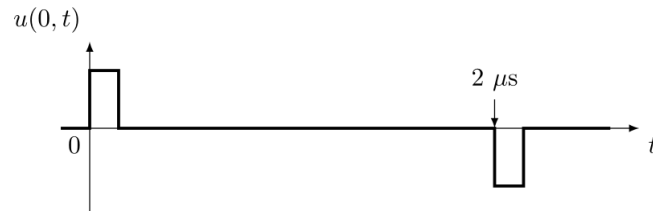


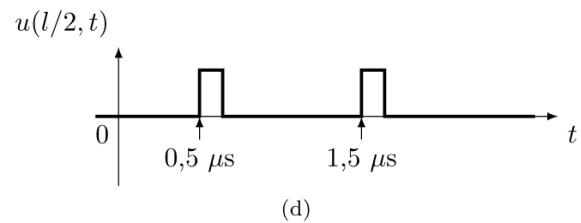
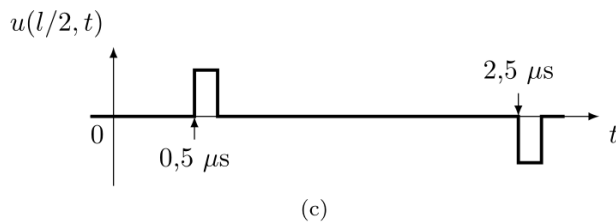
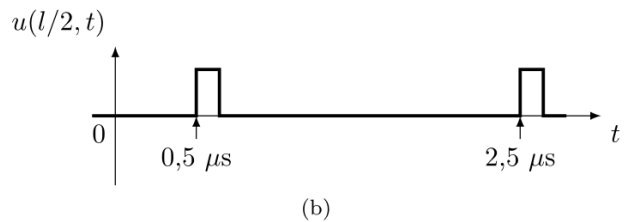
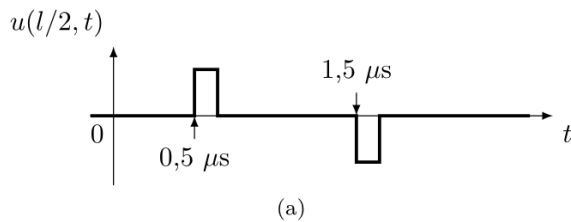
TD Ondes

1 IPho 2016

Un câble coaxial peut être le siège de la propagation d'un signal de tension électrique. On envoie une impulsion unique de tension très courte dans un câble de longueur l . Un oscilloscope placé immédiatement en entrée du câble affiche le signal de tension $u(0, t)$ de la figure ci-dessous.



Quel signal $u(l/2, t)$ aurait-il affiché s'il avait été placé au milieu du câble ?



2 Onde progressive harmonique

Donner la période, la fréquence, la pulsation et la longueur d'onde associée au signal

$$s(x, t) = 5 \sin(2,4 \cdot 10^3 \pi t - 7,0 \pi x + 0,7 \pi)$$

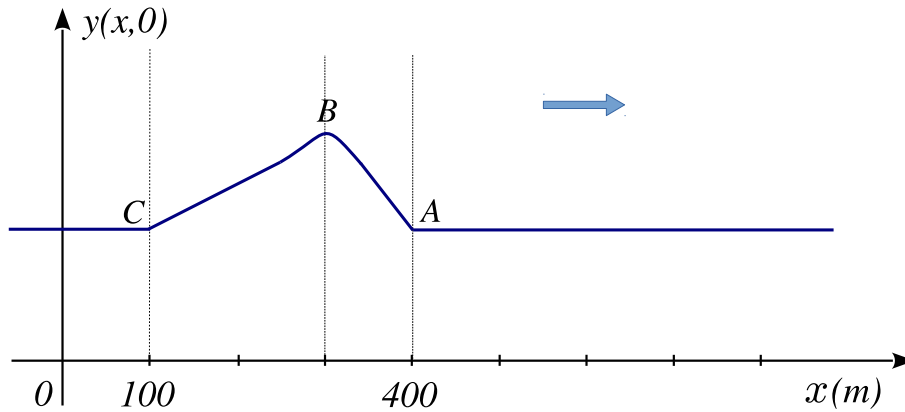
supposé exprimé en unités SI. Préciser le sens ainsi que la vitesse de propagation de ce signal.

