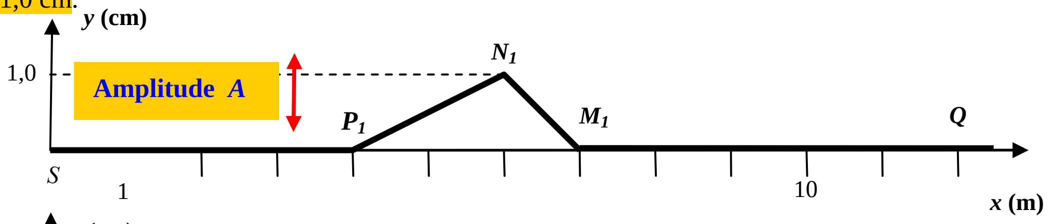
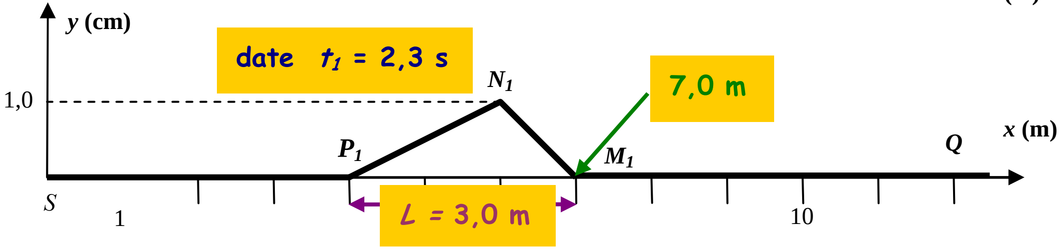
Eléments de réponse aux exercices sur les ondes progressives

Correction de l'exercice 1 : onde progressive sans amortissement le long d'une corde

1. L'onde est transversale car la direction du déplacement (verticale) d'un point de la corde au passage de l'onde est perpendiculaire à la direction de propagation (horizontale). L'amplitude A de l'onde est l'élongation maximale de la corde : A = 1,0 cm.



2.



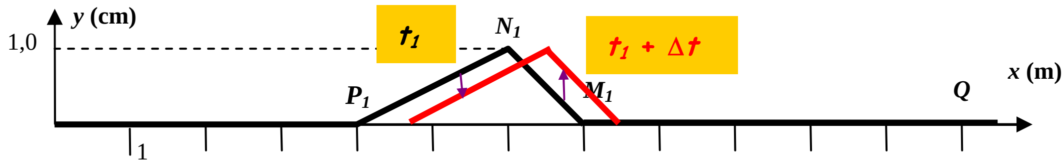
Le front d'onde s'est propagé de la longueur SM_1 = 7,0 m en un intervalle de temps $\Delta t = t_1$ = 2,3 s. Donc la célérité de l'onde est : arrondi de 3,0478 m.s^{-1}

$$\boldsymbol{V} = SM_1 / \Delta t = 7{,}0/2{,}3 \approx 3{,}0 \text{ m.s}^{-1}. \text{ (arrondi de } 3{,}0478 \text{ m.s}^{-1})$$

3. La durée τ du mouvement d'un point de la corde, M_1 par exemple, est le temps pendant lequel M_1 est perturbé, c'est à dire le temps mis par l'onde, pour se propager d'une distance $L = P_1M_1$ = 3,0 m. Donc :

$$\tau = P_1M_1 / V = 3{,}0 / 3{,}0 = 1{,}0 \text{ s.}$$

4.

