

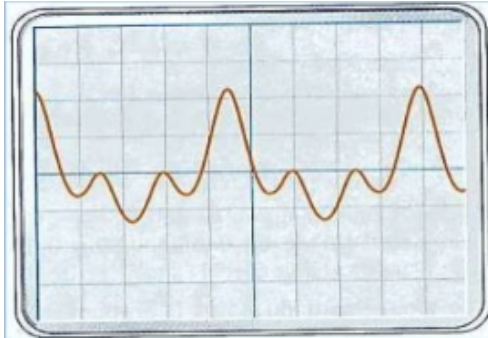
Thème 1 : ondes et signaux

Exercices

S1. Propagation d'un signal

Exercice n°1

A l'aide d'un microphone, on visualise sur la voie A d'un oscilloscope le son émis par un instrument de musique. On obtient la courbe ci-dessous



Les réglages de l'oscilloscope sont:

- Sensibilité de la voie A: 100 mV/div
- Balayage: 0,5 ms/div.

1- déterminer la période temporelle T du son .

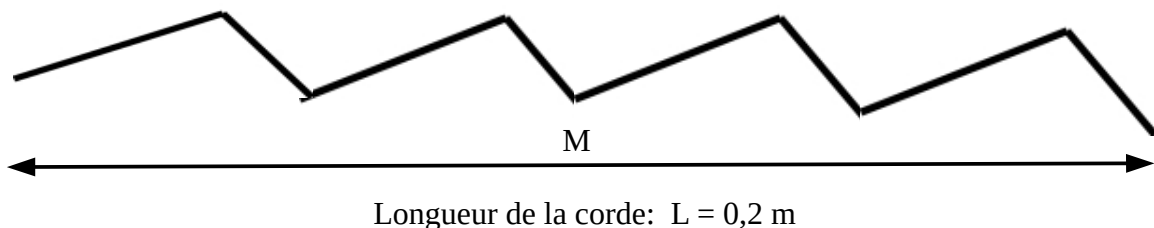
2- Déduire la longueur d'onde λ sachant que la célérité du son est 340 m.s^{-1} .

Exercice n°2

Une onde progressive périodique se propage le long d'une corde .

La figure 1 ci-dessous représente l'*allure très schématique de la corde à un instant donné*.

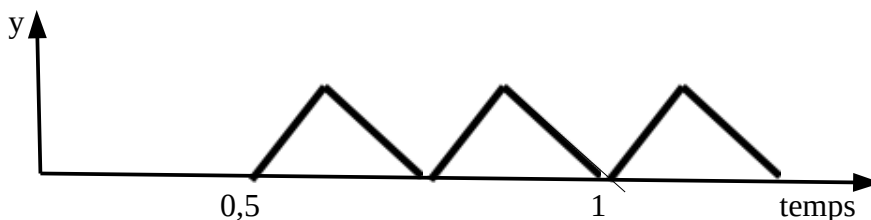
figure 1



Le point M est situé en $L/2$.

La figure 2 représente les *variations de l'élongation y du point M de la corde en fonction du temps*.

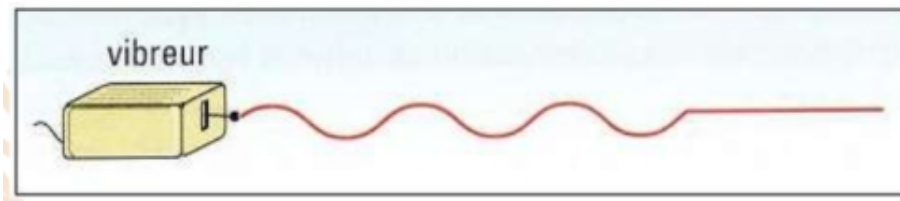
figure 2



Déterminer la période spatiale λ et la période temporelle (période) T de l'onde.

Exercice n°3

Une corde soumise à un vibreur est photographiée à l'instant $t = 0,06 \text{ s}$, le vibreur ayant commencé à fonctionner à l'instant $t = 0 \text{ s}$. La célérité des ondes le long de la corde est $v = 2,0 \text{ m.s}^{-1}$.



