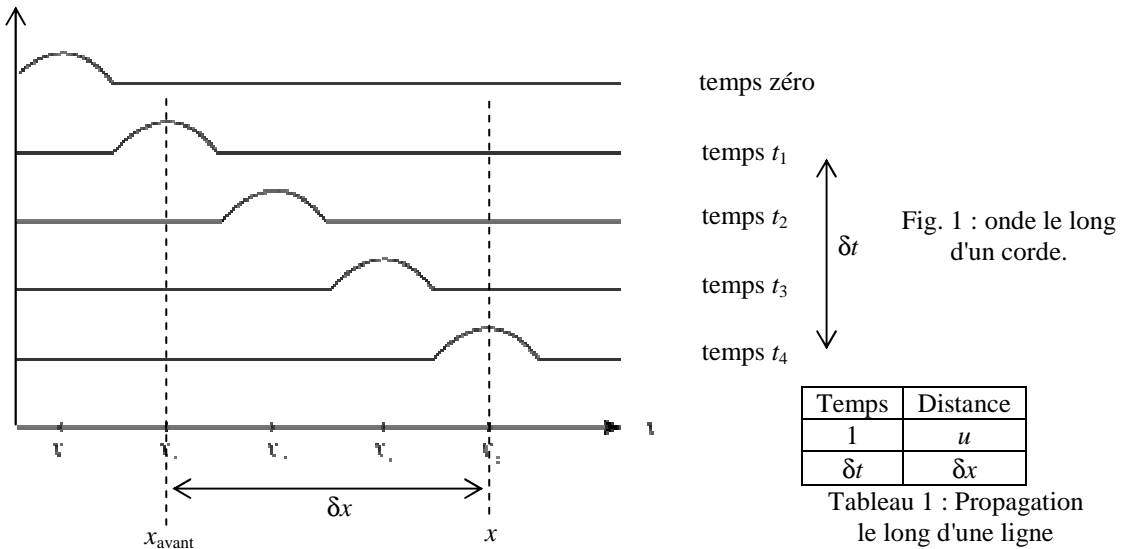


Ondes

- Si on suit du regard (fig.1) une onde alors on observe un point dont l'abscisse varie de δx (c'est un symbole unique de deux lettres signifiant soit $x_{\text{après}} - x$ soit $x - x_{\text{avant}}$) pendant le temps δt de sorte que ces deux grandeurs restent proportionnelles (table 1). On a donc $\delta t = \frac{\delta x}{u}$.
- Les expressions $\delta t = t - t_{\text{avant}}$ et $\delta x = x - x_{\text{avant}}$ donne avec la formule précédente $t - t_{\text{avant}} = \frac{x - x_{\text{avant}}}{u}$. Une multiplication par u donne $u t - u t_{\text{avant}} = x - x_{\text{avant}}$, une addition de $u t_{\text{avant}}$ et la soustraction de x donnent $u t - x = u t_{\text{avant}} - x_{\text{avant}}$ et pour finir une division par u donne $t - \frac{x}{u} = t_{\text{avant}} - \frac{x_{\text{avant}}}{u}$, ce qui montre que la grandeur $t - \frac{x}{u}$ est constante (indépendante du temps).



- Si on "suit du regard" l'onde, on observe un point mobile de l'axe des x tel que $t - \frac{x}{u}$ reste constante donc toute image¹ $f\left(t - \frac{x}{u}\right)$ reste aussi constante. C'est le cas de la fonction modélisant la forme de la corde. On peut dire que le regard suit une image d'un entécédent donné. À l'instant initial, le regard est posé sur un point de l'espace d'abscisse x_0 et d'ordonnée $f\left(t_0 - \frac{x_0}{u}\right)$ et donc $f\left(t - \frac{x}{u}\right) = f\left(t_0 - \frac{x_0}{u}\right)$.
- On pourrait aussi bien faire avec une onde se propageant en sens inverse : on "suit du regard" une image d'une autre fonction g et on met un signe + à la place du signe moins, d'où $g\left(t + \frac{x}{u}\right) = g\left(t_0 + \frac{x_0}{u}\right)$.
- On pourrait même imaginer la propagation simultanée des deux ondes, ce qui n'est pas contredit par l'expérimentation.

