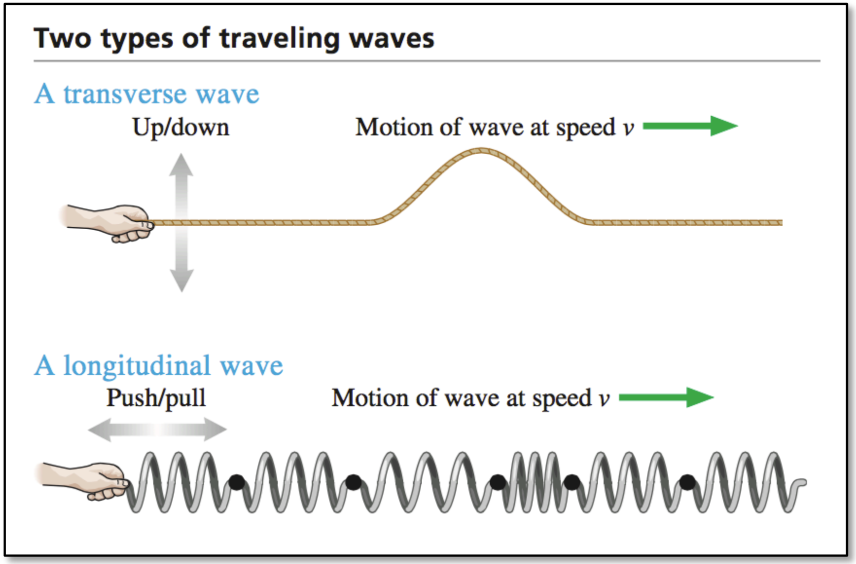
ONDES ET SON

PGC-09



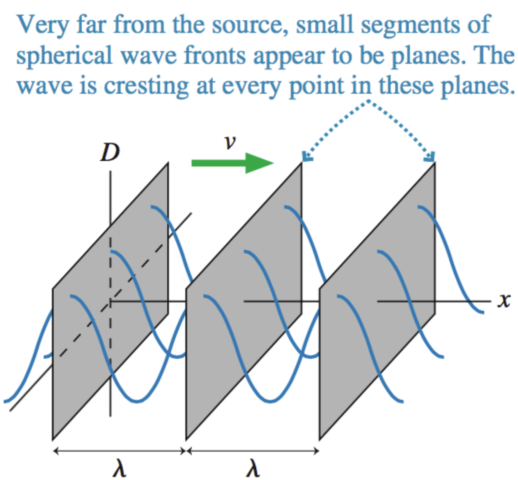


FIGURE 20.20 A plane wave.

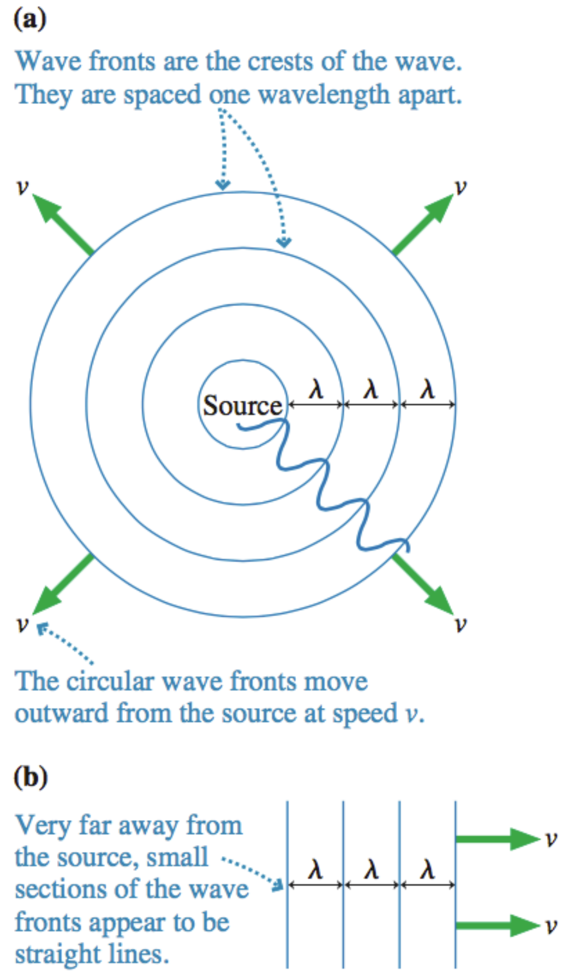


FIGURE 20.19 The wave fronts of a circular or spherical wave.

$$Y(x,t) = Y_m \sin(kx - \omega t + \phi)$$

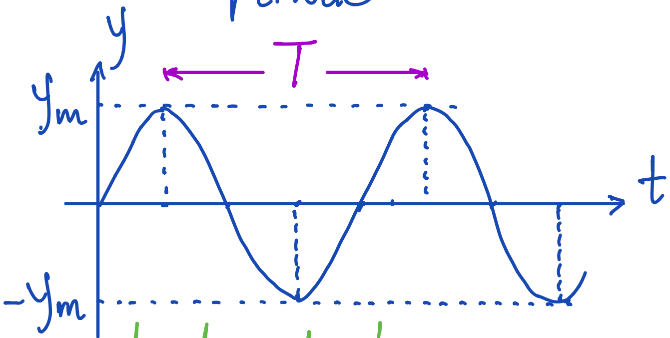
(+) ← (−)

(+) →

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

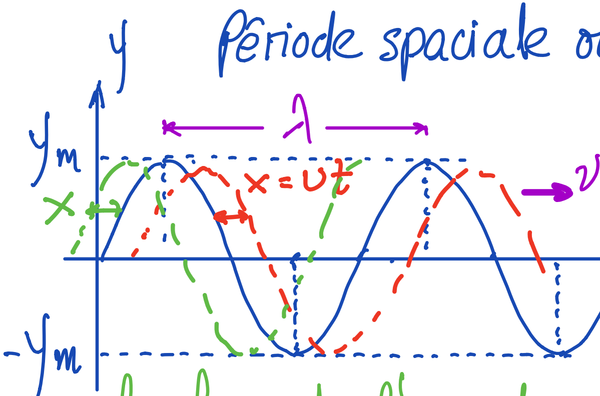
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Période



