

Étude et optimisation des sourdines de trompette

LELIEVRE Louis

N°36854

Sommaire

- Introduction
- Problématique retenue
- Expérience 1
- Expérience 2
- Conclusion

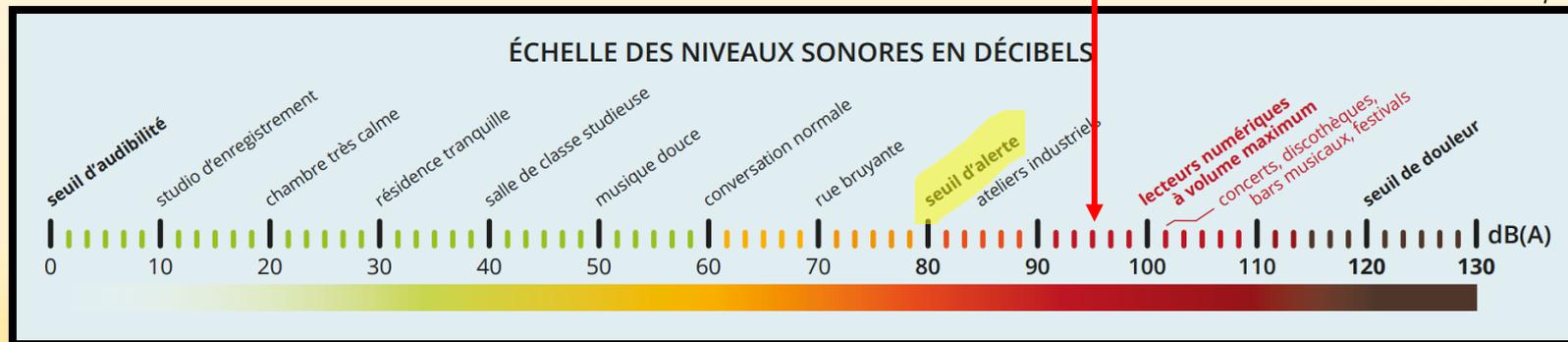
Introduction

La trompette, un instrument bruyant

Instrument	Niveau sonore en général
Piano, piano à queue, orgue	80 dB(A)
Violoncelle, contrebasse	80 dB(A)
Violon, viole	86 dB(A)
Flûte	86 dB(A)
Synthétiseur, guitare électrique	90 dB(A)
Clarinette, hautbois	90 dB(A)
Saxophone, trompette , trombone	95 dB(A)
Batterie, tambour	95 dB(A)

Source: Beat W. Hohmann: Musique et trouble de l'ouïe

Source: ministère de la Santé: Plaquette d'information sur les risques liés à l'écoute de la musique



Une sourdine, qu'est-ce que c'est ?

- Boitier fixé dans le pavillon d'une trompette



- De nombreux modèles aux propriétés différentes (différentes formes, matières)

Les avantages

But esthétique: modifie le timbre de la trompette

Très populaire dans le Jazz



Jonah Jones (1909-2000)



Orchestre de Duke Ellington

But d'étude: Atténue l'intensité du son

Idéal pour pratiquer dans des lieux où faire du bruit est difficile

Les inconvénients

- Modifient considérablement les sensations de jeu (comme parler sous l'eau)
- Plus épuisant de jouer → Nécessité de souffler plus fort
- Certaines sourdines sont lourdes
- Peuvent modifier la justesse de l'instrument
- Fréquences de résonance peuvent apparaître

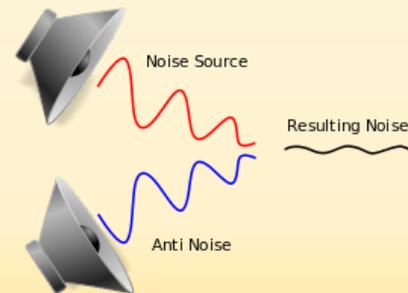
Une alternative possible

Méthode de réduction active de bruit

Très utilisée dans nouvelles technologies
(utilisation privée ou professionnelle)



Casques de réduction de bruit très utilisés dans l'aéronautique



© Marekich, Wikimedia Commons, CC by-sa 3.0

Problématique

Peut-on améliorer les performances des sourdines existantes à l'aide de la méthode de réduction active de bruit ?

1^{ère} Expérience

Etude de l'atténuation du son sur différentes sourdines

Objectif: Tracer les diagrammes de Bode en gain de trois sourdines

Sourdine Sèche



Sourdine dite « Mute »

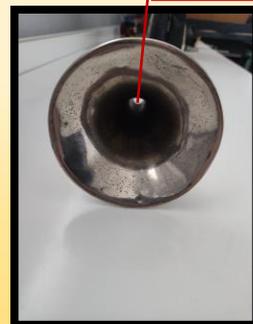


Sourdine Bol



Première étape: obtenir une trompette

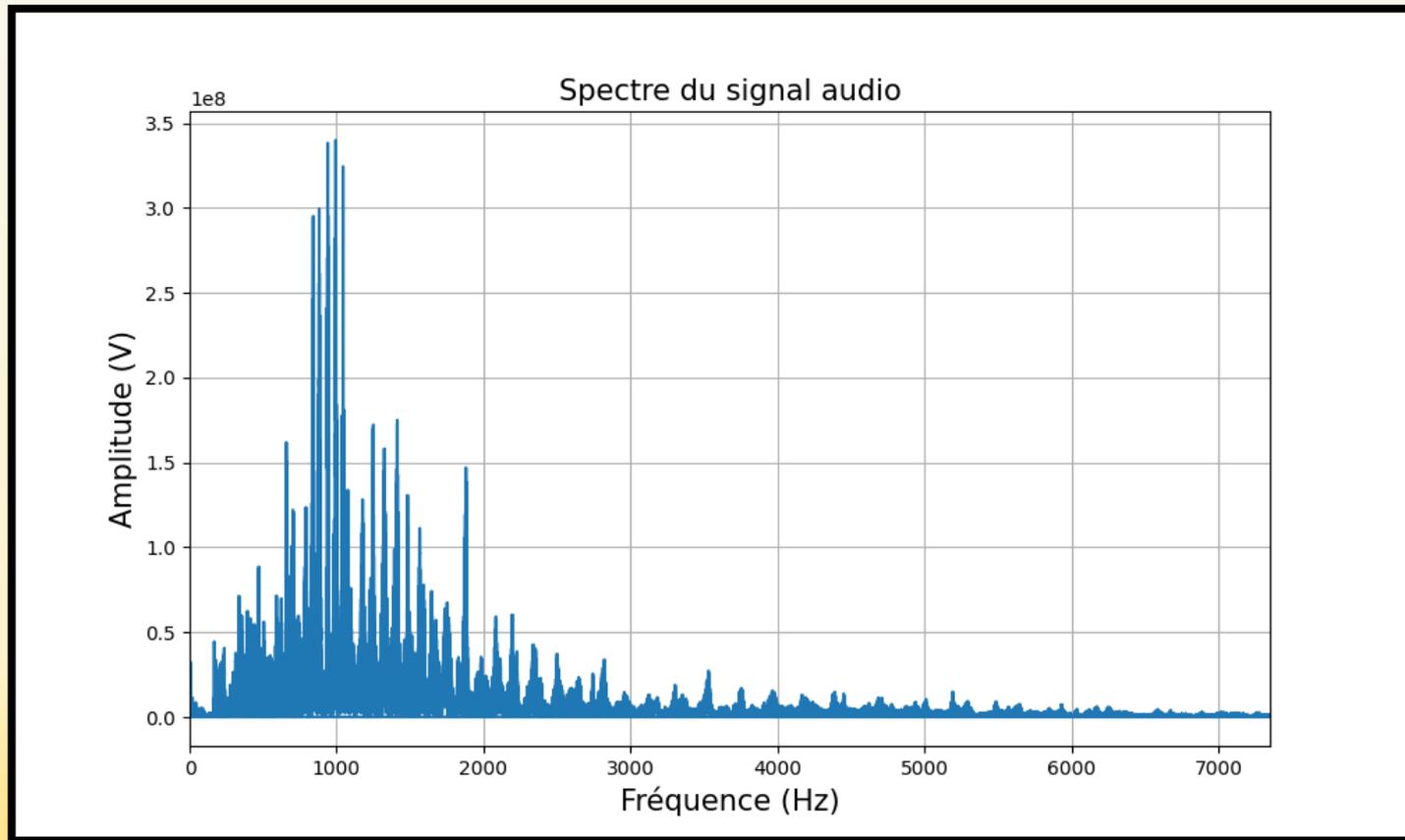
- Mise en relation avec différentes écoles de musique et orchestres aux alentours de Caen par l'intermédiaire de mon professeur de trompette
- Récupération d'un cornet à piston (petite trompette)



