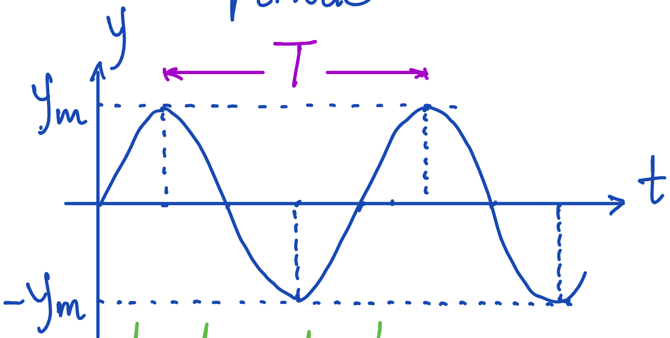
ONDES ET SON

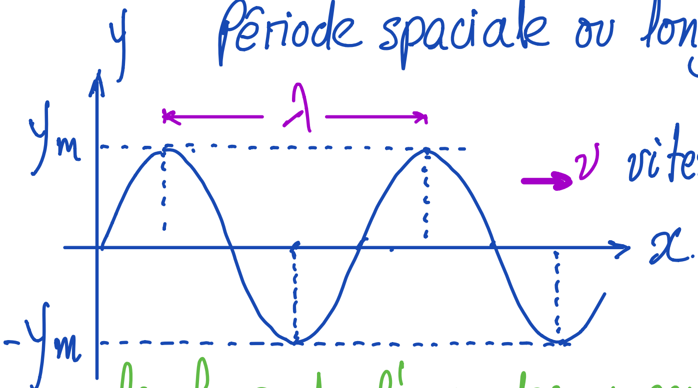
PGC-09

Période



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

Période spaciale ou longueur d'onde



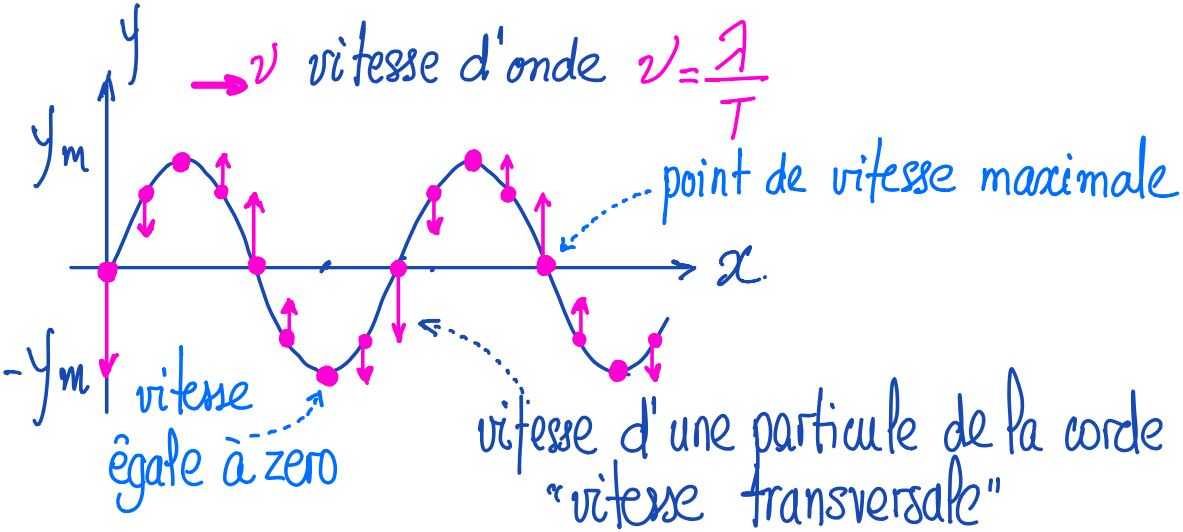
→ v vitesse d'onde $v = \frac{\lambda}{T} = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$