3 Mascaret

Le mascaret est une vague solitaire remontant un fleuve au voisinage de son estuaire, et provoquée par l'interaction entre son écoulement et la marée montante.

On considère ici un mascaret se déplaçant à la vitesse $c = 20 \text{ km.h}^{-1}$ le long d'un fleuve rectiligne et on définit un axe (Ox) dans la direction et le sens de sa propagation.

À un instant $t_0 = 0$, le profil du niveau de l'eau du fleuve a l'allure suivante :



1. Faire un schéma du profil du niveau du fleuve à $t_1 = 1,5 \text{ min}$ (1 min 30 s), en supposant que l'onde se propage sans déformation.
2. Un surfeur attend sur sa planche au niveau de l'abscisse $x_s = 2,0 \text{ km}$. À quel instant va-t-il être atteint par la vague ?
3. Un détecteur fixe, enregistrant le hauteur du fleuve en fonction du temps, est placé à l'abscisse $x_d = 1,4 \text{ km}$. Dessiner l'allure du signal enregistré $y(x_d, t)$ en fonction de t (on choisira une échelle où t est en minutes). On justifiera son tracé.



4 Vitesse limite des trains électriques

Le pantographe est le dispositif articulé des locomotives électriques (TGV par exemple) en contact avec les caténares : fils conducteurs sous tension chargés d'alimenter le train. Ces derniers ont un diamètre d de 12 mm et sont en cuivre de masse volumique $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.



Le passage du pantographe, et la force de soulèvement verticale qu'il exerce sur la caténaire, la fait osciller selon une amplitude pouvant atteindre 30 cm à très grande vitesse. En pratique la tension mécanique des caténares est assurée par des tendeurs munis de contrepoids de 1000 kg (cylindre sur la photo ci contre).

1. Sachant que la vitesse de propagation des ondes sur une corde de masse linéique μ soumise à une tension de norme T a pour expression $c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, déterminer la vitesse c à laquelle se déplace, le long de la caténaire, l'onde mécanique provoquée par les coups de pantographe. Que se passe-t-il si le train dépasse celle-ci ?
2. Proposez des solutions pratiques (et critiquez les) permettant d'augmenter cette vitesse de propagation (record TGV est : 574 km/h) ? Comment varie c en été ?

5 Deux cordes de guitares.

Une corde de guitare de 64 cm de longueur possède une masse de $7,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$: son mode fondamental de résonance est à $f_{sol_3} = 196 \text{ Hz}$ (note *sol* de la troisième octave sur un piano). Une autre corde de la même guitare possède la même tension, mais son mode fondamental est à $f_{mi_4} = 329,6 \text{ Hz}$ (note *mi* de la quatrième octave sur un piano) : quelle est sa masse linéique ?

On rappelle que la célérité des ondes se propageant sur une corde de masse linéique μ soumise à force de tension de norme T a pour expression : $c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$.

Réponse : $\mu_{mi_4} = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^{-1}$

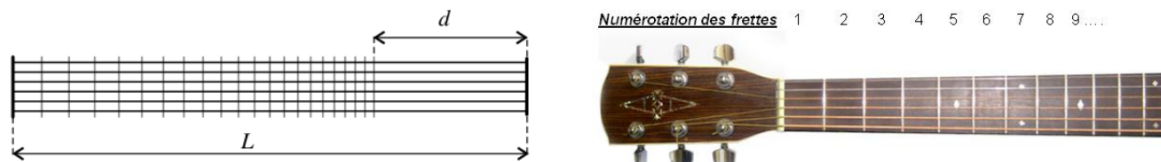
6 Passage d'un mode au mode supérieur

Une corde a une extrémité reliée à un vibreur et l'autre qui est fixée. Lorsque le vibreur oscille à 600 Hz, il on observe 3 fuseaux. Quelle doit-être la fréquence du vibreur pour produire un fuseau supplémentaire ?