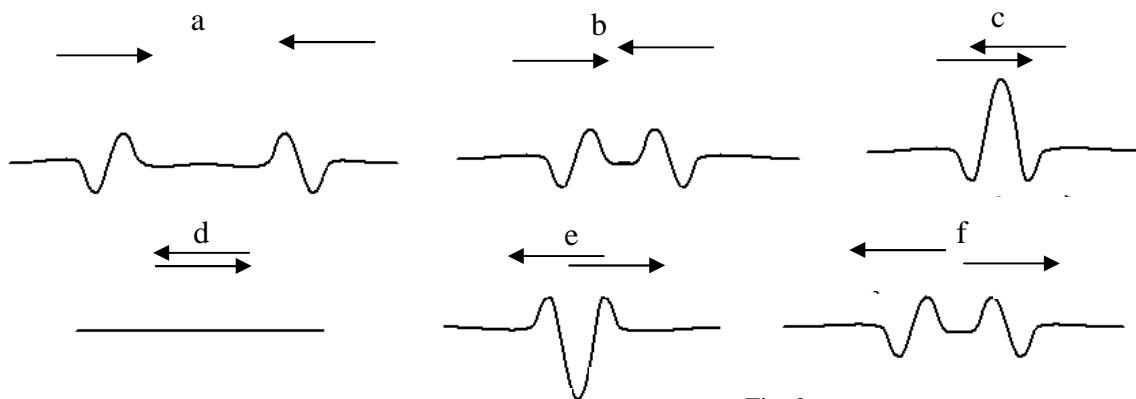


Fig. 2

6. Sur une corde (fig. 2), le bout S (pour "source") agité mécaniquement et l'autre bout R (pour "réflexion") étant soit fixé par une pince soit libre de son mouvement, on peut observer d'abord une onde allant de S à R, puis repartir dans l'autre sens après une **réflexion**. Si à cet instant S est de nouveau agité, deux ondes se propagent en même temps, une de S vers R et l'autre de R vers S. Que se passe-t-il alors quand elles se croisent au milieu de la corde (fig 2) ? Elles se superposent par addition *algébrique* des ordonnées. On a même une annulation locale et temporaire de la superposition (fig. 2, image d).
On connaît deux types de réflexions : sur un nœud (fig. 3) et sur un ventre (fig. 4).
Exemple du nœud (fig. 3) : un bout fixé d'une corde ou un extrémité bouchée d'un tuyau. L'expérience montre que l'onde réfléchie est algébriquement opposée à l'onde incidente.
7. Exemple du ventre (fig. 4) : un bout libre d'une corde ou une extrémité ouverte d'un tuyau. L'expérience montre que l'onde réfléchie n'est pas algébriquement opposée à l'onde incidente.

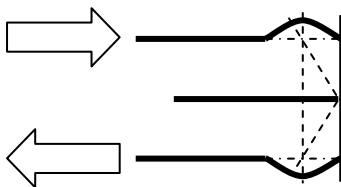


Fig 3 : réflexion sur un nœud

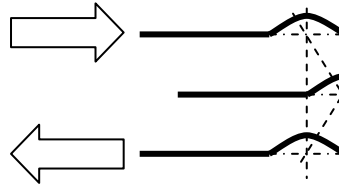


Fig 4 : réflexion sur un ventre

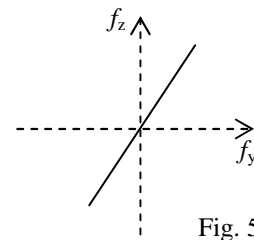


Fig. 5

8. En trois dimensions l'onde peut se décomposer en trois ondes indépendantes en abscisse, en ordonnée et en cote. Il est pratique de choisir un axe des abscisses parallèle à la propagation et de même sens. On a alors divers cas :

8.1- une composante **longitudinale** $f_x\left(t - \frac{x}{u}\right)$,

8.2 deux composantes **transversales** $f_y\left(t - \frac{x}{u}\right)$ et $f_z\left(t - \frac{x}{u}\right)$.

