



Thème I. Ondes et signaux (ondes)

TD n°10 Propagation d'un signal

💡 Méthode : Comment travailler des exercices ?

Avant la séance de TD :

- ★ Sur une feuille de brouillon, avec un crayon à la main et le chapitre ouvert sous les yeux.
- ★ Essayer des « trucs » même si cela n'aboutit pas.
- ★ Faire des schémas complets et suffisamment grands.
- ★ Ne rien écrire sur l'énoncé de TD afin de pouvoir refaire les exercices après la correction en classe.
- ★ Réfléchir environ 10 à 15 min sur chaque exercice demandé. Si vous bloquez complètement sur une question/un exercice, passez à la suite au bout de 10 min, et me poser des questions soit directement soit par mail nvalade.pcsi@gmail.com.

Après la séance de TD :

- ★ Refaire les exercices corrigés ensemble, sans regarder le corrigé dans un premier temps.
- ★ Une fois l'exercice terminé ou si vous êtes totalement bloqué, reprendre avec le corrigé.

I Exercices d'application directe du cours

Exercice n°1 Quelques signaux

Capacités exigibles : Utiliser la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase.

Q1. Donner la période, la fréquence, la pulsation, l'amplitude, la longueur d'onde et la célérité de l'onde

$$s(x, t) = 6 \sin(3,2 \times 10^3 \pi t - 5\pi x + 5\pi)$$

avec t en secondes et x en mètres.

Q2. Les chauve-souris émettent généralement une suite de cris en forme de trains d'onde, chacun d'une durée d'environ 3 ms et une fréquence porteuse variant entre 30 kHz et 100 kHz. Généralement, le temps Δt entre deux cris est de 70 ms.

À quelle distance maximale un objet peut-il être situé pour que l'écho d'un cri soit reçu avant l'émission du cri suivant ?

Exercice n°2 Onde progressive ou non ?

Capacités exigibles : Écrire les signaux sous la forme $f(x - ct)$ ou $g(x + ct)$ ou $f(t - x/c)$ ou $g(t + x/c)$.

Parmi les fonctions suivantes, identifier lesquelles représentent des ondes progressives unidimensionnelles, et préciser, le cas échéant, le sens de propagation et la célérité c .

Q1. $s_1(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \phi)$

Q2. $s_2(x, t) = A \cos(\omega t) \cos(kx)$

Q3. $s_3(x, t) = A e^{-\left(\frac{x+ct}{\sigma}\right)^2}$

Q4. $s_4(x, t) = A \cos(\omega t - kx) + B \sin(\omega t + kx)$

Q5. $s_5(x, t) = A \cos(\omega t - kx) + B \sin(2\omega t - 2kx)$

Q6. $s_6(x, t) = A \sin(\omega t + kx)$

Q7. $s_7(x, t) = A \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{2b} \right) \right]$

Q8. $s_8(x, t) = A e^{-k'x} \cos[k''(x - ct)]$

Q9. $s_9(x, t) = A e^{-k'(x+ct)} \cos[k''(x - ct)]$

Q10. $s_{10}(y, t) = A e^{-k'(y-ct)} \cos[k''(ct - y)]$

Exercice n°3 Mascaret

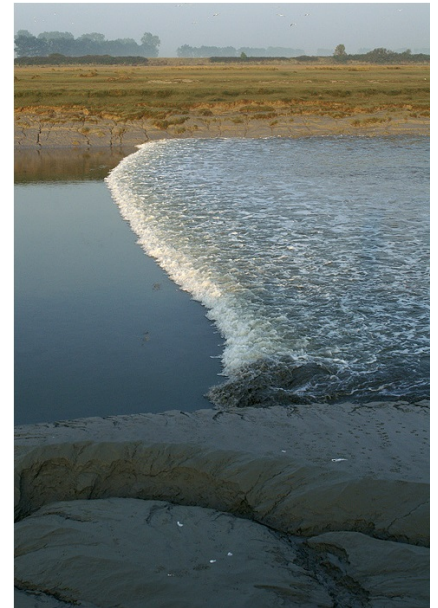
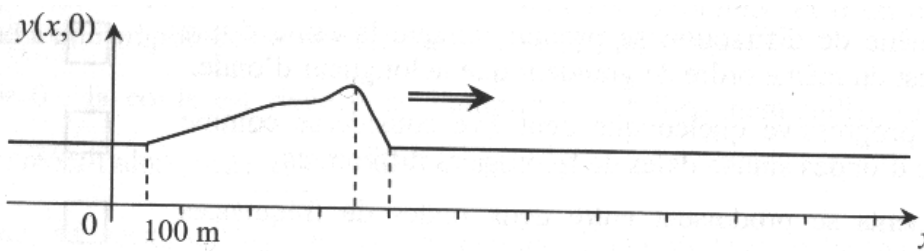
Capacités exigibles :

