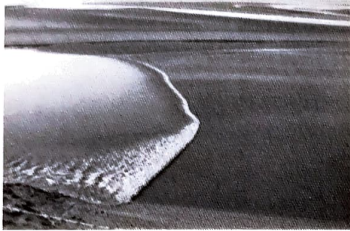


Signaux Physiques

SP1 Propagation d'un signal

I Les différents signaux.....	1
1.) Nature des signaux.....	1
2.) Signaux périodiques.....	2
II Ondes progressives.....	2
1.) Définition.....	2
2.) Onde progressive sinusoïdale.....	4

Un mascaret dans la baie de Morecambe, au Royaume-Uni.



Le **mascaret** est un phénomène naturel très spectaculaire qui se produit sur une centaine de fleuves, rivières et baies dans le monde. Ce phénomène de brusque surélévation de l'eau d'un fleuve ou d'un estuaire est provoqué par l'onde de la marée montante lors des grandes marées. Il se produit dans l'embouchure et le cours inférieur de certains fleuves lorsque leur courant est contrarié par le flux de la marée montante. Imperceptible la plupart du temps, il se manifeste au moment des nouvelles et pleines lunes. Les mascarets les plus spectaculaires s'observent aux embouchures du Qiantang (Chine), du Hooghly en Inde et de l'Amazone au Brésil.

I Les différents signaux

1.) Nature des signaux

On appelle **onde** un phénomène physique dans lequel une **perturbation locale** se déplace dans l'espace **sans qu'il y ait de déplacement de matière en moyenne**. Toute grandeur physique, nulle dans l'état de repos et apparaissant avec la perturbation, est appelée **signal physique transporté par l'onde**.

Ondes longitudinales ou ondes de compression :

La perturbation locale se fait dans la direction de propagation.

https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/general/onde_longitudinale.php

Ondes transversales ou ondes de cisaillement :

La perturbation locale se fait **perpendiculairement** à la direction de propagation.

https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/general/onde_transversale.php

Type d'onde	Milieu de propagation	Signaux physiques
Ondes élastiques	solide	déplacement transversal ou longitudinal
Ondes sonores	fluide	surpression acoustique , vitesse (longitudinale)
Ondes électromagnétiques	vide	champ électrique, champ magnétique
Ondes de courant	câble de transmission	tension électrique, intensité électrique
Ondes gravitationnelles	vide	déformation de l'espace

séisme

$p(t) = P - P_{atm}$

$\vec{E}, \vec{B}$: lumière du soleil

https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/cuve_ondes/propagation_onde_circulaire.php

ex: cuve à onde : altitude du flotteur M dépend de 2 variables :

- distance à l'origine des vagues. (souffleur au pt 0)

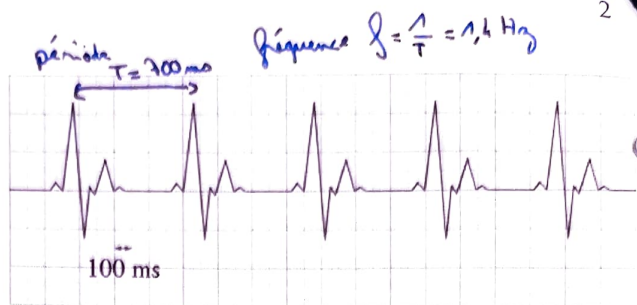
- tps

$\Rightarrow y(x, t) = s(x, t)$ où $x = 0M$

↑
altitude

noté s par 1 giteur quelconque

2.) Signaux périodiques



Signal acoustique

La **fréquence** correspond à la **hauteur du son** : un son grave a une fréquence basse, un son aigu une fréquence élevée.

Le **domaine audible**, intervalle des fréquences f_{son} perçues par l'oreille humaine, s'étend de **20 Hz à 20 kHz**.

ultrason $f > 20 \text{ kHz}$ $f = 60 \text{ kHz}$ en T_p

Signal électromagnétique

$f = 50 \text{ Hz}$ fréquence du réseau électrique

$f = 1-5 \text{ GHz}$

TP élec $50 \text{ Hz} < f < 50 \text{ MHz}$

II Ondes progressives

1.) Définition

Onde progressive à une dimension : **Onde** qui ne se propage que dans une seule direction.

Caractérisée par une fonction $s(x,t)$ représentant le signal physique.

Exemple : Pour une corde vibrante, s représente le déplacement dans la direction perpendiculaire à la corde.

Célérité c : Vitesse de propagation de l'onde dans le milieu considéré. $c \geq 0$

Hypothèse : L'onde est émise par la source au point O.

