TD 9 - Ondes progressives

Ce qu'il faut savoir et savoir faire

→ Célérité et retard temporel.
→ Prévoir dans le cas d'une onde progressive pure l'évolution temporelle à position fixée, et l'évolution spatiale à un instant donné.
→ Ecrire les signaux sous la forme $f(x \pm vt)$ ou $g\left(t \pm \frac{x}{v}\right)$
→ Onde progressive sinusoïdale : phase, double périodicité spatiale et temporelle.
→ Etablir la relation entre période ou fréquence, longueur d'onde et vitesse de phase.
→ Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation.

J'apprends mon cours : *Questions de cours, Exercices 1, 2, 4*

Questions de cours

Q1. Définir une onde progressive et en donner une représentation mathématique.
Q2. Définir la notion de célérité.
Q3. Décrire une onde progressive sinusoïdale et en définir les caractéristiques (période, pulsation, longueur d'onde…)
Q4. Expliquer la double périodicité d'une progressive sinusoïdale.
Q5. Etablir la relation entre période, vitesse de phase et longueur d'onde.

Exercices

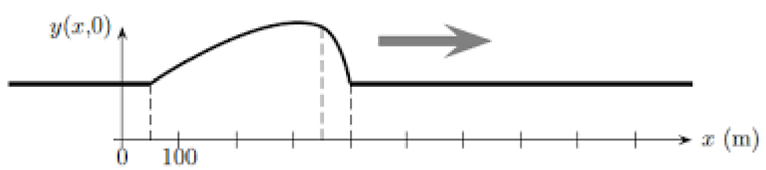
Exercice 1 : Etude d'un mascaret

★☆☆
Ref. 0072

✓ *Caractéristiques d'une onde*
✓ *Représentations temporelle et spatiale*

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

On considère ici qu'il se déplace à la vitesse v = 18 km.h^{-1} le long d'un fleuve rectiligne, et on définit un axe (Ox) dans la direction et le sens de propagation. A la date t = 0s le profil de niveau de l'eau a l'allure suivante :



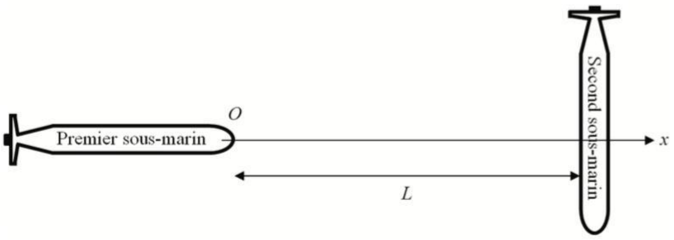
1) Caractériser l'onde.
2) Faire un schéma du profil du niveau du fleuve à la date t = 1,0 min, en supposant que l'onde se propage sans déformation.
3) Un détecteur fixe, enregistrant la hauteur de l'eau en fonction du temps, est placé à l'abscisse x_d = 1,6 km. Dessiner l'allure des variations $y(x_d,t)$.

Exercice 2 : Principe d'un sonar (CCINP TSI 2016) ♥

★★☆
Ref. 0073

- ✓ *Onde progressive sinusoïdale*
- ✓ *Représentations temporelle et spatiale*

Un sonar (SOund NAvigation and Ranging) est un dispositif de détection utilisant les ondes acoustiques comme signal détectant. Il permet aux marins de naviguer correctement (mesure de la profondeur) ou aux sous-mariniers de repérer les obstacles et les autres navires. L'avant d'un sous-marin est équipé d'un sonar lui permettant d'éviter d'entrer en collision avec un autre sous-marin. Le sonar est constitué d'un émetteur d'ondes sonores et d'un récepteur capable d'identifier l'écho de l'onde précédemment émise.
On suppose dans cette partie que la mer est un milieu homogène dans lequel le son se propage rectilignement. A 20°C, la vitesse du son dans l'eau de mer est c = 1,50 km.s^{-1}.
On note O l'avant du sous-marin équipé du sonar et (Ox) l'axe du sous-marin, correspondant à l'axe de propagation de l'onde sonore. Un second sous-marin est à la distance L du premier, dans la configuration représentée sur la figure ci-dessous.