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

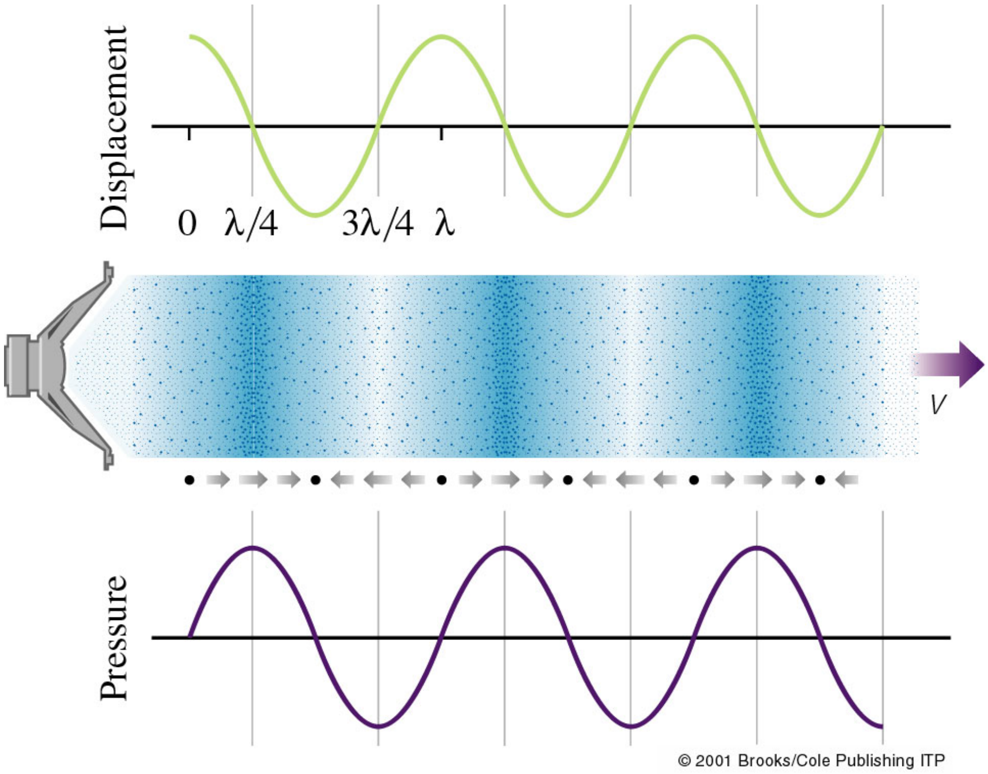
VITESSE DU MOYEN

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

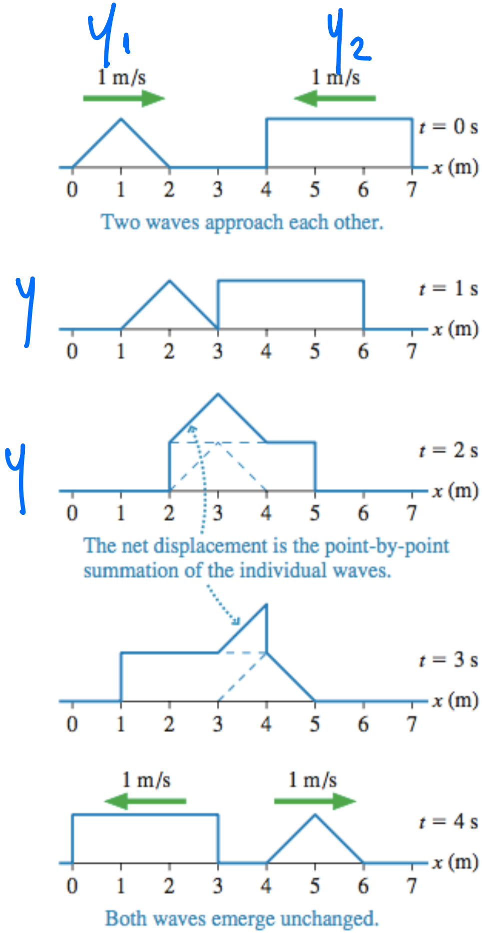
$$u = \frac{dy}{dt}$$



LE SON COMME UNE ONDE



LA SUPERPOSITION DES ONDES



$y_1 \quad y_2$

$$y = y_1 + y_2$$

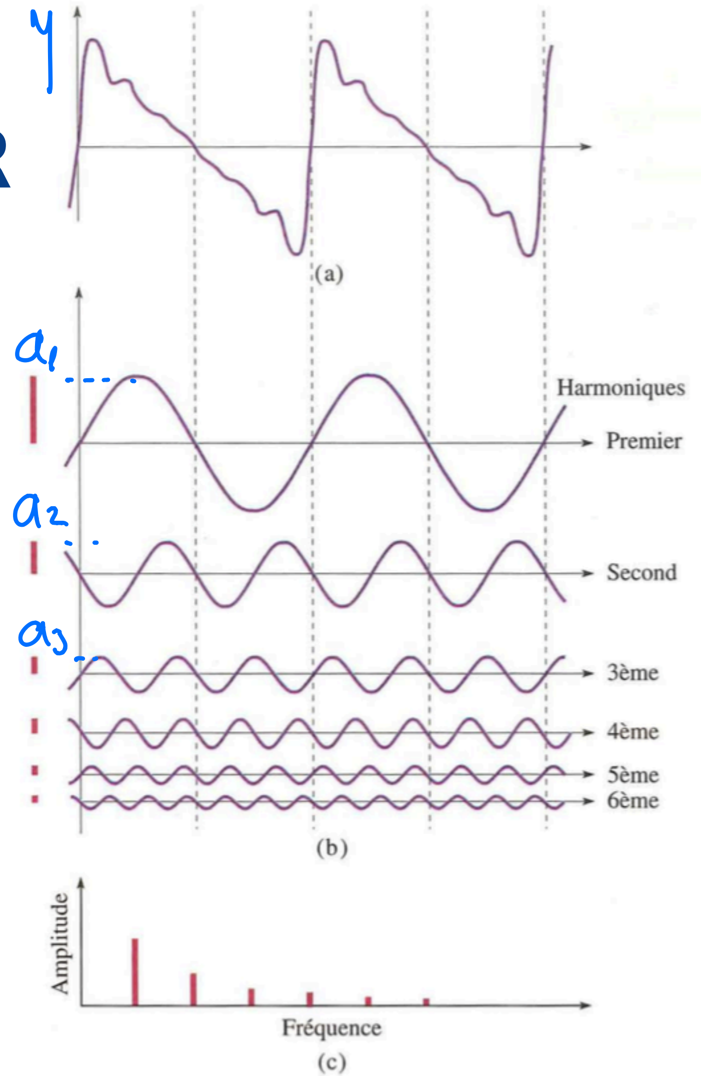
ANALYSE FOURIER

$$y = a_1 \cdot \sin(\omega t + \phi_1) + a_2 \cdot \sin(2\omega t + \phi_2) + a_3 \cdot \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots \Rightarrow$$

