

Limitation de l'effet Larsen au sein des prothèses auditives



Fonctionnement d'une prothèse auditive

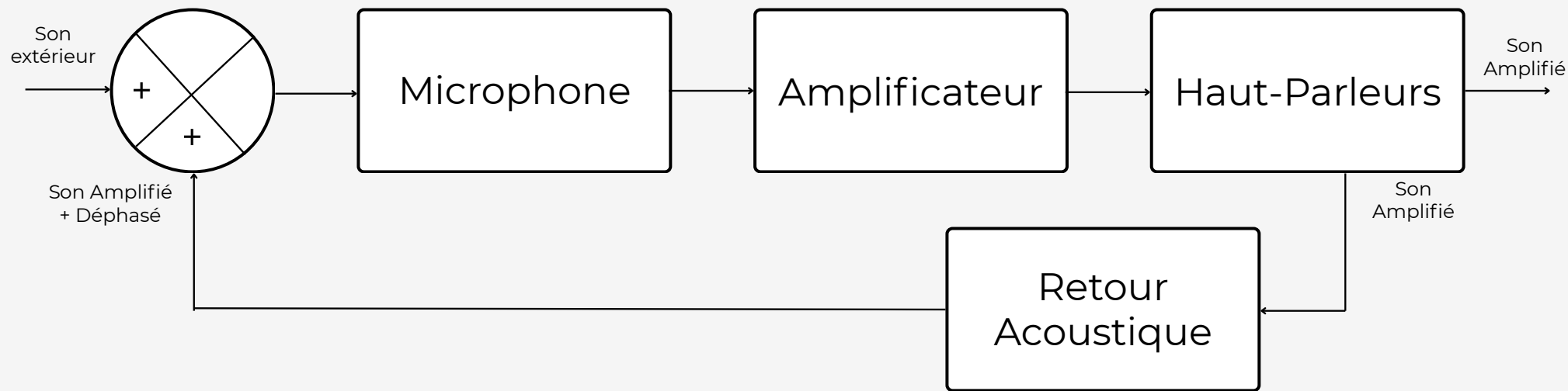


Objectifs & Problématique

Quelles solutions pouvons-nous envisager afin de limiter l'impact de l'effet Larsen sur les performances d'une prothèse auditive ?

- ***Modéliser le Larsen***
- ***Solution passive et limites***
- ***Stratégie d'annulation active***
- ***Ouverture - Annulation numérique***

La prothèse auditive comme système bouclé



Modélisation du retour acoustique

Equation de d'Alembert:

$$\frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial t^2} = 0$$

Solution en OSPH:

$$p(x, t) = P_0 e^{j(\omega t - kx)}$$

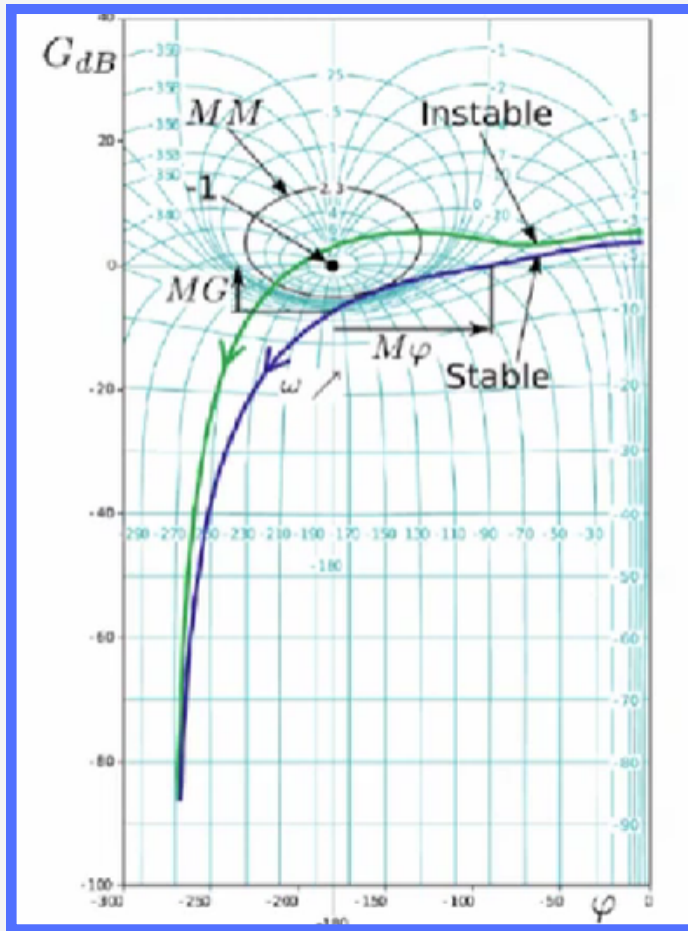
$$H_{\text{acoustique}}(j\omega) = \frac{p(d, t)}{p(0, t)} = e^{-jkd} = e^{-j\omega \frac{d}{c}} = e^{-j\omega\tau}$$

Modélisation du retour acoustique

Le retour acoustique est un **retard pur**.
Comment le rendre négligeable ?

$$\Delta\phi_{\text{acoustique}} = -360 \cdot f \cdot \frac{d}{c} \approx -4^\circ$$

Critère du revers



Deux phénomènes physiques:

Le Gain: gérée électroniquement,
translation du lieu vers le haut

La distance Micro - Haut Parleur: distance
minimale et maximale d'existence,
translation du lieu vers la gauche

