

I. L'écholocation des chauves-souris (9 points)

1.1. (0,5) Un ultrason est une onde mécanique car elle consiste en une perturbation d'un milieu matériel qui se propage.

Une onde sonore ne peut pas se propager dans le vide contrairement aux ondes électromagnétiques.

1.2. (0,5) L'effet Doppler est le décalage de fréquence d'une onde (mécanique ou électromagnétique) entre la mesure à l'émission (f_E) et la mesure à la réception (f_R) lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

(0,5) Par exemple, lorsqu'une voiture klaxonne en passant devant un observateur, la fréquence reçue par l'observateur est plus aiguë lorsque la voiture se rapproche puis plus grave lorsque le véhicule s'éloigne.

1.3. (0,5) Pour que deux ondes cohérentes interfèrent de façon constructive leur différence de marche (δ) doit être un multiple entier de la longueur d'onde (λ).

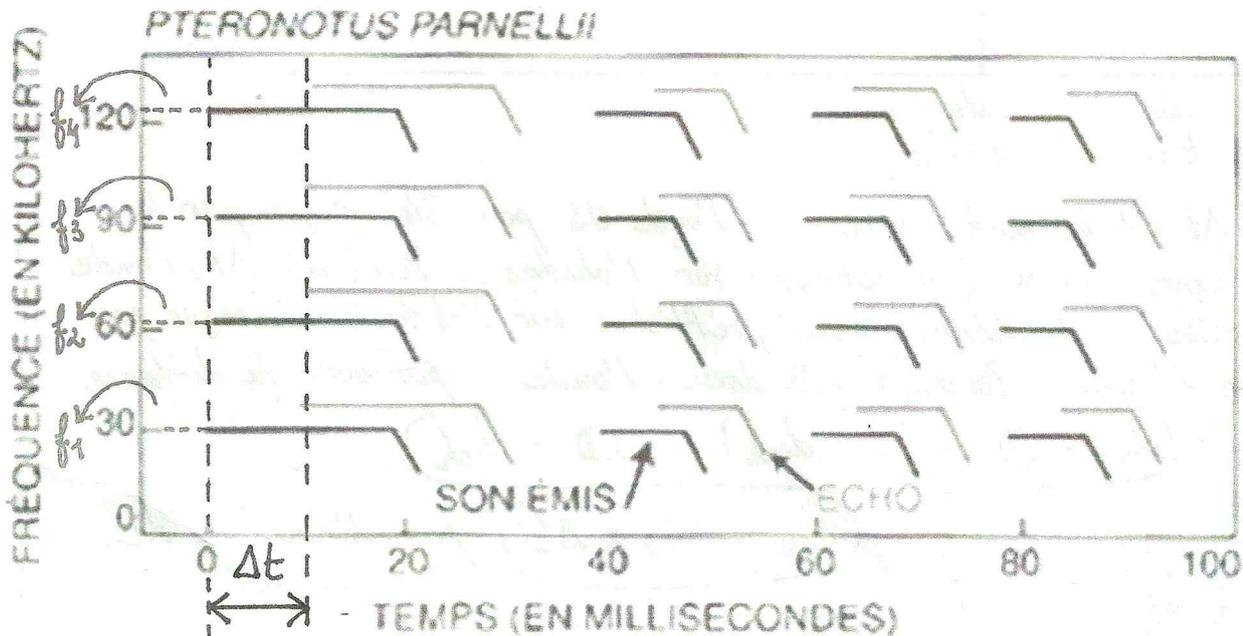
$$\delta = k\lambda \text{ avec } k \text{ un entier relatif.}$$

2.1.1. (0,25) Le signal $U=f(t)$ correspondant à l'enregistrement d'un son pur correspond à une sinusoïde.

2.1.2. (0,25) La fréquence fondamentale correspond à la fréquence du son. Elle vaut donc $f_1 = 30,5 \text{ kHz}$.

(0,5) On obtient $f_2 = 2 \times f_1 = 62 \text{ kHz}$, $f_3 = 3 \times f_1 = 93 \text{ kHz}$ et $f_4 = 4 \times f_1 = 124 \text{ kHz}$ pour les harmoniques de rang 2, 3 et 4.

2.1.3. a. (0,25)



b. (0,5) Les ondes des chauves souris sont de type mixte, FC-FM car on voit sur la figure 2 que la fréquence du son émis décroît à la fin de l'émission.

