Propriétés des ondes

- On appelle **onde mécanique** progressive la propagation d'une perturbation dans un **milieu matériel**.

  Exemples d'ondes mécaniques :

Vagues : ondes se propageant à la surface de l'eau

Son : ondes se propageant dans l'air

Séisme : ondes dans la croute terrestre

Exemples d'ondes non mécaniques :
Ondes électromagnétiques (ondes radio, lumière, UV, infrarouge, RX, Rγ, micro ondes) : se propagent dans le vide ; ne nécessitent pas de suport matériel

- Direction de propagation : une onde se transmet de proche en proche à partir de la source dans le milieu matériel, dans toutes les directions qui lui sont offertes. Elle est à :
  - une dimension si elle se propage dans une seule direction (ex : le long d'une corde)
  - deux dimensions si elle se propage dans un plan (surface de l'eau)
  - Trois dimensions si elle se propage dans tout l'espace (le son dans l'air)

- L'onde est « **transversale** » lorsque la direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation (ex : à la surface de l'eau, le long d'une corde, ondes sismiques S et L)

exemple : ondes à la surface de l'eau : l'eau monte verticalement, perpendiculairement à la direction de propagation de la vague (horizontale)

L'onde est « **longitudinale** » lorsque la direction de la perturbation est parallèle à la direction de propagation (ex : le long d'un ressort, le son, les ondes sismiques P)

exemple : le son : l'air subit des compression et dilatation dans la même direction que la direction de propagation de l'onde

- La vitesse de propagation est appelée « **célérité** » : elle correspond à un déplacement d'une perturbation ; il ne s'agit pas d'un déplacement global de matière

25 À quelle distance se trouve l'orage ?

COMPÉTENCES Connaître, analyser, réaliser, valider.

Pour savoir à quelle distance en kilomètre un orage est localisé, une astuce est de compter les secondes entre l'éclair et le tonnerre, puis de diviser par trois. Justifier le calcul proposé.

Notion issue des connaissances : $v = \frac{d}{\Delta t}$

avec : d : distance parcourue et Δt durée de parcours

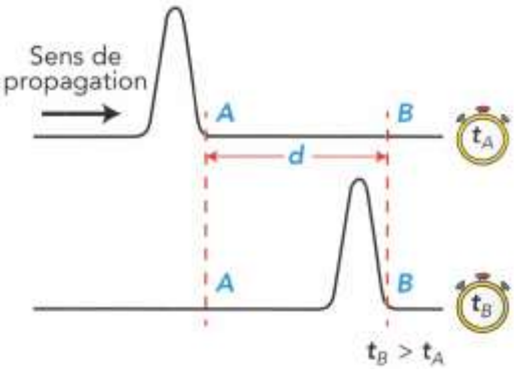
D'où $d = v \times \Delta t$

Si on considère que la vitesse de propagation de la lumière est suffisamment grande pour que son émission (éclair) et la perception par un observateur éloigné de quelques kilomètres sont simultanés, et que la vitesse du son dans l'air est d'environ

$v = 330\ m.s^{-1} = 0{,}33\ km.h^{-1} = \frac{1}{3}\ km.h^{-1}$

Alors $d = \frac{1}{3} \times \Delta t = \frac{\Delta t}{3}$

- Tout point M du milieu de propagation d'une onde subit la même perturbation que la source S avec un retard.



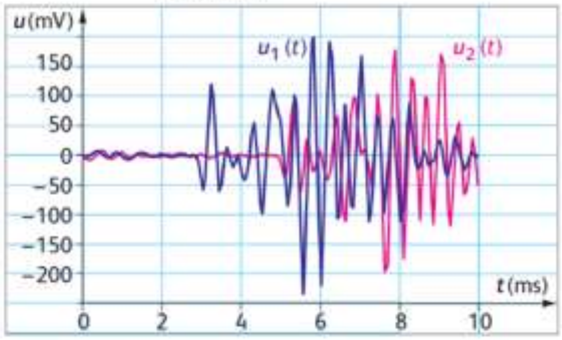
Exemple : le point B reçoit la même perturbation que le point A avec un retard :

$$t_B - t_A = \tau = \frac{d}{c}$$

26 Mesure de la célérité du son

COMPÉTENCES S'approprier, analyser, réaliser.

