

La Lévitacion Acoustique

Problématique et objectifs

Problématique :

Quels sont les dispositifs techniques permettant de mettre en œuvre la lévitation acoustique ?

Objectifs :

Etudier la théorie des ondes dans la lévitation acoustique.

Sommaire

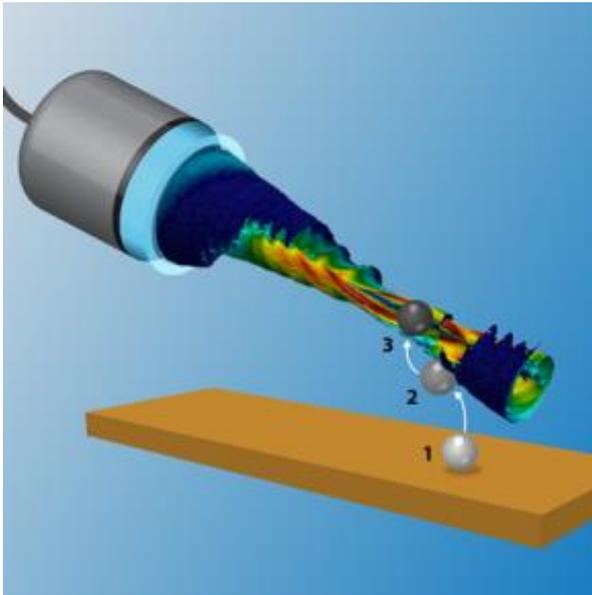
Introduction : la lévitation acoustique

I / Lévitation : matériel et méthode

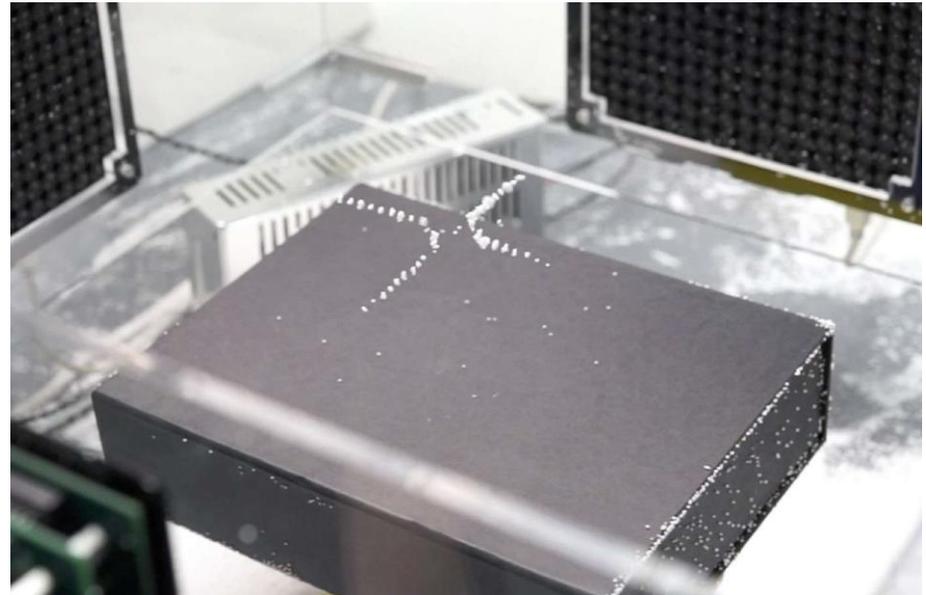
II / Explication par onde stationnaire ?