- ✓ Prévoir dans le cas d'une onde progressive pure l'évolution temporelle à position fixée, et prévoir la forme à différents instants.

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

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

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



Ci-contre, photographie d'un mascaret à proximité du Mont Saint-Michel.

- Q1. Faire un schéma du profil de niveau du fleuve à $t = 1,0 \text{ min}$, en supposant que l'onde se propage sans déformation.
- Q2. Un surfeur attend avec sa planche de surf à l'abscisse $x_S = 2,0 \text{ km}$. À quel instant va-t-il recevoir la vague ?
- Q3. Un détecteur fixe, enregistrant la hauteur du fleuve en fonction du temps, est placé à l'abscisse $x_d = 1,4 \text{ km}$. Dessiner l'allure des variations $y(x, t)$ en fonction de t .
- Q4. 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 ?

Exercice n°4 Position et date d'un séisme

Un séisme produit deux types d'ondes sismiques : les ondes P, longitudinales, qui se propagent avec la célérité c_P et les ondes S, transversales, qui se propagent avec la célérité $c_S < c_P$.

- Q1. Lors d'un séisme, on commence à détecter les premières à l'instant t_P et les secondes à l'instant t_S .
Montrer qu'on peut en déduire, connaissant c_P et c_S , la distance Δ entre le foyer du séisme et l'appareil de mesure ainsi que la date du début du séisme.
- Q2. Pour un séisme, on mesure les distances Δ_1 , Δ_2 et Δ_3 entre le foyer du séisme et trois stations de mesures. Sans faire de calcul, montrer que cette information permet de localiser le foyer du séisme à l'intérieur de la Terre.
Quel système très connu fonctionne sur ce même principe ?

II Exercices d'approfondissement

Exercice n°5 Effet Doppler

Capacités exigibles :

- ✓ Écrire les signaux sous la forme $f(x - ct)$ ou $g(x + ct)$.
- ✓ Écrire les signaux sous la forme $f(t - x/c)$ ou $g(t + x/c)$.

Un émetteur, repéré par sa position x sur un axe, émet une série de « bips » sonores espacés d'une durée T dans la direction d'un récepteur fixe en O . Chaque onde sonore se propage dans la direction $-x$ à la célérité c . L'émetteur se déplace à la vitesse constante $\vec{v} = v\vec{u}_x$ et sa position initiale est $OE = \ell_0$.

- Q1. Montrer que le récepteur reçoit les bips tous les T' que l'on exprimera en fonction de T , v et c .
- Q2. Comment faire pour que la période T' perçue par le récepteur soit plus faible que T ? Plus importante? Ces résultats vous semblent-ils cohérents?

