



# Résonateur et filtre piézoélectriques

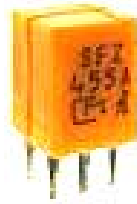
L'effet piézo-électrique est utilisé dans un grand nombre d'applications comme les filtres (quartz, filtres céramiques), les transducteurs piézo-électriques (microphones, haut-parleurs), les micro positionneurs, les capteurs de force, de déplacement ou de pression.

Le TP propose l'étude de deux types de composant piézoélectriques :

- la détermination des éléments du schéma équivalent d'un **résonateur céramique**
- la caractérisation d'un **filtre céramique**



Résonateurs 456 et 912 kHz



Filtre fi 455 kHz double

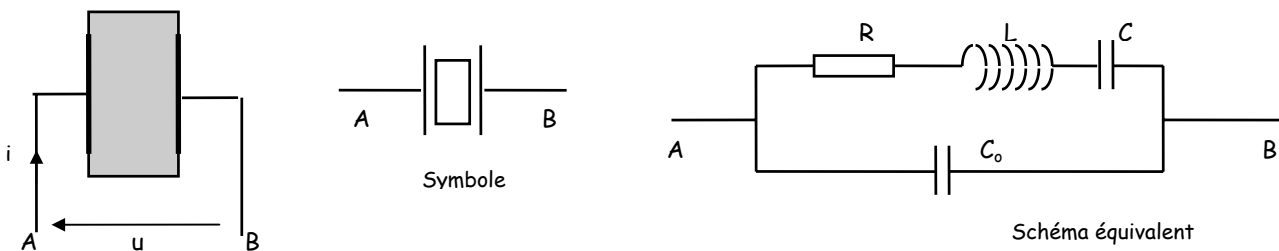


Filtre fi 10,7 MHz

Les résonateurs céramiques sont utilisés pour stabiliser la fréquence des oscillateurs, les filtres se retrouvent dans tous les récepteurs ( radio, TV, GSM ...)

## A- Le résonateur piézoélectrique céramique

Un résonateur piézo-électrique céramique a la structure suivante :



Lorsqu'on applique une tension alternative  $u(t)$ , la lame vibre à la fréquence de la tension appliquée. La lame a une fréquence de résonance mécanique qui dépend de son épaisseur, et l'impédance entre A et B varie avec la fréquence.

Pour un résonateur céramique, les ordres de grandeur des différents éléments sont les suivants :

- $C_o$  : capacité entre les électrodes ( entre 50 et 500 pF )
- $R$  : traduit l'existence des pertes dans le cristal ( quelques ohms )
- $L$  : traduit l'existence de l'inertie mécanique ( entre 2 et 200 mH environ )
- $C$  : traduit l'existence des forces de rappel ( de 5 à 40 pF )

Les résonateur étudié dans cette manipulation est un résonateur 400 kHz.

L'impédance  $\underline{Z}$  du dipôle AB s'écrit :

$$\underline{Z} = \frac{1}{jC_0\omega} \cdot \frac{R + jL\omega \left[ 1 - \left( \frac{\omega_s}{\omega} \right)^2 \right]}{R + jL\omega \left[ 1 - \left( \frac{\omega_p}{\omega} \right)^2 \right]} \quad \text{avec} \quad \omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{et} \quad \omega_p = \sqrt{\frac{C+C_0}{LCC_0}}$$

Compte tenu de la faible valeur de la résistance R des résonateurs actuels, on montre que :

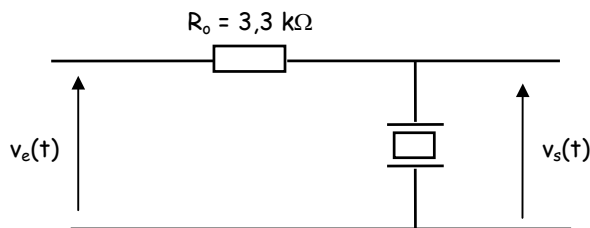
- à la pulsation  $\omega_s$ , on a résonance de la branche L,C dont l'impédance est alors nulle. L'impédance du dipôle AB passe alors par un minimum pratiquement égal à la résistance série R du résonateur
- à la pulsation  $\omega_p$ , l'impédance passe par un maximum supérieur à 10 k $\Omega$

### Activité 1 : mesure de la capacité totale

Mesurer au capacimètre la capacité  $C_x$  du résonateur. Sachant que celui-ci effectue la mesure à une fréquence faible, la capacité ainsi mesurée est la capacité totale :  $C_x = C_0 + C$ .

