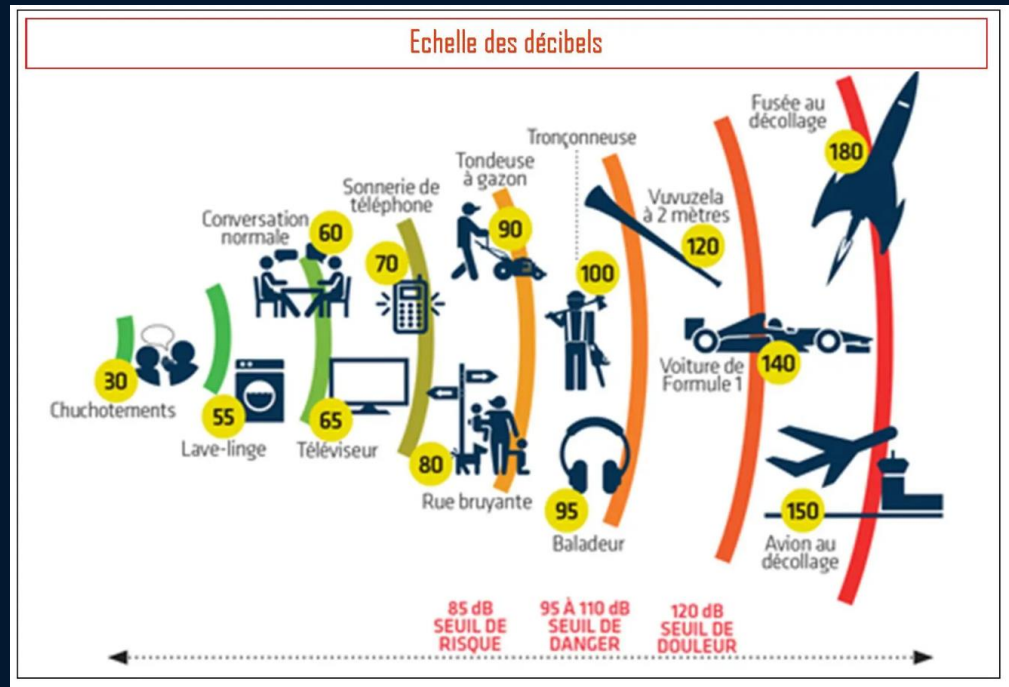


PARAMÈTRES PHYSIQUES DES MATÉRIAUX ISOLANTS: INFLUENCE SUR L'ISOLATION ACOUSTIQUE

SOMMAIRE

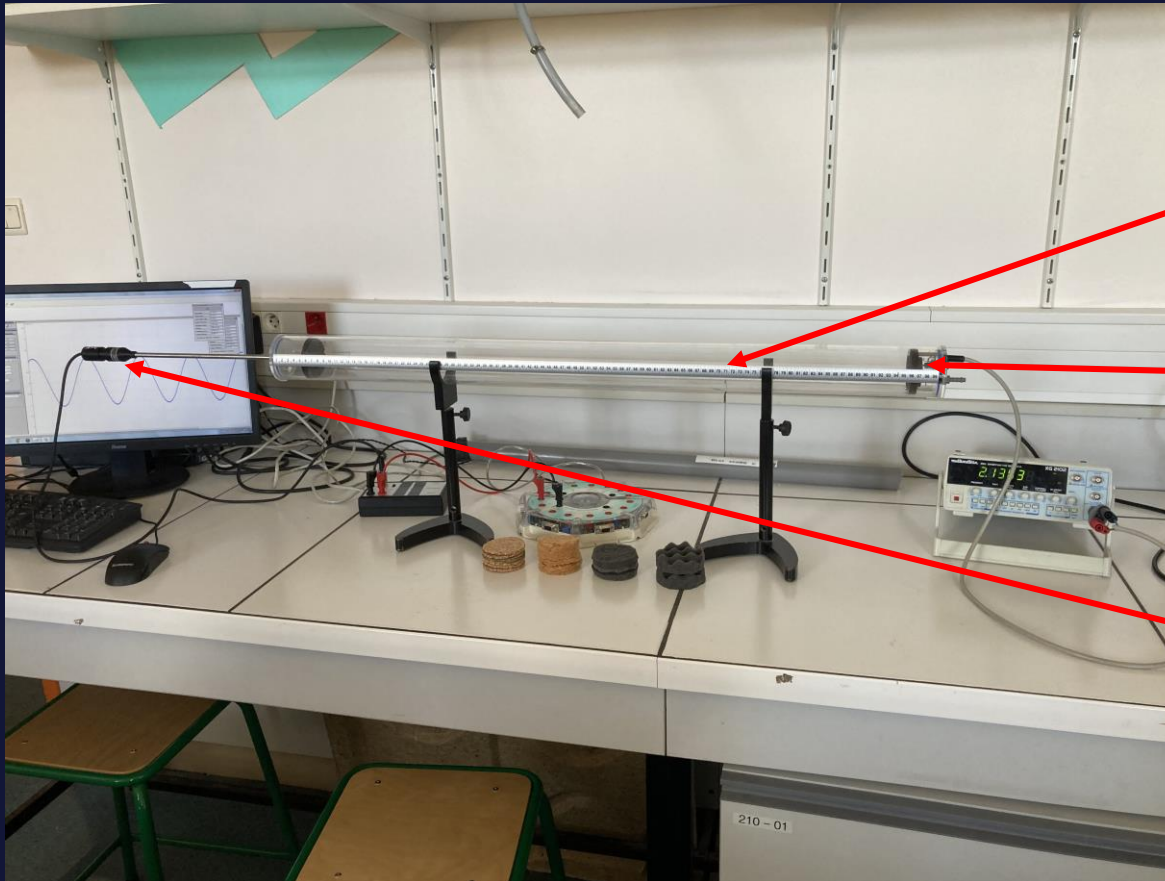
- I. Cadre d'étude et hypothèses
- II. Comparaisons des isolants, détermination du plus efficace
- III. Étude en profondeur du liège
 - a. Influence de l'épaisseur sur l'atténuation sonore
 - b. Influence de la porosité sur l'atténuation sonore
 - c. Résistance acoustique spécifique du liège

