

Acoustique

Ce TP est lié au cours "Optique et acoustique" du semestre 6. Il fait référence aux notions suivantes : vitesse du son, spectre fréquentiel d'un son, niveaux acoustiques, atténuation par des parois simples et multi-éléments, analyse par bande d'octave.

Notions principales : intensité, niveau, bande d'octave et résistance acoustique

Le son est une onde de pression qui se propage dans un milieu matériel. Dans l'air, le son se propage à une vitesse d'environ $c = 340$ m/s, et l'oreille humaine est sensible à des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz. **En acoustique linéaire, un son complexe résulte de la superposition de sons "simples"**, une analyse de Fourier permet de connaître les fréquences de ce son.

L'oreille est un capteur de pression logarithmique, sensible à l'**intensité acoustique** I , qui s'exprime en W/m^2 et qui est définie comme $I = \langle p^2 \rangle_t / (\rho c)$ avec p la pression acoustique en Pa, ρ la masse volumique de l'air en kg/m^3 et c la vitesse du son en m/s.

Le **niveau acoustique**, L , exprimé en décibel (dB), ressenti par l'oreille, est défini par $L = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$, où I_0 est le niveau acoustique de référence conventionnellement fixé à 10^{-12} W/m^2 .

Une **bande d'octave** est un intervalle de fréquence dont les bornes sont $[f ; 2f]$. Une **bande en tiers d'octave** est un intervalle de fréquence dont les bornes sont $[f ; 2^{1/3}f]$. En acoustique du bâtiment et acoustique industrielle, les bandes de fréquences sont standardisées. Elles sont centrées autour des **dix fréquences** du tableau ci-dessous. Pour les tiers d'octave, les bandes sont plus étroites (voir le tableau ci-dessous).

octave (Hz)	31.5	63	125	250	500
1/3 d'octave (Hz)	25-31.5-40	50-63-80	100-125-160	200-250-315	400-500-630
	1 000	2 000	4 000	8 000	16 000
	800-1000-1250	1600-2000-2500	3150-4000-5000	6300-8000-10000	12500-16000-20000

La qualité acoustique d'une paroi de construction (mur, cloison, plancher, plafond, fenêtre, porte, etc...) est caractérisée par sa **résistance acoustique** R , appelée aussi indice d'affaiblissement acoustique. R est défini comme la différence entre le niveau sonore incident L_i et le niveau sonore transmis L_t . Plus R est grand, plus la paroi a un isolement acoustique élevé. R peut être exprimé en dB (octave par octave) ou globalement en dB(A).

1 Mesure de la vitesse du son dans l'air

Objectif : Mesurer la vitesse de propagation du son dans l'air à la température de la salle, et éventuellement dans un autre matériau.

Montage : Vous avez à disposition sur la table un couple de transducteurs ultrasonores. L'émetteur est excité par des pulses d'1 ms sur une base de 40 kHz (crête-à-crête ± 12 V). Les signaux d'émission et de réception sont visualisés sur un oscilloscope numérique. Le schéma du montage est présenté à la figure 1.

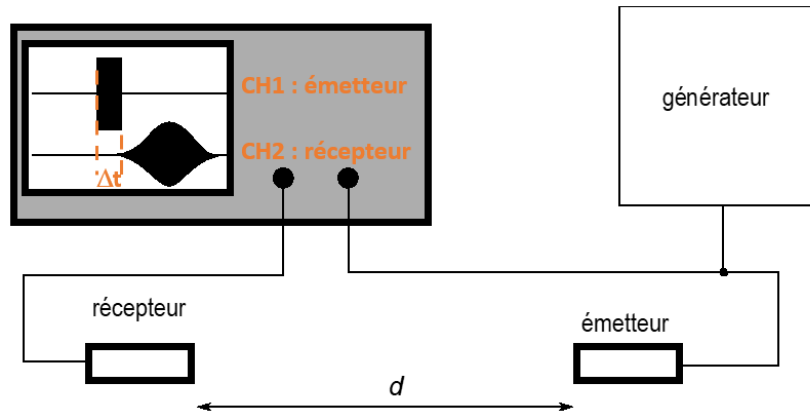


FIGURE 1 – Schéma de montage pour la mesure de la vitesse du son

Travaux à faire :