1) L'émetteur produit une très brève impulsion sonore. Le récepteur en reçoit l'écho au bout d'une durée $\Delta t_e = 38.8\ ms$. En déduire la distance L à laquelle se situe le second sous-marin. Faire l'application numérique.

A partir de l'instant t = 0, le sonar émet l'impulsion sonore sinusoïdale de la figure 2.2, pendant une durée $\Delta t_i = 800\ \mu$s.

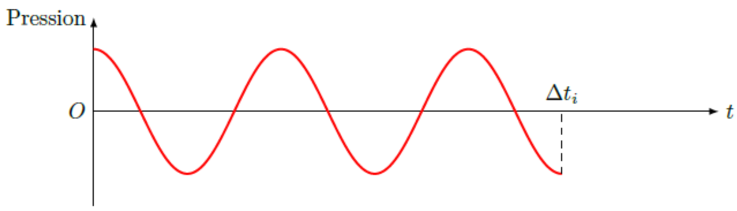


Fig. 2.2 – Impulsion "sinusoïdale" correspondant au signal envoyé par le sonar

2) Déterminer, en justifiant, la valeur numérique de la fréquence f de l'onde émise par le sonar.

On s'intéresse à la propagation spatiale de l'impulsion sonore : on représente alors la pression en fonction de la variable x.

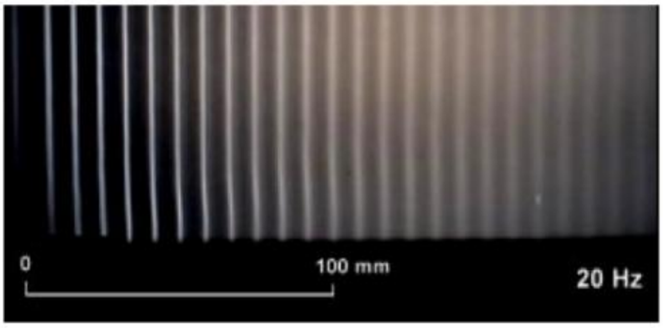
3) Exprimer et calculer numériquement la longueur spatiale Δx de l'impulsion.
4) Représenter l'impulsion sonore à l'instant t = 12,0 ms. On prendra soin de calculer numériquement les positions du début de l'impulsion et de sa fin.

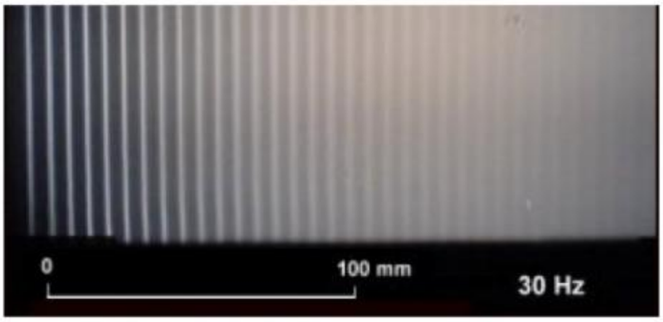
Exercice 3 : Ondes progressives

★☆☆
Ref. 0074

✓ *Longueur d'onde*

On observe des ondes planes émises à la surface de l'eau contenue dans un cuve à ondes. Montrer à l'aide des 2 photographies suivantes que l'eau est un milieu dispersif pour ces ondes.





Exercice 4 : Ondes progressives

★☆☆
Ref. 0075

✓ *Onde progressive sinusoïdale*
✓ *Expression mathématique d'une onde progressive*

Déterminer les fonctions qui représentent les ondes suivantes :

1) Une onde progressive sinusoïdale se déplaçant selon les x positifs, d'amplitude 10 cm, de longueur d'onde 0,50 m et de fréquence de 10 Hz. A t = 0, une particule située en x = 0 est à la position y = - 0,1 m.
2) Une onde progressive sinusoïdale se déplaçant selon les x négatifs, d'amplitude 10 cm, de vecteur d'onde de norme 2 rad/m et de période de 0.5 s. A t = 0, une particule située en x = 0 est à la position y = 0,02 m. (2 réponses possibles).

