

PO1 | Physique des ondes

Propagation des ondes

Prérequis



Notions mathématiques :

FO4

- trigonométrie trigonométrique ;



Notions physiques :

Prepa

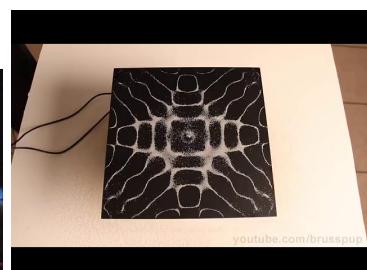
- Électrocinétique, Optique : ondes électrique et électromagnétique (O1 et E1)
- Double périodicité spatiale et temporelle d'une onde optique (O1)
- Relations période, fréquence, longueur d'onde, célérité, pulsation (O1)

I Description d'une onde

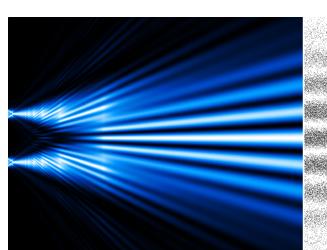
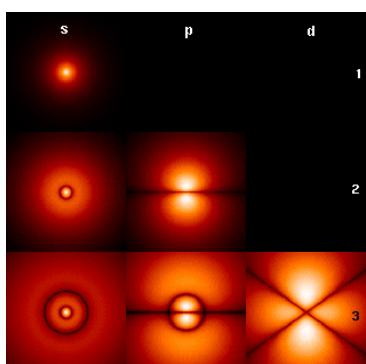
I.A Exemples



Animation PhET



De gauche à droite : (a) photo d'un ricochet. (b) tube de Kundt percé, montrant les noeuds et les ventres à l'aide de flammes. (c) Figure de Chladni avec du sable.



De gauche à droite : (a) orbitales atomiques de l'atome d'hydrogène. (b) Fentes de Young. (c) Antenne de télécommunication.

I.B Définitions

À connaître

- ~ Définition d'une onde, d'un signal. Différence entre information (énergie) et matière ;
- ~ Dans la suite du cours, nous modélisons l'onde par une fonction notée s qui représente les variations de son amplitude dans l'espace et le temps :

$$s(M, t) = s(x, y, z, t)$$

- ~ Célérité : vitesse de propagation de l'onde, notée c .

Remarque : s est parfois appelée amplitude de l'onde, ou vibration.

I.C Grandeur physiques

La propagation des ondes est due (en général) au couplage de deux grandeurs physiques.

À connaître

Il existe des ondes à support matériel : son, matière, électricité, et des ondes sans support matériel : lumière, électromagnétisme

II Onde progressive unidimensionnelle

II.A Définition

À connaître

- ~ définition d'une onde unidimensionnelle : $s(x, t)$;
- ~ définition d'une onde progressive :

$$s(x, t) = f(x - ct) \quad \text{si } x \text{ croissants}$$

$$s(x, t) = g(x + ct) \quad \text{si } x \text{ décroissants}$$

II.B Propagation de l'onde à t fixé



Physique animée, université de Nantes.

Savoir-faire

À partir de la forme de l'onde à un instant donné, en déduire l'onde à un autre instant.

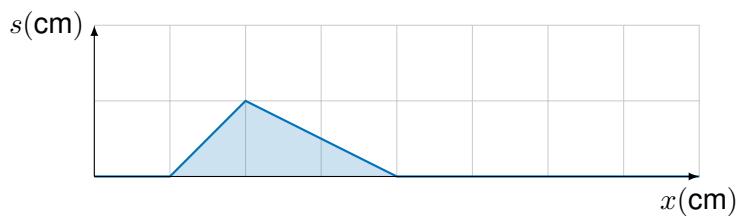
II.C Propagation de l'onde à x fixé

Savoir-faire

À partir de la forme de l'onde donnée en fonction du temps ou à un instant donné, en déduire l'onde à une autre position.

Application 1 : Propagation d'une onde

Énoncé Une onde progressive se propage selon les x croissants le long d'une corde à la célérité $c = 1 \text{ cm s}^{-1}$. Une représentation de l'onde à $t = 0$ est fournie.