2.1.4. (0,25) Ce phénomène est la **diffraction** des ondes si la proie a une dimension de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde des ultrasons.

2.1.5. (0,5) On calcule la longueur d'onde minimale $\lambda = v_{US} / f_1$

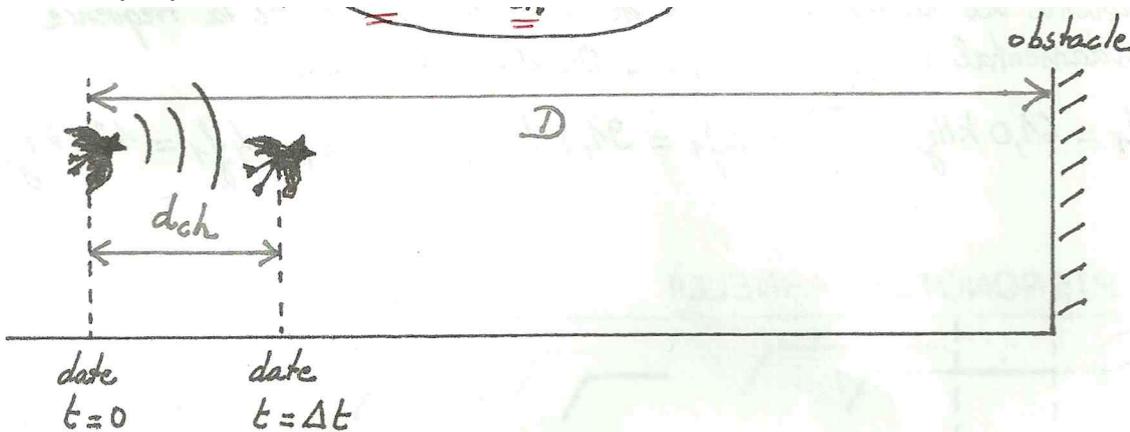
A.N.: $\lambda = 340 / (30,5 \cdot 10^3) = 1,11 \text{ cm}$.

(0,25) La longueur d'onde émise par la chauve-souris est de 1,11 cm. Cette onde se diffractera et ne sera pas réfléchi si elle arrive sur des insectes de tailles inférieures à 1,11 cm. Par conséquent la taille minimale d'un insecte détectable par la chauve-souris vaut environ 1 cm.

2.2.1. **(0,25)** voir graphique précédent

2.2.2. **(0,5)** $d_{ch} = v_{ch} \cdot \Delta t$

2.2.3. **(0,5)** schéma :



2.2.4. **(0,5)** $d_{US} = 2D - d_{ch}$ (car le son fait un aller retour)
(0,25) et $d_{US} = v_{US} \cdot \Delta t$

2.2.5. **(0,5)** Par conséquent $D = (v_{US} - v_{ch}) \cdot \Delta t / 2$

(0,25) Soit , $D = 1,67 \text{ m}$

2.3.1. **(0,5)** L'écho perçu a une fréquence plus grande car la longueur d'onde diminue (baisse de la distance parcourue par les ultrasons) lorsque la chauve souris se rapproche de l'obstacle ; or $f = c / \lambda$, donc si λ diminue, alors f augmente.

2.3.2. **(0,5)** Comme $f_R > f_E$, il faut que le coefficient multiplicateur de f_E soit supérieur à 1, donc que le numérateur soit supérieur au dénominateur : expression ②.

2.3.3. **(0,5)** On utilise l'expression ② : $f_R = \frac{v_{US} + v_{ch}}{v_{US} - v_{ch}} \times f_E$;

A.N: il faut convertir la vitesse v en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

soit $v = 20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{20}{3,6} = 5,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f_R = \frac{340 + 5,6}{340 - 3,6} \times (30,5 \times 10^3) = 31,5 \times 10^3 \text{ Hz} = 31,5 \text{ kHz}$

($f_R > f_0$).

II. Détermination du rapport e/m de l'électron (6 points)

Détermination du signe de la charge de l'électron par J.J.Thomson.

1.1. **(0,5)** Entre les plaques d'un condensateur plan le champ électrique est uniforme. Ses caractéristiques sont :

direction : perpendiculaire aux plaques.