PRÉSENTATION DU SUJET



- 50 dB la nuit
- 65 dB le jour

CADRE D'ÉTUDE ET HYPOTHÈSES

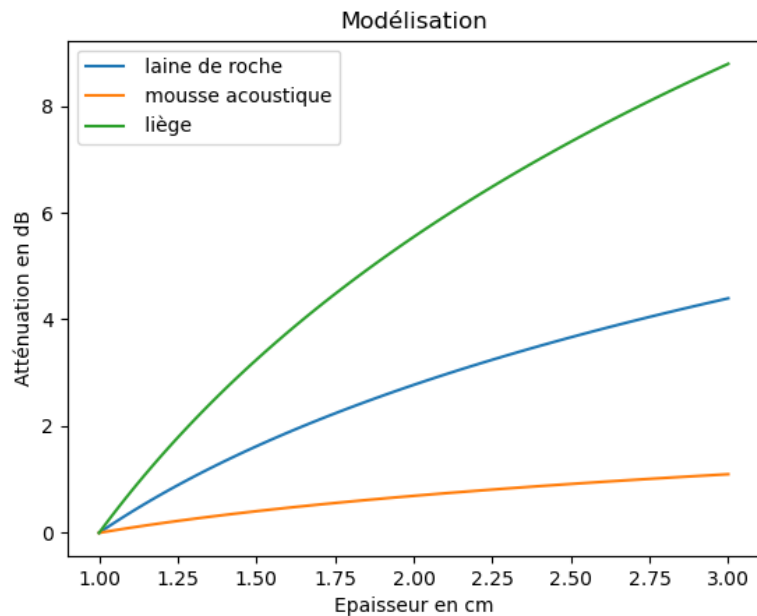


Tube de Kundt

Haut Parleur

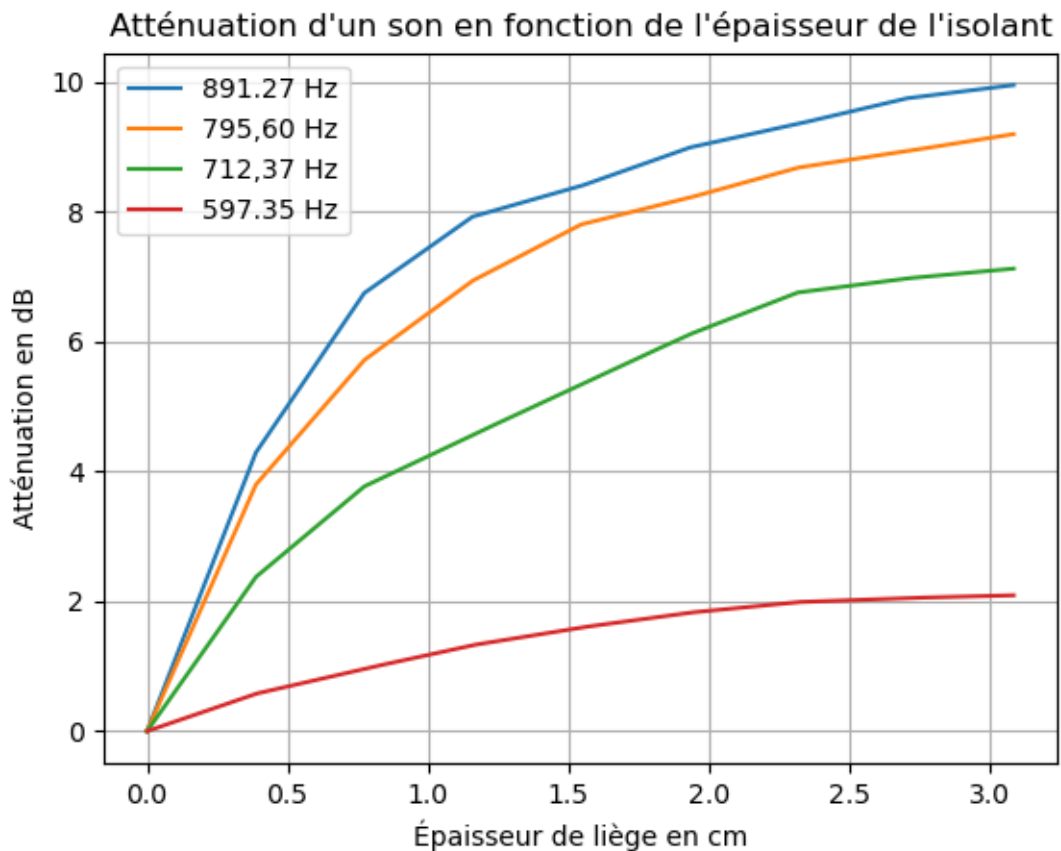
Capteur de pression
(microphone)