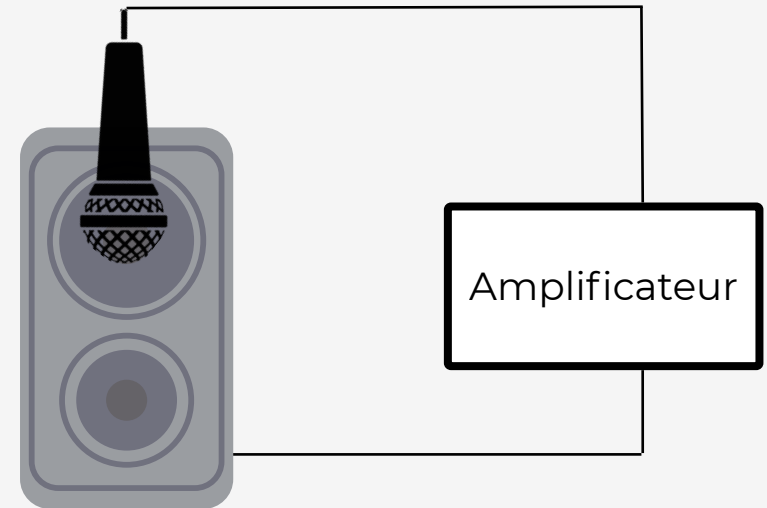
Mise en évidence du Larsen

Objectif: entendre et visualiser le Larsen à l'oscilloscope

Démarche:

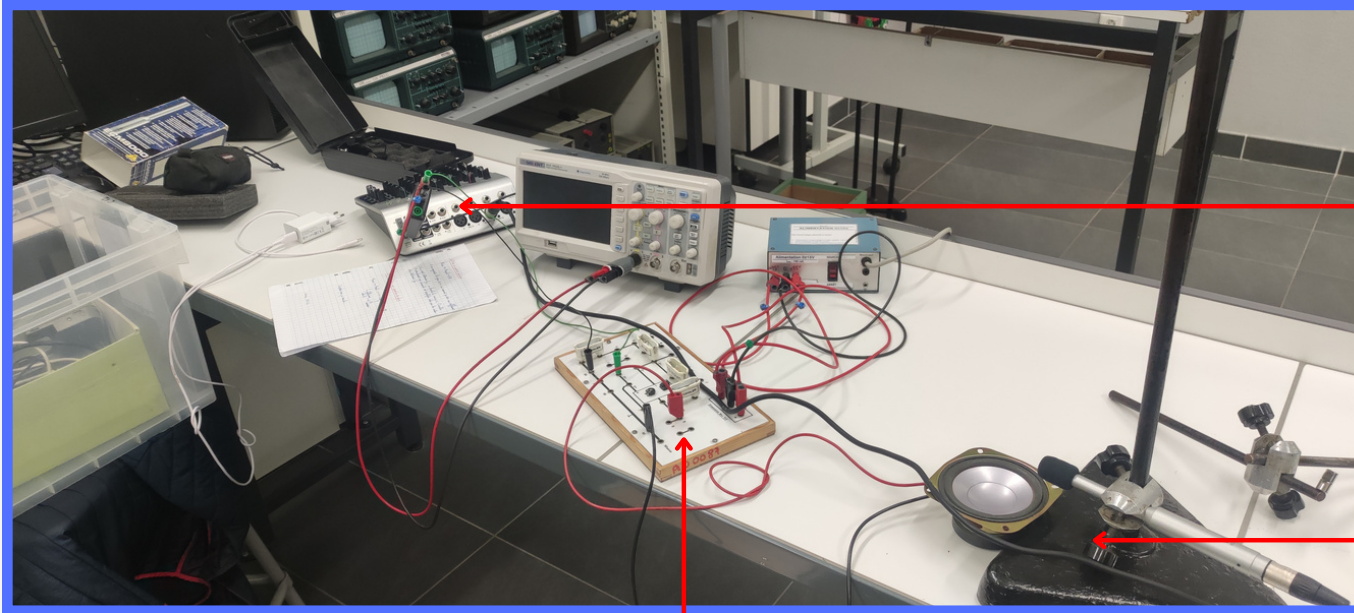
- Placer le micro proche du haut-parleur
- Relier les deux composants avec un amplificateur entre ces derniers et alimenter le circuit

Résultat attendu: un sifflement de fréquence constante et une sinusoïde à l'oscilloscope



