

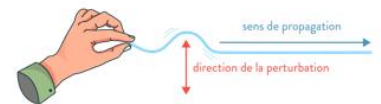
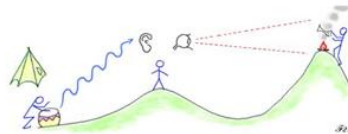
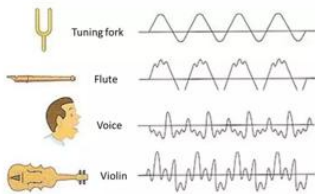
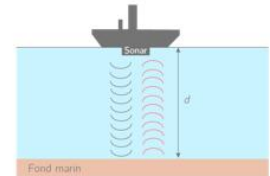
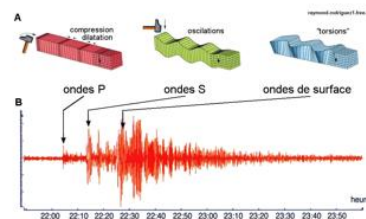
Chapitre S1 : Propagation d'un signal.

I- Ondes et signaux physiques.

I.1) Définitions.

Une **onde** est un phénomène physique dans lequel une perturbation locale se déplace dans l'espace sans qu'il y ait déplacement de matière en moyenne, mais il y a transport d'énergie.

Toute grandeur physique, nulle dans l'état de repos et apparaissant avec la perturbation est appelée **signal physique** (transporté par l'onde).



I.2) Exemples de signaux physiques.

- Onde électromagnétique → champ électrique $\vec{E}$, champ magnétique $\vec{B}$.
- Onde électrique → tension, courant.
- Onde acoustique → surpression
- Onde sur une corde → amplitude de vibration de la corde.

À RETENIR :

Les signaux mécaniques ont besoin d'un milieu de propagation matériel pour se propager (onde sismique, son...). Les signaux électromagnétiques n'en ont pas besoin (la lumière se propage dans le vide).

I.3) Quelques ordres de grandeurs (ODG).

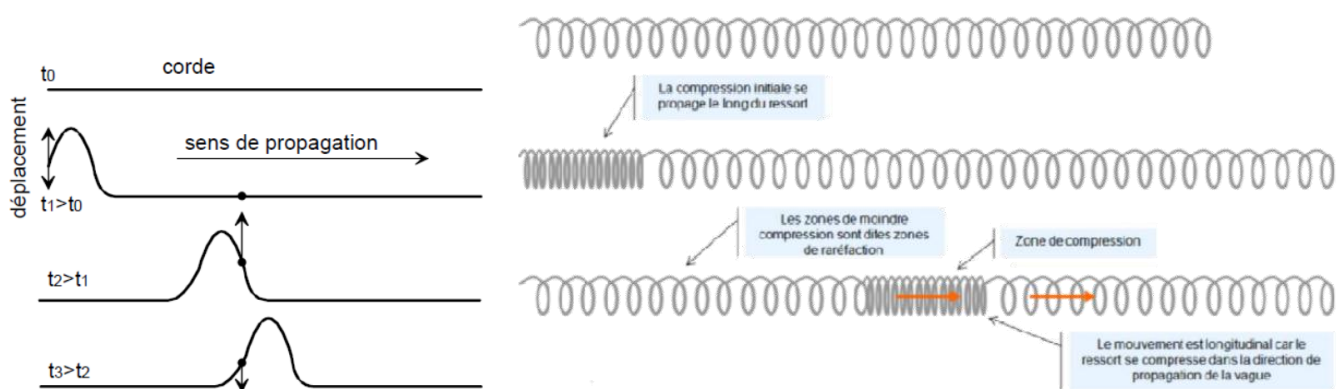
Signaux acoustiques :

II- Phénomène de propagation.

II.1) Ondes transversales et longitudinales.

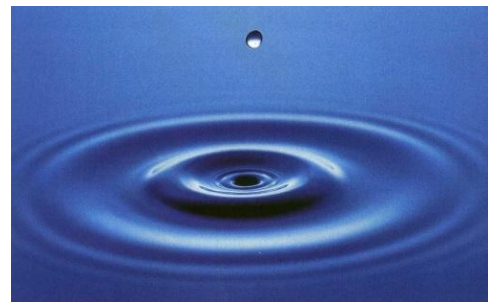
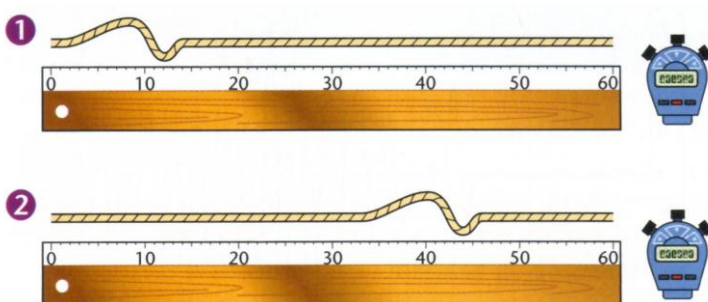
Une onde est dite :

- **Longitudinale** : si la perturbation et la propagation sont dans la même direction.
Exemple : Onde dans un ressort.
- **Transversale** : si la perturbation et la propagation sont dans des directions orthogonales.
Exemple : Onde le long d'une corde.