À l'aide d'un clap de cinéma, on produit un son bref devant deux micros alignés avec la source.
Ces micros sont séparés d'une distance $d = 68$ cm et reliés à un système d'acquisition, grâce auquel on obtient l'enregistrement ci-dessous.



Déterminer la célérité v du son dans les conditions de cette expérience.

Interprétation des graphiques :

- Le micro 1 reçoit le signal à la date $t_1 = 3\ ms$; le micro2 reçoit le signal à la date $t_2 = 5\ ms$
- le micro 2 reçoit le signal après le micro 1. Il est donc situé plus loin du clap que le micro 1, à une distance $d = 68\ cm$ du micro 1.
- Le retard τ avec lequel le micro 2 reçoit le signal est $\tau = t_2 - t_1 = 5 - 3 = 2\ ms$

Notion issue des connaissances : $v = \frac{d}{\tau}$

A.N. $v = \frac{0{,}68}{2\times10^{-3}} = 3 \times 10^2\ m.s^{-1}$

29 ★ Le sonar du dauphin

COMPÉTENCES Analyser, réaliser, valider.

Le dauphin dispose d'un sonar très efficace. Il émet des clics ultrasonores lors de ses déplacements. Ces ondes réfléchies par des obstacles sont interprétées par son cerveau.
Un dauphin, effrayé par une orque, s'enfuit avec une vitesse de valeur $v_A = 20\ m\cdot s^{-1}$ et se dirige droit vers un navire de pêche immobile en émettant une impulsion ultrasonore, alors qu'il se trouve à $d = 100$ m du navire.

a. Si le dauphin continue à nager droit sur le navire, au bout de quelle durée Δt_1 va-t-il le percuter ?

b. La célérité de l'onde ultrasonore dans l'eau est égale à $v_B = 1{,}5 \times 10^3\ m\cdot s^{-1}$. On suppose que la position du dauphin est restée quasiment la même entre l'émission et la réception de l'onde ultrasonore.
Au bout de quelle durée Δt_2 le dauphin reçoit-il l'écho ?

c. Le dauphin peut-il éviter le navire, sachant que son temps de réaction est de 500 ms ?

a. Calcul de la durée Δt_1 : $\Delta t_1 = \frac{d}{v_A}$

A.N. $\Delta t_1 = \frac{100}{20} = 5{,}0s$

b. Calcul de la durée Δt_2 : $\Delta t_2 = \frac{2d}{v_B}$

A.N. $\Delta t_1 = \frac{2\times100}{1{,}5\times10^3} = 1{,}3 \times 10^{-1}s$

Remarque : pendant ce temps, le dauphin a avancé de : $d' = v_A \cdot \Delta t_2$

A.N. $d' = 20 \times 0{,}13 = 2{,}6m$

(On a cependant considéré dans l'énoncé que la position du dauphin est restée la même).

c. On peut remarquer que (0,500+0,13)s < 5s. Le dauphin peut bien éviter le navire.

35 ★★ Séisme

COMPÉTENCES S'approprier, réaliser, analyser.

Lors d'un séisme, le sol est mis en mouvement par des ondes de différentes natures, qui occasionnent des secousses plus ou moins violentes et destructrices en surface.

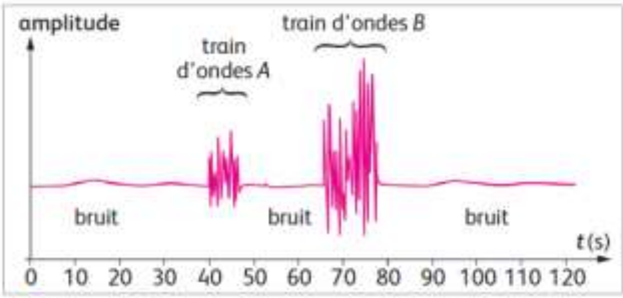
On distingue :

– les ondes *P*, les plus rapides, se propageant dans les solides et les liquides ;

– les ondes *S*, moins rapides, ne se propageant que dans les solides.

L'enregistrement de ces ondes, par des sismographes à la surface de la Terre, permet de déterminer l'épicentre du séisme (point de la surface de la Terre à la verticale du lieu de naissance de la perturbation).

Un séisme s'est produit à San Francisco (nord de la Californie) en 1989. La figure ci-dessous représente le sismogramme obtenu lors de ce séisme à la station Eureka située au nord de la Californie. L'origine du repère ($t = 0$ s) a été choisie à la date du début du séisme à San Francisco. Le sismogramme présente deux trains d'ondes repérés par *A* et *B*.



