

TD4 : Propagation d'un signal

CAPACITÉS TRAVAILLÉES :

- ▷ Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques : TLB1,3, ex2.
- ▷ Mesurer la période ou la fréquence d'un signal périodique : TLB1, ex2.
- ▷ Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques : TLB3, ex2.
- ▷ Évaluer par comparaison à un étalon, une longueur sur une image numérique et en estimer la précision : ex1.
- ▷ Écrire les signaux associés à une onde progressive sous la forme $f(x-ct)$, $g(x+ct)$, $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$: TLB2.
- ▷ Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée, et l'évolution spatiale à un instant donné : ex3, QCM.
- ▷ Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité pour une onde progressive sinusoïdale : TLB3, ex2.

1 Questions de cours

QC1 : Exemples de signaux

QC2 : Ordres de grandeur de fréquences de signaux électromagnétiques

QC3 : Signal sinusoïdal

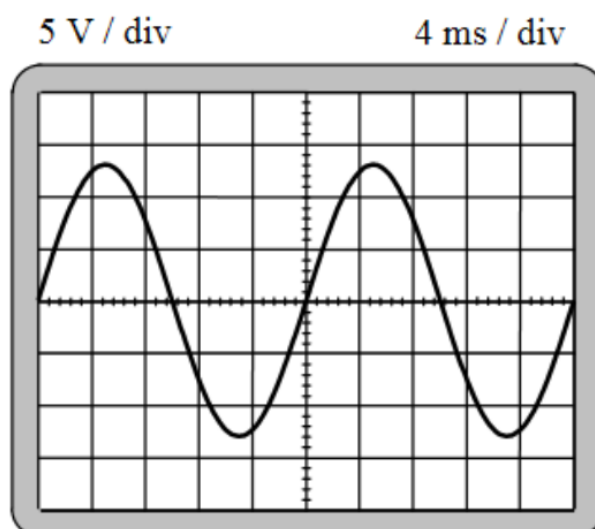
QC4 : Onde progressive

QC5 : Onde progressive sinusoïdale

2 Tester les bases

TLB1 : Signal électrique sinusoïdal

On observe un signal sinusoïdal $s(t)$ sur l'écran d'un oscilloscope.



1. Identifier la nature de la grandeur physique s associée à ce signal.
2. Rappeler l'expression mathématique d'un signal sinusoïdal ainsi que le nom et l'unité de ses trois paramètres.
3. Déterminer la valeur des trois paramètres qui caractérisent ce signal.

TLB2 : Autour des ondes sinusoïdales

1. Une onde sinusoïdale se propage le long d'un axe (Ox). Son expression est :

$$s(x, t) = 0,02 \cos(2\pi(5t - 0,1x)),$$

avec x en mètre et t en seconde.

1.1. Déterminer la longueur d'onde, la fréquence, la période, la célérité, l'amplitude, la phase à l'origine et le sens de propagation de l'onde.

1.2. Donner l'équation d'une onde de même amplitude, de même fréquence et de même célérité mais se propageant en sens opposé.

2. Une onde sinusoïdale se propage le long d'une corde. Le temps que prend un point quelconque pour passer de son déplacement maximum à un déplacement nul est de 0,20 s. La longueur d'onde est de 1,4 m.

2.1. Déterminer la période de l'onde. En déduire sa fréquence.

2.2. Établir la relation entre célérité, longueur d'onde et période. Calculer la célérité.

TLB3 : Un autoclave (CCS22)

L'asepsie et l'hygiène sont primordiaux dans un cabinet dentaire : ainsi tous les instruments doivent être stérilisés à l'aide d'un autoclave.



Un autoclave est un récipient métallique à fermeture extérieure hermétique, résistant à des pressions élevées. Il ne possède pas de soupape contrairement à l'auto-cuiseur.

Le processus de stérilisation doit être contrôlé afin d'assurer un fonctionnement optimal. Le fabricant de l'autoclave contrôle à distance la stérilisation régulière des ustensiles dentaires et il informe aussi le praticien de pannes éventuelles.