### Activité 2 : courbe d'impédance du résonateur

On place le résonateur dans le circuit suivant :



#### Remarque :

on reliera le résonateur au voltmètre par des cordons ordinaires courts !

l'utilisation de cordons coaxiaux est à proscrire à cause de leur capacité importante ( 100 pF/m environ)

Pour une tension  $v_e(t)$  sinusoïdale et de fréquence comprise entre 200 et 500 kHz, relever les amplitudes des tensions  $v_e(t)$  et  $v_s(t)$  et tracer la courbe du module de la transmittance  $T = |V_s/V_e|$  en fonction de la fréquence.

Faire apparaître les fréquences de résonance série  $f_s$  et parallèle  $f_p$ , ainsi que les valeurs correspondantes de la transmittance  $T_s$  et  $T_p$ .

### Activité 3 : détermination des paramètres du résonateur

Ecrire le système de 3 équations reliant les grandeurs caractéristiques du résonateur aux fréquences de résonance série et parallèle. En déduire des mesures les valeurs numériques de L, C et  $C_0$ .

### Activité 4 : mesure de la résistance série du résonateur

Avec le même montage que précédemment, faire  $R_0 = 100 \Omega$  et mesurer précisément la transmittance  $T'_s$  à la fréquence de résonance série. En utilisant cette valeur  $T'_s$ , déterminer la valeur de la résistance série R du résonateur.

### Activité 5 : conclusion

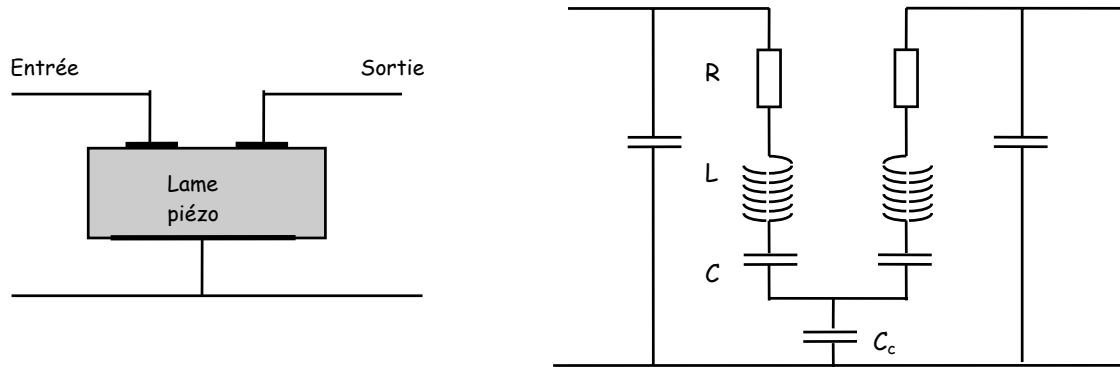
Conclure en donnant le schéma équivalent du résonateur avec les valeurs de ses composants et ses deux fréquences de résonance série et parallèle.

## B- Le filtre céramique passe-bande

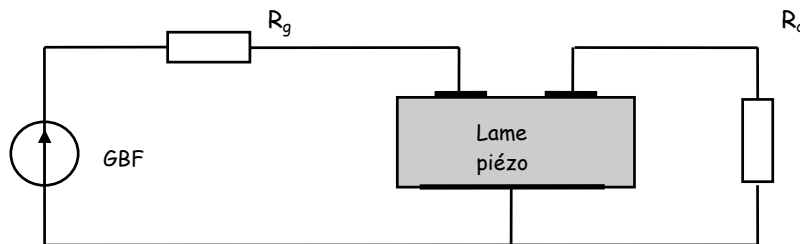
Dans le domaine des télécommunications, les filtres sélectifs réalisés à l'aide de circuits accordés LC sont de plus en plus souvent remplacés par des filtres céramiques.

Les avantages de ce type de filtres sont nombreux : coût inférieur à 1€, faible encombrement, pas de réglage, bonne atténuation en dehors de la bande passante, fréquences standards disponibles (455 kHz en AM, 10,7 MHz en FM, 5,5 et 6,5 MHz pour le son TV).

