

CAPTEUR MICROBALANCE A QUARTZ

Zakaria Abboud

Numéro d'inscription : 18123



INTRODUCTION

- Le monoxyde de carbone est un gaz toxique, incolore et inodore qui résulte de la combustion incomplète. Il est la cause principale des accidents d'intoxication.
- Il est donc nécessaire d'avoir un capteur qui avertie de la présence de ce gaz.

PLAN

- **La piézoélectricité:**
 - Définition
 - Explication du phénomène
 - Mise en évidence expérimentale du phénomène
- **Le quartz:**
 - Modélisation du quartz
 - Comparaison de l'impédance du quartz avec son circuit équivalent
- **Les oscillateurs électronique:**
 - Définition
 - Principe de fonctionnement
- **Détection de CO:**
 - Oscillateur à quartz
 - Principe de détection de CO

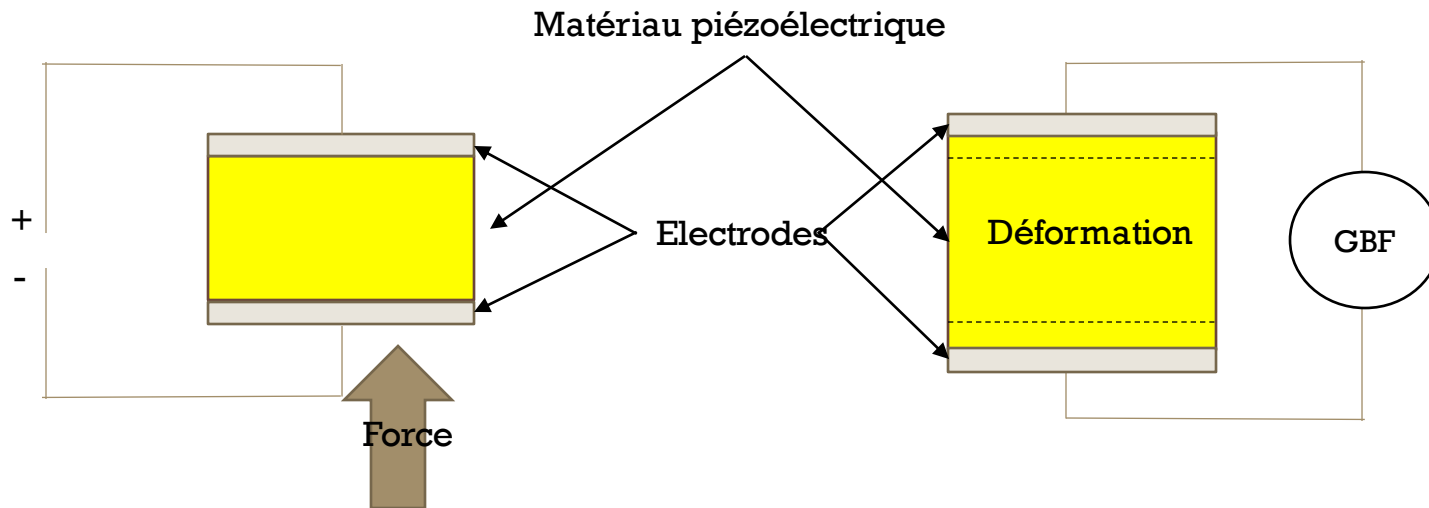
LA PIÉZOÉLECTRICITÉ

Definition :

- c'est la propriété de certains matériaux de se polariser sous l'effet d'une action mécanique (effet piézoélectrique direct).
- L'effet piézoélectrique inverse: la déformation des matériaux possédant des propriétés en appliquant une tension sur celle-ci

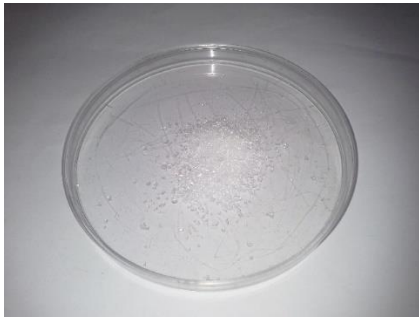
LA PIÉZOÉLECTRICITÉ

Definition :



LA PIÉZOÉLECTRICITÉ

Exemple de matériaux piézoélectriques:



[1]

Sel de Rochelle



[2]

Tourmaline



[3]

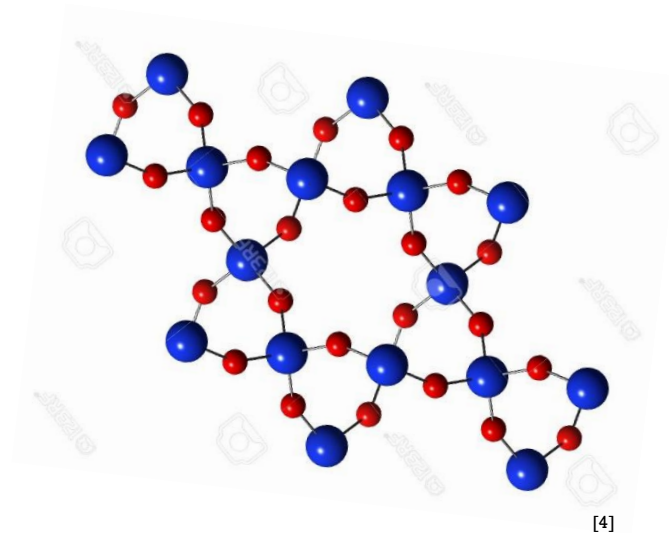
Quartz

LA PIÉZOÉLECTRICITÉ

Explication du phénomène de la piézoélectricité:

