

# MU4PY210 - Projets

## M1

- Ondes stationnaires ultrason et lévitation de polystyrène

# Ondes stationnaires ultrason et lévitation de polystyrène

Un modèle de documentation **minimal** pour tous les types de projets. **Toutes** les catégories ci-dessous doivent être renseignées, même de façon succincte.

**IMPORTANT** : Merci de sélectionner le / les tags adéquats dans le menu de droite, et de ne pas créer de nouveau tag.

Les **fichiers sources** doivent idéalement être joints à cette page grâce à l'icône trombone du menu de droite.

Des hésitations sur comment bien documenter et utiliser l'interface ? Consultez le tutoriel

**"Comment documenter"**

## Informations

- Ilayda SIMSEK (mail) M1 Physique fondamentale et applications (PFA) ; Adama DIOUF (mail) M1 PFA ; Nathan BARBE (Nathan.Barbe@sorbonne-universite.fr) M1 PFA ; Auguste MAILLOT (auguste.maillot@etu.sorbonne-universite.fr) M1 PFA CMI
- 24 janvier - mars 2024
- En présentiel les lundis, mardi et jeudi après-midi

HORAIRES D'OUVERTURE FABLAB : Lundi/Mardi/Jeudi/Vendredi 14h-18h30

## Contexte

Les ondes stationnaires sont présentes dans de nombreux aspects de la vie, influençant la musique, la couleur des choses. En effet les ondes stationnaires sont utilisées dans de nombreux domaines tels que :

- La médecine (imagerie médicale)
- Acoustique des salles (contrôle de réflexion et résonance)
- Manipulation des particules (manipulation des cellules biologiques)
- Procédé Lippman: première photographie en couleur (utilise les ondes stationnaires pour mesurer une épaisseur de couches mince, elle repose sur les interférences des ondes ultrasonores pour enregistrer les différentes couleurs, les filtres interférentiel sont utilisés pour sélectionner ou filtrer les ondes ultrasonores)

C'est ce dernier exemple qui nous amène à la réalisation de ce projet, visant à exploiter une onde stationnaire ultrasonore, typiquement de 20 kHz avec des longueurs d'onde de 2 cm, pour créer un

montage expérimental permettant de la produire et de la visualiser. On pourra, enfin, essayer de faire léviter des objets à travers les ventres et les nœuds de l'onde stationnaire obtenue, comme réalisé dans la [vidéo](#)

## Objectifs

Ce projet vise à exploiter une onde stationnaire ultrasonore, typiquement de 20 kHz avec des longueurs d'onde de 2 cm, pour créer un montage expérimental permettant de la produire et de la visualiser.

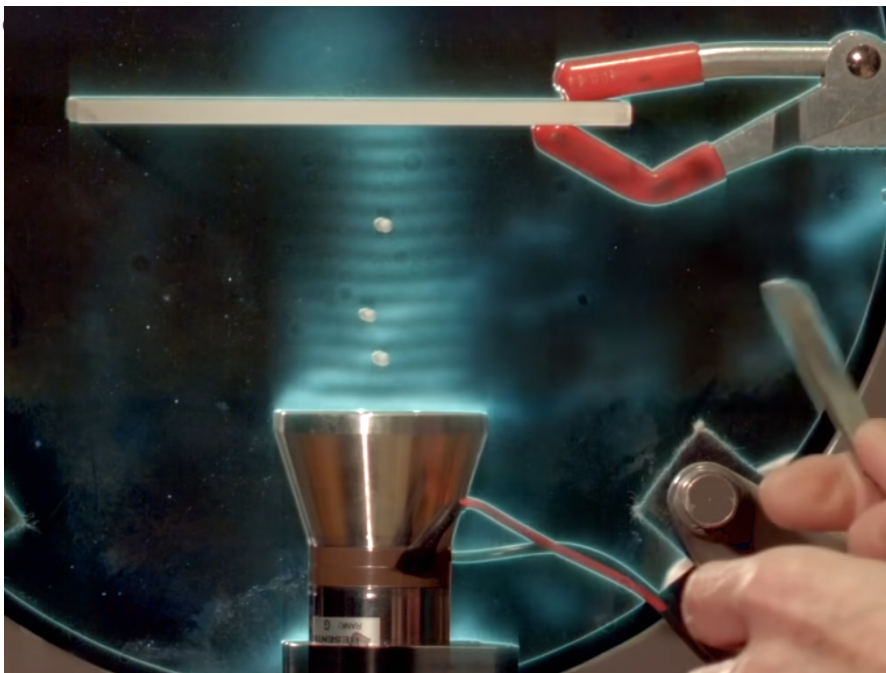
L'onde stationnaire sera créée entre un générateur et une plaque de verre, ajustable, avec sa visualisation réalisée par la diffusion de la lumière, nommée imagerie Schlieren.