Conclusion

Introduction : la lévitation acoustique

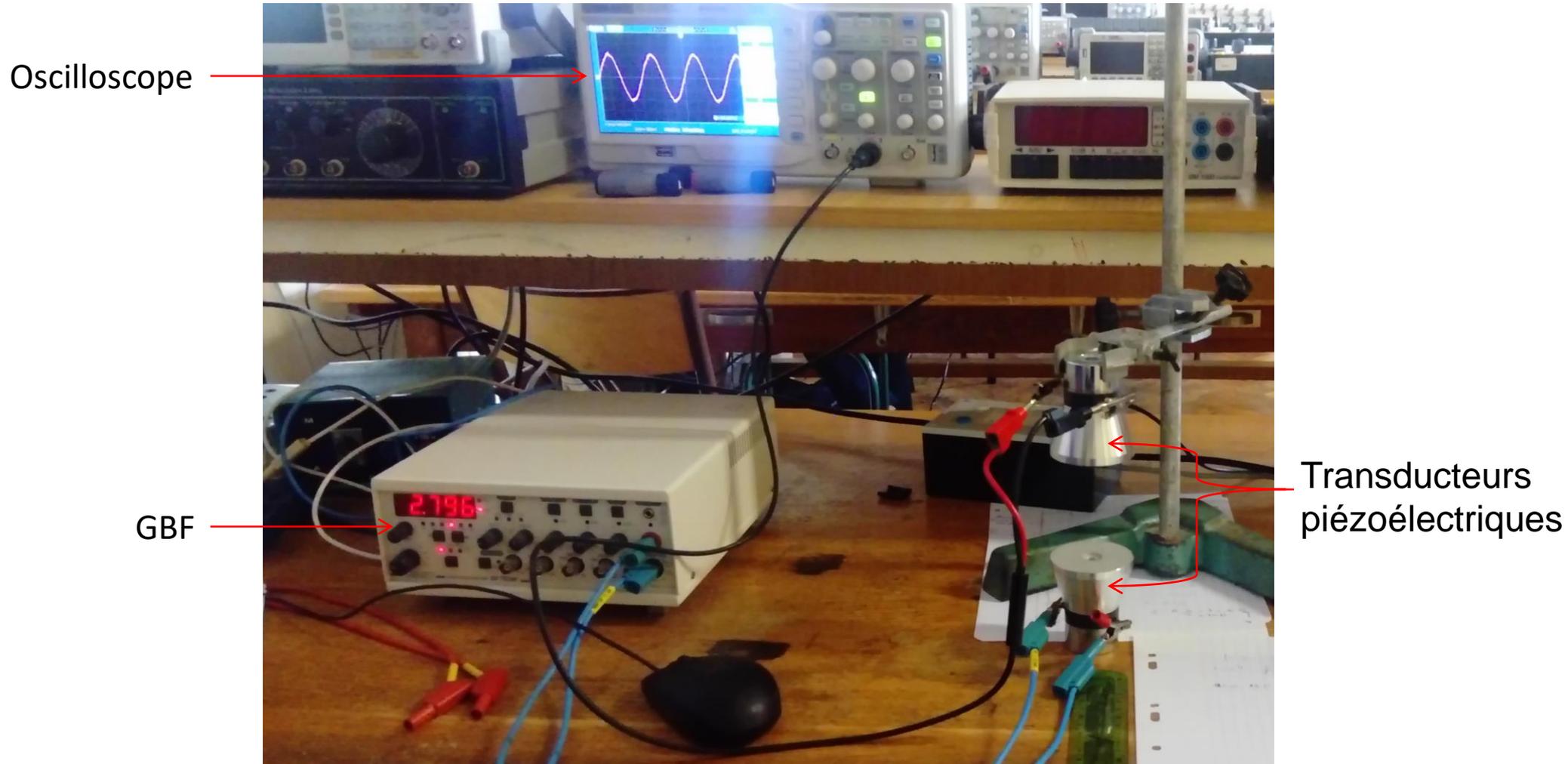


<https://inp.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/pieger-et-manipuler-un-objet-sans-contact-avec-un-faisceau-acoustique>



<http://www.actinnovation.com/innovation-science/levitation-acoustique-trois-dimensions-6510.html>