Le pavillon



Le spectre du son de la trompette



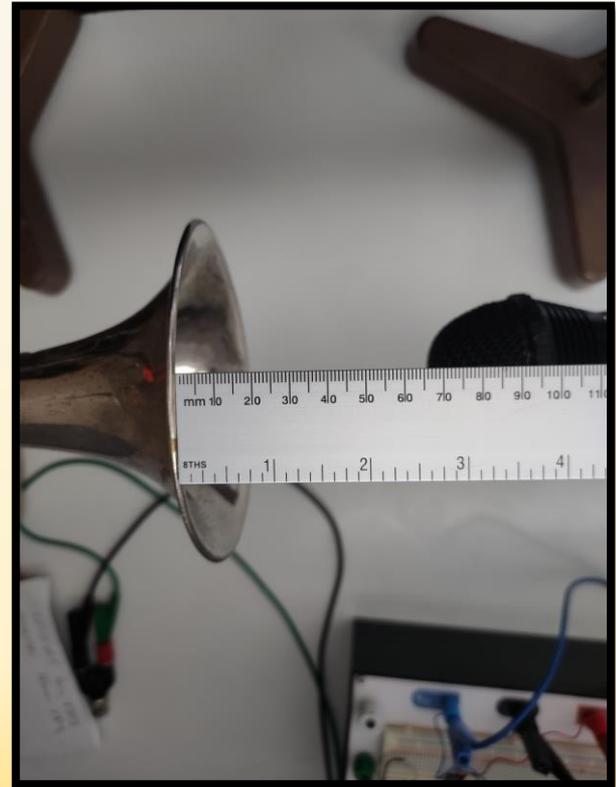
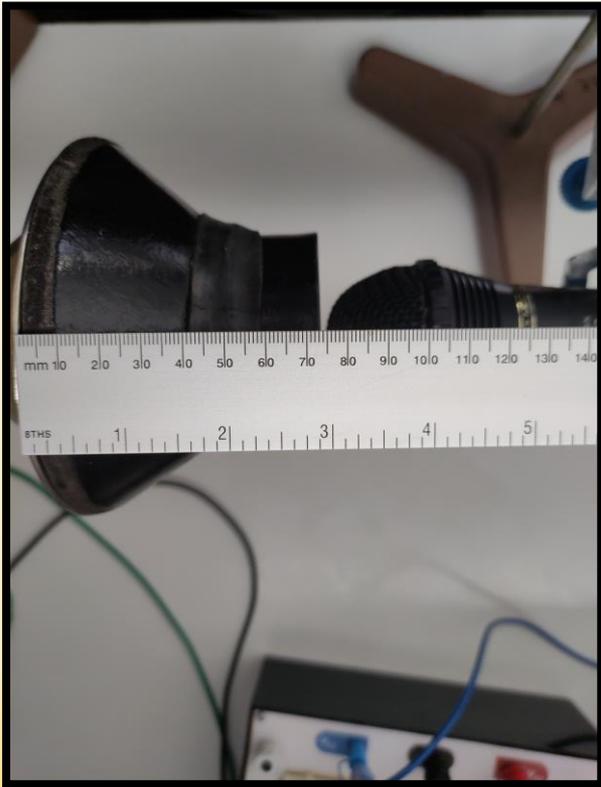
Les conditions de l'expérience

- Pour notre étude:
 - Fréquences variant de 0 à 5000Hz
 - On ne considère qu'un morceau du cornet à piston
 - Son émis par un GBF via un haut-parleur (signal sinusoïdal)
 - Réglé à 5V en amplitude (tension la plus supportable)

Le protocole

- ❑ On place le microphone à 0,1 cm de la sourdine
 - ❑ Mesure de l'amplitude du signal sortant de la trompette sans sourdine
 - ❑ Mesure de l'amplitude du signal sortant de la trompette avec sourdine





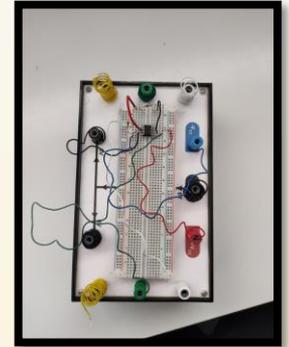
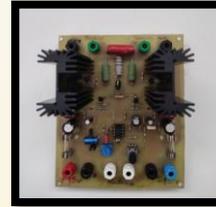
On trace ensuite les différents diagrammes de Bode associés aux différentes sourdines

$$G_{sourdine} = \frac{\textit{Amplitude mesurée avec la sourdine}}{\textit{Amplitude mesurée sans la sourdine}}$$

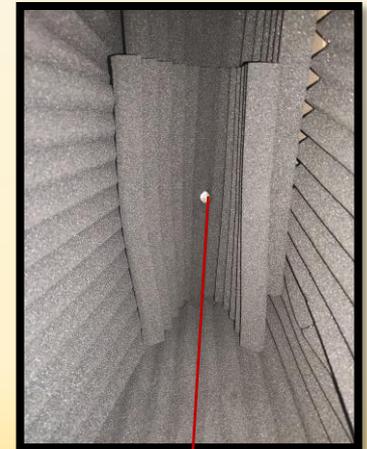
$$G_{dB} = 20 \times \log(G_{sourdine})$$

Les problèmes rencontrés

- Difficultés pour capter correctement le signal avec le micro
 - Nécessité d'amplification
 - Amplificateur fourni par le laboratoire du lycée (*x10*)
 - ALI montage amplificateur (*x10 puis x100*)
 - Ajout d'un deuxième ALI en série (*x10*)
- Micro ensuite trop sensible au bruit
 - Renforcement de l'isolation acoustique
 - Ajout de mousses acoustiques