- 1- Calculer la fréquence et la longueur d'onde de l'onde.
- 2- Au début du fonctionnement, le vibreur s'est-il déplacé vers le haut ou vers le bas?
- 3- Représenter l'aspect de la corde à l'instant $t' = 0,08 \text{ s}$.

Exercice n°4

La figure ci-dessous est la représentation spatiale d'une onde à l'instant $t = 0 \text{ s}$. Cette onde se propage dans le sens des x croissants à la célérité $c = 20 \text{ cm.s}^{-1}$. Un capteur est situé en $x = 60 \text{ cm}$. Compléter la **figure 2 correspondant au** signal reçu par le capteur.

$y(x; t)$ représente l'amplitude (ou élongation) du signal .

$y(x; t = 0\text{s})$

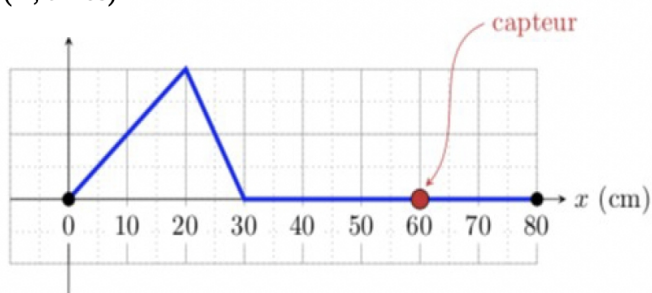


figure 1

$y(x = 60 \text{ cm} ; t)$

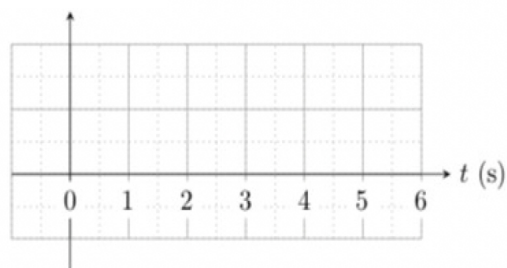
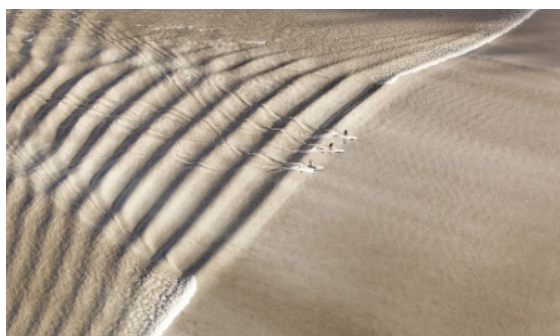


figure 2

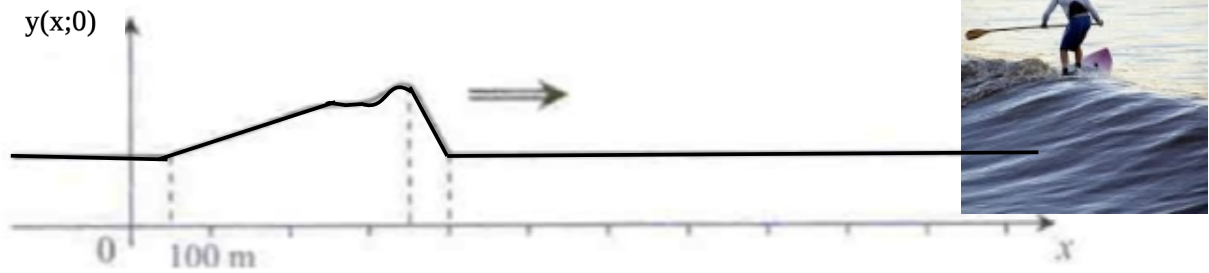
Exercice n°5: étude d'un mascaret

Un mascaret est une vague dite "solitaire" remontant un fleuve au voisinage de son estuaire (embouchure), provoquée par une interaction entre son écoulement et la marée montante.

On considère ici qu'il se déplace à la vitesse $v = 18 \text{ km.h}^{-1}$ le long d'un fleuve rectiligne, et on définit un axe (Ox) dans la direction et le sens de propagation.



