La houle

Bac S 2003 Polynésie rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Partie I. Au large, la houle est-elle une onde courte ou une onde longue ? Évaluer la célérité v_1 d'une houle de longueur d'onde λ_1, puis la période T de ses vagues.

Données utiles $h_1 = 4000$ m ; $\lambda_1 = 80$ m ; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; ondes courtes si $\lambda < 0{,}5\,h$, avec $v = \sqrt{\dfrac{g\,\lambda}{2\pi}}$

Au large, $0{,}5\,h_1 = 2000$ m. La longueur d'onde de la houle (environ 100 m, ici 80 m) est bien inférieure à cette valeur : la houle est une **onde courte**.

Sa célérité est donc :

$$v_1 = \sqrt{\frac{g\,\lambda_1}{2\pi}} = \sqrt{\frac{10\times 80}{2\pi}} = 11\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

L'onde avance d'une longueur d'onde pendant une période : $\lambda_1 = v_1\,T$, soit

$$T = \frac{\lambda_1}{v_1} = \frac{80}{11{,}3} = 7{,}1\ \text{s}$$

Onde courte ; $v_1 = 11\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $T = 7{,}1$ s

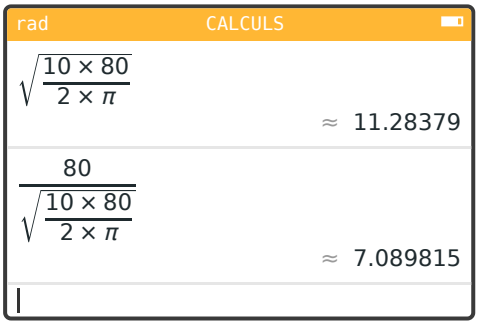
PIÈGE

Comparer λ à h et non à $0{,}5\,h$ ou $10\,h$: le critère du texte doit être cité et vérifié avec des nombres, sinon la classification n'est pas justifiée.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme g et λ_1. Pour calculer T, on garde la valeur non arrondie de v_1 dans la calculatrice : l'arrondi ne se fait qu'au moment d'écrire le résultat.

À LA CALCULATRICE



2 Partie I. Près de la côte, la houle devient une onde longue et sa période ne change pas. Évaluer sa nouvelle célérité v_2 et sa nouvelle longueur d'onde λ_2.

Données utiles $h_2 = 3{,}0$ m ; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $T = 7{,}09$ s (question 1) ; ondes longues : $v = \sqrt{g\,h}$

Pour une onde longue :

$$v_2 = \sqrt{g\,h_2} = \sqrt{10\times 3{,}0} = 5{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

La période est inchangée, donc :

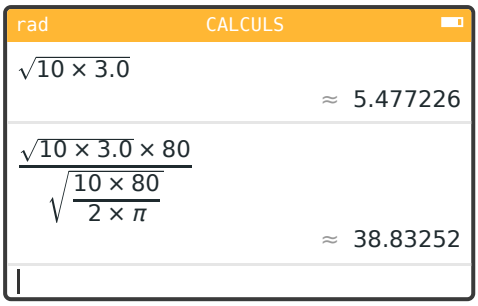
$$\lambda_2 = v_2\,T = 5{,}48\times 7{,}09 = 39\ \text{m}$$

$v_2 = 5{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\lambda_2 = 39$ m

COMPRENDRE

La période est imposée par la source : elle se conserve quand le milieu change. La houle ralentit en approchant de la côte, donc ses vagues se resserrent. On vérifie que $\lambda_2 > 10\,h_2 = 30$ m : c'est bien une onde longue.

À LA CALCULATRICE



3 Partie I. Les vagues arrivent parallèlement à une digue coupée par un chenal. Qu'observe-t-on derrière la digue ? Compléter le document A. Nommer le phénomène et citer d'autres ondes, non mécaniques, qui le présentent.

Données utiles largeur du chenal $a = 30$ m ; $\lambda_2 = 39$ m (question 2)

Derrière la digue, les vagues ne restent pas rectilignes dans le prolongement du chenal : elles s'étalent dans toute la baie sous forme de **vagues circulaires centrées sur le chenal**, qui se comporte comme une source ponctuelle.

Ce phénomène est la **diffraction**. Il est très marqué ici, car la largeur de l'ouverture ($a = 30$ m) est inférieure à la longueur d'onde ($\lambda_2 = 39$ m).

