QU'EST-CE QU'UNE ONDE SINUSOÏDALE ?

I- EXEMPLES DE PROPAGATION D'ONDES SINUSOÏDALES

Si, au lieu d'envoyer une seule impulsion, on envoie une suite ininterrompue et périodique d'impulsions (régulièrement espacées dans le temps) d'amplitude constante, on obtient une onde sinusoïdale.

En voici deux exemples : l'onde sinusoïdale sur une corde et l'onde sinusoïdale à la surface de l'eau (comme les vagues sur la mer).

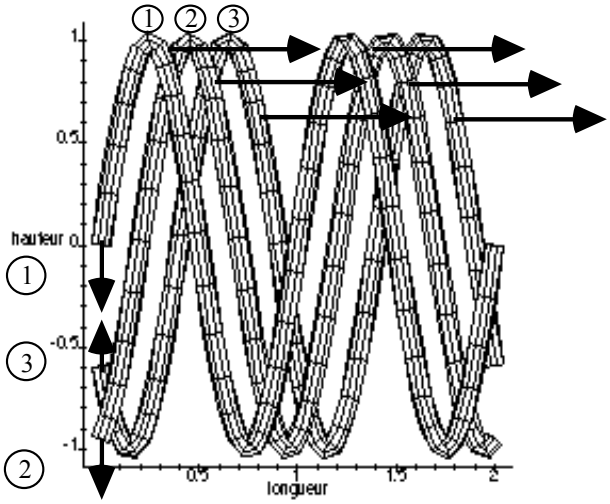


Fig.1 :Onde sinusoïdale sur une corde

1 – position de la corde à $t = t_1$

2 – position de la corde un bref instant plus tard à $t = t_2 > t_1$

3 – position de la corde un bref instant plus tard à $t = t_3 > t_2$

On remarque la corde garde la même forme au cours du temps, mais que les vagues avancent toutes à la même vitesse. Cette vitesse est égale à la ***célérité de l'onde*** *transversale de déformation*

Image animée 1 : *onde sinusoïdale sur une corde*

Image animée 2 : *onde sinusoïdale sur une corde ou vague sur l'eau*

Image animée 3 : *onde sinusoïdale plane sur l'eau (vagues arrivant sur une plage)*

Image animée 4 : *onde sinusoïdale circulaire sur l'eau (cuve à onde)*

II- DESCRIPTION DANS L'ESPACE ET DANS LE TEMPS DES ONDES SINUSOÏDALES

La propriété particulière des ondes sinusoïdales est qu'elles possèdent une double périodicité spatio-temporelle. Cela signifie qu'elles se reproduisent identiques à elles mêmes au cours du temps et identiques à elles mêmes dans l'espace.

La périodicité temporelle, notée T et appelée période, en secondes, est le temps nécessaire pour qu'un point du milieu de propagation qui oscille revienne à son point de départ, en allant dans le même sens.

La périodicité spatiale, notée λ (lambda grec), appelée longueur d'onde en mètres, est la distance séparant deux vagues successives. Elle est constante car toutes les vagues avancent à la même vitesse.

On pourra remarquer que l'on peut définir la période T comme le temps qu'il faut à une vague pour avancer d'une longueur d'onde λ.

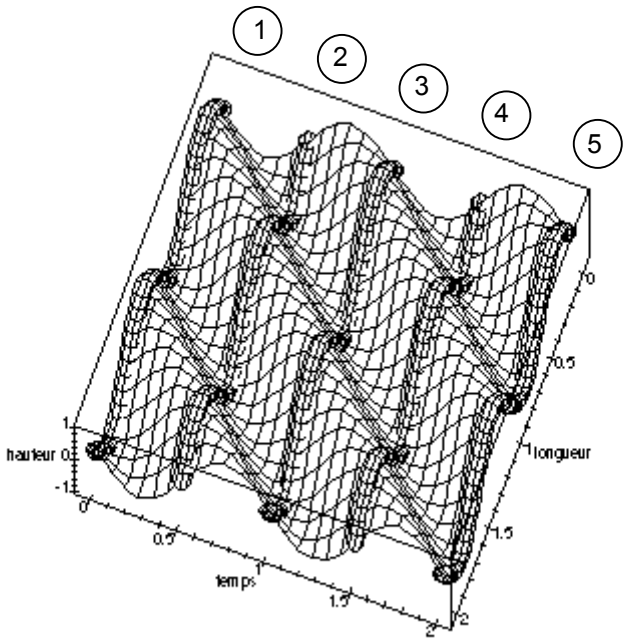


Fig.2 :Onde sinusoïdale sur une corde

*La figure 2 montre que **la corde**, quel que soit l'instant étudié, **dessine une sinusoïde dans l'espace**.*