COMPARAISONS DES ISOLANTS, DÉTERMINATION DU PLUS EFFICACE



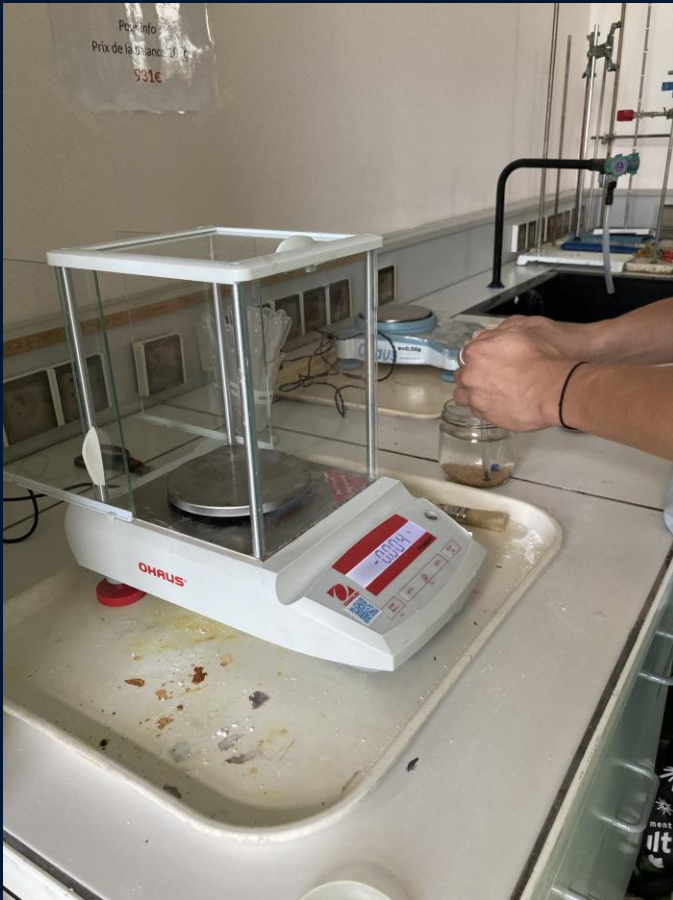
ÉTUDE EN PROFONDEUR DU LIÈGE

a) Influence de l'épaisseur



ÉTUDE EN PROFONDEUR DU LIÈGE

b) Influence de la porosité de l'isolant



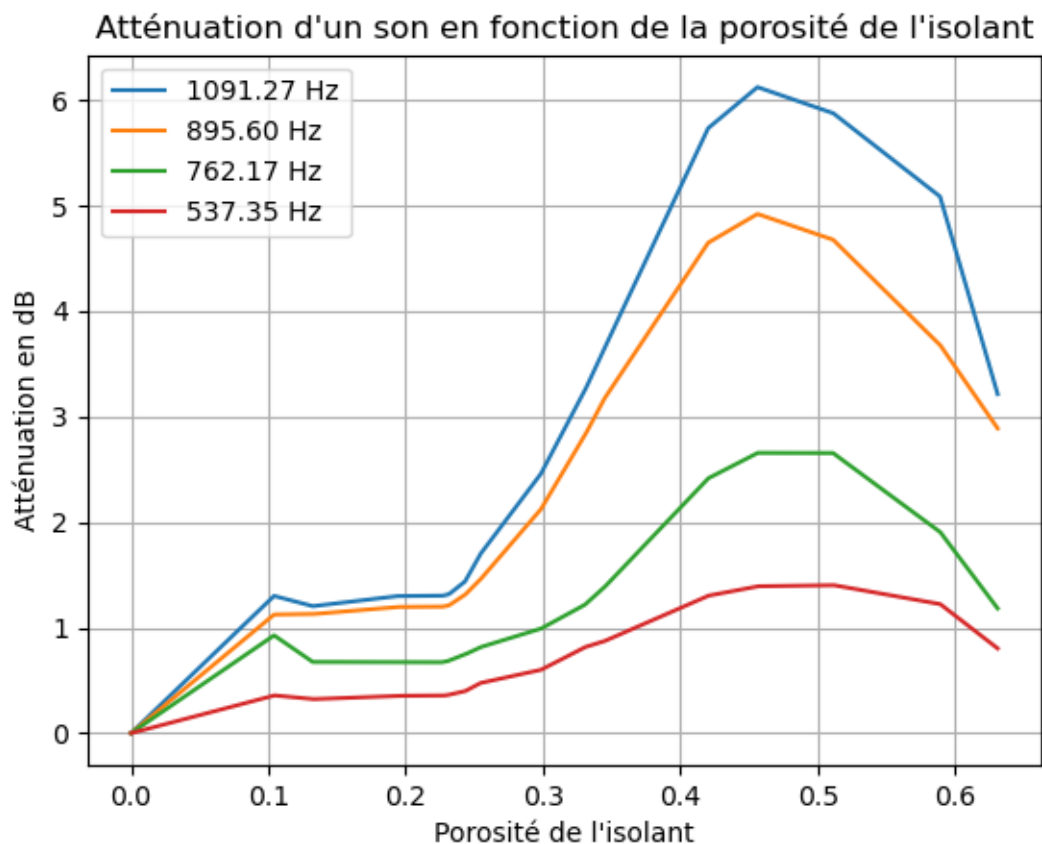
$$\sigma = \frac{V_{air}}{V_{total}}$$

$$\text{Or } \frac{(m_{eau} - m_{sec})}{\rho_{eau}} = V_{eau}$$

$$\text{Et } V_{air} = V_{eau}$$

ÉTUDE EN PROFONDEUR DU LIÈGE

b) Influence de la porosité de l'isolant



Porosité échantillon de mousse: 0.780

Porosité échantillon de laine de roche: 0.667

ÉTUDE EN PROFONDEUR DU LIÈGE

c) Résistance acoustique spécifique du liège

$$z(x, \omega) = \frac{Z(x, \omega)}{\rho_0 c_0} = \frac{p}{\rho_0 c_0 v_n}$$

Par ailleurs: $z(x, \omega) = r(x, \omega) + i\chi(x, \omega)$

r : la résistance acoustique spécifique

χ : la réactance acoustique spécifique

La pression dans le tube va avoir pour expression:

$$\left[(A + B)^2 \cos^2 \left(kx + \frac{\varphi}{2} \right) + (A - B)^2 \sin^2 \left(kx + \frac{\varphi}{2} \right) \right]^{1/2} \quad (1)$$

On dispose aussi des formules suivantes:

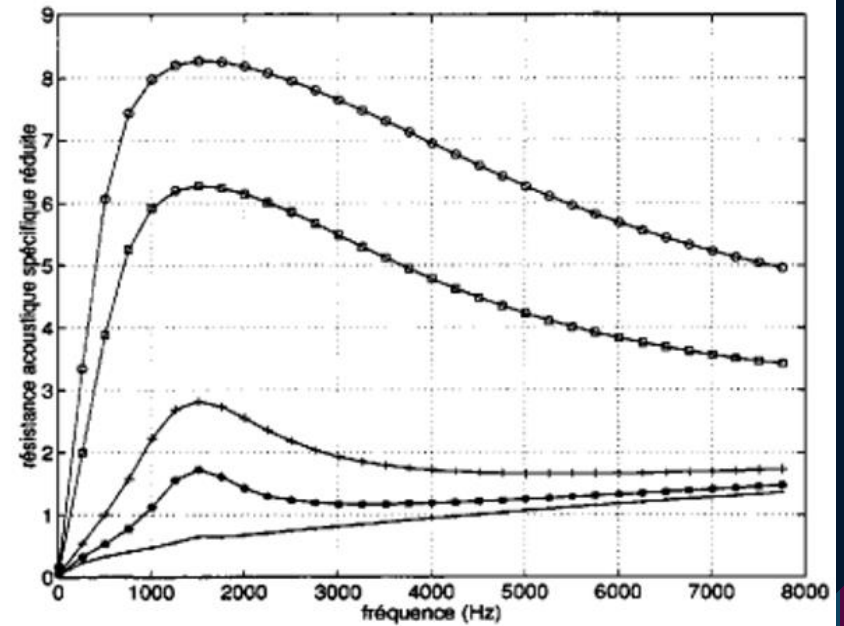
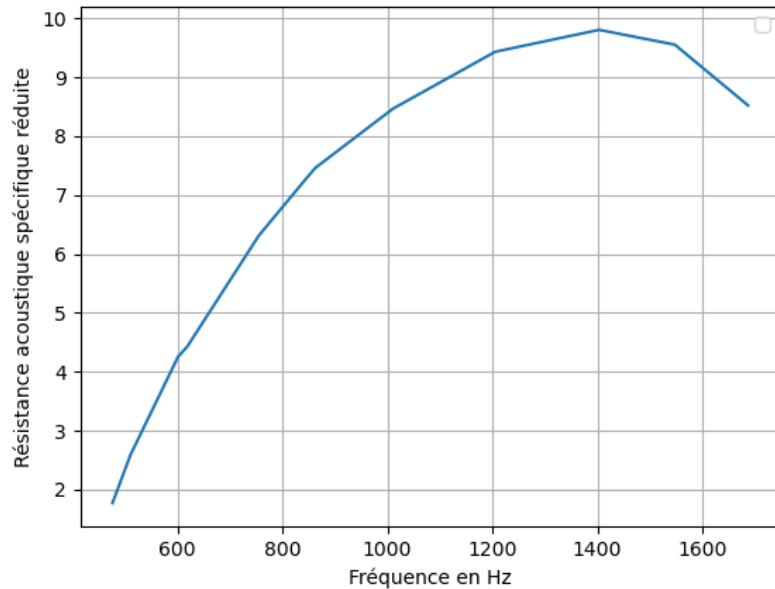
$$\varphi = -\pi - \frac{4\pi}{c_0 T} D_1 \quad (2)$$

$$r = \frac{1 - \left(\frac{B}{A} \right)^2}{1 - \frac{2B}{A} \cos(\varphi) + \left(\frac{B}{A} \right)^2} \quad (3)$$

ÉTUDE EN PROFONDEUR DU LIÈGE

c) Résistance acoustique spécifique du liège

Résistance acoustique spécifique du liège en fonction de la fréquence



CONCLUSION

- Couplage de matériaux (dans un dispositif de masse-ressort-masse)
- Utilisation de matériaux poreux
- Nécessité d'une épaisseur minimum
- Autre piste : Utilisation de géométrie particulièrement efficace