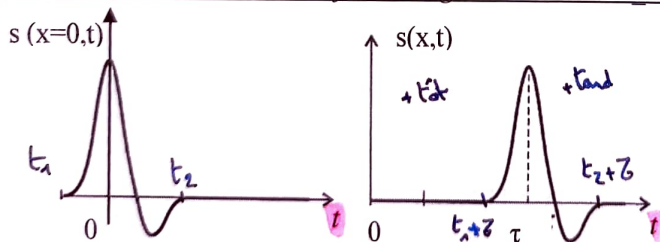
- On suppose que le milieu n'est **pas dispersif** : L'onde se propage sans déformation dans la direction des $x > 0$.

- On suppose que le milieu n'est **pas absorbant** : L'amplitude de l'onde n'est pas atténuée lors de sa propagation.



Première expression : On place des capteurs enregistreurs à différents endroits. = *plotemo*

https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/general/evolution_temporelle.php



Capteur à l'abscisse $x=0$

Capteur à l'abscisse x

τ retard = tps de parcours de l'onde (pour parcourir la distance x).

$$\tau = \frac{x}{c} \leftarrow m$$

$x = 0m$

Figure 2.12 – Onde se propageant sans atténuation ni déformation dans le sens positif de (Ox) , en deux points différents.

le signal en x à l'instant t est le même que celui qui était en $x=0$ à l'instant $t-z$.

$$s(x,t) = s(x=0, t-z)$$

$$= s(x=0, t - \frac{x}{c})$$

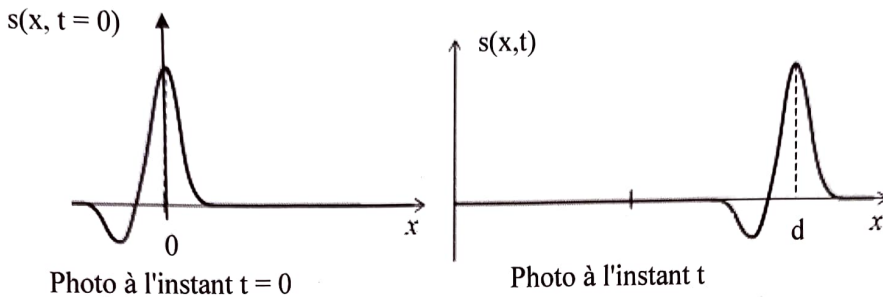
$$s(x,t) = f(t - \frac{x}{c}) \rightarrow f \text{ est la fonction}$$

t et x sont liées lors de la propagation de l'onde.

La forme de l'onde n'est pas identique sur les 2 représentations en fonction de x ou de t . f et F ne sont pas les mêmes (profil de l'onde inversée).

Deuxième expression : On prend des photographies à différents instants.

<https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/general/retard.php>



$d = ct$ distance parcourue par la vague pendant la durée t .

Figure 2.13 - Onde se propageant sans atténuation ni déformation dans le sens positif de (Ox) , à deux instants différents.

Le signal en x à l'instant t est le même que celui qui était en $x-d$ à l'instant $t=0$.

$$s(x, t) = s(x-d, t=0)$$

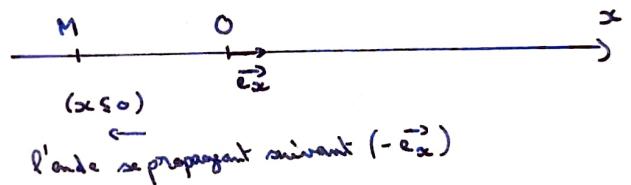
$$= s(x-d, t=0)$$

*** $s(x, t) = F(x-ct)$ ← fonction de la distance

En l'absence d'atténuation ou de déformation, une onde progressive, se propageant à la vitesse c dans la direction (Ox) suivant $\vec{u}_x$ s'écrit : $s(x, t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right) = F(x-ct)$

Rq1 : $s(x, t) = s(x=0, t-\tau)$ où $\tau = \frac{-x}{c}$

τ retard, tps mis par l'onde pour parcourir la distance OM . $x < 0 \Rightarrow \tau > 0$
 $x > 0 \Rightarrow \tau < 0$



*** $s(x, t) = s(x=0, t + \frac{x}{c}) = g(t + \frac{x}{c})$

• $s(x, t) = s(x-d, t=0)$ où $d = -ct$

$c > 0 \Rightarrow d < 0$
 $c < 0 \Rightarrow d > 0$

$$s(x, t) = s(x+ct, t=0)$$

*** $s(x, t) = G(x+ct)$

← fonction de la distance

*** $s(x, t) = g(t + \frac{x}{c}) = G(x+ct)$ ***
pour une onde suivant $-\vec{e}_x$

Rq2 : $s(x, t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right) = F(x-ct)$ ①