Présentation du montage

Mise en évidence du Larsen

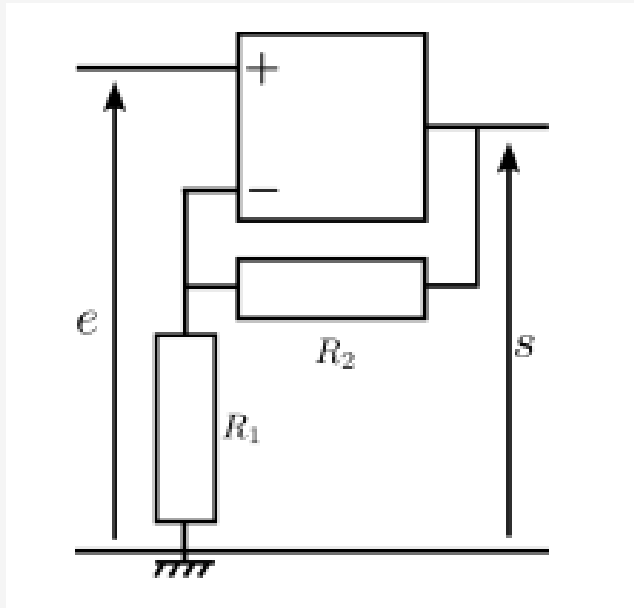


*Alimentation du micro /
Table de mixage*

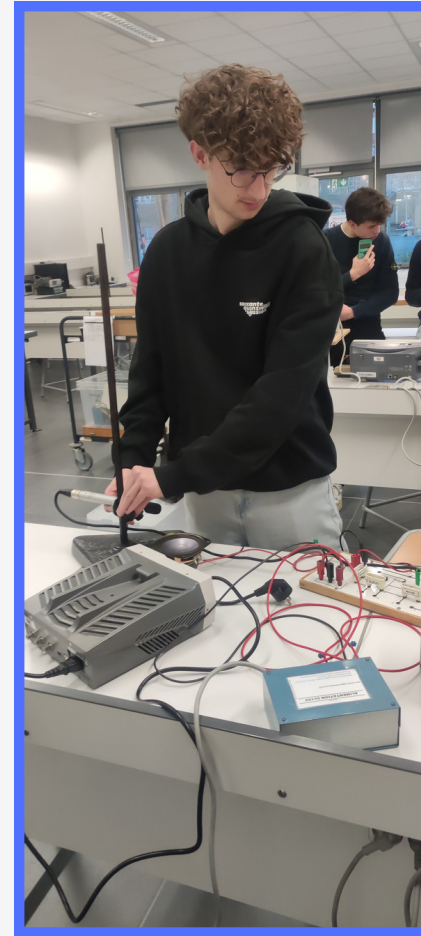
Micro + Haut Parleur

*Montage à ALI amplificateur
non-inverseur*

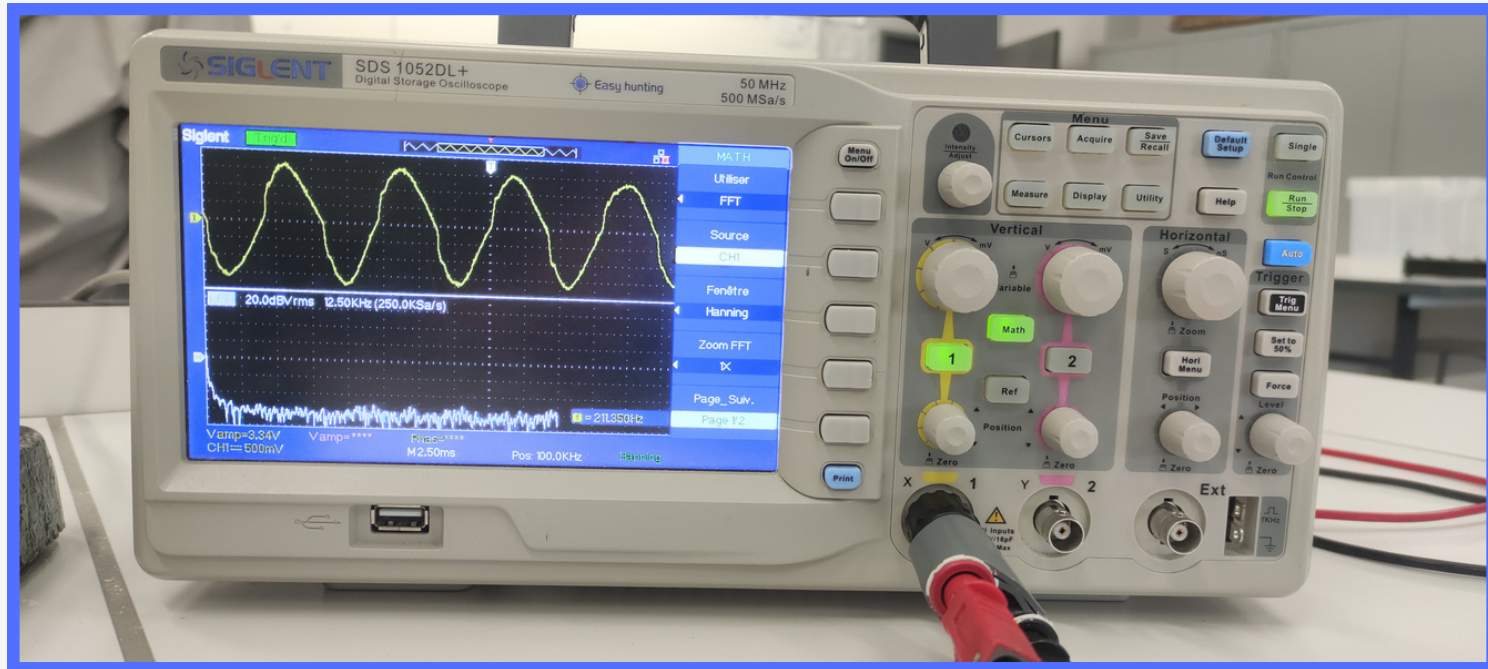
Mise en évidence du Larsen



Amplificateur non
inverseur



Mise en évidence du Larsen



Résultats

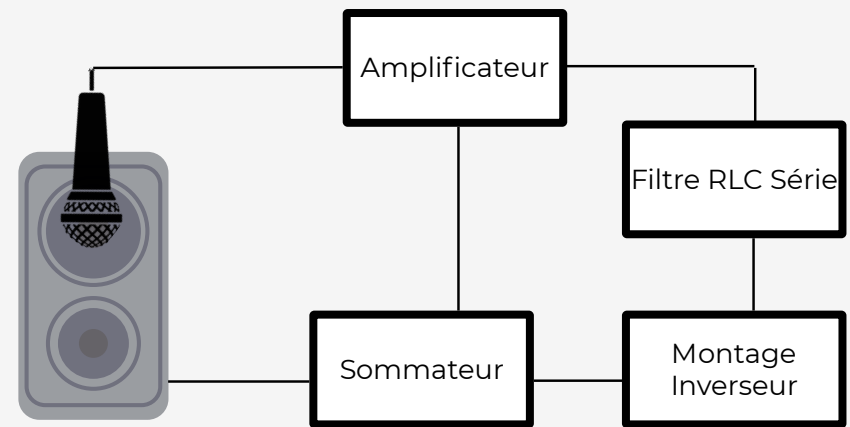
Tentative d'isolation du Larsen à l'aide d'un filtre RLC série