ANNEXE 1

Programme influence de l'épaisseur

```
from math import log10

epaisseur=0,386 #cm
xepaisseurs=[0,0.386,2*0.386,3*0.386,4*0.386,5*0.386,6*0.386,7*0.386,8*0.386]
def diff_intensité_sonore(U0,U1):
    '''Cette fonction calcul la différence d'intensité sonore en décibels entre 2 sons dont on dispose d'une mesure de pression acoustique en tension.
    Cette différence de dB est calculée en faisant le rapport de la tension maximum mesurée pour un premier signal qu'on notera U0 et celui de l'autre signal noté U1.
    Entrée: deux floats (deux tensions)
    Sortie: un float (la différence de dB)'''
    ΔU=round(10*log10(U0/U1),3) #round(n,3) arrondi le résultat à 3 chiffres après la virgule
    return ΔU

signal1=[3.928,1.641,1.054,0.795,0.651,0.592,0.532,0.502,0.472]
signal2=[4.765,2.761,2.001,1.667,1.394,1.167,1.005,0.956,0.923]
signal3=[3.853,1.437,0.815,0.621,0.557,0.503,0.447,0.408,0.389]
signal4=[2.104,1.843,1.687,1.551,1.457,1.382,1.331,1.312,1.299]

def différence_atténuation_épaisseurs2(signal):
    '''Cette fonction créer une liste des différences d'intensité sonore entre un signal avec n épaisseurs de liège et celui sans liège où n est un entier naturel
    Entrée: liste de floatants donnant les valeurs maximales de tensions pour le signal i avec l'indice d'un float dans la liste correspondant au nombre d'épaisseur
    d'isolant en liège placé entre le haut parleur et le capteur de pression.
    Sortie: liste de floatants donnant les différences d'atténuation pour chaque épaisseur'''
    liste_atténuation=[0]
    for i in range (0,len(signal)-1):
        liste_atténuation.append(diff_intensité_sonore(signal[0],signal[i+1]))
    return liste_atténuation

print (différence_atténuation_épaisseurs2(signal1))
print (différence_atténuation_épaisseurs2(signal2))
print (différence_atténuation_épaisseurs2(signal3))
print (différence_atténuation_épaisseurs2(signal4))

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

x = np.array([0, 0.386, 2 * 0.386, 3 * 0.386, 4 * 0.386, 5 * 0.386, 6 * 0.386, 7 * 0.386, 8 * 0.386])
y1 = np.array([0, 3.791, 5.713, 6.938, 7.806, 8.218, 8.683, 8.935, 9.202]) # Première courbe
y2 = np.array([0, 2.37, 3.768, 4.561, 5.338, 6.11, 6.759, 6.976, 7.129]) # Deuxième courbe
y3 = np.array([0, 4.283, 6.746, 7.927, 8.399, 8.992, 9.355, 9.751, 9.958]) # Troisième courbe
y4 = np.array([0, 0.575, 0.959, 1.324, 1.596, 1.825, 1.989, 2.051, 2.094]) # Quatrième courbe

new_x = np.linspace(x[0], x[-1], 10000) # 10000 nouveaux points entre la première et la dernière valeur de x

new_y1 = np.interp(new_x, x, y1)
new_y2 = np.interp(new_x, x, y2)
new_y3 = np.interp(new_x, x, y3)
new_y4 = np.interp(new_x, x, y4)

plt.plot(new_x, new_y3, label='891.27 Hz')
plt.plot(new_x, new_y1, label='795.60 Hz')
plt.plot(new_x, new_y2, label='712.37 Hz')
plt.plot(new_x, new_y4, label='597.35 Hz')

plt.xlabel("Épaisseur de liège en centimètres")
plt.ylabel("Atténuation en dB")
plt.title("Atténuation d'un son en fonction de l'épaisseur de l'isolant")
plt.legend()
plt.grid(True)

plt.show()
```

ANNEXE 2

Programme influence de la porosité

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

x = np.array([0,0.104,0.132, 0.193, 0.226, 0.23, 0.232, 0.243, 0.254, 0.298,0.330,0.344,0.420,0.456,0.511,0.589,0.631])
y1 = np.array([0,1.124, 1.128, 1.196, 1.197, 1.205, 1.215, 1.309, 1.451,2.113,2.812,3.157,4.646,4.921,4.679,3.681,2.888])
y2 = np.array([0,1.301, 1.203, 1.299, 1.301, 1.310, 1.322, 1.434, 1.691,2.448,3.236,3.629,5.731,6.123,5.878,5.087,3.213])
y3 = np.array([0,0.358,0.322, 0.354,0.355, 0.359, 0.366,0.396, 0.474,0.597,0.813,0.868,1.302,1.392,1.404,1.225,0.803])
y4 = np.array([0,0.928, 0.675,0.672,0.672, 0.680, 0.691, 0.745,0.813,0.987,1.212,1.374,2.413,2.656,2.656,1.909,1.182])

new_x = np.linspace(x[0], x[-1], 10000) # 10000 nouveaux points entre la première et la dernière valeur de x

new_y1 = np.interp(new_x, x, y1)
new_y2 = np.interp(new_x, x, y2)
new_y3 = np.interp(new_x, x, y3)
new_y4 = np.interp(new_x, x, y4)

plt.plot(new_x, new_y2, label='1091.27 Hz')
plt.plot(new_x, new_y1, label='895.60 Hz')
plt.plot(new_x, new_y4, label='762.17 Hz')
plt.plot(new_x, new_y3, label='537.35 Hz')

plt.xlabel("Porosité de l'isolant")
plt.ylabel("Atténuation en dB")
plt.title("Atténuation d'un son en fonction de la porosité de l'isolant")
plt.legend()
plt.grid(True)