I / Lévitation : matériel et méthode



I / A / Emetteur à 28kHz

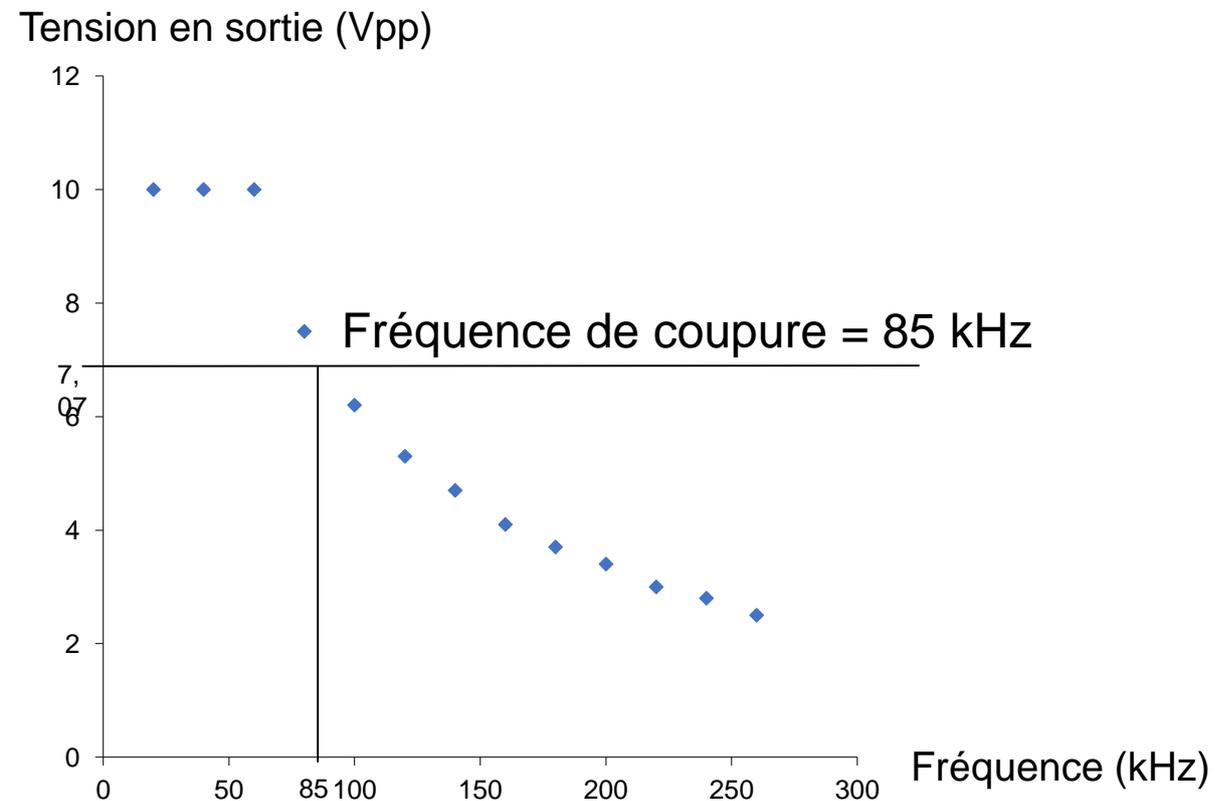


Diagramme de Bode de l'amplificateur



60 W

Problème : impédance du transducteur trop grande

I / B / Emetteurs à ultrason du laboratoire



