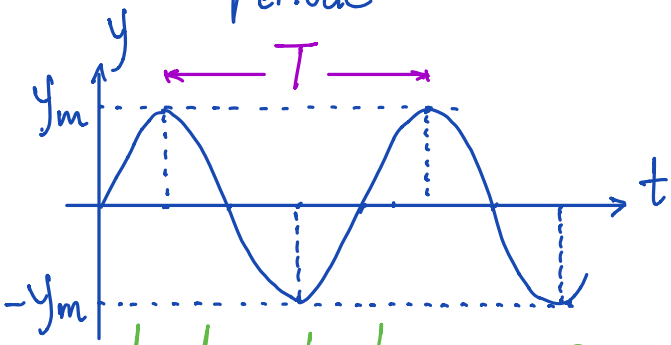
ONDES ET SON

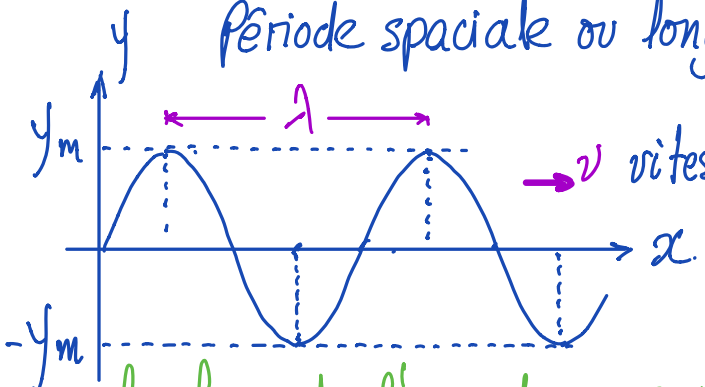
PGC-09

Période



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

Période spaciale ou longueur d'onde



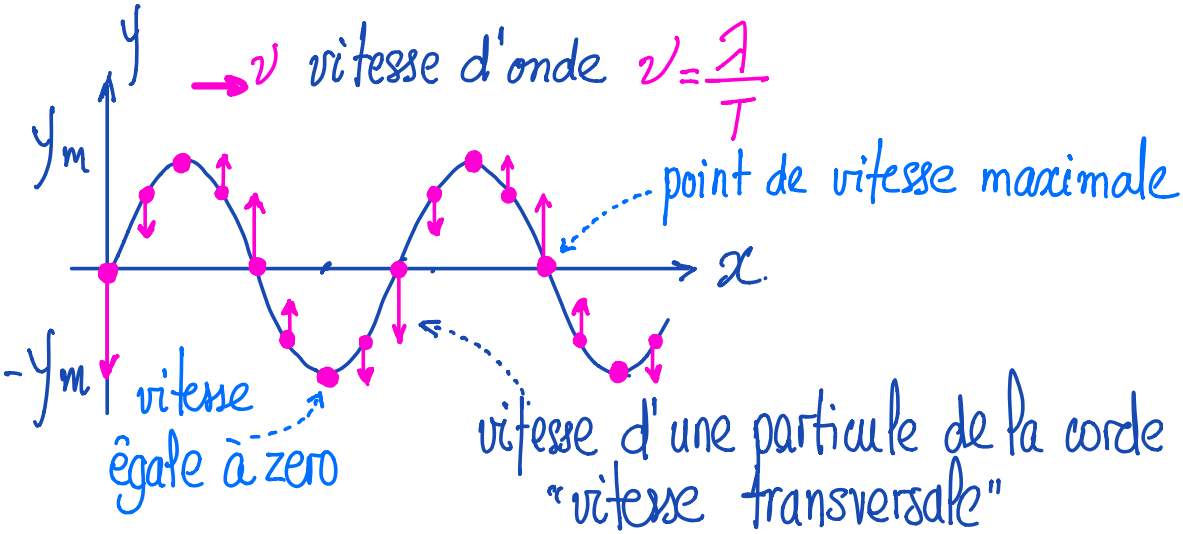
→ v vitesse d'onde $v = \frac{\lambda}{T} = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$