II.2) Direction de propagation.

- **Onde unidimensionnelle (=monodimensionnelle)** : la propagation a lieu dans une seule direction mais éventuellement dans les deux sens.
Exemple : Onde le long d'une corde.
- **Onde bidimensionnelle** : la propagation a lieu dans un plan (espace à 2D).
Exemple : Onde à la surface de l'eau engendrée par un ricochet.
- **Onde tridimensionnelle** : la propagation a lieu dans l'espace à 3D
Exemple : Onde sonore.



II.3) Célérité et retard pour une onde progressive unidimensionnelle.

Définition : Une onde est dite **progressive** lorsque la perturbation se propage sans se déformer.

Célérité : vitesse de propagation de l'onde.

Quelques ODG à connaître :

- Son dans l'air : $c \approx 340 \text{ m.s}^{-1}$.
- Son dans l'eau : $c \approx 1500 \text{ m.s}^{-1}$.
- Onde électromagnétique dans le vide : $c \approx 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Retard temporel : C'est le temps τ mis par l'onde pour aller d'un point A à un point B.

Milieu dispersif : C'est un milieu dans lequel la vitesse de propagation d'une onde dépend de sa longueur d'onde.

Exemple : la mer pour les vagues

Milieu absorbant : C'est un milieu dans lequel l'amplitude de l'onde diminue pendant sa propagation.

II.4) Prévoir l'évolution spatiale et temporelle d'une onde.

Une onde se propage dans le temps et dans l'espace : $s(x, t)$. Pour la représenter, il faut fixer un des deux paramètres.

A/ Évolution spatiale.

On regarde « où » se situe la perturbation à différents instants. (= on prend des photos)

B/ Évolution temporelle.

On place un capteur à un endroit (fixe) et on regarde son mouvement au cours du temps (quand il commence à se déplacer, pendant combien de temps il monte...).

II.5) Écriture d'un signal selon son sens de propagation.

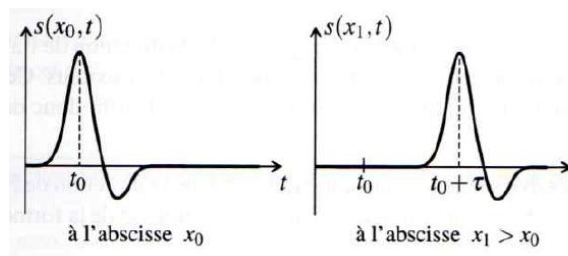
Une onde progressive se propageant dans le sens des x croissants s'écrit :

Une onde progressive se propageant dans le sens des x décroissants s'écrit :

Première expression de l'onde.

On considère une onde progressive, se propageant avec la célérité c dans la direction de l'axe (Ox) et dans le sens positif de cet axe, c'est-à-dire vers les x croissants.

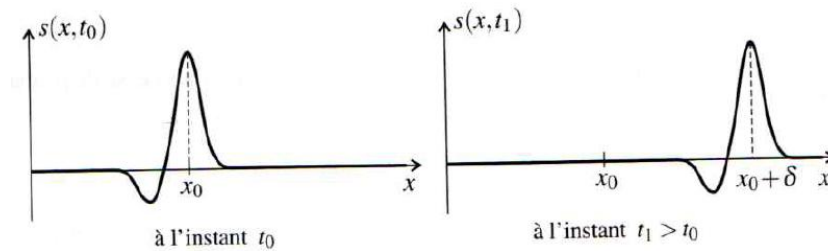
La figure de gauche représente le signal mesuré à une abscisse x_0 en fonction du temps et la figure de droite représente le signal mesuré à une abscisse $x_1 > x_0$.



On remarque que l'allure de la courbe en x_1 est la même que celle observée en x_0 mais avec un retard τ . On peut donc écrire : $s(x_1, t) = s(x_0, t - \tau)$. La durée τ est celle qu'il faut à l'onde pour se propager de x_0 à x_1 . La vitesse de propagation étant c , on a donc : $\tau = \frac{x_1 - x_0}{c}$. On peut réécrire cette formule en posant $x_0 = 0$ et $x_1 = x$, x étant une valeur quelconque. On obtient alors : $s(x, t) = s\left(0, t - \frac{x}{c}\right)$. Le membre de droite de cette équation est simplement une fonction d'une seule variable : $t - \frac{x}{c}$. Pour simplifier l'écriture, on le note $f\left(t - \frac{x}{c}\right)$.

On peut aussi s'intéresser à une onde se propageant dans la direction de l'axe (Ox) mais cette fois ci dans le sens des x décroissants. Ce cas se ramène au cas précédent si l'on définit un axe (Ox') tel que $x' = -x$. Il suffit donc de changer x en $-x$ dans le résultat. On aura donc : $s(x, t) = f\left(t + \frac{x}{c}\right)$.