Objectif: supprimer le Larsen pour avoir un signal amplifié non-parasité

Démarche:

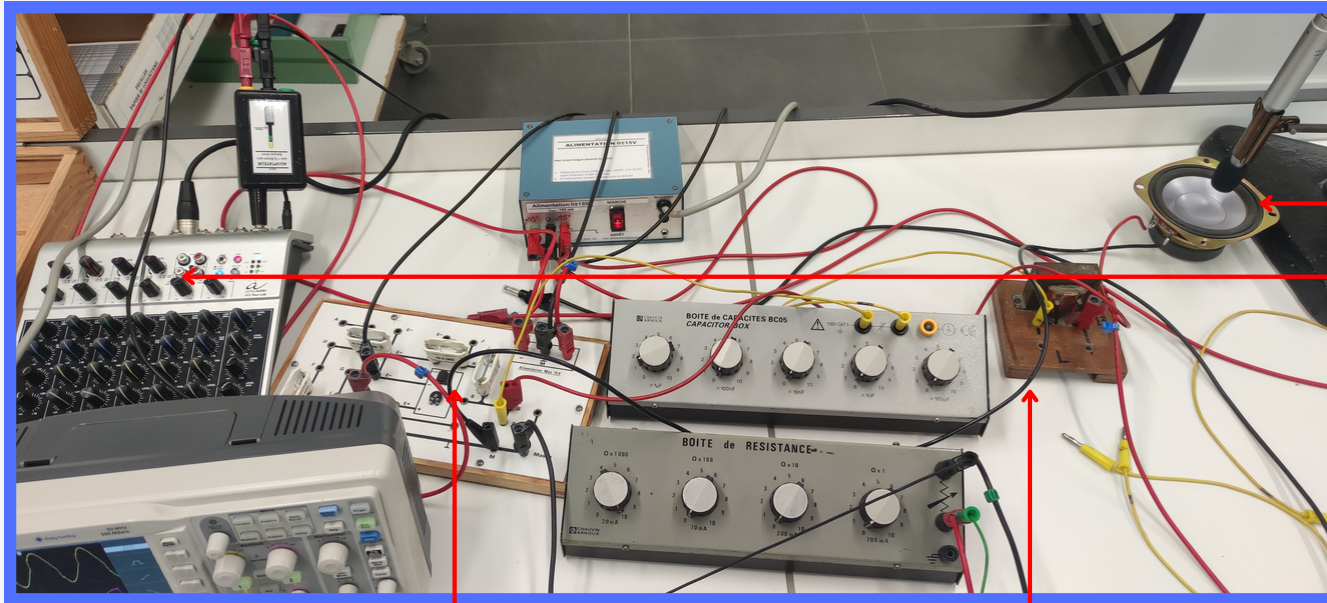
- Reprendre le montage précédent
- Isoler le Larsen à l'aide d'un passe bande, le déphaser de 180 degrés, puis le sommer au signal amplifié parasité

Résultat attendu: absence de sifflement, voix amplifiée quand on parle dans le micro, signal sonore quelconque à l'oscilloscope