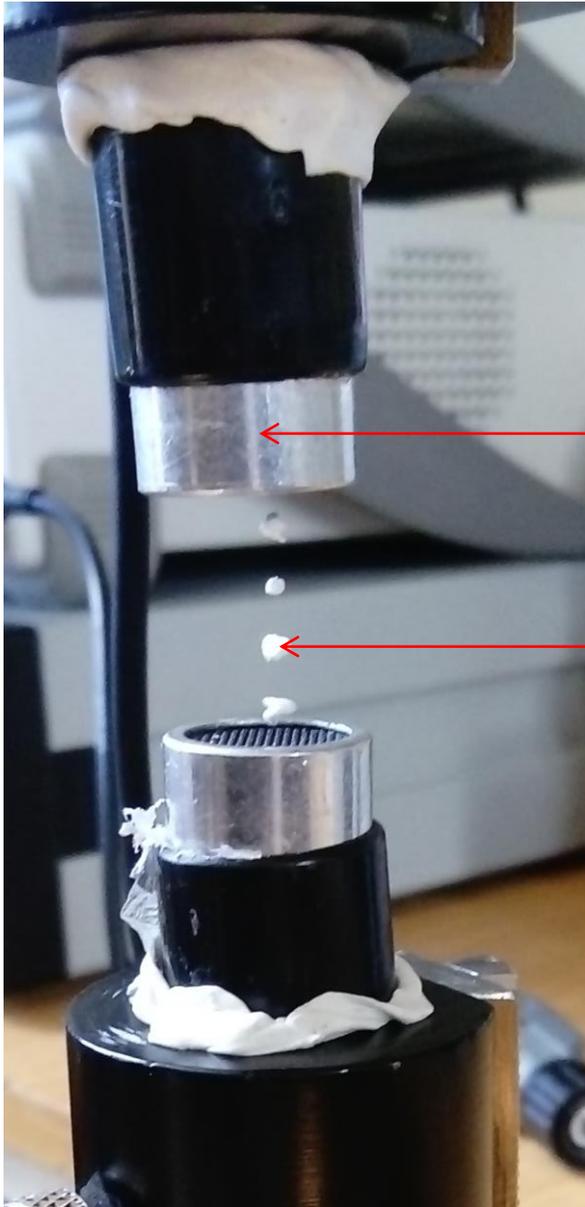
Tension max = 20 Vpp

Fonctionnent à 40 kHz

Lévitacion de polystyrène de
masse volumique $\rho = 10 \text{ kg.m}^{-3}$

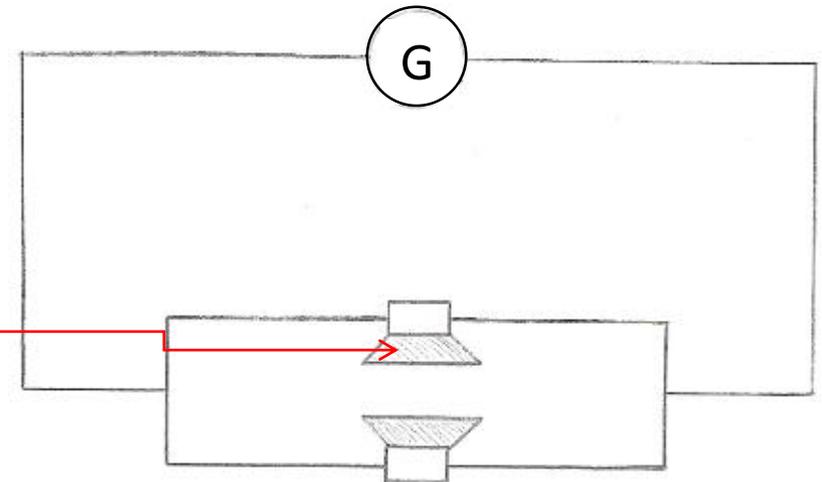
Essais non concluants avec de
l'eau et de la glace