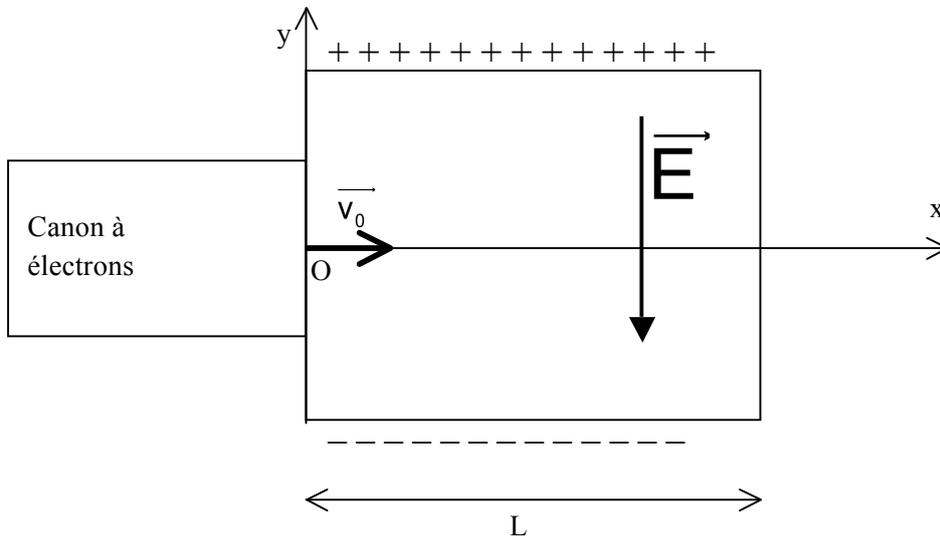
sens : de la plaque positive vers la plaque négative.

valeur : $E = 15,0 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$

D'après l'échelle de 1,0 cm pour $5,0 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$, et comme $E = 15,0 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$, on en déduit que \vec{E} sera représenté par une flèche de 3,0 cm.

(0,25 pt)

Annexe



1.2. (0,25 pt) Les particules de charges opposées s'attirent. Le faisceau d'électrons étant attiré par la plaque chargée positivement, c'est que les électrons sont porteurs d'une charge négative.

1.3. (0,5 pt) $\vec{F} = -e\vec{E}$

Entre les plaques, l'électron n'est soumis qu'à la force électrostatique qui le dévie vers la plaque chargée positivement. Cette force est donc de sens opposé au champ électrostatique, et comme $\vec{F} = q\vec{E}$, cela impose que $q < 0$.

2. Détermination du rapport e/m pour l'électron.

2.1. (0,5 pt) On applique la deuxième loi de Newton au système électron, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

La seule force s'appliquent à l'électron est la force électrostatique : $\vec{F} = -e\vec{E}$

(0,5 pt) $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{dm\vec{v}}{dt} = \frac{dm}{dt}\vec{v} + m\frac{d\vec{v}}{dt}$ comme $m = \text{Cte}$ alors $\frac{dm}{dt} = 0$ et il vient $\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$

$$-e\vec{E} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{-e\vec{E}}{m}$$

Le vecteur accélération est de sens opposé au vecteur champ \vec{E} .

(0,25 pt) Par projection suivant les axes du repère défini dans le document 5, on obtient $\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{eE}{m} \end{cases}$

(0,5 pt) $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$. On obtient donc les coordonnées de vitesse en cherchant des primitives de l'accélération.

$$\vec{v} \begin{cases} v_x = K_1 \\ v_y = \left(\frac{eE}{m}\right)t + K_2 \end{cases}, \text{ les constantes } K_1 \text{ et } K_2 \text{ sont déterminées grâce à la vitesse initiale.}$$

$$\text{A } t=0, : \begin{cases} v_x(0) = K_1 = v_0 \\ v_y(0) = K_2 = 0 \end{cases}$$

$$\text{Finalement : } \vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = \left(\frac{eE}{m}\right)t \end{cases}$$

(0,5 pt) Par définition, $\vec{v} = \frac{d \overline{OM}}{dt}$. On obtient donc les coordonnées du vecteur position en cherchant des primitives des coordonnées de vitesse.

$$\overline{OM} \begin{cases} x = v_0 t + K_3 \\ y = \left(\frac{e.E}{2m}\right)t^2 + K_4 \end{cases}, \text{ on détermine les constantes } K_3 \text{ et } K_4 \text{ grâce la position initiale de l'électron.}$$

$$\text{A } t=0, \quad x(0) = K_3 = 0 \\ y(0) = K_4 = 0$$

$$\text{On obtient : } \overline{OM} \begin{cases} x = v_0 t \\ y = \left(\frac{e.E}{2m}\right)t^2 \end{cases}$$