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

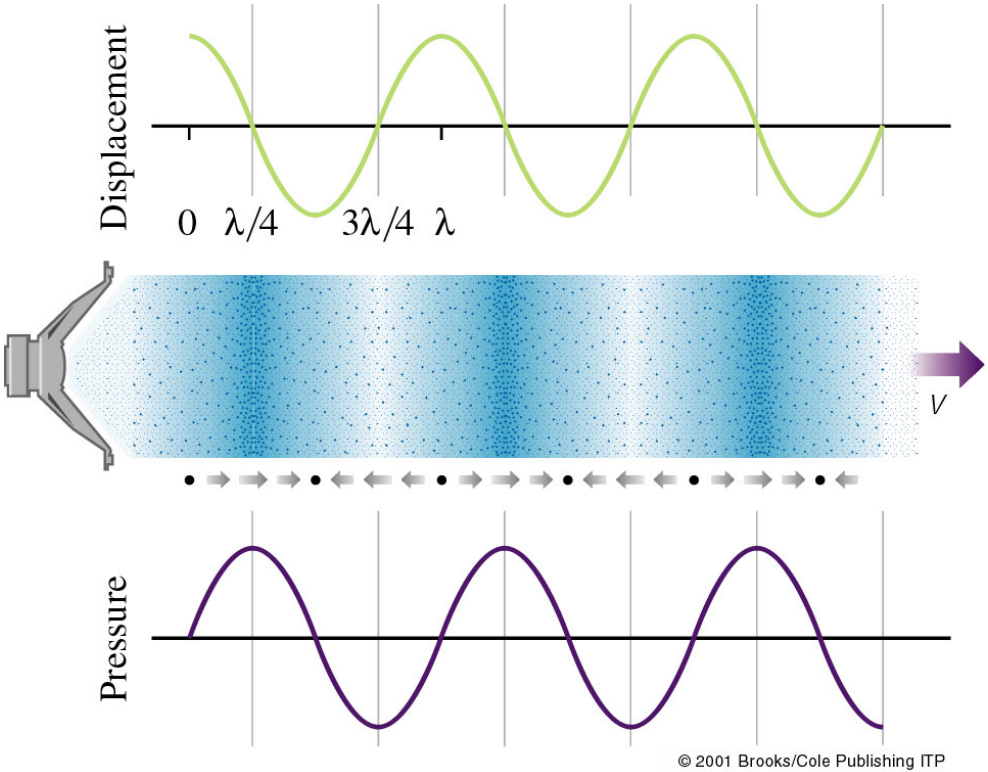
VITESSE DU MOYEN

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

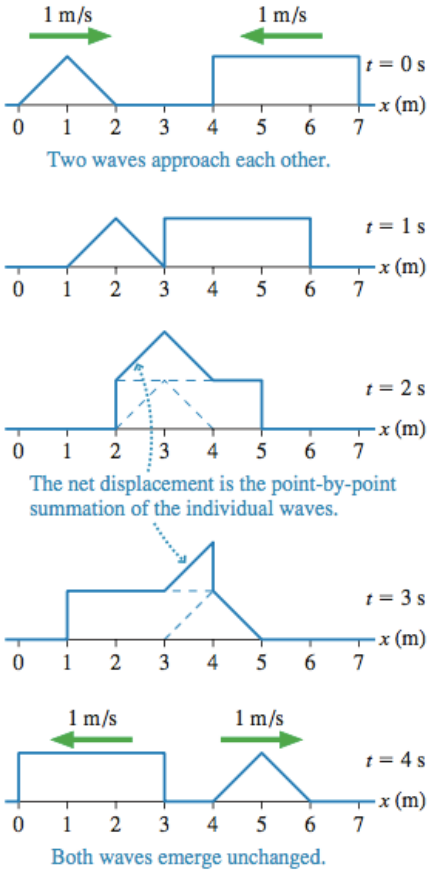
$$u = \frac{dy}{dt}$$



LE SON COMME UNE ONDE



LA SUPERPOSITION DES ONDES

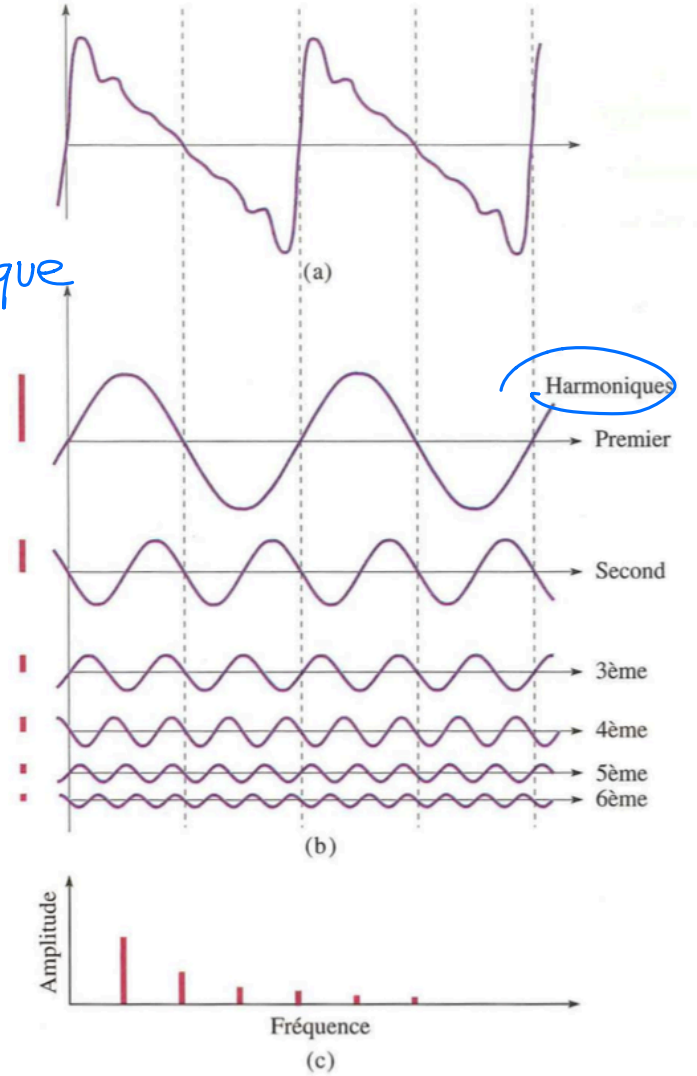


$$y = y_1 + y_2$$

ANALYSE FOURIER

analyse de tout mouvement periodique

fondamentale ⇐

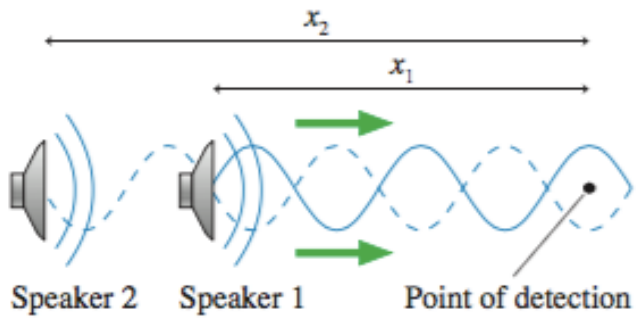


INTERFÉRENCE DES ONDES

$$y = 2y_m \cos\frac{\phi}{2} \sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