La réfraction due à l'inhomogénéité de l'air est rendue visible par notre configuration optique Schlieren à miroir unique. La réfraction peut être causée par des changements dans la densité, la température ou la pression de l'air immédiatement devant le miroir concave. Avec une caméra vidéo et un moniteur, nous pouvons voir des courants de convection chauds s'élevant d'une flamme de bougie ou, alternativement, de l'air froid descendant d'un verre d'eau glacée. Le jet d'air chaud d'un sèche-cheveux ordinaire est rendu spectaculairement visible.

Le flux de gaz autres que l'air peut également être visualisé avec cette technique. Par exemple, l'hexafluorure de soufre gazeux est six fois plus dense que l'air et peut donc être visiblement versé d'une bouteille dans un verre comme s'il s'agissait d'un liquide.

L'image suivante montre l'application de cette technique au montage que l'on souhaite réaliser, pour visualiser dans le fond les ventres et noeuds de l'onde stationnaire engendrée, et nous p

qu'elles restent en lévitation.

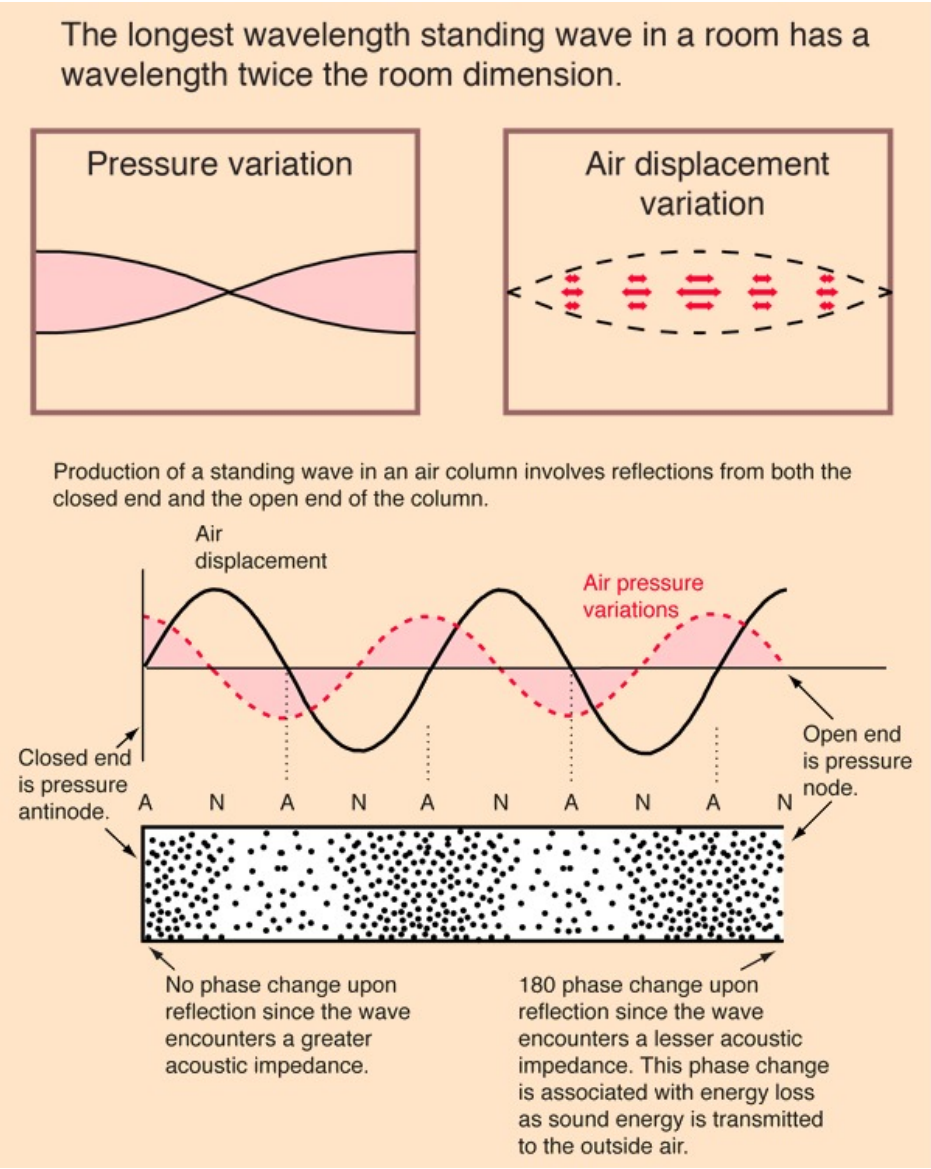


Source : *Acoustic Standing Waves*

*and the Levitation of Small Objects, Harvard Natural Sciences Lecture Demonstrations.*

## Théorie

Blablabla c'est la théorie donc ça marche



# Matériel

Nom de l'élément	Description, dimensions, caractéristiques	Lien	Prix unitaire	Quantité nécessaire	Remarques

source d'onde ultra sonore	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40kHz</li> <li>• 25kHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="https://www.gotronic.fr/art-emetteur-a-ultras-sons-tr4010t-18335.htm">https://www.gotronic.fr/art-emetteur-a-ultras-sons-tr4010t-18335.htm</a></li> <li>• <a href="https://www.digikey.fr/r/products/detail/cui-devices/CUSAT601-150-2400-TH/16579211">https://www.digikey.fr/r/products/detail/cui-devices/CUSAT601-150-2400-TH/16579211</a></li> </ul>	3 euros	1	Le diamètre de la membrane a-t-il une grande incidence sur le diamètre du faisceau d'onde sonore émise ?