*Or une sinusoïde est une fonction périodique. On peut donc définir une **période spatiale**, appelée **longueur d'onde** en mètres, notée **λ** par les physiciens.*

*La figure 2 montre également que **la position d'un point** quelconque **dessine une sinusoïde dans le temps** (il monte et descend de façon sinusoïdale dans le temps).*

*Or, une sinusoïde étant une fonction périodique, on peut encore définir une **période temporelle**, appelée **période** de l'onde, en secondes, notée **T** par les physiciens.*
Dans notre exemple, la longueur d'onde λ est égale à 1m et la période T est égale à 1s, soit λ = 1m et T = 1s.

La figure 2 est une vue de la corde en fonction de sa longueur (forme de la corde dans l'espace) et en fonction du temps (position d'un point de la corde au cours du temps).
L'onde sinusoïdale est une fonction de deux variable : une variable position x et une variable temps, notée t.

La figure 2 correspond à la représentation graphique d'une fonction à deux variables h = f(x,t) avec :

- *x : variable de position du point sur la corde ou abscisse du point*
- *t : variable de temps, instant où on étudie la corde*
- *h, altitude d'un point de la corde ou ordonnée du point à l'abscisse x et au temps t (en prenant comme référence h=0 m, la position de la corde au repos).*

- *$[\ h = f(x,t)\ ]_{t = constante}$ est sinusoïdale par rapport à x*
- *$[\ h = f(x,t)\ ]_{x = constante}$ est sinusoïdale par rapport à t*

*L'onde sinusoïdale est à la fois **sinusoïdale dans l'espace** (par rapport à x) **et dans le temps** (par rapport à t), ce qui a comme conséquence l'existence de deux périodes :*

- *la **longueur d'onde λ***
- *la **période T***

Ces deux périodes ne sont pas indépendantes car v=d/t= λ/T donc $\boldsymbol{\lambda = vT}$

Ici v = λ/T =1m/1s = 1 m/s. La célérité de l'onde de la corde de la figure 2 est de 1 mètre par seconde, soit 3,6 km/h

III – Surface d'Onde, direction de Propagation d'une Onde et Rayon

1) Surface d'Onde

*On appelle **surface d'onde** (ou **ligne d'onde**) une surface (ou une ligne) réunissant **tous les points atteints en même temps*** par l'onde sinusoïdale. ***Dans le cas d'une onde plane**, les surfaces d'onde sont des **plans parallèles**, les lignes d'onde sont des*

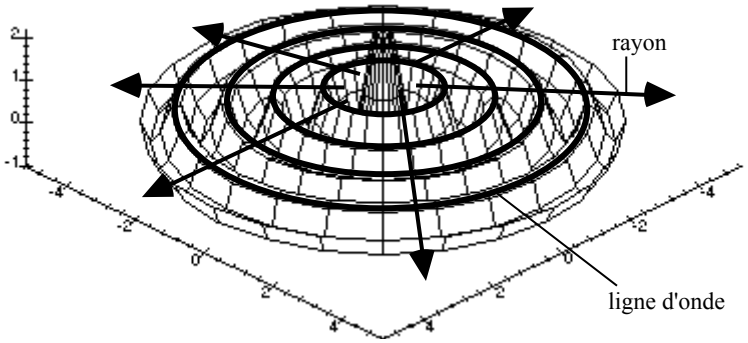
droites parallèles. *Ce sont, respectivement,* ***des sphères*** *et des* ***cercles concentriques****, dans le cas d'une onde circulaire.*

2) Direction de Propagation ou Rayon

On appelle ***direction de propagation ou rayon*** *de l'onde, toute courbe qui en tout point est orthogonale à l'ensemble des surfaces ou des lignes d'onde. Ce sont, en général dans un milieu homogène* ***des lignes droites****.*