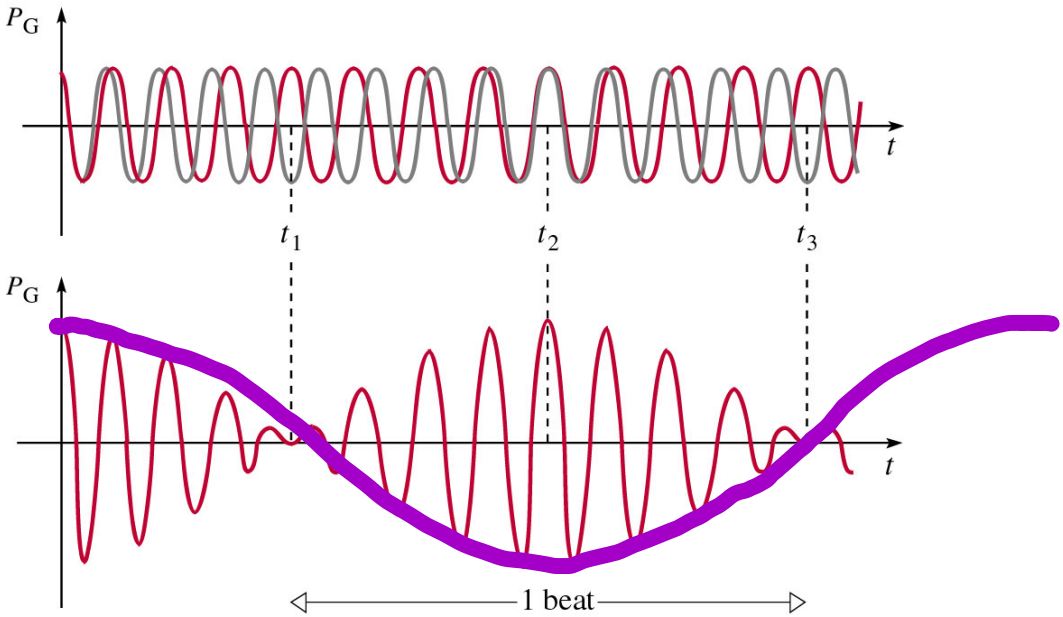
$$y_1 = y_m \sin(kx - \omega t)$$

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



BATTEMENTS

f_1 , f_2



$f = |f_1 - f_2|$

© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

APPLICATION: À LA RECHERCHE DES CHAUVE-SOURIS

Les chauve-souris émettent des pulsations de 40 kHz: inaudible pour les humains! Les chercheurs utilisent un générateur de signaux, qui, combinés avec le son des chauve-souris (amplifié) créent un battement. Quelle doit être la fréquence du générateur pour que la fréquence du battement soit de 3 kHz?

