La physique sur un plan d'eau

Bac S 2004 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 4 **9 points** **Durée conseillée 1 h 57**

1 Partie A. Quel dispositif de classe, servant à étudier les ondes à la surface de l'eau, repose aussi sur la projection d'ombres ?

Il s'agit de la **cuve à ondes**.

COMPRENDRE
La cuve est éclairée par-dessus. Les crêtes et les creux dévient la lumière comme de petites lentilles : on voit sur l'écran des zones claires et sombres qui reproduisent la forme de la surface.

2 L'onde générée par le déplacement du gerris est-elle transversale ou longitudinale ? Justifier.

Sur la figure 3, la surface se déforme verticalement, alors que l'onde se propage horizontalement, le long de la surface, en s'éloignant de O.

La déformation (verticale) se fait perpendiculairement à la propagation (horizontale) : l'onde est **transversale**.

MÉTHODE
Comparer deux directions : celle du déplacement des points du milieu et celle de la propagation. Perpendiculaires : onde transversale. Parallèles : onde longitudinale (le son dans l'air, par exemple).

3 Un brin d'herbe flotte à la surface de l'eau. Décrire son mouvement au passage de l'onde.

Le brin d'herbe reste immobile tant que l'onde ne l'a pas atteint. À son passage, il se déplace verticalement en suivant la forme de la figure 3 : il s'abaisse très légèrement, monte sur la crête, redescend dans le creux qui suit, puis remonte.

Mouvement **vertical**, puis retour à la position initiale : le brin d'herbe n'est pas emporté par l'onde.

COMPRENDRE
Une onde mécanique transporte de l'énergie sans transporter de matière. La partie de la perturbation la plus éloignée de O arrive la première sur le brin d'herbe.

4 La surface est photographiée à deux instants (figure 4, échelle 1/100). Calculer la célérité de l'onde.

Données utiles $t_2 - t_1 = 10$ s ; échelle 1/100 : 1 cm sur le document représente 1 m

On mesure le rayon du front d'onde circulaire sur chaque photographie : $r_1 = 1{,}0$ cm à t_1 et $r_2 = 2{,}0$ cm à t_2.

Distance réelle parcourue par l'onde entre les deux instants : $d = (r_2 - r_1) \times 100 = 1{,}0 \times 100 = 1{,}0 \times 10^2$ cm $= 1{,}0$ m.

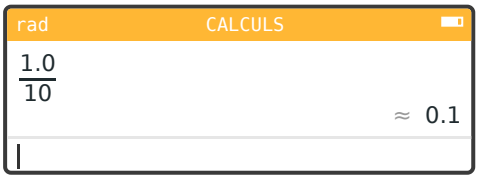
$$v = \frac{d}{t_2 - t_1} = \frac{1{,}0}{10} = 0{,}10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v = 0{,}10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit $10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Diviser le rayon r_2 par 10 s : l'onde n'a pas été émise à t_1. Seule la distance parcourue entre les deux clichés, $r_2 - r_1$, correspond à la durée de 10 s.

COMPRENDRE
Une mesure à la règle se lit au millimètre : $1{,}0$ cm, soit deux chiffres significatifs. Le résultat en garde deux.

À LA CALCULATRICE



5 Déterminer la longueur d'onde de l'onde émise par le papillon à l'aide de la figure 6 (agrandissement à l'échelle 2).

Données utiles échelle 2 : les longueurs du document sont deux fois plus grandes que dans la réalité

Sur la figure 6, entre le premier et le quatrième creux, on mesure trois longueurs d'onde : $3\lambda_{\text{doc}} = 5{,}3$ cm.

En tenant compte de l'échelle :

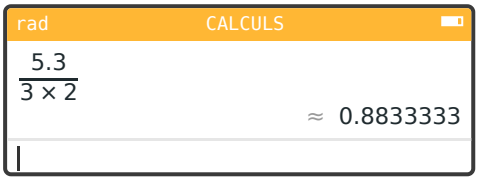
$$\lambda = \frac{5{,}3}{3 \times 2} = 0{,}88 \text{ cm}$$

$\lambda = 0{,}88 \text{ cm} = 8{,}8 \times 10^{-3} \text{ m}$

PIÈGE
Échelle 2 signifie agrandissement : on divise par 2 la longueur mesurée. À la question 4, l'échelle 1/100 était une réduction : on multipliait par 100.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs longueurs d'onde d'un coup puis diviser : l'incertitude de lecture (environ 1 mm) se répartit sur trois périodes au lieu d'une.