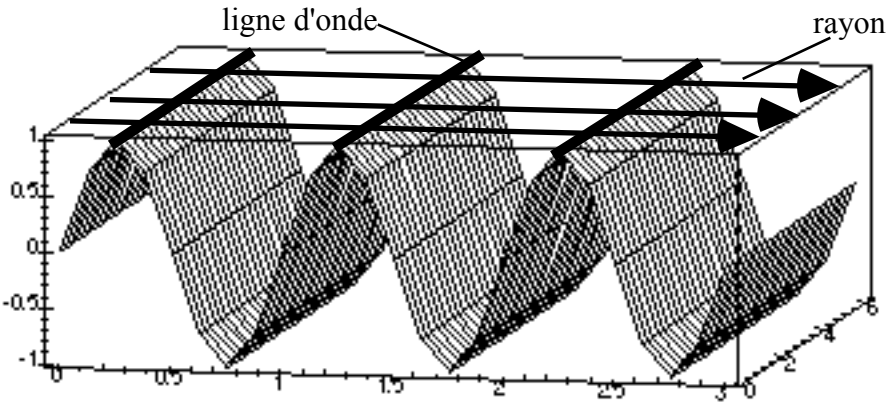
- ***Les rayons sont parallèles, dans le cas d'une onde plane****.*
- ***Ils partent tous de l'origine dans le cas d'une onde circulaire***

3) Illustration de ces notions



Onde circulaire

Fig.3 : Onde sinusoïdale circulaire



Onde plane

Fig. 4 : Onde sinusoïdale plane

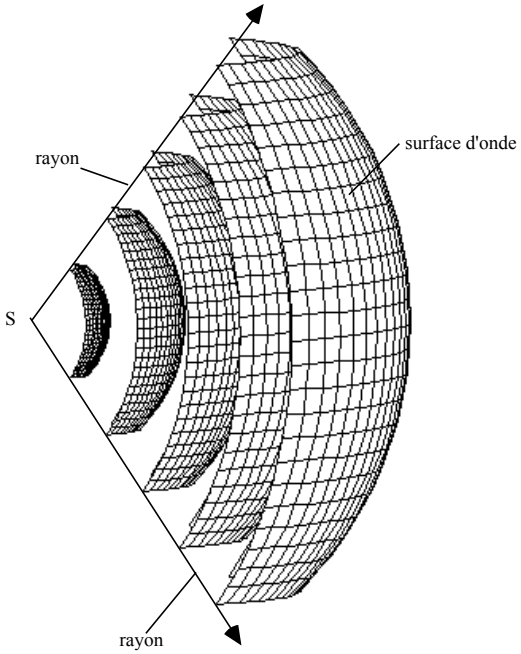


Fig. 5 : Onde sinusoïdale sphérique

IV- L'ONDE ACOUSTIQUE SINUSOÏDALE

1) ONDE GENEREE PAR UN HP ALIMENTE PAR UNE TENSION SINUSOÏDALE

*Un haut-parleur génère une onde acoustique sinusoïdale longitudinale sphérique de variation de pression. Les surfaces d'onde sont des **sphères concentriques**, centrées sur la source, les rayons sont des **segments de droite** partant tous de la source, orthogonaux en tout point aux surfaces précédemment décrites (Voir figure 5).*

2) EXEMPLES DE LONGUEURS D'ONDE DANS L'AIR

f (Hz)	20 Hz	200 Hz	1000 Hz	2000 Hz	20000 Hz	40000 Hz
T	50 ms	5 ms	1 ms	500 µs	50 µs	25 µs
$\lambda = vT = v/f = 340 / f$	17 m	1,7 m	34 cm	17 cm	17 mm	8,5 mm

3) NOTIONS D'ACOUSTIQUE MUSICALE

a) hauteur d'un son musical

*La hauteur du son musical est directement liée à la **fréquence** de l'onde acoustique. Lorsque la **fréquence** de l'onde est **grande**, la vibration du tympan, due à la variation de pression est rapide et le **son** paraît **aigu**. Lorsque la **fréquence** de l'onde est **petite**, la vibration du tympan, due à la variation de pression est **lente** et le son paraît **grave**.*
L'oreille humaine est capable d'entendre des sons dont la fréquence est comprise entre 20 Hz pour les sons les plus graves à 20 000 Hz pour les sons les plus aigus.