Présentation du montage

Tentative d'isolation du Larsen à l'aide d'un filtre RLC série



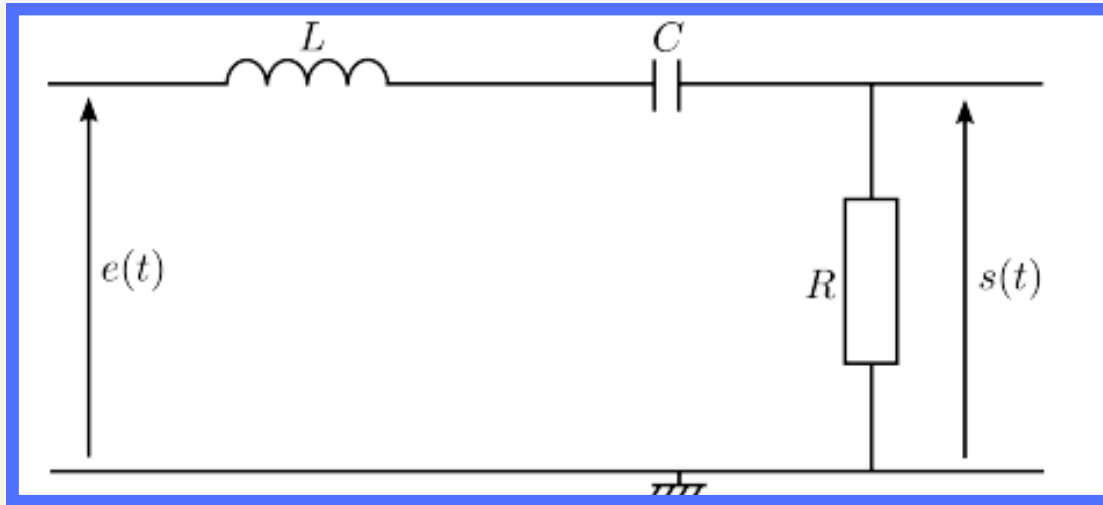
Alimentation du micro /
Table de mixage

Micro + Haut Parleur

Filtre RLC série

Montage à ALI amplificateur
inverseur

Limites du filtre RLC série

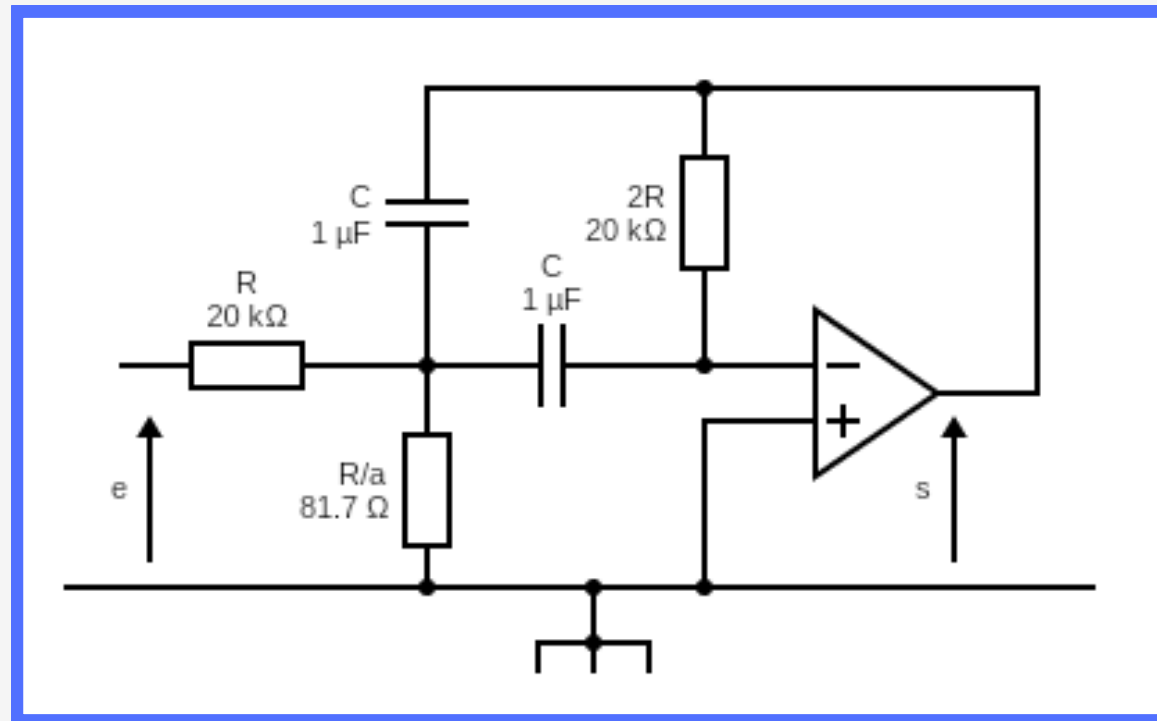


$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Or, pour $f_0 = 125\text{Hz}$ et $C=400\text{ nF}$, on a $L=4\text{H}$

Un filtre à ALI: le filtre de Rauch



Présentation du montage

Un filtre à ALI: le filtre de Rauch

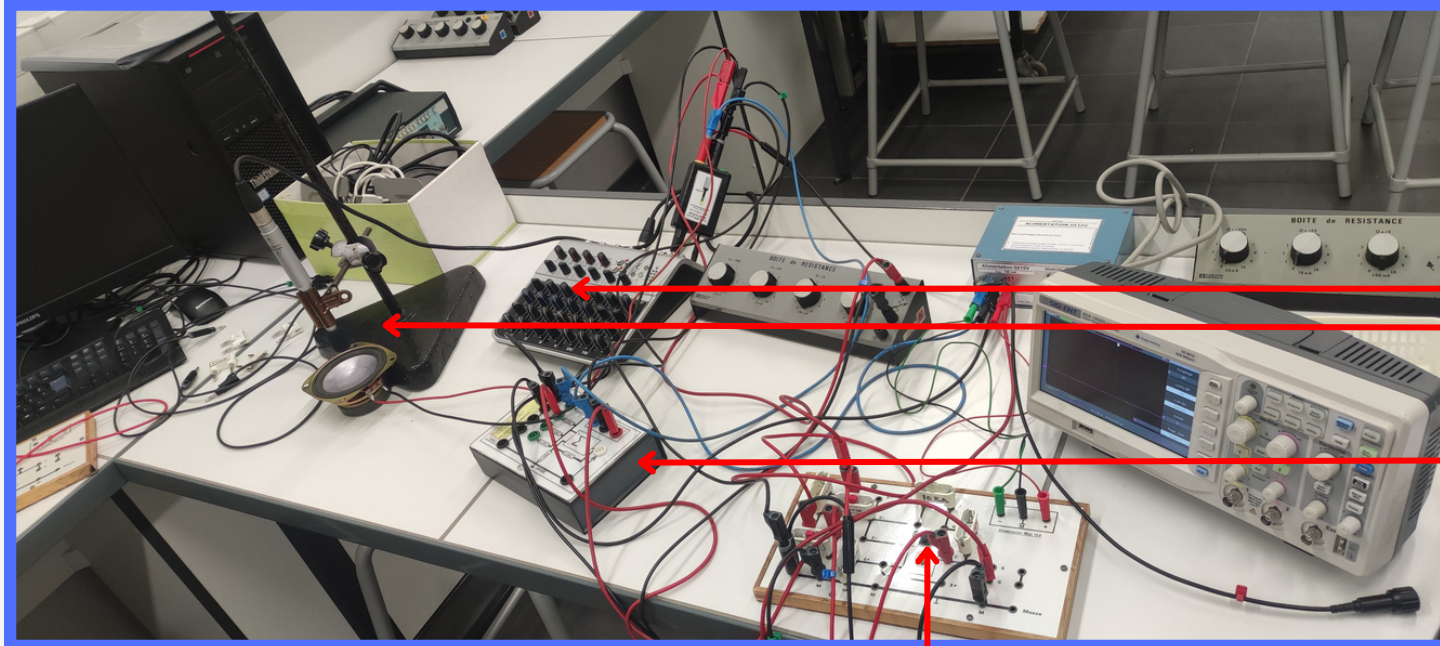
$$H(j\omega) = H(j\omega) = \frac{-1}{1 + j\omega RC + \frac{1+a}{2j\omega RC}} = \frac{H_0}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