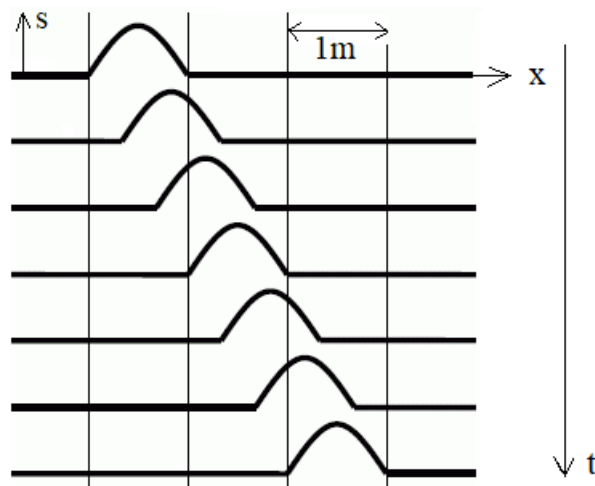
Ce contrôle à distance se fait à l'aide d'une connexion internet et d'une liaison wifi. La fréquence de l'onde électromagnétique associée au wifi est $f = 2,45$ GHz et sa propagation dans l'air est supposée identique à celle dans le vide.

1. Identifier la ou les grandeur(s) physique(s) associée(s) au signal électromagnétique.
2. Calculer la longueur d'onde associée à l'onde.
3. À quel domaine du spectre électromagnétique appartient-elle ?

TLB4 : Propagation d'une onde sinusoïdale

La figure ci-dessous permet de visualiser l'allure spatiale d'une onde progressive sinusoïdale à différents instants, séparés du même intervalle de temps $\Delta t = 100$ ms.

Afin de ne pas surcharger le graphique, il a été décidé de n'y représenter qu'une seule arche de sinusoïde, dont on suit la propagation.



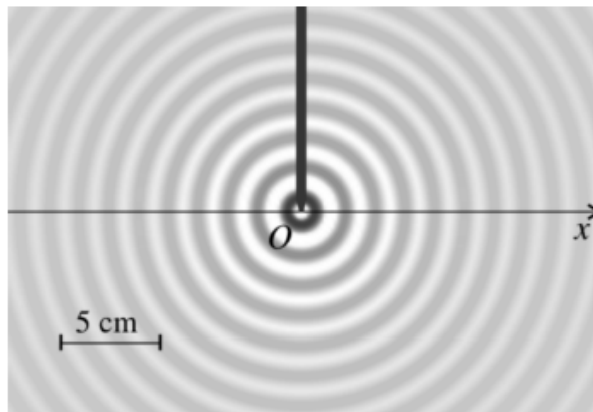
1. Déterminer le sens de propagation de cette onde.
2. Déterminer sa longueur d'onde, sa célérité, et en déduire sa période puis sa fréquence.

3 Exercices

Exercice 1 : Onde à la surface de l'eau (IPhO24)

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 $f = 20 \text{ Hz}$.



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.

1. Déterminer la longueur d'onde λ et estimer l'incertitude-type $u(\lambda)$ associée.
2. En déduire la célérité c .
3. Déterminer comment serait modifiée la figure si le stroboscope avait été enclenché une demi-période plus tard.
4. Donner l'expression mathématique de la hauteur d'eau pour les points de l'axe (Ox), soit $h(x, t)$, pour $x > 0$ et pour $x < 0$, sous l'hypothèse qu'il s'agit d'une onde progressive sinusoïdale dans les deux cas.
5. En réalité, l'amplitude A de l'onde ne reste pas constante lors de sa propagation : elle diminue lorsqu'on s'éloigne du point origine O, car l'énergie est répartie sur un domaine de