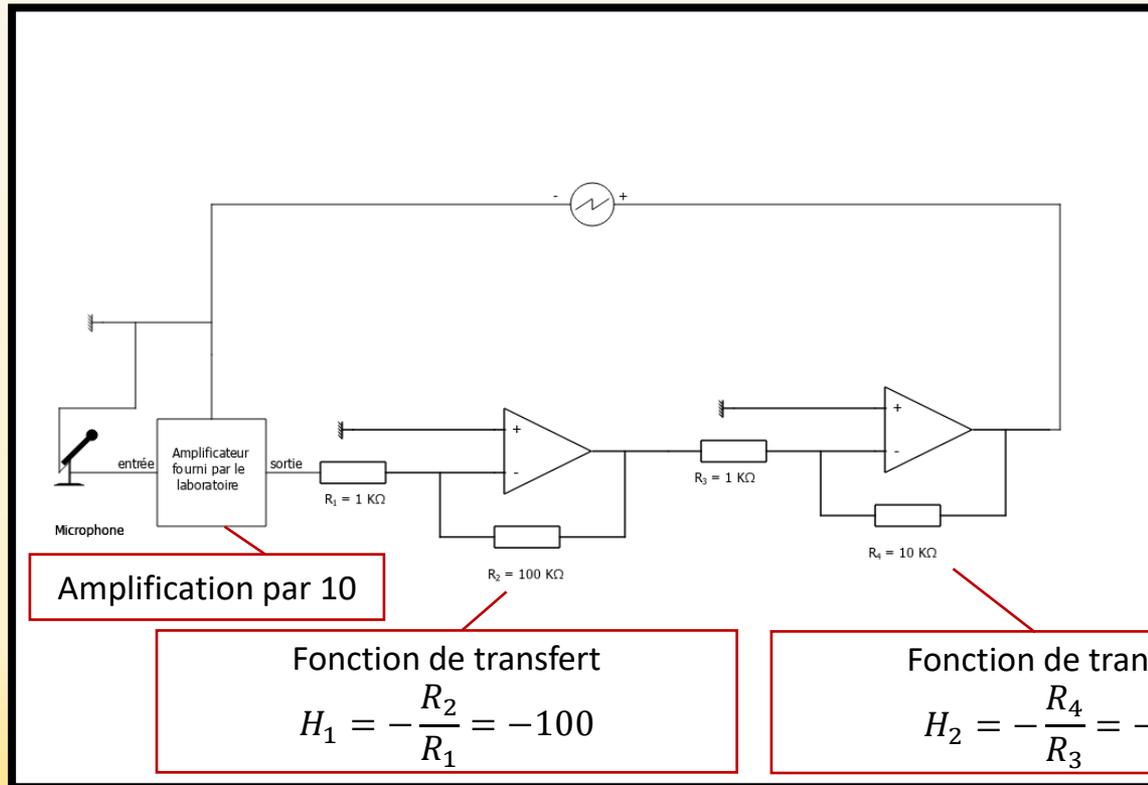


Carton rempli de mousses acoustiques



Intérieur du carton

Le schéma électronique de l'amplification



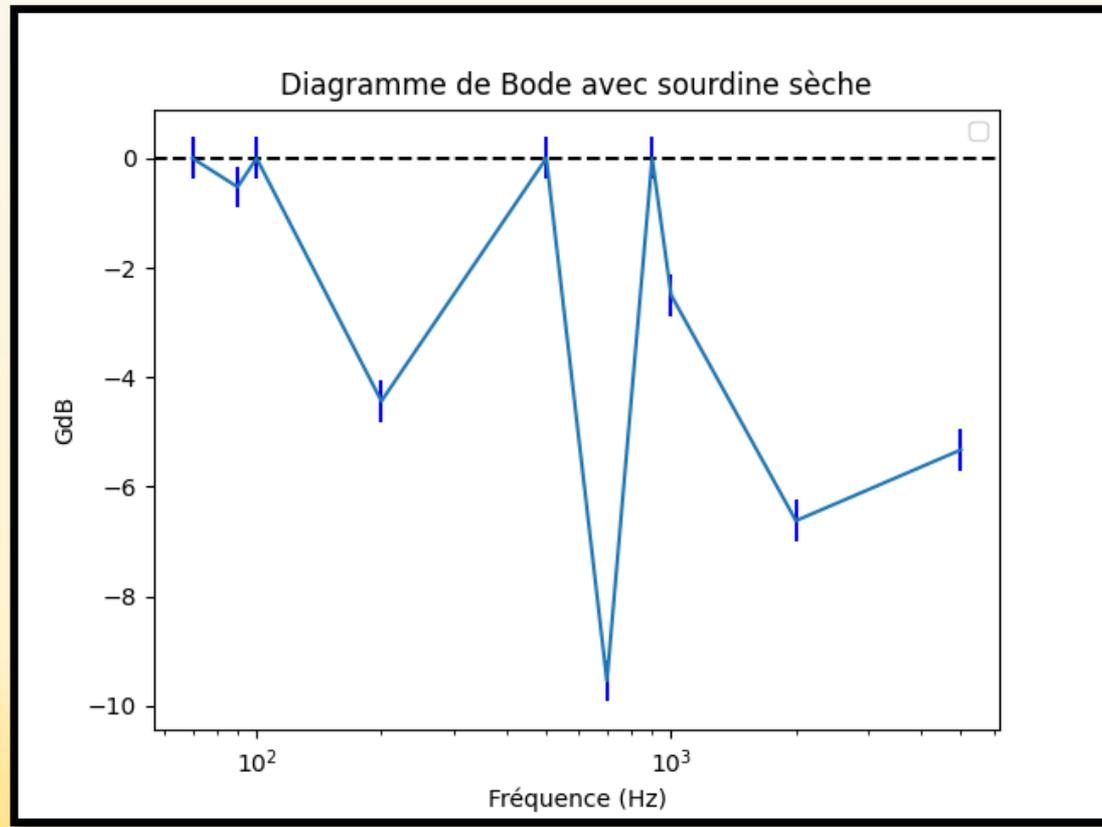
Fonction de transfert totale

$$H_{tot} = 10 \times H_1 \times H_2 = 10\,000$$

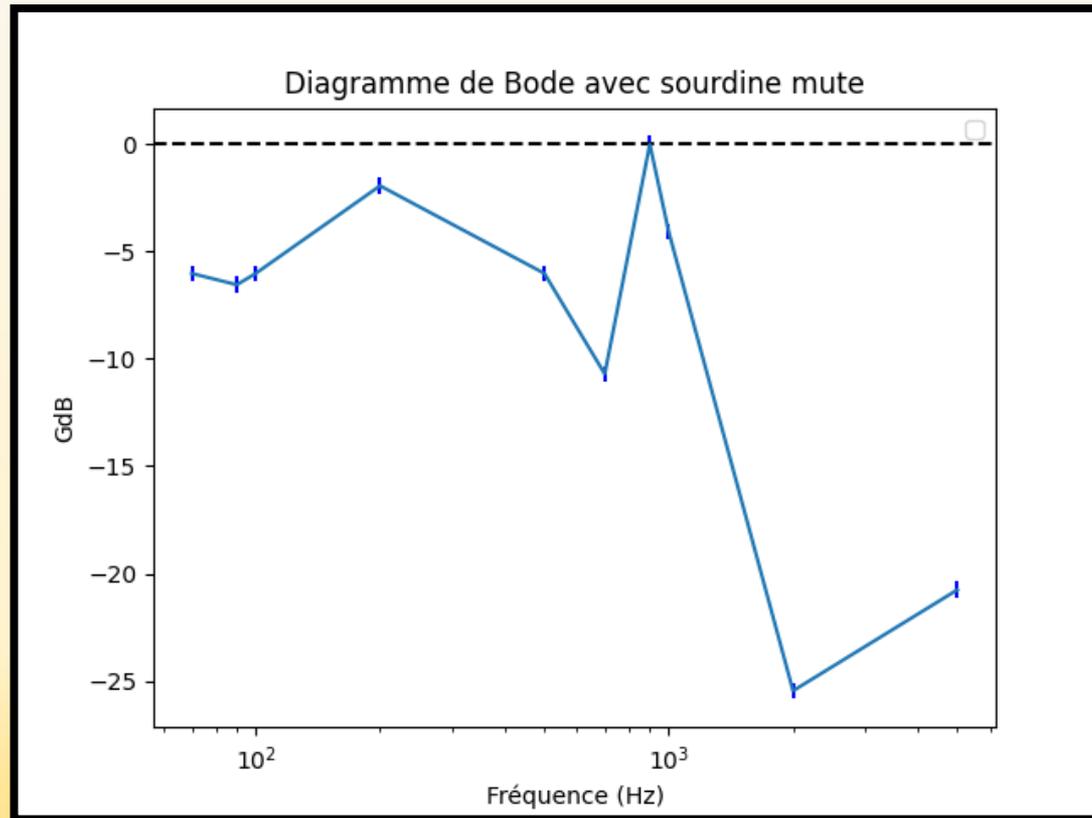
Amplification du signal par 10 000

Les résultats de la première expérience