avec $H_0 = -1$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \sqrt{\frac{1+a}{2}}$$

$$Q = \sqrt{\frac{1+a}{2}}$$

Un filtre à ALI: le filtre de Rauch



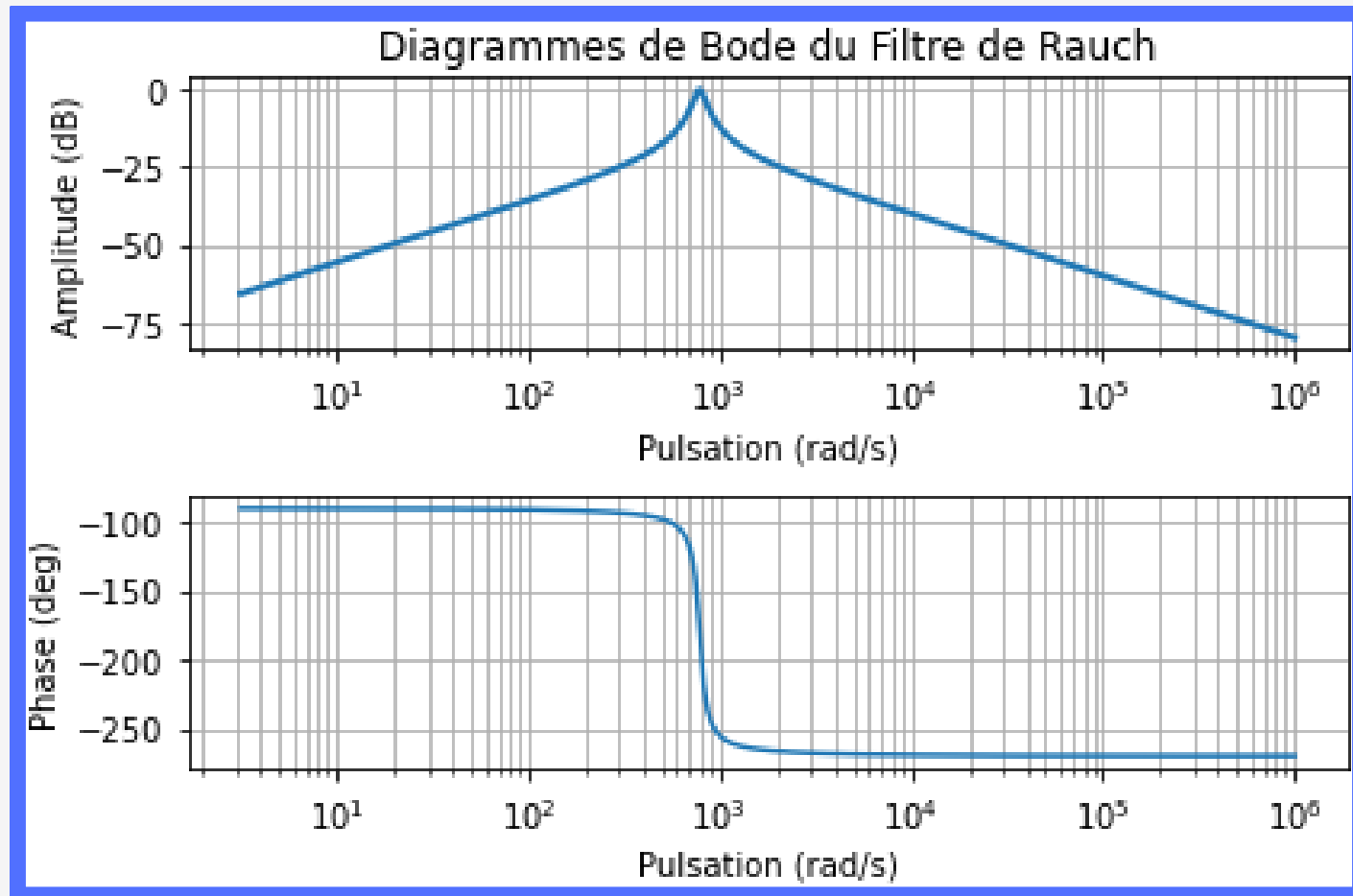
*Alimentation du micro /
Table de mixage*