... le long du temps pour un point fixe x_0

Période spaciale ou longueur d'onde



$\rightarrow v$ vitesse d'onde $v = \frac{\lambda}{T}$

$x \rightarrow x - vt$

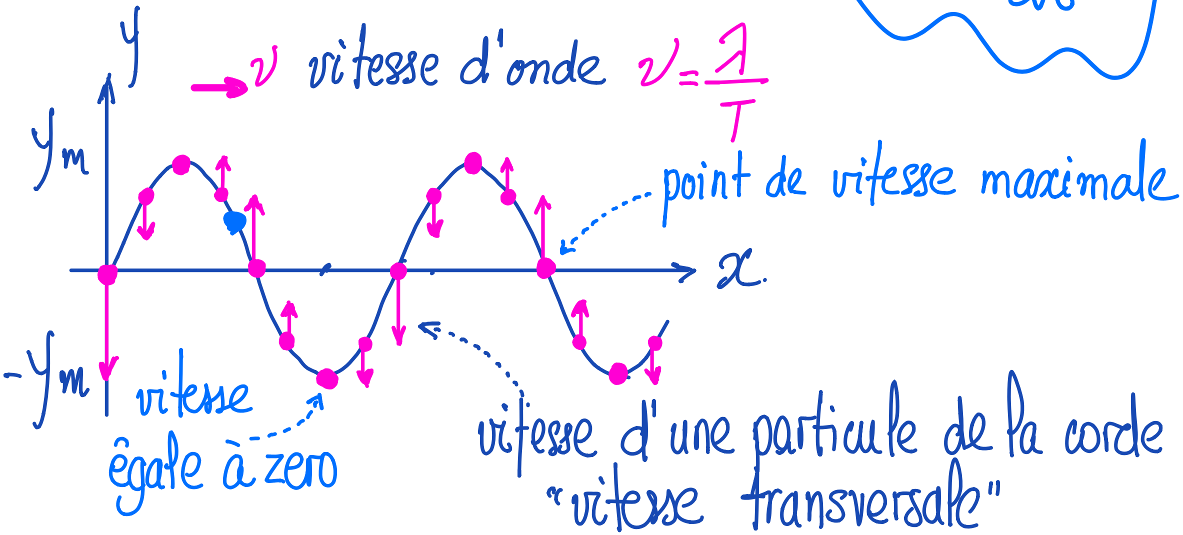
$x \rightarrow x - vt$

$x \rightarrow x + vt$

... le long de l'axe des x pour un temps fixe t_0

VITESSE DU MOYEN

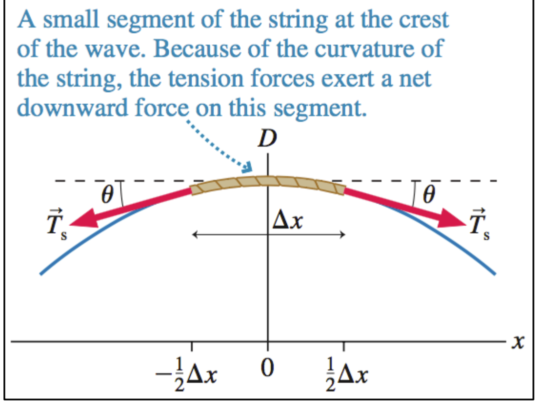
$$\boxed{v = \frac{dx}{dt}}$$



$$u = \frac{dy}{dt} = -\omega y_m \cos(kx - \omega t + \phi)$$

ONDE SUR CORDE TENDUE

FIGURE 20.18 A small segment of string at the crest of a wave.



$$F = m a_y = (\mu \Delta x) a_y$$

$$\left.\begin{aligned} a_y &= \frac{dv_y}{dt} = -\omega^2 A \\ \omega &= v k \end{aligned}\right\} \Rightarrow a_y = -v^2 k^2 A$$

$$\left.\begin{aligned} &F = 2 \cdot T \cdot \sin\theta \\ &\theta \text{ très petit} \end{aligned}\right\} F = 2 \cdot T \cdot \tan\theta$$

$$\tan\theta = \frac{dy}{dx}\Big|_{x=\Delta x/2} = -kA\sin(kx)\Big|_{\Delta x/2}$$

$$\Rightarrow \tan\theta = -kA\sin\frac{k\Delta x}{2} \Rightarrow^{\text{approx}}$$

$$\Rightarrow \tan\theta \simeq -kA\left(\frac{k\Delta x}{2}\right) = -k^2\frac{A\Delta x}{2}$$

Alors $F = 2T\left(-k^2\frac{A\Delta x}{2}\right) =$

$$= -kAT_s\Delta x = (\mu\Delta x)a_y =$$

$$= -v^2k^2A\mu\Delta x$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{T_s}{\mu}}$$

QUESTION

Si on double la tension d'une corde, la vitesse de l'onde est

(a) Doublée,

(b) multipliée par 4,

(c) multipliée par 1.414,

(d) divisée par 2,

(e) aucune de ces réponses.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

GENERATING A SINUSOIDAL WAVE

Une corde très longue avec μ = 2.0 g/m est tirée avec une tension de 5.0 N. À x = 0 m on connecte un moteur qui vibre à 100 Hz avec une amplitude de 2.0 mm. On considère t = 0 quand le deplacement vertical est maximal.

(a) Quelle est l'équation du deplacement pour l'onde progressive dans cette corde?

(b) À t = 5.0 ms, quel sera le déplacement de la corde à une position 2.7 m loin du moteur?

a) $y = y_m \sin(kx - \omega t + \phi)$

$y_m = 2.0\ \text{mm}$

$t=0: y = y_m$, $t=0, x=0$ $\Rightarrow y = y_m \sin\phi = y_m$ $\Rightarrow \phi = \frac{\pi}{2}$

$\omega = 2\pi f \Rightarrow \omega = 200\pi$ rad/s

$k = 2\pi/\lambda = \omega/v$

$v = \sqrt{T/\mu} = \sqrt{5 / 2\times10^{-3}}$ m/s $= 50$ m/s $\Rightarrow k = 4\pi$ rad/m

$y = (2.0\ \text{mm}) \times \sin\left[4\pi x - 200\pi t + \pi/2\right]$

b) $y(t = 5\ \text{ms}, x = 2.7\ \text{m}) =$

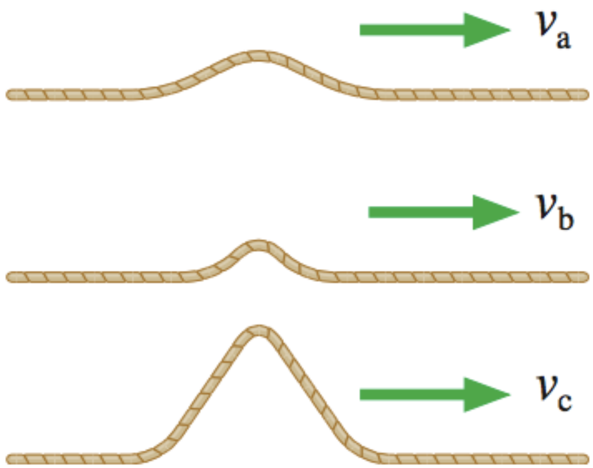
$y(t = 5\times10^{-3}\ \text{s}, x = 2.7\ \text{m}) = 1.6\ \text{mm}$

(calcul à la maison)

