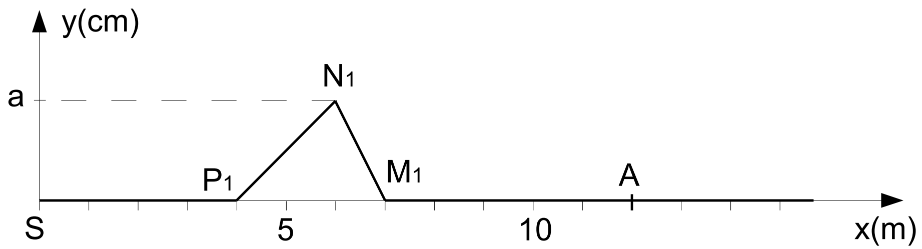
TD 11 | O4- **Ondes progressives et stationnaires**

	I	II	III	IV	V
Gerer des calculs			✓		✓
Faire preuve de sens physique	✓		✓		✓
Analyser un schéma	✓				✓
Etudier une onde stationnaire			✓	✓	✓
Etudier une onde harmonique progressive		✓		✓	
Réaliser un schéma	✓	✓			
Appliquer des conditions limites			✓	✓	✓

I Corde vibrante ($\star$)

On étudie la propagation sans amortissement d'une perturbation le long d'une corde élastique. À la date $t = 0$, le front de l'onde quitte le point S de la corde. La figure ci-dessous représente la corde à l'instant $t_1 = 2{,}30\,\text{s}$.



1. Calculez la célérité de l'onde le long de la corde.
2. Quelle est la durée τ du mouvement d'un point de le la corde au passage de l'onde ?
3. À la date t_1, quels sont les points qui s'élèvent ? ceux qui descendent ?
4. Dessinez, sur un graphique similaire à celui de la figure précédente, l'aspect de la corde à l'instant $t_2 = 3{,}60\,\text{s}$.

Soit A le point de la corde situé à 12,0 m de S.

5. À quelle date t_3 commence-t-il à bouger ?
6. À quelle date t_4 passe-t-il par un maximum d'altitude ?
7. À quelle date t_5 cesse-t-il de bouger ?
8. À l'aide des résultat précédents, schématisez l'allure de la courbe $y_A = f(t)$ représentant l'élongation de la corde en A en fonction du temps.

II Evolution temporelle d'une onde sinusoïdale ($\star$)

Soit l'onde $y(x,t) = A\cos(\omega t - kx)$ où ω, k et A sont des constantes.

1. Dans quel sens se propage cette onde ?
2. Quelle relation existe-il entre ω et k ?
3. Tracer, sur un même graphique, l'allure de l'onde aux instant $t_0 = 0$, $t_1 = \frac{T}{8}$, $t_2 = \frac{T}{4}$ et $t_3 = \frac{T}{2}$, en fonction de x, pour quelques périodes spatiales
4. Après quelle durée l'onde apparaîtra-t-elle identique à son aspect initial ?

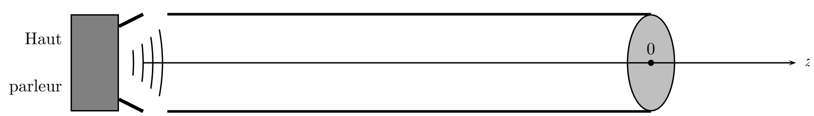
III Guitare ($\star$)

Soit une corde de guitare de longueur l qui est fixée à ces deux extrémités. On notera c la vitesse des ondes (supposées harmoniques) se propageant sur cette corde.

