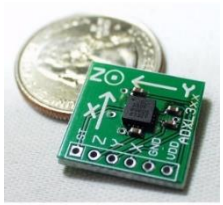
EXERCICES au choix du candidat (5 points chacun)

Vous indiquerez sur votre copie **les 2 exercices choisis** : exercice A ou exercice B ou exercice C

EXERCICE A – Un microaccéléromètre capacitif (5 points)

Mots clés : accélération, condensateur, circuit RC série.

Un type d'accéléromètre, comportant un micro-capteur capacitif, est utilisé dans des smartphones, des drones ou même dans des prothèses auditives implantées dans l'oreille interne. On peut modéliser certains de ces accéléromètres par une série de condensateurs plans dont les capacités varient en fonction de l'accélération que subit le capteur.



Accéléromètre ADXL330
Source : Robotkraft.

La première partie de l'exercice porte sur l'étude d'un microaccéléromètre capacitif. Dans la seconde partie, un dispositif expérimental capacitif est étudié.

Données

- Permittivité diélectrique de l'air ε_{air}= 8,9 × 10^{-12} F·m^{-1}.
- La capacité C d'un condensateur plan idéal s'exprime en fonction de l'écart d entre les armatures, de la surface S des armatures en regard et de la permittivité diélectrique ε du milieu situé entre les armatures. Son expression est : $C = \varepsilon \frac{S}{d}$.

1. Fonctionnement d'un accéléromètre capacitif

L'accéléromètre capacitif ADXL330 est modélisé par un ensemble de condensateurs plans. Lorsque ce capteur est soumis à une accélération, la géométrie des condensateurs change, ce qui provoque la variation de leurs capacités ; l'accélération est déduite de la valeur de la capacité de l'ensemble à l'aide d'un étalonnage.

1.1. Un dispositif ultra miniaturisé

L'accéléromètre étudié est composé d'une partie mobile qui peut se déplacer par rapport au support le long de l'axe de mesure XX' (voir figure 1). La partie mobile et le support forment deux peignes enchevêtrés l'un dans l'autre. La partie mobile, appelée masse mobile, est reliée au support par deux barres flexibles qui jouent le rôle de ressorts. Les tiges des peignes qui sont en regard les unes des autres constituent les armatures d'un ensemble de condensateurs plans élémentaires. Ce dispositif est extrêmement miniaturisé : sa taille typique est de l'ordre de quelques millimètres et son épaisseur de l'ordre de 1 µm.

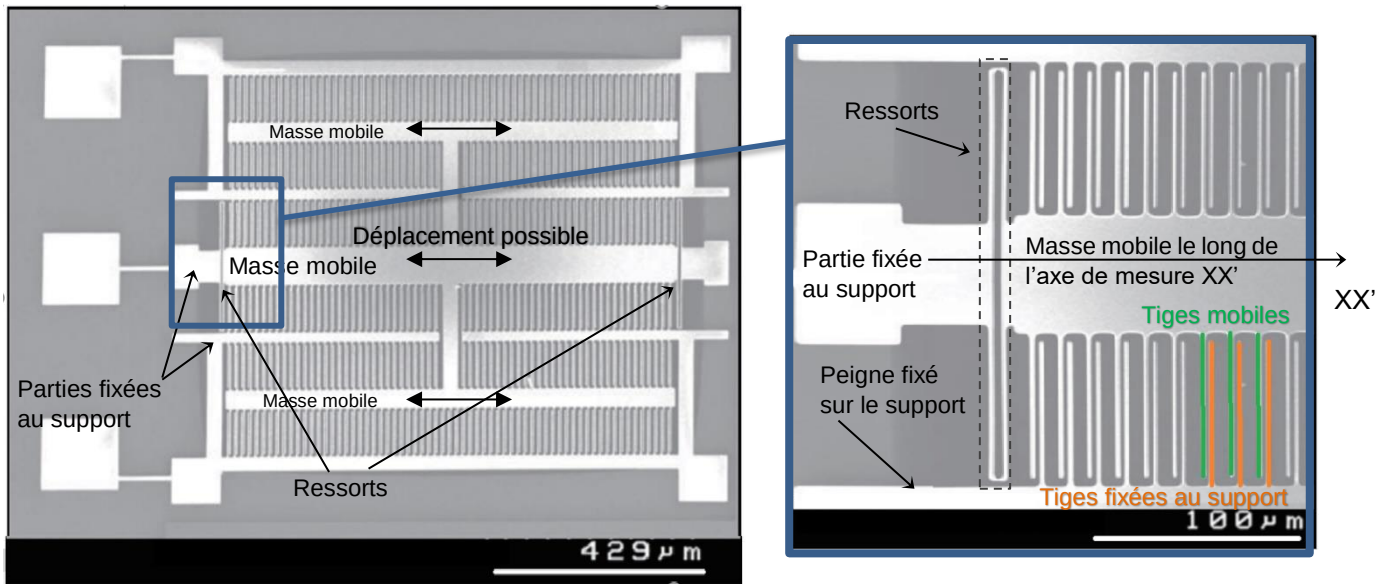


Figure 1. Images au microscope électronique à balayage de l'accéléromètre ADXL330
(le support apparaît en gris et le dispositif en relief apparaît en blanc).
Source « A MEMS Capacity Accelerometer middle ear » M.A. Zurcher.