A un instant $t_0 = 0$ s le profil de niveau de l'eau a l'allure suivante :



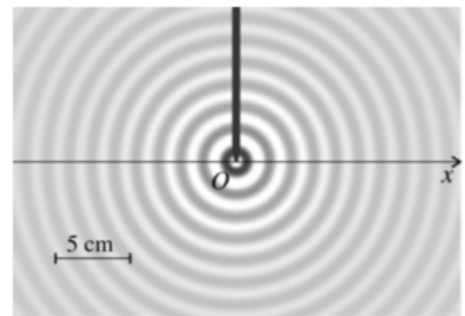
- 1 - Décrire l'onde le plus complètement possible.
- 2 - Faire un schéma du profil du niveau du fleuve à $t = 1,0$ min, en supposant que l'onde se propage sans déformation.
- 3- Un surfeur attend avec sa planche à l'abscisse $x_s = 2,2$ km. A quel instant va-t-il recevoir la vague ?
- 4- Un détecteur fixe, enregistrant la hauteur de l'eau en fonction du temps, est placé à l'abscisse $x_d = 1,6$ km. Dessiner l'allure des variations $y(x_d, t)$. On précisera les abscisses correspondant au début et à la fin du passage de la déformation.

Exercice n°6

La figure ci-dessous représente la surface d'une cuve à ondes éclairée en éclairage stroboscopique bien accordé. L'onde est générée par un vibreur de fréquence $f = 20$ Hz. L'image est claire là où la surface de l'eau est convexe (en bosse) et foncée là où elle est concave (en creux). Ainsi, le niveau de gris indique la hauteur d'eau dans la cuve.

L'échelle est indiquée sur la figure.

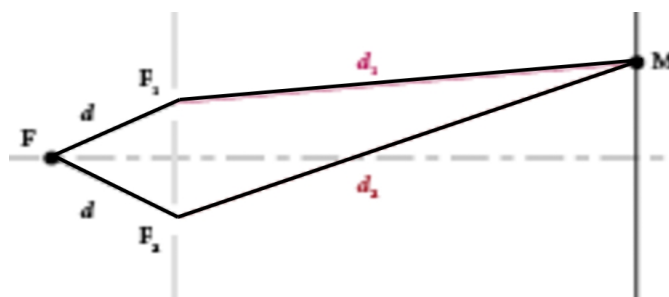
- 1 - En mesurant sur la figure, déterminer la longueur d'onde.
- 2 - En déduire la célérité de l'onde.



Exercice n°7

On réalise une expérience d'interférences lumineuses à l'aide de deux fentes fines parallèles F_1 et F_2 distantes d'une longueur $a = 0,20$ mm. Une source primaire F , située à égale distance de F_1 et F_2 , émet une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,64$ μm .

On observe la figure d'interférences sur un écran placé parallèlement aux fentes, à une distance $D = 1,0$ m. Soit M un point quelconque de cet écran, situé respectivement aux distances d_1 et d_2 des fentes F_1 et F_2 .



1. Rappelez les deux conditions indispensables que doivent vérifier les deux sources secondaires F_1 et F_2 pour permettre l'observation d'interférences lumineuses stables sur l'écran.
2. Soit $\delta = d_2 - d_1$ la différence de marche au point M. Déterminez la condition théorique sur δ (en fonction de λ et d'un entier $k \in \mathbb{Z}$) pour que le point M appartienne à :
 - a) une frange brillante (interférences constructives) ;
 - b) une frange sombre (interférences destructives).
3. Pour chacun des points M_1 , M_2 et M_3 caractérisés par les valeurs de δ ci-dessous, calculez le rapport δ/λ puis déduisez-en la nature de la frange observée en ce point (brillante ou sombre, en précisant l'ordre k) :
 - a) $\delta_1 = 0 \text{ } \mu\text{m}$;
 - b) $\delta_2 = 3,20 \text{ } \mu\text{m}$;
 - c) $\delta_3 = 2,24 \text{ } \mu\text{m}$.