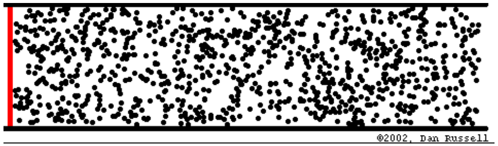
QUESTION

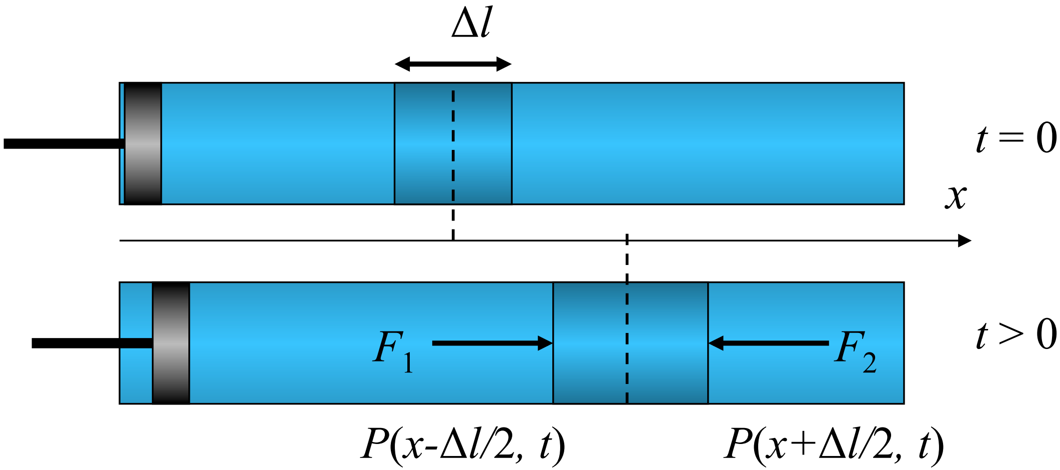
Trois ondes se propagent au long des cordes identiques. Quelle aura la plus grande vitesse:

(a) A
(b) B
(c) C
(d) Aucune de ces reponses



ONDE DE PRESSION





LA VITESSE DE PROPAGATION DES ONDES

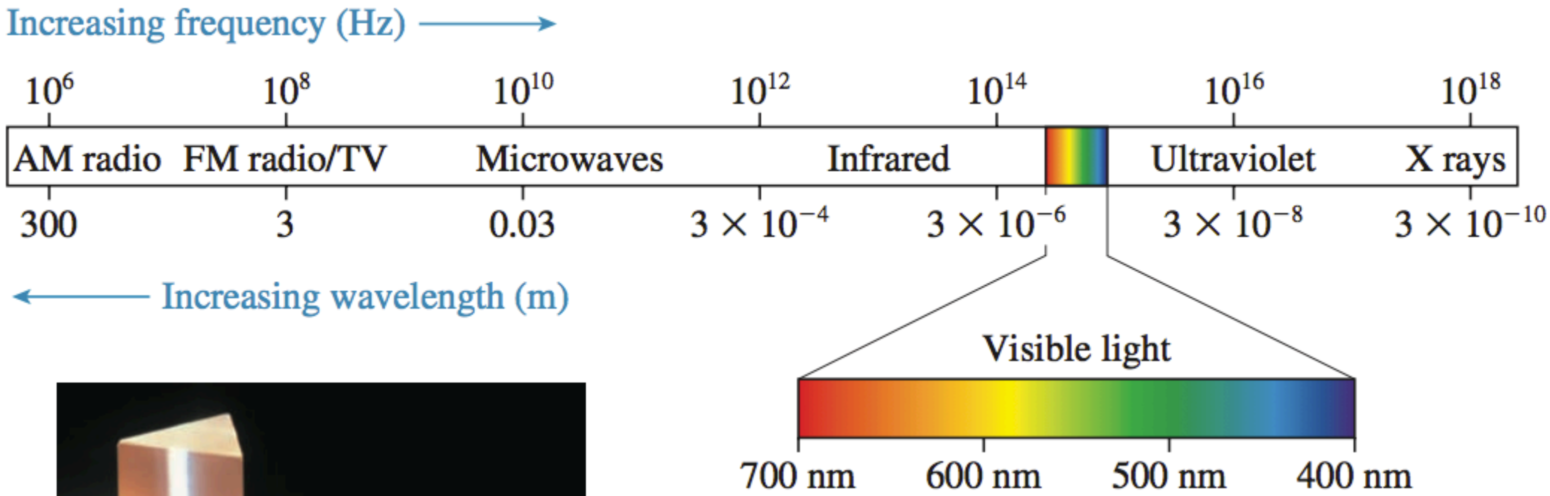
ondes de compression

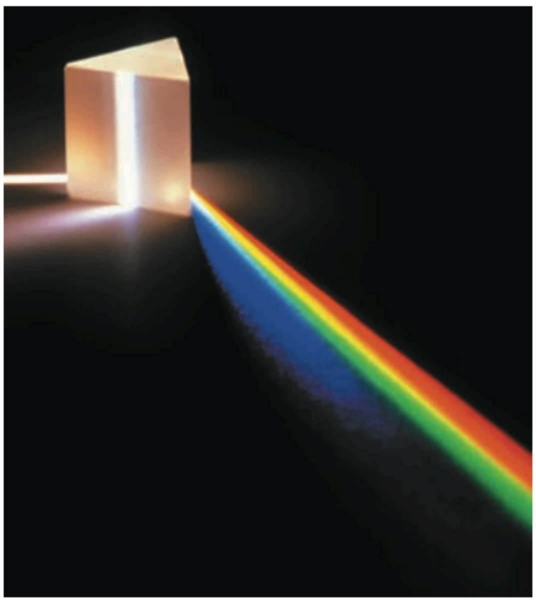
$$v = \sqrt{\frac{\text{facteur de force élastique}}{\text{facteur d'inertie}}}$$

liquide $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$ → constante de compressibilité du liquide

Solide $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ → module d'elasticité

gaz $v = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$ → pression





White light passing through a prism is spread out into a band of colors called the *visible spectrum*.

LE SON COMME UNE ONDE

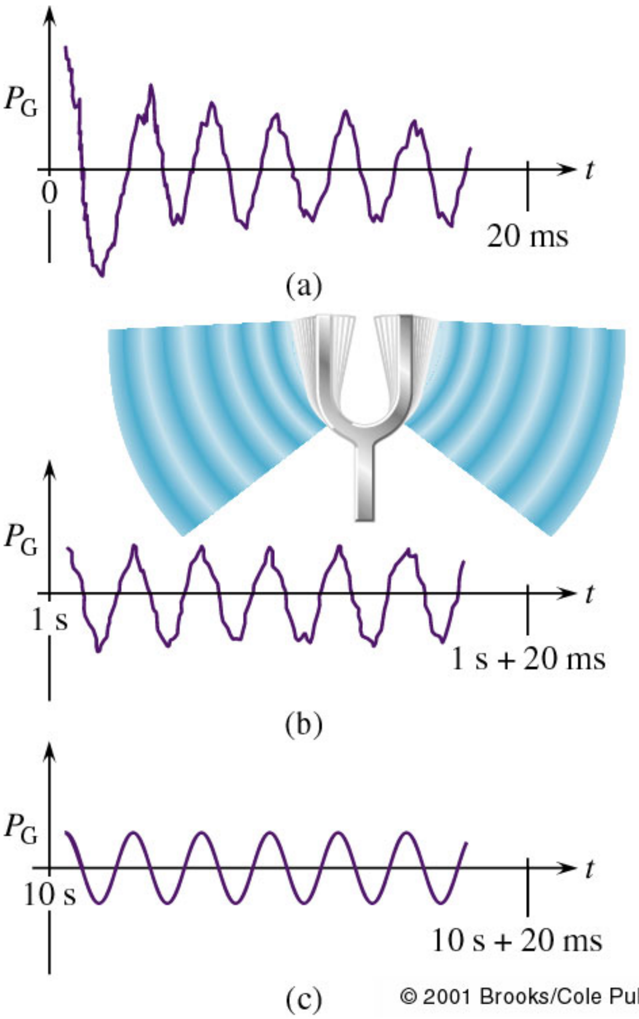
VITESSE DU SON - EXEMPLE

Milieu	Vitesse (m/s)
Air (0^oC)	331
Air (20^oC)	343
Helium (0^oC)	970
Ethyl alcohol	1170
Eau (20^oC)	1480
Granite	6000
Aluminium	6420

Tableau 18.1: La vitesse du son.