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

$n = 1$: fondamentale

$n = 2, \dots$ harmoniques

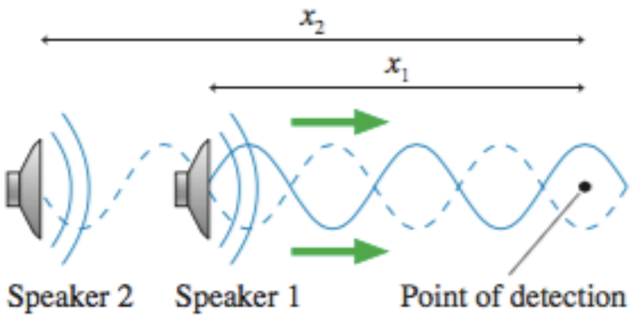


INTERFÉRENCE DES ONDES

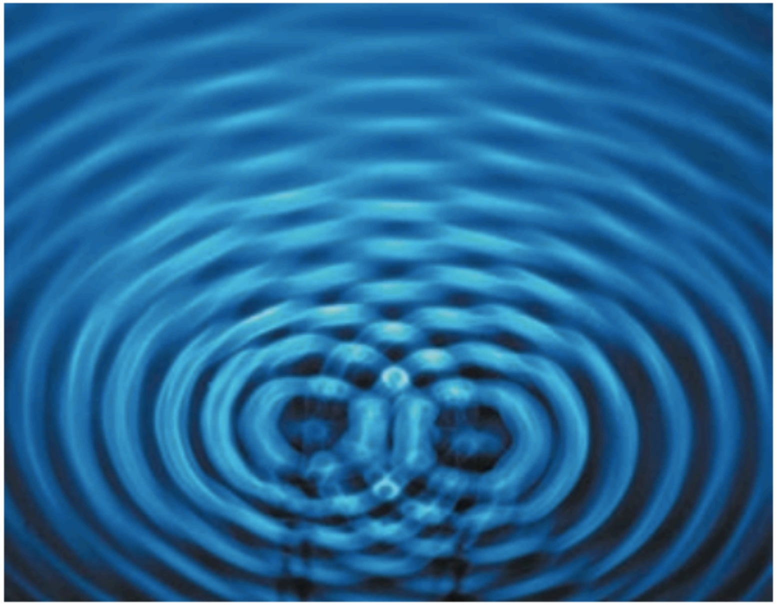
$$y = \underbrace{2y_m \cos\frac{\phi}{2}}_{\text{Amplitude}} \sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

$\phi = 0$

$\phi = \pi$



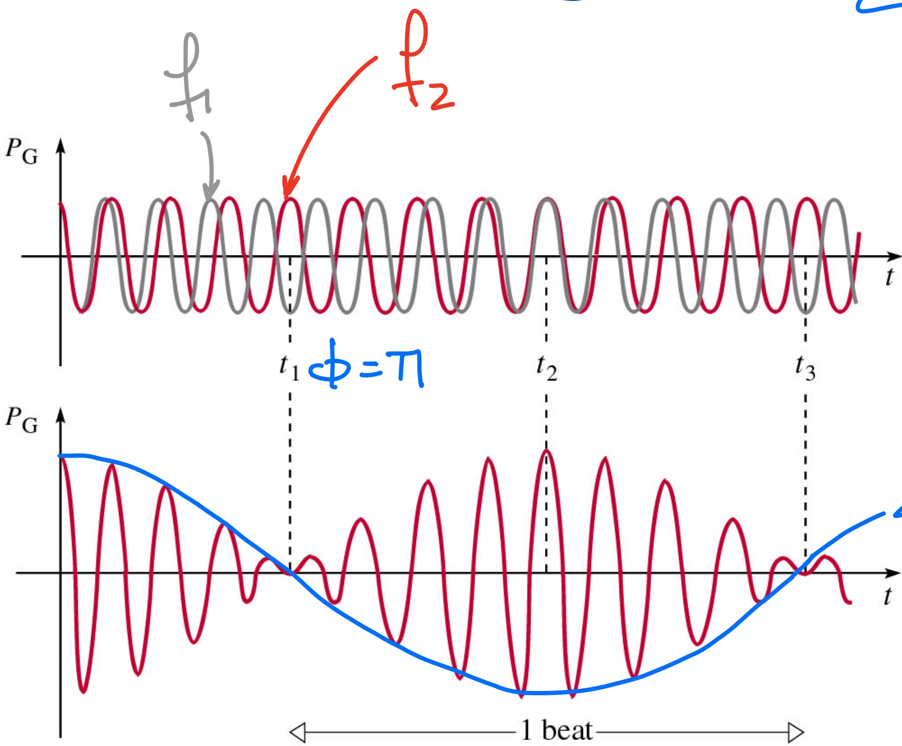
INTERFÉRENCE D’ONDES



Two overlapping water waves create an interference pattern.