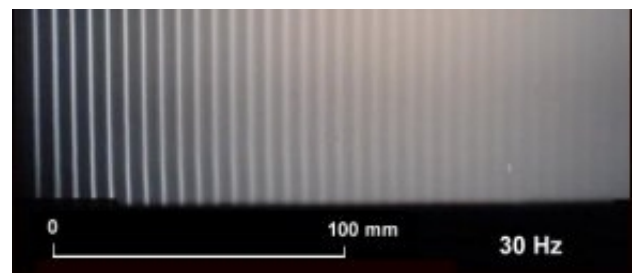
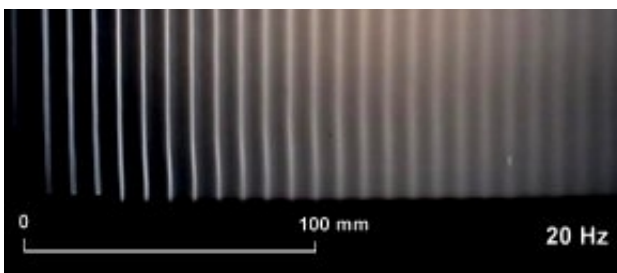
Un haut parleur émet une onde sinusoïdale de fréquence f se propageant à la célérité c dans la direction $+x$. Un observateur O' muni d'un micro se déplace avec une vitesse $\vec{v} = v\vec{u}_x$ le long de l'axe d'émission de l'onde. Pour l'observateur en mouvement, un point d'abscisse x de l'axe (Ox) se trouve à une distance $x' = x - vt$ sur l'axe $(O'x)$ qui se déplace avec l'observateur (référentiel de l'observateur).

- Q3. Donner l'expression du signal $s(x, t)$ de l'onde.
- Q4. Que devient l'expression du signal $s(x', t)$ dans le référentiel de l'observateur?
- Q5. En déduire l'expression (en fonction de f , v et c) de la fréquence f' « ressentie » dans le référentiel de l'observateur. L'effet est-il le même que lorsque c'est l'émetteur qui se déplace?
- Q6. Retrouver ce résultat en raisonnant sur la conservation de la longueur d'onde dans les deux référentiels.

III Résolution de problèmes

Exercice n°6 Caractère dispersif de la cuve à ondes

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.



Exercice n°7 Orage

Lors d'un orage on compte le temps séparant l'observation de l'éclair et l'écoute du tonnerre. On dit que pour déterminer la distance à laquelle la foudre est tombée il suffit de compter le nombre de seconde séparant l'observation de l'éclair et l'écoute du tonnerre et multiplier par 300.

Expliquer

IV Extrait du cahier d'entraînement de physique-chimie

Entraînement 2.13 — Éclair et tonnerre.



La foudre est une décharge électrique qui se produit pendant les orages et qui entraîne une lumière intense (l'éclair) et un grondement sourd (le tonnerre).

La lumière se propage à la vitesse $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et le son se propage à la vitesse $c_s = 344 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Vous mesurez à l'aide d'un chronomètre la durée entre le moment où vous voyez l'éclair et le moment où vous entendez le tonnerre : vous trouvez $\Delta t = 5,0 \pm 0,5 \text{ s}$.

- a) On considère que la lumière se propage instantanément entre le lieu de l'éclair et votre position.

Déterminer la distance à laquelle la foudre a frappé

- b) En déduire la durée de propagation de la lumière entre l'endroit où la foudre a frappé et votre position.

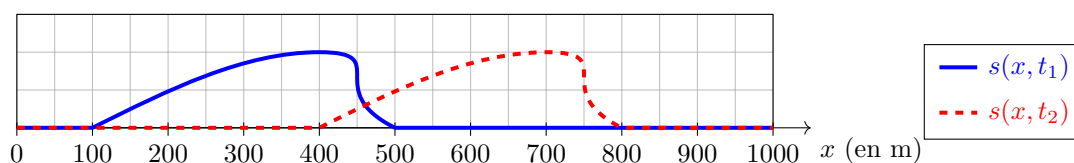
.....

- c) L'hypothèse faite à la première question est-elle justifiée?

Entraînement 2.14 — Vitesse de propagation.



Une vague $s(x, t)$ se propage en direction des côtes. Ci-dessous, on représente l'allure de la surface de l'eau aux instants $t_1 = 0 \text{ min}$ et $t_2 = 1 \text{ min}$.



Déterminer la vitesse de propagation de la vague en km/h.

Entraînement 2.15 — Onde progressive sinusoïdale.



Une onde progressive sinusoïdale a pour expression, en $x = 0$

$$s(0, t) = 2 \sin(3,9 t + 0,3 \pi),$$

le temps t étant exprimé en secondes.

Elle se propage dans le sens des x croissants à la vitesse $c = 30 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

- a) Déterminer la période T du signal.

- b) Déterminer la longueur d'onde λ du signal.

- c) Donner l'expression générale de $s(x, t)$