● Atome de silicium Si

● Atome d'oxygène O

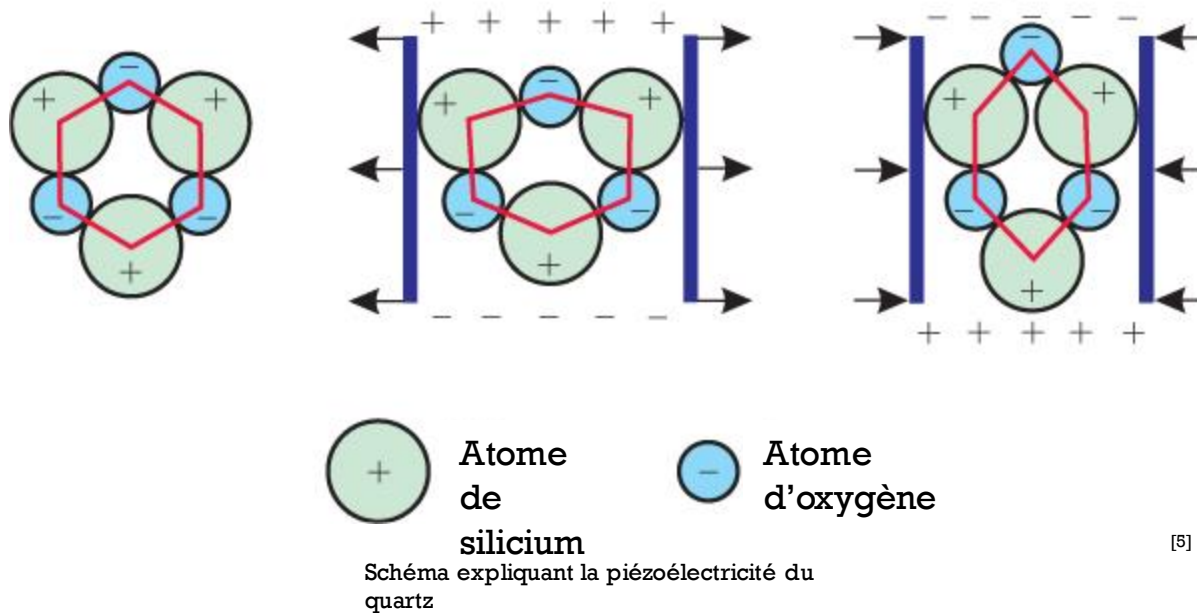


[4]

Structure cristalline du quartz

LA PIÉZOÉLECTRICITÉ

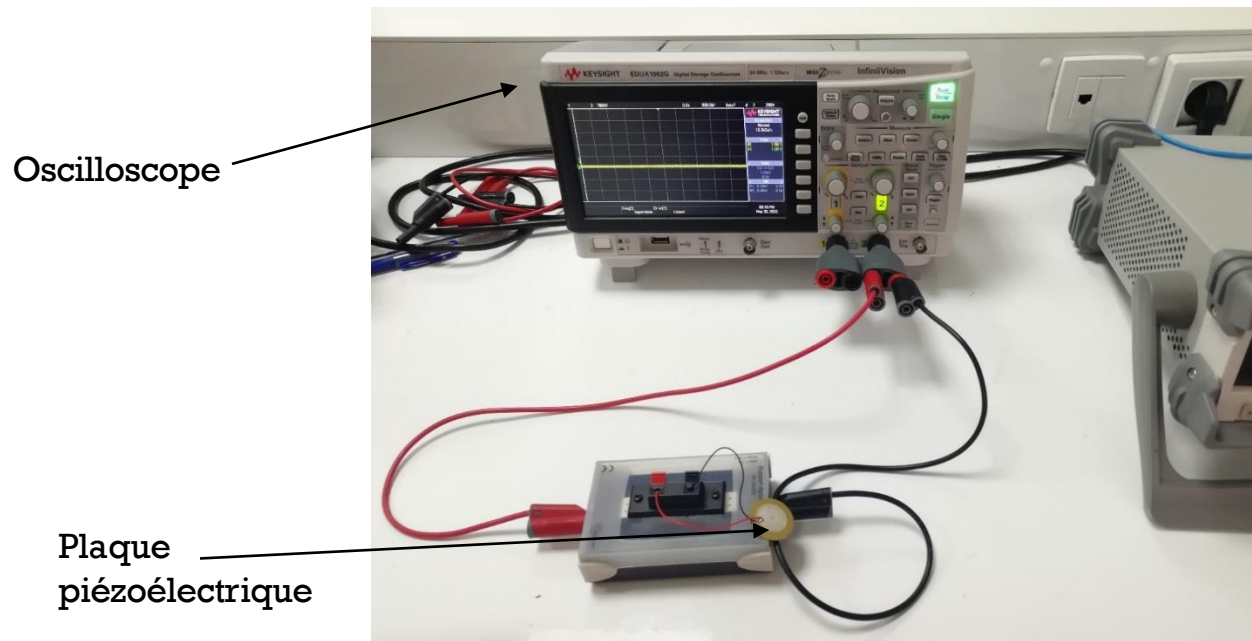
Explication du phénomène de la piézoélectricité:



[5]

LA PIÉZOÉLECTRICITÉ

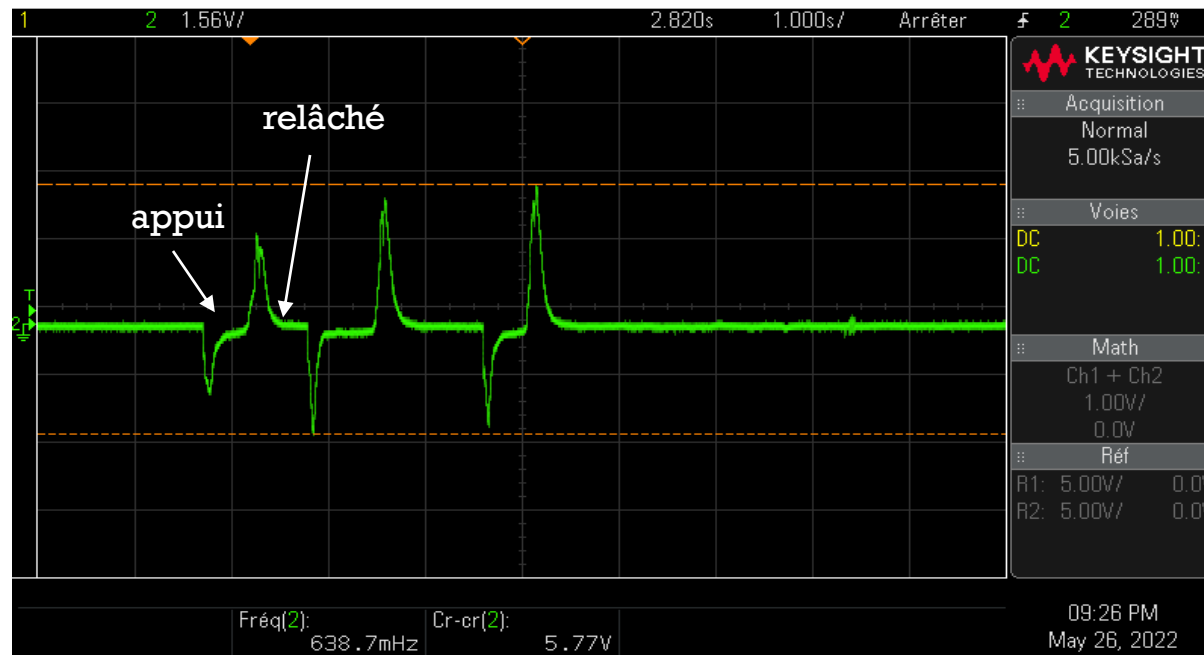
Mise en évidence expérimentale:



Montage expérimental pour montrer l'effet piézoélectrique du quartz

LA PIÉZOÉLECTRICITÉ

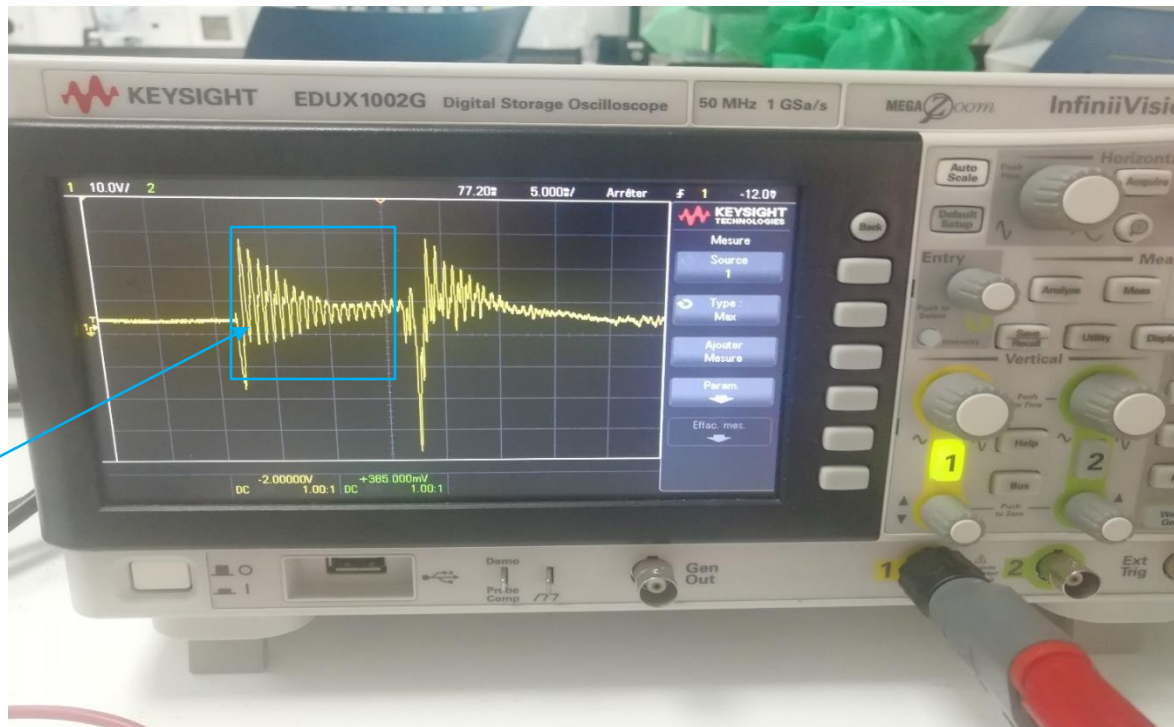
Mise en évidence expérimentale:



Le signal électrique lors de l'application d'une pression à la plaque

LA PIÉZOÉLECTRICITÉ

Mise en évidence expérimentale:

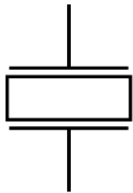


Des oscillations
amorties

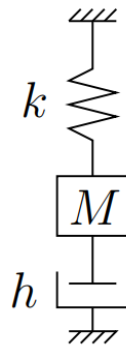
Le signal électrique lors de l'application d'une pression à la plaque

LE QUARTZ

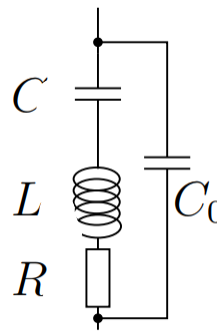
Modélisation du quartz:



Quartz
z



Modèle
mécanique
e



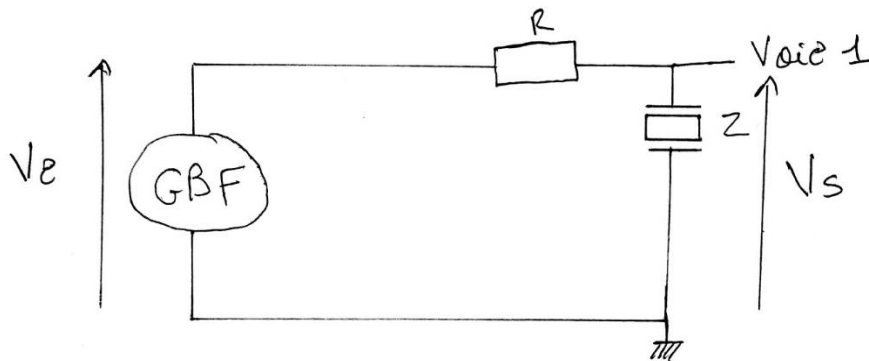
Modèle
électrique

$$\begin{array}{lcl} C & \longleftrightarrow & 1/k \\ L & \longleftrightarrow & M \\ R & \longleftrightarrow & h \end{array}$$

C_0 modélise les deux
électrodes séparées par
le quartz

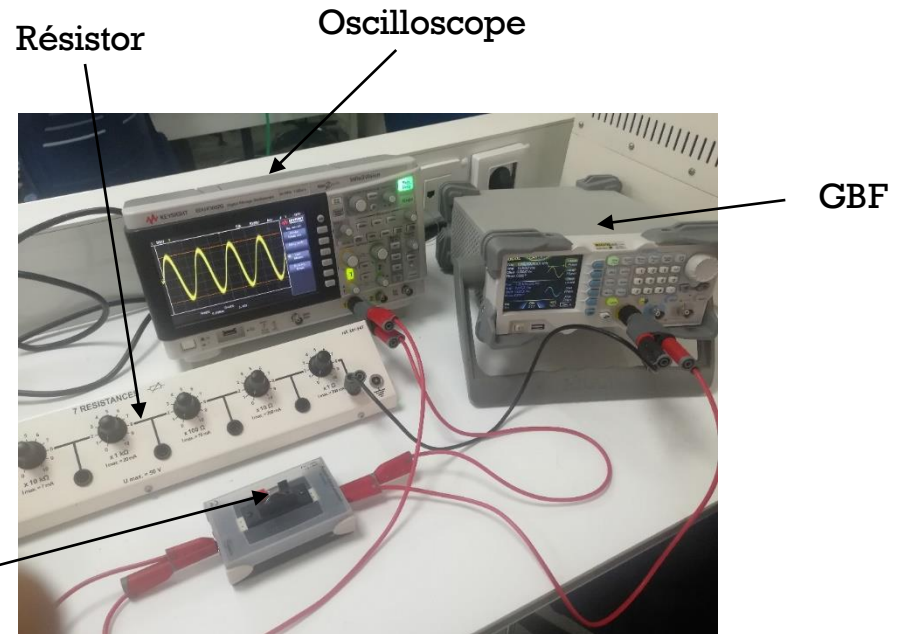
LE QUARTZ

Impédance du quartz:



Montage pour déterminer l'impédance quartz

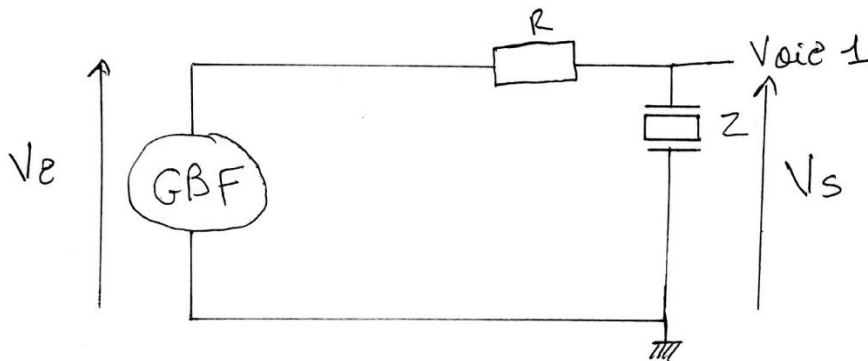
Quartz



Montage expérimental pour déterminer l'impédance quartz

LE QUARTZ

Impédance du quartz:



$$V_s = V_e \cdot \frac{Z}{Z+R}$$

$$\text{Si } R \gg Z$$

$$V_s \sim V_e \cdot \frac{Z}{R}$$

Montage pour déterminer l'impédance quartz

LE QUARTZ

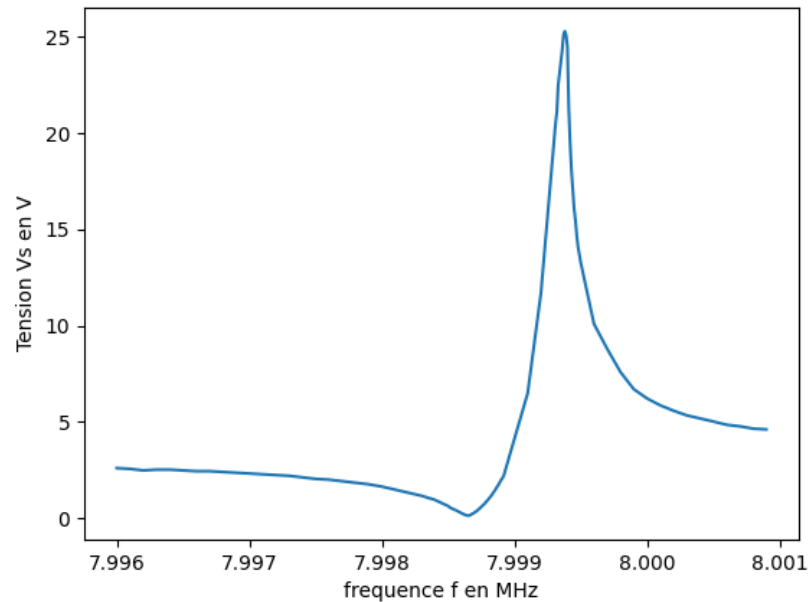
Impédance du quartz:

$$V_s = V_e \cdot \frac{Z}{R}$$

Avec

$$V_e = 20 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$$

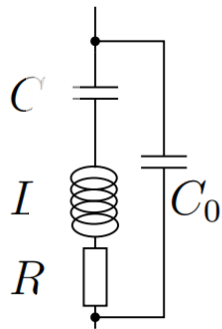
$$R = 1 \text{ M}\Omega$$



Tracé de l'amplitude de V_s en fonction de la fréquence autour de 8 MHz

LE QUARTZ

Impédance du circuit équivalent:



Circuit
équivalent
du Quartz

$$Z = \frac{1}{jC_0\omega} \cdot \frac{1 + jQ_s \left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right)}{1 + jQ_p \left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega} \right)}$$