(a) 3 kHz

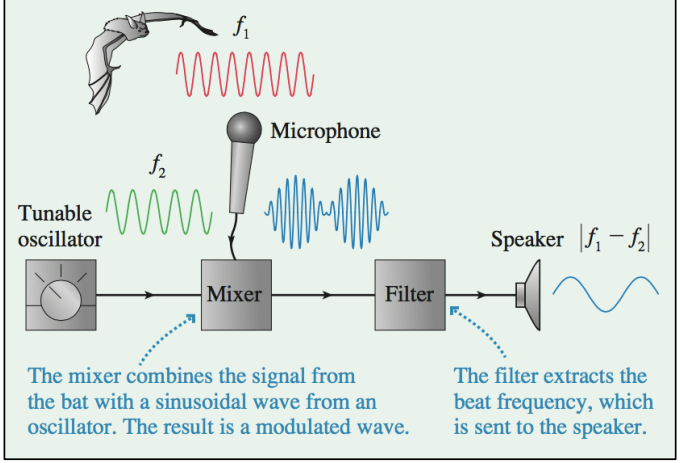
(b) 37 kHz

(c) 43 kHz

(d) 40 kHz

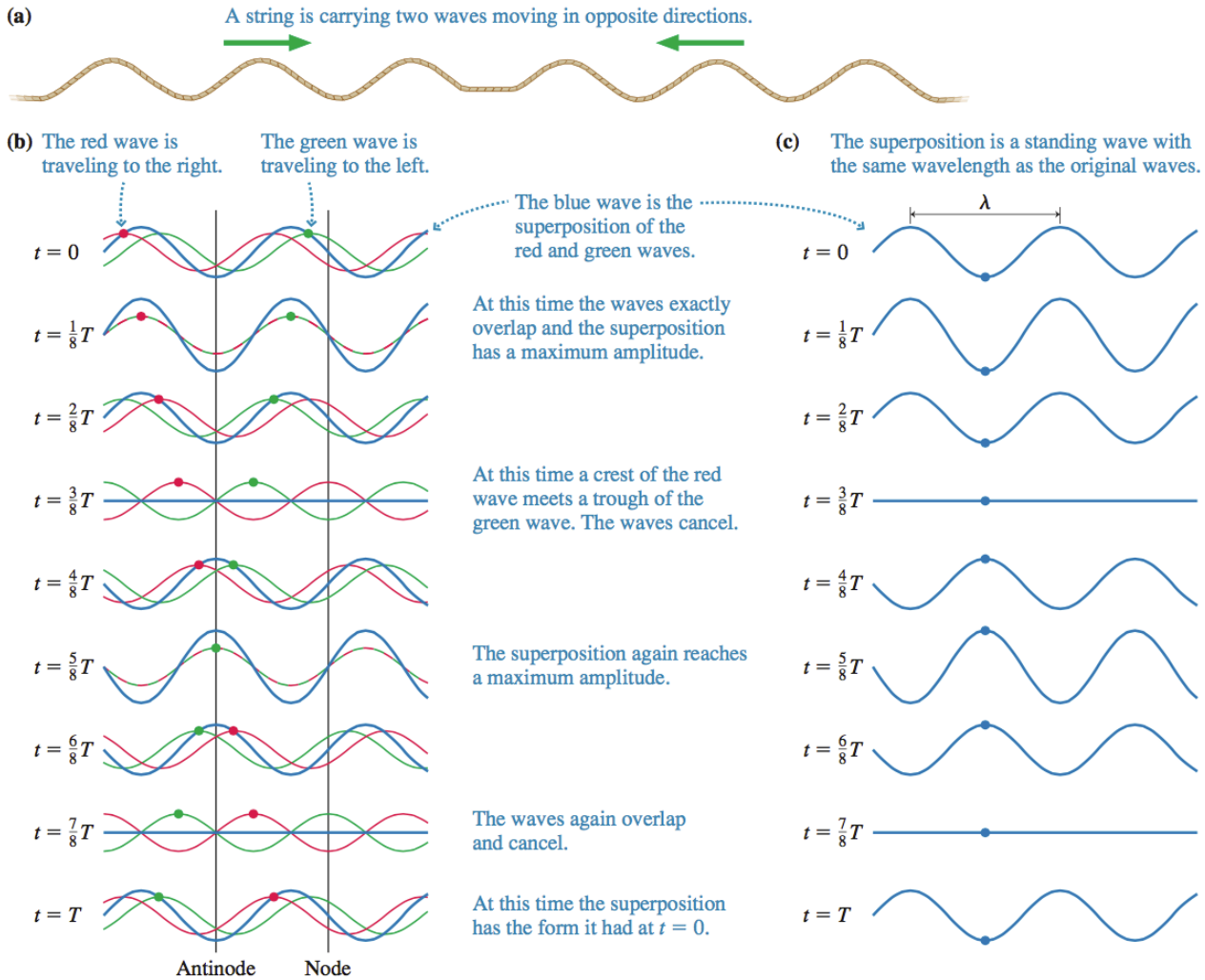
(e) Aucune des réponses

FIGURE 21.35 The operation of a bat detector.



ONDES STATIONNAIRES SUR CORDE

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

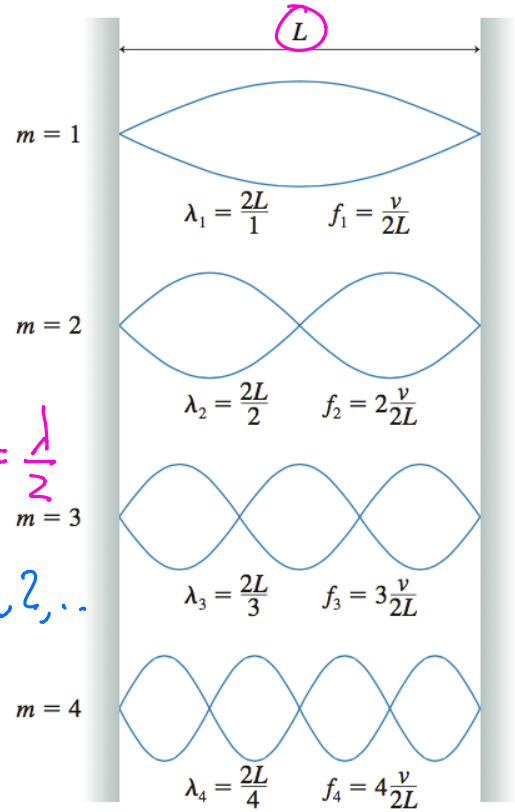


ONDES STATIONNAIRES SUR CORDE

$y_1 = y_m \sin(kx - \omega t)$ $\quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$ $\quad \omega = \frac{2\pi}{T}$ $\quad v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$

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

$y' = y_1 + y_2 = \underbrace{2y_m \sin kx}_{\text{amplitude}} \cdot \cos\omega t$



Noeuds: $\sin kx = 0 \Rightarrow kx = n\pi \quad n = 0, 1, 2, \ldots$

$x = n\frac{\lambda}{2}$ $\quad n = 1: L = \frac{\lambda}{2}$

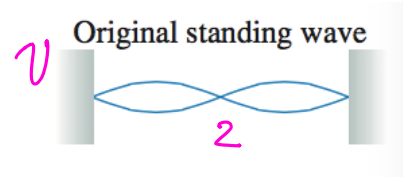
Ventres $|\sin kx| = 1 \Rightarrow kx = \frac{\pi}{2} + n\pi \quad n = 0, 1, 2, \ldots$