À LA CALCULATRICE



6 Montrer que la célérité de cette onde est de $4{,}4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Données utiles $f = 5$ Hz ; $\lambda = 0{,}88$ cm (Q5)

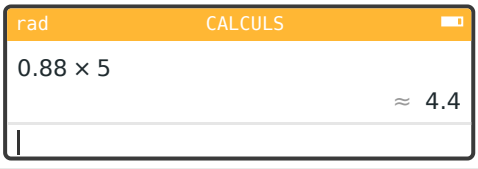
La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période $T = \frac{1}{f}$: $\lambda = v\,T = \frac{v}{f}$, donc $v = \lambda\, f$.

$$v = 0{,}88 \times 5 = 4{,}4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v = 4{,}4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$: c'est la valeur attendue.

COMPRENDRE
Cette célérité diffère de celle de la question 4 ($10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$) : à la surface de l'eau, la célérité dépend de la fréquence de l'onde. Le milieu est dit dispersif.

À LA CALCULATRICE



7 Le train d'ondes arrive sur deux galets (figure 7). a) Quel ordre de grandeur pour la distance entre les galets afin que le gerris puisse détecter le signal ? b) Nom du phénomène ? c) Compléter la figure 7.

Données utiles $\lambda = 0{,}88$ cm (Q5)

a) Le gerris n'est pas en face de l'ouverture : il ne reçoit l'onde que si elle s'étale largement après les galets. Il faut pour cela une ouverture de largeur a du même ordre de grandeur que la longueur d'onde, ou plus petite : $a \approx \lambda \approx 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$.

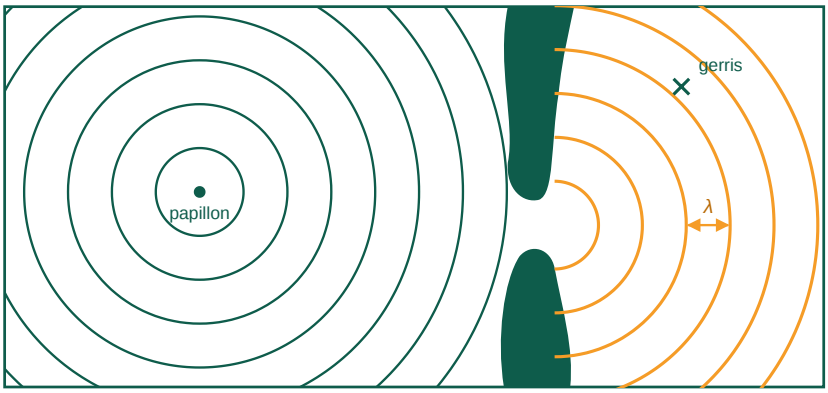
b) Ce phénomène est la **diffraction**.

c) Voir la figure : après l'ouverture, les fronts d'onde sont des arcs de cercle centrés sur l'ouverture, qui se comporte comme une source ponctuelle. La fréquence et la célérité sont inchangées, donc la longueur d'onde aussi : l'écart entre deux arcs est le même qu'avant les galets.

$a \approx 10^{-2} \text{ m}$; diffraction ; onde circulaire centrée sur l'ouverture, de même λ

PIÈGE
Sur la figure, resserrer ou écarter les arcs après l'obstacle. La diffraction change la direction de propagation, jamais la longueur d'onde.

COMPRENDRE
Plus l'ouverture est étroite devant λ, plus l'onde s'étale. Avec une ouverture très large, l'onde continuerait presque tout droit et le gerris, sur le côté, ne percevrait rien.



En orange : ondes circulaires centrées sur l'ouverture, même longueur d'onde

7 · Figure 7 complétée : l'onde diffractée par l'ouverture entre les galets atteint le gerris

8 a) Déterminer la distance d_2 entre le papillon et le gerris n°2. b) Déterminer la distance d_3 entre le papillon et le gerris n°3. c) Placer le papillon sur la figure 8 à l'aide d'un compas.