Pour comparer: la vitesse de la lumière est 3.00×10^8 m/s

LE DIAPASON

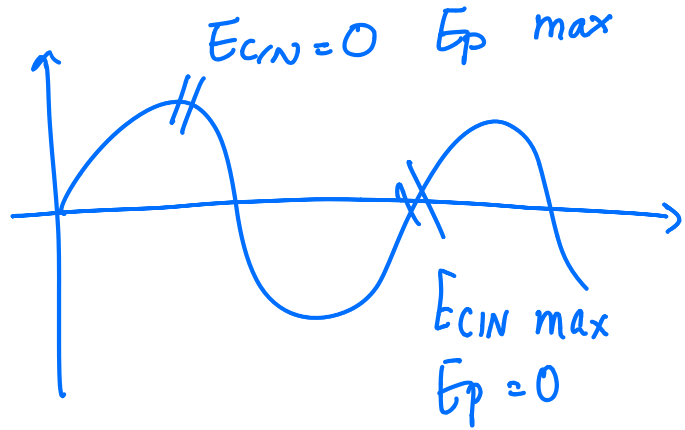


ÉNERGIE TRANSMISE PAR UNE ONDE ÉLASTIQUE

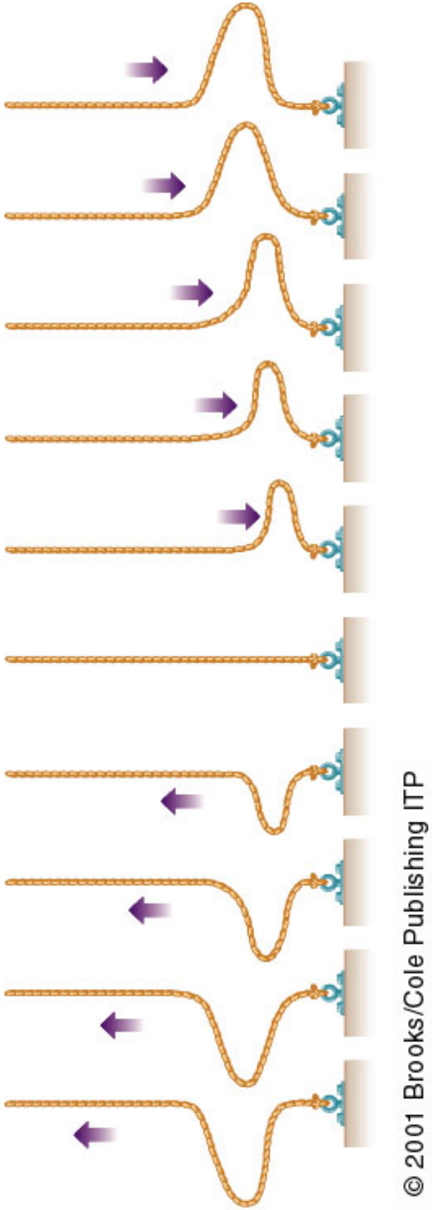
E_p E_{cin} Puissance moyenne

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

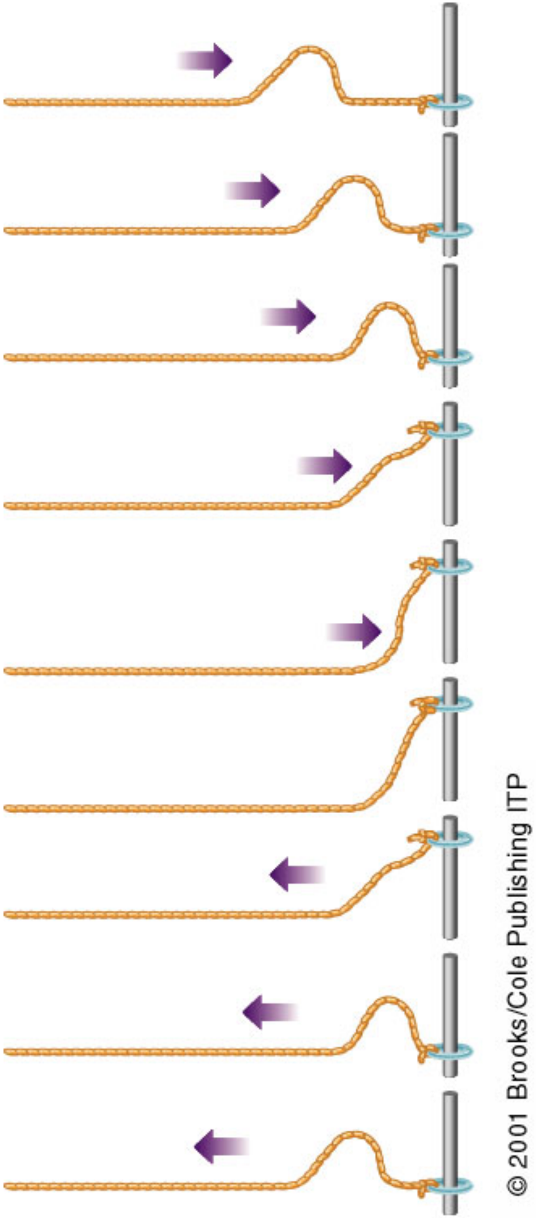
$$\bar{P} = \frac{1}{2}\sqrt{\mu F_T}\,\omega^2 y_m^2$$