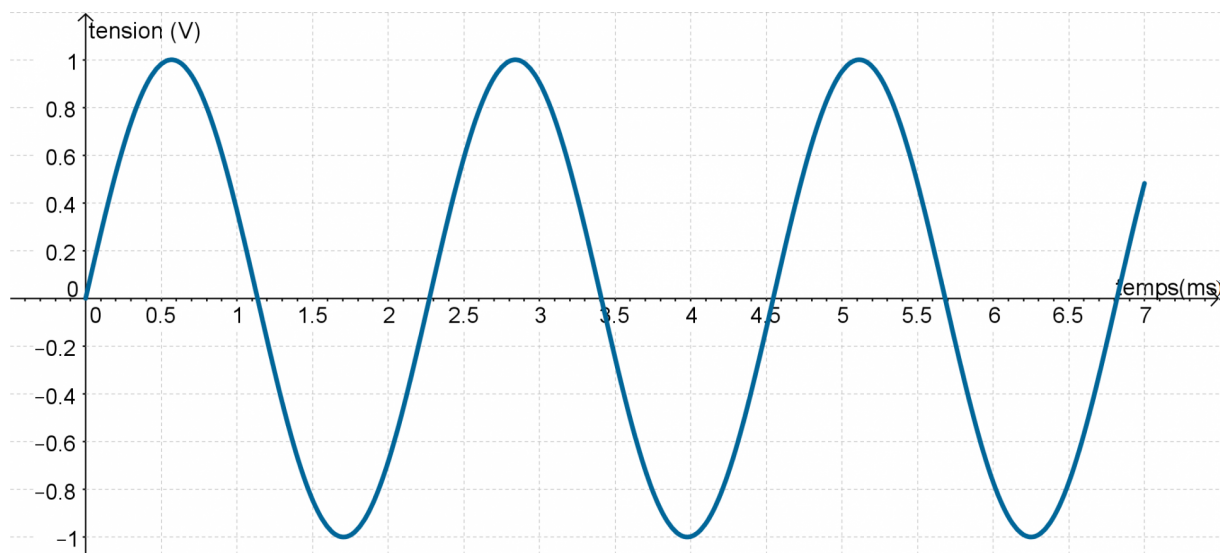
plus en plus grand. Sachant que la densité d'énergie transportée par l'onde est proportionnelle au carré de l'amplitude, proposer une expression de $A(x)$ s'il n'y a aucune perte d'énergie, et modifier les expressions de la question précédente.

Exercice 2 : Son émis par un diapason

Un diapason est un instrument métallique en forme de fourche à deux branches produisant un son de référence. La note de référence est le la_3 , dont la fréquence vaut 440 hertz.



On enregistre le son émis par un diapason avec un microphone, afin de visualiser le signal sonore sur l'écran d'un oscilloscope :



On modélise le signal électrique enregistré par un signal sinusoïdal.

1. Justifier que le signal est périodique, et déterminer graphiquement sa période T le plus précisément possible.
2. Calculer la fréquence f du signal. Commenter le résultat.
3. Déterminer la valeur de l'amplitude A du signal.
4. Justifier que l'onde sonore émise par le diapason est une onde mécanique, et identifier une grandeur physique associée au signal acoustique.
5. Rappeler la valeur approximative de la célérité c du son dans l'air.
6. Établir la relation qui lie la période T , la longueur d'onde λ et la célérité c pour une onde sinusoïdale.
7. En déduire la valeur de la longueur d'onde λ de l'onde sonore émise par un diapason.
8. Proposer un protocole pour mesurer cette longueur d'onde.

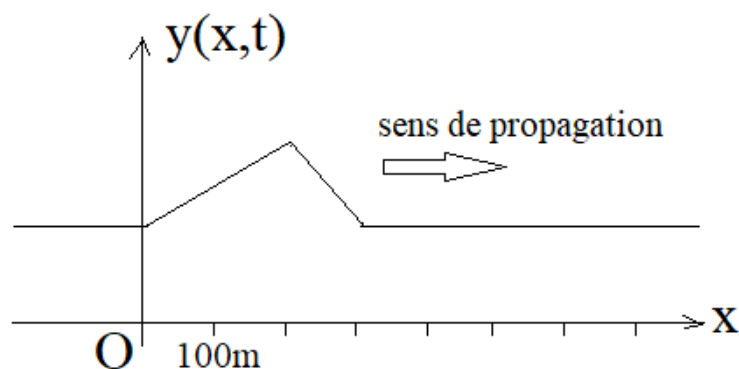
Exercice 3 : Le phénomène de mascaret



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

On considère ici un mascaret se déplaçant à la vitesse $c = 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ le long d'un fleuve rectiligne, et on définit un axe (Ox) dans la direction et le sens de sa progression.