Sismogramme obtenu lors du séisme à la station Eureka.

L'étude de la propagation de différents types d'ondes sismiques permet de construire des « modèles » afin de prévoir le déclenchement d'un séisme. Étudions les ondes *P* et *S*.

a. À quel type d'onde (*S* ou *P*) correspond chaque train d'ondes ? Justifier votre réponse à l'aide de l'énoncé.

b. Sachant que le début du séisme a été détecté à Eureka à 8 h 15 min 20 s TU (Temps Universel), déterminer l'heure TU (h min s) à laquelle le séisme s'est déclenché à San Francisco (épicentre du séisme).

c. Sachant que les ondes *P* se propagent à une célérité moyenne de 10 $km \cdot s^{-1}$, calculer la distance *d* séparant l'épicentre du séisme de la station Eureka.

d. Calculer la célérité *v* moyenne des ondes *S*.

Interprétation des documents :

Foyer (source) des ondes sismiques : à la verticale en dessous de San Francisco (= épicentre)

Sismographe situé à Eurêka

Sismogramme : t=0 correspond à la date à laquelle les ondes sont ressenties à l'épicentre (San Francisco) ; les premières ondes sont perçues avec un certain retard à Eurêka (après t=0)

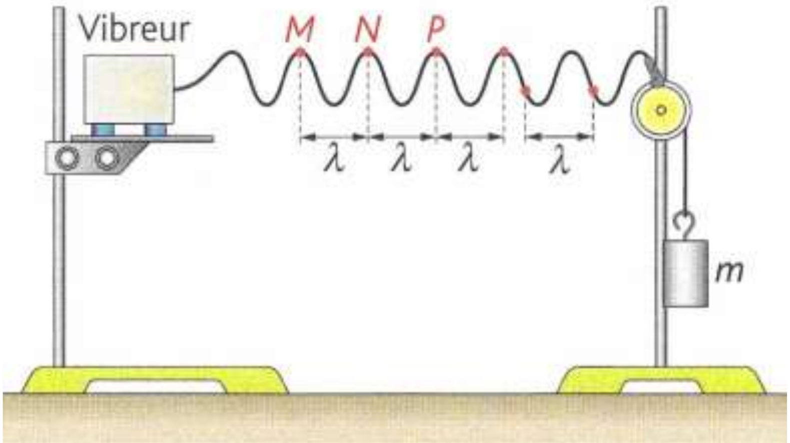
a. Le train d'onde A correspond aux ondes P (« les plus rapides » arrivent en premier)
   Le train d'onde B correspond aux ondes S (arrivent avec un certain retard à San Francisco)
b. Les premières secousses du séisme sont ressenties à San Francisco $\tau_P = 40\ s$ avant leur perception au niveau de Eurêka, soit à 8h 14min 40s TU
c. Distance entre San Francisco (épicentre) et Eurêka :
   $d = v_P \times \tau_P$ A.N. $d = 10 \times 40 = 4{,}0 \times 10^2\ km$ (environ 400 km)
d. Vitesse des ondes S :
   $v_S = \frac{d}{\tau_S}$ A.N. $v_S = \frac{4{,}0\times 10^2}{65} = 6{,}2\ km.s^{-2}$

- L'onde est périodique si la perturbation se reproduit identiquement à elle-même à intervalles de temps réguliers.

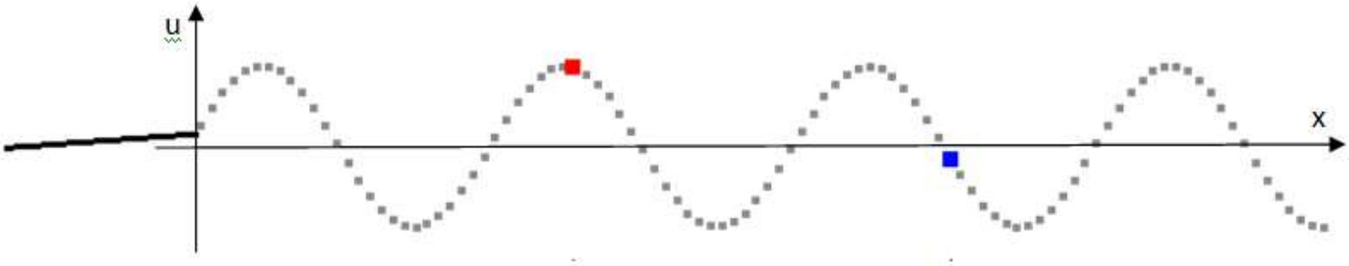
- C'est la source qui impose **la période temporelle T**.
  Chaque point qui reçoit la perturbation vibre avec la même période que la source.
  Rappel : relation période – fréquence : $F = \frac{1}{T}$

- Si la source vibre sinusoïdalement en fonction du temps, alors l'onde est dite périodique sinusoïdale.