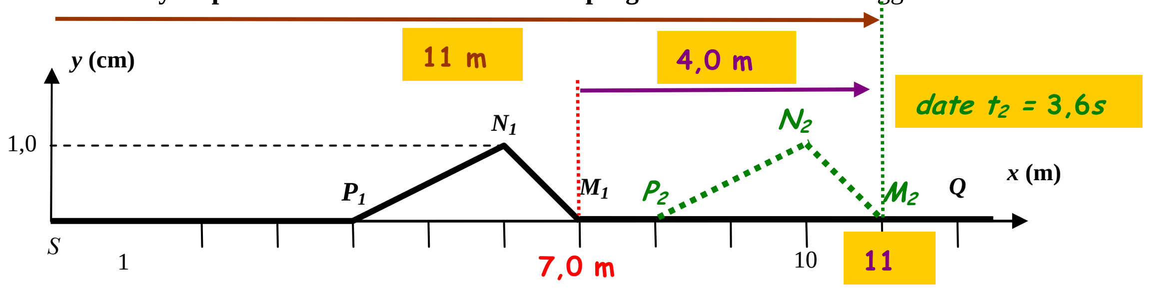


Pour le voir correctement, on schématise la corde à une date $t_1 + \Delta t$ très voisine de t_1 : on déduit du schéma que les points situés entre P_1 et N_1 sont en train de descendre à la date t_1 et ceux qui sont situés entre N_1 et M_1 sont en train de s'élever.

5. Entre les dates t_o = 0 s et t_2 = 3,6 s, le front d'onde a progressé du point S au point M_2 de la corde d'une distance SM_2, telle que (définition de la célérité) :

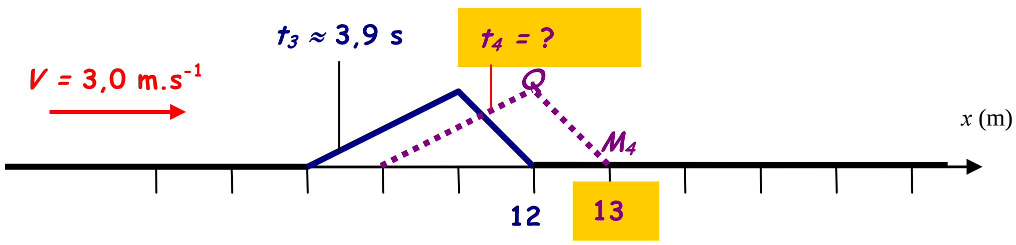
$$SM_2 = V\,(t_2 - t_o) = 3{,}0478 \times 3{,}6 \approx 11 \text{ m.(2 chiffres significatifs à conserver)}$$

L'aspect de la corde à la date t_2 est donc déduit de celui à la date t_1 par **une translation vers la droite de valeur 4,0 m environ car il n'y a pas d'amortissement de l'onde progressive** comme le suggère le titre de l'exercice.



6.1. Q commence à bouger lorsque le front d'onde arrive en Q, c'est à dire à la date t_3 telle que : $t_3 = SQ/V \approx$ 12/3,0478 $\approx$ 3,9 s ; **$t_3 \approx$ 3,9 s.**

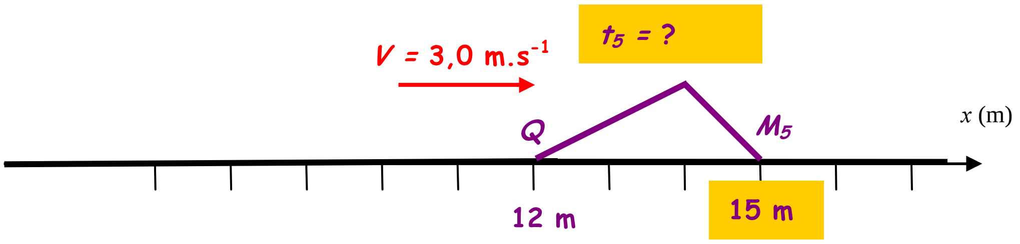
6.2.



Q passe par un maximum d'altitude à la date t_4 telle que le front d'onde est au point M_4 (cf figure ci-avant), c'est à dire a progressé du point S au point M_4 d'une distance $SM_4 = 13$ m entre $t_o = 0$ et t_4 (durée t_4) D'où :

$$t_4 = SM_4 / V = 13 / 3{,}0478 \approx 4{,}3 \text{ s. } \mathbf{t_4 = 4{,}3 \text{ s.}}$$

6.3.