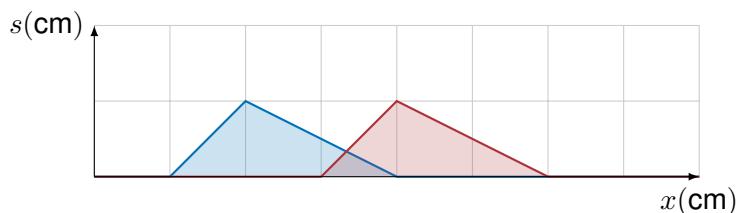


- ① Représenter l'onde à $t_1 = 2 \text{ s}$;
On place un capteur en $x_c = 5 \text{ cm}$
- ② À quel instant t_2 la perturbation atteint le capteur ?
- ③ Combien de temps la perturbation met pour franchir le capteur ?
- ④ Représenter l'onde s en fonction du t vu par le capteur situé en x_c .

Solution

- ① L'onde se propage à vitesse constante : $c = \frac{d}{\Delta t}$ D'où $d = c\Delta t$
A.N : $d = 2 \text{ cm}$

L'onde s'est déplacé de 2 cm vers la droite (onde croissante).



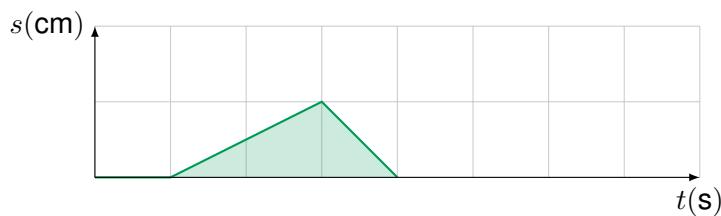
En bleu, onde à $t = 0 \text{ s}$ et en rouge, onde à $t = 2 \text{ s}$.

- ② Initialement le front de l'onde est la position $x_f = 4 \text{ cm}$ (lecture graphique). Il arrive en x_c après avoir parcouru une distance $d_f = x_c - x_f$.
Ce qui correspond à un temps de trajet :

$$\Delta t_f = t_2 - 0 = t_2 = \frac{d}{c} = 1 \text{ s}$$

- ③ Le front à une longueur $\ell = 3 \text{ cm}$ (lecture graphique). Il met donc $\Delta t_\ell = \ell/c = 3 \text{ s}$ à franchir le capteur (où n'importe quel point.)
- ④ Le capteur commence par observer le front, avant d'observer le reste de l'onde : la forme de l'onde est inversée.

D'après les questions précédentes, l'onde arrive à l'instant $t_2 = 1 \text{ s}$ et sort à l'instant $t_3 = t_2 + \Delta t_\ell = 4 \text{ s}$.



III Ondes progressives sinusoïdales (ou harmoniques ou monochromatique)

III.A Définition



À connaître

- sinusoïdale, harmonique et monochromatique sont synonymes : pulsation unique ω , fréquence ν unique ;
- nombre d'onde et longueur d'onde ; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ et donc $k = \omega/c \Leftrightarrow \frac{\omega}{k} = c$
- écriture de la vibration d'une onde sinusoïdale :

$$s(x, t) = S_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$

- définition des termes S_0 , ω , k et φ

III.B Double périodicité



À connaître

Lien entre la périodicité temporelle et spatiale.