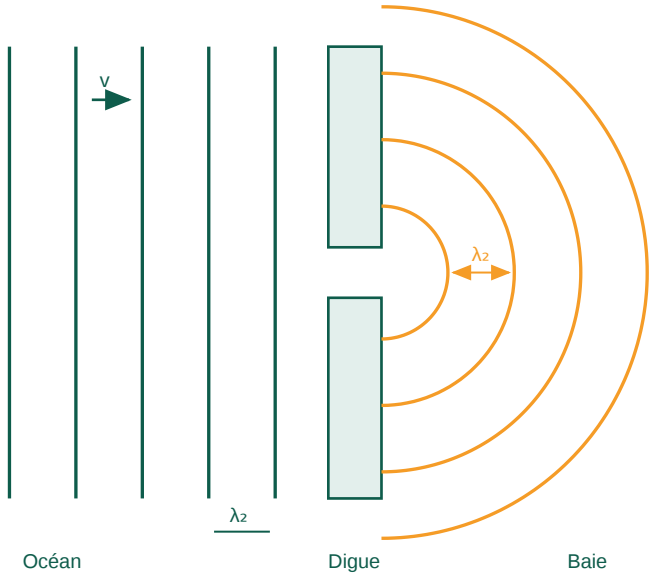
La profondeur étant la même de part et d'autre de la digue, la célérité et donc la longueur d'onde ne changent pas : les arcs de cercle sont espacés de λ_2, comme les vagues incidentes.

Les ondes électromagnétiques, en particulier la lumière, se diffractent aussi au passage d'une fente ou d'un trou de petite dimension.

Vagues circulaires centrées sur le chenal : diffraction, observable aussi avec la lumière.

PIÈGE
Sur le schéma, resserrer ou écarter les arcs de cercle. La diffraction change la direction de propagation, jamais la longueur d'onde ni la fréquence.

MÉTHODE
Pour juger si la diffraction est importante, comparer la largeur a de l'ouverture à λ : plus a est petite devant λ, plus l'onde s'étale derrière l'ouverture.



3 · Document A complété : en orange, les vagues circulaires derrière le chenal (30 m), espacées de λ_2 comme les vagues incidentes

1 Partie II. a) Tracer x en fonction de t (document C) ; en déduire la célérité v de l'onde et dire si elle est constante. b) Évaluer la longueur d'onde λ, puis dire si v et λ sont en accord avec la fréquence du vibreur.

Données utiles pointages du document B ; distance entre les sommets des rides 1 et 4 : $d = 0{,}088$ m ; $8\ \text{Hz} < f < 9\ \text{Hz}$

a) Les points sont alignés : on trace la droite moyenne. Le sommet de la ride parcourt des distances égales pendant des durées égales, donc la célérité est **constante**. Elle est égale au coefficient directeur de la droite.

Avec deux points éloignés de la droite, $(0{,}200\ \text{s}; 0{,}0975\ \text{m})$ et $(0{,}400\ \text{s}; 0{,}1465\ \text{m})$:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0{,}1465 - 0{,}0975}{0{,}400 - 0{,}200} = 0{,}245\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

b) De la ride 1 à la ride 4, on compte 3 longueurs d'onde : $d = 3\,\lambda$.

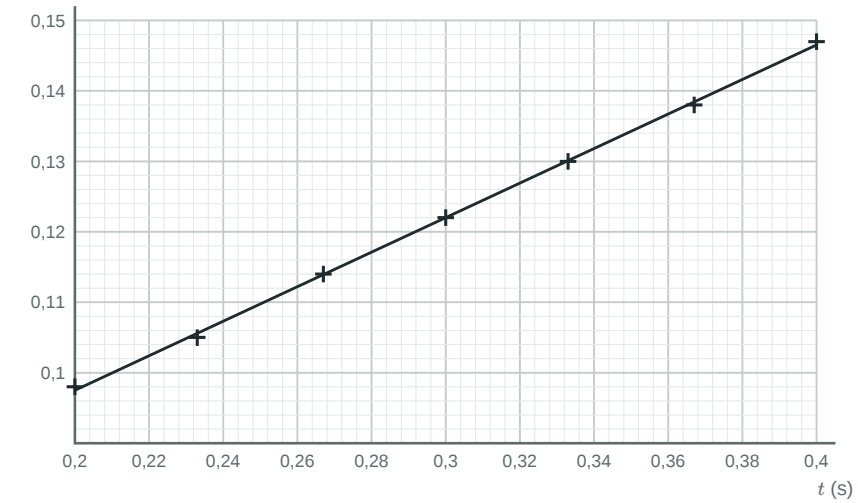
$$\lambda = \frac{d}{3} = \frac{0{,}088}{3} = 0{,}029\ \text{m}$$

Fréquence correspondante :

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{0{,}245}{0{,}0293} = 8{,}4\ \text{Hz}$$

Cette valeur est comprise entre 8 Hz et 9 Hz : les mesures de v et de λ sont en accord avec l'étude stroboscopique.

$v = 0{,}245\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, constante ; $\lambda = 0{,}029$ m ; $f = 8{,}4$ Hz, en accord avec $8\ \text{Hz} < f < 9\ \text{Hz}$



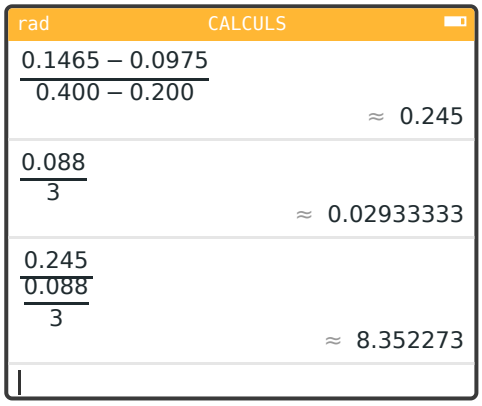
1 · Document C complété : les points du document B et la droite moyenne

PIÈGE
Compter 4 longueurs d'onde entre la ride 1 et la ride 4. Entre quatre sommets consécutifs, il n'y a que trois intervalles.