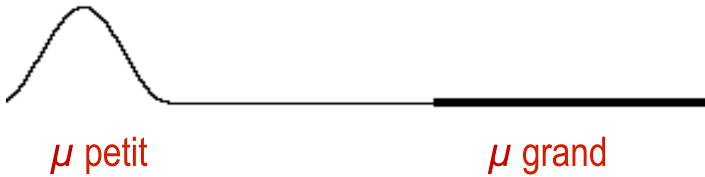
RÉFLEXION, ABSORPTION ET TRANSMISSION

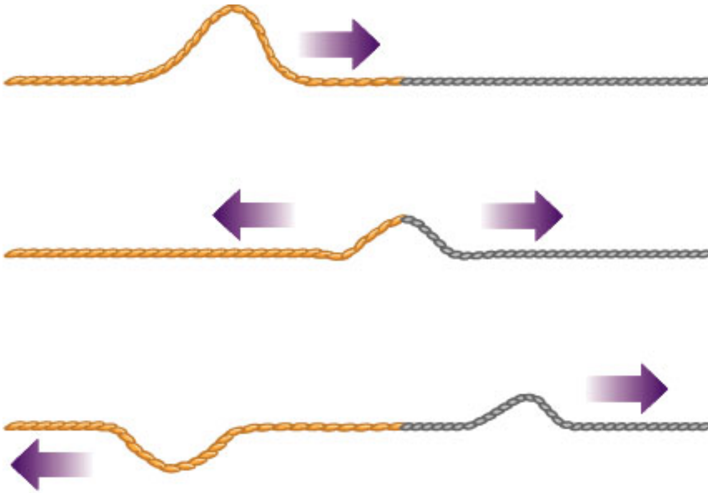


RÉFLEXION, ABSORPTION ET TRANSMISSION



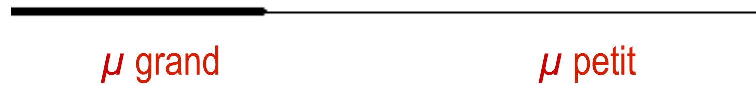
RÉFLEXION, ABSORPTION ET TRANSMISSION

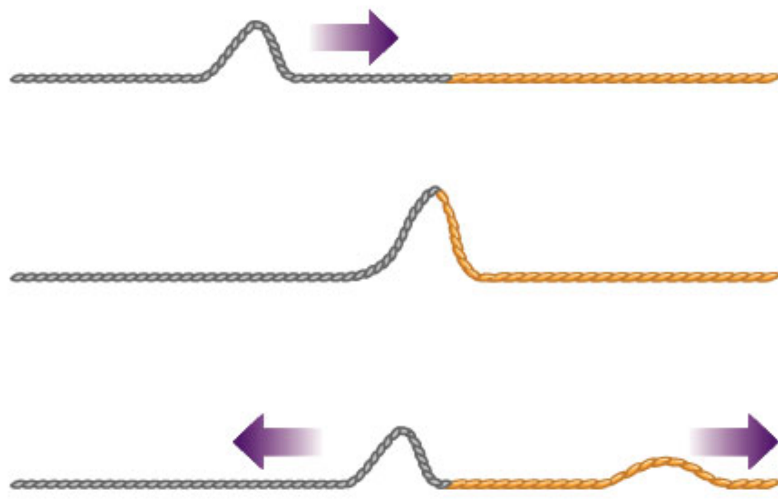




(a)

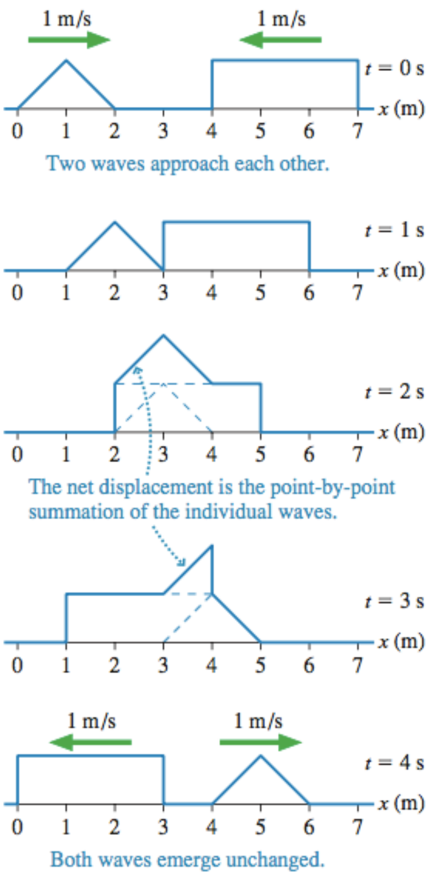
RÉFLEXION, ABSORPTION ET TRANSMISSION





(b)

LA SUPERPOSITION DES ONDES



Y_1 Y_2

$Y_{Fin} = Y_1 + Y_2$

ANALYSE FOURIER

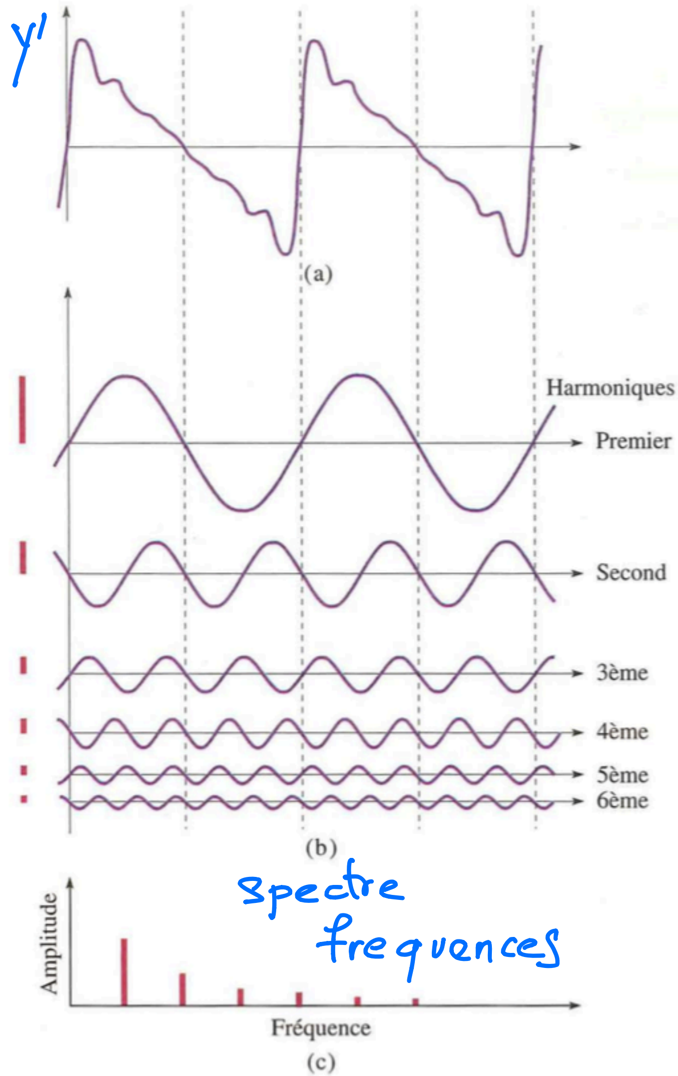
$$y'(x,t) = a_1 \sin(\omega t + \phi_1) + a_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + a_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots$$

$$= \sum_n a_n \sin(n\omega t + \phi_n)$$

$$\omega = 2\pi f$$

$n = 1$: fondamentale

.... harmoniques



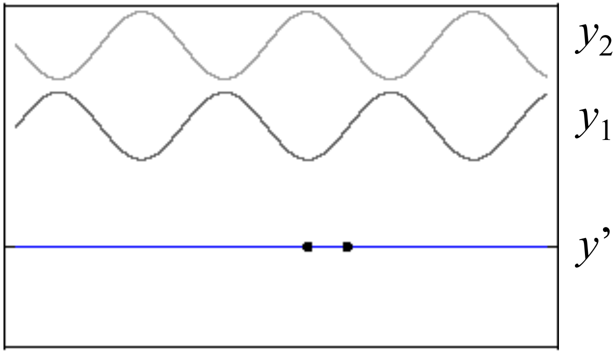
$$\left(\sin a + \sin \beta = 2 \sin \frac{a+\beta}{2} \cdot \cos \frac{a-\beta}{2}\right)$$