BATTEMENTS

$\underbrace{f = f_1 - f_2}$



$T = \frac{1}{f}$

f

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

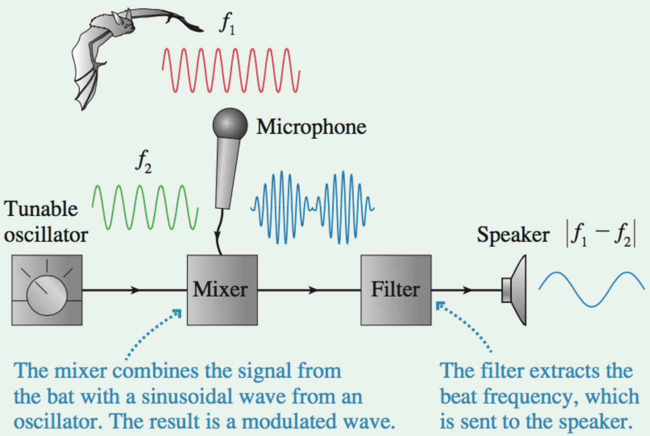
(b) 37 kHz

(c) 43 kHz

(d) 40 kHz

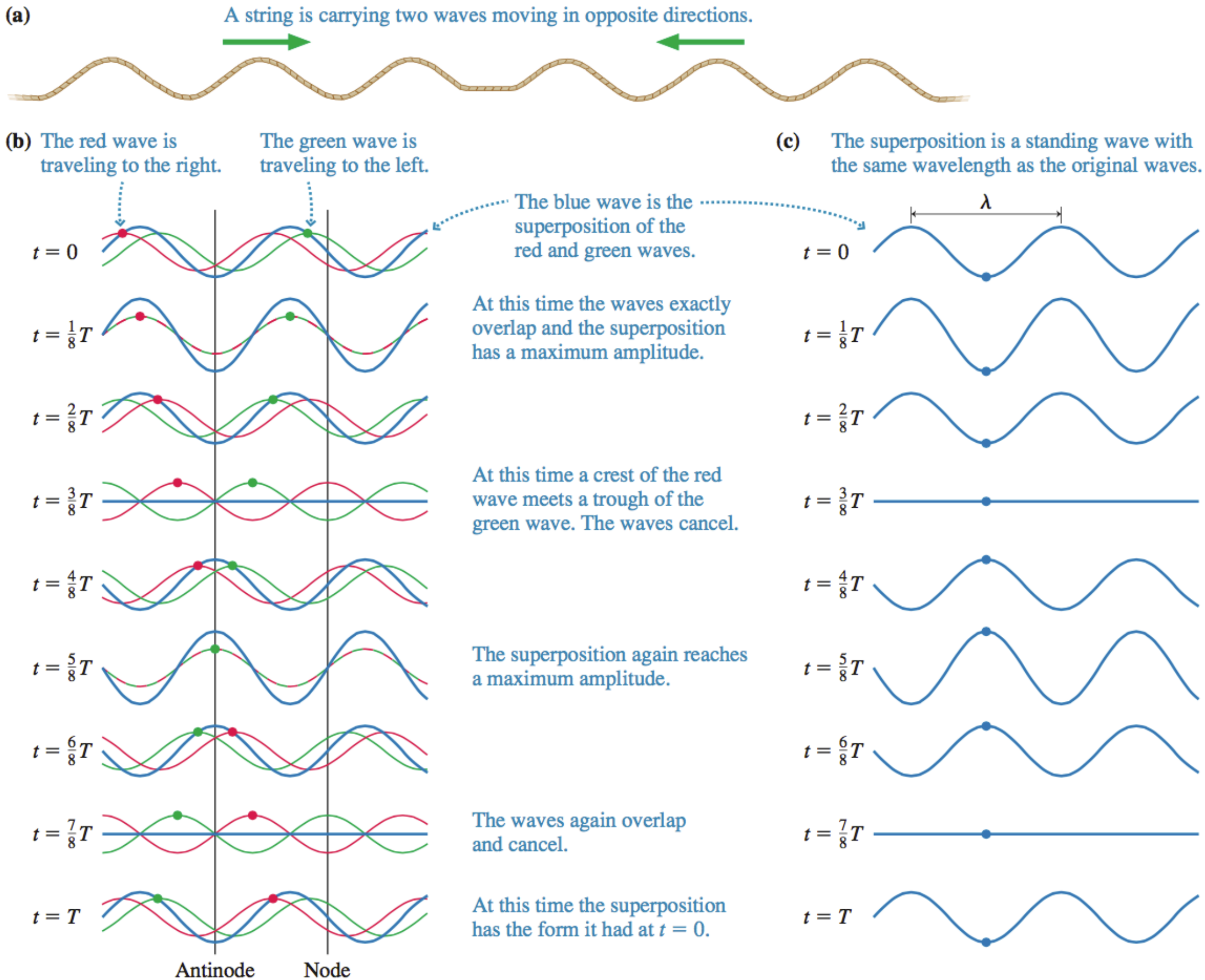
(e) Aucune des réponses

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

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

$y_2 = y_m \sin(kx + \omega t)$ $\quad v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda}$