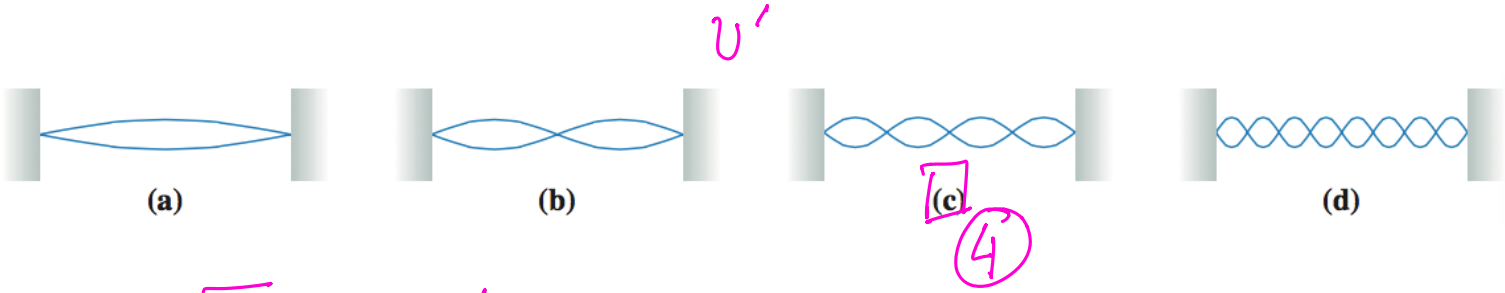
$x = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$

$n \neq 0 \quad \lambda = \frac{2L}{n} \quad f = n\frac{v}{2L} \quad v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$

ONDES STATIONNAIRES SUR CORDE

La figure à côté montre l'onde stationnaire sur corde.
On augmente la tension de la corde d'un facteur 4.
Qu'est-ce qui ce passe à l'onde?

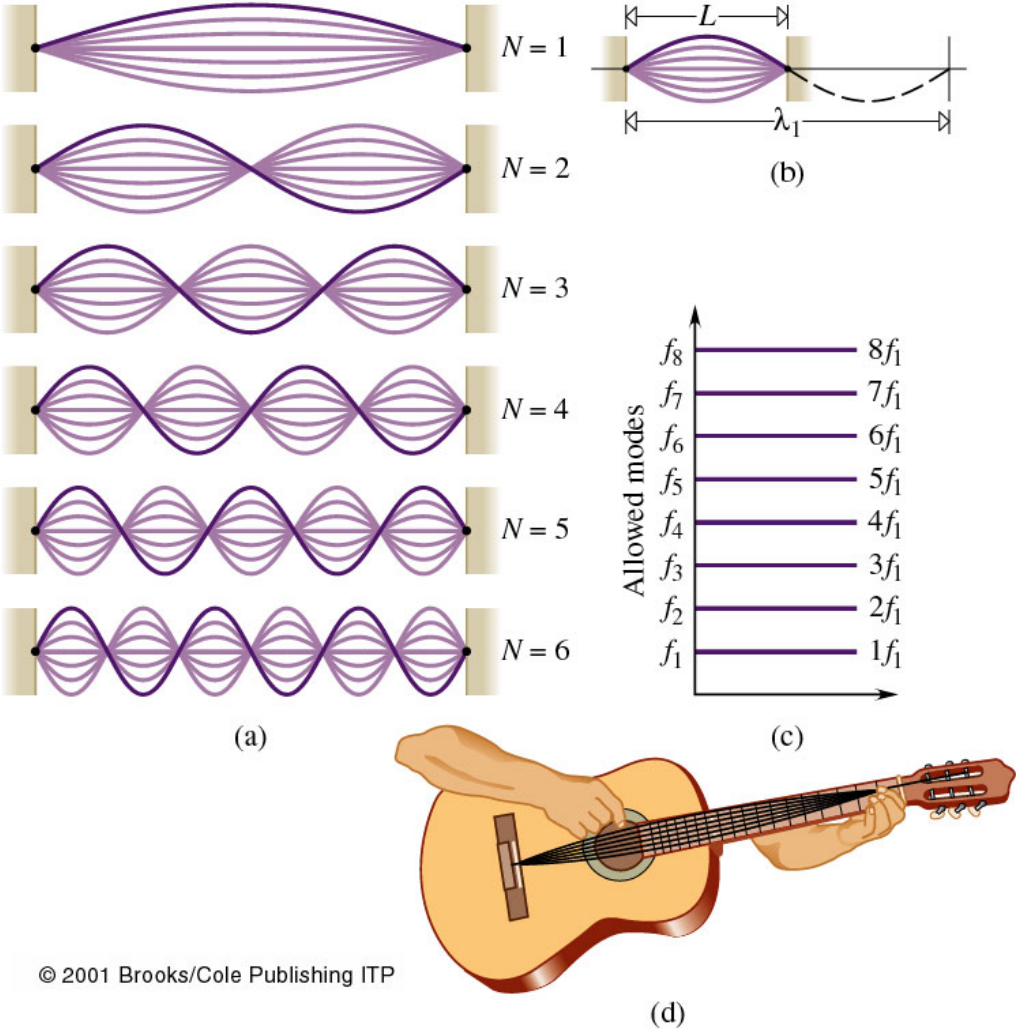




$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} \qquad v' = 2v$$

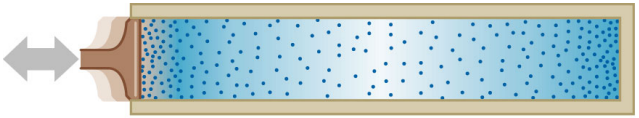
$$f = n\frac{v}{2L} \qquad f' = 2f$$

pour même "n"