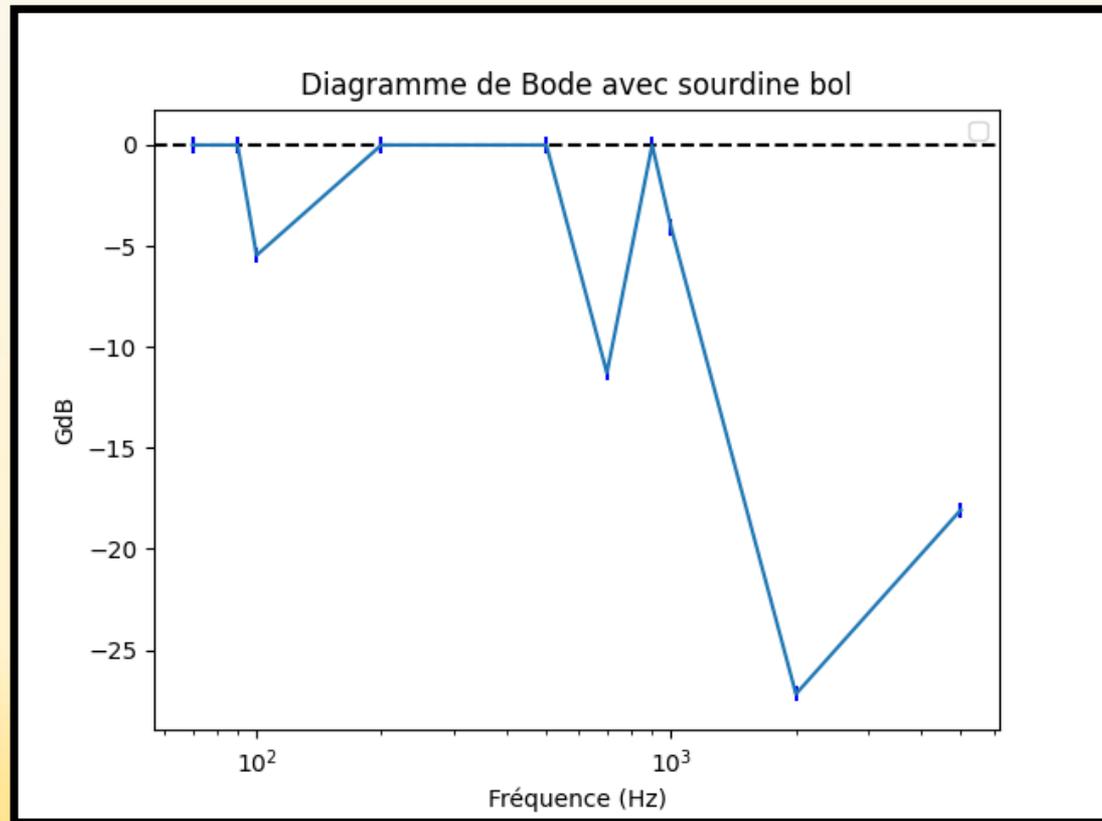
Atténuation du son pour sourdine sèche



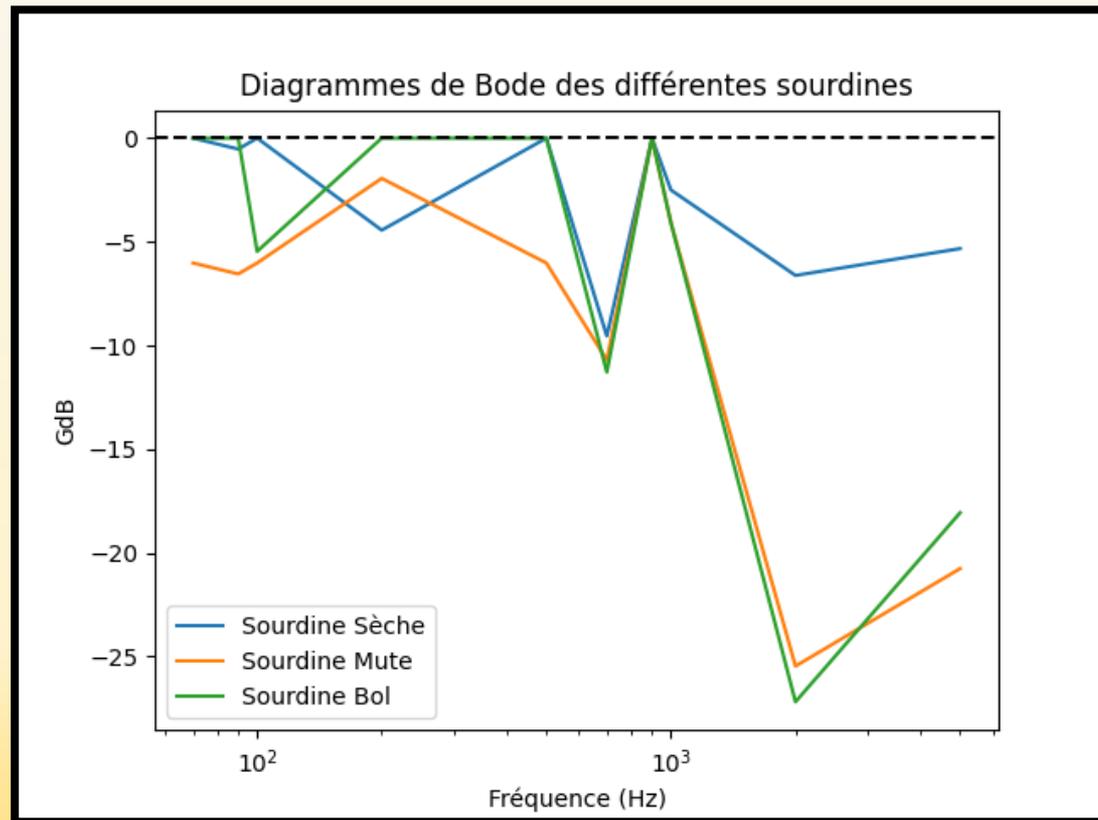
Atténuation du son pour sourdine « mute »



Atténuation du son pour sourdine bol



Superposition des diagrammes de Bode



2^{ème} Expérience

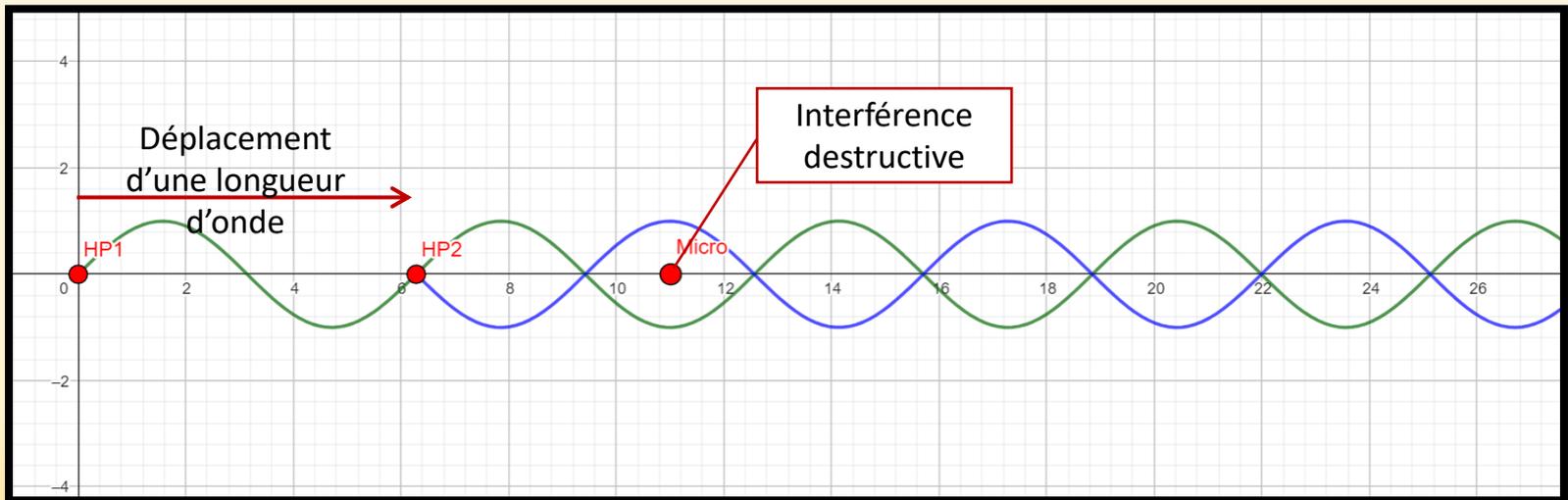
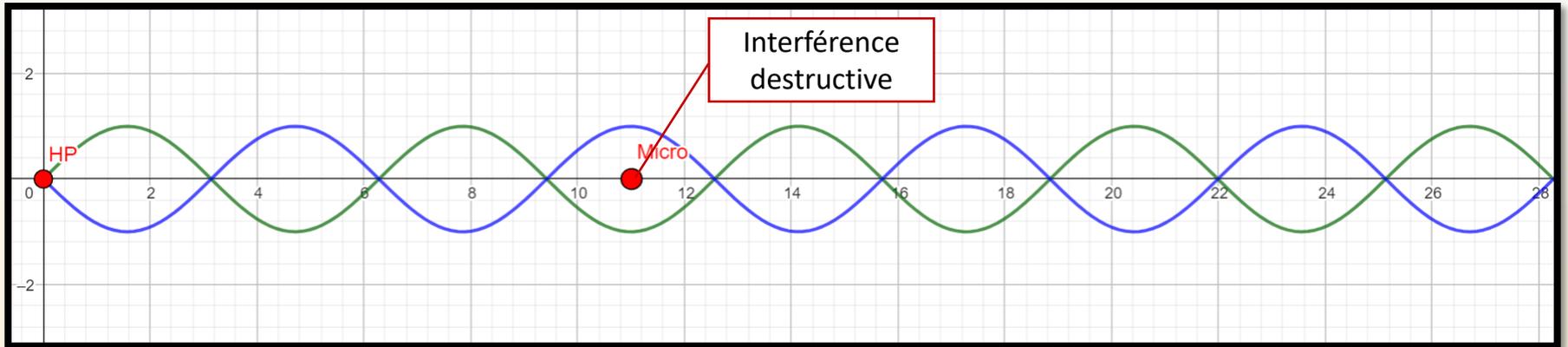
**Mise en évidence du
phénomène d'interférences
destructives**