I / C / Lévitation



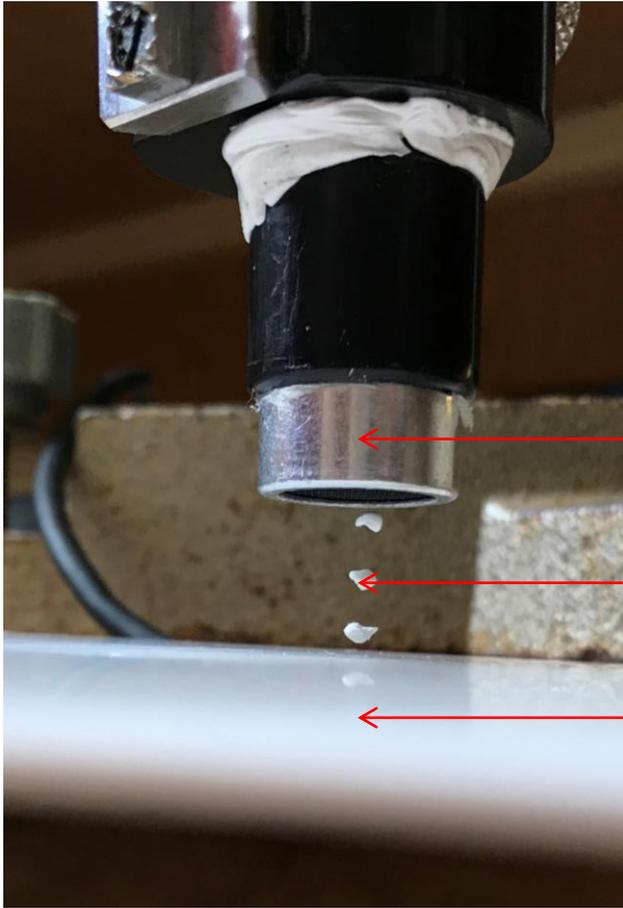
Emetteur 40 kHz

Bille de polystyrène



Alimentation : 20 Vpp

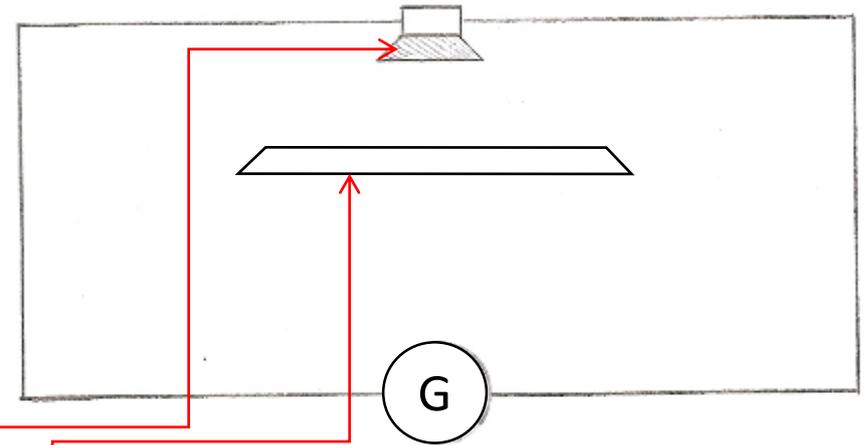
I / C / Lévitation



Emetteur 40 kHz

Bille de polystyrène

Plaque de PVC lisse



Alimentation : 20 Vpp

II / Explication par onde stationnaire ?

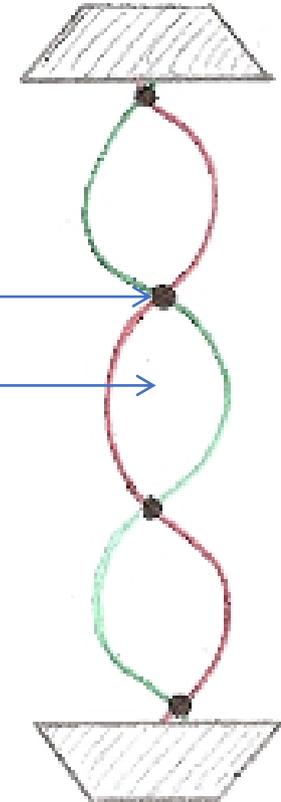
Est-ce qu'une onde stationnaire acoustique permet-elle la lévitation ?

II / A / Force de pression acoustique

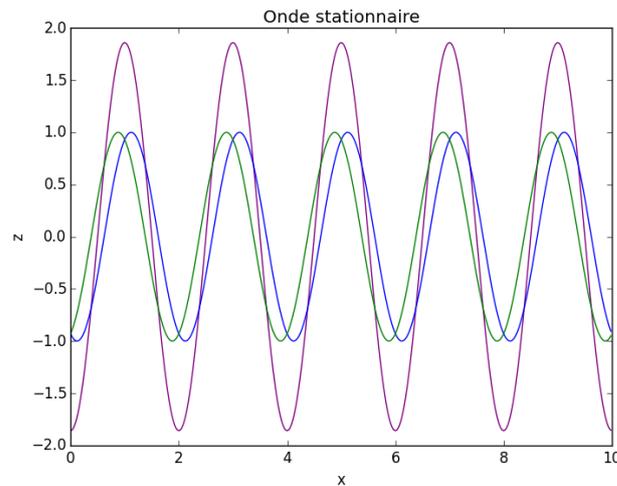
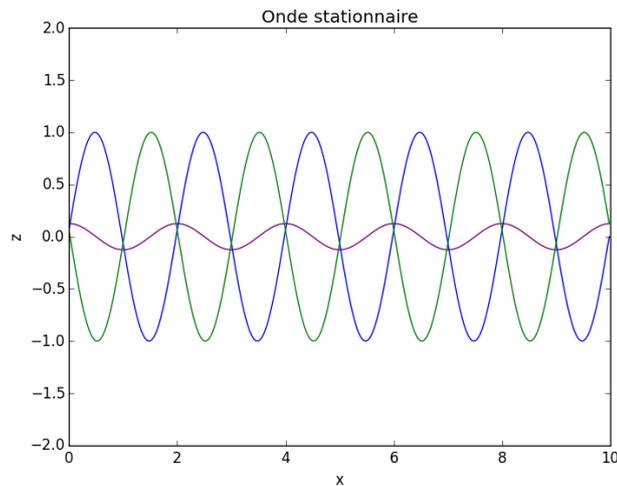


