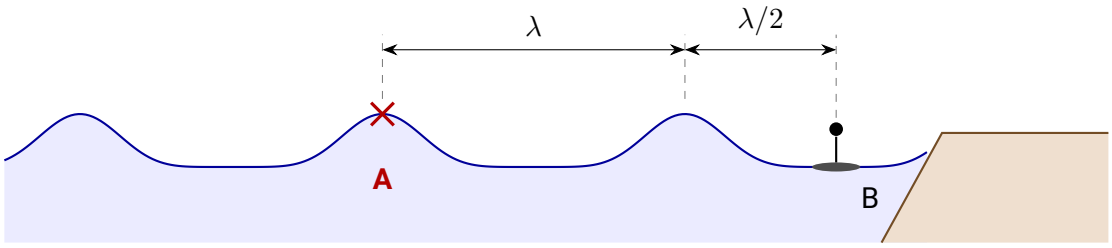
Exercice 1 : Deux surfeurs dans la houle

13,5 points

1) La houle se propage vers la plage : elle atteint d'abord A, puis B. En partant de B (dans un creux) et en s'éloignant de la plage, on rencontre une première crête, celle qui sépare les deux surfeurs, puis un creux, puis une deuxième crête : c'est là que se trouve A. On ne peut pas choisir la première crête (aucune crête ne séparerait alors les surfeurs) ni la troisième (il y en aurait deux).



2) Sur le document 2, chaque surfeur reproduit le même mouvement vertical à intervalles de temps réguliers : le phénomène est **périodique**. Pour plus de précision, on mesure plusieurs périodes : le surfeur A est sur une crête à $t = 0\,\text{s}$ et de nouveau à $t = 25\,\text{s}$, après 5 oscillations complètes.

$$5T = 25\,\text{s} \quad \Rightarrow \quad \boxed{T = 5{,}0\,\text{s}}$$

(une lecture comprise entre $4{,}9\,\text{s}$ et $5{,}1\,\text{s}$ est acceptée).

La fréquence est l'inverse de la période :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5{,}0\,\text{s}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{f = 0{,}20\,\text{Hz}}$$

L'onde **n'est pas sinusoïdale** : une sinusoïde est symétrique par rapport au niveau moyen. Ici, les crêtes sont étroites et montent à $+1{,}0\,\text{m}$, tandis que les creux sont larges et aplatis, à $-0{,}4\,\text{m}$ seulement.

3) La longueur d'onde λ est la plus petite distance entre deux points de la surface qui vibrent de la même façon, par exemple entre deux crêtes consécutives ; une crête et le creux voisin sont séparés par $\frac{\lambda}{2}$. D'après le schéma de la question 1, la distance entre A et B vaut donc

$$d = \lambda + \frac{\lambda}{2} = \frac{3\lambda}{2} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{2d}{3} = \frac{2 \times 24\,\text{m}}{3} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\lambda = 16\,\text{m}}$$

4) Pendant une période T, l'onde parcourt une longueur d'onde : $\lambda = v \times T$.

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{16\,\text{m}}{5{,}0\,\text{s}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{v = 3{,}2\,\text{m·s}^{-1}}$$

5) On note B′ la nouvelle position du surfeur B, avec $AB' = 8{,}0\,\text{m}$ (la distance $AB = 24\,\text{m}$ de l'énoncé ne sert plus ici). La houle atteint B′, plus proche de la plage, après A, avec un retard

$$\tau = \frac{AB'}{v} = \frac{8{,}0\,\text{m}}{3{,}2\,\text{m·s}^{-1}} = 2{,}5\,\text{s}.$$

Le surfeur, immobile en B′, reproduit le mouvement de A avec ce retard : à l'instant $t = 22{,}5\,\text{s}$, il

est dans l'état où se trouvait A à l'instant

$$t - \tau = 22{,}5\,\text{s} - 2{,}5\,\text{s} = 20{,}0\,\text{s} = 4T.$$

Le surfeur A est sur une crête à $t = 0$, donc aussi à chaque multiple de la période, en particulier à $t = 4T = 20{,}0\,\text{s}$ (c'est visible sur le document 2).

Conclusion : à $t = 22{,}5\,\text{s}$, le surfeur (en B′) est **sur une crête**.

Autre raisonnement : $AB' = 8{,}0\,\text{m} = \dfrac{\lambda}{2}$; deux points distants de $\dfrac{\lambda}{2}$ sont toujours dans des états contraires : quand l'un est sur une crête, l'autre est dans un creux ; or $t = 22{,}5\,\text{s}$ correspond à $4{,}5$ périodes : A, sur une crête à $t = 0$, est dans un creux à cet instant, donc le surfeur en B′ est sur une crête.

Exercice 2 : Une onde dans une barre métallique

6,5 points

1) L'onde part du point d'impact et atteint en premier le capteur le plus proche. Le **signal 1**, qui commence le premier (à $t = 0$), est donc enregistré par le capteur le plus proche du coup ; son amplitude est d'ailleurs plus grande, l'onde s'atténuant en se propageant.

2) Le retard est la durée qui sépare le début des deux salves : la première commence à $t_1 = 0$, la seconde à $t_2 = 10{,}0 \times 10^{-5}\,\text{s}$.

$$\tau = t_2 - t_1 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\tau = 1{,}0 \times 10^{-4}\,\text{s}}$$

(lecture acceptée entre $9{,}5 \times 10^{-5}\,\text{s}$ et $10{,}5 \times 10^{-5}\,\text{s}$).

3) L'onde parcourt la distance d entre les deux capteurs pendant la durée τ :

$$v = \frac{d}{\tau} = \frac{0{,}38\,\text{m}}{1{,}0 \times 10^{-4}\,\text{s}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{v = 3{,}8 \times 10^{3}\,\text{m·s}^{-1}}$$

(avec la tolérance de lecture, entre environ $3{,}6 \times 10^{3}\,\text{m·s}^{-1}$ et $4{,}0 \times 10^{3}\,\text{m·s}^{-1}$).

4) Dans l'air, la même distance serait parcourue à la célérité v_{air} :

$$\tau_{\text{air}} = \frac{d}{v_{\text{air}}} = \frac{0{,}38\,\text{m}}{340\,\text{m·s}^{-1}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\tau_{\text{air}} = 1{,}1 \times 10^{-3}\,\text{s}}$$

Ce retard est environ 11 fois plus grand que dans la barre. La célérité d'une onde mécanique **dépend du milieu dans lequel elle se propage** : l'onde est beaucoup plus rapide dans un solide comme le métal que dans l'air.