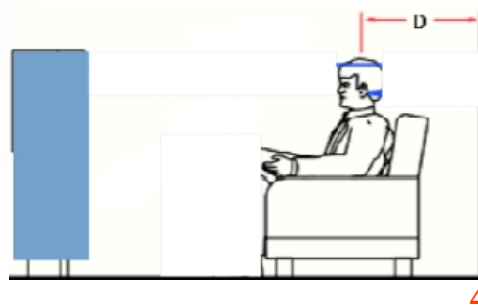
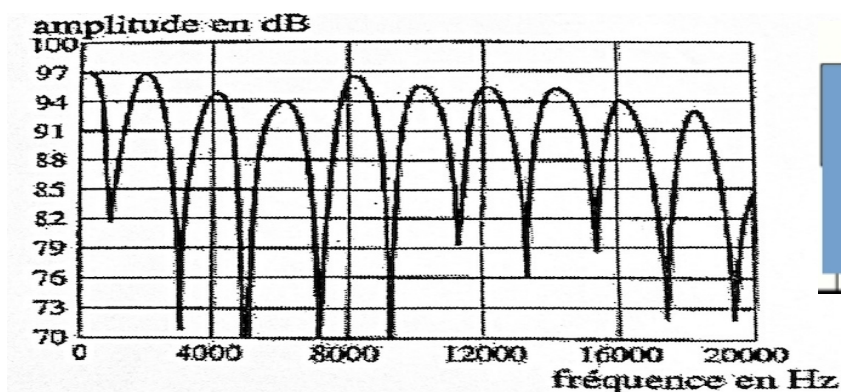
..

Exercice n°8 *

Lors de l'écoute d'un son émis par une enceinte hifi, l'onde sonore atteint l'oreille de l'auditeur par deux trajets : un trajet direct et un trajet réfléchi sur le mur situé à la distance D derrière lui. On note $c = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ la vitesse du son dans l'air.

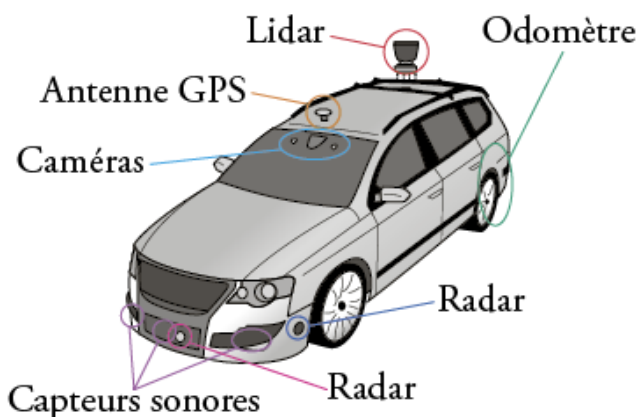


1. En vous appuyant sur un schéma, exprimez en fonction de D la différence de marche δ entre l'onde réfléchie et l'onde directe au niveau de l'oreille.
2. Expliquez pourquoi certaines fréquences subissent une atténuation de leur amplitude au niveau de l'écoute.
3. Exprimez ces fréquences d'extinction f_p en fonction de D , c et d'un entier p . Quelle condition doit respecter la distance D pour qu'aucune de ces fréquences ne se trouve dans le domaine audible (20 Hz–20 kHz) ?
4. Expliquez qualitativement pourquoi l'éloignement de l'auditeur du mur ou l'ajout d'un revêtement absorbant permet de réduire cet effet indésirable.
5. Un microphone enregistre le signal sonore provenant d'un haut-parleur émettant un bruit blanc. Le spectre obtenu présente une allure dite en « peigne ». À partir du premier creux observable sur le graphique fourni, calculez la distance D .



Exercice n°9

« Sans les mains ! C'est de cette manière que vous pourrez, peut-être très bientôt, conduire votre prochaine voiture... » Cette phrase évoque ici la voiture autonome dont la commercialisation a été lancée aux alentours de 2020. Cette voiture « se conduira seule », car elle aura une perception globale de son environnement grâce à la contribution de plusieurs capteurs : télémètre laser à balayage (LIDAR*), caméra, capteurs à infrarouge, radars, capteurs laser, capteurs à ultrasons, antenne GPS...