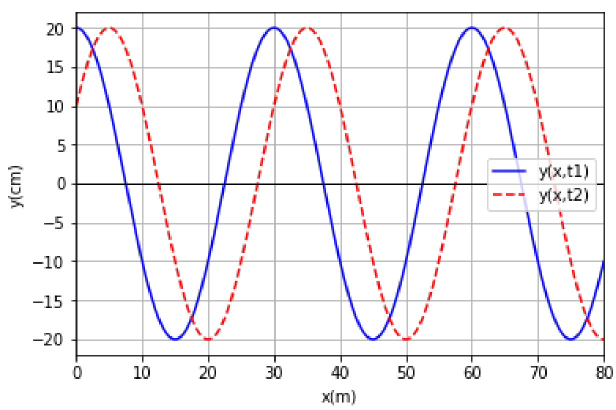
Exercice 5 : Modélisation de la houle ♥

★★☆
Ref. 0076

✓ *Onde progressive sinusoïdale*
✓ *Caractéristiques d'une onde progressive sinusoïdale*
✓ *Expression mathématique d'une onde progressive*

La houle est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer formé par un vent lointain. Nous l'assimilerons ici pour simplifier à une onde harmonique se propageant le long d'un axe Ox. Nous notons $y(x,t)$ l'ordonnée du point de la surface qui se trouve en x à l'instant t.

La fonction $y(x,t)$ est représentée sur la figure à deux instants différents $t_1 = 0\ s$ et $t_2 = 1\ s$. Nous admettons que t_2 est inférieur à la période T de l'onde et nous négligeons toute atténuation.



1) Dans quel sens se propage l'onde ?
2) Déterminer sa longueur d'onde, sa célérité et sa période.
3) Proposer une écriture de $y(x,t)$.
4) Deux bouées se trouvent aux abscisses $x_1 = 0\ m$ et $x_2 = 5\ m$ à la surface de l'eau. Représenter sur le même graphe l'évolution de l'ordonnée de deux bouées (assimilées à deux points sur la surface de l'eau) en fonction du temps.

Exercice 6 : Onde le long d'une corde ♥ ★★☆
Ref. 0077

- ✓ *Onde progressive sinusoïdale*
- ✓ *Expression mathématique d'une onde progressive*

Une corde tendue très longue est excitée à l'une de ses extrémités par un mouvement transversal d'amplitude A = 10 cm et d'équation $y(t) = A\, sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$. On note c la célérité de l'onde.

1) Etablir l'équation de l'onde progressive $y_M(x,t)$ se propageant dans la corde dans le sens des x croissants.

La corde a une masse de $m = 100\ g$ pour $l = 10\ m$ de longueur, et elle est tendue avec une tension $F = 15\ N$.

2) La célérité c de l'onde le long de la corde dépend des trois paramètres précédents. Par analyse dimensionnelle, déterminer son expression. (On admettra que le coefficient adimensionné devant vaut 1).
3) La calculer.
4) Ecrire l'équation du mouvement d'un point M distant de 5 m de la source. Calculer son élongation à l'instant $t = 2.5\ s$ sachant que la fréquence vaut $f = 16\ Hz$.
5) A quelle distance se trouvent deux points voisins vibrant en opposition de phase. Cette distance dépend-elle de la tension F ?
6) Comment faut-il faire varier la tension de la corde pour doubler la longueur d'onde ?

Résolution de problème

Exercice 7 : Distance d'un orage ★☆☆
Ref. 0078

Pendant un orage, on peut grossièrement évaluer la distance à laquelle est tombée la foudre : si on divise par trois la durée en secondes entre l'éclair et le tonnerre, on obtient la distance cherchée en kilomètres.
Expliquer pourquoi cette méthode fonctionne. La réponse doit être justifiée et toutes les hypothèses explicitées