- *Les sons de fréquence inférieure à 20 Hz sont appelés infrasons ;*
- *Les sons de fréquence supérieure à 20 000 Hz sont appelés ultrasons.*

f (Hz)	$f < 20$ Hz	20 Hz	200 Hz	2000 Hz	20000 Hz	$f > 20$ kHz
T	$T > 50$ ms	50 ms	5 ms	500 µs	50 µs	$T < 50$ µs
λ	$\lambda > 17$ m	17 m	1,7 m	17 cm	17 mm	$\lambda < 17$ mm
hauteur	**infrason**	**grave**	**médium**	**aigu**		**ultrason**

Les éléphants sont sensibles aux infrasons, qui leur permettent de repérer leurs congénères même de très loin. Les chauve-souris et les mammifères marins comme les dauphins utilisent les ultrasons pour se repérer dans l'espace et éviter les obstacles (écholocation).

Son et fréquence : *do à différentes hauteurs (Média Player en mode oscilloscope)*

b) notes de musique et fréquence associée

La note utilisée comme référence par tous les musiciens, pour accorder leurs instruments est le La_3 dont la fréquence a été fixée à 440 Hz.
Il y a 7 notes pour composer la gamme : do, ré, mi, fa, sol, la, si
Quant on va de do jusqu'au do plus aigu, on dit qu'on monte d'une octave. Lorsqu'on monte d'une octave, on multiplie la fréquence par 2.

La_0	La_1	La_2	La_3	La_4	La_5	La_6	La_7	La_8
55 Hz	110 Hz	220 Hz	440 Hz	880 Hz	1760 Hz	3520 Hz	7040 Hz	14080Hz

La gamme majeure est structurée selon le schéma suivant :

Do		Ré		Mi	Fa		Sol		La		Si	Do
1 ton		1 ton		½ ton	1 ton		1 ton		1 ton		½ ton	
Do_3	Do_3 #	$Ré_3$	$Ré_3$#	Mi_3	Fa_3	Fa_3#	Sol_3	Sol_3#	La_3	La_3#	Si_3	Do_4
262 Hz	277 Hz	294 Hz	311 Hz	330 Hz	349 Hz	367 Hz	392 Hz	415 Hz	440 Hz	466 Hz	494 Hz	524 Hz

Remarque : les fréquences sont les termes d'une suite géométrique de raison $q=\sqrt[12]{2}$

Do		Ré		Mi	Fa		Sol		La		Si	Do
f	qf	q^2f	q^3f	q^4f	q^5f	q^6f	q^7f	q^8f	q^9f	$q^{10}f$	$q^{11}f$	$q^{12}f$
f	1,06 f	1,12 f	1,2 f	1,25 f	1,33 f	1,42 f	1,5 f	1,6 f	1,67 f	1,79 f	1,9 f	2f

Remarque : $q^{12}=2$ d'où $q=\sqrt[12]{2}$ =1,059463094359295264561825294946 3 ≈ 1,05946 ≈ 1,06

Tableau des fréquences :