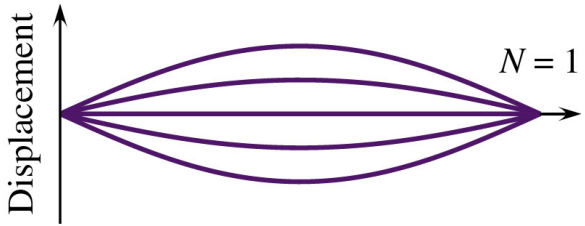


© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

ONDES STATIONNAIRES DANS UN TUYAU SONORE

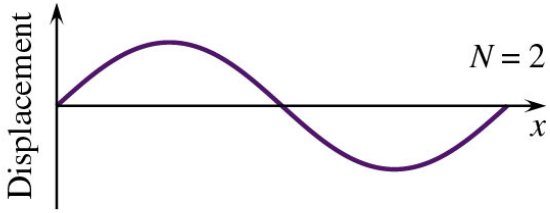


(a)

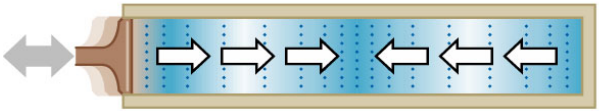


© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

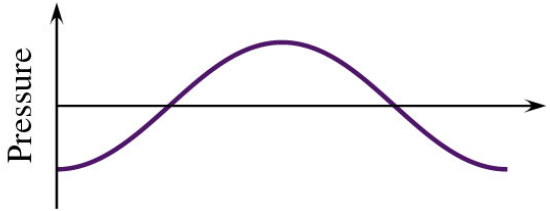
(b)



(c)



(d)



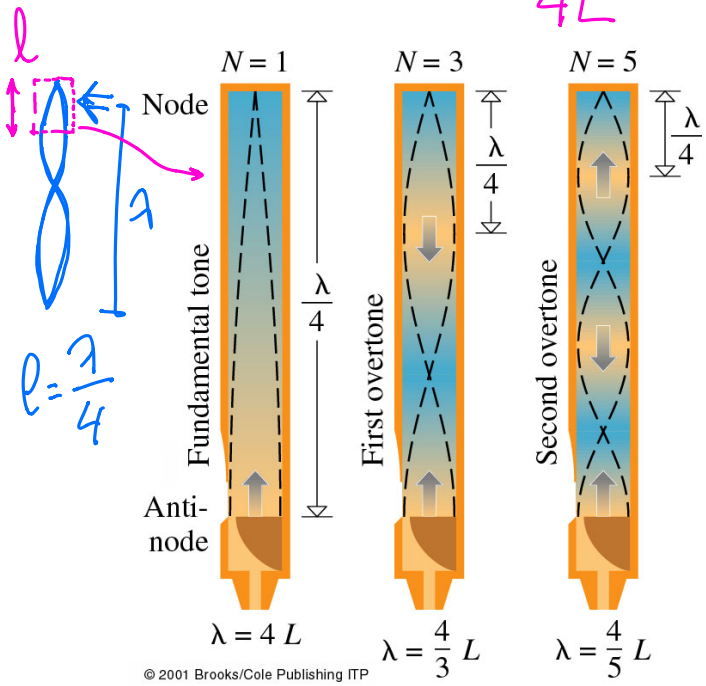
© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

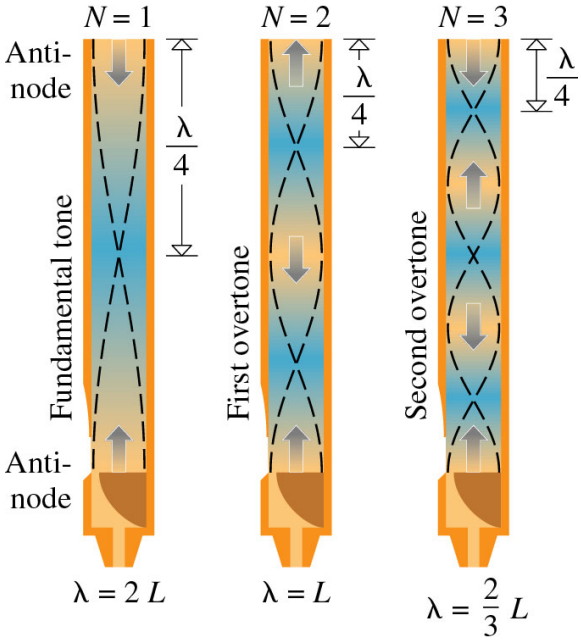
(e)