Deuxième expression de l'onde :



Les deux figures ci-dessus représentent la même onde que celle étudiée précédemment. On étudie les valeurs du signal à deux instants différents : t_0 et $t_1 > t_0$.

Entre les instants t_0 et t_1 , l'onde qui progresse dans le sens positif de l'axe (Ox) se déplace d'une distance δ . Ainsi la valeur observée à l'instant t_0 en x est observée à l'instant t_1 en $x + \delta$. On peut donc écrire : $s(x, t_0) = s(x + \delta, t_1)$. Or, l'onde se propage à la vitesse c , donc on a : $\delta = c \cdot (t_1 - t_0)$. On peut ainsi écrire : $s(x, t_0) = s(x + c \cdot (t_1 - t_0), t_1)$. On pose maintenant $t_0 = t$ et $t_1 = 0$ et l'expression devient : $s(x, t) = s(x - ct, 0)$. Le membre de droite de cette équation est simplement une fonction d'une seule variable : $x - ct$. Pour simplifier l'écriture, on le note $F(x - ct)$.

Et on peut montrer que si l'onde se propage dans les sens des x décroissants, on aura une fonction d'une seule variable $G(x + ct)$.

III- Signal sinusoïdal.

III.1) Caractéristiques d'un signal sinusoïdal.

Analyse dimensionnelle :

Remarque : Le radian (rad) n'a pas de dimension.

III.2) Représentation mathématique.

III.3) Déphasage, avance ou retard par rapport à un autre signal.

- Si $x_2(t)$ atteint son maximum après $x_1(t)$, alors $x_2(t)$ est en retard sur $x_1(t)$ et $\Delta\varphi < 0$.
- Si $x_2(t)$ atteint son maximum avant $x_1(t)$, alors $x_2(t)$ est en avance sur $x_1(t)$ et $\Delta\varphi > 0$.

Remarque : On choisit souvent $\Delta\varphi \in]-\pi; \pi]$.

Cas particuliers de déphasage :

La phase à l'origine φ_2 du signal $x_2(t)$ correspond au déphasage avec une courbe fictive (de même pulsation que $x_2(t)$) qui présenterait son maximum en $t = 0$.

[illegible]

Définition : Le spectre d'un signal $s(t)$ est la donnée des pulsations ω_i (ou des fréquences f_i ou des longueurs d'ondes λ_i) et des amplitudes A_i constituant le signal.

[illegible]

À RETENIR :

Le spectre d'un signal harmonique ne contient qu'une seule raie en dehors de la valeur moyenne.

IV.2) Analyse spectrale.

L'analyse spectrale permet de décomposer un signal périodique en une somme de signaux sinusoïdaux :

V- Onde progressive sinusoïdale.**V.1) Définition.**

Une onde est **sinusoïdale** (= **onde harmonique**) si le signal mesuré en tout point est une fonction sinusoïdale du temps de pulsation ω , indépendante du point. On considère une **onde progressive** ; donc l'onde se propage sans atténuation ni déformation.

Soit une onde progressive se propageant dans le sens des x croissants. La vibration observée à toute abscisse $x > 0$ reproduit la vibration observée en $x = 0$, avec un retard : $\tau = x/c$.

$$\text{Donc } s(x, t) = A_0 \cos(\omega(t - x/c) + \varphi_0) = s(0, t - \tau)$$

À RETENIR :

Une onde progressive sinusoïdale de pulsation ω se propageant dans le sens des x croissants, à la vitesse c est de la forme :

A_0 : amplitude

φ_0 : phase initiale à l'origine

k : norme du vecteur d'onde

Si l'onde se propage dans le sens des x décroissants, on aura :

Analyse dimensionnelle pour trouver l'unité de k :

Vitesse de phase :

Une onde sinusoïdale de pulsation ω et de norme de vecteur d'onde k se propage à la célérité $v_\varphi = \frac{\omega}{k}$ appelée vitesse de phase.

V.2) Double périodicité spatiale et temporelle.

L'onde progressive sinusoïdale est une fonction sinusoïdale à la fois :

- Du temps (à x fixé) avec une pulsation temporelle ω et une période T .
- De l'espace (à t fixé) avec une pulsation spatiale k (= norme du vecteur d'onde) et une période spatiale λ (= longueur d'onde).

On parle de **double périodicité spatio-temporelle** de l'onde.

Définition : La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant la durée d'une période T .

On peut aussi définir le nombre d'onde :

	Période	Fréquence	Pulsation
Temps			
Espace			

V.3) Déphasage entre les vibrations en deux points.

On considère une onde progressive sinusoïdale se propageant dans le sens des x croissants et x_1 et x_2 deux points atteints par l'onde.

This image shows a full page of white paper with horizontal grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a template for handwriting practice or general writing. There are no margins, text, or other markings on the page.