Avec

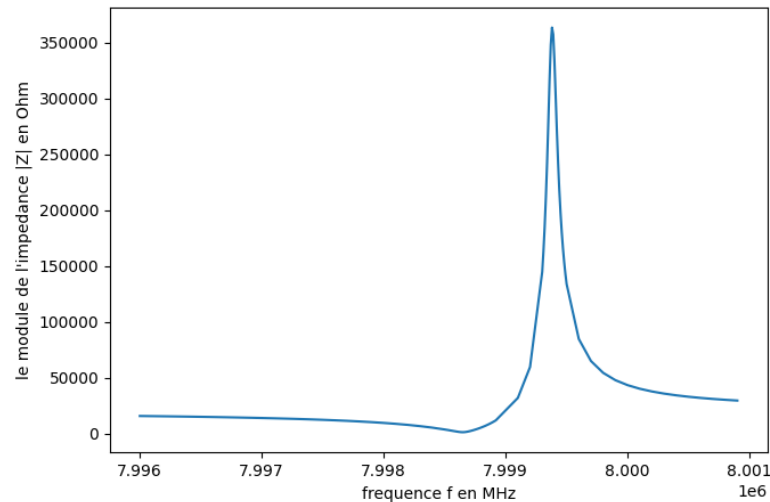
Impédance du circuit

$$\begin{aligned}\omega_s &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\ \omega_p &= \frac{1}{\sqrt{L \cdot \frac{C \cdot C_0}{C + C_0}}} \\ Q_p &= \frac{L\omega_p}{R} \\ Q_s &= \frac{L\omega_s}{R}\end{aligned}$$

LE QUARTZ

Impédance du circuit équivalent:

Pour $\omega_s = 2\pi \cdot 7,99865 \cdot 10^6$ rad/s , $\omega_p = 2\pi \cdot 7,99938 \cdot 10^6$ rad/s , $Q_p = Q_s = 10^5$ et $C_0 = 10^{-12}$ F



Trace du module de l'impédance du circuit équivalent

LES OSCILLATEURS ELECTRONIQUES

Definition :

- Un oscillateur électronique est un dispositif qui permet de créer un signal périodique.
- Un oscillateur est un système bouclée qui génère un signal périodique en absence de signal d'entrée.
- Il est composée d'une chaine de retour et d'une chaine d'action.

LES OSCILLATEURS ELECTRONIQUES

Schéma d'oscillateur:

A : fonction de transfert de la chaîne d'action constitué d'un amplificateur
B : fonction de transfert de la chaîne de retour constitué du dipôle passif qui génère les oscillations
S : le signal de sortie

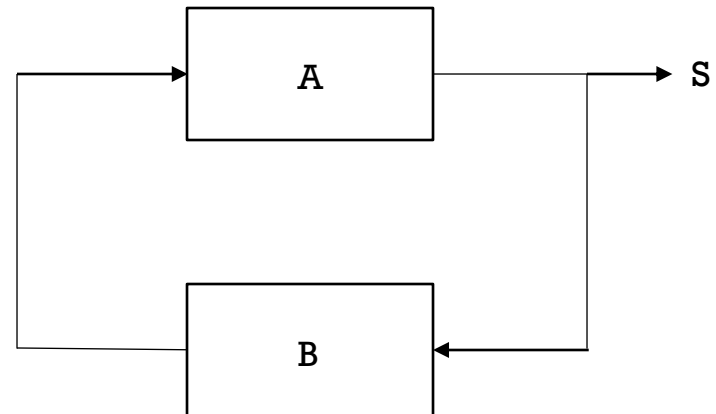


Schéma d'un oscillateur électronique

Condition de fonction de

l'oscillateur (Condition de Barkhausen):

- $|A(jw)| |B(jw)| = 1$
- $\arg(A(jw)) = \arg(B(jw)) + 2k\pi$

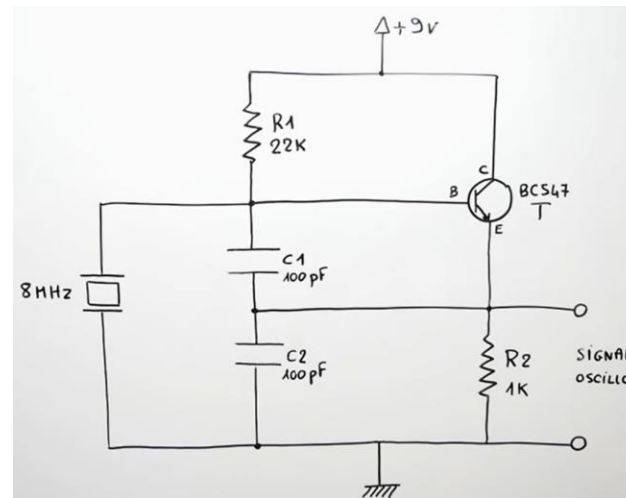
avec w : la pulsation du signal de sortie S

DÉTECTION DE CO

Oscillateur à quartz:

Un oscillateur à quartz est un oscillateur électronique qui contient dans sa chaîne de retour un cristal de quartz oscillant à sa fréquence de résonance.