COMPRENDRE
La lecture graphique donne v à quelques pour cent près : selon la droite tracée, on trouve entre 0,24 et 0,25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, et la fréquence reste entre 8 Hz et 9 Hz.

MÉTHODE
Pour une pente, choisir deux points de la droite tracée, les plus éloignés possible, et non deux points du tableau : la droite moyenne compense les erreurs de pointage.

À LA CALCULATRICE



2 Partie II. a) Exprimer, en fonction de la période T, le retard τ du mouvement du point M (front de l'onde) sur celui de la source S. b) À l'instant suivant, dans quelle direction et dans quel sens le point M se déplace-t-il ? Justifier.

a) Sur le document D, on compte entre S et M deux motifs complets et un demi-motif : $SM = 2{,}5\,\lambda$.

Le retard de M sur S est la durée mise par l'onde pour aller de S à M :

$$\tau = \frac{SM}{v} = \frac{2{,}5\,\lambda}{v}$$

Comme $\lambda = v\,T$, il vient $\tau = 2{,}5\,T$.

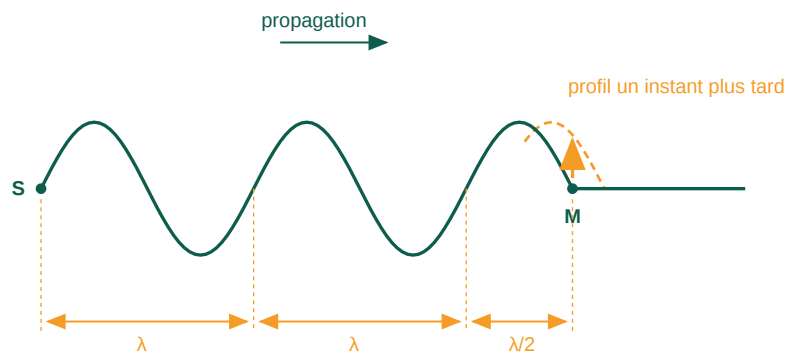
b) L'onde est transversale : chaque point de la surface se déplace perpendiculairement à la direction de propagation, qui est horizontale. M se déplace donc verticalement.

M est le front de l'onde : il est encore au repos. À l'instant suivant, le profil a avancé vers la droite, et la portion de courbe située juste à gauche de M, qui est au-dessus du niveau de repos, arrive en M. Le point M monte.

$\tau = 2{,}5\,T$; M se déplace verticalement vers le haut.

PIÈGE
Répondre « vers la droite » parce que l'onde va vers la droite. Une onde transporte de l'énergie, pas de matière : l'eau ne suit pas la vague.

MÉTHODE
Pour prévoir le mouvement d'un point, décaler légèrement tout le profil dans le sens de propagation et regarder où se trouve la courbe à la verticale du point.



2 · Document D complété : $SM = 2{,}5\,\lambda$; en tirets, la surface un instant plus tard

3 Partie II. À la fréquence f', on mesure une célérité v'. La comparer à celle de la question 1.a). De quel phénomène cette différence est-elle la manifestation ? Des ondes non mécaniques le présentent-elles ? Citer une application.

Données utiles $f' = 19$ Hz ; $v' = 0{,}263\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $v = 0{,}245\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour $f \approx 8{,}4$ Hz (question 1)

$v' > v$: la célérité est plus grande d'environ 7 % à 19 Hz qu'à 8,4 Hz, alors que le milieu (eau, même profondeur) n'a pas changé.

La célérité de l'onde dépend donc de sa fréquence : c'est le phénomène de **dispersion**. L'eau de la cuve est un milieu dispersif pour ces ondes.

Les ondes lumineuses, qui ne sont pas mécaniques, présentent aussi ce phénomène dans les milieux transparents comme le verre ou l'eau : la célérité, donc l'indice de réfraction, dépend de la fréquence de la radiation.

Application : la décomposition de la lumière blanche par un prisme, utilisée en spectroscopie pour analyser la lumière émise par une source.

$v' > v$ (écart d'environ 7 %) : dispersion, présentée aussi par la lumière dans le verre (prisme, spectroscopie).

PIÈGE

Confondre dispersion et diffraction. La diffraction est un étalement de l'onde par une ouverture ; la dispersion est une célérité qui varie avec la fréquence.

COMPRENDRE

Dans le vide, toutes les radiations lumineuses ont la même célérité c : le vide n'est pas dispersif. La dispersion est une propriété du milieu traversé, pas de l'onde seule.

À LA CALCULATRICE