* LIDAR Light Detection And Ranging. Un odomètre mesure la distance parcourue par la voiture.

Actuellement, en France, la conduite autonome niveau 3 est possible mais dans des conditions bien précises.

5

Données Célérité du son dans l'air à 20 °C : $v = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
Célérité de la lumière dans le vide ou dans l'air : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. PROPRIÉTÉS DE QUELQUES CAPTEURS PRÉSENTS DANS LA VOITURE AUTONOME

1 - Compléter le tableau de l'annexe en précisant pour chaque capteur le type d'ondes utilisées.

2 - A l'aide du tableau ci-dessous, déterminer le nom de la bande d'ondes radio utilisées par le capteur radar de l'ACC. Justifier votre réponse à l'aide d'un calcul.(voir documents).

Nom de bande d'ondes radio	Longueurs d'onde dans le vide
HF	10 m – 100 m
L	15 cm – 30 cm
W	2,7 mm - 4,0 mm

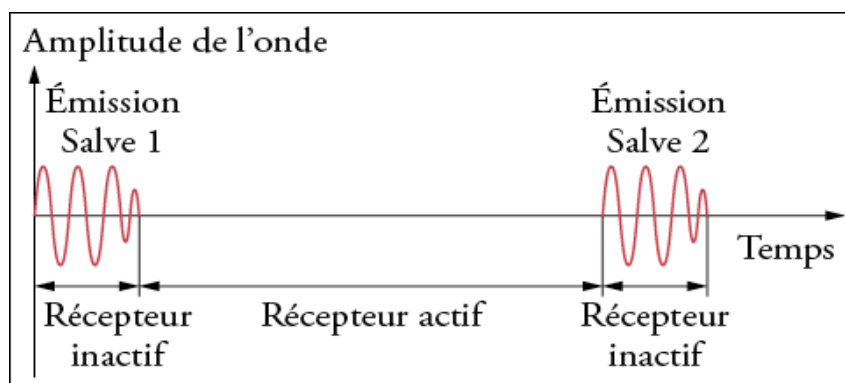
3 - La vitesse relative (différence de vitesse) entre la voiture équipée du système ACC et un objet peut être calculée par le biais de l'effet Doppler. Compléter les deux phrases suivantes :

si l'objet se rapproche de l'émetteur, la fréquence de l'onde réfléchiée

si l'objet s'éloigne de l'émetteur, la fréquence de l'onde réfléchiée

2. PLAGE DE DÉTECTION D'UN OBSTACLE POUR LE « RADAR DE REcul »

Ce « radar de recul » est composé de quatre capteurs ultrasonores identiques. Composé d'un ou plusieurs capteurs ultrasonores, placés en général sur le pare choc arrière du véhicule, ce dispositif s'active dès que la marche arrière est enclenchée. Chacun de ces capteurs a une portée minimale $d_{\min} = 0,30 \text{ m}$ d'après la notice. Cela signifie qu'un obstacle situé à une distance du capteur inférieure à $d_{\min}$ ne sera pas détecté. Dès qu'un obstacle est détecté, le radar de stationnement l'indique au conducteur par un signal sonore progressif qui s'intensifie à proximité de l'obstacle. Le capteur est constitué d'un matériau piézo-électrique utilisé à la fois pour fonctionner en mode émetteur ou en mode récepteur. Il ne peut fonctionner correctement en récepteur que lorsqu'il a fini de fonctionner en émetteur. Pour cette raison, le capteur génère des salves ultrasonores de durée $\Delta t_1 = 1,7 \text{ ms}$ avec une périodicité $\Delta t_2 = 12 \text{ ms}$. La figure ci-après illustre ce fonctionnement.



