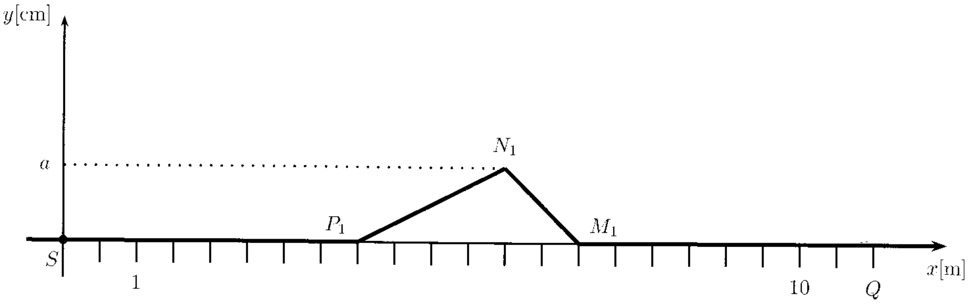
Exercice 1 : Déformation d'une corde.

On étudie la propagation sans amortissement d'une perturbation le long d'une corde élastique. À la date t = 0, le front d'onde quitte le point S de la corde. À la date t_1=2,3 s, on prend un cliché de la corde ; la figure présentée ci-dessous reproduit ce cliché avec deux échelles de longueurs différentes suivant l'axe des abscisses et celui des ordonnées. On note M_1 la position du front d'onde à la date t_1, N_1 celle de la crête, et P_1 celle de la queue de l'onde.



ASPECT DE LA CORDE À L'INSTANT t_1 = 2,3 s

1. Calculer la célérité c de l'onde le long de la corde.
2. Quelle est la durée τ du mouvement d'un point de la corde au passage de l'onde ?
3. À la date t_1, quels sont les points de la corde qui s'élèvent ? ceux qui descendent ?
4. Dessiner sur un graphique semblable à celui de la figure précédente, l'aspect de la corde à la date t_2=3,6s.

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

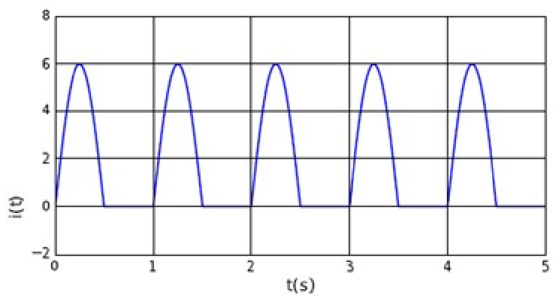
5. À quelle date t_3 commence-t-il à bouger ? À quelle date t_4 passe-t-il par un maximum d'altitude ? À quelle date t_5 cesse-t-il de bouger ? En déduire l'allure de la courbe y_Q = f(t), où y_Q représente l'élongation du point Q à la date t.

Exercice 2 : Signal électrocinétique. Courant mono redressé.

On considère le signal sinusoïdal mono-redressé dont l'expression mathématique est donnée par les relations suivantes et la représentation graphique est donnée ci contre.

$$i(t) = \begin{cases} i_O \sin(\omega t) \quad si \quad nT \leq t \leq \left(n + \frac{1}{2}\right)T \\ 0 \quad si \quad \left(n + \frac{1}{2}\right)T \leq t \leq (n+1)T \end{cases}$$

Où n varie de 0 à 4.



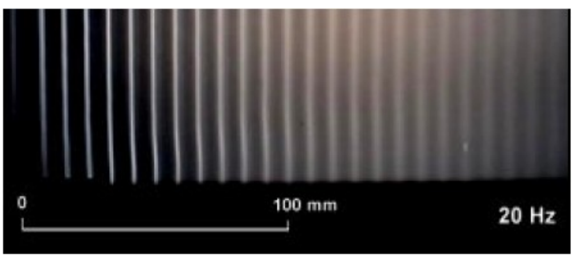
Ce signal est envoyé en entrée (position origine) dans un câble coaxial qu'on identifiera à l'axe (Oz) et on supposera qu'il se propage alors dans le sens des z croissant à la célérité c.

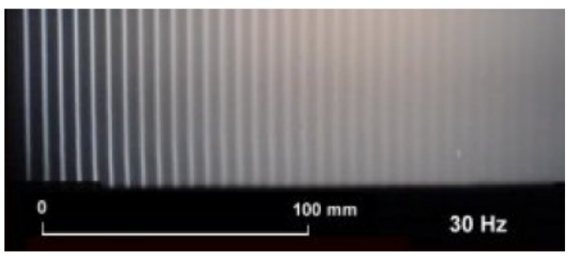
1. Quelle est la nature du signal qui se propage dans un câble coaxial ? Quelle grandeur est exprimée dans la description introduite pour ce signal ?
2. Etablir l'expression du signal en un point de cote z à l'instant t.
3. Représenter le signal en fonction du temps enregistré à la position z=3λ où λ est la longueur d'onde qu'on exprimera en fonction de ω et c.
4. Représenter le profil spatial de l'onde à l'instant t=5T où T est la période temporelle du signal qu'on exprimera en fonction de ω.
5. Faire de même à l'instant t= 2T.