Approche théorique

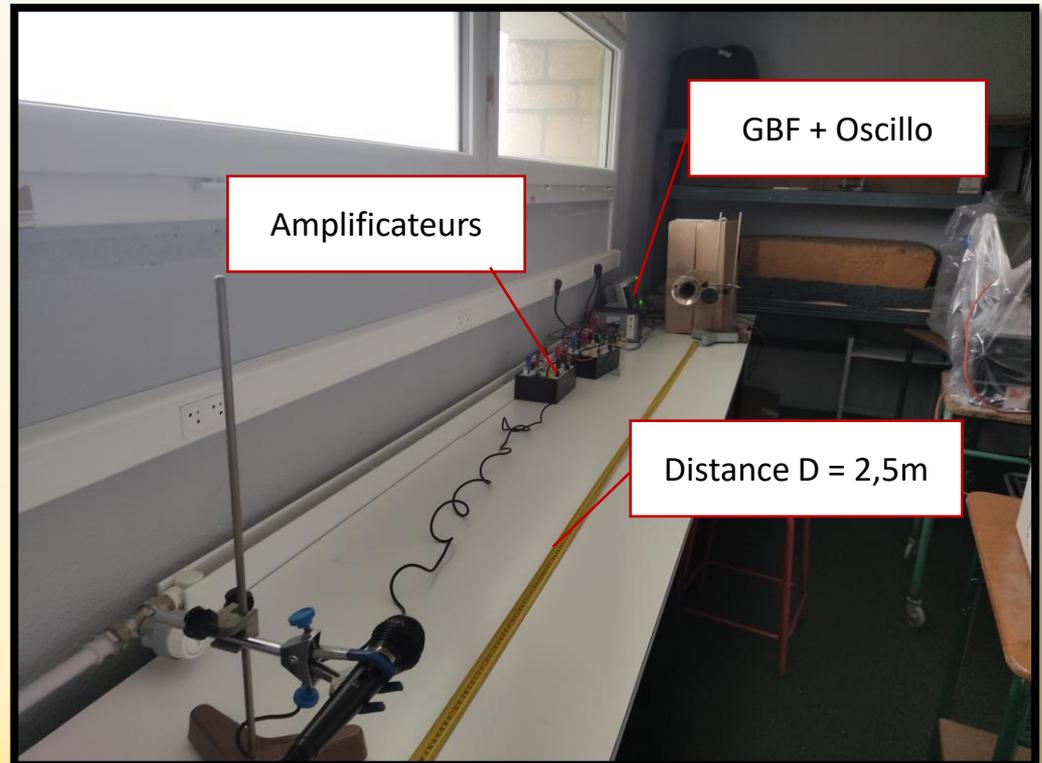
Position des nœuds pour deux OPPM

Un noeud toutes les longueurs d'onde

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ avec } c = 340\text{m.s}^{-1}$$

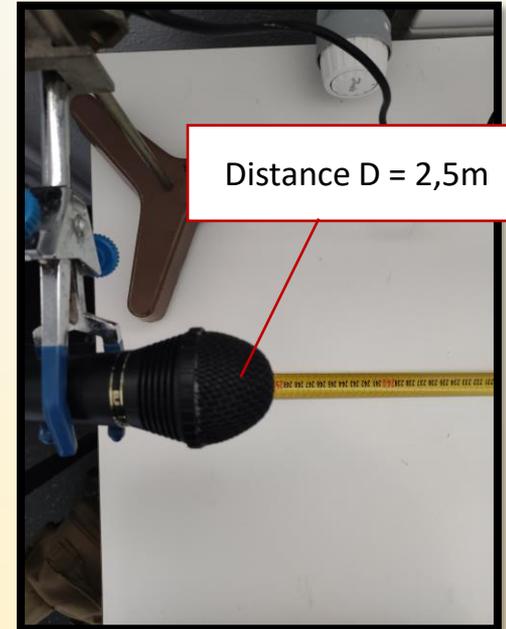


Le dispositif



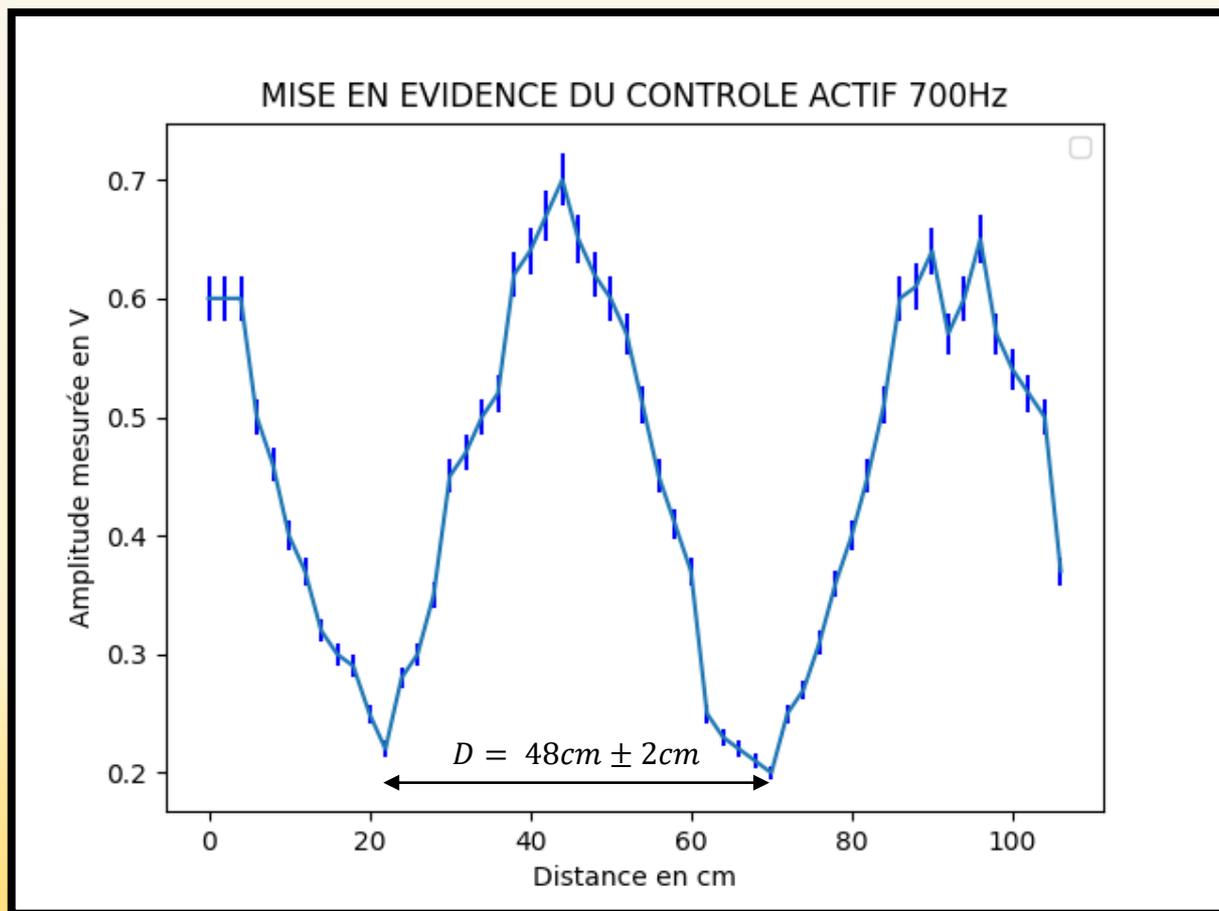
Le dispositif

- On se limite à 700Hz, 1400Hz et 2000Hz
- On connecte deux haut-parleurs à un GBF (20V en amplitude)
 - Un pour la trompette
 - Un pour créer les interférences destructives
- On place le microphone à 2,50m du pavillon
- Apparition d'interférences destructives en faisant varier l'écart entre les deux HP