sphere de polystyrene	4mm de diametre poids=1.5	<a href="https://www.billes-de-polystyrene.com/epsfr/billes-de-polystyrene-4-5-mm-170-litres-poufs-neige-isolation.html">https://www.billes-de-polystyrene.com/epsfr/billes-de-polystyrene-4-5-mm-170-litres-poufs-neige-isolation.html</a>		35	En vrai pas besoin d'acheter un sac de 5L de billes de polystyrène, autant en choper au falab ou dans un labo

Pince à noix (pour plaque de verre)	Modèle 3 doigts, serrage 0-50 mm	<a href="https://www.servilab.fr/catalogue/produits/pince-standard-modele-3-doigts">https://www.servilab.fr/catalogue/produits/pince-standard-modele-3-doigts</a>	A partir de 12.91 euros	1	Introuvable au fablab
Miroir concave	Grande distance focale	<a href="https://www.edmundoptics.fr/p/127mm-dia-x-2032mm-e-fl-protected-aluminum-50-90-deg-off-axis-mirror/38569/">https://www.edmundoptics.fr/p/127mm-dia-x-2032mm-e-fl-protected-aluminum-50-90-deg-off-axis-mirror/38569/</a>	185 euros	1	Très cher, et je me demande si c'est un miroir incliné comme sur la photo du produit. A voir si on peut en obtenir auprès d'Abhay ou du Fablabpl
plaque de verre	15x15cm			1	Plexiglass, trouvable au fablab ou dans un labo
BNC de sécurité	Mâle/Mâle Longueur : 5 m	<a href="https://www.boulangerelectronique.com/c/connectique/agregationtype_facette_type_connectique_concatener_valeur_liste~and/facette_type_connectique_concatener_valeur_liste~ce2ble20bnc">https://www.boulangerelectronique.com/c/connectique/agregationtype_facette_type_connectique_concatener_valeur_liste~and/facette_type_connectique_concatener_valeur_liste~ce2ble20bnc</a>	24.95	2	