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

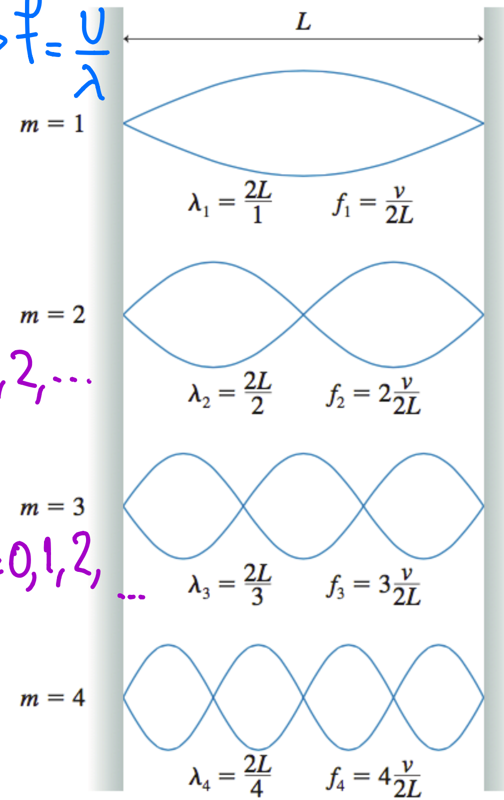
$\sin kx = 0$ Noeuds $\quad kx = n\pi \quad n = 0, 1, 2, \dots$

$x = n\frac{\lambda}{2}$

$\boxed{\sin kx = 1}$ ventres $\quad kx = \frac{\pi}{2} + n\pi \quad n = 0, 1, 2, \dots$

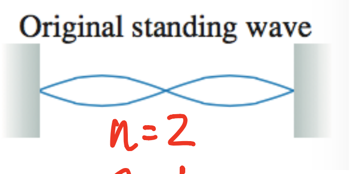
$x = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}$

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



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?