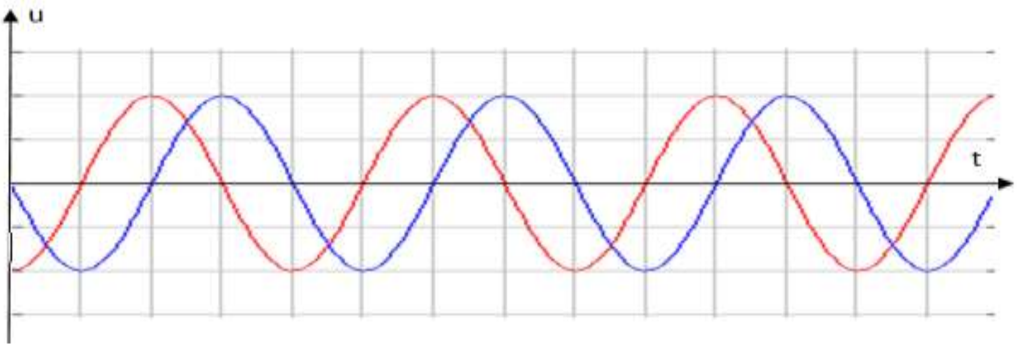
- On définit **la période spatiale λ** ou « longueur d'onde » comme étant la distance minimale qui sépare 2 points qui sont dans le même état vibratoire (« vibrent en phase »)



- Il ne faut pas confondre :
  - La courbe représentative des la corde à un instant t : $u_t(x)$; cette courbe permet de mesurer la période spatiale λ

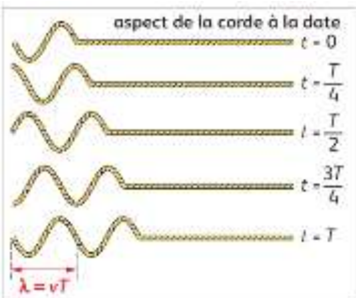


  - La courbe représentant l'effet du passage de la perturbation sur la position d'un point en fonction du temps : ci-dessous $u_{Rouge}(t)$ et $u_{Bleu}(t)$; cette courbe permet de mesurer la période temporelle T



- La relation liant T et λ :
  La longueur d'onde λ est la distance que parcourt la perturbation pendant 1 période.
  D'où $\lambda = v\,.T$ $(distance = vitesse \times durée\ de\ parcours)$

  On peut aussi écrire, avec $T = \frac{1}{F}$: $\lambda = \frac{v}{F}$



16 Exploiter des relations

Compléter le tableau ci-dessous.

Onde périodique sinusoïdale dans l'air	Fréquence f	Période T	Longueur d'onde λ
ultrason		25 µs	
note La_3	440 Hz		
micro-onde			5,0 cm

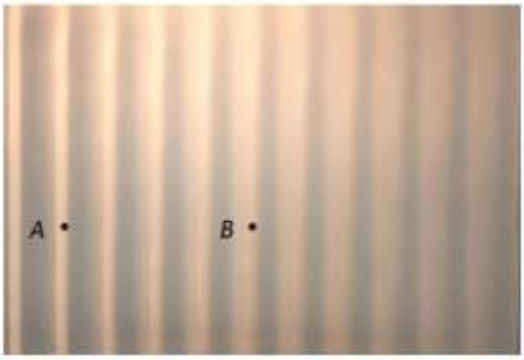
	Fréquence f	Période T	Longueur d'onde λ
Ultrason	$F = \frac{1}{T}$ $F = \frac{1}{25 \times 10^{-6}} = 4{,}0 \times 10^{3} Hz$	25µs	$\lambda = v \cdot T$ $\lambda = 340 \times 25 \times 10^{-6}$ $\lambda = 8{,}5 \times 10^{-3} m$
Note La3	440Hz	$T = \frac{1}{F}$ $T = \frac{1}{440} = 2{,}27 \times 10^{-3} s$	$\lambda = \frac{v}{F}$ $\lambda = \frac{340}{440} = 7{,}73 \times 10^{-1} m$
Micro-onde	$F = \frac{v}{\lambda}$ $F = \frac{340}{5{,}0 \times 10^{-2}} = 6800 Hz$	$T = \frac{\lambda}{v}$ $T = \frac{5{,}0 \times 10^{-2}}{3{,}00 \times 10^{8}} = 1{,}7 \times 10^{-10} s$	5,0 cm