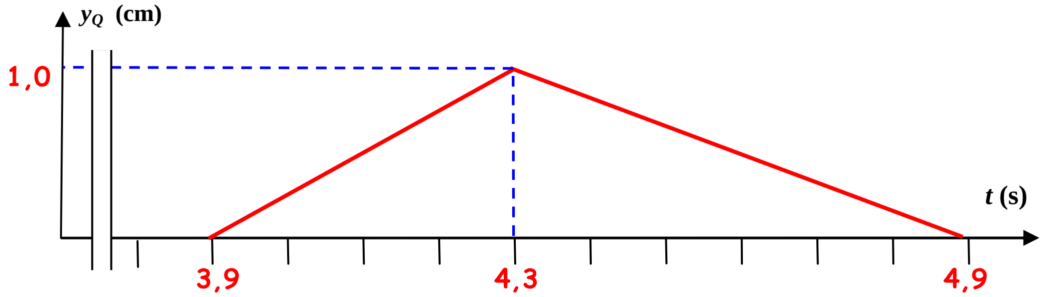
Q cesse de bouger si la queue de l'onde est en Q (abscisse 12 m), c'est à dire si le front d'onde est au point M_5 , c'est à dire a progressé de la distance $SM_5 = 15$m entre entre $t_o = 0$ et t_5 (durée t_5) . D'où :

$$t_5 = SM_5 / V = 15 / 3{,}0478 = 4{,}9 \text{ s. } \mathbf{t_5 = 4{,}9 \text{ s}}$$

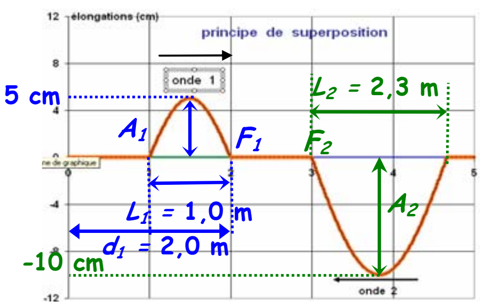
6.4. A l'aide des résultats des questions 6.1, 6.2 et 6.3, on peut construire le tableau de valeurs (t, y_Q) ci-dessous

***t* (s)**	3,9	4,3	4,9
y_Q (cm)	0	1,0	0

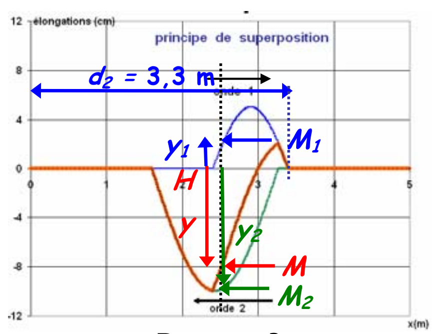
On en déduit l'allure de la courbe $y_Q = f(t)$ qui ne représente absolument pas l'allure de la corde à une date quelconque.



Correction de l'exercice 2 : superposition de deux ondes progressives



Document 1



Document 2

1. Pour les fronts des ondes F_1 et F_2 cf figure ci-avant.

2 . On lit $\mathbf{A_1 = 5 \text{ cm}}$ et $\mathbf{A_2 = 10 \text{ cm}}$.

3. τ_1 représente la durée mise par le front de l'onde 1 pour se propager de la longueur $L_1 = 1{,}0$ m(étendue de la déformation engendrée par l'onde 1) : $\tau_1 = L_1/V = 1{,}0 / 10 = 0{,}10$ s. On calcule de même τ_2, qui représente la durée mise par le front de l'onde 2 pour se propager de $L_2 = 2{,}3$ m (cf figure) : $\tau_2 = L_2/V = 2{,}3 / 10 = 0{,}23$ s.

$$\mathbf{\tau_1 = 0{,}10 \text{ s}} \text{ et } \mathbf{\tau_2 = 0{,}23 \text{ s}}$$

4 . Dans le document 1, le front d'onde de l'onde 1 s'est propagé d'une distance $d_1 = 2{,}0$ m depuis l'extrémité gauche de la corde: donc la date du document 1 est : $t_1 = d_1/V = 2{,}0 / 10 = 0{,}20$ s. $\mathbf{t_1 = 0{,}20 \text{ s}}$

Dans le document 2, le front d'onde de l'onde 1 s'est propagé d'une distance $d_2 = 3{,}3$ m depuis l'extrémité gauche de la corde: donc $t_2 = d_2/V = 3{,}3 / 10 = 0{,}33$ s. $\mathbf{t_2 = 0{,}33 \text{ s}}$