Données utiles $v = 4{,}4\ \text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (Q6) ; $d_1 = 6$ cm ; durée du trajet jusqu'au gerris n°2 : $\Delta t_2 = 1$ s ; retard du n°3 sur le n°2 : $\tau = 1{,}5$ s

a) L'onde parcourt d_2 en $\Delta t_2 = 1$ s à la célérité v :

$$d_2 = v\,\Delta t_2 = 4{,}4 \times 1 = 4{,}4\ \text{cm}$$

b) L'onde atteint le gerris n°3 à la date $\Delta t_3 = \Delta t_2 + \tau = 2{,}5$ s après son émission :

$$d_3 = v\,(\Delta t_2 + \tau) = 4{,}4 \times 2{,}5 = 11\ \text{cm}$$

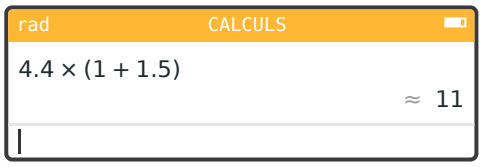
c) Le papillon est à 6 cm du gerris n°1 : il est sur le cercle de centre la croix n°1 et de rayon 6 cm. Il est aussi sur le cercle de centre la croix n°2 et de rayon 4,4 cm. Ces deux cercles se coupent en deux points. Un arc de centre la croix n°3 et de rayon 11 cm ne passe que par l'un d'eux, celui situé à gauche des gerris n°1 et n°2.

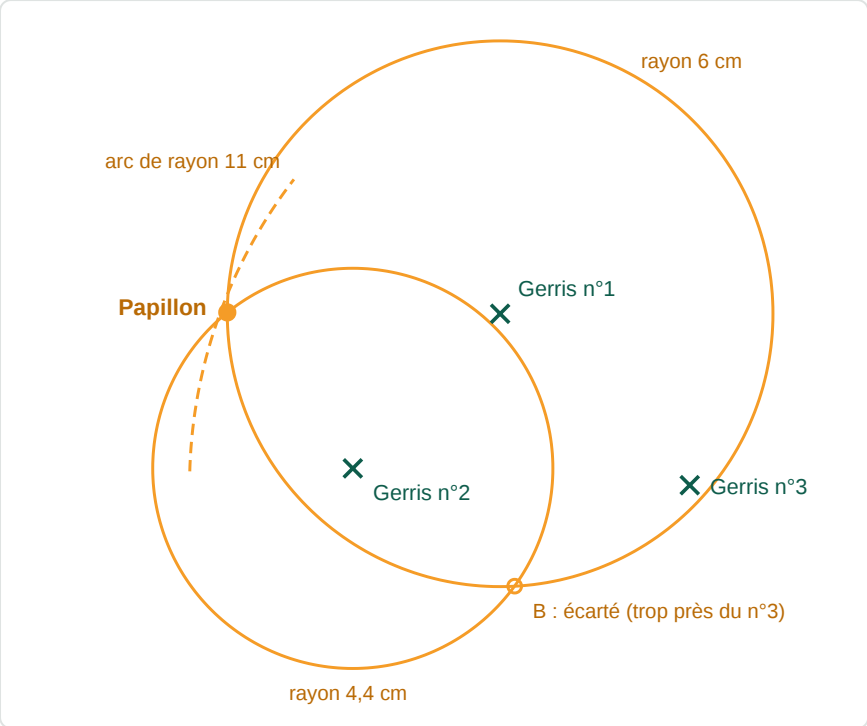
$d_2 = 4{,}4$ cm ; $d_3 = 11$ cm ; le papillon est à l'intersection des trois arcs (figure).

PIÈGE
Calculer $d_3 = v \times 1{,}5 = 6{,}6$ cm. Le retard de 1,5 s est compté par rapport au gerris n°2, pas depuis l'émission : il donne $d_3 - d_2$.

MÉTHODE
Repérer une source par des distances : chaque distance donne un cercle. Deux cercles laissent deux positions possibles, le troisième tranche.

À LA CALCULATRICE





8 · Figure 8 complétée (schéma réduit) : les trois arcs se coupent à la position du papillon

1 Partie B. Exploitation de la figure 9 : a) déterminer v_9 et v_{11} et tracer $\vec{v}_9$, $\vec{v}_{11}$; b) construire $\Delta\vec{v} = \vec{v}_{11} - \vec{v}_9$ en G_{10} et déterminer sa valeur ; c) en déduire a_{10} et tracer $\vec{a}_{10}$.