Selon les liens mathématiques entre ces deux dernières, on définit

8.3- une **polarisation rectiligne** : $f_y\left(t - \frac{x}{u}\right)$ et $f_z\left(t - \frac{x}{u}\right)$ sont proportionnelles

(figure. 5), ou

8-4- une **polarisation circulaire** : si on représente sur un graphique à part f_y et f_z alors ces grandeurs obéissent à l'équation d'un cercle (fig. 6)

$$\frac{1}{f_y^2} f_y^2\left(t - \frac{x}{u}\right) + \frac{1}{f_z^2} f_z^2\left(t - \frac{x}{u}\right) = 1, \text{ ou}$$

8.5- une **polarisation elliptique** : si on représente sur un graphique à part f_y et f_z alors ces grandeurs obéissent à l'équation d'une ellipse (fig. 7)

$$\frac{\cos^2 \theta}{a^2} f_y^2\left(t - \frac{x}{u}\right) + \frac{\sin^2 \theta}{b^2} f_z^2\left(t - \frac{x}{u}\right) = 1.$$

Ici, l'ellipse est tournée par rapport au repère du plan perpendiculaire à la direction de propagation d'un angle θ .

8.6- En outre le sens de parcours de la figure (le cercle ou l'ellipse) a son importance (fig. 8) : on parle de **polarisation gauche ou droite**, la polarisation droite étant celle d'une vis standard.

8.7- Une **onde scalaire** est la propagation d'une grandeur non orientée (elle s'exprime par un simple nombre multipliant une unité).

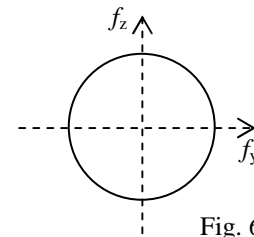


Fig. 6

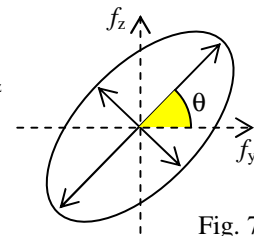


Fig. 7

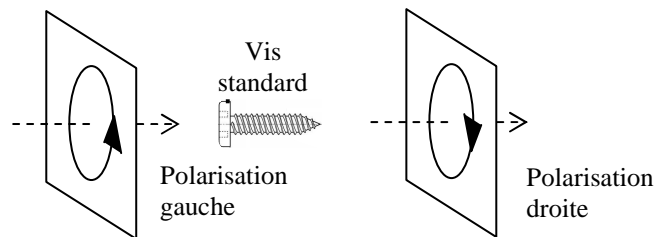
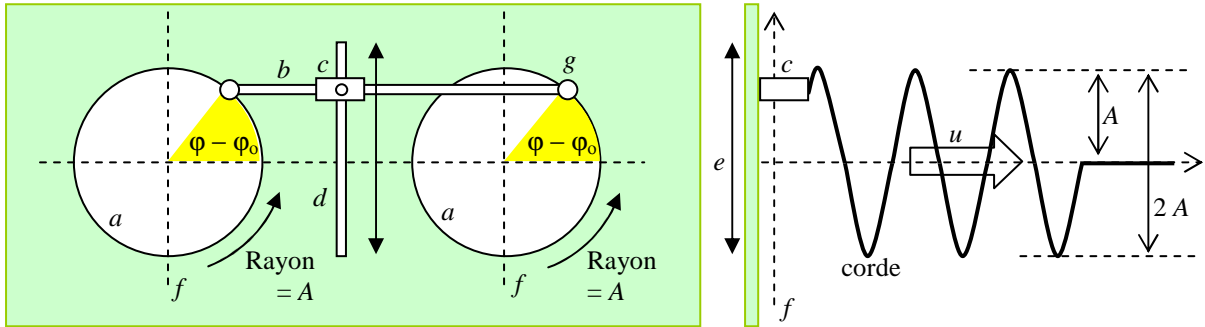