1. Écrivez la forme générale du signal $y(x,t)$ en faisant apparaître deux constante a_+ et a_- que l'on ne cherchera pas à déterminer.
2. Trouvez une relation reliant a_+ et a_- en considérant le fait que la corde soit fixée en $x = 0$. Simplifiez ensuite l'expression de $y(x,t)$. Quelle type d'onde obtient-on ?
3. On considère maintenant le fait que la corde est aussi fixée en $x = l$. Montrez que seul certaines longueur d'ondes λ_n peuvent être observées.
4. ($\star\star$)Sachant que $l = 60\ cm$ et que $c = 0,132\ km.s^{-1}$, à quelle note correspond le mode fondamental ?
5. Pour jouer une note une octave plus haute, il convient de pincer la corde à la moitié de sa longueur initiale. Exprimez alors dans ce cas la nouvelle fréquence du fondamental.
6. Quelle grandeur physique fait-on varier pour ré-accorder une corde qui ne produit plus une note à la bonne fréquence

IV Tube à ondes stationnaires ($\star\star$)

Un haut-parleur est placé à l'entrée d'un tube à ondes stationnaire. Il est alimenté par une tension sinusoïdale de pulsation ω. La célérité des ondes sonores est notée c.



1. Quelle est la grandeur physique qui oscille ?

2. Donner la forme de l'onde $p_i(z,t)$ engendrée par le haut-parleur
3. Une surface réfléchissante placée en bout de tube (repérée par $z=0$) engendre une onde réfléchie. Donner la forme générale de cette onde réfléchie $p_r(z,t)$ sans expliciter les différentes inconnues pour l'instant.
4. La surface réfléchissante en $z=0$ est telle qu'elle correspond à un ventre de vibration. Expliciter les différentes inconnues dans la forme de l'onde réfléchie grâce à cette condition aux limites. (Remarque, si on se place au niveau d'un ventre, cela correspond à un maximum de vibration et il existe une dérivée nulle).
5. En déduire la forme de l'onde totale $p(z,t)$. Montrer que cela correspond effectivement à une onde stationnaire. Représenter la à différents instants.
6. Proposer une méthode pour mesurer la longueur d'onde
7. On admet que la présence du haut parleur, qui impose une vitesse acoustique à l'extrémité gauche du tube, en $z=-l$ revient à imposer un noeud à cet endroit. En déduire les longueurs d'ondes observables et démontrer que les fréquences associées peuvent s'écrire selon

$$f = \frac{c}{4l} \times (1+2n), \quad n \in \mathbb{N}$$

V Petite cavité résonnante ($\star\star\star$)

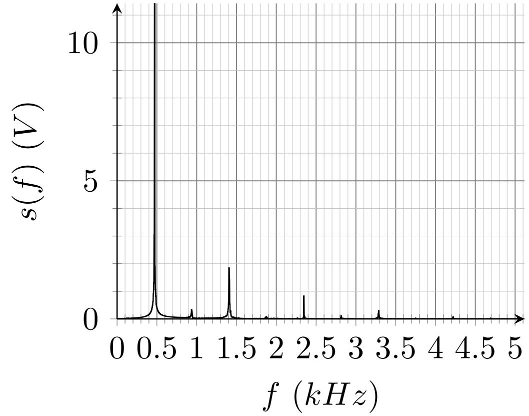
On dispose d'un tube acoustique qui peut être raccourci à une longueur L et dont les extrémités peuvent être fermées ou laissées ouvertes. On cherche la configuration permettant d'obtenir un premier mode à la fréquence $f = 500\,\text{Hz}$ avec le plus petit tube possible. On rappelle de plus que :

— On observe toujours un **nœud** de pression acoustique aux extrémités ouvertes.

— On observe toujours un **ventre** de pression acoustique aux extrémités fermées.

On note de plus c la vitesse du son dans l'air avec $c = 340\,\text{m}\,\text{s}^{-1}$

1. Répondre au problème posée à l'aide d'une expression littérale et une application numérique en justifiant soigneusement votre réponse.
2. On active le tube acoustique un tapant dessus à l'aide d'un petit marteau et on effectue un enregistrement audio du signal obtenu. A partir de ce dernier, on obtient le spectre suivant :



cela est-il en accord avec votre précédente réponse ? Justifier soigneusement votre réponse.

Astuces :

E1 Q7 : $t_5 = \frac{15{,}0}{c} = 4{,}93\,\text{s}$
E3 Q4 : On doit trouver un LA.
E4 Q5 : $p_{tot} = 2p_0(\cos(\omega t) \times \cos(kz))$
E5 Q1 : On trouve $L_{\min} \approx 17\,\text{cm}$.