5. Voir position de M sur le document 2 : $y = \overline{HM} = -8{,}0$ cm.

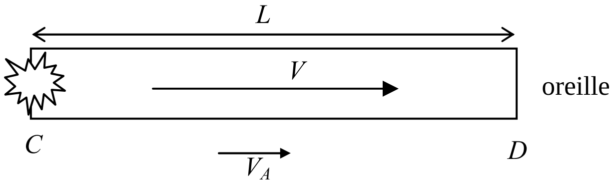
6. Sur la figure on a mis en évidence les points M_1 et M_2 qui seraient les position de M si l'onde 1 ou l'onde 2 existaient seule. Les élongations correspondantes sont :

$$y_1 = \overline{HM_1} = +2{,}0 \text{ cm et } y_2 = \overline{HM_2} = -10 \text{ cm}$$

7 On constate que $y = y_1 + y_2$ (-8 = +2 -10). Cette relation traduit **le principe de superposition**.

Correction de l'exercice 3 : ondes dans un métal

1. Onde longitudinale.
2. $\Delta t = \tau_A - \tau$ avec :



- τ_A : retard de la perturbation sonore dans l'air en D par rapport à la perturbation sonore imposée en C dans l'air métal par le coup.
- τ : retard de la perturbation sonore dans le métal en D par rapport à la perturbation sonore imposée dans le métal en C par le coup.

$\tau_A > \tau$ car la perturbation sonore dans l'air parvient à l'oreille après celle qui se propage dans le métal , car la célérité du son dans le métal est plus grande que la célérité du son dans l'air.

D'après la définition de la célérité on a : $\tau_A = L/V_A$ et $\tau = L / V$.

D'où $\boldsymbol{\Delta t = L\,(1/ V_A - 1 / V)}$

3. Application numérique : $\boldsymbol{L = \Delta t . V_A . V/(V - V_A)}$ $\approx$ 3,6 m. **L = 3,6 m.**

Correction de l'exercice 4 : ondes circulaire à la surface de l'eau

1. L'onde est circulaire car la célérité est la même dans toutes les direction à la surface de l'eau (cela à condition que la profondeur soit la quasiment même au voisinage du point d'impact du caillou).
2. Transversale

3. a. Le rayon r du front d'onde est proportionnel à t (retard). Donc $r = K\,t$. D'après la définition de la célérité on donc :

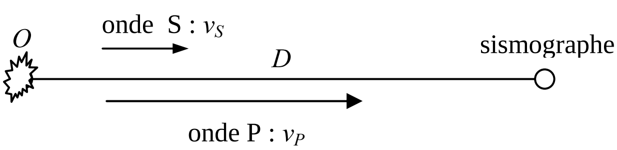
$$V = r/t = K = 0{,}20 / 0{,}50 = \mathbf{0{,}40\ m.s^{-1}}.$$

3. b. $r' = V\,t' =$ **1,2 m**.

3.c. $t_M = d/V =$ 1,50 / 0,40 $\approx$ **3,8 s.**

Correction de l'exercice 5 : ondes sismiques

Le raisonnement est le même que dans l'exercice 1 où l'onde P correspond à la perturbation sonore dans l'acier et où l'onde S correspond à la perturbation sonore dans l'air. On en déduit donc par analogie :

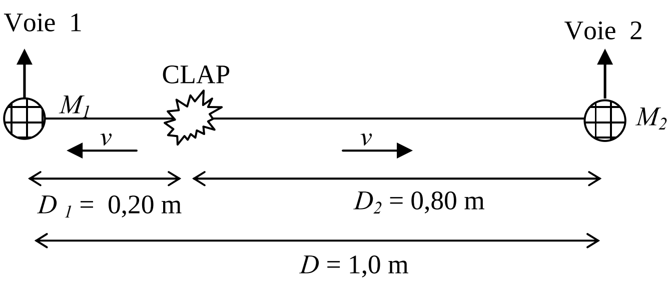


$D = \Delta t . v_S . v_P /(v_P - v_S)$ avec Δt = 3,0 min.

On trouve : $\boldsymbol{D \approx 1{,}9.10^3}$ **km**

Correction de l'exercice 6 : clap sonore

1. L'oscillogramme de la voie 1 (CH1) étant le plus à gauche, c'est le microphone M_1 qui détecte le signal en premier : donc M_1 est plus proche du lieu du clap que M_2, d'où le schéma de la situation ci-contre.