Si le support subit une accélération dans le référentiel terrestre, alors la masse mobile se déplace par rapport au support. Les peignes en regard se décalent, faisant varier ainsi les valeurs des capacités des condensateurs élémentaires, comme illustré sur la figure 2.

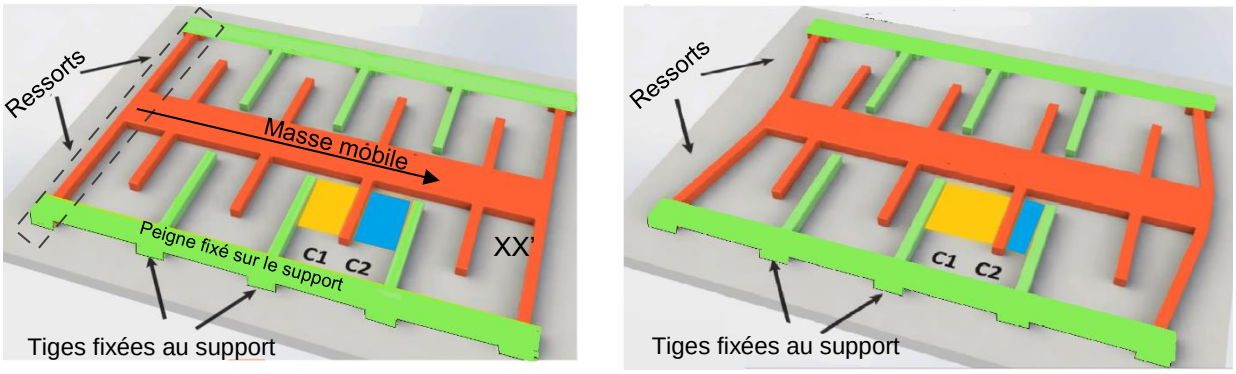


Schéma (a) Schéma (b)

a(b) Support n'étant pas soumis à une accélération : les deux condensateurs élémentaires ont la même capacité $C_1 = C_2 = C_0$

b(c) Support soumis à une accélération : $C_1 \neq C_2$

Figure 2. Modélisation du capteur par une série de condensateurs plans élémentaires
Source: D'après « How MEMS Accelerometer Gyroscope Magnetometer Work » (you tube)

1.1.1. En utilisant les images prises au microscope électronique, évaluer l'ordre de grandeur de la distance entre deux tiges successives du peigne fixé au support.

1.1.2. En déduire une estimation de l'ordre de grandeur de la capacité C_0 d'un condensateur élémentaire lorsque le support n'est soumis à aucune accélération, sachant que l'on considère que le milieu situé entre les armatures est l'air et que le condensateur élémentaire est un condensateur plan idéal dont la surface des armatures en regard vaut 65 µm^2. Comparer aux ordres de grandeur des valeurs usuelles de capacités.

1.1.3. Dans la configuration du schéma (b) de la figure 2, comparer les valeurs des capacités C_1 et C_2. Justifier.

1.2. Une mesure d'accélération

La tension électrique de sortie U_S délivrée par l'accéléromètre capacitif est une fonction affine de la valeur de la coordonnée a_x du vecteur accélération du capteur suivant l'axe de mesure XX' : $U_S = U_0 + B \times a_x$.

Pour l'accéléromètre ADXL330, U_0 = 1,50 V est la tension électrique lorsque le capteur n'est soumis à aucune accélération et B = 0,0306 V·m^{-1}·s^2 est la sensibilité du capteur. Ce capteur est embarqué dans un drone en mouvement rectiligne horizontal. Le drone accélère le long de l'axe de mesure XX' du capteur. À l'instant de la mesure, la tension électrique de sortie de l'accéléromètre capacitif est de 2,02 V.

Comparer la valeur de l'accélération du drone à celle de l'accélération moyenne d'une moto qui passe d'une vitesse nulle à une vitesse de 100 km·h^{-1} en 3 s. Commenter.

2. Méthode de détermination de l'écart entre les armatures par mesure de la capacité

L'objectif de l'expérience suivante est d'illustrer une méthode pour déterminer l'écart entre les armatures d'un condensateur par mesure de sa capacité.

Deux feuilles d'aluminium de forme carrée et de 25 cm de côté sont séparées par un film de polyéthylène (film alimentaire). On réalise le montage électrique ci-après. Les mesures de tensions sont réalisées à l'aide d'un microcontrôleur.