Ces filtres sont constitués par l'association de 2 résonateurs couplés par la capacité  $C_c$  commune.



La régularité du gain dans la bande passante du filtre dépend beaucoup des résistances d'attaque et de charge  $R_g$  et  $R_c$ . C'est la raison pour laquelle le fabricant du filtre précise toujours les valeurs optimales de ces deux résistances :



### Activité 6 : courbe de gain du filtre

Relever et tracer la courbe de gain d'un filtre céramique entre 430 et 530 kHz en prenant  $R_g = R_c = 3,3 \text{ k}\Omega$ . Comme dans l'étude du résonateur, l'utilisation de cordons coaxiaux en sortie du filtre est à proscrire à cause de la capacité parasite (100 pF/m environ) de ces câbles.

### Activité 7 : caractérisation du filtre

Déterminer et faire apparaître sur la courbe de gain :

- la fréquence centrale  $f_0$
- l'atténuation  $A_0$  exprimée en dB du filtre à la fréquence centrale
- les largeurs  $B_1$ ,  $B_2$  et  $B_3$  de la bande à -3dB, -10dB et -20 dB
- le coefficient de qualité  $Q = f_0/B$  de ce filtre

### Activité 8 : conclusion

Conclure quant à l'utilisation de ce filtre comme filtre fi dans un récepteur de radiodiffusion (largeur des canaux : 10 kHz en AM, 300 kHz en FM).



# Résonateur et filtre piézoélectriques : réponses

Rédacteur :

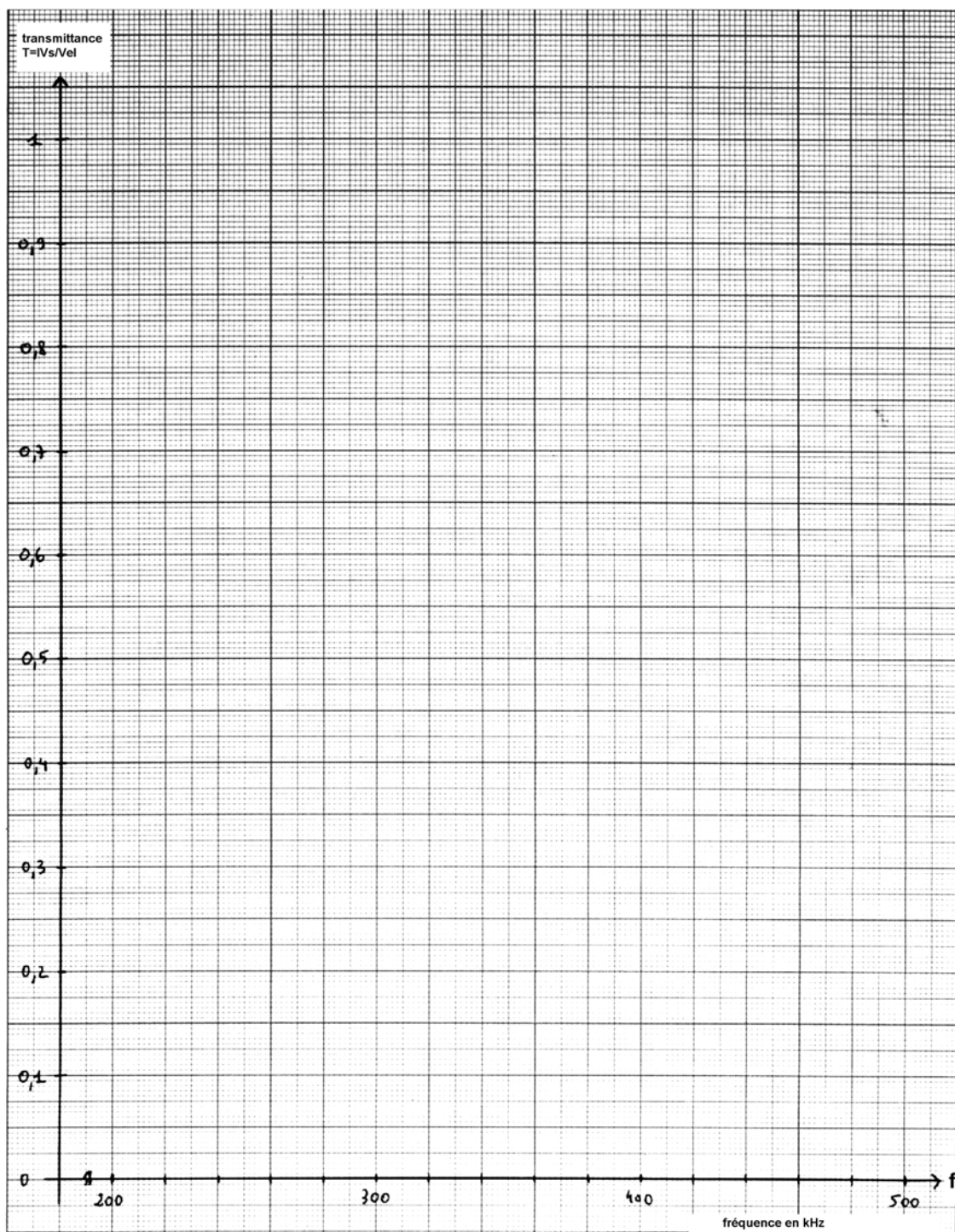
Binôme :