Remarques :

- les ultrasons et les sons se propagent dans l'air à la vitesse de 340m.s^{-1}.
- Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'air (comme dans le vide) à la vitesse de 3,00×10^{8} m.s^{-1}

18 Effectuer un calcul

Le vibreur d'une cuve à ondes crée à la surface de l'eau une onde progressive sinusoïdale. Pour observer le phénomène, on réalise une photographie de l'écran dépoli de la cuve à ondes.



Échelle : à la surface de l'eau, les points A et B sont distants de 4,0 cm.

a. Calculer avec précision la longueur d'onde λ de l'onde progressive sinusoïdale.

b. Cette onde a été produite par un vibreur animé à la fréquence f = 15 Hz. En déduire sa période.

c. Calculer la célérité de cette onde.

a. Les points A et B sont séparés de 4 longueurs d'ondes.
La longueur d'onde λ = d/4 soit λ = 1,0 cm

b. Période : $T = \frac{1}{F}$ A.N.
$T = \frac{1}{15} = 6{,}7 \times 10^{-2} s$

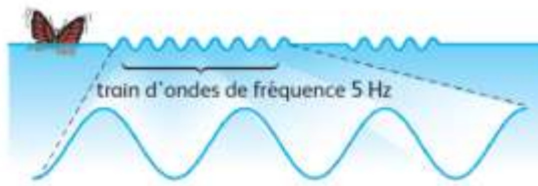
c. Célérité : $v = \lambda \cdot F$ A.N.
$v = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 15 = 1{,}5 \times 10^{-1} m.s^{-1}$
soit 15cm.s^{-1}

28 Le SOS du papillon

COMPÉTENCES S'approprier, réaliser, valider.

Un petit papillon tombé à l'eau est une proie facile pour son prédateur, le gerris. Prisonnier de la surface de l'eau, le papillon crée, en se débattant, des trains d'ondes sinusoïdales. La fréquence de battement des ailes est de 5 Hz, ce qui génère des ondes de même fréquence à la surface de l'eau.

a. Déterminer la longueur d'onde de l'onde émise par le papillon en utilisant l'agrandissement à l'échelle 2 de la surface de l'eau ci-dessous.



b. Montrer que la célérité de cette onde est de 5 cm·s⁻¹.

a. Détermination de la longueur d'onde : on mesure sur le livre la distance correspondant à 3λ : d_{livre}=5,7cm

L'échelle 2 signifie que 2cm dans le livre correspond à 1cm dans la réalité. On en déduit que la distance réelle correspondant à 3λ est

$d_{réalité}=d_{livre}/2$ A.N. $d_{réalité}$=2,9cm

D'où $\lambda = d_{réalité}/3 = 0{,}97$cm

b. Célérité des ondes : $v = \lambda \cdot F$ A.N. $v = 0{,}97 \times 5 = 4{,}9 m.s^{-1}$

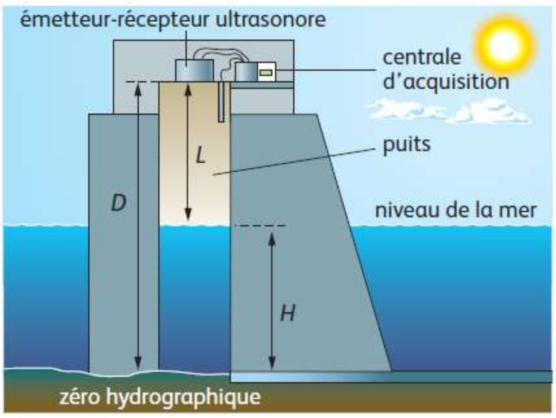
32 ★ Un marégraphe

COMPÉTENCES S'approprier, analyser, réaliser.