Exemple:



Montage d'un oscillateur à quartz

[6]

DÉTECTION DE CO

Principe de détection de CO:

- On recouvre le cristal du quartz par une couche de matériau d'épaisseur faible.
- Ces couches, appelées couches actives, sont bien choisis pour leur propriété d'adsorption vis-à-vis à CO.
- En présence de CO dans le milieu, on aura un phénomène d'adsorption qui entraîne une variation Δm de la masse du quartz.
- Cette variation de masse entraîne une variation dans la fréquence de résonance du quartz donnée par la formule de Sauerbrey :

$$\Delta f = \frac{-2 \cdot f_0^2 \cdot \Delta m}{A \cdot \sqrt{\rho_q \cdot \mu_q}}$$

f_0 : fréquence de résonance initiale en Hz

A : l'aire de la couche active en cm^2

ρ_q : la masse volumique du cristal de quartz en g.cm^{-3}

μ_q : le module cisaillement en g.cm.s^{-2}

DÉTECTION DE CO

Principe de détection de CO:

- En remplaçant ρ_q et μ_q par leur valeur classique, on obtient:

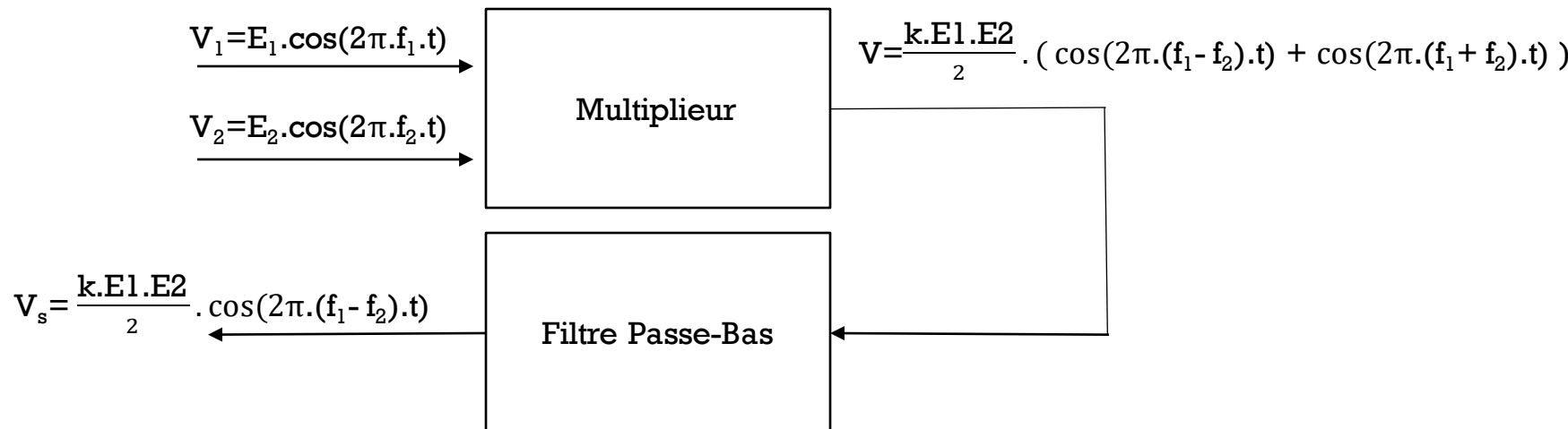
$$\Delta f = -6.10^{-6} \cdot f_0^2 \cdot \Delta m / A$$

- Pour $A = 1 \text{ cm}^2$ et $f_0 = 10 \text{ MHz}$, si $\Delta m = 10^{-12} \text{ g}$ on aura $\Delta f = 6 \text{ Hz}$.
- On peut conclure que ce capteur a une sensibilité importante .

DÉTECTION DE CO

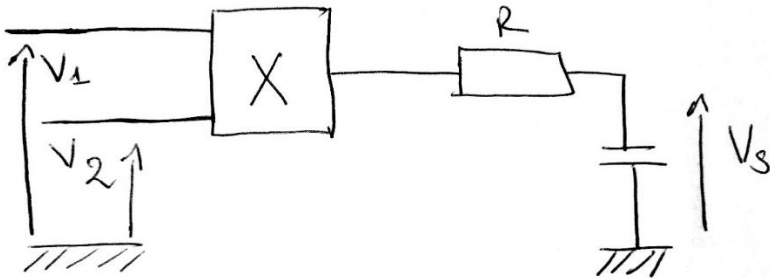
Mesure de Δf :

■ Principe de mesure de Δf :

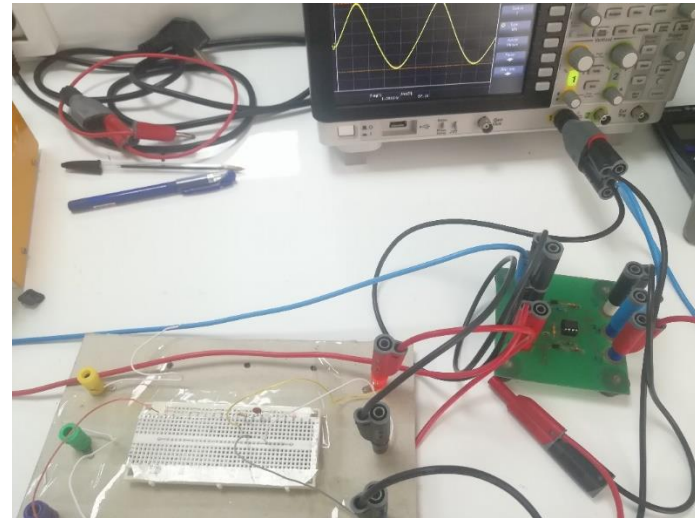


DÉTECTION DE CO

Mesure de Δf :