Données utiles $\tau = 20$ ms ; document à l'échelle 1/2 ; échelles des tracés : 1 cm pour $0{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et 1 cm pour $5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

a) La vitesse en G_9 est assimilée à la vitesse moyenne entre G_8 et G_{10}. On mesure sur le document $G_8G_{10} = 2{,}9$ cm, soit 5,8 cm en réalité :

$$v_9 = \frac{G_8G_{10}}{2\tau} = \frac{2{,}9 \times 2 \times 10^{-2}}{2 \times 20 \times 10^{-3}} \approx 1{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

De même, $G_{10}G_{12} = 3{,}2$ cm sur le document :

$$v_{11} = \frac{G_{10}G_{12}}{2\tau} = \frac{3{,}2 \times 2 \times 10^{-2}}{2 \times 20 \times 10^{-3}} = 1{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$\vec{v}_9$ part de G_9, parallèle à (G_8G_{10}), dans le sens du mouvement, de longueur 2,9 cm ; $\vec{v}_{11}$ part de G_{11}, parallèle à $(G_{10}G_{12})$, de longueur 3,2 cm.

b) En G_{10}, on reporte $\vec{v}_{11}$ puis, à son extrémité, $-\vec{v}_9$. Le vecteur $\Delta\vec{v}$ obtenu est vertical, dirigé vers le bas, et mesure environ 0,8 cm : $\Delta v \approx 0{,}8 \times 0{,}5 = 0{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

c) $\vec{a}_{10} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{2\tau}$, donc

$$a_{10} = \frac{\Delta v}{2\tau} = \frac{0{,}4}{2 \times 20 \times 10^{-3}} \approx 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$\vec{a}_{10}$ a la direction et le sens de $\Delta\vec{v}$: vertical, vers le bas, de longueur 2 cm à l'échelle demandée.

$v_9 \approx 1{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $v_{11} = 1{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\Delta v \approx 0{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $a_{10} \approx 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, vertical vers le bas

PIÈGE
Oublier l'échelle 1/2 (les distances réelles sont le double des distances mesurées) ou diviser par τ au lieu de 2τ : deux intervalles séparent G_8 de G_{10}.

COMPRENDRE
Δv n'est pas $v_{11} - v_9 = 0{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: on soustrait des vecteurs, pas des valeurs. $\Delta\vec{v}$ est petit et sa mesure peu précise : trouver a_{10} entre 9 et $11\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ est acceptable.

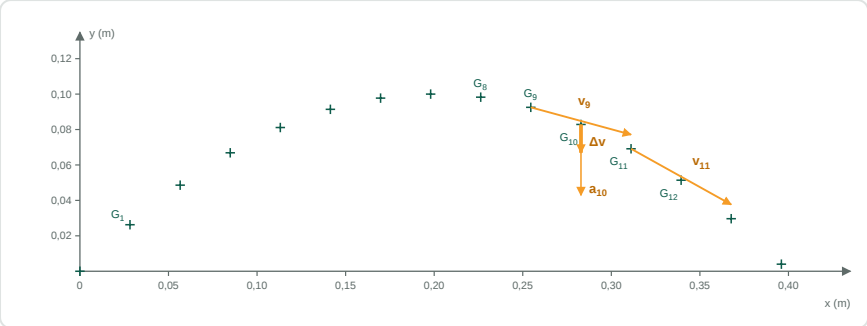
À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2.9 \times 2 \times 10^{-2}}{2 \times 20 \times 10^{-3}}$ ≈ 1.45

$\dfrac{3.2 \times 2 \times 10^{-2}}{2 \times 20 \times 10^{-3}}$ ≈ 1.6

$\dfrac{0.4}{2 \times 20 \times 10^{-3}}$ ≈ 10



1 · Figure 9 complétée : vecteurs vitesse en G_9 et G_{11}, variation $\Delta\vec{v}$ et accélération $\vec{a}_{10}$ en G_{10}

2 Étude dynamique (air négligé). a) Caractéristiques de $\vec{a}$, puis établir $x(t)$ et $y(t)$. b) Équation de la trajectoire ; est-elle conforme à l'enregistrement ? c) Vitesse au sommet S, date t_S, hauteur maximale. d) Vitesse initiale pour atteindre un nénuphar à 60 cm, α_0 inchangé.