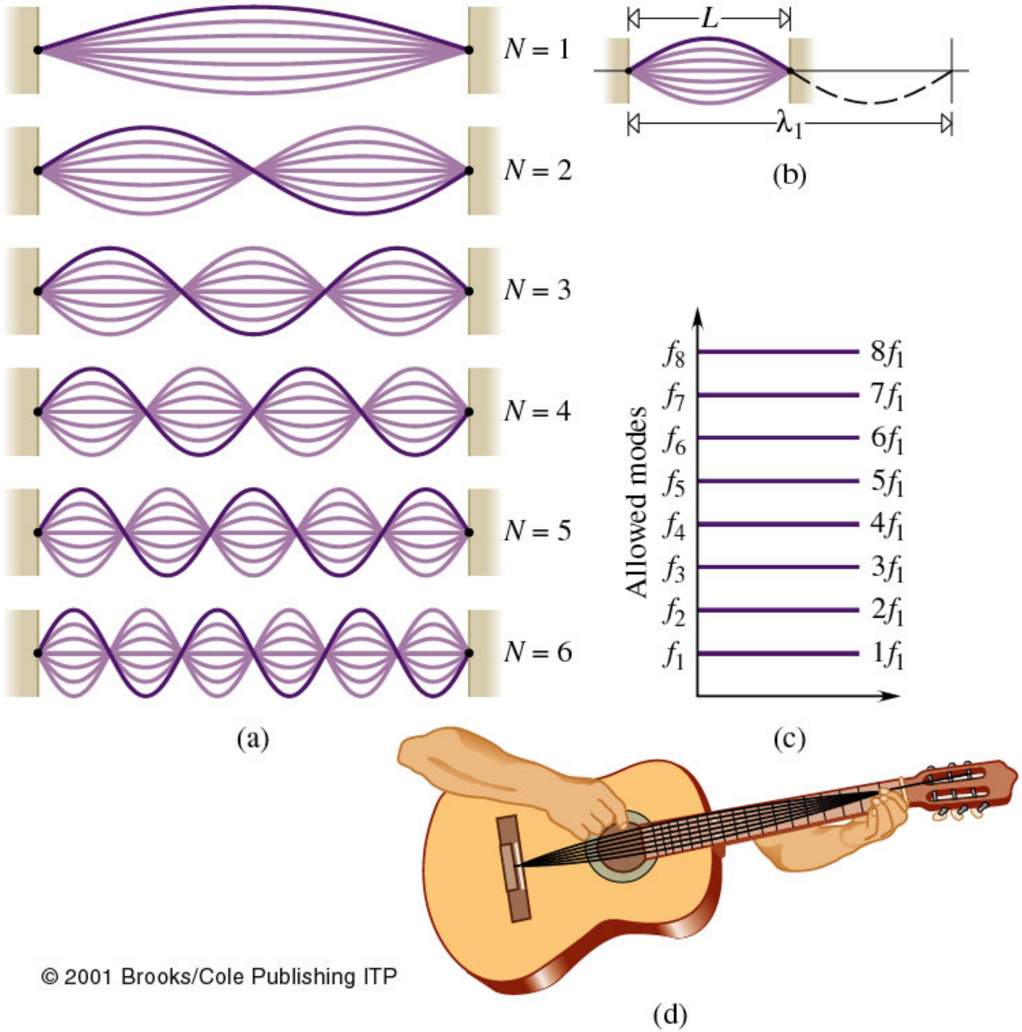
$n = 2$

$\lambda = L$

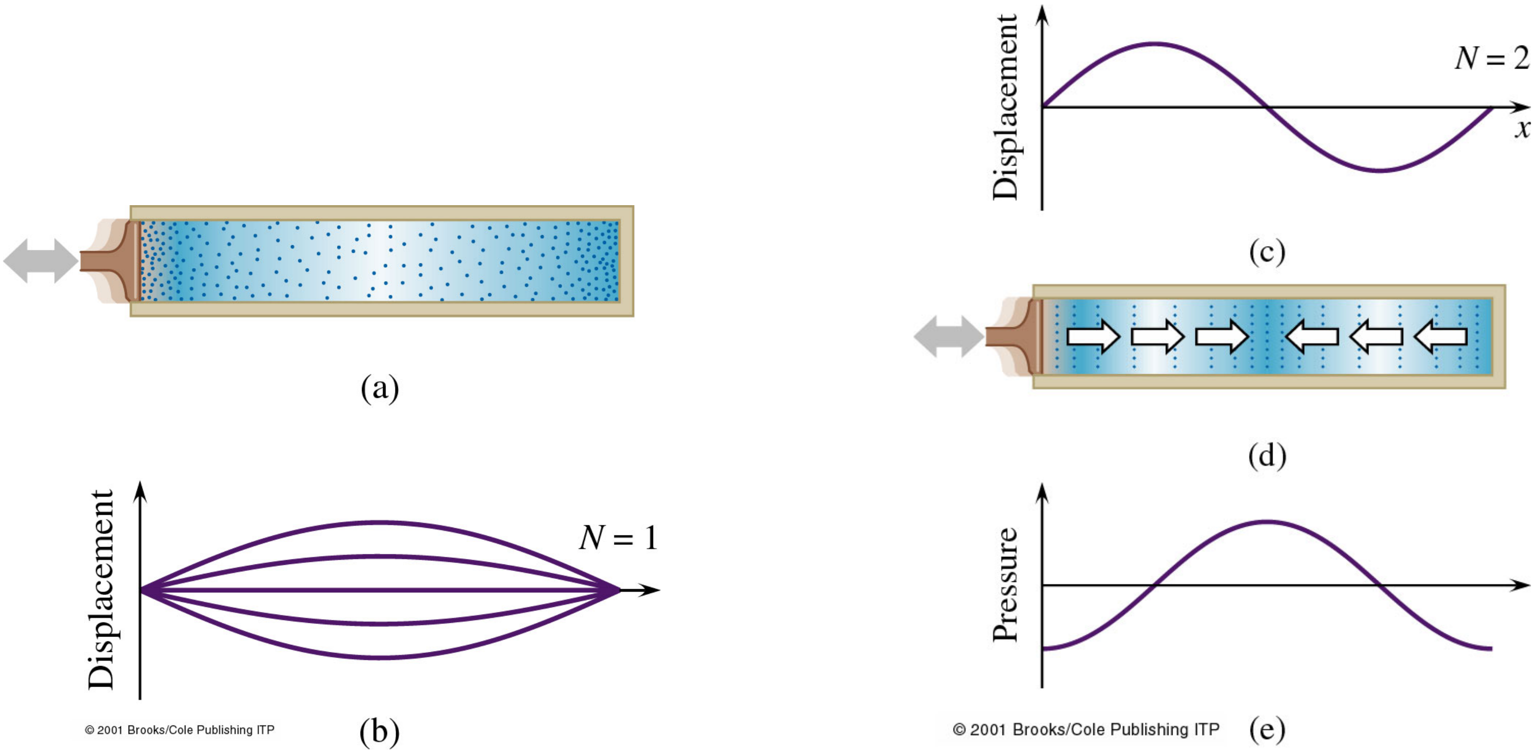
$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v' = 2v$$

$$f' = 2f$$


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)

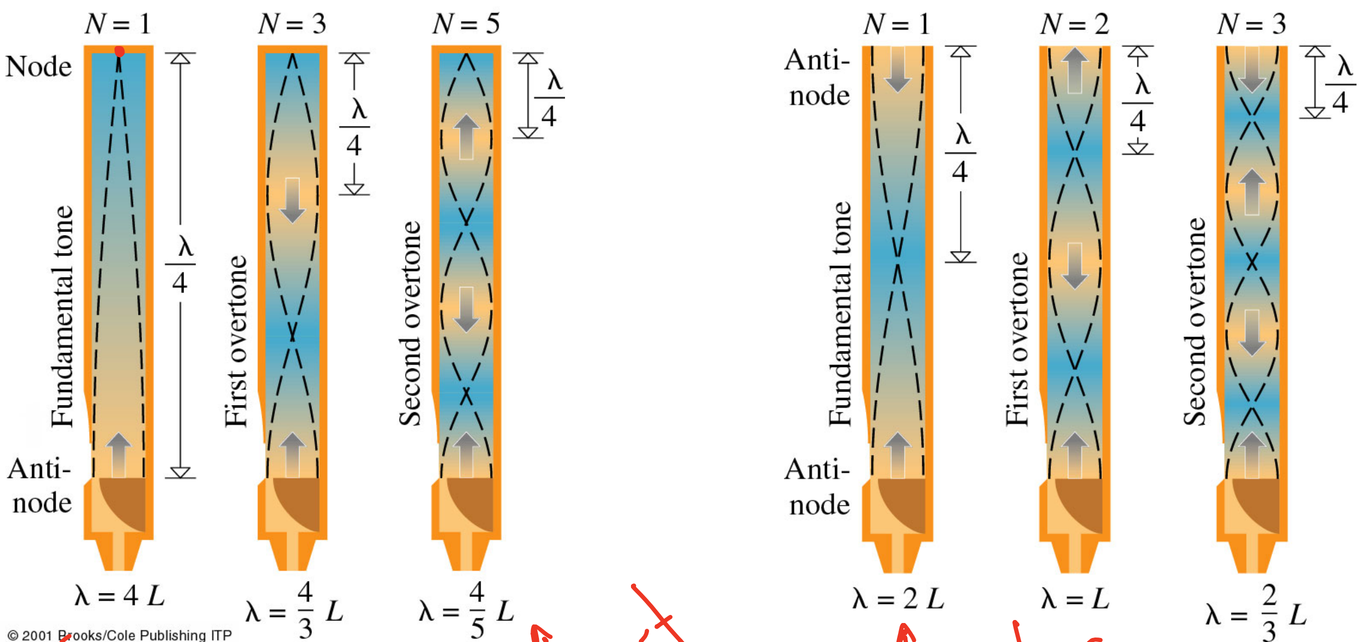
ONDES STATIONNAIRES DANS UN TUYAU SONORE