- 1 - Légender la figure de l'annexe en indiquant les durées Δt_1 et Δt_2 .
- 2 - Faire un schéma représentant un capteur détectant un obstacle et y faire apparaître sa portée minimale $d_{\min}$ et sa portée maximale $d_{\max}$ en précisant leurs valeurs.
- 3 - Vérifier que pour la distance $d_{\min}$ entre le capteur et l'obstacle, la durée entre l'émission et la réception est égale à Δt_1 .
- 4 - Si la durée que met l'onde émise pour revenir au capteur est inférieure à Δt_1 , pourquoi le capteur ne peut-il pas détecter l'obstacle de manière satisfaisante ? Justifier la réponse.
- 5 - Quelle caractéristique du signal de l'émission doit-on alors modifier pour que le capteur puisse détecter un obstacle situé à une distance inférieure à $d_{\min}$? Justifier votre réponse.
- 6 - Vérifier que pour la distance $d_{\max}$ entre le capteur et l'obstacle, la durée entre l'émission et la réception est égale à Δt_2 .

Annexe Tableau à compléter

Capteur	Type d'onde utilisée par le capteur : mécanique / électromagnétique	Points forts	Points faibles
Radar		Longue portée, robustesse face aux conditions météorologiques, bonne performance de détection.	Pollution électromagnétique, coût relativement élevé, encombrement, interférences électromagnétiques.
Capteurs à ultrasons		Réalisation simple, coût abordable traitement simple des données.	Précision de détection sujette à la température, sensibilité aux conditions météorologiques.
Capteur laser (LIDAR)		Longue portée, grande précision, bonne résolution, coût accessible.	Dérèglements fréquents, grande sensibilité aux conditions météorologiques, interférences.

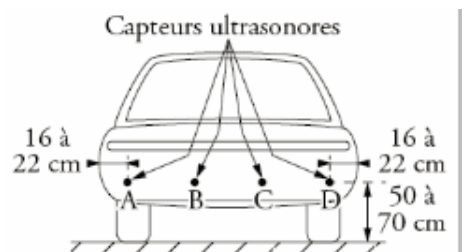
Documents

Principe de fonctionnement des capteurs

Les radars, capteurs ultrasonores et lasers sont tous constitués d'un émetteur qui génère une onde pouvant se réfléchir sur un obstacle et d'un capteur qui détecte l'onde réfléchi. Le capteur permet de mesurer la durée entre l'émission et la réception de l'onde après réflexion sur l'obstacle. Le radar utilise des ondes radio. Le sonar utilise des ultrasons tandis que le laser d'un LIDAR émet des impulsions allant de l'ultraviolet à l'infrarouge.

Extrait d'une notice de « radar de recul » (aide au stationnement)

- En marche arrière le « radar de recul » se met en fonction automatiquement.
- L'afficheur indique la distance de l'obstacle détecté pour des valeurs comprises entre 0,3 m et 2 m.
- L'afficheur dispose d'un buzzer intégré qui émet un signal sonore dont la fréquence évolue en fonction de la distance à l'obstacle.



Système autonome de régulation de vitesse ACC

Le système ACC traite les informations d'un capteur radar afin d'adapter la vitesse de la voiture en fonction des véhicules qui la précèdent. Les caractéristiques du capteur radar d'un système ACC sont données ci-dessous.

Fonctionnalité	Détermine la distance, la vitesse et la direction d'objets mobiles roulant devant le véhicule
Fréquence d'émission	76 – 77 GHz
Portée minimale - Portée maximale	1 m – 120 m
Activation du capteur	vitesse > 20 km · h ⁻¹

Exercice n°10*

L'écholocalisation consiste à émettre des sons et à écouter leur écho pour localiser les éléments d'un environnement.

Elle est utilisée par certains animaux, notamment des chauves-souris et des cétacés, et artificiellement avec le sonar.



Une chauve-souris vole en ligne droite vers un obstacle à la vitesse moyenne $v = 8 \text{ m/s}$. Elle émet un bref signal ultrasonore quand elle se trouve à environ une distance $d = 10 \text{ m}$ de cet obstacle.

La chauve-souris a-t-elle le temps de détecter l'obstacle ?

Exercice n°11

Dans un laboratoire de physique, une expérience est en cours. Un générateur de basses fréquences est relié à un haut parleur. Dans la pièce voisine, un élève travaille, il est assis près du mur de séparation à 2 m de la porte de communication légèrement entrouverte (environ 4 cm). Les murs sont parfaitement insonorisés. Quand la fréquence du son émis est de 100 Hz, l'élève perçoit ce son; en revanche, quand celle-ci est de 10 000 Hz, il n'entend plus rien. Pouvez-vous expliquer pourquoi?