Date :

## Activité 1 : mesure de la capacité totale

Capacité totale du résonateur :  $C_x = C_0 + C = \dots\dots\dots$

## Activité 2 : courbe d'impédance du résonateur



⇒ à la fréquence de résonance série  $f_s$  l'impédance du résonateur est :  minimale  maximale

la tension de sortie  $v_s(t)$  est donc :  minimale  maximale

la fréquence de résonance série vaut donc :  $f_s = \dots\dots\dots$  et la transmittance correspondante :  $T_s = \dots\dots\dots$

⇒ à la fréquence de résonance parallèle  $f_p$  l'impédance du résonateur est :  minimale  maximale

la tension de sortie  $v_s(t)$  est donc :  minimale  maximale

la fréquence de résonance parallèle vaut donc :  $f_p = \dots\dots\dots$  et la transmittance correspondante :  $T_p = \dots\dots\dots$

### Activité 3 : détermination des paramètres du résonateur

Le système de 3 équations reliant les grandeurs caractéristiques du résonateur aux fréquences de résonance série et parallèle s'écrit :

Calcul des valeurs de L, C et  $C_0$  :

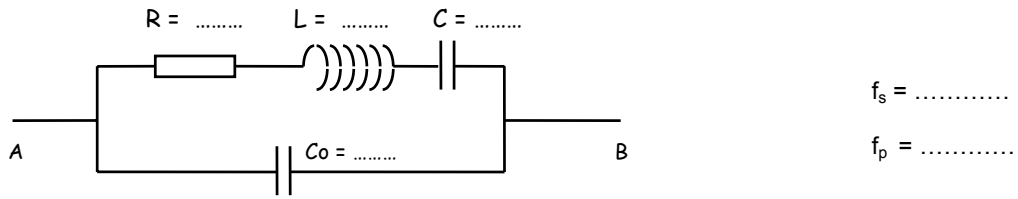
### Activité 4 : mesure de la résistance série du résonateur

Avec  $R_0 = 100 \Omega$ , la transmittance  $T'_s$  minimale vaut :  $T'_s = \dots\dots\dots$

Calcul de la résistance série R du résonateur :