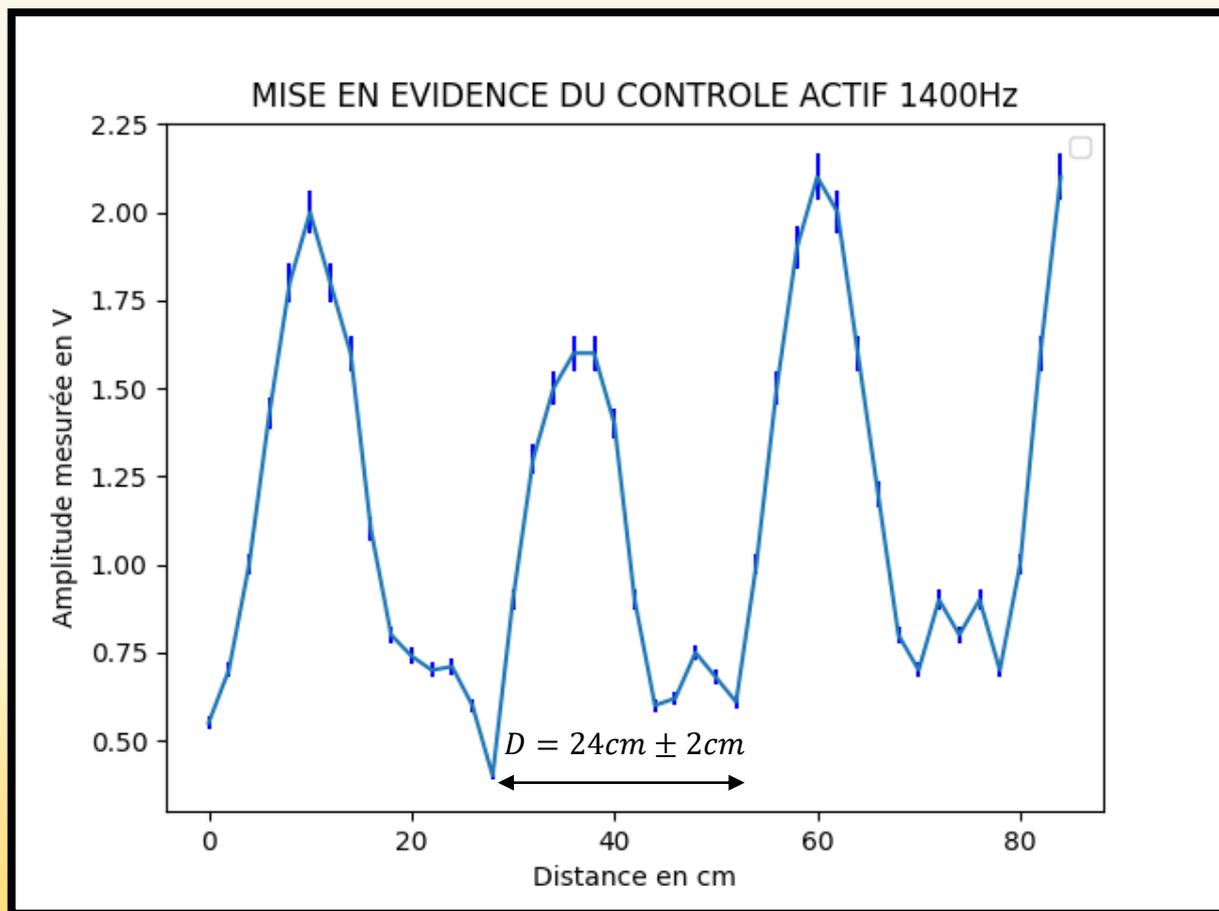
Résultat à 700Hz

Calcul théorique:
 $\lambda = 48\text{cm}$



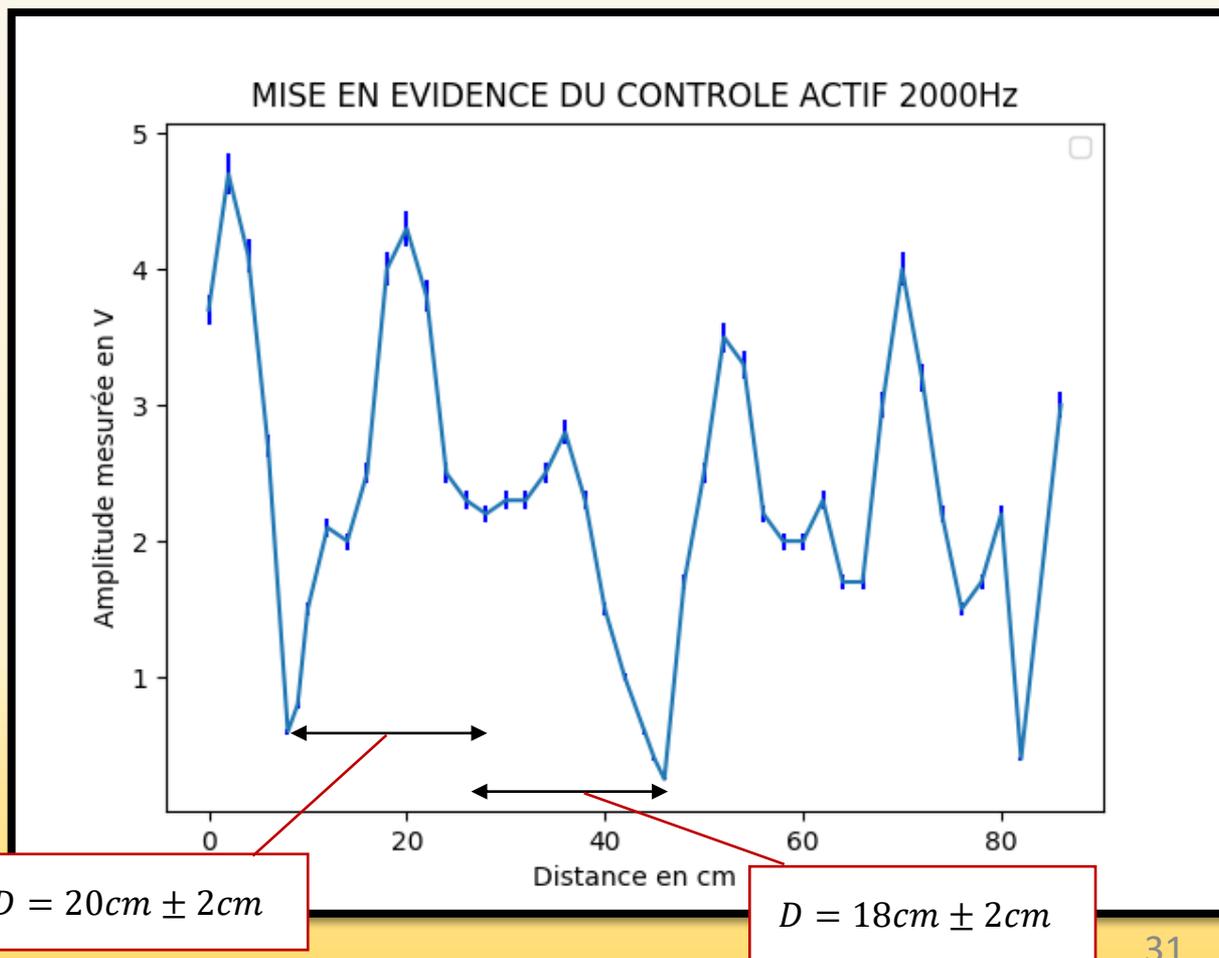
Résultat à 1400Hz

Calcul théorique:
 $\lambda = 24\text{cm}$



Résultat à 2000Hz

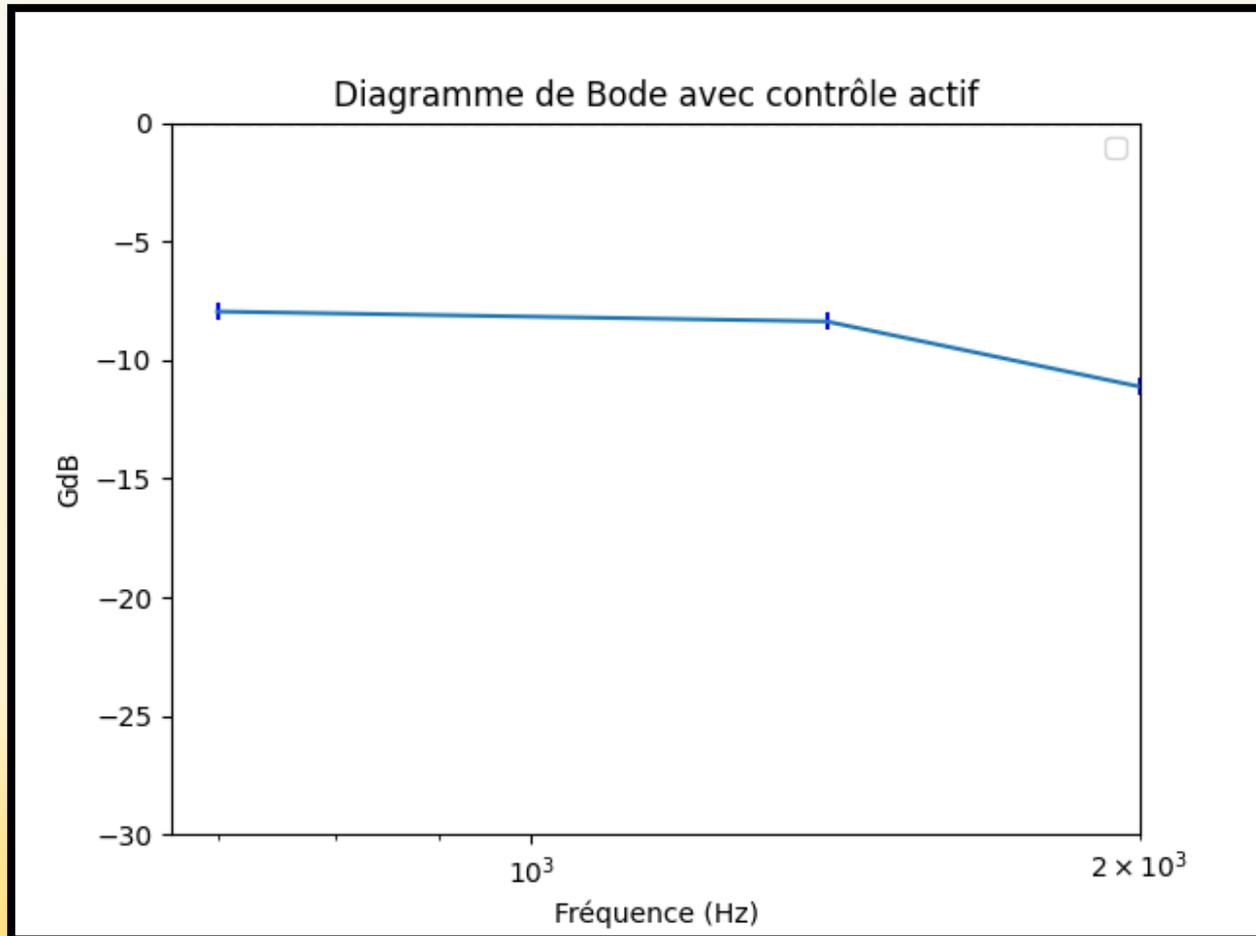
Calcul théorique:
 $\lambda = 17\text{cm}$



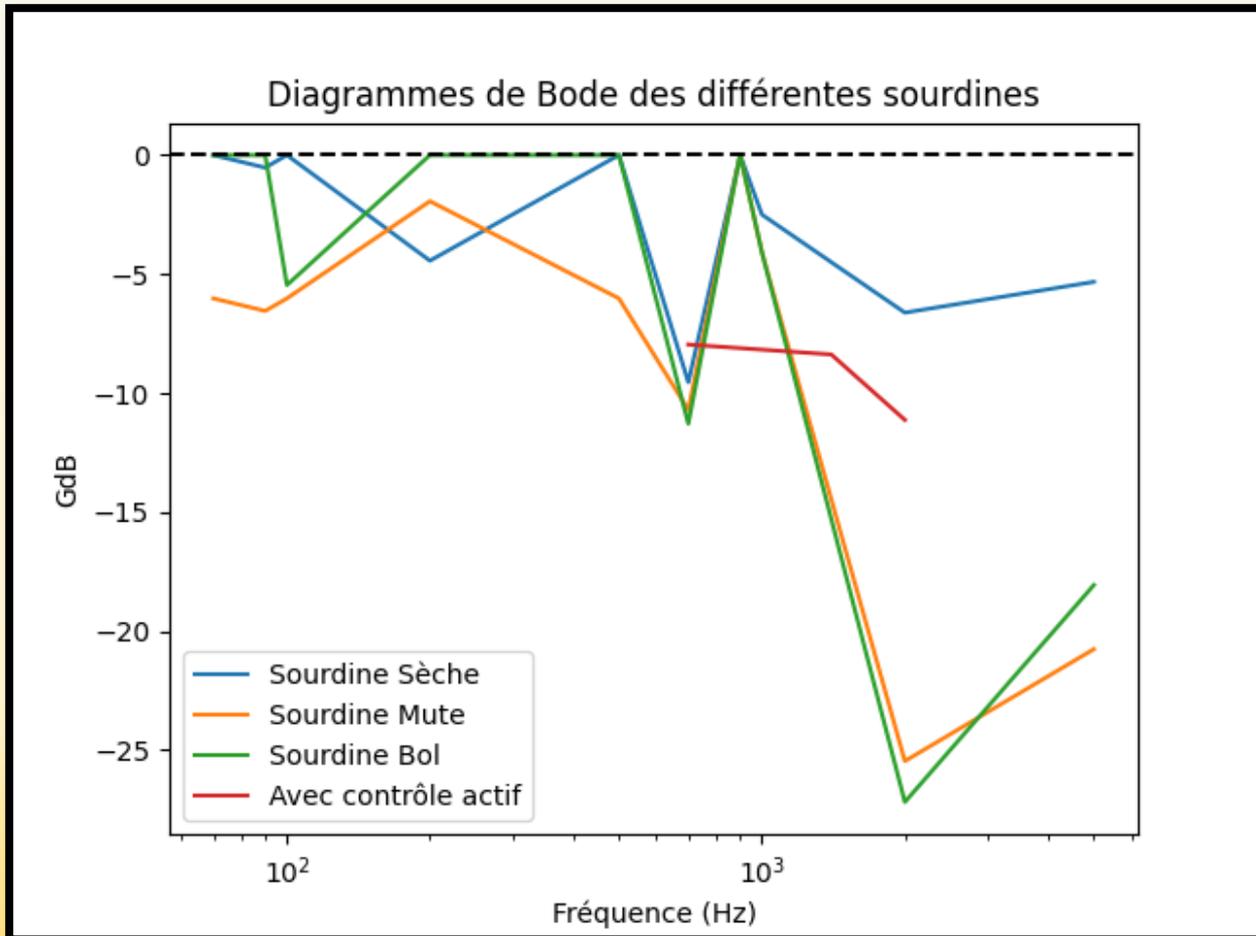
Atténuation maximale obtenue aux différentes fréquences

- On se place sur un nœud et on détermine l'amplitude du signal obtenu
- On le compare avec celui obtenu sans contrôle actif en plaçant un écran sur un haut-parleur

Le diagramme de Bode obtenu



Comparaison avec les sourdines classiques



Conclusion

Conclusions de cette expérience

- Plus efficace qu'une sourdine sèche *(plus utilisée par les trompettistes)*
- Très efficace aux alentours de 1000Hz par rapport aux autres sourdines *(lieu du pic sur la transformée de Fourier)*
- Moins efficace à plus grande fréquence

Les possibles améliorations du dispositif

- Prise en compte de la spatialisation du son
- Éviter les zones d'interférences constructives (qui sont contraires au but recherché)
- Plus la longueur d'onde est grande (fréquence faible), plus l'étendue spatiale de l'annulation du bruit est grande en un point
 - Système beaucoup plus utile pour des instruments à vent jouant des notes plus graves que la trompette (tuba, trombone...)