Micro + Haut Parleurs

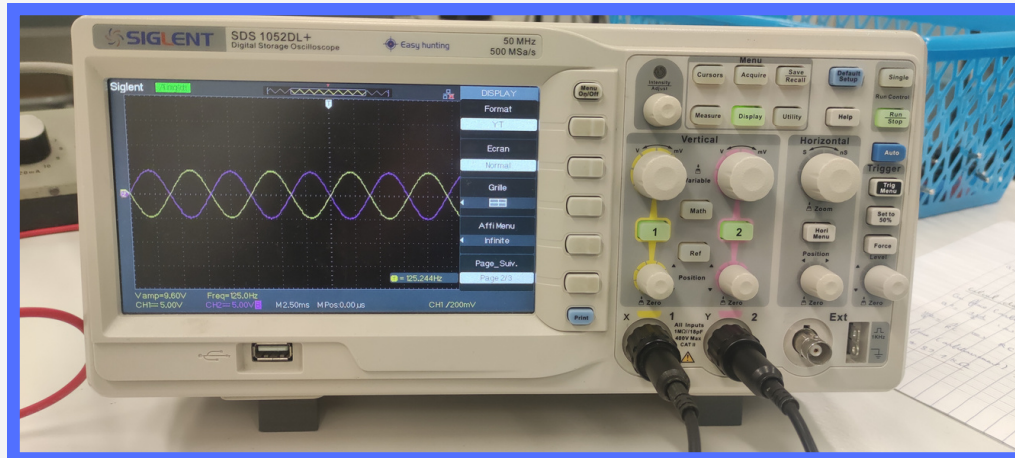
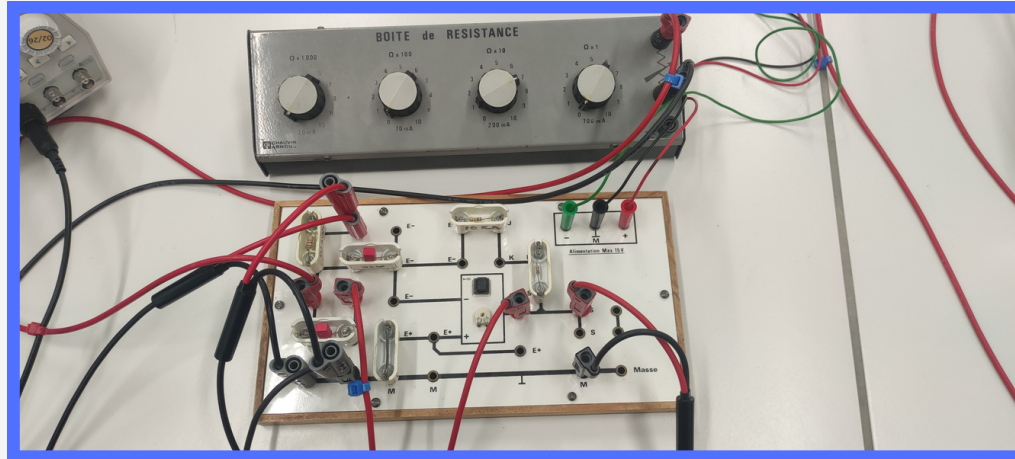
Sommateur

Filtre de Rauch

Comportement du filtre de Rauch

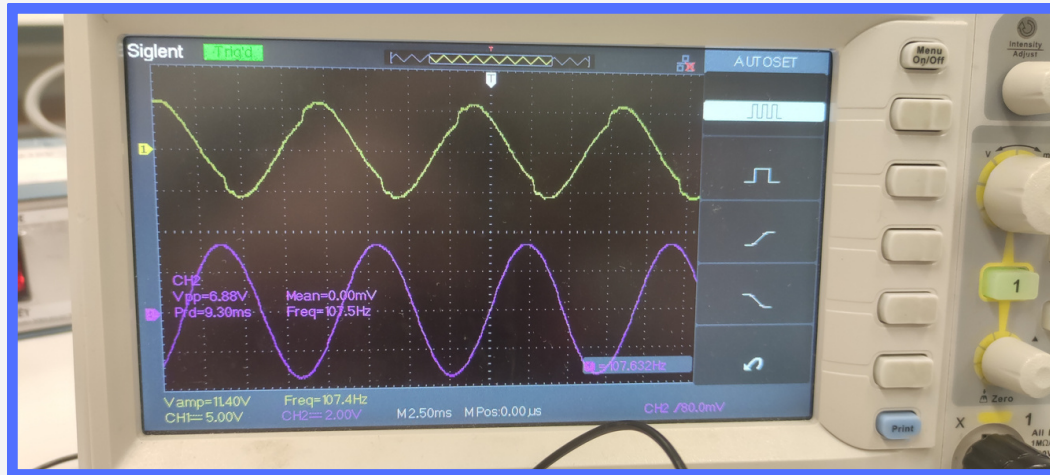
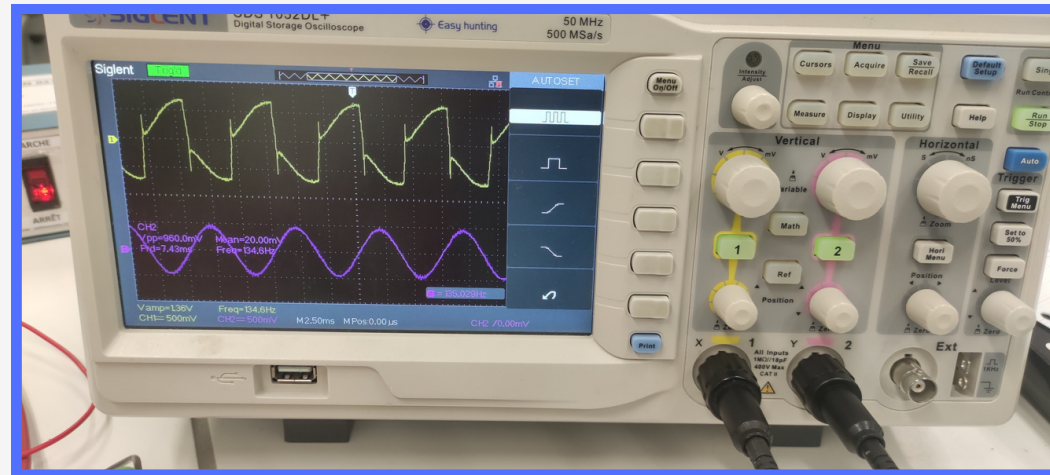