Calcul du retard $\boldsymbol{\tau}$: le retard τ demandé est le retard relatif de la perturbation sonore parvenant en M_2 par rapport à celle parvenant en M_1 : c'est aussi la différence entre τ_2 et τ_1, respectivement, retards de la perturbation sonore en M_2 et en M_1 par rapport à celle engendrée par le clap sonore. On a donc :

$$\tau = \tau_2 - \tau_1 = D_2 /v - D_1/ v = (D_2 - D_1) / v$$

$$\tau \approx 1{,}8.10^{-3}\ \text{s} = 1{,}8\ \text{ms}.$$

Vitesse de balayage ou sensibilité horizontale. Le décalage entre les deux oscillogrammes de la figure du haut, qui correspondent à la situation présente est de 3 divisions et correspond donc à un retard relatif de 1,8 ms.

On en déduit une sensibilité horizontale de 0,6 ms/DIV (1,8/3).

2. Le microphone le plus proche du lieu du clap est encore M_1 car là encore c'est la voie 1 qui détecte le signal en premier.

L'inconnue est maintenant l'une des distances D_1 ($D = D_1 + D_2$).

On encore dans cette situation : $D_1 < D_2$.

On donc comme précédemment : $\tau = (D_2 - D_1)/\ v = (D - 2\,D_1)/v$. On en déduit : $\boldsymbol{D_1 = (D - v\,\tau)/2}$.

Détermination de τ : le décalage entre les deux oscillogrammes est N = 6,0 DIV. Comme une division représente 200 µs (sensibilité horizontale de 200 µs/ DIV) on en déduit un retard τ= 200 x 6,0 = 1200 µs = $1{,}2.10^{-3}$ s.

D'où D_1 = (1,0 – 340 x $1{,}2.10^{-3}$) / 2 ≈ 0,30 m . **D_1 ≈ 0,30 m.**

Correction de l'exercice 7 : mesure historique de la célérité du son ; influence de la compressibilité et de l'inertie sur la célérité du son.

1. La durée τ mise par la perturbation sonore pour parvenir au bateau muni du cornet acoustique.

2. L'expérimentateur doit voir l'éclair pour savoir à quel instant la perturbation a été émise, déclencher son chronomètre à cet instant et l'arrêter au moment où il percevra la perturbation sonore pour mesurer τ. La célérité de la lumière étant d'environ $3{,}0.10^{8}$ m.s^{-1} elle est environ 2.10^{5} fois plus grande que celle du son dans l'eau ($3{,}0.10^{8}/1{,}5.10^{3}$) : on peut donc négliger la durée de propagation de la lumière jusqu'à l'œil de l'observateur devant la durée τ et l'expérimentateur muni du cornet acoustique commet donc une erreur négligeable en déclenchant son chronomètre au moment il aperçoit l'éclair.

3. $\tau = L/v$ où L est la distance séparant les deux bateaux. Numériquement : **τ ≈ 8,7 s**

4. La célérité du son dans l'air étant plus petite que celle de l'eau, la perturbation sonore dans l'air mettre plus de temps pour parvenir au cornet acoustique placé dans l'air : donc τ augmente.

5. a. La masse volumique.

5.b. Le Pa^{-1}.

5.c. Pour une augmentation de pression donnée ΔP appliquée à un volume V donné de fluide, un fluide est d'autant plus compressible que la diminution de volume - ΔV est plus grande : on en déduit donc que plus le fluide est compressible, plus χ est plus grand (car - ΔV est au numérateur dans la relation de définition de χ, et V et ΔP sont fixés). Le coefficient χ caractérise bien l'aptitude du fluide à être comprimé.

5d. Dans la relation théorique donnant v, le coefficient de compressibilité χ (qui caractérise la compressibilité du fluide cf question 5.c.) et la masse volumique ρ (qui caractérise son inertie) sont au dénominateur : il en résulte que la célérité est une fonction décroissante de la compressibilité et de l'inertie ce qui signifie physiquement que plus un fluide est compressible et inerte et plus la célérité est faible et que plus l'onde sonore a du mal à s'y propager.