1. Réalisez le branchement correspondant au montage de la figure 1 ;
2. Réglez l'oscilloscope pour identifier et distinguer les deux signaux ;
3. Observez comment évolue le signal de réception en fonction de la distance d , commentez et proposez une interprétation physique ;
4. Mesurez le temps de vol Δt en fonction de la distance d entre le transducteur émetteur et le transducteur récepteur.
Tracez d en fonction de Δt et indiquez sur ce graphe la température T dans la pièce de TP, ce jour-là. Déduisez la vitesse du son dans l'air c , à cette valeur de T .
5. Que se passe-t-il sur le signal du récepteur lorsqu'on intercale un échantillon de MDF (ou panneau de fibres de bois de densité moyenne en français) rouge entre l'émetteur et le récepteur ? Quantifiez ces différences.
Et avec un échantillon de faux plafond ? et puis avec de la mousse absorbante grise collée sur le MDF rouge ? Commentez tous ces résultats en les présentant sous la forme d'un tableau, et prenez-les en compte pour la partie 2.

2 Niveaux acoustiques, atténuation, traitement du signal

Objectifs : Mesurer les effets acoustiques d'une paroi absorbante : atténuation, analyse en fréquences (bande d'octaves et tiers d'octave)

Montage - Les mesures vont être réalisées dans un caisson en bois isolé par l'intérieur avec de la mousse acoustique. La source sonore est une enceinte de monitoring, reliée à un PC par la sortie casque de la carte son. Le signal sonore à émettre sera lu par le logiciel Audacity. La réception du son à l'autre extrémité du caisson est faite par deux éléments indépendants :

- Un sonomètre calibré, qui délivre en temps réel le niveau sonore global (en dB). Le signal du sonomètre est relevé par une carte Arduino Uno, reliée au PC.
- Un micro, qui enregistre le son reçu via le logiciel Audacity®, relié au PC par une liaison USB.

Entre l'émetteur et le récepteur, la partie centrale peut accueillir une paroi constituée de différents matériaux. Le schéma du montage est présenté à la figure 2.

Signaux sonores de référence - Le principal signal de référence est un **bruit blanc**. Par analogie avec l'optique (la lumière blanche est la résultante de la superposition de toutes les couleurs du spectre visible), un bruit est théoriquement composé de toutes les fréquences du spectre audible. La transformée de Fourier d'un bruit blanc doit montrer un spectre uniforme indiquant que chaque fréquence individuelle est équiprobable. Mais une analyse en bande d'octave de ce bruit montre une sur-représentation des hautes fréquences, car les bandes d'octave en haute fréquence sont plus larges que celles en basse fréquence.

Pour compenser ce phénomène, on peut fabriquer un **bruit rose**, qui va augmenter artificiellement la puissance des basses fréquences de manière à ce que le spectre en bande d'octave soit uniforme. La "couleur rose" du bruit est encore une fois une analogie optique, c'est un spectre dans lequel on aurait ajouté plus de basses fréquences optiques (donc de grandes longueurs d'onde) proches du rouge qui mélangées au blanc donne du rose. Plusieurs signaux de référence sont à votre disposition dans le répertoire "Signaux de référence" (bruits blancs, rose, brun, etc.).