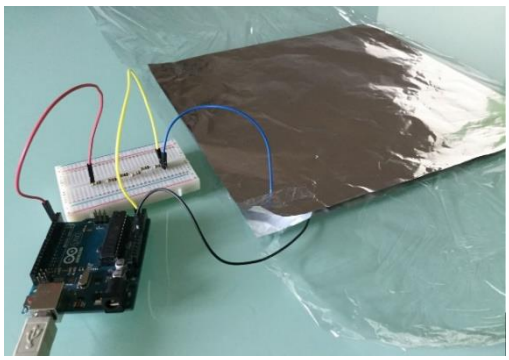


Figure 3a. Photo du dispositif expérimental

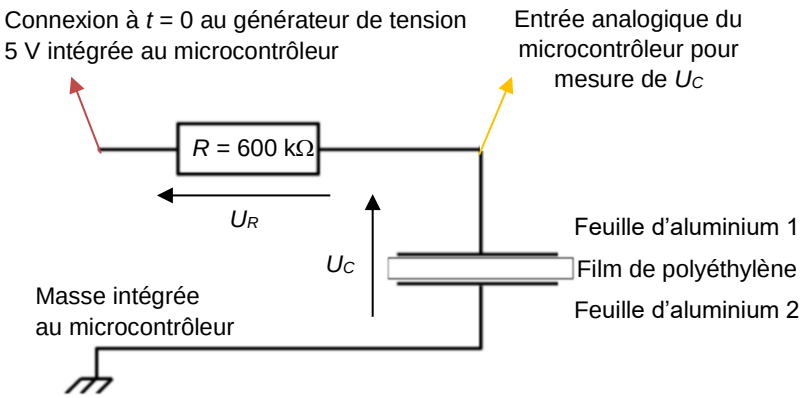


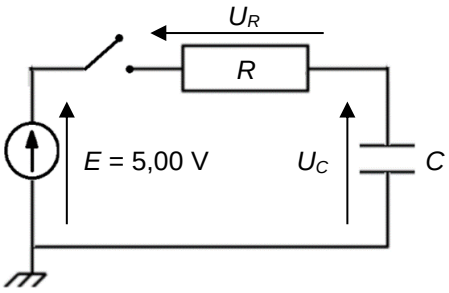
Figure 3b. Schéma électrique équivalent

Données

- Permittivité diélectrique du polyéthylène ε_{PE}= 19×10^{-12} F·m^{-1}.
- Épaisseur usuelle d'un film alimentaire en polyéthylène : 10 µm.

Modélisation du dispositif par un circuit RC

On modélise le dispositif expérimental par un circuit RC idéal. Le schéma électrique équivalent du dispositif est représenté ci-contre. Initialement, le condensateur est déchargé. À t = 0, l'interrupteur est fermé. Le condensateur commence à se charger.



2.1. Indiquer le signe des charges qui s'accumulent sur chaque feuille d'aluminium.

2.2. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension U_C aux bornes du condensateur dans le circuit RC idéal, où C désigne la capacité du condensateur et R la résistance du conducteur ohmique du circuit électrique.

Pour la condition initiale $U_C(t = 0)$ = 0,00 V, la solution de l'équation différentielle est : $U_C(t) = E(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$ avec τ = RC.

2.3. Déterminer la valeur limite atteinte par U_C lorsque $t >> \tau$. Commenter.

À l'aide du microcontrôleur, la tension électrique aux bornes des armatures en aluminium U_C est mesurée au cours du temps pour deux valeurs de résistances différentes R = 600 kΩ et R = 300 kΩ. Ses évolutions au cours du temps sont représentées ci-dessous :

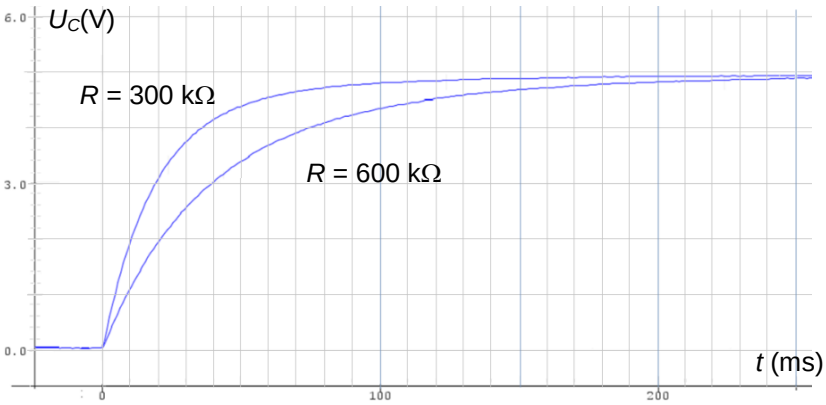


Figure 4. Évolutions de la tension électrique U_C au cours du temps mesurée par le microcontrôleur pour deux valeurs de résistances R.

2.4. Expliquer qualitativement comment il est possible de déterminer l'écart entre les feuilles d'aluminium à partir de ces résultats.