Réponse : $f_4 = \frac{4}{3}f_3 = 800 \text{ Hz}$

7 Frettes d'une guitare

Les frettes placées le long du manche d'une guitare permettent au musicien de modifier la hauteur du son produit par la corde. En pressant la corde contre une frette, il diminue sa longueur, sans modifier sa tension, provoquant ainsi une augmentation de la fréquence fondamentale de vibration de la corde.



1. Retrouver rapidement la fréquence de vibration fondamentale d'une corde de longueur L le long de laquelle les ondes se propagent à la célérité c .
2. La note monte d'un demi-ton lorsque la fréquence est multipliée par $2^{\frac{1}{12}}$. Pour cela, comment doit-on modifier la longueur de la corde ?
3. En plaçant le doigt sur les frettes successives on monte à chaque fois la note d'un demi-ton. Combien de frettes peut-il y avoir au maximum, sachant que la distance d entre la dernière frette et le point d'accrochage de la corde doit être supérieure à $\frac{L}{4}$?

8 Diapason



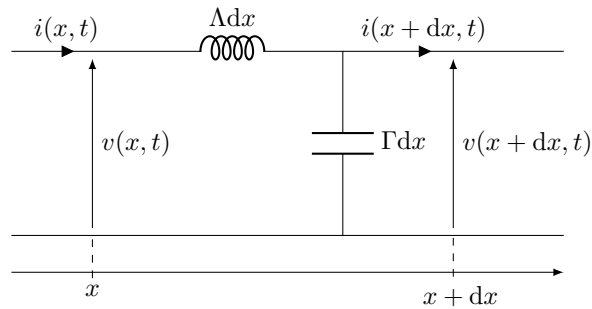
Pour jouer d'un instrument de musique, il faut en général : un excitateur qui provoque des vibrations, un élément vibrant qui va mettre en vibration les molécules de l'air et enfin un résonateur qui amplifie le son. Pour un diapason, l'excitateur est le choc du diapason contre un élément dur, l'élément vibrant est le diapason (quand on tient le diapason, on le sent vibrer). Cependant il faut le rapprocher de son oreille pour entendre le bruit qu'il produit. Le son n'est pas amplifié.

Pour mieux entendre le son du diapason, on le fixe sur une cavité (ou caisse de résonance) de type tuyau sonore ouvert d'un côté et fermé de l'autre.

Déterminer la longueur minimale de la caisse de résonance sur laquelle on peut placer un diapason de 440 Hz. On prendra $c = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ comme vitesse de propagation du son dans l'air.

9 Impédance d'un câble coaxial ★★

Une ligne coaxiale peut être modélisée par :



avec $\Lambda = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{R_2}{R_1}$, $\Gamma = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$, R_1 et R_2 étant respectivement les rayons de l'âme et de la gaine.

1. Établir les deux équations aux dérivées partielles qui relient $i(x, t)$ et $v(x, t)$.
2. En déduire l'équation vérifiée par $i(x, t)$ puis par $v(x, t)$ et exprimer la vitesse de propagation c des signaux électriques dans le câble.
3. Le générateur qui alimente la ligne étant sinusoïdal, vérifier que les solutions de l'équation d'onde peuvent s'écrire sous la forme :

$$\begin{cases} \underline{i}(x, t) = I_0 e^{j(\omega t - kx)} + \underline{I}_1 e^{j(\omega t + kx)} \\ \underline{v}(x, t) = \rho I_0 e^{j(\omega t - kx)} - \rho \underline{I}_1 e^{j(\omega t + kx)} \end{cases}$$

Exprimer ρ en fonction de Λ et Γ .

4. L'extrémité de la ligne est fermée en $x = \ell$ par une impédance complexe \underline{Z} . Comment choisir \underline{Z} pour annuler le signal réfléchi ?