Exercice 3 : phénomène de dispersion sur 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.

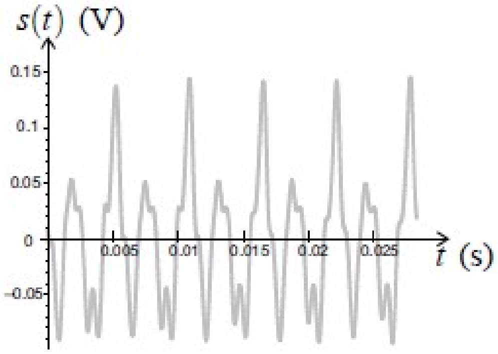
1. À l'aide des deux photographies suivantes, montrer que la cuve est un milieu dispersif.

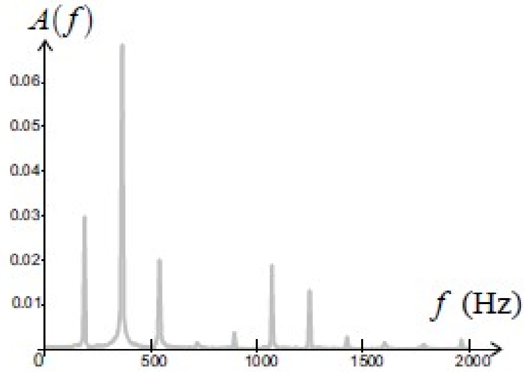




Exercice 4 : Analyse spectrale d'un signal acoustique.

On a représenté sur la figure ci-dessous à gauche le signal électrique s(t) produit par une guitare électrique et destiné à être envoyé sur un amplificateur. Il s'agit d'un échantillon de la phase périodique des vibrations produites par la corde de guitare. Sur la figure à droite, on a représenté le spectre calculé par analyse de Fourier de ce signal sur un intervalle de temps correspondant à 20 périodes.





1. A l'aide de la courbe du signal, déterminer la période T des oscillations ainsi que la fréquence du fondamental f_1 correspondante. Vérifier que la guitare produit une onde sonore audible.
2. A l'aide du tableau suivant déterminer alors quelle était la note jouée sur la corde de guitare.

Do2	Ré2	Mi2	Fa2	Sol2	La2	Si2	Do3	Ré3	Mi3	Fa3	Sol3	La3	Si3	Do4
132	149	165	176	198	220	247	264	297	330	352	396	440	495	528

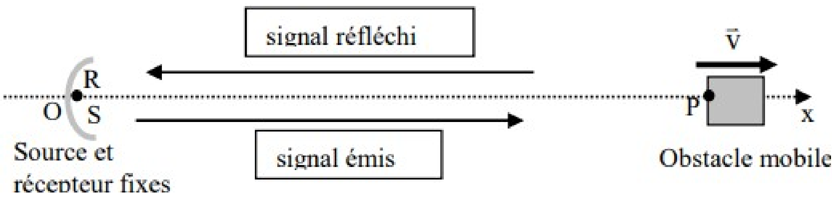
3. Vérifier que la fréquence du fondamental sur le spectre est cohérente avec l'évaluation précédente de f_1.
4. Lire alors les valeurs approximatives des amplitudes A_n du fondamental et des harmoniques « significatives » de ce signal.

On définit le taux de distorsion harmonique d'un signal par la relation suivante : $THD = \dfrac{\sqrt{\sum_{n\geq 2} A_n^2}}{A_1}$

5. Evaluer numériquement le THD pour la guitare lorsque cette note est jouée.
6. Quels sont les éléments manquant sur le spectre représenté pour procéder à la reconstruction du signal par la méthode de Fourier ?

Exercice 5 : Effet Doppler.

On considère la situation suivante dans laquelle une source S fixe dans le référentiel d'étude émet une onde de fréquence f=1/T (ou T est la période du signal) et un récepteur R fixe, placé à coté de la source, reçoit l'onde réfléchie sur un obstacle mobile se déplaçant avec une vitesse $\vec{v}$ le long de la direction de propagation des ondes. L'onde se déplace à la célérité c dans le référentiel lié à la source fixe.



La source émet une première impulsion à la date t_1 qui est reçue par l'obstacle à la date t_1'.

1. Donner la relation liant t_1 et t_1'.

La source émet une seconde impulsion à la date t_2 qui est reçue par l'obstacle à la date t_2'.

2. Donner la relation liant t_2 et t_2'.
3. Montrer alors que la période T' du signal reçu en P s'exprime $T' = \dfrac{T}{1-v/c}$

On considère maintenant l'onde réfléchie qui est de même période que l'onde reçue en P.

4. En vous inspirant du raisonnement précédent, montrer que la période du signal reçu par le récepteur s'exprime $T'' = T' * (1+v/c) = T \cdot \dfrac{1+v/c}{1-v/c}$
5. Montrer que lorsque v<<c, la fréquence de l'onde reçue par le récepteur est $f_r = f + \delta f = f(1-2v/c)$ évaluer numériquement δf/f pour un obstacle de vitesse 90km/h. Commenter.