Potence	barre vertical de 50cm pour tenir le pince	<a href="https://www.expondo.fr/steinberg-systems-support-de-laboratoire-pince-et-noix-d-assemblage-comprises-socle-en-verre-10030614?utm_source=google_shopping&amp;utm_medium=organic&amp;gclid=CjwKCAiAlJKuBhAdEiwAnZb7IexPfRwtIk-Mkrj05NT0xFzhZmya0oxVoG7_Uu6N7CWmnxsviMUzBoCyd0QAvD_BwE">https://www.expondo.fr/steinberg-systems-support-de-laboratoire-pince-et-noix-d-assemblage-comprises-socle-en-verre-10030614?utm_source=google_shopping&amp;utm_medium=organic&amp;gclid=CjwKCAiAlJKuBhAdEiwAnZb7IexPfRwtIk-Mkrj05NT0xFzhZmya0oxVoG7_Uu6N7CWmnxsviMUzBoCyd0QAvD_BwE</a>	30.99		Pas au fablab
pincette	Pince 3 doigts avec noix orientable 16/25 mm			1	une pincette +miroir+objectif dans notre box au Fablabs
1 carte d'acquisition avec GBF incorporé + ordinateur				1	A trouver
Lentille					

Source lumineuse		<a href="https://www.amazon.fr/Vamvo-projecteur-Compatible-Smartphone-Ordinateur/dp/B08CDBC5LK/ref=asc_df_B08CDBC5LK/?tag=googshopfr-21&amp;linkCode=df0&amp;hvadid=454677596790&amp;hvpos=&amp;hvnetw=g&amp;hvrand=8234502793232416219&amp;hvpon=&amp;hvptwo=&amp;hvqmt=&amp;hvdev=c&amp;hvdvcmdl=&amp;hvlocint=&amp;hvlocphy=1006094&amp;hvtargid=pla-1018797426397&amp;psc=1&amp;mcid=fc122c183463399fafcc5b14fcc59ff0">https://www.amazon.fr/Vamvo-projecteur-Compatible-Smartphone-Ordinateur/dp/B08CDBC5LK/ref=asc_df_B08CDBC5LK/?tag=googshopfr-21&amp;linkCode=df0&amp;hvadid=454677596790&amp;hvpos=&amp;hvnetw=g&amp;hvrand=8234502793232416219&amp;hvpon=&amp;hvptwo=&amp;hvqmt=&amp;hvdev=c&amp;hvdvcmdl=&amp;hvlocint=&amp;hvlocphy=1006094&amp;hvtargid=pla-1018797426397&amp;psc=1&amp;mcid=fc122c183463399fafcc5b14fcc59ff0</a>	55.49		mini vidéo projecteur
Ecran					
Casque de protection auditive	/	<a href="https://www.manomano.fr/p/casque-manufrance-anti-bruit-reglable-snr-29db-taille-unique-9574387?product_id=9895213">https://www.manomano.fr/p/casque-manufrance-anti-bruit-reglable-snr-29db-taille-unique-9574387?product_id=9895213</a>	16.50 euros	4	