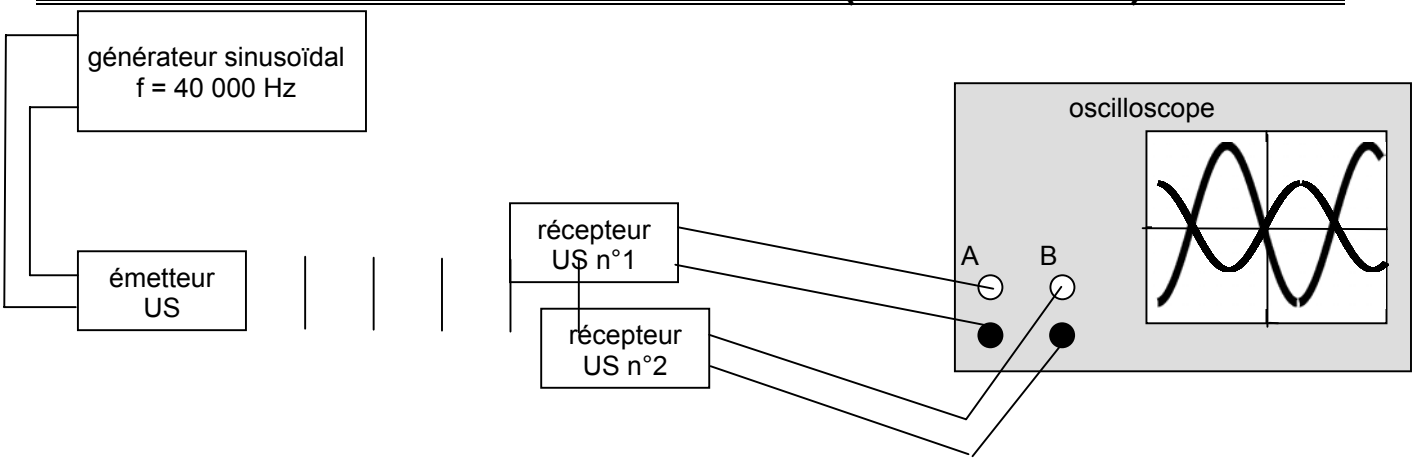
Do_0	Do_0#	Re_0	Re_0#	Mi_0	Fa_0	Fa_0#	Sol_0	Sol_0#	La_0	La_0#	Si_0	Do_1
32,7Hz	34,6Hz	36,7Hz	39 Hz	41 Hz	44 Hz	46 Hz	49 Hz	52 Hz	55 Hz	58 Hz	62 Hz	65,4 Hz
Do_1	Do_1#	Re_1	Re_1#	Mi_1	Fa_1	Fa_1#	Sol_1	Sol_1#	La_1	La_1#	Si_1	Do_2
65,4 Hz	69,3 Hz	73,4 Hz	77,8 Hz	82,4 Hz	87,3 Hz	92,5 Hz	98 Hz	104 Hz	110 Hz	116 Hz	123 Hz	131 Hz
Do_2	Do_2#	Re_2	Re_2#	Mi_2	Fa_2	Fa_2#	Sol_2	Sol_2#	La_2	La_2#	Si_2	Do_2
131 Hz	139 Hz	147 Hz	156 Hz	165 Hz	175 Hz	185 Hz	196 Hz	208 Hz	220 Hz	233 Hz	247 Hz	262 Hz
Do_3	Do_3#	Re_3	Re_3#	Mi_3	Fa_3	Fa_3#	Sol_3	Sol_3#	La_3	La_3#	Si_3	Do_4
262 Hz	277 Hz	294 Hz	311 Hz	330 Hz	349 Hz	370 Hz	392 Hz	415 Hz	440 Hz	466 Hz	494 Hz	524 Hz
Do_4	Do_4#	Re_4	Re_4#	Mi_4	Fa_4	Fa_4#	Sol_4	Sol_4#	La_4	La_4#	Si_4	Do_5
524 Hz	554 Hz	587 Hz	622 Hz	659 Hz	698 Hz	740 Hz	784 Hz	831 Hz	880 Hz	932 Hz	988 Hz	1048
Do_5	Do_5#	Re_5	Re_5#	Mi_5	Fa_5	Fa_5#	Sol_5	Sol_5#	La_5	La_5#	Si_5	Do_6
1048	1108	1174	1244	1318	1396	1480	1568	1662	1760	1864	1976	2096
Do_6	Do_6#	Re_6	Re_6#	Mi_6	Fa_6	Fa_6#	Sol_6	Sol_6#	La_6	La_6#	Si_6	Do_7
2096	2216	2348	2488	2636	2792	2960	3136	3324	3520	3728	3952	4192
Do_7	Do_7#	Re_7	Re_7#	Mi_7	Fa_7	Fa_7#	Sol_7	Sol_7#	La_7	La_7#	Si_7	Do_8
4192	4432	4696	4976	5272	5584	5920	6272	6648	7040	7456	7904	8384
Do_8	Do_8#	Re_8	Re_8#	Mi_8	Fa_8	Fa_8#	Sol_8	Sol_8#	La_8	La_8#	Si_8	Do_9
8384	8864	9392	9952	10544	11168	11840	12544	13296	14080	14912	15808	16768

c) intensité sonore

L'intensité d'un son augmente lorsque l'amplitude de l'onde sonore augmente et inversement.

Son et intensité sonore : *do à différentes amplitudes (Média Player en oscilloscope)*

V- MESURE DE LA VITESSE DE L'ONDE SONORE (VITESSE DU SON) DANS L'AIR.



- *On visualise le signal envoyé par l'émetteur et reçu par les récepteurs 1 et 2 sur un oscilloscope et on fait en sorte que les deux sinusoïdes soient en phase.*
- *Lorsqu'on recule le récepteur 2, l'oscillogramme 2 se décale par rapport au 1.*
- *Lorsqu'ils reviennent en phase, cela signifie que l'on a reculé de λ.*
- *On mesure 10 λ, on en déduit λ puis $v = \lambda f$*
  (mesure indirecte de la vitesse du son)

Résultat. : λ = 8,5 mm, f = 40 000 Hz, v = $8{,}5.10^{-3}.40\ 000$ = 340 m/s dans l'air.