5.e. En élevant au carré la relation théorique donnant v on obtient $v^2 = \dfrac{1}{\chi\,\rho}$. On en déduit : $\chi = \dfrac{1}{\rho\, v^2}$

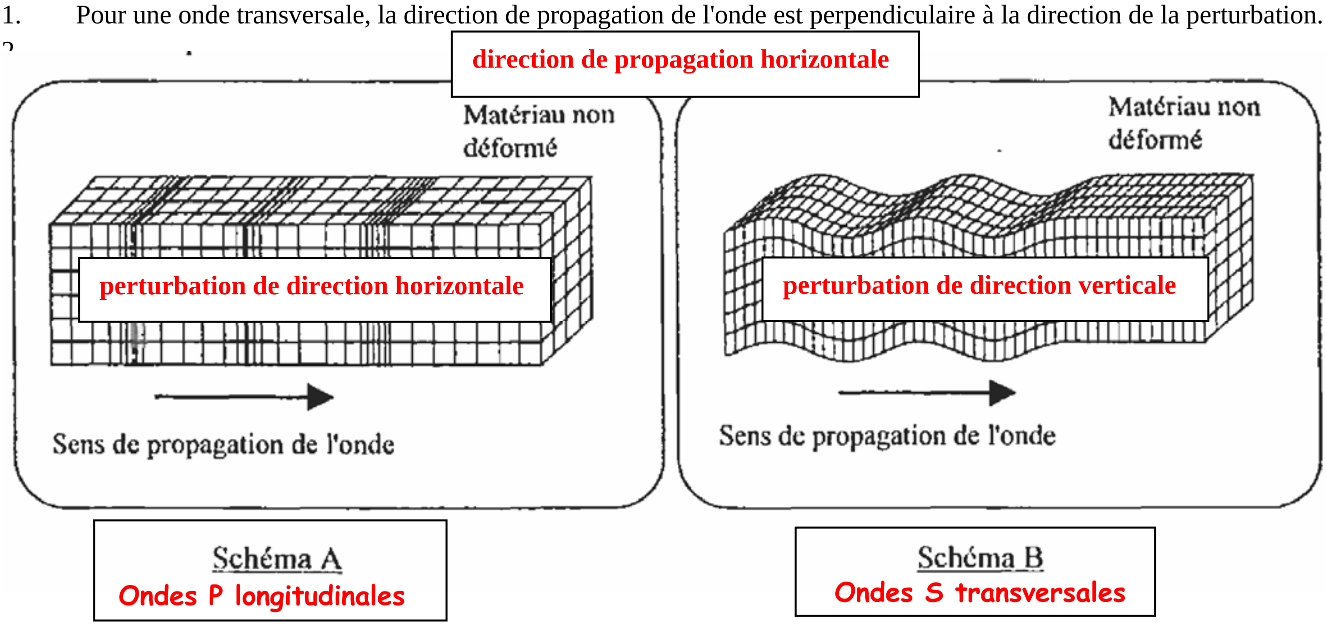
Il vient alors : $$\frac{\chi_{eau}}{\chi_{air}} = \frac{\rho_{air}\,v^2_{air}}{\rho_{eau}\,v^2_{eau}} = \left(\frac{\rho_{air}}{\rho_{eau}}\right) \text{x} \left(\frac{v_{air}}{v_{eau}}\right)^2 = \frac{1}{10^3} \text{x} \left(\frac{340}{1{,}5.10^3}\right)^2 \approx 5.10^{-5}$$

La valeur de ce rapport montre que χ_{eau} est beaucoup plus petit que χ_{air}, ce qui est bien cohérent avec le fait que l'eau est beaucoup moins compressible que l'air.