ONDES STATIONNAIRES DANS UN TUYAU SONORE

fermé

ouvert



ouvert

ouvert

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

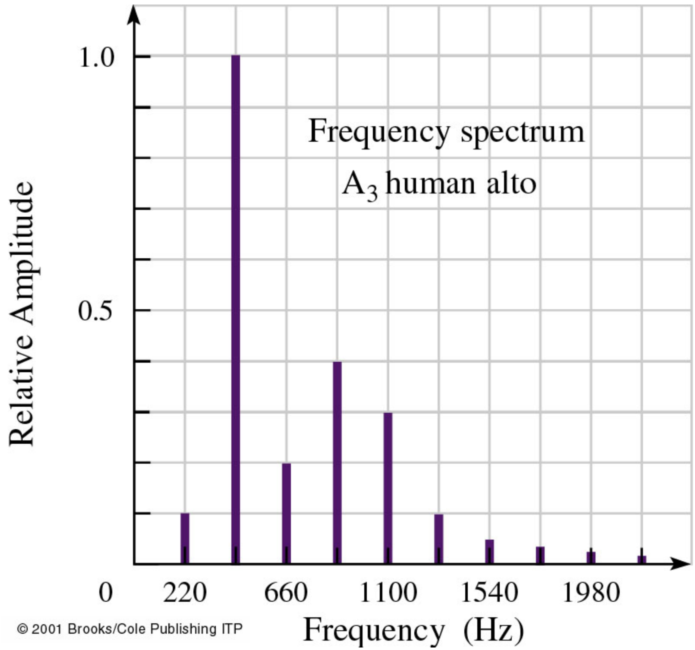
$$f = n \frac{v}{2L}$$

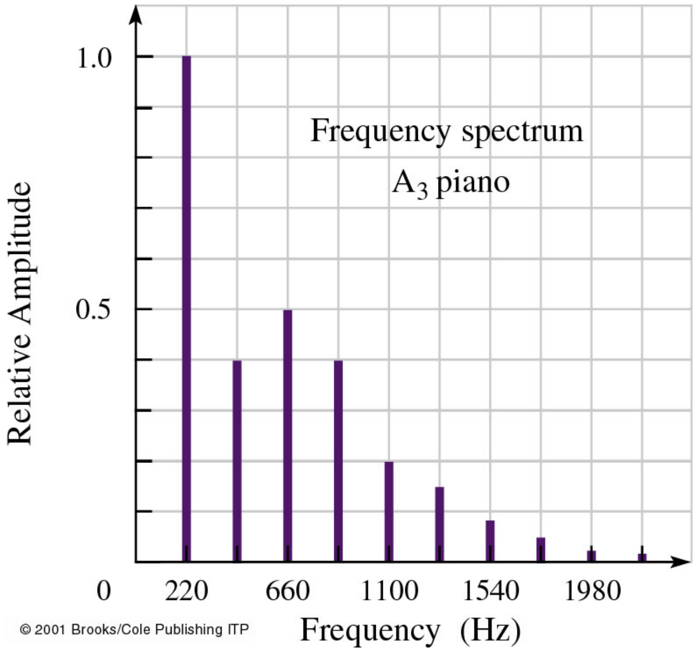
Audition des sons - la musique

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 ← surface

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} $= I_0$
- 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).