## Machines & outils utilisées

Découpeuse à jet d'eau ? Pour découper une lame de verre

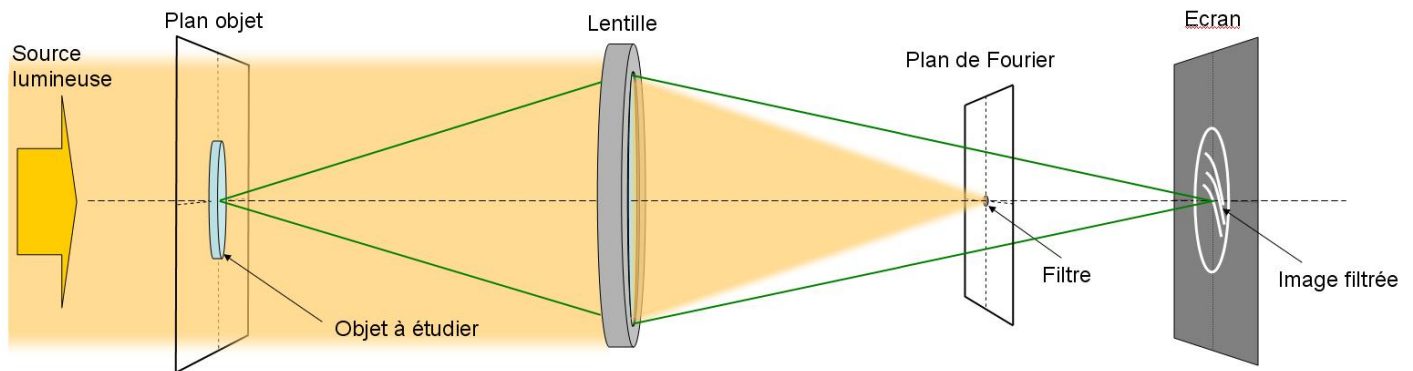


Découpeuse laser pour support un bois de l'expérience.

# Sources bibliographiques et références

[1] <https://sciencedemonstrations.fas.harvard.edu/presentations/schlieren-optics>

## Mise en place du montage



*(Fichiers, sources documentaires, photos, code, explications, paramètres d'usinage, photos, captures d'écran...)*

### Étape 1

Pour faire le montage experimental: on dispose un plaque de verre a une distance  $d$  d'une source d'onde ultra sonore. Le plaque de verre vas reflechir le son provenant de la source vers le bas; les ondes qui descendent interfernt de maniere constructive (les deux ondes sont en phase), avec les ondes qui montent vers le plaque de verre ce qui nous donnent des regions de hautes et de basse pression fixent.

### Étape 2

----

### Étape 3

----

## Journal de bord

*Avancée du projet à chaque étape, difficultés rencontrées, modifications et adaptations*

28/01/2024

Première réunion d'organisation à distance. Ordre du jour :

- Mise en place d'un calendrier en fonction des disponibilités de chacune et chacun.
- Clarification du sujet et du contexte de travail.
- Répartition du travail dans le temps et dans l'équipe
- Planification des jalons du projet
- Écriture d'un document pour le premier jalon du projet qui retranscrit la réunion en question.

31/01/2024

Première séance au Fablab prévue, malheureusement le lieu était fermé. Nous nous sommes donc retrouvés dans la salle de travail du couloir du master de physique pour avancer sur la recherche bibliographique préliminaire et sur l'inventaire expérimental. Nous avons mis en place cette page du wiki, et avec quelques difficultés à modifier la page à plusieurs, nous sommes arrivés à une première structure convaincante.