Montage pour déterminer
 Δf



Montage expérimentale pour déterminer
 Δf

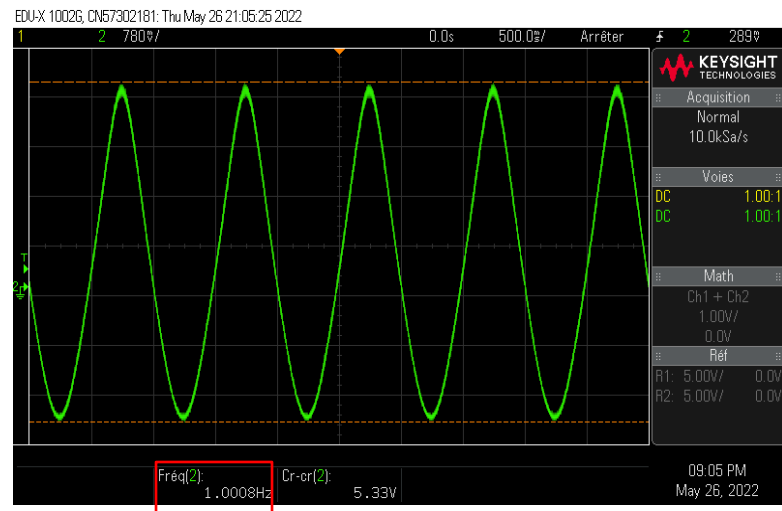
DÉTECTION DE CO

Mesure de Δf :

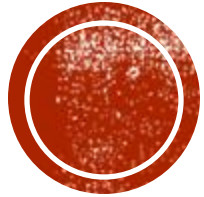
Pour $f_1 = 8 \text{ Mhz}$ et $f_2 = 8 \text{ MHz} + 1 \text{ Hz}$



Les deux signaux d'entrée



Signal de sortie à l'oscillateur



**MERCI POUR VOTRE
ATTENTION**

ANNEXE

Codes

```
import os
import matplotlib.pyplot as plt
os.chdir("C:\\Users\\Administrator\\Desktop\\")
file=open("impedance.csv","r")
c=file.readline()
f=[]
U=[]
c=file.readline()
while c:
    c=c.strip("\n")
    c=c.replace(",",".")
    M=c.split(";")
    f.append(float(M[0]))
    U.append(float(M[1]))
    c=file.readline()
plt.xlabel("frequence f en MHz")
plt.ylabel("Tension Vs en V")
plt.plot(f,U)
plt.show()
```

Code python utilise pour trace le graphe du module de l'impédance du quartz

ANNEXE


Codes

```
import os
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
os.chdir("C:\\Users\\Administrator\\Desktop\\")
file=open("impedance.csv","r")
c=file.readline()
f=[]
c=file.readline()
while c:
    c=c.strip("\n")
    c=c.replace(",",".")
    M=c.split(";")
    f.append(float(M[0])*10**6)
    c=file.readline()
f=np.array(f)
def Z(f):
    w=2*np.pi*f
    wp=2*np.pi*7.99938E6
    ws=2*np.pi*7.99865E6
    Q=1E5
    C0=1E-12
    return np.sqrt( (1+(Q*(w/ws-ws/w))**2)/(1+(Q*(w/wp-wp/w))**2) )/(C0*w)
plt.xlabel("frequence f en MHz")
plt.ylabel("le module de l'impedance |Z| en Ohm")
plt.plot(f,Z(f))
plt.show()
```

Code python utilise pour trace le graphe du module de l'impédance du circuit équivalent du quartz

ANNEXE

Codes

 impedance.csv - Notepad

File Edit Format View Help

```
MHz;V
7,996;2,61
7,9961;2,57
7,9962;2,49
7,9963;2,53
7,9964;2,53
7,9965;2,49
7,9966;2,45
7,9967;2,45
7,9968;2,41
7,9969;2,37
7,997;2,33
7,9971;2,29
7,9972;2,25
7,9973;2,21
7,9974;2,13
- - - - -
```

Contenu du fichier impedance.csv utilisé dans les deux codes

ANNEXE

Référence

- [1]:https://fr.wikipedia.org/wiki/Sel_de_Seignette
- [2]:<https://fr.wikipedia.org/wiki/Tourmaline>
- [3]:[https://fr.wikipedia.org/wiki/Quartz_\(min%C3%A9ral\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Quartz_(min%C3%A9ral))
- [4]:https://fr.123rf.com/photo_43366483_quartz-cristal-de-roche-min%C3%A9rale-structure-cristalline-onyx-am%C3%A9thyste-et-agate-pierres-pr%C3%A9cieuses-sont-tou.html
- [5]:<https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/piezoelectricity/>
- [6]:<https://www.youtube.com/watch?v=buXGA6VSh6A&t=632s>