Nœud

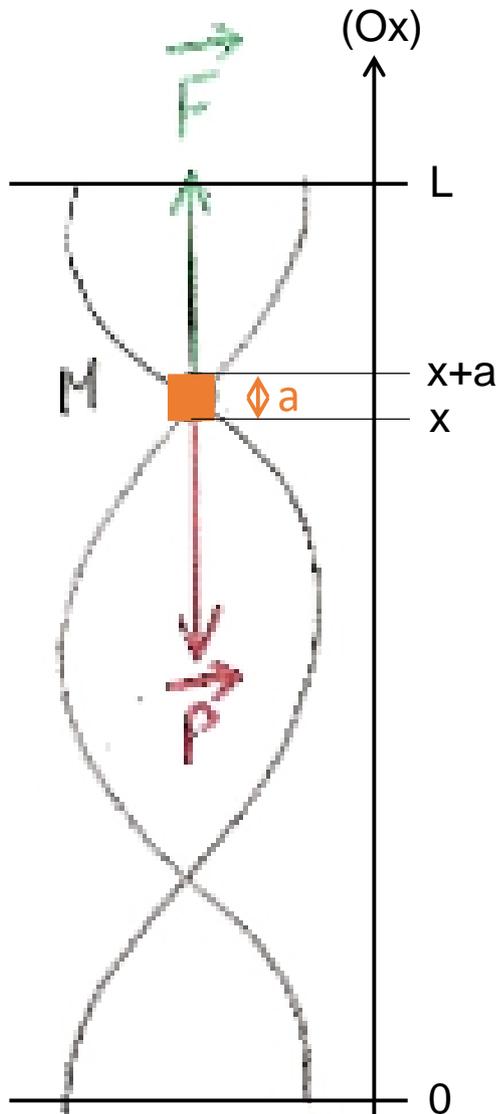
Ventre



Analogie avec la corde de Melde



II / A / Force de pression acoustique



BDF :

- Poids :

$$\mathbf{P} = - mg \mathbf{e}_x$$

- Force de pression en $x+a$:

$$\mathbf{p} = (p_0 \sin(\omega t) \cos(kx) + p_0) a^2 \mathbf{e}_x$$

- Force de pression en x :

$$\mathbf{p}' = - (p_0 \sin(\omega t) \cos(k(x+a)) + p_0) a^2 \mathbf{e}_x$$

PFD sur (Ox) :

$$\ddot{x} = -g + \frac{kp_0}{\rho} \sin(\omega t) \sin(kx)$$

Impossibilité en statique

II / A / Force de pression acoustique

Solution si $x(t) = x_{\text{éq}} + x_1 \sin(\omega t + \varphi)$?

$$-\omega^2 x_1 \sin(\omega t + \varphi) = -g + \frac{k^2 p_0}{\rho} \sin(\omega t) \sin(k(x_{\text{éq}} + x_1 \sin(\omega t + \varphi)))$$

On suppose $x_{\text{éq}} = 0$ (zone de pression maximale) et $x_1 \ll 1$

$$\begin{aligned} -\omega^2 x_1 \sin(\omega t + \varphi) &= -g + \frac{k^2 x_1 p_0}{\rho} \sin(\omega t) \sin(\omega t + \varphi) \\ &= -g + \frac{k^2 x_1 p_0}{\rho} \sin(\omega t) [\sin(\omega t) \cos(\varphi) + 2 \sin(2\omega t) \sin(\varphi)] \end{aligned}$$

En opérant avec la moyenne temporelle :

$$0 = -g + \frac{k^2 x_1 p_0}{2\rho} \cos(\varphi) \Rightarrow p_0 \approx \frac{2g\rho}{k^2 x_1} \Rightarrow x_1 \approx \frac{\lambda^2 g \rho}{2\pi^2 p_0}$$