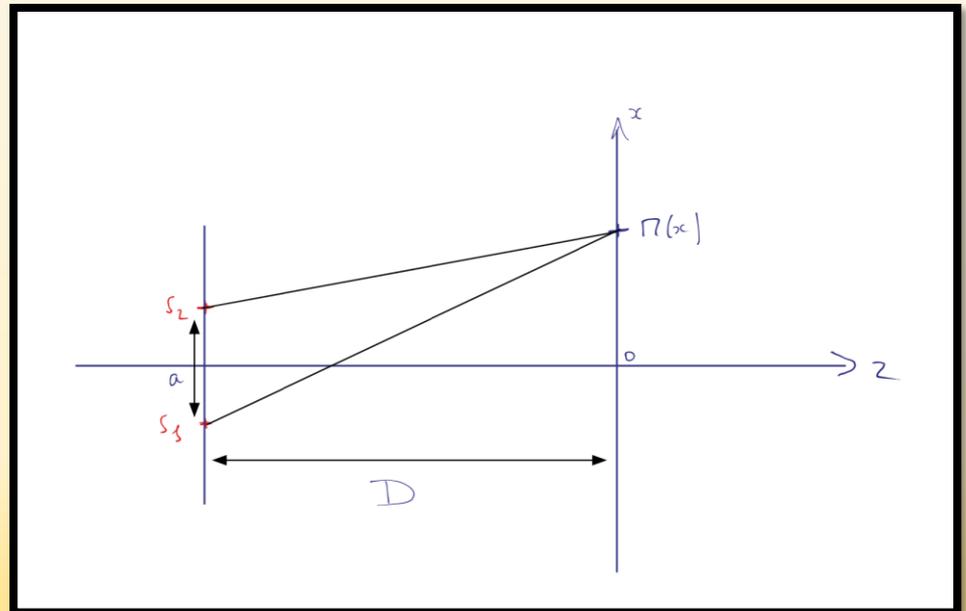
Dans l'air:

La différence de marche au point M vaut

$$\delta = \frac{ax}{D}$$

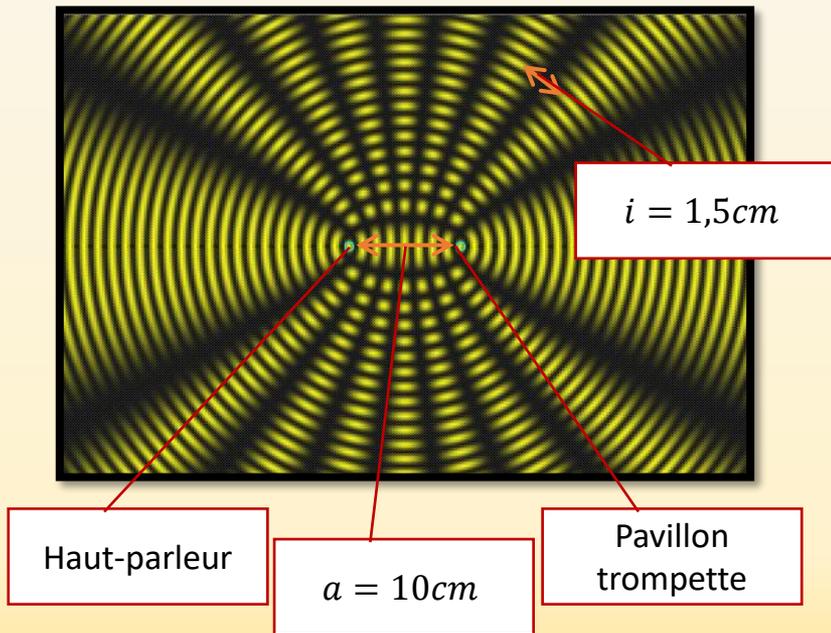
L'interfrange vaut alors

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

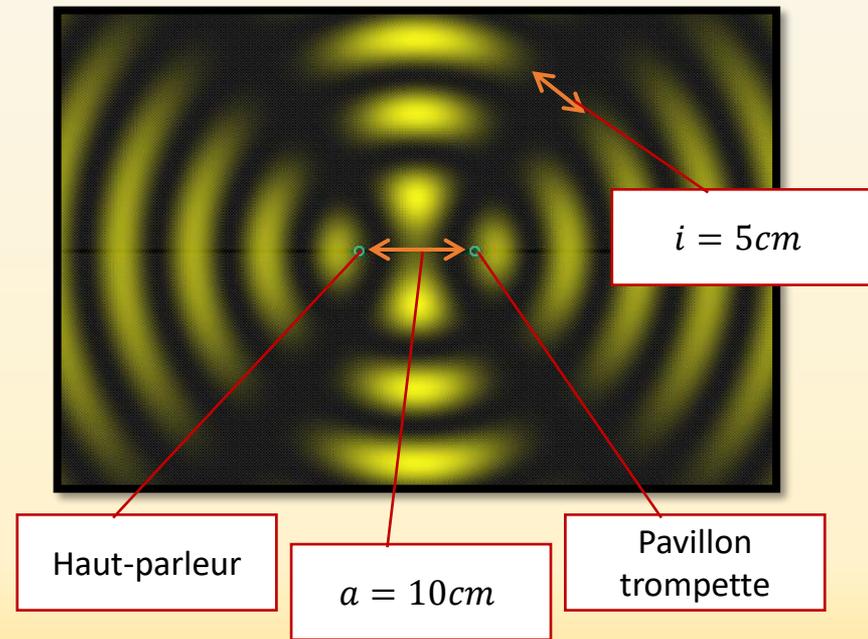


Une simulation

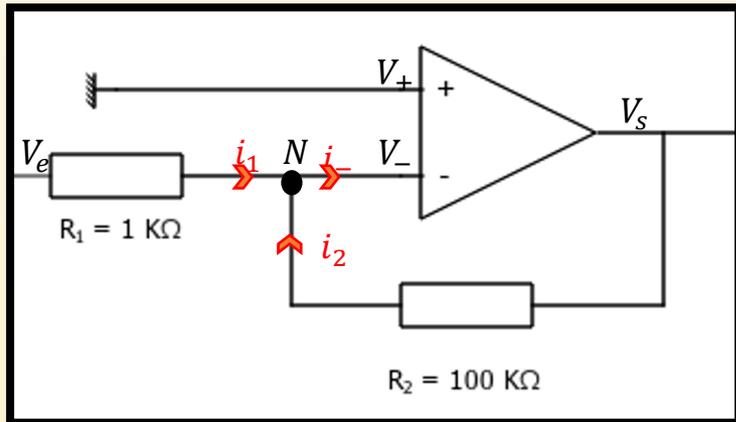
Longueur d'onde faible
Fréquence de l'ordre de grandeur de 10000Hz



Longueur d'onde élevée
Fréquence de l'ordre de grandeur de 1000Hz



Annexe 1: Fonction de transfert ALI montage amplificateur inverseur



Loi des nœuds en N donne

$$i_1 + i_2 = i_- = 0$$

$$\text{i.e. } \frac{V_e - V_-}{R_1} + \frac{V_s - V_-}{R_2} = 0$$

$$\text{Or } V_- = V_+ = 0$$

$$\text{Donc } \frac{V_e}{R_1} + \frac{V_s}{R_2} = 0$$

$$\text{i.e. } \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Annexe 2: Programme python permettant de tracer le spectre d'un son

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 from scipy.io import wavfile
4
5
6
7 sample_rate, audio_data = wavfile.read("C:/Users/lelie/OneDrive/Bureau/Travail/TIPE/Résultats/Trompette.wav")
8
9 if audio_data.ndim == 2:
10     audio_data = np.mean(audio_data, axis=1)
11
12
13
14 n = len(audio_data)
15 frequencies = np.fft.fftfreq(n, 1 / sample_rate)
16 audio_fft = np.fft.fft(audio_data)
17
18
19
20 plt.figure(figsize=(10, 6))
21 plt.plot(frequencies, np.abs(audio_fft))
22 plt.title('Spectre du signal audio', fontsize = 15)
23 plt.xlabel('Fréquence (Hz)', fontsize = 15)
24 plt.ylabel('Amplitude (V)', fontsize = 15)
25 plt.xlim(0, sample_rate/6)
26 plt.grid()
27 plt.show()
```