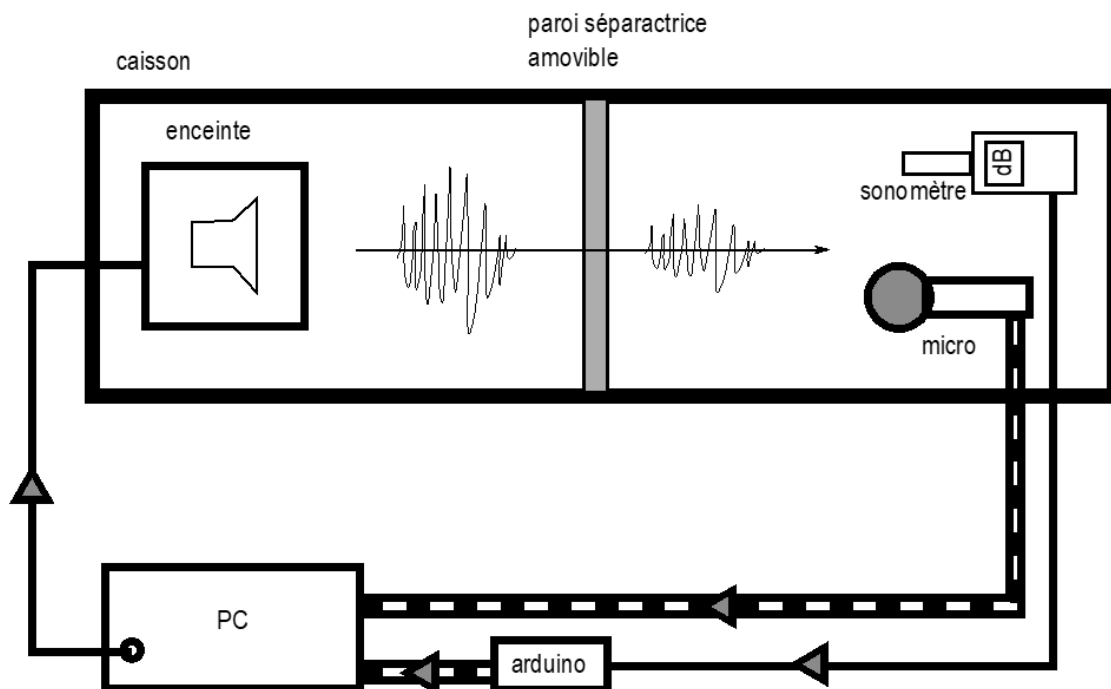


FIGURE 2 – Schéma de montage pour les propriétés acoustiques de différents matériaux

Travaux à faire :

1. Démarrage

- Allumer le PC, et dans le caisson le sonomètre et l'enceinte amplifiée. Le micro USB et la carte Arduino sont alimentés directement par le PC. Ouvrir les logiciels Arduino IDE, Spyder (Python) et Audacity. Sur Arduino IDE, voir 3.1, pensez à téléverser le programme `sonometre.ino` sur la carte.
- Dans le dossier 'TP acoustique' sur le PC, créez un répertoire pour y stocker vos mesures. Le nom de ce répertoire doit être reporté dans le code python `tp_acoustique.py` que vous allez utiliser plus tard, par exemple : `Mon_tp = NOMetudiant1_NOMetudiant2`. Copiez dans ce dossier, le fichier '`whitenoise.wav`' que vous trouverez dans le dossier `sons_de_référence` dans votre dossier.

2. Calibration

- Sans paroi séparatrice, lancer le code python `calibration_sonometre.py` et si besoin, ajustez le niveau de sortie du PC et le potentiomètre de l'enceinte amplifiée pour que

le niveau acoustique mesuré **soit proche de 80 dB**. La valeur de calibration est automatiquement enregistrée dans le fichier 'calibration_whitenoise.dat'. *Par la suite, merci de ne plus toucher au niveau sonore du PC, ni au potentiomètre de l'enceinte amplifiée.*

- b) Avec Audacity, lisez le fichier 'whitenoise.wav' qui est dans votre dossier et enregistrez le signal reçu par le micro dans le fichier 'whitenoise_caisson.wav' dans votre répertoire (voir procédure en 3.3).

3. **Effet du caisson** - Utiliser le code python 'tp_acoustique.py' pour analyser le fichier 'whitenoise_caisson.wav'. Pour cela, utilisez `wav_fname_1 = 'whitenoise.wav'` et `wav_fname_2 = 'whitenoise_caisson.wav'`

À partir de ces résultats, commentez le filtrage acoustique dû au caisson (taille du caisson, effet de la mousse isolante, etc...)

4. Effet d'une paroi isolante

Vous avez à votre disposition plusieurs échantillons de parois isolantes : MDF, MDF + mousse, dalles de plafond, etc. Pour chaque matériau, utiliser Audacity pour enregistrer la réponse acoustique d'une paroi à partir d'un son de référence et enregistrer les fichiers dans votre répertoire. Ces fichiers sons sont à analyser de manière comparative, par exemple

`wav_fname_1 = 'whitenoise_caisson.wav'`

`wav_fname_2 = 'whitenoise_MDF+mousse.wav'`

Rédigez votre rapport sous la forme d'une notice technique pour chaque matériau, en précisant les avantages et inconvénients de celui-ci en fonction de la fréquence f .

5. Isolement d'une paroi composée

Quand une onde sonore traverse une paroi composée de plusieurs matériaux (par exemple une façade de bâtiment avec un matériau structural, le béton, et des menuiseries, portes et fenêtres), la résistance acoustique R de l'ensemble doit vérifier l'équation suivante :

$$S_T 10^{-R/10} = \sum_i S_i 10^{-R_i/10}$$

où $S_T = \sum_i S_i$ est la surface totale de la paroi, et R_i et S_i sont respectivement la résistance acoustique et la surface de chaque matériau.

Remarque : une ouverture peut être considérée comme un matériau de résistance acoustique nulle.

En utilisant les plaques composées (celle avec une "porte" en bois amovible, et celle avec une "fenêtre" amovible en matériau plastique), faire des mesures de résistance acoustique en bruit blanc et en se basant sur l'expression théorique ci-dessus, déterminer les résistances acoustiques des matériaux encastrés (bois et matériau plastique).