plt.show()
```

ANNEXE 3

Programme résistance acoustique spécifique

```
Dl=[6.9,12.9,22.5,23.9,9.8,14.4,17.1,8.2,3.8,4.5,4.5,4.1] #en cm

T=[[2105,2096,2099,2098,2093,2102,2108,2104,2107,2096],[1952,1976,1963,1957,1956,1959,1965,1957,1961,1962],
[1600,230,1617,540,1612,610,1642,727,1623,295,1624,452,1609,661,1621,837,1599,269,1607,610],[1620,1623,1614,1616,1618,1621,1614,1622,1619,1618],
[1218,1331,1326,1319,1321,1214,1334,1328,1335,1327],[1227,1221,1223,1221,1228,1230,1225,1221,1229],
[1195,219,1191,409,1075,256,1063,243,1073,043,1071,000,1121,890,1150,201,999,203,1002,990],
[931,125,997,834,956,603,992,400,990,533,930,431,990,890,992,534,993,865,996,267],[819,745,820,816,818,251,812,440,811,097
,832,805,818,992,819,783,828,094,809,856],[712,705, 713,091, 712,768, 712,995, 712,729, 712,685, 712,806, 712,973, 712,792, 712,937],[646,536, 646,217, 646,178,
646,364, 646,126, 646,289, 646,439, 646,034, 646,192, 646,432],[592,587, 592,942, 592,724, 592,879, 592,660, 592,631, 592,815, 592,521, 592,829, 592,695]] #en µs

Max=[1.360,1.985,4.216,3.806,2.705,3.831,1.825,4.501,1.69,4.973,3.964,3.521]

Min=[0.765,0.765,0.895,0.760,0.380,0.415,0.185,0.375,0.905,0.347,0.275,0.319]

frequences=[476.23, 508.92, 600.44, 618.1, 753.5, 815.89, 861.71, 1008.9, 1204.5] #fréq Hz

#DISTANCE ECHANTILLON = 75CM

import math

def moyenne_et_incertitude_type_A(liste):
    '''Cette fonction calcule la moyenne des valeurs de période mesurées pour un signal et l'incertitude liée à cette mesure
    Entrée: une liste de périodes
    Sortie: un couple de flottants (la moyenne et l'incertitude de type A)'''
    n = len(liste)
    moyenne = round(sum(liste) / n,3)

    ecart_type = math.sqrt(sum((x - moyenne) ** 2 for x in liste) / (n - 1))
    incertitude_type_A = round(ecart_type / math.sqrt(n),3)

    return moyenne, incertitude_type_A

def T_moyennes(T):
    '''Cette fonction crée une liste des moyennes des valeurs des périodes des signaux
    Entrée: un tableau de périodes
    Sortie: une liste de flottants (de périodes moyennes)'''
    T_moy=[]
    for i in range (len(T)):
        T_moy.append(moyenne_et_incertitude_type_A(T[i])[0])
    return T_moy

c=344 #m/s

def calcule_phi(T,Dl):
    '''Cette fonction calcule les phases aux premiers noeuds après l'échantillon de chaque signaux
    Entrée: deux tableaux de flottants (un de moyennes de périodes, l'autre de distances)
    Sortie: une liste de flottants (de phases)'''
    phi=[]
    for j in range (len(T)):
        phi.append(round(-math.pi-(4*Dl[j])*10**-2*math.pi)/(c*T[j])*10**-6,3))
    return phi

def calcule_r(Max,Min):
    '''Cette fonction calcule la résistance acoustique spécifique réduite du liège pour une fréquence donnée (les signaux utilisés étaient autour de 77/78 dB)
    Entrée: deux tableaux de flottants (un de valeurs max d'amplitudes, l'autre de valeurs min d'amplitudes)
    Sortie: une liste de flottants (de résistance acoustique spécifique réduite)'''
    r=[]
    for k in range (len(Max)):
        A=(Max[k]/2)+(Min[k]/2)
        B=(Max[k]/2)-(Min[k]/2)
        C=B/A
        r.append(round(((1-C**2)/(1-2*C*math.cos(math.radians(calcule_phi(T_moyennes(T),Dl)[k])))+C**2),3))
    return r