Données utiles $v_0 = 2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha_0 = 45^\circ$; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

a) Système : la grenouille, de masse m ; référentiel terrestre supposé galiléen. Une seule force s'exerce pendant le saut : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

Deuxième loi de Newton : $m\,\vec{a} = m\,\vec{g}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$. L'accélération de G est verticale, dirigée vers le bas, de valeur constante $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Dans le repère $(O;x,y)$, avec y vers le haut : $a_x = 0$ et $a_y = -g$.

On intègre, avec $\vec{v}(0) = \vec{v}_0$ de coordonnées $(v_0\cos\alpha_0\ ;\ v_0\sin\alpha_0)$:

$$v_x(t) = v_0\cos\alpha_0 \qquad v_y(t) = -g\,t + v_0\sin\alpha_0$$

On intègre de nouveau, avec G en O à $t = 0$ (constantes nulles) :

$$x(t) = v_0\cos\alpha_0\,t \qquad y(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin\alpha_0\,t$$

b) De $x(t)$ on tire $t = \dfrac{x}{v_0\cos\alpha_0}$, que l'on reporte dans $y(t)$:

$$y(x) = -\frac{g}{2\,v_0^2\cos^2\alpha_0}\,x^2 + \tan\alpha_0\,x$$

Numériquement ($\cos^2 45^\circ = 0{,}5$ et $\tan 45^\circ = 1$) : $y = -2{,}5\,x^2 + x$, avec x et y en mètres.

C'est l'équation d'une parabole tournée vers le bas, comme l'enregistrement. Vérification : pour $x = 0{,}20$ m, $y = 0{,}10$ m, point qui figure bien sur la figure 9 ; $y = 0$ pour $x = 0{,}40$ m, distance du nénuphar.

c) Au sommet S, le vecteur vitesse est horizontal : $v_y(t_S) = 0$ et $v_S = v_x = v_0\cos\alpha_0 = 1{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$-g\,t_S + v_0\sin\alpha_0 = 0$ donne $t_S = \dfrac{v_0\sin\alpha_0}{g}$, soit $t_S = 0{,}14$ s.

On reporte t_S dans $y(t)$: $y_S = -\dfrac{1}{2}\,g\,\dfrac{v_0^2\sin^2\alpha_0}{g^2} + \dfrac{v_0^2\sin^2\alpha_0}{g}$, soit

$$y_S = \frac{v_0^2\sin^2\alpha_0}{2\,g} = \frac{2^2\times\sin^2 45^\circ}{2\times 10} = 0{,}10\ \text{m}$$

d) La grenouille retombe sur l'eau quand $y = 0$ avec $x = x_N \neq 0$:
$-\dfrac{g}{2\,v_0^2\cos^2\alpha_0}\,x_N + \tan\alpha_0 = 0$. Avec $\alpha_0 = 45^\circ$: $-\dfrac{g\,x_N}{v_0^2} + 1 = 0$, soit

$$v_0 = \sqrt{g\,x_N} = \sqrt{10\times 0{,}60} = 2{,}45\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

PIÈGE
Écrire que la vitesse est nulle au sommet. Seule la composante verticale v_y s'annule : la grenouille continue d'avancer à $v_x = v_0\cos\alpha_0$.

COMPRENDRE
Cohérence avec la partie 1 : la mesure graphique donnait $a_{10} \approx 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, vertical vers le bas, comme $\vec{g}$. La masse se simplifie : le saut ne dépend pas de la masse de la grenouille.

MÉTHODE
Pour d), vérifier avec le premier saut : $\sqrt{10\times 0{,}40} = 2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, la valeur de l'énoncé. Arrondir par excès ($2{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) garantit d'atteindre le nénuphar.

$\vec{a} = \vec{g}$; $y = -2{,}5\,x^2 + x$; $t_S = \dfrac{v_0 \sin \alpha_0}{g}$; $y_S = 0{,}10$ m ; $v_0 \approx 2{,}45\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour 60 cm

À LA CALCULATRICE