Depuis 1992, l'enregistrement des hauteurs des marées sur les côtes françaises se fait à l'aide de marégraphes numériques permanents, appelés MCN (marégraphes côtiers numériques).

Un MCN est équipé d'un télémètre constitué d'un émetteur et d'un récepteur d'ultrasons placés au-dessus de l'eau. Il émet des salves courtes d'ultrasons et détecte le signal réfléchi par la surface de l'eau. Le temps écoulé entre l'émission et la réception du signal est alors traduit en hauteur d'eau.

Le schéma de l'observatoire de Brest-Penfeld ci-dessous illustre ce principe.



Principe du marégraphe.

a. Exprimer la durée Δt écoulée entre l'émission et la réception d'une salve d'ultrasons, en fonction de L et v, où v désigne la célérité du son dans l'air.

b. La hauteur H de la marée est repérée par rapport à une référence appelée « zéro hydrographique ».

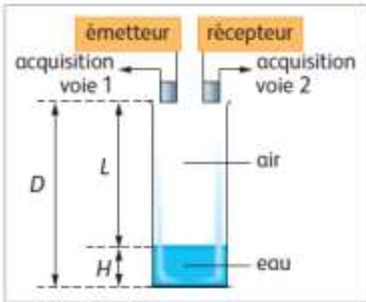
Établir l'expression de H en fonction de D, v et Δt.

c. Le télémètre est placé à 10 mètres au-dessus du zéro hydrographique. Le tableau ci-dessous donne un extrait des hauteurs de marées mesurées le mercredi 23 novembre 2016 à Fort-Mahon.

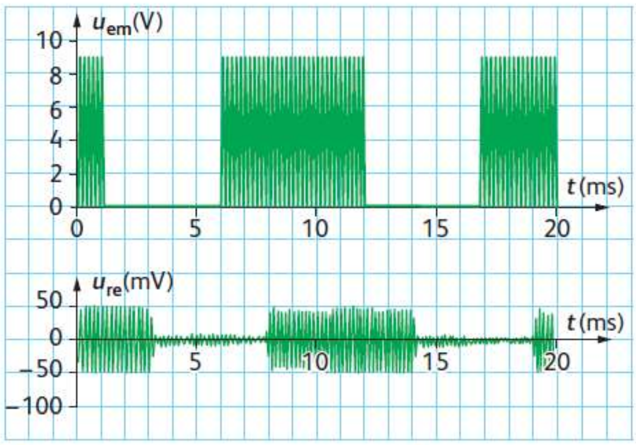
Date	Heure	Hauteur
mercredi 23/11/2016	01 h 00 06 h 49 13 h 36 19 h 25	3,09 m 7,69 m 3,23 m 7,66 m

Calculer la durée Δt_1 qui a permis de calculer la hauteur d'eau H_1 à marée basse à 13 h 36.

d. Un élève décide de mettre en œuvre, avec le matériel du lycée (une grande éprouvette de hauteur D = 43 cm, un dispositif d'acquisition, un émetteur et un récepteur d'ultrasons en mode salves), le principe du marégraphe à ultrasons. Il réalise le dispositif ci-contre.



L'enregistrement des tensions u_{em} (émetteur) et u_{re} (récepteur) apparaît sur le document ci-dessous.



Acquisition des signaux de l'émetteur et du récepteur.

Calculer la hauteur d'eau H que l'élève a versée dans l'éprouvette.

a. $\Delta t = \frac{2L}{v}$ (le signal parcourt l'aller-retour, soit 2L)

b. D'après le schéma : $H = D - L$

or $L = \frac{1}{2} v \cdot \Delta t$ d'après la relation établie en a.

d'où $H = D - \frac{1}{2} v \cdot \Delta t$

c. D'après la relation établie en b. : $\Delta t = \frac{2 \times (D - H)}{v}$

Avec D = 10m, H = 3,20m et $v = 340 m.s^{-1}$ (propagation des ondes ultrasonores dans l'air) : Δt = 40ms

d. Les enregistrements permettent de déterminer Δt : $\Delta t = t_{re} - t_{em}$ = 8,0 – 6,0 = 2,0 ms

D'après la relation établie en b : $H = 0{,}43 - \frac{1}{2} \times 340 \times 2{,}0 \times 10^{-3}$ $= 9{,}0 \times 10^{-2}$ m soit 9cm