INTERFÉRENCE D'ONDES

$$y_1 = y_m \sin(kx - \omega t)$$

$$y_2 = y_m \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$y'(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$



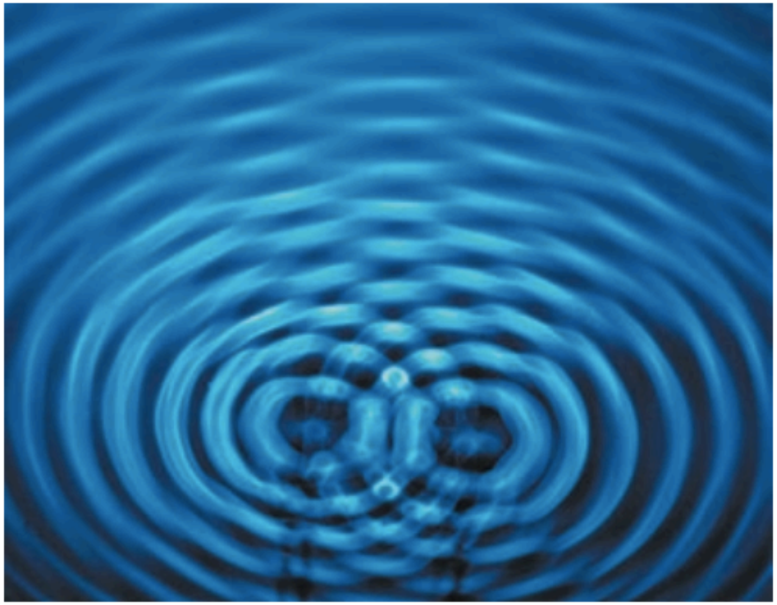
$$y' = y_1 + y_2 =$$

$$\Rightarrow y' = \underbrace{2 y_m \cos\frac{\phi}{2}}_{\text{amplitude}} \sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

Pour $\phi = 0$: interf. CONSTRUCTIVE

$\phi = \pi$: interf. DESTRUCTIVE

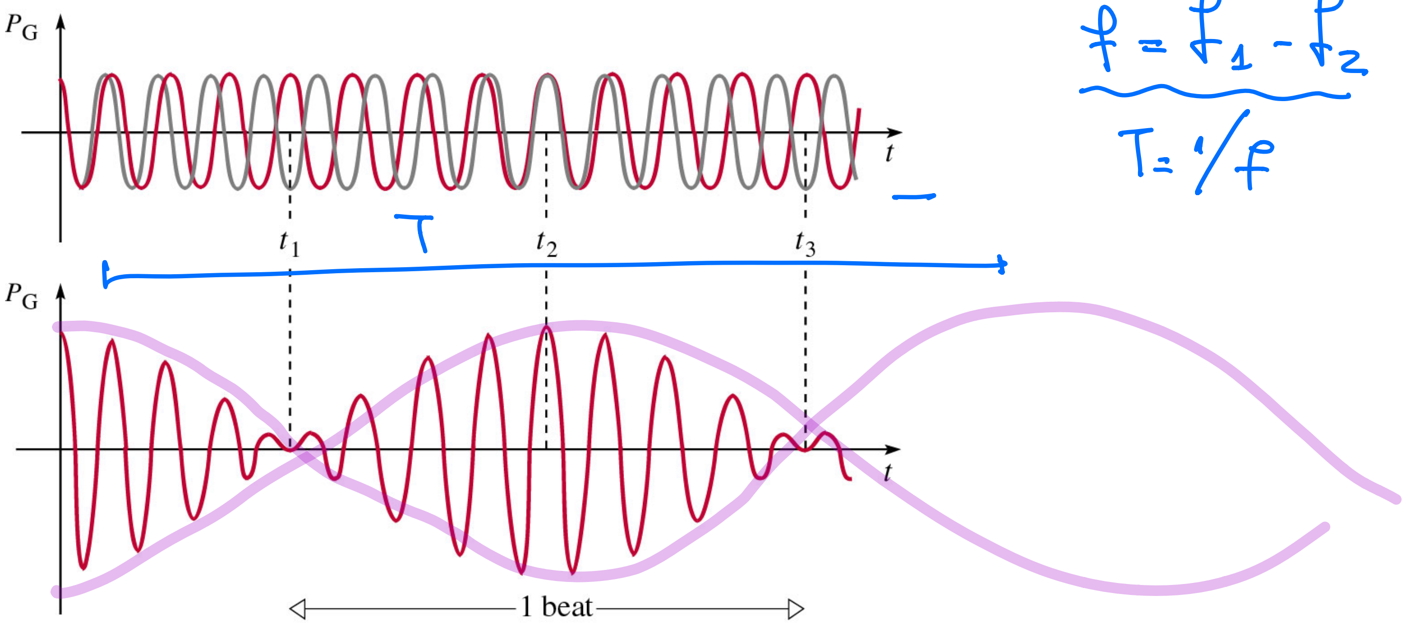
INTERFÉRENCE D’ONDES



Two overlapping water waves create an interference pattern.

