'acceptation :

$$0,85 \times 500 = 425 \text{ mg} \quad \text{à} \quad 1,15 \times 500 = 575 \text{ mg}$$

Or l'écart relatif mesuré vaut, avec la masse retenue $m = 4,0 \times 10^2 \text{ mg}$:

$$\frac{|m - m_{\text{ref}}|}{m_{\text{ref}}} = \frac{|400 - 500|}{500} = \frac{100}{500} = 0,20$$

**Écart de 20% $> 15 \%$; $m = 4,0 \times 10^2 \text{ mg} < 425 \text{ mg}$.
Les comprimés saisis ne sont pas commercialisables.**

Le comprimé est nettement **sous-dosé** en principe actif : il contient un cinquième d'aspirine en moins que la quantité annoncée. Cela confirme le soupçon de contrefaçon évoqué en introduction — le médicament serait à la fois inefficace au dosage prévu et trompeur pour le patient.

Contrôle de cohérence : un comprimé conforme à 500 mg aurait conduit à un volume équivalent $V_E = \frac{500 \times 10^{-3} / 180,2}{25 \times 1,00 \times 10^{-2}} \times 10^3 = 11,1 \text{ mL}$, très nettement supérieur aux $8,8 \text{ mL}$ mesurés. ✓



Note du professeur

Trois vigilances. **(1)** Le facteur $V/V_a = 25$ est indispensable : on ne titre qu'une *fraction* de la solution S. L'oublier donne 16 mg au lieu de 396 mg — un résultat absurde qu'un contrôle d'ordre de grandeur permet de détecter immédiatement. **(2)** Les $\pm 15\%$ portent sur la masse *affichée* (500 mg), pas sur la masse mesurée : l'intervalle est $[425; 575]$ mg. **(3)** Une lecture graphique un peu différente ne change pas la conclusion : même avec $V_E = 9,2$ mL, on obtiendrait $m = 414$ mg, encore inférieur à 425 mg. Le résultat est donc robuste, et il est judicieux de le signaler sur la copie.

Récapitulatif des résultats numériques

Exercice 1. Diffraction • $\theta = \frac{L}{2D}$ et $L = \frac{2\lambda D}{a}$ • $k = 3,8 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ • $a = 4,8 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,48 \text{ mm}$
 • $u(a) = 3,1 \times 10^{-5} \text{ m}$; $z = 1,0 < 2$: fil compatible et utilisable • effet photovoltaïque; $S = 0,352 \text{ m}^2$,
 $P_{\text{lum}} = 3,52 \times 10^2 \text{ W}$, $\eta = 14\%$ • $\Delta t_{\text{charge}} = 6,4 \text{ h}$ • $A = -5,0 \text{ V}$ • $\tau \approx 46 \mu\text{s} \rightarrow C = 2,3 \times 10^{-8} \text{ F}$
 $= 23 \text{ nF}$ • $E_{\text{cond}} = 2,6 \times 10^{-2} \text{ J} = 26 \text{ mJ}$ • $E_{\text{journée}} = 1,27 \times 10^5 \text{ J}$, soit $\approx 5 \times 10^6$ fois E_{cond} • 1 000
 frelons = 26 J = 0,02 % : autonomie (6,1 jours) quasi inchangée.

Exercice 2. $6 \text{ CO}_2(\text{g}) + 6 \text{ H}_2\text{O}(\ell) \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{aq}) + 6 \text{ O}_2(\text{g})$; énergie chimique • $m(\text{Ni}) = 1,3 \times 10^2 \text{ g}$
 pour 100 m^2 • réduction; dépôt sur l'électrode de carbone (cathode, borne -); titane = anode (borne
 +) • $n(\text{Ni}) = 2,21 \text{ mol}$, $n(\text{e}^-) = 4,43 \text{ mol}$, $Q = 4,27 \times 10^5 \text{ C}$, $\Delta t = 2,1 \times 10^5 \text{ s} \approx 59 \text{ h}$ • augmenter I •
 $m_{\text{disponible}} = 6,99 \times 10^3 \text{ kg} \rightarrow N \approx 2,2 \times 10^4$ batteries.

Exercice 3. Groupes carboxyle (acide carboxylique) et ester • bande large $2500\text{--}3200 \text{ cm}^{-1}$ (O—H
 acide) + bandes fines à 1750 cm^{-1} (C=O ester de phénol) et 1690 cm^{-1} (C=O acide) • pipette jaugée
 $10,0 \text{ mL}$ + fiole jaugée $50,0 \text{ mL}$ ($F = 5$) • $\text{AH}(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{A}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$ • $V_E \approx 8,8 \text{ mL}$
 $\rightarrow n = 2,20 \times 10^{-3} \text{ mol}$, $m = 4,0 \times 10^2 \text{ mg}$ (396 mg) • écart de $20\% > 15\%$: comprimés **non**
commercialisables.