$t=0$ $F(x) = f\left(-\frac{x}{c}\right)$ connaissant f , on obtient F
 $x=0$ $f(t) = F(-ct)$ " " " " f

2.) Onde progressive sinusoïdale

Onde sinusoïdale (ou harmonique) : Le signal mesuré en tout point est une fonction sinusoïdale du temps.

f et g sont sinusoïdales : $f(t) = f_0 \cos(\omega t)$ et $g(t) = g_0 \cos(\omega t)$ où f_0 et g_0 sont les amplitudes et ω la pulsation.

✱✱
✱✱

Pour une onde se propageant suivant les $x > 0$: $s(x, t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right) = f_0 \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right] = f_0 \cos(\omega t - kx)$

La vitesse de l'onde progressive sinusoïdale c est aussi appelée vitesse de phase.

Dans un milieu non dispersif, cette vitesse est indépendante de la pulsation ω .

Vecteur d'onde $\vec{k} = k\vec{e}_x$ de direction et sens ceux de la propagation. $k = \frac{\omega}{c} \rightarrow \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Onde suivant $+\vec{e}_x$:

$$s(x, t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right) = f_0 \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right) = f_0 \cos(\omega t - kx)$$

On pose $k = \frac{\omega}{c} \Rightarrow s(x, t) = f_0 \cos(\omega t - kx)$

1^{er} cas : x est fixé, on trace s en fonction de t .

On pose $\varphi = -kx = \text{cte}$ $s(x, t) = f_0 \cos(\omega t + \varphi)$

Période (temporelle) : $T = \frac{2\pi}{\omega} \leftarrow \text{rad}$
 $\omega \leftarrow \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Fréquence (temporelle) : $f = \frac{1}{T}$
 Hz

$s(x, t) = f_0 \cos(\omega t + \frac{\varphi}{\omega})$

On note $\Delta t = \frac{\varphi}{\omega} \Rightarrow \varphi = \omega \Delta t$

$\varphi = \frac{2\pi}{T} \Delta t$
 φ phase à l'origine ($\Delta t > 0 \Rightarrow \varphi > 0$ avance de phase)

2^e cas : t est fixé, on trace s en fonction de x .

$s(x, t) = f_0 \cos(kx - \omega t)$ (car $\cos \theta = \cos(-\theta)$)

$s(x, t) = f_0 \cos(kx + \varphi')$ où $\varphi' = -\omega t$ t est fixé $\Rightarrow \varphi' = \text{cte}$

Période spatiale ou longueur d'onde : $\lambda = \frac{2\pi}{k} \leftarrow \text{rad}$
 $k \leftarrow \text{rad} \cdot \text{m}^{-1}$

Fréquence spatiale ou nombre d'onde : $\sigma = \frac{1}{\lambda} \leftarrow \text{m}^{-1}$

$\lambda = \frac{2\pi}{k}$ où $k = \frac{\omega}{c} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$

$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \lambda = 2\pi c \times \frac{T}{2\pi} \Rightarrow \lambda = cT$

La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant 1 période.

L'onde présente 1 double périodicité temporelle et spatiale.

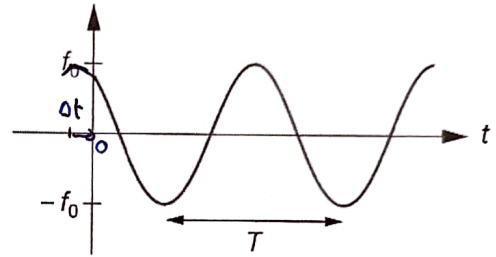


Figure 9a

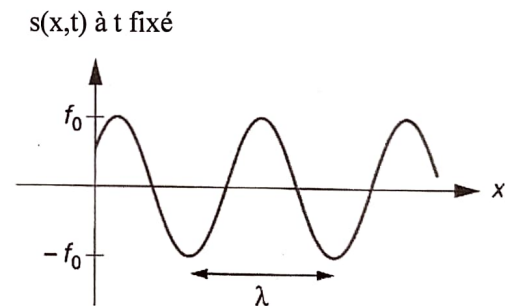


Figure 9b

Pour une onde se propageant suivant les $x < 0$ $s(x, t) = g\left(t + \frac{x}{c}\right) = g_0 \cos\left[\omega\left(t + \frac{x}{c}\right)\right] = g_0 \cos(\omega t + kx)$

Rq: $s(x, t) = g\left(t + \frac{x}{c}\right) = g_0 \cos\left(\omega\left(t + \frac{x}{c}\right)\right)$
 $= g_0 \cos\left(\omega t + \frac{\omega x}{c}\right)$
 $= g_0 \cos(\omega t + kx)$ où $k = \frac{\omega}{c}$

Δ vecteur onde $\vec{k} = -k\vec{e}_x$ car l'onde se propage suivant $(-\vec{e}_x)$. La norme du vecteur d'onde reste identique. $\Delta k = \|\vec{k}\|$
 k est toujours positif.