6. Effet de masse

La principale propriété d'un matériau, qui influe sur l'isolation acoustique, est la masse surfacique en kg/m^2 . Établissez à partir des mesures, que vous avez effectuées, une corrélation entre la masse surfacique et l'atténuation des parois.

3 Notices techniques

3.1 Arduino - sonomètre : sonometre.ino

La carte Arduino acquiert la tension, entre $[0 - 5]$ V, délivrée par le sonomètre. La conversion en dB est réalisée par le code Arduino, et le résultat est envoyé sur un port série USB qui peut être lu



par le PC. En début de séance, il faut ouvrir le programme Arduino `sonometre.ino` sur le PC, le compiler, et le téléverser sur la carte. La lecture du niveau sonore du sonomètre se fait maintenant en continu.

3.2 Calibration du sonomètre sous Python : `Calibration_sonometre.py`

Le code `Calibration_sonometre.py` permet de générer un son, et d'enregistrer le niveau acoustique moyen capté par le sonomètre, via la liaison USB. La procédure standard consiste à utiliser un bruit blanc de 10 s.

3.3 Enregistrement sous Audacity®

C'est un logiciel libre de manipulation de fichiers sons. Il possède l'essentiel des fonctions de base pour l'enregistrement multi-pistes, l'édition, le traitement numérique et la sauvegarde de signaux sonores. Ci-dessous les opérations à effectuer, lors de la séance :

1. Importer un fichier son de référence (bruit blanc, bruit rose, etc... en format `.wav`) qui va s'ouvrir sur une première piste (piste 1). Vérifier que la lecture de cette piste produit un son dans le caisson.
2. Créer une nouvelle piste (2) qui servira pour enregistrer le signal provenant du micro USB : Menu **Pistes** -> **Ajouter une nouvelle piste** -> **Mono**.
Pour réaliser une mesure, il faut donc lire la piste (1) tout en enregistrant la piste (2). Pour cela, mettre le curseur à 0 puis cliquer sur  et vérifier que la piste (2) est bien active pour l'enregistrement (encadré de couleur jaune).
3. Enregistrer en cliquant sur  en ayant vérifié que la touche **Silencer** n'est pas enfoncée. Quand l'enregistrement est terminé, ajuster la durée du signal sur la piste (2) à environ 10 s comme le signal de la piste (1).
Mettre la piste (1) en mode Silence : cliquez sur le bouton **Silencer** en haut à gauche de la fenêtre de la piste (la piste 1 devient grisée), puis exporter le signal en format `wav` : **Fichier** -> **Exporter** -> **Exporter en WAV**. Penser à fixer le format d'encodage à 32 bits. C'est ce fichier qui sera analysé par le code Python.

3.4 Analyse des signaux acoustiques sous Python : `tp_acoustique.py`

Un code Python est à votre disposition pour faire une analyse comparative de deux fichiers sons. Ce code est construit autour d'une fonction principale `wav_analysis` qui va réaliser les opérations suivantes :

1. Lecture du fichier `.wav`
2. Extraction des données (durée, taux d'échantillonnage, data)
3. Transformée de Fourier (FFT)
4. Analyse d'octave et tiers d'octave

Cette fonction est appelée deux fois dans le code pour comparer deux fichiers différents. Les noms des deux fichiers sont à préciser dans les variables `wav_fname_1` et `wav_fname_2`.

Le code présente sous forme de graphiques les signaux, les spectres FFT et les niveaux acoustiques en bandes d'octave et tiers d'octaves. Les graphiques sont automatiquement enregistrés en format PNG dans votre répertoire de travail, afin que vous puissiez les importer dans votre compte-rendu.

4 Références

- Sons de références (bruit blanc, bruit rose, etc. en format .wav) disponibles sur www.audiocheck.net.
- Audacity® : notice et téléchargement sur <https://www.audacityteam.org/>.
- Sonomètre enregistreur RS PRO 130 dB avec filtres et interface USB, <https://fr.rs-online.com/web/p/sonometres/1464651>
- Enceinte de monitoring amplifiée 75 W + 45 W https://www.thomann.de/fr/yamaha_hs_8.htm
- Cours d'Acoustique sur Ametice <https://ametice.univ-amu.fr/course/view.php?id=116463>

- Rédacteurs et contacts : Laurence Bergognoux (laurence.bergognoux@univ-amu.fr) et Maxime Nicolas (maxime.nicolas@univ-amu.fr)