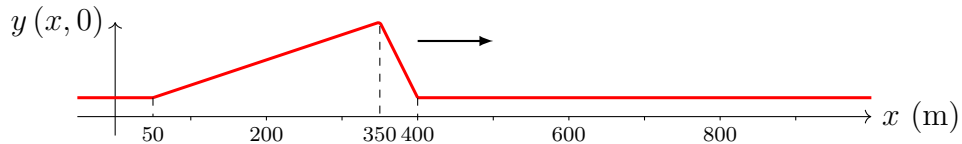


SO4 : PHÉNOMÈNES ONDULATOIRES

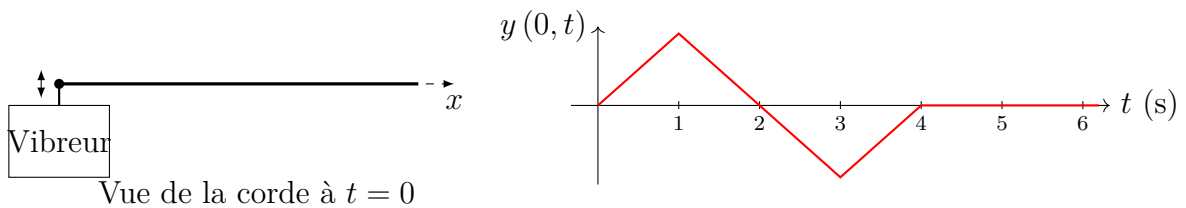
Questions de cours

1. **Représentation spatiale d'une onde.** Définir la célérité d'une onde. On considère un mascaret qui se déplace à la vitesse $c = 18 \text{ km/h}$ le long d'un fleuve rectiligne, et on définit un axe (Ox) dans la direction et le sens de sa propagation.

A l'instant $t = 0$, le profil de niveau de l'eau du fleuve a l'allure suivante :



- Faire un schéma du profil du niveau du fleuve à $\tau = 1 \text{ min}$ en supposant que l'onde se propage sans déformation.
 - **Généralisation :** exprimer avec démonstration le signal de l'onde $y(x, t)$ en fonction de la représentation spatiale à $t = 0$, notée $f(x)$.
 - Un détecteur fixe, enregistrant la hauteur du fleuve en fonction du temps, est placé à l'abscisse $x_d = 1,6 \text{ km}$. Dessiner en justifiant l'allure des variations $y(x_d, t)$ en fonction du temps à cette abscisse.
2. **Représentation temporelle d'une onde.** On dispose à l'extrémité d'une corde un vibreur qui impose la perturbation suivante :



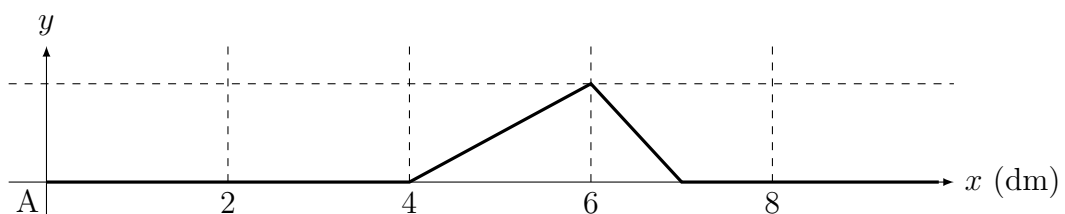
La célérité de l'onde est de 50 cm/s .

- Représenter l'évolution de la hauteur de la corde en $x_1 = 1 \text{ m}$.
 - **Généralisation :** exprimer avec démonstration le signal de l'onde $y(x, t)$ en fonction de la représentation temporelle en $x = 0$, notée $g(t)$.
 - Donner en justifiant l'allure de la représentation spatiale de l'onde à $t_1 = 6 \text{ s}$.
3. **Interférences.** On considère deux ondes de même amplitude et de même fréquence interférant en un point M. Expliquer pourquoi la phase des deux signaux en M diffère. **Démontrer** les critères d'interférences constructives et destructives à partir de l'écriture des deux signaux. Illustrer ces critères par une construction graphique.
4. **Interférences lumineuses.** Faire le schéma de deux fentes d'Young séparées d'une distance a . Démontrer soigneusement que la différence de chemin optique est ax/D (D distance objet-écran, x position sur l'écran). En déduire l'expression de l'intensité lumineuse et de l'interfrange.