ONDES STATIONNAIRES DANS UN TUYAU SONORE

$f_n = n \frac{v}{4L}$

$f_n = n \frac{v}{2L}$



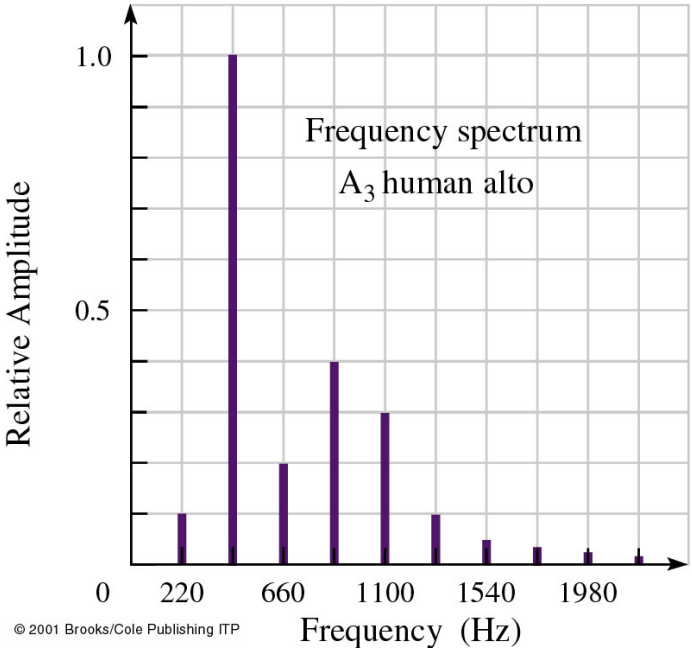


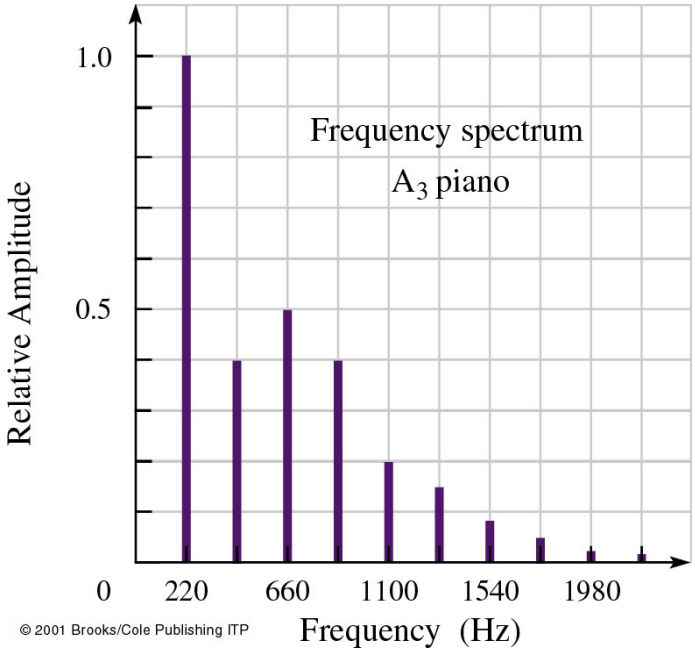
Audition des sons - la musique

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

$I = \frac{P_m}{S}$ ← puissance moyenne $[I] = \frac{W}{m^2}$

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** $= I_0 \Rightarrow 0$ dBel
- L'intensité maximale admise (*seuil de douleur*) est en général **1 W/m^2** $\Rightarrow 120$ dBel.

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).

$I = 10^n I_0$

$\beta = 10 \log_{10} I/I_0 \Rightarrow$ "niveau sonore" dBel.

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

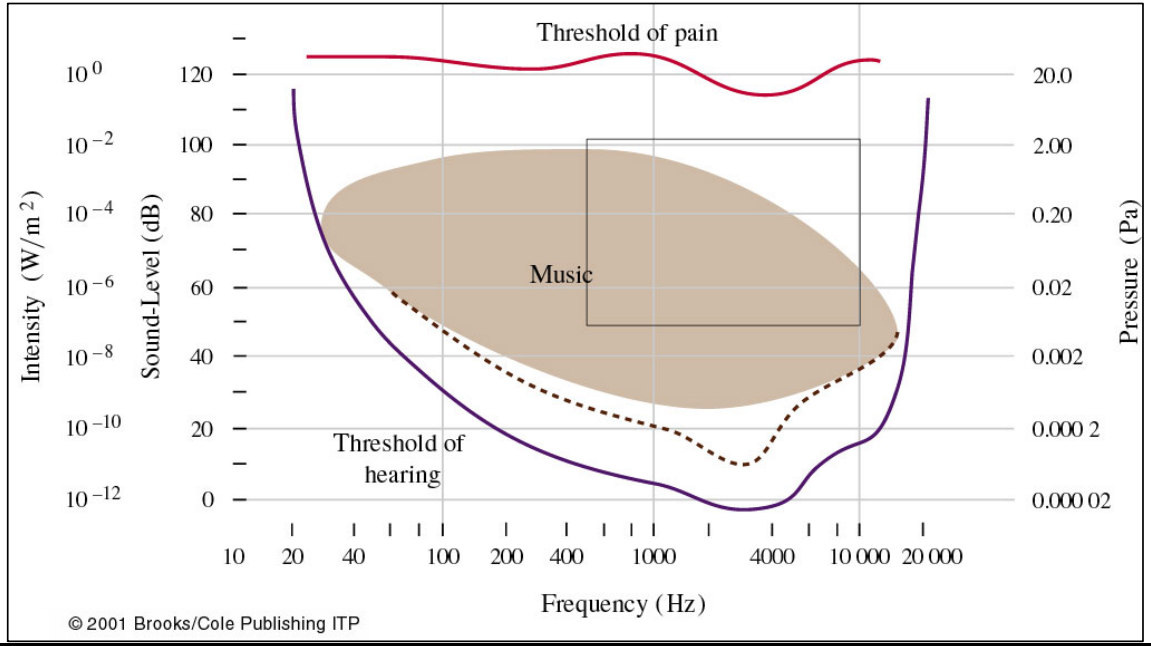
For fun: https://en.wikipedia.org/wiki/Loudest_band