BATTEMENTS

$f_1 \simeq f_2$



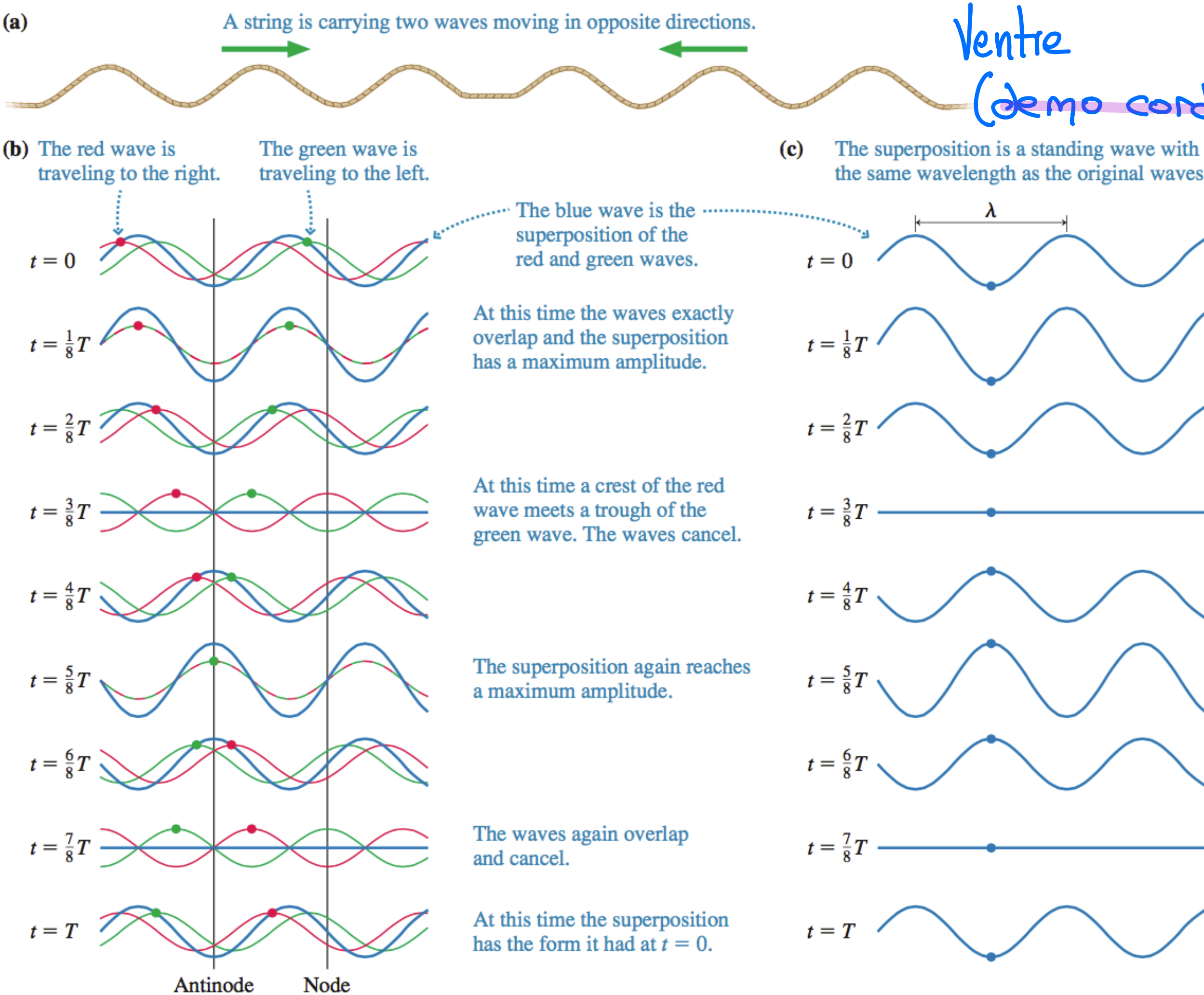
$f = f_1 - f_2$

$T = 1/f$

ONDES STATIONNAIRES SUR CORDE

FIGURE 21.4 The superposition of two sinusoidal waves traveling in opposite directions.

Noeuds
Ventre
(demo corde)