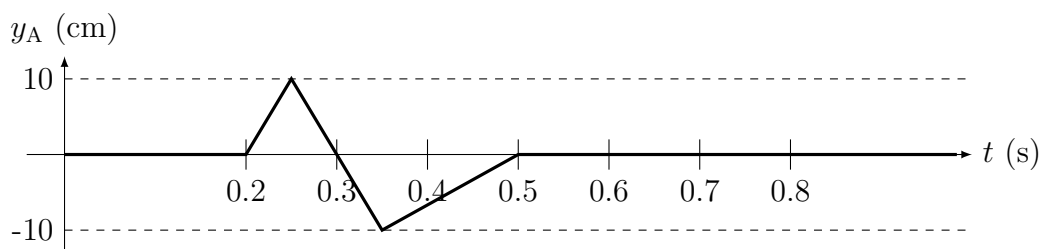
Exercice 1 : Évolution d'ondes progressives

1. Une onde progressive se propage le long d'une corde infinie à la célérité $c = 50 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ vers les x croissants. À $t = 0$, le signal arrive en $x = 0$.

(a) Déterminer l'instant correspondant au schéma ci-dessous.



- (b) Représenter la corde à $t = 2$ s.
- (c) Tracer la représentation temporelle de l'onde en $x_0 = 0$.
2. Une onde progressive se propage le long d'une corde infinie à la célérité $c = 50 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ vers les x croissants. En $x = 0$ (point A de la corde), on crée le signal représenté sur le schéma.



- (a) La représentation donnée est-elle une représentation spatiale ou temporelle ?
- (b) Tracer $y_M(t)$ où M est un point de la corde situé 25 cm vers la droite.
- (c) Tracer ensuite $y(x)$ à $t = 1$ s.

Exercice 2 : Date d'un séisme

Un séisme produit deux types d'ondes sismiques : les ondes P, longitudinales, qui se propagent à la célérité c_P et les ondes S, transversales, qui se propagent à la célérité $c_S < c_P$. On négligera tout phénomène de réflexion et réfraction et on supposera que les ondes se propagent en ligne droite.

- Une station sismique reçoit l'onde P à une date t_P et l'onde S à une date t_S . Déterminer l'expression de la distance d à l'épicentre et de la date du séisme t_0 en fonction de c_S , c_P , t_P et t_S .
- Les ondes sismiques engendrées par le séisme du 20 janvier 2003 dans la région Nord-Ouest du Pacifique ont été enregistrées par différentes stations sismiques. Sachant que $c_P = 7,74 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ et que $c_S = 4,32 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, calculer les distances au séisme des 4 stations et commenter. Comment pourrait-on alors localiser la position précise de l'épicentre ?

Code station	Heure d'arrivée UTC (heure : minute : seconde)		déplacement maximum du sol (mm)
	Ondes P	Ondes S	
PET	03 : 02 : 04	03 : 02 : 52	3,67
MA2	03 : 03 : 42	03 : 05 : 48	0,16
YSS	03 : 04 : 19	03 : 06 : 54	0,12
MAJO	03 : 06 : 25	03 : 10 : 40	0,035

Exercice 3 : Onde progressive gaussienne

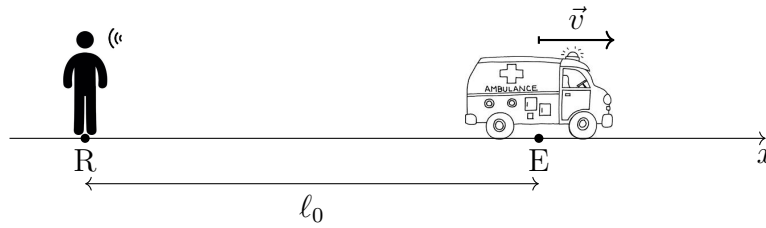
On considère une onde progressive se propageant selon une direction x , dans le sens des x croissants. On note c sa célérité. À un instant t_1 , on sait que l'onde a la forme :

$$s(x, t = t_1) = S_0 \exp\left(-\frac{x^2}{x_0^2}\right)$$

- Déterminer la dimension de x_0 .
- Tracer l'allure de $s(x, t = t_1)$.
- Déterminer l'expression de l'onde progressive $s(x, t)$.
- Représenter la forme de l'onde à un instant t_0 inférieur à t_1 .
- Représenter le signal enregistré au cours du temps en $x = 0$.