**Activité 5 : conclusion**

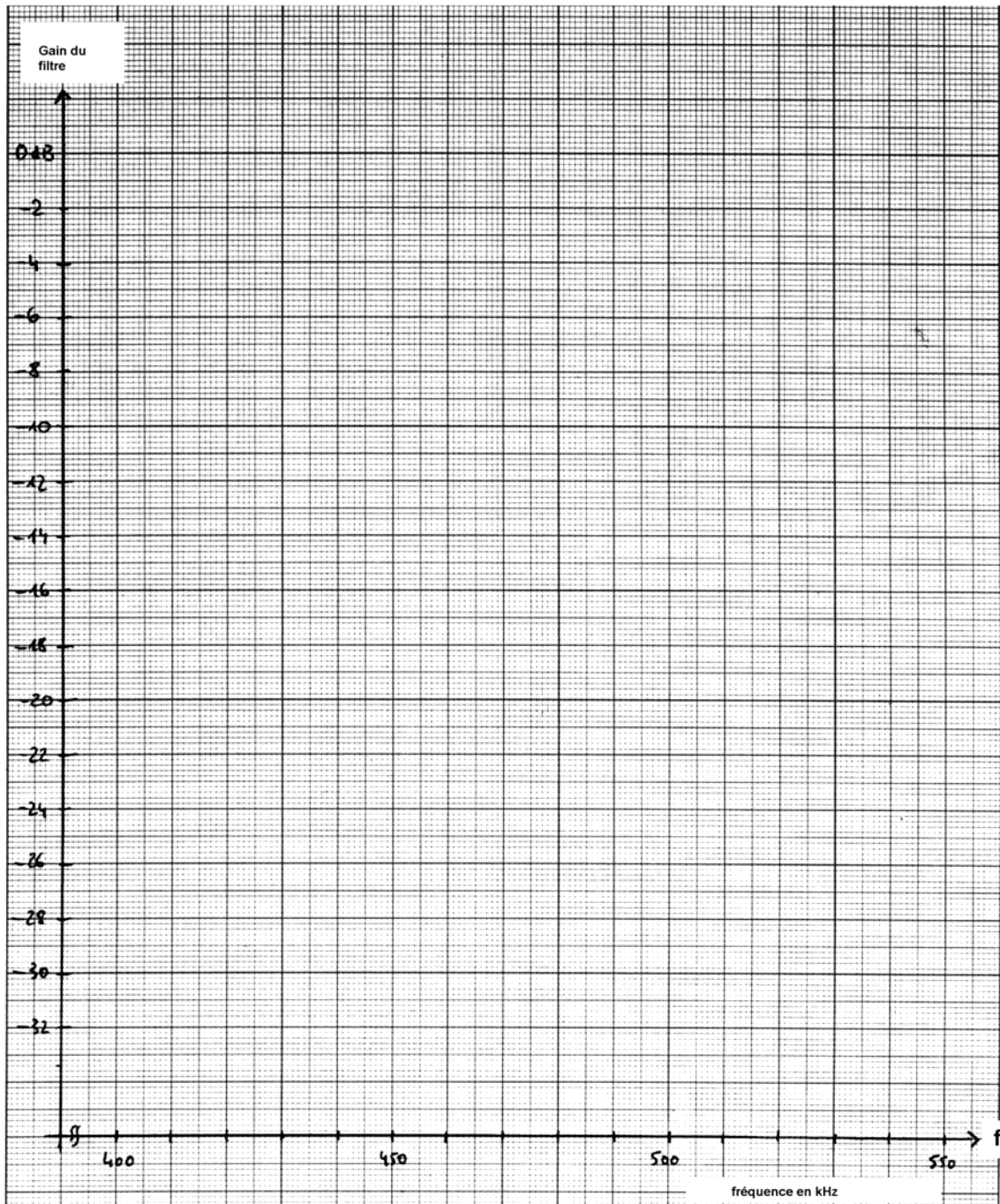
Le schéma équivalent du résonateur est donc :



Commentaires : .....

.....

**Activité 6 : courbe de gain du filtre**



**Activité 7 : caractérisation du filtre**

- fréquence centrale  $f_0 = \dots\dots\dots$  kHz
- atténuation à la fréquence centrale  $A_0 = \dots\dots\dots$  dB

Bandes passantes :

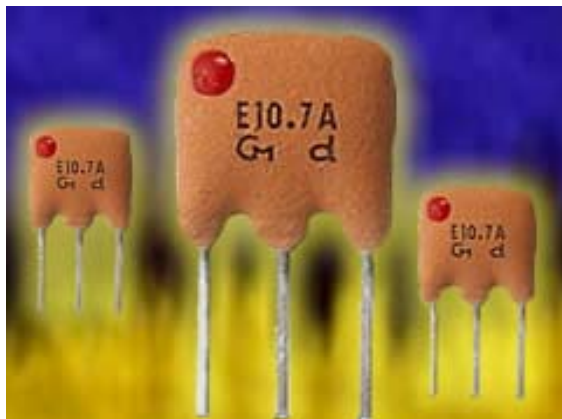
- $B_1 = \dots\dots\dots$  à -3dB
- $B_2 = \dots\dots\dots$  à -10dB
- $B_3 = \dots\dots\dots$  à -20 dB
- coefficient de qualité  $Q = f_0 / B = \dots\dots\dots$

**Activité 8 : conclusion**

Commentaires : .....

.....

.....



Filtre 10,7 MHz