2.2. (0,5 pt) D'après l'équation horaire $x(t)$, $t = \frac{x}{v_0}$. En reportant cela dans l'équation $y(t)$ on obtient $y = \frac{e.E}{2m.v_0^2} x^2$

2.3.1. (0,5 pt) $y(x=L) = h$

$$h = \frac{e.E}{2m.v_0^2} L^2$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2.v_0^2.h}{E.L^2}$$

$$\text{2.3.2. (0,5 pt)} \quad \frac{e}{m} = \frac{2 \times (2,27 \times 10^7)^2 \times 1,85 \times 10^{-2}}{15,0 \times 10^3 \times (8,50 \times 10^{-2})^2} = 1,76 \times 10^{11} \text{ C.kg}^{-1}$$

$$\text{2.3.3. (0,5 pt)} \quad U\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{e}{m} \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{U(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{U(E)}{E}\right)^2 + 4\left(\frac{U(v_0)}{v_0}\right)^2 + 4\left(\frac{U(L)}{L}\right)^2\right]}$$

$$U\left(\frac{e}{m}\right) = 1,76 \times 10^{11} \times \sqrt{\left[\left(\frac{0,05}{1,85}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{15,0}\right)^2 + 4\left(\frac{0,02}{2,27}\right)^2 + 4\left(\frac{0,05}{8,50}\right)^2\right]}$$

$$U\left(\frac{e}{m}\right) = 6 \times 10^9 \text{ C.kg}^{-1} = 0,06 \times 10^{11} \text{ C.kg}^{-1}$$

On ne conserve qu'un seul chiffre significatif pour l'incertitude

$$\text{(0,5 pt)} \quad \frac{e}{m} = (1,76 \pm 0,06) \times 10^{11} \text{ C.kg}^{-1}$$

Exercice 3 : Solution de LUGOL

Compte rendu de TP : Étude d'une solution commerciale de Lugol à 1%

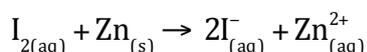
PREMIÈRE PARTIE : Vérification de la masse de diiode dans la solution commerciale de Lugol à 1%.

L'idée de l'expérience est de suivre par spectrophotométrie, la transformation lente mais totale du diiode en solution aqueuse avec du zinc métallique. Le suivi de l'absorbance A du milieu réactionnel en fonction du temps permet alors d'obtenir le tracé de la courbe d'évolution de l'avancement x de la réaction en fonction du temps. La détermination graphique de x_{\max} sur la courbe $x=f(t)$ permettra alors de remonter à la masse de diiode dans un volume $V = 100 \text{ mL}$ de la solution commerciale étudiée.

- **Équation de la réaction** : Il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction. Les couples d'oxydoréduction mis en jeu sont :



Le diiode en solution aqueuse réagit avec le zinc métallique selon l'équation :



- La réaction se fait à partir de 2,0 mL de la solution commerciale de Lugol à 1%. Cette réaction est totale puisque, à la fin de la réaction, la solution est incolore et il reste du zinc solide. On écrira alors $x_f = x_{\max}$.

Équation de la réaction	$I_{2(aq)}$	+ $Zn_{(s)}$	\rightarrow	$2I_{(aq)}^-$	+ $Zn_{(aq)}^{2+}$
État Initial (mol)	$n_{I_2}^i$	n_{Zn}^i		0	0
Au cours de la transf. (mol)	$n_{I_2}^i - x$	$n_{Zn}^i - x$		2x	x
État final (mol)	$n_{I_2}^i - x_{\max}$	$n_{Zn}^i - x_{\max}$		$2x_{\max}$	x_{\max}

- Dans l'état final, il reste du zinc solide, par conséquent on en déduit que le réactif limitant est le diiode et

$$n_{I_2}^i - x_{\max} = 0 \quad \text{D'où } x_{\max} = n_{I_2}^i$$

Graphiquement, on lit $x_{\max} = 80.10^{-3} \text{ mmol}$.

On en déduit alors qu'il y a 80.10^{-3} mmol de diiode dans 2,0 mL de la solution de Lugol à 1%.