$I = 10^n I_0 \rightarrow n$ Bel

$\beta = 10 \log_{10} I/I_0 \rightarrow$ niveau sonore en dBel

$n=0 : \beta = 0$

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

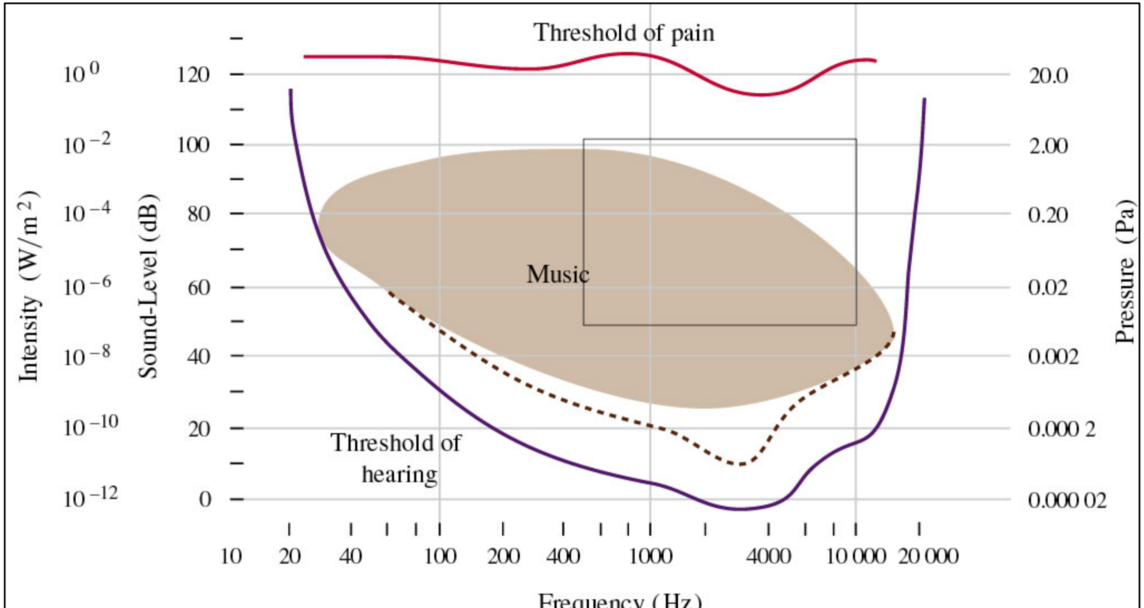
For fun: https://en.wikipedia.org/wiki/Loudest_band MANOWAR

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

https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2124581/The-worlds-quietest-place-chamber-Orfield-Laboratories.html

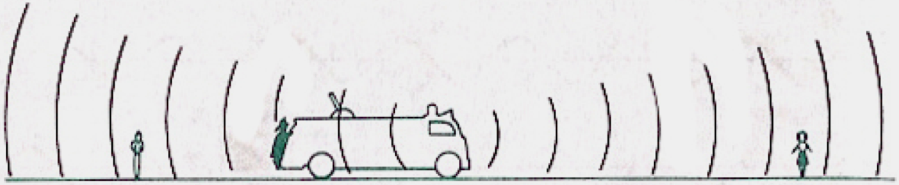
EFFET DOPPLER

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 :

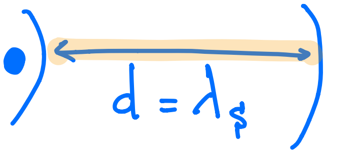
1. Source en mouvement, observateur au repos
2. Source au repos, observateur en mouvement
3. Source et observateur en mouvement (pas de démonstration)

SOURCE EN MOUVEMENT, OBSERVETEUR AU REPOS


a) Camion de pompiers au repos


b) Camion de pompiers en mouvement

SOURCE EN MOUVEMENT, OBSERVETEUR AU REPOS



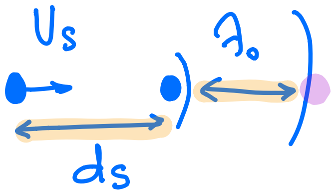
Repos

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

v: vitesse son

λ_s : longueur d'onde

T : temps entre deux crêtes



En mouvement

$$\left.\begin{aligned} d &= \lambda_s = vT \\ d_s &= V_s T \end{aligned}\right\} \Rightarrow \lambda_o = d - d_s = \lambda_s - V_s T =$$

$$= \lambda_s - V_s \frac{\lambda_s}{v} = \lambda_s \left(1 - \frac{V_s}{v}\right)$$

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

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

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

SOURCE AU REPOS, OBSERVATEUR EN MOUVEMENT

se rapproche à la source : $v' = v + v_o$ observateur

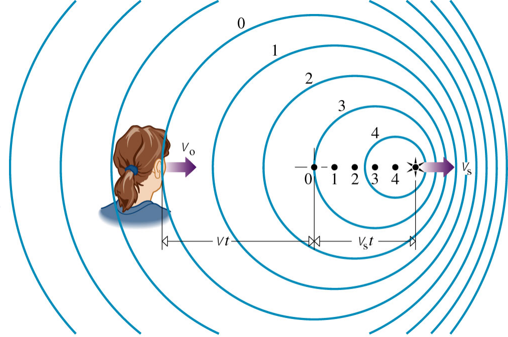
son

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

s' eloigne de la source $v' = v - v_o$

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

CAS GÉNÉRAL & APPLICATIONS



V_o : vitesse observateur

v: vitesse son

V_s : -//- Source

$$\boxed{f_o = f_s \frac{v \pm V_o}{v \mp V_s}}$$

Blue shift — source se rapproche

Red shift — s'éloigne

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.

$v_o = 0$

a) $f_o = f_s \dfrac{v + 0}{v - v_s} = \cdots = 638 \text{ Hz}$

b) $f_o = f_s \dfrac{v}{v + v_s} = \cdots = 567 \text{ Hz}$