Remarque 1 : Les ondes peuvent avoir une phase à l'origine :

Δ énoncé

φ_0 indep des var t et x
 $\varphi_0 = \text{cte}$

Pour une onde se propageant suivant les $x > 0$: $s(x, t) = f_0 \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right) + \varphi_0\right] = f_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$

● Pour une onde se propageant suivant les $x < 0$ $s(x, t) = g_0 \cos\left[\omega\left(t + \frac{x}{c}\right) + \varphi_0\right] = g_0 \cos(\omega t + kx + \varphi_0)$

Remarque 2 : Deux photos d'une onde sinusoïdale, prises aux instants t_1 et t_2

Onde se propageant suivant $x > 0$, à la vitesse c .

Entre les instants t_0 et t_1 , l'onde a parcouru la distance δ (delta) qui vaut $\delta = c(t_2 - t_1)$

Si $t_2 - t_1 = nT$, $\delta = cnT = \lambda n$ $\delta = n\lambda$ $n \in \mathbb{N}^*$
 L'onde s'est décalée d'un nb entier de période spatiale, elle va se superposer.

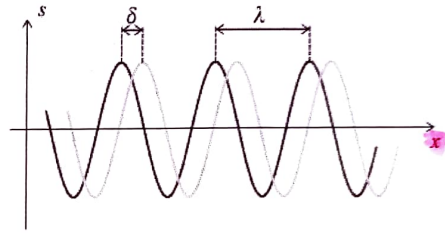


Figure 2.14 – Onde sinusoïdale se propageant dans le sens positif de (Ox) à deux instants t_0 (en gris foncé) et $t_1 > t_0$ (en gris clair).

Rq 3: Pour 2 pts x_1 et x_2 pour 1 onde se propageant suivant $x > 0$ à la vitesse c .

● $s(x_1, t) = f_0 \cos(\omega t + \varphi_1)$ où $\varphi_1 = -kx_1$
 $= f_0 \cos(\omega t - kx_1)$

$s(x_2, t) = f_0 \cos(\omega t - kx_2)$
 $= f_0 \cos(\omega t + \varphi_2)$ où $\varphi_2 = -kx_2$

Déphasage de $s(x_1, t)/s(x_2, t)$ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$\varphi_1 - \varphi_2 = -k(x_1 - x_2) = -\frac{2\pi}{\lambda}(x_1 - x_2) = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1)$

Les 2 pts $M_1(x_1)$ et $M_2(x_2)$ vibrent en phase
 si à tout instant $s(x_1, t) = s(x_2, t)$

$\Rightarrow \varphi_1 = \varphi_2 + 2p\pi$ où $p \in \mathbb{Z}$

● $\Rightarrow \varphi_1 - \varphi_2 = 2p\pi$

$\Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1) = 2p\pi$

$\Rightarrow x_2 - x_1 = \lambda p$ $p \in \mathbb{Z}$

Les 2 pts M_1 et M_2 vibrent en opposition de phase
 si $s(x_1, t) = -s(x_2, t)$ $\forall t$

$\varphi_1 = \varphi_2 + 2p\pi + \pi$, $p \in \mathbb{Z}$

$\varphi_1 - \varphi_2 = 2p\pi + \pi$

$\frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1) = 2p\pi + \pi$

$x_2 - x_1 = \lambda p + \frac{\lambda}{2}$ $p \in \mathbb{Z}$

*
* Conclusion : Milieux dispersifs : La vitesse de propagation d'une onde progressive sinusoïdale dépend de la fréquence : $v_{\varphi}(\omega) = \frac{\omega}{k}$

La propagation des ondes acoustiques dans un fluide est non dispersive, ainsi que celle de l'onde de déformation sur une corde ou d'une onde électrique dans un câble coaxial.

La propagation des ondes à la surface de l'eau est en générale dispersive.

La propagation d'ondes électromagnétiques dans le vide est non dispersive.

Dans un milieu matériel, la vitesse de l'onde dépend de l'indice du milieu : $v_{\varphi}(\lambda) = \frac{c}{n(\lambda)}$