SENSIBILITÉ DE L'OREILLE HUMAINE

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

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**



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

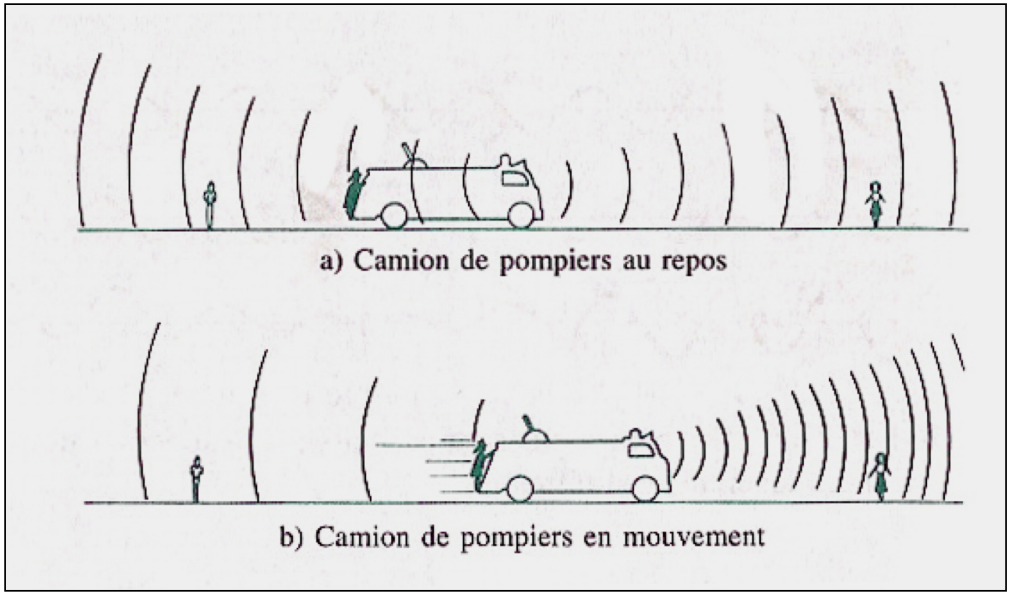
EFFET DOPPLER

La perception de la fréquence d'une onde et de sa longueur d'onde peut être modifiée considérablement par un mouvement relatif entre l'observateur et la source.

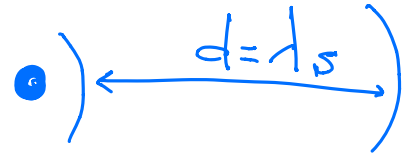
Nous envisagerons les 3 situations suivantes :

1. Source en mouvement, observateur au repos
2. Source au repos, observateur en mouvement
3. Source et observateur en mouvement (pas de démonstration)

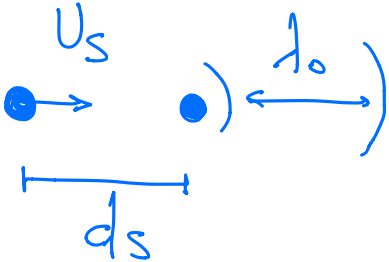
SOURCE EN MOUVEMENT, OBSERVETEUR AU REPOS



SOURCE EN MOUVEMENT, OBSERVETEUR AU REPOS



$$T = \frac{1}{f_s} = \frac{\lambda_s}{v}$$



$$\left.\begin{aligned} d = \lambda_s &= vT \\ d_s &= V_s \cdot T \end{aligned}\right\} \Rightarrow \lambda_o = d - d_s = \lambda_s - V_s T = \lambda_s - V_s \frac{\lambda_s}{v} = \lambda_s\left(1 - \frac{V_s}{v}\right)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_o - \lambda_s = -V_s \lambda_s / v$$

rapproche: $f_o = \frac{v}{\lambda_o} = \frac{v}{\lambda_s\left(1 - \frac{V_s}{v}\right)} = f_s \frac{v}{v - V_s} \Rightarrow f_o > f_s$

$\Uparrow \qquad \Uparrow$

eloigne $f_o = f_s \frac{v}{v + V_s} \Rightarrow f_o < f_s$

SOURCE AU REPOS, OBSERVATEUR EN MOUVEMENT

$$\vec{v}_{SO} = \vec{v}_{ST} + \vec{v}_{TO} \Rightarrow \vec{v}' = \vec{v} - \vec{v}_{obser.}$$

Son

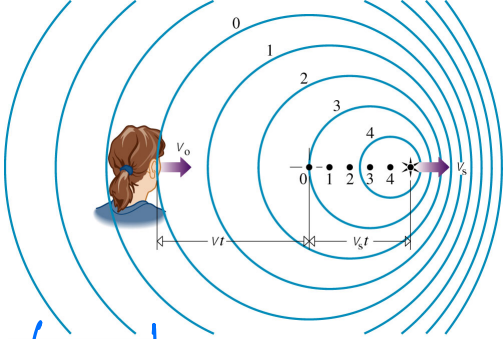
$$f_o = \frac{v'}{\lambda_s} = \frac{v + v_o}{\lambda_s} = f_s \frac{v + v_o}{v}$$

$v' = v + v_o$ rapproche

$$f_o = \frac{v'}{\lambda_s} = f_s \frac{v - v_o}{v}$$

$v' = v - v_o$ eloigne

CAS GÉNÉRAL & APPLICATIONS



$$f_o = f_1 \cdot \frac{v \pm v_o}{v \mp v_s}$$

v_o : vitesse observateur

v_s : -//- Source

Effet perceptible si v_o ou v_s pas negligeable par rapport à v et si v_o et $v_s < v$.

Si v_o ou $v_s > v$: ondes de choc

et boom hypersonic

À explorer dans bibliographie

EXEMPLE

Une voiture roule à 20.0 m/s en émettant un son de sirène de fréquence $f_s = 600$ Hz. Déterminez la fréquence perçue par un observateur immobile lorsque la voiture s'approche et quand elle s'éloigne.