Exercice 4 : Effet Doppler

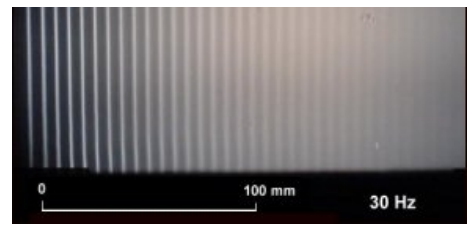
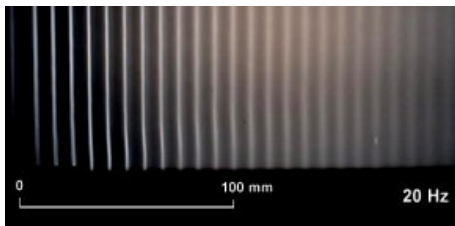
Un émetteur E émet une onde sonore qui se propage à la célérité c dans la direction d'un récepteur R (voir schéma ci-dessous). On suppose qu'il émet un bip tous les T . La distance qui les sépare à $t = 0$ est ℓ_0 .



- Dans cette question, l'émetteur et le récepteur sont fixes.
 - L'émetteur émet un bip à $t_1 = 0$. À quel instant t'_1 le récepteur reçoit-il ce signal ?
 - L'émetteur émet ensuite un bip à $t_2 = T$. À quel instant t'_2 le récepteur reçoit-il ce signal ?
 - En déduire la période du signal T' reçu par le récepteur.
- L'émetteur est désormais en mouvement à la vitesse v et s'éloigne du récepteur. En effectuant le même raisonnement, déterminer la période du signal pour le récepteur, puis sa fréquence. Le son est-il plus grave ou plus aigu ? Est-il possible d'inverser cet effet ?
- Commenter le bruit d'une voiture de course (par exemple https://www.youtube.com/watch?v=Hsfshpt3_Ho).
- On connaît bien les longueurs d'onde émises ou absorbées par l'hydrogène, qui est le constituant principal de l'univers. Les galaxies, essentiellement constituées d'hydrogène, ont ce spectre, mais décalé vers le rouge, et ce décalage est d'autant plus marqué que la galaxie est éloignée de nous. Que peut-on en conclure ?

Exercice 5 : Caractère dispersif de la cuve à onde

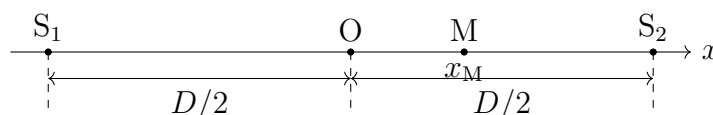
À l'aide d'une baguette accrochée à un pot vibrant, on réalise des ondes bidimensionnelles dans une cuve à onde remplie par 5 cm d'eau. À l'aide des deux photographies, montrer que la cuve est un milieu dispersif.



Photographies de la structure d'onde bidimensionnelle dans une cuve à onde pour deux fréquences différentes.

Exercice 6 : Interférences entre deux ondes acoustiques

Deux petits haut-parleurs sont disposés à une distance $D = 1$ m l'un de l'autre. On repère le milieu du segment O. Ils sont alimentés avec un même signal sinusoïdal de fréquence $f = 500$ Hz.