Correction de l'exercice 8 Ondes sismiques

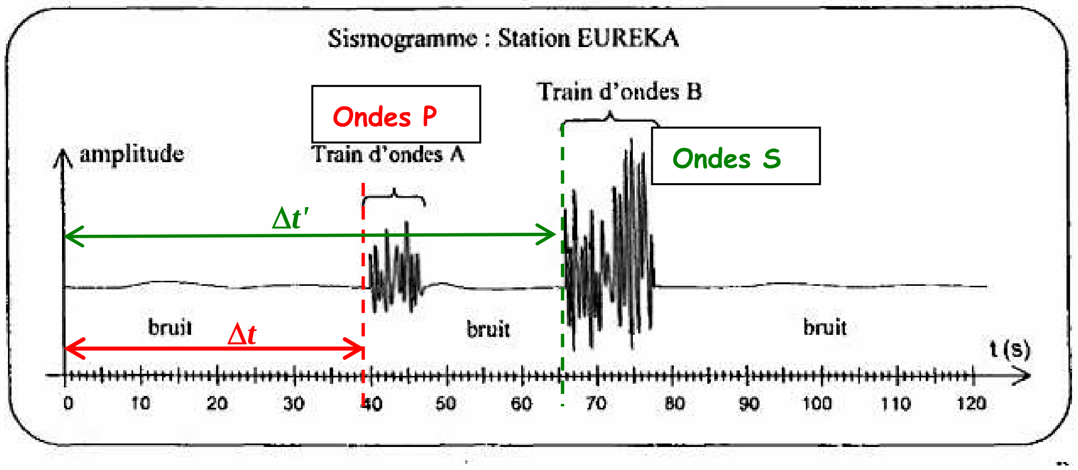
1.1. Pour une onde transversale, la direction de propagation de l'onde est perpendiculaire à la direction de la perturbation.

1.2



Indiquer le schéma correspondant à chaque type d'onde.

2.1. D'après le texte, les ondes P sont plus rapides que les ondes S. C'est donc les ondes P qui sont détectées en premier : **les ondes P correspondent donc au train d'ondes A** détecté en premier (dès $t = 40$ s) à la station EUREKA et par conséquent **le train d'onde B correspond à des ondes S**.



2.2. Le séisme est détecté à la station EUREKA par le passage des ondes P, les plus rapides, à la date $t_2 = 8$ h 15 min 20 s. La date du début du séisme est donc $t_1 = t_2 - 40 = 8$ h 15 min 20 s – 40 s = **8 h 14 min 40 s**.

2.3. $V_P = \frac{d}{\Delta t}$ où d est la distance séparant l'épicentre du séisme de la station EUREKA.

Donc : $d = V_P . \Delta t \approx 10 \times 40 \approx$ **$4{,}0.10^2$ km**

2.4. Pour parcourir la distance d, les ondes S ont mis une durée $\Delta t' \approx 66$ s (lecture sur le sismogramme). La célérité moyenne des ondes S vaut donc : $V_S = \frac{d}{\Delta t'} \approx 4{,}0.10^2 / 66 \approx$ **$6{,}1$ km.s^{-1}**

Exercice 9 Sonar

1. La durée t est la durée d'un aller et retour de l'onde ultrasonore, c'est à dire la durée nécessaire pour parcourir $2H$: $2\,H = V.t$.

Donc : $H = V.t/2$ /

Application numérique **: $H = 1{,}5.10^3 \times 4{,}00 / 2 = 3{,}0.10^3$ m** (on garde deux chiffres significatifs).

2. Le signal ultrasonore se scinde en deux parties :

Une partie qui se réfléchit sur le fond océanique : on appelle t_1 la durée d'un aller et retour de ce signal qui se propage alors de $2\,h_1$, h_1 étant la distance qui sépare le sous-marin de la surface, c.a.d sa profondeur.

La deuxième partie qui se réfléchit sur la surface de l'eau : on appelle t_2 la durée d'un aller et retour de ce signal qui se propage de $2\,h_2$, h_2 étant la distance à laquelle le sous-marin de trouve du fond oxcéanique.

On a : $2\,h_1 = V.\,t_1$ (1) et $2\,h_2 = V.\,t_2$ (2)

L'écho provenant de la surface étant en retard par rapport à celui provenant du fond, on a $h_1 > h_2$.

Par différence membre à membre de (1) et (2) , il vient : : $2\,(h_1 - h_2) = V.(t_1 - t_2) = V.\,\tau$

Donc : $h_1 - h_2 = V.\,\tau/2$ (3) . Or $h_1 + h_2 = H$ (4)

Par addition membre à membre entre (3) et (4), il vient : $2h_1 = H + V.\tau/2$.

Donc : **$h_1 = H/2 + V.\tau/4$**

Application numérique : $h_1 = 3{,}0.10^3 / 2 + 1{,}5.10^3 \times 1{,}60 / 4 = 1{,}5.10^3 + 0{,}60.10^3 = 2{,}1.10^3$ m. **$h_1 = 2{,}1.10^3$ m**