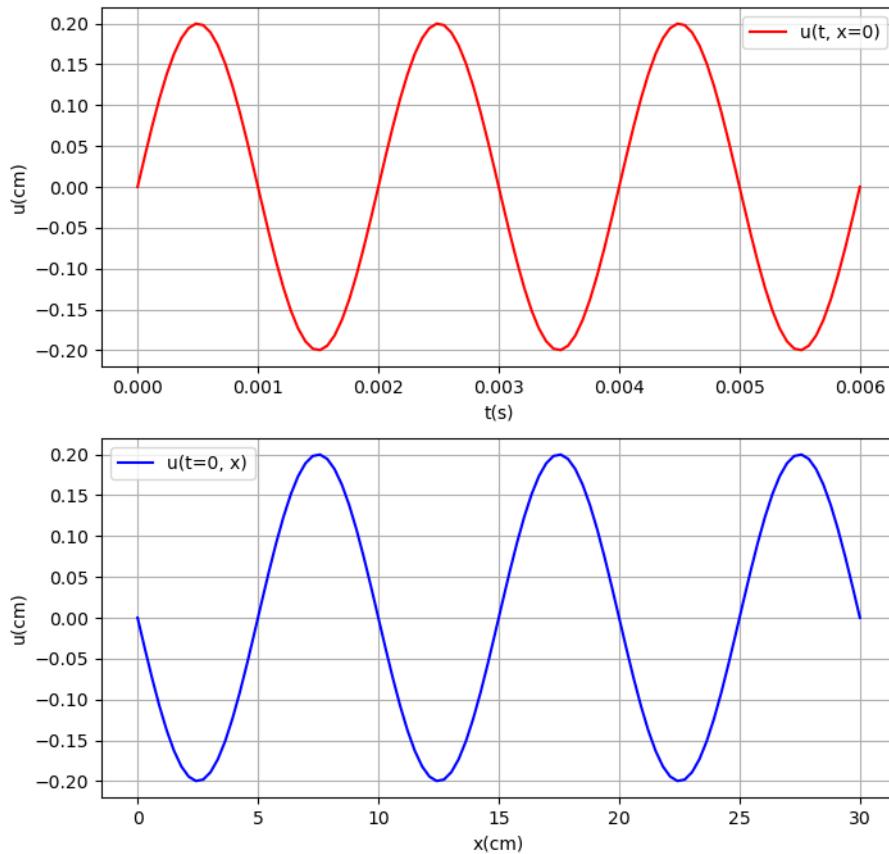


Application 2 : onde sinusoïdale

Énoncé

Soit une corde parcourue par une onde progressive sinusoïdale dans le sens des x croissants. L'évolution spatiale et temporelle est fournie sur la figure ci-dessous.

- ① Déterminer λ et T les périodes spatiale et temporelle.
- ② En déduire la célérité c de l'onde.
- ③ Donner l'expression de l'élongation verticale $u(x, t)$.
- ④ En déduire la phase à l'origine.



Solution

① Par lecture graphique $\lambda = 10 \text{ cm}$ et $T = 2 \times 10^{-3} \text{ s}$

$$② c = \frac{\lambda}{T} \text{ A.N } c = 50 \text{ m s}^{-1}.$$

③ Il y a le choix de la convention :

$$u(x, t) = U_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_1)$$

ou $u(x, t) = U_0 \cos(kx - \omega t + \varphi_2)$

Remarque : le choix de la convention change la définition de la phase à l'origine mais en rien la direction de propagation de l'onde.

④ Pour déterminer la phase à l'origine, nous faisons une lecture graphique à $t = 0, x = 0$:

$$u(x = 0, t = 0) = 0$$

puis nous comparons avec l'expression :

Pour la convention 1 :

$$U_0 \cos(\varphi_1) = 0$$

$$\varphi_1 = \begin{cases} \frac{\pi}{2}[2\pi] \\ -\frac{\pi}{2}[2\pi] \end{cases}$$

Comment choisir entre les deux valeurs possibles ? D'après le graphique u en fonction du temps, nous remarquons que si t augmente depuis la position initiale, $u(x = 0, t)$ augmente. Or :

$$u(x = 0, t) = U_0 \cos(\omega t + \pi/2) \text{ est décroissante avec } t$$

$$u(x = 0, t) = U_0 \cos(\omega t - \pi/2) \text{ est croissante avec } t$$

Donc

$$\varphi_1 = -\pi/2[2\pi]$$

Pour la convention 2 :

$$U_0 \cos(\varphi_2) = 0$$

$$\varphi_2 = \begin{cases} \frac{\pi}{2}[2\pi] \\ -\frac{\pi}{2}[2\pi] \end{cases}$$

Comment choisir entre les deux valeurs possibles ? D'après le graphique u en fonction du temps, nous remarquons que si t augmente depuis la position initiale, $u(x = 0, t)$ augmente. Or :

$$u(x = 0, t) = U_0 \cos(-\omega t + \pi/2) \text{ est croissante avec } t$$

$$u(x = 0, t) = U_0 \cos(\omega t - \pi/2) \text{ est décroissante avec } t$$

Donc

$$\varphi_2 = \pi/2[2\pi]$$

Nous retrouvons que $\varphi_2 = -\varphi_1$. Les deux conventions sont de signe opposé.

Application 3 : propagation du son

Énoncé

① Quelle est la vitesse du son dans l'air ?

Nous rappelons que le domaine audible pour l'être humain s'étend de 20 Hz à 20 kHz ?

② En déduire les longueurs d'onde maximale et minimale audible.

③ Rappeler la vitesse de la lumière dans le vide ? et le domaine des longueurs d'onde visible ?

④ En déduire la fréquence moyenne des ondes lumineuses.

⑤ Quelle est la longueur d'onde d'une radio émettant à 100 MHz ?

Solution

① $c = 340 \text{ m s}^{-1}$

② $\lambda_{\max} = 17 \text{ m}$ et $\lambda_{\min} = 1,7 \text{ cm}$.

③ $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ et $\lambda \in [400; 800] \text{ nm}$.

④ $\nu = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$

⑤ $\lambda = 3 \text{ m}$