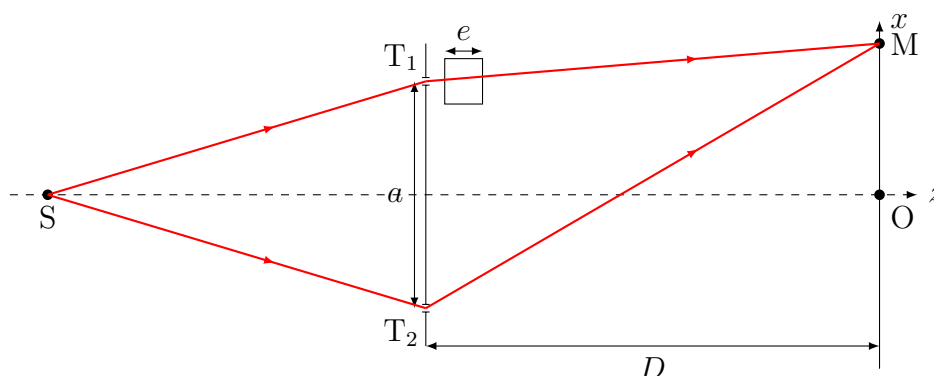
On place également sur cet axe un microphone au point M d'abscisse x_M , entre les deux haut-parleurs. On visualise sur un oscilloscope la tension délivrée par le microphone.

1. Rappeler les critères d'interférences constructives et destructives.
2. Exprimer les déphasages des deux ondes sonores au point O en fonction de la longueur d'onde λ .
3. Quelle est la nature (destructive ou constructive) des interférences au point O ?
4. Exprimer les déphasages des deux ondes sonores au point M quelconque en fonction de la longueur d'onde λ et de la position x_M .
5. En appliquant le critère d'interférences, exprimer la position des maxima et des minima d'amplitude de l'intensité le long de l'axe Ox en fonction de la longueur d'onde λ .
6. Lorsqu'on déplace le microphone le long de l'axe Ox en partant du point O, l'amplitude du signal commence par décroître, puis elle augmente avant de passer par un maximum en $x_1 \approx 340$ mm. Interpréter cette observation et en déduire la vitesse du son dans l'air à la température de l'expérience. Combien y-a-t-il de maxima entre les sources ?

Exercice 7 : Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre

On considère un dispositif de trous de Young composé de deux trous T_1 et T_2 séparés d'une distance $a = 100 \mu\text{m}$. Ce dispositif est éclairé par une source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 532 \text{ nm}$ située sur l'axe optique. La figure d'interférence est observée sur un écran situé à une distance $D = 1,00 \text{ m}$ du plan des trous. Une lame de verre à faces parallèles d'épaisseur e inconnue et d'indice $n_v = 1,57$ est positionnée en sortie du trou T_1 . L'indice optique de l'air est supposé égal à 1.

Dans toute la suite, on se place dans l'approximation $x, a \ll D$ et on suppose que $e \ll D$ si bien qu'en première approximation, on considère que le rayon lumineux traverse la lame perpendiculairement à ses faces. Le schéma ci-dessous ne respecte pas les proportions (D est de l'ordre du mètre, a et x de l'ordre du mm).



1. Montrer que la différence de chemin optique δ en un point M de l'écran, d'abscisse x , s'écrit :

$$\delta = \frac{ax}{D} - (n_v - 1)e$$

On pourra faire l'approximation $\sqrt{1 + \varepsilon} \approx 1 + \varepsilon/2$ si $\varepsilon \ll 1$.

2. On note x_c la position sur l'écran de la frange correspondant à $\delta = 0$. Exprimer x_c en fonction de l'épaisseur e de la lame, a , n_v et D .
3. Calculer x_c pour $e = 50 \mu\text{m}$.
4. Expliquer pourquoi la position de la frange centrale ne peut être connue que modulo l'interfrange i . Qu'est-ce que cela implique sur e ? L'expérience vous paraît-elle utile ?

Exercice 8 : Battements acoustiques

On dispose deux diapasons légèrement désaccordés l'un en face de l'autre. Le premier émet une onde de fréquence $f_0 = 440 \text{ Hz}$ et le second une onde de fréquence légèrement différente $f_0 + \Delta f$. On entend un phénomène de battements, c'est-à-dire que l'intensité sonore perçue oscille en fonction du temps, à une fréquence d'environ 0,5 Hz. Expliquer l'observation expérimentale et en déduire la valeur numérique de Δf .