- Dans un volume $V = 100 \text{ mL}$ de la solution commerciale de Lugol à 1% , il y en a donc 50 fois plus, c'est à dire $4,0.10^{-3} \text{ mol}$, ce qui correspond à une masse de diiode :

$$m_{I_2} = n_{I_2} \times M(I_2) = 4,0.10^{-3} \times 254 = 1,0 \text{ g}$$

En conclusion, nous retrouvons qu'il y a bien 1,0 g de diiode dans la solution de « Lugol à 1 % » comme indiqué dans le document 1.

Remarque : Un autre raisonnement est possible à partir de la valeur de l'absorbance du milieu réactionnel à la date $t = 0$. Grâce à la loi de Beer-Lambert, on peut déterminer la concentration en diiode de la solution commerciale de diiode et remonter à la masse de diiode dans un volume $V = 100 \text{ mL}$ de la solution commerciale étudiée.

- Dans le tableau du document 3, on lit $A(0) = 1,20$.
- D'après la loi de Beer-Lambert, l'absorbance de la solution de diiode à la longueur d'onde d'étude $\lambda = 470 \text{ nm}$ s'exprime par :

$$A(t) = \epsilon_{470} \cdot \ell \cdot [I_2]_t$$

• Initialement, on en déduit alors : $[I_2]_i = \frac{A(0)}{\epsilon_{470} \times \ell} = \frac{1,20}{1,5 \cdot 10^3 \times 1,0} = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$

La solution de Lugol à 1% a été diluée 50 fois (2,0 mL dilués dans une fiole jaugée de 100,0 mL), on trouve alors la concentration en diiode dans la solution commerciale de Lugol :

$$[I_2]_{\text{Lugol}} = 50 \times 8,0 \cdot 10^{-4} = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

• Calculons alors la masse de diiode dans un volume $V = 100 \text{ mL}$ de solution commerciale de « Lugol à 1% » :

$$m_{I_2} = n_{I_2} \times M(I_2) = [I_2]_{\text{Lugol}} \times V \times M(I_2) = 4,0 \cdot 10^{-2} \times 100 \cdot 10^{-3} \times 254 = 1,0 \text{ g}$$

En conclusion, nous retrouvons qu'il y a bien 1,0 g de diiode dans $V = 100 \text{ mL}$ de la solution de « Lugol à 1 % » comme indiqué dans le document 1.

SECONDE PARTIE : Influence du rayonnement UV

Dans cette seconde partie, nous allons étudier l'influence du rayonnement ultraviolet sur la durée de la réaction étudiée. L'idée est de comparer les valeurs des temps de demi-réaction AVEC et SANS éclairage UV.

- D'après le document 3, le temps de demi-réaction AVEC éclairage UV est $t_{1/2} = 55 \text{ s}$.
- Déterminons, sur la courbe $x = f(t)$, donnée en annexe, le temps de demi-réaction SANS éclairage UV.

Nous rappelons que le temps de demi-réaction d'une transformation chimique est la durée au bout de laquelle l'avancement de la réaction est égal à la moitié de l'avancement final (ou maximal dans le cas d'une réaction totale).

Pour une transformation, totale : $x(t_{1/2}) = \frac{x_{\text{max}}}{2}$

Sur la courbe $x = f(t)$, sachant que $x(t_{1/2}) = \frac{x_{\text{max}}}{2} = \frac{80 \cdot 10^{-3}}{2} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ mmol}$, on lit graphiquement $t_{1/2} = 1,4 \cdot 10^2 \text{ s}$ (sur le graphe 12,6 cm correspondent à 3 000 s et $t_{1/2}$ correspond à 0,6 cm).

SANS éclairage UV	AVEC éclairage UV
$t_{1/2} = 1,4 \cdot 10^2 \text{ s}$	$t_{1/2} = 55 \text{ s}$

On observe qu'avec éclairage UV, le temps de demi-réaction est plus petit.

Conclusion : L'éclairage UV permet d'augmenter la vitesse de la réaction entre le diiode aqueux et le zinc métallique et par conséquent de diminuer la durée de la réaction étudiée.

Évaluation par compétences (5 points)

Compétences	RCO	ANA	VAL	COM
PARTIE 1 (masse diiode)	/0,5 Équation réaction	/2 Démarche suivie	/0,5 Vérif Lugol à 1 %	/0,5 Clarté des raisonnements, présentation, orthographe.
PARTIE 2 (influence UV)	/0,5 Définition $t_{1/2}$	/0,5 Détermination $t_{1/2}$ SANS UV	/0,5 Concl. : influence UV	