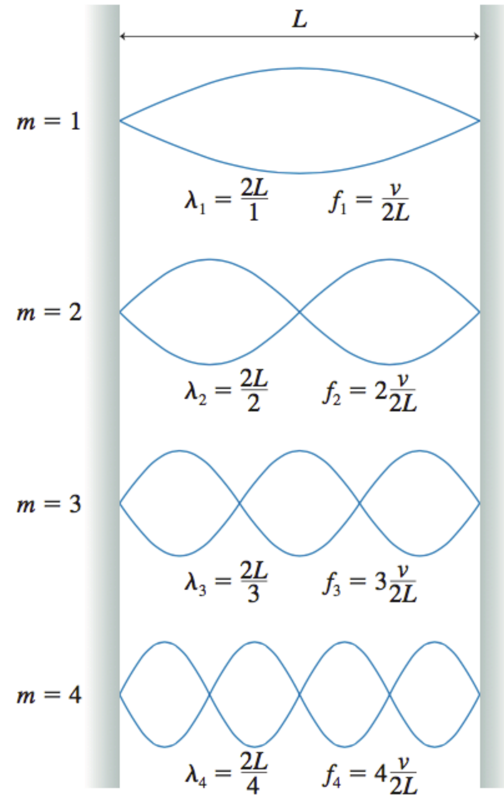


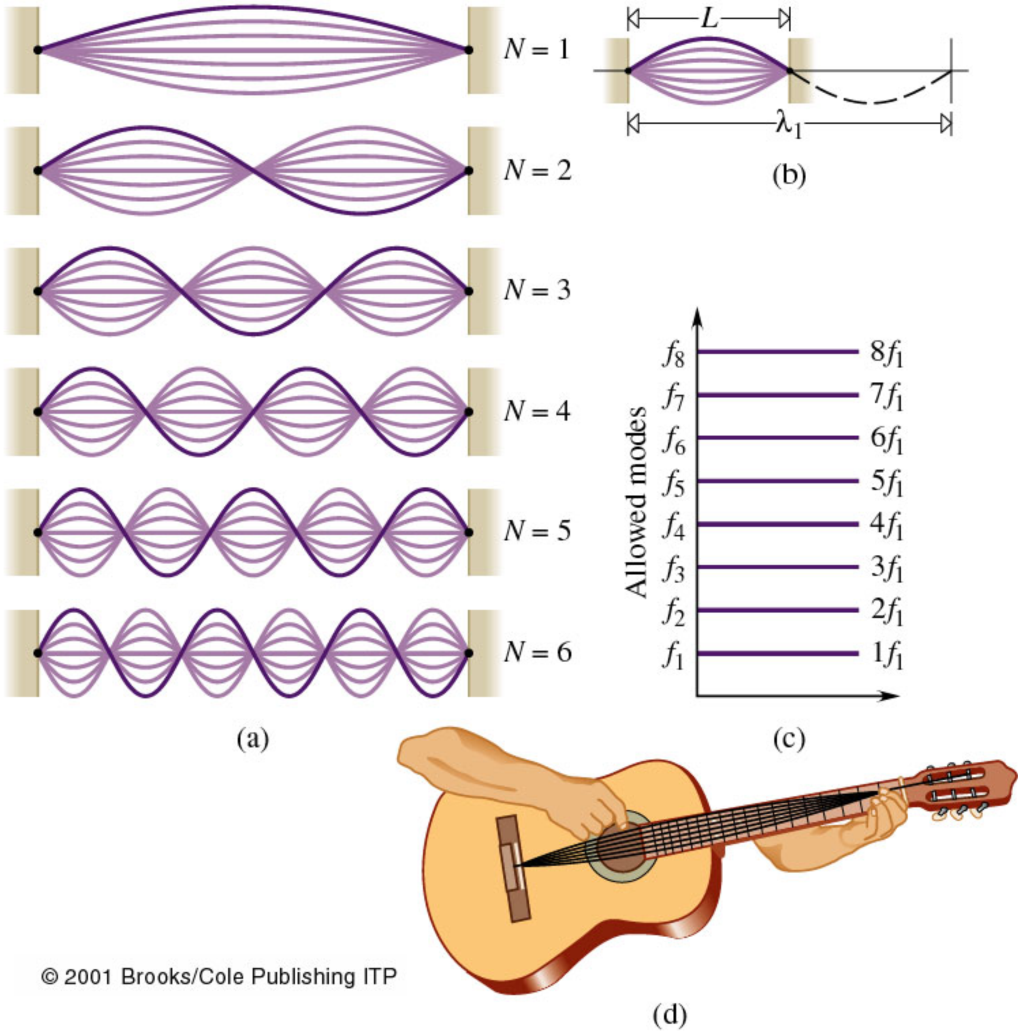
ONDES STATIONNAIRES SUR CORDE

$$y_1 = y_m (kx - \omega t)$$

$$y_2 = y_m (kx + \omega t)$$

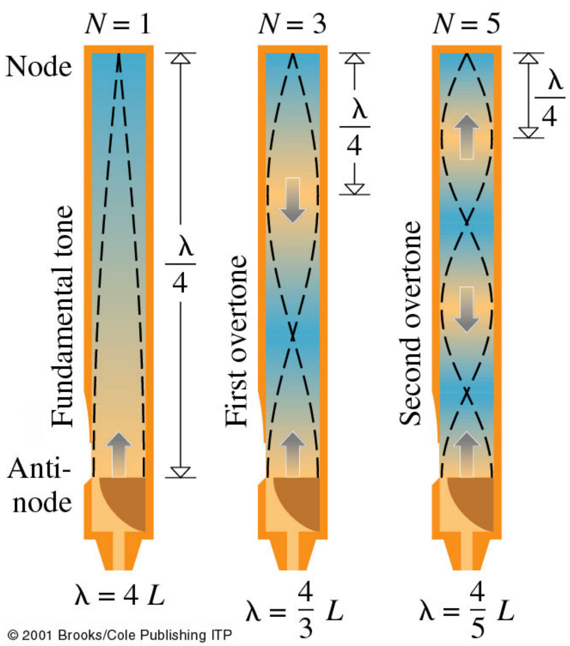
$$y_{TOT} = y_1 + y_2$$

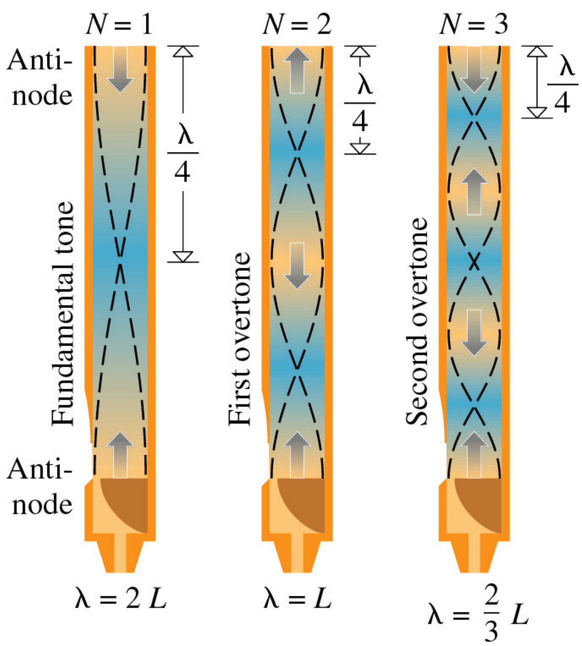




N = 1
N = 2
N = 3
N = 4
N = 5
N = 6
(a)
L
λ1
(b)
Allowed modes
f8 8f1
f7 7f1
f6 6f1
f5 5f1
f4 4f1
f3 3f1
f2 2f1
f1 1f1
(c)
(d)

ONDES STATIONNAIRES DANS UN TUYAU SONORE



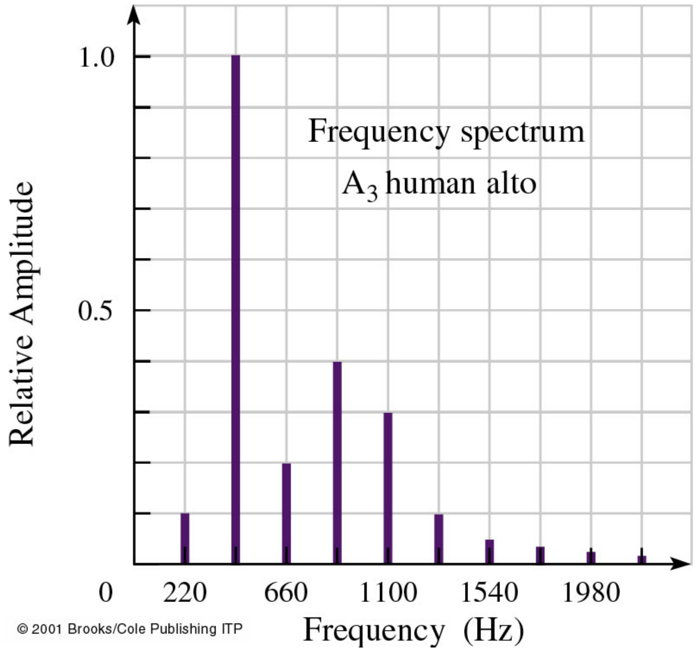


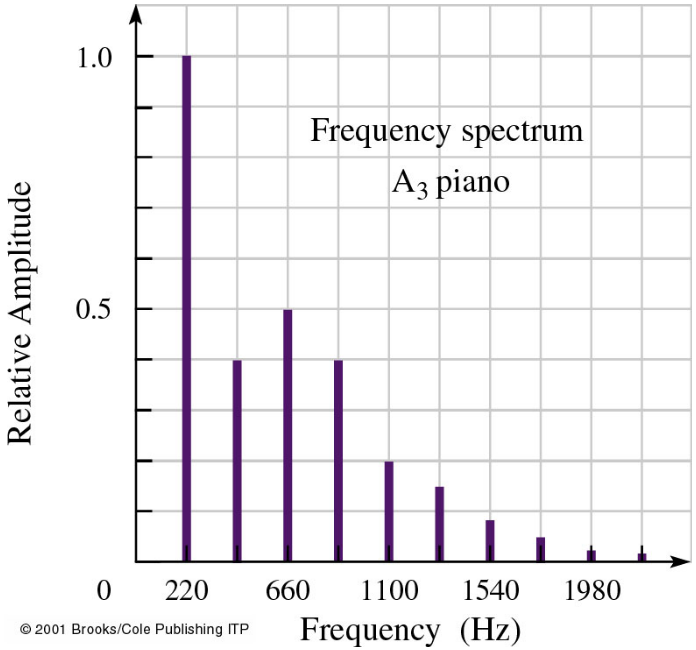
Audition des sons - la musique

En musique, on définit les grandeurs suivantes:

- **Un intervalle:** le rapport des fréquences fondamentales de deux sons, ω/ω'. Si $\omega/\omega' = 2$ on a un octave.
- **Un accord:** un intervalle dont le rapport des fréquences est donné par deux petits nombres entiers. Par exemple: Quinte do-sol: $\omega/\omega' = 3/2$.
- **Le timbre:** Nous permet de distinguer les sons d'une flûte, un saxophone ou un violon. Il est donné par les composantes de Fourier.
- **Le volume sonore:** Dépend du spectre de fréquence, de la durée et surtout de l'intensité du son.

ANALYSE FOURIER





SENSIBILITÉ DE L'OREILLE HUMAINE

Notre oreille: un détecteur sonore:

- La plage de fréquence s'étend de **20 Hz** à **20'000 Hz**
- L'intensité audible minimale est de **10^{-12} W/m**^{2}
- L'intensité maximale admise (*seuil de douleur*) est en général **1 W/m^2**

Notre perception sonore n'est pas directement proportionnelle à l'intensité.

– Pour que le volume sonore perçu double, il faut que l'intensité de l'onde sonore soit multipliée par 10.
– L'oreille est sensible au logarithme de l'intensité (loi de Fechner).

Source sonore	Niveau (dB)	Source sonore	Niveau (dB)
Avion à réaction	140	Concert de Rock	$\sim$120
Marteau piqueur	110	Circulation sur autoroute	75
Conversation normale	60	chuchottement	20

For fun: https://en.wikipedia.org/wiki/Loudest_band MANOWAR

EFFET DOPPLER