Fig. 8

Ondes sinusoïdales

9. Un cas particulier très important d'onde est celui des sinusoïdales. Avec une corde, on peut les créer mécaniquement (fig. 9)



Angle	Temps
$\varphi - \varphi_0$	t
ω	1
2π	T
Proportion	

Tableau 1

Fig. 9

Distance	Temps
x	t
u	1
λ	T
Proportion	

Tableau 2

Deux disques a tournent en même temps à vitesse angulaire constante et commune ω (tableau 2). Elles entraînent un tige b qui elle-même entraîne le coulisage de la pièce c contrainte par une rayure d à faire un va-et-vient e . Cette pièce entraîne l'extrémité de la corde dont la déformation de propagation à la vitesse u (tableau 2).

Les grandeurs des ondes

10. En un tour des disques, l'angle varie (en radians) de 2π pendant le temps T appelé **période**, durant laquelle l'onde se propage d'une **longueur d'onde** λ . En une unité de temps l'angle varie d'une **pulsation** ω , l'onde se propage sur une distance u , égale à la **vitesse de propagation** et le nombre de périodes ν ou f est la **fréquence**. Si l'onde se propage sur une unité de longueur, l'angle varie d'une quantité n_x appelée **nombre d'onde** (à ne pas confondre avec le nombre n de périodes). Enfin, le rayon du mouvement des noix g impose l'amplitude A de l'onde.

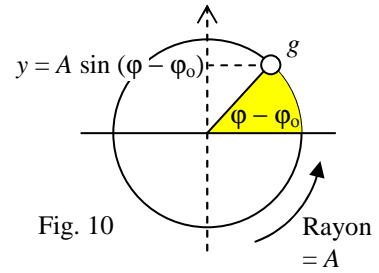


Fig. 10

La figure 10 montre que la l'ordonnée de la noix g est $y = A \sin(\varphi - \varphi_0)$.

11. Toutes ces grandeurs ont entre elles de nombreuses relations mathématiques. Sauf l'amplitude, on peut les regrouper dans un tableau de proportion étendu (tableau 3) qui nous dispense de les retenir par cœur : comme les permutations des lignes ou des colonnes sont permises, il suffit de choisir librement les titres des colonnes (temps, distance, angle, oscillations), de mettre des 1 dans les cases de la diagonale principale (qui correspond à une unité de temps, de longueur ou d'angle ou à une oscillation) et de compléter les autres cases en suivant son intuition et sa logique personnelles. Une dernière ligne est réservée aux grandeurs dans une situation quelconque. Ensuite des tableaux comme le 1 et le 2 peuvent être mentalement extraits pour s'en servir en appliquant les théorèmes des produits croisés égaux, de la quatrième proportionnelle (règle de trois) ou des quotients égaux.

Temps	Distance	Oscillations	angle	notes
1	u ou c	f ou ν	ω	En une unité de temps
	1			Sur une unité de longueur
T	λ	1	2π	Pour une oscillation
	$n_{x, y \text{ ou } z}$		1	Pour un radian
t	x, y, z ou l	n	$\varphi - \varphi_0$	Situation quelconque

Tableau 3

Ordonnée	Cote
$f_y\left(t - \frac{x}{u}\right)$	$f_z\left(t - \frac{x}{u}\right)$
f_{y0}	1
1	f_{z0}
Proportion	

Tableau 4

12. Par exemple, $\varphi - \varphi_0 = \omega t$; $\omega t = \frac{2\pi}{T} t$; $\nu = \frac{2\pi}{\omega}$; etc.

Les fonctions f, f_x, f_y ou f_z définies alinéa 8.1, 8.2 et 8.3 sont $A \sin \omega \left(t \pm \frac{x}{c}\right)$ ou $A_{x, y \text{ ou } z} \sin \omega_{x, y \text{ ou } z} \left(t \pm \frac{x}{c}\right)$. Ici, A est le rayon d'un cercle (fig. 9).