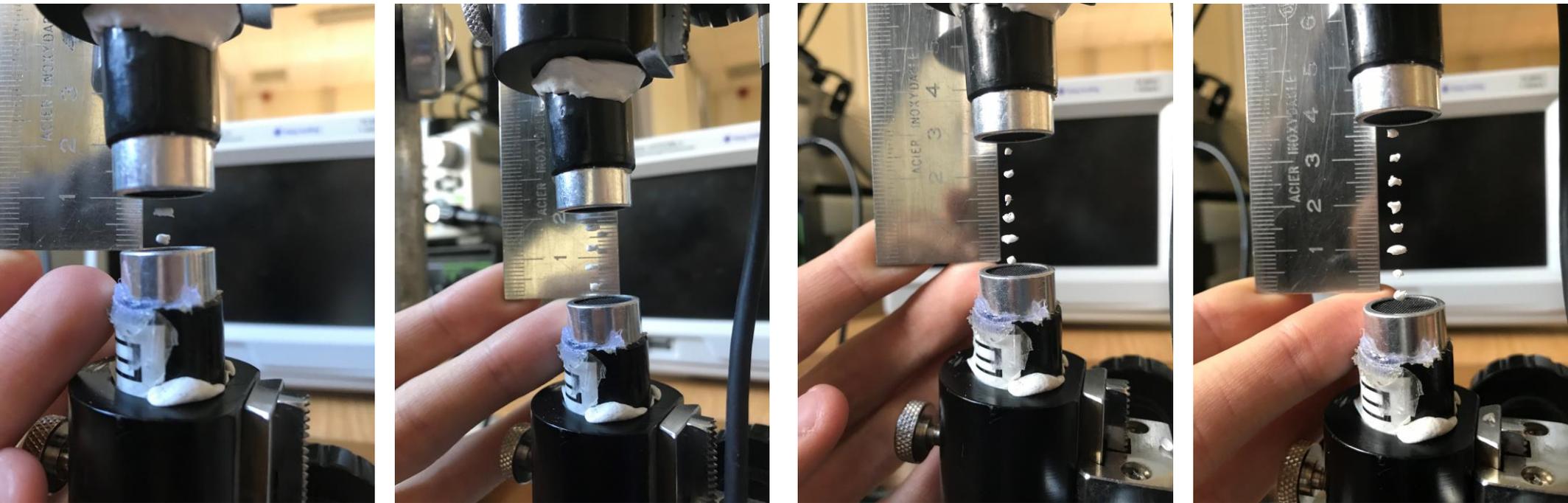
Vibrations invisibles à l'œil nu donc $x_1 < 1 \mu m$

En ordres de grandeur on aboutit à $p_0 > 360 \text{ Pa}$

$$I = \frac{w}{s} \text{ et } I = \frac{p_0^2 S}{\rho_{\text{air}} c} \text{ donc } p_0 \sim 50 \text{ Pa}$$

II / B / A-t-on vraiment une onde stationnaire ?

Détermination empiriste de la demie longueur d'onde :



$$\lambda/2_{\text{exp}} = 5,0 \pm 0,1 \text{ mm}$$

II / B / A-t-on vraiment une onde stationnaire ?

Evaluation par le calcul de la demie longueur d'onde :

$$f = 40 \text{ kHz}$$

$$c = 334 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\text{Donc : } \lambda/2_{\text{th}} = 4,2 \text{ mm}$$

$$\text{Rappel : } \lambda/2_{\text{exp}} = 5,0 \pm 0,1 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Er_{max} = 19\%}$$

II / C / Lévitacion horizontal

Lévitacion à l'horizontal



$$\lambda/2_{\text{exp}} = 4,2 \pm 0,1 \text{ mm}$$

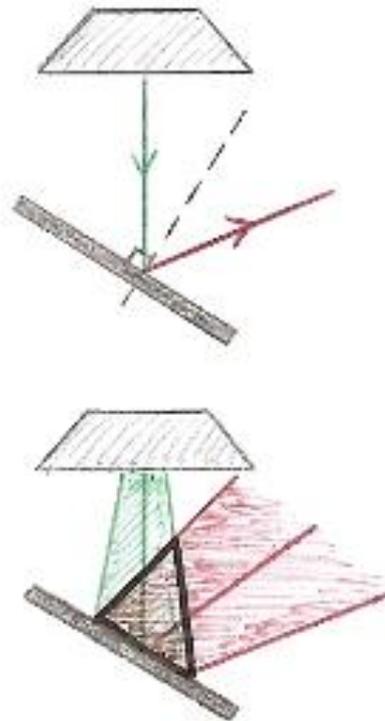
$$\text{Rappel : } \lambda/2_{\text{th}} = 4,2 \text{ mm}$$

$$E_{r_{\text{max}}} = 2\%$$

Conclusion

Les causes de la demie longueur d'onde incohérente :

- Le poids
- Effet 2D/3D
- Finesse de la cavité



Conclusion

Ce qu'il faut en retenir :

- expérience à l'échelle du millimètre, utilisation pharmaceutique possible
- impossibilité d'avoir à ce jour de la lévitation acoustique de l'ordre du mètre,
- lévitation verticale pose encore des problèmes difficiles à interpréter.