À un instant $t_0 = 0$, on modélise le profil du niveau d'eau du fleuve de la façon suivante :



1. Faire un schéma du profil de niveau du fleuve à $t = 1,0 \text{ min}$, en supposant que l'onde se propage sans déformation.

2. Brice attend avec sa planche de surf à l'abscisse $x_B = 1,0 \text{ km}$. Déterminer à quel instant la vague l'atteindra.

3. Un détecteur fixe, enregistrant la hauteur du fleuve en fonction du temps, est placé à l'abscisse $x_d = 500 \text{ m}$. Dessiner l'allure de la hauteur d'eau $y(x_d, t)$ en fonction de t .

4. En réalité, l'onde se déforme petit à petit car la vitesse de propagation augmente avec la profondeur. Comment évolue le profil de la vague ?

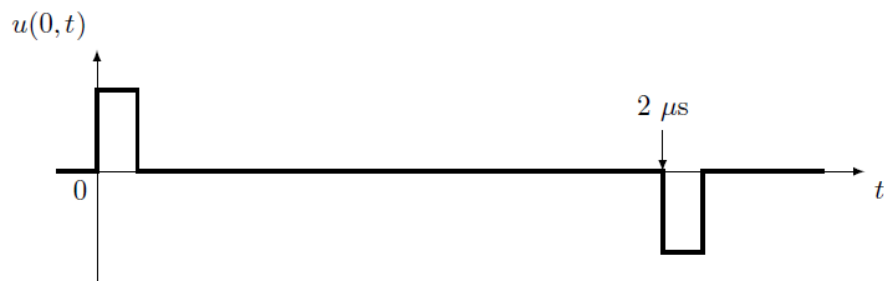
4 QCM : propagation d'un signal dans un câble coaxial

Un câble coaxial, couramment utilisé en travaux pratiques d'électricité, peut être le siège de la propagation d'un signal de tension électrique.

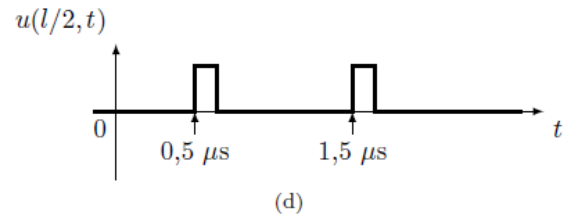
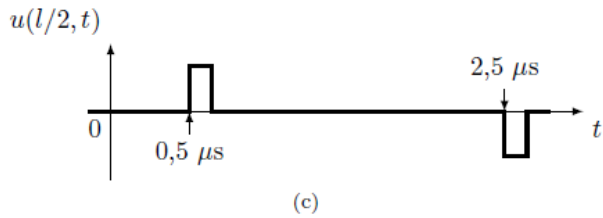
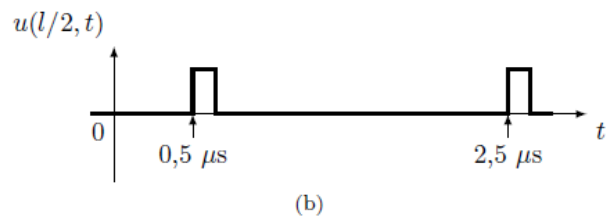
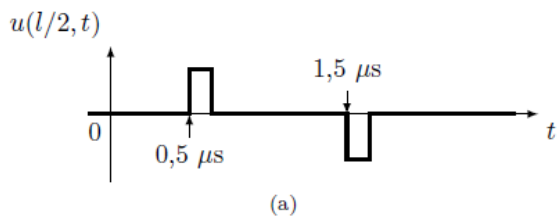


On envoie une impulsion unique de tension dans un câble de longueur l .

Un oscilloscope placé immédiatement en entrée du câble affiche le signal de tension $u(0, t)$ ci-dessous.



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



Indication : L'onde se réfléchit en bout de câble. La somme de l'onde incidente et de l'onde réfléchie s'y annule.