Un sonar (SOund NAvigation and Ranging) est un dispositif de détection utilisant les ondes acoustiques comme signal détectant. Il permet aux marins de naviguer correctement (mesure de la profondeur) ou aux sous-marins de repérer les obstacles et les autres navires. Certains animaux (chauve-souris, dauphins, etc.) utilisent des systèmes similaires au sonar pour repérer leurs proies ou des obstacles.

On suppose dans cette partie que la mer est un milieu homogène dans lequel le son se propage rectilignement. À 10 °C, la vitesse du son dans l'eau de mer est $c_{\text{mer}} = 1,50 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

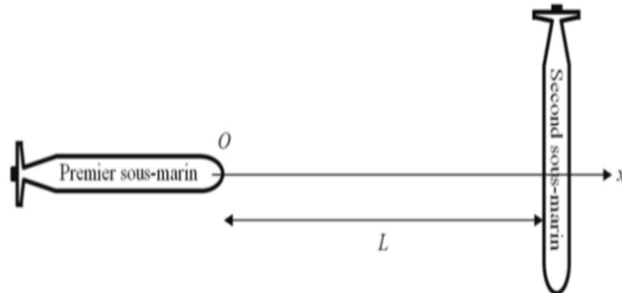


Figure 2 – Les sous-marins, vus du dessus.

L'avant d'un sous-marin est équipé d'un sonar lui permettant d'éviter d'entrer en collision avec un autre sous- marin. Le sonar est constitué d'un émetteur d'ondes sonores et d'un récepteur capable d'identifier l'écho de l'onde précédemment émise. On note O l'avant du sous-marin équipé du sonar et (Ox) l'axe du sous-marin, correspondant à l'axe de propagation de l'onde sonore. Un second sous-marin se trouve à distance L du premier, dans la configuration représentée figure 2.

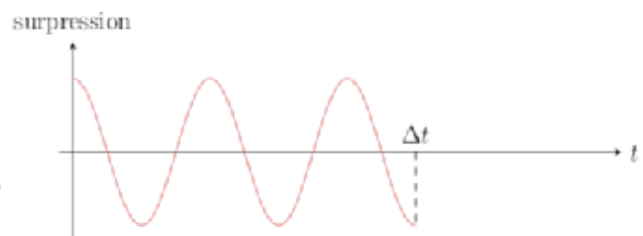
1 - Expliquer le principe de fonctionnement d'un sonar.

2 - L'émetteur produit une très brève impulsion sonore. Le récepteur en reçoit l'écho au bout d'une durée $\tau = 400 \text{ ms}$. En déduire la distance L à laquelle se situe le second sous-marin.

À partir de l'instant $t = 0$, le sonar émet

l'impulsion sonore pseudo-sinusoidale représentée figure 3 pendant une durée $\Delta t = 500 \mu\text{s}$.

figure 3- Impulsion pseudo-sinusoidale de durée Δt correspondant au signal envoyé par le sonar.



3 - Déterminer en justifiant la fréquence f de l'onde sonore émise par le sonar.

On s'intéresse à la propagation spatiale de l'impulsion sonore. On la représente alors dans un système d'axe dont l'abscisse est la position x mesurée à partir de l'avant du sous-marin qui émet l'onde ultrasonore.

4 - Exprimer et calculer numériquement la longueur spatiale Δx de l'impulsion.

5 - Représenter sur la copie l'impulsion sonore à l'instant $t = 12,0 \text{ ms}$ en fonction de x. Calculer numériquement, en justifiant précisément, les positions du début (ou front) de l'impulsion et de sa fin. Un détecteur d'ondes sonores est placé sur le second sous-marin, sur l'axe (Ox).

6 - Représenter sur la copie l'évolution de l'amplitude enregistrée par ce détecteur au cours du temps. Calculer numériquement, en justifiant précisément, les instants auxquels le détecteur reçoit le début et la fin de l'impulsion.