## Semaine du 29 Janvier

Avancées sur l'aspect théorique ; création d'un script *MATLAB* modélisant une onde stationnaire et des forces de pression aux paramètres ajustables.

```
syms z;
syms t;
mass = 0.0015; % marble's mass (kg)
radius = 0.002; % marble's radius (m)
V = (4/3)*pi*radius^3; % marble's volume
z0 = 0.25; % initial position (m)
kbT = 1.38*10^(-23)*293.15; % Boltzmann's constnt time 293.15 K (20°C)
Na = 6.022*10^(23); % Nombre d'Avogadro (mol^(-1))
M = 28.965*10^(-3); % molar mass of dry air at 1 atm, 20°C (kg.mol^(-1))
p0 = 101325; % pressure : 1 atm = 101325 Pa
phi1 = 0; % phase at origin
c = 343; % celerity of sound in the air (20°C, m/s)
r = 1; % reflection coefficient; set to 1 (perfect mirror)
dp = 1000000; % pressure variation pmax-p0 of the incident wave (Pa)
L = 0.4; % distance inter-mirror (m)
n = 8; % number of nodes to display
l = L/(2*n+2); % position of the first node (m)
t_span = linspace(0.01,1.01,1000);
t_step = t_span(2)-t_span(1);
k = 0.5*pi/l;
w = c*k;
zeros = linspace(l,L+l,n+2); % nodes positions + two more
```

```

% phase shift for reflected wave is 0+phase of incident wave at z=L because of the acoustic impedance of the
mirror > air
incident_wave = dp*cos(k*z-w*t+phi1);
incident_wave_handle = @(z,t) eval(simplify(incident_wave));
reflected_wave = r*dp*cos(-k*(z+L)-w*(t+L/c)+phi1);

% Total wave
p1 = incident_wave + reflected_wave;
p1_handle = @(z,t) eval(simplify(p1));
F_p = -diff(p1,z);
F_p_handle = @(z,t) eval(simplify(F_p));

% //-----// Euler
clear Z Vz;
Z = 0*ones(1,length(t_span));
Vz = 0*ones(1,length(t_span));
Z(1) = z0;plot(t_span, Z);
Vz(1) = 0;

for i = 1:length(t_span)-1
    Vz(i+1) = t_step *(9.81*(-mass + V*(subs(subs(p1+p0,z,Z(i)),t,t_span(i)))*M/(kbT*Na)) +
subs(subs(F_p,z,Z(i)),t,t_span(i))*V)/mass + Vz(i);
    Z(i+1) = t_step*Vz(i) + Z(i);
end
% //-----//

for i = 1:(length(zeros)-1)
    xline(zeros(i), '--', 'HandleVisibility', 'off'); % Vertical line at x_values(i) with red dashed line
end

% Add images
img1 = imread('radio_gen.png');
img2 = imread('mirror.png');

hold on;
image(img1, 'XData', [-l, 0], 'YData', [-1.7*dp, 1.7*dp]);
image(img2,'XData', [zeros(end-1), zeros(end-1)+l], 'YData', [-1.5*dp, 1.5*dp]);
hold off;

for tc = 1:length(t_span)

```

```

tt = t_span(tc);

yyaxis left;
colororder([0, 0.5, 1]);
fplot(p1_handle(z, tt), [0,(2*n+1)*pi/(2*k)+1], 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'p(z)');
ylabel('I(z); (V)');
ylim([-2*dp, 2*dp]);
hold on;
image(img1, 'XData', [-l, 0], 'YData', [-2*dp, 2*dp]);
image(img2,'XData', [zeros(end-1), zeros(end-1)+l], 'YData', [-1.5*dp, 1.5*dp], AlphaData=0.8);
fplot(incident_wave_handle(z, tt), [0,(2*n+1)*pi/(2*k)+1], '--', 'LineWidth', 1, 'DisplayName', 'A_i(z)')
scatter(Z(tc), 0, 50, 'filled', 'MarkerFaceColor', 'black', 'DisplayName', 'marble'); % 1 pixel = 0.75 points
hold off;

yyaxis right;
colororder([1, 0.6, 0]);
fplot(F_p_handle(z, tt)/1000000, [0,(2*n+1)*pi/(2*k)+1], 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'F_p(z)');
ylabel('F_p(z); (N/cm^3)');
ylim([-2*100, 2*100]);

xlabel('z (m)');
title(['t = ' num2str(tt)]);

xlim([-l, zeros(end-1)+l]);
legend;

% update screen
drawnow
end

```

07/02

On continue sur les recherches théoriques et les simulations MATLAB. L'inventaire est finalisé et nous avons contacté notre enseignant référent et le fablab pour savoir si certains éléments nécessaires à l'expérience sont déjà disponibles dans les locaux. Il nous faut commencer rapidement le montage afin d'avoir le temps d'optimiser et d'avoir des résultats convaincants d'ici au 17 février.

## Galerie photos