print(calcule_r(Max,Min))
```

ANNEXE 4

Formules résistance acoustique spécifique du liège

$$kD_1 + \frac{\varphi}{2} = -\frac{\pi}{2}$$

Où D_1 est la distance séparant l'isolant et le premier nœud et où k est le vecteur d'onde.

$$z = \frac{1 + \frac{B}{A} e^{i\varphi}}{1 - \frac{B}{A} e^{i\varphi}}$$

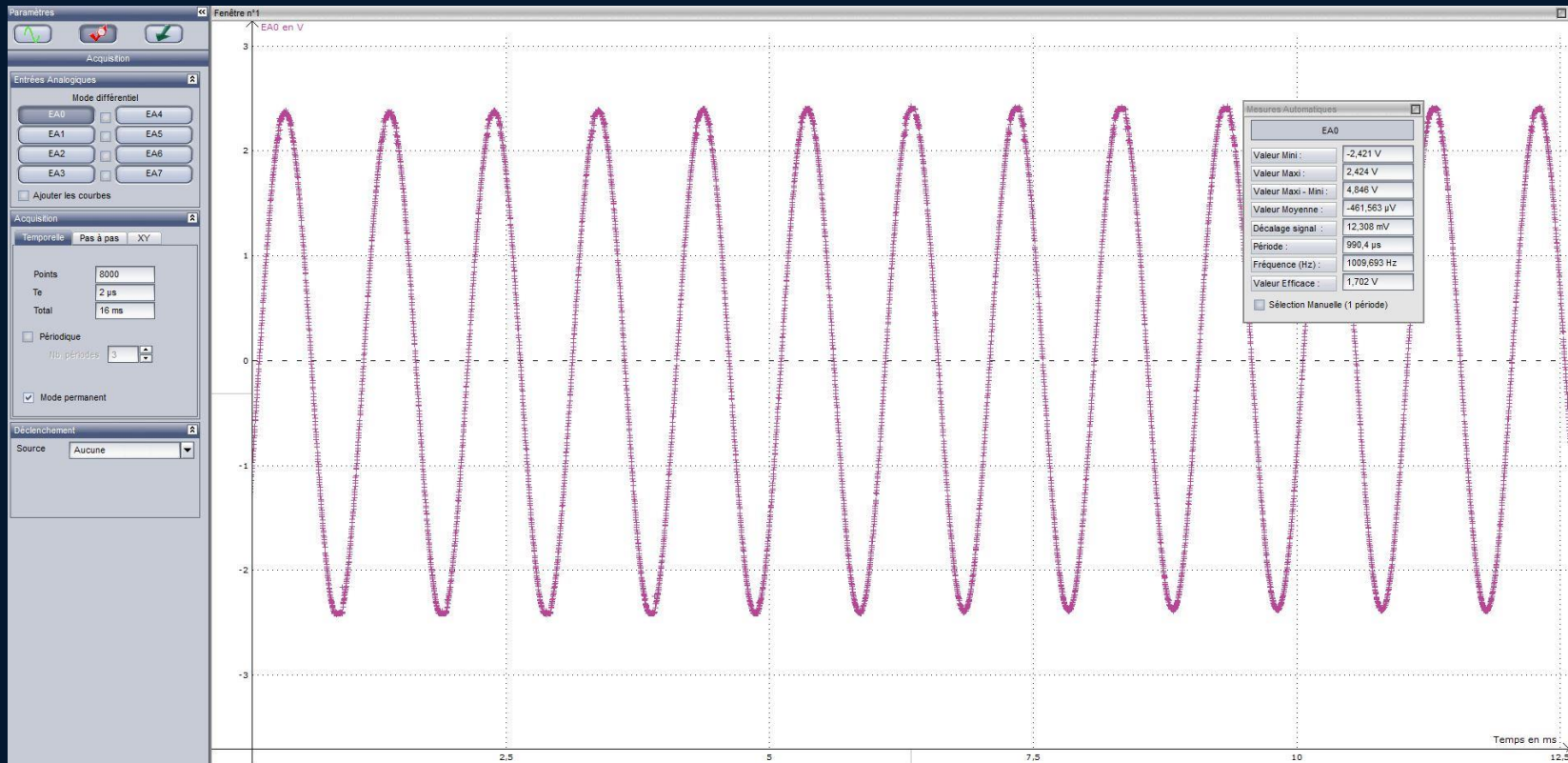
$$\leftrightarrow z = \frac{1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2 + \frac{2B}{A} i \sin(\varphi)}{1 - \frac{2B}{A} \cos(\varphi) + \left(\frac{B}{A}\right)^2}$$

$$\varphi = -\pi - \frac{4\pi}{c_0 T} D_1 \quad (2)$$

$$r = \frac{1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2}{1 - \frac{2B}{A} \cos(\varphi) + \left(\frac{B}{A}\right)^2} \quad (3)$$

ANNEXE 5

Exemple de signal observé sur Latis Pro:



ANNEXE 6

Théorie pour calculer la différence d'intensité sonore entre deux mesures:

$$\begin{aligned} I &= \langle pv \rangle \\ &= \langle \frac{p^2}{Z} \rangle \sim K U_{max} \end{aligned}$$

Donc pour comparer l'atténuation en décibels:

$$\begin{aligned} \Delta I_{db} &= 10 \log \left(\frac{I_0}{I_1} \right) \\ &= 10 \log \left(\frac{U_0}{U_1} \right) \end{aligned}$$