Comportement du filtre de Rauch



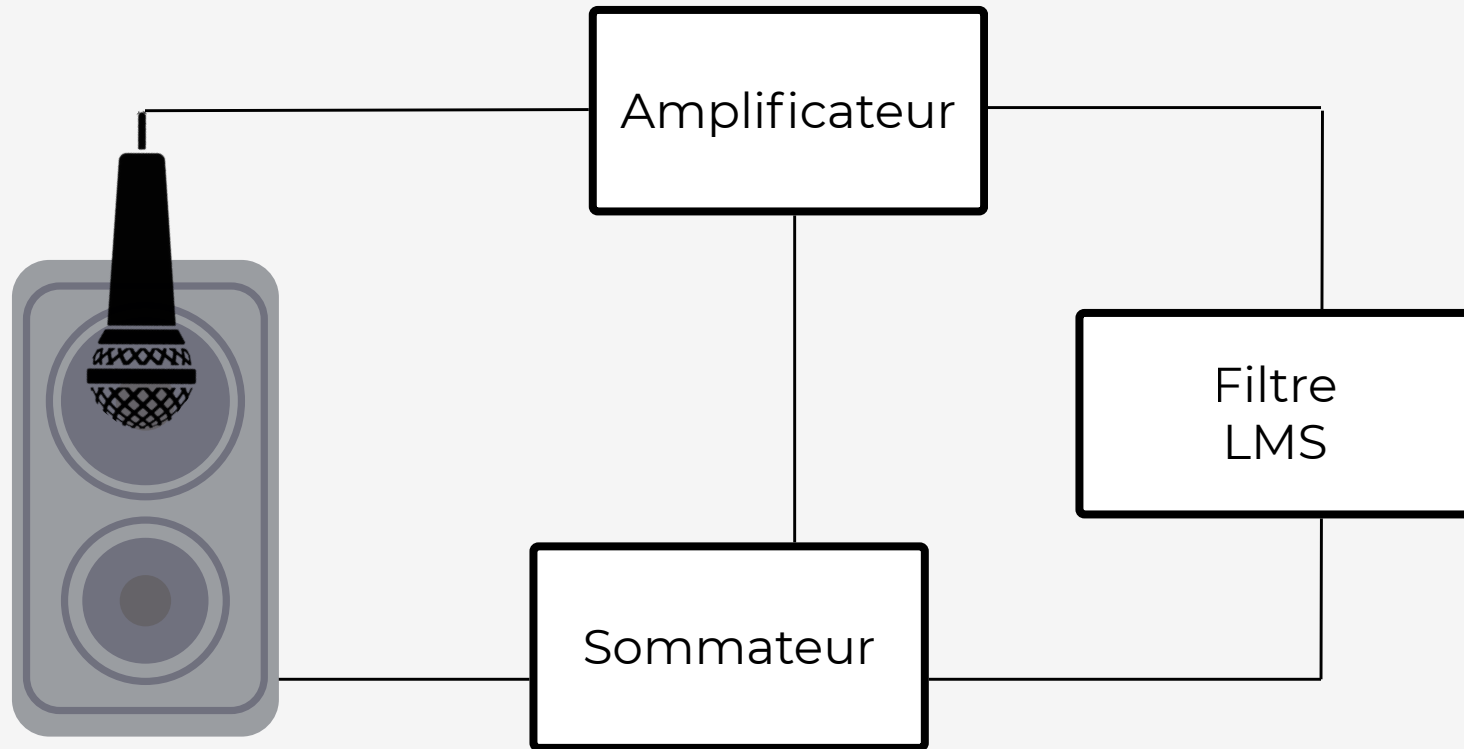
Montage et résultats expérimentaux

Limites du Filtre de Rauch



Sensible: -à la tolérance des composants
-aux conditions initiales sonores

Conclusion: vers une annulation numérique ?



Annexe 1: Equation acoustique de d'Alembert

Equation d'Euler linéarisée:

$$\mu_0 \frac{\partial v}{\partial t} = - \frac{\partial p}{\partial x}$$

Equation d'état thermodynamique:

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + \mu_0 \frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

Conservation de la masse:

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} = \mu_0 \chi_S \frac{\partial p}{\partial t}$$

Annexe 2: Filtre de Rauch

Loi des noeuds au noeud central:

$$V_A \cdot \left(\frac{1+a}{R} + 2jC\omega \right) = \frac{V_e}{R} + jC\omega \cdot V_s$$

Loi des noeuds à l'entrée inverseuse:

$$V_A = -\frac{V_s}{2jRC\omega}$$

$$H(j\omega) = \frac{V_s}{V_e} = \frac{-1}{1 + j\omega RC + \frac{1+a}{2j\omega RC}}$$

Annexe 3: Python

```
1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  """
3  Spyder Editor
4
5  This is a temporary script file.
6  """
7
8  import numpy as np
9  import matplotlib.pyplot as plt
10 from scipy import signal
11
12 # Constantes du système
13
14 H0 = -1
15 a = 122.4 #sans unité
16 R = 10**4 #en ohms
17 C = 10**(-6)
18 Q = ((1+a)/2)**(1/2)
19 omega_0= (1/(R*C)) * Q
20
21 # Construction du modèle
22
23 # Définition du numérateur et du dénominateur
24 num = [(H0 * omega_0/Q), 0]
25 denom = [1, omega_0 / Q, omega_0**2]
26
27 # Création de la fonction de transfert
28 ft = signal.lti(num, denom)
29
30 # Calcul du diagramme de Bode
31 omega = np.logspace(0.5, 6, 1000)
32 w, mag, phase = signal.bode(ft, w=omega)
33
34
35 # Affichage
36 plt.subplot(211)
37 plt.title('Diagrammes de Bode du Filtre de Rauch')
38 plt.semilogx(w, mag, lw=2) # Amplitude
39 plt.xlabel('Pulsation (rad/s)')
40 plt.ylabel('Amplitude (dB)')
41 plt.grid(which='both')
42
43 plt.subplot(212)
44 plt.semilogx(w, phase) # Phase
45 plt.xlabel('Pulsation (rad/s)')
46 plt.ylabel('Phase (deg)')
47 plt.grid(which='both')
48
49 plt.tight_layout() # Ajuster le placement des courbes
50 plt.show()
```